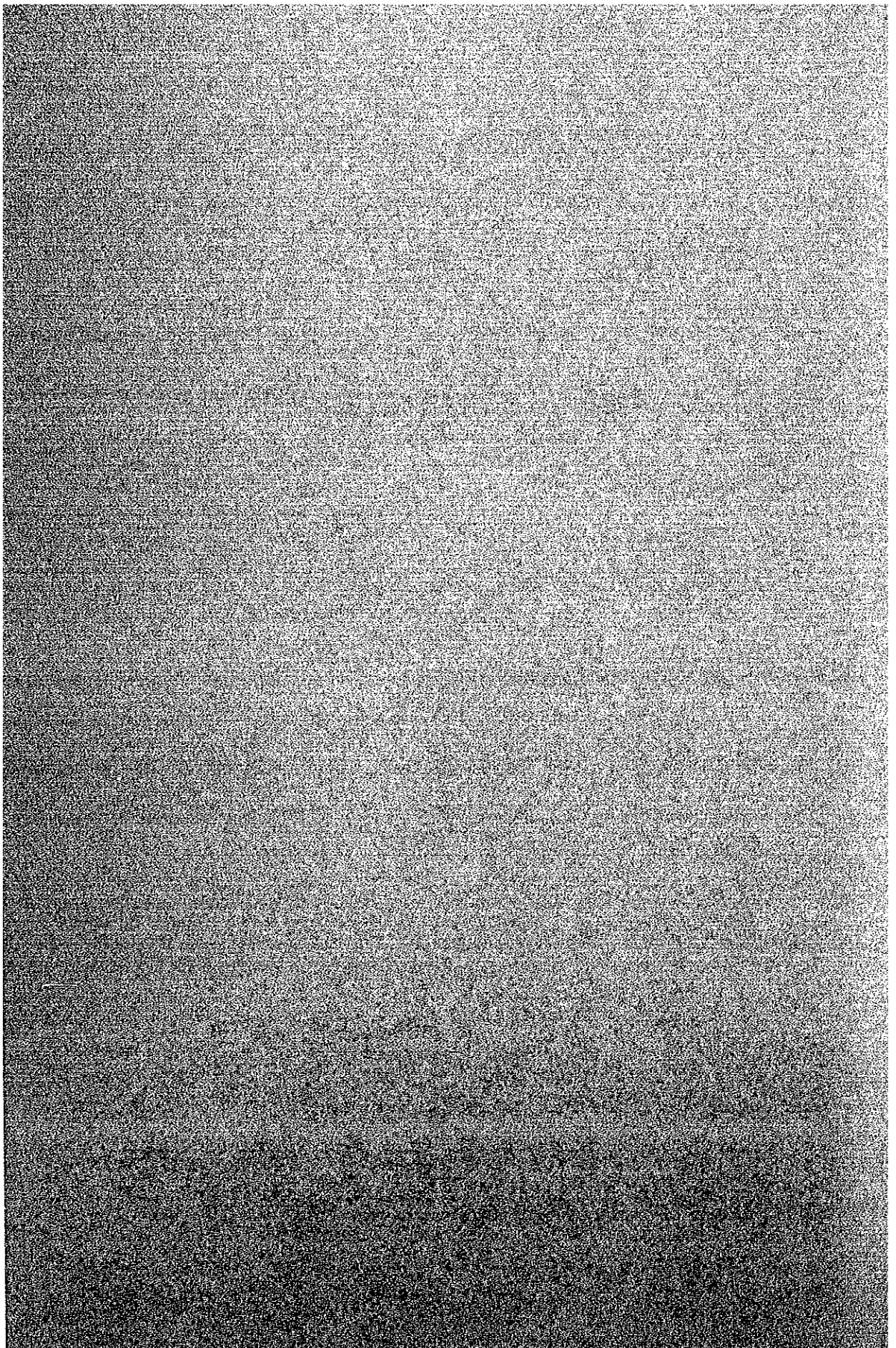


XI. 野菜類の生理障害発生原因と対策

農業技術研究所

生理遺伝科長 柳 貢 秀



1. 緒言

野菜の総栽培面積は'75年 243 千haであったが'80年には 359 千haに増大し、作物別には'75年に対比しニンニクの栽培面積は 2.7 倍、タマネギは 1.8 倍に増加し、栽培面積はトウカラシが 132 千ha、白菜と大根を合わせ 107 千haで首位を占めている。

このように韓国の主要野菜は白菜、大根、トウカラシ、ニンニク及びタマネギであり、需要が増大するに従って農家の栽培規模と栽培技術もかなり向上し、一方地域的气候条件にすって作型も細分化さわ作物別特性に合う産地を形成している。現在野菜の総団地数は 275 個に達した。

しかし耕地面積が狭い条件のため野菜はほとんどが毎年長期間連作をしておりこれはよって病虫害の増加及びよく知られていない異状症状の発生が激増しつつあり、これによる収量の減少と栽培上の難点が一層多くなっている実情である。

以上の如く野菜の重要性と栽培上の問題点が提起されているにも拘わらずこれに対する基礎研究或は現地の問題点に関する調査研究が不足く状態である。ここに御紹介するのは 78 年かう韓日共同研究事業として遂行した作物の生理障害に関する研究において数個団地の土壌特性と作物別栄養特性及び現地に発生した各種異状症状に対する原因調査結果を総合したものである。

2. 主産團地の分布現況

韓国における主要な野菜の主産団地数は表 1 の如く、白菜と大根がもっとも多くその次がニンニク、トウカラシ、タマネギの順である。団地の分布現況は図 1, 2, 3, 4 でみる如く。

表1. 作物別 主産団地分布

作物	団地数	主要団地
ニンニク	37	瑞山, 田陽, 義城, 南海, 高興
タマネギ	13	威平, 務安, 昌寧, 慶山
トウガラシ	29	利川, 陰城, 鎮川, 義城, 青松, 英陽
白菜	48	平沢, 金海, 晋陽
大根	46	光山, 金海, 晋陽
高冷地白菜	27	大関嶺, 南原, 長水, 英陽, 三陟
高冷地大根	24	大関嶺, 南原, 長水, 英陽, 三陟

