

畑土壤肥沃度の診断に関する研究

第2報 畑土壤の有効態リン酸水準と作物の収量について

南 松 雄† 沢 口 正 利††

STUDIES ON THE ESTIMATION OF UPLAND SOIL FERTILITY

2. On the Relation between Level of Available Soil Phosphorus and Yield of Crops

Matsuo MINAMI & Masatoshi SAWAGUCHI

土壤中の有効態リン酸の水準が高いものほど土壤リン酸の肥沃度は高いが、その水準と作物収量との関係について検討した結果、土壤の種類に関係なく、むしろ作物の種類によって土壤リン酸の限界濃度は異なる。すなわち、非火山性土壤および火山性土壤ともに、えん麦では $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ の水準が $10\text{mg}/100\text{cc}$ 付近に、馬鈴薯では $15\text{mg}/100\text{cc}$ 付近にその限界濃度（作物収量に対する Critical level）があるものと思われる。また、室内実験の結果、施用リン酸に対する $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ としての溶出度は、非火山性土壤では $40\sim 50\%$ 、火山性土壤では $20\sim 30\%$ 前後である。

I 緒 言

前報¹⁾において、畑土壤のリン酸肥沃度を評価するための土壤リン酸の有効度の指標として、土壤全体では $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ が適当であり、土壤の種類別にみると、火山性土壤では Al 型 P_2O_5 もまた有力な指標となることを明らかにした。

一般に、畑土壤におけるリン酸的生産力は土壤固有のリン酸養分供給力（無リン酸区の収量）とリン酸の肥効（リン酸施用による増収量）とよりなり、畑土壤に対するリン酸施肥量は土壤中の有効態リン酸の水準と作物収量との関係から、その限界濃度（作物収量に対する Critical level）を求めて算出する方法が考えられる。すなわち、土壤中の有効態リン酸水準が高ければ、リン酸的地力からみた作物生産力は高く維持されるが、収量漸減の法則（Law of diminishing

return）により、土壤中の有効態リン酸の増加に伴う作物生産増加の度合は Critical level 以上では減少してくる。この限界濃度を査定しうれば、最高収量をうるためのリン酸施肥量を求めることが可能であると思われる。

従来、欧米諸国においては、この種の研究が多く報告されており¹⁾²⁾³⁾¹³⁾¹⁷⁾、MITSCHERLICH や BRAY ら³⁾は土壤リン酸と作物収量との関係を数学的手法で表わし、収量式（Yield equation）を提案した。しかし、この収量式は、収量曲線（Yield curve）が対数曲線を描くか、もしくは、S字状曲線（Sigmoid curve）を描くかで論議の分かれるところであり、確立された方法とはなっていない。

一方、作物の種類によってリン酸要求量は異なり、土壤リン酸の限界濃度も変動することが考えられる。したがって、土壤中の有効態リン酸水準の評価は作物別にも検討を加えなければならないと思われる。

† 上川農業試験場

†† 中央農業試験場

また、土壌中の有効態リン酸水準より施肥量を算出しようとする場合には、土壌による施肥リン酸の固定、および作物生育期間中の固定リン酸の有効化などをも考慮する必要がある。リン酸固定力の高い土壌では施肥リン酸の不活性化が促進され、作物に対するリン酸施肥量も増加するものと思われる。すなわち、土壌の種類によって、施肥リン酸に対する有効態リン酸としての土壌中における残存割合が異なり、作物収量への発現性に差異が生じてくる。

以上のことから、本研究では、TRUOG法による土壌有効態リン酸の作物収量に対する限界濃度を土壌別、作物別に比較検討し、さらに、土壌別に添加リン酸の溶出度を検討した結果¹⁰⁾について報告する。

なお、本研究の現地試験の実施に際し、ご協力をいただいた、ニセコ、蘭越、栗山、山仁の各地区農業改良普及所の職員諸氏に対し、深甚の謝意を表する。

II 試験方法

本研究は次の3項目について実施した。

- 1) 土壌別のリン酸限界濃度の査定
- 2) 作物別の土壌リン酸の限界濃度の比較
- 3) 土壌別の施肥リン酸の溶出度

1)は、作物収量に対する土壌有効態リン酸の限界濃度を栽培条件の同一なポット試験によって土壌の種類別に査定し、さらに、作物栽培の環境条件が異なる現地試験によって、ポット試験結果の適応性をも検討した。

まず、ポット試験では、非火山性土壌4点（積丹、琴似、興部、美深）、および、火山性土壌4点（美幌、幕別、御影、広島）の計8点の土壌について、えん麦を供試作物として1/5,000a ワグネルポットによるリン酸用量試験を実施した。リン酸施用量として、(1)無リン酸区、(2)P₂O₅ 0.5g/pot、(3)P₂O₅ 1.0g/pot、(4)P₂O₅ 2.0g/pot、(5)P₂O₅ 3.0g/potの5段階を設け、リン酸の肥効、収穫物のリン酸吸収量、および跡地土壌のTRUOG-P₂O₅ 量について調査した。共通肥料として、窒素 0.5g/pot、加里 0.5

Table 1 Physical and chemical properties of 8 test soils on the pot experiment

Soil group	Soil	Mechanical composition				Soil class	pH (H ₂ O)	Total nitrogen (%)	Total humus (%)	C E C (me)	P ₂ O ₅ absorption index	TRUOG-P ₂ O ₅ (mg/100cc)
		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay							
Non volcanic ash soils	Shakotan	5.3	20.2	36.7	37.8	LiC	5.6	0.39	11.01	21.1	1,035	2.2
	Kotoni	14.5	51.2	21.3	13.0	SL	5.8	0.13	5.53	25.3	807	7.8
	Okoppe	4.1	16.7	47.9	31.3	SiC	4.9	0.18	10.42	16.3	538	1.5
	Bifuka	0.8	20.0	41.7	37.5	LiC	4.6	0.51	14.42	28.9	1,064	6.3
Volcanic ash soils	Bihoro	10.2	44.9	41.9	3.0	L	5.8	0.50	12.43	21.7	1,137	2.8
	Makubetsu	44.0	26.8	21.6	7.6	SL	5.6	0.35	12.80	28.9	849	4.5
	Mikage	33.7	42.8	11.5	12.0	SL	5.2	0.64	26.20	29.8	1,490	1.7
	Hiroshima	30.3	20.6	33.9	15.2	CL	5.3	0.54	20.65	27.1	1,387	7.0

