

УДК 631.85+631.893.1'2'3

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОДУКТОВ ЧАСТИЧНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ КИНГИСЕППСКОГО ФОСФОРИТА И КОМБИНИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ЕГО ОСНОВЕ

П. М. СМИРНОВ, А. Н. КУЛЮКИН, Б. В. ЛИТВИНОВ
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур на всех почвах во многом зависит от применения фосфорных удобрений. Недостаточные запасы высококачественного фосфатного сырья и наличие огромных площадей пахотных земель с низким содержанием подвижных фосфатов делают эту проблему особенно острой. Одним из путей ее решения является значительное повышение эффективности фосфорных туков. Поставка сельскому хозяйству простых туков, которая преобладает в настоящее время, уже не может удовлетворить земледельцев.

Необходимо совершенствовать технологию переработки низкопроцентного фосфатного сырья, которого в СССР очень много. Аморфные фосфориты, содержащие 12—20 % P_2O_5 , можно без предварительного обогащения подвергать частичному разложению путем обработки их небольшим количеством H_3PO_4 , при этом фосфорной кислоты расходуется в 3—4 раза меньше, чем для производства двойного суперфосфата. Исследования кафедры агрономической и биологической химии Тимирязевской академии свидетельствуют о высокой эффективности этих активированных фосфоритов [1, 4, 5]. Смесь катализированного красного фосфора с суперфосфатом также является эффективным фосфорным удобрением [2, 3, 7, 8]. Частично разложенные фосфориты можно обогащать катализированным красным фосфором, доводя общее содержание P_2O_5 в удобрениях до 50 и более процентов. Проведенные полевые испытания показали высокую эффективность гранулированных смесей частично разложенных фосфоритов с катализированным красным фосфором [1, 6].

Кингисеппский аморфный фосфорит с 25 %-ным уровнем разложения при обработке H_3PO_4 в сочетании с аммиачной селитрой, сульфатом аммония и хлоридом калия можно использовать для изготовления комбинированных удобрений, которые будут дешевле выпускаемых в настоящее время.

В задачу наших исследований входило изучение сравнительной эффективности различных по растворимости фосфорсодержащих удобрений в полевых опытах с разными сельскохозяйственными культурами, а также образцов комбинированных удобрений, изготовленных в ЛенинГИПРОХИМЕ, в вегетационном опыте.

Методика и материалы опытов

Полевые опыты проводили в 1980 г. в совхозе «Красное Знамя» Талдомского района Московской области. Сравнялось дей-

ствие двойного суперфосфата, фосфоритной муки, частично разложенного кингисеппского фосфорита (для разложения ис-

Условия проведения опытов

| Культура | Площадь опытной делянки, м ² | Учетная площадь, м ² | Время посева (посадки) | Время уборки | Нормы питательных веществ, кг д. в. на 1 га | | |
|--|--|---------------------------------------|------------------------|--------------|--|-------------------------------|------------------|
| | | | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Кукуруза ВИР 42 | 143 | 70 | 21/V | 16/VIII | 140 | 100 | 160 |
| Подсолнечник в смеси с горохом и овсом | 122 | 78 | 24/V | 6/VIII | 120 | 90 | 120 |
| Редька масличная | 143 | 70 | 25/VII | 20/X | 90 | 90 | 90 |
| Картофель сорта Гатчинский | 95 | 54 | 25/V | 1/IX | 140 | 100 | 160 |

Т а б л и ц а 2

Агрхимическая характеристика почвы

| Культура | pH _{сол} | N _г , мэкв на 100 г | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Содержание гумуса, % |
|--|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------|
| | | | по Кирсанову, мг/100 г | | |
| Кукуруза ВИР 42 | 6,2 | 1,2 | 6,0 | 8,0 | 2,0 |
| Подсолнечник в смеси с горохом и овсом | 6,0 | 1,2 | 6,0 | 8,0 | 2,1 |
| Редька масличная | 6,0 | 1,3 | 6,2 | 8,0 | 2,0 |
| Картофель | 6,1 | 1,2 | 6,1 | 8,0 | 2,0 |

