

ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК БОР-, КАЛИЙ- И КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ НА ФОСФОРНЫЙ СТАТУС ДЕРЕВЬЕВ ЯБЛОНИ

Е.В. Леоничева, к.б.н., agro@vniispk.ru

Л.И. Леонтьева, к.с.-х.н.

Т.А. Роева, к.с.-х.н.

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

Аннотация

Целью исследования было оценить изменения содержания фосфора в плодах, листьях и однолетних побегах яблони под влиянием подкормок не содержащими фосфор удобрениями. Исследования проводились с деревьями яблони «Имрус» и «Синап орловский» на полукарликовом вставочном подвое 3-4-98 в вегетационные периоды 2013...2015 годов. Экспериментальный сад расположен в лесостепной зоне Среднерусской возвышенности (Орловская область). Почва сада агросерая среднесуглинистая с высоким содержанием доступного фосфора ($169,75 \pm 31,32$ мг/кг). Раздельные и совместные некорневые обработки H_3BO_3 (0,1%), K_2SO_4 (0,3%) и $CaCl_2$ (1%) проводились ежегодно пять раз в течение вегетационного периода. Образцы листьев отбирали в конце июля, образцы плодов – при сборе урожая. Однолетние приросты отбирали для исследования дважды в год: в январе и в марте. Содержание фосфора в мякоти плодов обоих сортов было высоким (не менее 15 мг/100 г сырой массы). Содержание фосфора в кожуре яблок «Имрус» составляло не менее 30 мг/100 г сырой массы, а в кожуре плодов «Синап орловский» – не менее 70 мг/100 г. Содержание фосфора в листьях варьировало в пределах $0,50 \pm 0,07\%$ и $0,82 \pm 0,09\%$ сухого вещества для сортов «Имрус» и «Синап орловский» соответственно. Самые высокие уровни фосфора в плодах и листьях обоих сортов наблюдались в 2015 году при самой низкой урожайности и засухе. Некорневые обработки соединениями, не содержащими фосфора, снижали концентрацию этого элемента в плодах и побегах «Имруса», в то время как реакция «Синапа орловского» была противоположной. При высоком уровне доступного фосфора в почве влияние некорневых подкормок на содержание элемента в листьях обоих сортов было слабым.

Ключевые слова: сорта яблони, содержание фосфора в плодах, листьях и побегах, листовые удобрения

INFLUENCE OF FOLIAR FEEDINGS WITH BORON-, POTASSIUM- AND CALCIUM-CONTAINING COMPOUNDS ON THE PHOSPHORUS STATUS OF APPLE TREES

E.V. Leonicheva, Cand. Bio. Sci., agro@vniispk.ru

L.I. Leonteva, Cand. Agr. Sci.

T.A. Roeva, Cand. Agr. Sci.

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

Abstract

The purpose of this research was to estimate the changes of phosphorus content in apple fruits, leaves and one-year-old shoots as affected by top dressing with phosphorus-free fertilizers. The study was conducted with mature 'Imrus' and 'Sinap orlovsky' apple trees grafted on intercalary rootstock 3–4–98 in 2013–2015 growing seasons. The experimental orchard is located in the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Oryol region). The soil of the orchard was loamy Haplic Luvisol with a high content of available phosphorus ($169,75 \pm 31,32$ mg/kg). 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 phosphorus content in the fruit flesh of both cultivars was high (at least 15 mg/ 100 g FW). The phosphorus content in the apple skin of 'Imrus' was at least 30 mg / 100 g FW, and in the 'Sinap orlovsky' fruit skin – at least 70 mg/100 g FW. The leaf phosphorus content varied within 0.50 ± 0.07 % and 0.82 ± 0.09 % DW for 'Imrus' and 'Sinap orlovsky' respectively. The highest phosphorus levels in fruits and leaves of both cultivars were observed in 2015 at lowest yield load and drought conditions. Foliar treatments with phosphorus-free compounds reduced the content of this element in fruits and shoots of 'Imrus', while the response of 'Sinap orlovsky' was opposite. With a high level of soil phosphorus, the effect of foliar fertilizing on the phosphorus content in the leaves of both cultivars was weak.

Key words: apple cultivars, phosphorus content in apple fruits, leaves and shoots, redistribution, foliar fertilization

Введение

Наряду с азотом и калием, фосфор является одним из наиболее значимых в растительном организме минеральных элементов, поступающих через корни. Процессы фотосинтеза, связанные с образованием первичных органических веществ и запасной энергии, процессы дыхания и синтеза сложных азотсодержащих органических соединений, а также образование запасных органических веществ вторичного происхождения происходят при непосредственном участии анионов фосфорной кислоты (Минеев, 2004; Трунов, 2013; Rausch and Bucher, 2002).

У плодовых культур фосфорные удобрения способствуют активизации жизненных процессов, лучшей пробуждаемости почек, стимулируют цветение, а также своевременное окончание роста, повышают зимостойкость деревьев (Трунов, 2013; Neilsen et al., 1990). Фосфорное питание снижает предуборочное опадение плодов и улучшает их качество, благодаря положительному влиянию на размер, окраску, содержание сахаров и

устойчивость к физиологическим заболеваниям (Гудковский, 1990; Olivier et al., 1994).

Хотя необходимость фосфора для протекания ключевых биохимических процессов в растительном организме не вызывает сомнений, применение фосфорных удобрений в садах не всегда даёт положительный результат (Трунов, 2013), что может быть связано с использованием деревьями внутренних запасов нутриентов. По сравнению с однолетними растениями, поступление, использование и реутилизация минеральных элементов у деревьев более сложны из-за их долговечности, отложения питательных веществ в запасающих тканях и сезонного использования внутренних ресурсов (Rennenberg and Herschbach, 2013; Zavišić and Polle, 2018; Kalcsits et al., 2020). Эти специфические особенности, присущие многолетним растениям, затрудняют выявление воздействия различных природных и антропогенных факторов на процессы перемещения и накопления фосфора в органах и тканях деревьев.