Table 2 Physical and chemical properties of soil on 4 experimental fields

Soil group	Location	Mechanical composition				Soil class	pH (H ₂ O)	Total nitrogen (%)	Total humus (%)	C E C (me)	P ₂ O ₅ absorption index	TRUOG-P ₂ O ₅ (mg/100cc)
		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay							
Non volcanic ash soils	Niseko	4.6	33.7	42.2	19.5	CL	5.2	0.26	7.40	21.7	1,201	3.6
	Rankoshi	5.6	12.1	38.8	43.5	CL	5.9	0.31	7.89	29.5	1,904	3.4
Volcanic ash soils	Kuriyama	51.4	11.8	8.2	8.7	SL	5.8	0.30	6.20	25.8	733	8.5
	Yuni	79.4	8.3	8.6	3.7	SL	5.7	0.17	4.07	14.7	911	5.4

Table 3 Relation between soil test values by TRUOG's method and grain yields of oats on the pot experiments

Soil group	Soil	Amount of P_2O_5 applied (g/pot)	Grain yield (g/pot)	Yield index (%)	Amount of P_2O_5 uptake by oats (mg/pot)	TRUOG- P_2O_5 (mg/100cc)
Non volcanic ash soils	Shakotan	0	13.6	100	138	2.7
		0.5	24.2	178	224	4.7
		1.0	25.7	189	248	9.6
		2.0	24.8	185	297	17.7
		3.0	24.8	185	311	25.9
	Kotoni	0	23.7	100	174	3.8
		0.5	24.2	102	208	6.2
		1.0	27.1	114	274	10.6
		2.0	26.2	111	341	18.3
		3.0	24.5	103	417	25.0
	Okoppe	0	14.6	100	125	1.7
		0.5	24.2	166	198	4.2
		1.0	25.1	172	218	8.6
		2.0	24.5	168	284	19.2
		3.0	24.1	165	363	28.8
Bifuka	0	25.2	100	255	2.7	
	0.5	25.6	102	235	5.9	
	1.0	35.5	141	372	9.7	
	2.0	35.5	141	379	16.7	
	3.0	31.9	126	375	26.1	
Volcanic ash soils	Bihoro	0	20.0	100	145	1.9
		0.5	23.0	115	186	3.3
		1.0	24.2	121	211	4.9
		2.0	26.9	135	251	10.7
		3.0	27.0	135	302	14.1
	Makubetsu	0	17.6	100	147	3.6
		0.5	22.5	128	185	7.1
		1.0	26.0	148	213	10.4
		2.0	26.0	148	258	17.6
		3.0	24.9	141	276	26.8
	Mikage	0	11.4	100	115	1.5
		0.5	20.5	180	188	1.9
		1.0	20.2	177	196	2.0
		2.0	20.2	177	226	4.7
		3.0	22.9	201	262	7.1
Hiroshima	0	18.6	100	176	1.9	
	0.5	24.1	129	218	3.0	
	1.0	26.0	140	219	3.7	
	2.0	26.9	145	252	9.3	
	3.0	18.8	101	231	12.1	

g/pot を硫安、硫加で施用した。供試土壌の理化学性は Table 1 に示したとおりである。

一方、現地試験はニセコ町、蘭越町、由仁町、栗山町の 4 か所で実施し、供試作物はポット試験と同様にえん麦を用い、磷酸施用量として、0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0kg/a の 5 段階を設け、なお、共通肥料として、窒素 0.6 kg/a, 加里 0.5kg/a をそれぞれ硫安、硫加で施用した。収穫期における作物収量、磷酸吸収量および跡地土壌の TRUOG-P₂O₅ 量を調査した。各試験地の作土の理化学性は Table 2 に示したとおりである。

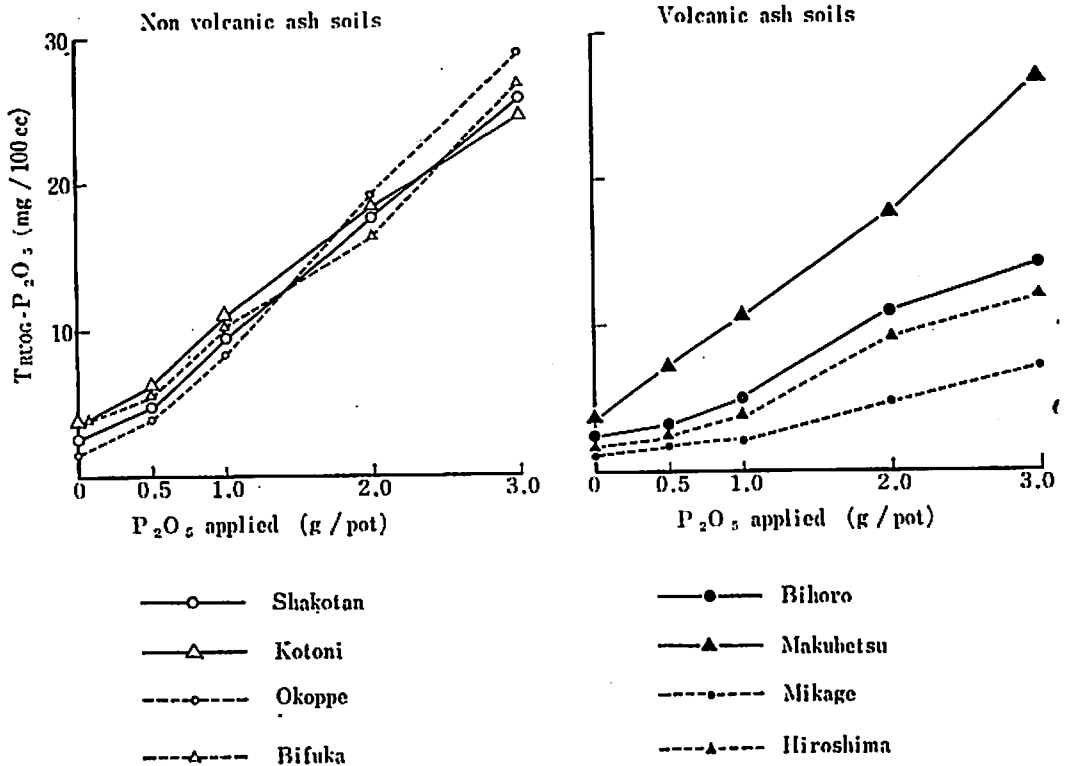
2)は、作物別の土壌磷酸限界濃度を比較するため、1)の現地磷酸用量試験(供試作物はえん麦)と併行して、ニセコ町、栗山町の 2 試験地で、供試作物として馬鈴薯を用い、磷酸用量試験を実施した。

