

УДК 631.8:631.445

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

© 2021 г. Р. А. Афанасьев^{1,*}, Г. Е. Мерзлая^{1,**}

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31 а, Россия*

**E-mail: rafail-afanasev@mail.ru*

***E-mail: lab.organic@mail.ru*

Поступила в редакцию 03.07.2020 г.

После доработки 12.08.2020 г.

Принята к публикации 10.11.2020 г.

В длительном полевом опыте на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве (Смоленская обл.) за 37-летний период исследования действия и последствий различных систем удобрения на продуктивность полевых севооборота, качество продукции и плодородие почвы наибольший эффект достигался при использовании органо-минеральной системы, превосходящей по комплексу показателей минеральную и органическую системы удобрения.

Ключевые слова: органическая, минеральная и органо-минеральная системы удобрения, продуктивность, полевые севообороты, качество растительной продукции, плодородие почвы.

DOI: 10.31857/S0002188121020034

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в мировом земледелии возник интерес к органическому земледелию ввиду его кажущейся экологической безопасности для природы и населения. Вместе с тем ведущий агрохимик современной России академик В.Г. Минеев с зарубежными коллегами утверждал, что правильное применение минеральных удобрений не приводит к негативным экологическим последствиям [1, 2], тем более, что во многих странах продолжается возрастающее применение минеральных удобрений, обеспечивающих рост продуктивности сельскохозяйственных культур, о чем свидетельствуют работы [3]. Еще ранее [4] было установлено, что в Западной Европе повышение продуктивности земледелия было вызвано началом массового применения минеральных удобрений (конец 19 в. и начало 20 в.). За какие-нибудь 2 десятилетия с начала массового применения минеральных удобрений урожайность пшеницы почти удвоилась, достигнув, например, в 1910–1913 гг. в Голландии 2.6 т/га в среднем для всей страны, в Бельгии – 2.5, в Германии – до 2.2 т/га.

В настоящее время в мировом земледелии при использовании 175.5 млн т действующего вещества минеральных удобрений компенсируется >52% выноса NPK урожаями, т.е. >90 млн т. Эти данные свидетельствуют о значимости для сельскохозяйственного производства минеральных удобрений, не исключая целесообразности

применения органических удобрений и других средств повышения урожайности сельскохозяйственных культур. За счет комплексного использования агрохимических средств среднегодовая урожайность зерновых культур в ряде европейских стран повысилась до 6–8 т/га, а в отдельных хозяйствах и более этого. Таким образом, развитие современного земледелия в основном базируется на преимущественном использовании минеральных удобрений в сочетании с применением органических удобрений и других агрохимических средств [5, 6]. Для изучения действия минеральных, органических удобрений и их сочетания в России и за рубежом проведен ряд длительных и краткосрочных полевых экспериментов. Ниже изложены результаты длительного полевого опыта, который позволил объективно оценить эффективность различных систем удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях Нечерноземной зоны РФ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Схемой полевого опыта предусмотрено изучение 3-х основных систем применения удобрений в севообороте с сельскохозяйственными культурами, распространенными в западной части Нечерноземной зоны РФ, такими как озимая рожь, озимая и яровая пшеница, ячмень, овес, картофель, однолетние и многолетние травы, а также

Таблица 1. Влияние систем удобрения на продуктивность полевого севооборота

Система удобрения	Действие							Последствие		
	ротации севооборота				среднее за 4 ротации	прибавка		за 5-ю ротацию	прибавка	
	1-я	2-я	3-я	4-я		т з.е./га	%		т з.е./га	%
Контроль	2.70	2.13	2.34	1.69	2.21	–	–	1.82	–	–
Органическая	2.98	2.75	2.89	2.30	2.73	0.52	23.6	2.44	0.62	34.1
Минеральная	3.22	3.64	3.31	2.61	3.19	0.98	44.4	2.26	0.44	24.2
Органо-минеральная	3.18	3.07	3.21	2.06	2.88	0.67	30.4	2.57	0.75	41.2
<i>HCP</i> ₀₅					0.42			0.24		

смесь гороха с овсом. Набор и чередование этих культур менялось в течение определенных ротаций севооборота за время проведенного исследования. Одна ротация определенного севооборота включала в основном 6–7 из перечисленных культур. Опыт проводили в течение 37 лет с 1979 г. по 2015 г., из которых первые 30 лет было отведено на изучение действия систем удобрения на агроценозы и 7 лет – на их последствие. Исследование в опыте проводили общепринятыми методами [7–9].

