

УДК 634.11:631.811.3:631.81.033

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ КАЛИЯ В ПОЧВЕ И ЛИСТЬЯХ ЯБЛОНИ В СВЯЗИ С НАГРУЗКОЙ УРОЖАЕМ

А.В. Кушнер¹ , А.И. Кузин^{1,2,3}

¹ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», 393774, ул. Мичурина, 30, г. Мичуринск, Тамбовская область, Россия, info@fnc-mich.ru

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», 393760, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, Тамбовская область, Россия, info@mgau.ru


³ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», 392036, ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, post@tsutmb.ru

Аннотация

Оптимальное обеспечение растений калием является необходимым условием формирования урожая плодов. Потребность яблони в калии неодинакова в течение вегетации. Целью исследований было изучение динамики содержания калия в почве и листьях с учетом нагрузки растений урожаем. Исследования проводились в условиях Тамбовской области, в интенсивном саду яблони на привойно-подвойной комбинации Лигол/63-396 в течение 3 лет (2020...2022 гг.). Схема размещения растений 4,5 × 1,2 м (1852 дерева на 1 га). На фоне внесения одной нормы азота и фосфора изучали динамику содержания калия в листьях и в почве в зависимости от нагрузки урожаем при различных дозах калийных удобрений. Содержание обменного калия в почве в течение сезона снижалось в период налива и созревания урожая, особенно в вариантах с высокой урожайностью (в 2020 N₂₀P₆K₂₆ – с 133,4 до 115,5 мг/кг почвы, а в 2021 в N₂₀P₆K₃₀ – с 138,5 до 122,1 мг/кг почвы). Содержание калия в листьях также заметно снижалось в период роста и развития плодов. На второй год исследований при внесении максимальной нормы калия K₃₀ в почву содержание нутриента в листьях варианта N₂₀P₆K₃₀ было ниже (13.08.21 – 1,16 % с.в.; 23.09.21 – 1,01 % с.в.), чем при внесении в почву нормы K₂₆ (13.08.21 – 1,26 % с.в.; 23.09.21 – 1,19 % с.в.). В 2021 году в варианте N₂₀P₆K₃₀ урожайность составила 13,4 т/га, которая была значительно выше, чем в варианте N₂₀P₆K₂₆ (11,3 т/га), однако в 2022 году максимальная урожайность была отмечена в варианте N₂₀P₆K₂₆ (16,8 т/га). Для поддержания оптимального уровня содержания калия в корнеобитаемом слое почвы и в листьях необходимо формировать программу фертигации не только с учетом почвенно-растительной диагностики, но и актуальной нагрузки урожаем.

Ключевые слова: содержание обменного калия в почве, содержание калия в листьях, норма внесения удобрений, фертигация, урожайность

SEASONAL CHANGES OF POTASSIUM CONTENT IN SOIL AND APPLE LEAVES DUE TO CROP LOAD

A.V. Kushner¹ , A.I. Kuzin^{1,2,3}

¹I.V. Michurin Federal Scientific Centre, Michurina st., 30, Michurinsk, Tambov region, Russia, info@fnc-mich.ru

²Michurinsk State Agrarian University, Internatsionalnaya st., 101, Michurinsk, Tambov region, Russia, info@mgau.ru

³Derzhavin Tambov State University, Internatsionalnaya st., 33, Tambov, Russia, post@tsutmb.ru

Abstract

Optimal potassium supply is a necessary condition for good yields. The need for apple trees in potassium is not the same during the growing season. Our research was aimed to study the seasonal changes of the leaf potassium contents, even considering the crop load. The studies were

conducted within 3 years (2020...2022) in the Tambov region, in the high-density apple orchard with the Ligol cultivar, grafted on the rootstock B396. Plant pattern was 4.5 × 1.2 m (1852 trees/ha). The nitrogen and phosphorus fertilizers were applied with a same rate in experimental treatments. Based on this, we studied the effect of various potassium rates on the seasonal changes of the soil and potassium contents, and yield. The content of soil exchangeable potassium during the season decreased in the period of fruit development, especially in the treatments with high yields (in 2020: N₂₀P₆K₂₆ from 133.4 to 115.5 mg/kg soil, in 2021: N₂₀P₆K₃₀ from 138.5 to 122.1 mg/kg soil). The leaf potassium contents significantly decreased during the fruit development depending on crop load. In the second year of study, when the maximum rate of potassium K₃₀ was applied, the leaf nutrient contents in the N₂₀P₆K₃₀ treatments were lower (13.08.21 – 1.16 % dry matter). In 2021, in the N₂₀P₆K₃₀ treatment, the yield was 13.4 t/ha, which was significantly higher than in the N₂₀P₆K₂₆ (11.3 t/ha), however, in 2022, the maximum yield was noted in the N₂₀P₆K₂₆ treatment (16.8 t/ha). To manage the optimal level of potassium content in the soil root layer and in the leaves, it is necessary to develop a fertigation program based both on soil and plant tests and the current crop load.