磷酸施用量はえん麦と同様に、0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg/a の 5 段階を設け、茎葉の枯凋初期に作物および土壌を採取し、作物の磷酸吸収量と土壌の TRUOG-P₂O₅ 量を調査した。なお、共通肥料として、窒素 1.0kg/a, 加里 1.0kg/a をそれぞれ硫安、硫加で施用した。

3)は、室内実験により、土壌に施用された磷酸に対する有効態磷酸としての溶出割合(残存割合)を土壌の種類別に検討した。

その実験方法は、非火山性土壌 2 点(稻丹,琴似)火山性土壌 2 点(美幌,幕別)の風乾細土 100 g に各土壌の磷酸吸収係数の 5%, 10%相当量の磷酸を過石で添加し、土壌水分を最大含水量の 60%に保ちながら、28°C, 2 週間知状態で Incubate して、土壌磷酸を TRUOG 法、ならびに関谷、江川法¹⁶⁾による形態別磷酸に分別定量した。

Fig. 1 Relation between soil test values by TRUOG's method and amounts of P₂O₅ applied on the pot experiments



III 試験結果

1) 土壌別の磷酸限界濃度

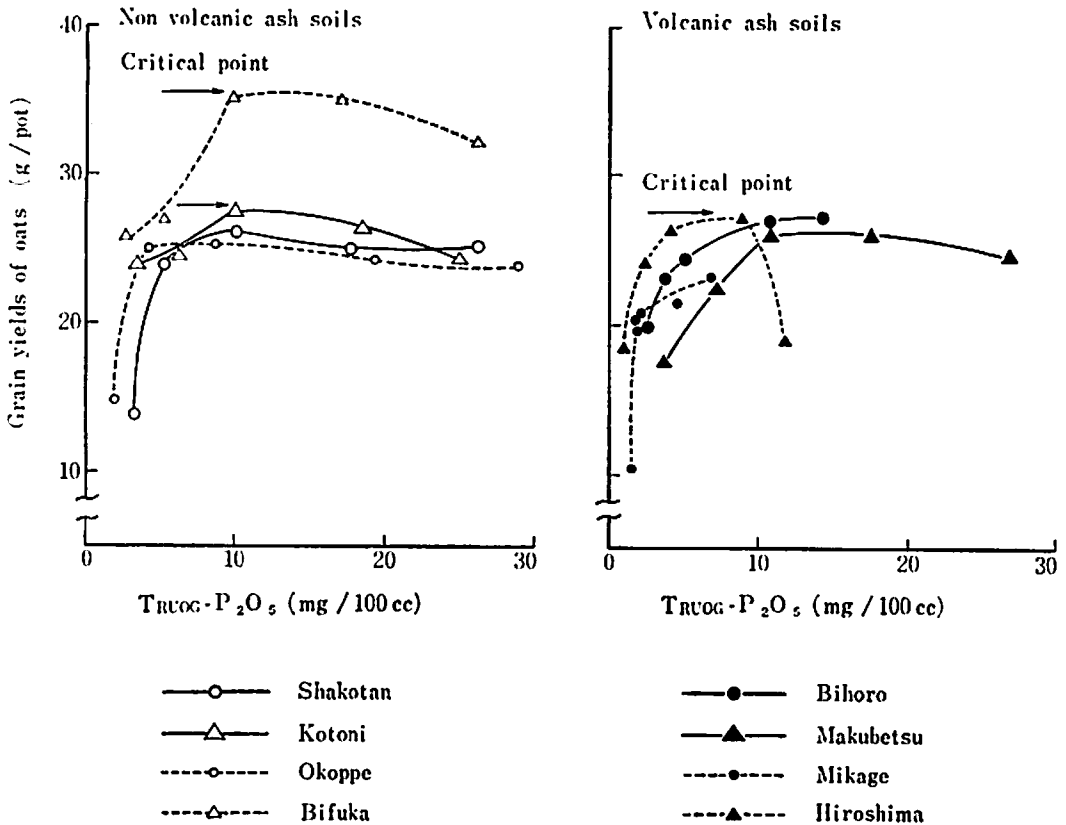
同一の栽培環境条件下で、土壌の種類別に有効態磷酸の限界濃度を検討したポット試験の結果は、Table 3, およびFig. 1, Fig. 2に示したとおりである。

まず、Table 3 によって、磷酸施肥量と収量との関係についてみると、各土壌とも磷酸の肥効は顕著に認められ、磷酸施肥量の増加に伴って子実収量も増加しているが、その傾向は土壌の種類によって異なっている。すなわち、最高収量をあげた場合の磷酸施肥量は、非火山性土壌の積丹、翠似、興部、美深の各土壌ではともに 1.0 g 施肥区であり、火山性土壌では、幕別土壌が 1.0 g 施肥区、広島土壌が 2.0 g 施肥区、美幌、御影土壌が

