

塩類集積土壌における土壌管理技術 (第1報)

各種の有機物の施用により土壌中に集積したリン酸の特性について

宗林 正・瀬崎滋雄・田中康隆

Soil Management for Solts High Accumulation Soil (1)
Properties of Soil Phosphorus Accumulated by Successive Application of
Several Organic Matters

Tadashi SORIN, Shigeo SEZAKI and Yasutaka TANAKA

Summary

Soil phosphorus accumulated by successive application of several types of organic matter was investigated to demonstrate its properties for effective use.

T-P, Ca-P, Troug-P, Olsen-P and water-soluble P were increased by every application. Fe-p, Al-p and Org-p did not show clear differences among the treatments.

As Troug-P showed a tendency of certain ratios to Ca-P, accumulated phosphorus forms were nearly thought of as Ca-p. Accumulated phosphorus by cow faces application showed higher extraction ratios to Ca-p by several exdution methods, higher solubilities at common soil pH area by acetate buffers, and the highest recovery rate from pot examination. Although accumulated quantities were higher in chicken waste manure application than the other types of organic matter, the ability was recognized to be very low.

We considered that phosphorus absorption should be evaluated by water-soluble P from the results of pot examination and the recovery rates of accumulated phosphorus were improved sharply by slightly brought down the soil pH in low solubility soils such as chicken waste manure applied fields.

Key words: accumulated phosphorus, successive organic matter application, phosphorus solubility, recovery rates, water-soluble phosphorus, cow feces, chicken waste manure

緒 言

リン酸はその利用率の低さから毎作施用されることが多く、とくに1作あたりの施用量が多い野菜の連作圃場では土壌中の集積が著しい²⁶⁾。リン酸は肥料の他、各種の有機・無機資材の施用によっても集積する^{15) 18) 24)}。

この集積は作物の収量、品質の低下を招くとともに²¹⁾、最近では環境汚染や資源の有効利用の面からも問題となっている²⁾。このようなリン酸の集積を防止するためには、高集積圃場へのリン酸の供給を停止するとともに、その有効利用のための土壌管理技術を策定しなければならない。現在、集積リン酸の利用率の向上対策としては、

化学的方法としてキレート材の使用や堆肥の施用が¹²⁾、生物的方法としてリン溶解菌¹²⁾や菌根菌¹³⁾の活用が提言されているが、その効果は不安定であり、効率的な方法は具体化されていない。

筆者らは、先に各種の有機質資材の連用によって集積したリン酸に、資材の種類によって若干の差異があることを報告した²²⁾。集積リン酸の特性は、圃場の来歴により異なるものと考えられ、このようなリン酸個々の特性の把握は重要と考えられる。土壌中におけるリン酸肥料の動態については渡辺・加藤²⁴⁾の詳細な研究があり、有機質資材に由来するリン酸については、本松・建部¹⁰⁾、林田⁵⁾、大橋¹⁶⁾¹⁷⁾等に詳しいが、同一土壌、同一作付体系において各種の有機質資材の連用により蓄積したリン酸の形態について比較した例は少ない。ここでは、それらの集積リン酸の増大を防ぎ、有効利用を図る上で重要だと考えられる、その存在形態、溶解特性およびホウレンソウのリン酸吸収量について、比較検討した結果を報告する。

材料および方法

1. 集積リン酸の形態比較

6種の有機質資材(第1表)を用いて、1985年から連用試験(年2回施用)を行っている圃場の土壌を1987年8月(第6作終了時、4回連用後)、1988年3月(第8作終了時、5回連用後)、8月(第9作終了時、6回連用後)の3回採取し、風乾調整後、全リン酸(過塩素酸分解法)、無機リン酸²⁰⁾、有機態リン酸¹⁾について分析調査した。

2. 集積リン酸の浸出法の違いによる比較

可給態リン酸(Olsen法、Trout法)、水溶性リン酸、1N酢酸アンモニウムおよび1N塩化ナトリウム可溶性リ

ン酸(いずれもpH7.0)ならびにこれらの浸出液中のカルシウム、マグネシウム、カリウムについて分析調査した。

水溶性リン酸は1:5及び1:40で浸出、1N-酢酸アンモニウムおよび塩化ナトリウム可溶性リン酸はセミマイクロショールベルガーの装置を用い、乾土8gあたり100mlで浸出し、いずれも硫酸-モリブデン法で測定した。

3. 集積リン酸および各種リン酸塩の溶解特性

1988年8月採取の土壌のうち、資材無施用区(対照)、稲わら1t/10a施用区、乾燥牛ふん3t施用区、鶏ふん入りオガクズ堆肥3t施用区については、1/5M酢酸緩衝液(pH3.0~8.0)を用いて溶出率を調査した。なお、浸出比率は1:100とし、30℃で1時間振とう後、濾過し、硫酸-モリブデン法で測定した。

また、第3および第2リン酸カルシウム、第3および第2リン酸マグネシウム、第3リン酸カリウム(いずれも和光純薬製)を用いて、含有リン酸(PO₄として)100mgに対して1/5M酢酸緩衝液100mlで浸出し、前記の土壌に準じて溶解度を測定した。

4. 集積リン酸の収収量の比較

前項3.で供試した土壌を1/2000aワグネルポットに充填し、ホウレンソウを栽培した。供試品種は"オーライ"(タキイ種苗)、肥料は硝安を用いて窒素100mg/1kg乾土を施用した。9月10日に播種、10月25日の収穫物について、無機成分を常法によって分析した。

なお、以下の文中のリン酸量は、土壌についてはP₂O₅mg/100g乾土で、植物体ではPmgあるいはP% (乾物)で表示した。

第1表 供試有機質資材の無機組成(代表値、乾物%)

Table 1. Inorganic components of tested organic matters.