ニンニクは内陸地方と西海岸と、南海岸地方に分布しているがこれらみるとき置換性加里含量が高い地帯と一致して興味がある。

実際にニンニク団地の土壌特性が加里含量の高い点からみて(表2参照)この事実は確実なようである。

トウガラシは平野地帯には分布されていなく、主に山間地帯で栽培されているが、これはトウガラシが湿害に弱い作物であるからである。

タマネギの分布は中部以南に分布し大根、白菜は主として大都市中心に分布している、その他高冷地には夏白菜栽培されている。

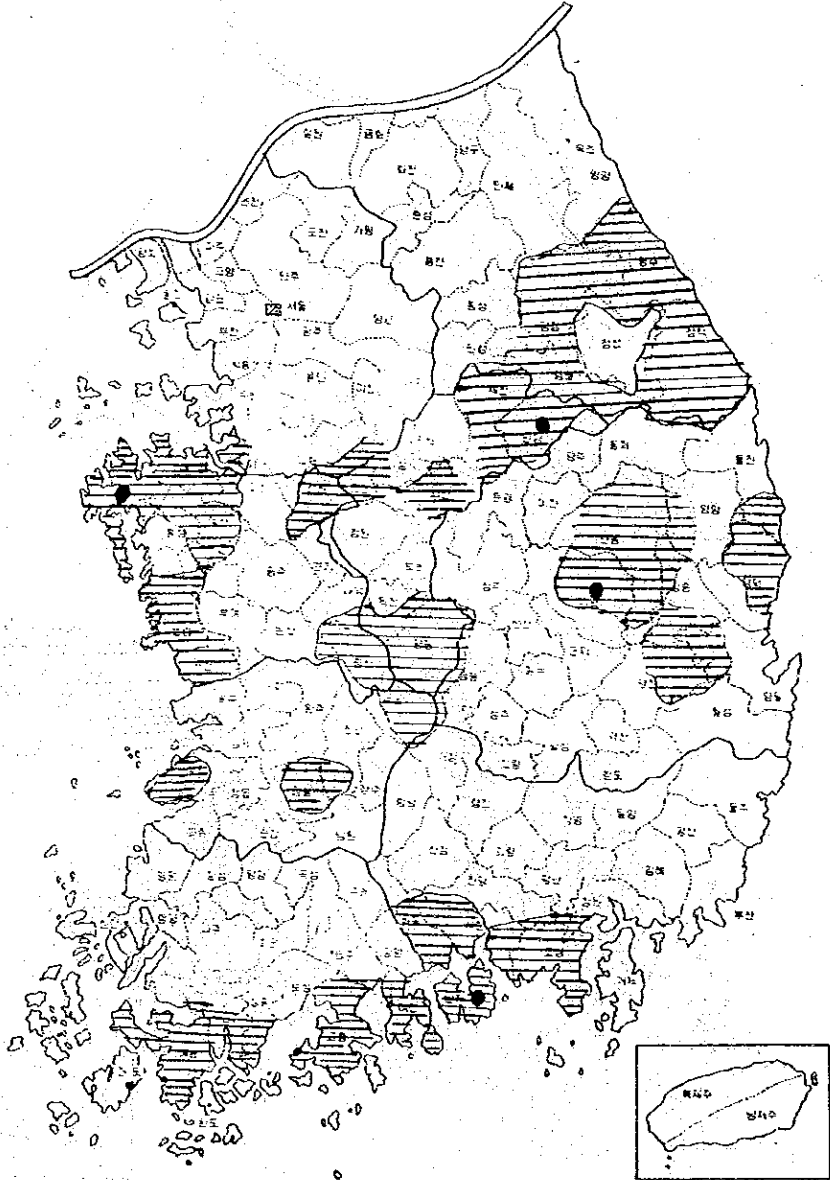


図1. ニンニクの主産団地分布

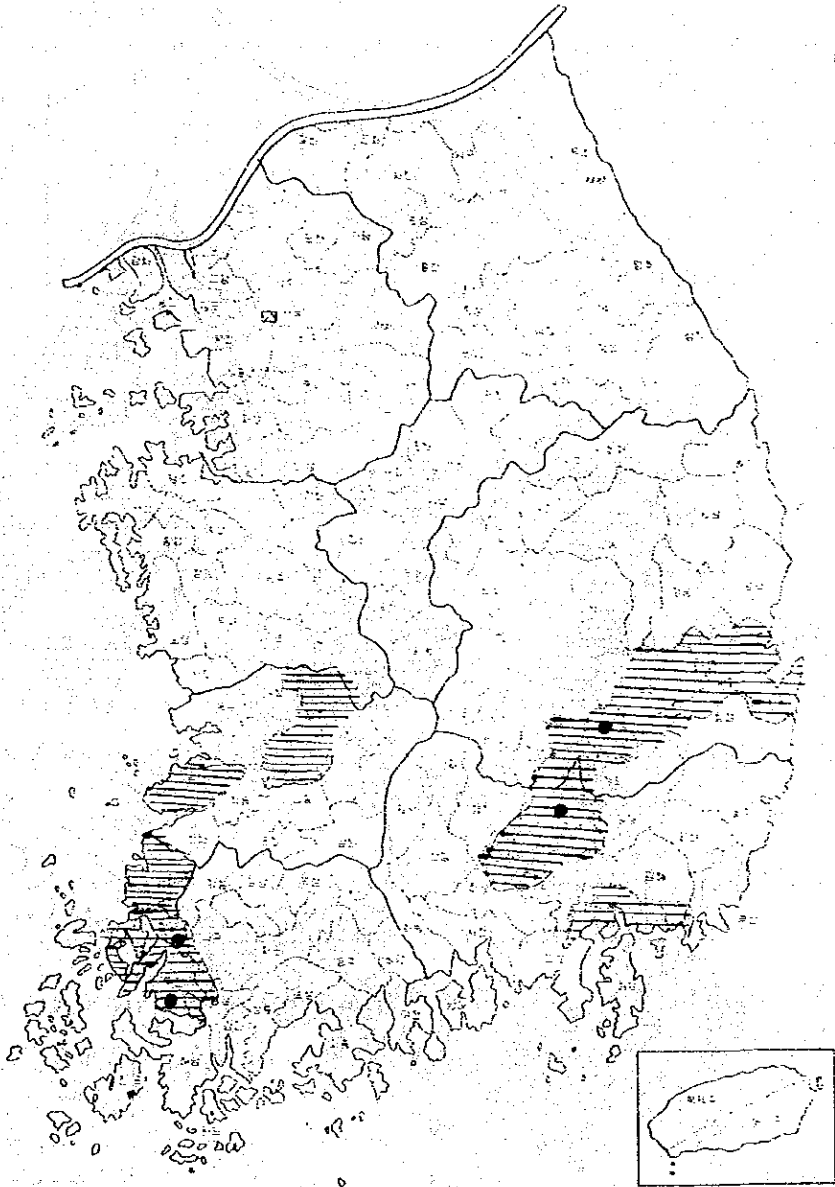


図2. タマネギの主産団地分布

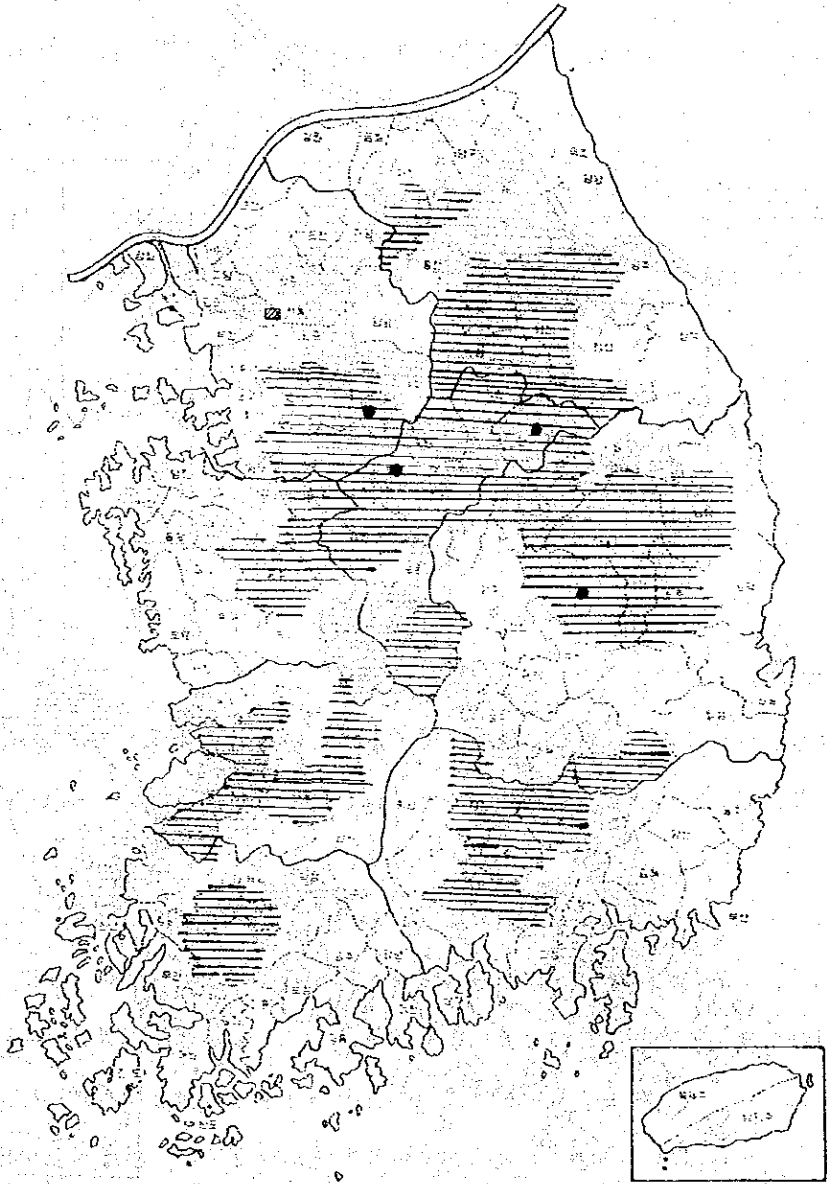


図 3. トウガラシの主産団地分布

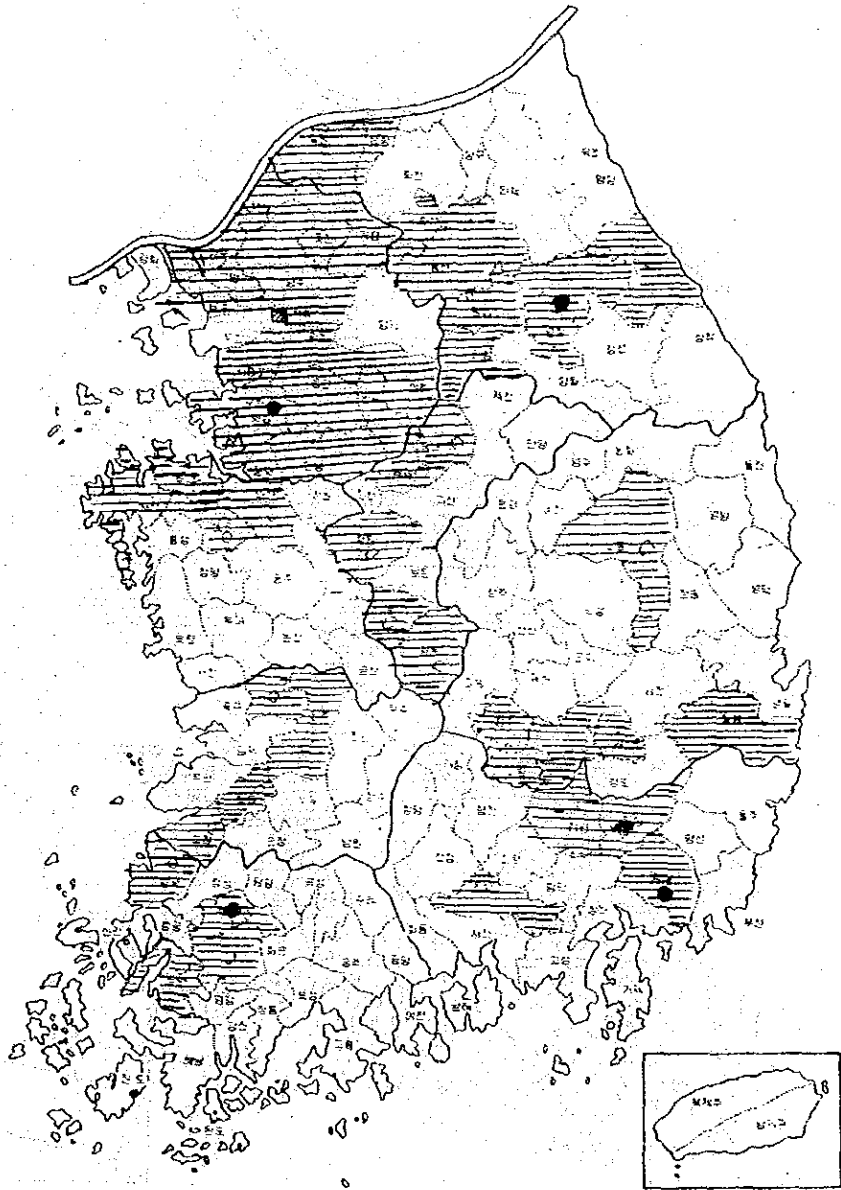


图 4. 大根 白菜主産団地分布

3. 作物別 栽培土壌の化学的特性

主要団地に対し調査した土壌の化学的特性は表2に示す通りである。

表2：園芸作物主産団地土壌の化学的特性

作 目	pH	有 機 物 (%)	有効磷酸 (ppm)	置換性塩基 (me/100g)		
				K	Ca	Mg
ニンニク	6.0	3.8	390	0.9	9.0	1.9
タマネギ	5.7	2.5	311	0.5	4.8	1.6
トウガラシ	5.8	2.0	359	1.1	5.5	1.4
白 菜	5.8	3.1	402	0.6	3.2	0.8
大 根	5.7	2.5	377	0.7	2.9	0.7
畑土壌の 全国平均値	5.7	2.0	114	0.3	4.2	1.2

まず全体的に見れば野菜主産地土壌は全国畑土壌平均値と比較したとき有効磷酸含量は約3～4倍置換性加里含量は2～3倍程高く置換性CaのMg含量はニンニク栽培土壌を除外すれば高くない。

これは3要素だけ偏重施肥してきたことと連作に依って磷酸と加里が土壌に残溜し集積した現象と思われ石灰と苦土は別に施用していない傾向であった。

作物別土壌特性を見ればニンニク主産地土壌は有機物含量が非常に高く置換性加里及びCaと同じ塩基含量が他の作物に比べてはるかに高くニンニクは一般的に肥沃地に栽培し石灰または加里の要求度が大きいものと思われの。

これに比べてタマネギ栽培土壌は置換性塩基含量が高くない。

トウガラシ主産地土壌の特性としては有機物含量は高くないが磷酸と加里含

量が高いことより一般的にトウガラシが肥沃地には栽培されていないが連作していることで特に加里の要求度が大きいものと思われる。

白菜の大根も連作しており栽培地土壌の磷酸と加里の含量は比較的高いが置換性 Ca と Mg 含量は一般畑土壌に比べてはるかに低い特性さみせ石灰肥料が施用していないものと判断される。

以上の如く野菜団地土壌から有効磷酸の含量が高いのは垂鉛の如き微量元素吸収を低下させる可能性があり、一方置換性加里含量が高いのは拮抗作用に依る石灰欠乏もしくは苦土欠乏の誘発要因になるためこの問題に対する研究に継続推進すべきである。

