

УДК 633.15+633.34:631.851'855(571.63)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВОЙНОГО СУПЕРФОСФАТА И ПРОДУКТОВ ЧАСТИЧНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МЕСТНЫХ ФОСФОРИТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КУКУРУЗЫ И СОИ НА ЛУГОВО-БУРОЙ ПОЧВЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А. Н. КУЛЮКИН, Х. К. АСАРОВ, Л. М. ПАНКОВА
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Почвы Приморского края, как показали многолетние исследования, бедны подвижной фосфорной кислотой, более 80% пашни имеет низкое ее содержание [2], поэтому фосфорные удобрения здесь весьма эффективны, особенно при совместном внесении их с азотными и калийными удобрениями. Для почв Приморья лучшим соотношением N, P и K является 1:1,5:0,5—1,0 [4]. Улучшение фосфатного режима необходимо рассматривать как одну из наиболее актуальных проблем земледелия Приморского края, решение которой может привести к коренному улучшению плодородия почвы и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

По данным зональной агрохимической лаборатории, пахотные земли Приморья имеют высокую емкость поглощения фосфорной кислоты и повышенную кислотность [2] и, следовательно, нуждаются в известковании. В кислых почвах, как известно, фосфор в основном связан с полуторными окислами как в виде адсорбционных соединений, так и в виде фосфатов Fe и Al, отсюда малая подвижность фосфора в интервале pH 4,0—5,5 [3].

Применение фосфоритной муки Дальневосточных месторождений на кислых почвах Приморья высокоэффективно. Однако на известкованных почвах действие фосфоритной муки может не проявиться. Поэтому в задачу наших исследований входило изучение эффективности частично разложенных фосфоритов местных месторождений в условиях известкования лугово-бурой почвы Приморского края. Следует отметить, что для частичного разложения фосфоритов требуется в 3—4 раза меньше фосфорной кислоты, чем для производства двойного суперфосфата. Нами изучалось действие и последствие новых удобрений на урожай сельскохозяйственных культур, а также на вынос и использование P_2O_5 фосфатных туков урожаями.

Методика проведения опытов

Для вегетационных и полевых опытов использовали фосфоритную муку из фосфоритов Хабаровского края, содержащую 18,2% P_2O_5 . После поверхностной обработки фосфорной кислотой ее хорошо перемешивали и подсушивали до воздушно-сухого состояния.

Один из вегетационных опытов был проведен в 1975 г., второй — в 1976 г. Почву перед внесением удобрений и посевом известковали по полной гидrolитической кислотности и выдерживали во влажном

состоянии в течение 15 дней. Повторность опытов 6-кратная.

Опыт 1 проводили на двух культурах — горохо-овсяной смеси и кукурузе гибрид Буковинский 3. В каждый сосуд (типа сосудов Митчерлиха), вмещающий 5 кг абсолютно сухой почвы, высевали 8 зерен кукурузы или по 12 зерен гороха и овса. После массовых всходов проводили прореживание и оставляли по 2 растения кукурузы, 10 — овса и 10 — гороха. В этом опыте изучали действие и последствие ежегодного и за-

пасного внесений двойного суперфосфата, фосфоритной муки и частично разложившего фосфорита. В запас (на 3 года) было внесено 2,7 г P_2O_5 на сосуд. Доза P_2O_5 для ежегодного внесения составляла 0,9 г на сосуд. Для частичного разложения (активации) фосфорита расходовалось 10 г P_2O_5 в виде H_3PO_4 на 100 г фосфоритной муки. Опыт включал 11 вариантов: 1 — НК (фон); 2 — фон + двойной суперфосфат ($P_{с.д}$) в запас; 3 — фон + $P_{с.д}$ ежегодно; 4 — фон + фосфоритная мука ($P_{ф.м}$), порошок, в запас; 5 — фон + $P_{ф.м}$ (гранулы) в запас; 6 — фон + $P_{ф.м}$ (порошок) ежегодно; 7 — фон + $P_{ф.м}$ (гранулы) ежегодно; 8 — фон + «активированная» фосфоритная мука ($P_{а.ф.м}$), порошок, в запас; 9 — фон + $P_{а.ф.м}$ (гранулы) в запас; 10 — НК + $P_{а.ф.м}$ (порошок) ежегодно; 11 — НК + $P_{а.ф.м}$ (гранулы) ежегодно.

