

УДК 631.811.2 + 631.445.241:631.851

## УРОЖАЙНОСТЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАЗНЫХ ФОРМ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н. Е. САМСОНОВА, Л. В. АСТАХОВА

(Кафедра агрохимии и почвоведения Смоленского филиала ТСХА)

В трехлетнем полевом опыте выявлена высокая эффективность ежегодного внесения частично разложившегося кингисеппского фосфорита и смеси его с катализированным красным фосфором, содержащих в водорастворимой форме 54—63 % общего фосфора.

Приведены данные о влиянии удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции, о размерах усвоения фосфора из удобрений и влиянии их на агрохимические свойства и фосфатный режим дерново-подзолистой почвы.

Имеющиеся залежи низкопроцентных фосфоритов до сих пор не используются для производства водорастворимых фосфорных удобрений из-за отсутствия удовлетворительной технологии их переработки. Вместе с тем с достаточной убедительностью доказано, что нецелесообразно переводить все фосфорное сырье в водорастворимую форму, как это делается при производстве суперфосфата. На это указывают данные об эффективности применения удобрений, полученных на основе смешивания суперфосфата с фосфоритом [4], частичного разложения фосфорита кислотой [3, 7, 17], механохимической активации фосфоритов [9, 12]. В отечественной и зарубежной литературе такие удобрения известны как полусуперфосфаты, недоразложенные, частично разложенные, активированные фосфориты, суперфосы.

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает изучение удобрений, полученных путем частичного разложения фосфорита фосфорной кислотой. Производство их экономически выгодно, агрономически оправдано и позволяет использовать фосфатное сырье с низким содержанием фосфора. Путем введения в состав удобрения катализированного элементарного красного фосфора ( $P_k$ ) можно повысить концентрацию и продолжительность действия удобрения.

Настоящая работа посвящена изучению эффективности использования частично разложившегося фосфорита (ЧРФ), полученного на основе 25 % разложения кингисеппского фосфорита ортофосфорной кислотой, и смеси этого продукта с катализированным медью элементарным красным фосфором (ЧРФ +  $P_k$ ).

### Методика

Удобрения были получены на опытной установке НИО ЛенНИИГИПРОХИМ по заказу кафедры агрохимии ТСХА. Содержание общего фосфора в ЧРФ 35,0 %, усвояемого — 22,7, водорастворимого — 22,1 %, свободная кислотность — 1,84 %. В смеси ЧРФ с  $P_k$  общего фосфора 41 %, содержание водорастворимой и усвояемой  $P_2O_5$  примерно такое же, как в ЧРФ. Удобрения гранулированные (1—3 мм).

В 1980 г. в совхозе «Катынский» Смоленского района Смоленской области был заложен полевой опыт, в котором прово-

дилось сравнительное изучение эффективности этих удобрений и стандартных форм — двойного суперфосфата и фосфоритной муки — при последовательном выращивании районированных сортов картофеля (Лошицкий), ячменя (Носовский 9), кукурузы на силос (гибрид Днепровский 247 МВ).

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, подстилая моренными суглинками. Ее агрохимическая характеристика следующая:  $pH_{\text{вод}}$  — 6,4,  $pH_{\text{сол}}$  — 5,6,  $N_T$  — 2,5,  $S$  — 6,3 экв на 100 г,  $P_2O_5$  по

Гинзбург — Артамоновой — 5,8 мг, K<sub>2</sub>O по Кирсанову — 12,1 мг на 100 г, гумус по Тюрину — 1,2 %.

Площадь опытной делянки 105 м<sup>2</sup>, учетной — 55 м<sup>2</sup>, повторность 4-кратная. Нормы азота, фосфора и калия соответственно 120, 90 и 120 кг/га (аммиачная селитра и 40 % калийная соль). Дозу фосфорных удобрений определяли по содержанию в них общего фосфора. Все удобрения вносили весной под вспашку. В 1982 г. опытные делянки были разделены пополам для изучения прямого действия и последствия фосфорных удобрений.

Урожай учитывали сплошным методом. Полученные результаты подвергнуты дисперсионному анализу по Б. А. Доспехову [5]. Содержание в растениях азота и фосфора определяли колориметрически после ускоренного мокрого озоления по Гинзбург и др., крахмала — по методу Эверса, аскорбиновой кислоты — по Мурри [10], гидролитическую кислотность и сумму обменных оснований в почве — по Каппену, количество подвижного фосфора — по

Гинзбург — Артамоновой, степень подвижности фосфатов — по Карпинскому — Замятиной [1], фракционный состав фосфатов — по Курмису [13].

