

Динамика содержания макроэлементов в растениях сахарной свеклы при применении микроудобрений

С. А. Семина¹, Е. В. Жеряков¹✉, Ю. И. Жерякова¹

¹ Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

✉ E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

Аннотация. Цель работы заключается в изучении влияния некорневой обработки различными видами комплексных удобрений с микроэлементами в хелатной форме на динамику азота, фосфора и калия в листьях и корнеплодах сахарной свеклы. **Новизна** состоит в том, что впервые в условиях лесостепи Среднего Поволжья изучено влияние жидких микроэлементных удобрений на содержание макроэлементов в растениях сахарной свеклы. **Методы.** Учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам. **Результаты.** Установлено, что через 10 суток после первой некорневой обработки содержание азота в листьях увеличилось на 0,36–1,08 %, однако отмечено уменьшение накопления фосфора и калия. В корнеплодах за этот период содержание азота уменьшилось на 0,32–0,45 %. Прослеживается тенденция снижения концентрации фосфора и калия по сравнению с его содержанием до foliarной обработки. Определение содержания макроэлементов через 10 суток после второй обработки показало, что при некорневой обработке растений препаратами «ПОЛИДОН Амино Цинк» и «ПОЛИДОН Бор» содержание азота в листьях увеличилось на 0,82–0,88 %. В этих же вариантах отмечена тенденция роста содержания фосфора, но по всем вариантам опыта отмечено снижение поступления калия в листья сахарной свеклы. Выявлено, что содержание азота в листьях увеличилось на 0,07 % после внесения борного и цинксодержащего микроудобрений за 20 суток до уборки. При применении микроэлементных удобрений отмечена тенденция роста содержания фосфора в листьях. В корнеплодах во всех вариантах с микроэлементами отмечен прирост азота. В содержании фосфора значимых различий независимо от вида препарата не выявлено, отмечено снижение калия. Наибольшая урожайность корнеплодов была получена при трехкратной некорневой обработке посевов препаратом «ПОЛИДОН Бор» и превышала контроль на 11,1%.

Ключевые слова: сахарная свекла, комплексные удобрения, микроэлементы, азот, фосфор, калий, урожайность.

Для цитирования: Семина С. А., Жеряков Е. В., Жерякова Ю. И. Динамика содержания макроэлементов в растениях сахарной свеклы при применении микроудобрений // Аграрный вестник Урала. 2020. № 01 (204). С. 21–29. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-204-01-21-29.

Дата поступления статьи: 12.11.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Сахарная свекла – это высокопроизводительная и высокодоходная культура, требующая высокой интенсификации производства. Новые высокопродуктивные сорта отличаются более интенсивным обменом веществ, что требует достаточной обеспеченности всеми элементами питания, включая микроэлементы [1], [2]. Как культура интенсивного типа сахарная свекла требовательна к условиям питания. Основными элементами, которые сахарная свекла потребляет в относительно больших объемах, являются азот, фосфор, калий, магний, кальций и натрий. Однако немаловажное значение в питании данной культуры принадлежит микроэлементам, содержание которых составляет тысячные и десятитысячные доли массы растений. Агрохимическая и физиологическая роль микроэлементов состоит в том, что они улучшают обмен веществ и устраняют его функциональные нарушения; содействуют нормальному течению физиолого-биохимических процессов; положительно влияют на процессы синтеза хлорофилла; повышают иммунитет растений и их устойчивость

к болезням; предотвращают физиологическую депрессию, вызванную природно-климатическими стрессами, действием пестицидов; воздействуют на интенсивность разнообразных ферментных процессов (окислительно-восстановительные реакции растений) как активаторы или как ингибиторы активности; положительно влияют на урожай и качество растительной продукции [3, с. 50], [4, с. 52], [5, с. 55].

Внесение микроудобрений по вегетирующим растениям на фонах основной удобренности способствовало существенному повышению урожайности сахарной свеклы: на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + полихелат 1 л/га + «Бор-Актив» сбор корнеплодов с гектара составил 45,0 т/га, что на 40,6 % выше, чем в контроле, и на 11,1–25,6 % выше, чем на фонах основной удобренности [5, с. 57]. Исследования О. А. Минаковой, Л. В. Тамбовцевой, Л. В. Александровой доказывают, что на фоне естественного плодородия почвы при использовании 0,4 + 0,2 л/га и 0,6 + 0,3 л/га «Микровита» совместно с 0,5 и 1,0 л/га «Органо-Бора» было собрано больше корнеплодов соответственно на

4,9 и 3,8 т/га [6]. В результате проведенных исследований [19, с. 119] установлена высокая эффективность применения биопрепаратов «Гуапсин плюс» и «Трихофит плюс» на посевах сахарной свеклы в условиях черноземных почв. Двукратная обработка посевов смесью препаратов «Гуапсин плюс» и «Триховит плюс» в фазе «смыкание рядков» + в фазе «смыкание листьев в междурядьях» при дифференцированном внесении минеральных удобрений по экспериментальным участкам повышала урожайность сахарной свеклы на 7,5 т/га, или 11,0 %, содержание сахара в корнеплодах – на 2,0 %.

Исследования показали, что минимальной урожайность сахарной свеклы в опыте с полихелатом и борным удобрением была в контроле – 32,0 т/га, максимальной – в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + полихелат (1 л/га) + «Бор-Актив» (1 л/га) – 45,0 т/га, что на 40,6 % выше, чем в контроле. Удобрения в дозе $N_{45}P_{45}K_{45}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ повышали урожайность сахарной свеклы в сравнении с контролем (без удобрений) на 11,1 и 25,6 % соответственно, а применение полихелата на данных фонах увеличивало урожайность на 29,0 и 40,6 % относительно контроля (эффект синергизма), двойной дозы полихелата и «Бор-Актив» (2 л/га) не способствовало увеличению показателя, он оставался на уровне варианта без внекорневой подкормки (эффект антагонизма) [4, с. 54].

