

焼成リン肥施用畑土壌のリン酸の形態

吉川 義一・山崎 まほ・吉田 薫

(農学部土壌学・肥料学研究室)

Phosphorus Status of the Upland Field Soils Treated with Calcined Phosphate

Giichi YOSHIKAWA, Maho YAMASAKI, and Kaoru YOSHIDA

Laboratory of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture

Abstract : The status of phosphorus in the upland field soils which received 13 years continuous application of calcined phosphate with or without compost was studied. The predominant form of phosphorus in the soils was inorganic phosphorus. The relative abundance of the fractions of inorganic phosphorus in the soils was in the order of calcium-bound phosphorus \geq aluminium-bound phosphorus $>$ iron-bound phosphorus. It was suggested that the greater part of phosphorus derived from applied calcined phosphate accumulated in the soils as available phosphorus to crops and aluminium-bound form. Compost application was found to increase the content of organic phosphorus in soil. However, the total carbon : organic phosphorus ratios of the soils were about 100 regardless of the application of compost.

緒 言

土壌に施用された肥料リン酸の一部は作物に吸収、利用されるが、大部分は土壌に残留し、蓄積される。本研究は、堆肥施用と無施用の条件で焼成リン肥を連用しておこなわれた栽培試験地の土壌について、リン酸の形態分析をおこない、これらの土壌に蓄積されたリン酸の形態について検討したものである。

供 試 土 壌

片岡ら¹⁾が、南国市物部、高知大学農学部附属農場内で、13年間継続しておこなった「有機質導入による地力保全対策に関する試験」の、試験地内より採取した下記土壌の風乾細土を供試した。

原土壌（土壌番号 1） 試験開始前（1960年）に試験予定地* で採取した。

* 旧海軍飛行場用埋立地

草生土壌（土壌番号 2） 試験地内の、作物を栽培せずにそのまま放置された地点で、試験終了2年後（1975年）に採取した。

堆肥施用土壌-1*（土壌番号 3-1） 下記のような設計で、1960年冬作より出発して13年継続の栽培試験をおこない、試験終了後（1973年）に採取した。

冬作（ハダカ麦西海16号） 10aあたり施肥量；堆肥 3,000 kg, N 15 kg（塩化アンモニア）, P_2O_5 15 kg（焼成リン肥）, K_2O 22.5 kg（塩化カリ）, 全量基肥

夏作（サツマイモ農林1号） 10aあたり施肥量；堆肥 3,000 kg, N 9 kg（塩化アンモニア）, P_2O_5 7.5 kg（焼成リン肥）, K_2O 22.5 kg（塩化カリ）, 全量基肥

* C_2F 区¹⁾ 跡土壌

堆肥施用土壌-2（土壌番号 3-2） 上記の栽培試験区跡で、試験終了2年後（1975年）に採

取した。試験終了から土壌採取時までそのまま放置され、作物栽培はおこなわれていない。

堆肥施用土壌-3 (土壌番号 3-3) 3-1 を採取した試験区と堆肥施用量は同じであるが、化学肥料施用量を半量とした試験区* で、試験終了後 (1973年) に採取した。

* C₂f 区¹⁾

無堆肥土壌 (土壌番号 4) 3-1 を採取した試験区と化学肥料施用量は同じであるが、堆肥は施用しない試験区* で、試験終了後 (1973年) に採取した。

* C₀F 区¹⁾

供試土壌の一般的性質は Table 1. にしめすとおりである。なお、分析法は次のとおりである。
土性 国際土壌学会法, 全炭素 Tyulin 法, pH 水懸濁液 (1:2.5) についてガラス電極法,
酸度 Kappen 法, 交換性 (Ca+Mg) N塩化カリ浸出液についてEDTA法

