

# 土壌およびリン酸質肥料の差が水田土壌へのリン酸の蓄積 形態におよぼす影響について

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	419
掲載ページ	p. 353-357
発行年月	1970年9月

# 土壌およびリン酸質肥料の差が水田土壌へのリン酸の蓄積形態におよぼす影響について\*

リン酸多施によって水田土壌に蓄積されたリン酸の形態と有効性について (第2報)

東海林 覚\*\*・樋口 福男\*\*

## 1. はじめに

火山灰土壌では、前報でも報告<sup>1)</sup>したようにリン酸多施によって土壌にリン酸が蓄積されることが認められ、水稻によって吸収利用された部分を除いて大部分が蓄積されたものと推定される。また土壌に蓄積されたリン酸の形態をみると Al 型リン酸がもっとも多く、有機リンとしての蓄積や難溶性リン酸の増加は認められなかった。したがって、多施によって土壌に蓄積されたリン酸は大部分が無機リン酸化合物として存在している。溶解度が高く有効性が大きいと考えられる Ca 型リン酸<sup>2)</sup>はリン酸多施による蓄積は量的にはきわめて少ないが、その増加率はもっとも大きい。このことは、火山灰土壌のようなリン酸肥沃度の低い土壌では大きな意義をもつものと考えられた。

しかし、土壌の種類によって、また加えるリン酸質肥料の種類によって水田土壌に蓄積されるリン酸の形態が異なるであろうと予想されたので、成因の異なる2種の土壌と4種のリン酸質肥料を用いて、湛水培養して土壌に加えられたリン酸の行動について室内実験を試み以下に述べるような結果を得たので報告する。

## 2. 供試土壌

農林省施肥改善土壌調査の土壌類型が黒色土壌壤土火山腐植型の山形県農試尾花沢分場の水田は場の作土(以下尾花沢土壌と略す)と灰褐色土壌強粘土構造型の山形県北村山郡大石田町樋の口の最上川沖積土壌の水田作土(以下樋の口土壌と略す)の2種の土壌を用いた。おのおの土壌のリン酸の形態別含有量およびその構成割合を第1表に示した。

表に示すように、全リン酸は尾花沢土壌が樋の口土壌の2倍程度多く、Al型リン酸は尾花沢土壌が3倍程度多く含むが、反対にCa型リン酸は樋の口土壌の方が2倍程度多く、Fe型リン酸や有機リンには大差はない。土壌リンの構成割合をみると、難溶性リン酸の占める比率は尾花沢土壌40%、樋の口土壌34%と両土壌とも高い。樋の口土壌は尾花沢土壌に比較してCa型リン酸は3.8倍、Fe型リン酸が2倍程度高くまた有機リンの占める部分も高い。尾花沢土壌ではAl型リン酸の占める比率がきわめて高く両土壌の成因上の差が土壌リンの構成上に反映しているようにみられる。

## 3. 実験方法

### 1) 供試肥料

リン酸質肥料の種類として次の4種を用いた。ただしリン酸二アンモニウムは化学薬品を用いた。

過リン酸石灰 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 保証成分 17%, 以下過石と略す)

熔成リン肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 保証成分 20%, 以下熔リン)

重焼リン (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 保証成分 35%)

リン酸二アンモニウム (試薬一級)

### 2) 土壌の充填およびリン酸の施用法

各肥料の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 200 mg に相当する量を秤取して風乾細土 100 g に加え、よく混合して 200 ml のビーカーに入れ、蒸留水を加えて湛水状態として 25°C の恒温器中に培養した。適宜、水の補充およびビーカーの底部を軽くたたいてガス抜きを行ない、5週間および10週間の湛水培養とした。湛水培養終了後、湯浴上にてほとんど大部分の水を蒸発させてから土壌を別の容器に移して室内で乾燥させた。風乾後、その一部をとって 0.5 mm

