

大豆の土壤無機燐の利用からみた燐酸施肥の一考察

平 井 義 孝†

UPTAKE OF DIFFERENT FRACTIONS OF SOIL INORGANIC PHOSPHOROUS AND ITS SIGNIFICANCE IN PHOSPHATE APPLICATION IN SOYBEANS

Yoshitaka HIRAI

大豆の燐酸施肥の改善を目的として、土壤無機燐の分布とその利用性および施肥燐の土壤中における形態変化ならびに燐酸吸収、生育などに及ぼす影響について検討した。

十勝地方に広く分布する火山性土は Al 型が土壤無機燐の約80%を占め、Ca型、水溶性の高い割合を占める沖積土と対照的であった。火山性土に栽培した大豆は水溶性、Ca 型を最もよく利用したが、Al 型もかなり利用し、とくに燐酸吸収の多くなる生育後半に Al 型の利用が著しく高まった。これらのことから燐は過石に比べ、有効燐を多く維持し、大豆の燐酸肥料としてさらに有効な活用をすべきと思われた。

I 緒 論

さきの報告⁹⁾において、大豆の施肥合理化の見地から、生育過程における無機養分の吸収移行状況を調査して報告したが、その中において燐酸の吸収はほかの大量要素と同じく、生育後半に著しく吸収することを指摘し、かつその吸収量は従来いわれている燐酸肥料の吸収率から推考するならば、かなりの土壤燐に由来する燐酸を活用していることを暗示した。しかし一般には、土壤に施肥された燐酸は土壤中の活性度 Al^{III} および Fe^{III} などと結合して不溶化し、作物は容易に吸収することができず、利用性は低いものとされている。このような土壤による吸着固定は、十勝地方に広範に分布する火山性土でとくに強いことも周知のとおりである。

しかしながら、前述のように大豆の燐酸吸収において、土壤燐が利用されている可能性があり、燐酸施肥の合理化をはかるためには、土壤無機燐と大豆の燐酸吸収の関係を明らかにする必要があ

ると考えられる。

このような観点から、十勝地方における畑土壌の無機燐の形態分布と、それらが大豆の燐酸吸収にいかに関係しているかを明らかにすることを第1の目的とした。さらに施肥燐が土壤中においてどのような形態変化を示すかをあわせて調査するためにこの実験を行なった。そしてこれらの結果と、大豆の燐酸要求度に基づき、大豆の燐酸施肥に関して2・3の考察を試みた。

作物が利用できる燐酸は無機態のみでなく、有機態も利用されることが認められている^{2), 10), 11)}。しかし当地方火山性土における有機燐の含量は少なく¹²⁾、また施肥燐の有機化の割合は、残存する無機燐に比べると低いので、土壤の燐酸肥沃度に果たす有機燐の役割りは無機燐よりも低いことが予想される。したがって本報告では、CHANG および JACKSON が提唱した土壤無機燐の分別定量法を本邦土壤に適合するように修正した農技研法¹³⁾による土壤無機燐のみについて検討した。

なお本報告の概要は北農第30巻第10号に発表したことを付記する。

† 十勝支場

この調査にあたり、十勝支場長三島京治、同大豆第1
育種課長後藤寛治博士、同土壌肥料課長岩淵晴郎の各氏
に助言をいただき、報告にあたって校閲をいただいた。
また土壌無機磷の定量について根室支場奥村純一氏の助
言をいただいた。付記して感謝の意を表する。

II 試験方法

供試土壌：本調査に供試した土壌は第1表に示
す十勝地方に分布する畑土壌10点で、いずれも大
豆栽培圃から1961年8月採取したものである。

第1表 供試土壌の性質

土 壌 採 取 地	区 別	pH		腐植 %	C.E.C m.e/100 g	置換性塩基 m.e/100g					吸 収 力 mg/100 g		水分 %
		H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O	計	飽和度 %	N	P ₂ O ₅	
1 十勝支場心土	火山性土	6.04	5.64	3.16	12.0	6.3	0.3	0.2	6.8	56.8	701.4	2090.0	7.93
2 士幌町相互表土	"	5.84	5.20	7.76	18.5	12.3	0.9	0.5	13.7	74.0	543.7	1454.2	4.57
3 本別町美里別表土	"	6.18	5.32	8.06	22.1	14.2	0.5	0.4	15.1	68.4	408.1	975.8	3.62
4 鹿追町下幌内表土	"	5.90	4.90	15.29	32.6	13.6	0.4	0.1	14.1	43.2	714.6	1889.0	5.45
5 清水町御影表土	"	5.90	4.88	19.70	42.1	20.6	0.7	0.6	21.9	52.1	717.6	1790.8	5.76
6 本別町仙美里表土	沖積土	6.86	6.24	5.21	28.4	22.6	1.1	0.7	24.4	85.9	305.0	609.8	3.03
7 士幌町立正表土	"	6.16	5.60	3.88	19.4	13.3	0.7	0.7	14.7	76.0	282.9	688.0	3.88
8 池田町大森表土	"	5.54	4.74	5.72	27.8	14.0	1.4	1.4	16.8	60.5	415.5	743.8	2.58
9 幕別町相川表土	"	5.60	5.06	2.15	19.4	12.0	0.7	0.1	12.8	66.2	392.0	769.6	3.10
10 十勝支場表土	火山性土	6.12	5.54	5.52	13.9	9.2	0.4	0.5	10.1	72.8	468.2	1287.4	4.52

