

に混合するように留意すべきである。

以上の結果、海砂客入法は塩土の物理性改善を主眼とする土壤改良法の中で、最も有効な手段といえる。

(II) 化学性改善による生産力向上

一般に、畑土壌の生産力に関する化学的要因の改善点として、窒素、リン酸、塩基、微量要素などの問題があげられているが、筆者は、さきに塩土の化学的特性の中で、生産力に直接関与する要因として、① 礫土性が高く、リン酸固定力が強い。② 塩基吸着容量は大きい、塩基の保持力が弱い、③ 腐植に随伴する窒素は多いが、易分解性窒素含量が少ないなどの3点を指摘した。

したがって、本章では、リン酸多施によるリン酸肥沃度の増進とリン酸固定力の軽減、土壌反応変換による腐植の解膠促進、微量要素施用効果の有無、有機物および緑肥の導入による有効態窒素の富化など化学的条件の改善による塩土の生産力向上について検討した結果を記述する。

1 リン酸多施による生産性向上

一般に、リン酸はほかの養分と異なり、岩石の風化に由来する天然供給量が期待されず、しかも、施肥したリン酸も土壌に固定されて作物による利用率は低い。とくに、リン酸の吸収・固定の著しい火山灰土壌が大半を占めているわが国では、早くからリン酸肥沃度の問題について関心が払われ、現在も生産力増大のための重要な要因となっている。

最近、山本ら²⁰⁾²¹⁾は東北地方の腐植質火山灰土壌を改良して、生産力の高い沖積土壌に劣らない収量をあげるための化学性改善の目標として、塩基飽和度を50%以上、置換性石灰と苦土の当量比を10以下、有効態リン酸(Truog液可溶リン酸)2mg/乾土100g以上が必要であると報告している。

さきに、筆者は塩土の礫土性およびリン酸固定力が強く、かつ、可給態リン酸含量が少ないことを明らかにした。このことは、必然的にリン酸の肥効に関係し、本土壌ではリン酸の肥沃度が作物の生産量を支配する最大因子の1つであることを意味している。したがって、植生と相関の高い土壌リン酸の

水準を高め、かつ、リン酸の吸収・固定に関与する因子の能力を低下させることが、とりもなおさず、本土壌の生産力向上に直結するものと思われる。よって、本節では、このような塩土の生産力因子を消去する手段として、リン酸肥料の多量施用が土壌中の可給態リン酸の水準ならびに作物の生産量にいかん反映するかについて、枠試験とは場試験の併用により検討した。

なお、リン酸施用量はすべて土壌のリン酸吸収係数を基準として算出した。

1) リン酸多施が作物の生産性に及ぼす影響

1964年より3か年間にわたり、函館市銭亀沢畑地より採取した塩土(pH 5.60, 容積重0.70, Truog液可溶リン酸1.7mg, リン酸吸収係数2,750)を用い、えん麦(前進)を供試作物として、1/2,000aコンクリート枠によるリン酸多施試験を行なった。

リン酸資材としては、過石と過石・熔燐混合物(両者を1:1の割合に配合)を用い、土壌(容積重を考慮して)のリン酸吸収係数の5%相当量のリン酸(20.7g/枠でa当たり換算9kg)、10%相当量のリン酸(41.4g/枠でa当たり換算18kg)、15%相当量のリン酸(62.1g/枠でa当たり換算27kg)、20%相当量のリン酸(82.8g/枠でa当たり換算36kg)、25%相当量のリン酸(103.5g/枠でa当たり換算45kg)をそれぞれ施用した効果ならびにその持続性について調査した結果を第72表に示した。なお、共通施肥量として、窒素1.5、リン酸1.0、加里1.0g/枠を硫酸、過石、硫酸で施用した。

これによると、リン酸資材の種類のいかんを問わず、リン酸施用量の増加に伴って、明らかに作物の生育がおう盛となり、莖熟も良好となって子実収量が飛躍的に増大し、リン酸資材施用1年目では最高70%、2年目で40%、3年目でも30%前後の高い増収率を示して、その持続効果も顕著に認められた。

その内容についてみると、えん麦を連作した関係上、絶対収量は経年的にやや低下しているが、各年次とも、リン酸吸収係数の15%相当量のリン酸(62.1g/枠でa当たりとして27kg)を施用したものが常に最も高い収量水準を維持している。

また、リン酸資材としての過石(pH 2.60)と過石・

第72表 磷酸多施による収量の経年的変化(棒試験)

区 別	1964 年 (1 作目)			1965 年 (2 作目)			1966 年 (3 作目)			
	収 量 程 重	(g/棒) 子実重	収量比 (%)	収 量 程 重	(g/棒) 子実重	収量比 (%)	収 量 程 重	(g/棒) 子実重	収量比 (%)	
無 磷 酸 区	77.5	37.0	54	65.0	42.8	64	54.7	47.2	81	
磷 酸 標 準 量 区	95.9	68.2	100	84.0	67.1	100	55.4	58.0	100	
過 石 群	磷酸吸收係数 5 % 区	118.6	98.2	145	91.2	86.9	130	61.9	67.5	116
	磷酸吸收係数 10 % 区	126.1	110.7	162	94.5	89.8	134	65.5	72.7	125
	磷酸吸收係数 15 % 区	122.6	115.6	170	108.8	92.0	137	74.0	76.7	132
	磷酸吸收係数 20 % 区	129.4	107.2	157	108.0	85.6	128	81.0	75.5	130
	磷酸吸收係数 25 % 区	127.8	86.2	126	106.5	85.4	127	90.0	74.4	128
過 石・熔 磷 群	磷酸吸收係数 5 % 区	125.4	102.2	150	92.7	89.2	133	66.2	69.2	119
	磷酸吸收係数 10 % 区	126.3	112.7	165	101.7	94.4	141	76.7	72.2	124
	磷酸吸收係数 15 % 区	133.1	117.3	172	107.6	93.7	140	79.2	76.2	131
	磷酸吸收係数 20 % 区	139.2	105.0	154	104.1	90.0	134	87.8	77.9	134
	磷酸吸收係数 25 % 区	126.8	84.2	124	106.4	85.2	127	94.7	77.2	133

熔磷混合物 (pH5.50) の両者を比較すると、全般的に前者の収量が後者のそれよりやや低い傾向を示し、しかも、過石の施用量の多いもの(磷酸吸収係数の20%相当量以上)では、典型的な苦土欠乏症状を呈して、その生育、収量が最も劣った。これは、多分、後述するように、過石の多量施用によって土壌のpHが著しく低下し、さらに、石灰/苦土比(10以上)の増大による石灰と苦土との拮抗作用に基因するものと思われる。

2) 磷酸多施による土壌化学性の変化

つぎに、磷酸資材を多量に施用した場合における土壌の化学的性質の変化について調査した結果

を第73表に示した。

磷酸資材の施用量に比例して、土壌中の置換性石灰含量と塩基飽和度が明らかに高くなり、かつ、磷酸固定に關与する活性土量が顕著に減少し、磷酸吸収力も漸減している。

また、磷酸資材の種類間では、過石ではその施用量に比例して土壌pHが低下し、石灰/苦土比が著しく増加している。これに対して、過石・熔磷の混合物では逆にpHが漸増し、置換性石灰とともに置換性苦土含量が増加して、置換性石灰と苦土の当量比が4前後でほぼ一定である。なお、苦土欠乏症の発生した過石群の磷酸吸収係数20%

第73表 磷酸多施した跡地土壌の化学性(対乾土100g)

区 別	pH (H ₂ O)	活性土量 (mg)	磷酸吸収 係 数	置換性塩基 (me)		塩基飽和度 (%)	石灰/苦土
				石 灰	苦 土		
無 磷 酸 区	5.45	231	2,614	7.0	1.8	24.1	3.9
磷 酸 標 準 量 区	5.45	218	2,608	7.1	1.8	26.0	3.9
過 石 群	磷酸吸収係数5%区	182	2,594	8.5	1.6	30.1	5.3
	磷酸吸収係数10%区	140	2,466	10.7	1.6	35.3	6.7
	磷酸吸収係数15%区	127	2,370	11.8	1.5	37.8	7.8
	磷酸吸収係数20%区	113	2,342	14.7	1.5	40.9	9.8
	磷酸吸収係数25%区	98	2,324	17.7	1.5	44.8	11.8
過 石・熔 磷 群	磷酸吸収係数5%区	189	2,600	10.1	2.6	36.7	4.0
	磷酸吸収係数10%区	169	2,538	13.8	3.5	53.3	3.9
	磷酸吸収係数15%区	134	2,508	16.8	5.0	64.4	3.4
	磷酸吸収係数20%区	101	2,490	20.4	6.5	71.3	3.4
	磷酸吸収係数25%区	78	2,462	23.8	8.2	75.9	3.9

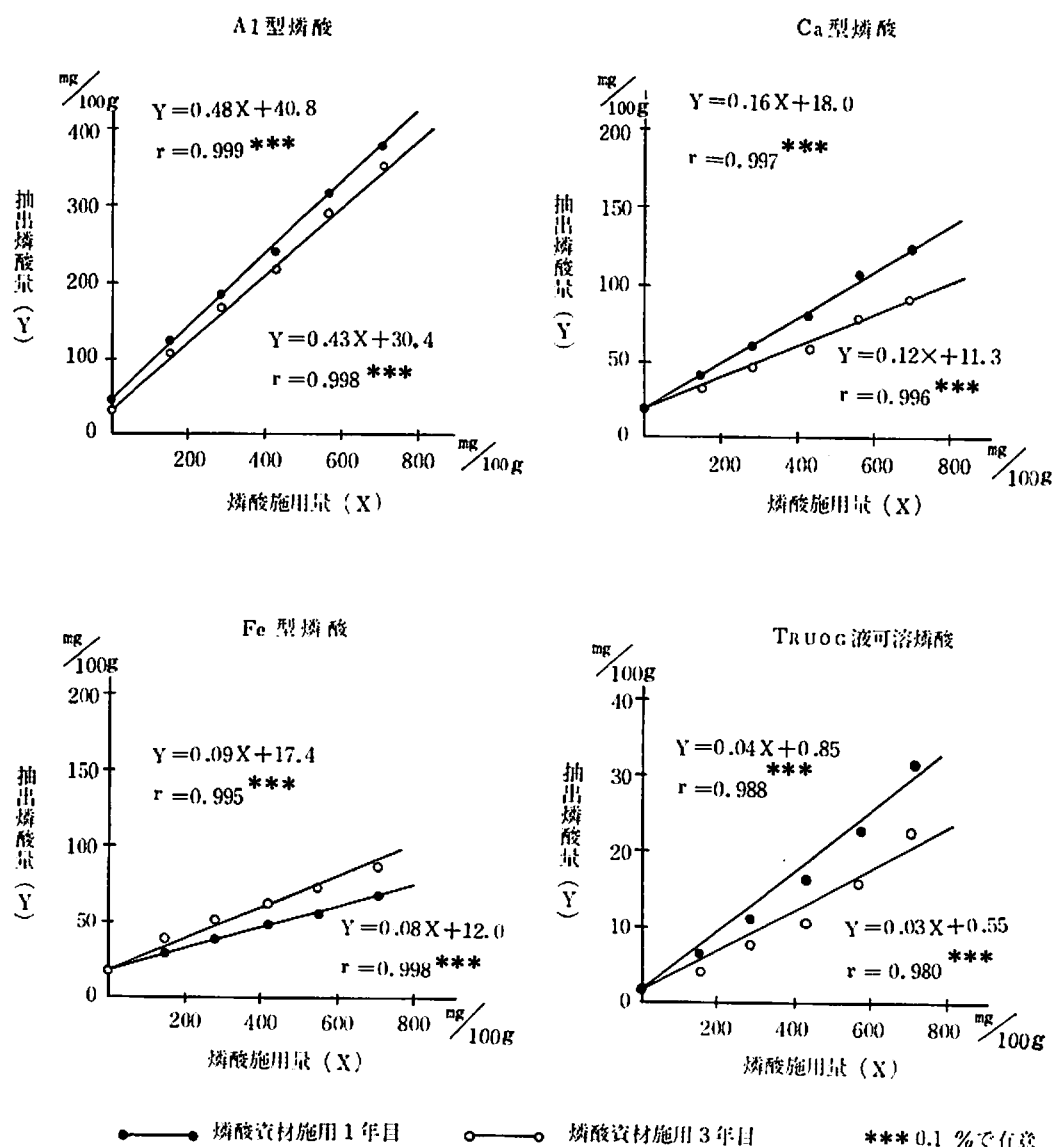
および25%相当量の磷酸施用区の石灰/苦土比がともに10以上の高い値を示している。

3) 磷酸多施による形態別土壌磷酸の動向と分布

一般に、土壌に施用された磷酸は時間の経過とともに不可給態に変化し、施用磷酸の一部は石灰、鉄、礬土などと結合し、ほかの一部は微生物の作用などによって有機態磷酸に合成され、その形態変化は母材、温度、水分、反応(pH)などにより影響されるといわれている²²⁾。

したがって、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解明するために、本項では、磷酸施用量と形態別土壌磷酸の水準との相互関係について検討した。

土壌磷酸の形態別分別定量法として、有効態磷酸の測定はTRUOG法¹⁸⁾に、また、無機態磷酸はCHANG and JACKSON法¹⁷⁾に準じ、これらの測定結果を第37図に示した。



第37図 磷酸施用量と形態別土壌磷酸の関係

まず、磷酸施用量と形態別土壌磷酸含量との関係についてみると、磷酸資材の施用量に比例して、明らかに各形態別磷酸量がほぼ直線的に増加しており、どの形態の磷酸についても、相関のきわめて高い1次直線の関係が認められ、それらの回帰係数の大小の序列はAl型磷酸>Ca型磷酸>Fe型磷酸>TRUOG液可溶磷酸の順である。この中で、磷酸施用量に対してresponseの最も高い磷酸はAl型磷酸であり、したがって、本土壌では、施用磷酸の大部分がAl型磷酸に移行するものと推定される。

事実、施用磷酸の大部分が、火山性土壌ではAl型磷酸になることが山本ら¹²⁸⁾によって、また、非火山性土壌ではCa型磷酸になることが出井¹⁹⁾、関谷¹⁶⁶⁾らによって明らかにされている。

一方、形態別土壌磷酸含量の経時的変せんについてみると、3作跡地土壌では1作跡地土壌よりもTRUOG液可溶磷酸、Ca型磷酸およびAl型磷酸はかなり減少しているが、これに対してFe型磷酸は逆に増加しており、かつ、Al型磷酸とFe型磷酸の比率が低下している。このことは、本土壌においては、施用磷酸の大部分が経時的にAl型磷酸→Fe型磷酸に転移して、その可給態磷酸含量を減少させるものと判断される。

また、磷酸資材の種類としての過石と過石・熔磷酸混合物の両者を比較すると、過石系列では土壌中のTRUOG液可溶磷酸、Fe型磷酸およびAl型

磷酸の濃度が全般的に高く、過石・熔磷酸系列ではCa型磷酸の濃度が高い傾向を示している。

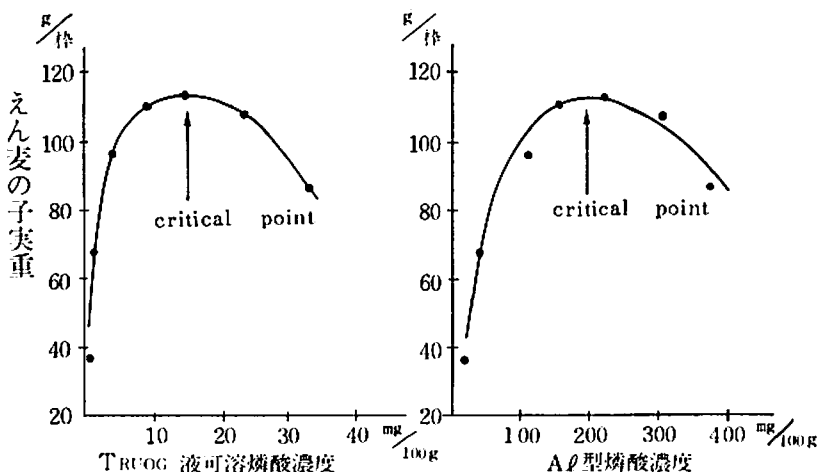
このように、本土壌では、施用磷酸の大部分がAl型磷酸になり、かつ、植生と最も相関の高い磷酸もAl型磷酸であることより、土壌磷酸の肥沃度を検索する指標としてはAl型磷酸が最も適当であると推定される。

筆者らは、別報¹²¹⁾で、土壌磷酸の肥沃度の異なる土壌25点を供試して、植生による土壌無機態磷酸の評価をポット試験によって試み、形態別土壌磷酸の水準と無磷酸区のえん麦の予実重との相関より、土壌磷酸の有効度の指標として、非火山性土壌ではTRUOG液可溶磷酸が、火山性土壌ではAl型磷酸が適当であることを指摘し、また、宮里ら¹²⁸⁾も、東北地方における火山灰土壌の磷酸肥沃度の指標としてAl型磷酸を採用すべきであると報告している。

4) 有効態磷酸の限界濃度

以上のように、本土壌では、Al型磷酸の水準の高いものほど土壌磷酸の肥沃度が高いことになる。しかしながら、それではAl型磷酸の水準がどの程度あれば土壌磷酸の肥沃度が高く維持されているのか、換言すると、土壌中の磷酸の限界濃度（作物収量に対するcritical point）はどの程度かという問題に置き換えて論議を進めてみる。

この問題は、もちろん、対象作物の種類、試験の規模などによって、有効態磷酸の水準を一義的



第38図 形態別土壌磷酸の水準と収量の関係

に決めにくい面もある。例えば、麦類のように磷酸吸収力のおう盛な作物に対しては、土壤磷酸の肥沃度が比較的低くとも多量の磷酸肥料を施用すれば土壤磷酸の影響をかなり排除することができる。これに対して、豆類のように磷酸吸収力の弱い作物を磷酸肥沃度の低い土壤で少量の磷酸肥料を施用して栽培すれば、植生に対する土壤磷酸の肥沃度の影響を close up することができるからである。

したがって、第 38 図によって、培地の TRUOG 液可溶磷酸および AI 型磷酸の水準とえん麦収量との関係についてみると、本土壤における磷酸の限界濃度は、培地の TRUOG 液可溶磷酸の水準で 15 mg/100 g であり、AI 型磷酸の水準は 200mg/100 g 前後であると推定される。

一般に、土壤中の磷酸の有効度は作物根によって占められている範囲、すなわち、有効根群域内の単位容積中の磷酸成分の吸収されやすさを問題にすべきであると考えられる。例えば、容積比重の大きい土壤と小さい土壤とでは、単位重量（乾土 100 g）当たりの磷酸含量が同一であっても、当然、単位容積（乾土 100 ml）当たりの濃度が異なる。したがって、従来の乾土 100 g 当たり mg, % の表示法では不適当であり、当然、乾土 100 ml 当たり mg, % で表示すべきであると思われる。このような見解より、本土壤の磷酸の限界濃度を単位容積当たりで表示すると、TRUOG 液可溶磷酸の水準は 10 mg/乾土 100 ml（畑土の容積比重は 0.7 前後）であり、AI 型磷酸の水準が 140 mg/乾土 100 ml 前後ということになる。

筆者らは、別報¹²¹⁾で、えん麦を供試作物としてその有効態磷酸の限界濃度について検討した結果、土壤の種類のかんを問わず、非火山性土壤および火山性土壤ともに TRUOG 液可溶磷酸の水準が同様に 10 mg/100 ml 前後に限界濃度があることを明らかにし、また、山本ら¹⁸⁵⁾は東北地方の腐植質火山灰土壤において、大豆の高位生産（子実生産量で 40 kg/a）を確保するためには、培地に AI 型磷酸 70 mg/100 g 以上の存在量が必要であると報告している。

なお、培地の AI 型磷酸の限界濃度の数値が筆

者と山本らの結果とで異なる原因は、さきに述べたように、供試作物の種類の違いと土壤中の AI 型磷酸の分離定量の抽出条件（山本らは、土壤を前処理せず、直接、1 規定非化アンモンで 1 時間振盪抽出し、筆者は土壤を 1 規定塩化アンモンで前処理後、0.5 規定非化アンモンで 30 分間振盪抽出す）の差違によるものと考えられる。

BAKER ら⁸⁾は、容積比重が小さい土壤の場合には、土壤溶液中の磷酸濃度が著しく高いことが必要であると論じている。いずれにしても、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、その重要性が大きいものと思われる。

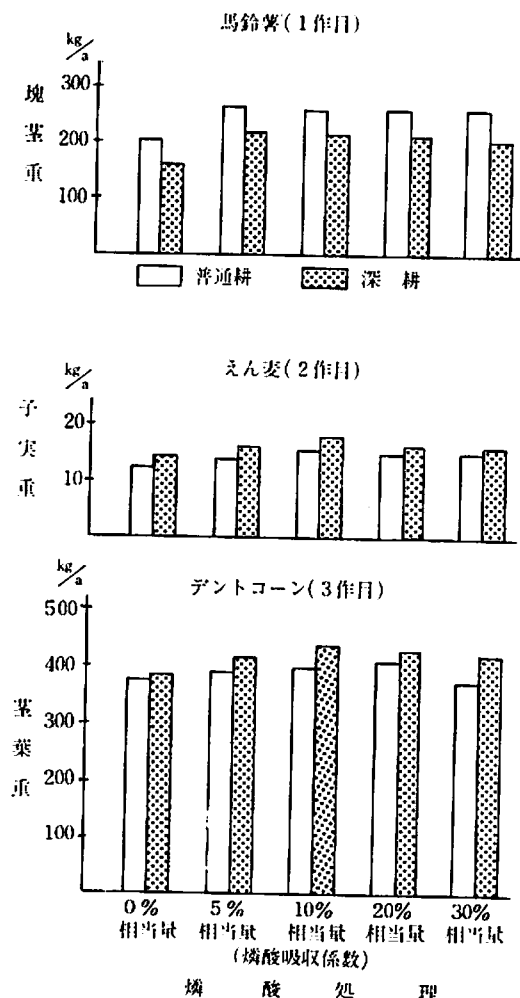
以上の結果、磷酸固定力がきわめて強く、有効態磷酸含量の乏しい畑土では、作物の高位生産量を確保するために、土壤中の有効態磷酸の限界濃度としては、AI 型磷酸で 140 mg/100 ml、また、TRUOG 液可溶磷酸で 10 mg/100 ml 前後が妥当であると思われる。