資 材	T-C	T-N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
稲 わ ら	42.25	0.78	54.17	0.17	2.22	0.24	0.08
小 麦 稈	43.10	0.29	148.62	0.12	1.67	0.42	0.13
スイートコーン残渣	45.95	1.85	24.83	0.93	2.91	0.32	0.28
牛 ふ ん	38.38	2.36	16.26	1.30	1.92	1.79	0.81
オガクズ堆肥	37.50	1.08	34.72	2.45	0.16	11.31	0.36
バーク堆肥	44.32	1.45	30.56	1.24	0.82	3.53	0.30

第2表 有機質資材の施用にとまない集積したリン酸の形態 (P_2O_5 mg/100 g)Table 2. Forms of accumulated phosphorous by successive application of several organic matters. (P_2O_5 mg/100 g)

採土 処 理 (t/10a)	T-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	有機態-P
試 験 開 始 前	348.3	22.1	67.5	41.2	17.0
第 資 材 無 施 用	431.4	63.1	87.9	53.8	22.0
6 稲 わ ら 1t	400.1	81.5	96.7	60.6	31.8
作 乾 燥 牛 ふ ん 3t	571.0	130.3	203.4	68.9	47.7
後 鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 3t	751.4	327.9	215.4	66.9	27.3
第 資 材 無 施 用	425.2	68.2	126.3	58.4	30.1
8 稲 わ ら 1t	421.9	75.7	120.2	63.3	44.9
作 乾 燥 牛 ふ ん 3t	586.7	198.8	151.3	59.4	72.2
後 鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 3t	840.5	484.0	131.3	50.9	70.7
第 資 材 無 施 用	446.7	76.4	93.6	81.0	23.1
9 稲 わ ら 1t	462.7	83.2	88.5	97.5	29.8
作 乾 燥 牛 ふ ん 3t	686.0	246.0	175.8	96.7	53.2
後 鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 3t	1,005.1	554.5	140.6	72.1	29.8

結 果

1. 集積リン酸の形態比較

全リン酸は作付回数が増えるとともに増加し、試験開始前には348.3mgであったが、第9作終了時には資材無施用区および稲わら1t施用区で450mg前後、牛ふん3

t施用区で686.0mg、鶏ふんオガクズ堆肥3t施用区で1005.1mgに達した(第2表)。

形態別では、とくにCa型リン酸の増加が著しく、第9作終了時には鶏ふんオガクズ堆肥3t施用区では554.5mgにまで上昇した。また、Al型リン酸はCa型リン酸に比べて増加量が少なく、牛ふん3t区で175.8mg、鶏ふん

第3表 浸出法の違いによる集積リン酸溶出量の比較(第9作後、 P_2O_5 mg/100 g)Table 3. Comparison of exduted phosphorus quantities by several exduting methods after 9th cultivation. (P_2O_5 mg/100 g)

処 理 (t/10a)	Troug	Olsen	IN- CH_3COONH_4 (pH7.0)	IN-NaCl (pH7.0)	水溶性 (1:5)	水溶性 (1:40)
試 験 開 始 前	20.2	7.2	-	-	1.76	-
資 材 無 施 用	71.0	42.0	6.18	5.41	6.23	10.54
稲 わ ら 0.5t	60.7	38.2	5.22	5.54	5.10	10.28
1t	75.2	39.6	8.37	6.62	5.69	11.31
小 麦 稈 0.5t	63.3	38.7	4.53	5.14	5.49	9.94
1t	73.5	39.8	5.76	6.48	5.64	12.16
スイートコーン残渣0.5t	59.8	45.4	5.90	6.62	6.97	12.68
乾 燥 牛 ふ ん 1t	129.9	54.6	24.28	23.26	13.62	23.98
2t	144.5	60.4	36.50	37.46	18.00	31.86
3t	210.3	72.9	62.56	69.08	26.27	46.42
鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 1t	284.7	53.1	47.61	23.94	12.15	20.90
2t	341.1	55.4	54.33	24.74	10.45	21.24
3t	441.1	60.4	68.05	35.28	13.19	25.70
鶏 ふ ん バ ー ク 1t	113.7	43.8	11.11	10.54	7.14	14.56
2t	219.7	50.3	21.95	18.52	10.35	19.36
3t	254.8	52.3	26.89	20.28	10.79	20.21

