

Р.В. ТИМОШИНОВ, Е.Ж. КУШАЕВА, Л.Е. МАРЧУК, А.А. ДУБКОВ,
К.С. ПИСКУНОВ, А.Г. КЛЫКОВ

Влияние различных систем удобрений на урожайность сои и пшеницы в севообороте длительного опыта на агрохимическом стационаре ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки

Представлены результаты изучения в 2018–2020 гг. различных систем удобрений в длительном стационарном опыте, их влияния на изменение плодородия почвы, урожайность и качество семян возделываемых в севообороте культур в условиях Приморского края. При выращивании пшеницы выделен вариант с комплексной системой удобрений и двойной нормой NPK, обеспечивший наибольшую прибавку урожайности и получение зерна с весьма высоким содержанием белка и клейковины. Максимальная урожайность сои, масса 1000 зерен (187,8 г) и высокое содержание белка в семенах (39,3 %) выявлены при использовании комплексной системы с одинарной дозой NPK.

Ключевые слова: агрохимический стационар, системы удобрений, севооборот, урожайность, соя, пшеница, качество семян.

The influence of various fertilizer systems on the yield of soy beans and wheat in the crop rotation of the long-term agrochemical stationary of A.K. Chaika Federal Research Center of Agricultural biotechnology of the Far East. R.V. TIMOSHINOV, E.Zh. KUSHAIEVA, L.E. MARCHUK, A.A. DUBKOV, K.S. PISKUNOV, A.G. KLYKOV (Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Timiryazevsky village).

The article presents the results of the study of various fertilizer systems in a long-term stationary experiment conducted in 2018–2020, their influence on the change in soil fertility, yield and quality of seeds of the Primorsky Krai crop rotation. During the wheat growing the variant with a complex fertilizer system and a double NPK rate stood out, which provided the greatest increase in yield and obtaining grain with a sufficiently high protein and gluten content. The maximum yield of soybeans, high protein content in seeds (39.3 %), and 1000 seed weight (187.8 g) were observed when using a complex system with a single dose of NPK.

Key words: agrochemical stationary, fertilizer systems, crop rotation, yield, soybeans, wheat, seed quality.

В современном земледелии удобрение – важнейшее средство круговорота и баланса биогенных веществ, активного целенаправленного регулирования питания растений, последовательного повышения плодородия, увеличения продуктивности агроценозов и поддержания экологического равновесия в природе [12].

*ТИМОШИНОВ Роман Витальевич – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом земледелия и агрохимии, КУШАЕВА Елена Жоржевна – научный сотрудник, МАРЧУК Людмила Евгеньевна – младший научный сотрудник, ДУБКОВ Александр Алексеевич – научный сотрудник, ПИСКУНОВ Кирил Сергеевич – младший научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией, КЛЫКОВ Алексей Григорьевич – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом (Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, пос. Тимирязевский). *E-mail: fe.smc_rf@mail.ru

В январе 1941 г. под руководством академика Д.Н. Прянишникова создана Географическая сеть длительных опытов с удобрениями [7]. В этом же году в Приморском крае был заложен агрохимический стационар на базе Приморской краевой комплексной сельскохозяйственной опытной станции (в настоящее время ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»). В системе Географической сети работают 65 научных учреждений, которые проводят около 130 длительных полевых опытов с удобрениями. Из них более половины продолжаются свыше 35 лет и 15 – более 70 лет [6].

Одной из главных задач многолетних опытов является изучение эффективности удобрений с целью получения экспериментальных данных для разработки зональных рекомендаций по их применению [8]. Систематическое внесение органических и минеральных удобрений, извести на протяжении 80 лет на нашем агрохимическом стационаре способствовало повышению содержания в почве элементов питания и их запаса в усвояемой для растений форме. Это позволило в настоящее время в условиях ограниченного применения удобрений получать достаточно высокие урожаи культур за счет использования созданных запасов элементов питания [10, 11].

В длительных полевых опытах по изучению систем применения удобрений в севооборотах можно получить наиболее полную информацию о влиянии систематического применения удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур, баланс элементов минерального питания, изменение агрохимических свойств почв и экологическое воздействие на окружающую среду [1–3].

Цель работы – в условиях агрохимического стационара исследовать влияние различных систем удобрений на плодородие почв, урожайность, качество семян сои и пшеницы в севообороте длительного опыта.