表 2 に示すとおり全国畑土壌の平均値をみれば K : Mg は 1 : 3 であるがニンニクとタマネギ栽培土壌を除外したトウガラシと白菜大根の栽培土壌ではこの比が大体 1 : 1 を示し主にこれら作物から苦土欠乏症状が発生するのはこれ原因する

4. 主産団地の作物別栄養的特性

表 3 は以上の 4 個団地を平均した作物別養分含量である。

葉分析部位の差による作物間の比較は困難であるがニンニクは土壌中塩基含量に比べ植物体(葉)塩基成分は低い方でありタマネギは N 含量は低いが K / N 比は高い。

トウガラシは N 含量が他の作物に比べてはるかに高い特徴をもっている。

白菜と大根では NPK 含量が共に高く特に P 含量の高いことが特徴である。

表 3 : 主産地野菜の栄養状態

成分含量 (%)	ニンニク	タマネギ	トウガラシ	ハクサイ	ダイコン
T - N	2.39	1.64	3.80	3.61	3.52
P	0.32	0.29	0.43	0.78	0.68
K	2.51	2.57	5.45	5.65	5.14
Ca	0.49	0.54	2.65	1.61	2.12
Mg	0.16	0.24	0.85	0.25	0.30

5. 生理障害の発生要因

最近野菜栽培面積の拡大と団地化によって連作の傾向がますます深化して行く実情である。

野菜類は多肥性であるが栽培期間が短くて一定量の肥料分の吸収分は吸収出来ないままに土壌に残留し、乾燥期には塩類過剰障害を来す可能性があり、一方一定成分を継続して偏重施肥した時も養分不均衡に依り各種生理障害を発生するようになり問題になっている。

施肥適量は品種、作型および土壌肥沃度により異なるが現在は園芸試験場の推薦施肥量に準じている。さして地帯別又は各要因別に施肥量の設定はなされていない。

現地で調査した例をあげると表 4 おすび表 5 の如く農家別に又は主産団地別に施肥量が異なる。

ニンニクにおいては窒素に比べ加里の施肥量が少い場合（表 4 から加里/窒

葉比が0.8以下)は加里欠乏に依り生理障害が発生し易い。

一方トウガラシでは利川地域の窒素と磷酸施肥量は義城地域の $\frac{1}{2}$ に過ぎず団地間における地域間施肥量の差が大きい。

表4：ニンニク栽培農家の施肥量

生育区分	調査圃場	成分施肥量 (kg/10a)				加里/窒素
		窒素	磷酸	加里	石灰	
生育良好	1	18	10	27	250	1.44
	2	21	16	20	500	0.95
	3	32	24	27	-	0.84
	4	32	20	28	-	0.88
	平均	26	18	26	188	0.99
葉先端枯死	1	28	12	6	300	0.21
	2	47	3	34	300	0.72
	3	31	4	5	160	0.16
	4	47	8	8	-	0.17
	平均	38	7	13	190	0.35

※ 堆肥施用量は2~6 ton/10aでおり

表5：トウガラシ主産団地の施肥量

調査団地	成分施肥量 (kg/10a)			調査圃場数
	窒素	磷酸	加里	
利川	16	11	21	7
陰城	17	18	22	4
義城	30	22	26	6

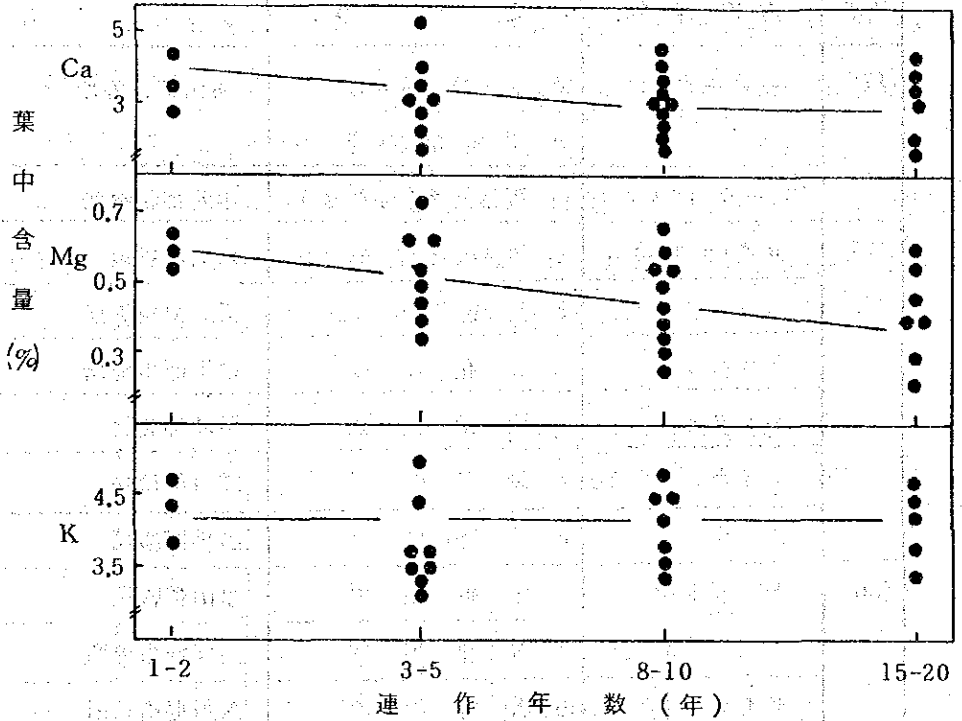


図5はトウガラシで連作年数が異なる圃場別に植物体を採取分析した結果であ
 り、連作をする程植物体の K 含量は大體一定するが Mg 含量は甚だ低下して
 Ca 含量も低下する傾向があつた。

