

道南地方に分布する礫土の特性とその改良に関する試験

第1報 理化学的性質と磷酸固定について

南 松 雄† 高 田 亨† 佐 藤 亮 八†

I 緒 言

礫土とは、俗称「黒ぼく」といわれている黒色腐植土をさし、渡島、松山、日高、十勝、北見地方など本道各地に点在するが、主に道南地方の海岸線に広く分布し、安山岩、頁岩、砂岩、などを主材とする海成洪積土壌の表土に生成されたものである。道南地方の礫土分布面積は約 12,000ha であり、その大部分は地味瘠薄で作物の生育は良好でなく、都市近郊の蔬菜栽培地帯以外は農業的価値が低く、主として牧野や山林として利用されているにすぎない現状である。

しかし、最近本土壌地帯は総合開発計画の対象となり、これが改良の急務なるを認めて、先ずこの種土壌の特質を明らかにし、それに基づく適切

な対策を樹立するため本研究を実施した。

本報は、先ずその第一着手として渡島地方に分布する礫土の物理的並びに化学的特性および磷酸の固定について研究した結果について報告する。

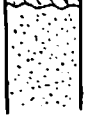
本研究は北海道大学教授石塚喜明、北海道農業試験場前農芸化学部長西潟高一両氏の絶大なる御援助と御助言のもとに遂行できたものであり、ここに深甚の謝意を表する。なお本試験の実施に御助力をいただいた銭亀沢村役場、函館地区農業改良普及所の職員諸氏に深く感謝する。

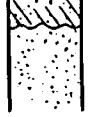
II 特 性

1. 供試土 壤

土壌採取個所 { 亀田郡銭亀沢村中野 (新聖地)
函館市湯の川町松倉 (既聖地)
その土壌断面は第1図のとおりである。

第1図 土 壤 断 面 図
〔銭 亀 沢 村〕 〔湯 ノ 川 町〕

試料 戸序	戸名	土 壤 断 面	戸厚	土性	土 色
銭-1 {	A		0 cm	SL	暗黒色
	C		18 "	SL	黒 色
銭-2 {	A・C		24 "	SL	黒 色
	A		46 "	L	暗黄褐色
銭-3 {	C		60 "	L	淡黄褐色

試料 戸序	戸名	土 壤 断 面	戸厚	土性	土 色
湯-1 {	A		0 cm	SL	暗黒色
	C		14 "	SL	黒 色
湯-2 {	A・C		26 "	SL	黒 色
	A		48 "	L	暗黒褐色
	C		65 "	L	淡黄褐色

(注) 銭-1 及び湯-1 を礫土の表層、銭-2 及び湯-2 を礫土の下層と呼称する。

表土 (0~24cm 及び 0~26cm) は腐植にすこぶる

† 化学部 村 渡島支場

* 腐植質土壌が地表に30cm以上堆積し、しかも磷酸分の欠乏した土壌を指称する。

富む軽鬆土で脆弱な粉塊状構造を有し、構造間の孔隙多く、堆積膨軟なため気水の透通は良好で保水性をやや有し、降水時には湿潤となる。

下層土 (25~46cm 及び 27~48cm) は腐植含量が非

常に多く、大粉塊状構造で堅密な堆積をなし、保水性はなほ強く、かつ粘性を有する。

心土(46cm以下)は黄褐色乃至淡黄褐色をていする洪積土壌である。

2. 物理的性質

塩土各層について、その理化学性を調査した結果

は第1表のとおりである。一般に塩土は容積比重が小さく、容水量が著しく大きい点より考えても極端で保水性の強い膨軟な土壌であることがわかる。かつこの種土壌はほかの腐植質火山性土と異なり、粘土含量が高く22~24%の値を示している。

第1表 物理的性質

試料層序	項目	水分	100cc 当り 土壌重量		容積比重		容水量		上昇時間		農学会法による 粘土コロイド		真比重
			粗	密	粗	密	粗	密	粗	密	粘土コロイド	真比重	
銭 ~ 1		9.96	53	65	0.57	0.70	135	115	15	25	21.3	9.0	2.2
銭 ~ 2		10.83	51	62	0.58	0.71	147	128	7	14	22.1	11.3	2.2
銭 ~ 3		5.97	74	89	0.80	0.96	84	73	16	39	38.7	21.3	2.7

3. 化学的性質

(1) 熱塩酸分析および磷酸吸収係数

次に、常法により熱塩酸分析を行なった結果は第2表のとおりである。

第2表 熱塩酸分析(乾土百分中)及び磷酸吸収係数

試料層序	項目	塩酸不溶解分	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Mn ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O _n	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	磷酸吸収係数
銭 ~ 1		70.74	6.44	4.83	5.41	0.17	0.16	0.64	0.30	0.64	1.28	2.01	1965
銭 ~ 2		62.50	6.21	6.72	7.83	0.16	0.18	0.51	0.25	0.33	0.87	1.33	2408
銭 ~ 3		68.20	11.76	7.16	8.91	0.15	0.24	0.29	0.39	0.30	1.48	2.25	1869
湯 ~ 1		74.24	7.00	4.35	4.73	0.26	0.20	1.04	0.46	0.62	1.58	2.51	2168
湯 ~ 2		67.12	7.31	6.48	6.69	0.30	0.24	0.94	0.42	0.48	1.14	1.85	2532

前表よりわかるように、一般に本土壌の珪酸含量が低く礫土含量および磷酸吸収が著しく高い。かつ塩土の下層は表層に比較して礫土含量が高く、珪酸比はかなり低い。このように珪酸比と磷酸吸収とは相関関係が高く、珪酸比の低い層ほど磷酸吸収係数が大であり、本土壌においては磷酸の固定および不可給態化の極めて大きいことが考えられる。

(2) 酸度および置換性石灰

酸度および置換性石灰含量を測定した成績第3表によると、塩土各層ともにpHは5.8~6.0で微酸性で著しい差異は認められず、置換酸度は低いが加水酸度は極端に高い。しかも全般的に腐植含量の多い層は少ない層に比較して酸度が高い。これは腐植酸となんらかの関連性を有するものと思

われる。一方、毎年多量の堆肥を施用している肥沃畑地では新墾地にくらべ一段と酸度が弱く、やや酸性を呈するが置換性石灰含量は多い。

第3表 酸度および置換性石灰

試料層序	pH		置換酸度	加水酸度	置換性石灰	腐植
	H ₂ O	KCl				
銭 ~ 1	5.95	4.78	2.56	61.5	0.27	19.49
銭 ~ 2	5.83	4.55	3.17	87.2	0.13	26.31
銭 ~ 3	5.88	4.68	1.71	19.7	0.04	3.34
湯 ~ 1	4.98	4.30	1.91	49.9	0.35	21.18
湯 ~ 2	5.36	4.48	2.03	68.1	0.42	26.80

(3) 遊離の珪酸、鉄、礫土

Tamm⁹⁾の方法に従つて、珪酸、磷酸アンモン可溶の珪酸、鉄、礫土含量および N/2-CH₃COOH

可溶礬土(活性礬土)含量を定量した結果は第4表のとおりである。

第4表 遊離の珪酸、鉄、礬土含量
(乾土100g中)

試料順序	珪酸・鉄酸アンモン可溶				N/2-CH ₃ COOH可溶	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Total	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
	%	%	%	%	mg	mg
銭～1	0.22	1.41	0.78	2.41	110	101
銭～2	0.21	2.12	0.41	2.74	194	90
銭～3	0.76	1.57	0.48	2.81	161	74

礬土各層は遊離の珪酸含量が比較的少なく、これに反して礬土含量が極めて高く、特に礬土下層が礬土性も極めて大なることが推察される。N/2 CH₃COOH 可溶の礬土含量も同一の傾向を示した。