第1表 供試土壌の形態別リン酸含有量

土 壌 名	全リン酸	形態別リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g 乾土)					形態別リン酸の構成割合 (%)				
		Ca 型	Al 型	Fe 型	有機リン	難溶性	Ca 型	Al 型	Fe 型	有機リン	難溶性
尾 花 沢	450	4.5	144	31.7	89.3	181	1.0	32.0	7.0	19.8	40.2
樋 の 口	227	8.7	43	32.4	65.5	78	3.8	18.8	14.3	28.8	34.3

土壌類型 尾花沢土壌：黒色土壌壤土火山腐植型、樋の口土壌：灰褐色土壌強粘土構造型

\* 昭和41年10月8日の土肥学会東北支部講演会においてその概要を報告した。

\*\* 山形県農試 尾花沢分場(現在 山形県農試 庄内分場) 昭和44年9月29日受理  
日本土壌肥料学雑誌 第41巻 第9号 (1970)

第2表 土壤リンの形態分布

土壤名	期間	肥料名	全リン酸	形態別リン酸(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , mg/100g)					形態別リン酸の構成割合(%)				
				Ca型	Al型	Fe型	有機リン	難溶性	Ca型	Al型	Fe型	有機リン	難溶性
尾花沢	5週間	無リン酸	449	3.8	170	37.1	60.9	177	0.9	37.9	8.3	13.6	39.3
		過石	630	20.9	341	61.5	64.2	142	3.3	54.1	9.8	10.2	22.6
		熔リン	659	30.8	335	63.5	60.7	169	4.7	50.8	9.6	9.2	25.7
		重焼リン	631	19.1	316	67.3	56.8	172	3.0	50.1	10.7	9.0	27.2
		リン二アンモニウム	639	14.0	346	66.2	70.2	143	3.1	54.1	10.4	11.0	21.4
沢	10週間	無リン酸	453	3.9	171	35.6	53.9	189	0.9	37.7	7.9	11.9	41.6
		過石	628	19.9	321	59.6	55.2	172	3.0	51.1	9.5	8.8	27.6
		熔リン	656	29.1	326	63.2	56.3	181	4.4	49.7	9.6	8.6	27.7
		重焼リン	626	15.3	326	55.7	47.9	181	2.4	52.1	8.9	7.7	28.9
樋の口	5週間	無リン酸	230	7.3	46	37.7	75.2	64	3.1	20.1	16.4	32.7	27.7
		過石	468	54.9	155	90.4	113.3	55	11.6	33.1	19.3	24.2	11.8
		熔リン	470	97.9	135	91.1	108.3	37	20.8	28.8	19.4	23.0	8.0

の篩を通した微細土として分析に用いた。

尾花沢土壤では、4種の肥料を用いたほかに参考のためにリン酸を加えないで同様に処理した区（以下無リン酸区と呼ぶ）を設置した。また湛水培養の期間も5週間と10週間の2段階とした。一方、樋の口土壤の場合、無リン酸区とリン酸質肥料として過石と熔リンの2種類を用い湛水培養の期間は5週間のみとした。

### 3) 土壤リンの形態別分析法

前報の無機リンの形態別リン酸の抽出法<sup>3,4)</sup>を採用し、2.5% 酢酸抽出部分をCa型リン酸、中性の1N弗化アンモニウム液抽出部分をAl型リン酸、0.1N水酸化ナトリウム液抽出部分をFe型リン酸とした。有機リンは林および滝嶋<sup>5)</sup>に従って抽出定量した。その他については前報に記載した方法によった。

## 4. 実験結果

土壤の種類および添加するリン酸質肥料の差によって、土壤に加えられたリン酸がどのような蓄積形態をとるかを明らかにするため土壤リンの形態別分析を試みた。その結果を第2表に示した。

表に示すように、尾花沢土壤では、前報でも報告したとおり、リン酸質肥料の差および湛水培養期間の長短に関係なく有機リンとしての蓄積や難溶性リン酸への変化は認められず、無機リンとして蓄積されることを示している。その形態をみると、Al型リン酸としての蓄積がもっとも多いが、前報の例と異なりCa型リン酸やFe型リン酸も多くなっている。これは主として、本実験の場合リン酸施用量がほ場試験の場合の約2倍程度になっていることと水稲が作付けされていないことによるものであろう。また時間の経過とともにCa型リン酸やFe