これは明らかに連作年数が経過する程毎年残余加里が土壤に蓄積され過剰加
 里に依る Mg 吸収障害として現れる現象である。

表6に、'78年以後農家で発生され原因が明らかに生理障害である。

今までのをみると最も多い生理障害は苦土欠乏か 硼素欠乏であるが欠乏
 を生ずる原因は単純ではなく各種要因に依り発生している。

表 6 : 生理障害原因診断依頼内容

年度	対象作物	症 状	備 考
'78	ニンニク	○ 塩 類 障 害 ○ 葉 先 端 枯 死	瑞山郡指導所
	サツマイモ, トウモロコシ	○ 硼素欠乏(開墾地)	平沢郡指導所
'79	油菜(ナタホ)	○ 硼素欠乏(石灰過用)	木浦試験場
	ニンニク	○ 葉 先 端 枯 死	天原郡指導所
	トウガラシ	○ 黄 化 現 象	鎮川郡指導所
	ハクサイ	○ 硼 素 欠 乏	平昌郡農民
	ダイコン	○ 硼 素 欠 乏	鎮川郡農民
	ブトウ	○ 苦 土 欠 乏	陽平郡農民
'80	トウガラシ	○ 曲 果 現 象	論山郡農民
		○ 黄 化 現 象	問慶郡指導所
	ダイコン	○ 根 腐 現 象	溟州郡指導所
	ハクサイ	○ 苦 土 欠 乏	寧越郡農民
	ブトウ	○ 葉 週 辺 枯 死	天原郡農民
	イチゴ	○ 硼 素 過 剰	潭陽郡農民
'81	カボチギ	○ 下 葉 脈 枯 死	華城郡農民
	ブトウ	○ 果 皮 黒 変	牙山郡農民
	ウリ, スイカ	○ 莖硬化異 異状生育	大徳, 扶余郡農民
	トマト	○ 果実へそくさり症状	安城郡指導所
		○ 果 実 黒 変	安城郡指導所
Celery	○ 生 長 点 葉 枯 死	平昌郡指導所	

6. 生理障害の発生原因と対策

1) ニンニクの葉先端枯死

この現象は我が国で多くみられる生理障害の一つで鱗莖肥大開始期の4月末から5月初に葉先端の黄化から始まるものでひどい場合には基部に進展しながら葉全体が枯死する症状にあらわれる。

この症状の程度別に葉身を分析した結果は図6と同じくこの症状がひどい程葉身中のK含量が低くなる傾向が明らかになり一方K/N比もまた同じ傾向をみせ、加里欠乏に依る生理障害であると判断された。

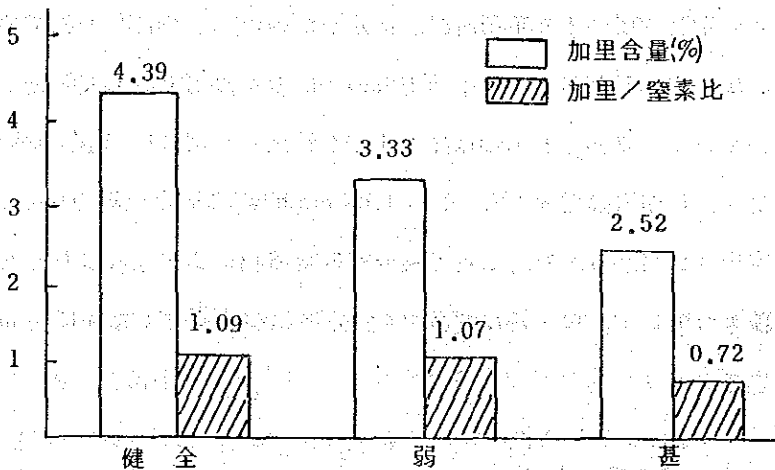


図6. ニンニク葉先端枯死程度別 葉中加里含量と加里/窒素比

一方この症状は Couto が加里を欠除しあらわれた症状と類似するばかりでなく Zink が示した ニンニクの時期別 吸収様相からみて葉先端枯死 発生時期が鱗片肥大初期にあたり加里の要求度が最も多い時期にあらわれる症状である点から見れば 加里欠乏の生理障害であることが明らかではあるがさらに検討の余地がある。

葉先端枯死の発生要因をみれば前の(表4)指摘した如く窒素に対する加里施肥量が少ない場合とひどい早魃とニンニク(水田)の湿害条件から惹起する加里の吸収障害にすり発生するものと思われる。

したがって葉先端枯死の防止のためには瘠薄の土壌では窒素施肥量に相応し加里を充分量施用することでありニンニク(畑)は加里吸収を促進するため mulching 或は灌水またニンニク(水田)は排水措置が必要である。

2) ニンニクの塩類障害

被害症状はニンニクの生育が不良であり葉身のうすい皮膜でこまれて展開が出来ずまがっつていすり葉稍内部がなみかたの畸現象をあらわれすのである。

この症状は'78年早魃の時瑞山望地内の一部農家畑地で始めて発見された。塩類障害であると推測されるのは発生土壌が健全な土壌に比べ pH と水分含量は差がながったが塩類濃度(E.C)が 1.01 mmhos で健全土壌の 0.47mmhos より顕著に高いばかりでなくこれく養分が健全植物に比べ葉身よりも葉鞘に多量が蓄積されていて、障害株は葉身での養分移動がすくなく葉鞘に分布が多い点等である。

表7：ニンニクの塩類障害

(忠南道瑞山郡 '78)

区 分	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO		土壌の E. C m mhos
	葉稍	葉身	葉稍	葉身	葉稍	葉身	葉稍	葉身	葉稍	葉身	
健全株(A)	2.60	3.32	0.71	0.65	0.98	1.31	0.51	0.55	0.10	0.14	0.47
障害株(B)	4.21	3.96	0.97	0.84	1.94	1.69	0.81	0.69	0.12	0.18	1.01
B/A 率	162	119	137	129	202	129	159	105	116	128	

ニンニクに対しては明らかに証明されたことはないが塩類に対する抵抗性が一番弱い作物はタマネギ、大豆、チンヤ、イチゴであり、タマネギは E.C が 0.5 mmhos 以上の時障害が現れると言う報告によっても塩類障害と思われる。

土壤中の塩類集積は肥料を多量施用した時土壌水が下から上に移動し下層の Ca, Mg 等が耕土に集積し硝酸が Ca 及び K と結合して CaNO_3 或は KNO_3 形態に濃度が増加するに従って起る。

この防止対策には深耕、有機物施用もしくは被覆に依る方法と施肥量を一回に沢山施用せず分施する方法を講究すべきである。

一方事後対策として塩類が表面に沢山集積しているから畦畔上層を溝にけずおらし藁を被覆するとか灌水を十分にし土壌養分を流失させるような方法を考えることが出来る。

3) トウガラシの葉の葉脈間黄化現象

この症状は 1979 年 8 月陰城、鎮川、安東のトウガラシ団地で広く発生したが主に下葉で葉脈の間が黄色になって上位葉に進展した。葉の分析結果に依ると一次的に黄化症状が甚しい程葉中 Mg 含量が低い傾向であるが図 7 の如く症状程度は Mg/K 比ともっとはっきりした相関を見せている。従ってこの症状は土壤中陽イオン間の拮抗作用に依り現れるようになるのは土壤中加里含量が高いか又は加里の施肥量が過多である時植物体の Mg 吸収が阻害を受けて起る現象であると推察される。

図 8 によると土壤中の加里含量が高い程トウガラシの葉中の Mg 含量が低くなる関係を明らかにみる事ができて葉の黄化現象の対策としては含苦土肥料（硫酸苦土、含苦土石灰および熔成燐肥）を施用するか連作に依り土壤中の加里含量が高い所では加里追肥を減量する措置が必要である。特に連作地では