オガクズ3t区で140.6mgとやや高かった。Fe型リン酸も増加したが、資材間差は認められなかった。一方、有機態リン酸は牛ふん施用区で高く、さらに第8作終了時の冬作で第6作あるいは第9作終了時の夏作より高い傾向を示した(第2表)。

2. 浸出法の違いによる溶出量の差

可給態リン酸は牛ふん、鶏ふんオガクズおよびパーク堆肥の施用で著しく高く、第9作終了時には Troug 法では牛ふん3t区が210.3mg、鶏ふんオガクズ堆肥3t区が441.1mg、鶏ふんパーク堆肥3t施用区では254.8mg、Olsen 法では、牛ふん3t区では72.9mg、鶏ふんオガクズ堆肥3t区では60.4mg、鶏ふんパーク堆肥3t区では52.3mgに達した。いずれの分析法においても資材施用量の増加にともない、リン酸は増加した(第3表)。

1N酢酸アンモニウム溶出性リン酸も牛ふん、鶏ふんオガクズおよびパーク堆肥で高く、第9作終了時には牛ふん3t区は62.6mg、鶏ふんオガクズ堆肥3t区は68.1mgであった。また、1N塩化ナトリウム溶出性リン酸は1N酢酸アンモニウム溶出性リン酸とほぼ同じ値を示した(第3表)。

水溶性リン酸は浸出比率が大きくなると、溶出量が増加した。いずれの浸出比率においても、牛ふん施用区が最も高い値を示し、第9作終了時には、牛ふん3t区で

は浸出比率1:5で同じく26.3、同じく1:40で46.4mgであった(第3表)。

いずれの浸出法においても、稲わら等の作物残渣施用区と資材無施用ではほぼ同じ値を示した。

3. Ca型リン酸量に対する各浸出法別リン酸量の比較

Troug リン酸はCa型リン酸のほぼ85~90%にあたり(第4表)、両者には強い相関関係が認められた(第1図)。

また、Troug およびOlsen 法では資材施用量の増加にともない、Ca型リン酸に対する比率が低下した。その他の浸出法では牛ふん施用区を除いて、同様の傾向を示した。資材別にみると、いずれの浸出法においても牛ふん施用区は溶出率が高く、鶏ふんオガクズ堆肥施用区では低かった(第4表)。

4. 各浸出液中の溶出塩基量

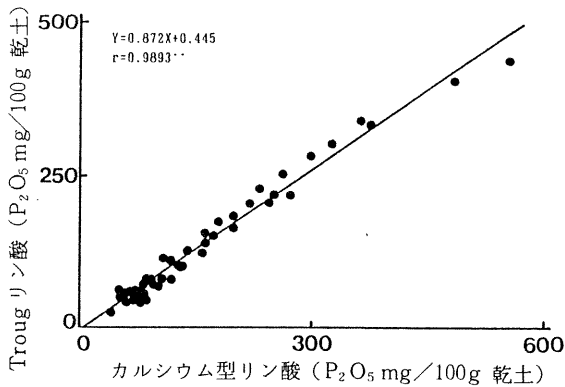
リン酸溶出量はいずれの浸出法においても、総溶出塩基量の増加にともなって増加した。また Troug 法ではカルシウムとの相関が高く、水浸出法、1N酢酸アンモニウム浸出法などではカリウムあるいはマグネシウムとの相関が高かった(第5表)。

資材別では、乾燥牛ふん施用区ではいずれの分析法で

第4表 土壌のpH及びCa-Pに対する各浸出法による溶出リン酸量の比率(%,第9作跡)

Table 4. Soil pH and exduted phosphorus ratio to Ca-p by several exduting methods after 9th cultivation.

処 理 (t/10a)	pH	Troug	Olsen	1N-CH ₃ COONH ₄ (pH7.0)	水溶性 (1:5)	水溶性 (1:40)
資 材 無 施 用	5.92	92.9	55.0	8.08	8.15	13.79
稲 わ ら 0.5t	6.19	93.8	59.0	8.07	7.88	15.89
1t	6.32	90.4	47.6	6.84	6.84	13.59
小 麦 稈 0.5t	6.11	90.0	55.0	6.44	7.81	14.14
1t	6.12	83.3	45.1	6.53	6.39	13.79
スイートコーン残渣0.5t	5.75	76.5	58.1	7.54	8.91	16.21
乾 燥 牛 ふ ん 1t	6.04	93.3	39.2	17.43	9.78	17.21
2t	5.96	88.5	37.0	22.37	11.03	19.52
3t	5.99	85.5	29.6	25.43	10.68	18.87
鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 1t	7.20	96.6	17.9	16.00	4.09	7.03
2t	7.32	93.8	15.2	14.95	2.87	5.84
3t	7.31	79.5	10.9	12.27	2.38	4.63
鶏 ふ ん パ ー ク 1t	6.39	96.8	37.3	9.46	6.08	12.39
2t	6.32	86.8	19.9	8.68	4.09	7.65
3t	6.47	97.0	19.9	10.23	4.11	7.69