Наряду с использованием собственно фосфорных удобрений, как для корневого, так и для листового питания, на процессы поступления и транспорта этого элемента в плодовых деревьях могут воздействовать и другие агротехнические мероприятия, влияющие на протекание метаболических процессов в растениях: орошение, обрезка, а также применение удобрений и стимуляторов, в состав которых фосфор не входит. Систематических данных о воздействии конкретных элементов агротехники на обеспеченность фосфором различных сортов яблони в конкретных почвенно-климатических условиях в настоящее время почти не имеется, что затрудняет разработку экономичных способов управления фосфорным питанием этой культуры.

В данной статье представлены результаты исследования, целью которого было изучить влияние некорневых подкормок не содержащими фосфор удобрениями на содержание фосфора в плодах и вегетативных органах двух сортов яблони.

Объекты, методы и условия проведения исследований

Исследования проводились в 2013...2015 гг. с деревьями яблони сортов Имрус и Синап орловский 1992 г. посадки. Сад расположен в садовом массиве ФГБНУ ВНИИСПК (Орловская область), схема посадки 6 × 3 м. Агротехника общепринятая для культуры. Система содержания почвы в междурядьях сада – залужение, в рядах – гербицидный пар.

Почва – агротёмносерая среднесуглинистая на лессовидном суглинке, подстилаемом доломитовыми известняками. Агрохимические показатели в слое 0...100 см представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимические показатели почвы опытного участка

Глубина, см	pH _{KCl}	Гумус, %	Нобц. ммоль+/100 г	Содержание			
				P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг	Ca ²⁺ ммоль+/100 г	Mg ²⁺ ммоль+/100 г
0...20	5,39	4,31	3,90	218,80	140,70	14,98	4,39
21...40	5,16	3,60	3,70	119,80	81,40	15,59	4,58
41...60	6,36	2,57	2,64	62,30	79,90	14,76	4,77
61...80	6,35	1,71	1,53	64,60	80,70	14,57	4,02
81...100	5,75	1,14	1,03	52,50	84,00	13,96	4,17

Полевой опыт по изучению эффективности некорневых подкормок яблони макро- и микроэлементами проводился с 2011 г. по 2015 г. Ежегодно деревья изучаемых сортов опрыскивали борной кислотой (01%), сульфатом калия (0,3%) и хлористым кальцием (1%) по схеме, показанной в таблицах 4...7. Обработки проводились 5 раз за период вегетации по фазам: «розовый бутон», «полное цветение», «опадение лепестков», «грецкий орех» и за

30...40 дней до съема плодов. Детальное описание дизайна полевого опыта с обоснованием выбора соединений, использованных для опрыскивания, и сроков проведения обработок дано в публикациях 2018 г. (Леоничева и др., 2018b и 2018c). Повторность опыта 3-х кратная, в варианте 6 учетных деревьев.

Для изучения фосфорного статуса растений в течение 2013...2015 гг. отбирали образцы листьев в фазу затухания роста (последняя декада июля, 75...80 дней после цветения) из средней части однолетних приростов, образцы плодов – при съеме урожая, однолетние побеги - дважды за весенне-зимний период: в январе и марте. Кожицу и мякоть плодов анализировали отдельно, так как раздельный анализ минерального состава этих тканей считается более эффективным при диагностировании потенциальной устойчивости плодов яблони к физиологическим расстройствам при хранении (Amarante et al., 2013).

Воздушно-сухие растительные образцы озоляли в муфельной печи при $t=450^{\circ}\text{C}$, далее золу растворяли в 20% HCl. В полученном растворе золы содержание фосфора определяли фотометрическим методом. Для получения окрашенных растворов в качестве восстановителя фосфорномолибденовой гетерополиокислоты использовали аскорбиновую кислоту в присутствии сурьмяновиннокислого калия. Растворы фотометрировали на спектрофотометре SmartSpec™ Plus при длине волны $\lambda=710$ нм (Леоничева и др., 2018a).

Агрохимические показатели почвы определяли по стандартным методикам (Практикум..., 2001).

Статистическую обработку результатов проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа (Доспехов, 1985).

При обсуждении результатов исследования также использованы данные о содержании в растениях других минеральных элементов, представленные в более ранних публикациях данных полевого опыта (Леоничева и др., 2016, 2018b и 2018c, 2019; Роева и др., 2018). В этих же публикациях приведены сведения о продуктивности изучаемых сортов яблони с 2011 г. по 2015 г.

Метеоусловия периода исследований представлены в таблицах 2 и 3. В 2013 г. после снежной зимы наблюдались холодная весна и равномерное распределение осадков в течение лета. Период вегетации 2014 г. был контрастным по условиям увлажнения: осадки в мае и июне были обильными, но затем в июле начался длительный период маловодья (включающий малоснежную зиму), который продолжался вплоть до июля 2015 г. В этом месяце выпало 71,3 мм осадков (таблица 2), что близко к среднемноголетнему уровню, но в августе 2015 г. засуха продолжилась.

Таблица 2 – Метеоусловия весенне-летних периодов 2013...2015 гг.

Месяц	Среднемесячная температура, °C				Сумма осадков, мм			
	Годы			Среднемноголетняя	Годы			Среднемноголетняя
	2013	2014	2015		2013	2014	2015	
V	16,5	15,0	15,3	13,0	37,0	100,6	24,8	36,3
VI	18,5	14,6	16,8	16,9	40,0	55,7	29,2	65,1
VII	17,6	18,9	18,3	18,5	37,1	20,0	71,3	88,0
VIII	16,8	17,6	17,3	17,1	33,2	23,4	1,7	65,7

В зимние месяцы как 2013...2014 гг., так и 2014...2015 гг. в результате чередования морозов и оттепелей происходили резкие колебания температур. Ноябрь и декабрь 2013 г. были достаточно теплыми, что способствовало замедлению перехода растений к состоянию зимнего покоя. В 2014 г. деревья были лучше подготовлены к зиме благодаря тому, что начало зимы было в рамках климатической нормы (таблица 3).