Key words: soil exchangeable potassium content, leaf potassium content, fertilizer application rate, fertigation, yield

Введение

Калий играет чрезвычайно важную роль в жизни растительных организмов. В частности, он участвует в фотосинтезе, дыхании, транспирации, обмене и транспорте веществ в растении и во многих других функциях (Hou et al., 2019; Nieves-Cordones et al., 2016). Среди других элементов питания калий занимает особое место, т.к. он, оказывая большое влияние на процессы роста и развития, не входит в состав молекул органических веществ в растениях и практически не образует соединений с ковалентными связями в растительных организмах. Таким образом, в жизнедеятельности яблони значение калия очень велико, но при этом он очень важен для формирования урожая (Cheng, 2013).

Основным источником калийного питания является почва. В условиях разного обеспечения другими макроэлементами может изменяться и поглощение калия растениями яблони. Следует обратить внимание на тот факт, что за длительное время исследований не сложилось единого мнения о нормах внесения калия и о его влиянии на урожайность яблони (Szewczuk et al., 2008). Тем не менее роль калия в формировании урожая яблони представляется очевидной, но следует продолжать работу по уточнению норм внесения и подходов к организации калийного питания яблони (Kuzin, Solovchenko, 2021). Завышение норм внесения калийных удобрений может обеспечить повышение уровня содержания обменного калия в почве, но при этом не происходит увеличения продуктивности и калийного статуса деревьев (Roeva et al., 2022). В то же время, это может приводить к увеличению кислотности почвы и загрязнению грунтовых вод избыточным количеством удобрений.

В литературе есть много сообщений о значительных изменениях содержания калия в листьях под влиянием нагрузки урожаем (Sadowski et al., 1995; Kuzin et al., 2020). Основная потребность в поглощении калия начинается в процессе роста и развития плодов (Cheng, 2013). По нашим данным, полученным ранее, в этот период снижается его содержание в листьях, и он за счет высокой подвижности в растениях транспортируется в плоды (Кузин, Трунов, 2016). В существующих рекомендациях в России приводится уровень содержания калия в листьях 1,3...1,5 % с.в. при отборе на анализ примерно через 90 дней после распускания почек, что в условиях Центральной России приходится на конец июля – начало августа (Церлинг, 1990). L. Cheng (2013) приводит данные Stiles и Ride – 1,35...1,85 %.

Так как калий в той или иной степени участвует практически во всех процессах жизнедеятельности, то чрезвычайно важно рассмотреть проблемы обеспеченности калием в различные фазы вегетации, тем более, что фертигация позволяет снабжать растение необходимым количеством калия дифференцированно. Следует также учитывать, что поскольку калий является очень подвижным элементом в растении, то далеко не всегда содержание в листе соответствует актуальному поглощению его корнями. Поэтому проблема динамики содержания калия в течение сезона вегетации является весьма значимой. Целью наших исследований было изучение динамики содержания калия в листьях и в почве на фоне внесения одной нормы азота и фосфора в зависимости от нагрузки урожаем при различных дозах калийных удобрений.

Материалы и методы

Исследования проводились в экспериментальном саду «Федерального научного центра имени И.В. Мичурина» в 2020...2021 гг. Деревья яблони сорта Лигол, привитые на подвой 62-396, были высажены в 2018 году по схеме 1,4 × 4,5 м (1852 дер./га), сад оборудован системой капельного орошения. Содержание почвы: междурядья – черный пар, приствольные полосы – гербицидный пар. Схема опыта: в 2020 году – Контроль $N_{16}P_5K_0$ (K0), $N_{16}P_5K_{18}$ (K1), $N_{16}P_5K_{22}$ (K2), $N_{16}P_5K_{26}$ (K3); в 2021 году по результатам почвенно-лиственной диагностики норма удобрений была увеличена – Контроль $N_{20}P_6K_0$ (K0), $N_{20}P_6K_{20}$ (K1), $N_{20}P_6K_{26}$ (K2), $N_{20}P_6K_{30}$ (K3). В 2022 вносили такое же количество удобрений, как и в предшествующем. Удобрения вносили через систему капельного орошения, норма внесения была разбита на 10 фертигационных поливов в соответствии с фенологическими фазами развития растений. Удобрения вносили в следующие сроки: выдвигание соцветий, начало цветения, плод «лещина», плод «грецкий орех», плод 40...45 мм, плод 50...55 мм, плод 55...60 мм, плод 60...65 мм, плод 65...70 мм; появление типичной сортовой окраски. Фертигационные поливы проводили в соответствии с потребностями растений в основных элементах питания: основное количество азота вносили в мае-июне, фосфора – в мае, калия – в июне-августе. В наиболее засушливые периоды проводили поливы без внесения питания (5...10 м³/га). В опытах вносили аммиачную селитру, монофосфат калия, а также фертигаторы линейки Solar: Старт 15:30:15 + 2MgO + 2S + 0,02B + 0,01Cu + 0,1Fe + 0,05Mn + 0,01Mo + 0,01Zn; Универсал 18:18:18 + 3MgO + МЭ; Финиш 12:6:36 + 2,5MgO + МЭ.