Опыт был заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, характерной для западной части Нечерноземной зоны, со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1.4% С, общего азота – 0.13%, подвижного фосфора (P_2O_5) (по Кирсанову) – 159 мг/кг, обменного калия (по Масловой) (K_2O) – 139 мг/кг, pH_{KCl} 5.6. В целом по уровню плодородия почва характеризовалась как слабокислая, достаточно гумусированная, с повышенным содержанием подвижного фосфора и обменного калия. Повторность опыта трехкратная с площадью опытной делянки 112 м² (7 × 16 м). Схемой опыта предусмотрены варианты: 1 – контроль (без удобрений), 2 – органическая система удобрения (подстилочный навоз крупного скота натуральной влажности в среднегодовой дозе 9 т/га), 3 – минеральная система удобрения (среднегодовая доза N76.5P76.5K76.5), 4 – органо-минеральная система удобрения (подстилочный навоз в среднегодовой дозе 3 т/га + N25.5P25.5K25.5). В органической системе среднегодовая доза питательных веществ составляла N43.4P19.8K6.1, в сумме – 125.3 кг NPK, в минеральной системе – N76.5P76.5K76.5, в сумме 229.5 кг NPK, в органо-минеральной – N39.8P32.1K46.2, в сумме 118.1 кг NPK. В действующих веществах наибольшее ко-

личество элементов питания было внесено в варианте минеральной системы, а в вариантах органической и органо-минеральной систем различие в суммарных дозах NPK было в целом незначительным и равнялось всего лишь 7.2 кг/га. За 37-летний период исследования было выполнено 5 ротаций севооборота, из которых в 4-х ротациях изучали действие, а в 5-й ротации – последствие внесенных ранее удобрений на фоне применения $N_{aa}100$ во всех вариантах опыта, включая контрольные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Примененные системы удобрения оказали определенное влияние на продуктивность севооборота (табл. 1). В среднем за первые 4 ротации севооборота наибольшая продуктивность (3.19 т з.е./га) отмечена в варианте минеральной системы удобрения, на 44.4% превышавшей контроль. В органо-минеральной системе продуктивность аналогичного севооборота равнялась 2.88 т з.е./га, что на 30.4% превышало контроль. Продуктивность органической системы составила в среднем 2.73 т з.е./га, или на 23.6% больше контроля. Отмеченное в 4-й ротации снижение урожайности сельскохозяйственных культур по сравнению с первыми 3-мя ротациями в значительной мере было обусловлено общим снижением плодородия почвы в связи с проявлением отрицательного баланса питательных веществ и переходом их, видимо, в менее доступное для растений состояние. По величине *HCP*₀₅ все системы удобрения в действии и последствии в ротациях достоверно отличались от контрольного варианта, а из них наибольшее отличие имела минеральная система.

В то же время примененные системы удобрения по-разному отразились на окупаемости NPK