分析方法：土壌無機磷の分別定量は農技研法¹⁵⁾
によった。すなわち 2.5% CH₃COOH 可溶の
fraction を Ca (以下 Ca-P と略す)、N-NH₄F 可
溶の fraction を Al 型 (Al-P)、0.1 N-NaOH 可
溶の fraction を Fe 型 (Fe-P) として定量した。
なお Ca-P の抽出に先立ち、早川・奥村¹⁶⁾ が分別
した水に溶出するものもあわせて定量し、水溶型
(W-P) として定量した。磷酸の定量は塩化スズ
によって還元発色させた磷モリブデン青の比色法
によった。

作物分析は、採取後水洗いし乾燥細粉した試料
を、湿式または乾式によって磷を抽出し、ハイド
ロキノン還元剤とした磷モリブデン青の比色で
定量した。

以上各実験に共通の材料と方法についてのべた
が、栽培法などについては各項において詳述する。

III 試験結果

A 土壌無機磷と大豆の磷酸吸収の関係

実験1：ノイバウエル幼植物法による検定

方法 第1表に示した土壌のうち1～9土壌の
風乾細土 100 g を常法によってノイバウエル鉢に

充填し、大豆「コガネジロ」を10個体栽培した。
なお播種前に N 50, K₂O 100, CaO 50, MgO
50 mg/pot (それぞれ NH₄NO₃, K₂SO₄, CaCl₂, Mg
SO₄ にて施用)を施用し、これら要素の不足が磷酸
吸収を抑制しないようにした。栽培は温室内(昼
間平均気温23～25℃、夜間平均気温16～18℃)で行ない
期間は1963年1月26日に播種し、50日間栽培し
た。栽培終了時の大豆は開花始めに達した。

栽培終了と同時に、栽培跡地土壌と、別にこれ
と同一処理を施した無栽培土壌を別々に採取し風
乾して分析に供した。また作物体についても栽培
終了と同時に根・茎葉に分けて採取し分析に供し
た。

結果 上記の方法によって行なった実験の結果
は第2表および第1図に示した。

土壌無機磷の分布は、火山性土と沖積土間では
明らかな差異が認められる。すなわち、火山性土
の場合 W-P, Ca-P, Al-P および Fe-P の総量
においては耕地化している表土では、必ずしも沖
積土に比し少なくないが、その大半(約70%以上)
が Al-P として存在し、Ca-P では最も多い御影
土壌でも7%程度できわめて少なく、W-P は認

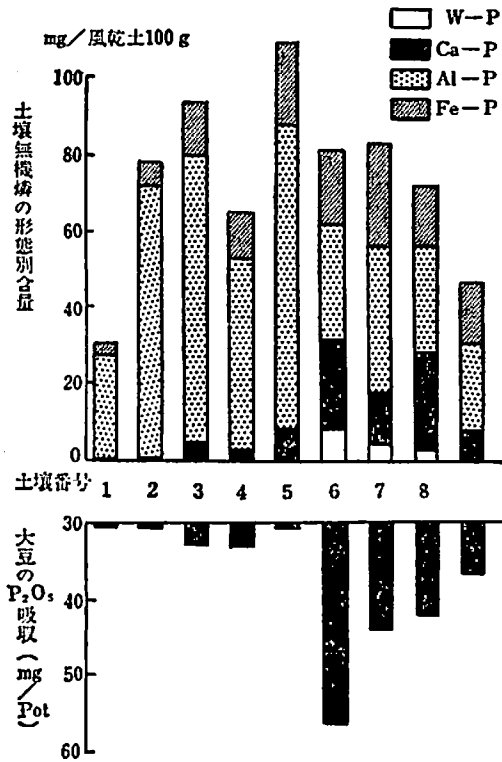
第 2 表 土壌無機磷と大豆の磷酸吸収との関係

土 壤 区 別	a) 無栽培土壌					b) 栽培土壌					作物の収量と P ₂ O ₅ の吸収							a-b mg
	土壌無機磷の fraction mg/風乾土 100 g					土壌無機磷の fraction mg/風乾土 100 g					作物の収量 (g/pot)			P ₂ O ₅ 吸収量 (mg/pot)			土より吸 収したと 考えられ るP ₂ O ₅ * (mg/pot)	
	W-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	計	W-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	計	地上部	地下部	計	地上部	地下部	計		
1 十勝支場心土	tr —	0.1 0.3	27.4 90.7	2.7 8.9	30.2 100	tr —	tr 100	26.6 2.9	2.9 —	29.5 2.4	9.1	2.9	12.0	21.8	8.4	30.2	0.1	0.7
2 士幌町相互	tr —	0.6 0.7	71.2 91.5	6.0 7.7	77.8 100	tr —	0.4 33.3	68.8 3.3	6.2 —	75.4 3.1	7.6	2.4	10.0	22.0	8.9	30.9	0.8	2.4
3 本別町美里別	tr —	3.9 4.2	75.5 81.3	13.5 14.5	92.9 100	tr —	3.5 10.2	72.0 4.6	13.5 —	89.0 4.2	8.5	2.8	11.3	23.0	10.1	33.1	3.0	3.9
4 鹿追町下幌内	tr —	2.4 3.7	50.0 77.8	11.9 18.5	64.3 100	tr —	2.4 —	47.0 3.0	11.0 0.9	60.4 3.9	8.4	2.5	10.9	25.2	8.3	33.5	3.4	3.9
5 清水町御影	tr —	7.8 7.2	79.4 73.1	21.4 19.7	108.6 100	tr —	7.0 10.2	77.7 2.1	21.3 0.4	106.0 2.4	7.5	1.9	9.4	22.5	8.4	30.9	0.9	2.6
6 本別町仙美里	7.1 8.9	27.3 34.1	27.3 34.1	18.4 23.0	80.1 100	2.1 70.4	15.1 44.6	23.1 15.3	18.6 —	58.9 26.3	10.8	3.3	14.1	38.9	17.8	56.7	26.5	21.2
7 士幌町立正	3.5 4.2	13.9 16.8	36.4 44.1	28.8 34.9	82.6 100	0.9 74.2	7.1 48.9	32.6 10.4	28.9 0.3	69.5 17.0	10.4	2.4	12.8	36.4	7.7	44.1	14.0	13.1
8 池田町大森	2.5 3.5	25.4 35.3	28.0 38.9	16.0 22.3	71.9 100	15.1 40.0	17.4 31.4	23.2 17.1	15.8 1.2	57.9 18.2	7.6	2.2	9.8	31.2	11.4	42.6	12.5	14.0
9 幕別町相川	tr —	7.6 16.4	22.6 48.8	16.1 34.8	46.3 100	tr —	5.9 22.3	21.6 4.2	16.0 0.1	43.5 6.1	9.2	1.9	11.1	30.4	6.7	37.1	7.0	2.8

