

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ФОСФАТОВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ГЛЕЕВАТОЙ ПОЧВЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ РАСТЕНИЯМИ ПРИ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ

М. А. КУЗЬМИЧ, Ю. К. ЧУПРИКОВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Для изучения процессов превращения фосфора удобрений и изменения доступности его растениям большое значение имеет непосредственное определение содержания образующихся в почве фосфорных соединений.

В современной литературе накоплен обширный материал о влиянии удобрений на содержание в почве различных фосфорных соединений, однако до сих пор нет единого мнения о преобладании тех или иных фракций в составе образующихся фосфатов. Ряд исследователей [8, 16] отмечают, что при внесении фосфорных удобрений картина распределения по группам и фракциям накапливающихся фосфатов в основном такая же, как и в исходной почве.

Имеются данные о преобладании в дерново-подзолистых почвах фракций фосфатов алюминия над другими формами фосфатов [11, 19]. Указывается также [13], что в пойменных почвах преимущественно содержатся фракции фосфатов железа. На легких и среднесуглинистых почвах в наибольшем количестве образуются фосфаты алюминия, на тяжелых почвах — фосфаты железа [3].

Нет единого мнения и относительно преобладания минеральных или органических фосфатов, образующихся в почве при внесении удобрений. Исследования показали [3, 11], что при систематическом применении удобрений количество органических фосфатов не изменяется или даже несколько снижается и не зависит от формы применяемых фосфорных удобрений (навоз или минеральные удобрения).

Исследованиями [5] установлено, что в серой лесной среднесуглинистой почве фосфор в почве как при минеральной, так и при навозно-минеральной системах удобрения накапливается преимущественно за счет органических форм.

Слабо освещены в литературе вопросы количественного превращения фосфатов и особенно использования растениями отдельных их соединений и групп.

В задачу наших исследований входило изучение изменений фракционного состава фосфатов при длительном применении удобрений, а также использования растениями отдельных групп фосфатных соединений.

Материал и методика

Как показали многочисленные исследования, наши представления о почвенном фосфоре во многом зависят от методов его определения [11, 14]. Мы использовали два метода фракционирования минеральных фосфатов: Чанга — Джексона в модификации Аскинази и др. [1] и Гинзбург — Лебедевой [6]. Сумму минеральных и органических фосфатов определяли по методу Хейфец [17]. Для исследований использовали почву стационарного полевого опыта, заложенного в 1960 г. кафедрой агрономической и биологической химии ТСХА в учхозе «Дуб-

ки» Рузского района Московской области по следующей схеме: 1) без удобрений (контроль), 2) навоз 40 т/га, 3) $N_{200}P_{100}K_{240}$, 4) навоз 40 т/га + $N_{200}P_{100}K_{240}$, 5) навоз 20 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$, 6) навоз 80 т/га. Удобрения вносили ежегодно. В течение 14 лет на опытном участке возделывали кукурузу.

Почва участка среднедерновая сильноподзолистая среднесуглинистая глееватая. Для нее характерны сезонное развитие восстановительных условий, что приводит к мобилизации подвижных форм железа (Fe^{++}), а также наличие в пахотном горизонте повы-

шенного количества железомарганцевых конкреций. Подробно условия проведения опыта описаны в работах [7, 20].

Для того чтобы установить, какие группы фосфатов используются растениями в большей степени, какие в меньшей, в 1974 г. был заложен многолетний вегетационный

опыт с райграсом многоукосным [14]. Почву для вегетационного опыта брали со всех вариантов полевого опыта, за исключением 5-го. После четырех лет вегетации в условиях вегетационного опыта были отобраны образцы почв и снова определен фракционный состав фосфатов.

Результаты исследований и их обсуждение

Систематическое применение в течение 14 лет навоза и минеральных удобрений привело к увеличению валового содержания фосфора в почве (табл. 1). Накопление его в пахотном слое в вариантах с одинаковыми дозами фосфора (2, 3 и 5-й) определялось в основном высотой урожая и выносом фосфора с урожаями. Навозно-минеральные удобрения (5-й вариант) в меньшей степени способствовали накоплению общего фосфора в почве, чем один навоз и одни минеральные удобрения.