«Экстра Бор» и «Амино Ацид» в 2011 году обеспечили повышение продуктивности сахарной свеклы на 27,6 и 24,7 %, а «Дабл Вин» – на 16,8 %. В 2012 году применение «Лариксина», «Авибифа», «Биобарса-М» и «Амино Тотала» обеспечило прирост урожайности сахарной свеклы от 32,1 до 42,2 % [10, с. 43].

Среди всех микроэлементов ведущая роль принадлежит бору. Его недостаток вызывает у сахарной свеклы гниль сердечка – заболевание, в результате которого снижается урожайность корнеплодов, ботвы, содержание сахара, лежкость при хранении. Поскольку для сахарной свеклы оптимальной реакцией почвы является нейтральная или слабощелочная, поэтому часто проводится известкование, что дополнительно снижает подвижность и доступность бора для растений. При недостатке бора особенно страдают молодые, растущие органы. Прежде всего, происходит заболевание и отмирание точек роста. При недостатке бора растения поражаются сухой гнилью. Особенно большую роль играет бор в условиях известкования кислых подзолистых почв, так как известкование уменьшает доступность бора, закрепляет его в почве и задерживает поступление в растения.

Помимо бора, сахарная свекла отличается повышенным выносом цинка (порядка 600 г/га), марганца (около 1000 г/га) и молибдена (около 30 г/га). Значение цинка для роста растений тесно связано с его участием в азотном обмене. Под влиянием цинка улучшаются синтез сахаров и крахмала, общее содержание углеводов, белковых веществ, аскорбиновой кислоты и хлорофилла, повышаются засухо-, жаро- и холодостойкость растений. При недостатке цинка в растениях накапливаются редуцирующие сахара и уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается накопление органических кислот, снижается

содержание ауксина, нарушается синтез белка. При цинковом голодании происходит накопление небелковых растворимых соединений азота: амидов и аминокислот. Почти 60 % пахотных почв имеет низкое содержание цинка – в среднем 0,2 мг/кг, а этого недостаточно для формирования высоких урожаев многих сельскохозяйственных культур.

Молибден является незаменимым металлокомпонентом многих ферментов. Он участвует в углеводном, азотном и фосфорном обменах, синтезе витаминов и хлорофилла, повышает интенсивность фотосинтеза, входит в состав фермента нитратредуктазы, при участии которого в растениях происходит восстановление нитратов до аммиака. Сахарная свекла чувствительна к дефициту этого элемента. При недостаточной обеспеченности молибденом ослабляется рост растений. Молибден участвует в метаболизме, способствует эффективному усвоению азота растениями, влияет на процесс фотосинтеза, увеличивает интенсивность прохождения этих процессов. Хорошая обеспеченность растения молибденом способствует нормальному прохождению процесса фотосинтеза при низких температурах воздуха и плохого освещения. Основным источником питания растений молибденом является почва. Почвы лесостепи мало обеспечены подвижными формами молибдена (0,2 до 5 мг/кг). Факторами, которые повышают его подвижность, являются известкование почвы и внесение фосфорных удобрений. Это связано с уменьшением содержания в почве подвижного алюминия и образованием легкодоступных для растений молибдат-фосфатных ионов.

В растениях сахарной свеклы марганец влияет на перераспределение и накопление сахаров, усиливает отток углеводов из листовых пластинок к корнеплоду. Благодаря своим химическим свойствам марганец играет важную роль в окислительно-восстановительных реакциях, усиливает активность ряда ферментов и входит в состав некоторых из них. Наличие марганца в питательной среде снижает содержание белкового азота в органах клеток. При дефиците этого элемента подавляются процессы дыхания и фотосинтетическая активность. Доказано также, что марганец участвует в процессе дыхания и окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растениях. Соединения марганца усиливают активность многих ферментов. Повышается сахаристость сахарной свеклы [7, с. 1103, 1107–1111].

С ростом урожайности сельскохозяйственных культур увеличивается вынос микроэлементов из почвы. Потребность в микроудобрениях растет и в связи с увеличением применения концентрированных, а значит, лучше очищенных минеральных удобрений, в которых микроэлементы содержатся в незначительных количествах. Микроэлементы не могут заменять другие питательные вещества, а лишь дополняют их действие, при этом ни один из них не может быть использован вместо другого. Особенно сильно потребность в микроудобрениях возрастает при внесении повышенных доз азота, фосфора и калия. Это связано с тем, что при внесении высоких доз фосфора уменьшается доступность растениям цинка, калийных –

бора, азотных – меди и молибдена [8, с. 153], [9, с. 118]. Применение удобрений, содержащих микроэлементы, обеспечивает увеличение урожайности и улучшает качество растительной продукции, ее пищевую ценность [10, с. 46], [11, с. 39], [12, с. 43], [13].

Главный источник микроэлементов – почва. Из нее они поступают в растения, а через них – в животный и человеческий организм. Основным источником поступления их в почву является почвообразующая порода. Недостаток или избыток в почве микроэлементов вызывает у растений значительные отклонения в росте и развитии, стимулируя их или угнетая, потому что все процессы в живом организме происходят при содействии биологически активных веществ – ферментов, витаминов, гормонов, – составной частью которых являются микроэлементы [7, с. 1104].

Современным направлением в области агрономии является поиск и разработка таких приемов, которые могли бы повысить урожайность культурных растений без увеличения норм внесения удобрений. Одно из таких направлений – широкое применение методов «биологической коррекции» продуктивности сельскохозяйственных культур, из которых к весьма эффективным на сегодняшний день относится некорневая обработка растений различными микроэлементами. Высокую эффективность данному агротехническому приему гарантирует относительно низкая его себестоимость. Кроме того, некорневая подкормка позволяет равномерно распределить обычно небольшие дозы микроудобрений, которые в случае даже минимальной передозировки могут оказывать негативный эффект; опрыскивание растворенными в воде удобрениями надземных органов сахарной свеклы исключает возможность связывания элементов питания почвенно-поглощающим комплексом, что существенно увеличивает коэффициент их использования растениями. Некорневая обработка позволяет уравнивать дисбалансы питательных веществ быстро и целенаправленно во время максимальной потребности. Листовые подкормки удобно совмещать с пестицидными обработками [14, с. 9], [15], [16, с. 75], [17, с. 1781].