第1図 カルシウム型リン酸とTroughリン酸の関係
Fig 1 Relationship between Ca-P and Trough-P

もカリウムあるいはマグネシウムが、鶏ふんオガクズ堆肥あるいはパーク堆肥施用区ではカルシウムの溶出量が多かった（第6表）。

5. pH別の溶出特性

pH3での溶出量は資材無施用区では63.0mg、稲わら1t区では61.0mg、牛ふん3t区では190.1mg、鶏ふんオガクズ堆肥3t区では516.2mgであった。Ca型リン酸に占める割合はそれぞれ71.5%、73.3%、77.3%、93.1%で低pH域における溶出率は鶏ふんオガクズ堆肥3tで高かった。しかしながら、pH6.5では牛ふん3t区で25.6%、鶏ふんオガクズ堆肥2t区で17%であり、pH6.5以上では鶏ふんオガクズ堆肥区の溶出率は極めて低くなった（第2図）。

第5表 各浸出液中の塩基と溶出リン酸量の関係

Table 5 Correlations coefficients between bases of each exudates and soluble phosphorus

	Troughリン酸	Olsenリン酸	水溶性リン酸 (1:40)	1N酢酸アンモニウム可溶リン酸
Ca (me)	0.9696**	0.2362	0.7432**	0.8351**
Mg (me)	0.7294**	0.9394**	0.9479**	0.9068**
K (me)	0.5380*	0.8222**	0.9786**	0.8079**
Total (me)	0.9870**	0.8292**	0.9657**	0.9405**

** 1%水準で有意

* 5%水準で有意

第6表 各浸出法による溶出塩基量 (me/100g 乾土)

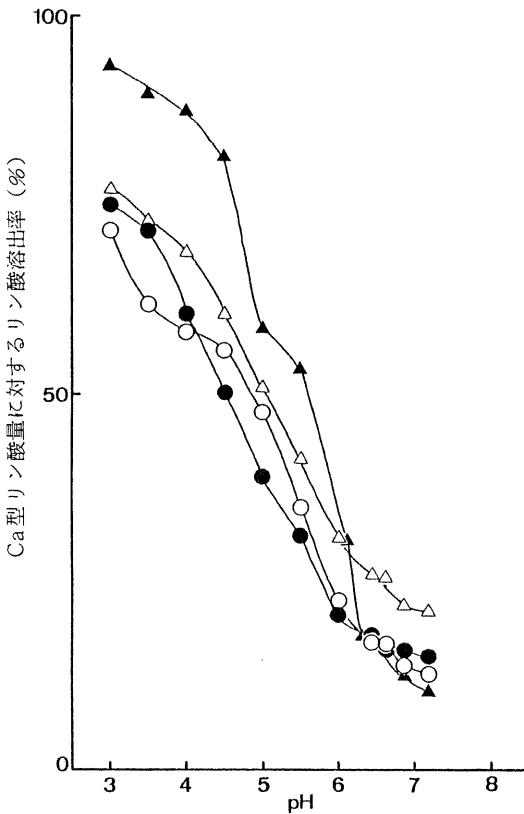
Table 6 Soluble bases by several exuding methods (me/100g D.S.)

処 理 (t/10a)	Trough法			1N-CH ₃ COONH ₄ (pH7.0)			水溶性 (1:40)		
	CaO	MgO	K ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O
資 材 無 施 用	7.34	1.23	0.59	6.82	1.13	0.49	0.23	0.10	0.18
稲 わ ら 0.5 t	7.44	1.44	0.75	7.47	1.38	0.64	0.17	0.08	0.20
1 t	8.30	1.70	0.95	7.33	1.51	0.79	0.19	0.10	0.31
小 麦 稈 0.5 t	6.83	1.36	0.75	6.67	1.22	0.65	0.17	0.06	0.24
1 t	7.53	1.52	1.02	7.21	1.36	0.87	0.30	0.13	0.39
スイートコーン残渣 0.5 t	6.27	1.06	1.09	6.47	0.98	1.00	0.15	0.05	0.36
乾 燥 牛 ふ ん 1 t	8.92	2.27	1.44	8.24	2.27	1.41	0.32	0.22	0.61
2 t	9.13	2.71	2.09	9.00	2.89	2.16	0.47	0.39	1.05
3 t	11.50	3.27	2.64	9.85	3.71	2.74	0.56	0.53	1.40
鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 1 t	21.12	2.34	1.52	12.69	2.19	1.81	0.33	0.18	0.67
2 t	23.64	2.52	1.46	14.97	2.54	1.45	0.44	0.20	0.66
3 t	26.75	2.99	1.64	15.08	3.01	1.59	0.41	0.25	0.73
鶏 ふ ん パ ー ク 1 t	11.38	1.43	0.87	8.86	1.28	0.67	0.26	0.09	0.29
2 t	17.31	2.16	1.17	11.33	2.15	0.85	0.59	0.28	0.44
3 t	20.32	2.54	1.31	12.32	2.41	1.15	0.55	0.29	0.61

第7表 各土壌が1/5M酢酸緩衝液のpHに与える影響

Table 7 pH of 1/5M acetate buffer as affected by each examined soil.