Материалы, методы и условия исследований

Исследования выполнялись в 2018–2020 гг. на поле № 8 агрохимического стационара, заложенного в 1941 г. на базе девятипольного севооборота ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». На исследуемом поле в 2021 г. заканчивается восьмая ротация севооборота. Для изучения взяты комплексные системы с одинарной и двойной дозой НРК, известково-минеральная и минеральная. Навоз и известь вносили в начале каждой ротации севооборота. В контрольном варианте за все время исследований удобрения не применялись. Минеральные удобрения вносились ежегодно вручную в виде диаммофоски ($N_{10}P_{26}K_{26}$) и аммиачной селитры (N_{34}) в одинарной дозе ($N_{30}P_{45}K_{45}$) во 2-м и 4-м вариантах и в двойной ($N_{60}P_{90}K_{90}$) в 3-м и 5-м вариантах.

Почва опытного участка – лугово-бурая отбеленная, тяжелосуглинистая. В почвенных пробах определялись следующие показатели, характеризующие агрохимические свойства почвы: органическое вещество (гумус) по Тюрину; pH_{KCl} – ГОСТ 26483-85; подвижные формы фосфора и калия по методу Кирсанова – ГОСТ Р 54650-2011; содержание белка – ГОСТ 10846-91, жира – ГОСТ 29033-91 в зерне, клейковины в зерне пшеницы – ГОСТ Р 54478-2011.

Площадь опытной делянки – 250 м², повторность опыта – трехкратная. Агротехника в опыте – общепринятая для Приморского края.

В севообороте возделывались: в 2017 г. – клевер луговой сорта Командор; в 2018 г. – яровая пшеница сорта Приморская 39; в 2019 г. – соя сорта Муссон; в 2020 г. – яровая пшеница сорта Приморская 39.

Схема опыта агрохимического стационара включала следующие варианты внесения удобрений:

- 1) контроль (без удобрений),
- 2) $H_{220} + I_{22} + N_{1033}P_{1410}K_{1125} + N_{30}P_{45}K_{45}^*$,
- 3) $H_{220} + I_{22} + N_{2633}P_{2780}K_{2155} + N_{60}P_{90}K_{90}^{**}$,

$$4) \text{I}_{30} + \text{N}_{1055} \text{P}_{1270} \text{K}_{1985} + \text{N}_{30} \text{P}_{45} \text{K}_{45}^*,$$

$$5) \text{N}_{2620} \text{P}_{2855} \text{K}_{2100} + \text{N}_{60} \text{P}_{90} \text{K}_{90}^{**},$$

где Н, И, NPK – суммарное количество навоза, извести и минеральных удобрений, внесенное за предыдущие ротации до 2017 г. (навоз и известь – т/га, NPK – кг д.в./га); $\text{N}_{30} \text{P}_{45} \text{K}_{45}^*$ – одинарная доза минеральных удобрений, ежегодно вносилась во 2-м и 4-м вариантах; $\text{N}_{60} \text{P}_{90} \text{K}_{90}^{**}$ – двойная доза, ежегодно вносилась в 3-м и 5-м вариантах до 2020 г.

Результаты исследований

Исследования показали, что возделываемые после клеверного сидерального пара культуры в процессе формирования урожая по-разному использовали элементы питания, что обусловило различие их содержания в почве. В 2019 г. после выращивания пшеницы отмечено снижение содержания нитратного азота ($-\text{NO}_3$) во всех вариантах, а в 2020 г. после возделывания сои, наоборот, произошло увеличение во всех вариантах, кроме контрольного.

Среди предшественников большое влияние на содержание нитратного азота оказал сидеральный пар (табл. 1). Пшеница, размещаемая по данному предшественнику, имела самую высокую обеспеченность нитратным азотом. Запашка клевера на сидерат осенью 2017 г.

способствовала обогащению почвы N-NO_3 , поэтому его содержание в 2018 г. увеличилось во всех вариантах опыта. В контроле без внесения удобрений содержание N-NO_3 возросло с 8,7 до 20,4 мг/кг, что еще раз доказывает положительное действие севооборота на элементы питания. Наибольшее увеличение отмечено в варианте с внесением $\text{N}_{60} \text{P}_{90} \text{K}_{90}$ на фоне комплексной системы с двойной дозой минеральных удобрений (вариант 3) от величины, меньшей минимального порога определения (МПО), до 42,7 мг/кг.