型リン酸が減少するようであるが一定の傾向は認められず、その程度も著しくない。

一方、樋の口土壤では火山灰土壤の尾花沢土壤と比較してCa型リン酸やFe型リン酸としての蓄積が多く、さらに有機リンとしての蓄積がみられ、Al型リン酸としての蓄積がそれほど多くないことが特徴的である。しかし、尾花沢土壤と同様に湛水培養の期間中に難溶性リン酸に変化することは認められない。

肥料の種類による土壤へのリン酸の蓄積形態の差をみると、両土壤を通じてCa型リン酸として多く蓄積されるのは熔リンであって、リン酸二アンモニウムはこの形態への蓄積はもっとも少ない。Al型リン酸としての蓄積が多い肥料はリン酸二アンモニウムと過石である。Fe型リン酸としての蓄積と肥料の種類との関係は明らかでない。

形態別リン酸の構成割合をみるとリン酸の添加によって、土壤の差および加えるリン酸質肥料の差を問わず難溶性リン酸と有機リンの占める比率を低下し、Ca型リン酸、Al型リン酸およびFe型リン酸の占める比率を増加する。リン酸多施による各形態別リン酸の構成割合の増加率をみると、Ca型リン酸がもっとも高く、次いでAl型リン酸であって、Fe型リン酸の増加率のもっとも低く、前報の跡地土壤の結果と類似する。しかし、尾花沢土壤ではAl型リン酸としての蓄積が多いことから構成割合で10%以上の増加となっている。樋の口土壤ではCa型リン酸とAl型リン酸の占める比率はリン酸多施によって接近してくる傾向が認められる。

無リン酸で湛水培養した土壤のリン酸の形態別分布を原土のそれと比較すると、尾花沢土壤の場合、有機リン

第3表 施肥による各形態リン酸の増減量

土壤名	期間	肥料名	全リン酸	形態別リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g 乾土)				
				Ca型	Al型	Fe型	有機リン	難溶性
尾花沢	5週間	過石	181	17.1	171	24.4	3.3	-35
		熔リン	210	27.0	165	26.4	-0.2	-8
		重焼リン	182	14.3	146	30.2	-4.1	-5
		リン酸二アンモニウム	190	10.2	176	29.1	9.3	-34
尾花沢	10週間	過石	175	16.0	150	24.0	1.3	-17
		熔リン	203	25.2	155	27.6	2.4	-8
		重焼リン	173	11.4	155	20.1	-6.0	-8
樋口の	5週間	過石	238	47.2	109	52.7	38.1	-9
		熔リン	240	90.6	89	53.4	33.1	-27

各期間の無リン酸区と比較した。

が減少して Fe 型リン酸と Al 型リン酸が増加することが認められる。樋口の土壤では難溶性リン酸が減少して有機リンが増加する傾向が認められる。これらの結果は、湛水培養によって尾花沢土壤では有機物の分解によるリン酸の放出が主体をなしていることを示すものであろう。また、樋口の土壤では還元による難溶性リン酸の溶解度が向上したことを示すものであろう。

第3表にリン酸の添加によって土壤に蓄積されたリン酸の形態別分布を無リン酸区と比較してその増減量を算出して示した。

第3表に示すように、火山灰に由来する尾花沢土壤では、水溶性リン酸を主成分とする過石とリン酸二アンモニウムは Ca 型リン酸としての蓄積が少なく、Al 型リン

酸としての蓄積が多い傾向が認められ、いわゆる、リン酸固定をうけやすい肥料といえるようである。枸溶性リン酸を主成分とする熔リンは Ca 型リン酸としての蓄積が比較的多く、Al 型リン酸としての蓄積が少なく、従来よりいわれているようにリン酸固定をうけにくい肥料であるといえよう。水溶性リン酸と枸溶性リン酸の両成分を等量ずつ含む重焼リンは5週間の湛水培養では Fe 型リン酸としての蓄積が多いようにみえるが、10週間の場合には過石とほぼ同様の蓄積形態をとるようである。

