

УДК 633.63:631.81:631.559:531.445.41:631.582(470.32)

ДИНАМИКА РОСТА, ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ И УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДОБРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В СЕВООБОРОТЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

© 2019 г. П. А. Косякин^{1,*}, О. К. Боронтов¹, Е. Н. Манаенкова¹, О. А. Минакова¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова
396030 Воронежская обл., Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86, Россия*

**E-mail: kosyakinp@mail.ru*

Поступила в редакцию 26.06.2018 г.

После доработки 03.12.2018 г.

Принята к публикации 10.04.2019 г.

Результаты исследования динамики роста корнеплодов сахарной свеклы и потребления элементов питания в зависимости от многолетнего применения систем основной обработки почвы и удобрений в плодосменном севообороте показали большой вынос питательных элементов урожаем при комбинированной обработке почвы с внесением удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади). Установлено, что при этом значительно повышались урожайность, содержание питательных элементов в почве, улучшались фотосинтетическая деятельность листового аппарата растений, технологические качества корнеплодов и эффективность возделывания культуры. Современный гибрид РМС-73 потреблял больше питательных веществ на образование 1 т урожая по сравнению с нормативными показателями. Наибольшее суточное потребление азота отмечено в период от 5-ти пар настоящих листьев до их смыкания в междурядьях, фосфора – от посева до смыкания, калия – от 5-ти пар листьев до фазы интенсивного роста. Безотвальная обработка почвы снижала урожайность сахарной свеклы, экономическую и энергетическую эффективность на 15–18% по сравнению с отвальной и комбинированной обработками.

Ключевые слова: рост, потребление элементов питания, урожайность, сахарная свекла, удобрения, обработка почвы, чернозем выщелоченный, севооборот, Центрально-Черноземный регион.

DOI: 10.1134/S0002188119070081

ВВЕДЕНИЕ

Для получения максимальной продуктивности сахарной свеклы, эффективности применяемых удобрений и других элементов агротехники возделывания важно определить особенности потребления растениями питательных веществ [1, 2]. При применении различных доз удобрений и обработок почвы изменяется не только содержание элементов питания в почве, но и их накопление в растениях, из чего следует, что учет выноса питательных веществ урожаем сахарной свеклы является важным звеном в совершенствовании агротехники ее возделывания [3–5]. Поэтому цель работы – изучение динамики прироста биомассы растений сахарной свеклы, потребления питательных веществ, урожайности и качества корнеплодов в зависимости от систем основной обработки почвы и удобрений в севообороте Центрально-Черноземного региона (ЦЧР).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в 2010–2016 гг. в посевах сахарной свеклы парового звена севооборота стационарного опыта ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, заложенного в 1985 г. со следующим чередованием культур: черный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, ячмень с подсевом клевера, клевер на 1-й укос, озимая пшеница, сахарная свекла, однолетние травы (горох + овес), кукуруза на зеленый корм.

Изучено 3 системы основной обработки почвы:

А – отвальная глубокая обработка под все культуры севооборота: вспашка под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; под ячмень, озимую пшеницу после клевера, однолетние травы – на 20–22 см; под сахарную свеклу – улучшенная зябь (дисковое лушение на 5–7 см, плоскорезная обработка на 12–14 см и вспашка на 30–32 см);

Г – безотвальная (плоскорезная) обработка под все культуры севооборота: под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы – на 20–22 см; под сахарную свеклу на глубину 30–32 см с предварительными дисковым лушением (5–7 см) и плоскорезной (12–14 см) обработкой;

Д – комбинированная (отвально-безотвальная) обработка: вспашка на глубину 25–27 см под кукурузу и черный пар; плоскорезная обработка на глубину 20–22 см под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы; под сахарную свеклу – дисковое лушение (5–7 см), плоскорезная обработка (12–14 см) и вспашка на 30–32 см (улучшенная зябь).

Исследование влияния обработки почвы проводили на 3-х фонах удобрения: 1 – контроль без удобрений, 2 – N45P45K45 + навоз 5.5 т/га севооборотной площади, в том числе под сахарную свеклу – N160P160K160; 3 – N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади, в том числе под сахарную свеклу – N160P160K160.