5) 耕深と磷酸多施の関係およびその持続性

つぎに、1964 年より 3 か年間にわたり、函館市銭亀沢畑地で、耕鋤の深さ（普通耕、深耕）と磷酸肥料の投入量を組み合わせ、畑土の生産力増進効果とその持続性について検討したほ場試験の結果を第 39 図に示した。

すなわち、普通耕 15 cm と深耕 30 cm の両耕鋤系列に対して、磷酸資材としては過石を用い、表土の磷酸吸収係数の 0 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 % 相当量の磷酸を畑地全面に散布、混合処理した 5 段階を設けた。表土の磷酸吸収係数は 2,400、容積比重が 0.6 であるから、その施用磷酸量は、普通耕ではそれぞれ、0, 10.8, 21.6, 43.2, 64.8 kg/a であり、深耕では、0, 21.6, 43.2, 86.4, 129.6 kg/a である。供試作物としては、第 1 作は馬鈴薯（農林 1 号）、第 2 作はえん麦（前進）、第 3 作はデントコーン（ホワイト・デントコーン）を用い、栽培法はすべて当地方標準耕種法に従った。また、改良資材としての磷酸施用は第 1 作目のみで、第 2 作および第 3 作目は普通耕、深耕系列ともに均一栽培を行なった。

なお、各作物の共通施肥量として、馬鈴薯では



第39図 耕深と磷酸多施の関係および
その持続性(ほ場試験)

窒素, 磷酸, 加里ともそれぞれ1.0 kg/aを, えん麦では窒素0.4, 磷酸0.6, 加里0.5 kg/aを, また, デントコーンでは窒素0.8, 磷酸0.8, 加里0.5 kg/aをそれぞれ, 硫安, 過石, 硫加で施用した。

その結果, 第1年目の馬鈴薯では, 磷酸資材の多投によって, 明らかにその初期生育が促進され, 生育量も増大したが, 普通耕系列では, 磷酸吸収係数の5%相当量から30%相当量の磷酸施用区間では判然たる差異が認められなかった。一方, 深耕系列の初期生育は全般的に普通耕系列より劣り, 生育後半では逆におう盛となったが, 塊茎収量においては, 磷酸多施の効果がそれほど認めら

れず, 普通耕系列の30%増収に対して5~8%前後の増収率を示したに過ぎない。

つぎに, えん麦を供試作物とした第2年目の残効についてみると, その生育状況は第1年目と同様に, 依然として磷酸多施区の生育が良好に推移した。一方, 深耕系列の生育は初年度と異なり, 普通耕系列よりもはるかにおう盛で, とくに茎数の増加量が大きかった。子実収量面でも磷酸多施の効果が顕著で, 普通耕系列では17~22%, 深耕系列では25~30%の増収率を示し, 深耕系列の収量が普通耕系列よりも逆に高い数値を示した。

第3年目の残効についてみると, 普通耕系列では, 過去2か年と異なり, しだいに磷酸多施による生育面の優位性がほとんど認められなくなった。一方, 深耕系列の生育は依然としてきわめておう盛であり, 普通耕系列と深耕系列との生育差がしだいに大きくなった。収量面でも, 磷酸多施の残効が普通耕系列ではしだいに小さくなって, 4~10%の増収率を示したに過ぎないが, 深耕系列では, なお, 15%前後の高い増収率を示していた。

このように, 普通耕では, 磷酸多施の効果が施用初年目では著しく高かったが, 年次経過とともに, しだいにその効果が低下する傾向を示した。一方, 深耕では, 逆に磷酸多施による初年目の効果は比較的小さいが, その後はしだいに増加し, 高い収量水準が維持されるように見受けられた。

いずれにしても, 普通耕および深耕両系列とも, 磷酸吸収係数の10%相当量の磷酸施用区(普通耕では21.6 kg/a, 深耕では43.2 kg/a)が最高収量を示した。また, 磷酸資材として過石のみを施用した関係上, 磷酸吸収係数の20%相当量の磷酸多施区以上では, 苦土欠乏症状を呈し, 作物の生育がやや凋落の様相を示した。したがって, 磷酸資材としては, 過石単独よりも過石と熔磷の混合物を使用し, さらに, 施用磷酸の肥効を高めるためには, 石灰, 苦土, 珪酸, 堆肥の併用と窒素の増施がより効果的であることは, 塩土の場合においても, ほかの火山灰土壌と同様である。

また, 磷酸多施の効果は開墾地や土壌磷酸の少

ない所ではきわめて高く、土壤磷酸の多い場合にはその効果も低いものと思われるので、磷酸の施用量は土壤中の有効態磷酸の水準や、ほ場の履歴を考慮して決定すべきであり、極端な多施は弊害はあっても、作物の増収性およびその経済効果がきわめて低いものと推定される。

なお、SIMPSON¹⁷³⁾は、えん麦を用いて磷酸吸収と土壤水分ならびに土壤温度との関係について調査し、作物は土壤水分が多いときには肥料磷酸の吸収、利用度合が増加し、地温の上昇は土壤磷酸の有効化を促進すると報告している。したがって、土壤に施用された磷酸の固定速度は温度、水分の影響で異なるとともに、作物の磷酸吸収も土壤磷酸の濃度のほかに、土壤水分、土壤温度、土壤反応などの外的条件によってかなり左右されるものと思われる。

6) 要 約

塩土の土壤磷酸の肥沃度を高める手段として、磷酸肥料の多施効果ならびにその持続性について、枠試験とほ場試験を併用して検討した結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 塩土に対する磷酸多施の効果は顕著に認められ、その増収機作は土壤的に作土全層に充分な可給態磷酸を富化して土壤磷酸の水準を高め、本地帯特有の初期生育不良と登熟遅延の生育様相を改善し、作物の磷酸吸収を高めた結果である。

(2) 塩土地帯における土壤磷酸の肥沃度を検索する指標としては、形態別土壤無機態磷酸の中で、Al型磷酸、Truog液可溶磷酸が植生との関係で最も適当である。

(3) 磷酸資材としては、過石単独よりも過石と熔燐の混合物(1:1)の方が、土壤磷酸のほかに、土壤pH、塩基飽和度および置換性石灰と苦土の当量比の面よりみても、より適当である。

(4) 磷酸多施とともに深耕を併用することによって、本土壤では、その持続効果が充分期待できる。

(5) 塩土地帯における作物の高位生産量を確保するためには、土壤中の有効態磷酸の限界濃度として、Al型磷酸で140 mg/乾土 100 ml、また、Truog液可溶磷酸では10 mg/乾土 100 ml前後

が妥当である。したがって、土壤磷酸の肥沃度を高めるための磷酸施用量もこの濃度を目標として、土壤磷酸の水準、ほ場の履歴、対象作物などを考慮して決定すべきである。

2 土壤反応変換効果

塩土は腐植含量のきわめて高い土壤で、その腐植はきわめて分解し難く、しかも、これに随伴している有機態窒素も難分解性であることをすでに明らかにした。

原田²⁰⁾²¹⁾は水田土壤中の有機態窒素の無機化を促進させる方法として、① 脱水処理効果、② 地温上昇効果、③ 土壤反応変換効果、④ 腐植解膠の効果など4つの方法をあげている。一般に、前記のような処理によって無機化する窒素化合物を易分解性有機物と考えるならば、その大部分は、いわゆるTYURINのいう粘土・腐植複合体として存在しているものと思われる。したがって、この無機化促進要因はいずれも、膠質複合体の表面にある易分解性有機物の吸着または結合を弱くするか、あるいは、分離・分散するような一種の平衡攪乱の方法であると解釈できる。

これら4つの無機化促進方法の中で、水田土壤に塩基や酸を添加して湛水し、土壤の反応をあらかじめ強アルカリ性または強酸性に保って暫時放置した後に、それぞれ中性に戻して放置しておく、と、土壤の有機態窒素の一部が微生物によって無機化され、アンモニアが集積してくる。このような効果を土壤反応変換効果と呼び、広義の土壤腐植の解膠効果と見なすことができる。

塩土は腐植に随伴している有機態窒素含量が多いと同時に、土壤磷酸の大部分(全磷酸の60~70%)が有機態磷酸の形態で存在している。したがって、前記の土壤反応変換効果によって腐植の解膠を促進させることは、土壤有機態窒素の無機化とともに土壤有機態磷酸の利用をも期待できるものと思われる。

本節では、このような見地から、塩土に対して硫黄粉を施用して、一度酸性化した後に、再び石灰で反応を矯正した場合の土壤反応変換効果について、枠試験とほ場試験を併用して検討した結果を述べる。

第74表 塩酸処理土壌の incubation による窒素および燐酸の無機化量 (対乾土 100 g)

土 壌	項 目	窒 素					燐 酸				
		A 全 窒 素 (mg)	NH ₄ -N (mg)		C/A	C/B	A 全 燐 酸 (mg)	KCl 可溶 P ₂ O ₅ (mg)		C/A	C/B
			B 無 理 処 理 土	C 塩 酸 処 理 土				B 無 理 処 理 土	C 塩 酸 処 理 土		
壇 土	表層腐植層	812.5	4.4	23.1	2.8	5.2	427.6	11.0	29.8	6.9	2.7
壇 土	埋没腐植層	1,053.1	2.5	15.7	1.5	6.3	376.1	17.0	23.2	6.1	1.4

1) 塩酸処理による有機態窒素および有機態燐酸の可給化

まず、室内実験によって、酸処理により土壌中の窒素および燐酸の無機化量が増大するか否かについて検討した。

供試土壌として、函館市銭亀沢畑地より採取した壇土（表層腐植層と埋没腐植層）を用い、3%塩酸で30分間振盪後濾過し、 Cl^- -freeになるまで水洗したものと、この酸前処理を行なわなかったものについて、それぞれ、乾土効果測定の方法¹⁴⁰⁾に準じ、湛水状態で30℃、28日間 incubate 後、生成したアンモニア態窒素と燐酸を塩化加里で汲出、測定した結果を第74表に示した。

これによると、壇土を構成している表層腐植層および埋没腐植層とも、酸処理によって明らかに窒素と燐酸の無機化量が多くなり、塩酸処理土壌は無処理土壌の5~6倍のアンモニア態窒素の化成量と2~3倍前後の燐酸の無機化量を示した。また、無機化率で示すと、塩酸処理土壌では、全窒素に対する窒素の無機化率は3%、全燐酸に対する燐酸の無機化率は6%前後である。

このように、無機化されやすくなった原因としては、塩酸処理により若干の加水分解を受けることと、また、この処理により腐植と結合した三二酸化物が除外され、微生物の作用を受けやすくなったことなどが考えられる。

筆者は、別報¹¹⁹⁾で、壇土の腐植は礫土と結合せる型の腐植が多く、難分解性であるが、酸で前処理すると非化ソーダ可溶の腐植溶出量が多くなることを認め、早川³⁷⁾もまた、同様に、礫土性の高い摩周統火山灰c、d層が塩酸処理によって、窒素および燐酸の無機化量が約3倍に増大したと報告している。

2) 硫黄施用による土壌 pH の変化と硫酸の生成

このように、壇土を酸で処理することによって、腐植の解膠がおこり、土壌窒素および燐酸の無機化量が増大することが明らかになった。しかれば、現実には土壌を酸性化させる資材としては硫酸と硫黄粉の2つが考えられるが、実用性を考慮した場合には硫黄粉施用の方がより適当と思われる。

したがって、本項では、室内実験により、硫黄粉を施用した場合の pH の変化、硫酸の生成量と土壌水分の関係について、道南地方に分布する壇土を供試して調査した。

すなわち、乾土 100 g に硫黄 0.5 g を施用混合し、最大容水量の 40%、60%、80% 相当量の水分を添加して畑状態で、20℃、3週間 incubate 後、土壌の pH、水溶性硫酸および加水分解性窒素含量を測定した結果を第75表に示した。

第75表 硫黄添加土壌の incubation による pH の変化と硫酸、加水分解性窒素の生成量 (対乾土 100 g)

処理	土壌水分 (%)	pH	水溶性硫酸 (mg)	水溶性硫酸/硫黄 (%)	加水分解性窒素 (mg)	加水分解性窒素/全窒素 (%)
硫黄処理	40	4.62	45.9	6.8	78.4	9.5
	60	4.48	77.0	13.0	82.5	10.0
	(60)	(5.60)	(11.8)		(69.0)	(8.4)
	80	4.80	34.9	4.6	71.7	8.7

注) 実験条件: 20℃, 21日間, 畑状態で incubation.
() 内の数字は硫黄無処理土壌の分析値。

硫黄の施用によって、明らかに土壌の pH が 1.0 前後低下し、硫酸および酸加水分解性窒素の生成量も著しく増加しており、とくに、容水量 60% のときに最大の値を示して、添加硫黄に対する水溶性硫酸の生成量は 13% 前後であった。

一般に、硫黄や硫化物を酸化して硫酸に変化さ

せる微生物は *Thiobacillus thio-oxidans* であり、この菌の活動に対する最適土壌水分は容水量の60%前後と思われる。また、BURGES⁽⁶⁾は、この菌が硫黄と無機塩類からなる培地で10%の硫酸を作ることができることを報告している。

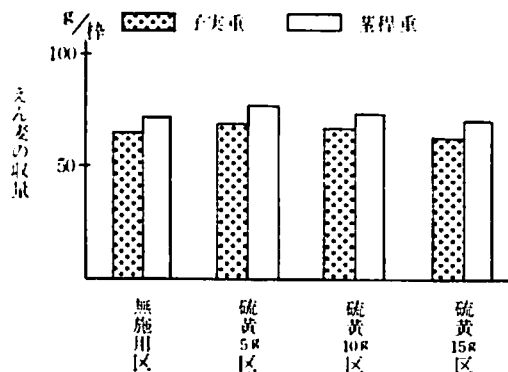
3) 硫黄施用が作物の生産性および土壌の化学性に及ぼす影響

まず、塩土に対する適正な硫黄の施用量を把握せんがため、枠試験によって、硫黄施用が作物の生育、収量および土壌の化学的性質に与える影響について検討した。

すなわち、1962年に、函館市銭亀沢畑地より採取した塩土を1/2,000 a コンクリート枠に充填し、春先の播種3週間前に硫黄粉末5.0、10.0、15.0 g/枠を施用した3処理区を設け、えん麦(前進)を供試作物として、栽培試験を実施した成績を第40～41図、第76表に示した。

なお、共通施肥量として、窒素1.0、磷酸2.0、加里1.0 g/枠をそれぞれ磷酸2アンモン、硝酸加里の無硫酸根肥料で施用した。

これによると、硫黄を多量に施用せるものは、播種後30日ごろよりしだいに茎葉が淡黄化し

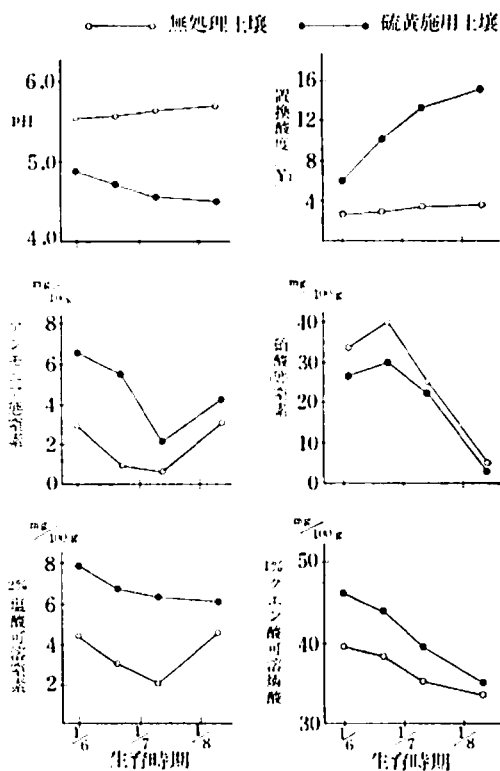


第40図 硫黄施用量と収量との関係(枠試験)

て、下葉が枯れ始め、極度の酸性障害を呈して、以後の生育、収量はきわめて不良であった。これに対して、硫黄5g、10g区では無施用区よりもむしろ、その初期がやや良好で、葉色も濃く推移し、茎数の増加量も多く、窒素増施とやや類似の生育様相を呈し、子実重においても10%前後の増収率を示した。

また、養分吸収量においても、その生育相を裏書きするように、窒素、磷酸の吸収量が多かった。

一方、第41図によって、硫黄施用に伴う土壌化学成分の消長についてみると、硫黄施用土壌の



第41図 硫黄施用に伴う土壌化学成分の推移

第76表 硫黄施用による跡地土壌の化学性(対乾土100g)

区別	pH (H ₂ O)	置換酸度 Y ₁	全炭素 (%)	窒素 fraction (mg)			活性土 (mg)	全置換性塩基 (ml)	塩基飽和度 (%)	可給態* 磷酸 (mg)	磷酸吸収係数
				全窒素	2%塩酸性可溶窒素	規定可溶窒素					
無施用区	5.46	3.3	13.0	835	3.2	514	126	17.5	32.9	13.8	2,595
硫黄5g区	5.04	5.9	12.9	834	3.4	506	150	12.5	24.8	14.2	2,560
硫黄10g区	4.72	15.0	12.7	831	5.2	498	163	6.3	10.8	14.8	2,630
硫黄15g区	4.45	21.1	12.7	827	5.4	490	166	3.9	8.1	15.1	2,715

注) 可給態磷酸* - 規定塩酸性可溶磷酸

pH および硝酸態窒素量が無施用土壤に比して低く推移し、置換酸度は逆に高く、明らかに土壤の酸性化がうかがわれた。アンモニア態窒素および塩酸可溶窒素は硝酸態窒素に比してその絶対量は少ないが、いずれも、硫黄施用区の方が無施用区よりも常に多く、かつ、1%クエン酸可溶リン酸量も多い傾向を示している。

次に、跡地土壤の化学性についてみると、硫黄施用量の増加に伴って、明らかに土壤の pH、全炭素、置換性塩基含量および塩基飽和度が漸減している。一方、置換酸度と活性窒素量は顕著に、また、可給態リン酸含量もわずかながら増加している。なお、土壤窒素の形態に及ぼす硫黄施用の影響についてみると、全窒素およびアルカリ可溶窒素量が硫黄施用によって減少しているが、塩酸可溶の窒素量は逆に増加している。このことは、明らかに硫黄施用によって腐植の一部が解膠したことを意味するものと思われる。

このように、酸性に強いえん麦を供試作物とした場合には、作物的にも、また、土壤的にも硫黄施用の効果が明らかに認められ、しかも、本試験の結果より推定すると、土壤 5 kg に対して硫黄 10 g の施用によって、土壤の pH (H₂O) がほぼ 0.7~0.8 前後低下するものと思われる。

4) 土壤反応変換の効果

つぎに、硫黄施用の研究を更に押し進めて、その実用性について検討するため、土壤に硫黄粉を施用して、一度 pH を低下させた後に再び石灰をもって反応を矯正するという土壤反応変換の効果について検討した。

硫黄施用—石灰施用という一連の改良方法を考える場合には、当然、硫黄の施用量、施用時期および石灰による pH の矯正目標という3つの解決すべき問題があるが、筆者は一応、硫黄処理時期としては秋の収穫跡地に散布施用し、その施用量を 1/2,000 a 枠では 15 g (土壤 5 kg に対して硫黄粉 15 g) に統一した。

まず、1962 年秋に、壟土を充填してある 1/2,000 a コンクリート枠に硫黄粉 15 g を施用し、翌年の春に石灰をもって土壤の反応を所定の pH に矯正して、無矯正、pH 6.0 矯正、pH 7.0 矯正、pH 8.0 矯正の 4 処理区を設け、さらに、対比の意味で、硫黄無施用系列にも同様の 4 処理区を設け、えん麦(前進)を供試作物として、実施した栽培試験の成績⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾を第 77 表、第 42 図に示した。なお、共通施肥量として、窒素 1.0、リン酸 2.0、加里 1.0 g/枠をリン酸 2 アンモン、硝酸加里を施用した。

まず、硫黄を施用した場合の土壤 pH (H₂O) の経時的変化についてみると、前年秋(硫黄施用前) 5.58→翌春 4.25→収穫後 4.62 のように、翌春まで明らかに土壤 pH はほぼ 1.0 前後低下している。

つぎに、第 77 表によって、土壤反応変換と作物の生育、収量および窒素吸収との関係についてみると、硫黄無施用系列では、土壤 pH の高いものほど(すなわち、石灰施用量の多いものほど)その初期生育は不良で、草丈が短く、茎数も少なかった。しかしながら、出穂直前ころより、その生育様相が逆転し、pH の高いものほど葉色が濃くなり、登熟も遅延して窒素多施と類似の生育相を示して、

第 77 表 土壤反応変換と作物の生育、収量および窒素吸収の関係(枠試験)

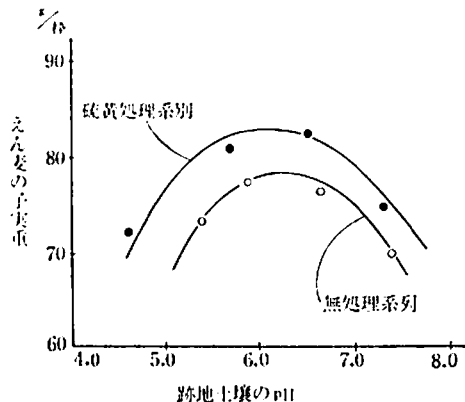
区 別		播種後45日目		成 熟 期			収 量 (g/枠)		収量比 (%)	窒素含有率 (%)		窒素 吸収量 (g/枠)	穂部へ の窒素 移行率 (%)
		草 丈 (cm)	茎数 (本)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	穂 数 (本)	稈 重	子実重		茎 幹	子 実		
無 処 理	無 矯 正 区	41.0	40	93.7	25.8	25	84.5	73.9	100	0.50	1.83	1.76	76.9
	pH 6.0 矯正区	38.6	36	93.2	25.9	31	92.3	77.6	105	0.71	1.88	2.20	70.3
	pH 7.0 矯正区	36.0	26	92.5	27.2	30	94.3	76.4	103	0.93	1.97	2.52	63.8
	pH 8.0 矯正区	34.4	23	88.8	28.4	30	89.3	70.5	95	1.01	2.08	2.46	61.9
硫 黄 処 理	無 矯 正 区	35.1	41	90.9	26.0	28	82.3	72.4	98	0.67	2.05	2.09	72.6
	pH 6.0 矯正区	42.2	44	94.4	26.2	29	85.7	79.8	108	0.55	2.00	2.11	78.2
	pH 7.0 矯正区	39.7	38	94.2	26.6	31	88.0	82.7	112	0.61	2.03	2.30	77.7
	pH 8.0 矯正区	36.2	33	93.3	27.0	32	84.4	74.6	101	0.71	2.08	2.18	75.2