一方、樋口の土壤では過石の場合には、Al 型リン酸 > Fe 型リン酸 > Ca 型リン酸 > 有機リンの順で蓄積される。熔リンの場合には、Ca 型リン酸 ≧ Al 型リン酸 > Fe 型リン酸 > 有機リンとなり、過石と比較して尾花沢土壤と同様に Ca 型リン酸としての蓄積が多いことを示している。

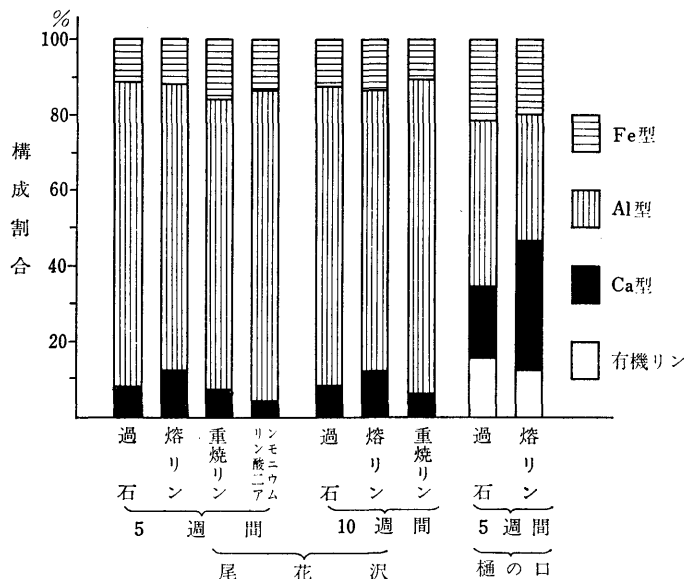
第3表から添加リン酸のみによる土壤への各形態リンの蓄積量を計算して、その比率を第1図に示した。

図によれば火山灰に由来する尾花沢土壤では、添加したリン酸の75%以上が Al 型リン酸として蓄積し、Ca 型リン酸の占める比率は5~12%、Fe 型リン酸の占める比率は11~16%で Al 型リン酸に比較して少ない。しかし、沖積土壤の樋口の土壤では Al 型リン酸としての蓄積が添加リン酸の50%以下で、Ca 型リン酸や Fe 型リン酸としての蓄積が増加するほかに、有機リンとしての蓄積が12~15%程度認められることが火山灰土壤との大きな相違点であろう。これらの傾向は枸溶性リン酸を主成分とする熔リンでさらに著しく、Ca 型リン酸としての蓄積が Al 型リン酸としての蓄積よりも上回る傾向さえ認められる。この原因は両土壤の成因上の差によるものであろう。

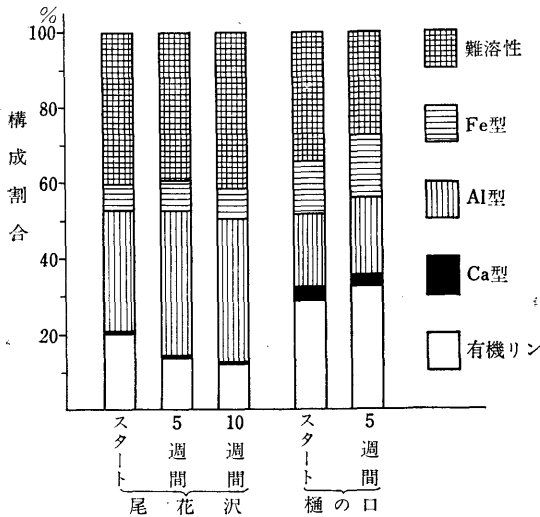
### 5. 考察

リン酸を添加しない原土を湛水培養した場合における土壤リンの変化を第2図に示した。

尾花沢土壤では有機物の分解によってリン酸の放出がみられ、さらにこの過程で遊離されたリン酸と土壤中のアルミニウムおよび鉄化合物との結合による Al 型リン酸と Fe 型リン酸の生成が認められる。古川および川口<sup>6)</sup>は湛水による易溶リンの増加と有機リンの減少がきわめてよく対応することを認めている。筆者らの結果もほぼ同様の傾向にあることを示すものである。樋口の土壤では難溶性リン酸が減少し Al 型リン酸、Fe 型リン酸および有機リンが増加する。湛水による難溶性リン酸の可溶化に