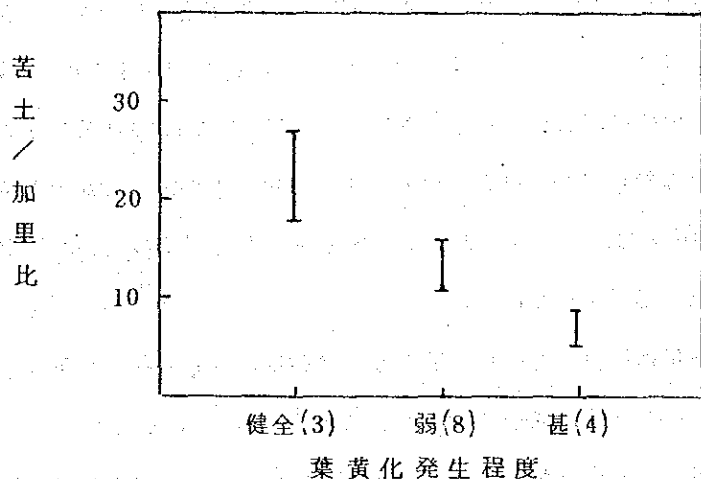


図7. トウガラシ葉黄化程度と葉中苦土/加里比の関係
() : 試料点数

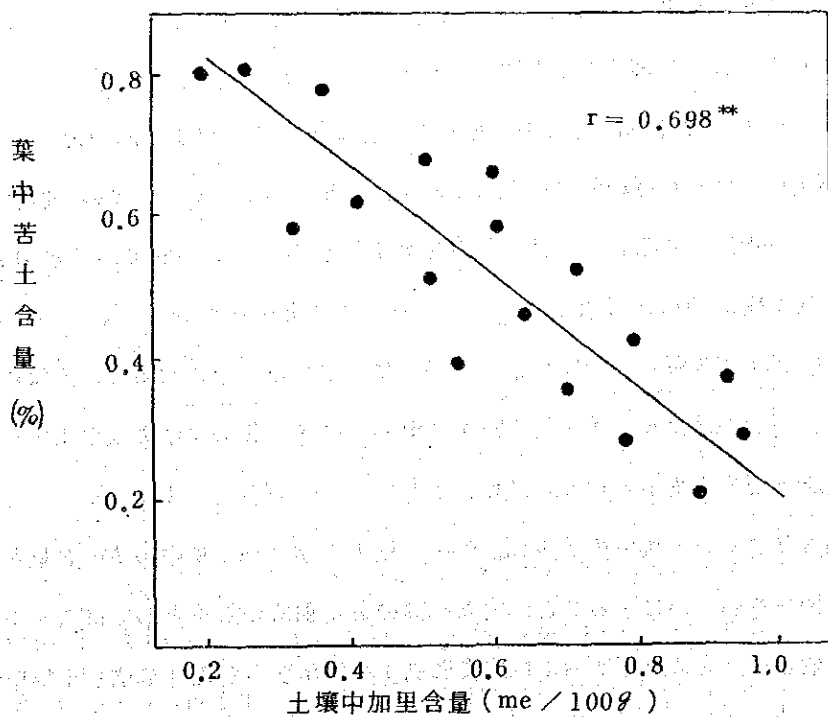


図8. 土壤中加里含量とトウガラシ葉中苦土含量との関係

MgおよびCaの施用が絶対に必要であるが前の図5で見る如く連作年数が経過する程トウガラシ葉中のMgとCaの含量が減少する傾向が著じるしかつた。

4) トウガラシ幼葉の黄化症状

この症状は1980年7月石灰岩地帯である円陽のトウガラシ栽培地で発生したが主に上位幼葉に限って発生する点が異なる。葉分析結果から見れば表8の如く障害株は健全株に比べて葉中Ca含量が高い反面Mn含量は200ppm(一般土壌:820~3,300ppm)で甚だ低く現れ、一般的にMn欠乏は石灰を多量に施用するかフルカリ土壌で発生して石灰過多に依るMn欠乏症であると推察される。

表8: トウガラシの葉黄化発生と土壌及び植物体特性

区 分	植 物 体		土 壌	
	Ca (%)	Mn(ppm)	pH	Ca (me/100g)
健 全 株	0.74~3.20	820~3,368	5.5	2.8
発 生 株	3.68~5.06	131~192	7.1	12.9

図9で見る如く土壌中Ca含量が高くなる時トウガラシ葉中のMn含量がいちじるしく低下するがこの現象は置換性Ca含量が大体10me/100g以上になるとMn欠乏症状が現れる可能性があるものと考えられる。

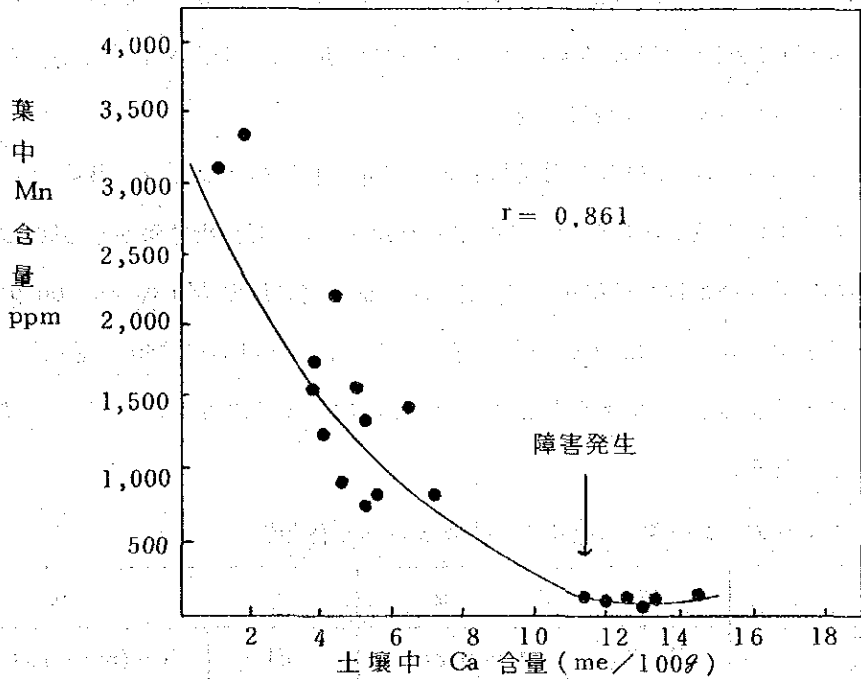


図9. 土壤中 Ca 含量とトウガラシ葉中 Mn 含量の関係

5) 白菜の Tipburn 現象

この症状は白菜の春栽培や夏栽培の時にハウス内や露地で主に結球期に結球葉の先端が褐変し甚くなると白菜の心葉が空になりちょうどコツプのようになる。この原因を究明するために安養施設栽培地でしの81年8月に採取した白菜(品種:月下ハクサイ)の葉位別分析結果(表9)でみる如く障害株は健全株に比べて線窒素(T-N)含量が高い反面中位葉および内葉のCa含量は甚だ低かった。この結果はHoriの石灰反応試験結果と一致するばかりでなくThibodeauに依れば $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ と CaCl_2 をチンヤに葉面施肥してTipburn発生を抑制したという結果からみる時この症状の原因はCa欠乏が

确实であると思われる。

表9：白菜の Tipburn 発生と葉位別無機成分含量

	部 位	T-N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
健 全 株	外 葉	2.33	0.59	5.71	5.89	0.36
	中位葉	2.94	0.85	4.28	2.65	0.23
	内 葉	2.11	0.97	5.13	1.23	0.22
症 状 発 生 株	外 葉	2.90	0.70	4.23	5.01	0.34
	中位葉	2.90	1.01	4.18	0.96	0.19
	内 葉	3.15	1.07	3.55	0.27	0.19

※ 安養施設栽培において '80, 8月調査

この症状は土壤水分が不足状態になる早薹の場合にも発生易いが表10でみ如く白葉の灌水試験でも発生した例がある。この結果からみると白菜の適正水分含量が0.5 bar以下になった1.0 barで Tipburn 現象が甚しく発生したがこの時の白菜の葉のCa含量が外葉に集積されていて、内葉に移動ができず含量が極めて低くなったのを見ることが出来る。

表10：土壤の水分処理条件と白菜葉位別 Ca 含量及び Tipburn 発生

葉 位		水 分 条 件 (bar)			Tipburn 発生程度
		0.2	0.5	1.0	
外 葉	Ca 含量 (%)	3.86	3.10	5.84	1.0 bar 条件でひどく発生
中 葉		1.18	1.09	1.95	
内 葉		0.74	0.56	0.40	

秋栽培ではこの現象があまり発生しないのは気温が下降する為であり、春ハクサイ・夏ハクサイでは生育が進展するに従って気温が高くなり生育速度が早くなるがこの時水分不足条件になると外葉で内葉に Ca 移動が抑制される為であると考えられる。

この対策としてハウス栽培時にはあまり高温にならぬようにしてたびたび灌水を行い、圃場条件では灌水と被覆で土壤の乾燥を防止する。

6) 大根の根部黒変現象

この症状はダイコンの播種後 50 日前後して根の基部の木部が黒変して根の上部に進展する現象で既に知られている 硼素欠乏症状である。

しかしこの症状が最近韓国で多く発生しており又品種の特性として現れる傾向があつて注目される生理障害と言える。この現象は冷害年である 1980 年 7 月 江原道溟州郡一帯で発生し問題になつたことがあるがこの時の結果から見るとこの現象は気温の影響で低温に依り硼素吸収量が落ちて発生したものである。一方大根の品種間に被害程度の差があつて研究の対象になつている。

図 10 の 1981 年試験で黒変率の品種間の差ははっきりしていて特に興味あるのはある品種 (図 10 で R. J 品種) は硼素無施用では黒変率が多く現れるが硼素施用で発生が殆どないものがある。またこれに反して、ある品種 (図 10 で B 品種) は無施用の時には少く発生するが硼素施用の時にも現れるのがあつて前者のダイコン品種は硼素に対する反応が甚だ鋭敏な品種で後者は硼素に弱い品種であると判断された。

硼素の欠乏は低温と早乾条件そして、石灰過多施用の場合は砂質土で多く発生する。そこで対策としては硼素だけを施用する以上の発生条件を考慮した事前対策が必要である。

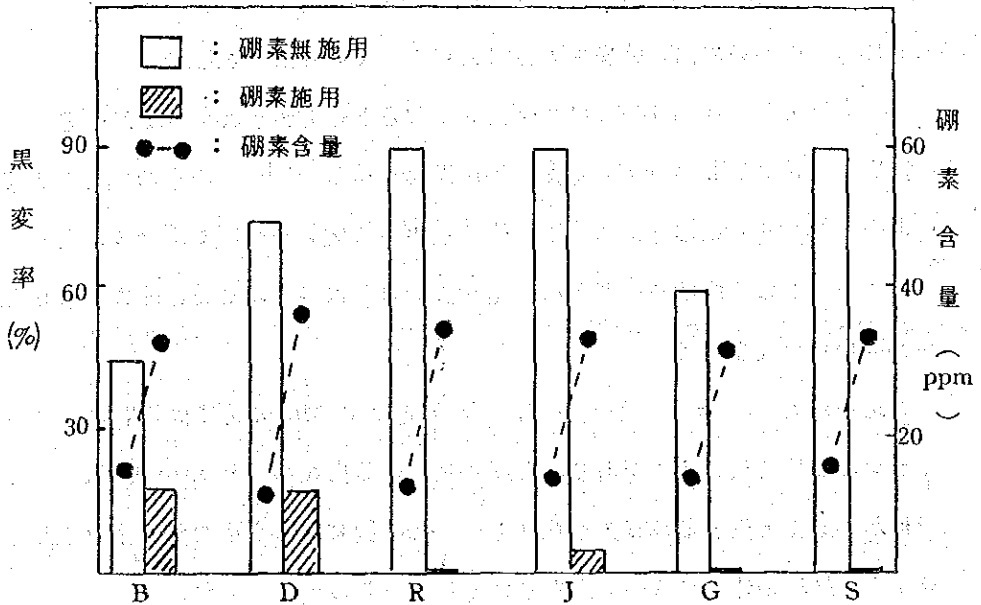


図 10. 硼素 施用に対する大根の品種別 硼素反応

7. 結 論

野菜類は今日栽培面積上からも農家所得面で重要な作目として登場するようになった。

しかし野菜の栽培は団地を形成しながら同じ地域で連作をしていてこれによって栽培地土壌の化学的特性は変化し磷酸、加里成分は一般畑土壌に比べ 2~4 倍程高くなり各種病害虫と新しい生理障害の発生が増加しつつある。