Высевали гибрид сахарной свеклы РМС-73. Учет биомассы растений и их химического состава проводили в фазы развития растений: 5 пар настоящих листьев (июнь), смыкание листьев в междурядьях (июль), интенсивный рост (август), техническая спелость (сентябрь). Пробы растений сахарной свеклы отбирали с одного погонного метра. Массу и влажность растений определяли весовым методом (ГОСТ 26268-89); содержание азота, фосфора и калия в растениях – по Кураеву из одной навески [6]; вынос – по методике ЦИНАО [7]; сахаристость и технологическое качество сахарной свеклы – по Силину [8]; нитратный азот в почве – по Грандваль-Ляжу (ГОСТ-26951-86); подвижный фосфор и обменный калий в почве – по Чирикову (ГОСТ-26201-91); энергетическую оценку – по методике ВАСХНИЛ [9]; экономическую эффективность – по методике РАСХН (в ценах 2017 г.); урожайность сахарной свеклы – весовым методом [8]; статистическую обработку данных – по [9]; фотосинтетическую характеристику посевов – по Нечипоровичу [10]. Площадь делянки – 110 м², учетной – 20–50 м², повторность трехкратная. Почва – чернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый на тяжелом карбонатном суглинке.

Метеорологические условия проведения опыта были различными, что дало возможность объективно оценить влияние изученных факторов на потребление питательных веществ растениями сахарной свеклы. Например, за вегетационный

период 2010 г. выпало 326 мм осадков при ГТК = 1.3, за 2011 г. – 285 мм и 1.2, за 2012 г. – 472 мм и 1.5, за 2013 г. – 396 мм и 1.3, за 2014 г. – 190 мм и 0.7, за 2015 г. – 246 мм и 0.8, за 2016 г. – 256 мм и 0.9 соответственно. Погодные условия за годы исследования соответствовали среднемноголетним нормам (количество осадков – 296 мм, ГТК = 1.1), прохождение сахарной свеклой фаз развития по годам различалось на 2–4 сут. Между севом и фазой 5-ти пар настоящих листьев проходило 50–55 сут, между фазой 5-ти пар листьев и смыканием листьев в междурядьях – 20–22 сут, между смыканием и интенсивным ростом – 30–35 сут и между интенсивным ростом и технической спелостью – 45–48 сут.

Для основной обработки почвы использовали плуг ПН-4-35, плоскорез КПП-250, дисковую борону БДТ-3. Агротехника возделывания сахарной свеклы – общепринятая для ЦЧР с фоновым внесением гербицидов без затрат ручного труда на удаление сорной растительности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрохимические показатели плодородия чернозема выщелоченного свидетельствовали о большем содержании питательных веществ при отвальной и комбинированной обработках почвы с применением удобрений. Например, содержание гумуса в пахотном слое почвы составило 5.62–5.64%, подвижного фосфора – 155, обменного калия – 180 мг/кг, что на 7–26% больше, чем при безотвальной обработке почвы (табл. 1).

Большее содержание питательных элементов в почве определило более значительный рост растений сахарной свеклы, хотя фазы развития растений в вариантах опыта проходили одновременно.

Учет динамики ассимиляционной поверхности листьев сахарной свеклы показал, что больший уровень питания и отвальная обработка почвы обеспечивали более активное формирование фотосинтетического потенциала. Например, фотосинтетический потенциал в фазе 5-ти пар настоящих листьев составил при отвальной обработке без удобрений 0.23 млн м²/сут/га (табл. 2). Фотосинтетический потенциал посевов в этот период при комбинированной обработке почвы был наименьшим – 0.17 млн м²/сут/га.

Дальнейшие учеты показали существенное увеличение фотосинтетического потенциала при отвальной и комбинированной обработках по сравнению с безотвальной. В фазе смыкания ли-

Таблица 1. Влияние обработки почвы и удобрений на основные агрохимические показатели пахотного слоя чернозема выщелоченного в посевах сахарной свеклы

Система		Подвижные формы, мг/кг			рН _{H₂O}	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности основаниями	Содержание гумуса
обработки	удобрения	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O					
А	0	9.5	96	156	5.59	6.72	26.9	80	5.35
	N59P59K59	11.3	155	180	5.52	6.97	24.7	78	5.62
Г	0	8.2	85	148	5.61	6.34	25.8	80	5.29
	N59P59K59	9.6	133	169	5.52	7.00	24.7	78	5.55
Д	0	7.3	81	134	5.52	7.00	25.0	78	5.40
	N59P59K59	9.0	143	168	5.60	6.45	24.7	79	5.64
НСР ₀₅		1.3	12	22					0.15

Примечание. А – отвальная глубокая обработка под все культуры севооборота: вспашка под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; под ячмень, озимую пшеницу после клевера, однолетние травы – на 20–22 см; под сахарную свеклу – улучшенная зябь (дисковое лущение на 5–7 см, плоскорезная обработка на 12–14 см и вспашка на 30–32 см);

Г – безотвальная (плоскорезная) обработка под все культуры севооборота: под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см; под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы – на 20–22 см; под сахарную свеклу на глубину 30–32 см с предварительными дисковым лущением (5–7 см) и плоскорезной (12–14 см) обработкой;

Д – комбинированная (отвально-безотвальная) обработка: вспашка на глубину 25–27 см под кукурузу и черный пар; плоскорезная обработка на глубину 20–22 см под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы; под сахарную свеклу – дисковое лущение (5–7 см), плоскорезная обработка (12–14 см) и вспашка на 30–32 см (улучшенная зябь). То же в табл. 2–9.