Table 1. General properties of the soils used

Soil No.	Soil texture	Total carbon %	pH	Acidity y ₁		Exchangeable (Ca+Mg) meq/100g
				Exchange	Hydrolytic	
1	SL	0.85	5.9	0.3	11.3	5.9
2	SL	1.14	5.8	0.3	11.5	5.7
3-1	SL	1.57	5.5	0.3	20.8	6.0
3-2	SL	1.65	5.5	0.5	18.1	6.4
3-3	SL	1.48	5.3	0.3	18.6	6.1
4	SL	1.00	4.6	0.9	18.8	4.8

実 験 法

1. 全リン酸, 無機態リン酸, および有機態リン酸の定量

全リン酸 土壌 1 g を 550°C で 1 h 焼き, 有機物を分解した後, 0.5 N 硫酸 100 ml を用いて 250 ml のポリエチレン製細口ビンに移し, 5 h 振トウ* 後, 浸出されたリン酸を硫酸・モリブデンブルー法で定量し, 「全リン酸」とした**。

無機態リン酸 土壌 1 g を 250 ml のポリエチレン製細口ビンにとり, 0.5 N 硫酸 100 ml を添加し, 5 h 振トウ* した。浸出されたリン酸を硫酸・モリブデンブルー法で定量し, 「無機態リン酸」とした。

有機態リン酸 全リン酸と無機態リン酸の差を「有機態リン酸」とした。

* 振幅 7 cm, 155 往復/min

** 厳密にはリン酸全量をしめすものではないが, 本法で定量されるリン酸を「全リン酸」とした。

2. 無機態リン酸の分別定量

Chang-Jackson 法²⁾ と江川・関谷法³⁾ に準拠して, 無機態リン酸をカルシウム結合型 (Ca-P), アルミニウム結合型 (Al-P), 鉄結合型 (Fe-P) に分別定量した。25°C の浸出液を使用し, 振トウは 25°C 定温, 振幅 7 cm, 155 往復/min とした。

1) Chang・Jackson 法

N塩化アンモニウム可溶性リン酸 N塩化アンモニウム 100 ml を 250 ml のポリエチレン製細口ビンにとり, 土壌 1 g を添加し, 30 min 振トウした。小型漏斗を用いて吸引濾過し, 濾液

についてリン酸を塩酸・モリブデンブルー法で定量し、下記の Ca-P 定量値に加えた*。

* 原法では本浸出液は捨てることになっているが、無視できない量のリン酸を含む場合がある。

Al-P 濾紙上の土壌を 0.5N フッ化アンモニウム (pH 7.0) 100 ml を用いてもとの容器にもどし、1 h 振トウした。小型漏斗を用いて吸引濾過し、土壌ならびに容器を少量の 0.5N フッ化アンモニウムで洗浄した。濾液と洗液を合わせて定容とした後、リン酸を塩酸・モリブデンブルー法* で定量した。

* ホウ酸でフッ素イオンの影響を除いた。

Fe-P 濾紙上の土壌と容器を塩化ナトリウム飽和溶液で洗浄した後、土壌を 0.1N 水酸化ナトリウム 100 ml を用いてもとの容器にもどし、17 h 振トウした。小型漏斗を用いて吸引濾過し、少量の 0.1N 水酸化ナトリウムで土壌ならびに容器を洗浄した。濾液と洗液を合わせて定容とした後、リン酸を硫酸・モリブデンブルー法* で定量した。

* 予め活性炭処理をおこなった。

Ca-P 濾紙上の土壌と容器を塩化ナトリウム飽和溶液で洗浄した後、土壌を 0.5N 硫酸 100 ml を用いてもとの容器にもどし、1 h 振トウした。吸引濾過し、少量の 0.5N 硫酸で土壌ならびに容器を洗浄した。濾液と洗液を合わせて定容とした後、リン酸を硫酸・モリブデンブルー法で定量した。

2) 江川・関谷法

Ca-P 2.5%酢酸 100 ml を 250 ml のポリエチレン製細口ビンにとり、土壌 1 g を添加し、2 h 振トウした。小型漏斗を用いて吸引濾過後、土壌と容器を N 塩化アンモニウム計 100 ml で洗浄した。濾液と洗液を合わせ定容とした後、リン酸を塩酸・モリブデンブルー法で定量した。