一方野菜に対する基本施肥量そして連作地帯における施肥量と施肥方法等が金く確立されしいない実情である。

最近発生している生理障害は Mg と硼素の欠乏に因るものが多く生理障害を誘発させる要因としては、連作施肥の不合理、三要素の偏重施肥に基因してい

る一部石灰の過多施用，乾燥または湿害によって生ずることもある。

ニンニクの葉先端枯死現象は加里欠乏によるものと知られているが加里欠乏を誘発させる要因は簡単でなく加里の施肥量が少ない場合，窒素の施肥量が多い場合，旱魃または湿害に依り根に依る加里吸収阻害を受ける場合等がある。

トウガラシの葉脈間黄化現象は加里の施肥量が過多の時または連作で土壌加里が高い場合発生する。

この他にも ニンニクの塩類障害，石灰岩地帯で Mn 欠乏に依り生ずるトウガラシの幼葉黄化症状等があり，石灰不足に依る白菜の Tipburn 現象と白菜，大根からまく発生する硼素欠乏症状も一つの要因に依るものでなく土壌と気象条件或は品種の特性に依つて左右されることが明らかになった。

今後，連作が継続される場合は病虫害と共に各種生理障害はますます大きな問題点として提起されるであらう。

したがって野菜団地に対する広範囲な土壌特性と生理障害に関する調査研究，ならびに土壌特性格別施肥基準の設定そして連作地における施肥管理対策に関する研究は物論，基礎的には野菜作物の養分吸収及び無機養分の生理作用と効率的灌漑方法等に関する研究も併行推進すべきである。

8. 引用文献

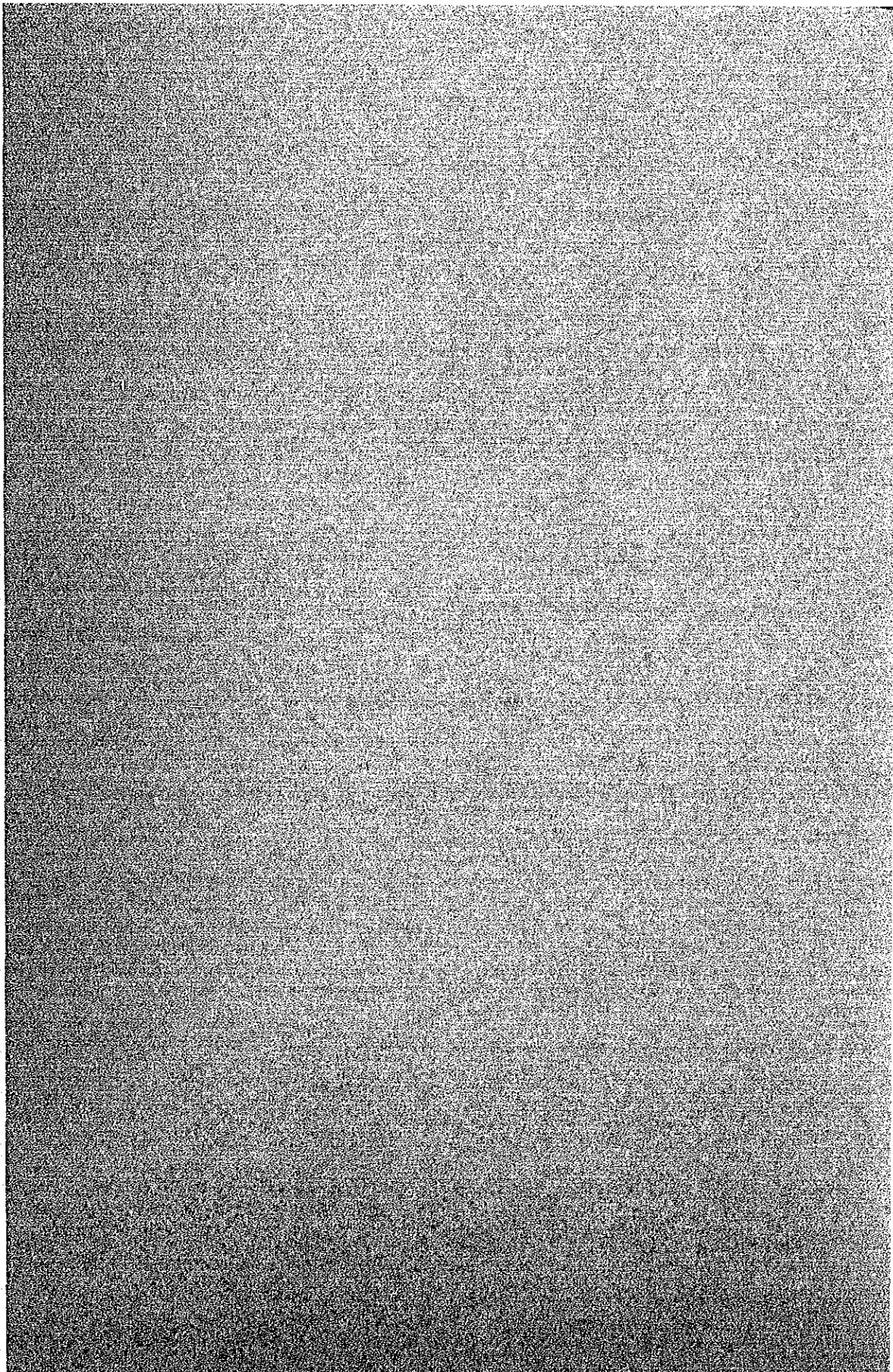
1. Cauto, Flauo A. D'A. Symptoms of mineral deficiency in garlic, 1956. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 68, 358-365.
2. Chapman, H.D, Diagnostic criteria for plants and soils, 1966. Univ. of Calif.
3. Corgan, J. N. and D.J. Cotler, The effects of several chemical treat-

- ents on tipburn of head lettuce, 1971. Hort. Sci. Vol. 6(1). 19-20.
4. Hori Y., K. Yamasaki, T. Kamihama and M. Aoki, Calcium nutrition of vegetable crops II : Calcium deficiency symptoms of Chinese cabbage and the effect of the composition and salt concentration of culture solution on its occurrence, 1960 Jour. Japan. Soc. Hort. Sci. Vol. 29 (3), 1-12.
 5. 松実成忠, 連作障害—いわゆる "いゆ地" 問題について—, 1969, 農及園第 44(2), 309-312.
 6. Mengel K. and E. A. Kirkby, Principles of plant nutrition. 1978.
 7. 難波宏大, えんどうの生育障害対策, 1973, 野菜畑作技術事典 194-195.
 8. 農業技術研究所, ダイコンにおける B 欠乏症の品種間差異, 専門別 総括検討会議資料, 1979, 483-484.
 9. 農業技術研究所, 主要園芸作物에 對한 養分吸収量調査, 1974. 農技研報告書.
 10. 農林水産技術会議事務局, 連作障害要因に関する研究(研究成果 98), 1977.
 11. 박상근, 배추軟腐病과 石灰營養에 關한 研究, 1969, 農事試驗研究報告, Vol. 12(2).
 12. Proceeding of the first international symposium, Chinese Cabbage, 1981, 226.
 13. 高井康雄, 熊沢喜久雄, 植物營養土壤肥料大事典, 養賢堂, 745, 1976.
 14. Thibodeau P. O. and P. L. Minotti, The influence of Calcium on development of lettuce tipburn, 1969. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94 (4). 372-376.
 15. Zink. F. W., Rate of Growth and nutrient absorption of lata garlic. Amer. Soc. Hort. Sci., 1963, Vol. 83, 579-584.

