
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

УДК 631.416:631.452:631.445.155:631.582:633.4

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭФФЕКТИВНОЕ ПЛОДОРОДИЕ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ЛУГОВОЙ ПОЧВЫ В ОВОЩНОМ СЕВООБОРОТЕ

© 2024 г. И. Ю. Васючков¹, О. Н. Успенская^{1,*}, А. А. Коломиец¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства

140153 Московская обл., Раменский р-н, д. Верея, стр. 500, Россия

*E-mail: usp-olga@yandex.ru

В овощном севообороте при разных системах удобрения овощных культур определили динамику содержания минеральных элементов питания растений, оценили эффективное плодородие почвы в сравнении с потенциальным в условиях опыта, выявили наиболее эффективную систему удобрения не только для получения наивысших урожаев, но и для сохранения, воспроизведения потенциального плодородия аллювиальной луговой почвы. Исследование проведено в 2015–2019 гг. в Раменском р-не Московской обл. на аллювиальной луговой среднесуглинистой почве центральной поймы р. Москвы. Изучена сезонная динамика содержания 3-х элементов минерального питания растений (нитратного азота, подвижных фосфора и калия) в севообороте морковь – свекла столовая – капуста поздняя за 2015–2019 гг. при применении 3-х основных систем удобрения овощных культур (минеральной, органической, органо-минеральной). Установлено, что максимум содержания нитратного азота (в среднем в севообороте 47.4 мг/кг) и подвижного калия (в среднем 156 мг/кг) приходился на 3-ю декаду июня. Содержание подвижного фосфора в почве было высоким (>200 мг/кг) во все сроки учета. Определена тесная корреляционная связь урожайности корнеплодов и капусты со средним за вегетацию содержанием нитратного азота в почве ($r = 0.735\text{--}0.934$), подвижных фосфора ($r = 0.539\text{--}0.972$) и калия ($r = 0.532\text{--}0.976$). Эффективное плодородие почвы участка под 3-мя культурами за севооборот имело следующие характеристики: при применении минеральной системы удобрения содержание нитратного азота было равно 21.3, органической – 10.1, органо-минеральной – 22.1 мг/кг, содержание подвижного фосфора при применении минеральной системы – 40.4, органической – 34.1, органо-минеральной – 47.9 мг/кг, содержание подвижного калия – 44.4, 20.6, 50.8 мг/кг соответственно. Установлено, что под посевами моркови и свеклы столовой потенциальное плодородие почвы за севооборот воспроизводилось при применении минеральной (рекомендованная доза NPK) и органо-минеральной систем удобрения этих культур, причем урожайность моркови (67–69 т/га) и свеклы (67–68 т/га) при этих системах была высокой: больше, чем ожидаемая расчетная 60 т/га. Под капустой поздней истощения почвы также не происходило при применении рекомендованной минеральной и органо-минеральной систем удобрения, урожайность 78 и 81 т/га была близкой к ожидаемой расчетной урожайности 80 т/га. При этом преимущество имела органо-минеральная система: за севооборот она сохраняла в почве на 13% больше нитратного азота, на 8% больше подвижного фосфора и на 40% больше подвижного калия, чем минеральная. Полутонная и двойная дозы минеральных удобрений под капусту позднюю привели к существенному увеличению ее урожайности (85–90 т/га), но при этом значительная часть азота (в среднем за сезон 33–41 мг/кг) в почве безвозвратно терялась.

Ключевые слова: столовые корнеплоды, капуста белокочанная поздняя, овощной севооборот, динамика содержания минеральных питательных элементов, системы удобрения, аллювиальная луговая почва, потенциальное плодородие, эффективное плодородие.

DOI: 10.31857/S0002188124120016, **EDN:** VWNZNE

ВВЕДЕНИЕ

Морковь, свекла столовая и капуста поздняя являются важными овощными культурами, имеющими

большую питательную и пищевую ценность. В условиях центральных районов Нечерноземной зоны России, на орошаемых пойменных и торфяных почвах

имеются наиболее благоприятные условия для получения высоких урожаев данных культур.

Продовольственная безопасность и экологическая устойчивость сельскохозяйственных систем требует комплексного подхода к управлению плодородием почв. При увеличении объемов производства сельскохозяйственной продукции необходимо сводить к минимуму извлечение запасов питательных веществ из почвы, не допускать ухудшения ее физических и химических свойств, деградации земель и в том числе эрозии почв.

Плодородие почвы – это ее базовая способность обеспечивать для растений «среду обитания», удовлетворять их потребности в воде, воздухе, тепле, питательных веществах в нужных количествах в течение длительного периода времени и в конечном счете определять получение устойчивых и стабильных урожаев высокого качества.

Различают естественное, потенциальное и эффективное плодородие почвы. Естественное плодородие присуще каждой почве, оно обусловлено процессами почвообразования, минерализации и иммобилизации питательных элементов в ней и определяется мощностью гумусового горизонта, содержанием гумуса, запасами питательных веществ, интенсивностью микробиологических процессов, а также естественным водным, воздушным и тепловым режимами. Потенциальное плодородие определяется суммой свойств, приобретенных почвой в процессе почвообразования и свойств, созданных человеком в процессе ее окультуривания. Эффективное плодородие почвы, использование элементов плодородия растениями в данном году, зависит от способа использования почвы (обработки, применения удобрений, мелиорации, возделываемых растений и др.) и оценивается получаемой продуктивностью сельскохозяйственных культур. При большом потенциальном плодородии почвы эффективное может быть небольшим и, наоборот, при соответствующем уровне агротехники можно обеспечить высокое эффективное плодородие – высокий урожай на почвах с невысоким естественным плодородием. В то же время, чем выше естественное плодородие почв, тем меньше риск снижения урожая при экстремальных погодных условиях и неблагоприятном антропогенном воздействии и больше эффективность всех систем земледелия.