Многие отечественные ученые считают, что содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в почве является характерным признаком уровня ее плодородия, а повышение обеспеченности этим элементом – показателем роста ее окультуренности [4, 9, 13]. Из применяемых нами систем удобрений наибольшее содержание подвижного фосфора (табл. 2) – 78 мг/кг обеспечила комплексная система, включающая навоз, известь и двойную дозу NPK ($\text{H}_{220} + \text{I}_{22} + \text{N}_{2633} \text{P}_{2780} \text{K}_{2155} + \text{N}_{60} \text{P}_{90} \text{K}_{90}$) (вариант 3). В этом варианте к 2017 г. создан повышенный уровень обеспеченности почвы подвижным фосфором по сравнению с очень низким в контроле – 15 мг/кг. Наименьшее содержание (32 мг/кг) обеспечила минеральная система (вариант 5). В 2020 г. фосфатный режим почвы в контрольном варианте без внесения удобрений практически не изменился, по нашему мнению, благодаря положительному действию многолетних трав в севообороте. Применение комплексной системы удобрений (навоз, известь + одинарная доза NPK) увеличило содержание подвижного фосфора на 64 %, т.е. достигнут повышенный уровень обеспеченности. При этом двойная норма минеральных удобрений на фоне навоза и извести, а также минеральные удобрения на фоне известково-минеральной системы (вариант 4) не способствовали увеличению содержания подвижного фосфора. Снижение его уровня на 25 % отмечено при внесении $\text{N}_{60} \text{P}_{90} \text{K}_{90}$ на фоне минеральной системы (вариант 5).

Для эффективного функционирования агроценозов необходимо учитывать не только азотное и фосфатное, но и калийное состояние почв [5, 9]. Содержание обменного калия (K_2O) за годы исследований снизилось почти во всех вариантах опыта (табл. 2), кроме 2-го ($\text{H}_{220} + \text{I}_{22} + \text{N}_{1033} \text{P}_{1410} \text{K}_{1125} + \text{N}_{30} \text{P}_{45} \text{K}_{45}$), там отмечена незначительная прибавка.

Таблица 1
Влияние различных систем удобрений на содержание $-\text{NO}_3$ в почве при севообороте, мг/кг

Вариант опыта	Клевер (2017 г.)	Пшеница (2018 г.)	Соя (2019 г.)	Пшеница (2020 г.)
1	8,7	20,4	10,0	8,7
2	0,8	24,6	22,9	23,4
3	<МПО	42,7	6,9	27,5
4	<МПО	22,4	7,9	21,9
5	<МПО	19,1	7,6	12,9

Таблица 2
Влияние различных систем удобрений на содержание P_2O_5 и K_2O в почве при севообороте, мг/кг

Вариант опыта	2017 г.	2020 г.	2020 г. к 2017 г.	
			мг/кг	%
P_2O_5				
1	15	16	+1	+7
2	36	59	+23	+64
3	78	64	-14	-18
4	36	34	-2	-6
5	32	24	-8	-25
K_2O				
1	144	125	-19	-13
2	158	169	+11	+7
3	200	149	-51	-25
4	128	119	-9	-7
5	165	156	-9	-5

та плодородия почвы приводит исключение навоза из системы применения удобрений. В контрольном варианте к 2020 г. выявлено повышение данного показателя на 0,17 % вследствие заправки многолетних трав, корневых и пожнивных остатков возделываемых культур. Наибольшую прибавку обеспечила комплексная система с одинарной дозой NPK и известково-минеральной подкормкой (вариант 4). Минимальное содержание органического вещества отмечено в варианте 5 с применением только минеральных удобрений ($N_{2620}P_{2855}K_{2100} + N_{60}P_{90}K_{90}$); снижение произошло, скорее всего, за счет минерализации органического вещества.

Установлено, что в результате длительного внесения одних только минеральных удобрений увеличивается почвенная кислотность (см. табл. 3). Известкование и применение навоза ослабляют этот процесс. В 2017 г. наименьшая почвенная кислотность отмечена в варианте 5 с минеральной системой удобрений (рН 4,8). Почва при систематическом применении удобрений на фоне комплексной системы с одинарной дозой NPK и известково-минеральной подкормкой (вариант 4) из среднекислой переходит в слабокислую (рН 5,5), а на фоне навоза с известью – становится ближе к нейтральной как в варианте 2, так и в варианте 3 (рН 5,9–6,0). Такая же закономерность сохраняется и в 2020 г., но во всех вариантах повышается кислотность.