В настоящее время существует большое количество содержащих микроэлементы препаратов для внекорневых подкормок. Многие из этих удобрений являются универсальными и предназначаются для подкормки различных сельскохозяйственных культур. При этом в зависимости от культуры меняются дозы и кратность подкормок, но соотношение элементов питания в препарате остается постоянным. Важную роль играет химическая форма микроэлементов в удобрениях [11], [12], [18, с. 4–6].

Сельхозтоваропроизводителям предлагается широкий спектр микроэлементных удобрений, поэтому детальное изучение этих форм удобрений представляет научный и практический интерес. Однако влияние их на динамику питательных веществ в растении и формирование урожайности и качества сахарной свеклы в условиях лесостепи Среднего Поволжья изучено недостаточно, что и определило актуальность и цель исследования.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в 2018–2019 гг. в ООО «Красная Горка» Кольшлейского района Пензенской области. Опыт был заложен по схеме: фактор А – вид микроэлементного удобрения: 1) без удобрений (контроль); 2) «ПОЛИДОН Амино Цинк» (L-аминокислоты и олигопептиды – 250 г/л; N_{общ.} – 100 г/л; Zn – 80 г/л) – 0,6 л/га; 3) «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден» (L-аминокислоты и олигопептиды – 200 г/л; B – 75 г/л; N_{общ.} – 50 г/л; Mo – 25 г/л) – 0,6 л/га; 4) «ПОЛИДОН Амино Марганец» (L-аминокислоты и олигопептиды – 250 г/л; N_{общ.} – 100 г/л; Mn – 80 г/л) – 0,6 л/га; 5) «ПОЛИДОН Бор» (B – 150 г/л; N_{общ.} – 50 г/л; Mo – 1 г/л) – 1,0 л/га; фактор В – срок обработки: 1) 3–4 пары настоящих листьев; 2) через 10 суток после первой обработки; 3) за 20 суток до уборки. Повторность опыта трехкратная.

Микроэлементы в изучаемых удобрениях находятся в хелатной форме. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, пахотный слой которого характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 5,64 %, подвижных форм азота (по Корнфильду) – 103 мг/кг, фосфора и калия (ГОСТ 26204-91) – 94 и 100 мг/кг соответственно; рН_{KCl} (ГОСТ 26483-85) – 5,5, гидролитическая кислотность Нг (ГОСТ 26212-91) – 4,8 мг-экв / 100 г, сумма поглощенных оснований – 29,8 мг-экв / 100 г почвы (ГОСТ 27821-88). Содержание азота, фосфора и калия в растениях сахарной свеклы определяли согласно нормативному документу на методы испытания.

Предшественник сахарной свеклы – чистый пар. Агротехника была общепринятой для условий Пензенской области. Нормы минеральных удобрений – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ – общепринятые для условий Пензенской области. Фосфорные и калийные удобрения вносили под основную обработку почвы, азотные – весной под предпосевную обработку почвы. Посев гибрида сахарной свеклы Спартак F1 проведен 30 апреля в 2018 г. и 25 апреля в 2019 г. Норма высева – 125 тыс. шт/га. Ширина междурядья – 45 см. Глубина заделки семян – 3–4 см.

F1 Спартак: вегетационный период – 160–165 дней, нормальный тип. Гибрид с высоким уровнем урожайности и средней сахаристости. Листовая розетка крупная, полупрямостоячая. Форма корнеплода конусовидная; погруженность корнеплода в почву составляет 90 %. Устойчив к афаномицетной гнили, рамуляриозу и ризомании. Толерантен к церкоспорозу, мучнистой росе и цветущности. Высокая пластичность в различных почвенно-климатических условиях. Рекомендуются для средних и поздних сроков уборки.

Расход рабочей жидкости при некорневой обработке – 200 л/га. Площадь делянки – 14 га. За весь период вегетации сахарной свеклы количество осадков в 2018 году составило 104,8 мм, а сумма положительных температур (выше 10 °С) – 2753,1 °С (ГТК 0,38). В 2019 году количество осадков составило 193,3 мм, но они выпадали неравномерно. Сумма активных температур составила 2550,7 °С, а гидротермический коэффициент, характеризующий сложившиеся погодные условия с недостаточным увлажнением, – 0,76.