Опыт был выполнен в 4-кратной повторности по 15 деревьев в каждой. Все варианты, включая контроль, обрабатывались фоновой системой некорневых подкормок, которая включала 2 обработки агрохимикатом Биостим Рост (розовый бутон, орех лещина) и 7 обработок агрохимикатом Ультрамаг кальция (розовый бутон, начало цветения, «орех лещина», «грецкий орех», плод 50...60 мм, плод 60...70 мм и за 10 дней до съема). Почва опытного участка – лугово-черноземная выщелоченная тяжелосуглинистая на песке с псевдофибрилами, содержание гумуса – 2,2...2,4 %. Глубина гумусового горизонта составляет около 40...50 см. Кислотность почвы опытных делянок – pH_{KCl} – 5,0...5,7 в слое 0...40 см. Содержание легкогидролизуемого азота (N) в слое почвы 0...40 см составляет 126,1...182,5 мг/кг, доступного фосфора (P) 104,9...123,6 и обменного калия (K) – 166,1...191,3 мг/кг. В течение вегетации по 5 раз отбирали пробы листьев и почвы. Пробы почвы отбирали в слое 0...40 см, на расстоянии 15...20 см от штамбов деревьев и в пределах 20...30 см от капельницы. Обменные формы калия извлекали раствором уксусной кислоты 0,5 моль/л по методу Ф.В. Чирикова в модификации ЦИНАО. В листьях определяли содержание валового калия (на пламенном фотометре ФПА-2.01, Россия). В 2020...2021 гг. пробы листьев и почвы отбирали 5 раз в течение сезона вегетации, в 2022 году – только один раз 05.09.2022.

Температурные условия в период исследований (таблица 1) и сведения об осадках

(таблица 2) представлены Мичуринской метеорологической станцией.

Таблица 1 – Среднемесячная температура воздуха (°С) в вегетационные периоды 2020 и 2021 гг.

Месяцы	Средне­много­летние значения (1969...2019 гг.)	Годы					
		2020		2021		2022	
		Температура	Вариация	Температура	Вариация	Температура	Вариация
Апрель	6,8	6,6	-0,2	8,8	2,0	9,5	2,7
Май	14,9	13,4	-1,5	16,5	1,6	11,9	-3,0
Июнь	19,4	20,7	1,3	21,5	2,1	20,6	1,2
Июль	18,2	21,6	3,4	23,9	5,7	21,8	3,6
Август	18,1	19,5	1,4	23,4	5,3	23,7	5,6
Сентябрь	12,3	15,8	3,5	11,7	-0,6	11,7	-0,6
Октябрь	5,6	9,8	4,2	6,4	0,8	8,0	2,4
Среднее	13,5	15,3	1,8	16,0	2,5	15,3	1,8

Таблица 2 – Ежемесячные осадки в вегетационные периоды 2020 и 2021 гг.

Месяцы	Средне­много­летние значения (1969...2019)	Годы					
		2020		2021		2022	
		Осадки, мм	% средне­много­летней нормы	Осадки, °С	% средне­много­летней нормы	Осадки, °С	% средне­много­летней нормы
Апрель	37,8	21,0	55,6	50,4	133,3	52,4	138,6
Май	51,3	77,2	150,5	74,4	145,0	44,8	87,3
Июнь	52,4	32,2	61,5	37,4	71,4	47,2	90,1
Июль	66,7	27,4	41,1	8,2	12,3	79,4	119,0
Август	60,8	8,0	13,2	32,0	52,6	23,0	37,8
Сентябрь	50,2	16,2	32,3	59,6	118,7	121,0	241,0
Октябрь	56,4	30,4	53,9	22,8	40,4	83,6	148,2
Среднее	53,7	30,3	56,4	40,7	75,8	64,5	120,1

В почве определяли содержание обменного калия на пламенном фотометре (ФПА-2.01, Россия) (Минеев и др., 2001). Статистическую обработку результатов исследований проводили по методу Фишера в изложении Б.А. Доспехова (1985).

Результаты и их обсуждение

Содержание обменного калия в почве в год внесения практически не различалось по вариантам опыта, особенно при первом и втором отборе проб. В начале августа содержание обменного калия в почве увеличивалось в вариантах с применением калийных удобрений, соответственно, нормам внесения. Однако к середине августа во всех вариантах опыта содержание обменного калия в почве снижалось, что может быть следствием увеличения его поглощения для формирования плодов. Особенно заметное снижение содержания нутриента было в варианте, где не вносили калий в почву (рисунок 1).

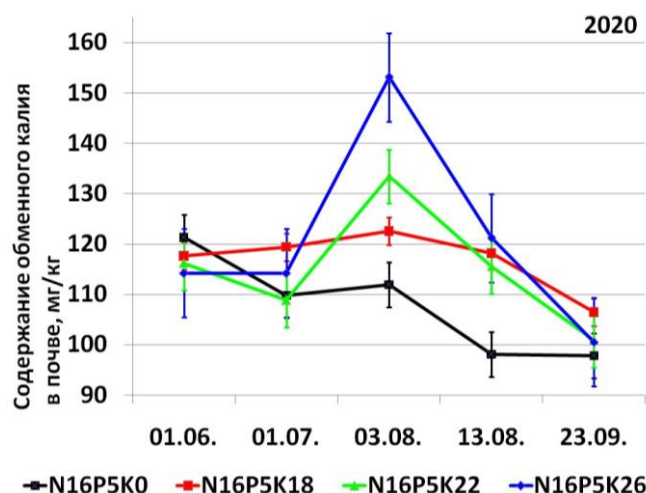


Рисунок 1 – Динамика содержания обменного калия в почве в сезоне 2020 года, мг/кг почвы