Урожайность сельскохозяйственных культур зависит от свойств почвы примерно на 1/3. Другими определяющими урожай факторами являются климатические условия и системы земледелия, главным образом внесение минеральных и органических удобрений. Антропогенное воздействие на почвы должно быть сбалансированным по агроэкологическим параметрам и способствовать не истощению их, а, как минимум, воспроизведству плодородия [1, 2]. При

сложившейся системе землепользования длительное воздействие комплекса агротехнических мероприятий (определенной системы удобрения, обработки почвы, орошения и т.п.) может оказывать стабильное (устойчивое) влияние на агрохимический статус почв (т.е. на ее потенциальные свойства поддерживать определенный уровень и соотношение питательных веществ).

Цель работы – определение динамики содержания минеральных элементов питания растений (азота, фосфора и калия) в течение вегетационного периода в овощном севообороте морковь – свекла столовая – капуста белокочанная при разных системах удобрения культур (минеральной, органической, органо-минеральной) и оценить эффективное плодородие почвы в сравнении с потенциальным в условиях опыта, а также определить наиболее эффективную систему удобрения не только для получения наивысших урожаев, но и для сохранения и приумножения потенциального плодородия аллювиальной луговой почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2015–2019 гг. в Раменском р-не Московской обл. на аллювиальной луговой почве центральной поймы р. Москвы. Среднесуглинистая почва участка благоприятна для выращивания столовых корнеплодов и белокочанной капусты по агрохимическим показателям: pH_{KCl} 6.2–6.5, содержание гумуса – 2.9–3.1%, гидролизуемого азота – 80–110 (по Корнфилду), подвижного фосфора – 220–280 (по Чирикову), подвижного калия – 100–140 мг/кг (по Чирикову).

Погодные условия вегетационного периода (май–сентябрь) ряда лет исследования характеризовались значительными различиями в количестве осадков и температуре воздуха (табл. 1).

2015 и 2018 гг. можно охарактеризовать как сухие ($ГТК = 0.73–0.81$), 2016, 2017 и 2019 гг. – как влажные ($ГТК = 1.17–1.91$). В среднем за годы исследования сумма температур вегетационного периода (май–сентябрь) превышала среднемноголетнюю норму при выращивании столовых корнеплодов и капусты поздней на $339–404^{\circ}\text{C}$ (с изменениями по годам от 97.8 до 609.4°C), а количество осадков было на уровне среднемноголетней нормы ($97.6 – 108\%$).

Агротехника – общепринятая. Посев столовых корнеплодов осуществляли в 3-й декаде мая в гребни высотой 15 см с нормой 900 тыс. шт./га для моркови и 450 тыс. шт./га для свеклы. Высадку 40-суточной рассады капусты поздней проводили в 1-й декаде июня по схеме 70×40 см с расчетной густотой 35–36 тыс. шт./га. В течение вегетации проводили 2–3 междурядные обработки культиватором и 3–4 ручные прополки. Полив дождеванием применяли только при выращивании капусты (7–10 раз в сезон нормой $200–300 \text{ м}^3/\text{га}$). Учет урожая осуществляли в 3-й

Таблица 1. Погодные условия вегетационных периодов при выращивании столовых корнеплодов и капусты поздней (2015–2019 гг.)

Месяц	Среднемного-летняя норма	Годы					Среднее за годы выращивания		
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	моркови	свеклы столовой	капусты поздней
Осадки, мм									
Май	50.0	57.5	76.3	84.2	52.0	56.0	72.7	70.8	64.1
Июнь	65.0	50.5	55.3	139.5	26.0	56.0	81.8	73.6	73.8
Июль	80.0	54.5	67.8	105.3	66.0	91.0	75.9	79.7	87.4
Август	70.0	3.0	145.0	67.9	29.0	51.0	72.0	80.6	49.3
Сентябрь	55.0	45.0	45.5	38.0	31.0	44.0	42.8	38.2	37.7
В сумме за сезон	320.0	210.5	389.9	434.9	204.0	298.0	345.1	342.9	312.3
% от средней многолетней	100.0	65.8	121.8	135.9	63.8	93.1	107.8	107.2	97.6
Среднесуточная температура воздуха, °C									
Май	11.7	14.5	15.0	10.6	16.6	16.5	13.4	14.1	14.6
Июнь	15.4	18.5	18.6	14.5	18.4	20.4	17.2	17.2	17.8
Июль	17.6	18.9	21.6	17.6	20.9	17.2	19.4	20.0	18.6
Август	15.8	18.6	20.3	18.7	20.0	16.7	19.2	19.7	18.5
Сентябрь	10.5	14.1	11.9	12.8	15.0	12.7	12.9	13.2	13.5
В среднем за сезон	14.2	16.9	17.5	14.8	18.2	16.7	16.4	16.8	16.6
Сумма температур	2175.1	2590.0	2678.9	2272.9	2784.5	2555.4	2513.9	2578.8	2537.6
Отклонение от средней многолетней	0.0	414.9	503.8	97.8	609.4	380.3	338.8	403.7	362.5
ГТК	1.47	0.81	1.46	1.91	0.73	1.17	—	—	—

декаде сентября, с разделением продукции на стандартную и нестандартную фракции.