(4) 有機態磷酸および可給態磷酸

常法により N/5 HCl 可溶磷酸、加里含量および林、滝島³⁾の方法で無機態、有機態磷酸含量を測定した結果を第5表にかかげた。

第5表 有機態および可給態磷酸含量
(乾土100g中)

試料層序	N/5HCl可溶		Total	organic	in	org-
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	org-anic	P ₂ O ₅ /T-P ₂ O ₅
	mg	mg	mg	mg	mg	%
銭～1	10.6	18.8	208.9	137.6	71.3	65.8
銭～2	7.8	12.4	267.2	196.5	70.7	73.5
銭～3	4.7	7.0	121.7	41.1	80.6	33.7
湯～1	26.4	30.1	294.7	177.0	117.7	60.1
湯～2	18.1	23.6	286.2	202.0	84.2	70.6

このように、全磷酸含量は0.3%前後で普通の畑土壌の磷酸含量と比較して低い値とはいえない。

第8表 塩基置換容量および窒素吸収係数

試料層序	腐植	塩基置換容量 (乾土100g中)	H ₂ O ₂ 処理 後の塩基置 換容量	全性置換 塩基量 (乾土100g中)	塩基飽和度	置換性石灰	置換性苦土	窒素吸収 係数
		me	me	me	%	mg	mg	
銭～1	19.49	43.8	6.7	14.8	33.7	273	176	656
銭～2	26.31	64.5	10.3	7.8	12.0	129	140	886
銭～3	3.34	16.7	12.7	1.9	11.3	36	19	540
湯～1	21.18	40.2	5.9	17.8	44.2	351	183	664
湯～2	26.80	61.5	10.0	24.1	39.1	415	144	876

が、N/5HCl 可溶の可給態磷酸含量は10mg前後で全磷酸含量に比して非常に少ない。しかも礬土各層の有機態磷酸含量が高く、全磷酸の60～70%が有機態磷酸で占められていることが特に注目する。さらに既聖地が新聖地に比して全磷酸含量および可給態磷酸含量が高くなり、かつ全磷酸と有機態磷酸との比率が小さくなっていることは連年の磷酸肥料施用の影響によるものと思われる。

(5) 炭素、窒素および炭素率

次に、常法によつて炭素および窒素含量を測定した成績の第6表によると、一般に礬土各層は普通土壌はもちろん、ほかの腐植質火山性土に比較して窒素および腐植含量が極めて高く、腐植は20%以上、窒素含量は1%前後を占める。また炭素含量の多い場合は炭素率も大で腐植の分解が容易でないことを示し、かつ細菌の繁殖も不十分であろうことが考えられる。

第6表 炭素および窒素含量 (乾土100g中)

試料層序	C	N	C/N	腐植	灼熱 損失量
	%	%		%	%
銭～1	11.31	0.88	12.8	19.49	22.86
銭～2	15.27	1.10	13.9	26.31	36.79
銭～3	1.93	0.31	6.2	3.34	4.81
湯～1	12.29	1.04	11.7	21.18	
湯～2	15.58	1.26	12.4	26.30	

(6) 置換性塩基および塩基置換容量

礬土各層について、醋酸アンモニアを加えて塩基置換容量、全置換性塩基含量を測定し、同時に30% H₂O₂により土壌中の有機物を分解したのち、同様に測定した。また常法により窒素吸収係数をも測定した結果は第8表のとおりである。

前表によると、腐植含量の高い土壤は置換容量も大きく、置換容量と腐植含量とは高い相関関係を有している。次にこれを H_2O_2 にて処理して腐植を除くと壤土各層の置換容量が 10m.e.V 前後で極めて低い値を示し、従つてこの種土壤においては置換容量は腐植によりかなり左右されることが明瞭である。同様の傾向は窒素吸収係数についてもみられた。これに反して、心土は H_2O_2 処理によつて腐植を除いたのちもその置換容量は 13 m.e.V 前後の値を示し、無機膠質に基づく置換容量の占める割合の多いことを示している。

(7) 腐植と礫土との関係

早川^{9),6)} が腐植質火山灰土に対し用いた方法を適用して、30% H_2O_2 で土壤有機物を分解させる際に遊離してくる珪酸、礫土、鉄含量と炭素 1g と結合せる礫土含量を測定し、同時に Waksman¹⁰⁾ 法の腐植を測定した結果は第 9 表のとおりである。

第 9 表 H_2O_2 処理により遊離する珪酸、鉄、礫土および Waksman 法腐植組成

試料 層序	H_2O_2 処理により遊離 する成分(乾土 100g 中)			C1g と結 合せる法 Al_2O_3	Waksman 腐植組成	
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3		α - fraction	β - fraction
銭～1	131	1404	711	124	4.78	2.56
銭～2	108	3140	906	205	6.28	5.20
銭～3	242	215	187	109	0.48	2.04

前表に示すごとく、 H_2O_2 処理によつて極めて多量の礫土が遊離し、中でも壤土下層は表層に比較して 2 倍以上の礫土が遊離した。従つて炭素 1g と結合せる礫土の量も最大であつた。一方 Waksman 法の腐植組成中、 α -fraction は腐植含量の多い層に多く、また β -fraction は礫土含量の多い層において高い。

これらのことより、Waksman の言を引用すると壤土各層は一般に礫土と結合している型の腐植の多いことを暗示している。

(8) 腐植の性質

1) Simon 法⁹⁾ による腐植の分類

一無処理の場合一

地力に最も大きな影響を与える土壤成分の 1 つに腐植があげられ、しかも壤土のように腐植含量

が 20% 以上をこえる土壤では、腐植が地力におよぼす影響が大なることは十分に考えられる。

従つて、腐植の性質を確かめるため Simon 法により壤土各層につき、NaOH、NaF に溶解する腐植の量について測定した結果は第 10 表のとおりである。

第 10 表 Simon 法による腐植の形態
(原液 30cc 当り)

試料 層序	溶剤	浸 出 部			沈 澱 部		
		$KMnO_4$ 消費量 a	沈澱 b	%	$KMnO_4$ 消費量 NH_4	Ac_2O_4	腐植 化度
銭～1	NaOH	396	32	91.9	352	130	36.9
	NaF	160	44	72.5	128	103	80.4
銭～2	NaOH	330	32	93.3	301	59	19.6
	NaF	97	37	61.8	73	57	78.0
銭～3	NaOH	56	18	67.8	16	3	18.7
	NaF	16	6	62.5	5	2	40.0

NaOH 浸出では $KMnO_4$ 消費量 a, 沈澱部割合は非常に高いが、一方石灰沈澱剤である NaF 浸出では非常に少なくなっており、かつ NaF 浸出の腐植化度が NaOH 浸出のそれよりはるかに高いことは NaF 浸出の大部分が真性腐植酸により占められている点より考えて、壤土各層特に下層の腐植化があまり進んでいないことを意味する。

ロ) Simon 法による腐植の分類

一塩酸で前処理を行なつた場合一

このように、壤土の腐植が石灰沈澱剤に溶けてこないことはこれらの腐植が腐朽物質として存在しているためか、またこれらの溶剤に溶解し難い形に変わつたものかどうか問題となる。

よつて、5% HCl で 60°C、30 分間温めたのち、Cl⁻ が認めなくなるまで洗滌し、同様にして腐植の形態を測定し、同時にこの塩酸前処理に際して

第 11 表 5% HCl 処理の際、溶出する石灰、鉄、礫土および腐植 (乾土 100g 中)

試料層序	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	腐植	全腐植に 対する 比率
銭～1	409	2,540	1,320	703	3.60
銭～2	225	6,420	2,340	1,291	4.09
銭～3	157	7,130	1,940	231	6.91

溶出する石灰、鉄、礬土および腐植含量を測定した結果は第11～12表のとおりである。

第12表 HCl で前処理を行なった場合の腐植の形態 (原液 30c.c 当り)