Анализ многолетних данных по обеспеченности черноземных почв калием показал, что в пахотных черноземах достаточно быстро после внесения удобрений обменные формы нутриента могут переходить в необменные (Лукин и др., 2010). В условиях неорошаемого яблоневого сада в Северной Осетии содержание обменного калия в почве с начала вегетации (максимум) снижалось к периоду налива и созревания плодов (минимум), а затем частично восстанавливалось. В данных исследованиях калий вносили однократно с заделкой в почву (Асаева и др., 2019). Фертигация обладает очевидным преимуществом, т.к. позволяет насытить верхний слой почвы калием тогда, когда потребность в нем становится максимальной в течение вегетации. В литературе отмечается тот факт, что потребление калия в период налива и созревания плодов значительно возрастает (Kuzin et al., 2020; Kuzin, Solovchenko, 2021). В нашем исследовании программа фертигации разрабатывалась только на основе мероприятий почвенно-лиственной диагностики.

Характер динамики содержания обменного калия в почве в сезоне 2021 года в целом был схожим с предшествующим годом (рисунок 2). Содержание валового калия в листьях вариантов К2 и К3 не имело существенных различий. При этом, максимальная урожайность была отмечена в К3 (таблица 3). В то же время, в варианте К0 содержание калия в листьях было значительно ниже даже на фоне низкой урожайности. Таким образом, встает вопрос о необходимости корректировки нормы внесения калия в зависимости от актуальной нагрузки урожаем.

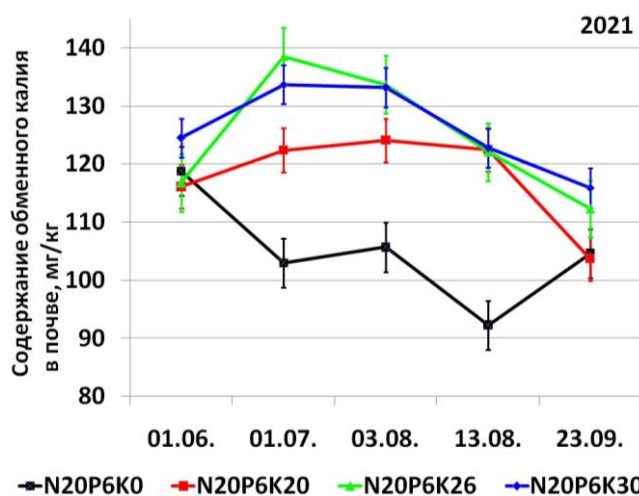


Рисунок 2 – Динамика содержания обменного калия в почве в сезоне 2021 года, мг/кг почвы

В многолетнем исследовании Н.Н. Сергеевой с соавторами (2018) по динамике содержания обменного калия в почве под монокультурой яблоневого сада без внесения удобрений в разных климатических зонах установлено, что в течение 20 лет происходило снижение содержания нутриента в почве, особенно активное при вступлении насаждений в плодоношение. Фертигация дает возможность распределить норму внесения калия по всему сезону вегетации, но при этом следует учитывать, что локальное внесение удобрений может увеличивать содержание нутриента непосредственно под капельницами до очень высокого уровня. Так, в опыте Т.Г. Фоменко с коллегами (2021) было зафиксировано содержание в 651 мг/кг почвы. Подобная локализация внесенных удобрений предполагает взвешенный подход к формированию сезонной программы фертигации с учетом обеспеченности почвы непосредственно в зоне расположения основной части корневой системы и сроков проведения фертигационных поливов.

В 2022 году влияние внесения калийных удобрений на содержание обменного калия в почве четко прослеживалось только в вариантах К1 и К3, где содержание нутриента в почве было значительно выше, чем в контроле без калийных удобрений (рисунок 3). Очевидно, что есть мощный фактор, который оказывает влияние на содержание калия в почве, помимо нормы внесения удобрений.