Метеорологические условия в годы проведения опытов были различными. В 1980 г. для выращивания картофеля они сложились неблагоприятно. В июле в период бутонизации и цветения картофеля количество выпавших осадков составил? 169 % нормы. Из-за переувлажнения почвы в августе нарушалась ее аэрация. В 1981 г. температурный режим и количество осадков способствовали ускорению развития и созревания ячменя. В мае, июне и июле среднесуточная температура воздуха была выше нормы на 2°, а количество осадков в июле, когда шел налив зерна, составило всего 4,2 % нормы. В 1982 г. наблюдались поздние заморозки (первая декада июня) и низкая температура воздуха в течение всего июня, что существенно сдерживало развитие сельскохозяйственных культур. Количество осадков было близким к норме.

## Результаты

Положительное действие фосфорных удобрений проявилось во все годы опыта (табл. 1). Максимальный урожай картофеля сформировался в варианте с ЧРФ, действие двойного суперфосфата и смеси ЧРФ + P<sub>к</sub> было практически одинаковым (разница в урожае статистически недостоверна). При выращивании ячменя и кукурузы эффективность ЧРФ была такой же, как двойного суперфосфата, а ЧРФ + P<sub>к</sub> выше, что мы связываем с хорошим последствием удобрения. Это подтверждается данными учета урожая кукурузы, выращиваемой на 3-й год после внесения фосфатов (2-летнее последствие). В варианте с ЧРФ она составила 96 %, а с ЧРФ + P<sub>к</sub> — 98 % урожайности в год применения фосфорного удобрения. Последствие двойного суперфосфата и фосфоритной муки было гораздо менее выраженным — урожайность соответственно 87 и 85 % ее уровня при прямом действии и 74—81, 71—78 % урожайности в варианте ЧРФ в последствии.

Следовательно, наличие в изучаемых удобрениях фосфора в быстрого- и медленнодействующих формах обуславливает эффект пролонгированного их действия и позволяет обеспечить растения усвояемыми фосфатами во все фазы их роста и развития.

В сумме за 3 года эффективность ЧРФ и ЧРФ + P<sub>к</sub> при ежегодном

Таблица 1

Урожайность культур \* (ц/га)

Вариант	Картофель	Ячмень	Кукуруза на силос		в сумме за 3 год?			
			д	пд	корм. ед.		доля участия фосфора в создании урожая. %	
					д	пд	д	пд
			д	пд	д	пд	д	пд
1—N K—фон По Фону:	175,0	22,1	316	—	155,6	—	—	—
2 — P <sub>с.д</sub>	190,5	28,0	473	411	202,9	190,5	23,3	18,3
3 — P <sub>ф</sub>	184,0	25,6	463	395	197,2	183,6	21,1	15,3
4 — ЧРФ	206,5	29,2	531	509	220,6	216,2	29,5	28,0
5 — ЧРФ + P <sub>к</sub>	197,3	30,8	564	555	227,1	225,3	31,5	30,9
НСР <sub>05</sub>	10,8	2,3	67	—	—	—	—	—

\* Здесь и в других таблицах: д — действие удобрений; пд — их последствие.

Структура урожая кукурузы

Вариант	Количество початков, шт/раст		Структура по массе, %					
			листья		стебель		початки	
	А	пд	д	пд	д	пд	д	пд
1	1,4	—	13	—	67	—	20	—
2	1,8	1,9	19	19	66	58	15	23
3	1,9	1,8	17	11	58	65	25	24
4	2,2	2,2	15	15	56	52	29	34
5	2,6	2,7	16	16	56	55	28	29

внесении составила 108,7 и 111,9 % эффективности двойного суперфосфата. За счет этих удобрений получено дополнительно 65—71,5 ц корм. ед. с 1 га, что соответственно на 37—51 и на 56—72 % больше, чем при внесении двойного суперфосфата и фосфоритной муки.

Доля участия фосфора в создании урожая в этих вариантах была заметно выше, чем в варианте с суперфосфатом, хотя содержание водорастворимого фосфора в продуктах частичного разложения фосфорита составляло всего 54—63 % общего.