Al-P 濾紙上の土壌と容器を塩化ナトリウム飽和溶液で洗浄した後、土壌を N フッ化アンモニウム (pH 7.0) 100 ml を用いてもとの容器にもどし、1 h 振トウした。小型漏斗を用いて吸引濾過後、土壌と容器を少量の N フッ化アンモニウムで洗浄した。濾液と洗液を合わせて定容とした後、リン酸を塩酸・モリブデンブルー法* で定量した。

* ホウ酸でフッ素イオンの影響を除いた。

Fe-P 濾紙上の土壌ならびに容器を塩化ナトリウム飽和溶液で洗浄後、土壌を 0.1N 水酸化ナトリウム 100 ml を用いてもとの容器にもどし、17 h 振トウした。吸引濾過し、少量の 0.1N 水酸化ナトリウムで土壌ならびに容器を洗浄した。濾液と洗液を合わせて定容とした後、リン酸を硫酸・モリブデンブルー法* で定量した。

* 予め活性炭処理をおこなった。

3. 可給態リン酸の定量

可給態リン酸の定量法には多くの方法があるが、本研究では、作物による吸収と高い相関をもつことが認められている⁴⁾ Bray ら⁵⁾ の第一法 (Bray-1) および第二法 (Bray-2) に準拠して、次のようにおこなった。

25°C の Bray の第一液 (Bray-1 用) あるいは第二液 (Bray-2 用)* 100 ml を 250 ml のポリエチレン製細口ビンにとり、土壌 2 g を添加し、直ちに 60 sec 振トウ (振幅 7cm, 155 往復/min) した。吸引濾過し、濾液のリン酸を塩酸・モリブデンブルー法** で定量した。

* 第一液 0.025N 塩酸中にフッ化アンモニウムを 0.0300N の濃度を含む液、第二液 0.100N 塩酸中にフッ化アンモニウムを 0.0300N の濃度を含む液; 両液の調製にあたっては特級フッ化アンモニウムを使用し、便宜上アンモニア態窒素について所定濃度とした。

** ホウ酸でフッ素イオンの影響を除いた。

実験結果

1. 全リン酸、無機態リン酸、および有機態リン酸

各土壌の全リン酸、無機態リン酸、および有機態リン酸を定量した結果は Table 2. に、全炭素：有機態リン比、有機態窒素：有機態リン比を計算した結果は Table 3. にしめすとおりである。なお、この計算に必要な全炭素含量は Table 1. にしめした Tyulin 法による分析値を用い、有機態窒素含量は、濃硫酸分解—水蒸気蒸留法による全窒素分析値と Bremner 法⁹⁾による無機態窒素分析値の差より求めた。

全リン酸と無機態リン酸の含量については、3-1, 3-2>4>3-3>1, 2 の関係があり、栽培試験区跡土壌（堆肥施用土壌、無堆肥土壌）においては、施用した焼成リン肥あるいは焼成リン肥と堆肥に由来すると考えられるリン酸、特に無機態リン酸が著しく蓄積されていることが認められる。

各土壌の有機態リン酸含量は全リン酸含量の10~20%を占めるにすぎないが、土壌間では 3-1, 3-2, 3-3>1, 2, 4 の関係があり、堆肥施用土壌において高く、堆肥施用の影響が認められる。各土壌の全炭素：有機態リン比は 100 前後、有機態リン：有機態窒素比は 10 前後で、土壌による著しいちがいは認められない。堆肥施用土壌における有機態リン酸の含量は、腐植含量の増大ともなって増大したとみることが出来る。

Table 2. Contents of total, inorganic, and organic phosphorus in soils

Soil No.	P ₂ O ₅ mg per 100g of air-dried soil			Percentage of total phosphorus	
	Total phosphorus	Inorganic phosphorus	Organic phosphorus	Inorganic phosphorus	Organic phosphorus
1	129	108	21	84	16
2	138	110	28	80	20
3-1	291	253	38	87	13
3-2	260	221	39	85	15
3-3	235	203	32	86	14
4	244	220	24	90	10