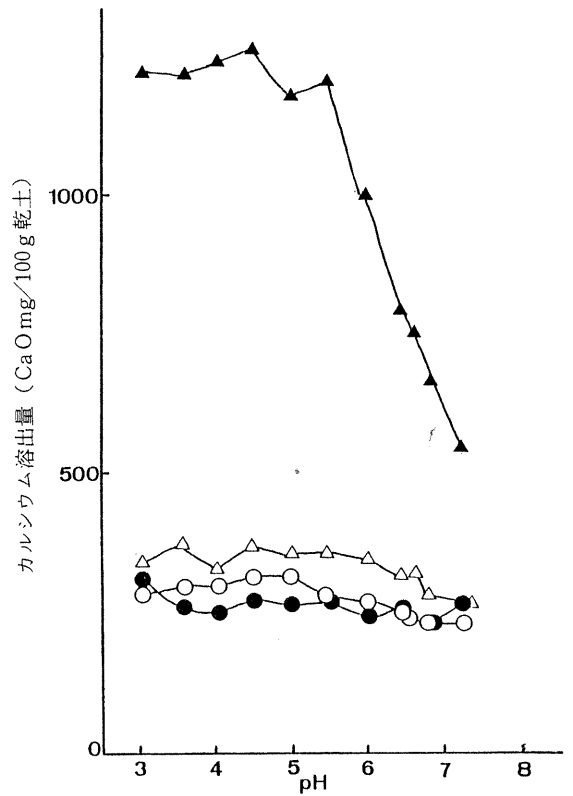
原液	3.06	3.53	4.03	4.51	5.00	5.46	6.02	6.47	6.53	6.82	7.24
資材無施用	3.14	3.58	4.05	4.51	5.01	5.46	6.01	6.42	6.51	6.80	7.17
稲わら 1t	3.17	3.57	4.03	4.51	5.00	5.47	6.01	6.42	6.51	6.79	7.16
乾燥牛ふん 3t	3.19	3.58	4.05	4.51	5.00	5.47	6.02	6.43	6.51	6.78	7.12
オガズ鶏ふん 3t	3.39	3.67	4.09	4.54	5.03	5.52	6.14	6.68	6.79	7.24	7.66



第2図 1/5M酢酸緩衝液によるpH別リン酸溶出特性 (○資材無施用 ●稲わら 1t/10a △乾燥牛ふん 3t ▲鶏ふんオガズ堆肥 3t)

Fig. 2 Solving properties of accumulated phosphorous with pH changed 1/5M Acetate buffers.

(○None-Control ●Rice straw 1t/10a
△Cow feces 3t ▲Saw dust manure com-
posted with chickin waste 3t)



第3図 1/5M酢酸緩衝液によるpH別カルシウム溶出特性

(○資材無施用 ●稲わら 1t/10a △乾燥牛ふん 3t ▲鶏ふんオガズ堆肥 3t)

Fig. 3 Solving properties of calsiium with pH changed 1/5M Acetate buffers.

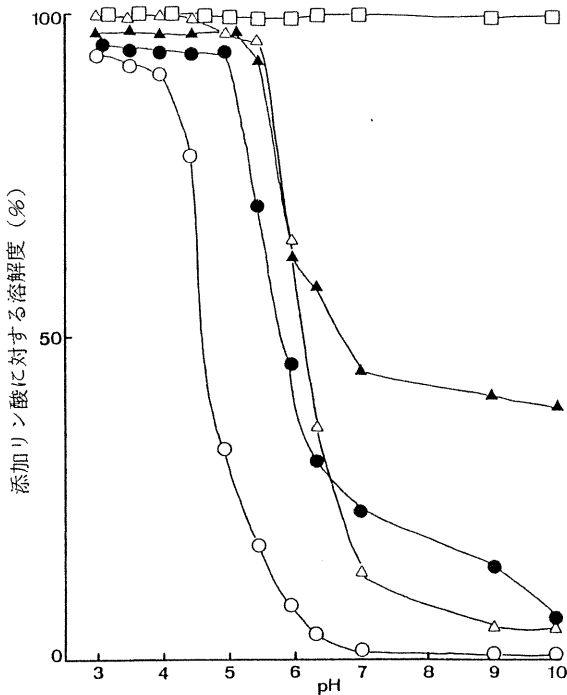
(○None-Control ●Rice straw 1t/10a
△Cow feces 3t ▲Saw dust manure com-
posted with chickin waste 3t)

浸出液のpHは鶏ふんオガズ堆肥 3t 施用で、原液のpHを大きく上回ったが、その他ではほぼ原液に等しい値を示した (第7表)。

カルシウム溶出量は鶏ふんオガズ 3t 区で著しく多く、pH同様その他の資材では差はなかった (第3図)。

6. 各種リン酸塩の溶解特性

第3リン酸カルシウム、第2リン酸カルシウム、第3



第4図 1/5M酢酸緩衝液によるpH別のリン酸塩溶解特性
 (○第3リン酸カルシウム ●第2リン酸カルシウム △第3リン酸マグネシウム ▲第2リン酸マグネシウム □第3リン酸カリウム)

Fig. 4 Solving properties of phosphoric salts with pH changed 1/5M Acetate buffers.
 (○Calsium Phosphate, Tribasic ●Calciuum Phosphate, Dibasic △Magnesium Phosphate, Tribasic ▲Magnesium Phosphate, Dibasic □Potasium Phosphate, Tribasic)