В вегетационном опыте 2 изучалось действие и последствие фосфорита, двойного суперфосфата, аммофоса и «активированной» фосфоритной муки на урожай кукурузы. В каждый сосуд было внесено 2,7 г P_2O_5 . Для получения активированной муки, используемой в 7-м и 9-м вариантах, было взято 10 г P_2O_5 в виде H_3PO_4 на 100 г фосфорита, а в 8-м и 10-м вариантах 15 г P_2O_5 . Схема опыта: 1 — НК (фон); 2 — фон + $P_{ф.м}$ (порошок); 3 — фон + $P_{ф.м}$ (гранулы); 4 — фон + $P_{с.д}$; 5 — НК + $P_{аммофос}$; 6 — фон + $P_{аммофос}$ +

+ $Ca(NO_3)_2$, количество Ca было таким же, как в варианте с двойным суперфосфатом; 7 — фон + $P_{а.ф.м}$ (порошок); 8 — фон + $P_{а.ф.м}$ (порошок); 9 — фон + $P_{а.ф.м}$ (гранулы); 10 — фон + $P_{а.ф.м}$ (гранулы). Полевые опыты проводили в 4-кратной повторности. Перед их закладкой почву произвестковали. Дозу извести рассчитывали по полной гидролитической кислотности. Площадь учетной делянки 100 м². Азот и калий вносили в виде аммиачной селитры (N — 33%) и хлористого калия (K_2O — 60%). В вегетационных опытах доза N составила 1,2 г на сосуд, K_2O — 1,2, P_2O_5 — 0,9 г, в полевых опытах вносили по 90 кг д. в. каждого элемента на 1 га. Почву удобряли ранней весной под глубокую культивацию.

В первом полевом опыте, заложенном в 1976 г., в течение двух лет высевали кукурузу. Во втором полевом опыте, заложенном в 1977 г., выращивали сою сорта Приморская 529. Схема опытов представлена в табл. 3.

Агрохимическая характеристика луговой бурой оподзоленной почвы следующая: гумус по Тюрину — 4,2%, сумма поглощенных оснований — 15,5 мэкв на 100 г абсолютно сухой почвы, Hg по Каппену — 5,4, pH_{KCl} — 4,6, K_2O по Масловой — 16,2 мг, P_2O_5 по Кирсанову — 0,49 мг на 100 г почвы. В результате известкования Hg снизилась до 1,68, а уровень pH повысился до 6,02.

Результаты и их обсуждение

Активирование фосфоритной муки путем обработки ее небольшими количествами H_3PO_4 позволяет получать фосфорное удобрение, не уступающее по своему действию двойному суперфосфату (табл. 1—3). Так, при ежегодном и запасном внесении «активированной» фосфоритной муки (при расходе 10 г P_2O_5 H_3PO_4 на 100 г фосфорита) масса сухого вещества кукурузы практически была такой же, как и при внесении суперфосфата, во все годы проведения опыта (табл. 1). Следует отметить, что при ежегодном внесении всех видов удобрений урожайность кукурузы была несколько выше, чем при запасном, как в годы их действия, так и в год последствия. Прибавка урожая в варианте с обычной фосфоритной мукой на известкованной почве незначительная и находилась в пределах ошибки опыта. Гранулирование фосфорита способствовало некоторому улучшению физических свойств, но существенного влияния на урожай кукурузы оно не оказало.

Коэффициенты использования фосфора из удобрений дают представление о доле общей P_2O_5 , принявшей участие в питании растений. В наших опытах наибольший общий вынос фосфора урожаем наблюдался в вариантах $P_{а.ф.м}$ и $P_{с.д}$. Коэффициенты использования фосфора за 3 года в этих вариантах были близкими.