Таблица 1
Содержание NPK в растениях сахарной свеклы, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант	Листья, % в СВ			Корнеплод, % в СВ		
	N	P	K	N	P	K
Перед обработкой микроэлементными удобрениями						
Среднее по вариантам	2,16	0,48	5,52	2,04	0,54	2,74
Перед 2-й обработкой						
Без удобрения (контроль)	2,16	0,28	4,88	1,25	0,30	1,40
«ПОЛИДОН Амино Цинк»	2,98	0,27	3,70	1,59	0,34	1,52
«ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден»	2,52	0,26	4,46	1,66	0,36	1,67
«ПОЛИДОН Амино Марганец»	2,98	0,27	4,42	1,68	0,38	1,81
«ПОЛИДОН Бор»	3,24	0,30	4,34	1,72	0,39	1,82
Через 10 суток после 2-й обработки						
Без удобрения (контроль)	2,23	0,28	4,66	1,08	0,26	1,20
«ПОЛИДОН Амино Цинк»	3,16	0,27	3,21	1,62	0,39	1,74
«ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден»	2,54	0,26	4,00	1,82	0,42	1,74
«ПОЛИДОН Амино Марганец»	3,80	0,29	3,79	1,82	0,44	2,02
«ПОЛИДОН Бор»	4,12	0,32	3,76	1,76	0,44	2,28
За 20 суток до уборки						
Без удобрения (контроль)	3,14	0,30	4,50	0,83	0,26	0,62
«ПОЛИДОН Амино Цинк»	3,17	0,26	3,79	0,86	0,28	1,16
«ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден»	3,14	0,25	3,96	0,94	0,28	1,13
«ПОЛИДОН Амино Марганец»	3,20	0,27	3,48	0,98	0,29	1,15
«ПОЛИДОН Бор»	3,24	0,32	4,23	0,98	0,30	1,06
Перед уборкой						
Без удобрения (контроль)	1,94	0,34	4,50	0,44	0,22	0,49
«ПОЛИДОН Амино Цинк»	3,24	0,36	4,02	1,18	0,27	0,96
«ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден»	2,78	0,32	4,44	1,16	0,29	0,98
«ПОЛИДОН Амино Марганец»	3,09	0,34	3,40	1,26	0,34	1,02
«ПОЛИДОН Бор»	3,31	0,34	4,40	1,39	0,30	1,06

Table 1
NPK content in sugar beet plants, average for 2018–2019

Option	Leaves, % in dry matter (DM) content			Root crops, % in dry matter (DM) content		
	N	P	K	N	P	K
Before processing with microelement fertilizers						
The average by options	2.16	0.48	5.52	2.04	0.54	2.74
Before the 2nd treatment						
Without fertilizers (control)	2.16	0.28	4.88	1.25	0.30	1.40
"POLIDON Amino Tsink"	2.98	0.27	3.70	1.59	0.34	1.52
"POLIDON Amino Bor-Molibden"	2.52	0.26	4.46	1.66	0.36	1.67
"POLIDON Amino Marganets"	2.98	0.27	4.42	1.68	0.38	1.81
"POLIDON Bor"	3.24	0.30	4.34	1.72	0.39	1.82
10 days after the 2nd treatment						
Without fertilizers (control)	2.23	0.28	4.66	1.08	0.26	1.20
"POLIDON Amino Tsink"	3.16	0.27	3.21	1.62	0.39	1.74
"POLIDON Amino Bor-Molibden"	2.54	0.26	4.00	1.82	0.42	1.74
"POLIDON Amino Marganets"	3.80	0.29	3.79	1.82	0.44	2.02
"POLIDON Bor"	4.12	0.32	3.76	1.76	0.44	2.28
20 days before harvesting						
Without fertilizers (control)	3.14	0.30	4.50	0.83	0.26	0.62
"POLIDON Amino Tsink"	3.17	0.26	3.79	0.86	0.28	1.16
"POLIDON Amino Bor-Molibden"	3.14	0.25	3.96	0.94	0.28	1.13
"POLIDON Amino Marganets"	3.20	0.27	3.48	0.98	0.29	1.15
"POLIDON Bor"	3.24	0.32	4.23	0.98	0.30	1.06
Before harvesting						
Without fertilizers (control)	1.94	0.34	4.50	0.44	0.22	0.49
"POLIDON Amino Tsink"	3.24	0.36	4.02	1.18	0.27	0.96
"POLIDON Amino Bor-Molibden"	2.78	0.32	4.44	1.16	0.29	0.98
"POLIDON Amino Marganets"	3.09	0.34	3.40	1.26	0.34	1.02
"POLIDON Bor"	3.31	0.34	4.40	1.39	0.30	1.06

Результаты (Results)

Анализ динамики содержания макроэлементов в надземной и подземной частях растений сахарной свеклы показал, что опрыскивание посевов сахарной свеклы растворами микроэлементных удобрений в фазу 3–4 пар настоящих листьев улучшало условия азотного питания, о чем свидетельствует накопление азота в листьях (таблица 1). Через 10 суток после первого внесения микроэлементов содержание азота в листьях увеличилось на 0,36–1,08 абс. % Следует отметить, что наибольшее накопление азота зафиксировано при применении препарата «ПОЛИДОН Бор», а минимальное – при фолиарной обработке удобрением «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден».

Однако отмечено уменьшение накопления фосфора и калия. Содержания фосфора в листьях снизилось на 0,18–0,22 абс. %, а калия – на 0,64–1,82 абс. % в зависимости от микроэлементных удобрений. Наиболее негативное влияние на накопление калия в листьях в этот период оказало применение препарата «ПОЛИДОН Амино Цинк».

Достаточное содержание в листьях азота, фосфора и калия способствует нормальному физиологическому процессу образования органических веществ в ассимиляционном аппарате, а наличие основных элементов питания в корнеплодах является показателем их технологического качества и оказывает существенное влияние на ход технологического процесса по переработке корнеплодов на сахарном заводе и количественный выход сахара в кристаллах. Азот, фосфор и калий локализуются преимущественно в листьях сахарной свеклы, в корнеплодах их содержание было ниже.

В подземных частях растений при некорневой обработке хелатированными удобрениями перед второй обработкой отмечено снижение содержания макроэлементов. Содержание азота в вариантах с микроэлементными удобрениями уменьшилось на 0,32–0,45 абс. %, а на контрольном варианте – на 0,79 абс. % Наибольшее содержание азота в корнеплодах сахарной свеклы было отмечено при об-

работке посевов препаратами «ПОЛИДОН Бор» и «ПОЛИДОН Амино Марганец» и составило 1,72 % и 1,68 % соответственно. Исследованиями отмечено снижение концентрации фосфора по сравнению с его содержанием до фолиарной обработки на 27–44 %.