Исследования вели в овощном севообороте с чередованием культур: морковь (2015–2017 гг.) – свекла столовая (2016–2018 гг.) – капуста поздняя (2017–2019 гг.) с применением минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения.

В качестве факторов почвенного плодородия изучали следующие элементы минерального питания: содержание нитратного азота, подвижных фосфора и калия. Контролем служили варианты без внесения удобрений, характеризующие потенциальное плодородие почвы в опыте.

Минеральная система удобрения включала в себя следующие варианты:

1 – рекомендованная доза NPK на получение урожая корнеплодов 60 т/га (N90P60K180 для моркови и N150P60K210 для свеклы) и 80 т/га для капусты поздней (N140P60K220). В основное внесение

использовали азофоску – 16% д.в., аммиачную селитру – 34% N, хлористый калий – 60% K₂O; 2–1/2 рекомендованной дозы (½ NPK); 3–1/2 рекомендованной дозы (½ NPK) + корневая подкормка растений в зависимости от анализа почвы в фазе начала образования корнеплодов и кочанов капусты; 4–1/2 рекомендованной дозы (½ NPK) + корневая подкормка растений в зависимости от анализа черешка листа; 5–1½ рекомендованной дозы (1½ NPK) для капусты поздней; 6 – двойная рекомендованная доза (2 NPK) для капусты поздней.

Органическая система удобрения была представлена вариантами с внесением биокомпоста дозой 3 т/га под морковь и 5 т/га под свеклу и капусту; доза его была выровнена по азоту, внесенному в почву на делянках с рекомендованной дозой NPK. Учитывая среднее содержание в биокомпосте N – 3, P₂O₅ – 2, K₂O – 2%, было внесено: под морковь – 90 кг азота, по 60 кг/га фосфора и калия; под свеклу и капусту – по 150 кг азота и по 100 кг фосфора и калия.

Органо-минеральная система была представлена вариантами с внесением рекомендованных доз NPK совместно с биокомпостом. Биокомпост должен был обогатить почву органическим веществом (содержал ≈30% органического углерода) и полезной микрофлорой, а NPK – компенсировать нехватку питательных веществ для роста и развития растений.

Основное внесение минеральных и органических удобрений осуществляли весной (2-я декада мая) под фрезерование с одновременной нарезкой гребней культиватором-гребнеобразователем. Корневые подкормки проводили в период начала образования корнеплодов и кочанов (1–2-я декады июля) в междурядья. Суммарная в севообороте доза подкормки в зависимости от анализа черешка листа составила N65K20, анализа почвы – N135K125. Исследования, анализы и обработка результатов опытов проведены в соответствии с общепринятыми методиками [3–5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвы Нечерноземной зоны существенно отличаются между собой по содержанию и динамике питательных элементов [6]. Многочисленные исследования показали, что аллювиальные луговые среднесуглинистые почвы обладают хорошим потенциальным плодородием, а системы удобрения по-разному действуют на их питательный режим [7–9].

В течение вегетационного периода, ежемесячно в пахотном горизонте почвы (0–25 см) опытного участка определяли содержание нитратного азота, подвижных фосфора и калия (табл. 2–4).

Наличие различных питательного режима почвы в различных вариантах опыта были обусловлены величиной доз удобрений в основное внесение и в подкормки, а также особенностями поглощения элементов культурой, однако общие тренды прослежены для всех культур. После внесения удобрений их количество значительно возрастало, достигая максимума в 3-й декаде июня, а затем от месяца к месяцу снижалось до минимума к окончанию вегетации. Например, в среднем в севообороте, если принять исходное содержание элемента (до внесения удобрений) за 100%, то в 3-й декаде июня содержание N-NO₃ составляло 314% к контролю, подвижного P₂O₅ – 105%, подвижного K₂O – 134%; во 2-й декаде июля – 173, 103 и 101%, во 2-й декаде августа – 91, 101 и 88% и в 3-й декаде сентября – 40, 99 и 76% соответственно. В целом за вегетационный период, в среднем в севообороте содержание нитратного азота в зависимости от системы удобрения составляло 152–993% к контролю, подвижного фосфора – 105–125, подвижного калия – 108–172%. Естественно, чем больше была доза внесения элемента в составе удобрения, тем было больше определяемое содержание его в почве и тем выше продуктивность культуры (табл. 5).

Таблица 2. Потенциальное и эффективное плодородие почвы (слой 0–25 см) в зависимости от содержания нитратного азота при применении систем удобрения в овощном севообороте (2015–2019 гг.)