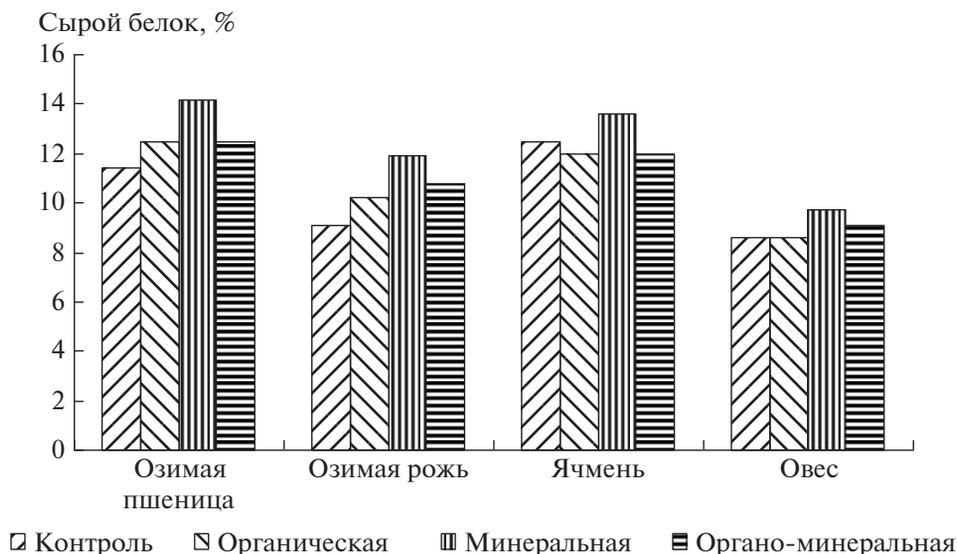


Рис. 1. Влияние систем удобрения на содержание сырого белка в зерне в 1-й ротации севооборота.

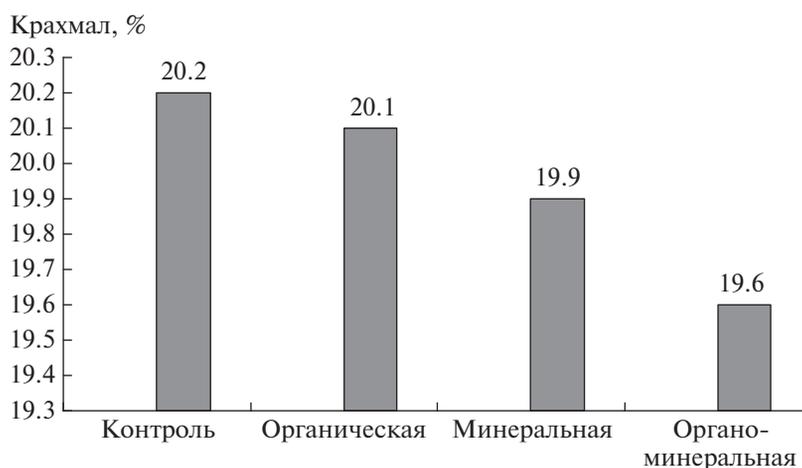


Рис. 2. Влияние систем удобрения на содержание крахмала в клубнях картофеля в 1-й ротации севооборота.

полученной продукцией. При этом в среднем за первые 4 ротации наибольшая окупаемость 1 кг NPK – 5.7 кг з.е. отмечена при применении органо-минеральной системы, при минеральной и органической систем – соответственно 4.3 и 4.2 кг з.е. В 5-й ротации, в которой изучали последствие удобрений, различие в продуктивности примененных ранее систем заметно снизилось. При этом наименьшее последствие удобрений на урожайность культур проявилось у минеральной системы, наибольшее – у органо-минеральной.

Системы удобрения вызвали также изменения в биохимическом составе растительной продукции, в частности в содержании сырого белка в зерне злаковых культур (рис. 1) и крахмала в кар-

тофеле (рис. 2). Например, в 1-й ротации севооборота минеральная система удобрения повышала практически во всех зерновых культурах содержание белка заметно больше (до 12.3%), чем органическая (до 10.8%) и органо-минеральная (до 11.1%). Отмечена высокая положительная корреляция доз внесенных удобрений в разных системах удобрения с продуктивностью севооборота при $r = 0.98$ и содержанием белка в зерне – $r = 0.92$.

Примененные системы удобрения не оказали большого влияния на содержание крахмала в клубнях картофеля: в контроле и при применении разных систем оно менялось в пределах 19.5–20.2% при максимуме в контроле и с тенденцией

Таблица 2. Коэффициенты использования питательных веществ из удобрений (КИУ) сельскохозяйственными культурами в зависимости от систем удобрения, %

Система удобрения	За 4 ротации			За 5 ротаций		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Органическая	20.1	36.9	56.4	22.2	44.4	63.5
Минеральная	33.6	16.1	52.9	34.5	18.3	60.2
Органо-минеральная	35.7	22.8	71.3	42.6	30.0	97.4

к снижению в вариантах других систем применения удобрений. Отмечена отрицательная корреляция содержания крахмала в клубнях с дозами удобрений при применении разных систем – $r = -0.39$ и продуктивностью севооборота, т.е. с урожайностью этой культуры при $r = -0.57$. Иначе говоря, с повышением урожайности картофеля снижалось его потребительское качество.