В вегетационном опыте 2 (табл. 2) наибольший урожай сухой массы кукурузы получен в вариантах с аммофосом и аммофосом + $Ca(NO_3)_2$ во все годы исследований. Затем следуют варианты $P_{с.д}$ и $P_{а.ф.м}$. При внесении порошковидной $P_{а.ф.м}$, обработанной 10 г P_2O_5 на 100 г фосфорита, выход сухого вещества кукурузы за 3 года был на 50,3 г меньше, чем при более высоком уровне «активации». В вариантах с гранулированной $P_{а.ф.м}$ (10 г P_2O_5) урожай кукурузы был выше. В этом опыте активированная фосфоритная мука по действию на урожай на 3-й год уступала двойному суперфосфату. Что касается

Таблица 1

Масса сухого вещества и коэффициенты использования фосфора кукурузой при ежегодном и запасном внесении фосфорсодержащих удобрений (вегетационный опыт 1)

Вариант	Урожай сухой массы, г/сосуд				последствие, 1978		Вынос P_2O_5 за 3 года, мг/сосуд	Коэффициенты использования P_2O_5 из удобрений за 3 года, %
	действие удобрений				1978			
	1975	1976	1977	за 3 года	горох+овес	кукуруза		
1	21,5	114,0	15,8	151,3	6,5	16,7	—	—
2	141,6	286,4	51,4	479,4	13,4	32,0	1277	47,3
3	116,9	293,6	88,1	498,6	24,4	37,6	1194	44,2
4	22,0	118,0	12,0	152,0	6,5	16,7	150	5,6
5	24,3	116,2	18,2	158,7	4,9	17,8	52	1,9
6	22,7	117,6	16,9	157,3	6,9	17,4	66	2,4
7	18,4	125,4	20,9	164,7	7,1	19,2	75	2,8
8	148,3	281,4	41,1	470,8	13,3	27,8	1109	37,1
9	136,3	256,0	39,7	432,0	13,7	35,4	1267	46,9
10	119,2	273,8	67,6	460,6	18,7	39,5	1256	46,5
11	114,3	311,4	66,1	491,8	19,6	37,3	1399	51,8
НСР ₀₅	29,8	70,2	20,0		0,56	3,2		

коэффициентов использования фосфора, то в вариантах с гранулированной $P_{a,фм}$ и $P_{с,д}$ они были близкими.

Данные полевых опытов (табл. 3) согласуются с результатами вегетационных опытов. $P_{a,фм}$ по своему действию на урожайность кукурузы и сои не уступала и даже несколько превосходила $P_{с,д}$. В варианте $P_{фм}$ за 2 года прибавка урожая составила 13,7 кг на 1 кг общей P_2O_5 в удобрении, а при внесении $P_{a,фм}$ — 62,4, $P_{с,д}$ — 60,8 кг.

Таким образом, на известкованных почвах эффективность обычной фосфоритной муки была очень низкой, а фосфорит, обработанный небольшими дозами фосфорной кислоты, не уступал по своему действию двойному суперфосфату. Такая обработка позволяет повысить концентрацию P_2O_5 в удобрении и эффективность фосфорита в условиях нейтральных почв.

Таблица 2

Влияние фосфорсодержащих удобрений на урожай сухой массы кукурузы и коэффициент использования фосфора (вегетационный опыт 2)

Вариант	Урожай сухой массы кукурузы, г/сосуд				Вынос P_2O_5 за 2 года, мг/сосуд	Коэффициенты использования P_2O_5 из удобрений за 2 года, %
	1976	1977	1978	за 3 года		
1	88,1	6,9	22,6	117,6	—	—
2	97,2	11,2	30,2	138,6	10	0,6
3	110,7	11,7	33,4	155,8	57	3,2
4	290,3	101,5	132,9	524,7	765	42,5
5	329,8	112,8	135,4	578,0	913	50,7
6	283,8	113,8	140,7	538,3	810	45,0
7	219,0	81,1	105,4	405,5	481	26,7
8	258,9	81,0	115,9	455,8	775	43,0
9	257,9	86,9	112,4	457,2	702	39,0
10	233,9	87,3	118,2	439,4	678	37,7
НСР ₀₅	57,8	33,6	7,8			