При этом наименьшее его содержание было отмечено на контрольном варианте, где микроэлементные удобрения не применялись. Для оптимального роста и развития сахарной свеклы фосфор необходим в течение всего вегетационного периода. Потребность растений в этом элементе значительно меньше, чем в азоте и калии. С участием фосфора происходит синтез сахарозы в листьях, которая сосредотачивается в корнеплодах. Как показали результаты исследований, максимальное содержание калия в корнеплодах сахарной свеклы опыта накапливается в фазу 3–4 пар настоящих листьев, а затем происходит его постепенное снижение. Содержание калия в корнеплодах через 10 суток после опрыскивания растворами микроэлементных удобрений уменьшилось в 1,5–1,8 раза, причем наиболее значительное снижение калия выявлено при внесении препарата «ПОЛИДОН Амино Цинк», а наибольшее его содержание в корнеплодах – при обработке удобрением «ПОЛИДОН Бор».

Определение содержания азота в растениях сахарной свеклы через 10 суток после второй обработки показало, что лучшие показатели получены при некорневой обработке растений препаратами «ПОЛИДОН Амино Марганец» и «ПОЛИДОН Бор», где прирост по сравнению с предыдущим определением составил 0,82–0,88 абс. %. Это косвенное свидетельство эффективно функционирующего ассимиляционного аппарата растений сахарной свеклы. В этих же вариантах отмечена тенденция роста содержания фосфора в надземной части растений на 7,4 %. По всем вариантам опыта отмечено снижение поступления калия в листья сахарной свеклы. При этом наибольшее его содержание в листьях было отмечено на контрольном варианте и при обработке микроэлементным удобрением «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден».

Таблица 2
Биологическая урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы, среднее за 2018–2019 гг.

Вариант	Урожайность, т/га	Относительно контроля		Сахаристость, %
		± т/га	%	
Без удобрения (контроль)	51,74	–	–	17,68
«ПОЛИДОН Амино Цинк»	54,29	2,55	4,9	18,47
«ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден»	53,68	1,94	3,7	19,03
«ПОЛИДОН Амино Марганец»	54,20	2,46	4,8	18,22
«ПОЛИДОН Бор»	57,48	5,74	11,1	19,48

Table 2
Biological yield and quality of sugar beet root crops, average for 2018–2019

Option	Yield, t/ha	With control		Sugar content, %
		± t/ha	%	
Without fertilizers (control)	51.74	–	–	17.68
“POLIDON Amino Tsink”	54.29	2.55	4.9	18.47
“POLIDON Amino Bor-Molibden”	53.68	1.94	3.7	19.03
“POLIDON Amino Marganets”	54.20	2.46	4.8	18.22
“POLIDON Bor”	57.48	5.74	11.1	19.48

В корнеплодах за этот период в варианте без применения жидких микроэлементных удобрений отмечено снижение содержания всех изучаемых макроэлементов: азота на 0,17 абс. %, фосфора – на 0,04, калия – на 0,20 абс. % Применение микроудобрений способствовало лучшему поступлению азота в корнеплоды. Прибавка варьировала от 0,03–0,04 абс. % при обработке посевов препаратами «ПОЛИДОН Амино Цинк» и «ПОЛИДОН Бор» до 0,14–0,16 абс. % при применении удобрений «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден» и «ПОЛИДОН Амино Марганец». Применение микроэлементных удобрений способствовало увеличению содержания фосфора на 0,05–0,06 абс. % в зависимости от удобрений. Наибольшее его количество в корнеплодах сахарной свеклы было отмечено на варианте с применением препаратов «ПОЛИДОН Амино Марганец» и «ПОЛИДОН Бор» и составило 0,44 %.

Фолиарная обработка удобрением «ПОЛИДОН Бор» способствовала наибольшему накоплению калия, содержание которого в корнеплодах увеличилось на 0,46 абс. % и составило 2,28 %, а применение марганцевых и цинковых микроудобрений – на 0,21 и 0,22 абс. % соответственно.

К концу вегетации содержание элементов питания в листьях и корнеплодах уменьшается за счет так называемого «ростового разбавления». В течение всей вегетации содержание элементов питания в листьях превышало их содержание в корнеплодах. Перед третьей фолиарной обработкой в период интенсивного роста корнеплода содержание азота в листьях на контрольном варианте составило 3,14 %. На вариантах, где ранее применялись цинковые микроудобрения, количество азота было на 0,03 абс. % больше, чем на контроле, марганцевые – на 0,06, борные – на 0,1 абс. % Содержание фосфора в листьях практически не изменилось и составило от 0,25% до 0,32% в зависимости от микроудобрений. Содержание калия на контрольном варианте составило 4,50 %. На вариантах с фолиарной обработкой микроэлементными удобрениями количество данного макроэлемента было меньше на 0,27–1,02 абс. % в зависимости от микроудобрения меньше, чем на контрольном варианте.

В корнеплодах за 20 суток до уборки при некорневой обработке микроэлементными удобрениями содержание азота составило 0,86–0,98 %, что на 0,03–0,15 абс. % больше, чем на контрольном варианте. Наибольшее количество этого макроэлемента было на варианте с применением препаратов «ПОЛИДОН Амино Марганец» и «ПОЛИДОН Бор». Содержание фосфора в корнеплодах было практически одинаковым на всех изучаемых вариантах и на контроле и составило 0,26–0,30 %. Содержание калия на варианте без применения микроудобрений было 0,62 %, а на вариантах с применением жидких микроэлементных удобрений – 1,06–1,16%. Наибольшее количество этого макроэлемента было на варианте с применением препарата «ПОЛИДОН Амино Цинк».

Анализ надземной и подземной частей сахарной свеклы показал, что внесение жидких микроэлементных удобрений за 20 суток до уборки привело к значительным изменениям химического состава листьев и корнеплодов.

