

УДК 633.1+633.49+631.45]:631.86

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР И ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАЗНЫХ НОРМ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

И. С. ШАТИЛОВ, А. Ф. ШАРОВ

(Кафедра растениеводства)

В многолетних исследованиях при внесении разных норм органических удобрений (от 10 до 200 т/га) было выявлено, как изменяется количественный состав гумуса в почве, определены в деталях особенности фотосинтетической деятельности растений, показана особая роль органических удобрений в получении семян, отличающихся высокими посевными и урожайными качествами.

Системы земледелия, предусматривающие использование средств химизации, настолько широко распространены в практике, что их уже рассматривают как традиционные. Однако в последнее десятилетие все сильнее обозначаются негативные стороны интенсификации земледелия: четкое проявление функции «затухающего дохода» при определении связи между урожаем и условиями минерального питания и водоснабжения, большая зависимость урожайности от неблагоприятных погодных условий, нежелательные изменения в почве. При внесении высоких норм удобрений происходят подкисление почвенного раствора, загрязнение продуктов питания в результате повышения подвижности тяжелых металлов в почве, снижение содержания гумуса

из-за чрезмерной минерализации. Серьезным является и вопрос о высоких ценах на удобрения, химические средства защиты растений и регуляторы роста.

Указанные проблемы обусловили стремление к поиску таких приемов и систем земледелия, которые явились бы альтернативой сложившимся методам. При этом главная цель состоит в экологизации современного земледелия при обеспечении высокой рентабельности хозяйств. В основе указанных систем лежит запрет на применение минеральных удобрений и пестицидов, что, в свою очередь, предполагает внесение органических удобрений [4, 7].

С учетом этих требований в 1983 г. был заложен длительный полевой опыт на тяжелосуглинистой почве в

Таблица 1

Изменения содержания гумуса (%) в слое почвы 0—20 см в течение ротации севооборота (в год закладки опыта — 2,0 %)

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Картофель	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3
Ячмень	2,1	2,0	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3
Овес	2,0	1,9	2,1	2,3	2,2	2,3	2,4
Викоовес	2,0	2,0	2,1	2,2	2,1	2,3	2,4
Оз. пшеница	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,4
Картофель	2,0	2,1	2,2	2,4	2,4	2,5	2,6

учхозе «Михайловское» Тимирязевской академии; рН почвы — 5,6, содержание гумуса — около 2 % по следующей схеме: 1 — контроль (без удобрений), 2, 3, 4, 5, 6 и 7 — внесение органики в нормах соответственно 10, 20, 40, 80, 100 и 200 т/га. Эта схема развернута в севообороте во времени: викоовяный пар — озимая пшеница — картофель — ячмень — овес.

Опыт должен ответить на ряд вопросов, а именно: выявить, при каких нормах органических удобрений будет отмечаться снижение эффективности их применения, как изменится количественный и качественный состав гумуса в почве; определить особенности фотосинтетической деятельности посевов и некоторые показатели почвенного плодородия. Для борьбы с сорняками в посевах

зерновых использовали гербициды, на картофеле — фунгициды и инсектициды.

Расширенное воспроизводство почвенного плодородия, а также создание бездефицитного баланса питательных веществ в системе почва — растение — воздух связаны с повышением эффективности органических удобрений [5, 6], которые являются главной составляющей гумусового баланса почв. Предварительный анализ свидетельствует о том, что накопление гумуса реально прослеживается при разовом внесении навоза из расчета 40 т на 1 га либо при систематическом внесении 20 т/га. Между нормой навоза и содержанием углерода в почве связь нелинейная, это, вероятно, определяется условиями закрепления гумуса в почве [2, 8].

Таблица 2

Баланс углерода (ц/га) в слое почвы 0—40 см

Показатель	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Поступило С:							
с растительными остатками	14,5	15,5	15,8	19,8	21,4	22,9	25,1
с навозом	—	—30	60	120	240	300	600
Содержание С:							
расчетное	432	463	494	558	679	741	1043
фактическое	521	504	622	705	689	672	766
отклонение от расчетного	89	41	128	147	10	—69	—287

Полученные в опыте данные свидетельствуют о том, что накопление гумуса за ротацию не достигло предельного уровня (табл. 1), но прослеживалось по всем вариантам, где вносили навоз.

В слое 0—40 см с повышением норм удобрений содержание углерода увеличивалось (табл. 2), но вместе с тем усиливалось разложение органического вещества, о чем можно судить по отрицательному балансу углерода в вариантах 6 и 7.