Таблица 3 – Температурный режим зимних периодов 2013...2015 гг.

Показатели	2013...2014 гг.				2014...2015 гг.			
	XII.13	I.14	II.14	III.14	XII.14	I.15	II.15	III.15
Среднемесячная t воздуха, °С	-3,7	-9,9	-4,6	+2,6	-5,2	-5,4	-4,8	+1,1
Минимальная t воздуха, °С	-19,3	-31,0	-31,0	-3,0	-20,0	-24,5	-20,4	-11,2
Среднегодовое t воздуха, °С	-5,6	-9,7	-8,8	-4,0	-5,6	-9,7	-8,8	-4,0

Результаты и их обсуждение

Ранее в описываемом эксперименте изучение элементного состава плодов и вегетативных органов яблони позволило выявить, что некорневые подкормки могут повлиять на концентрацию в тканях растений таких элементов как калий, кальций и магний даже в том случае, когда эти катионы не входят в состав листовых удобрений, а поступают за счёт почвенного питания (Леоничева и др., 2018b и 2018c). В данном опыте источником фосфора для деревьев также была только почва, поскольку фосфорсодержащие вещества не применялись для опрыскивания. Согласно градации почв по обеспеченности элементами минерального питания, разработанной для плодовых культур (Трунов, 2013) почва имеет высокое содержание доступных растениям форм фосфора (таблица 1).

Считается, что плодам яблони для устойчивости к физиологическим расстройствам, возникающим при хранении, следует иметь содержание фосфора не менее 9 мг/100 г сырой массы (Гудковский, 1990). На протяжении трёх лет исследования уровень фосфора в плодовой мякоти изучаемых сортов был не менее 15 мг/100 г сырой массы, а содержание элемента в кожце было в 1,5...4,5 раза выше (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание фосфора в тканях плодов яблони, 2013...2015 гг. (мг/100 г сырой массы)

Варианты опыта	Мякоть			Кожца		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Имрус						
Контроль (обработка водой)	21,25	36,82	31,69	32,38	52,70	67,57
H ₃ BO ₃ – 0,1%	22,95	40,21	31,04	40,57*	49,88	60,35
K ₂ SO ₄ – 0,3%	21,00	20,00*	23,56*	34,65	36,76*	55,66*
CaCl ₂ – 1%	22,20	25,63*	30,68	38,23	35,23*	55,95*
H ₃ BO ₃ + K ₂ SO ₄	23,97	22,52*	32,12	33,57	30,90*	69,74
H ₃ BO ₃ + CaCl ₂	17,11	20,50*	22,89*	28,52	29,16*	45,19*
K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	15,91	21,08*	22,75*	36,49	36,75*	55,98*
H ₃ BO ₃ + K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	20,21	21,94*	25,97	35,88	32,63*	62,27
HCP ₀₅	8,04	5,08	7,65	7,54	9,43	11,37
Синап орловский						
Контроль (обработка водой)	15,23	15,88	33,03	87,78	70,05	103,52
H ₃ BO ₃ – 0,1%	15,56	21,29	33,50	90,28	64,90	135,00
K ₂ SO ₄ – 0,3%	21,58*	19,49	40,72	99,70*	76,24	134,93
CaCl ₂ – 1%	23,03*	17,23	39,63	94,00*	75,73	104,75
H ₃ BO ₃ + K ₂ SO ₄	20,86	23,32*	37,39	93,42*	69,88	111,32
H ₃ BO ₃ + CaCl ₂	20,14	23,82*	35,66	93,13*	72,63	94,14
K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	17,97	20,50	34,87	88,80	69,81	108,43
H ₃ BO ₃ + K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	21,66*	22,09	35,88	101,28*	88,37	112,04
HCP ₀₅	5,64	6,65	F _ф <F _т	5,35	F _ф <F _т	F _ф <F _т

* различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

Для ряда многолетних культур показано существование различий в процессах накопления фосфора между сортами, подвоями и сорто-подвойными комбинациями, причём эти различия проявлялись сильнее на фоне высокого содержания фосфора в почве (Zambrosi et al., 2012; Amiri, Fallahi, 2014; Gautier et al., 2018; Chai et al., 2020). В нашем

эксперименте показатели уровня фосфора в системе «плоды-листья-побеги» у сортов Имрус и Синап орловский, выращиваемых на высоком фосфорном фоне, также имели статистически значимые различия, а также различался эффект, производимый на эти показатели некорневыми подкормками.

Сортовые особенности накопления фосфора в плодах изучаемых сортов были связаны преимущественно с количеством элемента, содержащегося в кожце. Среднее по опыту содержание фосфора в мякоти яблок обоих сортов в 2013 г. было практически одинаковым – $20,04 \pm 1,38$ мг/100 г, в 2014 г. уровень фосфора в мякоти Синапа орловского был в 1,3 раза выше, чем у Имруса, а в 2015 г. в 1,3 раза ниже. При этом среднее по опыту содержание фосфора в кожце плодов Синапа орловского в течение всего изучаемого периода было выше аналогичного показателя плодов Имруса в 1,9...2,7 раза (таблица 4).

Самый высокий уровень фосфора как в плодах изучаемых сортов, так и в их листьях, был отмечен в 2015 г. (таблицы 4 и 5). В этот же год плоды и листья яблони имели наибольшее содержание калия (Леоничева и др., 2019). Повышенное накопление минеральных элементов в плодах и листьях в 2015 г. может быть связан с недостаточной влагообеспеченностью деревьев, сочетавшейся с минимальной плодовой нагрузкой (не все учётные деревья в опыте плодоносили). В результате могло произойти ослабление синтеза, транспорта и накопления ассимилятов – основных физиологических процессов, которые требуют перемещения и перераспределения фосфора и калия между органами и тканями растения.