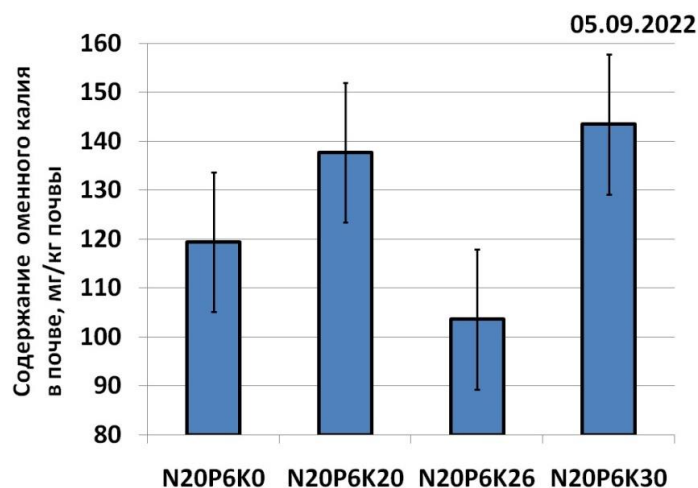


Рисунок 3 – Содержание обменного калия в почве 05.09.2022, мг/кг почвы

Динамика содержания калия в листьях в сезоне 2020 года несколько отличалась от сезонных изменений в почве (рисунок 4). В то же время, общий характер динамики содержания калия в листьях в целом соответствовал сезонным изменениям, описанным в литературе (Nachtigall, Dechen, 2006). Содержание калия в листьях растений в вариантах К0 и К2 стабильно снижалось в течение сезона и не имело существенных различий по вариантам. Но к началу августа оно было ниже, чем 1,3...1,5 % с.в. (лимиты оптимальных значений по версии В.В. Церлинг, (1990)), даже при полученной меньшей урожайности в этом году. Также не представлена связь между содержанием калия в листьях на фоне различного содержания нутриента в почве. Во второй половине августа – сентябре содержание калия резко снижалось во всех вариантах опыта. Основной причиной является прекращение внесения удобрений в 3-й декаде августа, но также происходил отток калия в плоды (Кузин, Трунов, 2016). Содержание калия было существенно ниже оптимального по ЦЧР по версии А.К. Кондакова (2006), однако, до середины августа было в пределах нижней границы оптимума по версии В.В. Церлинг (1990), а также предложенного нами

оптимального значения для интенсивных садов ЦЧР (Кузин, 2018). Тем не менее нами было принято решение об увеличении нормы внесения удобрений в 2021 году.

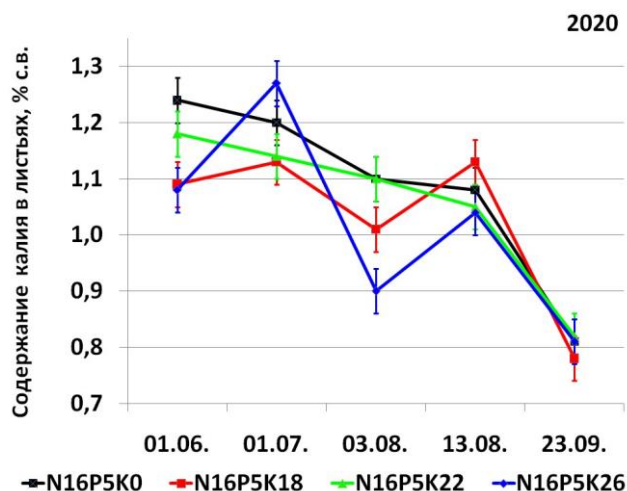


Рисунок 4 – Динамика содержания калия в листьях в сезоне 2020 года, % с.в.

В 2021 году наиболее высокие значения содержания калия в листьях были отмечены к началу июля, т.е. фактически до начала налива плодов (рисунок 5). Следует также отметить, что следствием увеличения норм внесения удобрений был рост содержания калия в листьях на эту дату. Максимальное содержание калия в листьях к началу июля было в КЗ, но в начале августа в этом варианте оно было минимальным.

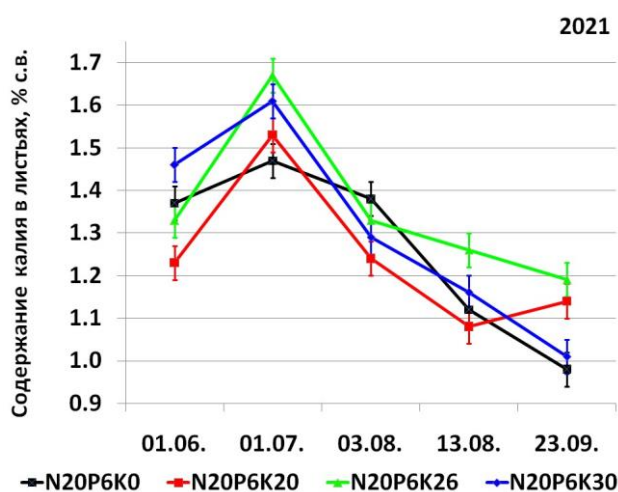


Рисунок 5 – Динамика содержания калия в листьях в сезоне 2021 года, % с.в.

Снижение содержания калия в листьях в дальнейшем происходило во всех вариантах опыта вплоть до конца сентября. В литературе есть сведения о том, что содержание калия в листьях в значительной мере зависит от погодных условий, которые определяют доступность почвенного калия (Леоничева и др., 2019). Август и сентябрь 2021 года были достаточно засушливыми, а в сентябре была снижена поливная норма, чтобы избежать растрескивания плодов. Очень низкая влажность воздуха усиливала транспирацию, а также простое подсыхание верхнего слоя почвы. А при снижении влажности почвы доступность почвенного калия снижается (Kuchenbuch et al., 1986).

В 2022 году максимальное содержание калия в листьях яблони к окончанию сезона было при минимальной норме внесения нутриента в почву в варианте К1 (рисунок 6).

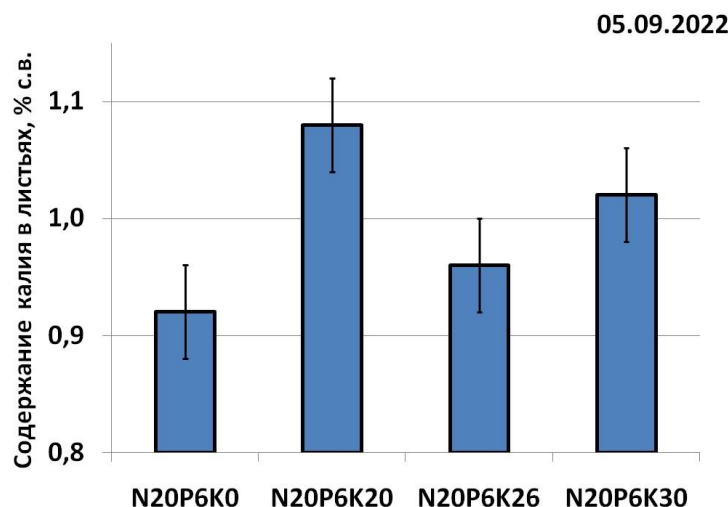


Рисунок 6 – Содержание калия в листьях 05.09.2022, % с.в.