пользовали H₃PO₄ из расчета 25 % от количества, необходимого для получения двойного суперфосфата) и его смеси с катализированным красным фосфором. Схема опытов следующая: НК — фон (1-й вариант); по фону вносили двойной суперфосфат — P_{сд} (2-й), фосфоритную муку — P_ф (3-й), частично разложенный активированный фосфорит АФ (4-й); смесь частично разложенного фосфорита с красным фосфо-

ром — с АФ + P_{кр} (5-й). В удобрениях содержалось следующее количество питательных веществ: NH₄NO₃ — 35 % N; KCl — 50 % K₂O; P_{сд} — 43 % P₂O₅; P_ф — 28,7 % P₂O₅; АФ — 33 % P₂O₅; (АФ + P_{кр}) — 41 % P₂O₅. Повторность опытов 4-кратная, расположение повторностей случайное. О площади опытной и учетной деленок, сроках вегетации культур и нормах удобрений можно судить по данным табл. 1.

Т а б л и ц а 3

Агрхимическая эффективность частично разложенного фосфорита и его смеси с красным фосфором в полевых опытах

| Вариант | Зеленая масса, ц/га | | | Клубни картофеля, ц/га |
|----------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|------------------------|
| | кукуруза | подсолнечник с горохом и овсом | редька масличная | |
| НК — фон | 271 | 549 | 88 | 126 |
| По фону: | | | | |
| P _{сд} | 411 | 655 | 143 | 192 |
| P _ф | 290 | 520 | 96 | 128 |
| АФ | 426 | 693 | 172 | 176 |
| АФ + P _{кр} | 469 | 702 | 169 | 217 |
| HCP ₀₅ | 57 | 61 | 30 | 35 |

Все удобрения вносили ранней весной под перепахку. При расчете доз фосфора исходили из общего содержания P₂O₅ в удобрениях. Почва опытных участков дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание подвижного фосфора и калия низкое (табл. 2).

В вегетационном опыте изучали действие на урожайность кукурузы ВИР 42 комбинированных удобрений, изготовленных в Ленинском институте агрохимии. В отдельных образцах удобрений содержался медленнодействующий азот в форме мочевиноформальдегидной смолы. Размер гранул удобрений 1—3 мм. Опыт проводили в сосудах типа Митчерлиха в 4-кратной повторности. В каждый вегетационный сосуд, вмещающий 5,4 кг сухой почвы, высевали по 6 проросших семян и через 2 недели после всходов оставляли по 2 растения.

Почва дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая, pH_{сол} — 4,0; N_г — 6,2 мэкв, P₂O₅ и K₂O по Кирсанову — соответственно 2,2 и 8,2 мг на 100 г, гумус по Тюрину — 2,2 %. Перед закладкой опыта почву известковали по 3/4 N_г. С удобрениями

вносили по 1,2 г N и P_2O_5 и 1,4 г K_2O . Дозы комбинированных удобрений рассчитывали по общему содержанию в них фосфора. Недостающее количество азота и калия в вариантах выравняли путем внесения NH_4NO_3 и KCl . В опыт входило 14 вариантов. В 1—5-м испытывали простые удобрения, в 6—14-м — комбинированные, в том числе в 7—14 м — гранулированные комбинированные из ЛенНИИ-Гипрохима. Ниже приводится схема опыта (для краткости введены следующие обозначения удобрений: N_{aa} — азотнокислый аммоний; N_a — сульфат аммония; $A\Phi$ — активированный фосфорит с 25 %-ным уровнем разложения, общее содержание P_2O_5 35,6 %; P_{cd} — двойной суперфосфат, 42 % P_2O_5 ; $M\Phi C$ — мочевиноформальдегидная смола; K_x — хлорид калия): 1-й — $N_{aa} + K_x$; 2-й — $N_{aa} + P_{cd} + K_x$; 3-й —