備考 無栽培土壌の下欄は合計を 100 とした各 fraction の割合、栽培土壌の下欄は減少量の無栽培含量に対する割合 (減少率)

* 種子の平均粒重 242 mg, P_2O_5 1 粒当たり 1.38%, 移行率 90%¹⁰⁾ によって算出された供給量は pot 当たり 30.1 mg となる。

第1図 大豆の磷酸吸収と土壤無機磷との関係

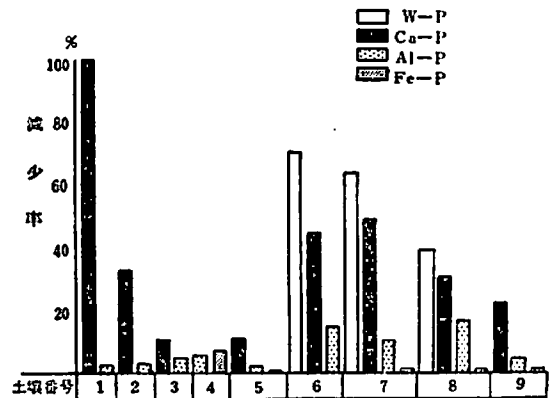


められなかった。これに対し沖積土では Al-P の占める割合は最も高かった相川土壌で約49%であり、これと対照的に、Ca-P, W-P の占める割合が高まっていた。Fe-P については、沖積土が多い結果を示したが、最高で35%程度であった。

以上の土壤無機磷の分布を示す土壌をノイバウエル幼植物法によって大豆を栽培し、その磷酸吸収との関係について調査した結果は第2表および第1図下段に示したとおり、沖積土の各土壌が火山性土よりも明らかに多量の磷酸を吸収している。

栽培跡地土壌の無機磷は無栽培土壌より少なくなっているが、その減少は火山性土の場合は Al-P が、また沖積土においては Ca-P がそれぞれ最も多い減少を示した。無栽培土の各 fraction 含量に対する大豆栽培による減少量を、栽培による各 fraction の減少率として算出すると第2表および第2図のとおりである。これによれば、W-P の存在した沖積土では、W-P が最も多く、ついで Ca-P で、この2つの fraction がとくに減少率が

第2図 大豆の栽培による土壤無機磷の減少率



顕著であった。一方火山性土では、W-P の存在は認められないが、Ca-P が最も高い減少率を示す結果であった。しかし Al-P の減少も若干認められ、とくに沖積土にその傾向が強く、最も顕著であった大森土壌では18%の減少率であった。また Fe-P については各土壌ともほとんど栽培による減少はみられなかった。しかし下幌内土壌の場合はこのような傾向に反し、Ca-P の減少は認められず、逆に Fe-P の減少率が高い値を示し、ほかの土壌と異なった反応を示したが、その理由については明らかでない。

実験2：大豆の生育時期による磷酸の吸収と、土壤無機磷の減少

方法 a/2,000 a ワグナーポットに支場表土 (10土壌) および支場心土 (1土壌) の未風乾土 11 kg を充填し、1962年5月23日大豆「コガネシロ」を播種し2本立てとして栽培した。施肥は N 0.4 (硫酸), P₂O₅ 2.0 (過石), K₂O 2.0 (硫酸), MgO 1.0 (硫酸) g/pot である。

播種後30日目、同60日目および収穫期(9月26日)に作物および根圏付近の土壌を採取し、それぞれ風乾して分析に供した。なお同様な処理を行なった無栽培土壌からも各時期に試料を採取し分析した。

結果 実験1においては生育前半における土壤無機磷の利用について検討を加えたものであったが、さらに生育の全期にわたって調査することを目的として実験2を行なったわけである。その結果は第3表および第3図に示すとおりである。