リン酸マグネシウム、第2リン酸マグネシウムのいずれもpH3~4までは90%以上の溶出を見たがpHが上昇するにつれ溶出率が低下し、pH7では2%、25%、15%、45%、pH9では同じく約0%、15%、5%、42%となり第3リン酸カルシウムの溶出率の低下が最も大きかった。それに対して第3リン酸カリウムでは全域ではほぼ100%の溶出率を示した(第4図)。

7. 集積リン酸の吸収量の比較

乾物当りのリン含有率は牛ふん区が1.32%と最も高く、鶏ふんオガクズ堆肥区が次いだ。稲わら区、資材無施用区ではほとんど変わらなかった。リン吸収量も牛ふん区でポット当り260.7mgと最も高かった(第8表)。

供試土壌の各浸出法によるリン酸溶出量とリン酸吸収量の関係では、水溶性リン酸(1:5)が最も相関が高かった(第9表)。

第8表 ホウレンソウの乾物重(g/pot)およびリン含有率、吸収量

Table 8 Dry weights of spinach(g/pot), phosphorus contents and absorption quantities.

処 理 (t/10a)	乾物重 (g/pot)	リン含有率 P (%)	リン吸収量 P (mg/pot)
資 材 無 施 用	7.63	0.63	48.0
稲 わ ら 1 t	10.55	0.65	68.7
乾 燥 牛 ふ ん 3 t	19.76	1.32	260.7
鶏 ふ ん オ ガ ク ズ 3 t	12.65	0.90	117.0

考 察

集積リン酸を形態別に比較すると、全リン酸、Ca型リン酸は顕著に増加したが、有機態リン酸、Al型、Fe型の増加量は比較的少なかった。また、集積の著しい牛ふ

第9表 ホウレンソウのリン酸吸収量と各測定法別土壌リン酸量との相関係数

Table 9 Correlation coefficients between phosphorous absorption and soil phosphorous

	Troug法	Olsen法	水溶性(1:5)	水溶性(1:40)	1N-CH ₃ COONH ₄
リン酸吸収量	0.3252	0.9367	0.9936 **	0.9885 *	0.7439

** 1%水準で有意
 * 5%水準で有意

ん、鶏ふんオガクズおよびバーク堆肥の施用に対し、稲わら等のイネ科作物の残渣施用では、集積リン酸は資材のリン酸含有率や形態別構成からみても資材無施用とほぼ変わらず、概ね施肥リン酸に由来するものと考えられる。

一般に、家畜ふんおよびその堆肥の施用によって全リン酸は増加するが^{15) 18) 24)}、有機態は少なく無機態リン酸の中でもAl型が増加するとされている⁴⁾。しかしながら、これらの多くは火山灰土壌での知見であり、本試験のような鉍質土壌での結果とは異なるものと考えられる。例は少ないが、家畜ふんの施用によりCa型リン酸が増加することは近藤ら⁶⁾、宮崎ら⁹⁾によっても報告されている。また、いずれの処理においてもTroughリン酸はCa型リン酸に対してほぼ90%弱の値を示し、他の例からもほぼCa型リン酸に相当するものと考えられ^{20) 23)}、前報²²⁾で述べたTroughリン酸の増加はCa型リン酸の増加と置き換えることができる。

Ca型リン酸は、本試験で使用した江川・関谷法²⁰⁾では2.5%酢酸可溶性リン酸をもってあてることから、ほぼハイドロキシアパタイト様リン酸であるとされる²⁵⁾。施肥にともない多くのアパタイト系列の塩が生成されることが認められており^{7) 19)}、本試験で用いた他の浸出法についてもその浸出液の構成からみて、これらの塩の一部が溶解度の差に応じて溶出しているものと考えられる。各浸出法による溶出量のCa型リン酸に対する比率は施用資材によって異なり、牛ふん施用で高く、鶏ふんオガクズ堆肥施用では明らかに低い。さらに牛ふん施用では施用量の増加にともないTroughあるいはOlsen法では溶出率は低下するが、その他の方法では施用量とともに増加した。しかし、他の資材、とくに鶏ふんオガクズ堆肥では、いずれの浸出法においても、施用量が増加すると溶出比率は明らかに低下した。アパタイト系列のリン酸塩は、pHの上昇により溶解度が低下することが知られている。土壌のpH (第4表)、溶解特性の調査に使用した1/5M酢酸緩衝液のpH変化およびカルシウム溶出量等から、リン酸溶出量は、土壌中に集積したカルシウム等の塩類による浸出液(緩衝液)のpHの上昇の影響が大きいと考えられる。しかしながら、牛ふん施用土壌ではpHの上昇が低く、またそのリン酸集積量に比してカルシウム溶出量が少ないうえ、pHを変えてもほぼ一定であることから、より溶解度が高い塩の比率が高いと推定される。

ここで、施用資材により最も溶出量が特徴的な傾向を示す水溶性リン酸とTroughリン酸を比較すると、その相関係数は1:5浸出($r=0.33$)よりも1:40浸出($r=0.46$)で高い。浸出比率が高くなると100g乾土あたりの溶出