$N_a + P_{cd} + K_x$; 4-й — $N_a + A\Phi + K_x$; 5-й — $N_{aa} + A\Phi + K_x$; 6-й — нитроаммофоска (17—17—17); 7-й — $N_a + A\Phi + K_x$ (10,8—10,9—10,6); 8-й и 9-й — $N_a + M\Phi C + A\Phi + K_x$ (соответственно 11,9—11,9,—12,0 и 12,5—12,1—12,4); 10-й и 12-й — $N_{aa} + N_a + A\Phi + K_x$ (соответственно 12,8—13,8—13,0 и 14,1—14,5—13,6); 11-й — $M\Phi C + A\Phi + K_x$ (14,0—14,0—14,5); 13-й и 14-й — $N_{aa} + M\Phi C + A\Phi + K_x$ (соответственно 14,1—14,6—13,7 и 14,1—14,8—14,5).

Посев проводили 12 июня, уборку урожая — 18 сентября. В конце опытов в навеске растений способом мокрого озольнения определяли фосфор, используя аскорбиновую кислоту, азот — с реактивом Несслера на фотоэлектроколориметре, калий — на пламенном фотометре. Данные об урожае, полученном во всех полевых и вегетационном опытах, обработаны методом дисперсионного анализа.

Результаты и их обсуждение

Все изучаемые в полевых опытах удобрения, за исключением фосфоритной муки, оказались высокоэффективными (табл. 3). Прибавка урожая зеленой массы кукурузы от двойного суперфосфата и от частично разложенного фосфорита (в расчете на 1 га) составила соответственно 140 и 155 ц, подсолнечника с горохом и овсом — 106 и 144, редьки масличной — 55 и 84, клубней картофеля — 66 и 50 ц. Обычная фосфоритная мука практически не оказывала влияния на урожайность подопытных культур. Это объясняется тем, что почва опытных участков имела нейтральную реакцию и фосфоритная мука не разлагалась.

Особо следует отметить высокую эффективность смеси частично разложенного фосфорита с катализированным красным фосфором в опыте с кукурузой. Прибавка урожая от этого удобрения была достоверно выше, чем от двойного суперфосфата. Такой высокий эффект смеси объясняется постепенным окислением красного фосфора до H_3PO_4 , которая, в свою очередь, сама потребляется растениями, а также переводит в доступную для растений форму фосфор из неразложившейся части фосфорита. Благодаря красному фосфору растения снабжаются фосфором равномерно в течение всей вегетации и снижается скорость химического закрепления P_2O_5 в почве. Суперфосфат быстро переходит в почве в труднодоступные соединения, и усвоение растениями фосфора из этих соединений со временем заметно снижается.

Какой-либо закономерности в действии различных форм фосфорных удобрений на вынос питательных элементов в расчете на единицу урожая не установлено (табл. 4). Во всех опытах коэффициент использования P_2O_5 в варианте со смесью частично разложенного фосфорита с красным фосфором был наибольшим (16—32 %), с фосфоритной мукой — наименьшим (до 3 %). Коэффициенты использования фосфора из двойного суперфосфата и частично разложенного фосфорита были практически одинаковыми.

Результаты вегетационного опыта показали (табл. 5), что некоторые комбинированные удобрения (7-й и 10-й варианты) по влиянию на урожай не уступали нитроаммофоске (6-й вариант). При внесении фосфора с удобрениями урожайность значительно повысилась, за исключением 11-го варианта, где азот, входящий в состав комбинированных удобрений, был в медленнодействующей форме и, вероятно, плохо усваивался растениями. Действие всех образцов, содержащих медленно-