第 3 表 大豆の生育時期別磷酸の吸収量と、土壌無機磷の変化

土壌別	生育区分	a) 無栽培土壌 mg/乾土 100 g					b) 栽培土壌 mg/乾土 100 g					a-b	大豆の P ₂ O ₅ 吸収量*
		W-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	計	W-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	計		
支場表土	播種後30日目	0.2	5.9	107.2	16.6	129.9	tr (100)	5.2 (12)	105.9 (1)	16.7 (—)	127.8 (2)	2.1	5.3
	" 60日目	0.2	5.4	104.7	16.6	126.9	tr (100)	4.8 (12)	102.2 (2)	16.7 (—)	123.7 (3)	3.2	120.8
	収穫期	0.5	5.4	105.9	16.7	128.5	tr (100)	3.5 (35)	90.5 (15)	16.7 (—)	111.7 (13)	16.8	635.8
支場心土	播種後30日目	tr	1.3	101.3	9.5	112.1	tr (—)	1.1 (15)	99.7 (2)	9.2 (3)	110.0 (2)	2.1	5.1
	" 60日目	tr	1.3	101.7	8.8	111.8	tr (—)	0.9 (31)	99.1 (3)	8.8 (—)	108.8 (3)	3.0	105.3
	収穫期	tr	1.1	102.5	7.9	111.5	tr (—)	0.2 (82)	85.4 (22)	6.4 (19)	92.0 (17)	19.5	368.6

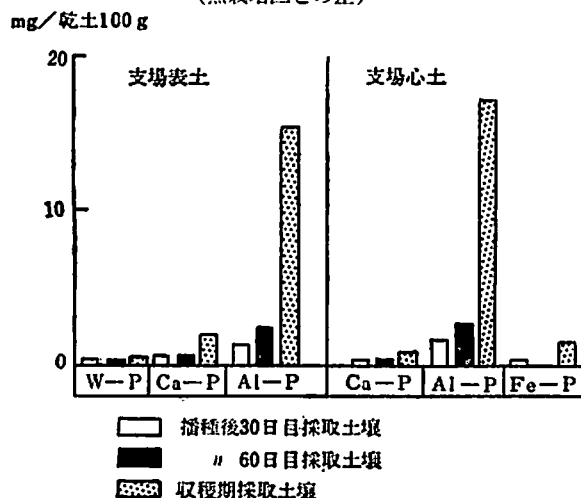
注) () 内数値は栽培による減少率を示し、 $\frac{\text{無栽培土の含量} - \text{栽培土の含量}}{\text{無栽培土の含量}} \times 100$ である。

* P₂O₅ の吸収量は30日目は地上部のみ、60日目は地上部+根、収穫期は莢+子実でいずれも mg/pot で示した。

これによれば、大豆の磷酸吸収量は播種後60日目(開花盛期)以後において急速な増加を示し、収穫ときにはそれまでの吸収量に対し、表土では約5倍、心土では約3.5倍に達した。

播種後30日目、同60日目および収穫後の土壌無機磷の栽培による減少量は、図示したように、量的には各時期とも Al-P が最も多く、ことに大豆の磷酸吸収が顕著に増加する播種後60日目～収穫期においては、減少した土壌無機磷の約90%を占

第 3 図 大豆生育時期による土壌無機磷の減少量 (無栽培区との差)



めるほど多量であった。したがってこの期間に吸収する磷酸の大部分は Al-P と考えられる。

しかし、栽培による減少率は必ずしも減少量と比例することなく、Al-P は W-P および Ca-P よりも低く、最も減少量の大きい生育の後半における減少率で表土15%、心土22%を示し、同期の Ca-P の表土35%、心土82%に比較するとかなり低いものであった。

以上の結果は、実験1における火山性土の結果と類似し、W-P および Ca-P のような易溶性 fraction の含量が少ない火山性土の場合、Al-P がかなり利用されているが、減少率から可給度を推定すれば W-P > Ca-P > Al-P > Fe-P の順位であると思われる。

B 施肥磷の土壌中における形態変化

方法 100 cc 容三角コルベンに当場表土(10土壌)および当場心土(1土壌)の風乾細土 20 g を入れ過石および熔磷で P₂O₅ として 100 mg 添加し、よく混合したのち脱塩水 15 cc を加えて25°Cの恒温器内にて incubate した。所定の日数が経過後コルベンより土壌を取り出し、風乾して土壌無機磷の分別定量を行なったが、Fe-P は作物への可給度が低いので定量は省略した。なお施肥後0日は注水1時間後に土壌を取り出し風乾したもので

ある。

結果 土壌無機磷の定量結果は第4表および第4図に示したとおり、施肥磷の大部分は処理1時間後すでに Al-P に移行している。その量は過石が熔磷に比べて多く、また土質的には磷酸固定力の強い心土において顕著に多い結果を示した。

W-P は両肥料処理とも心土において少なく、本実験のように土壌に対する磷酸の割合がきわめて高い場合においても、表土では施肥磷の4%以下、また心土では2%以下であって、普通圃場に施用される程度の磷酸量では、当场表土、心土とも W-P の存在は、微量であると思われる。