第10表 吉川らの方法による水溶性リン酸の推定最大溶出量(9作収量後)

Table 10 Estimated maximum quality of water-soluble phosphorus by Yoshikawa's methods. (after 9th cropping)

	資材 無施用	稲わら 1t	牛ふん 3t	オガクズ 鶏ふん3t
最大溶出量 (P_2O_5 mg/100g乾土)	11.68	13.16	52.30	29.74

量が増加し、Troughリン酸との相関も強くなることが報告されているが⁸⁾、浸出比率が増大すると、難溶性塩であっても溶解量そのものは増加し、またリン酸塩以外の集積塩の影響も少なくなる。そこで、吉川らの方法²⁷⁾に従い第9作終了時の土壌の水溶性リン酸の値から、その推定最大溶出量を求めると、Ca型リン酸の集積量にもかかわらず、牛ふん3t区では52.3mg、と鶏ふんオガクズ堆肥3t区では29.7mgに対して約2倍量の溶出の可能性がある(第10表)。さらに、いずれの浸出法においても総溶出塩基量とリン酸溶出量には強い関係が認められるが、Troughリン酸は主として浸出液中のカルシウムと、水溶性リン酸はカリウムとの相関が高く、また、その他の浸出法を含めて、牛ふん施用土壌では浸出液中にカリウムが多く、鶏ふん入りオガクズ堆肥施用土壌ではとくにカルシウムが多い(第5表)。また、鶏ふんオガクズ堆肥区では、低pH域では溶解度が高いが、高pH域では急激に低下し、ほぼハイドロキシアパタイト様であるとされる第3リン酸カルシウム¹¹⁾の溶解特性に似た傾向を示した。しかし、牛ふん施用区では高pH域での溶解度の低下が最も少なく、他の資材と比較しても、より溶解度の高い塩が多いことを示している。

これらのことから、牛ふんと鶏ふんオガクズ堆肥施用土壌では、土壌酸度の影響の他に集積したCa型リン酸中の易溶性および難溶性塩の構成比の違いが溶出率の違いとして表れたものと考えられる。有機質資材の施用土壌では、リン酸の溶出は有機物のキレート作用による随伴塩基の離脱によっても促進されるが、牛ふん連用土壌のように高リン酸で、塩基類が過飽和、とくにカリ飽和度が高い状態では、カルシウム塩だけではなく、より水に易溶な塩を多く含んでいることも想定される。

さらに、牛ふん施用土壌では鶏ふんオガクズ堆肥施用土壌に比べて、全リン酸、Ca型リン酸が少なく、Al型等の難溶性リン酸が多いにも関わらず、ハウレンソウのリン酸吸収量が優った。また、土壌リン酸の各種の浸出法を比較すると、リン酸吸収量は水溶性リン酸との相関

が最も高く、さらに低い浸出比率でより高い相関が得られた。ハウレンソウのリン酸要求度は比較的高いとされているが²¹⁾、吉倉らは現地調査の結果、その生育は可給態リン酸よりも、むしろ水溶性リン酸量との間に強い関係があることを述べており²⁸⁾、本試験の結果もこれを裏付けるものであろう。

しかし、本試験に使用した鶏ふんは採卵鶏のもので、飼料にはリン酸カルシウムがかなり添加されていると推定されるが³⁾、pH別の溶解度を見る限り、pHを若干低下させるだけで利用率は大きく向上するものと考えられる。

現在、集積リン酸の再利用対策は、その効果が不安定なこともあり、効率的な方法は具体化されていない。本試験のような同一土壌、同一作付体系においても、施用資材によって集積リン酸の個々の特性は異なり、これらを考慮しない限り、様々な来歴を持つ集積リン酸の効率的利用法の策定は困難であろう。

さらに、現在一般的に使用されているTroughリン酸はその資源としての可給量の大きさを示す尺度として考えられるべきであり、高集積土壌での可給化度の比較は、むしろ水溶性リン酸で比較検討するのが妥当と考えられる。しかもその浸出比率が小さければ小さいほど、その土壌の現状に近づくものと思われ、今後、このような土壌診断基準値の策定が急がれる。

摘 要

各種の有機質資材の連用により集積したリン酸の特性について検討した。

1. 全リン酸、Ca型リン酸は作付に従い著しく増加した。Al型、Fe型リン酸、有機態リン酸も増加傾向にあるものの、顕著な処理間差は認められなかった。
2. Troughリン酸はCa型リン酸に対比して一定の割合を示し、集積リン酸はCa型リン酸によるものと考えられた。
3. 各種の浸出法によるリン酸のCa型リン酸に対する割合は、乾燥牛ふん施用で高く、鶏ふんオガクズ堆肥施用で低かった。pH別の溶解度からも、通常の土壌酸度域での溶解度は牛ふん施用で高く、鶏ふんオガクズ堆肥施用区で低い傾向を示した。
4. ハウレンソウのリン酸吸収量は、牛ふん施用で高く、鶏ふんオガクズ堆肥で低かった。また、ハウレンソウのリン酸吸収量は1:5浸出の水溶性リン酸との相関が最も高く、本試験で用いたようなリン酸の高集積土壌では可給態度は水浸出法で比較されるべきであると