Главным источником азота в почве является находящееся в ней органическое вещество [1]. Вместе с тем четкой зависимости содержания общего азота от норм органических удобрений не прослеживается (табл. 3). Валовые запасы азота накапливаются медленно.

Внесение в почву фосфора и калия с органическими удобрениями повышает их содержание как в слое 0—20, так и слое 20—40 см (табл. 4), что свидетельствует о возрастании потенциального плодородия почвы [1, 3]. Запасы калия увеличились практически вдвое при равном внесении навоза в норму вы-

ше 80 т/га. Содержание фосфора изменялось аналогично от однократного применения органических удобрений в норме 40 т/га и выше. Дальнейшее повышение их норм мало сказывалось на накоплении питательных элементов.

Органическое вещество почвы имеет большую емкость обменных оснований, поэтому внесение органики приводит к увеличению количества оснований в почве. Из табл. 5 видно, что внесение навоза повышало сумму поглощенных оснований как по вариантам, так и по годам опыта. При некоторых наблюдаемых расхождениях все же можно принять, что увеличение содержания гумуса на 0,1 % повышает сумму поглощенных оснований на 0,7 мг·экв на 100 г.

Отмечена тенденция к подщелачиванию почвенного раствора в опытных вариантах.

При комплексной оценке изучаемых признаков плодородия почвы были выявлены две характерные особенности. Во-первых, в результате определения связи компонент с признаками было отмечено, что

Таблица 3

Содержание общего азота (%) в слоях почвы 0—20 (в числителе) и 20—40 см (в знаменателе) в течение ротации севооборота (в год закладки — 0,20 и 0,18)

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Картофель	0,16	0,15	0,16	0,17	0,18	0,23	0,23
	0,13	0,10	0,13	0,14	0,13	0,18	0,19
Ячмень	0,22	0,21	0,21	0,21	0,19	0,20	0,20
	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17
Овес	0,17	0,18	0,18	0,19	0,18	0,18	0,20
	0,15	0,13	0,13	0,16	0,12	0,16	0,16
Викооес	0,15	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16
	0,11	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13
Оз. пшеница	0,21	0,21	0,21	0,19	0,20	0,19	0,20
	0,14	0,13	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15
Картофель	0,21	0,17	0,17	0,17	0,17	0,19	0,20
	0,13	0,16	0,13	0,16	0,14	0,14	0,18

Таблица 4

Содержание фосфора и калия в почве (мг/100 г, соответственно в числителе и знаменателе) в течение ротации севооборота (в год закладки 16,1 и 21,2 мг)

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Картофель	18,3	19,0	25,4	32,3	37,3	29,6	30,6
	21,0	17,8	20,4	21,7	25,4	28,1	29,6
Ячмень	22,2	19,0	25,3	29,1	30,5	32,7	28,7
	19,7	17,8	22,9	20,6	26,8	26,8	29,6
Овес	17,9	18,7	24,2	29,7	38,0	33,0	35,6
	15,4	17,8	26,5	30,7	32,2	26,5	35,3
Викоовес	19,6	17,1	19,6	27,3	30,1	31,9	33,5
	17,8	16,5	18,2	19,8	29,9	33,9	34,8
Оз. пшеница	17,4	14,6	14,5	21,7	36,6	35,0	30,0
	22,9	19,8	20,8	27,6	32,9	30,0	29,6
Картофель	14,6	12,5	13,8	18,3	26,9	38,2	33,7
	17,4	15,1	16,4	20,1	24,8	28,3	34,3

основная нагрузка приходится на органическое вещество почвы (первая компонента); во-вторых, наиболее характерными вариантами, наблюдая за которыми можно получить полное представление о развитии процесса, являются контроль,

внесение 10, 40 и 100 т навоза на 1 га.

Сила влияния изучаемого фактора на уровень урожайности оценивается в 23 %. Внесение навоза в возрастающих нормах приводило к росту урожайности полевых культур

Таблица 5

Сумма поглощенных оснований (в числителе, мг·экв/100 г) и pH почвы (в знаменателе) в слое 0—20 см в течение ротации севооборота (в год закладки — соответственно 8,4 и 5,06)