Система удобрения	Внесено азота, кг Д.В./га	Потенциальное плодородие, мг/кг (май, 2-я декада)	Эффективное плодородие по содержанию N-NO ₃				среднее за сезон		
			июнь, 3-я декада	июль, 2-я декада	август, 2-я декада	сентябрь, 3-я декада	мг/кг	% от контроля	± к потенциальному, мг/кг
			МГ/КГ						
Контроль без удобрений	0	11.1	21.2	6.6	5.0	3.1	9.4	100	-1.7
% NPK	45	12.7	31.3	21.2	11.0	6.2	16.5	175	3.8
% NPK + подкормка (анализ листа)	65	13.4	33.3	30.8	18.2	9.2	21.0	223	7.6
% NPK + подкормка (анализ почвы)	55	14.7	48.4	28.7	12.3	6.3	22.1	235	7.4
Среднее с подкормками	60	14.1	40.9	29.8	15.3	7.8	21.5	229	7.5

Таблица 2. Окончание

Система удобрения	Внесено азота, кг д.в./га	Потенциальное плодородие, мг/кг (май, 2-я декада)	Эффективное плодородие по содержанию N-NO ₃				среднее за сезон		
			июнь, 3-я декада	июль, 2-я декада	август, 2-я декада	сентябрь, 3-я декада	мг/кг	% от контроля	± к потенциальному, мг/кг
			мг/кг				Морковь, 2015–2017 гг.		
Полная минеральная	90	17.6	67.3	32.2	19.3	8.9	29.1	309	11.5
Органическая	90	16.8	25.6	14.5	11.0	5.0	14.6	155	-2.2
Органо-минеральная	180	17.0	63.2	34.4	15.6	8.8	27.8	296	10.8
Среднее на дату	-	14.7	41.4	24.8	13.5	6.9			
Свекла столовая, 2016–2018 гг.									
Контроль без удобрений	0	12.7	18	6.6	3.2	1.6	8.4	100	-4.3
½ NPK	75	16.7	42.9	22.7	9.5	3.6	19.1	227	2.4
½ NPK + подкормка (анализ листа)	80	16.1	44.6	25.4	10.3	4.3	20.1	239	4.0
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	125	17.3	46.0	26.6	21.3	9.2	24.1	286	6.8
Среднее с подкормками	103	16.7	45.3	26.0	15.8	6.8	22.1	263	5.4
Полная минеральная	150	19.9	81.1	38.2	22.8	10.9	34.6	411	14.7
Органическая	150	17.0	42.3	32.1	22.7	5.3	23.9	284	6.9
Органо-минеральная	300	18.6	99.3	39.5	18.7	9.1	37.0	440	18.4
Среднее на дату	-	16.9	52.4	27.1	15.5	6.3			
Капуста поздняя, 2017–2019 гг.									
Контроль без удобрений	0	11.4	7.6	3.3	2.3	2.8	5.5	100	-5.9
½ NPK	70	13.1	18.4	4.2	2.6	3.4	8.3	152	-4.8
½ NPK + подкормка (анализ листа)	110	15.1	17.8	4.7	3.8	4.4	9.2	167	-5.9
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	145	12.8	27.4	11.1	5.9	4.5	12.3	225	-0.5
Среднее с подкормками	128	14.0	22.6	7.9	4.9	4.5	10.8	196	-3.2
Полная минеральная	140	15.2	73.3	20.8	4.7	4.2	23.6	431	8.4
1½ NPK	210	13.7	101	74.7	36.5	8.7	47.0	857	33.3
2 NPK	280	13.3	117	82.6	47.5	11.9	54.4	993	41.1
Органическая	150	13.9	30.7	25.8	3.3	2.4	15.2	278	1.3
Органо-минеральная	290	15.0	68.4	27.8	9.1	3.6	24.8	452	9.8
Среднее на дату	-	13.7	48.4	26.3	12.1	5.0	-	-	-
Среднее на дату в севообороте	-	15.1	47.4	26.1	13.7	6.1	-	-	-

Таблица 3. Потенциальное и эффективное плодородие почвы (слой 0–25 см) в зависимости от содержания подвижного фосфора (по методу Чирикова) при применении систем удобрения в овощном севообороте (2015–2019 гг.)

Система удобрения	Внесено фосфора, кг д.в./га	Потенциальное плодородие, мг/кг (май, 2-я декада)	Эффективное плодородие по содержанию P_2O_5				среднее за сезон				
			июнь, 3-я декада	июль, 2-я декада	август, 2-я декада	сентябрь, 3-я декада	мг/кг	% контроля	\pm к потенциальному, мг/кг		
			мг/кг								
Морковь, 2015–2017 гг.											
Контроль без удобрений	0	238	236	225	220	218	227	100	-10.6		
½ NPK	30	245	260	257	243	238	249	109	3.6		
½ NPK + подкормка (анализ листа)	30	247	265	259	243	236	250	110	3.0		
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	30	251	269	255	248	240	253	111	1.6		
Среднее с подкормками	30	249	267	257	246	238	251	111	2.3		
Полная минеральная	60	256	280	280	276	269	272	120	16.2		
Органическая	60	249	260	262	284	277	266	117	17.4		
Органо-минеральная	120	265	282	294	297	288	285	125	20.2		
Среднее на дату	-	250	265	261	257	251					
Свекла столовая, 2016–2018 гг.											
Контроль без удобрений	0	225	220	226	217	210	220	100	-5.4		
½ NPK	30	231	240	238	231	228	234	106	2.6		
½ NPK + подкормка (анализ листа)	30	234	244	236	230	226	234	107	0.0		
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	30	235	247	236	232	230	236	108	1.0		
Среднее с подкормками	30	235	246	236	231	228	235	107	0.5		
Полная минеральная	60	241	262	250	248	250	250	114	9.2		
Органическая	100	251	273	263	256	261	261	119	9.8		
Органо-минеральная	160	256	280	275	260	268	267	122	11.8		
Среднее на дату	-	238	251	245	238	238					
Капуста поздняя, 2017–2019 гг.											
Контроль без удобрений	0	229	236	232	220	207	225	100	-4.2		
½ NPK	30	240	247	243	235	224	238	106	-2.2		
½ NPK + подкормка (анализ листа)	30	238	241	245	236	226	237	106	-0.8		
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	30	237	240	248	243	235	241	107	3.6		
Среднее с подкормками	30	238	241	247	240	231	239	106	1.4		
Полная минеральная	60	261	277	279	271	264	270	120	9.4		
1½ NPK	90	273	288	277	276	267	276	123	3.2		
2 NPK	120	275	289	278	283	271	279	124	4.2		
Органическая	100	242	250	252	250	240	247	110	4.8		
Органо-минеральная	160	257	265	269	263	258	262	117	5.4		
Среднее на дату	-	249	257	257	252	242					
Среднее на дату в севообороте	-	246	258	254	249	244					