Таблица 2. Фотосинтетические показатели посевов сахарной свеклы

Показатель	Системы		Фазы учета				
	обработки	удобрения	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	сумма
Фотосинтетический потенциал, млн м ² /сут/га	А	0	0.23	0.47	0.48	0.25	1.43
		N45P45K45	0.24	0.47	0.48	0.32	1.53
		N59P59K59	0.31	0.58	0.80	0.42	2.11
	Г	0	0.18	0.40	0.50	0.31	1.39
		N45P45K45	0.28	0.44	0.48	0.32	1.52
		N59P59K59	0.23	0.48	0.60	0.38	1.69
	Д	0	0.17	0.35	0.41	0.23	1.19
		N45P45K45	0.20	0.49	0.51	0.25	1.45
		N59P59K59	0.24	0.54	0.62	0.37	1.77
Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² /сут	А	0	4.44	9.91	5.62	7.14	6.78
		N45P45K45	5.71	10.4	5.14	6.85	7.02
		N59P59K59	5.12	12.6	2.16	8.36	7.05
	Г	0	4.57	11.1	4.24	4.54	6.10
		N45P45K45	3.57	10.1	6.19	1.89	5.44
		N59P59K59	4.34	10.9	1.58	3.91	5.19
	Д	0	4.84	13.1	6.91	10.9	8.92
		N45P45K45	5.25	11.0	8.46	7.88	8.10
		N59P59K59	5.10	11.2	6.57	6.00	7.22

стьев в междурядьях при отвальной обработке почвы с внесением удобрений в дозе N59P59K59 фотосинтетический потенциал составил 0.58, при

комбинированной – 0.54, при безотвальной – 0.48 млн м²/сут/га, что было на 11 и 17% меньше.

Наибольшая величина фотосинтетического потенциала отмечена в фазе интенсивного роста,

Таблица 3. Динамика роста корнеплодов и накопления сухой биомассы сахарной свеклы, т/га

Система		Масса корнеплодов				Сбор сухого вещества			
обработки	удобрения	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость
А	0	1.5	20.8	21.9	27.4	1.0	4.2	7.7	10.2
	N45P45K45	2.1	20.9	30.4	31.8	1.4	5.6	9.5	11.8
	N59P59K59	3.2	25.9	27.6	37.1	1.6	7.0	10.3	13.8
Г	0	1.1	16.0	20.5	21.3	0.8	3.7	7.4	8.0
	N45P45K45	1.5	17.6	23.4	27.5	1.0	4.8	8.1	10.8
	N59P59K59	1.8	19.4	26.6	30.8	1.0	5.0	9.2	11.0
Д	0	1.0	17.9	21.5	25.6	0.8	5.4	8.2	10.7
	N45P45K45	1.5	18.6	27.7	31.1	1.0	6.3	10.6	12.6
	N59P59K59	1.7	18.6	30.7	36.1	1.2	7.3	11.4	13.6
<i>HCP₀₅</i>		3.2				1.4			

что составило в контроле 0.41–0.50, при применении удобрений – 0.48–0.80 млн м²/сут/га. К уборке (фаза технической спелости) из-за отмирания листьев фотосинтетический потенциал посевов сахарной свеклы снижался до 0.23–0.42 млн м²/сут/га.

За вегетацию наибольший фотосинтетический потенциал формировался при отвальной обработке с применением удобрений (N59P59K59) – 2.11 млн м²/сут/га. При применении N45P45K45 показатель увеличивался на 7–22%, при применении N59P59K59 – на 21–49% по сравнению с контролем.

Чистая продуктивность фотосинтеза в среднем за вегетационный период составила 5.19–8.92 г/м²/сут. Установлено, что комбинированная обработка почвы максимально увеличивала этот показатель в течение всего вегетационного периода. Например, в фазе 5-ти пар настоящих листьев чистая продуктивность фотосинтеза при комбинированной обработке составила 4.84–5.25, при безотвальной – 3.57–4.56, при отвальной – 4.44–5.71 г/м²/сут, в фазе интенсивного роста – 6.56–8.46, 1.58–6.19, 2.16–5.52 г/м²/сут соответственно.

При внесении удобрений чистая продуктивность при отвальной обработке увеличивалась на 4%, при безотвальной и комбинированной – уменьшалась на 1–9%.