Table 3. Total carbon : organic phosphorus ratios and organic nitrogen : organic phosphorus ratios of soils

Soil No.	Total carbon mg/100g* (TC)	Organic nitrogen mg/100g* (ON)	Organic phosphorus P mg/100g* (OP)	TC/OP	ON/OP	TC/ON
1	853	76	9.1	94	8.4	11.2
2	1139	115	12.4	92	9.3	9.9
3-1	1570	162	16.7	94	9.7	9.7
3-2	1650	159	16.9	98	9.4	10.4
3-3	1477	156	14.0	106	11.1	9.5
4	1002	111	10.3	97	10.8	9.0

* Air-dried soil

2. 無機態リン酸の形態

各土壌の無機態リン酸を分別定量した結果は Table 4. にしめすとおりである。Chang・Jackson 法と江川・関谷法で定量値は異なるが、次のような点を指摘することができる。

原土壌と草生土壌においては Ca-P が、栽培試験区跡土壌（堆肥施用土壌と無堆肥土壌）においては Ca-P と Al-P が、無機態リン酸の主要な形態である。形態別にみると、栽培試験地跡土壌は原土壌あるいは草生土壌と比べ、いずれの含量も高いが、特に Al-P の含量が高い。栽培試験区土壌において施肥に基づいて蓄積された無機態リン酸の大部分は Al-P であると考えられる。

Table 4. Contents of Ca-P, Al-P, and Fe-P in soils
P₂O₅ mg per 100g of air-dried soil

Soil No.	Chang-Jackson method				Egawa-Sekiya method			
	Ca-P	Al-P	Fe-P	Sum	Ca-P	Al-P	Fe-P	Sum
1	78	6	7	91	56	11	9	75
2	87	6	10	103	45	13	8	67
3-1	119	81	34	234	81	82	18	181
3-2	106	79	36	221	72	72	25	169
3-3	84	56	31	170	70	58	19	147
4	78	81	38	197	72	70	16	158

3. 可給態リン酸

Table 5. は各土壌の可給態リン酸の含量をしめしたものである。堆肥施用土壌と無堆肥土壌の可給態リン酸含量は、原土壌、草生土壌と比べて著しく高く、栽培試験区跡土壌においては、可給態リン酸が著しく蓄積されていることが認められる。

Table 5. Available phosphorus contents in soils
P₂O₅ mg per 100g of air-dried soil

Soil No.	Bray-1	Bray-2
1	7	25
2	4	17
3-1	82	119
3-2	67	91
3-3	51	74
4	66	96

考 察

Table 6. は、各栽培試験区において試験期間（13年間）に施用された焼成リン肥の総量と、その間に蓄積された全リン酸ならびに無機態リン酸の量の関係をしめしたものである。なお、焼成リン肥施用総量は、10 a あたり土壌重を 150 ton あるいは 200 ton（土壌の仮比重 1、作土の厚さ

15 cm あるいは 20 cm) として土壌 100g あたりに換算し、蓄積されたリン酸量は、各栽培試験区跡土壌 (C₂F 区 堆肥施用土壌-1, C₂f 区 堆肥施用土壌-3, C₀F 区 無堆肥土壌) と原土壌の含量差より求めた。Table 7. は、同様にして、13年間の栽培あるいは施肥によって蓄積された可給態リン酸量と形態別無機態リン酸量を計算した結果である。

堆肥施用の有無にかかわらず、土壌に蓄積されるリン酸の主体は無機態リン酸であり、その大部分が可給性の高い状態で存在することが認められる。土壌に蓄積される無機態リン酸は、C₀F 区においては、ほとんどすべてが焼成リン肥に由来すると考えられるが、C₂F 区と C₂f 区においては、焼成リン肥に由来するもののほかに、堆肥に由来するものがかなりあることが示唆される。無機態リン酸を形態別でみると、Al-P の形での蓄積量が最も大きい。Table 1. からうかがわれるように、試験区土壌の酸性化は著しくない。このような反応条件で蓄積されるリン酸の主な形態が Al-P であることに注意する必要がある。この Al-P は、おそらく表面化合物あるいは吸着リン酸的な形で、可給性の高い状態で土壌に保持されていると考えられる。