Урожай зерна сои и зеленой массы кукурузы в полевых опытах

Вариант	Урожай кукурузы в опыте 1, ц/га		Урожай сои в опыте 2 в 1978 г. ц/га
	1977	1978	
К (фон)	271,3	266,2	19,0
Фон + Р _{с.д.}	300,3	346,6	23,9
» + Р _ф	277,2	285,0	20,0
» + Р _{а.фм} (10 г Р ₂ О ₅)	292,2	332,7	23,7
» Р _{а.фм} (15 г Р ₂ О ₅)	302,3	347,5	23,0
НСР ₀₅	24,8	18,9	1,5

Примечание. Во всех вариантах доза Р₂О₅ составила 90 кг на 1 га; с. д. — суперфосфат двойной, ф — фосфорит, а. фм — активированная фосфоритная мука, т. е. обработанная из расчета 10 и 15 г Р₂О₅ Н₃РО₄ на 100 г фосфорита.

Применение всех форм фосфорных удобрений, несмотря на вынос Р₂О₅ урожаем, приводило к увеличению в почве содержания фосфатов, определяемых по Кирсанову (табл. 4). Максимум подвижных соединений фосфора отмечен в почве вегетационного опыта 1 в 1-й год при внесении Р_{с.д.} в запас, затем в вариантах Р_{а.фм} и Р_{фм} в запас. При ежегодном внесении фосфорных удобрений количество подвижного фосфора в 1-й год было значительно меньше, чем при запасном, но с каждым последующим годом оно возрастало. На 2-й и 3-й год последействия удобрений содержание подвижного фосфора уменьшалось.

В вегетационном опыте 2 в 1-й год действия удобрений самое низкое содержание подвижного фосфора наблюдалось в вариантах с Р_{с.д.} и гранулированной Р_{а.фм}. На 2-й год содержание подвижных фосфатов в почве при внесении обычной и «активированной» фосфоритной муки заметно возрастало.

Следует отметить, что в вариантах с Р_{фм} содержалось больше подвижного фосфора, чем при внесении Р_{с.д.}, хотя урожайность была значительно ниже. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что НС1, используемая в качестве экстрагента, способна растворять значительную часть соединений фосфатов Са и Mg, фактически недоступных растениям [1]. То же самое, очевидно, произошло и в вариантах с Р_{а.фм}. Непрореагировавший фосфорит мог вступить в реакцию с 0,2 н. НС1.

В вегетационном опыте после 3 лет внесения Р₂О₅ изучали характер превращения фосфорных удобрений в почве. Фракционный состав фосфатов в почве определяли по методу Курмиса.

Большая часть фосфора в почве контрольного варианта приходилась на остаточный и органический (табл. 5). Минеральные формы фосфатов (26% валового) представлены в основном фосфатами полуторных окислов. Это является одной из причин малой подвижности фосфатов в почвах края и трудной мобилизации их растениями, несмотря на довольно высокое содержание валового фосфора.

Таблица 4

Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) в лугово-бурой оподзоленной почве (Р₂О₅, мг на 100 г абсолютно сухой почвы) в зависимости от вида фосфорных удобрений (вегетационные опыты)

Вариант	Опыт 1			Опыт 2	
	1975	1976	1977	1976	1977
1	0,8	0,7	0,4	0,8	0,5
2	4,9	1,9	0,8	3,6	7,0
3	1,0	2,5	2,2	3,3	7,3
4	2,1	1,9	1,9	2,7	2,6
5	2,2	1,4	1,7	3,3	3,0
6	0,8	3,6	7,0	3,2	3,2
7	1,0	3,5	7,0	3,6	6,7
8	2,5	1,3	0,8	3,2	7,1
9	3,1	1,6	0,6	2,0	7,8
10	1,1	2,8	6,4	2,0	4,9
11	1,7	1,8	5,6	—	—