Повышение урожая под влиянием фосфорных удобрений сопровождалось улучшением его структуры (табл. 2 и 3). Двойной суперфосфат, ЧРФ и ЧРФ + Рк повышали выход фракции крупных клубней картофеля за счет снижения выхода мелких и средних. Фракционный состав клубней в варианте с фосфоритной мукой практически не отличался от фона. Показатель товарности урожая был выше в вариантах с внесением ЧРФ и ЧРФ + Рк.

Форма фосфорного удобрения не влияла на общую продуктивную кустистость ячменя, массу 1000 зерен, только в варианте с фосфоритной мукой зерно было менее выполненным, а отношение зерна к соломе — более широким.

При внесении новых фосфорных удобрений кукуруза образовывала больше початков, чем в других вариантах, как в первый год, так и в последующие годы (последействие).

Химический анализ показал, что применение фосфорных удобрений не ухудшало, а в ряде случаев повышало качество полученной продукции (табл. 4). Крахмалистость клубней картофеля не изменялась, а содержание аскорбиновой кислоты повышалось под действием фосфатов и практически не зависело от их формы. Все фосфорсодержащие удобрения, кроме фосфоритной муки, оказывали заметное положительное влияние на содержание сырого протеина в урожае ячменя и кукурузы и его сбор.

Под влиянием таких удобрений заметно увеличивалось содержание фосфора в урожае, особенно картофеля и кукурузы, и в данном случае форма их не имела существенного значения (табл. 5). Это согласуется с данными другими авторами, проводивших исследования с аналогичны-

Таблица 3

Структура урожая картофеля и ячменя

Вариант	Картофель					Ячмень			
	количество клубней, шт/куст	фракции клубней, г			товарность, %	кустистость		зерно-солома	масса 1000 зерен, г
		<50	50—100	>100		общая	продуктивн.		
1	16,4	37	39	24	63	2,73	1,24	1 : 1,8	42,02
2	20,0	34	38	28	66	2,79	1,29	1 : 1,9	43,42
3	17,2	36	39	25	64	2,88	1,34	1 : 2,2	42,53
4	20,0	31	36	33	69	2,79	1,28	1 : 1,8	43,59
5	18,0	33	34	33	67	2,78	1,23	1 : 1,8	43,64

Качество урожая сельскохозяйственных культур

Вариант	Картофель			Ячмень		Кукуруза			
	аскорбиновая кислота, мг%	крахмал		сырой протеин		%		Ц/га	
		%	Ц/га	%	ц/га	д	пд	д	пд
1	13,9	17,6	30,0	9,9	1,7	7,1	—	3,1	—
2	17,9	17,8	34,0	10,7	2,7	12,1	9,3	7,7	4,8
3	18,0	17,6	32,4	9,8	2,2	7,9	7,6	5,2	3,7
4	18,0	17,6	36,4	11,1	2,9	8,3	9,1	6,0	6,0
5	17,4	18,1	35,7	11,1	3,1	10,1	10,6	7,6	7,5

Таблица 5

Усвоение фосфора удобрений

Вариант	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в урожае, %						Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> урожаем за 3 года, кг		Коэффициент использования P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	
	картофель		ячмень		кукуруза		д	пд	д	пд
	клубни	ботва	зерно	солома	д	пд				
i	0,33	0,15	0,71	0,35	0,47	—	59,6	—	—	—
2	0,75	0,27	0,75	0,35	0,65	0,63	111,8	102,7	19,3	23,9
3	0,61	0,13	0,72	0,35	0,63	0,50	100,8	83,5	15,3	13,3
4	0,76	0,14	0,77	0,45	0,68	0,57	126,9	115,4	24,9	31,0
5	0,76	0,14	0,75	0,45	0,81	0,75	137,1	130,0	28,7	39,1

ми фосфатами [3]. Вынос фосфора суммарным урожаем был значительно выше в вариантах с ЧРФ и ЧРФ + P<sub>к</sub> — соответственно 113,5 и 122,6 % к выносу в варианте с суперфосфатом.

Коэффициенты использования фосфора из этих удобрений в сумме за 3 года были на 5,6—9,4 % выше, чем из двойного суперфосфата, и на 9,6—13,4 % выше, чем из фосфоритной муки; при этом усвоение фосфат-ионов из смеси ЧРФ с красным фосфором было более полным. Так, использование фосфора удобрений, внесенных за 2 года, с учетом их последствия из ЧРФ + P<sub>к</sub> было на 7,9 % больше, чем в варианте с ЧРФ, и на 15,2 % больше, чем при внесении двойного суперфосфата. Этот факт еще раз подтверждает целесообразность использования красного фосфора в качестве компонента фосфорных удобрений.