考えられた。

5. pH別の溶解特性から、利用率の低い鶏ふんオガクズ堆肥施用でも、土壌のpHを若干下げるだけで利用率を大幅に向上できるものと考えられた。

引用文献

1. 江川友治. 1980. 土壌有機りんに関する研究(第1報)火山灰中の有機りんの含量. 明大農学部研報. 52: 55-68.
2. ————. 1985. 土壌りんに関する研究の現状. 農及園. 61: 361-367.
3. 藤原俊六朗. 1988. 鶏糞. 伊達 昇編, 「有機質肥料と微生物資材」, 農文協. pp 47-48.
4. 橋本秀教・小浜節雄・辻 藤吾. 1971. 腐植質火山灰土壌における厩肥連用の効果. 九農試報, 22: 259-320.
5. 林田至人. 1986. 家畜ふん尿等によるりんの循環利用とその効率. 農林水産技術会議・農環研編, 「土壌蓄積りんの再生・循環利用」. pp 144-156.
6. 近藤秀雄・原 楨紀. 1983. 採草地における液状厩肥の施用効果. 北農試研報. 138: 31-49.
7. Lindsay, W. L., A. W. Frazier and H.F. Stephenon: 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizer in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 446-452.
8. 松本泰彦・須長文雄・山田正幸. 1984. 土壌中の可給態及び水溶性リン酸の測定条件. 群馬農業研究. A 1: 35-40.
9. 宮崎 孝・五島一成. 1978. 家畜ふん尿ならびに各種有機質資材の肥料的利用に関する調査研究. 豚ふんの連年多施用が畑土壌の理化学性に及ぼす影響. 九農試研報. 40: 125-126.
10. 本松輝久・建部雅子. 1986. 作物残渣のりんの循環的利用. 農林水産技術会議・農環研編, 「土壌蓄積りんの再生・循環利用」. pp 125-135.
11. 中村輝雄・安藤淳平・渡辺光昭. 1959. リン酸三石灰水和物の構造と溶解性. 土肥誌. 29: 457-460.
12. 南条正巳. 1986. 化学的機能活用による土壌蓄積りんの有効化. 農林水産技術会議・農環研編, 「土壌蓄積りんの再生・循環利用」. 43-56.
13. 西尾道徳・木村龍介. 1986. リン溶解菌とその農業利用の可能性・土と微生物. 28: 31-40.
14. 野中昌法. 1990. VA菌根菌. 農研センター編「農業有用微生物」. pp 476-490.

15. 大橋恭一・岡本将宏. 1985. 野菜の養分吸収と土壌の化学性に及ぼす影響. 土肥誌. 56: 378-383.
16. ———. 1978. 蓄積りん酸を異にする厩肥連用露地畑における野菜の収量とりん酸の施用効果. 土肥誌. 58: 139-143.
17. 大橋恭一. 1987. 厩肥連用に伴う土壌リン酸とフォスフォモノエステラーゼ活性. 土肥誌. 58: 144-146.
18. 大西成長・吉田光二・佳山良正. 1984. 施肥栽培における厩肥連用が土壌の化学性に及ぼす影響. 土肥誌. 55: 311-315.
19. Sample, E.C., R.J. Soper and E.J. Kamprath: 1980. Reaction of phosphate fertilizers in soils; in The role of phosphorus in agriculture, ed. by F. E. Khasamneh, E. C. Sample and E.J. Kamprath, pp 263 - 310, Madison, Wisconsin.
20. 関谷宏三. 1978. りん酸. 土壌養分分析法委員会編「土壌養分分析法」. 養賢堂. pp 225-245.
21. 相馬 暁. 1988. 品質アップの野菜施肥. 農文協. pp 72-80.
22. 宗林 正・田中康隆. 1992. 水田輪換畑野菜作における有機物施用技術(第3報)各種有機物の連用によるハウレンソウ収量と土壌の変化. 奈良農試研報. 23: 43 - 49.
23. 津高寿和・砂野 正・田中平義. 1984. 土壌類型別のリン酸の形態. 土肥誌. 61: 98-103.
24. 山本一彦・隅田祐明・松坂泰明・矢野仁也. 1985. 各種コンポストの施用が土壌の化学性に及ぼす影響. 土肥誌. 55: 311-315.
25. 渡辺光昭・加藤直人. 1983. 土壌中における施肥リン酸の動態に関する研究. 農技研肥料化学資料. 25.1.
26. 吉池昭夫. 1985. 農耕地における施用リン酸の蓄積. 土肥誌. 54: 255-261.
27. 吉川義一・吉田徹志. 1987. 土壌の水溶性リン酸の測定. 土肥誌. 58: 612-615.
28. 吉倉惇一郎・二見敬三・源 昌宏・藤井 浩. 1982. 兵庫県における主なハウレンソウ栽培産地の生産性と土壌の化学性について. 兵庫農総セ研報. 30: 23-28.