Т а б л и ц а 5

Фракционный состав фосфатов почвы после 3 лет внесения удобрений в вегетационном опыте (в числителе — мг/100 г, в знаменателе — % к $P_{обш}$)

Вариант	Al, Fe— P	Ca—P	$P_{орг}$	$P_{ост}$	$P_{обш}$
1	29,5	12,4	40,0	77,1	159
	18,6	7,8	25	48,6	100
2	41,5	15,6	38,5	67,4	163
	25,5	9,6	23,6	41,3	100
3	51,6	15,4	33,9	82,1	183
	28,2	8,4	18,5	44,9	100
4	35,1	24,4	39,9	67,6	167
	21,0	14,6	23,9	40,5	100
5	35,0	23,6	39,5	70,9	169
	20,7	14,0	23,3	42,0	100
6	37,5	30,8	36,0	98,7	203
	18,5	15,2	17,7	48,6	100
7	33,5	26,2	39,0	95,3	194
	17,3	13,5	20,1	49,1	100
8	35,7	29,8	54,3	55,2	175
	20,4	17,0	31,0	31,6	100
9	35,7	30,8	44,3	60,2	171
	20,8	18,0	26,0	35,2	100
10	38,5	37,8	44,5	82,2	203
	19,0	18,6	21,9	40,5	100
11	38,5	40,8	44,5	75,2	199
	19,3	20,5	22,4	37,8	100

В процессе взаимодействия фосфорных удобрений с почвой все формы фосфатов заметно изменялись, причем величина накопления тех или иных форм зависела от вида удобрений и в некоторой степени от способа их внесения. Так, в результате 3-летнего внесения фосфора $P_{с.д}$ превращался в почве в основном в фосфаты Fe и Al, а в вариантах с $P_{фм}$ и $P_{а.фм}$ преимущественно возрастало содержание фосфатов Ca. Содержание органического фосфора практически не зависело от формы удобрений.

Способ внесения удобрения оказал некоторое влияние на количественный состав фосфатов. Так, в вариантах с ежегодным внесением фосфорных удобрений по сравнению с запасным возрастало содержание фосфатов Ca и снижалось — фосфатов Al, Fe, и, как правило, органического фосфора.

Таким образом, как показывают результаты анализов почвенных образцов, фосфор суперфосфата в лугово-бурой оподзоленной почве в значительной мере переходит в состав фосфатов полуторных окислов. При внесении необработанной и особенно «активированной» фосфоритной муки в почве повышается содержание фосфатов Ca.

Заключение

На кислых почвах Приморья фосфоритная мука может использоваться как фосфорное удобрение. Проведенные опыты показали высокую эффективность частично разложенных фосфоритов на произвесткованной почве. Для частичного разложения фосфоритов требуется в 3—4 раза меньше H_3PO_4 , чем для производства двойного суперфосфата. Фосфоритная мука после такой обработки хорошо гранулируется, что очень важно для устранения ее неудовлетворительных физических свойств.

Установлена высокая эффективность применения активированной фосфоритной муки. По своему положительному действию на урожай кукурузы и сои в полевых опытах она оказалась близкой к двойному гранулированному суперфосфату.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М., «Наука», 1975. — 2. Агрохимическая характеристика почв РСФСР на 1 января 1976 г. М., МСХ РСФСР, РКАЛ, 1977. — 3. Возбуждая А. Е. Химия почвы. М., «Высшая школа», 1968. — 4. Грицун А. Ш. Применение удобрений в Приморском крае. Владивосток, 1964. — 5. Кулюкин А. Н., Петербургский А. В., Самсонова А. Е., Годова Л. В. Активирование фосфоритной муки путем обработки ее фосфорными кислотами и смешивания с красным фосфором. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 5, с. 83—94.

Статья поступила 12 апреля 1979 г.

SUMMARY

The experiments have shown high efficiency of partially decomposed phosphorites on limed meadow-brown soil of Primorye Territory. Partially decomposed phosphorites produced almost the same effect on corn and soybean yield as double granular superphosphate. For partial decomposition of phosphorites 3—4 times less H_3PO_4 is required than to produce double superphosphate.