短程多けつの叢生状態となった。したがって、養分吸収においても、無矯正区（原土区）に比して茎稈部、子実部の窒素濃度および窒素吸収量ははるかに高く、かつ、収量面においても、pH 6.0 矯正区がわずか5%の増収率を示したほかは、ほとんど原土区と同程度か若しくはそれ以下であった。

このことは、墾土では、直接、石灰で土壌反応を矯正することは、矯正 pH のいかににかかわらず、作物の収量面に対してほとんど期待できないことを示唆している。

一方、硫黄処理系列では、原土区に比して、草丈の伸長面ではやや劣っていたが、葉色が濃く推移して茎数の増加量が多く、収量面においても、矯正 pH の高いものほど子実重が高く、8~12%の増収率を示している。また、窒素吸収の面においても、子実部の窒素濃度と穂部への窒素移行率が高い傾向を示して、明らかに吸収窒素の子実生産に対する寄与率が高いことがうかがわれた。

このように、硫黄処理によって、直接、石灰施用によるマイナスの面が解消され、逆にプラスの面の方が強く現われ、土壌反応変換の効果が明らかに認められた。



第42図 土壌のpHと作物収量の関係

つぎに、跡地土壌のpHとえん麦の子実重との関係をグラフ化した第42図によると、硫黄処理および無処理系列ともに拋物線を描き、その収量水準は明らかに硫黄処理系列の方が高く、かつ、両系列ともその最高収量はほぼpH 6.0~6.5付近にある。したがって、本土壌では直接、石灰で土壌反応を矯正する改良効果よりも、硫黄で一度前処理してからpH 6.5程度に石灰で矯正する効果

の方がはるかに大きい。

なお、硫黄の施用効果は墾土のような腐植質火山灰土壌の腐植解膠の促進とアルカリ土壌における可溶性塩類の抑制という土壌の効果のほかに、作物養分的な施用効果の側面があることを認識しなければならない。

5) 土壌反応変換効果の持続性

つぎに、1963年より2か年にわたって、函館市銭亀沢畑地において、第1年目に馬鈴薯（農林1号）、2年目にデントコーン（ホワイト・デントコーン）を供試作物として、硫黄無施用および硫黄施用両系列に、無矯正区、pH 6.5 矯正区、pH 7.5 矯正区の3処理を設け、土壌反応変換の効果とその持続性について検討したほ場試験の結果⁵⁰⁾⁵⁵⁾を第78表に示した。なお、硫黄処理—石灰処理という作業は、1962年秋に硫黄粉15 kg/aを畑地全面に散布して作土15 cmによく混合し、翌1963年春に消石灰で所定のpHに矯正した。

第78表 土壌反応変換の効果とその持続性
(ほ場試験)

区 別	馬 鈴 薯 (1年目)		デントコーン (2年目)		跡 地 土壌の pH (H ₂ O)
	塊茎重 (kg/a)	収量比 (%)	塊茎重 (kg/a)	収量比 (%)	
無 処 理	無 矯 正 区	203	100	330	100
	pH 6.5 矯正区	204	101	353	107
	pH 7.5 矯正区	201	99	360	109
硫 黄 処 理	無 矯 正 区	132	63	297	90
	pH 6.5 矯正区	211	104	351	106
	pH 7.5 矯正区	228	113	368	111

また、馬鈴薯の共通施肥量としては、窒素0.8、磷酸1.0、加里1.0 kg/aを、デントコーンでは、窒素1.2、磷酸0.8、加里0.8 kg/aを磷酸2アンモン、硝酸加里で施用し、その他の栽培法はすべて当地方標準耕種法に従った。

まず、第1年目の馬鈴薯についてみると、無処理系列では、矯正pHによる生育、収量の差はほとんど認められないが、硫黄処理系列では、明らかに矯正pHの高いものほど良好な生育を示して塊茎収量も高く、最高13%の増収率を示した。一方、第2年目のデントコーンでは、無処理および硫黄処理両系列とも、全般的に矯正pHの上昇に伴って収量も高くなっているが、第1年目と同様

に、硫黄処理系列の方が高い増収率を示しており、かつ、その持続効果もかなり期待できるようである。

しかし、硫黄処理系列の跡地土壌の pH (H_2O) は常に矯正目標 pH よりも 0.5~0.8 前後低い事実より、充分なる酸性矯正を期するためには、目標 pH をやや高い所においた方が妥当と考えられる。また、跡地土壌の pH と作物収量との関係よりみて、硫黄処理後の矯正 pH はほぼ 6.5 付近にあるものと推定される。

いずれにしても、畑土においては、直接石灰で土壌反応を矯正する改良法よりも、硫黄処理—石灰施用という改良法の方が、作物の生産性に対してより効果的なものであることがわかった。

一般に、火山灰土壌の改良は従来より礫土性の改善がその基礎とされており、その方法としては土壌反応の矯正と有機物、燐酸、珪酸など負荷電をもつ、いわゆる、acidoid の添加によって活性礫土の低下を図ることがあげられている。野本¹³⁹⁾は、本州に広く分布する酸性腐植質火山性土壌における石灰の施用は熟化化を促進し、その生産力を高めると論じているが、一方、早川⁶²⁾は摩周統火山性土のように酸性が比較的弱く、石灰に割合に富む土壌においては、石灰の施用が特に効果のある土壌改良法とはなり得ないと報告している。

確かに、この土壌反応変換の方法は従来までの土壌改良法とは趣きを異にし、やや面倒であり、硫黄処理や酸性矯正が完全に行なわなければその効果が小さく、一時的に有効であっても、合理的な輪作を標榜する寒冷地農業においては、その持続性などについても、なお、充分に検討の余地がある改良法であるものと思われる。

6) 土壌の pH、置換性石灰と作物生産との関係

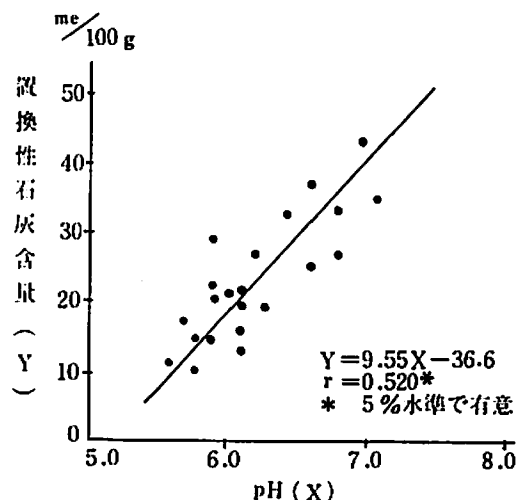
つぎに、畑土地帯で行なわれた既往の多数の試験成績より、土壌の化学性のうち、土壌 pH および置換性石灰含量と作物生産との関係について整理した結果を第 79 表、第 43 図に示した。

まず、土壌 pH (H_2O) と馬鈴薯の収量との関係についてみると、両者の間には全く一定の傾向

第 79 表 土壌 pH、置換性石灰含量と馬鈴薯収量との相関

Y	X		置換性石灰含量 (%)	
	土壌 pH(H_2O)	相関係数	回 帰 式	相関係数
馬鈴薯の収量 (kg/a)		0.309	$Y = 6.71X + 139.4$	0.680**

** 1%水準で有意



第 43 図 作土の pH と置換性石灰含量の関係

が認められず、土壌の pH はほとんど 5.6~6.4 の間に分布していた。また、作土の置換性石灰含量と馬鈴薯の収量との間には、きわめて高い正の相関が認められた。

さらに、作土の pH (H_2O) と置換性石灰含量との相互関係についてみると、第 43 図より明らかなように、両者の間には正の相関が認められた。

以上のことより、酸性が弱く、塩基飽和度が比較的低い畑土においては、石灰施用による増収効果は塩基補給による効果が主体であって、土壌 pH の矯正効果は第二義的なものと思われる。

7) 要 約

畑土の腐植解膠およびそれに随伴する有機態窒素および燐酸の無機化促進を目的として、硫黄粉施用によって土壌反応を一度酸性化させた後、再び、石灰で反応を矯正するという土壌反応変換の効果について検討した結果を要約すると、つぎのとおりである。

(1) 畑土を塩酸で処理することによって、それを構成している表層腐植層および埋没腐植層と

も、腐植の解膠が促進されて、これに随伴している窒素およびリン酸の一部が可給化し、その無機化量は2~5倍に増大した。

(2) 硫黄粉の施用によって、明らかに土壌のpHが低下し、硫酸塩および加水分解性窒素の生成量が増加した。添加硫黄に対する水溶性硫酸の生成量は10%前後であり、また、硫黄粉15 kg/aの施用によって、水浸pHはほぼ1.0前後低下する。

(3) 微酸性で、比較的塩基飽和度の低い塩土では、直接、石灰で土壌反応を矯正する改良効果はほとんど認められず、硫黄処理—石灰施用という土壌反応変換の効果が土壌的にも、また、作物生産性の面においても、顕著に認められた。

(4) 硫黄処理時期としては、土壌pHの低下度合および実用性の面よりみて、春先の播種耕起時よりも秋の収穫後の方が良く、かつ、石灰施用による矯正pH(H₂O)の目標としては6.5位が妥当である。

(5) 一般に、塩土では石灰施用による増収効果は塩基補給による効果が主体であって、pHの補正効果はほとんど認められない。

(6) いずれにしても、土壌反応変換の効果は硫黄処理や酸性矯正が完全に行なわなければその効果が小さく、しかも、その効果の持続性および経済性などについては、なお、検討の必要がある。

3 微量要素の施用効果

現在、微量要素として取りあげられているものには、鉄、マンガン、硼素、亜鉛、銅、モリブデン、コバルトなどがあり、一般に、微量要素関係の肥沃度を構成するものとしては、土壌中の微量要素の含有状況、存在形態、作物に対する可給度の評価、作物の生育異常とその矯正のための適切な判定指標と対策技術などの問題が考えられる。

本節では、各微量要素のうち、主に、銅と鉄について論及する。

古くより、北吹や北米の泥炭地においては、作物の先端萎凋症または先端黄化症と呼ばれる銅欠乏が農作物に発現することがすでに確かめられている¹⁵⁶⁾¹⁷⁸⁾。しかし、わが国では、銅イオンの有害性⁶¹⁾、銅の鉍毒⁵⁶⁾に関する研究は数多くあるが、最近まで銅欠乏症の存在に関する報告が見当たら

なかった²¹⁵⁾。

しかしながら、近年、黒沢ら⁹⁶⁾は岩手県下の火山灰土壌で麦類に顕著な銅欠乏による生育障害を認めてその改良対策について報告し、また、堤ら¹⁸⁹⁾¹⁹⁰⁾は宮城県川渡の腐植質火山灰土を用いて大麦のポット栽培を行なうと出穂不能という激しい銅欠乏症が現われることを見出し、銅の存在形態と植生との関連について論じ、また、長谷部³³⁾も網走地方の黒ぼくにおける麦類などの銅欠乏について報告している。

このように、わが国においても、作物に銅欠乏症の発現する事例がしばしば見出されているが、各報告に共通なことは、銅欠乏症の発生する作物が主に麦類であり、しかも、その発生する地帯がほとんど腐植質火山灰土壌であることが注目される。

一方、鉄は土壌中において有効態になるか否かは土壌の反応とマンガンとの量的比率に支配されているといわれている。山崎ら²¹³⁾は富山県内の老朽化水田で石灰の過用によって鉄欠乏が生じたことを、また、小林⁸⁵⁾は群馬県内の火山灰土地帯において、陸稲および大麦を用いて、マンガンと鉄との関係について研究し、マンガンとの過剰が鉄欠乏を起こしやすいことを見出した以外には、畑地で作物に鉄欠乏が起こったという事例はきわめて少ない。一般に、鉄は珪酸、糞土とともに、土壌中に最も多量に含まれている成分であって、土壌条件のいかんによって、作物は鉄欠乏におちいることはあるが、ほかの微量要素と著しく趣きを異にしているものと思われる。

道南地方の塩土地帯でも、麦類の葉先が萎凋、黄白化したり、激しい場合には不稔や出穂不能という生育異常がしばしば観察され、また、葉脈間が黄白化する症状も散見されている。

このような予備的観察より、塩土地帯においても、微量要素の重要性を認めたので、本節では、微量要素の中で銅および鉄施用の効果について検討した。

1) 各種微量要素の施用効果

1959年より2か年間にわたり、えん麦(前進)を供試作物として、函館市銭亀沢畑地より採取し

第80表 塩土に対する微量要素の施用効果
(ポット試験)

区 別	1959 年		収 量 比 (%)
	収 量 (g/ポット)		
	茎 稈 重	子 実 重	
無 施 用 区	55.2	38.0	100
銅 施 用 区	66.8	50.8	134
マンガン施用区	60.0	29.4	77
苦土施用区	65.2	38.6	102

区 別	1960 年		収 量 比 (%)
	収 量 (g/ポット)		
	茎 稈 重	子 実 重	
無 施 用 区	50.3	48.7	100
銅 施 用 区	52.4	53.1	109
鉄 施 用 区	48.4	50.4	104
銅・鉄施用区	53.7	55.7	114

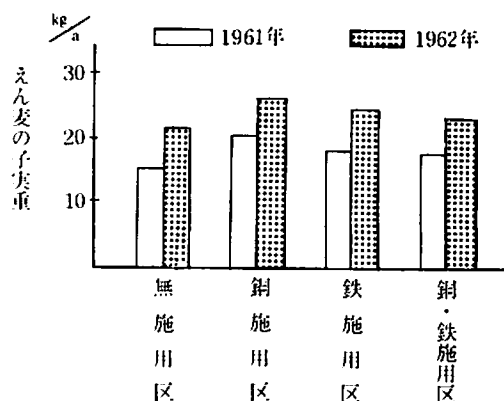
た塩土を用い、1/2,000 a ポットによって実施した各種微量要素の施用効果試験の結果を第80表に示した。

なお、微量要素として、銅0.1、マンガン0.2、苦土0.7、鉄2.5g/ポットを硫酸銅、硫酸マンガン、硫酸苦土、硫酸第1鉄で施用し、また、そのほかに共通施肥量として、窒素1.0、磷酸2.0、加里1.0g/ポットを硫酸、過石、硫酸で施用した。

この結果によると、各種微量要素の中で、とくに、銅と鉄の施用効果が顕著に認められた。すなわち、① 銅の施用によって正常な生育、出穂、陰実がみられ、とくに、草丈の伸長量と有効穂数が増加して登熟も早まり、子実収量も10~30%の高い増収率を示した。② マンガンの施用は、出穂に対して何らの効果も認められず、むしろ、登熟が著しく遅延した。③ 苦土の施用効果もほとんど認められず、ただ、葉色が濃く推移し、茎稈重の増大がみられた。④ 鉄の施用によって、穂長が長くなり、子実/茎稈比が増大し、収量もわずかながら増収の傾向を示した。⑤ 銅と鉄の併用によって、登熟促進と穂の伸長増進がみられ、子実収量も著しく増加し、明らかにその併用効果が認められた。細田⁶⁶⁾は、銅と鉄の抵抗作用について検討し、土壤中に鉄含量が多いときには銅を添加すると相当顕著な効果があると論及した結果と全く一致している。

2) 銅および鉄の施用効果

このように、ポット試験によって、塩土に対する鉄、銅の施用効果が一応、認められたので、つぎに、函館市銭亀沢畑地において、えん麦(前進)を供試作物として、1961年より2か年にわたり、銅および鉄の施用効果について検討したほ場試験の成績を第44図に示した。



第44図 銅、鉄施用とえん麦の収量 (ほ場試験)

なお、両年とも、銅0.2kg/aを硫酸銅で、鉄0.5kg/aを硫酸第1鉄で施用し、また、共通施肥量として窒素0.3、磷酸0.6、加里0.5kg/aを硫酸、過石、硫酸で施用した。

この結果によると、2か年とも、ポット試験の成績と同様に、えん麦に対して銅および鉄の施用効果が顕著に認められ、とくに、銅の施用効果がきわめて大きく、無施用区に比して、20~30%前後の増収率を示した。

もちろん、銅の施用効果は作物の種類によって異なり、かつ、農薬ボルドーを使用する馬鈴薯栽培跡地には銅欠乏症が発生しにくい事例もあるが、いずれにしても、塩土地帯では東北地方の腐植質火山灰土壌と同様に、潜在的銅欠乏状態にあることが充分うかがわれる。

また、土壌中の形態別銅含量について、堤ら¹⁸⁹⁾¹⁹⁰⁾は、腐植質火山灰土壌は沖積土壌に比して、全銅(過塩素酸可溶分解銅)およびアルカリ可溶銅(0.5%苛性ソーダ可溶銅)は明らかに低い、とくに酸可溶銅(0.1規定塩酸可溶銅)含量が低いことと、アルカリ可溶銅/塩酸可溶銅の比率が17~32前後で、沖積土壌よりも著しく高いことを指摘してお

り、さらに、腐植質火山灰土壌における銅欠乏症発現の要因について、土壌中の可給態銅含量の低いことと同時に、キレート結合と考えられる腐植による銅の固定が関与していると推論¹⁹⁾している。

このように、塩土を含めて腐植質火山灰土壌における麦類の生産力の低い原因の1つに銅欠乏を主体とする微量元素欠乏のあることは、塩土地帯の生産力向上の面からも大いに注目すべき問題と考えられる。

3) 要 約

塩土地帯における、麦類に対する微量元素の施用効果について検討した結果はつぎのとおりである。

(1) 各種微量元素の中で、銅および鉄の施用効果が顕著に認められ、とくに、銅の施用によって麦類の正常な生育、出穂、稔実がみられ、登熟が促進されて穂も大きくなり、収量面でも、10~20%前後の高い増収率を示した。

(2) 銅欠乏症は土壌中の可給態銅含量の低いことと、腐植による銅の固定によってもたらせるものと推定されるが、塩土はほかの腐植質火山灰土壌と同様に潜在的な銅欠乏状態にあるものと思われる。

4 有機物導入による生産性向上

塩土はきわめて腐植含量の高い土壌であるが、その腐植が鉄、珪土と強固に結合して難分解性であり、しかも、この腐植に随伴する窒素含量が相当高いにもかかわらず、作物を栽培すると磷酸欠乏とともに、往々にして、窒素欠乏をも併発する場合が多く、熟畑化するに従って、しだいに塩土地帯の生産力を支配する土壌的要因は磷酸問題より土壌窒素の供給力の問題に移っている。また、輕鬆で保水性が強い諸種の土壌物理的要因(3相組成、粒徑組成、孔隙性、水分特性、土壌構造など)も窒素の無機化および供給力を緩慢化させている要因とも考えられる。

一般に、窒素供給力の給源である有機態窒素含量の多い土壌ほど、窒素的潜在地力が高く、生産力も高いと認められており、このような土壌を造成する手段としては、堆肥施用、牧草導入など

によって積極的に地力を増強する方法が考えられている。

しかしながら、畑土壌の地力増強手段としての堆肥およびその他の有機物施用による土壌肥料的效果については、数多くの研究報告²⁰⁾があり、その論議は常に古くて新しいが、一応、堆肥の施用効果は、施用されたときの肥料的直接効果と、その連用による累積的效果とに分けて考察する必要があると思う。

すなわち、堆肥施用の直接的効果としては、堆肥の施用により、土壌の陰荷電を増加させ、活性珪土の溶出を抑えるとともに磷酸の肥効を増進させ、三要素以外に珪酸、苦土、鉄、石灰、マンガンなどの微量元素の補給効果があげられる。一方、堆肥の連用による累積的效果としては、土壌腐植、塩基保持力および土壌緩衝能を増大させる養分的肥沃度の増大と、土壌の物理的諸性質および土壌微生物相の改善などに対して著効があることが確かめられている。

したがって、このような期待から、塩土地帯における養分(とくに窒素)供給能の改善を主体とし、土壌理化学性の改善を従として、堆肥およびそれに代わる粗大有機物の施用効果について検討した。

本節では、室内実験と枠試験によって、各種有機物の分解状況⁴⁾と窒素添加の有無および土壌有機態窒素の形態分布の面から有機物施用の効果⁴⁾¹⁰⁾を、さらに、ほ場試験によって、堆肥および粗大有機物としての麦稈の施用効果とその持続性について検討した結果を述べる。

1) 各種有機物の分解状況

塩土に対する堆肥およびその他の有機物の施用効果を解析する上に、土壌中における有機物の分解過程を調査することが重要な手掛りとなるものと思われるので、まず、室内実験と枠試験によって、添加有機物の分解状況を普通土壌と対比し、あわせて、有機物の分解に及ぼす土壌水分含量の影響についても検討を試みた。

(1) 土壌別の添加有機物の分解過程

土壌の種類として、函館市銭亀沢畑ほ場より採取した塩土と札幌市琴似町旧農試ほ場より採取し

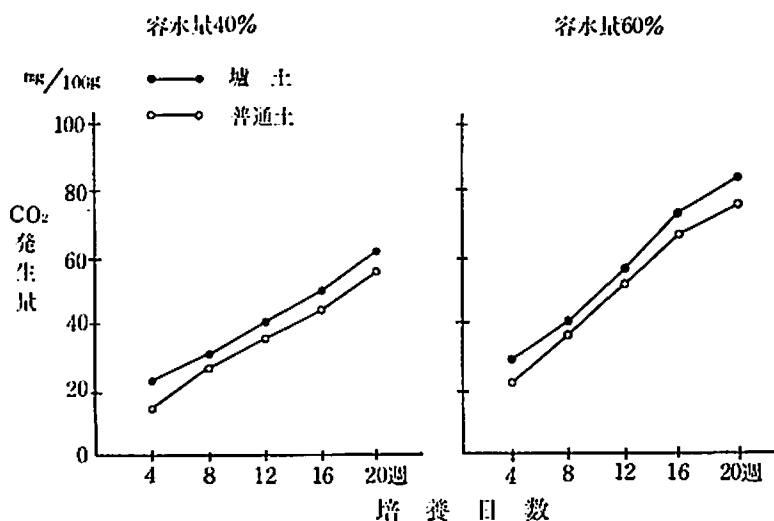
た普通土の2土壌を用い、また、有機物の種類として、堆肥（炭素率22.7）、えん麦稈（炭素率74.9）、デントコーン稈（炭素率57.5）の粉碎物を用いて、土壌に対してそれぞれ1%の割合で添加混合し、土壌水分を容水量の40%、60%の2段階に調節して、三角フラスコに充填、密閉し、28℃で培養した。そして、各種有機物の分解に伴って発生する炭酸ガスを1/10規定苛性ソーダにて捕集し、1/10規定塩酸で滴定して、その値を盲検分より差し引き、発生炭酸ガス量を求めた結果を第45～46図に示した。