Под действием удобрений увеличилось содержание фосфора в слое почвы 20—30 см. Обогащение подпахотного слоя этим элементом было наиболее значительным при ежегодном внесении повышенной дозы навоза (табл. 1, 6-й вариант). Обогащение фосфором подпахотных горизонтов связано с перераспределением его корневыми системами растений [16]. В более глубокие горизонты фосфор также может перемещаться в составе тонкодисперсной фракции почвы. В определенных условиях фосфор может мигрировать в форме железосульфатфосфатных водорастворимых соединений [10].

Сумма минеральных и органических фосфатов, выделенных из пахотного слоя почвы, при внесении удобрений возрастала (табл. 1), но увеличение этих групп фосфатных соединений было неодинаковым. Минеральных фосфатов как в контроле, так и в вариантах с удобрениями содержалось больше, чем органических. Чем выше доза фосфорных удобрений, тем шире отношение минеральных фосфатов к органическим.

Содержание фракций органических фосфатов увеличивалось за счет сравнительно легкогидролизуемых форм, извлекаемых кислотной вытяжкой. Количество фосфатов, перешедших в аммиачную вытяжку, изменялось менее значительно, чем в контроле. По данным Д. М. Хейфец [17], в эту вытяжку переходят трудногидролизуемые органические фос-

Таблица 1

Фракционный состав фосфатов почвы (мг P_2O_5 /100 г) в 1974 г. при длительном применении навоза и минеральных удобрений

Показатель	Вариант опыта					
	1	2	3	4	5	6
Минеральные фосфаты:						
всего	46,9	78,2	92,9	115,1	73,3	110,9
в т. ч. извлекаемые:						
4 н. HCl	41,2	73,7	87,5	110,0	69,0	85,0
4% NH_4OH	5,7	4,5	5,4	5,1	4,3	5,9
Органические фосфаты:						
всего	33,3	44,5	41,7	47,8	41,0	45,4
в т. ч. извлекаемые:						
4 н. HCl	4,0	9,4	10,5	12,0	8,0	11,6
4% NH_4OH	29,3	35,1	31,2	35,8	33,0	33,0
Сумма минеральных и органических фосфатов	80,2	122,7	134,6	162,9	114,3	156,3
Отношение минеральных фосфатов к органическим	1,41	1,76	2,23	2,41	1,79	2,44
Валовой фосфор:						
в слое 0—20 см	117	150	170	198	135	190
» 20—30 см	101	121	134	139	106	151

Изменение фракционного состава минеральных фосфатов почвы (мг $P_2O_5/100$ г) под действием удобрений в 1974 г.

Фракция фосфатов	Вариант опыта					
	1	2	3	4	5	6
Метод Гинзбург — Лебедевой						
Ca — P_I	5,3	9,2	7,2	13,8	7,3	13,5
Ca — P_{II}	2,8	4,2	3,3	6,8	3,1	8,7
Al — P	2,6	7,3	8,5	17,0	6,0	18,0
Fe — P	18,3	33,5	37,6	44,2	31,1	42,3
Ca — P_{III}	10,2	17,5	19,0	21,0	17,1	18,7
Сумма фракций	39,2	71,7	75,6	102,8	64,6	101,2
Метод Чанга — Джексона						
Ca (Mg) P_{+} — P_{II}	0	1,2	0,8	2,7	0,5	3,2
Al — P	6,7	17,0	20,0	33,0	14,2	33,6
Fe — P	20,8	36,5	40,5	49,0	36,8	48,0
Ca — P_{III}	13,2	16,7	16,0	19,0	15,0	20,0
Сумма фракций	40,0	71,4	77,3	103,7	66,5	104,8

фаты — нуклеиновые соединения, нуклеопротеиды и другие фосфорсодержащие вещества.

Среди минеральных соединений фосфора преобладала фракция фосфатов, извлекаемая 0,5 н. NaOH; эта фракция представлена преимущественно фосфатами железа (табл. 2). Содержание фосфатов железа, определяемых методом Гинзбург — Лебедевой (1-й метод), было несколько ниже, чем при их извлечении методом Чанга — Джексона (2-й метод). Содержание фракции алюминий-фосфатов (вытяжка 0,5 н. NH_4F) в первом случае было в 1,8—2,6 раза ниже, чем во втором. Чем больше накоплено в почве валового фосфора, тем выше удельный вес фракции фосфатов алюминия.

Согласно предложенной Н. К. Колянда [11] математической модели формирования фосфатного фонда почвы при валовом содержании фосфора, превышающем 145 мг P_2O_5 на 100 г, в почве содержится больше фосфатов алюминия, чем железозосфатов.