XII. 水田土壤の物理性改善に関する研究

農 業 技 術 研 究 所

農業研究官 任 正 男



1. 諸 言

我が国の農耕地は全国土の22%に相当する220万haであり、この中127万haが水田に利用されている。ここで米の自給水準である4,000万石を生産する為にはあらゆる水田かうha当り平均5%以上の多収穫をなしとげなければならない計算になる。しかし我が国の水田土壌は土壌特性が不良で地力が低い為単に標準肥培管理に頼るだけではこのような

高い収量を生産することは不可能である。従つて地力増進は米の自給達成のために第1の先決的な課題であり、ここに国家的な関心が傾注されている。

水田土壌は理化学的特性或は形態的な特性に依り6種の類型に区分され表1で水田類型別の面積分布を見ると低位生産水田が67%以上を占めている。土壌物理的の面から水田類型別の低収要因を調べた結果次の如く要約できる。

表1：水田類型別分布面積および物理的特性

	普通田	未熟田 (重粘土)	砂質田	湿 田	其 他	計
面 積 (千ha)	412.9	296.6	409.9	113.9	35.0	1,268.3
分 布 比 (%)	32.6	23.4	32.3	9.0	2.7	100
粘 土 含 量 (%)	18~35	>35	<18	<18		
排 水 等 級	若干不良	若干不良	-	不 良		
硬 度 (mm)	18~22	22~25	<15	<15		
透 水 速 度 (mm/日)	1.5~5.0	<2.0	5.0~50.0	<2.0		

普通田は土性が壤質~埴壤質であり、排水が若干不良で有効土深が100cm

以上で地力が一番高い土壌であるが、作土深が浅く深土の硬度と仮比重が大きく透水速度が遅い点が不良要因であると思われる。未熟田は水田化年数が短い重粘質土壌が大部分であつて深土は粘土と微砂含量が多く圧密して孔隙率が小さく硬度がいちじるしく大きく透水性が不良である。砂質田は透水性と硬度は問題視されないが粘土含量が少い為に保肥能が小さく透水速度が過度に大きく養分溶脱が甚しいことが不良要因として指摘される。湿田は地下水位が高く透水が悪く排水が極端に不良な土壌の為異常還元による被害が問題視される水田である。その他は塩害田と特異酸性田でありその分布面積はそれ程多くはない。

このように水田類型により収量を制限する物理的要因は各々異なるので要因別に適正範囲を究明しこれに好適な改善対策に関する集中的研究が必要である。

我が国に於て水田土壌の物理性研究はその歴史が非常に浅い勿論1960年代以前にも断片的な試験研究が実施されたが1970年代から水田土壌の物理性と水稻生育との相関研究が本格的に始められた。1975年には韓日農業共同研究事業の一環として水田土壌の物理性改善研究が実施されこの分野の技術交流ならびに機資材の補強を期しその間役立つ多くの研究成果を獲得した。本年、韓日農業共同研究事業の現Projectが経る段階になったことを契機に今まで蓄積した研究成果を総合検討し水田土壌の地力増進資料として活用すると共に過去の不十分な点とまた今後の研究方向について重点のおきところを明らかにしたい。

2. 水田土壌の物理性と水稻収量との関係

水田において水稻生育と関係が深い物理的要因としては土性・透水性・

硬度・作土深・仮比重・粒団構造・土壤温度等をあげることが出来る。これら物理性は直接あるいは間接的に水稻生育に影響を及ぼすので収量を支配する要因になっている。

今迄我が国の水田土壤に対する物理的特性の現況とか物理的要因別に水稻収量との関係を総合的に報告したことはなく、水田土壤の物理性改善に対し目標を立てるのに多くの困難があつた。

従つて pot または圃場試験から得られた成績を土台に水田土壤物理性の適正範囲を設定し、農耕地に対する精密土壤調査結果に依り物理性要因別に適正及び不適土壤の面積分布比を推定してみよう。

(1) 土性

水稻は湛水状態で生育し長期間持続的に養分吸収が必要であるので透水速度がおそく保肥能が大きい埴質土壤が地力のよいものであると知られて来た。しかし農業が発展するに従つて水利が完全で合理的施肥を行えば壤土・砂壤土においても多収穫は可能なものとみられる。

図1は全国にわたる施肥水準試験圃60個所で無肥区と最適施肥区の水稲収量を作土層の粘土含量の函数で表わしたものである。

無肥区では粘土含量が増加する程収量がほとんど直線的に増加するが最適施肥区では粘土含量が25%の時最高収量をあげ18%以下或は35%以上になれば収量がかなり減少する傾向があつた。

本試験結果を基準すれば粘土含量の適正水準は18~35%で18%以下は過少35%以上は過多に区分することが出来る。

精密土壤調査で得られた土性別分布面積をこの基準と対照して見れば粘土含量が適正水準に該当する水田は大体47%で大部分の普通田がこれに属する。

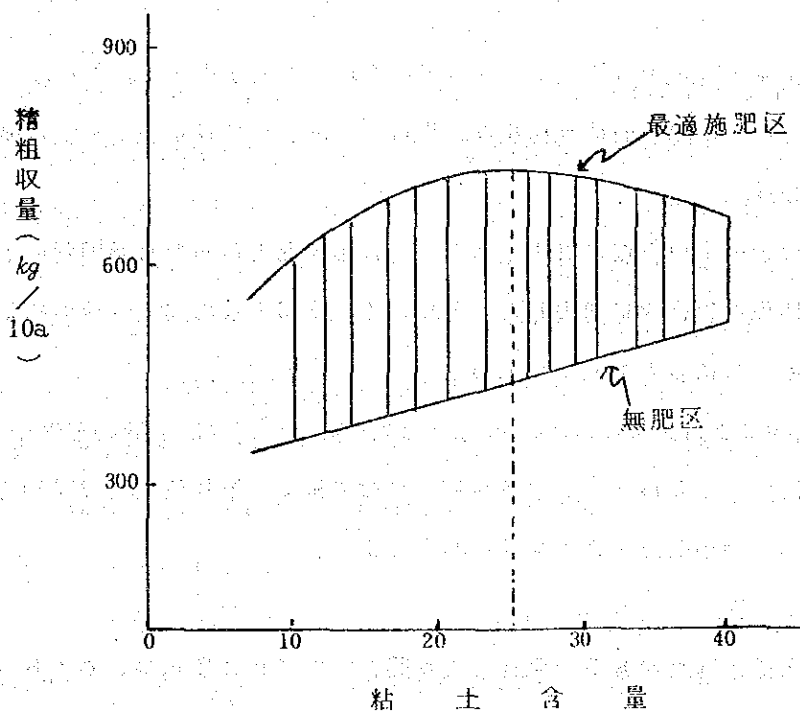


図1：作土層の粘土含量と収量との関係

また粘土含量が低い状態で見られる水田は約44%で砂質水田或は砂質湿田がこれに属し粘土含量があまりにも高い重粘質田は大部分が未熟田と普通田の一部で面積分布は9%程度の少いものであつた。

従つて、粘土含量面からみれば全国の水田の53%程度は低位生産地の範囲に属するものと見られる。

(2) 有効土深及び作土深

作物は土壤から生育に必要な養分を吸収するため植物根が物理的な制約を受けず伸長可能な深さすなわち有効土深が深いほど生育期間中多種の養分を制限なく吸収することが出来る。

一般的に植物根が伸長可能な深さは大体地上部の高さと同程度であると知ら

れている。

人為的に有効上層の深さを異にした pot で有効土深と水稲収量との関係を調査した結果は図 2 の通りである。

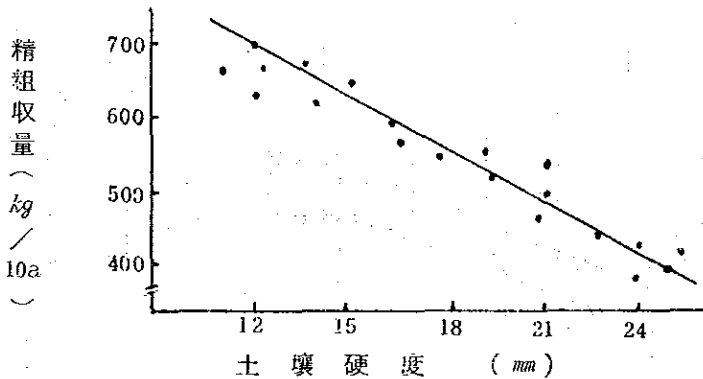


図 2 : 有効土深と収量との関係

有効土深が 100 cm から 60 cm までは収量減少は別になかったが 40 cm になれば収量の減少幅が非常に大きい。従つて水田の有効土深は少なくとも 60 cm 以上の条件で正常的な収量性を期待することが出来ると言えよう。

有効土深別水田の面積分布比をみれば有効土深が 20 ~ 30 cm の砂礫質水田が約 4 % 程度であり、40 ~ 60 cm 範囲に属する土壌が約 19 % 程度で湿田と砂質水田の相当部分がこれに属すると言える。従つて有効土深が非常に浅い関係上生産力に制限を受ける土壌は約 23 % 程度でそう多くなく普通田と未熟田等は有効土深が充分であるとみられる。