試料層序	溶剤	浸出部			沈澱部		
		KMnO ₄ 消費量 a	沈澱 b	%	KMnO ₄ 消費量 NH ₄	AcH ₃	腐植 化度
錢～1	NaOH	402	57	86.5	363	308	84.8
	NaF	71	62	12.5	28	24	85.7
錢～2	NaOH	514	61	88.1	450	360	80.0
	NaF	173	132	23.1	66	56	84.8
錢～3	NaOH	90	40	55.5	97	37	38.1
	NaF	40	20	52.3	24	13	54.1

5%塩酸で処理した場合には、石灰のほかに礬土、鉄、腐植が多く溶出した。しかも礬土の下層は表層よりも全腐植に対する塩酸可溶腐植の割合ははるかに高く、従つて下層の腐植は表層のものより酸処理により可溶性になりやすいことが認められた。

また、5%塩酸で前処理を行なうと無処理の場合にくらべて KMnO₄ 消費量 a, フルボ酸含量, 醋酸塩緩衝液に溶解する真性腐植酸含量および腐

植化度が極めて高い値を示した。このことは原土のままでは腐植酸が NaF 溶液に溶解し難い形として存在しており、酸処理により初めて溶解しやすい形に変化し、しかもその大部分が真性腐植酸として溶出することを意味する。また、酸処理によつて溶出する礬土含量の多い層ほど溶出する腐植含量が高い点より考えて、道南地方に分布する礬土の腐植は礬土と結合せる型の腐植の多いことが考えられ、特に下層においてその傾向が大である。

ハ) 酸前処理の腐植および窒素溶出量におよぼす影響

礬土の腐植は前項でのべたように、真性腐植酸の抽出剤と考えられる NaF には不溶で塩酸前処理を行なつて初めて可溶性になる性質を有する。従つてこれらの点について詳細に検討するために前処理に使用する塩酸濃度をそれぞれ0.5, 1.0, 2.0, 5.0%とし、この際に溶出する石灰、二三酸化物、炭素、窒素含量およびこの塩酸処理土壌を Simon 法に従つて NaF にて浸出し、溶解する腐植含量 (N/10 KMnO₄ 消費量にて表示) を測定した成績を第13表、第2図～第6図にかかげて相互の関連を検討した。

第13表 塩酸前処理に際して溶出する石灰、二三酸化物、窒素、炭素含量(乾土100g中)および前処理塩酸濃度に対応する Simon 法 (N/8 NaF) KMnO₄ 消費量

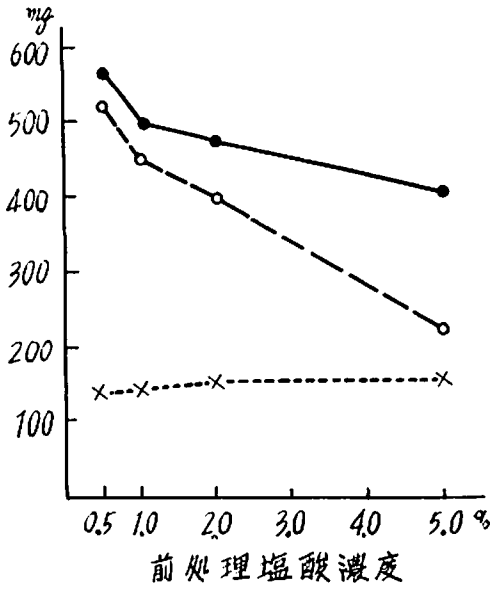
成分 試料層序 塩酸濃度	二三酸化物			石 灰			窒 素			炭 素			N/10-KMnO ₄ 消費量 (a)		
	錢～1	錢～2	錢～3	錢～1	錢～2	錢～3	錢～1	錢～2	錢～3	錢～1	錢～2	錢～3	錢～1	錢～2	錢～3
0 %	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	c.c 185	c.c 96	c.c 15
0.5 "	1,050	2,370	320	566	525	136	32	37	14	78	91	34	216	286	18
1.0 "	1,660	4,000	3,320	498	443	143	42	53	21	126	162	65	230	348	23
2.0 "	2,440	5,040	5,810	477	396	157	48	71	28	227	351	148	330	363	64
5.0 "	3,350	7,590	8,300	409	225	157	85	136	46	478	785	304	334	401	77

塩酸濃度を0.5～5.0%と変えるときに溶出する石灰含量は礬土各層では次第に減少するが、心土では逆にわずかながら増加している。一方、二三酸化物の量は塩酸濃度の増加に伴つてその溶出量も増加し、しかもこれに伴つて炭素および窒素量も増加した。礬土の腐植は稀酸には直ちに溶解し難く、前処理に用いる塩酸が一定濃度 (2.0%) 以

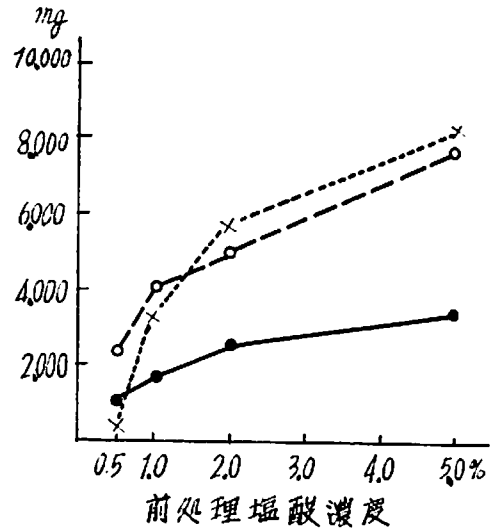
上に達すると腐植と結合している二三酸化物が溶解除去されてのち初めて腐植の溶出量が増加する。また、本土壤の腐植は塩酸処理すると NaF に易溶性になり、KMnO₄ 消費量も処理塩酸濃度が高くなるにつれて増し、溶出する腐植の量も増加した。

4. 考察および結論

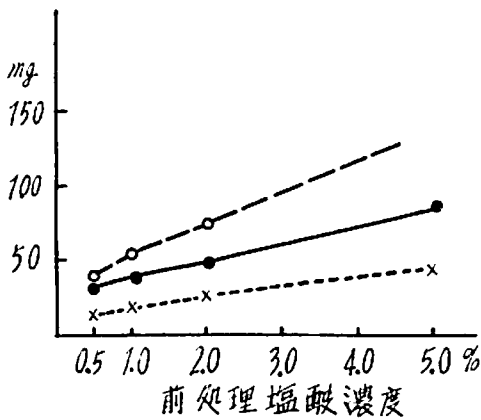
第2図 CaO の溶出量



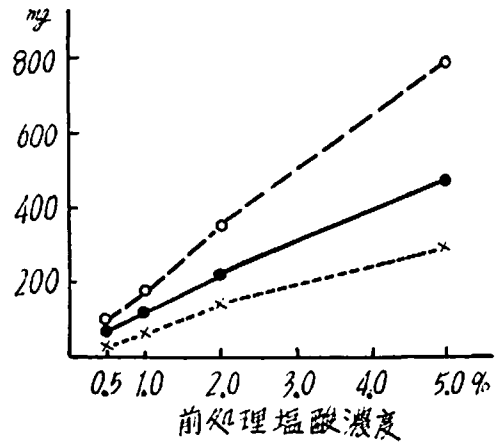
第3図 二三酸化物の溶出量



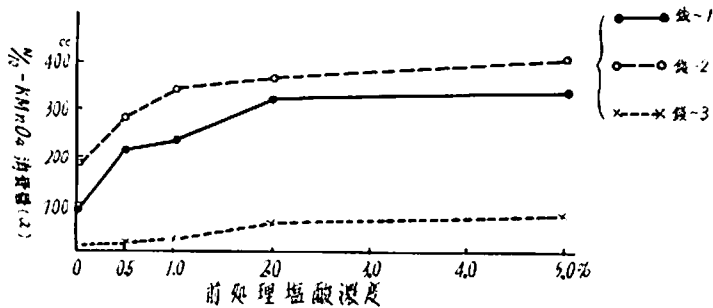
第4図 窒素の溶出量



第5図 炭素の溶出量



第3図 前処理塩酸濃度に対応する Simon 法 (N/8-NaF) KMnO_4 消費量 (a)