Таблица 3
Влияние различных систем удобрений на $pH_{ксл}$ и содержание органического вещества

Вариант опыта	Органическое вещество, %				$pH_{ксл}$			
	2017 г.	2020 г.	2020 г. к 2017 г.		2017 г.	2020 г.	2020 г. к 2017 г.	
			абс.	отн., %			ед.	%
1	3,11	3,28	+0,17	+5	5,5	5,0	-0,5	-10
2	3,40	3,68	+0,28	+8	5,9	5,6	-0,3	-5
3	3,39	3,33	-0,06	-2	6,0	5,5	-0,5	-8
4	3,23	3,48	+0,25	+8	5,5	5,1	-0,4	-7
5	3,24	3,09	-0,15	-5	4,8	4,6	-0,2	-4

Применение всех изучаемых систем удобрений увеличивало урожайность возделываемых культур севооборота по сравнению с контролем (без удобрений). При выращивании яровой пшеницы (табл. 4) вариант 3 с комплексной системой удобрений и двойной нормой NPK ($H_{220} + I_{22} + N_{2633}P_{2780}K_{2155} + N_{60}P_{90}K_{90}$) обеспечил наибольшую прибавку урожая семян

– 12,2 ц/га, при этом формировалось зерно с максимальной массой 1000 зерен (38,5 г) и достаточно высоким содержанием белка и клейковины. В контрольном варианте отмечается снижение урожайности. Высокая эффективность выявлена от применения комплексной системы удобрений с одинарной дозой NPK (вариант 2), увеличившей урожай на 9,3 ц/га.

Таблица 4

Структура урожая и качество зерна яровой пшеницы Приморская 39 при применении различных систем удобрений

Вариант опыта	Высота растения, см	Длина колоса, см	Число зерен с растения, шт.	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Клейковина, %	Урожайность, ц/га
1	99	8	29	33,6	14,7	28,7	24,8
2	110	9	27	37,3	15,1	28,4	34,1
3	112	8	29	38,5	15,2	31,0	37,0
4	107	8	25	37,2	15,4	30,4	33,5
5	109	8	28	36,4	15,2	31,1	33,5

Исследованиями установлено, что наибольшую урожайность сои в 2019 г. обеспечила комплексная система удобрений с одинарной дозой NPK (табл. 5, вариант 2): сформировалось самое большое количество бобов и зерен на одном растении, получены семена с высоким содержанием белка, была самой большой масса 1000 семян. Наименьшую прибавку урожая обеспечил вариант 5 с минеральной системой ($N_{2620}P_{2855}K_{2100} + N_{60}P_{90}K_{90}$).

Таблица 5

Структура урожая и качество семян сои сорта Муссон в зависимости от системы удобрений

Вариант опыта	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Число бобов на растении, шт.	Число семян на растении, шт.	Масса 1000 семян, г	Жир, %	Белок, %	Урожайность, ц/га
1	84	11	23	40	172,9	22,8	38,0	20,8
2	101	13	27	54	187,8	22,4	39,3	25,0
3	100	12	25	52	182,0	23,1	36,9	24,7
4	90	10	23	47	176,9	22,9	37,4	24,0
5	82	12	23	44	151,0	22,9	37,2	23,0
НСР _{0,95}	7,6	1,2	1,6	5,6	14,7	0,3	1,0	0,7

