

ДЕЙСТВИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЧЕТЫРЕХФАКТОРНОМ СТАЦИОНАРНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ

В.А. ТИКАВЫЙ, к. с.-х. н.;

Т.В. ДЕМБИЦКАЯ (НИРУП «Институт почвоведения агрохимии»)

Максимальная отдача от удобрений возможна лишь при оптимизации уровней их применения. Безусловно, что для этого необходима прежде всего оценка действия и взаимодействия всех основных видов минеральных и органических удобрений по результатам полевых опытов. Обобщение результатов многочисленных экспериментов показало, что наиболее эффективно совместное использование органических и минеральных удобрений. В связи с большими различиями объемов накопления навоза в отдельных хозяйствах учет взаимодействия минеральных и органических удобрений является важнейшей задачей при разработке системы удобрения.

Наиболее эффективный способ оценки действия и взаимодействия удобрений – проведение многофакторных полевых опытов, позволяющих решить эту задачу путем математического моделирования.

С этой целью лабораторией органических удобрений института почвоведения и агрохимии в колхозе им. Пушкина Столбцовского района Минской области на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7-1,0 м моренным суглинком, проведен четырехфакторный стационарный полевой опыт. Эффективность удобрений изучалась в

течение трех ротаций пятипольных пропашного, зернового и зерноотравяного севооборотов в 1981-1996 гг.

Схема опыта представляет собой выборку 1/8 из полного факторного эксперимента 4^4 (четыре уровня варьирования четырех факторов), включающую 32 варианта [1]. Опыт проведен в двукратной повторности с общей площадью делянки 36 м^2 (9×4), учетной – 24 м^2 (8×3).

Чередование культур в севооборотах и дозы удобрений, соответствующие первому уровню организованных в опыте факторов, приведены в табл. 1.

Минеральные удобрения внесли в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия под культивацию перед посевом (азотные под озимую рожь – в ранневесеннюю подкормку), торфяной навоз – под вспашку. Среднее содержание основных питательных веществ в торфяном навозе было следующим: общий азот – 0,42 %, P_2O_5 и K_2O – соответственно 0,15 и 0,35 %.

Статистическая обработка результатов исследований проведена методом регрессионного анализа с использованием компьютерной программы ВИУА. В обсуждаемых ниже моделях коэффициенты регрессии относятся к шифрованным значени-

ям уровней факторов (первый уровень указан в табл. 1). Соответственно дозы второго и третьего уровней были в 2 и 3 раза выше. В среднем за ротацию дозы были равны во всех севооборотах.

Исходные агрохимические показатели пахотного слоя почвы следующие: содержание гумуса – 1,58 %, общего азота – 0,096 %, рН (KCl) – 5,45; Нг – 2,32, сумма поглощенных оснований – 6,27 мг-экв. на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 73 %, содержание подвижных P_2O_5 и K_2O (0,2 н HCl) – 162 и 130 мг/кг почвы.

Результаты исследований по влиянию торфяного навоза, азота, фосфора и калия на продуктивность севооборотов опубликованы в работах [2-5]. Однако в упомянутых публикациях действие факторов на урожайность отдельных культур отражено лишь по данным первой ротации пропашного севооборота. Вместе с тем оценка отзывчивости культур, возделываемых в различных севооборотах, на органические и минеральные удобрения при их длительном использовании представляет несомненный интерес как с точки зрения оптимизации уровней их применения, так и рационального распределения удобрений между культурами и севооборотами.

Зависимость урожайности основных сельскохозяйственных культур от уровней удобрений, при их длительном применении в 15-летнем полевом опыте отражена в представленных ниже уравнениях регрессии (цифры перед уравнениями указывают номер севооборота: 1 – пропашной, 2 – зерновой, 3 – зернотравяной).

Картофель:

$$1. Y = 159,5 + 16,887N + 15,01K + 29,64H - 4,112 N^2 - 3,656 K^2 -$$

$$- 4,734 H^2 + 3,755 NP - 3,969 NH$$

$$2. Y = 149,4 + 16,9 N + 12,3 P + 20,03 K + 35,3 H - 4,09 N^2 -$$

$$- 2,66 P^2 - 3,81 K^2 - 4,34 H^2 +$$

$$+ 2,34 NK - 2,72 NH - 2,91KH$$

$$3. Y = 158,2 + 29,62 N^{0,5} + 28,02 K^{0,5} + 36,57 H^{0,5} -$$

$$- 14,59 N + 5,24 P - 18,92 (KH)^{0,5}$$

Ячмень:

$$1. Y = 14,6 + 8,57 N + 0,663 P + 4,432 K + 2,59 H - 1,575 N^2 -$$

$$- 0,650K^2 - 0,5125 KH$$

$$2. Y = 18,5 + 10,115 N + 2,455 K + 3,055 H - 1,723 N^2 -$$

$$- 0,604 KH$$

$$3. Y = 22,8 + 8,133 N + 3,664K + 4,83 H - 1,672 N^2 + 0,4996 P^2 -$$

$$- 0,702H^2 - 0,633 PK - 0,527 KH$$

Свекла:

$$1. Y = 208,7 + 87,39 N + 10,516P + 27,87 K + 92,14 H -$$

$$- 16,375 N^2 - 10,175H^2 - 6,525 KH$$

Рожь:

$$1. Y = 19,2 + 9,97 N + 4,156 H - 1,026 N^2 + 0,2207 P^2 -$$

$$- 0,8417 NH - 0,3104 PH$$

$$2. Y = 23,2 + 15,97 N + 4,291 H - 3,085 N^2 + 0,387 P^2 - 0,829 NH -$$

$$- 0,5667 PH$$

Вико-овсяная смесь (сено):

$$2. Y = 39,7 + 20,90 N + 1,437 P + 5,175 K + 7,384 H - 4,264 N^2 +$$

$$+ 0,890 NK - 2,286 KH$$

Овес:

$$2. Y = 17,7 + 8,43 N + 1,103 P + 2,07 K + 1,214 H - 1,447 N^2 -$$

$$- 0,4437 K^2 - 0,3925 NP$$

Многолетние бобово-злаковые травы первого года пользования (сено):

$$3. Y = 66,7 + 11,23 N + 13,18 K + 9,402 H - 2,306 N^2 - 3,131 K^2 -$$

$$- 2,2625 NH$$

Многолетние травы второго года пользования:

$$3. Y = 27,2 + 20,14 N + 2,696 P + 5,791 K + 3,966 H - 3,096 N^2 -$$

$$- 1,3075 NP - 1,50 KH,$$

где Y – урожайность основной продукции сельскохозяйственных культур, ц/га,

N, P, K, H – шифрованные значения уровней факторов.

Свободный член уравнений является оценкой урожайности культур в варианте без удобрений в ц/га. Все уравнения характеризуются высокими коэффициентами корреляции – в интервале 0,93-0,96, что позволяет использовать их для оценки эффективности отдельных факторов и взаимодействий.

Анализ полученных моделей показывает, что главными факторами формирования урожая являются органические и азотные удобрения, оказывавшие достоверное влияние на урожайность всех культур. Калийные удобрения обеспечивали увеличение урожайности всех культур,

кроме озимой ржи. Статистически существенные прибавки урожая этой культуры от калийных удобрений наблюдались лишь в отдельные годы (как правило, с высоким количеством осадков в июне), в основном на фоне азотных удобрений. Прибавки урожая от азота на фоне калия в эти годы также повышались, что свидетельствует о наличии тенденции положительного взаимодействия этих факторов. Так, в среднем за 1984, 1988 и 1989 гг., когда количество осадков июня колебалось от 94 до 151 мм (среднее значение 128 мм, или 175 % к норме), прибавка урожая зерна озимой ржи от средней дозы азота на фоне калийных удобрений составила 16,4 ц/га, тогда как на фоне без калия - 13,7 ц/га, что меньше на 2,7 ц/га. Однако в среднем по опыту положительное взаимодействие азота с калием, по данным урожайности озимой ржи, было статистически незначимым.

1. Дозы удобрений под культуры севооборотов (первый уровень факторов)

Культуры севооборотов	Дозы минеральных удобрений, кг/га			Навоз, т/га
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
пропашной севооборот				
Картофель	60	40	60	20
Ячмень	30	20	30	-
Полусахарная свекла	60	40	50	20
Ячмень	30	20	30	-
Картофель	40	30	40	-
зерновой севооборот				
Картофель	60	40	60	20
Ячмень	30	20	30	-
Озимая рожь	40	30	40	20
Вико-овсяная смесь	60	40	50	-
Овес	30	20	30	-
зернотравяной севооборот				
Картофель	60	40	60	20
Ячмень	30	20	30	-
Оз.рожь + мн. травы	60	30	40	20
Мн.травы I г.	30	30	40	-
Мн. травы II г.	40	30	40	-
В среднем за ротацию	44	30	42	8

2. Влияние минеральных удобрений и торфяного навоза на урожайность сельскохозяйственных культур в различных севооборотах