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

11

Таблица 4. Потенциальное и эффективное плодородие почвы (слой 0–25 см) в зависимости от содержания подвижного калия (по методу Чирикова) при применении систем удобрения в овощном севообороте (2015–2019 гг.)

Система удобрения	Внесено калия, кг д.в./га	Потенциальное плодородие, мг/кг (май, 2-я декада)	Эффективное плодородие по содержанию K ₂ O				среднее за сезон				
			июнь, 3-я декада	июль, 2-я декада	август, 2-я декада	сентябрь, 3-я декада	мг/кг	% контроля	± к потенциальному, мг/кг		
			мг/кг								
Морковь, 2015–2017 гг.											
Контроль без удобрений	0	109	119	111	82.0	79.0	100	100	-9.0		
½ NPK	90	123	160	124	106	86.0	120	120	-3.2		
½ NPK + подкормка (анализ листа)	100	125	160	124	101	83.0	119	119	-6.4		
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	130	122	168	133	112	91.0	125	125	3.2		
Среднее с подкормками	115	124	164	129	107	87.0	122	122	-1.6		
Полная минеральная	180	136	195	146	133	118	146	146	9.6		
Органическая	60	127	142	128	101	93.0	118	118	-8.8		
Органо-минеральная	240	140	205	167	156	137	161	161	21.0		
Среднее на дату	—	126	164	133	112	96.8					
Свекла столовая, 2016–2018 гг.											
Контроль без удобрений	0	107	121	97.0	71.0	66.0	92.4	100	-14.6		
½ NPK	105	112	151	94.0	79.0	72.0	102	110	-10.4		
½ NPK + подкормка (анализ листа)	115	112	147	93.0	78.0	68.0	99.6	108	-12.4		
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	130	110	152	98.0	86.0	77.0	105	113	-5.4		
Среднее с подкормками	123	111	150	95.5	82.0	72.5	102	111	-8.9		
Полная минеральная	210	125	186	156	135	111	143	154	17.6		
Органическая	100	120	168	100	92.0	80.0	112	121	-8.0		
Органо-минеральная	310	132	195	159	135	99.0	144	156	12.0		
Среднее на дату	—	116	159	112	94.8	80.7					
Капуста поздняя, 2017–2019 гг.											
Контроль без удобрений	0	96.0	87.0	85.0	76.0	69.0	82.6	100	-13.4		
½ NPK	110	103	123	91.0	77.0	77.0	94.2	114	-8.8		
½ NPK + подкормка (анализ листа)	110	100	119	84.0	85.0	81.0	93.8	114	-6.2		
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	170	102	119	90.0	88.0	85.0	96.8	117	-5.2		
Среднее с подкормками	140	101	119	87.0	86.5	83.0	95.3	115	-5.7		
Полная минеральная	220	118	176	114	105	88.0	120	146	2.2		
1½ NPK	330	110	192	147	130	104	137	165	26.6		
2 NPK	440	111	206	150	139	105	142	172	31.2		
Органическая	100	109	134	119	93.0	78.0	107	129	-2.4		
Органо-минеральная	320	114	169	120	112	97.0	122	148	8.4		
Среднее на дату	—	106	144	109	99.2	86.7					
Среднее на дату в севообороте	—	116	156	118	102	88.1					

Таблица 5. Урожайность культур овощного севооборота в зависимости от систем удобрения (2015–2019 гг.)