Учет динамики роста растений сахарной свеклы показал, что за 50 сут от посева до фазы 5-ти пар настоящих листьев масса корнеплодов составила 1.0–3.2 т/га (табл. 3). При этом наибольшая масса (2.1–3.2 т/га) отмечена при внесении удоб-

рений и отвальной обработке почвы. Масса корнеплодов в других вариантах изменялась незначительно (1.0–1.8 т/га).

В период 5-ти пар настоящих листьев–смыкание листьев в междурядьях происходило наибольшее нарастание массы корнеплодов, которая составила при отвальной обработке 20.8–25.9, при безотвальной – 16.0–19.4, при комбинированной – 17.9–18.6 т/га. При применении удобрений масса корнеплодов увеличивалась на 1–24%. Дальнейший учет динамики нарастания массы корнеплодов показал снижение темпов ее увеличения. К уборке масса корнеплодов без удобрений составила: при отвальной обработке – 27.4, при безотвальной – 21.3, при комбинированной – 25.6 т/га.

При применении удобрений урожайность сахарной свеклы увеличивалась по сравнению с контролем на фоне N45P45K45 – на 16–29, на фоне N59P59K59 – на 35–45%. Наибольшие прибавки от применения удобрений наблюдали при безотвальной обработке почвы, наименьшие – при отвальной.

Динамика сбора сухих веществ повторяла динамику накопления массы корнеплодов. Однако различия между вариантами несколько нивелировались ростом листьев. Например, если при учете в фазе 5-ти пар настоящих листьев различие между максимальной (3.2 т/га) и минимальной (1.0 т/га) массой корнеплодов составило 320%, то различие в сборе сухих веществ – только 60%. Наибольший сбор сухого вещества (13.6–13.8 т/га) отмечен при отвальной и комбинированной обработках почвы и применении N59P59K59.

Таблица 4. Содержание элементов питания в листьях и корнеплодах сахарной свеклы, %

Система		N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
обработки	удобрений	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость
А	0	2.68	2.58	2.48	2.41	2.31	1.00	0.75	0.73	0.67	1.31	2.47	3.45
		1.92	1.15	0.92	0.74	3.04	1.01	0.34	0.25	0.53	0.81	0.96	0.78
	N45P45K45	2.74	2.71	2.54	2.50	2.41	1.06	0.76	0.79	0.49	1.32	2.50	3.27
		2.01	1.20	0.93	0.82	3.15	1.03	0.35	0.27	0.51	0.74	0.94	0.85
	N59P59K59	2.80	2.74	2.70	2.56	2.44	1.08	0.83	0.81	0.58	1.35	2.60	2.85
		2.04	1.26	0.99	0.84	3.24	1.05	0.38	0.31	0.48	0.63	1.06	0.89
Г	0	2.69	2.60	2.50	2.46	2.64	0.95	0.78	0.79	0.59	1.32	2.34	3.21
		2.10	1.16	0.87	0.84	2.83	1.00	0.30	0.29	0.57	0.87	1.01	0.95
	N45P45K45	2.71	2.98	2.60	2.48	2.84	0.98	0.86	0.82	0.53	1.39	2.38	2.95
		2.16	1.34	0.94	0.87	2.91	1.01	0.36	0.29	0.55	0.80	0.98	0.97
	N59P59K59	2.88	2.99	2.52	2.52	2.97	1.00	0.87	0.85	0.51	1.37	2.45	3.04
		2.18	1.41	1.03	1.01	3.01	1.02	0.40	0.33	0.55	0.81	0.96	1.02
Д	0	2.55	2.54	2.51	2.49	2.94	0.91	0.79	0.77	0.50	1.33	2.51	3.61
		2.01	1.12	0.84	0.68	2.85	0.94	0.32	0.30	0.53	0.70	0.70	0.71
	N45P45K45	2.57	2.56	2.61	2.52	2.97	1.03	0.87	0.84	0.57	1.38	2.62	3.35
		2.24	1.28	0.92	0.81	2.88	1.04	0.37	0.32	0.45	0.84	0.98	0.99
	N59P59K59	3.16	2.60	2.66	2.65	3.00	1.01	0.89	0.88	0.60	1.39	2.73	3.11
		2.36	1.42	1.03	0.95	3.24	1.08	0.40	0.37	0.40	0.81	1.00	1.04

Примечание. Над чертой – листья, под чертой – корнеплоды.

Динамика содержания азота и фосфора в растениях сахарной свеклы свидетельствовала об уменьшении их содержания по мере роста культуры. Содержание азота в корнеплодах уменьшалось с 2.36 до 0.95, в листьях – с 3.16 до 2.41%, содержание фосфора – с 3.24 до 0.25 и с 3.00 до 0.73%. Содержание калия увеличивалось в корнеплодах с 0.58 до 1.04 и в листьях – с 0.50 до 3.61%.