3.0 g 施肥区であり、概して、火山性土壌の施肥適量は非火山性土壌より高い傾向を示している。

さらに、Fig. 1 によって、磷酸施肥量と収穫跡地の TRUOG 法による抽出磷酸量との関係についてみると、非火山性土壌では、磷酸施肥量の増加に伴いほぼ直線的に TRUOG-P₂O₅ 抽出量は増加し、4 土壌とも類似した傾向を示し、ほとんど差が認められない。一方、火山性土壌では、非火山性土壌と同様、磷酸施肥量の増加に伴い、TRUOG-P₂O₅ 抽出量も増大するが、全般的に抽出磷酸量は非火山性土壌より低く、その増加の傾向も土壌間差が明瞭に認められ、すなわち、土壌の種類によって、同一磷酸施肥量でも TRUOG-P₂O₅ 抽出量が異なり、幕別>美幌>広島>御影の順に TRUOG-P₂O₅ 抽出量の増加直線の勾配が減少している。Table 1 から各火山性土壌の磷酸吸収係数

Fig. 2 Relation between soil test values by TRUOG's method and grain yields of oats on the pot experiments



についてみると、幕別<美幌<広島<御影の順に高く、前述の TRUOG-P₂O₅ の増加直線勾配の高低とまったく逆の関係にあり、火山性土壌の場合には、土壌の磷酸固定力が TRUOG-P₂O₅ 抽出量に大きく影響を与えていることが推察される。

次に、最高収量をあげた場合の土壌の TRUOG-P₂O₅ 水準は、積丹土壌で 9.3mg/100cc、琴似土壌で 10.6mg/100cc、興部土壌で 8.6mg/100cc、美深土壌で 9.7mg/100cc、美幌土壌 14.1mg/100cc、幕別土壌で 10.4mg/100cc、御影土壌で 7.1mg/100cc、広島土壌で 9.3mg/100cc とほぼ 10mg/100cc 前後の値を示している。さらに、Fig. 2 に示す作物収量と土壌の TRUOG-P₂O₅ 水準との関係から、土壌磷酸の限界濃度についてみると、非火山性土壌、火山性土壌ともに TRUOG-P₂O₅ 水準で 10mg/100cc 付近に Critical point が認められ、土壌の種類に関係なく、土壌磷酸の作物収量に対する限界濃度は TRUOG-P₂O₅ 水準で 10mg/

100cc 付近にあるものと思われる。

つぎに、ポット試験によって得られた結果と、現地試験の結果を対比するために、ニセコ、蘭越、栗山、由仁の 4 試験地で実施した磷酸用量試験の結果は、Table 4、および Fig. 3、Fig. 4 に示したとおりである。

まず、無磷酸区のえんま子実収量を 100 とした収量指数から、磷酸の肥効の大小を比較すると、蘭越>由仁>ニセコ>栗山の順であり、無磷酸区の収量が低い場所ほど磷酸の肥効が大きい傾向を示している。さらに、最高収量をあげた場合の磷酸施肥量は、ニセコで 1.0kg/a、蘭越で 1.5kg/a、栗山で 0.5kg/a、由仁で 1.0kg/a であり、土壌磷酸吸収力の高いニセコ、蘭越試験地では磷酸施肥適量も高い傾向にある。しかしながら、最高収量の絶対量は試験地によって異なり、ニセコでは 45kg/a 前後であり、由仁では 35kg/a とかなり低く、磷酸以外の要因が大きく作物収量に影響している

Table 4 Relation between soil test values by TRUOG's method and grain yields of oats on the field experiments

Location	Amount of P ₂ O ₅ applied (kg/a)	Grain yield (kg/a)	Yield index (%)	Amount of P ₂ O ₅ uptake by oats (g/a)	TRUOG-P ₂ O ₅ (mg/100cc)
Niseko	0	41.1	100	430	2.6
	0.5	42.7	104	450	3.8
	1.0	44.5	108	420	6.8
	1.5	43.2	105	450	7.0
	2.0	43.4	106	470	9.0
Rankoshi	0	25.2	100	251	3.4
	0.5	35.2	140	276	5.3
	1.0	38.0	151	306	5.9
	1.5	40.6	161	416	10.3
	2.0	40.2	159	410	14.4
Kuriyama	0	37.0	100	410	6.5
	0.5	39.2	106	510	12.4
	1.0	39.2	106	640	14.8
	1.5	38.3	103	700	17.7
	2.0	37.9	102	650	23.9
Yuni	0	27.5	100	264	6.4
	0.5	30.8	112	303	7.7
	1.0	35.4	129	318	8.1
	1.5	34.3	125	342	10.4
	2.0	34.4	125	398	14.2

Fig. 3 Relation between soil test values by TRUOG's method and amounts of P_2O_5 applied on oats

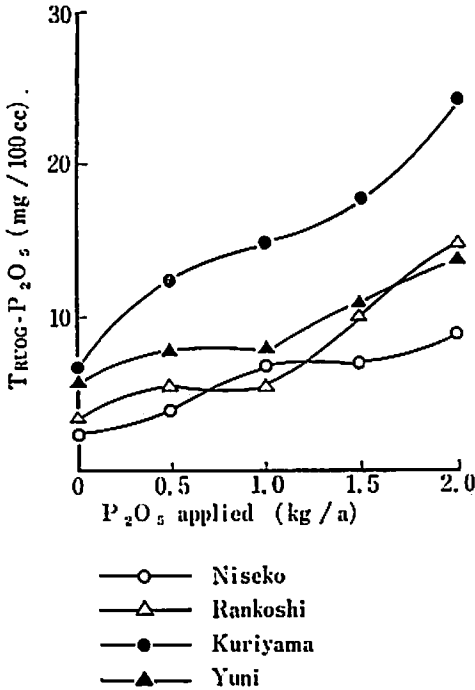
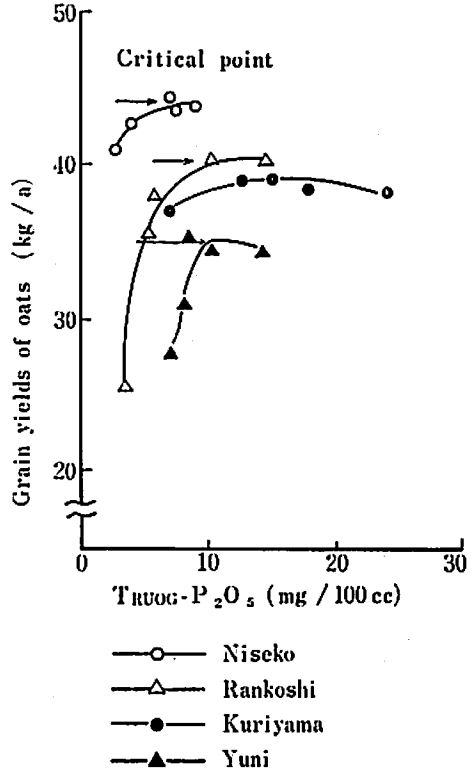