第1図 施用リン酸の蓄積形態



第2図 湛水培養による土壤中のリン酸の変化

ついで有機酸による鉄とアルミニウムのキレート化合物生成にともなう可溶化<sup>10</sup>、硫化水素による可溶化<sup>11</sup>および pH の上昇による可溶化が考えられている。桶の口土壌で得られた筆者らの結果は主として第二鉄の還元による可溶化と pH 上昇にともなう可溶化によるものと推定される。

火山灰土壌にリン酸が添加された場合には、主として土壌中のアルミニウム化合物と結合して Al 型リン酸として蓄積される。また残余の部分は鉄化合物やカルシウムと結合して Fe 型リン酸や Ca 型リン酸として蓄積されるほかに、きわめて少ない部分は変化をうけることが少なく易溶性のリン酸として存在するものであろう。しかし、これらの変化は添加するリン酸質肥料の種類によっても異なり、枸溶性リン酸を主成分とする肥料は水溶性リン酸を主成分とする肥料よりも形態変化をうけることが少なく、Ca 型リン酸として残存する量が多い。このことが枸溶性リン酸を主成分とする肥料が水溶性リン酸の肥料よりも火山灰土壌で特に固定をうけにくく、肥効が高いといわれた原因であろうと考えられる。しかし前述のように、火山灰土壌では枸溶性リン酸を主成分とする肥料が添加された場合でもその 75% 程度は Al 型リン酸として蓄積される。したがって、現状で行なわれているような火山灰土壌に対するリン酸多施にあっては、添加リン酸の 75~80% 程度は Al 型リン酸として蓄積されるものと考えられる。しかし、リン酸多施によって土壌に蓄積されたリン酸は、本報告で適用した抽出法では抽出不可能のリン酸すなわち難溶性リン酸または CHANG and JACKSON の Occluded Phosphate<sup>9</sup> までには変化しないで存在している。

一方、沖積土壌の桶の口土壌へのリン酸の添加は火山灰土壌の場合と異なり土壌中のアルミニウム化合物との結合が少なく、さらに土壤微生物によるリン酸の生体内へのとりこみがみられることが特徴的である。したがって、カルシウムと結合した Ca 型リン酸や鉄化合物と結合した Fe 型リン酸の占める比率は火山土壌に比較して高い。しかし、火山灰土壌と同様に加えられるリン酸質肥料の種類によって上述の傾向に差が認められる。

塚田ら<sup>12</sup>は土壌のリン酸飽和吸着量は酢酸アンモニウム緩衝液可溶のアルミニウム量と高い比例相関を示し、土壌とリン酸との最初の段階における反応は土壌粒子表面の活性アルミニウムによる化学吸着反応であるとのべている。また、花田<sup>13</sup>はアロフェン含量の異なる火山灰土のリン酸平衡は P/Al 比によって変動することを報告している。

活性アルミニウムが多いと考えられる火山灰土壌では施肥したリン酸は主としてアルミニウム化合物と結合し Al 型リン酸としての蓄積を多くし、Ca 型リン酸や Fe 型リン酸としての蓄積を少なくするのであろう。しかし、前報のリン酸用量試験跡地土壌の分析結果と比較して Ca 型リン酸や Fe 型リン酸としての蓄積が多くなっているのは本実験ではリン酸施用量が多いために P/Al 比を高くし、それらの形態にまで蓄積されたものと考えられる。活性アルミニウムが少ないと考えられる沖積土壌ではリン酸の飽和吸着量を上回ったリン酸の施肥となり、アルミニウム化合物との結合は火山灰土壌に比較して少なく、カルシウムや鉄化合物と結合し Ca 型リン酸や Fe 型リン酸として比較的多く蓄積されたものと考えられる。