Для обоих сортов установлена высокая положительная корреляция (достоверная при $P > 0,01$) между содержанием фосфора и калия в кожце плодов. Также у сорта Синап орловский содержание фосфора в мякоти достоверно коррелировало с содержанием калия ($r = 0,93$; $P > 0,01$), однако у Имруса не наблюдалось статистически значимой взаимосвязи между этими показателями.

Раздельные и совместные некорневые подкормки яблони соединениями бора, калия и кальция оказывали значимое влияние на накопление в тканях плодов фосфора, поступающего из почвы, при этом влияние аналогичных подкормок на этот показатель у разных сортов было противоположным.

У сорта Имрус в 2014 г. все обработки, за исключением опрыскивания борной кислотой, способствовали снижению содержания фосфора в кожце и мякоти. В следующем 2015 г. аналогичное действие листовых удобрений на уровень фосфора в кожце плодов наблюдалось в вариантах с отдельно используемыми K_2SO_4 и $CaCl_2$, а также при опрыскивании смесями $H_3BO_3 + CaCl_2$ и $K_2SO_4 + CaCl_2$. В тех же вариантах, за исключением обработки $CaCl_2$, содержание фосфора в мякоти также было достоверно ниже контроля. За период 2013...2015 гг. только один раз наблюдалось увеличение содержания фосфора в тканях плодов Имруса под влиянием удобрений: в 2013 г. содержание элемента в кожце достоверно увеличилось при обработках борной кислотой. В мякоти плодов этого сорта содержание фосфора под влиянием подкормок только снижалось (таблица 4).

У Синапа орловского, в отличие от Имруса, фолиарные обработки способствовали увеличению концентрации фосфора в мякоти и кожце плодов, тогда как достоверного уменьшения этих показателей под влиянием обработок не отмечено. Содержание фосфора на уровне контроля в течение трёх лет было в вариантах с опрыскиванием деревьев H_3BO_3 и смесью $K_2SO_4 + CaCl_2$. Остальные варианты некорневых обработок способствовали значимому увеличению концентрации фосфора в кожце плодов в 2013 г., а также увеличению содержания элемента в мякоти в 2013 и 2014 гг. (таблица 4). В 2015 г. при максимальном уровне фосфора в плодах влияние листовых удобрений на эти показатели не было статистически значимым.

Влияние отдельно используемых веществ на накопление фосфора в тканях плодов достоверно отличалось от воздействия смеси двух либо трёх компонентов (таблица 4). Например, в 2013 г. опрыскивание деревьев отдельно взятыми K_2SO_4 и $CaCl_2$ способствовало достоверному увеличению концентрации фосфора в мякоти плодов Синапа орловского, тогда как обработка смесью этих веществ не дала аналогичного эффекта.

Оптимальное содержание фосфора в листьях яблони, по данным разных авторов составляет: 0,15...0,50 % сухого вещества (Stiles, Reid, 1991; Трунов, 2013; Кузин и др., 2018). В нашем опыте содержание фосфора в листьях сорта Имрус в течение первых двух лет находилось в пределах оптимума, а в 2015 г. в некоторых вариантах вышло за верхнюю границу оптимального интервала. Сорт Синап орловский в течение всего изучаемого периода отличался более высоким уровнем фосфора в листьях, причём в 2014 и 2015 гг. во всех вариантах опыта этот показатель достиг экстремально высоких значений (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание фосфора в листьях яблони, 2013...2015 гг. (% сухого вещества)

Фактор А (обработки K_2SO_4)	Фактор В (обработки H_3BO_3 и $CaCl_2$)	Фактор С (год)			Средние АВ	Средние А
		2013	2014	2015		
Имрус						
Без обработок	Контроль (обработка водой)	0,49	0,49	0,57	0,52	0,51
	H_3BO_3	0,43	0,47	0,67	0,52	
	$CaCl_2$	0,36	0,49	0,81*	0,55	
	$H_3BO_3 + CaCl_2$	0,40	0,34	0,56	0,43	
K_2SO_4	K_2SO_4	0,36	0,33	0,51	0,40	0,49
	$K_2SO_4 + H_3BO_3$	0,45	0,56	0,77	0,59	
	$K_2SO_4 + CaCl_2$	0,29	0,32	0,69	0,43	
	$K_2SO_4 + H_3BO_3 + CaCl_2$	0,37	0,36	0,91*	0,55	
Средние С		0,39	0,42	0,69		
HCP _{0,05} A = 0,07		HCP _{0,05} B = 0,10		HCP _{0,05} C = 0,08		
HCP _{0,05} AB = 0,14		HCP _{0,05} AC = 0,12		HCP _{0,05} BC = 0,17		
HCP _{0,05} ABC = 0,24						
Синап орловский						
Без обработок	Контроль (обработка водой)	0,58	0,90	1,08	0,86	0,82
	H_3BO_3	0,59	0,76	1,06	0,80	
	$CaCl_2$	0,56	0,74	1,10	0,80	
	$H_3BO_3 + CaCl_2$	0,49	0,87	1,07	0,81	
K_2SO_4	K_2SO_4	0,54	0,82	1,06	0,81	0,82
	$K_2SO_4 + H_3BO_3$	0,53	0,87	1,07	0,83	
	$K_2SO_4 + CaCl_2$	0,51	0,66	0,97	0,71*	
	$K_2SO_4 + H_3BO_3 + CaCl_2$	0,52	1,01	1,24	0,92	
Средние С		0,54	0,83	1,08		
HCP _{0,05} A = 0,07		HCP _{0,05} B = 0,10		HCP _{0,05} C = 0,09		
HCP _{0,05} AB = 0,15		HCP _{0,05} AC = 0,13		HCP _{0,05} BC = 0,18		
HCP _{0,05} ABC = 0,25						

* различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

В период 2011...2013 гг. в данном опыте при изучении элементного состава листьев сорта Имрус было установлено, что листья деревьев, обработанных 0,3% K_2SO_4 , в среднем по опыту содержали существенно меньше фосфора, чем листья растений, не получавших некорневых подкормок калийными удобрениями (Леоничева и др., 2016). Поэтому при дисперсионном анализе результатов определения концентрации фосфора в вегетативных органах яблони в настоящем исследовании наличие K_2SO_4 в составе фолиарных удобрений было выделено, как самостоятельный фактор (таблицы 5...7).