土壌にリン酸が著しく蓄積されたことは、肥料のリン酸の作物による利用率が低かったことをしめすものであるが、作物に利用されなかったリン酸は無効化するのではなく、可給性の高い状態で土壌に蓄積され、土壌のリン酸肥沃度増進の重要な因子となると考えられる。

Table 6. Relation between the amount of calcined phosphate applied and the increase in soil phosphorus content after 13 years cropping

Exp. plot*	Calcined phosphate applied for 13 years			Increase in phosphorus content	
	P ₂ O ₅ kg per 10a	P ₂ O ₅ mg per 100g**		P ₂ O ₅ mg per 100g**	
		A***	B***	Total	Inorganic
C ₂ F	293	195	147	162	145
C ₂ f	146	98	74	106	95
C ₀ F	293	195	147	115	112

* Kataoka, I. et al¹⁾

** Air-dried soil

*** Calculated on the assumption that the weight of soil per 10a is 150 tons (A) or 200 tons (B).

Table 7. Amounts of various forms of phosphorus accumulated in soils during 13 years cropping
P₂O₅ mg per 100g of air-dried soil

Exp. plot*	Available phosphorus		Chang-Jackson method				Egawa-Sekiya method			
	Bray-1	Bray-2	Ca-P	Al-P	Fe-P	Sum	Ca-P	Al-P	Fe-P	Sum
C ₂ F	75	93	41	75	27	143	25	71	9	106
C ₂ f	45	48	6	50	24	79	14	47	10	71
C ₀ F	60	71	0	75	31	106	16	59	7	83

* Kataoka, I. et al¹⁾

要 約

堆肥施用と無施用の条件で焼成リン肥を連用しておこなわれた栽培試験地の土壌について、全リン酸、無機態リン酸、有機態リン酸、可給態リン酸 (Bray 法) の定量、無機態リン酸の分別定量

(Chang・Jackson 法および江川・関谷法) などをおこない、施肥に基づいて蓄積されたリン酸の量と形態について検討し、次の結果をえた。

- 1) 堆肥施用の有無に関係なく、土壌に蓄積されたリン酸の主体は無機態リン酸であり、大部分はアルミニウム結合型リン酸である。
- 2) 蓄積されたリン酸の大部分は可給性の高い状態で存在する。
- 3) 堆肥施用の土壌で蓄積された無機態リン酸は、焼成リン肥と堆肥リン酸の両者に由来すると考えられる。
- 4) 堆肥施用の土壌において、量的には少ないが、有機態リン酸が蓄積されている。

謝 辞 供試試験地土壌は、試験を実施された本学農学部 応用分析化学研究室 片岡一郎教授、同 北村哲朗助手、農学部付属農場 福川進 助教授より提供されたものである。記して感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 片岡一郎・福川 進・吉松直子・北村哲朗・山本重巳、有機質導入による地力保全対策に関する試験、高知大研報(農学), 23, 33-41 (1974).
- 2) Chang, S. C. and Jackson, M. L., Fractionation of soil phosphorus, *Soil Sci.*, 84, 133-144 (1957).
- 3) 土壌養分測定法委員会編、土壌養分分析法, p. 238-239, 養賢堂 (1971).
- 4) 庄子貞雄・三宅正紀・竹内 豊、各種の可給態土壌磷酸定量法の比較 第2報 各種の可給態磷酸定量法による結果と A-value の相関について、北海道農試彙報, 84, 32-39 (1964).
- 5) Bray, R. H. and Kurtz, L. T., Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils, *Soil Sci.*, 59, 39-45 (1945).
- 6) Bremner, J. M. and Keeney, D. R., Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3, Exchangeable ammonium, nitrate, nitrite by extraction-distillation methods, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 577-582 (1966).

(昭和53年7月28日受理)

(昭和53年12月20日発行)