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Культура	8,15	8,15	9,10	9,20	9,75	9,05	9,20
	5,44	5,42	5,62	5,71	5,84	5,45	5,80
Ячмень	7,75	8,80	8,35	8,05	9,90	8,70	8,50
	5,57	5,64	5,71	5,73	6,10	5,79	5,88
Овес	7,50	7,70	7,10	8,70	9,50	8,90	11,70
	5,51	5,46	5,53	5,30	5,98	5,79	6,26
Викоовес	8,80	8,20	9,10	9,50	9,80	11,90	12,00
	5,44	5,10	5,46	5,55	5,48	6,14	6,22
Оз. пшеница	8,50	7,90	7,80	8,20	8,90	10,50	10,70
	5,75	5,51	5,52	5,52	5,94	5,64	5,85
Картофель	8,60	9,35	10,30	9,50	12,10	13,30	13,50
	5,63	5,45	5,65	5,77	5,66	5,89	5,95

тур (табл. 3). Указанная зависимость выражается логарифмической кривой. Точка перегиба, связанная с выходом кривой на плато, чаще всего отмечается при норме органики на уровне 40 т/га. Достоверность прибавки обеспечивается при систематическом внесении 20 т навоза на 1 га.

Характерно, что в следующую ротацию севооборота наблюдалась широкая изменчивость урожайности по вариантам опыта (коэффициент вариации до 67 %).

При переводе надземной фитомассы культур в энергетический эк-

вивалент было установлено, что биологическая продуктивность 1 га посева составила по вариантам опыта 29, 31, 33, 38, 41, 43 и 44 Пкал за ротацию.

О влиянии органических удобрений на показатели фотосинтеза можно судить по данным табл. 7—9. Из табл. 7 следует, что листовой индекс полевых культур увеличивался с повышением плодородия почвы. Достигается это за счет увеличения как числа листьев на растении, так и их размеров и времени жизнедеятельности. В общей фитомассе растений повышается доля

Таблица 6  
Урожайность полевых культур (ц/га) при систематическом внесении возрастающих норм органических удобрений в 1984—1989 гг.

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Картофель	157,5	148,7	159,0	180,7	173,8	160,6	166,7
Ячмень	31,6	31,9	34,1	35,2	35,4	36,6	35,1
Овес	25,0	31,0	34,8	37,9	42,5	43,0	43,8
Виковес	197,0	191,3	210,3	235,3	267,3	276,7	299,3
Оз. пшеница	40,9	40,7	42,3	46,8	49,5	51,9	52,0
Картофель	225,7	279,6	308,0	361,1	397,8	406,7	414,9
Ячмень	23,4	27,1	28,5	31,4	33,7	34,2	37,3

Таблица 7  
Максимальные значения листового (в числителе, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>) и хлорофиллового (в знаменателе, кг/га) индексов посевов

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Викоовес	2,5	2,4	3,0	3,0	3,8	4,3	3,9
	6,7	6,0	7,9	13,1	3,8	18,0	20,0
Оз. пшеница	2,7	2,9	2,9	3,3	4,0	4,1	3,9
	7,7	6,8	7,6	10,8	4,0	14,1	13,3
Картофель	2,6	2,8	2,6	3,0	3,0	3,0	2,7
	5,3	6,7	9,0	11,4	3,0	14,9	17,3
Ячмень	3,3	3,3	4,4	4,1	4,7	5,4	4,0
	7,7	8,5	13,2	11,2	4,7	15,7	18,3
Овес	2,7	2,8	3,6	3,9	3,9	4,0	5,3
	9,0	8,6	13,6	14,9	3,9	18,3	24,6

Таблица 8

Фотосинтетическая мощность посевов (в числителе, м<sup>2</sup>-дн/га) и выход продукции (в знаменателе, кг на 1 тыс. ед. ФП)

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Викоевс	0,8	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,4
	23,4	23,4	20,6	21,3	20,4	20,5	20,6
Оз. пшеница	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,0
	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,6	2,5
Картофель	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9
	21,5	23,8	21,2	18,6	18,3	18,6	17,4
Ячмень	1,6	1,6	2,0	2,1	2,3	2,8	2,8
	2,5	2,6	2,6	2,1	1,8	1,8	1,8
Овес	0,6	0,6	0,9	1,0	1,1	1,1	1,4
	4,3	5,4	3,9	3,6	3,8	3,9	3,0

листьев на плодородных участках.

Максимальная площадь листьев не превышала 55 тыс. м<sup>2</sup>/га. «Ударные» нормы навоза не оказали резкого влияния на размеры листовой поверхности, но значительно увеличивали накопление хлорофилла.

Полученные в опыте результаты подтверждают наличие тесной связи между фотосинтетическим потенциалом посевов и накоплением сухой биомассы. Коэффициент кор-

реляции колебался от 0,82 до 0,95. Доля ФП в формировании урожая составляла 65 %. Значение ФП увеличивалось с повышением нормы навоза.