なお、本実験における炭酸ガス量が全般に低い値を示しているが、これは土壌を一度風乾した後

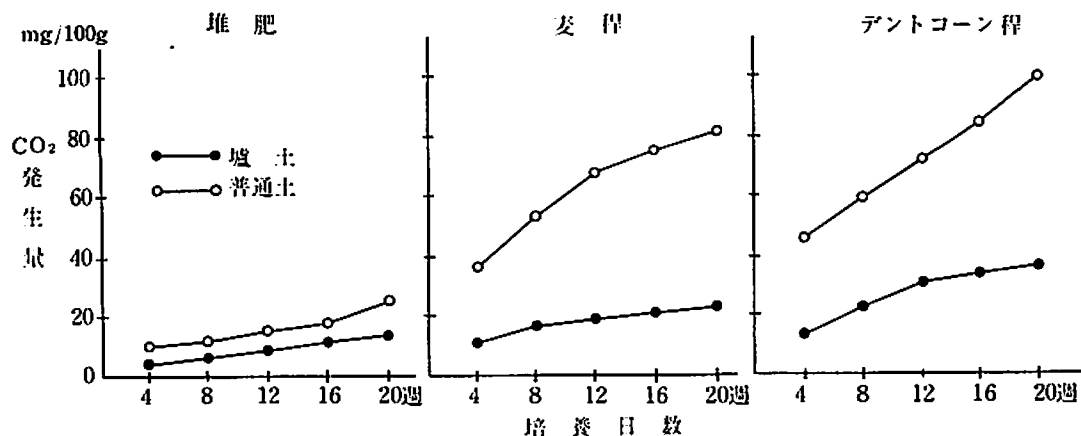
で使用したために、有機物の分解力が減退したものと考えられるが、一応の傾向がつかみ得たと思う。

最初に、有機物を添加しない土壌だけの炭酸ガス発生経過についてみると、第45図に示すように、有機物含量の多い壙土の方が明らかに普通土より炭酸ガスの発生量が多く、しかも、土壌水分の含量間では、両土壌ともに容水量60%の方が常に炭酸ガス発生量が多い傾向を示している。

つぎに、第46図より、両土壌における各種有機物の分解によって発生する炭酸ガス量の推移についてみると、まず、土壌の種類間では、堆肥、えん麦稈およびデントコーン稈の炭酸ガス発生量



第45図 壙土と普通土の CO₂ 発生経過



第46図 堆肥、えん麦稈、デントコーン稈の CO₂ 発生経過（容水量60%）

は、いずれも塩土より普通土の方が多く、しかも、普通土では培養初期よりほぼ一定の速度で有機物の分解が進行するのに対して、塩土では培養当初の分解は比較的早い、後半においてはその分解がやや停滞する傾向をみせている。

また、有機物の種類間では、両土壌ともに、デントコーン稈>えん麦稈>堆肥の順に、デントコーン稈の炭酸ガス発生量が最も多いが、デントコーン稈と麦稈との差は比較的小さかった。

さらに、土壌の乾湿（土壌水分の多少）による差異についてみると、普通土では堆肥を除いて、えん麦稈とデントコーン稈の分解量は容水量60%の方が多く、塩土では逆に、各有機物とも、容水量40%の方が多く傾向を示した。この結果、普通土では、えん麦稈やデントコーン稈のように比較的炭素率の高い有機物に対して湿潤条件が分解を促進する方向に働き、塩土では、逆に土壌水分の過剰が分解に対して抑制的に働くものと考えられる。

もちろん、土壌に施用された有機物は土壌微生物によって分解されるので、その分解に影響を及ぼす要因としては土壌水分、通気性を始め、温度、反応、養分の豊否、微生物の活性度などの問題が色々ある。

石沢ら⁶⁰⁾は土壌中における有機物分解に関与するマイクロフローラについて調査し、土壌の種類のいかに問わず、高水分（pF2.4）区では、有機物分解に関与するマイクロフローラは糸状菌→細菌→放線菌の遷移をとるのに対して、低水分（pF3.5）区では糸状菌→放線菌の遷移をとり、高水分および高温条件下では土壌中における有機物の分解が早いと報告しており、この報告と筆者の調査結果とは相反するよう見受けられるが、実際、塩土がほかの土壌に比して土壌水分の絶対含量が高いために矛盾しない。

また、坂井・吉田ら²²¹⁾²²²⁾は、十勝火山灰土壌の乾燥統では糸状菌が、湿地統では細菌が優勢であり、乾燥統では有機物の分解が抑制され、湿地統ではむしろ有機物の分解が進行して、土壌の種類や水分条件によって有機物の分解に関与するマイクロフローラが異なることを報告し、さらに、十勝

火山灰土壌では施用有機物の後期における分解抑制が沖積土より強く現われると指摘している。

したがって、塩土では、有機物を施用した当初は比較的よく分解するが、ある程度分解が進むとその後の分解が低下する理由としては、塩土の粒経組成は細粒質で比較的粗いため、施用当初は土壌との混合、接触が充分でなく、遊離の部分は通気性が良いので、よく分解するが、ある程度分解が進んでコロイド的性質を増して、土壌と接触した部分は土壌によって分解を抑制されると考えられる。よって、土壌水分が少ない条件でその分解量が大きいのは、空気供給量が多く、かつ、土壌との結合が起き難いためとみることができる。

すなわち、有機物施用当初の易分解性のものの分解は、主として土壌の物理性が、また、後期のコロイド活性をもったものの分解にはその化学性が関連するためと考えられるが、いずれにしても、塩土では、土壌水分量の減少、換言すると、土壌空気量の増大によって有機物の分解が促進されるものと推察された。

(2) 土壌中での有機物の分解状況

つぎに、土壌中において有機物がどの程度分解するかを知るために、2mm目のナイロン製網袋に有機物（堆肥、えん麦稈、デントコーン稈）20gを入れ、塩土地帯のほ場に埋没し、時期別にその分解状況を調査した成績を第81～82表に示した。

まず、ほ場に埋没した各種有機物の1作期間終了時（5月1日～10月28日）までの分解量についてみると、堆肥の分解量は62%、デントコーン稈は49%、えん麦稈は44%前後であり、堆肥の分解が最も早く、えん麦稈の分解が遅く、概して、炭素率の高いもののほどその分解が遅い傾向を示した。

さらに、第82表によって、有機物分解に伴う

第81表 ほ場に埋没した有機物の分解割合

有機物の種類	炭素率	埋没時の 有機物量 (%)	埋没3か 月後の 有機物量 (%)	埋没6か 月後の 有機物量 (%)
堆 肥	17	100.0	58.5	38.3
え ん 麦 稈	70	100.0	75.9	55.8
デントコーン稈	56	100.0	71.0	50.9

注) 埋没期間—5月1日～10月28日

第82表 有機物分解に伴う窒素の推移

項 目	期 日		埋没時	埋没3 か月後	埋没6 か月後
	種 類				
有機物当 たり窒素含有 率 (%)	堆 肥		1.48	1.28	1.19
	麦 稈		0.50	1.32	1.88
	デントコーン稈		0.58	1.03	1.55
窒素残存量 (mg) — 原有有機物 (100 g)	堆 肥		277	184	169
	麦 稈		407	589	814
	デントコーン稈		335	410	524
窒素残存率 (%)	堆 肥		100	66.4	61.0
	麦 稈		100	144.7	200.0
	デントコーン稈		100	122.4	156.4

注) 混入土の窒素は補正, 埋没時期は5月1日。

窒素量の推移についてみると、有機物中の窒素含量は、分解の進行とともに堆肥ではしだいに減少しているが、えん麦稈とデントコーン稈では逆に増加し、埋没6か月後(1作期間に相当する)には最初の3倍前後の窒素含量を示して、埋没時の堆肥中の窒素濃度とはほぼ同程度の値となった。一方、窒素の残存量もまた、窒素含量と同様の傾向を示し、堆肥は最初の窒素量の60%前後に減少したが、デントコーン稈は1.5倍、えん麦稈は2倍前後に増加した。

このことは、えん麦稈とデントコーン稈の分解は堆肥のそれと異なり、ほ場に施用した当年には有機物よりの窒素放出がなく、翌年以降に堆肥的な効果が期待できるものと推測される。

2) 作物の生産性に及ぼす有機物施用の影響

本項では、主に枠試験によって、作物の生育、収量、窒素吸収ならびに土壌中の有機態窒素の形態変化に及ぼす各種有機物施用の影響について検討した。

(1) 作物の生育、収量ならびに窒素吸収に及ぼす有機物の影響

1965年に、函館市銭亀沢地より採取した壟土を用い、無処理、堆肥、緑肥大豆、えん麦稈施用の4系列に、それぞれ、無窒素区と窒素1.0g/枠区の2処理を設け、えん麦(前進)を供試作物として、1/2,000aコンクリート枠で各種有機物の施用効果試験を行なった。

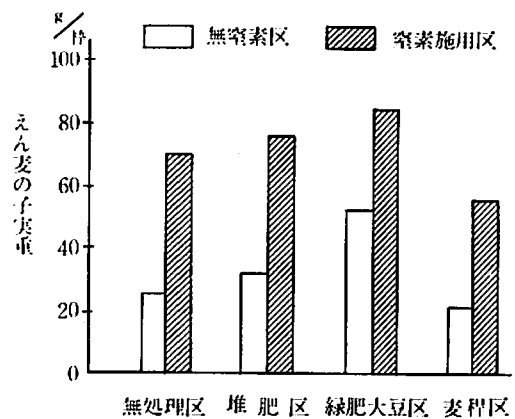
添加有機物の種類と組成については、第83表

第83表 供試有機物の種類と組成

有機物の種類	現物の添加量(g/枠)	乾物中の窒素(%)	乾物中の炭素(%)	炭素率	添加有機物中の窒素(g)	有機物中の水分(%)
堆 肥	100	1.92	38.5	20	0.93	40
緑肥大豆	100	2.53	40.0	19	0.76	70
麦 稈	100	0.48	43.0	74	0.43	10

に示すように、堆肥、緑肥大豆およびえん麦稈100g/枠をそれぞれ3cm位に切断し、深さ15cmの土壌と十分に混合、施用した。なお、共通施肥量として、磷酸1.0、加里1.0g/枠を過石、硫加で施用した。

得られた結果を第47~48図、第84表にかかげた。



第47図 有機物の種類、窒素施用の有無と収量の関係(枠試験)

第84表 有機物の施用と窒素吸収の関係(枠試験)

区 別		成熟期の窒素含有率(%)		窒素吸収量(mg/枠)	窒素添加量(mg/枠)	窒素残存量(mg/枠)	窒素施用率(%)
		茎幹	子実				
無窒素系列	無処理	0.44	1.93	464	0	-464	
	堆肥	0.88	1.95	502	930	428	
	緑肥大豆	0.40	1.56	629	760	131	
	麦 稈	1.05	1.99	476	430	-36	
窒素施用系列	無処理	0.27	1.55	1,258	1,000	-258	79.4
	堆肥	0.32	1.44	1,315	1,930	615	81.3
	緑肥大豆	0.44	1.62	1,488	1,760	272	85.9
	麦 稈	0.38	1.52	1,144	1,430	286	66.8

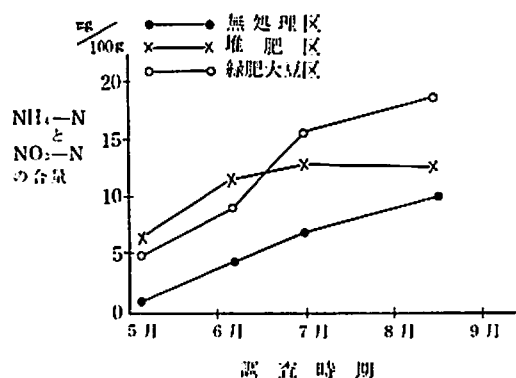
注) 窒素添加量*は肥料窒素と添加有機物中の窒素の総量を示す。

これによると、緑肥大豆区>堆肥区>えん麦区の順に、概して、炭素率の低い有機物ほど、また、添加有機物中の窒素量の多いものほど、作物の草丈の伸長量、茎数の増加量がおう盛であり、子実収量および窒素吸収量も明らかに高かった。内容的にみると、緑肥大豆区は後まさりの生育を、堆肥区はやや凋落的生育を、そして麦区は終始、窒素飢餓の生育様相を示した。

したがって、無窒素系列では、緑肥大豆区の子実収量は無処理区に比して2倍、堆肥区は20%前後の増収率を示し、また、窒素施用系列でも、緑肥大豆区は20%、堆肥区は10%前後の高い増収率を示したが、麦区では逆に両系列とも、それぞれ15~20%前後の減収となった。供試土壌の窒素の肥効(無窒素区の収量指数は窒素施用区の収量に対して36)がきわめて顕著であることより、緑肥大豆および堆肥施用による増収機作は明らかに窒素富化の影響が支配的であるものと考えられる。

つぎに、添加有機物の窒素量と施肥窒素量の合計量より作物の窒素吸収量を差し引いて、一応、窒素の残存量を試算してみると、第84表に示すように、無処理区と麦区では明らかに土壌中の無機態窒素を消費したのに対して、堆肥区および緑肥大豆区では逆に土壌中に窒素を残し、かつ、肥料窒素の利用効率も増大する傾向を示している。

また第48図によって、土壌中の無機態窒素(アンモニア態窒素と硝酸態窒素)の消長についてみると、緑肥大豆区>堆肥区>無処理区の順に無機態窒素の生成量が多く、とくに、緑肥大豆区では無処理区の2倍以上の高い値を示した。



第48図 土壌無機態窒素の消長

一般に、施用有機物の土壌中での分解、窒素の可給化に及ぼす炭素率の影響については、BLACK¹¹⁾はその著書の中で炭素率が15以下、または窒素が2.6%以上含有しているならば、加えられた窒素成分が無機化することを述べており、小笠原¹²⁾も土壌水分が一定の場合、火山灰土壌では作物の窒素飢餓が15以上の炭素率を有する有機物の添加により起こりやすいことを認めている。

したがって、麦区の窒素含有率が0.5%以下、炭素率が70以上の高い数値を示すことより、当然、麦区施用区においては、作物が窒素飢餓の状態を起こしやすいことが推定される。

しかしながら、緑肥大豆は堆肥に比較して炭素率が20%前後ではほぼ同一であり、かつ、有機物全体の窒素量が少ないにもかかわらず、土壌中の無機態窒素の生成量および作物の窒素吸収量が多かったという事実は、土壌中の無機態窒素量の多少が作物の生育および窒素吸収を支配し、かつ、土壌窒素の無機化量の多少は施用有機物の分解速度の差に支配されるという観点に立って論議を進めると、有機物の分解速度はその炭素率のほかに、施用有機物の質的問題、とくに、有機物の窒素含有率(堆肥は1.9%、緑肥大豆は2.5%)および水分含有率(堆肥は40%、緑肥大豆は70%)の大小によって決定されるものと考えられる。

また、出井ら²⁰⁾¹⁴⁾は鈣質土壌における無機態窒素量はほ場残渣物の分解に伴う窒素の固定、放出の大小に支配されると推論している。

(2) 土壌有機態窒素の組成に及ぼす有機物施用の影響

一般に、作物によって吸収、利用される窒素の大部分は土壌中の無機態窒素であるが、しかし、土壌中に存在する窒素は大部分、有機態窒素の形態で存在し、この有機態窒素は次のような分解過程を経て無機化する。すなわち、有機態窒素→アンモニア→亜硝酸→硝酸の過程をたどり、そして、土壌窒素の無機化量の多少を支配する段階はアンモニア→亜硝酸および亜硝酸→硝酸ではなく、有機態窒素がアンモニアに変化する過程であり、この転移の主動者は土壌中の微生物であるといわれている。

しかし、土壤有機態窒素は複雑な化合物であるため、その組成や化学性に関しては、なお、不明の点が多々あるが、一応、土壤有機態窒素は蛋白態であると想定され、その形態組成は酸加水分解により溶解する窒素化合物をヒューミン態窒素、アンモニアまたアミド態窒素、塩基および非塩基性非アミノ態窒素、塩基および非塩基性アミノ態窒素などに分画定量されている。

さらに、この土壤有機態窒素の形態組成は熟化または耕作条件の差異によって変化するともいわれている⁵⁹⁾。

したがって、本項において、墾土の有機態窒素組成に及ぼす有機物施用の影響について検討した。

なお、土壤有機態窒素の分別法は、第Ⅶ章、第1節で述べたように、KOJIMAの方法⁶⁰⁾によって、土壤を6規定塩酸で24時間、100℃の湯浴中で加水分解し、その酸加水分解性窒素をアンモニアとアミド態窒素、フミン態窒素、非塩基性窒素、塩基性窒素に4画分した。

有機物施用跡地土壤の有機態窒素を分別、定量した結果を第85表に示した。

第85表 有機物施用が土壤有機態窒素の組成に及ぼす影響

区 別	全窒素 (mg)	全窒素に対する割合 (%)				
		酸加水 分解性 窒素	アンモ ニア・ アミド 態窒素	非塩 基性 窒素	塩基 性 窒素	フミン 態窒素
無処理区	866	60.2	12.7	25.3	9.2	11.8
堆肥区	890	62.6	16.4	27.7	5.9	12.6
緑肥大豆区	891	63.8	15.5	28.5	7.7	12.1
麦稈区	909	59.2	11.8	25.0	8.8	13.6

これによると、各処理区ともに、酸可溶性窒素は全窒素の59～64%，アンモニアとアミド態窒素は12～16%，非塩基性窒素は25～28%，塩基性窒素は6～9%，フミン態窒素は12～14%前後であるが、堆肥および緑肥大豆区は無処理区に比して、酸可溶性窒素、アンモニアとアミド態窒素、非塩基性窒素含量が明らかに多く、その他の形態の窒素含量間には一定の傾向が認められない。一方、麦稈区はフミン態窒素含量がやや多いほかは、いずれも、漸減の傾向を示している。

BREMNER¹³⁾、KOJIMA⁶¹⁾らは、酸で加水分解される土壤有機態窒素の50%以上が蛋白質様物質であり、かつ、非塩基性窒素の大部分がアミノ態窒素であると報告している。したがって、堆肥および緑肥大豆などの有機物の施用により、土壤有機態窒素のうち、アンモニアとアミド態窒素ならびにアミノ態窒素として遊離するfractionが増加したことは、明らかに可給態窒素が富化されて、土壤窒素の供給力増大の面でかなり期待できるものと思われる。

また、KOJIMA⁶²⁾は、Muck soilではフミン態窒素の大部分が非蛋白質物質、多分、Heterocyclic nitrogen compoundとして存在していると報告している。したがって、麦稈施用区はほかの処理区に比して、フミン態窒素含量が多いということは、全窒素含量ならびに塩基置換容量などが増加したことより考えると、麦稈の施用効果は土壤に対する可給態窒素の富化よりもむしろ、土壤養分保持能力の増大面に寄与するものと考えられる。

また、三木ら¹⁴⁾は、鈣質土壤において、稲わらとともに土壤に添加した肥料窒素の大部分(72～73%)はアルカリ安定窒素(大部分はアミノ酸態窒素)の画分に移行し、さらに、このものは土壤本来のアルカリ安定窒素よりもやや分解しやすく、作物に対する吸収、利用などの有効性が高いと報告している。

3) 堆肥および稲わらの施用効果とその持続性

本項では、墾土に対する堆肥およびそれに代わる粗大有機物としての稲わら(3cm程度に切断)の施用量とその効果の持続性について検討したほ場試験関係の結果を述べる。

すなわち、1964年より3か年間にわたり、函館市銭亀沢畑地において、第1年目に馬鈴薯(農林1号)、第2年目に大豆(オシマンロメ)、第3年目にデントコーン(ホワイト・デントコーン)を供試作物として、堆肥の施用量は200, 400, 800 kg/aの3段階を、また、稲わらの施用量は100, 200, 400 kg/aの3段階を設け、かつ、これら有機物は第1年目のみに施用し、2年および3年目は共通肥料のみで、当地方標準耕種法に基づいて均一栽培を行なった。

なお、共通施肥量として、馬鈴薯には窒素 1.0、
 磷酸 0.8、加里 0.8 kg/a を、大豆には窒素 0.2、
 磷酸 0.6、加里 0.4 kg/a を、デントコーンには窒
 素 0.8、磷酸 0.8、加里 0.5 kg/a をそれぞれ、硫
 安、過石、硫加で施用した。

これらの試験結果を第 86～87 表に示した。

まず、堆肥の施用量とその効果の持続性につ
 いてみると、第 1 年目の馬鈴薯では、堆肥の施用量
 に比例して、明らかに草丈の伸長、茎数の増加量
 が大きく、葉色も濃く推移し、その生育量はきわ
 めておう盛であり、塊茎収量もほぼ直線的に増加
 して、堆肥中の養分（主に窒素）供給的效果が支配
 的であるように思われた。

つぎに、2 年目の残効についても、依然として、
 堆肥の施用量に比例して大豆の生育がおう盛で
 あり、子実収量も堆肥 400 kg/a まで高い増収傾向を
 示している。しかし、800 kg/a ではその生育がや
 や徒長気味であり、その増収割合も激減している。

3 年目の残効では、しだいに堆肥施用量間の差
 は小さくなり、とくに堆肥 400 kg/a と 800 kg/a
 とでは、その収量差はほとんど認められなかった。
 しかし、堆肥施用区は依然として、無施用区に比
 して 25 % 前後の高い増収率を示していた。