第4表 施肥磷の土壌中における形態変化

土壌	経過日数	過石				熔磷			
		W-P	Ca-P	Al-P	計	W-P	Ca-P	Al-P	計
支場表土	0	9.4	41.9	322.3	373.6	3.6	215.1	184.3	403.0
	10	18.2	92.3	251.5	362.0	12.0	172.6	188.5	373.1
	30	17.0	107.5	260.8	385.3	11.1	168.5	210.7	390.3
	50	13.9	86.7	298.6	399.2	7.6	141.3	236.9	385.8
	80	15.3	96.6	294.5	406.4	10.4	160.8	233.0	404.2
支場心土	0	16.1	96.6	296.6	409.3	13.8	155.4	230.7	399.5
	10	0.9	1.7	370.1	377.7	2.5	65.7	362.8	431.0
	30	3.9	21.1	388.2	413.2	8.7	59.0	348.5	416.2
	50	3.5	33.4	344.0	380.9	9.4	58.0	307.8	375.2
	80	1.9	28.2	356.1	386.2	8.9	43.0	310.0	361.9
心土	0	1.3	21.7	353.4	376.4	8.1	49.4	332.8	390.3
	10	tr	16.5	372.1	388.6	9.2	45.8	314.3	369.3

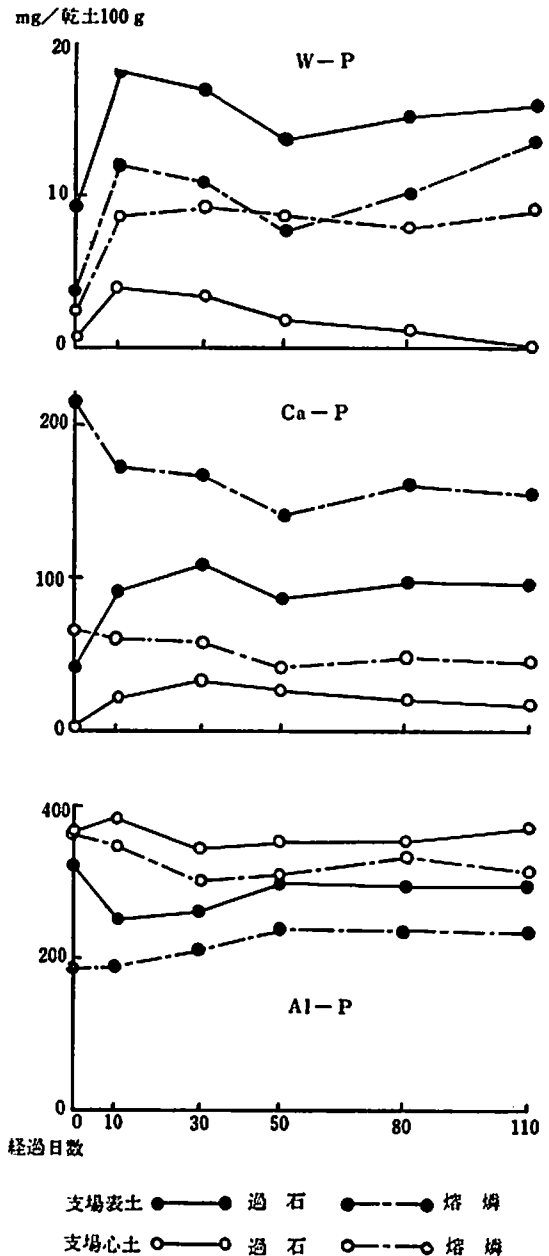
各 fraction とも、無磷の値を差引いた量で乾土 100 g 当り mg

また Ca-P の含量は、W-P 同様心土は表土に比しかなり低く、肥料的には両土壌とも熔磷処理が過石処理よりも多かった。

施肥後における各 fraction の推移は、W-P の場合10日目までに上昇し、この時期をピークとして過石処理では減少してゆくが、熔磷処理の場合は過石処理ほど明らかな下降推移を示さず、経時の変化は少なかった。Ca-P の推移は両土壌とも10日目以後において変化少なく、また Al-P についても同様な推移が認められた。

第4表に示したように、W-P、Ca-P および Al-P の合計は、肥料および土壌間には相異は少

第4図 施肥磷の土壌中における形態変化



なく、それらの平均は約 390 mg/乾土 100 g 程度であり、したがって Fe-P またはその他形態への移行割合は、施肥磷のおよそ22%程度と推定された。

C 過石と熔磷施用区における大豆の磷酸吸収と生育の相違

方法 第1表に示した支場表土および支場心土

の末風乾土 11 kg を a/2,000 ワグナーポットに充填し、大豆「コガネジロ」を1962年5月23日播種し、1ポット2本立てで栽培した。施肥量はポット当たり N 0.4 g (硫酸), P_2O_5 2.0 g (過石・熔燐), K_2O 2.0 g (硫酸), MgO 1.0 g (硫酸) を施用した。

播種後30日目、同60日目および収穫期に試料を採取し、燐酸吸収量を定量した。

結果 各期の生育、収量および燐酸吸収量は第5表に示したとおり、熔燐区の生育は初期から草丈、乾物重とも過石区に比べて劣り、また燐酸吸収量では、播種後60日目までは表土・心土とも明らかに熔燐区が劣った。しかし60日目以後においては、逆に熔燐区が過石区に比べて多くなり、収穫当時においては過石区の吸収量を凌駕し、燐酸吸収率では両土壌とも熔燐施用区が高かった。