以上の成績から、道南地方に分布する礫土の特性を要約すれば次のごとくである。

1) 本土壤は腐植にすこぶる富み、粘性および凝集力が乏しく、かつ保水性の強い軽鬆な土壤である。

2) 無機膠質が少なく、塩基置換容量が 40 m. e. V 以上で著しく高く、本土壤の養分保持はほとんど腐植により左右される。その反面、遊離礫土含量が極めて高い。

2) 礫土の全磷酸は 0.3 % 前後でその含量は普通土壤に比較して特に低い値とは考えられないが N/5 HCl 可溶磷酸含量が 10 mg 以下で著しく低い。これは本土壤の礫土含量が高く、磷酸吸収力が大なるため、磷酸の大部分が不可給態として固定されているものと考えられる。また本土壤の磷酸の 60~70% 以上が有機態磷酸の形で存在していることが注目し値する。

4) Waksman 法の腐植組成中、 β -fraction 含量が極めて高く、しかも礫土含量の高い層ほど高い。このことより本土壤は一般に礫土と結合している型の腐植の多いことを示す。

5) Simon 法により腐植を調査した結果、いわゆる NaF のごとき石灰沈澱剤に対する溶解度が極めて少ないが、しかし塩酸で前処理を行なうと KMnO_4 消費量および腐植化度が著しく増加した。このことは原土のままで腐植酸が NaF 溶液に溶解し難い形として存在しており、酸処理によつて初めて溶解しやすい形に変化し、しかもその大部分が真性腐植酸として溶出してきたと考えられる。

III 礫土の磷酸固定

前項において物理的、化学的性質を調査の結果、本土壤は可給態磷酸含量が少なく、かつ強いことが示された。

従つて、本土壤の礫土性の問題は必然的に磷酸の肥効に関係し、磷酸肥料の施与量、施肥法が直接作物の生産量を支配する最大因子の一つとなることは想像に難くない。

A. 磷酸固定に関する試験

1) 肥料 3 要素試験

昭和32年度に本場ガラス室において、植木鉢による肥料 3 要素試験を実施した結果は第14表のとおりである。

第 14 表 植木鉢による 3 要素試験 (燕麦)

試験区別	項目	成熟期における生育調査			鉢当り牧量			子実収量比
		根長	穂長	穂数	総重	茎稈重	子実重	
		cm	cm	本	g	g	g	%
1. 無肥料区		47.1	12.9	14	14.4	5.6	6.2	17
2. 無窒素区		61.7	17.6	14	40.7	19.4	18.8	46
3. 無磷酸区		58.9	16.0	14	18.7	7.8	7.6	21
4. 無加里区		91.0	22.3	15	69.7	30.1	30.4	83
5. 3 要素区		96.0	23.3	16	82.2	36.0	36.9	100
6. 窒素単用区		53.4	15.4	14	17.2	7.0	7.5	20
7. 磷酸単用区		66.0	20.6	14	41.5	20.0	19.0	52
8. 加里単用区		54.7	15.0	14	17.4	7.2	7.4	20

(注) 1) 3 要素区の子実収量比を 100 とす。

ロ) 3 要素区の鉢当り要素量は窒素、磷酸、加里各 1 g。

前表よりわかるように無磷酸区の子実収量は無肥料区のそれに近い値を示し、また磷酸単用区においては 3 要素区を 100 とすると 52 でかなりの収量をあげており、磷酸の効果は極めて顕著であることがわかる。本土壤は腐植および窒素含量が相当高いにもかかわらず窒素の肥効もやや顕著である。

従つて、礫土各層の磷酸固定についての基礎資料を得、これを磷酸肥料の合理的施肥法確立の資に提供しようとして次のごとき実験を行なつた。

2) 溶液の反応と磷酸固定

土壤の磷酸吸収量はこれに加える磷酸溶液の反応により異なることは多くの人により指摘されている。ここで、塩入⁷⁾の方法に準じ、礫土各層の磷酸吸収量と濾液の pH との関係を第15表および第7図に示した。

すなわち礫土各層はその濾液の pH が 3~4 にて最高磷酸吸収量を示し、塩入の第4型土壤(液の OH イオン濃度の増大による膠質の破壊せられる土壤)に相当する。一般に礫土含量の多い層ほど磷酸吸収量が高く、遊離礫土の存在が磷酸吸収を増加せしめることを認めた。

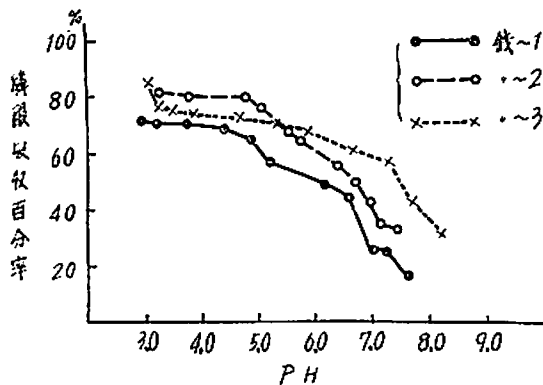
3) 磷酸吸収量と時間との関係

土壤による磷酸吸収の速度はその土壤の性質に

第15表 塩土の磷酸吸収率とpH

銭～1	濾液のpH	2.90	3.15	3.75	4.40	4.91	5.21	6.18	6.59	7.02	7.23	7.60
	磷酸吸収百分率	70.8	70.4	69.7	69.5	65.4	55.5	48.4	44.2	25.9	24.8	15.9
銭～2	濾液のpH	3.23	3.73	4.82	5.04	5.50	5.72	6.40	6.68	6.87	7.08	7.37
	磷酸吸収百分率	80.9	79.8	78.0	74.7	67.4	64.0	54.4	48.3	42.0	33.7	32.7
銭～3	濾液のpH	3.04	3.30	3.51	3.86	4.70	5.36	5.88	6.67	7.30	7.71	8.24
	磷酸吸収百分率	84.1	76.1	74.5	73.8	73.6	70.9	67.0	61.3	56.3	43.2	31.9

第7図 塩土の磷酸吸収型



より異なるも一般に極めて早いものと考えられる。

いま、磷酸アンモン 50c.c (50 mgの P_2O_5 を含む) を土壌 5 g に加えて30分、1時間、5時間、12時間、24時間、3日、30日後にそれぞれ溶液中に吸収されずに残った磷酸を測定して添加磷酸との差を磷酸吸収量とす、次に直ちに残土より1%クエン酸可溶磷酸を測定して土壌の全磷酸吸収量のうち、可給態のまま吸収されている磷酸量を算出した。