Оценка фосфорного статуса листьев в период 2013...2015 гг. показала, что при высоком

уровне обеспеченности яблони подвижным фосфором влияние некорневых подкормок на содержание фосфора в листьях обоих изучаемых сортов было слабым.

У сорта Имрус только в 2015 г. опрыскивания хлористым кальцием, а также смесью $H_3BO_3 + K_2SO_4 + CaCl_2$ способствовали достоверному увеличению фосфорного статуса листьев, в результате значения показателя стали выше оптимальных пределов (таблица 5). В 2013 и 2014 гг. средний уровень фосфора в листьях Имруса, получавших калийсодержащие обработки, был на 10...15% ниже, чем у деревьев, не получавший сульфат калия в составе подкормок, но эти различия не были статистически значимыми.

У Синапа орловского в среднем за три года исследований имело место статистически значимое уменьшение уровня фосфора в листьях при обработке смесью $K_2SO_4 + CaCl_2$ (таблица 5). Существенных различий по фактору «обработки K_2SO_4 » у этого сорта также выявлено не было.

У сорта Имрус в описываемом полевом опыте наиболее значимое влияние некорневых обработок питательными элементами на уровень калия и кальция в листьях отмечено в 2014 г., когда концентрация этих элементов в листьях деревьев, не получавших подкормок (контроль), была самой высокой за пятилетний период проведения опыта (Леоничева и др., 2018а; Леоничева и др., 2019). Несмотря на поступление дополнительных количеств питательных элементов через листья, уровень калия и кальция в этом случае достоверно снизился. Статистически достоверное влияние некорневых подкормок на содержание фосфора в листьях этого сорта также отмечено при самом высоком фосфорном статусе листьев – в 2015 г. (таблица 5). Но в отличие от показателей, характеризующих концентрацию катионов в листьях, уровень фосфора в этих случаях существенно увеличился.

Анализ элементного состава ветвей в настоящее время рассматривают в качестве перспективного приема ранней диагностики условий минерального питания яблони (Uçgun et al., 2018). Имеются исследования, показывающие, что некорневые подкормки, проведенные летом, могут оказывать влияние на элементный состав однолетних приростов в зимне-весенний период (Роева и др., 2018). Летние обработки борными, калийными и кальцийсодержащими удобрениями оказали влияние на фосфорный статус однолетних приростов изучаемых сортов. Эффект от опрыскиваний проявлялся по-разному, в зависимости от нагрузки деревьев урожаем. Наибольшее влияние подкормок на содержание фосфора в однолетних приростах обоих сортов наблюдалось зимой 2014 г. после малоурожайного предшествующего периода вегетации 2013 года.

Аналогично плодам, побеги деревьев Имруса, получавшие некорневые подкормки, имели достоверно более низкий уровень фосфора, по сравнению с побегами контрольных деревьев, тогда как у Синапа орловского опрыскивания способствовали дополнительному накоплению элемента в однолетних приростах (таблицы 6 и 7).

Выше была показана наблюдавшаяся в данном эксперименте достоверная положительная корреляция между содержанием калия и фосфора в тканях плодов. Оценивая фосфорный статус однолетних приростов, мы установили статистически значимое влияние калийсодержащих некорневых подкормок на содержание фосфора в этой части деревьев. У сорта Имрус этот эффект наблюдался только в 2014 г. побеги, получавшие калийсодержащие подкормки, имели более низкий уровень фосфора (таблица 6).

Таблица 6 – Содержание фосфора в однолетних приростах яблони сорта Имрус, % сухого вещества

Фактор А (обработки K ₂ SO ₄)	Фактор В (обработки H ₃ BO ₃ и CaCl ₂)	Фактор С (месяц)		Средние BC	Средние А
		Январь	Март		
2014 г.					
Без обработок	Контроль (обработка водой)	0,24	0,46	0,35	0,32
	H ₃ BO ₃	0,32*	0,34*	0,33	
	CaCl ₂	0,31	0,35*	0,33	
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	0,29	0,26*	0,28*	
K ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	0,26	0,29*	0,27*	0,28
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,30	0,32*	0,31	
	K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,30	0,25*	0,28*	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃ + CaCl ₂	0,27	0,29*	0,28*	
Средние С		0,29	0,32		
HCP _{0.05} A = 0,03		HCP _{0.05} B = 0,04		HCP _{0.05} C = 0,03	
HCP _{0.05} AB = 0,06		HCP _{0.05} AC = 0,04		HCP _{0.05} BC = 0,06	
HCP _{0.05} ABC = 0,08					
2015 г.					
Без обработок	Контроль (обработка водой)	0,28	0,24	0,26	0,25
	H ₃ BO ₃	0,26	0,21	0,24	
	CaCl ₂	0,28	0,21	0,25	
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	0,28	0,21	0,24	
K ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	0,28	0,22	0,25	0,25
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,27	0,21	0,24	
	K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,32*	0,19*	0,25	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃ + CaCl ₂	0,24*	0,25	0,24	
Средние С		0,28	0,22		
HCP _{0.05} A = 0,02		HCP _{0.05} B = 0,02		HCP _{0.05} C = 0,02	
HCP _{0.05} AB = 0,03		HCP _{0.05} AC = 0,02		HCP _{0.05} BC = 0,03	
HCP _{0.05} ABC = 0,04					

* различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

У Синапа орловского значимое влияние фактора «обработки K₂SO₄» на уровень фосфора в однолетних приростах установлено в оба года исследований. При этом зимой 2014 г. приросты, получавшие K₂SO₄ в составе листовых удобрений, имели более высокий уровень фосфора, чем приросты, не получавшие дополнительных количеств калия. В 2015 г. влияние обработок K₂SO₄ на уровень фосфора в побегах этого сорта было противоположным (таблица 7).