Культуры	Дозы удобрений, кг/га (навоз – т/га)				Урожай, ц/га	Прибавка от факторов			
	навоз*	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		навоз	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
пропашной севооборот									
Картофель	40	120	80	123	231,7	24,4	16,4	15,0	15,4
	60	88	80	118	230,7	29,0	9,5	11,0	11,0
Ячмень	(40)	82	40	79	37,2	2,5	11,6	1,3	4,4
	(60)	82	40	67	38,6	4,4	11,6	1,3	3,2
Свекла	40	160	80	150	534,4	104,5	116,6	21,1	44,5
	60	160	80	150	556,1	126,2	116,6	21,1	24,9
Картофель	{40}	120	60	110	225,9	14,1	61,9	13,6	43,9
	{60}	120	60	95	233,7	25,9	57,7	13,6	32,8
Зерновой севооборот									
Картофель	40	127	46	151	246,6	27,1	18,4	14,2	27,1
	60	106	46	126	248,5	34,1	11,4	14,2	15,6
Ячмень	(40)	88	40	90	43,2	2,5	14,8	-	3,7
	(60)	88	40	90	44,4	3,7	14,8	-	1,9
Озимая рожь	-	120	90	80	41,9	-	20,7	2,0	-
	40	120	60	80	43,3	1,4	15,7	-	-
	60	120	60	80	44,8	2,9	13,1	-	-
Вика-овес	(40)	166	90	150	93,2	1,3	32,6	4,6	10,1
	(60)	166	90	150	93,7	1,6	32,6	4,6	1,9
Овес	{40}	90	40	90	42,6	2,4	20,2	-	10,2
	{60}	90	40	90	43,8	3,6	20,2	-	10,2
зернотравяной севооборот									
Картофель	40	62	120	180	242,9	5,4	15,1	15,8	2,2
	60	62	120	60	252,3	63,3	15,1	15,8	-
Ячмень	(40)	73	40	90	45,6	3,7	9,9	-	4,1
	(60)	73	40	90	45,3	3,7	9,9	-	2,4
Озимая рожь	0	155	90	80	47,1	-	20,7	3,5	-
	40	139	30	80	48,5	1,4	16,6	-	-
	60	131	30	80	50,8	7,4	14,7	-	-
Мн. травы 1 г.	-	73	-	84	94,2	-	13,6	-	13,8
	(40)	43	-	84	104,2	12,3	4,8	-	13,8
	(60)	29	-	84	110,9	21,7	2,1	-	13,8
Мн. травы 2 г.	-	120	-	120	77,1	-	32,5	-	17,3
	{40}	120	-	120	76,1	-	32,5	-	8,4
	{60}	120	-	120	110,9	-	32,5	-	3,8

Примечание: в круглых скобках приводятся дозы навоза под предшествующий; фигурные скобки указывают на то, что культура использовала второй год последствия навоза.

Затухающее действие возрастающих доз азотных удобрений, на которое указывают отрицательные значения коэффициентов регрессии при N², проявилось на всех культурах, что красноречиво указывает на важность оптимизации доз азота с помощью производственных функций. Аналогичное действие калийных удобрений отмечалось на культурах картофеля, многолетних трав и яровых зерновых, фосфорных удобрений – лишь на картофеле в зерновом севообороте, навоза – на картофеле и ячмене.

Влияние фосфорных удобрений на урожайность культур характеризуется, в основном, линейной зависимостью. Однако отмечены случаи повышения их эффективности с увеличением доз P₂O₅, по данным урожайности озимой ржи и ячменя в зерновом и зернотравяном севооборотах, где фосфорные удобрения обеспечивали существенные прибавки лишь при высоких дозах, что предположительно можно объяснить не только увеличением подвижности остаточных фосфатов по мере их накопления в почве, но и закреплением части вносимого с удобрениями фосфора микроорганизмами и почвенно-поглощающим комплексом [6], вследствие чего низкие дозы фосфора не обеспечивают необходимый для получения достоверных прибавок урожайности уровень питания растений.

Анализ действия фосфорных удобрений на урожайность культур в данном опыте свидетельствует о том, что содержание подвижного фосфора на уровне 160 мг/кг почвы недостаточно для того, чтобы отказаться от фосфорных удобрений, которые обеспечивали в опыте увеличение урожайности всех культур, кроме ячменя в зерновом севообороте. Результаты исследований свидетельствуют о более высокой эффективности фосфорных удобрений при их использовании под пропашные культуры по сравнению с зерновыми. Поэтому, прежде всего при не-

достатке фосфорных удобрений, целесообразно внесение более высоких доз фосфора под наиболее требовательные пропашные культуры за счет следующих за ними зерновых.

В опыте установлено устойчивое отрицательное взаимодействие навоза и калийных удобрений, которое отмечалось на всех культурах, кроме озимой ржи и овса. Как показывают данные табл. 2, с увеличением доз навоза прибавки урожая большинства культур от калия снижаются.