В нашем опыте содержание фосфатов, извлекаемых 0,5 н. NaOH, было выше, чем фосфатов, извлекаемых 0,5 NH_4F , даже при содержании валового фосфора 198 мг P_2O_5 на 100 г (табл. 2).

Установленная Н. К. Колянда закономерность, очевидно, характерна только для почв легкого механического состава и совершенно неприменима для тяжелых и среднесуглинистых почв.

Тяжелые и средние почвы могут подвергаться временному избыточному увлажнению, в результате в них накапливаются подвижные формы закисного железа и развиваются процессы оглеения. По данным И. С. Кауричева [10], внесение легкорастворимых фосфатов в оглеенную почву приводит к образованию фосфатов железа.

Наличие в почве полевого опыта признаков оглеения и присутствие железомарганцевых конкреций [20] частично объясняют повышенное содержание в ней фракции фосфатов железа.

В работах, посвященных сравнительному изучению доступности растениям фосфатов железа и алюминия, отмечается [2, 9], что доступность растениям фосфора снижается в меньшей степени при образовании соединений с алюминием и в большей — при наличии соединений с железом. Результаты вегетационных опытов, проведенных на 8 разных почвах, показали [21], что вынос фосфора растениями происходил в основном за счет Al—P и Fe—P.

Анализируя коэффициенты корреляции между выносом фосфора растениями в сумме за 4 года и снижением содержания фосфора в той

Связь между выносом фосфора растениями и снижением его содержания в отдельных фракциях за 4 года вегетации

Метод Гинзбург—Лебедевой					Метод Чанга—Джексона			
Ca—P _I	Ca—P _{II}	Al—P	Fe—P	Ca—P _{III}	Ca (Mg)— P _I P _{II}	Al—P	Fe—P	Ca—P _{III}
Коэффициенты корреляции								
0,87 ±0,11	0,84 ±0,13	0,95 ±0,08	0,36 ±0,27	0,51 ±0,20	0,56 ±0,20	0,96 ±0,06	0,70 ±0,17	0,47 ±0,21
Коэффициенты регрессии								
0,22	0,15	0,38	0,08	0,09	0,001	0,53	0,30	0,08

П р и м е ч а н и е. По сумме 5 фракций (1-й метод) коэффициент корреляции $0,95 \pm 0,06$, коэффициент регрессии — $0,96$; по сумме 4 фракций — коэффициент регрессии $0,93$.

или иной вытяжке, мы пришли к заключению, что при методе Гинзбург—Лебедевой первые три фракции (табл. 3) находятся в наиболее тесной связи, и фосфаты, извлекаемые $0,5$ н. NaOH, меньше других используются растениями. При методе Чанга—Джексона, напротив, получается, что эта группа соединений фосфатов в большей степени используется растениями. Это подтверждается наличием более тесной связи между изучаемыми признаками и более высоким коэффициентом регрессии. Можно предположить, что в первые две вытяжки при использовании метода Гинзбург—Лебедевой перешли фосфаты, связанные с закисными формами железа, в то время как при использовании метода Чанга—Джексона эта группа фосфатов извлекалась $0,5$ н. NaOH.

Таким образом, использование метода Гинзбург—Лебедевой на оглеенных почвах имеет преимущество перед методом Чанга—Джексона при разделении соединений фосфора на группы, различающиеся по доступности растениям.

По результатам анализа обоими методами высокоосновные фосфаты кальция используются растениями слабо.

Следует отметить, что при более коротком или более длительном сроке изучения последствий остаточных фосфатов характер использования растениями отдельных групп фосфорных соединений может изменяться. После использования растениями фосфат ионов легкорастворимых соединений они будут переходить в почвенный раствор из более труднорастворимых форм [18]. В этом, по-видимому, и следует искать причину относительно слабого использования растениями рыхлосвязанных фосфатов (вытяжка NH_4Cl).

Выводы

1. Систематическое внесение навоза и минеральных удобрений в бесменных посевах кукурузы привело к увеличению валовых запасов фосфора в дерново-подзолистой оглеенной почве.

2. Содержание минеральных фосфатов в почве независимо от вида применяемых удобрений увеличилось в большей степени, чем органических. Среди минеральных соединений фосфора преобладали фосфаты железа.