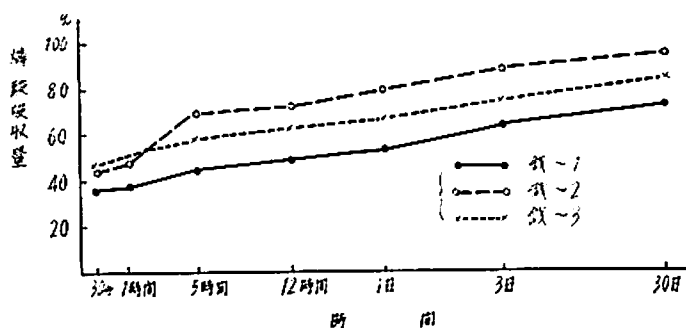
〔全磷酸吸収量〕－〔1%クエン酸可溶磷酸〕＝永久固定量

以上の方法に基づいて実験した結果は第16表および第8図に示した。

第16表 塩土の磷酸吸収量と時間（添加量に対する百分比）

試料順序	項目 \ 時間	30分	1時間	5時間	12時間	1日	3日	30日
銭～1	磷酸全吸収量	36.5	37.2	44.5	48.7	53.6	64.0	72.5
	永久固定量	22.6	23.1	29.1	33.6	39.2	49.3	57.5
銭～2	磷酸全吸収量	44.2	47.5	68.2	72.9	80.0	90.1	96.0
	永久固定量	29.2	32.1	51.5	56.1	64.2	74.4	80.4
銭～3	磷酸全吸収量	45.9	47.1	58.6	62.8	66.6	74.4	84.8
	永久固定量	32.5	33.2	43.9	47.2	51.6	59.0	69.2

第8図 磷酸吸収量と時間



以上のように磷酸の固定は非常に短時間中に進むらしく5時間以内にその大部分が吸収され、吸収量はその後わずかずつではあるが増加した。しかも磷酸吸収量の増加の状態と永久固定量増加の状態とはほぼ平衡状態で進行している。すなわち吸収された磷酸のうち、可給態磷酸量はこの作用時間内では各土壌とも同程度の14～16%くらいの量である。

また礫土含量の大なる土壤ほど磷酸吸収量およびその永久固定量がともに大である。一般に腐植含量の大なる礫土下層が表層に比較して磷酸吸収量が大であるが第9表に示されているとおり、この腐植は鉄、礫土との結合量多いことから考えてこの鉄、礫土との複合体が磷酸の吸収およびその固定に関与しているものと考えられる。

4) 塩酸処理と磷酸固定との関係

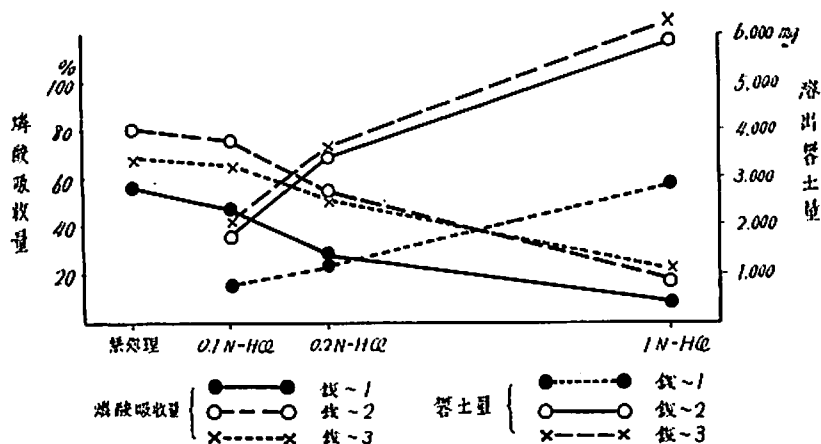
このように珪礫比の低い層ほど、すなわち二三酸化物含量の多いものほど磷酸吸収量が大となっている。そこでこれら土壤を塩酸にて処理し、鉄、礫土を除去した場合に磷酸吸収量がいかに変化するかを検討した成績は第17表および第9図のとおりである。

第17表 塩酸処理土壤の磷酸吸収量および溶出する鉄、礫土量 (風乾土 100g中)

項目 試料層序	無 処 理		0.1N HCl 処 理			0.2N HCl 処 理			N HCl 処 理		
	P_2O_5 吸収量	永 久 固定量	P_2O_5 吸収量	Al_2O_3 溶出量	Fe_2O_3 溶出量	P_2O_5 吸収量	Al_2O_3 溶出量	Fe_2O_3 溶出量	P_2O_5 吸収量	Al_2O_3 溶出量	Fe_2O_3 溶出量
錢 ~ 1	55.6	42.6	46.6	784	288	28.4	1,224	320	9.0	2,880	1,112
錢 ~ 2	80.2	66.1	74.6	1,784	534	53.4	3,464	264	18.2	5,896	1,504
錢 ~ 3	68.6	55.2	65.2	2,008	510	51.0	3,632	320	21.2	6,264	1,560

注) P_2O_5 吸収量及び永久固定量は添加量に対する百分比

第9図 磷酸吸収量および溶出する礫土量



前表に示されるように塩酸で土壤を処理した場合の磷酸吸収量は所要塩酸濃度が高くなるに従って急激に減少した。同時に溶出する鉄、礫土量は逆に著しく増加した。このように本土壤においては磷酸の吸収と礫土含量との間には極めて高い相関関係がある。

5) H_2O_2 処理と磷酸固定との関係

次に、本土壤の腐植が磷酸吸収に対していかなる作用をおよぼしているかを確かめるために林⁴⁾の方法に準じて磷酸吸収量を測定した結果は第18表のとおりである。

第18表 H_2O_2 処理土壤の磷酸吸収量および溶出する鉄、礫土量 (風乾土 100g中)

項目 試料層序	無 処 理		H_2O_2 処 理 の み		H_2O_2 処 理 後 熱 水 で 洗 滌 す		
	P_2O_5 吸収量	永 久 固定量	P_2O_5 吸収量	永 久 固定量	P_2O_5 吸収量	Al_2O_3 溶出量	Fe_2O_3 溶出量
錢~1	55.6	42.6	68.2	63.8	45.4	1,264	640
錢~2	80.2	66.1	89.4	86.2	60.2	2,712	808
錢~3	68.6	55.2	83.0	71.2	53.8	216	176

注) P_2O_5 吸収量及び P_2O_5 永久固定量は添加量に対する百分比

H_2O_2 処理の際に、溶出する礫土量は腐植含量

の多い土壌ほど多く、木土壌では腐植と礫土とが密接な関係を有すると推定されるので溶出したものは一応腐植と結合していた鉄、礫土と考えてよいであろう。

H_2O_2 処理後、熱水で洗滌分離して鉄、礫土を除いた土壌の磷酸吸収量を比較すると腐植含量の多い土壌ほど無処理土壌にくらべてその磷酸吸収量の減少割合が大きい。一方 H_2O_2 処理後分離せる鉄、礫土を除去せず直ちに磷酸吸収量を測定した場合は磷酸吸収量がむしろ増加している。このことは添加磷酸の大部分が活性化された鉄、礫土

と結合したものと考えられる。

B. 墾土に対する窒素用量と磷酸用量に関する栽培試験

次に墾土に対する窒素と磷酸との適量および適比率を査定せんとして昭和33年度に実施した植木鉢試験と現地圃場試験の成績について報告する。

1. 植木鉢試験

供試土壌は亀田郡銭亀沢村表土、燕表(前進)を供試作物として 1/2,000 a Wagner 植木鉢による試験を実施し、その試験成績を第19～20表および第10～11図にかかげた。