Fig. 4 Relation between soil test values by TRUOG's method and grain yields of oats on the field experiments



ことがうかがわれる。

つぎに、Fig. 3 によって、 磷肥施用量と收穫跡地土壌の TRUOG- P_2O_5 抽出量との関係についてみると、各試験地とも、 磷肥施用量の増加にしたがって磷肥抽出量も増大するが、土壌磷肥吸収力の低い栗山試験地では、 全般的に抽出量が高く、かつ、 施肥料量の増大に伴って磷肥抽出量の急激な増大がみられるが、 蘭越、ニセコ、由仁の3試験地では、全体に緩やかな増加を示している。

Fig. 4 について、土壌の TRUOG- P_2O_5 水準とえん麦子実収量との関係から、土壌磷肥の限界濃度についてみると、ほぼ、TRUOG- P_2O_5 水準の 10 mg/100cc 付近に Critical point が認められる。この値は、ポット試験によって得られた結果と一致しており、土壌磷肥については、現地ほ場に対するポット試験結果の適応性がきわめて高いことが実証された。いずれにしても、土壌の種類、気候その他の栽培環境条件が異なっても、えん麦については、土壌中の TRUOG- P_2O_5 水準が 10mg/100

cc前後にその限界濃度があるものと結論される。

2) 作物別の土壌磷肥の限界濃度

つぎに、作物の種類によって、土壌磷肥の限界濃度の変動するものか否かを検討するため、えん麦と併行して実施した馬鈴薯の磷肥用量試験結果は、Table 5, Fig. 5, Fig. 6 に示したとおりである。

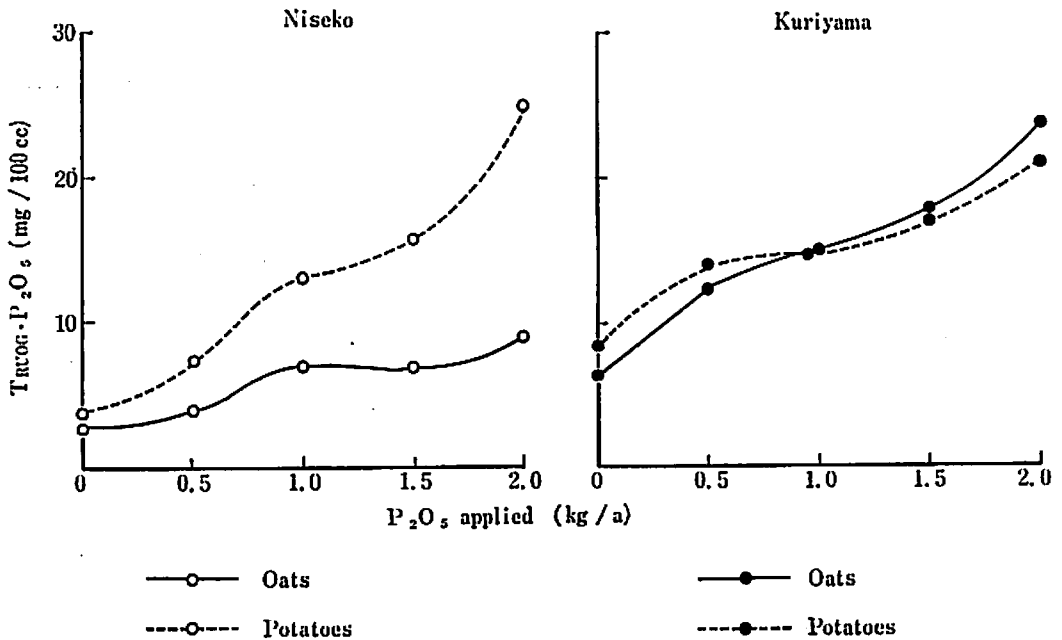
まず、Table 5 から、馬鈴薯の最高収量を示した磷肥施用量についてみると、ニセコ試験地で 1.5kg/a、栗山試験地で 0.5 kg/a であり、えん麦の場合とほぼ同一施肥料量である。したがって、栗山試験地のように、土壌の磷肥吸収係数が低い場合には、作物の種類を問わず、施肥料量に対する Response が小さいものと思われる。

つぎに、Fig. 5 から馬鈴薯に対する磷肥施用量と跡地土壌の TRUOG- P_2O_5 抽出値との関係をえん麦の場合と対比してみると、試験地によって傾

Table 5 Relation between soil test values by TRUOG's method and yields of potato

Location	Amount of P_2O_5 applied (kg/a)	Yield of potato (kg/a)	Yield index (%)	Amount of P_2O_5 uptake by potato (g/a)	TRUOG- P_2O_5 (mg/100cc)
Niseko	0	229.8	100	291	3.4
	0.5	249.9	109	298	7.3
	1.0	252.2	110	302	13.1
	1.5	263.3	115	303	15.6
	2.0	256.4	112	279	25.2
Kuriyama	0	193.0	100	231	8.5
	0.5	303.1	157	310	13.7
	1.0	290.7	151	303	14.9
	1.5	275.0	143	370	17.2
	2.0	277.0	144	428	21.2

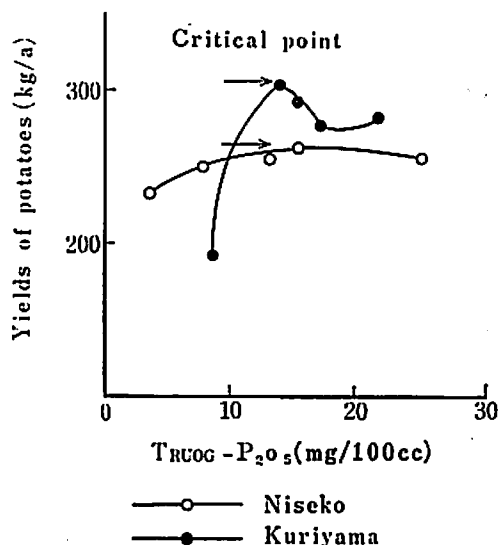
Fig. 5 Relation between soil test values by TRUOG's method and amounts of P_2O_5 applied on potatoes and oats