Заключение

Проведенные исследования показали, что запашка клевера на сидерат способствует обогащению почвы нитратным азотом ($-NO_3$). Наибольшее увеличение его содержания произошло при внесении $N_{60}P_{90}K_{90}$ на фоне комплексной системы с двойной дозой минеральных удобрений ($H_{220} + I_{22} + N_{2633}P_{2780}K_{2155} + N_{60}P_{90}K_{90}$). Выявлено, что применение только минеральных удобрений способствует снижению содержания фосфора на 25 %, а комплексная система удобрений (навоз + известь + одинарная доза NPK) – его увеличению на 64 %. Изучаемые системы удобрений не обеспечили сохранение уровня содержания обменного калия в почве. Запашка многолетних трав (клевера лугового) способствует сохранению органического вещества в почве. Использование комплексной системы удобрений как с двойной ($H_{220} + I_{22} + N_{2633}P_{2780}K_{2155} + N_{60}P_{90}K_{90}$), так и с одинарной дозой NPK ($H_{220} + I_{22} + N_{1033}P_{1410}K_{1125} + N_{30}P_{45}K_{45}$) привело к увеличению содержания органического вещества. Установлено, что внесение только минеральных удобрений увеличивает почвенную кислотность, известкование и внесение навоза ослабляют этот процесс. Наибольшие прибавки урожайности яровой пшеницы (12,2 ц/га) и массу 1000 зерен, высокое содержание белка (15,2 %) и клейковины (31,0 %) обеспечила комплексная система удобрений с двойной нормой NPK. Максимальную урожайность и качество семян сои с высоким содержанием белка (39,3 %) и высокой массой 1000 зерен (187,8 г) обеспечила комплексная система с одинарной дозой NPK ($H_{220} + I_{22} + N_{1033}P_{1410}K_{1125} + N_{30}P_{45}K_{45}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андропова Т.М., Замяткина Л.Е., Астафьева В.П. Влияние основных видов органических, минеральных удобрений и их сочетаний при длительном применении на продуктивность севооборота, свойства почвы и качество продукции // Результаты исследований в длительных опытах с удобрениями по зонам страны. М., 1976. С. 76–83. (Тр. ВИУА; вып. 1).
2. Гамзиков Г.П., Дмитриев Н.Н., Мальцев В.Т., Дьяченко Е.Н. Длительное применение удобрений и извести в плодосменном севообороте на серой лесной почве Прибайкалья // Плодородие. 2014. № 6 (81). С. 25–27.
3. Гамзиков Г.П. Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири // Плодородие. 2016. № 5 (92). С. 6–9.
4. Жуков Ю.П. Баланс питательных веществ как прогнозно-экономический показатель плодородия почв и продуктивности культур // Агрохимия. 1996. № 7. С. 35–45.
5. Нечаева Т.В., Добрянская С.Л. Калификсирующая способность и состав обменных катионов постагрогенного чернозема // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 24–28.
6. Сычев В.Г., Рухович О.В., Беличенко М.В. Географическая сеть опытов с удобрениями (состояние, перспективы и современные вызовы) // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.: материалы Всерос. координац. совещ. науч. учреждений-участников Геогр. сети опытов с удобрениями, Москва, 16–17 апр. 2018 г. / ВНИИА. М., 2018. С. 4–11.
7. Сычев В.Г., Рухович О.В. Результаты и перспективы исследований в длительных агрохимических опытах Геосети // Научные стационары: реалии, научная проблематика и инновации. Томск, 2017. С. 52–58.
8. Сычев В.Г., Листова М.П., Беличенко М.В. и др. Совершенствование единой системы мониторинга в длительных агрохимических опытах Геосети. М., 2016. 44 с. (Бюл. Геогр. сети опытов с удобрениями; вып. 22).
9. Сычев В.Г., Шафран С.А., Адрианов С.Н. и др. Эффективность фосфорных удобрений на почвах России и основные направления исследований Геосети по агрохимии фосфора / ВНИИА. М., 2010. 47 с. (Бюл. Геогр. сети опытов с удобрениями; вып. 10).
10. Тимошинов Р.В., Бабинец Л.Е., Кушаева Е.Ж., Дубков А.А., Клыков А.Г. Влияние агротехнических приемов и плодородия почвы на урожайность сои сорта Муссон в условиях Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 4. С. 67–73.
11. Тимошинов Р.В., Кушаева Е.Ж., Бабинец Л.Е., Фалилеев А.А. Изменение плодородия лугово-бурых отбеленных почв в длительных стационарных опытах // Дальневост. аграр. вестн. 2016. № 2 (38). С. 28–33.
12. Чеботарев Н.Т., Шергина Н.Н., Броварова О.В., Тулинов А.Г. Действие комплексного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность и качество кормовых культур в условиях европейского севера // Агротех. вестн. 2020. № 6. С. 23–27.
13. Шафран С.А. Динамика применения удобрений и плодородие почв // Агрохимия. 2004. № 1. С. 9–17.