Значительно меньше, чем в вариантах К1 и К3 содержание калия было в варианте К2 с нормой внесения нутриента 26 кг/га.

Одной из наиболее вероятных причин расхождений в содержании калия в листьях во второй половине вегетации могли быть различия в урожайности, что также изменяло потребность в калии у растений в вариантах опыта. Наибольшее внимание обращает на себя тот факт, что в варианте без внесения калия в почву прирост урожайности по сравнению с предшествующим годом был минимальным среди всех вариантов опыта.

В 2020 году внесение удобрений стимулировало увеличение урожайности только в варианте К2 (таблица 3). Т.к. полное удобрение вносили первый раз в данных насаждениях, то возможно, что именно это и было основной причиной относительно низкой эффективности удобрений в остальных вариантах опыта. Есть сообщения о том, что значимые результаты от внесения удобрений бывают только на 2-й или 3-й год (Кузин, 2004).

Таблица 3 – Урожайность, т/га

Вариант	2020	2021	2022
К0	7,1	8,1	8,9
К1	7,0	11,8	14,6
К2	9,6	11,3	16,8
К3	6,1	13,4	15,9
НСР ₀₅	1,14	1,43	1,61

В 2021 году урожайность повысилась в целом, но было очевидно, что влияние на урожайность оказывали калийные удобрения. Во всех вариантах с внесением в почву калия урожайность была значительно выше, чем при отсутствии калийных удобрений. Это подтверждается и исследованиями других авторов, в частности увеличение нормы внесения калия до 160 кг/га стимулировало увеличение урожайности у коллоновидных яблонь (Leonteva, 2021). При этом в К1 и К2 урожайность практически не различалась, при увеличении нормы внесения калия до 30 кг д.в./га урожайность была максимальной.

В 2022 году максимальная урожайность была в варианте К2 при норме внесения калия в почву 26 кг/га. Мы не обнаружили значительных различий по продуктивности с вариантом

K3 (30 кг/га), содержание калия в листьях в варианте K2 было существенно меньше, чем в K3. В то же время на фоне относительно высокой урожайности и пониженной нормы внесения удобрений содержание обменного калия в почве опытной деланки варианта K2 в 2022 году было даже ниже, чем при в варианте без внесения калийных удобрений.

Заключение

Содержание обменного калия в почве в течение сезона снижалось, несмотря на внесение удобрений. Особенно это было заметно в период налива и созревания урожая плодов. Содержание калия в листьях также заметно снижалось в процессе формирования урожая, когда возрастало потребление нутриента для развития плодов. Для поддержания оптимального уровня содержания калия в корнеобитаемом слое почвы и в листьях необходимо формировать программу фертигации не только с учетом почвенно-растительной диагностики, но и актуальной нагрузки урожаем.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Асаева Т.Д., Газданов А.В., Дзанагов С.Х. Пищевой режим чернозема выщелоченного под яблоней сорта Айдаред в зависимости от удобрений // Перспективы развития АПК в современных условиях: материалы конференции. Владикавказ: Горский ГАУ, 2019. С. 6-11. EDN: [DAQNMY](#)
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. EDN: [ZJQBUD](#)
3. Кондаков А.К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур. Мичуринск, 2006. 254 с.
4. Кузин А.И. К вопросу о листовой диагностике минерального питания саженцев яблони на слаборослых подвоях // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2004. № 1-2. С. 117-121. EDN: [WRWIGU](#)
5. Кузин А.И. Оптимизация системы удобрения яблони в интенсивных садах ЦЧР: дис. ... д-ра. с-х. наук. Мичуринск, 2018. 452 с. EDN: [POVOKB](#)
6. Кузин А.И., Трунов Ю.В. Особенности почвенно-лиственной диагностики калийного питания яблони // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 1. С. 16-17. EDN: [VZSWCB](#)
7. 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. EDN: [IQKGGV](#)
8. Лукин С.В., Васенев И.И., Цыгуткин А.С. Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания обменного калия в черноземах западной части ЦФО // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 8. С. 42-46. EDN: [MUIJP](#)
9. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большеева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. Практикум по агрохимии. М.: МГУ, 2001. 689 с. EDN: [SDGGCT](#)
10. Сергеева Н.Н., Савин И.Ю., Трунов Ю.В., Драгавцева И.А., Моренец А.С. Многолетняя динамика агрохимических свойств черноземов под яблоневыми садами // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. № 93. С. 21-39. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-21-39>. EDN: [XWPLRZ](#)
11. Фоменко Т.Г., Попова В.П., Черников Е.А., Дрыгина А.И., Лебедевский И.А., Узловатый Д.В., Мязина А.Н. Миграция биогенных элементов в черноземе типичном при фертигации