В период уборки содержание азота в листьях после внесения борного и цинксодержащего микроудобрений

увеличилось на 0,07 %, что косвенно свидетельствует о лучшей работе фотосинтезирующих органов и положительно отразилось на формировании урожайности корнеплодов. При применении препаратов «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден» и «ПОЛИДОН Амино Марганец», наоборот, отмечено снижение азота на 0,39 абс. % и 0,11 абс. % соответственно. Без применения микроэлементных удобрений содержание азота в листьях снизилось на 1,2 абс. %

При применении микроэлементных удобрений отмечена тенденция роста содержания фосфора в листьях: увеличение составило 0,02–0,10 абс. % в зависимости от микроудобрений. Наибольшее количество фосфора было на варианте с применением препарата «ПОЛИДОН Амино Цинк» и составило 0,36 %. Содержание калия на контрольном варианте осталось неизменным и составило 4,50 %. Некорневая обработка молибденовым микроудобрением способствовала увеличению содержания калия на 0,48 абс. %, цинковым – на 0,23, борным – 0,17 абс. %. Наибольшее количество калия в листьях сахарной свеклы в период уборки было при обработке растений удобрением «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден» и составило 4,44%.

Микроэлементные удобрения оказали положительное влияние на накопление азота в корнеплодах. Перед уборкой во всех вариантах с микроэлементами отмечен прирост на 0,22–0,41 абс. %, причем наиболее значимым было влияние препарата «ПОЛИДОН Бор». В контрольном варианте содержание азота снизилось в два раза по сравнению с предыдущим определением. В содержании фосфора значимых различий независимо от вида микроудобрения не выявлено. Как положительный момент можно отметить снижение содержания калия при некорневой обработке микроудобрениями. Наибольшее количество этого макроэлемента в корнеплодах сахарной свеклы было на варианте с применением препарата «ПОЛИДОН Бор» и составило 1,06 %.

Улучшение условий минерального питания и лучшая работа фотосинтетического аппарата при внесении удобрения «ПОЛИДОН Бор» позволило получить наибольшую в опыте биологическую урожайность корнеплодов, превышающую контроль на 5,74 т/га, или 11,1 %. (таблица 2). Примерно равные прибавки обеспечила обработка посевов препаратами «ПОЛИДОН Амино Цинк» и «ПОЛИДОН Амино Марганец»: 4,8–4,9 % к контролю. Сочетание бора и молибдена было менее эффективным.

Больше сахара накапливали корнеплоды в вариантах с дополнительной подкормкой бором. Лучший результат получен при некорневой обработке препаратом «ПОЛИДОН Бор»: прибавка к контролю составила 1,80 %. Немного уступил ему по эффективности «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден», обеспечивший прибавку 1,35 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенными исследованиями установлено, что некорневая обработка растворами микроудобрений способствовала лучшему усвоению растениями азота, что положительно отразилось на продуктивности сахарной свеклы. Наибольшая урожайность корнеплодов была получена при трехкратной некорневой обработке посевов препаратом «ПОЛИДОН Бор» и превышала контроль на 11,1 %. В этом же варианте сахаристость корнеплодов

была наивысшей в опыте. Таким образом, рекомендуется применять микроэлементное удобрение «ПОЛИДОН Амино Бор-Молибден» (L-аминокислоты и олигопептиды – 200 г/л; В – 75 г/л; N_{общ.} – 50 г/л; Мо – 25 г/л) в дозе 0,6 л/га совместно со средствами химической защиты растений в фазу 3–4 пар настоящих листьев и через 10 суток после первой обработки, а также в чистом виде за 20 суток до уборки.

Библиографический список

1. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии: учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура ; под ред. И. Р. Вильдфлуша. Горки: БГСХА, 2019. 405 с.
2. Бэлл Р. В., Дэлл Б. Роль микроэлементов в устойчивом производстве продовольствия, кормов, волокна и биоэнергии / Пер. с англ. Москва: Международный институт питания растений, 2017. 244 с.
3. Путилина Л. Н., Гаврин Д. С., Кульнева Н. Г. Формирование технологического качества корнеплодов сахарной свеклы под действием внекорневых подкормок // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 1. С. 49–58. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10031.
4. Минакова О. А., Косякин П. А., Александрова Л. В. Эффективность различных видов подкормки сахарной свеклы в ЦЧР // Сахар. 2019. № 3. С. 52–55.
5. Косякин П. А. Роль микроудобрений в хелатной форме в повышении урожайности сахарной свеклы в плодосменном севообороте ЦЧР // Агрофорум. 2019. № 5. С. 55–57.
6. Минакова О. А., Тамбовцева Л. В., Александрова Л. В. Сравнительная эффективность применения удобрений в период вегетации сахарной свеклы // Земледелие. 2016. № 1. С. 25–28.
7. Максименко Е. П., Шеуджен А. Х. Научные основы применения комплексных микроудобрений в рисоводстве // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 107 (03). С. 1102–1125.
8. Косякин П. А., Минакова О. А., Александрова Л. В. Влияние применения микроудобрений в хелатной форме на урожайность сахарной свеклы на различных фонах основной удобренности в зерносвекловичном севообороте // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XII международной научно-практической конференции. Барнаул, 2017. С. 153–155.
9. Аминова Д. И. Современные удобрения для сахарной свеклы // NovaInfo.Ru. 2017. Т. 1. № 63. С. 117–121.
10. Новичихин А. М., Щеглов Н. В. Эффективность применения современных агропрепаратов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник Мичуринского ГАУ. 2015. № 3. С. 40–47.
11. Аскарлов В. Р. Влияние микроудобрений и фунгицидов на продуктивность свекловичных посевов // Сахарная свекла. 2016. № 9. С. 39–42.
12. Путилина Л. Н., Косякин П. А., Лазутина Н. А. Влияние микроудобрений в хелатной форме на технологическое качество и продуктивность сахарной свеклы в условиях ЦЧР // Сахар. 2018. № 3. С. 42–45.
13. Islamgulov D., Alimgafarov R., Ismagilov R., Bakirova A., Muhametshin A., Enikiev R., Ahiyarov B., Ismagilov K., Kamilanov A., Nurligajnov R. Productivity and technological features of sugar beet crops when applying of different doses of nitrogen fertilizer under the conditions of the middle Cis-Ural region // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Т. 25. Suppl. 2. Pp. 90–97.
14. Дроздова В. В., Булдыкова И. А., Шеуджен А. Х. Агрохимическая оценка применения макро- и микроудобрений при возделывании сахарной свеклы в Западном Предкавказье // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.02.
15. Zheryakov E. V., Semina S. A., Gavryushina I. V. Duration of Storage and Quality of Sugar Beet Roots // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Т. 9. No. 3. Pp. 1096–1100.
16. Жерякова Ю. И. Влияние микроэлементных удобрений на содержание хлорофилла и урожайность сахарной свеклы // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2019. С. 72–75.
17. Kostin V. I., Isaichev V. A., Oshkin V. A., Syapukov E. E. Technologic qualities of sugar beet root crops in foliage application of melafen and trace elements // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Т. 8. No. 1. Pp. 1780–1787.
18. Аристархов А. Н., Яковлева Т. А. Зональные особенности применения микроудобрений под сахарную свеклу (*Beta vulgaris l. saccharifera*) на основных типах почв в районах ее возделывания // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 2. С. 3–12.
19. Беседин Н. В., Зайцева Н. В., Ишков И. В. Влияние биопрепаратов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 9. С. 114–119.