Эта закономерность действия калийных удобрений характерна для всех культур, включая кормовую свеклу, за исключением овса и многолетних трав первого года пользования. Так, с увеличением дозы навоза с 40 до 60 т/га оптимальная доза K_2O минеральных удобрений под картофель снижалась в пропашном севообороте от 123 до 118 кг/га, в зерновом – от 151 до 126 кг/га, а в зернотравяном севообороте калийные удобрения не обеспечивали повышения урожайности клубней. В связи с высокой потребностью кормовой свеклы в калийных удобрениях их оптимальная доза находилась за пределом изучавшегося в опыте диапазона. Тем не менее и по урожайности этой культуры выявлено отрицательное взаимодействие калия с навозом. Вследствие этого прибавка урожая корнеплодов от калийных удобрений с ростом доз навоза с 40 до 60 т/га снижалась с 44 до 25 ц/га. Аналогичная закономерность выявлена и по данным урожайности сена вико-овсяной смеси: на фоне последействия 60 т/га навоза она снизилась с 10,1 до 1,9 ц/га.

Отрицательное взаимодействие азотных удобрений и навоза отмечалось лишь на культурах, под которые вносились органические удобрения, за исключением свеклы, а аналогичное взаимодействие фосфора и навоза – лишь по данным урожайности озимой ржи. В связи с этим, максимальные дозы фосфорных удобрений обеспечивали увеличение урожайности зерна озимой ржи на 2,0-3,5 ц/га лишь на безнавозном фоне.

Данные свидетельствуют о снижении оптимальных уровней азота под картофель в пропашном и зерновом севооборотах и озимую рожь в зернотравяном севообороте и о снижении эффективности азотных удобрений с увеличением доз навоза. При размещении картофеля в зернотравяном севообороте по пласту многолетних трав и ячменя по обороту пласта оптимальные уровни азотных минеральных удобрений под эти культуры снижаются соответственно с 88-127 до 62 кг/га и с 82-88 до 73 кг/га. При этом урожайность картофеля и ячменя в зернотравяном севообороте была не ниже, чем в зерновом севообороте, и выше, чем в пропашном севообороте.

В настоящей работе не преследовалась цель разработки нормативов для расчета потребности отдельных сельскохозяйственных культур в удобрениях на запланированную урожайность, поскольку установленные с помощью регрессионного анализа результатов стационарного полевого опыта закономерности отражают не только эффективность удобрений, вносимых непосредственно под культуры, но и последствие питательных веществ, внесенных в предыдущие годы. Вместе с тем, результаты исследований показывают, что учет взаимодействия отдельных видов минеральных и органических удобрений может способствовать разработке более рациональной системы их применения.

ВЫВОДЫ

1. Установлено затухающее действие возрастающих доз азотных и калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур, что указывает на важность оптимизации доз азота с помощью производственных функций.

2. При содержании подвижного фосфора в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве на уровне 160 мг/кг почвы фосфорные удобрения обеспечивали увеличение урожайности всех культур, кроме ячменя в зерновом севообороте.

3. Устойчивое отрицательное взаимодействие торфяного навоза и калийных удобрений проявилось по данным урожайности всех культур, кроме озимой ржи и овса. Аналогичное взаимодействие азотных удобрений и навоза отмечалось лишь на культурах, под которые вносились органические удобрения, за исключением кормовой свеклы.

4. При разработке рациональной системы удобрения необходим учет взаимодействия отдельных видов минеральных и органических удобрений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. – М.: Колос, 1978. – 184 с.

2. Зенюк Е.В., Тикавый В.А., Павловец Н.А. Влияние интенсивного применения минеральных и органических удобрений на продуктивность пропашного севооборота // Почвоведение и агрохимия, Вып.24. – Мн.: Ураджай, 1988. – С. 53-58.

3. Гузовский М.И., Дембицкая Т.В. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на продуктивность севооборота с многолетними травами. Сб.// Почвенные исследования и применение удобрений. – Мн., 1997. – Вып. 24. – С.53-57.

4. Тикавый В.А., Дембицкая Т.В. Влияние органических и минеральных удобрений на продуктивность севооборотов в четырехфакторном полевом опыте. Сб.//Почвоведение и агрохимия. – Вып. 31. – Мн., 2001. – С. 164-173.

5. Зенюк Е.В., Тикавый В.А., Берестова Л.И. Влияние минеральных и органических удобрений на урожай ячменя //Почвенные исследования и применение удобрений, 1991. – Вып. 21. – С. 79-85.

6. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья /Н.З. Милащенко, В.Д. Паников, Д.А. Корянчиков и др.– М., 1993. – 864 с.