Таблица 4

Вынос питательных элементов урожаем и коэффициент усвоения фосфора из удобрений в полевых опытах

| Вариант | N | | P ₂ O ₅ | | K ₂ O | | Коэффициент использования P ₂ O ₅ , % |
|--|-------|------|-------------------------------|------|------------------|------|---|
| | кг/га | кг/т | кг/га | кг/т | кг/га | кг/т | |
| Кукуруза | | | | | | | |
| NK — фон | 29 | 1,1 | 19 | 0,7 | 170 | 6,3 | 0 |
| По фону: | | | | | | | |
| P _{сд} | 53 | 1,3 | 27 | 0,7 | 163 | 4,2 | 14 |
| P _ф | 34 | 1,2 | 20 | 0,7 | 202 | 7,0 | 3 |
| AФ | 59 | 1,4 | 29 | 0,7 | 251 | 5,9 | 15 |
| AФ+P _{кр} | 52 | 1,1 | 36 | 0,8 | 295 | 6,3 | 20 |
| Подсолнечник в смеси с горохом и овсом | | | | | | | |
| NK — фон | 66 | 1,2 | 36 | 0,7 | 229 | 4,2 | 0 |
| По фону: | | | | | | | |
| P _{сд} | 99 | 1,5 | 59 | 0,9 | 263 | 4,0 | 25 |
| P _ф | 65 | 1,3 | 31 | 0,6 | 228 | 4,4 | 0 |
| AФ | 126 | 1,8 | 61 | 0,9 | 340 | 4,9 | 28 |
| AФ+P _{кр} | 119 | 1,7 | 65 | 0,9 | 324 | 4,6 | 32 |
| Редька масличная | | | | | | | |
| NK — фон | 30 | 3,4 | 15 | 1,7 | 53 | 6,0 | 0 |
| По фону: | | | | | | | |
| P _{сд} | 58 | 4,0 | 28 | 2,0 | 80 | 5,6 | 14 |
| P _ф | 30 | 3,2 | 15 | 1,6 | 52 | 5,4 | 0 |
| AФ | 70 | 4,1 | 28 | 1,6 | 97 | 5,6 | 14 |
| AФ+P _{кр} | 73 | 4,3 | 29 | 1,7 | 104 | 6,2 | 16 |
| Картофель | | | | | | | |
| NK — фон | 37 | 2,9 | 23 | 1,8 | 80 | 6,4 | 0 |
| По фону: | | | | | | | |
| P _{сд} | 43 | 2,2 | 38 | 2,0 | 121 | 6,3 | 15 |
| P _ф | 34 | 2,7 | 23 | 1,8 | 81 | 6,4 | 0 |
| AФ | 47 | 2,7 | 36 | 1,9 | 122 | 7,0 | 13 |
| AФ+P _{кр} | 50 | 2,3 | 40 | 1,9 | 133 | 6,2 | 17 |

Таблица 5

Урожай надземной массы кукурузы и вынос питательных элементов

| Вариант | Урожай, г на сосуд | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Коэффициент использования P ₂ O ₅ из удобрений, % |
|-------------------|--------------------|-------------|-----|-------------------------------|------------------|---|
| | сырая масса | сухая масса | | | | |
| 1 | 85 | 9,5 | 185 | 36 | 477 | 0 |
| 2 | 384 | 51,5 | 418 | 158 | 923 | 10,2 |
| 3 | 409 | 60,2 | 523 | 178 | 1246 | 11,8 |
| 4 | 401 | 58,5 | 524 | 155 | 1224 | 9,9 |
| 5 | 384 | 53,9 | 413 | 140 | 1093 | 8,7 |
| 6 | 421 | 63,9 | 577 | 178 | 990 | 11,8 |
| 7 | 409 | 60,4 | 494 | 167 | 1000 | 10,9 |
| 8 | 331 | 55,9 | 540 | 179 | 1029 | 11,9 |
| 9 | 348 | 52,8 | 414 | 154 | 1027 | 9,8 |
| 10 | 374 | 60,3 | 529 | 170 | 1222 | 11,2 |
| 11 | 121 | 14,8 | 302 | 56 | 810 | 1,7 |
| 12 | 321 | 47,6 | 484 | 160 | 1234 | 10,3 |
| 13 | 270 | 39,7 | 362 | 127 | 1000 | 7,7 |
| 14 | 316 | 48,5 | 451 | 140 | 1029 | 8,7 |
| НСР ₀₅ | 51 | 6,1 | | | | |