При увеличении фотосинтетической мощности посевов, как правило, снижается чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) из-за конкурентных взаимоотношений растений. Падение данного показателя наблюдалось и в наших опытах

Таблица 9

ЧПФ (в числителе — г/м<sup>2</sup>·сут) и нетто-ассимиляция СО<sub>2</sub> листьями (мг/дм<sup>2</sup>·сут) в среднем за сезон

Культура	Вариант опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Викоевс	4,7	4,4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5
	101,2	111,8	149,3	153,1	120,5	118,2	133,8
Оз. пшеница	7,3	7,7	8,1	7,8	7,4	7,1	6,9
	95,4	99,8	101,6	100,3	91,7	86,4	84,9
Картофель	6,4	6,7	7,0	6,8	6,8	7,4	7,2
	73,7	70,6	81,0	74,2	81,2	77,2	64,3
Ячмень	4,8	5,0	4,0	4,1	3,8	3,3	3,3
	139,3	132,3	161,0	141,9	141,4	135,2	132,1
Овес	10,0	10,9	7,4	9,2	9,7	10,6	8,0
	76,6	72,6	81,7	79,2	75,7	80,6	73,2

(табл. 9). Однако результаты непосредственных наблюдений за  $\text{CO}_2$ -газообменом растений свидетельствуют об отсутствии отмеченной тенденции в изменении интенсивности фотосинтеза [9].

Такое несоответствие характеристик фотосинтетической деятельности растений, несмотря на одинаковую смысловую нагрузку, которую несут расчетная и непосредственно измеренная скорость фотосинтеза, свидетельствует о том, что фотосинтез является частной физиологической функцией, но к тому же и решающей функцией зеленых растений. В наибольшей мере согласуются значения ЧПФ и нетто-ассимиляции  $\text{CO}_2$  в расчете на единицу содержания хлорофилла (хлорофилловый индекс).

Данные табл. 10 позволяют рассмотреть динамику интенсивности фотосинтеза в течение вегетации у овса.

Не останавливаясь на деталях, прежде всего отметим, что фотосинтетическая активность листьев увеличивается в вариантах с повышен-

ным плодородием почвы в период образования хозяйственно ценной части урожая (налив — у хлебов и клубнеобразование — у картофеля). Естественно, что такое ее повышение должно однозначно сказаться на продуктивности растений.

Таким образом, при наблюдении за ходом формирования урожая наиболее изученным и надежным критерием на сегодня следует признать размеры площади листьев и ФП посевов. В то же время уровень фотосинтеза остается недостаточно определенным и выясненным показателем. Из-за его сильной изменчивости порой трудно получить представление о том, насколько скорость усвоения  $\text{CO}_2$  соответствует условиям среды и потенциалу растения.

В этой связи целесообразно иметь информацию не только об интенсивности фотосинтеза, но и о составляющих темного дыхания, что позволит судить об уровне обеспеченности растения продуктами фотосинтеза.

При изучении фотосинтетической

Таблица 10  
Изменение интенсивности нетто-ассимиляции  $\text{CO}_2$  ( $\text{мг/дм}^2 \cdot \text{сут}$ ) в ходе вегетации овса в 1986 г.

Вариант опыта	Июнь			Июль				
	3	10	20	1	3	8	10	28
1	149,9	131,1	16,9	46,5	100,3	23,2	28,8	74,9
3	148,8	127,0	19,3	61,1	89,9	38,2	28,5	92,6
4	118,5	92,3	18,5	55,4	97,9	35,4	26,9	154,5
6	103,6	113,5	11,6	93,5	92,1	42,2	27,8	145,8
7	101,6	70,0	8,1	81,3	80,4	49,7	31,1	128,5

Таблица 11  
Интенсивность дыхания почвы ( $\text{г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ ) в посадках картофеля в 1989 г.

Вариант опыта	Июль						Август		
	1	3	12	14	23	26	1	3	5
1	1,2	8,6	3,0	3,0	1,6	3,6	3,0	3,1	10,0
6	1,5	10,4	4,0	3,5	3,0	5,1	3,7	—	12,0

деятельности растений возникает необходимость исследовать взаимодействие фотосинтеза как источника ассимилятов с системой их акцепторов. Учитывая, что прямые определения достаточно сложны, используют соотношение показателей.

Из табл. 8 видно, что между выходом зерна на единицу ФП и почвенным плодородием существует обратная зависимость, т. е. фотосинтетическая нагрузка на листья снижается с повышением последнего. Можно предположить, что аттрагирующие центры в достаточном количестве снабжаются продуктами фотосинтеза.