第 19 表 生 育 お よ び 収 量 調 査

試 験 区 別	項 目	成熟期における生育調査			鉢 当 り 収 量			子 実 収 量 比	子 実 重 / 総 重 × 100
		稈 長	穂 長	穂 数	総 重	茎 稈 重	子 実 重		
1. 無 窒 素 区		66.5 ^{cm}	18.0 ^{cm}	14	31.3 ^g	16.8 ^g	13.8 ^g	53 [%]	44.1 [%]
2. 無 磷 酸 区		45.3	10.4	24	10.5	7.0	3.0	12	28.5
3. 窒素標準量+磷酸標準量区		79.8	22.6	26	72.2	44.9	26.0	100	36.0
4. " + " 2 倍量区		86.4	23.0	28	84.0	52.0	28.5	110	33.9
5. " + " 4 倍量区		89.7	24.3	28	98.5	65.0	30.9	119	31.3
6. " + " 6 倍量区		92.5	25.5	28	108.6	73.0	33.7	130	31.0
7. " + " 8 倍量区		98.8	26.3	29	124.1	84.7	37.5	144	30.2
8. " + " 10 倍量区		91.6	22.5	47	107.6	86.7	18.3	70	17.0
9. 窒素 2 倍量+磷酸標準量区		80.0	22.6	40	77.3	47.6	27.2	105	33.6
10. " + " 2 倍量区		81.9	22.3	49	92.8	62.0	28.7	110	30.9
11. " + " 4 倍量区		83.8	21.0	54	107.1	81.2	23.8	92	22.2
12. " + " 6 倍量区		89.3	20.4	56	127.7	102.9	22.0	85	17.2
13. " + " 8 倍量区		90.1	19.2	60	120.8	104.8	13.5	52	11.1
14. " + " 10 倍量区		88.7	18.0	60	113.1	101.8	11.3	43	9.9

注) 1. 窒素標準量+磷酸標準量区の鉢当たり要素量は窒素、磷酸、加里各 1 g

2. 窒素標準量+磷酸標準量区の子実収量を 100 とする。

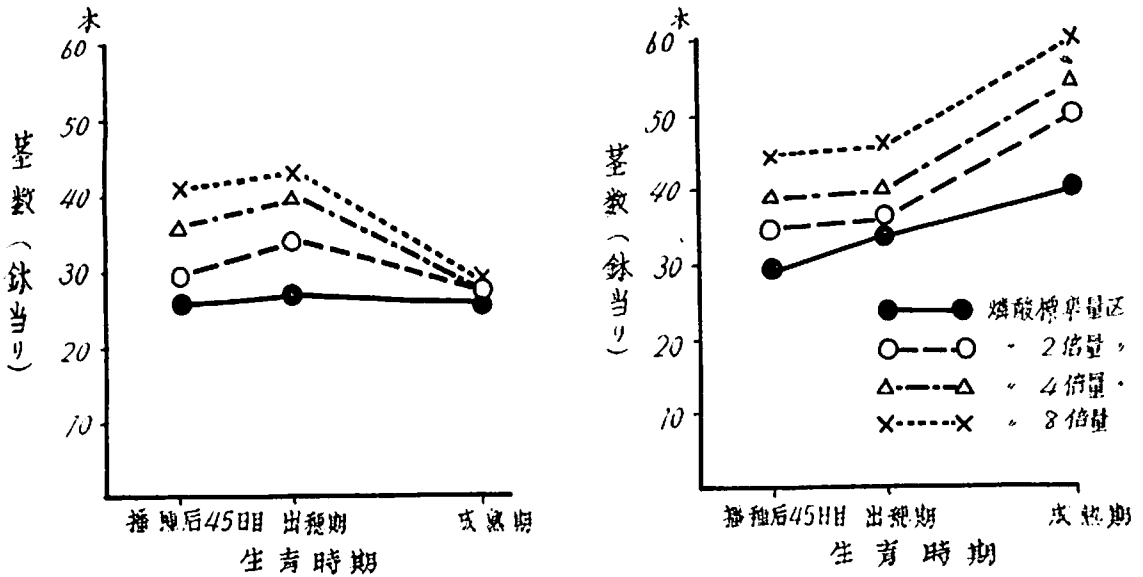
窒素標準量系列では磷酸施用量の増加に従って葉幅が広くなり、穂も大きくなり、極めて良好な生育を示し、登熟も早く、また整一であつた。これに反して窒素 2 倍量系列では磷酸施用量の多少にかかわらず、各区ともに出穂後も茎数が増加し、収穫直前まで養分の吸収が続き、登熟も著しく遅延して、かつ叢生状態になつた。

収量調査の結果によると、窒素標準量系列では磷酸の増施に伴い、生育と同様に、子実収量が次

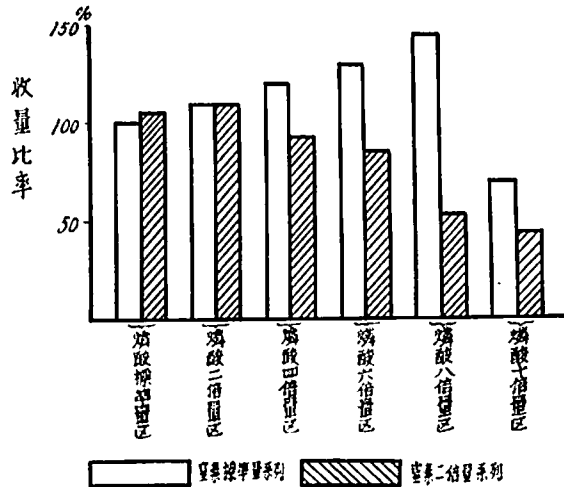
第に増加し、磷酸 8 倍量区が最高の収量を示したが、それ以上に磷酸を増施すると逆に減少した。これに対し、窒素 2 倍量系列では磷酸 2 倍量区の収量が最高の値を示したが、それ以上の磷酸の施用は逆に負の結果を招来した。

このように窒素標準量系列では磷酸施用量の増加に従って極めて良好な正常生育を示したが、しかし窒素増量系列では養分吸収を示して栄養生長と生殖生長との区別が判然としなかつた。

第10図 茎数の推移 (鉢当り)
 (窒素標準量系列) (窒素2倍量系列)



第11図 窒素用量と磷酸用量との収量比率



第20表 収穫物の成分含有率及び吸収量

試験区別	項目	成分含有率				鉢当り吸収量		茎稈部と子実部との養分濃度の較差	
		茎	子実	茎	子実	N	P ₂ O ₅	N*	P ₂ O ₅ *
1.	-N	0.38	2.03	0.04	0.71	0.35	0.10	1.65	0.67
2.	-P	2.44	2.77	0.10	0.54	0.25	0.02	0.33	0.44
3.	1N~1P	1.07	2.76	0.20	0.77	1.20	0.29	1.69	0.57
4.	"~2P	0.94	2.61	0.21	0.84	1.23	0.35	1.67	0.63
5.	"~4P	0.93	2.56	0.22	0.92	1.40	0.43	1.63	0.60
6.	"~6P	0.91	2.42	0.22	0.96	1.48	0.49	1.51	0.74
7.	"~8P	0.85	2.16	0.23	0.95	1.53	0.55	1.31	0.72
8.	"~10P	1.63	2.35	0.56	1.12	1.85	0.69	0.72	0.56

試験区別	項 目	成 分 含 有 率				鉢 当 り 吸 収 量		茎 稈 部 と 子 実 部 と の 養 分 濃 度 の 較 差	
		N		P ₂ O ₅		N	P ₂ O ₅	N*	P ₂ O ₅ *
		茎 稈	子 実	茎 稈	子 実				
9. 2N~1P		1.63	2.88	0.31	0.93	1.56	0.40	1.25	0.62
10. " ~ 2P		1.72	2.87	0.33	0.96	1.89	0.48	1.15	0.63
11. " ~ 4P		1.76	2.80	0.35	0.99	2.10	0.52	1.04	0.64
12. " ~ 6P		1.80	2.62	0.38	1.09	2.43	0.63	0.82	0.71
13. " ~ 8P		2.17	2.52	0.51	1.11	2.61	0.68	0.35	0.60
14. " ~10P		2.30	2.50	0.64	1.23	2.62	0.79	0.20	0.59

注) N*=子実中の N% - 茎稈中の N %

P₂O₅*=子実中の P₂O₅ % - 茎稈中の P₂O₅ %

結局塩土の最少養分律を支配しているのは、やはり磷酸であり、その施肥法としては磷酸を多施して出穂期以前に極力栄養生長を完了させて出穂後の分蘖を抑えることであり、その対策としては窒素の過用を避けて窒素6~8倍量の磷酸を施肥することが有効である。