Об авторах:

Светлана Александровна Семина¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Переработка сельскохозяйственной продукции», ORCID 0000-0002-7015-8175, AuthorID 569105

Евгений Викторович Жеряков¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Растениеводство и лесное хозяйство», ORCID 0000-0003-1288-6323, AuthorID 321563; +7 937 409-19-00, zheryakov.e.v@pgau.ru

Юлия Игоревна Жерякова¹, аспирант, ORCID 0000-0001-7877-2463, AuthorID 1086973

¹ Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

Dynamics of the macronutrients content in sugar beet plants under the application of microfertilizers

S. A. Semina¹, E. V. Zheryakov[✉], Yu. I. Zheryakova¹

¹ Penza State Agrarian University, Penza, Russia

✉ E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

Abstract. The purpose of the current scientific paper is to reveal the effectiveness of foliar treatment with various types of complex fertilizers with microelements in chelated form on the dynamics of nitrogen, phosphorus and potassium in the leaves and roots of sugar beet plants. **The novelty** lies in the fact that for the first time in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region, the authors carried out the research towards the effect of liquid microelement fertilizers on the content of macronutrients in sugar beet plants. **Methods.** The records and observations were organized according to the generally accepted methods. **Results.** It was found that 10 days after the first foliar treatment, the nitrogen content in the leaves increased by 0.36–1.08 %. However, a decrease in the accumulation of phosphorus and potassium was noted. In root crops during this period, the nitrogen content decreased by 0.32–0.45 %. There is a tendency towards a decrease in the concentration of phosphorus and potassium in comparison with its content before foliar treatment. Determination of the content of macronutrients 10 days after the second treatment showed that after foliar treatment of plants with “POLIDON Amino Tsink” and “POLIDON Bor”, the nitrogen content in the leaves increased by 0.82–0.88 %. In the same variants, a tendency for an increase in the phosphorus content was noted, but for all variants of the experiment, a decrease in the intake of potassium in the leaves of sugar beets was obvious. It was revealed that the nitrogen content in the leaves increased by 0.07 % after the introduction of boric and zinc-containing micronutrients 20 days before harvesting. With the use of microelement fertilizers, a tendency to an increase in the phosphorus content in the leaves was significant. In root crops, in all variants with microelements, an increase in nitrogen was observed. In the phosphorus content, no significant differences were found regardless of preparation type; a decrease in potassium was noted. The highest yield of root plants was obtained with three-fold foliar treatment of crops with “POLIDON Bor” and exceeded the control by 11.1 %.

Keywords: sugar beet, complex fertilizers, microelements, nitrogen, phosphorus, potassium, yield.

For citation: Semina: S. A., Zheryakov E. V., Zheryakova Yu. I. Dinamika sodержaniya makroelementov v rasteniyakh sakharnoy svekly pri primeneniі mikroudobreniy [Dynamics of the macronutrients content in sugar beet plants under the application of microfertilizers] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 01 (204). Pp. 21–29. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-204-01-21-29. (In Russian.)

Paper submitted: 12.11.2020.

References

1. Agrokimiya. Udobreniya i ikh primeneniye v sovremennom zemledelii: uchebno-metodicheskoe posobie [Fertilizers and their application in modern agriculture] / I. R. Vil'dflush, V. V. Lapa, O. I. Mishura ; under the editorship of I. R. Vil'dflush. Gorki: BGSKhA, 2019. 405 p. (In Russian.)
2. Bell R. V. Dell B. Rol' mikroelementov v ustoychivom proizvodstve prodovol'stviya, kormov, volokna i bioenergii [The role of trace elements in sustainable food, feed, fiber and bioenergy production] / Translate from English. Moscow: Mezhdunarodnyy institut pitaniya rasteniy, 2017. 244 p. (In Russian.)
3. Putilina L. N., Gavrin D. S., Kul'neva N. G. Formirovaniye tekhnologicheskogo kachestva korneplodov sakharnoy svekly pod deystviem vnekornevykh podkormok [Formation of sugar beet root technological quality under influence of foliar applications] // Technologies of Food and Processing Industries of Agro-Industrial Complex – Healthy Food. 2020. No. 1. Pp. 49–58. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10031. (In Russian.)
4. Minakova O. A., Kosyakin P. A., Aleksandrova L. V. Effektivnost' razlichnykh vidov podkormki sakharnoy svekly v TsChR [The effectiveness of various types of sugar beet additional fertilizers in the Central Black Earth Region] // Sugar. 2019. No. 3. Pp. 52–55. (In Russian.)
5. Kosyakin P. A. Rol' mikroudobreniy v khelatnoy forme v povyshenii urozhaynosti sakharnoy svekly v plodosmennom sevooborote TsChR [Influence of chelate microfertilizers on increasing the yields of sugar beet in the crop rotation of the Central Black Earth Region] // Agroforum. 2019. No. 5. Pp. 55–57. (In Russian.)
6. Minakova O. A., Tambovtseva L. V., Aleksandrova L. V. Sravnitel'naya effektivnost' primeneniya udobreniy v period vegetatsii sakharnoy svekly [Comparative efficiency of fertilizer application during sugar beet vegetation] // Zemledelie. 2016. No. 1. Pp. 25–28. (In Russian.)
7. Maksimenko E. P., Sheudzhen A. Kh. Nauchnye osnovy primeneniya kompleksnykh mikroudobreniy v risovodstve [Scientific base of using complex microfertilizers in rice growing] // Scientific Journal of KubSAU. 2015. No. 107 (03). Pp. 1102–1125. (In Russian.)