土壌に加えられたリン酸は主としてアルミニウム化合物によって支配されるのではあるが、土壌の環境条件によってもリン酸の蓄積形態は異なるであろう。土壌の pH<sup>14</sup>、温度<sup>15</sup>や水分状態<sup>16</sup>によって添加したリン酸の蓄積形態が異なることが報告されている。また pH と関連して石灰施用<sup>14</sup>によっても異なることが報告されている。熔リンが枸溶性リン酸を主成分とすることも Ca 型リン酸としての蓄積を多くする原因であるが、石灰含量が高く多量の施用の場合には pH が上昇することが考えられる。これもまた Ca 型リン酸としての蓄積を多くする原因であると考えられる。

有機リンの蓄積は土壌中における生物の生活作用の結果としてあらわれるものと考えられる。本実験の範囲内では、火山灰土壌の場合、微生物による有機リンの分解と合成が平衡状態にあったことを示している。また、沖積土壌では微生物によるリン酸の生体内へのとりこみ、すなわち有機リンの合成が分解よりもまされたことを示し

ている。

## 6. 摘 要

成因の異なる2種の土壌と4種のリン酸質肥料を用いて、加えたリン酸がどのような形態で土壌に蓄積されるかを実験し、次のような結果を得た。

1. 火山灰に由来する尾花沢土壌では土壌に加えられたリン酸の75~80%がAl型リン酸として、11~16%がFe型リン酸として、5~12%がCa型リン酸として土壌に蓄積された。

2. 沖積土壌では土壌に加えられたリン酸の34~44%がAl型リン酸として、約20%がFe型リン酸として、19~34%がCa型リン酸として、また火山灰土壌と異なり12~15%が有機リンとして蓄積された。

3. 沖積土壌と火山灰土壌のリン酸の蓄積形態の差は活性アルミニウム含量の差によるものであって、これの多い火山灰土壌ではAl型リン酸の蓄積が多くその他の形態のリン酸は少なくなる。活性アルミニウムの少ない沖積土壌ではAl型リン酸の蓄積が少なくCa型リン酸やFe型リン酸としての蓄積が多くなり、さらに微生物による有機リンの合成がみられた。

4. 湛水培養によって火山灰土壌では有機物の分解による有機リンの減少がみられFe型リン酸とAl型リン酸が増加した。沖積土壌では難溶性リン酸が減少して有機リンとFe型リン酸が増加した。

5. 水溶性リン酸を主成分とするリン酸肥料は、枸溶性リン酸を主成分とするリン酸肥料よりもCa型リン酸

としての蓄積が少なく、Al型リン酸としての蓄積が多い。

謝辞 御校閲をいただいた岩手大学農学部吉田稔教授に感謝申し上げます。また、分析の援助をいただいた小関秋子女史に謝意を表す。

## 文 献

- 1) 東海林 覚・樋口福男：土肥誌，41，319 (1970)
- 2) CHANG, S. C. and JACKSON, M. L. : *J. Soil Sci.*, 9, 109 (1958)
- 3) CHANG, S. C. and JACKSON, M. L. : *Soil Sci.*, 84, 133 (1957)
- 4) 江川友治・関谷宏三：畑土壌の生産力に関する研究，農技研土壌第1科成績書 (1959)
- 5) 林 武・滝嶋康夫：土肥誌，23，257 (1953)
- 6) 古川秀顕・川口桂三郎：土肥誌，40，141 (1969)
- 7) 川口桂三郎：土壌化学，p.734，養賢堂 (1952)
- 8) 江 景村：土肥誌，34，18 (1963)
- 9) 江 景村：土肥誌，34，360 (1963)
- 10) 原田登五郎：土壌肥料学講座2巻，p.66，朝倉書店 (1965)
- 11) 小島 懋・川口桂三郎：京大食研報22，59 (1959)
- 12) 塚田豊昭・中野富夫・出口正夫：土肥誌，38，232 (1967)
- 13) 花田 慧：弘前大農報，11，1 (1965)
- 14) 佐伯秀章・岡本昌雄：土肥誌，31，87 (1960)
- 15) 中山 忠・佐藤友之・山下 貴：土肥誌，37，203 (1966)
- 16) 中山 忠・山下 貴：土肥誌，37，471 (1966)