なお窒素増量系列では磷酸の増施に従って穂数、茎稈重は増加したが、子実収量が逆に減少の一途をたどった点については、今後栽培法および

土壤窒素の無機化の面から検討する必要がある。

2. 圃 場 試 験

開墾以来、20数年経過した農家圃場（函館市旭ヶ丘）において供試作物として燕麦（前通）を用い、かつ当地方標準耕種法に従って磷酸多用試験を実施した。

その試験成績を表示すると第21表および第12図のとおりである。

第 21 表 生 育 お よ び 収 量 調 査

試 験 区 別	成熟期の生育調査			10a 当 り 収 量			1 ㍔ 重 1000粒重		子 実 収 量 比
	株 長	穂 長	穂 数	総 重	茎 稈 重	子 実 重	1 ㍔ 重	1000粒重	
1. 窒素標準量+無 磷酸 区	64.3	16.7	23	290	116	142	437	37.6	72
2. " + 磷酸標準量区	90.7	22.3	26	417	200	198	472	38.9	100
3. " + " 2 倍量区	100.5	22.5	30	459	228	207	480	39.1	105
4. " + " 3 倍量区	104.3	22.7	31	486	247	218	485	40.1	110
5. " + " 4 倍量区	105.0	23.0	32	502	260	222	495	40.8	112
6. " + " 5 倍量区	104.7	24.3	32	489	269	200	480	41.5	111
7. 窒素増量+無 磷酸 区	79.5	19.5	24	300	136	149	443	36.6	75
8. " + 磷酸標準量区	104.7	22.3	27	526	257	240	462	40.4	121
9. " + " 2 倍量区	105.3	22.7	28	569	288	251	476	40.7	127
10. " + " 3 倍量区	105.7	23.3	30	598	298	268	487	41.0	135
11. " + " 4 倍量区	106.0	23.4	32	607	308	270	501	41.7	136
12. " + " 5 倍量区	102.5	23.5	35	588	307	257	478	40.5	129

注) イ. 窒素標準量+磷酸標準量区の 10a 当り要素量は窒素 3,750kg, 磷酸 7,000kg, 加里 1,875kg.

ロ. 窒素増量+磷酸標準量区の 10a 当り要素量は窒素 5,625kg, 磷酸 7,000kg, 加里 1,875kg.

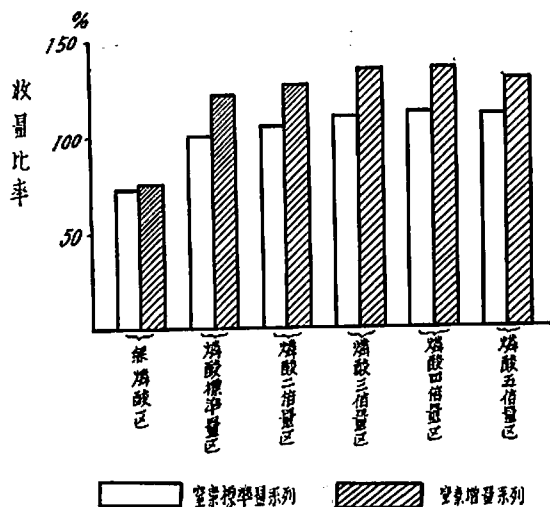
ハ. 窒素標準量+磷酸標準量区の子実収量を 100 とす。

圃場試験成績でも、植木鉢試験同様に窒素標準量系列では磷酸施肥量の増加に伴って生育が極めて旺盛で、登熟も早く整一であつた。窒素増量系

列でも同様の傾向を示したが一部倒伏した。

子実収量は窒素標準量、増量各系列においても磷酸施肥量の増加に従って次第に増加し、磷酸 4

第12図 窒素用量と磷酸用量との収量比率



倍量区 (磷酸 28 kg 区) が最高の収量を示し、それ以上に磷酸を増施すると逆に減少した。植木鉢試験成績と比較すると、窒素増量系列でも磷酸 4 倍量区まで増収している点が異なる。これは窒素要素量が少ないことおよび栽培環境が異なるために

かかる差を生じたものと考えられる。

従つて、窒素要素量としては、5 kg 前後磷酸要素量としては 28 kg 前後が妥当なる施用量と思われる。

3. 施用せる磷酸の動向

畑土では全磷酸の約70%が有機態磷酸として存在しており、これらの有機態は腐植中に含有されているが、その多くは鉄、礬土その他の塩基と結合して作物に直接吸収され難い形をとつていられるが腐植の分解に伴つて Phytin, Nucleic acid または無機態となつて遊離放出される部分もあり、作物の養分として利用されることになるものと思われる。

従つて、このように可給態磷酸含量が少なく、磷酸固定力の強い本土壌に磷酸を多量に施用した場合に、土壌中の磷酸がいかなる形態で、またいかなる部分に分布しているかを調査した。その成績は第22～23表および第13～14図に示すとおりである。

第22表 磷酸吸収力および各形態別磷酸含量 (乾土 100g 中)

試験区別	磷酸吸収係数	N/5 HCl 可溶	N/2 CH ₃ COOH 可溶		Total	inorganic	organic	org-P ₂ O ₅ /T-P ₂ O ₅
		P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	-P ₂ O ₅	-P ₂ O ₅	
1. 磷酸少量区	2770	4.3 mg	159	1.0 mg	296.1 mg	57.7 mg	238.4 mg	80.9 %
2. 磷酸中量区	2757	11.4	120	1.4	340.0	99.8	234.0	70.0
3. 磷酸多量区	2715	51.5	100	2.5	466.9	242.8	224.1	47.9

注) 1. 磷酸少量区—植木鉢試験の磷酸標準量区の土壌
2. 磷酸中量区—植木鉢試験の磷酸 2 倍量区の土壌
3. 磷酸多量区—植木鉢試験の磷酸 8 倍量区の土壌

第23表 腐植各 fraction 中の磷酸の分布 (乾土 100g 中 mg)

試験区別	HCl 可溶部		NaF 可溶部		NaOH 可溶部		合計*		
フラクション 磷酸形態	無機態	有機態	無機態	有機態	無機態	有機態	全 磷	無機態	有機態
1. 磷酸少量区	22	15	13	190	8	65	273	43	230
2. 磷酸中量区	55	12	15	152	9	65	308	79	229
3. 磷酸多量区	179	9	25	154	11	65	443	215	228

注) * 残渣部中の磷酸を含まず。

すなわち本土壌においては磷酸施用量の多くなるほど酸可溶の可給態磷酸および無機態磷酸含量が急激なる増加を示し、一方磷酸吸収力、有機態

磷酸および活性礬土含量が漸減した。

次に、HCl, NaF, NaOH 可溶腐植各フラクション中の磷酸¹⁾を林、滝島の方法で無機態、有機

態とにわけて測定した結果は第23表のとおりである。

すなわち、全磷酸に対する各フラクション中の磷酸の比率をみると、磷酸施用量の増加に伴い HCl 可溶部の磷酸が多くなる傾向を示し、NaF, NaOH 可溶部の磷酸が次第に減少した。次に形

態別磷酸については磷酸施用量が多くなるほど無機態磷酸含量が HCl 可溶部で著しく増加し、NaF, NaOH 可溶部でもやはりわずかであるが増加した。これに反して、有機態磷酸含量が HCl, NaF, NaOH 可溶部ともにほぼ同量である。結

局本土壌では施用した磷酸が有機態磷酸にならず、酸可溶の形態でしかもその大部分が無機態磷酸の形で蓄積されることがわかった。このことは残効が期待できるものと思われる。