8. Kosyakin P. A., Minakova O. A., Aleksandrova L. V. Vliyanie primeneniya mikroudobreniy v khelatnoy forme na urozhaynost' sakharnoy svekly na razlichnykh fonakh osnovnoy udobrennosti v zernosveklovichnom sevooborote [The influence of chelate micronutrient fertilizers on the yields of sugar beet under different fertilization conditions in grain-beet crop rotation] // *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: materialy XII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Barnaul, 2017. Pp. 153–155. (In Russian.)
9. Aminova D. I. Sovremennye udobreniya dlya sakharnoy svekly [Modern fertilizers for sugar beet] // *NovInfo.Ru*. 2017. T. 1. No. 63. Pp. 117–121. (In Russian.)
10. Novichikhin A. M., Shcheglov N. V. Effektivnost' primeneniya sovremennykh agropreparatov v tekhnologiyakh vozdevlyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Efficiency of applying modern agricultural preparations in crop growing technologies] // *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2015. No. 3. Pp. 40–47. (In Russian.)
11. Askarov V. R. Vliyanie mikroudobreniy i fungitsidov na produktivnost' sveklovichnykh posevov [Productivity of sugar beet depending on use microfertilizers and fungicides] // *Sugar beet*. 2016. No. 9. Pp. 39–42. (In Russian.)
12. Putilina L. N., Kosyakin P. A., Lazutina N. A. Vliyanie mikroudobreniy v khelatnoy forme na tekhnologicheskoe kachestvo i produktivnost' sakharnoy svekly v usloviyakh TsChR [Influence of chelate micronutrient fertilizers on the technological quality and productivity of sugar beet under conditions of the Central Black Earth Region] // *Sugar*. 2018. No. 3. Pp. 42–45. (In Russian.)
13. Islamgulov D., Alimgafarov R., Ismagilov R., Bakirova A., Muhametshin A., Enikiev R., Ahiyarov B., Ismagilov K., Kamilanov A., Nurligajnov R. Productivity and technological features of sugar beet crops when applying of different doses of nitrogen fertilizer under the conditions of the middle Cis-Ural region // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. T. 25. Suppl. 2. Pp. 90–97.
14. Drozdova V. V., Buldykova I. A., Sheudzen A. Kh. Agrokhimicheskaya otsenka primeneniya makro- i mikroudobreniy pri vozdevlyanii sakharnoy svekly v Zapadnom Predkavkaz'e [Agrochemical evaluation of the application of micro- and macronutrient fertilizers in cultivation of sugar beet on leached chernozem soil of western Ciscaucasia] // *Plodorodie*. 2019. No. 1 (106). Pp. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.02. (In Russian.)
15. Zheryakov E. V., Semina S. A., Gavryushina I. V. Duration of Storage and Quality of Sugar Beet Roots // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. T. 9. No. 3. Pp. 1096–1100.
16. Zheryakova Yu. I. Vliyanie mikroelementnykh udobreniy na sodержanie khlorofilla i urozhaynost' sakharnoy svekly [Effect of microelement fertilizers on the contents chlorophyll and yield of sugar beet] // *Innovatsionnye idei molodykh issledovateley dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh*. Penza, 2019. Pp. 72–75. (In Russian.)
17. Kostin V. I., Isaichev V. A., Oshkin V. A., Syapukov E. E. Technologic qualities of sugar beet root crops in foliage application of melafen and trace elements // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2017. T. 8. No. 1. Pp. 1780–1787.
18. Aristarkhov A. N., Yakovleva T. A. Zonal'nye osobennosti primeneniya mikroudobreniy pod sakharnuyu sveklu (*Beta vulgaris* L. *saccharifera*) na osnovnykh tipakh pochv v rayonakh ee vozdevlyvaniya [Zone features of microfertilizers use under sugar beet (*Beta vulgaris* L. *Saccharifera*) on the main types of soils in the areas of its cultivation] // *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2017. No. 2. Pp. 3–12. (In Russian.)
19. Besedin N. V., Zaytseva N. V., Ishkov I. V. Vliyanie biopreparatov na urozhaynost' i kachestvo korneplodov sakharnoy svekly [The effect of biopreparations on the yields and quality of sugar beet] // *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2016. No. 9. Pp. 114–119. (In Russian.)

Authors' information:

Svetlana A. Semina¹, doctor of agricultural sciences, professor of the department of agricultural products processing, ORCID 0000-0002-7015-8175, AuthorID 569105

Evgeniy V. Zheryakov¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of plant growing and forestry, ORCID 0000-0003-1288-6323, AuthorID 321563; +7 937 409-19-00, zheryakov.e.v@pgau.ru

Yuliya I. Zheryakova¹, postgraduate, ORCID 0000-0001-7877-2463, AuthorID 1086973

¹ Penza State Agrarian University, Penza, Russia