第 5 表 燐酸肥料の形態と大豆の生育、収量および燐酸吸収量

土 壤	処 理	播種後30日目			同 60 日 目				収 穫 期							
		乾物重 (地上部) g	草丈 cm	P ₂ O ₅ 吸収量 mg	乾物重 (g)		草丈 cm	P ₂ O ₅ 吸収量 mg	乾物重 (g)		草丈 cm	莢数 =	千粒重 g	P ₂ O ₅ 吸収量 mg	P ₂ O ₅ 吸収率	
					地上部	地下部			莢	子実						
表 土	— P	4.54	7.9	3.0	8.4	3.3	31.8	52.9	31.5	33.0	60.0	50.5	188	256.8	—	
	過 石	5.31	9.2	5.3	17.4	5.8	42.8	120.8	68.6	82.4	76.0	81.5	248	635.8	19.0	
	熔 燐	4.82	9.0	4.6	13.6	5.0	37.8	101.2	61.7	81.8	71.5	92.5	249	658.7	20.1	
心 土	— P	4.04	9.6	2.9	5.4	2.7	29.0	31.4	14.9	17.5	47.8	27.5	184	121.5	—	
	過 石	5.43	10.6	5.1	15.1	5.1	40.5	105.3	50.5	56.1	74.0	73.5	185	368.6	12.4	
	熔 燐	4.53	10.3	4.0	13.2	4.5	37.8	101.0	50.5	56.2	70.3	74.0	188	396.7	13.8	

注) 草丈は個体当り、他は pot 当り

これらの結果、莢数および千粒重では熔燐区がやや過石区を上廻る結果を示したが、しかし子実収量では両肥料間に差異は認められなかった。

IV 考 察

土壌中の燐酸は有機態および無機態として存在しているが、有機態燐について林・滝島⁵⁾は作物に利用されることを報告し、また早川²⁾も Nucleic acid, Phytin 態燐酸の燕麦による利用率は8.9%, 4.4%と報告し、さらに同氏¹⁾は牧草の生産と易分解性有機燐の間に相関関係のあることを認めている。しかしこれら有機燐の作物利用率は無機燐に比べると高いものでなく、また施肥燐の有機化は残存する無機燐に比べると少なく、さらに当地方火山性土の有機燐含量は無機燐含量に比較して低いとされている¹⁵⁾。これらのことを総合すれば、土壌の燐酸肥沃度に及ぼす有機燐の役割りはかなり低く評価されるであろう。

このような知見に基づき本報告は、土壌無機燐が大豆の燐酸吸収に関与する能力を中心に調査したが、土壌中における無機燐はイオン状、塩類との結合状態あるいは粘土に吸着されている状態な

ど諸種の形態で存在しているとされ、しかもそれぞれ可給度が異なることは明らかである。

関谷・江川¹⁷⁾は本邦土壌の無機燐の分別定量を行ない、火山灰土の多くは Al-P が大半を占めるとし、この種土壌では施肥燐は経時的に Ca-P→Al-P→Fe-P→不溶燐へと移行すると報告している。さらに土壌無機燐の形態分布の相異は主として粘土鉱物に帰因することも指摘している。

今回行った実験結果でも、当地方の畑土壌のうち、火山性土においては土壌無機燐の大半が Al-P として存在し、Ca-P はきわめて少なく、W-P では存在が認められなかった。これに反し、燐酸肥沃度の高い沖積土では Al-P は50%以下であり、かつ W-P, Ca-P の占める割合が高かった。しかしながら W-P, Ca-P, Al-P および Fe-P の総和では、耕地化している火山性土の場合必ずしも沖積土に比較して少ないことはなかった。

この点は、当地方の火山性土は開畑当時より燐酸が生産制限因子として重視され²¹⁾、燐酸質肥料の多施用が長年月にわたって継続され、その蓄積燐酸の多くは Al-P として集積された結果と解される。

以上のように存在する土壌無機磷が作物の磷吸収の面で、どのように貢献するかは、実際の施肥に当たって考慮すべき点と考えられる。

古くから石灰をよく吸収する植物は、しからざる植物よりも磷礫石磷酸をよく利用するとされ、DRAKE ら¹⁾は石灰結合エネルギーの高い根、塩基置換容量の高い根は、しからざる根よりも磷礫石磷酸をよく利用すると報告し、近年大塚¹⁶⁾もその結果を肯定している。これらの報告は、大豆が石灰をよく吸収し、しかも根の置換容量が大きいので、比較的難溶性な磷酸を吸収する可能性を暗示するものであり、事実関谷、江川¹⁸⁾は大豆と陸稲では、土壌磷に依存する割合に相異のあることを報告している。

また作物による土壌無機磷の利用性については小麦の磷酸吸収と Ca-P との間に0.806~0.951と きわめて高い相関係数が認められており¹⁴⁾、早川・奥村³⁾は燕麦のノイバウエル幼植物法によって、W-P・Ca-P が有効磷であったと報告している。

大豆は生育の特性上、ほかの畑作物に比べて生育の後半に多くの磷酸を吸収することが明らかにされている^{12,20)}。また火山性土のように磷酸固定力の強い土壌では、施肥された磷酸が W-P, Ca-P の易溶性の fraction が少なくなつてから、磷酸の吸収が増加する特徴があり、このことから推考して、大豆の磷酸吸収の過程で生育の後期には土壌無機磷のうち、比較的難溶性な Al-P などがかなり関与しているものと予想される。

この点について大豆の生育時期別に土壌無機磷の利用性について実験を行なった結果では、栽培による各 fraction の減少からみた利用率の順位は W-P>Ca-P>Al-P>Fe-P となり、Fe-P はほとんど利用されなかった。しかし供試した火山性土の場合、W-P, Ca-P の含量はきわめて少なく、