При применении удобрений содержание питательных элементов в растениях увеличивалось как в корнеплодах, так и в листьях. Влияние систем обработки почвы на содержание питательных элементов было меньше, чем удобрений, но при безотвальной обработке почвы их содержание несколько снижалось. Например, содержание азота в контроле в корнеплодах при учете в фазе 5-ти пар листьев составило 2.10%, при применении удобрений – 2.16–2.18% (табл. 4). К уборке наибольшее содержание азота в корнеплодах составило 1.01% при безотвальной обработке почвы и применении N45P45K45, фосфора (0.37%) и калия (1.04%) – при комбинированной обработке почвы.

Потребление азота растениями сахарной свеклы в фазе 5-ти пар листьев составило 19.2–41.4 кг/га, или 13–24% от выноса в период уборки (табл. 5). За этот период суточное потребление азота в варианте без удобрений составило 0.4–0.5 кг/га, при их применении увеличивалось до 0.8 кг/га. В фазе смыкания листьев наблюдали наибольший рост растений сахарной свеклы и наибольшее потребление азота, которое составило 5.2 кг/га/сут при отвальной обработке почвы и внесении удобрений. Без удобрений суточное потребление азота было минимальным и составляло 2.0–3.0 кг/га. К уборке потребление азота становилось минимальным – 0.1–0.9 кг/га/сут. Вынос азота урожаем в вариантах без удобрений составил 106–143 кг/га, с применением удобрений – 142–180 кг/га, или увеличивался на 20–40%. Наибольший вынос отмечен при комбинированной обработке почвы.

Динамика потребления фосфора была идентична потреблению азота. Например, в фазе 5-ти пар настоящих листьев общее потребление элемента составило 21.3–43.4 кг/га, или 47–73% от

Таблица 5. Динамика потребления азота растениями сахарной свеклы

Система		Общее потребление, кг/га				Суточное потребление, кг/га/сут			
обработки	удобрения	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость
А	0	25.2	83.5	108	127	0.5	2.9	0.8	0.4
	N45P45K45	25.8	126	152	155	0.5	5.0	0.9	0.1
	N59P59K59	41.4	146	176	176	0.8	5.2	1.0	—
Г	0	20.8	60.1	97.3	106	0.4	2.0	1.2	0.2
	N45P45K45	22.8	105	133	142	0.5	4.1	0.9	0.2
	N59P59K59	25.9	112	132	148	0.5	4.3	0.7	0.4
Д	0	19.2	77.6	128	143	0.4	3.0	1.6	0.4
	N45P45K45	22.1	89.8	131	171	0.4	3.4	4.0	0.9
	N59P59K59	34.2	125	178	180	0.7	4.6	1.8	0.1

$HCP_{05} = 15$

Таблица 6. Динамика потребления фосфора растениями сахарной свеклы

Система		Общее потребление, кг/га				Суточное потребление, кг/га в сутки			
обработки	удобрения	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость
А	0	23.1	32.2	39.5	40.9	0.5	0.5	0.2	—
	N45P45K45	26.6	43.6	43.9	48.2	0.5	0.9	—	0.1
	N59P59K59	43.4	50.8	58.9	60.6	0.9	0.3	0.3	—
Г	0	21.1	35.5	35.5	35.9	0.4	0.7	—	—
	N45P45K45	29.1	47.3	47.4	48.2	0.6	0.9	—	—
	N59P59K59	30.3	43.2	47.3	53.4	0.6	0.7	0.1	0.1
Д	0	22.9	39.8	43.1	48.9	0.5	0.8	0.1	0.1
	N45P45K45	30.3	51.3	54.1	62.2	0.6	1.1	0.1	0.2
	N59P59K59	36.9	62.0	65.7	68.5	0.7	1.3	0.1	0.1

$HCP_{05} = 5.4$

конечного выноса элемента (табл. 6). Следующий учет (фаза смыкания листьев) показал, что общее потребление фосфора составило 32.2–50.8 кг/га – при отвальной обработке, 35.5–47.3 кг/га – при безотвальной обработке, и 39.8–62.0 кг/га – при комбинированной. В этой фазе происходило самое интенсивное потребление фосфора (как и азота) – растения потребляли за 1 сут от 0.3 до 1.3 кг P_2O_5 /га. Наиболее высокими темпами это происходило при применении удобрений и ком-

бинированной обработке почвы. Суточное потребление фосфора в дальнейшем снижалось (при учете в фазе интенсивного роста и технической спелости – до 0.1–0.3 кг/га/сут).