Используемая в полевых исследованиях газометрическая техника позволяет не только получать информацию о  $\text{CO}_2$ -газообмене растения, но и определять выделение  $\text{CO}_2$  из почвы.

Значение этого показателя в вариантах с внесением навоза особенно заметно возрастало при получении высоких урожаев. Как следует из табл. 11, воздух над унавоженным полем обогащается  $\text{CO}_2$ , что улучшает воздушное питание растений.

Анализ экономической эффективности применения разных норм органических удобрений показал, что при закупочных ценах, используемых в рассматриваемый период (30 руб. в расчете на 1 ц зерновых и картофеля при затратах на внесение навоза 1 руб/т [6]), наивысшая рентабельность (376 %) в посевах хлебов достигалась при внесении 20—40 т навоза на 1 га, а в посадках картофеля (400 %) — при его нормах 40—100 т/га.

Наряду с экономической оценкой применения возрастающих норм органических удобрений необходимо также определить качество производимой продукции (табл. 12), которое является важным показателем

Таблица 12  
Некоторые показатели качества урожая озимой пшеницы и картофеля

Вариант опыта	Зерно			Клубни	
	углеводы, %	сырой протеин, %	сырой жир, %	крахмальное число	нитраты, мг/кг
1	79,8	7,6	1,4	15,1	64
3	79,4	8,6	1,7	14,8	80
4	81,6	9,5	1,7	14,3	92
5	73,4	10,3	1,5	12,7	112
6	79,4	10,5	1,6	12,8	150
7	75,0	11,0	1,7	12,6	190

при рекомендации производству.

Под влиянием органических удобрений повышаются содержание сырого протеина в зерне пшеницы, а следовательно, и качество урожая. Иная картина наблюдается у картофеля: внесение навоза, особенно в высоких нормах, приводит к резкому увеличению накопления нитратов в клубнях, причем крахмалистость их снижается, хотя общий сбор крахмала с гектара сохраняется высоким.

### Выводы

1. Накопление гумуса и достоверная прибавка урожая (определенная по методу Тюрина) от применения возрастающих норм органики получены при внесении 40 т навоза на 1 га. Систематическое внесение навоза в течение 5 лет (за ротацию севооборота) усиливает влияние удобрений на урожай: эффект начинает проявляться уже при внесении 20 т навоза на 1 га.

2. Применение высоких норм органических удобрений (100 т/га и выше) ведет к усилению разложения органического вещества почвы.

3. Под влиянием органических удобрений увеличиваются запасы калия и фосфора в пахотном слое



почвы, возрастает сумма поглощенных оснований, реакция почвенного раствора изменяется в сторону подщелачивания.

4. При внесении органических удобрений меняются размеры фотосинтетического аппарата и его структура (различия по густоте, облиственности, содержанию пигментов), тогда как интенсивность его работы остается на одном уровне независимо от вариантов.

5. Применение навоза в норме 100 т/га увеличивает интенсивность дыхания почвы на 20 % по сравнению с контролем.

6. Под влиянием возрастающих норм органики повышается содержание сырого протеина в зерне в 1,4 раза, в то время как у клубней картофеля снижается крахмалистость и возрастает содержание нитратов с 64 до 190 мг/кг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барбер С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почве.— М.: Агропромиздат, 1988.— 2. Блэк К. А. Растение и почва.— М.: Колос, 1973.— 3. Вальков В. Ф. Почвенная экология с.-х. растений.— М.: Агропромиздат, 1986.— 4. Гюнтер Кант. Биологическое растениеводство: возможность биологических агросистем.— М.: Агропромиздат, 1988.— 5. Лыков А. М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне.— М.: Россельхозиздат, 1982.— 6. Органические удобрения в интенсивном земледелии.— М.: Колос, 1984.— 7. Прижуков Ф. Б. Агрономические аспекты альтернативного земледелия.— М.: ВНИИПЭИагропрома, 1989.— 8. Фокин А. Д. Главные составляющие гумусового баланса почв и их количественная оценка.— В сб.: Органическое вещество и плодородие почв. М.: ТСХА, 1983, с. 3—17.— 8. Формирование урожая основных с.-х. культур / Пер. с чешск.— М.: Колос, 1984.

*Статья поступила 26 июня 1991 г.*

## SUMMARY

During investigations that were conducted for many years different rates of organic fertilizers (from 10 to 200 tons/ha) were applied, and it was found how the quantitative composition of humus in the soil varied, specific features of photosynthetic activity of plants were determined, specific role of organic fertilizers in producing seed of high sowing and yield qualities was shown.