Система удобрения	Внесено NPK, кг д.в./га	Урожайность			Окупае- мость 1 кг д.в. урожаем, кг	
		общая		стандарт- ная, % от общей		
		т/га	% от конт- роля			
Морковь, 2015–2017 гг.						
Контроль без удобрений	0	56.9	100	81.0	—	
½ NPK	165	64.8	114	81.9	47.9	
½ NPK + подкормка (анализ листа)	195	70.4	124	78.0	69.2	
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	215	70.3	124	80.9	62.3	
Среднее с подкормками	205	70.4	124	79.5	65.6	
Полная минеральная	330	67.1	118	77.9	30.9	
Органическая	210	65.5	115	77.6	41.0	
Органо-минеральная	540	69.0	121	75.5	22.4	
HCP_{05}		3.8				
Корреляция со средним за сезон содержанием питательных веществ в почве						
N-NO ₃	—	0.735*	*Существенна на 5%-ном уровне $t_r^{\text{факт}} \geq t_r^{\text{теор}}$			
P ₂ O ₅ (по Чирикову)	—	0.539				
K ₂ O (по Чирикову)	—	0.532				
Свекла столовая, 2016–2018 гг.						
Контроль без удобрений	0	52.0	100	93.0	—	
½ NPK	210	57.3	110	95.8	25.2	
½ NPK + подкормка (анализ листа)	225	62.7	121	93.1	47.6	
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	285	62.0	119	92.7	35.1	
Среднее с подкормками	255	62.4	120	92.9	40.6	
Полная минеральная	420	67.9	131	93.7	37.9	
Органическая	350	63.4	122	92.6	32.6	
Органо-минеральная	770	66.5	128	95.2	18.8	
HCP_{05}		4.1				
Корреляция со средним за сезон содержанием питательных веществ в почве						
N-NO ₃	—	0.928*	*Существенна на 5%-ном уровне $t_r^{\text{факт}} \geq t_r^{\text{теор}}$			
P ₂ O ₅ (по Чирикову)	—	0.784*				
K ₂ O (по Чирикову)	—	0.793*				
Капуста поздняя, 2017–2019 гг.						
Контроль без удобрений	0	54.8	100	91.0	—	
½ NPK	210	60.5	110	93.0	27.1	
½ NPK + подкормка (анализ листа)	250	64.1	117	93.7	37.2	
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	345	65.4	119	94.3	30.7	
Среднее с подкормками	298	64.8	118	94.0	33.4	
Полная минеральная	420	78.3	143	95.7	56.0	
1½ NPK	630	85.1	155	95.9	48.1	
2 NPK	840	90.2	165	95.6	42.1	
Органическая	350	63.5	116	93.6	24.9	
Органо-минеральная	770	81.2	148	96.2	34.3	
HCP_{05}		4.0				
Корреляция со средним за сезон содержанием питательных веществ в почве						
N-NO ₃	—	0.934*	*Существенна на 5%-ном уровне $t_r^{\text{факт}} \geq t_r^{\text{теор}}$			
P ₂ O ₅ (по Чирикову)	—	0.972*				
K ₂ O (по Чирикову)	—	0.976*				

В табл. 2–4 приведены данные эффективного плодородия почвы опытного участка при применении разных систем удобрения для моркови, свеклы

столовой и капусты поздней в сравнении с исходным, потенциальным плодородием. Анализы почвы для определения потенциального плодородия

проводили во 2-й декаде мая, до посева семян столовых корнеплодов, высадки рассады капусты и внесения удобрений.

В среднем в севообороте (за 5 лет) содержание нитратного азота в почве опытного участка под 3-мя культурами составило 29.1 мг/кг при применении минеральной системы удобрения (полная рекомендованная доза NPK), 17.9 мг/кг – при использовании органической системы удобрения, 29.9 мг/кг – при использовании органо-минеральной системы. Содержание подвижного фосфора было равно соответственно 264, 258, 272 мг/кг, содержание подвижного калия – 136, 112, 143 мг/кг.

Потенциальное плодородие опытного участка за тот же срок в зависимости от изученного фактора характеризовалось следующими содержаниями элементов минерального питания: азота нитратного – 7.8, подвижного фосфора – 224, подвижного калия – 91.7 мг/кг.

Таким образом, эффективное плодородие почвы участка под 3-мя культурами за севооборот имело следующие характеристики: при применении минеральной системы удобрения содержание нитратного азота было равно 21.3, органической – 10.1, органо-минеральной – 22.1 мг/кг, подвижного фосфора при применении минеральной системы – 40.4, органической – 34.1, органо-минеральной – 47.9 мг/кг, подвижного калия – 44.4, 20.6, 50.8 мг/кг соответственно.

В табл. 2–4 приведены итоговые средние за сезон величины содержания элементов эффективного плодородия по отношению к потенциальному для всех 3-х культур севооборота. Число со знаком «минус» означает, что к концу вегетации произошло истощение почвы по содержанию данного элемента. Анализ этих данных показал, что в контрольных вариантах под всеми 3-мя культурами происходило истощение

почвы по содержанию всех 3-х исследованных элементов плодородия, что было вполне естественно. Под морковью (за 3 года) при применении половинной рекомендованной дозы NPK и половинной дозы NPK с подкормкой в зависимости от анализа черешка листа происходило истощение почвы по содержанию калия, а при применении органической системы – по содержанию калия и нитратного азота. В почве под свеклой столовой (за 3 года) отмечена та же закономерность, только по содержанию калия почва истощалась еще и в варианте с половинной дозой NPK и корневой подкормкой в зависимости от анализа почвы, а при применении органической системы почва сохраняла положительный баланс содержания нитратного азота. В почве под капустой (за 3 года) отмечен отрицательный баланс содержания нитратного азота во всех 3-х вариантах с половинной дозой NPK, содержания фосфора подвижного в 2-х вариантах с половинной дозой NPK, содержания калия подвижного в 3-х вариантах с половинной дозой NPK и при применении органической системы удобрения. При применении полной рекомендованной дозы NPK и органо-минеральной систем удобрения истощения почвы по содержанию всех изученных элементов минерального питания не происходило под всеми 3-мя овощными культурами.