この種土壌での栽培による減少量は Al-P が最も多く、ことに大豆の磷酸吸収が増加した生育後半では、減少量の大部分が Al-P によって占められかつこの時期の利用率もそれ以前に比較してかなり高まった。このことは生育後半の大豆の根が Al-P を選択的によく吸収するとも考えられるが、Ca-P の保持性の高い熔磷を施用して栽培した大豆が、しからざる過石にて栽培した大豆よりも、生育後半の磷酸吸収量が多いこと、さらに生育後半の栽培による減少率が Ca-P および W-P に比較して Al-P は高くないことから、生育後半における Al-P の多量の吸収は、易溶性な fraction (W-P, Ca-P) の含量が少ないためのものと考えるのが妥当と思われる。

このことから考察し、蓄積磷酸の少なかった開畑当時と、近年の3要素試験結果の差異から、磷酸の天然供給量の高まったことが認められており²¹⁾、また下表のように¹⁸⁾、蓄積磷酸の多い圃場(開畑後約40年経過)に無磷栽培した大豆の場合、生育初期における生育量、磷酸吸収量とも磷酸施用区に劣るにもかかわらず、生育の後半にかなり高い磷酸の吸収が行なわれ、生育量に比較すれば子実重が予期以上に高い結果を示すことはしばしば経験するところである。このことから火山性土における大豆の土壌無機磷の利用は、生育前半においては W-P, Ca-P に依存する割合が高く、後半では Al-P から多量の磷酸を吸収して子実の生産を果たしていると推論できよう。

したがって、この種土壌における大豆の有効磷の測定法として、Al-P をある程度考慮した抽出液によることが望ましいと考えられる。

易溶性 fraction の少ない火山性土では、生育後半 Al-P の活用によって、比較的高い子実生産をあげることから、磷酸の施用は少量かまたは無

区 別		播種～ 開30日目	30日目～ 60日目	60日目～ 90日目	90日目～ 収穫期	総 量*	備 考
各時期に 増加した 量の総量 に対する 割合(%)	乾 物 重 { - P (g/個体) { + P	1.5	10.5	54.3	32.0	100%(26.51 g)	10 a 当子実重 (kg) - P 225.4 + P 245.2
		1.5	13.7	62.0	22.9	100 (30.54 g)	
	P ₂ O ₅ 吸 収 量 { - P (mg/個体) { + P	0.8	9.6	42.5	47.2	100%(219.5 mg)	
		1.1	12.1	48.3	38.5	100 (252.7 mg)	

* 落葉の回収は行なわない。

施用でもよいと考えられがちである。しかし磷酸施用の少ない場合は、収量の絶対量が期待できず、磷酸肥沃度が低下するばかりでなく、初期生育の不振から気象条件に対応性を欠き、かつ生理的機能の欠陥を生じやすいので⁷⁾⁸⁾、採るべき手段ではないと考えられる。

したがって施肥に当たっては、最も利用性の高い W-P, Ca-P の保持の高い磷酸質肥料を重視すべきである。従来畑作の主要な磷酸肥料であった過石は、熔燐に比べれば W-P, Ca-P の保持率が低く、Al-P の割合が多かった。これらの肥効比較および施肥法に関する試験の詳細についてはすでに発表されたように¹¹⁾、過石と熔燐の併用は大豆の生育・収量に好ましい磷酸供給を行なった。すなわち村山ら¹²⁾¹³⁾は初期において吸収された磷酸は主として草丈などの栄養器官の増大に働き、生育の後半まで吸収された磷酸によって子実の生産が高まることを指摘したのとよく一致した結果を示している。また熔燐単用の場合でも生育前半の生育量・磷酸吸収量は劣るが、後半の磷酸吸収が高まり、子実収量でも過石単用に比べて遜色ない結果が得られている。

以上のことから、従来熔燐は苦土欠乏地帯においては、その対策資材として重視されてきたが、大豆の磷酸栄養の見地から、過石に比べて優位な性質を有し、今後の施肥技術に積極的に活用すべきものと考えられる。さらにこれとあわせて、生育後半に施肥燐の有効度をより高く確保する施肥法の要があると考えられる。

V 要 約

十勝地方に分布する畑土壌10点を用いて、農技研法によって土壌無機燐を定量し、併せて大豆の土壌無機燐の利用性をノイバウエル幼植物法およびポット栽培によって調査し、その結果から磷酸施肥について考察を加えた。その概要はつぎのとおりである。

1. 火山性土壌では W-P, Ca-P はきわめて少なく、大半が Al-P であった。一方沖積土では W-P, Ca-P の存在は多く、Al-P は低い。Fe-P は沖積土でやや多かった。しかしこれらの総量は

沖積土で必ずしも多くはなかった。

2. 大豆の土壌無機燐の利用率を栽培による減少から算出すると、 $W-P > Ca-P > Al-P > Fe-P$ となり、Fe-P はきわめて少なかった。火山性土では W-P, Ca-P はきわめて少ないため、Al-P からの吸収は多く、ことに生育後半での無機燐の減少の90%ほどは Al-P によったものであった。

3. 過石と熔燐を火山性土に施用すると、直ちに Al-P に移行するが、その割合は過石において顕著であり、熔燐は易溶性 fraction の保持が多かった。

4. 過石を施用して大豆を栽培すると、生育および生育前半の磷酸吸収は良好であるが、大豆の磷酸吸収が顕著となる生育の後半においては、熔燐を施用した場合が磷酸の吸収は多い。しかし子実収量では同等であった。