Различия между вариантами опыта по уровню фосфора в побегах, наблюдавшиеся в зимне-весенний период, свидетельствуют о пролонгированном действии летних некорневых подкормок на элементный состав растений яблони, а, следовательно, о потенциальном влиянии опрыскиваний на рост побегов весной будущего года.

Для разных видов деревьев анализ элементного состава вегетативных органов изучается в качестве перспективного приёма оценки условий фосфорного питания (Кузин и др., 2018; Uçgun et al., 2018; Zavišić and Polle, 2018). В нашем эксперименте при помощи корреляционного анализа был проведён поиск зависимостей между фосфорным статусом плодов и вегетативных органов (таблица 8). У обоих изучаемых сортов имела место достоверная корреляция между содержанием фосфора в листьях и в мякоти плодов, тогда как значимая корреляция между фосфорным статусом плодов и побегов выявлена только для сорта Синап орловский. Таким образом, в условиях данного эксперимента анализ листьев представляется более перспективным приёмом оценки условий фосфорного питания, чем определение фосфорного статуса побегов.

Таблица 7 – Содержание фосфора в однолетних приростах яблони сорта Синап орловский, % сухого вещества

Фактор А (обработки K ₂ SO ₄)	Фактор В (обработки H ₃ BO ₃ и CaCl ₂)	Фактор С (месяц)		Средние BC	Средние А
		Январь	Март		
2014 г.					
Без обработок	Контроль (обработка водой)	0,18	0,19	0,18	0,19
	H ₃ BO ₃	0,18	0,17	0,17	
	CaCl ₂	0,20	0,20	0,20	
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	0,22*	0,20	0,21*	
K ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	0,21*	0,20	0,20	0,21
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,19	0,21	0,20	
	K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,21*	0,21	0,21*	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃ + CaCl ₂	0,21*	0,22*	0,21*	
Средние С		0,20	0,20		
HCP _{0.05} A = 0,01		HCP _{0.05} B = 0,01		HCP _{0.05} C = 0,01	
HCP _{0.05} AB = 0,02		HCP _{0.05} AC = 0,01		HCP _{0.05} BC = 0,02	
HCP _{0.05} ABC = 0,02					
2015 г.					
Без обработок	Контроль (обработка водой)	0,21	0,20	0,20	0,21
	H ₃ BO ₃	0,20	0,20	0,20	
	CaCl ₂	0,24	0,19	0,21	
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	0,26*	0,22	0,24*	
K ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	0,22	0,21	0,21	0,22
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,24	0,21	0,22	
	K ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,27*	0,20	0,23*	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃ + CaCl ₂	0,21	0,18	0,19	
Средние С		0,23	0,20		
HCP _{0.05} A = 0,01		HCP _{0.05} B = 0,02		HCP _{0.05} C = 0,01	
HCP _{0.05} AB = 0,03		HCP _{0.05} AC = 0,02		HCP _{0.05} BC = 0,03	
HCP _{0.05} ABC = 0,04					

* различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

Таблица 8 – Коэффициенты корреляции между содержанием фосфора в плодах и вегетативных органах яблони

Содержание фосфора в тканях плодов	Содержание фосфора в листьях, % сухого вещества	Содержание фосфора в однолетних побегах, % сухого вещества
Имрус		
Мякоть, мг/100 г сырой массы	0,495*	-0,420
Кожица, мг/100 г сырой массы	0,766**	0,170
Синап орловский		
Мякоть, мг/100 г сырой массы	0,788**	0,497*
Кожица, мг/100 г сырой массы	0,401	0,338

* корреляция достоверна при уровне значимости 5%

** корреляция достоверна при уровне значимости 1%

Заключение

Поскольку фосфор является важнейшим макроэлементом, задействованным практически во всех метаболических процессах растительного организма, значимое влияние некорневых подкормок яблони соединениями бора, калия и кальция на фосфорный статус плодов и вегетативных органов было ожидаемым. Проведённые исследования продемонстрировали возможность воздействия фолиарных удобрений на процессы корневого поступления и последующего распределения в растительном организме минеральных элементов, которые не входят в состав удобрений. Все изучаемые в опыте вещества (борная кислота, сульфат калия и хлористый кальций), а также их сочетания оказывали значимое влияние на содержание фосфора в тканях плодов и однолетних

приростах деревьев яблони сортов Имрус и Синап орловский.

Влияние некорневых подкормок соединениями бора, калия и кальция на показатели обеспеченности яблони фосфором, который в условиях опыта растения получали за счёт корневого питания, может быть связано с изменениями в процессах синтеза и транспорта ассимилятов, происходящими при поступлении в листья дополнительных количеств питательных элементов.

Влияние foliarных удобрений на содержание фосфора в плодах и вегетативных органах яблони существенно различалось в разные по метеоусловиям и урожайности годы, и при этом ярко проявились сортовые особенности изменения фосфорного статуса плодов и однолетних приростов под действием некорневых подкормок. У сорта Имрус воздействие обработок на содержание фосфора в плодах и побегах проявлялось главным образом в виде уменьшения концентрации элемента (таблицы 4 и 6). У сорта Синап орловский – напротив – обработки способствовали исключительно увеличению этих показателей (таблицы 4 и 7). Поскольку исследования проводились в условиях высокой обеспеченности растений доступными почвенными фосфатами, наблюдавшиеся изменения фосфорного статуса плодов не были критичными. Однако при выращивании яблони на бедных фосфором почвах снижение концентрации фосфора в плодах под действием некорневых подкормок может оказать негативное влияние на качество продукции.