Длительное действие и последствие систем удобрения оказали заметное влияние на коэффициенты использования NPK сельскохозяйственными культурами (табл. 2). В течение 4-х ротаций севооборота азот удобрений лучше использовался в минеральной и органо-минеральной системах (на уровне 34–36%), тогда как в органической – в 1.7–1.8 раза меньше. Фосфор удобрений, наоборот, эффективнее использовали сельскохозяйственные культуры в варианте органической системы, калий – в варианте органо-минеральной системы. С учетом последствия коэффициенты использования ранее внесенных удобрений (КИУ) возросли при сохранении отмеченных выше соотношений. В целом коэффициенты использования фосфора и калия значительно пре-

вышали уровни, установленные ранее, а КИУ азота соответствовали этим показателям [10, 11].

Среднегодовой баланс питательных веществ (NPK за 4 ротации севооборота) показал, что для азота и калия он во всех вариантах был отрицательным, для фосфора – в вариантах органической и органо-минеральной систем, в контроле – для всех элементов. При этом наименьший отрицательный баланс NPK отмечен в варианте минеральной системы удобрения, в котором суммарное количество внесенных питательных веществ превышало другие системы.

Действие и последствие различных систем удобрения повлияло на агрохимические показатели почвенного плодородия (табл. 3). На кислотность почвы наибольшее негативное воздействие оказала минеральная система удобрения. В действии в среднем в вариантах всех исследованных систем удобрения в почве снижалось содержание гумуса с 1.4 до 1.13%, калия – со 139 до 108 мг/кг при незначительном изменении содержания подвижного фосфора со 159 до 153 мг/кг. При этом наибольшее относительное снижение содержания почвенного гумуса отмечено в контроле – на 39% и в варианте минеральной системы удобрения – на 29%. На содержание обменного калия в почве системы удобрения влияли неоднозначно, повышая его в варианте органической системы и снижая в вариантах минеральной и органо-минеральной систем. В последствии удобрений в почве продолжалось снижение содержания гумуса и фосфора (за исключением минеральной системы), а также обменного калия в целом при применении всех исследованных систем удобрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В длительном полевом опыте, проведенном на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в котором за 4 ротации севооборота в течение 30 лет изучали действие органической, минераль-

Таблица 3. Изменение агрохимических свойств почвы в ротациях севооборота

Система удобрения	pH _{KCl}			Гумус, % С			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль	5.0	4.9	5.1	1.40	1.01	0.99	170	75	75	145	55	79
Органическая	5.7	5.1	5.4	1.23	1.04	1.04	143	160	141	138	145	70
Минеральная	6.0	4.7	5.2	1.53	1.19	1.17	149	174	183	135	100	97
Органо-минеральная	5.7	4.9	5.4	1.46	1.28	1.20	174	202	165	139	130	82
Среднее	5.6	4.9	5.3	1.40	1.13	1.10	159	153	141	139	108	82

Примечание. В графе 1 – исходное содержание, 2 – конец 4-й ротации, 3 – конец 5-й ротации.

ной и органо-минеральной систем удобрения и в 5-й ротации в течение 7 лет их последствие, установлены определенные различия их влияния на урожайность и качество сельскохозяйственных культур, а также на плодородие почвы.

В период действия удобрений наибольшее влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур оказала минеральная система, при которой за годы исследования получено в среднем 3.19 т з.е./га, наименьшее – органическая система при продуктивности 2.37 т з.е./га. Среднее положение занимала органо-минеральная система с продуктивностью сельскохозяйственных культур 2.88 т з.е./га. В последствии по продуктивности выделялась органо-минеральная система – 2.57 т з.е./га, второе место заняла органическая – 2.44 и третья – минеральная (2.26 т з.е./га). В среднем за годы действия и последствия удобрений в опыте максимальная урожайность (2.72 т з.е./га) получена при применении органо-минеральной и минеральной систем, в варианте органической системы – 2.4 т з.е./га, при продуктивности 2.0 т з.е./га в контроле.