Общее потребление калия растениями сахарной свеклы составило 162–228 кг/га (табл. 7). Динамика потребления элемента показала, что в первый срок учета растения сахарной свеклы потребляли 4.1–7.2 кг K_2O /га или 2–4% от общего потребления, что значительно меньше, чем по-

Таблица 7. Динамика потребления калия растениями сахарной свеклы

Система		Общее потребление, кг/га				Суточное потребление, кг/га/сут			
обработки	удобрения	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость	5 пар листьев	смыкание	интенсивный рост	техническая спелость
А	0	6.4	46.6	122	162	0.1	2.0	2.5	0.9
	N45P45K45	7.2	64.0	152	200	0.1	2.8	2.9	1.1
	N59P59K59	5.6	43.3	130	228	0.1	1.9	2.9	2.2
Г	0	3.9	42.2	111	130	0.1	1.9	2.3	0.4
	N45P45K45	5.9	43.0	136	164	0.1	1.9	3.1	0.7
	N59P59K59	5.0	55.4	129	164	0.1	2.5	2.5	0.7
Д	0	4.1	44.5	120	177	0.1	2.0	2.6	1.3
	N45P45K45	5.6	53.3	156	177	0.1	2.4	3.4	0.4
	N59P59K59	6.8	68.6	179	227	0.1	3.1	3.7	1.1

HCP₀₅ = 19

Таблица 8. Среднесуточное потребление и вынос элементов питания 1 т основной продукции с учетом побочной

Система		Потребление, кг/га/сут			Вынос 1 т корнеплодов, кг/т			
обработки	удобрения	N	P	K	N	P	K	Сумма
А	0	0.9	0.3	1.1	4.6	1.4	5.8	11.8 ± 0.2
	N45P45K45	1.1	0.3	1.4	4.9	1.5	6.3	12.7 ± 0.3
	N59P59K59	1.2	0.4	1.6	4.7	1.6	6.0	12.3 ± 0.3
Г	0	0.7	0.2	0.9	5.0	1.6	6.1	12.7 ± 0.3
	N45P45K45	0.9	0.3	1.1	5.1	1.7	6.0	12.8 ± 0.4
	N59P59K59	1.0	0.4	1.1	4.8	1.7	5.4	11.9 ± 0.3
Д	0	1.0	0.3	1.2	5.7	2.0	7.1	14.8 ± 0.4
	N45P45K45	1.2	0.4	1.2	5.5	2.0	5.7	13.2 ± 0.5
	N59P59K59	1.2	0.5	1.6	5.0	1.9	6.0	12.9 ± 0.4

ребление азота и фосфора. В фазе смыкания листьев в междурядьях общее потребление калия было меньше, чем азота – 42.2–68.6 кг/га. При применении удобрений и отвальной обработке потребление элемента увеличивалось, при безотвальной – уменьшалось.

Наибольшее суточное потребление калия (2.3–3.7 кг/га) отмечено в период интенсивного роста, однако и в фазе смыкания листьев в междурядьях оно было высоким и составило 1.8–3.1 кг/га. Больше элемента потреблялось при комбинированной обработке почвы.

За всю вегетацию среднесуточное потребление элементов питания увеличивалось при комбинированной обработке и составило без удобрений: азота – 1.0, фосфора – 0.3 и калия – 1.2 кг/га/сут,

при внесении удобрений – 1.2, 0.5, 1.6 кг/га/сут соответственно (табл. 8).

Сахарная свекла с 1 т корнеплодов и соответствующего количества ботвы выносила: азота – 4.6–5.7 кг/т, что было больше на 5–25%, фосфора – 1.4–2.0 кг/т, что больше на 8–55% и калия – 5.7–7.1 кг/т, что больше на 1–20%, чем установлено нормативами [7]. Это было результатом использования новых гибридов и улучшением технологии их возделывания, о чем сообщали в работе [4].

Более экономно растения сахарной свеклы расходовали элементы питания при отвальной обработке почвы в контроле (11.8 кг/т), а внесение удобрений увеличивало суммарный их расход на 5%. При комбинированной обработке суммарный вынос элементов питания 1 т корнеплодов составил 12.9–14.8 кг/т, что было на 6–24% боль-