向が異なり、ニセコ試験地では作物の種類の違いが明瞭に認められるが、栗山試験地ではほとんど認められない。これは、両作物のリン酸吸収量の差、および土壌のリン酸放出度の差によるものと思われる。リン酸固定力が強いニセコ試験地では、作物間のリン酸吸収量の差が跡地土壌にそのまま現われ、栗山試験地では、作物間のリン酸吸収量の差が土壌のリン酸放出によって緩和されたものと思われる。

また、作物体のリン酸吸収量は、ニセコ試験地の場合、えん麦では 450 g/a、馬鈴薯では 300g/a 前後で、馬鈴薯よりえん麦の方が多いが、土壌リン酸の抽出値は逆に少なくなっている。このことは、馬鈴薯の根の形態、根系の広がる範囲がえん麦と異なり、かつ、生育途中で覆土する栽培法の相違などにも起因すると思われるが、いずれにしても、馬鈴薯では、施用したリン酸が十分利用されずに残

Fig. 6 Relation between soil test values by TRUOG's method and yields of potatoes on the field experiments



存しているため、栽培跡地土壌の磷酸濃度が高いものと思われる。

Fig. 6 によって、馬鈴薯の土壤磷酸の限界濃度を求めると、ニセコ、栗山両試験地とも、土壤の TRUOG-P₂O₅ 水準で 15mg/100cc 付近に Critical

point が認められる。この値は、前述のえん麦の 10mg/100cc より高い値であり、結局、作物の種類によって、土壤磷酸の限界濃度は異なるものと推定類にされた。

一般に、土壤中の有効態磷酸の水準が高いということは、大きな根圏を有する作物よりも根圏の小さな作物に対して一層重要性が大きいものと思われる。したがって、根圏の小さい馬鈴薯では、単位容積当たりの有効態磷酸水準を、えん麦の場合より高く維持することが必要と思われる。

3) 土壤別の施肥磷酸の溶出度

室内実験によって、添加磷酸が一定期間の後、有効態磷酸としてどの程度溶出されるかを土壤別に検討した結果を Table 6 に示した。

一般に各土壤とも磷酸の添加量を増すと TRUOG-P₂O₅ として溶出される量も増大するが、その割合は、磷酸の添加量の大小に関係なく、土壤の種類によってほぼ一定した値を示し、積丹土壤で42~45%、琴似土壤で44~49%、美幌土壤で20%、幕別土壤で33~34%である。すなわち、非火山性土壤では、添加磷酸の40~50%が TRUOG-P₂O₅ として残存しており、火山性土壤では、20~30%と非火山性土壤の溶出度のほぼ1/2で、添加磷酸の

Table 6 Relation between applied P₂O₅ and P₂O₅ fraction extracted after 2 weeks

Soil group	Soil	Amount of P ₂ O ₅ applied (mg/100g)	Extracted P ₂ O ₅ (mg/100g)				Degree of extracted P ₂ O ₅ (%)			
			TRUOG-P ₂ O ₅	Fractionation of P ₂ O ₅			TRUOG-P ₂ O ₅	Fractionation of P ₂ O ₅		
				Al-P ₂ O ₅	Ca-P ₂ O ₅	Fe-P ₂ O ₅		Al-P ₂ O ₅	Ca-P ₂ O ₅	Fe-P ₂ O ₅
Non volcanic ash soils	Shakotan	0	14.0	24.3	23.0	32.8	—	—	—	—
		63.2*	40.7	50.0	38.9	42.2	42.2	40.7	25.2	14.0
		126.4**	71.3	75.0	54.8	52.7	45.4	40.1	25.1	13.0
Volcanic ash soils	Kotoni	0	18.0	26.9	24.3	37.3	—	—	—	—
		54.2*	42.0	44.6	43.4	44.8	44.3	32.7	35.1	13.7
		108.4**	71.1	61.1	66.1	51.2	49.0	31.5	38.6	12.7
Volcanic ash soils	Bihoro	0	7.6	83.5	22.0	30.4	—	—	—	—
		72.2*	22.2	134.3	32.3	38.0	20.3	70.3	14.1	10.5
		144.4**	37.0	176.9	47.3	42.3	20.3	64.6	17.4	8.2
Volcanic ash soils	Makubetsu	0	13.0	78.9	20.2	23.9	—	—	—	—
		50.2*	30.0	108.6	31.1	28.2	33.9	59.0	21.7	8.6
		100.4**	46.3	143.0	43.9	33.1	33.2	63.7	23.6	9.2

Remarks : * This value is 5% saturation for the P₂O₅ absorption capacity of soil.

** This value is 10% saturation for the P₂O₅ absorption capacity of soil.

固定の大きいことが明らかである。

一方、形態別磷酸の溶出割合をみると、積丹、美幌、幕別土壌では、 $Al型P_2O_5 > Ca型P_2O_5 > Fe型P_2O_5$ の順であり、琴似土壌のみ、 $Ca型P_2O_5 > Al型P_2O_5 > Fe型P_2O_5$ の順である。また、土壌の種類別にみると、非火山性土壌では $Al型P_2O_5$ が30~40%、 $Ca型P_2O_5$ が25~40%、 $Fe型P_2O_5$ が12~15%前後であり、火山性土壌では、 $Al型P_2O_5$ が60~70%、 $Ca型P_2O_5$ が15~25%、 $Fe型P_2O_5$ が10%前後である。全般的に、 $Ca型P_2O_5$ および $Fe型P_2O_5$ の溶出割合は非火山性土壌の方が高く、 $Al型P_2O_5$ は逆に火山性土壌の方が高い傾向を示している。

このように、土壌の種類によって、施肥磷酸に対する有効態磷酸としての溶出割合は異なるが、この値はあくまで多量の磷酸を施用した場合の数値であって、実験条件および土壌条件によって異なった傾向を示す場合もあろうが、一応の傾向をつかみえたと思われる。