- плодовых насаждений // Агрoхимия. 2021. № 3. С. 60-70. <https://doi.org/10.31857/S0002188121040050>. EDN: VZEGLZ
12. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с. EDN: YYCQAO
 13. Cheng L. Optimizing Nitrogen and Potassium Management to Foster Apple Tree Growth and Cropping Without Getting 'Burned' // Fruit quarterly. 2013. Vol. 21, № 1. P. 21-24. <http://nyshs.org/wp-content/uploads/2016/10/4.Optimizing-Nitrogen-and-Potassium-Management-to-Foster-Apple-Tree-Growth-and-Cropping-Without-Getting-Burned.pdf>
 14. Hou W., Trankner M., Lu J., Yan J., Huang S., Ren T., Cong R., Li X. Interactive effects of nitrogen and potassium on photosynthesis and photosynthetic nitrogen allocation of rice leaves // BMC Plant Biology. 2019. Vol. 19. P. 302. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1894-8>
 15. Kuchenbuch R., Claassen N., Jungk A. Potassium availability in relation to soil moisture // Plant and Soil. 1986. Vol. 95. P. 221-231. <https://doi.org/10.1007/BF02375074>
 16. Kuzin A.I., Kashirskaya N.Y., Kochkina A.M., Kushner A.V. Correction of potassium fertigation rate of apple tree (*Malus domestica* Borkh.) in Central Russia during the growing season // Plants. 2020. Vol. 9, № 10. P. 1366. <https://doi.org/10.3390/plants9101366>
 17. Kuzin A., Solovchenko A. Essential role of potassium in apple and Its Implications for management of orchard fertilization // Plants. 2021. Vol. 10, № 12. P. 2624. <https://doi.org/10.3390/plants10122624>
 18. Leonteva L. Influence of mineral fertilizers on potash nutrition and productivity of columnar apple // BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 36. P. 03011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213603011>
 19. Nachtigall G.R., Dechen A.R. Seasonality of nutrients in leaves and fruits of apple trees // Scientia Agricola. 2006. Vol. 63, № 5. P. 493-501. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000500012>
 20. Nieves-Cordones M., Al Shiblawi F.R., Sentenac H. Roles and transport of sodium and potassium in plants // The Alkali Metal Ions: Their Role for Life. Metal Ions in Life Sciences / editors A. Sigel, H. Sigel, R. Sigel. Cham: Springer, 2016. Vol. 16. P. 291-324. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21756-7_9
 21. Roeva T., Leonicheva E., Leonteva L., Stolyarov M. Potassium dynamics in orchard soil and potassium status of sour cherry affected by soil nutritional conditions // Central European Agriculture. 2022. Vol. 23, № 1. P. 103-113. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.1.3313>
 22. Sadowski A., Kepka M., Lenz F., Engel G. Effect of fruit load on leaf nutrient content of apple trees // Acta Horticulturae. 1995. Vol. 383. P. 67-71. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.383.7>
 23. Szewczuk A., Komosa A., Gudarowska E. Effect of soil potassium levels and different potassium fertilizer forms on yield and storability of 'Golden delicious' apples // Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus. 2008. Vol. 7, № 2. P. 53-59. <https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/asphc/article/view/3690/2504>

References

1. Aseva, T.D., Gazdanov, A.V., & Dzanagov, S.Kh. (2019). The nutritional regime of leached chernozem under the apple cv. Idared, depending on fertilizers. In: *Development prospects for the agro-industrial complex in modern conditions: proc. sci. conf.* (pp. 6-11). Vladikavkaz: Gorsk State Agrarian University. EDN: DAQNMY (In Russian)
2. Dospikhov, B.A. (1985). *Method of field experiment*. Moscow: Agropromizdat. EDN: ZJQBUD (In Russian).
3. Kondakov, A.K. (2006). *Fertilization of fruit trees, berries, nurseries and flower crops*. Michurinsk. (In Russian).