このことから大豆に対する磷酸施肥は、熔燐を重視した施肥が望ましいと考察された。

引用文献

- 1) DRAKE M. and J. E. STECKEL, 1955; Solubilization of Soil and Rock Phosphate as Related to Root Cation Exchange Capacity, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19, 449~450.
- 2) 早川康夫, 1960; 根釧地方火山灰土壌中における磷酸の行動について (第1報), 道立農試集報, 第5号, 17~23.
- 3) ———, 奥村純一, 1961; 同前(第2報), 道立農試集報, 第8号, 13~23.
- 4) ———, 橋本久夫, 中曾根茂四郎, 沢田隆悦, 1960; 根釧地方火山灰地における牧草地土壌の理化学的特性と施肥法に関する試験(第3報), 道立農試集報, 第5号, 1~16.
- 5) 林 武, 滝島康夫, 1955; 土壌有機燐の作物による利用に関する研究 (第3報), 土肥誌, 26, 215~218.
- 6) ———, ———, 1956; 同前 (第6報), 土肥誌, 27, 15~18.
- 7) 平井義孝, 1960; 肥料三要素が大豆の落莢に及ぼす影響, 北農, 27巻8号, 3~5.
- 8) ———, 1963; 大豆の切葉処理が生育収量に及ぼす影響, 北農, 30巻4号, 4~7.
- 9) ———, 1961; 大豆の無機栄養に関する調査 (第1報), 道立農試集報, 第7号, 47~57.
- 10) ———, 1962; 同前(第2報), 道立農試集報, 第8号, 24~36.
- 11) 北海道農務部農業改良課編, 1962; 大豆に対する磷酸肥料としての熔燐の効果, 農業技術資料, 5, 4037~4045.

- 12) 村山 登, 河原崎裕, 1957; 大豆の磷肥栄養に関する研究 (第1報), 土肥誌, 28, 191~193.
- 13) ———, ———, 吉野 実, 1957; 同前 (第2報), 土肥誌, 28, 247~249.
- 14) 農技研土壤第2研究室成績書, 1962; 本邦畑土壤における磷肥の形態ならびにその有効性に関する研究
- 15) 農林水産技術会議, 1962; 畑土壤の生産力に関する研究, 39頁.
- 16) 大塚泰司, 1960; 根の相違と難溶性磷肥の吸収 (その1), 土肥誌, 31, 116~119.
- 17) 関谷宏三, 江川友治, 1961; 土壤磷の形態区分について, 土肥学会講演要旨集, 第5集, 30頁.
- 18) ———, ———, 1961; 大豆および陸稲の根圏土壤における施肥磷および土壤磷の形態の相違について, 土肥学会講演要旨集, 第7集, 7頁.
- 19) 十勝支場試験成績書, 1962年度.
- 20) 戸刈義次, 加藤泰正, 江崎守衛, 1955; 大豆の増収機構に関する研究, 日作紀, 24, 103~107.
- 21) 山内正祝, 1954; 十勝火山性土心土三要素試験と2, 3の理化学性質, 北海道・東北土壤肥料協議会講演要旨集, 第4号, 36~40.

Summary

The purpose of this experiment was to pursue the uptake of different fractions of soil inorganic phosphorous in soybeans. Further, super- and fused-phosphate were compared from the view point of phosphorous uptake by soybean plants.

Six volcanic ash and 4 alluvial soil samples were taken from different parts in Tokachi district.

For the classification and measurement of each fraction of soil inorganic phosphorous a method derived by the National Institute of Agricultural Science was used. To measure the fractions of Soil inorganic phosphorous absorbed by the soybean plant the Neubauer's young plant method was applied and also pot experiments were conducted. Amounts of transformation of super- and fused-phosphates into each soil inorganic phosphorous were measured after incubation of soil samples under thermostat maintained 25 °C.

Results are summarized as follows;

1. In the volcanic ash soils, aluminum type of phosphorous (Al-P) was predominant, including traces of water soluble (W-P) and calcium type (Ca-P) of phosphorous, on the other hand, in the alluvial soils, relatively high amounts of W-P and Ca-P were contained, but the amounts of Al-P was generally less than those of volcanic ash soils. Ferrous type phosphorous (Fe-P) contents in alluvial soils were higher than the volcanic ash soils.

However, total amounts of inorganic phosphorous were not so much different from that of volcanic ash and alluvial soils.

2. Each fraction of soil inorganic phosphorous was absorbed differently by soybean plants. Based on the decreases of each fraction due to uptake by soybean plants, relative availability of each fraction was estimated as follows; $W-P > Ca-P > Al-P > Fe-P$. Fe-P was not utilized and most of it remained.

It was especially interesting that absorption of Al-P fraction increased during the later period of growth, compared to the earlier growing period.

3. The phosphorous of super- and fused-phosphate applied to the soil was transformed immediately to Al-P, and the rate of transformation to Al-P was higher in super-phosphate, but in fused-phosphate easily soluble fractions phosphorous (W-P and Ca-P) were included more than in the super-phosphate.

4. Plant height, and dry matter content in the plant and amounts of absorption of phosphorous before flowering were applied to fused-phosphate. However, during the period from flowering to maturity in the fused-phosphate plots more phosphorous was absorbed than in the super-phosphate ones. The difference between super- and fused-phosphate plots was not significant in grain yield.