このように、窒素含量の高い本土壌においても、
 馬鈴薯やデントコーンのような多肥性作物に対す
 る堆肥施用の効果が顕著に認められ、豆類などの
 子実生産を主目的とする作物では、ある限度以上
 の施用量では収量的にマイナスとなることがわか
 った。したがって、本試験の結果より考えて、堆
 肥施用当年の直接的効果の大部分はその養分的効
 果であり、2 年目以降の効果は主に土壌理化学性

の改善による副次的効果であると推定され、しか
 も、その効果は堆肥 400 kg/a 以上の多量施用によ
 ってのみ可能と判断される。

また、三木ら¹¹⁵⁾は、鈣質土壌における有機物施
 用効果について研究し、100 kg/a 施用による地力
 窒素の富化率はわずか 1～3 % 前後であって、従
 来の慣行施用量 100～150 kg/a では、土壌窒素の
 消費を防ぐ程度で、積極的には地力の培養に役立
 たないとの見解を示している。

一方、堆肥に代わる粗大有機物としての稲わら
 の施用量とその効果の持続性についてみると、第
 1 年目の馬鈴薯では、明らかに稲わらの施用量の
 多いものほど、初期生育が抑制されてその塊茎収
 量も無施用区とほとんど大差なかった。

2 年目の残効では、初期生育の抑制現象はほと
 んど認められず、稲わら施用量に比例して大豆の
 生育は良好となり、その増収割合も著しく高かつ
 た。

3 年目の残効では、稲わら施用量間の生育、収
 量較差はしだいに小さくなり、いずれも 16～17 %
 前後の増収割合を示した。

一般に、稲わらの施用によって土壌の通気性が
 良好となり、見掛け上、土壌水分がやや減少して
 土壌中における稲わらの分解が比較的早いよう
 に見受けられ、また、2 年目の残効で稲わらは堆肥
 的效果を示すことより考えて、稲わらは連年施用
 よりむしろ隔年施用の方が効果的であり、その
 施用量として 200 kg/a 程度が限度であるように
 思われる。

つぎに、第 87 表によって、有機物施用が跡地
 土壌の化学性に及ぼす影響についてみると、有機

第 86 表 有機物施用量とその効果の持続性（1 年場試験）

区 別	馬 鈴 薯 (1 年目)		大 豆 (2 年目)		デントコーン (3 年目)	
	塊 茎 重 (kg/a)	収 量 比 (%)	子 実 重 (kg/a)	収 量 比 (%)	茎 稈 重 (kg/a)	収 量 比 (%)
無 施 用 区	180	100	16.4	100	378	100
堆 肥 200 kg/a 区	202	112	22.1	130	436	115
堆 肥 400 kg/a 区	207	115	24.6	152	471	125
堆 肥 800 kg/a 区	219	122	21.9	109	480	127
稲 わ ら 100 kg/a 区	196	109	18.2	109	438	116
稲 わ ら 200 kg/a 区	193	107	18.5	113	444	117
稲 わ ら 400 kg/a 区	183	102	20.6	119	444	117

第87表 有機物施用跡地土壌の化学性 (ほ場試験)

区 別	pH (H ₂ O)	腐 植 (%)	窒 素 (%)	磷酸吸収 係 数	置換容量 (me)	N/5-HCl可溶成分	
						磷 酸 (mg)	加 里 (mg)
無 施 用 区	5.8	23.3	0.73	2,403	58.1	32	13
堆 肥 200 kg/a 区	5.7	24.7	0.76	2,371	60.3	34	15
堆 肥 400 kg/a 区	5.6	25.4	0.80	2,271	61.4	36	19
堆 肥 800 kg/a 区	5.6	26.8	0.92	2,214	62.9	37	24
稲 わ ら 100 kg/a 区	5.6	23.8	0.81	2,211	59.0	44	15
稲 わ ら 200 kg/a 区	5.4	24.1	0.82	2,135	60.0	49	21
稲 わ ら 400 kg/a 区	5.3	24.6	0.88	2,016	60.8	51	23

物の施用量の増加に伴って、土壌 pH、磷酸吸収力が漸減し、腐植、窒素含量、塩基置換容量、可給態磷酸および加里含量が逆に増大しており、有機物の施用が明らかに土壌養分的肥沃度の増大面に寄与していることがうかがわれる。また、稲わら施用系列の方が堆肥施用系列に比して土壌 pH が低く、可給態磷酸含量が多いことが特徴的である。

このように、塩土に対する有機物施用効果は、やはり、養分供給的の面が支配的であるが、副次的な効果として土壌理化学性の改善の影響もあることが充分推定される。したがって、多量の有機物の施用によって改善された諸種の土壌理化学性が直接、作物の生育および収量に好影響を与えないとしても、養分供給的な面のみならず、理化学性の改善の面からも、有機物の効用は「絶えず施用し続ける」ことに意義があり、また、それによって大きな効果が期待できるものと思われる。

いずれにしても、堆肥および粗大有機物の導入は地力増強の面よりも、塩土の重要な生産力向上対策の1つと思われる。

つぎに、道南地域の塩土地帯における既往の堆肥施用試験成績を集計すると、第49図に示すように、各作物とも、施用量のいかに問わず、堆肥施用の効果 (平均19%の増収率) が明らかに認められている。

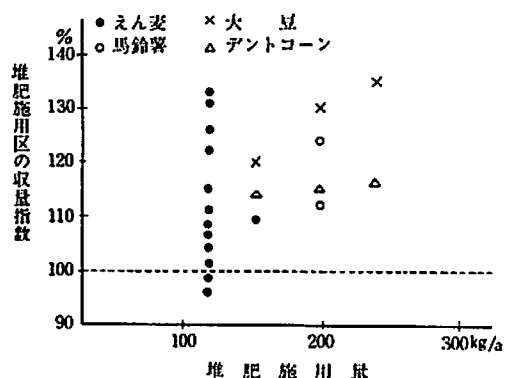
4) 要 約

塩土地帯における生産力増強対策の1つとして、堆肥および各種有機物施用の問題をとり上げ、室内実験、枠試験、ほ場試験の3方法を併用して、土壌中における有機物の分解状況、有機物施用に伴う土壌有機態窒素組成の変化および有機物施用による生産力増強効果について検討した結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 塩土は普通土に比較して有機物の分解力が弱く、かつ、施用当初は比較的早く分解が進むが、その後は土壌との結合関係から分解が著しく抑制される傾向を示し、さらに、土壌水分の過剰は有機物の分解に対して抑制的に働く。

(2) 1作付期間終了時まで (施用後6か月間) の土壌中における有機物の分解割合は、堆肥が62%、デントコーン稈が49%、えん麦稈は44%前後であり、また、窒素の残存率も、堆肥では最初の窒素量の60%前後に減少するが、デントコーン稈は1.5倍、えん麦稈は2倍前後に逆に増加した。

(3) 土壌窒素の無機化量の多少は施用有機物の分解速度の差に支配され、しかも、その分解速度は有機物の炭素率のほかに、有機物の窒素含有率、



第49図 塩土地帯における堆肥施用効果

水分含量の大小によって決定されるものと思われる。

(4) 一般に、炭素率の低い有機物ほど、また、窒素量の多いものほど作物の収量、窒素吸収量が高く、かつ、土壤中に窒素を残して土壤有機態窒素組成のうち、アンモニアとアミド態窒素、アミノ態窒素の割合が増加し、これら有機物の施用効果は明らかに可給態窒素の富化、窒素的潜在地力増強の面で期待できる。

(5) 一方、炭素率の高いえん麦稈は施用当年、土壤中の無機態窒素を消費し、作物収量および窒素無機化量の面でマイナスに働いているが、翌年には充分、堆肥の効果が期待できる。

(6) 畑土に対する有機物施用効果の機作としては、やはり、養分（主に窒素）供給的な面が支配的であって、土壤理化学性の改良効果は副次的なものであると推定される。

(7) 畑土のように腐植に随伴している窒素含量の多い土壤でも、有機物の効用は、堆肥では 400 kg/a 前後の量を絶えず施用し続けることにより、また、稲わらでは 200 kg/a 前後の量を隔年施用することによって大きな効果が期待できる。

Ⅲ 総合改良対策による生産力向上

すでに、畑土の物理性改善による生産力向上対策としては、深耕、客土、混層耕および海砂客入法がきわめて有効な土層改良手段であることを、また、畑土の化学性改善による生産力向上対策として、磷酸の多施、塩基の補給、微量要素としての銅の施用、堆肥および粗大有機物の導入が効

果的であることを明らかにした。

1) 総合改良対策

つぎに、1965 年より 2 か年間にわたって、道南地方の松前町、知内町、木古内町、上磯町、亀田町、大野町、七飯町、函館市の 8 か市町管内の畑土地帯で、すでに明らかにした改良対策のうち、磷酸多施、深耕、海砂客入などの単独効果とそれらの併用効果について比較検討を行なった⁵⁰⁾。

8 か市町の試験地の畑土の層厚はいずれも 40～60 cm 内外であり、その特性とほ場の履歴はつぎのとおりである。

松前…塩基含量に富み、開墾後の年数が古く、やや熟畑化が進んでいる。

知内…土性は埴壤土で、腐植含量がやや多く、有効態磷酸含量が 2 mg/乾土 100 g 以下できわめて少なく、開墾年数が短く、瘠薄な土壤である。

木古内…経年畑であるが、熟畑化が進んでおらず、生産力の低い土壤である。

上磯…土壤反応がほとんど中性で、置換性石灰含量が 50 me 前後できわめて多く、開墾年数の長いほ場でそ菜などの作付けが多い。

亀田…有効態磷酸含量が多く、熟畑化が進み、生産力が比較的高い土壤である。

大野…置換性塩基および有効態磷酸含量に乏しく、やや湿性を呈する瘠薄な土壤である。

七飯…古くより耕地として利用され、熟畑化が進み、生産力の高い土壤であり、下層に礫を含み、排水はきわめて良好である。

函館…開墾年数はやや長い、熟畑化が進んでいない土壤である。

第 88 表 総合改良対策試験の処理内容と施肥量

区 別	て ん 菜 (1965 年)					馬 鈴 薯 (1966 年)				
	耕 深 (cm)	要 素 量 (kg/a)			堆 肥 (kg/a)	耕 深 (cm)	要 素 量 (kg/a)			堆 肥 (kg/a)
		窒 素	磷 酸	加 里			窒 素	磷 酸	加 里	
対 照 区	20	1.1	1.5	1.0	200	20	1.0	1.3	1.2	—
海 砂 3cm 客 入 区	20	1.1	1.5	1.0	200	20	1.0	1.3	1.2	—
深 耕 区	40	1.6	2.8	1.5	200	20	1.0	1.3	1.2	—
磷酸 20 kg/a 施用区	20	1.1	1.5	1.0	200	20	1.0	1.3	1.2	—
総 合 改 善 A 区	40	1.6	2.8	1.5	400	20	1.0	1.3	1.2	—
総 合 改 善 B 区	20	1.1	1.5	1.0	400	20	1.0	1.3	1.2	—

総合改善 A 区：深耕、磷酸 20 kg/a、堆肥 400 kg/a 併用区。

総合改善 B 区：海砂 3cm 客入、堆肥 400 kg/a 併用区。

第89表 総合改良対策効果とその持続性（ほ場試験）

その1 第1年目（1965年）

作 物 区 別	市町村	て ん 菜 収 量 (kg/a)								8市町村平均	
		松 前	知 内	木古内	上 磯	亀 田	大 野	七 飯	函 館	収 量 (kg/a)	収 量 比 (%)
対 照 区		365	317	247	158	360	230	437	285	300	100
海砂 3cm 客入区		390	318	294	219	430	264	475	429	352	117
40cm 深耕区		360	310	229	165	424	305	480	334	325	108
燐酸 20kg/a 区		367	333	322	176	405	240	457	344	331	110
総合改善 A 区		357	375	254	171	479	263	438	362	337	112
総合改善 B 区		368	347	246	198	407	316	455	352	336	112

その2 第2年目（1966年）

作 物 区 別	市町村	馬 鈴 薯 収 量 (kg/a)								8市町村平均	
		松 前	知 内	木古内	上 磯	亀 田	大 野	七 飯	函 館	収 量 (kg/a)	収 量 比 (%)
対 照 区		174	132	261	309	314	163	343	330	253	100
海砂 3cm 客入区		214	155	272	310	334	222	359	332	275	109
40cm 深耕区		192	133	257	279	360	173	344	331	260	103
燐酸 20kg/a 区		184	166	304	316	391	178	372	326	280	111
総合改善 A 区		193	172	307	328	379	176	368	331	282	111
総合改善 B 区		179	154	289	314	354	195	351	330	271	107

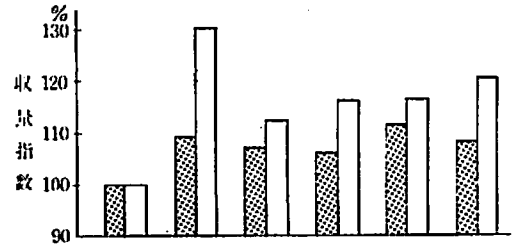
供試作物として、第1年目の1965年にてん菜（台糖2号）を、第2年目に馬鈴薯（男しゃく薯）を用い、各試験地に、① 対照区（標準）、② 海砂客入区（海砂3m³/aを客入）、③ 深耕区（耕深40cm）、④ 燐酸多施区（燐酸20kg/a相当量を過石・熔燐の混合物で施用）、⑤ 総合改善A区（深耕、燐酸多施、堆肥倍量の併用）、⑥ 総合改善B区（海砂客入と堆肥倍量の併用）の6処理区を設け、第1年目のみに改良資材を投与し、2年目はそれぞれ、共通肥料で均一栽培を行なった。各処理区の施肥量については第88表に示した。

なお、耕種法はすべて各地方標準耕種法に準じたが、両作物の栽植密度のみは各試験地ともそれぞれ統一した。すなわち、てん菜の場合には、畦幅50cm、株間25cm、栽植本数800本/a、また、馬鈴薯の場合には、畦幅75cm、株間30cmである。

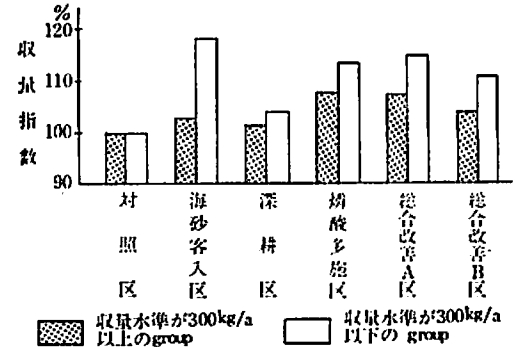
各試験地の改良資材投与第1年目、2年目のてん菜および馬鈴薯の収量結果は第89表、第50図に示すとおりである。

8試験地の収量水準についてみると、てん菜および馬鈴薯とも、最も収量が高いのは亀田町、七

てん菜（第1年目）



馬鈴薯（第2年目）



第50図 収量水準別の改良対策効果とその持続性（ほ場試験）

飯町であり、逆に最も低収なのは大野町であった。まず、改良資材投与第1年目のてん菜収量を8

試験地の平均値で比較してみると、海砂客入区>総合改善A区=総合改善B区>磷酸多施肥区>深耕区>対照区の順であり、単独処理効果の中では、海砂客入区の増収割合が20%前後で最も高く、ついで、磷酸多施肥区、深耕区の順であった。また、総合改善A、B両区の増収割合はともに12%で、両者間にはほとんど差が認められなかった。

つぎに、第2年目の残効の馬鈴薯収量では、総合改善A区=磷酸多施肥区>海砂客入区>総合改善B区>深耕区>対照区の順で、単独処理の中では、磷酸多施肥区の増収割合が最も高く、深耕区は第1年目と同様に最も低かった。また、総合改善B区の増収率は総合改善A区のそれよりもやや劣っていた。

一方、8試験地のてん菜および馬鈴薯の収量水準は試験地によってかなり差があり、てん菜では160~440 kg/a、馬鈴薯では130~340 kg/aの範囲にある。したがって、一応、この両作物の収量水準を300 kg/a以上とそれ以下の2つのgroupに大別して、その改良効果について検討してみると、第50図に示すように、収量水準によって明らかに増収効果の度合が異なり、300 kg/a以下の収量水準groupの方がその度合が大きく、かつ、単独処理の中では、海砂客入区>磷酸多施肥区>深耕区の順で、とくに海砂客入の効果がきわめて高く、明らかに、生産力の低い塩土地帯では土壌化学性改善対策よりも物理性改善対策の方が優先する技術対策のように思われる。また、300 kg/a以上の収量水準groupでも、単独処理の効果は同様に海砂客入区=磷酸多施肥区>深耕区の順であるが、3処理間の差は比較的小さく、生産力の高い塩土地帯では土壌物理性改善対策よりもむしろ、化学性改善対策の方が優先する技術対策のように思われる。

いずれにしても、塩土に対する単独処理の中で最も増収効果が高かったのは海砂客入効果であった。この増収機作については、すでに、第Ⅱ章、第3節で述べたように、海砂客入によって、地温が上昇し、通気性が良好となり、保水性が緩和されて、土壌腐植の分解促進に伴う窒素の供給量が増大したためと思われる。このように、海砂の客入は地

域性のいかんを問わず、塩土地帯の土壌改良手段としては最も有効な手段であった。しかしながら、海砂の採取場所および運搬などの経済的制約面より、海砂に代わる資材として、山土（土性が壤土系の洪積土壌）と粗粒火山灰（駒ヶ岳d火山灰）の客入効果について、知内、七飯両試験地で比較検討した結果、山土の客入は海砂客入とほぼ同程度の効果を示したが、粗粒火山灰の客入は作物の生育、収量面に対してはむしろマイナスとなった。このことは、海砂に代わる資材として、容積重の大きい洪積土壌の客入がより有望であることを示唆しており、今後の塩土地帯における具体的な土地改良事業の指針に充分なりうるものと思われる。

また、磷酸多量投与の効果もきわめて高かったが、内容的にみると、とくに開墾年数の短いほ場や有効態磷酸含量のきわめて少ない土壌ではその施用効果が顕著であったが、これに対して、熟畑化の進んでいるほ場や有効態磷酸含量が多い土壌の場合には、その効果がそれほど高くなかった。したがって、磷酸の多量投与は土壌中の磷酸含量やほ場の履歴を考慮して決定すべきである。

つぎに、深耕の効果は、耕鋤の深さによって異なるとも考えられるが、塩土に対する単独処理効果の中で最も増収割合が低く、とくに、木古内、知内両試験地では2か年とも、収量は対照区よりも低かった。深耕によって、作物根の養分供給領域が拡大し、地上部の生育量がきわめておう盛にはなったが、地下部の肥大および収量に反映する深耕単独の効果は比較的小さく、磷酸、塩基および堆肥などを増施しなければ、その効果が充分發揮されないものと思われる。

2) 要 約

道南地方の8か市町管内に分布する塩土の生産力向上対策として、磷酸の多量投与、深耕、海砂客入などの単独効果とこれらの併用効果について比較検討した結果、それぞれの改良対策はいずれも有効な手段であり、その適応性を確認した。

(1) 8か所の収量水準は、てん菜では160~440 kg/a、馬鈴薯では130~340 kg/aの範囲にあるが、その平均収量水準で海砂客入効果が10~17%、磷酸多量投与効果が10~12%前後の高い増収率

を示し、その増収効果は、とくに収量水準の低い
礫土地帯において顕著であった。一方、深耕効果
の増収率は3~8%で最も小さかった。

(2) 海砂の採取場所および運搬などの経済的制
約面よりみて、海砂に代わる改良資材としては容
積重の大きい洪積土壌も有望である。

(3) 磷酸の多量投与は土壌中の磷酸含量や場の
履歴を考慮して、その施用量を決定すべきであ
る。

(4) 深耕単独の効果は比較的小さく、磷酸、塩
基および堆肥の増施など化学性改善対策を併用し
なければ、その効果は充分発揮されない。

(5) 一般に、生産力の低い礫土地帯では土壌物
理性改善対策が、また、生産力の高い地帯では化
学性改善対策の方がそれぞれ優先する技術対策の
ように思われるが、いずれにしても、礫土の生産
力向上のためには両方の技術対策を有機的に組み
合わせて実施することが望ましい方向である。

Ⅶ 総括および結論

1 研究の目的およびその構成

礫土といわれる黒色土は、北海道においては、
古くより火山灰土、泥炭土、重粘土とともに特殊
土壌の1つとしてあげられており、面積的にはほ
かの土壌に比較して少なく、およそ56,000 haと
推定されているが、その分布範囲が広く、しかも、
近年、土壌調査の進展とともに、類似の性状を持
つ土壌が各地に存在していることが判明しつつあ
る。

さらに、礫土地帯はその土壌の持つ特異的な性
状とともに気象条件の特殊性(道内では年平均気温
がやや高く、無霜期間も長い、立地条件上、その気候は
海洋の影響を強く受けて、夏季は寡照多湿である)と相
まって、その生産力がきわめて低く、北海道にお
ける代表的な低位生産地帯の1つとなっている。

従来、礫土は「腐植にすこぶる富み、30 cm以
上の腐植層の厚さを持ち、しかも、軽鬆な反面、
過湿にもなりやすい土壌である」という概念的特
徴で定義されており、確かに、農業的利用面より
みると適切な表現であるが、その分類基準は不明
確であり、かつ、ほかの特殊土壌に比して、土壌

生成論的な見地よりの地理的分布の規則性、土壌
の性格と諸性質およびその特性に基づく生産力問
題などについての系統的な研究がほとんど皆無に
近い状態であった。

したがって、筆者は、北海道に広く分布する礫
土地帯を構成している土壌の総体を対象として、
礫土の堆積様式、母材、土壌組成を研究すること
は土壌生成論的にも、また、土壌生産性向上の面
においても、応用価値の高いデータを与えるもの
として本研究に着手した。

本論文の前半は主として、土壌生成論的な立場
より、道内に分布する礫土の堆積様式、断面形態、
無機物組成、有機物組成、粒径組成および粘土鉱
物組成を比較検討し、その地理的分布の規則性、
母材、成因と土壌組成の特徴について検討した。