4. Kuzin, A.I. (2004). About the problem of leaf diagnostics of mineral nutrition of apple seedlings on weak vigor rootstocks. *The Bulletin of Michurinsk state agrarian university*, 1-2, 117-121. EDN: [WRWIGU](#) (In Russian, English abstract).
5. Kuzin, A.I. (2018). *Apple fertilizing system optimization in CChR (Agri. Sci. Doc. Thesis)*. Michurinsk state agrarian university. EDN: [POVOKB](#) (In Russian).
6. Kuzin, A.I., & Trunov, Yu.V. (2016). Specific features of soil-leafy diagnostics for potassium nutrition of apple tree. *Vestnik of the russian agricultural science*, 1, 16-17. EDN: [VZSWCB](#) (In Russian, English abstract).
7. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leonteva, 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. EDN: [IQKGGV](#) (In Russian, English abstract).
8. Lukin, S.V., Vasenev, I.I., & Tsygutkin, A.S. (2010) Agroecological evaluation of exchangeable potassium long-term dynamics in Chernozems at the Western part of Central chernozemic region of Russia. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*, 8, 42-46. EDN: [MUPIJP](#) (In Russian, English abstract).
9. Mineev, V.G., Sychev, V.G., Ameljanchik, O.A., Bolysheva, T.N., Gomonova, N.F., Durykina, E.P., Egorov, B.C., Egorova, E.V., Edemskaja, N.L., Karpova, E.A., & Prizhukova, V.G. (2001). *Agrochemical practicum*. Moscow: MSU. EDN: [SDGGCT](#) (In Russian).
10. Sergeeva, N.N., Savin, I.Yu., Trunov, Yu.V., Dragavceva, I.A., & Morenec, A.S. (2018). The long-term dynamics of chernozems agro-chemical properties under apple orchards. *Dokuchaev soil bulletin*, 93, 21-39. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-21-39>. EDN: [XWPLRZ](#) (In Russian, English abstract).
11. Fomenko, T.G. Popova, V.P., Chernikov, E.A., Drygina, A.I., Lebedovskij, I.A., Uzlovatyj, D.V., & Mjazina, A.N. (2021). Migration of biogenic elements in Chernozem typical of fruit orchards fertigation. *Agrohimia*, 3, 60-70. <https://doi.org/10.31857/S0002188121040050>. EDN: [VZEGLZ](#) (In Russian, English abstract).
12. Tserling, V.V. (1990). *Diagnostics of agricultural crop nutrition*. Moscow: Agropromizdat. EDN: [YYCQAO](#) (In Russian).
13. Cheng, L. (2013). Optimizing Nitrogen and Potassium Management to Foster Apple Tree Growth and Cropping Without Getting ‘Burned’. *Fruit quarterly*, 21, 21-24. <http://nyshs.org/wp-content/uploads/2016/10/4.Optimizing-Nitrogen-and-Potassium-Management-to-Foster-Apple-Tree-Growth-and-Cropping-Without-Getting-Burned.pdf>
14. Hou, W., Trankner, M., Lu, J., Yan, J., Huang, S., Ren, T., Cong, R., & Li, X. (2019). Interactive effects of nitrogen and potassium on photosynthesis and photosynthetic nitrogen allocation of rice leaves. *BMC Plant Biology*, 19, 302. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1894-8>
15. Kuchenbuch, R., Claassen, N., & Jungk, A. (1986). Potassium availability in relation to soil moisture. *Plant and Soil*, 95, 221-231. <https://doi.org/10.1007/BF02375074>
16. Kuzin, A.I., Kashirskaya, N.Y., Kochkina, A.M., & Kushner, A.V. (2020). Correction of potassium fertigation rate of apple tree (*Malus domestica* Borkh.) in Central Russia during the growing season. *Plants*, 9(10), 1366. <https://doi.org/10.3390/plants9101366>
17. Kuzin, A., & Solovchenko, A. (2021). Essential role of potassium in apple and its implications for management of orchard fertilization. *Plants*, 10(12), 2624. <https://doi.org/10.3390/plants10122624>
18. Leonteva, L. (2021). Influence of mineral fertilizers on potash nutrition and productivity of columnar apple. *BIO Web of Conferences*, 36, 03011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213603011>
19. Nachtigall, G.R., & Dechen, A.R. (2006). Seasonality of nutrients in leaves and fruits of apple trees. *Scientia Agricola*, 63(5), 493-501. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000500012>

20. Nieves-Cordones, M., Al Shiblawi, F.R., & Sentenac, H. (2016). Roles and Transport of Sodium and Potassium in Plants. In Sigel, A., Sigel, H., & Sigel, R. (Eds), *The Alkali Metal Ions: Their Role for Life. Metal Ions in Life Sciences* (Vol. 16, pp 291-324). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21756-7_9
21. Roeva, T., Leonicheva, E., Leonteva, L., & Stolyarov, M. (2022). Potassium dynamics in orchard soil and potassium status of sour cherry affected by soil nutritional conditions. *Central European Agriculture*, 23(1), 103-113. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.1.3313>
22. Sadowski, A., Kepka, M., Lenz, F., & Engel, G. (1995). Effect of fruit load on leaf nutrient content of apple trees. *Acta Horticulturae*, 383, 67-72. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.383.7>
23. Szewczuk, A., Komosa, A., & Gudarowska, E. (2008). Effect of soil potassium levels and different potassium fertilizer forms on yield and storability of 'Golden delicious' apples. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 7(2), 53-59. <https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/asphc/article/view/3690/2504>

Авторы:

Алексей Васильевич Кушнер, аспирант ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»), alexkoushner@mail.ru
SPIN: 2615-2334 ORCID: 0009-0005-7594-0413

Андрей Иванович Кузин, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»); профессор кафедры садоводства, биотехнологий и селекции сельскохозяйственных культур ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ»); профессор кафедры биологии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина» (ФГБОУ ВО «Тамбовский ГУ им. Г.Р. Державина»), andrey.kuzin1967@yandex.ru
SPIN: 1122-2680 ORCID: 0000-0002-0446-0085

Authors details:

Alexei Kushner, post graduate student in I.V. Michurin Federal Scientific Centre, alexkoushner@mail.ru
SPIN: 2615-2334 ORCID: 0009-0005-7594-0413

Andrei Kuzin, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher in I.V. Michurin Federal Scientific Centre; professor of the department for horticulture, biotechnologies and selection of agricultural crops of Michurinsk State Agrarian University; professor of the department for biology and biotechnology of Derzhavin Tambov State University, andrey.kuzin1967@yandex.ru
SPIN: 1122-2680 ORCID: 0000-0002-0446-0085

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.