IV 考 察

本研究では、作物収量に対する土壌中の $TRUOG$ 法による有効態磷酸の限界濃度を査定することによって、土壌の磷酸肥沃度評価の指標を得ようとし、さらに、この限界濃度が土壌の種類、気候その他の外的環境条件、作物の種類などによってどのように変化するものかを一連の試験で検討を加えた。

一般に、作物収量は磷酸施肥量の増加に伴って増大するが、土壌の種類によって、施肥磷酸の肥効の現われ方および施用磷酸の適量が異なってくる。江川ら⁹⁾は、大麦を用いたポット試験結果から、磷酸の増施に伴う大麦の収量変化を土壌の種類によって4型に類別し、土壌的要因により磷酸の肥効の現われ方が異なることを報告している。すなわち、第1型は磷酸肥効の低い沖積土壌にみられる型、第2型は洪積土壌にみられる型で、磷酸肥効は高いが、施肥磷酸の適量が低い型、第3型は火山灰土壌に現われる型で、磷酸肥効が顕著であり、磷酸適量も高い型、第4型は第2型、第3型の亜型とし、作物の磷酸吸収に関与する要素

の欠乏のため、磷酸増肥の効果が現われない型としている。本研究におけるポット試験結果においても、火山性土壌は非火山性土壌に比し、概して施肥磷酸の適量は高い傾向にあった。

しかし、作物収量に対する施肥磷酸の肥効を土壌の有効態磷酸水準から解析してみると、磷酸施肥量の増加に伴う $TRUOG-P_2O_5$ 抽出量の増加勾配は、土壌の種類によってそれぞれ異なるが、各土壌とも、最高収量を示した場合の跡地土壌の $TRUOG-P_2O_5$ 水準は、ほぼ $10mg/100cc$ 前後である。このことは、土壌の種類に関係なく、作物収量を支配する要因としての土壌磷酸濃度は $TRUOG-P_2O_5$ 水準で $10mg/100cc$ 以上に維持する必要があることを意味しているものと思われる。

さらに、試験作物が同一のえん麦の場合には、外的環境条件の異なる現地は場試験結果においても、ポット試験と同様に、作物収量に対する土壌磷酸の限界濃度が $TRUOG-P_2O_5$ 水準で $10mg/100cc$ 付近にあることを認めた。磷酸の場合、土壌中での施肥磷酸の移動性が小さいため¹⁰⁾、ポット試験結果の実際面への適応性はかなり高いものと思われる。

石川⁹⁾は、茨城県内の火山性土壌について、大麦収量と $TRUOG-P_2O_5$ 水準との関連を求め、土壌中に $TRUOG-P_2O_5$ が $5mg$ 以上あれば、大麦収量 $40kg/a$ を確保しようと報告している。本研究の結果では、 $TRUOG-P_2O_5$ の限界濃度は $10mg$ であり、石川の結果の2倍の値を示したが、一般に作物の磷酸吸収は土壌磷酸濃度のほかに、土壌水分、土壌温度、土壌反応などの各種因子が関与しており、地温の上昇は土壌磷酸の有効化を促進するといわれており、したがって、作物の磷酸要求度が気候的にみて寒冷な地方ほど高いため、前述の差が生じたものと思われる。いずれにしても、北海道のような寒冷な地方においては、土壌磷酸濃度を $TRUOG-P_2O_5$ 水準で $10mg$ 以上に確保することが、磷酸施肥量を決定するための1つの指標となるものと思われる。

一方、作物の種類によって根の形態、機能、根系の広がる範囲が異なることから、磷酸の吸収力に差異があり、したがって、土壌中の有効態磷酸

に対する反応も異なるものと思われる。現地ほ場試験によって、同一土壌における、えん麦、馬鈴薯2作物の土壌磷酸の限界濃度を比較した結果、馬鈴薯では $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ 水準で15mg/100cc付近に限界濃度を認め、えん麦の限界濃度(10mg/100cc)よりやや高い傾向を示した。

一般に、作物根の形態特性としては、吸収表面積と単位表面積当たりの吸収力の因子が考えられる。すなわち、作物の種類によって、根系の広がる範囲、および作物根の土壌磷酸を吸収する強度が異なり、馬鈴薯の場合、根系が浅く、かつ、生育期間中に覆土する関係上、単位容積当たりの有効態磷酸水準がえん麦の場合より高く維持される必要があるものと推察された。また KRANTZ ら⁹⁾によれば、 P^{32} を用いて、作物の種類により施肥磷と土壌磷に対する依存度が異なることを明らかにしている。いずれにしても、作物の種類によって、土壌磷酸の限界濃度が異なることは明らかであり、今後、各作物について検討を加える必要がある。

つぎに土壌の種類に関係なく土壌中の $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ の限界濃度は大体10mg前後にあるが、最高収量をあげるための磷酸施肥量が土壌の種類によって異なる点より、土壌磷酸の水準を10mg前後まで高く維持するためには、どの程度の磷酸を施用すべきであるかという問題が残る。一般に土壌の磷酸吸収、固定に関与する因子としては、土壌膠質物の量および質、石灰の含量、活性のFeとAlの含量などが主なものとされている。したがって、この点を解明するために、室内実験により、土壌の種類別の施肥磷酸に対する形態別磷酸の溶出度を検討した結果では、各土壌とも、磷酸の添加量を増すにしたがって $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ として溶出される量も増すが、添加磷酸に対する溶出割合は、非火山性土壌で40~50%、火山性土壌で20~30%と添加磷酸量の多少にかかわらずほぼ一定であり、かつ、土壌の種類間の差は明らかであった。換言すると、火山性土壌においては非火山性土壌より多量の磷酸施肥を必要とすることが予想される。関谷ら¹⁵⁾は、添加磷酸濃度と有効態磷酸供給能の関係を火山灰土壌と鉍質土壌について比

較し、火山灰土壌においては磷酸吸収係数の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ の磷酸を添加して、はじめて鉍質土壌の供給能にひとしくなることを報告している。