後半は、農業生産性向上の必要性から、生産力
要因としての礫土の理化学的特性について解析
し、その結果より導出された礫土の生産力向上に
ついて検討を行なった。

2 礫土の地理的分布

礫土は、主として、道内の渡島半島南部の海岸
地帯、日高地方の東部海岸地帯、オホーツク海に
面する網走海岸地帯に分布しており、共通的に、
比較的古い火山降下噴出物の分布範囲内に限ら
れ、地形的には平坦な台地もしくは緩波状性の海
岸段丘面に規則的に分布している。しかも、凹地
部などの過湿地帯においてその層厚が厚く、礫土
の分布および生成には母材とともに地形との間にも、
きわめて密接な関係が認められた。

3 礫土の母材と堆積様式

礫土は火山灰または火山砕屑物を母材として土
壌化したものであり、その母材である火山灰は分
布地域によって異なるが、その堆積様式は、いず
れも最地表を被覆している新期の降下火山灰層部
とその下層に堆積せる古期の火山灰層部および褐
色のローム層と洪積世に堆積した軽石流堆積物部
とより成っている。

一般に、礫土といわれる黒色土は暗褐色の脆弱
な粉状構造を有する表層腐植層と漆黒な小粉塊状
構造を持つ埋没腐植層とより成り、これらは、い
ずれも2種類以上の火山灰風化生成物より成る累

積土壤である。

また、網走地域の塩土は道南地域（渡島および日高両地域を含む）のものとやや異なり、土色の褐色味が強く、土壤構造も発達して粘性が強い。

4 塩土の土壤組成

1) 塩土の pH は 5.6~6.0 前後で、微酸性であるが、加水酸度が著しく高い特異性を持っている。

無機物組成は分布地域によって明瞭な差が認められ、道南地域の塩土は網走地域のものに比して、珪酸、塩基含量は相対的に低いが、礫土、TAMM 試薬可溶物含量および磷酸吸収係数が著しく高く、しかも、その傾向は表層腐植層よりも埋没腐植層の方が強い、とくに、塩土の珪鉄礫土比は 1.8 以下で小さく、ほかの土壤に比して礫土性がきわめて強い。また、礫土と塩基との分子比が 0.7 前後と低いことも塩土の無機物組成の特徴の 1 つである。

2) 塩土は腐植の集積量が多く、その含量も 20 % 以上できわめて高く、かつ、黒色味も強い。さらに、腐植中に占める腐植酸の割合が著しく高く、その Ch/Cf 値が 2.0 以上である。

腐植と無機成分との結合状態についてみると、塩土の腐植の大部分は遊離状または可動性の三二酸化物と結合している形態で存在し、全腐植の 60~70 % を占めており、石灰と安定な結合している腐植および三二酸化物ならびに粘土と安定な結合している腐植は、いずれも量的には比較的少なかった。

つぎに、塩土の腐植酸の特質についてみると、ほかの土壤に比して腐植酸の腐植化度が著しく高く、黒色味が強い。また、各地域とも、埋没腐植層は表層腐植層に比して、腐植の抽出率、PQ（腐植酸割合）、RF（相対色度）が高く、その腐植酸の重縮合度も高い（ $\Delta \log k$ が小さい）。しかしながら、分布地域によって、腐植酸の腐植化度の上昇過程（腐植化過程）に差がみられ、網走地域の塩土では、腐植化度の上昇は $\Delta \log k$ （色調係数）の低下が主体であり、道南地域では RF の上昇が主体となっていた。

3) 塩土の粒径組成は、細砂および微砂含量が全体の 70 % 前後を占め、粘土含量は 15~20 % 程度で、全般的に細粒質である。

音波処理による塩土の粘土集合体の崩壊度や分散剤の相違に基づく粘土部分の分散性が、分布地域によって、また、塩土を構成している層位によって明らかに異なる。すなわち、各地域とも、表層腐植層よりも埋没腐植層の方がきわめて安定で分散しにくいアグリーゲートが多く、さらに、網走地域の塩土では塩酸処理・アンモニア法が、また、日高および渡島両地域の塩土では音波処理・カルゴン法が最大の粘土含量を示して、両者の土壤粘土の形態が質的に異なることが推定された。

塩土の 3 相組成はほかの土壤に比して、その固相率が 20~30 % 前後できわめて小さく、しかも、相対的に高い孔隙率の中で液相の占める割合がきわめて高い特徴を有している。地域別では、網走地域の塩土の固相率が著しく高く、沖積土のそれに類似した値を示した。

塩土の容積比重は 0.5~0.7 前後できわめて小さく、軽鬆であるが、網走地域の塩土はほかの地域のものに比して容積比重が遙かに大きい。その反面、真比重が 2.0 以下できわめて小さかった。一般に、容積比重は土壤固相率と、また、真比重は一次鉱物中の重鉱物含量との関連性が高かった。

4) 塩土の粗砂の一次鉱物組成は分布地域によって著しく異なっている。すなわち、網走地域の塩土では斜長石、火山ガラスが大部分を占め、重鉱物含量に比して軽鉱物含量が圧倒的に多い。日高地域では、その表層腐植層はほとんど大部分が火山ガラスであるが、埋没腐植層は火山ガラス、斜長石、輝石類、角閃石および鉄鉱物を含み、その重鉱物含量は 30~40 % 前後である。渡島地域の塩土は前記 2 地域のものに比して、石英、角閃石、重鉱物含量が著しく多かった。

一方、細砂の一次鉱物組成も粗砂と同様に、重鉱物含量およびその組成において顕著な地域差が認められ、重鉱物含量は渡島地域 > 日高地域 > 網走地域の塩土の順であり、さらに、その重鉱物組成についてみると、網走地域では、重鉱物の中で輝石類の含量が最も多く、50 % 前後を占めており、日高地域では、輝石類が 40 %、角閃石が 20 % 前後であり、函館地域では輝石類が少なく、角

閃石含量が50%前後に達している。

5) 礫土の粘土鉱物組成もまた、その分布地域によって明らかに異なり、網走地域の礫土は非晶質物の含量がきわめて少なく、結晶度の高いKaoline 鉱物を主体としている。一方、日高および渡島地域の礫土は非晶質物の含量がきわめて多く、結晶性粘土鉱物としては14 Å 鉱物が優勢であり、そのほかに、結晶度の低い Kaoline 鉱物と Gibbsite を少量含んでいる。

このように、3地域の礫土はその断面形態、堆積様式の類似性にもかかわらず、網走地域の礫土の無機物組成、粒径組成、鉱物組成などの土壌組成は日高および渡島地域の礫土のそれとは明らかに異なっていた。

また、礫土を構成する表層腐植層と埋没腐植層は、網走地域では同質の母材の風化生成層であるが、日高および渡島両地域の埋没腐植層は、その無機物組成、粒径組成、一次鉱物および二次鉱物組成の面よりみて、明らかに、表層腐植層よりもむしろ、下層のローム質火山性土壌に類似した性質をもっている。したがって、この両地域の埋没腐植層は台地を構成する下層のローム質火山性土の母材もしくはこれと類似するほかの母材と混合生成した可能性がきわめて大きい。

5 礫土の成因

礫土は火山灰または火山碎屑物を母材として土壌化したものであるが、礫土の生成には、その母材としての火山灰の風化生成物である Allophane の存在とともに自然環境(火山灰土壌特有の強い保水性とイネ科草本の植生)が腐植の集積現象に相当大きく関与しており、その生成時期は考古学上の人類遺物との層位的関係よりみて、表層腐植層はBP 2,000年以降に堆積した新期火山灰であり、埋没腐植層は縄文早期(BP 6,000年)より縄文中期(BP 4,000年)ころに降下した古期火山灰であり、これら火山灰が、現在よりも温暖多湿な気候条件下で腐植化作用を受け、その成熟度が進行して礫土といわれる黒色土が生成したものと推定される。

6 礫土の生産力

礫土地帯で栽培される作物は、全般的に、その初期生育が不良であり、かつ、生育後半における

徒長軟弱、登熟遅延のため、その収量は明らかに普通土壌地帯より低く、とくに、子実生産を目的とする麦類および豆類においてはその傾向が強い。

このように、礫土地帯における作物の低収性と栽培上の不安定性は、その地域の特異的な気象条件よりもむしろ、土壌組成に基因する春季の地温上昇の緩慢性と土壌理化学性の不良性が大いに関与している。

また、礫土に対する三要素の肥効のうち、磷酸が制限因子であり、ついで、窒素の肥効も認められ、加里の肥効はきわめて小さかった。

7 礫土の生産力要因としての理化学的特性

1) 礫土の全窒素含量は0.7~1.0%前後で普通土壌はもちろん、ほかの火山灰土壌に比してきわめて高いにもかかわらず、土壌可給態窒素の有力な指標である洗滌培養法窒素、熱水抽出法窒素および硝酸化生成量はいずれも普通土壌よりも少なく、明らかに、土壌窒素の供給量が劣る。また、礫土の窒素の無機化促進条件としては地温上昇の効果が最も効果的であった。

礫土の有機態窒素組成のうち、全窒素に対する酸可溶性窒素とアミノ態窒素の割合が、とくに普通土壌に比較して低かった。

2) 礫土の塩基置換容量(養分を吸着する能力の容量尺度)は45~70 me 前後で普通土壌に比してきわめて高いが、その養分保持は大部分、腐植に依存しており、また、塩基飽和度が35~40%前後で概して低く、その塩基吸着基は o-charge が主体である。したがって、礫土の吸着塩基の解離が大きく、塩基不飽和になりやすい。

3) 礫土の腐植と三二酸化物との関係についてみると、腐植の大部分が礫土と結合しており、しかも、その傾向は表層腐植層よりも埋没腐植層の方がはるかに強い。また、腐植化の進行に伴い、炭素1gと結合する礫土量に差は認められないが、鉄含量が減少し、石灰量が増加する傾向が認められた。

4) 礫土の全磷酸含量は0.3%前後で、普通土壌に比してとくに低い値とは考えられないが、全磷酸の60~80%が有機態磷酸の形態で存在し、

かつ、有効態磷酸（TRUOG液可溶磷酸）含量が2 mg/乾土 100 g以下で著しく低く、磷酸吸収係数も2,400~3,000前後できわめて高いことが塩土の磷酸要因の特徴の1つである。

また、塩土の無機態磷酸の大部分が塩酸可溶fractionに、また、有機態磷酸は弗化ソーダ可溶fractionに存在しており、しかも、無機態磷酸の60%前後が難土磷酸の形態である。

さらに、塩土では、土壌の腐植含量と磷酸吸収力との間に正の相関が認められ、腐植もまた磷酸吸収に関与していることは明らかである。

5) 塩土の腐植は弗化ソーダのような石灰沈澱剤に対する溶解度はきわめて小さいが、土壌を酸で前処理して鉄、難土を除去すると、明らかに、腐植の溶出量および腐植化度が著しく増加し、とくに、この傾向は表層腐植層よりも埋没腐植層の方が顕著である。

耕地化によって、腐植の抽出割合、PQは高くなるが、腐植酸の腐植化度の上昇過程が表層腐植層と埋没腐植層とは異なり、前者ではRF（相対色度）が増大し、後者では、 $J \log k$ （色調係数）の低下となって現われている。また、塩土の全腐植酸に対するA型腐植酸の割合は70~75%前後であり、傾向的には表層腐植層の方が多い。

6) 塩土のフルボ酸の大部分は遊離の状態か、もしくは三二酸化物とゆるく結合した状態で存在している。しかも、FORSYTH法によるフルボ酸の量的割合は、Fraction Aは5~10%、Fraction Bは40~50%、Fraction Cは20~30%、Fraction Dは15~25%前後であり、Fraction Bの割合が最も多い。

また、未耕地土壌では、Fraction A、Cなどの微生物の栄養源となる無色部分のフルボ酸が多く集積しているが、耕地化によって、しだいにこれらのフルボ酸が減少して、Fraction B、Dなどのキレート形成能を持つ着色部分のフルボ酸が顕著に増加している。

7) 塩土の土壌水分の特徴として、重力水（pF 0~pF 1.5）に相当する水分がほとんど認められず、毛管水（pF 2.8~pF 4.2）に相当する水分分布がきわめて多いことによって規定され、土壌保水量の

1つの指標となりうる有効水分量（pF 1.8~pF 4.2）は38~44%前後で、普通土壌に比してきわめて多く、腐植含量の多いものほど高い傾向を示しているが、作物に利用されやすい水分量はわずか12~18%前後である。さらに、有効水分量を内容的に検討してみると、低pF側領域（pF 1.8~pF 2.8）の水分量は土壌中の細砂含量により、また、高pF側領域（pF 2.8~pF 4.2）の水分量は腐植含量によって支配されている。

一方、塩土の全孔隙量は70~80%前後できわめて多いが、粗孔隙量がわずか5%以下で極端に少ないことが通気性を不良にしている一要因と考えられ、また、透水係数が小さいことも、水分移動の円滑性を欠く原因となっている。

したがって、塩土の物理性改善の方向としては、土壌の粒径組成および腐植含量を調節することによって土壌の孔隙性を改変して、通気性を増大させ、保水性を緩和することがきわめて重要である。

8 塩土の生産力向上対策

A 物理性改善による生産力向上

1) 深耕は土壌の粗孔隙量を増大し、通気性の改善に有力な土層改良手段であるが、深耕による孔隙量の増大は主として非毛管孔隙量の増大に基因する。一方、深耕によって、養分分に乏しく、難土性の高い埋没腐植層が表土に混入する割合が多くなるため、作物収量に反映する深耕単独の効果はきわめて小さく、磷酸、塩基および堆肥の補給によって初めて、その効果が充分発揮された。

2) 塩土の軽鬆性、保水性の緩和に対して混層耕、客土は有効な手段であったが、その効果は気象条件、肥培条件、栽培作物の種類によって多少異なり、増肥および堆肥の併用によってその増収効果がきわめて大きい。干ばつ年には干ばつの影響を強く受けた。さらに、作物の種類として、えん麦およびてん菜ではその効果が比較的大きかったが、大豆ではほとんどその効果が認められなかった。

一般に、深耕、混層耕および客土などによる土壌改良は、単独ではその効果が小さく、しかも、変異も大きいので、必ず、化学性改善対策を併用

する必要がある。

3) 土壌の圧密による固相率の増加は、粗孔隙を減少させるとともに保水量を増大させるため、保水性の強い墾土では、作物の生産性に対して不利である。

一方、海砂客入による固相率の増加は、乾土重を増加させるとともに粗孔隙をも増大させ、さらに土壌の保水量を減少させて、通気性が良好となり、墾土の軽鬆性および保水性などの土壌物理要因が相当改善された。また、化学的には、海砂の客入により土壌化学成分の稀釈化によって磷酸固定力が漸減し、施用磷酸の可給化率を増大させるとともに、易分解性有機物の分解が促進され、とくに、鉄と結合している腐植が分解溶出して土壌窒素の無機化量も多くなった。その結果、作物の初期生育が促進し、登熟が良好となって、収量的にも著しく増収し、かつ、その持続効果もかなり期待できる。

作物の生産性および経済性の両面よりみて、墾土に対する最も効果的な海砂の客入量は原土に対して容量比で3:1位の割合、つまり、 $3\text{ m}^3/\text{a}$ 位(客入層厚として3cm程度)の客入量が妥当である。なお、海砂客入地に対する施肥法としては、客入当初は窒素施用量を慣行よりもやや控え目にし、客入3年目ころより、施肥量(とくに窒素)を全般にやや増施するか、もしくは堆肥を充分併用することが望ましい。

また、客入せる海砂は耕土層内で比較的良く分散しており、耕耘作業などによって、とくに、下層に集積化するような現象が認められなかった。

このように、海砂客入法は墾土の物理性改善を主眼とする土壌改良法の中で、最も有効な手段であるといえる。

B 化学性改善による生産力向上

1) 墾土に対する磷酸肥料の多量施用効果は顕著に認められ、その増収機作は、土壌的に作土全層に充分な可給態磷酸を富化して土壌磷酸の水準を高め、作物的には初期生育の不良と登熟遅延の生育様相を改善し、作物の磷酸吸収を高めた結果である。

墾土の土壌磷酸の肥沃度を検索する指標として

は、植生との関係より、Al型磷酸が最も適当であり、ついで、TRUOG液可溶磷酸である。また、土壌磷酸の水準と作物の高位生産量との関係より、Al型磷酸で $140\text{ mg}/\text{乾土 } 100\text{ ml}$ 、あるいはTRUOG液可溶磷酸として $10\text{ mg}/\text{乾土 } 100\text{ ml}$ 前後になるように磷酸資材(過石と熔燐の等量混合)を施用すべきである。

2) 墾土は微酸性で、塩基飽和度が比較的低いにもかかわらず、直接、石灰で土壌反応を矯正する改良効果はほとんど認められず、硫黄処理によって土壌反応を一度、酸性化させた後、再び石灰で中和するという土壌反応の変換によって、土壌腐植に随伴する窒素と磷酸の一部が可給化され、その効果が明らかに認められた。なお、硫黄粉 $15\text{ kg}/\text{a}$ の秋施用によって、翌春までには、水浸pHではほぼ1.0前後低下する。しかしながら、硫黄処理—石灰施用という土壌反応変換効果の持続性および経済性については明らかにできなかった。

3) 各種微量要素の中で、銅および鉄の施用効果が顕著に認められ、とくに、麦類において、その効果が大きかった。

4) 墾土は普通土に比較して、有機物の分解力が弱く、しかも、土壌水分の過剰は有機物の分解に対して抑制的に働いている。

一般に、炭素率の低い有機物ほど、また、窒素量の多いものほどその分解速度が早く、しかも、土壌有機態窒素組成のうち、アンモニアとアミド態窒素、アミノ態窒素の割合が増加して、明らかに、土壌可給態窒素の富化および作物の収量、窒素吸収面にこれら有機物の施用効果が顕著に認められた。一方、炭素率が高い麦稈は施用当年、土壌無機態窒素を消費して作物収量面に不利であるが、翌年は充分、堆肥的效果が期待できる。

このように、墾土に対する堆肥および有機物施用効果の機作は、主として養分供給的な面が支配的であって、土壌の理化学性改良効果は副次的なものであると推定された。

C 総合改良対策による生産力向上

生産力の低い墾土地帯では物理性改善対策が、また、生産力の高い地帯では化学性改善対策がそれぞれ優先する技術対策のように思われるが、い

ずれにしても、塩土地帯の生産力増強のためには、単なる1つの改良手段のみではその効果が小さく、物理性改善対策と化学性改善対策を有機的に組み合わせて実施することがより望ましい方向であり、事実、道南地方の8か所における現地試験によって、その効果が確認、実証された。

引用文献

- 1) 足立美智子, 1964-a; フルボ酸によるアルミニウムと鉄の移動と集積について (第1報), フルボ酸とアルミニウムおよび鉄の相互作用, 土肥誌, 35, 1, 29.
- 2) ———, 1964-b; ——— (第2報), 模型土壌断面におけるフルボ酸とアルミニウムおよび鉄の行動, 土肥誌, 35, 4, 139.
- 3) ———, 1964-c; ——— (第3報), フルボ酸による粘土の変化, 土肥誌, 35, 9, 328.
- 4) 足立嗣雄, 1963; 火山灰土壌の腐植組成に関する考察, ベドロジスト, 7, 1, 2.
- 5) ———, 1964; TYURIN 腐植分別定量法とその簡便法, ベドロジスト, 8, 2, 97.
- 6) 赤塚 恵・坂柳勉夫, 1964; 畑土壌における窒素供給力の検定方法に関する2, 3の考察, 北農試験報, 83, 64.
- 7) 吉峰重範, 1958; 土壌のアロフェンについて, 土肥誌, 28, 12, 508.
- 8) BAKER, D. E. and C. M., WOODRUFFE, 1962; Influence of volume of soil per plant upon growth and uptake of phosphorus by corn from soils treated with different amounts of phosphorus, Soil Sci., 94, 409.
- 9) BAYER, L. D., 1956; Soil physics, 3rd ed.
- 10) ———, and R. B. FARNSWORTH, 1940; Soil structure effect in the growth of sugar beets, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 5, 45.
- 11) BLACK, C. A. (原田登五郎ほか訳), 1957; Soil-plant relationship, 206, 朝倉書店.
- 12) BRAY, R. H. and F. M. WILLHITE, 1929; Determination of total replaceable bases in soils, Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 1, 144.
- 13) BREMNER, J. M., 1949; Studies on soil organic matter, Part 1. The chemical nature of soil organic nitrogen, Jour. Agr. Sci., 39, 183.
- 14) ———, 1950; The amino acid composition of protein material in soil, Biochem. Jour., 47, 538.
- 15) ———, 1952; The nature of soil nitrogen complexes, Jour. Sci. Food Agr., 3, 497.
- 16) BURGESS, A. (熊田恭一・高井康雄・加村崇雄共訳), 1960; Micro-organisms in the soil, 136, 朝倉書店.
- 17) CHANG, S. G. and M. L. JACKSON, 1957; Fractionation of soil phosphorus, Soil Sci., 84, 133.
- 18) 土壌微生物研究会編, 1966; 土と微生物, 90, 岩波書店.
- 19) 出井嘉光・井田 明, 1962; 畑土壌における燐酸の形態について, 土肥講演要旨集, 8, 92.
- 20) ———・小川和夫, 1964; 作付様式と地力に関する研究, 第1報, 青刈冬作物跡地の地力変化について, 東海近畿農試報告, 11, 53.
- 21) 江川友治・渡辺 裕・佐藤昭夫, 1955; 本邦畑土壌の粘土鉱物に関する研究, 農技研報告, B 5, 39.
- 22) ———・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, B 7, 31.
- 23) ———・———, 1959; 土壌燐酸の形態分類に関する研究, 農技研化学部成績書, 39.
- 24) ———・佐藤昭夫, 1963; 東海地方に分布するいわゆる黒ぼく土壌の粘土鉱物, 粘土科学の進歩, 4, 239.
- 25) FORSYTH, W. G. C., 1947; Studies on the more soluble complexes of soil organic matter, Biochem. Jour., 41, 176.
- 26) 深井 強・森 哲郎, 1956; 重粘地に対する砂客土の効果, 北農, 23, 12, 9.
- 27) ———・池 盛重・伊東美智男・増島 博・昆 忠男, 1962; 重粘性土壌における砂および泥炭客土の併用効果, 北農試験報, 77, 56.
- 28) 箱石 正, 1965; 土壌孔隙の測定について, 土壌の物理性, 11~12, 55.
- 29) 原田登五郎, 1958; 粗大有機質肥料の施用効果, 土壌肥料全編, 419.
- 30) ———, 1958; 腐植に関する研究, 土壌肥料全編, 184.
- 31) ———, 1959; 水田土壌の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究, 農技研報告, B 9, 123.
- 32) ———・久津那浩三, 1955; 土壌中における塩基の行動 (第1報), Negative charge の主因と