Считается, что длительное применение минеральных удобрений приводит к ухудшению основных свойств почвы. Однако более тщательный анализ материалов опыта показал, что это происходит не всегда. Характер действия удобрений на физико-химические свойства почвы зависит не только от почвенно-климатических условий, доз и длительности применения удобрений, но и от их форм.

В наших исследованиях внесение фосфорных удобрений в течение трех лет практически не изменило кислотности почвы, содержания обменных оснований и, несмотря на вынос P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> растениями, в одинаковой степени повысило содержание в почве подвижных форм фосфора, определяемых в буферной вытяжке Гинзбург — Артамоновой (табл. 6). Использование солянокислой вытяжки Кирсанова в данном случае неприемлемо из-за способности ее растворять трикальцийфосфат, входящий в состав фосфоритной муки и продуктов ее частичного разложения.

Для повышения содержания подвижного фосфора в 100 г почвы на 1 мг потребовалось 47—64 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> удобрений, при этом расход менее растворимых удобрений оказался больше.

Количество подвижного фосфора не объясняет динамику фосфатов в почве. Интенсивность перехода фосфора из твердой фазы почвы в раствор характеризует степень подвижности фосфатов. Анализ показал, что она была одинаковой в вариантах с двойным суперфосфатом,

**Некоторые агрохимические показатели почвы  
после 3-летнего внесения фосфорных удобрений**

Вариант	pH <sub>СОЛ</sub>	H <sub>г</sub> мЭКВ/100 г	S 100 г	V. %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г	Степень подвижности фосфатов, мг/л
1	5,6	2,5	5,7	69,5	4,0	0,04
2	5,3	2,8	6,3	69,2	11,5	0,22
3	5,8	2,7	6,4	70,3	10,0	0,10
4	5,9	2,5	6,7	72,8	10,4	0,22
5	5,9	2,5	6,1	70,9	10,7	0,22
Исходная почва	5,6	2,5	6,3	71,6	5,8	0,05

Таблица 7

**Фракционный состав фосфатов почвы после 3-летнего внесения удобрений**  
(в числителе — мг/100 г, в знаменателе — % к валовому)

Вариант	Ca—P	Al, Fe—P	Итого минер. фосфатов	$\frac{Ca—P}{Al, Fe—P}$	P <sub>орг</sub>	P <sub>ост</sub>	P <sub>вал</sub>
1	24	56	80	0,43	2	86	168
	14,3	33,3	47,6		1,2	51,2	100
2	23	90	113	0,26	12	75	200
	11,5	45,0	56,5		6,0	37,5	100
3	30	74	104	0,41	12	60	176
	17,1	42,0	59,1		6,8	34,1	100
4	27	80	107	0,34	7	70	184
	14,7	43,5	58,2		3,8	38,0	100
5	29	76	105	0,38	11	76	192
	15,1	39,6	54,7		5,7	39,6	100

ЧРФ и ЧРФ + P<sub>к</sub>. За 3 года их использования степень подвижности фосфатов повысилась с 0,05 мг/л в исходной почве до 0,22 мг/л, т. е. согласно соответствующим индексам обеспеченности фосфором [1] она первоначально была низкой, а стала высокой. При внесении фосфоритной муки степень подвижности фосфатов почвы хотя и повысилась по сравнению с фоном, но была в 2 раза ниже, чем в остальных вариантах.

Фосфатный режим почвы зависит не только от количества фосфатов, способных к обмену, степени подвижности, но и от фракционного их состава.

Внесение фосфорсодержащих удобрений приводило к повышению содержания в почве валового фосфора, причем главным образом за счет увеличения минеральных фосфатов (табл. 7).

Хотя фосфаты полуторных окислов во всех вариантах преобладали над Са-фосфатами и внесение фосфорных удобрений приводило к увеличению содержания обеих фракций минеральных фосфатов, количественные изменения и отношение Са—P : Al, Fe—P зависели от формы изучаемых удобрений. Внесение суперфосфата заметно повышало количество Al, Fe-фосфатов, а в варианте с фосфоритной мукой установлено наибольшее содержание Са-фосфатов, что свидетельствует о длительном сохранении фосфоритной муки в почве в неизменном виде. Промежуточное положение по характеру превращения в почве занимали варианты ЧРФ и ЧРФ + P<sub>к</sub>. По фиксации фосфора почвой в форме труднорасположенных для растений фосфатов полуторных окислов эти удобрения имели преимущество перед суперфосфатом.