По величине содержания сырого белка в зерне всех злаковых культур ведущее положение занимала минеральная система удобрения, из культур – озимая пшеница и ячмень. При применении других систем удобрения содержание сырого белка в зерне ячменя и овса не превышало контрольный вариант.

Различия в содержании крахмала в клубнях картофеля в контроле и в вариантах разных систем применения удобрений находились на уровне тенденции в пределах 19.6–20.2% со снижением последовательно от контроля к вариантам органической, минеральной и органо-минеральной систем. С повышением урожайности данной культуры заметно снижалось ее потребительское качество по этому показателю.

Влияние действия различных систем удобрения на плодородие пахотного слоя почвы проявилось в повышении кислотности почвенной среды при снижении рН за ротации в среднем в опыте с 5.6 до 4.9 ед., но особенно это было заметно в вариантах минеральной системы удобрения. В среднем во всех вариантах в почве снижалось содержание гумуса с 1.40 до 1.13% при наибольшем его сохранении в варианте органо-минеральной системы – 1.28% и наименьшем в варианте органической системы – 1.04%. При применении всех систем удобрения в почве повысилось содержание подвижного фосфора со 155 до 178 мг/кг при значительном снижении его в почве контрольного варианта. Содержание обменного калия за 4 ротации также снижалось как в контроле, так и в вариантах минеральной и органо-минеральной систем удобрения, несколько повысившись в ва-

рианте органической системы. К концу 5-й ротации в удобренных ранее вариантах опыта отмечено некоторое повышение рН почвенного раствора, дальнейшее снижение содержания гумуса, подвижного фосфора (за исключением варианта минеральной системы) и обменного калия.

За 37-летний период исследования действия и последствия различных систем удобрения на продуктивность полевых севооборотов, качество продукции и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы наибольший эффект достигался при использовании органо-минеральной системы, превосходящей по комплексу показателей минеральную и еще более – органическую системы удобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г., Дебрецени Б., Мазур Т.* Биологическое земледелие и минеральные удобрения. М.: Колос, 1993. 415 с.
2. *Горчаков Я.В., Дурманов Д.Н.* Мировое органическое земледелие XXI века. М.: Изд-во ПАИМС, 2002. 402 с.
3. *Сычев В.Г., Алтухов А.И., Винничек Л.Б.* Российский рынок минеральных удобрений: проблемы и возможности решения // Плодородие почв России: состояние и возможности / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2019. С. 8–21.
4. *Прянишников Д.Н.* Избр. соч. Т. 1. Агрохимия. М.: Колос, 1965. 767 с.
5. *Бодрова Е.М., Озолина З.Д.* Совместное применение органических и минеральных удобрений. М.: Россельхозиздат, 1965. 141 с.
6. *Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П.* Агрохимия М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
7. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
8. *Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П.* Практикум по агрохимии. М.: Агропромиздат, 1987. 517 с.
9. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
10. *Кирикой Я.Т., Мерзлая Г.Е., Полунин С.Ф.* Нормативные показатели содержания азота, фосфора и калия в органических удобрениях и использование их сельскохозяйственными культурами. М.: ВИУА, 1991. 56 с.
11. *Державин Л.М.* Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1992. 212 с.

Comparative Efficiency of Fertilizer Systems

R. A. Afanas'ev^{a,#} and G. E. Merzlaya^{a,##}

^a *D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

[#] *E-mail: rafail-afanasev@mail.ru*

^{##} *E-mail: lab.organic@mail.ru*

In a long-term field experiment on light-loamy sod-podzolic soil (Smolensk region) over a 37-year period of research on the effects and aftereffects of various fertilizer systems on the productivity of field crop rotations, product quality and soil fertility, the greatest effect was achieved when using an organo-mineral system that exceeds the complex of indicators of mineral and organic fertilizer systems.

Key words: organic, mineral and organo-mineral fertilizer systems, productivity, field crop rotations, quality of plant products, soil fertility.