3. Использование растениями накопленных в почве фосфатов можно представить в следующем виде: по методу Гинзбург—Лебедевой — Al—P Ca—P_I Ca—P_{II}—Ca—P_{III} Fe—P, по методу Чанга—Джексона — Al—P Fe—P Ca—P рыхлосвязанные фосфаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскинази Д. Л., Гинзбург К. Е., Лебедева Л. С. Минеральные формы фосфора в почве и методы их определения. — Почвоведение, 1963, № 5, с. 6—20. — 2. Аскинази Д. Л., Хейфец Л. М. Фосфаты железа и алюминия как источник фосфора для растений. — Тр. НИУИФ, 1938, вып. 141, с. 47—70. — 3. Бабарина Э. А. Формы фосфорных соединений в почвах разного типа при длительном применении суперфосфата и фосфоритной муки. — Агрохимия, 1968, № 4, с. 33—40. — 4. Брагин А. М., Вильдфлуш И. Р. Фосфатный режим длительно удобряемых почв. — Изв. АН БССР, сер. с.-х. наук, 1971, с. 29—32. — 5. Гайнутдинов М. З. Трансформация фосфора в серой лесной почве Предкамья ТАССР под влиянием систематического применения удобрений в севообороте. — Тез. докл. V Всесоюз. съезда почвоведов. Минск, 1977, с. 281—282. — 6. Гинзбург К. Е., Лебедева Л. С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы. — Агрохимия, 1971, № 1, с. 125—135. — 7. Гулякин И. В., Чуприков Ю. К. Влияние удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы. — Агрохимия, 1973, № 8, с. 11—19. — 8. Дерюгин И. П., Одинцова Л. Ф. Исследования по превращению фосфора удобрений в дерново-подзолистых и дерново-карбонатной выщелоченной почвах. — Агрохимия, 1978, № 3, с. 28—35. — 9. Иванов С. Н. Физико-химический режим фосфатов торфов и дерново-подзолистых почв. Минск, «Урожай», 1962. — 10. Кауричев И. С. Некоторые итоги изучения почв нечерноземной зоны. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 1, с. 41—49. — 11. Колянда Н. К. Формирование фосфатного фонда почвы при систематическом применении удобрений в севообороте и на бессменных посевах. — Агрохимия, 1971, № 6, с. 3—13. — 12. Комиссионная Л. Н. К вопросу об оценке методов фракционирования минеральных фосфатов почвы. — Агрохимия, 1976, № 10, с. 120—124. — 13. Короблева Л. И. Состав минеральных фосфатов и превращение фосфорных удобрений в пойменных почвах. — Почвоведение, 1976, № 8, с. 56—66. — 14. Кузьмич М. А., Чуприков Ю. К. Влияние азота и калия на последствие фосфора ранее внесенных удобрений. — Докл. ТСХА, 1977, вып. 228, с. 11—15. — 15. Неговелов С. Ф., Пестова Н. Г. О фракционном методе определения минеральных фосфатов почвы по Гинзбург-Лебедевой. — Почвоведение, 1978, № 3, с. 140—146. — 16. Панников В. Д., Минеев В. Г. Эффективность удобрений в длительных опытах СССР. — Междунар. конгр. по удобр., Докл. сов. участников конгресса. Ч. I, М., 1976, с. 57—68. — 17. Хейфец Д. М. Методика определения и содержание минеральных и органических соединений фосфора в некоторых почвах Советского Союза. — Почвоведение, 1948, № 2, с. 100—112. — 18. Чириков Ф. В. Агрохимия калия и фосфора. М., Сельхозгиз, 1956. — 19. Чумаченко И. Н. Формы и реакция фосфора в почве. — Тр. ВИУА, 1971, вып. 30. — 20. Чуприков Ю. К., Кузьмич М. А. Аккумуляция фосфора в конкрециях дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 1, с. 92—99. — 21. Sommer G. Landw. rtsch. Forsch., 1972, Bd 25, Sonderh., 27/1.

Статья поступила 4 июня 1979 г.

SUMMARY

The effect of manure and fertilizers on the phosphate schedule of soddy-podzolic gleyish soil was studied in the stationary trial. It has been shown that irrespective of the kind of fertilizers applied, mainly mineral phosphates among which the fraction of iron phosphates prevailed accumulated in the soil. The obtained values of the utilization of certain phosphate fractions accumulated in the soil after application of fertilizers depend on the method of fractionation of phosphates.