Таблица 9. Продуктивность сахарной свеклы

Система		Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара	Выход сахара на заводе	Потери сахара, %	Коэффициент извлечения сахара, %	Энергия в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности	Рентабельность, %
обработки	удобрения									
А	0	27.4	17.5	4.8	14.5	1.9	83.3	106	4.8	19
	N45P45K45	31.8	17.2	5.5	14.3	1.9	82.9	123	3.1	–
	N59P59K59	37.1	17.1	6.3	14.0	2.0	82.4	143	3.6	11
Г	0	21.3	17.5	3.7	14.4	2.1	82.6	82.7	4.1	17
	N45P45K45	27.5	17.1	4.7	14.0	2.2	81.9	112	2.9	–
	N59P59K59	30.8	17.0	5.2	13.8	2.3	81.7	114	3.0	2
Д	0	25.6	17.7	4.5	14.9	1.8	84.0	110	5.0	20
	N45P45K45	31.1	17.4	5.4	14.4	1.9	83.1	130	3.2	–
	N59P59K59	36.1	17.3	6.2	14.4	1.9	83.0	142	3.5	19
HCP ₀₅		3.2	0.3	0.5						

ше, чем при отвальной обработке, и на 1–8%, чем при безотвальной (табл. 8).

Урожайность корнеплодов сахарной свеклы без удобрений составляла при безотвальной обработке 21.3, при отвальной – 27.4, при комбинированной – 25.6 т/га (табл. 9). При внесении N45P45K45 урожайность повышалась до 31.8 т/га, или на 16–29%, при внесении N59P59K59 – на 35–45%.

Сахаристость при внесении удобрений достоверно снижалась на 0.3–0.9%. При комбинированной обработке почвы сахаристость корнеплодов имела тенденцию к увеличению. Наибольший сбор сахара составил 6.2–6.3 т/га при отвальной и комбинированной обработках, что было больше на 19–21%, чем при безотвальной. Наибольший выход сахара на заводе (14.9%) был при комбинированной обработке почвы в контроле. Удобрения снижали этот показатель до 14.4%. Это происходило из-за увеличения потерь сахара при уменьшении коэффициента извлечения сахара.

Оценка энергетической и экономической эффективности возделывания сахарной свеклы показала, что без удобрений коэффициент энергетической эффективности и рентабельность производства были больше, чем при их применении. Например, энергетическая эффективность составила в контроле при отвальной и комбинированной обработках 1.8–5.0, при безотвальной обработке – 4.1. При внесении удобрений энергетиче-

ская эффективность снижалась на 25–36% и составила при отвальной обработке 3.1–3.6, при безотвальной – 2.9–3.0, при комбинированной – 3.2–3.5.

Наибольшая рентабельность производства сахарной свеклы (19% в ценах 2017 г.) при высокой урожайности отмечена при применении комбинированной обработки почвы в севообороте и внесении N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади.

ВЫВОДЫ

1. Применение удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади) и отвальной обработки в 3-й ротации севооборота максимально увеличивали в пахотном слое чернозема выщелоченного содержание нитратного азота (11.3), подвижного фосфора (155) и обменного калия (168 мг/кг).

2. Наибольшая чистая продуктивность фотосинтеза посевов отмечена при комбинированной обработке почвы – 7.22–8.82 г/м²/сут. При отвальной обработке она снижалась в среднем на 14, при безотвальной – на 30%.

3. Большие темпы прироста массы корнеплодов и сбора сухого вещества отмечены при отвальной обработке. При внесении удобрений темпы прироста увеличивались.

4. Содержание азота и фосфора в корнеплодах и листьях сахарной свеклы снижалось в течение

вегетации. Больше содержание питательных веществ отмечено при комбинированной обработке почвы и внесении удобрений N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади, меньше – в контроле при отвальной обработке. Содержание калия в течение вегетации увеличивалось в листьях с 0.50 до 3.61%, в корнеплодах с 0.40 до 1.04%.

5. Наибольшее суточное потребление сахарной свеклой азота – 5.2 кг/га наблюдали от фазы 5-ти пар настоящих листьев до фазы смыкания листьев в междурядьях при отвальной обработке и внесении удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га), фосфора (1.3 кг/га) – от посева до смыкания листьев в междурядьях при комбинированной обработке и внесении удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га), калия (3.7 кг/га) – от смыкания листьев в междурядьях до фазы интенсивного роста при комбинированной обработке и внесении удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га). Без удобрений и при безотвальной обработке среднесуточное потребление элементов питания было минимальным.

6. Большой вынос урожаем сахарной свеклы азота (180.1 кг/га), фосфора (68.5 кг/га), калия (116.8 кг/га) установлен при комбинированной обработке почвы с применением удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади), калия (228 кг/га) – при отвальной обработке.

7. Наименьший суммарный расход элементов питания на образование 1 т корнеплодов сахарной свеклы и соответствующего количества ботвы составил 11.8 кг/т – при отвальной обработке почвы. При применении удобрений и комбинированной обработке почвы расход увеличивался до 14.8 кг/т.

8. В среднем вынос азота 1 т корнеплодов увеличился на 9, фосфора – на 28, калия – на 3%, чем установлено нормативами.