- NH₄⁺およびCa⁺⁺の吸着について、農技研報告, B 5, 1.
- 33) 長谷部俊雄, 1964; 北海道の網走地方にみられる生育異常の麦類に対する硫酸銅施用の効果について, 土肥講演要旨集, 10, 112.
- 34) 長谷川新一・小田桂三郎・美園 繁, 1960; 土壌水分測定法, 続作物試験法, 453.
- 35) HASHIMOTO, I. and M. L. JACKSON, 1960; Clays and clay minerals, 7th Nat'l. Conf., pergamon press, 102.
- 35) 服部英生・森田修二, 1964; 近畿地方のくろぼく土壌の鉱物学的特性について (第1報), 近畿地方のくろぼく土壌に関する研究, 土肥誌, 35, 6, 199.
- 37) 早川康夫, 1958; 根室地方に分布する摩周統火山灰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および燐酸について, 道農試集, 3, 71.
- 38) ———, 1962; 根釧地方に分布する火山性土の理化学的特性と主幹作物の肥培法について, 道農試集, 11.
- 39) 林 武・滝島康夫, 1953; 土壌有機燐の作物による利用に関する研究 (第1報), 土壌有機燐の新定量法, 土肥誌, 23, 4, 257.
- 40) 林 常孟・長井武雄, 1953; 土壌腐植酸のComponentについて (第1報), 腐植酸のクロマトグラフィ, 土肥誌, 24, 212.
- 41) ———, 1955; ——— (第2報), 腐植酸A型のComponent吸収スペクトルについて, 土肥誌, 25, 285.
- 42) ———・徳田太四郎, 1937; 土壌腐植の塩基吸収について, 札幌農林学会報, 第29年度, 222.
- 43) 平島利昭・川原洋司, 1966; 塩土に対する砂客土の効果, 2, 客入砂の分布と土壌三相構造, 北農, 33, 9, 55.
- 44) HOBSON, R. P. and H. J. PAGE, 1932; Studies of the carbon and nitrogen cycle in the soil, J. Agr. Sci., 22, 497.
- 45) 北海道開発局農業水産部, 1966; 塩土地開発方式調査.
- 46) ———, 1967; ———.
- 47) 北海道農業試験場, 1956; 泥炭地に関する試験研究特輯, 北農試彙報, 69.
- 48) 北海道立中央農業試験場化学部, 1965; 土壌肥料に関する試験成績書, 139.
- 49) ———, 1966; ———, 128.
- 50) 北海道立道南農業試験場, 1966; 塩土の改良と施肥法の確立試験.
- 51) 北海道立農業試験場, 1952; 北海道農業技術研究 50年, 146.
- 52) 北海道立農業試験場化学部, 1954; 施肥標準試験成績, 網走支庁管内 (畑作の部).
- 53) ———, 1957; ———, 日高支庁管内 (———).
- 54) ———, 1963; 低位生産地調査事業成績書, 48.
- 55) ———, 1964; ———, 42.
- 56) 細田克巳, 1943; 鉍毒土壌改良に関する研究 (第6報) 鉍と鉄の拮抗作用について, 土肥誌, 17, 514.
- 57) ———・高田秀夫・伏谷勇次郎, 1957; 黒土の腐植に関する研究 (第6報), 易溶性腐植について, 土肥誌, 28, 1, 23.
- 58) ———・———, 1958; 黒土の腐植に関する研究 (第9報), 黒土の加水分解性窒素について, 土肥講演要旨集, 4, 8.
- 59) 井嶺 昭, 1964; 小坂・井嶺法 (シモン変法), ベドロジスト, 8, 2, 106.
- 60) 石沢修一・鈴木達彦・甲田知則・佐藤 修, 1958; 土壌の微生物とその作用に関する研究, 農技研報告, B 8, 1.
- 61) 石塚喜明, 1942; 植物に対する銅イオン有害作用の起因について (第2報), 根部生長点付近における銅の異常集積, 土肥誌, 16, 43.
- 62) ———・早川康夫・乙井 馨, 1954; 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, 道農試集, 5, 35.
- 63) ———・佐々木清一, 1955; 十勝地方における火山性土壌の性質について (第1報) 一般理化学的性質, 土肥誌, 26, 2, 63.
- 64) ———, 1956; ——— (第2報), 無機膠質物の性質, 土肥誌, 27, 137.
- 65) JAMISON, V. C. and E. M. KROTH, 1958; Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22, 189.
- 66) 重粘地グループ, 1967; 北海道北部の土壌 (重粘性土壌の生成, 分類と土壌改良), 北海道開発局.

- 67) 菅野一郎, 1965; 火山灰土といわゆる黒ボク土の分類と命名, ペドロジスト, 9, 2, 83.
- 68) ———, 1961; 日本の主要土壌型の生成, 分類学的研究, 1, 序論および第1編, 腐植質アロフエン土, 九州農試彙報, 7, 1—185.
- 69) ———・有村玄洋, 1957; 日本火山灰土に関する研究 (第11報), 細砂の鉱物型について, 土肥誌, 27, 12, 492.
- 70) ———・徳留昭一, 1963; 腐植質アロフエン土の腐植の性状, ペドロジスト, 7, 2, 82.
- 71) 片山雅弘, 1965; 渡島管内の黒ボク土壌 (予報) 主として分布堆積様式について, 土肥講演要旨集, 11, 115.
- 72) 加藤芳朗, 1960; 東海地方東部の「黒ボク」土壌の細砂鉱物組成, 土肥誌, 31, 1, 25.
- 73) ———, 1962; 愛知県新城「黒ボク」土壌の粘土鉱物, 土肥誌, 33, 11, 513.
- 74) ———, 1964; 腐植にとむ土壌 (黒ボク土) の生成, 第4紀研究, 3, 212.
- 75) ———, 1965; 火山灰土壌の母材に関する問題, ペドロジスト, 9, 1, 13.
- 76) ———, 1966; 東海地方の「黒ボク」土壌の一般理化学性, 土肥講演要旨集, 12, 30.
- 77) 勝井義雄, 1959; 支笏降下軽石堆積物について, 特に支笏カルデラ形成直前の活動について, 火山, 2, 4, 1, 23.
- 78) ———, 1962; 5万分の1地質図幅「屈斜路湖」および同説明書, 北海道開発庁.
- 79) 川口桂三郎・久馬一剛, 1959; イ・ヴェ・チューリンの方法による土壌腐植組成の定量的研究, 土肥誌, 29, 12, 527.
- 80) ———・———, 1960; 土壌腐植と多価カチオンとの配位結合形成について, 土肥誌, 30, 591.
- 81) 川原祥司・高田 亨・平島利昭, 1966; 塩土に対する砂客土の効果, 1, 客入地の生産力の推移, 北農, 33, 9, 53.
- 82) 川尻美智子・美園 繁, 1961; 土壌の全重量と実容積との相関関係 (第1報), 土肥誌, 32, 2, 71.
- 83) ———, 1961; ——— (第2報), 土肥誌, 32, 5, 227.
- 84) 木下 彰, 1961; 施肥による火山灰畑地の増収技術, 農業技術, 16, 1, 5.
- 85) 小林茂久平・角田三郎・船戸忠寿・只木正之, 1959; 畑作物のマングンおよび鉄欠乏に関する研究, 群馬農試報告, 2, 39.
- 86) 弘法健三, 1964; 本邦土壌の腐植に関する研究, 土肥講演要旨集, 10, 129.
- 87) ———・大羽 裕, 1957; 土壌腐植の抽出条件について, 土肥講演要旨集, 5, 12.
- 88) ———・———, 1965; 音波処理による火山灰土壌の分散, 土肥誌, 36, 7, 207.
- 89) ———・立川 淳, 1958; 腐植の組成に関する研究 (第5報), フルボ酸中の着色物の調製法とその2, 3の化学的性質, 土肥講演要旨集, 4, 3.
- 90) 児玉作左衛門・大場利夫, 1954; 函館市住吉町遺跡の発掘について, 北方文化研究報告, 8.
- 91) KOJIMA, R. T., 1947; Soil organic nitrogen 1. Nature of the organic nitrogen in a muck soil from Geneva, New York, Soil Sci., 64, 157.
- 92) 小島 健・川口桂三郎, 1951; 所謂くろばくの有機態腐植, 土肥誌, 22, 279.
- 93) 近堂祐弘, 1965; 火山灰土壌の粘土鉱物の生成, ペドロジスト, 9, 1, 19.
- 94) KONONOMOVA, M. M., 1960; Soil organic matter, Pergamon Press, 345.
- 95) 小坂二郎・木田親史・井積 昭, 1961; 酸処理による腐植酸の変化, 土肥誌, 32, 9, 447.
- 96) 黒沢順平・中野信夫, 1962; 岩手県における麦類に対する銅欠乏の被害状況とその対策, 農及園, 37, 11, 1738.
- 97) 久津那浩三, 1961; 土壌の塩基置換容量について, 土肥誌, 32, 5, 231.
- 98) ———・野本亀雄, 1961; 土壌吸着帯の特性について (第2報) NH_4^+ 吸収型および Ca^{++} , NH_4^+ の選択吸収について, 土肥誌, 32, 6, 243.
- 99) LANG, R., 1915; Versuche einer exakten Klassifikation der Boden in Klimatischer und geologischer Hinsicht, Int. Mitt. F. Bodenk., 5, 312.
- 100) 増井淳一・庄司貞雄, 1967; 火山灰土壌の粘土鉱物に関する問題点, ペドロジスト, 11, 1, 33.
- 101) 増島 博, 1962; 十勝火山灰土壌の土壌水分系に関する研究, 北農試彙報, 77, 40.
- 102) ———, 森 哲郎, 1962; 畑の土壌水分系と作物の生育に関する研究, 1, 十勝火山灰土壌の生産要因としての土壌水分, 北農試彙報, 79, 30.
- 103) 松井 健・黒部 隆・加藤芳朗, 1963; 火山灰に関する土壌学的諸問題, 第4紀研究, 3, 1-1, 40.
- 104) 松実成忠, 1956; 泥炭土壌の熟圃化に関する研究 (第1報), 開墾に伴う2, 3の理化学性の変化, 北農試彙報, 69, 1.

- 115) ———, 1956; ———
(第2報) 未開墾高位泥炭土壌の腐植の形態, 北農
試験報, 69, 8.
- 116) ———・庄司貞雄・沢田泰男・吉田加代子, 1957;
L. von Postによる泥炭土壌の分解度と2, 3の理
化学性との相関関係について, 北農試験報, 73, 72.
- 117) ———・————, 1960;
泥炭土壌の化学的特性に関する研究(第1報), 泥
炭土壌の有機化学的組成について, 北農試験報, 75,
43.
- 118) 松尾憲一, 1962-a; 土壌の粒径組成と保水力との関
係について(第1報), 人工粒径組成土壌について
の解析, 土肥誌, 33, 3, 133.
- 119) ———, 1962-b; ———
(第2報), 一般土壌についての解析, 土
肥誌, 33, 3, 138.
- 120) 松下 貢, 1963; 函館市とその周辺地域の先史時
代.
- 121) MEHRA, O. P. and M. L. JACKSON, 1960; Clays
and Clay minerals, 7th Nat'l Conf., Pergamon
Press, 317.
- 122) 三宅康次・田町以信男, 1935; 北日本における土壌
の生成過程—気候的土壌型(第1報), 土肥誌, 8,
353.
- 123) ———・————, 1941; ———
(第2報), 土肥誌, 15,
459.
- 124) 三木和夫・出井嘉光, 1965; 畑土壌の窒素供給力に
関する研究(第1報), 畑土壌の可給態窒素の測定
法の検討, 東海近畿農試報告, 14, 55.
- 125) ———・森 哲郎, 1968; ———
(第4報), 生わら施用に伴う肥料窒素
の有機化並びに有機化窒素の作物に対する有効性,
東海近畿農試報告, 17, 67.
- 126) 南 松雄・沢口正利, 1966; 道南地方の埴土改良に
関する試験(第3報), 土壌窒素に及ぼす有機物の
影響について, 土肥講演要旨集, 12, 48.
- 127) ———・————, 1967; 駒ヶ岳火山灰地におけ
る畑地かんがいに関する土壌肥料の研究(第1報)
かんがいによる土壌水分の動向と消費水量につい
て, 道農試験報, 15, 56.
- 128) ———・高田 亨・佐藤亮八, 1958; 道南地方に
分布する埴土について(第1報), 埴土の特性, 北
農, 25, 11, 6.
- 129) ———・————, 1960; 道南地方に
分布する埴土の特性とその改良に関する研究(第1
報), 理化学的性質と磷酸の固定, 道農試験報, 5,
24.
- 130) ———・————, 1963; ———
(第2
報), 砂客土の効果とその施肥法について, 道農試
報, 10, 76.
- 131) ———・山崎淑子・沢口正利, 1967; 畑土壌肥沃
度の診断に関する研究(第1報), 土壌腐の有効度
とその限界濃度, 土肥講演要旨集, 13, 88.
- 132) ———, 1967; 水田土壌の窒素供給能に関する研
究(第1報), 土壌別の NH_4^+ の吸着性, 土肥講演
要旨集, 14, 4.
- 133) 美岡 繁, 1958; 実容積法による土壌物理性の測
定, 土肥誌, 29, 67.
- 134) ———, 1963-a; 土壌の3相構造と保水量との関
係について, 土肥誌, 34, 2, 53.
- 135) ———, 1963-b; 土壌の水分供給速度に関する研
究(第3報), 土壌の圧密とインゲンの収量, 土肥誌,
34, 365.
- 136) ———・寺沢四郎・木下 彰・須藤清次, 1953;
火山灰土壌の土壌水分系に関する研究, 農技研報告,
B2, 95.
- 137) ———・————, 1957; 火山灰土壌の土壌水分
系に関する研究, Ⅱ, 農技研報告, B7, 77.
- 138) 宮里 應・山本 毅, 1966; 土壌中における磷酸の
肥沃度について, 東北農試研究, 33, 383.
- 139) 宮沢数雄, 1963; 超音波処理による火山灰土壌の分
散, ベドロジスト, 7, 1, 18.
- 140) 三好 洋・田原久徳, 1965; 固相率増加および砂客
入による両総火山灰土の生産性向上, 土肥講演要旨
集, 12, 46.
- 141) ———, 1966; 両総火山灰台地に分布する「ちば
まつち」と「両総火山灰土」の生成論的並びに土壌
理化学的性質の比較研究, 千葉農試報告, 2, 71.
- 142) 森田 昇, 1964; 三河高原の「黒ぼく」について,
ベドロジスト, 8, 2, 93.
- 143) 森 哲郎, 1953; 北海道における重粘性土壌の研究
(第1報), 小向重粘土の二・三の理化学的組成, 北
農試験報, 65, 17.
- 144) ———・佐々木清一, 1956; ———
(第2報), 小向重粘土の無機膠
質物について, 北農試験報, 71, 13.
- 145) ———・深井 強, 1959; ———
重粘性土壌に対する砂客土の

- 効果について、北農試彙報, 74, 30.
- 136) 長井武雄, 1968; 酸性腐植質火山灰畑土壌における腐植の蓄積状態とその動態に関する基礎的研究, 83.
- 137) 中山 忠・佐藤友之・山下 貴, 1966; 土壌中における磷酸の行動 (第1報), 施肥磷酸の固定におよぼす土壌温度の影響, 土肥誌, 37, 203.
- 138) ———・山下 貴, 1966; ————— (第2報) 施肥磷酸の固定に及ぼす土壌水分の影響, 土肥誌, 37, 472.
- 139) 野本亀雄, 1958; 強酸性、火山灰、開拓地などの不良畑土壌, 土壌肥料全編, 370.
- 140) 農林省振興局, 1959; 地力保全基本調査における土壌分析法.
- 141) ODÉN, 1919; Die Huminsäuren, Kolloid Beiheft, 11.
- 142) 小笠原国雄・山本 毅, 1966; 畑土壌における窒素の消長に関する研究 (第1報), 明川火山灰土壌における畑作残存物の無機化と温度の関係, 東北農試研究連報, 6, 17.
- 143) 小川和夫・出井嘉光, 1965; 作付様式と地力に関する研究, 第Ⅱ報, 作物残渣の分解について, 東海近畿農試報告, 14, 78.
- 144) 岡本品雄・佐伯秀章, 1961; 土壌磷酸の固定とその有効化に関する研究 (第7報), 磷酸の吸収と土壌の諸性質との関係, 土肥誌, 32, 3, 107.
- 145) 奥田 東・堀 上郎, 1955; シモンの腐植酸分別法への批判, 土肥誌, 26, 6, 201.
- 146) 大場利夫, 1956; 各地域の擦文式土器, 北海道, 日本考古学講座, 3.
- 147) 大羽 裕, 1956; 火山灰土壌の腐植, ベドロジスト, 9, 1, 26.
- 148) ———, 1964; 弘法・大羽法, ベドロジスト, 8, 2, 108.
- 149) ———, 1966; 土壌の一次鉱物の同定法, 分析法特集号, 土肥誌, 37, 1, 1.
- 150) ———・弘法健三, 1965; 火山灰土壌細砂中の粘土集合体, 土肥誌, 36, 7, 203.
- 151) PONOMAREVA, V. V., 1957; Pochvovedenie, 8, 66.
- 152) RICHARD, L. A. and C. H. WALEIGH, 1952; Soil physical conditions and plant growth, Agronomy Academic Press, 11, 3.
- 153) 林業試験場土壌調査部, 1955; 国有林土壌調査方法書, 林野庁, 47.
- 154) ROAGLAND, J. L. and W. A. SEAY, 1957; The effects of exchangeable calcium on the retention and fixation of phosphorus by clay fractions of soil, Soil Sci. Amer. Proc., 21, 261.
- 155) ロージエ, A. A. (山崎不二夫監訳), 1963; 土壌と水, 東京大学出版会.
- 156) RUSSEL, E. W., 1961; Soil conditions and plant growth, 9th ed., Longmans, 51.
- 157) 坂井 弘, 1959; 土壌の硝化作用に関する研究 (第3報), 十勝火山灰土壌の硝化作用について, 土肥誌, 30, 4, 149.
- 158) ———, 1960-a; ————— (第4報), 十勝火山灰地の未墾地土壌の硝化作用, 土肥誌, 31, 4, 149.
- 159) ———, 1960-b; ————— (第5報), 十勝火山灰乾燥統未墾地土壌の硝化作用の不良な原因, 土肥誌, 31, 5, 207.
- 160) 坂柳迪夫・赤塚 恵, 1963; 高位泥炭地における窒素の無機化について, 北農試彙報, 82, 28.
- 161) 佐々木清一, 1960; 北海道土壌地理論.
- 162) ———・松野 正・矢沢正士, 1967; 北海道における黒ボク土壌の粘土鉱物に関する研究, 第1報, 道南黒ボク土壌について, 土肥講演要旨集, 13, 20.
- 163) 佐藤博之, 1968; 北海道斜網地域における洪積世後期の火山灰と段丘, 地質調査月報, 19, 2, 47.
- 164) 佐藤信淵・佐藤信景, 1873; 土性弁.
- 165) SCHOLLENBERGER, C. J. and R. H. SIMON, 1945; Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil. Ammonium acetate method. Soil Sci., 59, 13.
- 166) 関谷宏三, 1962; 畑土壌における燐の形態と作物に対する有効性について, 土肥講演要旨集, 8, 9.
- 167) 瀬尾春雄, 1951; 北海道における農牧適地の土壌地帯概説, 北農試土性調査報告 第1編, 157.
- 168) SHAW, B. T., 1952; Soil physical conditions and plant growth, 93, 203.
- 169) 椎名幹治, 1965; 畑地の水分管理に必要な2,3の水分恒数とその測定法, 土壌物理性, 11~12, 83.
- 170) ———, 竹中 肇, 1963; 畑地保留水の消費機構Ⅰ, 農業土木研究所報告, 1, 83.
- 171) 柴田 勝, 1964; 所謂黒ぼく土壌における改良対策について, 開拓地土壌調査事業15周年記念刊行 第2巻, 232.
- 172) SIMON, K. and H. SPECHERMANN, 1938; Beiträge zur Humusuntersuchungsmethodik. Bodenkunde u. Pflanzenernähr, 8, 129.