Выявленные в эксперименте существенные сортовые различия в накоплении фосфора побегами и, особенно, плодами яблони при использовании некорневых подкормок свидетельствуют о необходимости более детального изучения этой проблемы с привлечением в эксперименты большего количества сортов и проведения исследований при разном уровне доступного фосфора в почве.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Гудковский В.А. Система сокращения потерь и сохранения качества плодов яблони, груши и винограда при хранении.: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Мичуринск, 1990. 53 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Кузин А.И., Трунов Ю.В., Соловьёв А.В., Титова Л.В. Уточнение параметров листовой диагностики фосфорного питания в различные периоды вегетации яблони в Центральном Черноземье // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т.52. С.128-135 DOI: 10.31676/2073-4948-2018-52-128-135
4. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А., Столяров М.Е. Влияние некорневых подкормок на обеспеченность яблони фосфором и калием // Современное садоводство - Contemporary horticulture. 2016. № 4(20). С. 53-61. URL: <http://journal-vniispk.ru/pdf/2016/4/47.pdf>
5. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Столяров М.Е. Изучение минерального состава плодов (методические рекомендации). Орёл: ВНИИСПК, 2018а. 28 с.
6. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А., Столяров М.Е. Влияние некорневых подкормок на содержание калия, кальция и магния в плодах двух сортов яблони // Агрехимия. 2018b. № 8. С. 22–33. DOI: 10.1134/S0002188118080094
7. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Столяров М.Е., Макаркина М.А. Содержание кальция в плодах и листьях яблони в зависимости от некорневых подкормок // Садоводство и виноградарство. 2018с. № 5. С. 49–57. DOI: 10.31676/0235-2591-2018-5-49-57.

8. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Столяров М.Е. Динамика калия в системе «плоды-листья-побеги» яблони при использовании некорневых подкормок // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 9. С.39-46
9. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: МГУ, «КолосС», 2004. 720 с.
10. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001, 689 с.
11. Роева Т.А., Леоничева Е.В., Леонтьева Л.И. Влияние некорневых подкормок на содержание калия и фосфора в побегах яблони // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 53. С. 183–188. DOI: 10.31676/2073-4948-2018-53-183-188
12. Трунов Ю.В. Биологические основы минерального питания яблони. Воронеж: Кварта, 2013. 428 с.
13. Amarante C.V.T., Silveira J.P.G., Steffens C.A., Paes F.N., Argenta L.C. Tissue sampling method and mineral attributes to predict bitter pit occurrence in apple fruit: a multivariate approach // Acta Horticulturae. 2013. Vol.1012. P.1133-1139. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.1012.153
14. Amiri M.E., Fallahi E., Safi-Songhorabad M. Influence of rootstock on mineral uptake and scion growth of 'Golden delicious' and 'Royal gala' apples // Journal of Plant Nutrition. 2014. Vol.37(1). P.16-29. DOI: 10.1080/01904167.2013.792838
15. Chai, X., Xie, L., Wang, X., Wang, H., Zhang, J., Han, Z., Wu T., Zhang X., Xu X., Wang Y. Apple rootstocks with different phosphorus efficiency exhibit alterations in rhizosphere bacterial structure // Journal of Applied Microbiology. 2020. Vol.128(5). P.1460–1471. DOI: 10.1111/jam.14547
16. Gautier A., Cookson S.J., Hevin C., Vivin P., Lauvergeat V., Mollier A. Phosphorus acquisition efficiency and phosphorus remobilization mediate genotype-specific differences in shoot phosphorus content in grapevine // Tree physiology. 2018. V38(11). P.1742-1751 DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy074>
17. Kalcsits L., Lotze E., Tagliavini M., Hannam K.D., Mimmo T., Neilsen D., Neilsen G., Atkinson D., Casagrande Biasuz E., Borruso L., Cesco S., Fallahi E., Pii Y., Valverdi N.A. Recent Achievements and New Research Opportunities for Optimizing Macronutrient Availability, Acquisition, and Distribution for Perennial Fruit Crops // Agronomy. 2020. Vol.10(11). P.1738. DOI: 10.3390/agronomy10111738
18. Neilsen, G.H., Hogue E.J., Parchomchuk P. Flowering of apple trees in the second year is increased by first-year P fertilization // HortScience. 1990. Vol. 25(10) P.1247-1250. DOI: 10.21273/HORTSCI.25.10.1247
19. Olivier C.M., Wooldridge J., Kotze W.A.G. Apple quality as related to nitrogen and phosphorus nutrition // Journal of Plant Nutrition. 1994. Vol. 17(6). P. 1005-1015. DOI: 10.1080/01904169409364784
20. Rausch C., Bucher M. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants // Planta. 2002. V.216. P. 23-37. DOI: 10.1007/s00425-002-0921-3
21. Rennenberg H., Herschbach C., Phosphorus nutrition of woody plants: many questions few answers // Plant Biology. 2013 Vol. 15(5). P.785-788 DOI: 10.1111/plb.12078
22. Stiles W. C., Reid W. S. Orchard Nutrition Management // Cornell Cooperative Extension Information Bulletin, 1991, № 219, June. 22p.
23. Ucgun K., Altindal M., Cansu M. Usage of Shoot Analysis to Assess Early Season Nutritional Status of Apple Trees // Erwerbs-Obstbau. 2018. Vol. 60. P.113-117. DOI: 10.1007/s10341-017-0342-x
24. Zavisic A., Polle A, Dynamics of phosphorus nutrition, allocation and growth of young beech (*Fagus sylvatica* L.) trees in P-rich and P-poor forest soil // Tree Physiology. 2018. Vol. 38(1). P.37-51, DOI: 10.1093/treephys/tpx146

25. Zambrosi F.C.B., Mattos D., Boaretto R.M., Quaggio J.A., Muraoka T., Syvertsen J.P. Contribution of phosphorus (³²P) absorption and remobilization for citrus growth // *Plant Soil*. 2012. Vol. 355. P. 353-362 DOI:10.1007/s11104-011-1107-1