実際面で、磷酸施肥量を土壌の磷酸吸収係数より求める方法は、わが国の火山性土壌で検討されており^{5) 6) 7) 8)}、石川⁹⁾は、 $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ 水準で5mgを維持するには磷酸吸収係数の5%相当量の磷酸を施用すればよいと報告している。

以上、有効態磷酸として $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ を中心に検討を加えてきたが、一方、前報¹³⁾で報告したように、火山性土壌の場合には、Al型 P_2O_5 も有力な土壌磷酸肥沃度評価の指標となるものであり、この点に関して、山本ら¹²⁾によれば、東北地方の火山性土壌では、Al型 P_2O_5 水準で70mgをその指標としている。

V 摘 要

ポット試験、およびほ場試験において、作物の最高収量と土壌の $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ 水準との関係から、土壌別、作物別にその限界濃度を検討し、さらに、室内実験によって、土壌別に添加磷酸に対する有効態磷酸の溶出割合について検討した結果を要約すればつぎのとおりである。

- 1) 土壌別の施肥適量は非火山性土壌より火山性土壌で高い傾向にあった。
- 2) ポット試験による、作物収量に対する土壌有効態磷酸の限界濃度は、土壌の種類に関係なく、 $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ 水準でほぼ10mg/100cc前後である。
- 3) 現地ほ場試験の結果によると、えん麦では、ポット試験結果と同様に $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ 水準で10mg/100cc付近にその限界濃度を認めた。
- 4) 土壌磷酸の限界濃度は作物の種類によって異なり、馬鈴薯では15mg/100cc前後で、えん麦よりやや高い傾向を示した。これは、両作物間の根の形態、機能および根系の範囲の差異によるものと推察された。
- 5) 室内実験の結果、添加磷酸に対する $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$ としての溶出割合は、磷酸添加量の多少に関係なく、非火山性土壌では40~50%、火山性土壌では20~30%前後の数値を示した。

引用文献

Summary

- 1) ARNOLD, C. Y. and W. A. SCHMILT, 1951 ; Soil test as a measure of phosphorus available to tomatoes on heavy soils. *Soil Sci.*, 71, 105~115.
- 2) BALBA, A. M. and R. H. BRAY, 1956 ; New fields for the application of the Mitscherlich equation : I. *Soil Sci.*, 82 : 6, 497~502.
- 3) BRAY, R. H., 1944 ; Soil-plant relations : II. *Soil Sci.*, 60, 463~473.
- 4) 江川友治, 関谷宏三, 飯村康二, 1957 ; 畑土壌の性質と燐酸の肥効の現われ方, 農技研報告, B7, 31~52.
- 5) 古野昭一郎, 茂本惣治, 1964 ; 栃木県における畑土壌の改良について (第1報), 栃木農試研究報告, 8, 75~85.
- 6) 花田 慧, 1965 ; 青森県における噴出源を異にする各火山性農耕土の特性とその分布 (第6報), 弘前大農学部学術報告, 11, 1~7.
- 7) 石井英之, 三好 洋, 1967 ; 千葉県に分布する畑土壌の燐酸供給力 (第2報), 千葉農試研究報告, 7, 129~131.
- 8) 石川昌男, 1967 ; 茨城県火山灰畑土壌の性質と生産力, ベトロジスト, 11, 1, 59~70.
- 9) KRANTZ, B. A., W. L. NELSON, C. D. WELCH and N. S. HALL, 1949 ; A comparison of phosphorus utilization by crops. *Soil Sci.*, 68, 171~177.
- 10) 南 松雄, 沢口正利, 山崎淑子, 1967 ; 畑土壌肥沃度の診断に関する研究 (第1報), 土肥学会講演要旨集, 13, 88.
- 11) ———, ———, ———, 1969 ; 畑土壌肥沃度の診断に関する研究 (第1報), 道農試集, 19, 80-86.
- 12) 宮里 恩, 山本 毅, 1966 ; 土壌中における燐酸の肥沃度について, 東北農試研究報告, 33, 383~405.
- 13) NELSON, W. L., A. MEULICH and E. WINTERS, 1953 ; The development, evaluation, and use of soil test for phosphorus availability. *Soil and Fertilizer Phosphorus*. 153~188.
- 14) 農林省振興局研究部監修, 1964 ; 土壌肥料全編, 640.
- 15) 関谷宏三, 江川友治, 1960 ; 土壌による有効態燐酸供給態の相違について, 土肥学会講演要旨集, 6, 10.
- 16) 関谷宏三, 1961 ; 土壌燐と作物との関連について, 土肥研究通信, 32, 42~54.
- 17) WILCOX, O. W., 1949 ; Verification of the Mitscherlich effect law., *Agron. J.*, 41 : 6, 225~229.

In this papers, the authors studied the relation between available P_2O_5 content in soils and yield response of crops.

In the pot and field experiments different rates of P_2O_5 were applied to assess the critical level of TRUOG- P_2O_5 content in soils on crop yields.

The critical level of TRUOG- P_2O_5 was examined with different characteristic soils and different kind of crops. On the other hand, using some different soils, the degree of extraction of added P_2O_5 were tested in the laboratory.

The results obtained were summarized as follows;

1) The amounts of applied P_2O_5 to obtain the maximum yield of crops were higher on the volcanic ash soils than on the non-volcanic ash soils.

2) The result of the pot experiments showed that the critical level of soil tests to obtain the maximum yield of crops was about 10 mg of TRUOG- P_2O_5 per 100 cc of soil.

3) The critical level of soil tests to obtain the maximum yield response of oats on the field experiments was about 10 mg of TRUOG- P_2O_5 per 100 cc of soil, and this result was in agreement with the result of the pot experiments.

4) The critical level of soil tests varied with the different kind of crops, and on potato plants, the critical level was about 15 mg of TRUOG- P_2O_5 per 100cc of soil which was higher than that on oats, as it was assumed that the root system of potato plants was different from that of oat plants.

5) The results of the laboratory tests showed that the percentage of extracted TRUOG- P_2O_5 to applied P_2O_5 was constant in same characteristic soils, and was 40~50% on the non-volcanic ash soils and 20~30% on the volcanic ash soils.