По возрастанию отношения Са—P : Al, Fe—P изучаемые удобрения

можно расположить в следующем порядке: двойной суперфосфат, ЧРФ, ЧРФ +  $P_K$ , фосфоритная мука.

Под влиянием фосфорных удобрений наряду с ростом количества минеральных фосфатов резко повышалось содержание органических форм фосфора. Это согласуется с данными, полученными Э. И. Шконде и Б. А. Доспеховым [6, 10].

Благодаря мобилизации почвенных фосфатов при внесении удобрений количество остаточного фосфора в почве сократилось.

### Выводы

1. Урожайность и качество картофеля, ячменя и кукурузы на зеленую массу при ежегодном внесении частично разложившегося фосфорита и смеси его с красным фосфором были такими же или даже более высокими, чем в вариантах с двойным суперфосфатом. Гораздо менее эффективным удобрением была фосфоритная мука.

Смесь ЧРФ с красным фосфором обладает пролонгированным действием.

2. Коэффициент использования фосфора из ЧГФ и ЧРФ +  $P_K$  был на 5,6—9,4 % выше, чем из двойного суперфосфата, и на 9,6—13,4 % выше, чем из фосфоритной муки.

3. Внесение фосфорных удобрений сопровождалось повышением в почве запасов подвижного фосфора и степени их подвижности. Расход  $P_2O_5$  удобрений для повышения его содержания в почве на 1 мг в 100 г составил 47—64 кг.

4. В дерново-подзолистой почве фосфор суперфосфата в значительной степени переходит в состав фосфатов полуторных окислов. Фосфоритная мука длительное время остается в почве в неизменном виде. ЧРФ и его смесь с красным фосфором по характеру превращения в почве занимают промежуточное положение. По особенностям взаимодействия с почвой они похожи на суперфосфат и фосфоритную муку, причем по размеру фиксации фосфора почвой эти удобрения имеют преимущество перед суперфосфатом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — 2. Безуглая Ю. М. и др. Эффективность красного фосфора и смесей на его основе. — Агрохимия, 1982, № 11, с. 44—58. — 3. Безуглая Ю. М. и др. Действие суперфосфата на дерново-подзолистой почве при основном и рядковом внесении. — Агрохимия, 1984, № 10, с. 14—20. — 4. Гырбу-чев И. Регулирование фосфатного режима в основных почвах Болгарии. — М.: Колос, 1981. — 5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1968. — 6. Доспехов Б. А. Фосфатный лежим длительно удобрявшихся почв. — Изв. ТСХА, 1963, вып. 6, с. 104—112. — 7. Кулюкин А. Н., Панкова Л. М. Эффективность и превращение частично разложившего фосфорита и других форм фосфорных удобрений на оподзоленной лугово-бурой почве Приморского края. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 2, с. 57—63. — 8. Кулюкин А. Н., Литвинов Б. В. Эффективность использования гранулированных смесей катализированного красно-

го фосфора с фосфорными удобрениями. — Химия в сельск. хоз-ве, 1983, № 8, с. 30—33. — 9. Науменко И. и др. Использование механически активированных фосфатов в качестве фосфорных удобрений на почвах нечерноземной зоны Западной Сибири. — Тез. докл. на 4-й зон. науч.-производ. конфер. молодых ученых и спец. сельск. хоз-ва, Тюмень, 1978, с. 117—118. — 10. Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии. — VI.: Колос, 1968. — 11. Шконде Э. И. Влияние растений и удобрений на характер распределения фосфатов по профилю почвы. — Тр. ВИУА, 1960, вып. 34, с. 153—186. — 12. Янишевский Ф. В. и др. Эффективность фосфоритов, активированных механическими методами, на дерново-подзолистой почве. — Агрохимия, 1985, № 9, с. 21—27. — 13. Kurmies B. Phosphorsaure, 1985, Bd. 29, N 2/3, S. 118—151. — 14. Werner W. Prod. a. Techn. Plant Nutr. Effic. Proc. Brit. Sulphur Corp. 2-nd Int. Conf. Fert. L., 1978.

*Статья поступила 7 апреля 1986 г.*

### SUMMARY

It is shown in the field experiment conducted for three years that annual application of partly decomposed Kingisepp phosphorite and its mixture with catalyzed red phosphorus, containing 54—63 % of total phosphorus in water soluble form, is highly efficient.

The data on the effect of fertilizers investigated as to crop yield and quality and as to phosphate soil regime are presented.