Если суммировать эти данные при применении разных систем удобрения, то в целом в севообороте выявлена следующая закономерность (табл. 6).

В почве под морковью и свеклой столовой потенциальное плодородие почвы воспроизводилось при применении минеральной (рекомендованной дозой NPK) и органо-минеральной систем удобрения этих культур, причем урожайность моркови (67–69 т/га) и свеклы (67–68 т/га) при этих системах была высокая: больше, чем ожидаемая расчетная 60 т/га. Под капустой поздней истощения почвы

Таблица 6. Содержание элементов эффективного плодородия в сравнении с потенциальным (среднее в севообороте при применении разных системах удобрения)

Система удобрения	Элементы минерального питания, мг/кг		
	Нитратный азот, N-NO ₃	Фосфор подвижный, P ₂ O ₅	Калий подвижный, K ₂ O
Контроль	– 7.3	– 6.7	– 12.3
Минеральная:			
NPK (расчетная)	+11.5	+11.6	+ 9.8
½ NPK	+ 0.5	+ 1.3	– 7.5
½ NPK + подкормка (анализ почвы)	+4.6	+ 2.1	+ 2.5
½ NPK + подкормка (анализ листа)	+ 1.9	+ 2.7	– 8.3
1 ½ NPK (для капусты)	+33.3	+ 3.2	+26.6
2 NPK (для капусты)	+46.1	+ 4.2	+31.2
Органическая	+ 2.0	+10.7	– 6.4
Органо-минеральная	+13.0	+12.5	+13.8

также не происходило при применении рекомендованной минеральной и органо-минеральной систем удобрения, урожайность 78 и 81 т/га были близки к ожидаемой расчетной урожайности 80 т/га. Применение полуторной и двойной доз минеральных удобрений под капусту позднюю привело к существенному увеличению ее урожайности (85–90 т/га), но при этом значительная часть азота (в среднем за сезон 33–41 мг/кг) в почве оказалась «лишней» (табл. 2) и могла быть безвозвратно утеряна.

Половинная доза минеральных удобрений приводила к истощению почвы по содержанию калия под всеми 3-мя культурами, а под капустой поздней – еще и по содержанию азота. Корневые подкормки растений в середине вегетации (фаза начала образования корнеплодов или формирования кочана) на основании данных анализа почвы и черешков листьев в некоторой степени «смягчили» истощение почвы по содержанию калия и азота. Урожайность моркови и свеклы столовой при этом была достаточно высокой (62–70 т/га), капусты поздней – низкой (\approx 65 т/га).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, как фактор почвенного плодородия изучена сезонная динамика содержания 3-х элементов минерального питания растений (азота нитратного, фосфора и калия подвижных) в овощном севообороте морковь – свекла столовая – капуста поздняя в 2015–2019 гг. на аллювиальной луговой почве при применении 3-х основных систем удобрения культур (минеральной, органической, органо-минеральной).

Максимум содержания нитратного азота (в среднем в севообороте 47.4 мг/кг) и подвижного калия (в среднем 156 мг/кг) приходился на 3-ю декаду июня. Содержание подвижного фосфора в почве было высоким (>200 мг/кг) во все сроки учета. Определена тесная корреляционная связь урожайности корнеплодов и капусты со средним за вегетацию содержанием нитратов в почве ($r = 0.735–0.934$), подвижного фосфора ($r = 0.539–0.972$) и подвижного калия ($r = 0.532–0.976$).

В среднем в севообороте (за 5 лет) содержание нитратного азота в почвах опытного участка под 3-мя культурами составило 29.1 мг/кг при применении минеральной системы удобрения (полной рекомендованной дозы NPK), 17.9 мг/кг – при использовании органической системы удобрения, 29.9 мг/кг – при использовании органо-минеральной системы, содержание подвижного фосфора – соответственно 264, 258, 272 мг/кг, содержание подвижного калия – соответственно 136, 112, 143 мг/кг. Потенциальное плодородие почвы опытного участка за тот же срок характеризовалось следующими содержаниями элементов минерального питания: нитратного

азота – 7.8, фосфора подвижного – 224, калия подвижного – 91.7 мг/кг.

Эффективное плодородие почвы опытного участка под 3-мя культурами за севооборот, таким образом, составило: при применении минеральной системы удобрения содержание нитратного азота было равно 21.3 мг/кг, органической – 10.1 мг/кг, органо-минеральной – 22.1 мг/кг, содержание подвижного фосфора – 40.4, 34.1, 47.9 мг/кг соответственно, содержание подвижного калия – 44.4, 20.6, 50.8 мг/кг соответственно.

Установлено, что под морковью и свеклой столовой потенциальное плодородие почвы воспроизводилось при применении минеральной (рекомендованной дозы NPK) и органо-минеральной систем удобрения этих культур, причем урожайность моркови (67–69 т/га), и свеклы (67–68 т/га) при применении этих систем была высокой больше, чем ожидаемая расчетная 60 т/га. Под капустой поздней истощения почвы также не происходило при применении рекомендованной минеральной и органо-минеральной систем удобрения, при этом урожайность 78 и 81 т/га была близкой к ожидаемой расчетной урожайности 80 т/га.