References

1. Gudkovski, V.A. (1990). *The system of losses reduction and preservation of apple, pear and grapevine fruits quality at storage. (Agri. Sci. Doc. Thesis)*. Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia. (In Russian)
2. Dospekhov, B. A. (1985). *Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)*. 5th ed. Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
3. Kuzin, A.I., Trunov, Y.V., Solovyev A.V., & Titova, L.V. (2018). Correction of leaf diagnostics parameters of phosphoric nutrition in different periods of apple vegetation in the Central Chernozem region. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 52, 128-135. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-52-128-135> (In Russian, English abstract).
4. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leontieva, L.I., Vetrova, O.A., & Stolyarov, M.E. (2016). Potassium and phosphorus content in apple leaves as affected by foliar fertilization. *Sovremennoe sadovodstvo - Contemporary horticulture*, 4(20), 53-61. <http://journal-vniispk.ru/pdf/2016/4/47.pdf> (In Russian, English abstract).
5. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Stolyarov, M.E., & Leontieva, L.I. (2018a). *Study of the mineral composition of fruits (guide lines)*. Orel: VNIISPK. (In Russian).
6. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leontieva, L.I., & Stolyarov, M.E. (2018b). Influence of Foliar Fertilization on the Content of Potassium, Calcium and Magnesium in Apple Fruits of Two Cultivars. *Agrochemistry*, 8, 22-33. <https://doi.org/10.1134/S0002188118080094> (In Russian, English abstract).
7. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leontieva, L.I., Stolyarov, M.E., & Makarkina, M.A. (2018c). Calcium concentrations in apple and leaves depending on foliar fertilization. *Horticulture and viticulture*, 5, 49-57. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-5-49-57>. (In Russian, English abstract).
8. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leontieva, L.I., & Stolyarov, M.E. (2019). Potassium dynamics in the “apple fruit – leaves – shoots” system at foliage spraying application. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 9, 39-46. (In Russian, English abstract).
9. Mineev, V.G. (2004). *Agrochemistry*. Moscow: KolosS. (In Russian).
10. Mineev, V.G. (Ed.) (2001). *Practice work on agrochemistry*. Moscow: MGU. (In Russian).
11. Roeva, T.A., Leonicheva, E.V., & Leontieva, L.I. (2018). The impact of foliar fertilization on the potassium and phosphorus content in apple shoots. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*, 53, 183-188. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-53-183-188> (In Russian, English abstract).
12. Trunov, Yu.V. (2013). *Biological principles of mineral apple nutrition*. Voronezh: Kvarta. (In Russian).
13. Amarante, C.V.T., Silveira, J.P.G., Steffens, C.A., Paes, F.N., & Argenta, L.C. (2013). Tissue sampling method and mineral attributes to predict bitter pit occurrence in apple fruit: a multivariate approach. *Acta Horticulturae*, 1012, 1133-1139. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1012.153>
14. Amiri, M.E., Fallahi, E., & Safi-Songhorabad, M. (2014). Influence of rootstock on mineral uptake and scion growth of ‘Golden delicious’ and ‘Royal gala’ apples. *Journal of Plant Nutrition*, 37(1), 16-29. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.792838>
15. Chai, X., Xie, L., Wang, X., Wang, H., Zhang, J., Han, Z., Wu, T., Zhang, X., Xu, X., & Wang, Y. (2020). Apple rootstocks with different phosphorus efficiency exhibit alterations in

- rhizosphere bacterial structure. *Journal of Applied Microbiology*, 128(5), 1460–1471. <https://doi.org/10.1111/jam.14547>
16. Gautier, A., Cookson, S.J., Hevin, C., Vivin, P., Lauvergeat, V., & Mollier, A. (2018) Phosphorus acquisition efficiency and phosphorus remobilization mediate genotype-specific differences in shoot phosphorus content in grapevine. *Tree physiology*, 38(11), 1742-1751. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy074>
 17. Kalcsits, L., Lotze, E., Tagliavini, M., Hannam, K.D., Mimmo, T., Neilsen, D., Neilsen, G., Atkinson, D., Casagrande Biasuz, E., Borruso, L., Cesco, S., Fallahi, E., Pii, Y., & Valverdi, N.A. (2020). Recent Achievements and New Research Opportunities for Optimizing Macronutrient Availability, Acquisition, and Distribution for Perennial Fruit Crops. *Agronomy*, 10(11), 1738. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111738>
 18. Neilsen, G.H., Hogue, E.J., & Parchomchuk, P. (1990). Flowering of apple trees in the second year is increased by first-year P fertilization. *HortScience*, 25(10), 1247–1250. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.10.1247>.
 19. Olivier, C.M., Wooldridge, J., & Kotze, W.A.G. (1994). Apple quality as related to nitrogen and phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 17(6), 1005–1015. <https://doi.org/10.1080/01904169409364784>
 20. Rausch, C., & Bucher, M. (2002). Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. *Planta*, 216, 23-37. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0921-3>
 21. Rennenberg, H., & Herschbach, C. (2013). Phosphorus nutrition of woody plants: many questions few answers. *Plant Biology*, 15(5), 785-788. <https://doi.org/10.1111/plb.12078>
 22. Stiles, W.C., & Reid, W.S. (1991). *Orchard Nutrition Management. Information Bulletin*, 219, Cornell Cooperative Extension. Ithaca: Cornell University.
 23. Uçgun K., Altindal M., Cansu M. (2018) Usage of Shoot Analysis to Assess Early Season Nutritional Status of Apple Trees. *Erwerbs-Obstbau*, 60, 113-117. <https://doi.org/10.1007/s10341-017-0342-x>
 24. Zavisic, A., & Polle, A. (2018). Dynamics of phosphorus nutrition, allocation and growth of young beech (*Fagus sylvatica* L.) trees in P-rich and P-poor forest soil. *Tree Physiology*, 38(1), 37–51. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx146>
 25. Zambrosi, F.C.B., Mattos, D., Boaretto, R.M., Quaggio, J.A. Muraoka, T., & Syvertsen, J.P. (2012). Contribution of phosphorus (³²P) absorption and remobilization for citrus growth. *Plant and Soil*, 355, 353-362. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1107-1>