Содержание питательных элементов в сухом веществе кукурузы (%) при внесении комбинированных удобрений и смеси простых туков

| Вариант | Листья | | | Стебли | | | Целое растение | | |
|---------|--------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|----------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | K ₂ O ₂ | K ₂ O |
| 1 | 2,2 | 0,35 | 4,4 | 1,6 | 0,41 | 5,8 | 2,0 | 0,38 | 5,0 |
| 2 | 1,2 | 0,29 | 2,4 | 0,5 | 0,32 | 1,3 | 0,8 | 0,31 | 1,8 |
| 3 | 1,3 | 0,27 | 2,3 | 0,6 | 0,23 | 1,2 | 0,9 | 0,30 | 2,1 |
| 4 | 1,2 | 0,25 | 2,5 | 0,6 | 0,23 | 1,3 | 0,9 | 0,27 | 2,1 |
| 5 | 1,2 | 0,26 | 2,7 | 0,4 | 0,26 | 1,5 | 0,8 | 0,26 | 2,0 |
| 6 | 1,3 | 0,29 | 2,1 | 0,6 | 0,27 | 1,1 | 0,9 | 0,28 | 1,6 |
| 7 | 1,2 | 0,29 | 2,3 | 0,5 | 0,28 | 1,1 | 0,8 | 0,28 | 1,7 |
| 8 | 1,5 | 0,37 | 2,5 | 0,4 | 0,27 | 1,2 | 1,0 | 0,32 | 1,8 |
| 9 | 1,5 | 0,35 | 2,7 | 0,3 | 0,25 | 1,4 | 0,8 | 0,29 | 1,9 |
| 10 | 1,5 | 0,35 | 2,8 | 0,3 | 0,22 | 1,3 | 0,9 | 0,28 | 2,0 |
| 11 | 2,3 | 0,37 | 4,6 | 1,7 | 0,37 | 6,3 | 2,1 | 0,37 | 5,4 |
| 12 | 1,7 | 0,42 | 3,2 | 0,3 | 0,24 | 1,9 | 1,0 | 0,34 | 2,6 |
| 13 | 1,4 | 0,34 | 3,1 | 0,3 | 0,29 | 1,8 | 0,9 | 0,32 | 2,5 |
| 14 | 1,5 | 0,36 | 2,6 | 0,3 | 0,21 | 1,6 | 0,9 | 0,29 | 2,1 |

действующий азот в форме мочевиноформальдегидной смолы, оказалось слабее, чем нитроаммофоски.

Вынос питательных элементов коррелировал с их содержанием в растении и урожаем (табл. 6). Больше всего кукуруза выносила калия, на втором месте стоит азот и затем фосфор. Судя по выносу можно заключить, что калий усваивался растениями во всех вариантах хорошо.

Коэффициенты усвоения фосфора из удобрений в 7-м и 10-м вариантах были такими же, как и из нитроаммофоски. Из активированного фосфорита, входящего в состав комбинированных туков, фосфор усваивался лучше, чем из АФ, внесенного со смесью простых удобрений. В 11-м варианте, где в качестве источника азотного питания использовалась МФС, по-видимому, в последний месяц вегетации азот накапливался в тканях кукурузы из-за того, что рост растений прекратился вследствие понижения температуры воздуха. Этим объясняется повышенное содержание азота в растении к моменту уборки, несмотря на медленное высвобождение его из МФС.

Таким образом, для практических целей представляют большой интерес комбинированные удобрения, не уступавшие по эффективности нитроаммофоске (варианты 7 и 10). Их агрохимическую эффективность следует изучить в полевых опытах на разных культурах.