Применение полуторной и двойной дозы минеральных удобрений под капусту позднюю привели к существенному увеличению ее урожайности (85–90 т/га), но при этом значительная часть азота (в среднем за сезон 33–41 мг/кг) в почве оказывалась «лишней» и могла быть безвозвратно утеряна.

Применение половинной дозы минеральных удобрений приводило к истощению почвы по содержанию калия под всеми 3-мя культурами, под капустой поздней – еще и по содержанию азота. Корневые подкормки растений в середине вегетации на основе почвенной и листовой диагностики питания в некоторой степени «смягчили» истощение почвы по содержанию калия и азота. Урожайность моркови и свеклы столовой при этом была достаточно высокой (62–70 т/га), капусты поздней – низкой (\approx 65 т/га).

Таким образом, наиболее эффективными системами удобрения почвы для получения наивысших урожаев овощных корнеплодов и капусты поздней при одновременном воспроизведении почвенного плодородия были рекомендованная минеральная и органо-минеральная системы. При этом значительное преимущество имела органо-минеральная система, при ее применении за севооборот в почве сохранялось на 13% больше (в сравнении с минеральной) нитратного азота, на 8% – подвижного фосфора и на 40% – подвижного калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журбицкий З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 294 с.
2. Ковылин В.М., Борисов В.А., Борисова Л.М., Масловский С.А. Влияние систем удобрения в овоще-кормовом севообороте на агрохимические показатели плодородия аллювиальной луговой почвы //Агрохимия. 2004. № 10. С. 14–21.
3. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН, ВНИИО, 2011. 648 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
6. Кораблева Л.И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны. М.: Наука, 1969. 278 с.
7. Борисов В.А. Удобрение овощных культур. М.: Колос, 1978. 207 с.
8. Борисов В.А., Ванеян С.С., Егоров С.С., Ермаков Н.Ф. Пойменное овощеводство. М.: РОСагропромиздат, 1991. 223 с.
9. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

Dynamics of the Content of Mineral Elements and Effective Fertility of Alluvial Meadow Soil in Vegetable Crop Rotation

I. Y. Vasyuchkov^a, O. N. Uspenskaya^{a, #}, A. A. Kolomiets^a

^aThe All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing, the Branch branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing, village Vereya, building 500, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia
[#]E-mail: usp-olga@yandex.ru

In vegetable crop rotation with different fertilization systems of vegetable crops, the dynamics of the content of mineral elements of plant nutrition was determined, effective soil fertility was evaluated in comparison with potential under experimental conditions, and the most effective fertilizer system was identified not only to obtain the highest yields, but also to preserve and reproduce the potential fertility of alluvial meadow soil. The study was conducted in 2015–2019 in the Ramensky district of the Moscow region on the alluvial meadow medium loamy soil of the central floodplain of the Moscow River. The seasonal dynamics of the content of 3 elements of plant mineral nutrition (nitrate nitrogen, mobile phosphorus and potassium) in the carrot – beet – cabbage crop rotation was studied, using 3 main fertilization systems for vegetable crops (mineral, organic, organo-mineral). It was found that the maximum content of nitrate nitrogen (on average in crop rotation 47.4 mg/kg) and mobile potassium (on average 156 mg/kg) occurred in the third decade of June. The content of mobile phosphorus in the soil was high (>200 mg/kg) at all accounting periods. A close correlation was determined between the yield of root crops and cabbage with the average content of nitrate nitrogen in the soil during the growing season ($r = 0.735–0.934$), mobile phosphorus ($r = 0.539–0.972$) and potassium ($r = 0.532–0.976$). The effective soil fertility of the site under 3 crops per crop rotation had the following characteristics: when using a mineral fertilizer system, the content of nitrate nitrogen was 21.3, organic – 10.1, organo-mineral – 22.1 mg/kg, the content of mobile phosphorus when using a mineral system – 40.4, organic – 34.1, organo-mineral – 47.9 mg/kg, the content of mobile potassium is 44.4, 20.6, 50.8 mg/kg, respectively. It was found that under crops of carrots and beets, the potential fertility of the soil during crop rotation was reproduced with the use of mineral (recommended dose of NPK) and organo-mineral fertilization systems of these crops, and the yield of carrots (67–69 t/ha) and beets (67–68 t/ha) under these systems was high, more than expected estimated 60 t/ha. Under cabbage, late soil depletion also did not occur when using the recommended mineral and organo-mineral fertilizer systems, yields of 78 and 81 t/ha were close to the expected estimated yield of 80 t/ha. At the same time, the organo-mineral system had an advantage: during crop rotation, it retained 13% more nitrate nitrogen in the soil, 8% more mobile phosphorus and 40% more mobile potassium than the mineral one. One and a half and double doses of mineral fertilizers for late cabbage led to a significant increase in its yield (85–90 t/ha), but at the same time a significant part of nitrogen (on average for the season 33–41 mg/kg) was irretrievably lost in the soil.

Keywords: table root crops, late cabbage, vegetable crop rotation, dynamics of the content of mineral nutrients, fertilizer systems, alluvial meadow soil, potential fertility, effective fertility.