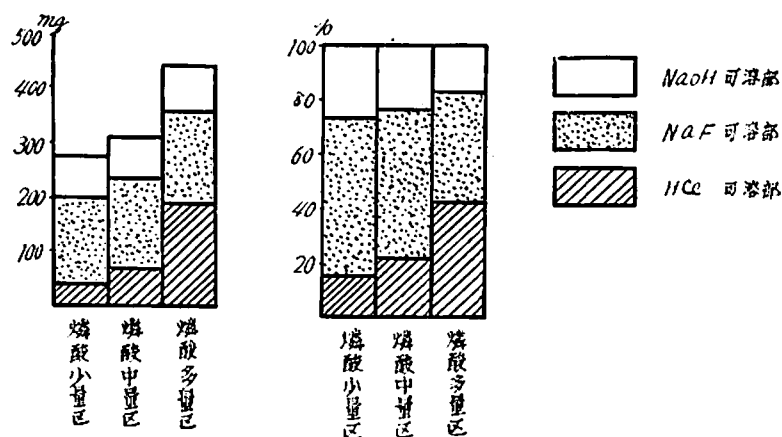
また各土壌を塩酸で浸出した場合の磷酸溶

出量についてみると、塩酸濃度が上昇すると溶出する磷酸量が急激に増加し、かつ、その傾向は磷酸施用量の多い土壌ほど著しい。しかも酸可溶の磷酸の大部分が規定塩酸で溶出してくる点より考えて施用磷酸の大部分が鉄、礬土と弱く結合して容易に可給態磷酸になりうることを暗示している。

4. 考察および結論

道南地方の海岸沿線に広く分布する塩土の磷酸固定および磷酸に関する諸種の試験を実施して次のような結論を得た。

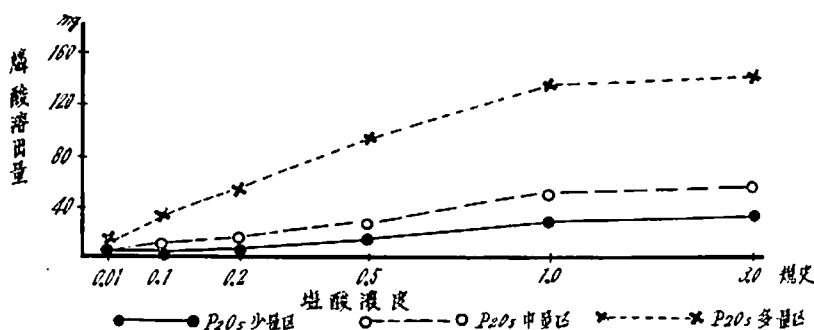
第 13 図 腐植各フラクション中の磷酸量およびその組成百分比



1) 肥料3要素試験の結果、塩土に対して窒素もやや欠乏しているがやはり最少養分律を支配しているのは磷酸であり、磷酸の効果が極めて顕著である。

2) 塩土各層の磷酸吸収型は塩入の第4型土壌

第 14 図 塩酸濃度と磷酸溶出量 (乾土 100 g 中)



に相当し、遊離礬土含量の大なる層ほど磷酸吸収が高く、しかもその大部分が極く短時間に固定され、不可給態化した。

3) このように、本土壌の磷酸固定力の強いのは磷酸含量が低いためではなく、遊離の礬土に富むためである。一方、腐植も塩土各層の磷酸吸収に関与しているが礬土ほどその役割は大きくない。腐植は一般にその陰イオンで磷酸固定を防げるものであるが塩土には腐植と結合する礬土がまだ活性であつて磷酸を固定する部分のあることが認められた。

4) 植木鉢および圃場試験で実施した窒素用量と磷酸用量との相互関係試験結果によると、磷酸施用量を増すと急激に子実収量が増加し登熟も早い。一方窒素用量を増すと生育後期に土壤窒素の無機化が起こるため、倒伏や病害虫に侵されやすくなり、かつ貧沢吸収を示して栄養生長と生殖生長との区別が判然とせず子実収量も減少の傾向を示すと考えられる。従つて本土壤に対する施肥法としてはなるべく窒素の過用を避けて 窒素の6～8倍量の磷酸を施用することが肝要である。

5) このように磷酸の多施は作物の生育、収量に好影響を与えるのみならず、土壤中の可給態磷酸含量を著しく増加させ、しかも磷酸固定に因する活性礬土含量を減少せしめて磷酸肥料施用上、有利な状態にあることを示した。

IV 摘 要

道南地方に分布する礬土の理化学的性質と磷酸固定に関する諸種の試験を実施して次のような結果をえた。

1) 本土壤は腐植にすこぶる富み、粘性および凝集力が乏しく、保水性の強い軽鬆な土壤である。無機膠質が少なく、置換容量が極めて高く、養分の保持はほとんど腐植により左右されて、反而、遊離礬土含量が極めて高い。

2) 本土壤の全磷酸含量は0.3%程度で、普通土壤に比較し特に低い値とは考えられないが、可給態磷酸含量が10mg前後で著しく低く、かつ本土壤の磷酸の60～70%以上が有機態磷酸の形で存在している。また本土壤の磷酸固定力が強いのは遊離礬土含量の大なるためによることがわかつた。

3) Waksman法の腐植組成中、 β -fraction含量が極めて高く、礬土含量の高い層ほど高い点より、本土壤は一般に礬土と結合している型の腐植の多いことを示す。またSimon法によつて腐植の性質を検討した結果、NaFのような石灰沈澱剤に対する溶解度が極めて少ない。しかし、酸で前処理を行なつて鉄、礬土を除去すると溶出する真性腐植酸含量が著しく増加した。最地表部を形

成する礬土の腐植は石灰と弱く結合している粗腐植に富み、易分解性を多く含んでいるが、地中に埋没されて存在している礬土の腐植はほとんど礬土と結合せる型の腐植が多い。

4) 植木鉢および圃場試験の結果、本土壤においては窒素もやや欠乏しているがやはり最少養分律を支配しているのは磷酸であつて、その効果が極めて顕著である。従つて本土壤に対する施肥法としては窒素の過用を避けて窒素施用量の6～8倍量の磷酸を施用することが必要である。また、磷酸肥料の多施は作物の収量を増大させるのみならず、土壤中の可給態磷酸含量を著しく増加させ、磷酸固定力を漸減せしめることが分つた。

参 考 文 献

- 1) 早川康夫, 1958: 根室地方に分布する摩周統火山性土の腐植の特性について, 第1報 特に腐植中の有機態窒素及び磷酸について, 北海道立農業試験場集報, 第3号。
- 2) 北海道農業技術研究50年, 1952: 北海道農業試験場北海道立農業試験場, 記念出版。
- 3) 林 武, 流島康夫, 1953: 土壤有機質の作物による利用に関する研究, 第1報 土壤有機質の新定量法 土肥誌 23巻, 257。
- 4) 林 常孟, 徳田太四郎, 1937: 土壤腐植の塩基吸収について, 札幌農林学会報, 第29年度, 222。
- 5) 石塚喜明, 早川康夫, 1953: 根室, 釧路地方に分布する摩周統火山性土の特性とその地力維持に関する研究, 土肥誌 24巻, 41号。
- 6) ———, ———, 1954: 北海道立農業試験場報告, 第5号。
- 7) 垣入松三郎, 土壤学研究, 152。
- 8) Simon, K. and Spechermann, H, 1938: Beiträge zur Humusuntersuchungsmethodik. Bodenkunde u. pflanzenernähr, 8, 129。
- 9) Tamm, O, 1922: Ein Methode zur Bestimmung der anorganischen Komponente des Gel-Komplexes in Boden Medd. Stat. SKogsforss. XIX, 385。
- 10) Waksman, S. A. 1926: The origin and nature of soil organic matter or soil humus.
II. Method of determining humus in the soil. Soil Sci, 22, 221。