9. Наибольшая урожайность корнеплодов сахарной свеклы (36.1–37.1 т/га) была при отвальной и комбинированной обработках почвы с применением удобрений (N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади). Безотвальная обработка почвы достоверно снижала урожайность на 14–18%.

10. Наибольший коэффициент извлечения сахара из сахарной свеклы – 83.0–84.0% был при комбинированной обработке почвы, наименьший – 81.7–82.6% – при безотвальной обработке.

11. Наибольший коэффициент энергетической эффективности (3.2–5.0) отмечен при комбинированной обработке почвы. При безотвальной обработке он снижался до 2.9–4.1. Рентабель-

ность производства составила при отвальной обработке с внесением удобрений 11, при безотвальной обработке – 2, при комбинированной – 19%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рымарь С.В., Гармашов В.М.* Оптимизация системы удобрений и способов основной обработки для повышения урожайности корнеплодов // Сахарная свекла. 2009. № 5. С. 6–7.
2. *Никитин В.В., Соловichenko В.Д., Ступаков А.Г., Навальнева Е.В.* Влияние агрогенных и природных факторов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы на черноземе типичном // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2015. № 2(6). С. 69–76.
3. *Проценко Е.П., Траумвах И.В., Солодилов А.В., Глебов Е.С.* Потребление питательных элементов сахарной свеклой в условиях расчлененного рельефа // Бюл. ВИУА. 2001. № 115. С. 61.
4. *Боронтов О.К., Косякин П.А., Минакова О.А., Манаенкова Е.Н., Плотников С.Ю.* Динамика потребления элементов питания и урожайность культур плодосменного севооборота в зависимости от систем обработки чернозема выщелоченного в Центрально-Черноземном регионе // Агрохимия. 2016. № 11. С. 37–45.
5. *Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В.* Продуктивность и вынос НРК гибридами сахарной свеклы отечественной и иностранной селекции на различных фонах основной удобрённости // Сахарная свекла. 2014. № 5. С. 40–42.
6. *Кураев В.Т., Пономарев А.А., Ерошкина С.М.* Сельскохозяйственный анализ и основы биохимии растений. М.: Колос, 1977. 240 с.
7. Нормативы выноса и коэффициенты использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. М.: ЦИНАО. 1980. 110 с.
8. *Барнштейн Л.А., Гизбуллин Н.Г.* Методики исследований по сахарной свекле. Киев, 1986. 222 с.
9. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Методические указания по определению показателей фотосинтетической и корневой деятельности растений. Л.: ЛСХИ, 1987. 77 с.
11. *Боронтов О.К., Косякин П.А., Манаенкова Е.Н., Елфинов М.Н.* Вынос питательных веществ сахарной свеклой при различных системах основной обработки почвы в севообороте Центрально-Черноземной зоны // Научное обеспечение отрасли свекловодства: мат-лы международ. научн.-практ. конф., посвящ. 85-летию РУП “Опытная научная станция по сахарной свекле”. Несвиж, 28–29 ноября. Минск: Беларуская навука, 2013. С. 167–173.

Growth Dynamics, Consumption of Nutrients and Yield of Sugar Beet Depending on Fertilizers and Treatment of Leached Chernozem in Crop Rotation in the Central-Chernozem Region

P. A. Kosyakin^{a,#}, O. K. Borontov^a, E. N. Manaenkova^a, and O. A. Minakova^a

^a *All-Russian Research Institute for Sugar Beet and Sugar named A.L. Mazlumov
p. VNIISS 36, Voronezh region, Ramonckiy district, 396030, Russia*

[#] *E-mail: kosyakinp@mail.ru*

The results of the study of the dynamics of growth of sugar beet roots and consumption of nutrients depending on the many years of application of the main tillage and fertilizer systems in fruit-changing crop rotation showed a greater removal of nutrients with the yield of the combined tillage with fertilizer (N59P59K59 + manure 11 t/ha of crop rotation area). It was established that at the same time significantly increased the yield, the content of nutrients in the soil, improved photosynthetic activity of the leaf apparatus, the technological quality of root crops and the efficiency of cultivation of culture. The modern hybrid PMC-73 consumed more nutrients for the production of 1 t of yield compared with standard indicators. The highest daily nitrogen consumption was observed in the period from 5 pairs of real leaves to their closure between rows, phosphorus from sowing to closure, potassium from 5 pairs of leaves to intensive growth. Mereless tillage reduced the yield of sugar beet, economic and energy efficiency by 15–18% compared with the dump and combined treatments.

Key words: growth dynamics, consumption of nutrients, yield, sugar beet, fertilizers, treatment, leached chernozem, crop rotation, Central-Chernozem region.