- 173) SIMESON, K., 1960; Effect of soil temperature and moisture on the uptake of phosphorus by oats, J. Sci. Food Agr., 11, 449.
- 174) 塩入松三郎, 1952; 土壌学研究, 152.
- 175) SPRINGER, U., 1938; Die heutige stand der Humusuntersuchungsmethoden usw, Bodenkunde u. Pflanzenernähr, 6, 312.
- 176) STEVENSON, F. J., 1954; Ion exchange chromatography of the amino acids in soil hydrolysates, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18, 373.
- 177) ———, 1957; Distribution of the forms of nitrogen in some soil profiles, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21, 283.
- 178) STILES, W., 1946; Trace elements in plants and animals, 90, University press, Cambridge.
- 179) 玉井虎太郎, 1956; 畑作用水量の合理化に関する研究, 愛媛大学紀要 第6部, 2, 2, 1.
- 180) 田町以信男・花田 慧, 1962; 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4報), 耕地のクロボク分化層のフルボ酸組成, 弘前大学農学部学術報告, 8, 19.
- 181) TAMM, O., 1922; Ein methode zur Bestimmung der anorganischen Komponent des Gel-Komplexes in Boden. Medd. Statt. Skogsfors. XIX, 385.
- 182) 田村昇市・山田 忍, 1951; 土壌凍結地帯における火山性土の特性に関する研究 (第1報), 火山灰土の基本断面形態について, 土肥誌, 29, 9, 375.
- 183) ———, 1960; ——— (第2報), 火山灰土の基本土壌型とその理化学的特性について, 土肥誌, 30, 12, 567.
- 184) 寺沢四郎, 1965; 土壌水の吸引力の測定法, 土壌の物理性, 11~12, 69.
- 185) 東北農試栽培第2部, 1964; 土壌肥料に関する試験成績, 23.
- 186) 富岡悦郎, 1966; 北見南部斜網地方の火山性土壌, 第1報, 火山噴出物の種類と分布について, 北農試彙報, 90, 86.
- 187) 鳥潟博高, 1961; 果樹と水, 農及園, 36, 6, 961.
- 188) TRUOG, E., 1930; The determination of the readily available phosphorus of soils, J. Amer. Soc. Agronomy, 22, 874.
- 189) 堤 道雄・大平幸次・藤原彰夫, 1967; 腐植質火山灰土壌における銅欠乏について (第1報), 大麦の生育に及ぼす銅およびその他の微量要素, 石灰, 堆肥の施用効果, 土肥誌, 38, 12, 459.
- 190) ———, 1968-a; ——— (第2報), 層位別土壌における作物生育と銅などの施用効果, 土肥誌, 39, 2, 121.
- 191) ———, 1968-b; ——— (第4報), 層位別にみた土壌による銅の吸着, 土肥誌, 39, 2, 131.
- 192) TYURIN, A. TH., 1938; The composition and structure of soil organo mineral gels and soil fertility, Soil Sci., 45 343.
- 193) TYURIN, I. V., 1951; ドクチャエフ土壌学研究所報告, 38, 5.
- 194) 上田秋光, 1953; 火山灰土に対する混層耕並びに心土混層耕の効果, 北農, 20, 2, 33.
- 195) 浦上啓太郎・市村三郎, 1937; 泥炭地の特性とその農業, 北農試彙報, 60.
- 196) Von SCHWARY, A. R., 1879; Forsh. Gebiete Agr. phys., 2, 164.
- 197) 和田光史, 1966; 粘土鉱物の同定および定量法, 分析法特集号, 土肥誌, 37, 1, 9.
- 198) WAKSMAN, S. A., 1926; The origin and nature of soil organic matter or soil humus, I, Method of determining humus in the soil, Soil Sci., 22, 221.
- 199) 夜久 孝, 1964; ハケ岳火山灰土壌の特性とその地力保全対策について, 開拓地土壌調査事業15周年記念刊行 第2巻, 62.
- 200) 山田 忍, 1940-a; 火山性地土性調査法について, 土肥誌, 14, 11, 673.
- 201) ———, 1940-b; 風積火山噴出物の降下年代の推定とこれの応用, 土肥誌, 14, 12, 752.
- 202) ———, 1951; 火山性地土性調査法と北海道における火山性土壌, 北農試報告, 44.
- 203) ———, 1953; 火山性土の凍結並びに融凍作用が土壌と作物に及ぼす影響と対策に関する研究 (第1報), 土肥誌, 21, 4.
- 204) ———, 1958; 火山噴出物の堆積状態からみた沖積世における北海道火山の火山活動に関する研究, 地団研専報, 8, 40.
- 205) ———, 1964; 生成分類上からみた北海道の火山灰土壌の特性について, 開拓地土壌調査事業15周年記念刊行 第2巻, 14.
- 206) ———, 1968; 土壌の生成, 分類, 調査とその活用—特に火山灰土壌を中心にして—, 28, 養賢堂.

- 207) ———・近堂祐弘, 1956; 厚岸郡浜中村茶内遺跡について, 先史時代, 第3輯.
- 208) ———・———, 1959; 北海道における火山噴出物の類別, 分布に関する調査(補遺その1), 土肥誌, 29, 10, 149.
- 209) 山本 毅, 1965; 成因を異にする2種の低位生産畑土壌の特性とその生産力増強に関する研究, 土肥講演要旨集, 11, 121.
- 210) ———・箱石 正, 1963; 東北地域における畑深耕連絡試験成績書, 102.
- 211) ———・高橋達見, 1964; 改良資材による畑土壌の肥沃化に関する研究, 第2報, 改良資材の施用が土壌およびとうもろこしの養分吸収にあたえる影響, 東北農試研究速報, 4, 49.
- 212) 山下 貴・秋谷達司・松沼富三, 1966; 黒ボク土壌の化学的性質特に窒素組成に及ぼす作物栽培と施肥の影響, 土肥誌, 37, 9, 464.
- 213) 山崎 伝, 1942; 農林省指定試験富山県農試成績書.
- 214) ———, 1952; 畑作物の湿害に関する土壌化学的並びに植物学的研究, 農技研報告, B 1.
- 215) ———, 1958; 微量要素および特殊成分欠乏, 土壌肥料全編, 400.
- 216) 横井 肇・中島田誠, 1962; 畑土壌水分の動的研究(第3報), 土肥講演要旨集, 8, 1.
- 217) 吉田 稔, 1953; 土壌の吸着能に関する研究, (1), 塩基置換容量と塩基吸着強度について, 土肥誌, 23, 3, 213.
- 218) ———, 1956; ———(第2報), Caと NH_4 イオンに対する土壌の吸着強度の比較, 土肥誌, 27, 6, 241.
- 219) ———, 1957; ———(第3報), 塩基吸着基の吸着特性による分類とその分別定量, 土肥誌, 28, 5, 195.
- 220) 吉田富男・坂井 弘, 1960; 北海道における火山灰土壌の腐植形成に関する土壌微生物学的考察, 土肥誌, 31, 6, 261.
- 221) ———・———, 1963; 北海道における各種土壌の微生物学的研究(第5報), 土壌の水分環境と微生物相について, 土肥誌, 34, 5, 155.
- 222) ———・———, 1963; ———(第6報), 土壌の水分環境と有機物の分解について, 土肥誌, 34, 6, 197.
- 223) 財団法人気象協会, 1964; 北海道の気候.

STUDIES ON THE GENESIS, THE CHARACTERISTICS AND THE IMPROVEMENT OF THE PRODUCTIVITY OF THE SO-CALLED "RODO SOIL" IN HOKKAIDO

by
Matsuo MINAMI

Summary

1. The purpose of the studies

In Hokkaido, the special soils such as peat soils, volcanic ash soils, heavy clay soils and Rodo soils occupy 73 % of the total agricultural land which amounts to 3,310,000 ha.

The so-called "Rodo soil" is distributed in Hokkaido widely and the area of the soils is estimated to be about 56,000 ha. The area of this soil is small in comparison to another soils, but the area where these soils are located is typically low in productivity because of the characteristics of soils and of climate.

Rodo soils have been defined as black soils which are light, rich in humus, and possess humic layer of more than 30 cm in depth. It seems that the above definition is adequate in the view of agricultural utilization. But the standard of classification of this soil is not clear. Furthermore, systematical studies on the genesis, classification and characteristics of Rodo soils in Hokkaido have been fragmentary or not been conducted.

Therefore, the author conducted studies on the Rodo soils from the stand point of genesis, pedogenetic classification, properties such as factors affecting the soil productivity, and the improvement of agricultural productivity.

2. The geographical distribution of Rodo soils

Rodo soils are distributed in three district of Hokkaido; they are the south coast area of the Oshima peninsula, the east coast area in Hidaka District, and the coast area in Abashiri District which faces the Okhotsk Sea. Rodo soils are distributed generally in the area of old volcanic deposits with the topography of flat tableland or undulating coastal terrace. The layer of this type of soils also tends to be thicker in depressed areas where drainage is poor. It has been made clear that the distribution and the genesis of Rodo soils are closely related to the parent material and the topography.

3. The parent material and the type of deposition of Rodo soils

The parent material of Rodo soils is volcanic ash or volcanogeneous parent rocks. It is different in the distributed areas. But the type of deposition of Rodo soils region consists of four layers. That is, (1) the new volcanic ash layer which is discovered on the surface of the earth, (2) the old volcanic ash layer of the sublayer, (3) the brown loamy volcanogeneous layer formed tableland, (4) the pumice falling deposit layer.

Generally, it is certain that the so-called "Rodo soil" consist of both the surface humic

horizon with dark brown color and floury structure, and the buried humic horizon with dark black color and floury block structure. Furthermore, these horizon are the complex soils composed of some kind of weathered volcanic ash stratum.

Rodo soils distributed in Abashiri District are more compact, brownish color and have higher viscosity than those distributed in southern Hokkaido (in Hidaka District and Oshima District). The soil structure of the former is more developed than that of the latter.

4. The soil composition of Rodo soils

(1) The soil reaction (pH) of Rodo soils is from 5.6 to 6.0, and the hydrolytic acidity is very high. The chemical compositions of Rodo soils are very different depending upon the region. Rodo soils in Hidaka and Oshima Districts contain smaller amount of silica and base which can be dissolved in hot hydrochloric acid than that in Abashiri District. But the former are richer in alumina, material that dissolved in the TAMM's reagent, and higher in phosphorus absorption coefficient than the latter. The buried humic horizon shows these tendencies more remarkably than the surface humic horizon in every district.

Generally, the chemical composition of Rodo soils in Hokkaido is characterized by a value of silica-sesquioxide ratio below 1.8 and lower, and the molecule ratio of alumina to base is about 0.5 and lower when compared with other soils.

(2) The humus content of Rodo soils is as high as 20 % or above and these soils are extremely black in color. The proportion of humic acid occupied on the basis of humus is about 70 % and higher in comparison with other soils, its Ch/Cf value is above 2.0.

From humus compositions of Rodo soils which were examined by PONOMAREVA's method, it was revealed that from 60 to 70 % of humus is combined with free or movable sesquioxide. The percentage of the humus which is combined with both calcium and clay in total humus is rather low. The degree of humification of humic acid in Rodo soils is higher than that of other soils. The buried humic horizons constituted Rodo soils show clearly a higher PQ value, RF value and degree of humification of humic acid than the surface humic horizon in their respective profiles.

(3) The composition of the soil particle size is completely of granulated texture; the fine sand and silt content is about 70 % and the clay content is from 15 to 20 %.

The degree of breakdown of clay aggregates by means of ultrasonic wave treatment and the dispersion of clay parts by means of a variety of dispersing reagents are very different among the Rodo soils in various districts and also among the respective profiles. That is, the buried humic horizons have a higher proportion of stable aggregates as compared with the surface humic horizons. The clay contained in Rodo soils of Abashiri District dispersed well with ammonia after hydrochloric acid treatment. The soils of Hidaka and Oshima Districts show the highest degree of clay content dispersed by use of calgon after ultrasonic wave treatment.

(4) The solid phase of Rodo soils is from 20 to 30 %. This value is lower than that of other soils. Furthermore, the liquid phase occupies most of the pore space. However, the solid phase of Rodo soils in Abashiri District is higher when compared with that of another district. This value is almost the same as those of alluvial soils.

The volume specific weight of Rodo soils is from 0.5 to 0.7. This value is smaller than that of other soils. However, the Rodo soil in Abashiri District is higher in the volume specific weight and lower in the actual specific weight than those of another district. Generally, the volume specific weight of soil is correlated with the solid phase and the actual specific weight is correlated with the content of heavy minerals in the primary mineral of soil.

(5) The components of the primary minerals in the coarser sand of Rodo soils are remarkably different depending upon the location.

The greater part of the coarse sand contained in Rodo soils of Abashiri District is composed of volcanic glass and plagioclase, and the content of the heavy minerals is very low in comparison with that of the light minerals. In Hidaka District, the greater part of the primary minerals in the surface humic horizon constituted Rodo soils is volcanic glass. However, the primary minerals in the buried humic horizon is composed of volcanic glass, plagioclase, pyroxene, hornblende and iron minerals. The content of the heavy minerals is from 30 to 40 %. The Rodo soils in Oshima District are richer in quartz, hornblende and the heavy minerals when compared with those in other districts.

Also, the components of the primary minerals in the fine sand of Rodo soils are remarkably different depending upon the area as well as that of coarse sand. That is, the content of pyroxene in the heavy minerals is 50 % in Abashiri District, 40 % in Hidaka District and 15 % in Oshima District. On the contrary, the content of hornblende in the heavy minerals is very little in Abashiri District and 20 % in Hidaka District, but reaches about 50 % in Oshima District.

(6) The components of the clay mineral in Rodo soils is clearly different depending on the location. That is, the principal component part of the clay mineral in Abashiri District is the high crystallized kaoline mineral and almost no amorphous matter is contained. On the contrary, the Rodo soils in Hidaka and Oshima District contain a large quantity of amorphous matter. Among the crystalline clay mineral, the 14 Å minerals (probably vermiculite) are dominant, and followed by kaoline minerals and Gibbsite existing in smaller quantities.

As mentioned above, in spite of the similarity of both the formation type of deposit and the soil profile of the Rodo soil in various districts; the inorganic components, the particle size components and the mineral components in Rodo soils of Abashiri District are clearly different from these of other districts (Hidaka and Oshima District).

Both the surface humic horizon and the buried humic horizon of the Rodo soil in Abashiri District are similar in their inorganic components, particle size components and mineral components, and they are considered to have originated from the same parent materials. But judging from the soil composition, the parent material of the buried humic horizon in Hidaka and Oshima District is very similar to the loamy volcanogenous soils of the underlayer rather than the surface humic horizon. Therefore, it is probable that the buried humic horizon of the Rodo soil in both districts is the soil composed of the weathered mixture of the parent material of the loamy volcanogenous soils formed tableland and similar parent materials.

5. The genesis of Rodo soils

The parent material of Rodo soils is volcanic ash or volcanogeneous broken rock. But both the existence of Allophane that is the weathered material of volcanic ash and the natural environment, such as excessive moisture on the basis of the water holding capacity of volcanic ash and the growth condition, are concerned remarkably in the genesis of Rodo soil (especially, the accumulating phenomena of humus). On the other hand, judging from the archaeological point of view, the surface humic horizon is considered to be the volcanic ash which was deposited after 2,000 years B. P. and the buried humic horizon is the volcanic ash which was deposited from the early period of Jōmon (6,000 B. P.) to the middle period of Jōmon (4,000 B. P.), and had been subjected to humification in the mild, humid climate.

6. The productivity of Rodo soils

The reasons for the low productivity of the Rodo soil regions are given below:

- (1) The growth rate of crops at early stages is poor because of the slower rising of soil temperature in early spring.
- (2) The stunted growth and the delay in maturity at later stages of growth is due to the excessive humidity and the poor sunshine.
- (3) The physical and chemical properties of Rodo soils on the basis of the soil composition are inferior to that of other soils.

As a result, the yield of crops in the Rodo soil region is lower than that in alluvial soil regions. This is especially true in wheat and bean crop yield.

Furthermore, the manurial effect of phosphoric acid for Rodo soil was the highest, followed by nitrogen, with the effect of potassium the lowest.

7. The physical and chemical properties as factors affecting productivity of Rodo soils

- (1) The total content of nitrogen in the form of humus of Rodo soils is about from 0.7 to 1.0 % and higher in comparison with other soils. However, the nitrogen obtained by the washing incubation method, and by extracting with hot water, and the rapidity of nitrification are lower than in alluvial soil. This indicates that the nitrogen supplying power of Rodo soils is inferior to that of alluvial soils. The rate of ammoniumfication of soil nitrogen in the surface humic horizon is about twice the rate of that in the buried humic horizon.

The rising of the soil temperature is very effective in promoting the mineralization of soil nitrogen in both horizons.

The content of the acid soluble nitrogen and the amino nitrogen in the components of soil organic nitrogen of Rodo soils is higher than that of alluvial soil. However, the rate of total soil nitrogen is reversely low.

- (2) The cation exchange capacity of Rodo soils is as high as from 45 to 70 me.

However, the exchange sites are dependent upon the amount of humus and the radical of base adsorption is mainly o-charge. Moreover, the degree of base saturation is low.

Therefore, the degree of dissociation of the adsorped base is large and the bases tend to be released.

- (3) The majority of the humus in Rodo soils is combined with alumina. This is more

evident in the buried humic horizon than the surface humic horizon. With the advancement of humification, the content of iron which combines with unit weight of carbon decreases, that of calcium increases, and that of alumina is kept constant.

(4) The content of total phosphoric acid in Rodo soils is about 0.3 %. This value is not low in comparison with alluvial soil. However, the content of available phosphoric acid ($\text{TRUOG P}_2\text{O}_5$) is below 2 mg/100 g dry soil, the organic phosphoric acid occupies from 60 to 80 % of the total phosphoric acid and the phosphorus fixing powers is very high.

The majority of inorganic phosphoric acid in Rodo soils belongs to the hydrochloric acid soluble part and the organic phosphoric acid exists in the NaF soluble parts.

Furthermore, there is a very close correlation between the content of humus and the phosphorus fixing powers. This illustrates that one of major problems in the productivity of Rodo soils is phosphorus.

(5) Only a small fraction of the humus of Rodo soils dissolves in the calcium precipitating reagents such as NaF. But when iron and alumina are removed by the acid treatment, the solubility of humus with NaF increases remarkably. This tendency is more evident in the buried humic horizon than the surface humic horizon.

With successive cultivation, both the amount of humus dissolved in alkali solution and PQ value increase.

(6) The majority of fulvic acid is loosely held by the sesquioxide in Rodo soils. The content of total fulvic acid and that of each of the fraction fractionated by FORSYTH's method are higher in the buried humic horizon than in the surface humic horizon.

In uncultivated Rodo soils, the content of the FORSYTH's fraction A (water soluble compounds such as sugars and amino acids) and fraction C (colorless compounds such as polyuronide) is high. In cultivated Rodo soils, these fractions became smaller and the FORSYTH's fraction B (colored compounds such as polyphenolic glycosides or tannins) and fraction D (colored compounds such as humic acid) increased remarkably.

(7) The amount of the gravity water (from PF 0 to PF 1.5) in Rodo soils is very small and that of the capillary water (from PF 2.8 to PF 4.2) is very large. The amount of available moisture in Rodo soils as one index of the soil's water holding power is from 38 to 44 % by volume. The amount is correlated with the humus content. However, the amount of moisture which can be readily utilized by crops is only from 12 to 18 %. Furthermore, the moisture content at lower PF zone (from PF 1.8 to PF 2.8) in the available moisture is influenced by the content of the fine sand in this soil and that at higher PF zone (from PF 2.8 to PF 4.2) it is influenced by the content of humus. The amount of the whole pore space is from 70 to 80 % but the amount of the loose pore space is below 5 %. This indicates that permeability of Rodo soils is poor.

Therefore, it is helpful to adjust both the humus content and the particle size composition as a method of improving the physical properties of Rodo soil. Because, these changes bring about an increase in the rate of the pore space, the air permeability and the decrease of the water holding power.

8. Measures for improving the productivity of Rodo soil

A. The improvement of soil physical properties

(1) Deep plowing is one of the effective methods for increasing the loose pore space and improving the air permeability.

The increase of the pore space by means of deep plowing of Rodo soils is due mainly to the increase of non-capillary pore space. The independent action of deep plowing has only a small effect on the crop yields. But the deep plowing is effective when carried out in addition to combinations of phosphorus, base and manure.

(2) The mixed plowing of the horizon and the soil dressing are the effective methods for improving the water holding powers and the lightness of Rodo soils. But these effects are different depending upon the climate, the manurial conditions and the kind of crops, and are affected by the dry weather. The effect of these methods is significant when growing crops of oats and sugar beets, but is insignificant in bean crops.

As the independent effect of deep plowing, the mixed plowing of the horizon and the soil dressing is generally small, these improving measures should be used along with the method to improve the soil chemical properties at the same time.

(3) The increase in the solid ratio by pressing the soil brings about the decrease of the loose pore space and the increase of the water holding capacity. This treatment has an unfavorable effect on the productivity of crops in Rodo soils.

On the other hand, the sea sand dressing on Rodo soils causes an increase of the loose pore space and a decrease of the liquid ratio. Thus, the physical properties of Rodo soils, such as air permeability, water holding powers and lightness, are improved remarkably. In view of chemical properties, the sea sand dressing brings about a decrease of phosphorus fixing power and also an increase of both the amount of humus dissolved in NaF and that of formation of mineralized nitrogen. As a result, the growth of crops at early stages became better and the yield of crops increases remarkably.

Furthermore, it is recognized that the sea sand should be scattered well in the cultivated soil layer and not accumulated at the under layer by plowing. Thus, the durability of its effect is expected. The optimum rate of sea sand to be dressed is one to three by volume, that is about 3 m³ per are. Regarding the fertilization in the field after sea sand dressing, it is desirable to decrease a little the application of nitrogenous fertilizer in the 1st year after dressing and to increase the amount after the 3rd year.

From these observations, the author found that the sea sand dressing is the most effective method not only for the improvement of physical properties in Rodo soils, but also for the improvement of chemical properties.

B. The improvement of soil chemical properties

(1) The effect of a large application of phosphorus fertilizer to Rodo soils is remarkable. This effect is due to the increase of available phosphorus in the cultivated soil and the increased growth rate of crops. As an index of available phosphorus in soil, Al-P₂O₅ was the most suitable, followed by phosphate extracted by TRUOG's method. Judging from the relation between the level of soil phosphorus and the high yield of crops, it is necessary

to increase the content of available phosphorus in Rodo soils to more than 140 mg per 100 cc on dry soil as $\text{Al-P}_2\text{O}_5$ or to 10 mg as $\text{TRUOG-P}_2\text{O}_5$.

(2) Though the soil reaction of Rodo soils is weakly acidic and the degree of base-saturation is relatively low, the effect of neutralization by calcium carbonate is small.

However, the conversion effect of the soil reaction that is neutralized by calcium carbonate after acidifying the soil by sulphur applications is remarkable. This may be due to the fact that nitrogen and phosphorus combined with humus are changed into the available form by conversion of the soil reaction. However, it is not clear whether the effect is continuous or not.

(3) The effect of copper or iron application is positive, especially for wheat.

(4) The organic matter in Rodo soils is more difficult to decompose than that in alluvial soil. The moisture in Rodo soils is excessive for the decomposition of organic matter.

Generally, the rate of decomposition of organic matter is influenced by the C/N ratio, the content of nitrogen and the content of water of organic matter. The applications of organic matter that the C/N ratio is low or the content of nitrogen is much are positive to the increase of available nitrogen in soil and the high yield of crops. On the other hand, organic matter that the C/N ratio is high, such as the straw of wheat, consumed the inorganic nitrogen in soil directly after applied and is negative to the yield of crops. But that effect is similar to compost after next year.

Thus, it seemed that the profitable effect of organic matter application in Rodo soils is due to the supply of the nutrients but not due to the improvement of soil physical properties.

As mentioned above, in order to increase the productivity of Rodo soil, it seems that improvements in the physical properties as well as in the chemical properties are necessary. That is the physical measures such as increasing the solid space, the decreasing of the water holding capacity, the promotion of solubility of the humus, and chemical measures such as the elevation of available phosphorus and the support of base.

In any case, the joint use of both physical and chemical measures is more effective than when the two were used independently.