Выводы

1. Частично разложенный кингисеппский фосфорит по своему действию на урожайность кукурузы, смеси подсолнечника с горохом и овсом, редьки масличной и картофеля не уступал двойному суперфосфату при внесении в известкованную дерново-подзолистую почву.

2. Коэффициенты использования P₂O₅ из суперфосфата и частично разложенного фосфорита были практически одинаковыми при выращивании упомянутых выше культур в полевых условиях.

3. Обогащенный катализированным красным фосфором частично разложенный фосфорит по своему действию на урожай либо не уступал, либо превосходил двойной суперфосфат.

4. Фосфоритная мука на известкованных почвах не оказывала заметного действия на урожай сельскохозяйственных культур.

5. Вегетационный опыт показал, что частично разложенный кингисеппский фосфорит можно с успехом использовать для получения комбинированных удобрений. При его сочетании с аммиачной селитрой,

сульфатом аммония и хлоридом калия получается такое же эффективное комплексное удобрение, как нитроаммофоска.

6. Изучение этих новых комплексных удобрений необходимо продолжить в полевых условиях на разных культурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулюкин А. Н., Петербургский А. В., Самсонова Н. Е., Годова Л. В. Активирование фосфоритной муки путем обработки ее фосфорными кислотами и смешивания с красным фосфором. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 5, с. 83—93. 2. Кулюкин А. Н., Петербургский А. В., Самсонова Н. Е. Эффективность и усвояемость элементарного красного фосфора как удобрения и компонента фосфорных удобрений. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 3, с. 100—104. — 3. Кулюкин А. Н., Петербургский А. В., Литвинов Б. В. Применение высококонцентрированных фосфорсодержащих простых и сложных удобрений в закрытом грунте при выращивании огурца. — Изв. ТСХА, 1977, вып. 1, с. 132—139. — 4. Кулюкин А. Н., Самсонова Н. Е. Повышение эффективности фосфоритной муки обработкой ее ортофосфорной кислотой и смешиванием с катализированным элементарным красным фосфором. — Агрохимия, 1979, № 4, с. 37—45. — 5. Найдин П. Г. Удобрение зерновых и зернобобовых культур. М.: Сельхозиздат, 1963. — 6. Смирнов П. М., Кулюкин А. Н., Чернышов А. П. Сравнительное изучение эффективности двойного суперфосфата, аммофоса и смесей продуктов частичного разложения аморфных фосфоритов с красным фосфором в полевых и вегетационных опытах. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 1, с. 56—62. — 7. Соколов А. В., Таланов Н. Д., Гладкова К. Ф., Корицкая Т. Д., Сперанская Г. В., Золотухина Т. П. Влияние катализаторов на эффективность и усвояемость элементарного красного фосфора как удобрения и как компонента фосфорных и сложных удобрений. — Агрохимия, 1972, № 4, с. 25—37. — 8. Таланов Н. Д. Исследования в области применения красного фосфора в качестве удобрения. — Докл. науч. Совету по хим. сельск. хоз-ва Совета Министров СССР по науке и технике. М., 1972.

Статья поступила 5 февраля 1981 г.

SUMMARY

The comparative effect of double superphosphate, phosphorite meal, partially decomposed by H_3PO_4 Kingisepp phosphorite and its mixture with catalyzed red phosphorus on the yield of green mass of corn, sunflower mixed with peas and oats, oil redish, and potato tubers was studied in four field experiments on limed soddy-podzolic soil.

Partially decomposed Kingisepp phosphorite was no less efficient than double superphosphate. The rates of using P_2O_5 from superphosphate and phosphorite were practically the same. The effect of partially decomposed phosphorite enriched with catalyzed red phosphorus on the yield was either the same as that of double superphosphate or higher. Phosphorite meal did not prove to be an efficient fertilizer.

It is shown in the pot experiment that partially decomposed Kingisepp phosphorite may be used to advantage to obtain combined fertilizers.