しかし有効土深が充分な深さを保持しても作物根の 90 % 程度は作土層に存在するので、もしも作土層の深さが不充分であれば作物生育はこれにより沮害

を受けやすい。特に我が国の土壌耕耘は昔から畜力に頼つて来たので作土深の制限に依る沮害が大きくあらわれることが見受けられる。

pot試験から明らかにされた作土深と収量との関係をみれば土性に関係なく作土深 30 cm 迄は作土深が大きい程収量はほとんど直線的に増加している。

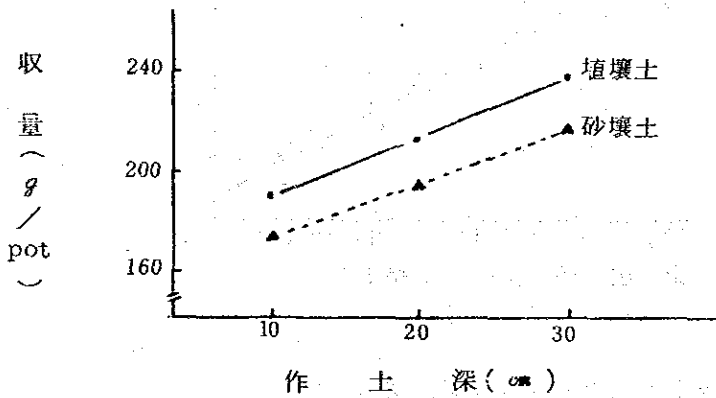


図 3：作土深と収量との関係

耕耘方法別に耕耘の深さは畜力が 10 cm 以下動力耕耘機が 15 cm 程度トラクタ 20 ~ 25 cm で 30 cm 以上深耕するためには深土破碎とか Trenching の如き深土改良技術が導入されなければならない。

(3) 深土の硬度

作土層は有機物含量が多く毎年耕耘するため土壌がやわらかいが土層が深くなるに従つて仮比重と硬度は高くなる。特に作土層の直下にあるすきとこ床は板状構造が発達し不透水層を形成し硬度は非常に高い。このような土層は根系発達を制限するため根を作土層にのみ集中分布させ深土にある養

分利用と有害物質の除去を妨害するので作物生育に悪い影響を与える。

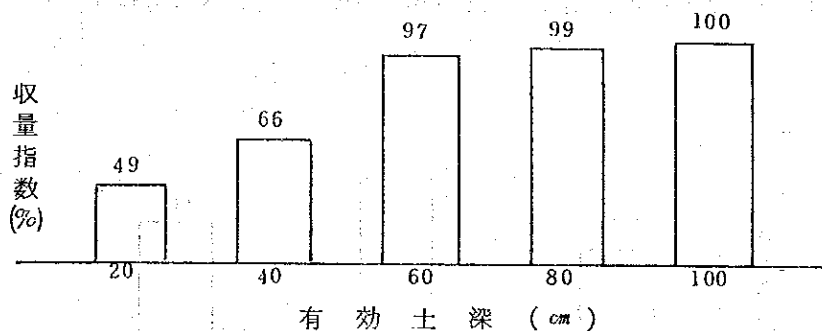


図4：深土の硬度と収量との関係

図4は深土改良処理をした退化塩土で硬度と収量との関係を調査した結果である。20～40 cm土層の硬度が大きくなるにしたがって水稻収量は直線的に減少する傾向をあらわしている。深土の硬度が18 mm以上になれば相当の収量下を招くことがわかる。

水田で土壌類型別に硬度をみれば砂質田は粘土含量が少いためかなり圧縮しても高い硬度をみせず湿田は常に湛水状態のため硬度は18 mm以上にはならない、しかし粘土と微砂が多い土壌は土壌生成作用或は耕耘作業に依り一度圧縮を受けると土層が堅固になり高い硬度をもつようになる。

したがって深土の硬度は普通田或は重粘質田特に微砂質系の退化塩土で問題になる。

(4) 排水等級

水田土壌で排水程度は土壌の酸化還元物質の変化・根の活力に関与し作物収量を決定する要因になる。排水等級別に水稲収量を比較した試験結果をみれば排水が若干不良(Imperfectly)の場合に収量をもっとも高く排水不良(Poorly)は10%程度、若干良好(moderately well)は6%程度の収量が低下する。

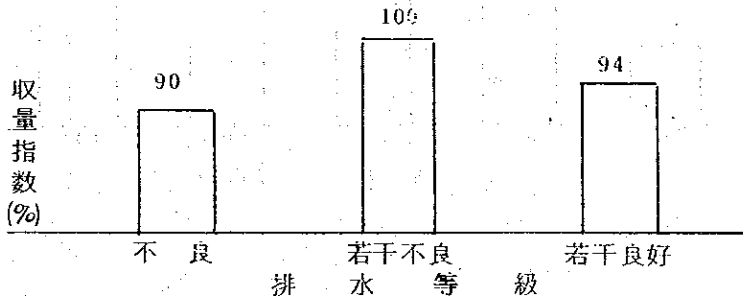


図5：排水等級と収量との関係

排水が過度に不良であり問題になる土壌としては湿田などであり全体水田の13%程度を占め、排水が良好で問題になる土壌としては未熟田がこれに属し水田面積の38%を占めている。

(5) 透水速度

水田に湛水した水が全く移動しない場合は還元がいちじるしくおこり有害物質が作土層から除外されず集積するので種々の悪影響を及ぼすことが多く逆に透水速度があまり大きくても、地温上昇を抑制し養分流失がちじるしく肥切現象をおこすことが多い。

大型 pot で植壤土を使い透水速度と収量との相関を究明した結果 (図 6) に依れば透水速度が 10 mm/day 迄は透水速度が大きい程収量が増加するがそれ以上になれば増加しない。

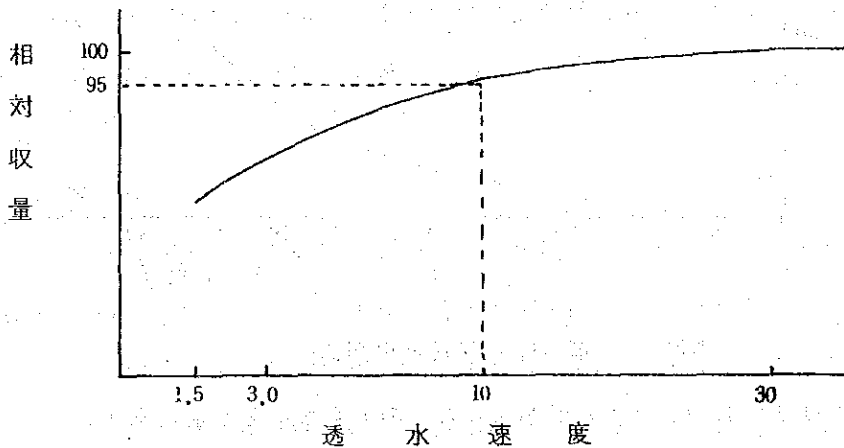


図 6 : 透水速度と収量との関係

この結果から我が国水田土壤の適正透水速度は 1 日 10 mm 程度とみられる。

水田土壤の類型別平均透水速度は重粘田あるいは湿田は 1.0 mm/日 以下普通田が $1.0 \sim 3.0$ 砂質田が $5.0 \sim 20.0 \text{ mm}$ 範囲に属し砂礫質田は $30 \sim 50 \text{ mm}$ 以上になる。

一般的にみれば砂質あるいは礫質土壤を除外した大部分の土壤は透水速度が最高収量を得るにはあまりおそいものであるとみられる。

(6) 土壤温度

土壤温度は気温と同様に植物生育に直接的に影響を及ぼすのである。水田土壤温度は気温の影響もある程度受けるが水源に依りいちじるしく異なる。すなわち貯水池または大河川の水は大気とほぼ類似した温度を維持するが

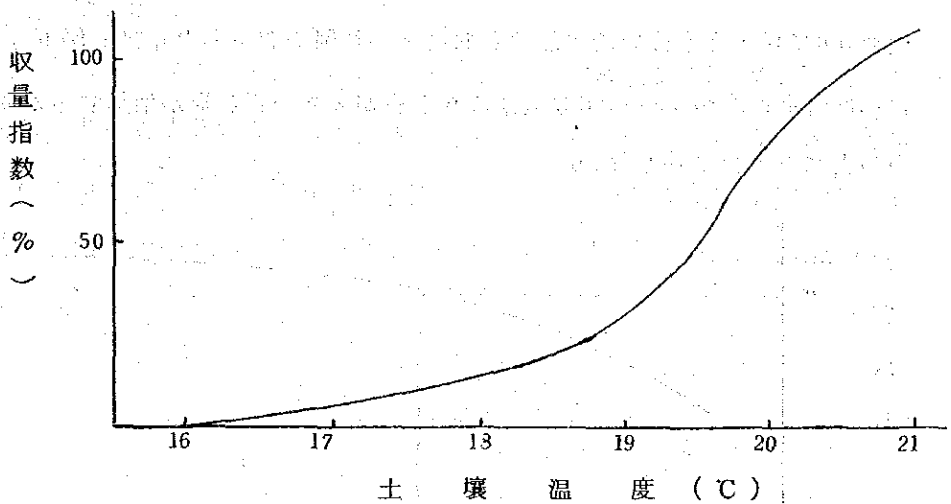


図7：土壤温度と収量との関係

地下水は夏にも拘わらず水温がつかないで冷水を農用水に利用する水田は土壤温度が低下し、たとえ気温が高くても冷害を来たすおそれがある。

図7は出穂が始まる時期に土壤温度と収量との関係を調査したもので土壤温度が20℃以下になれば被害を受け始め16℃になれば収量は全くなかった。

土壤温度が低くで問題化された水田は主に谷間水田と湿田である。すなわち平野の水田は貯水池または大河川の水を利用するため低温の問題がなからうが谷間地は山間水を多く利用していてもまた湿田は地下水が湧きあがって部分的に冷水の被害が大きくなる。

3. 水田土壤の物理性改善方法および効果

すでに述べた如く我が国の水田土壤の物理的沮害要因は土壤類型に依り非常に多様でありいろいろな要因が複合的に作用しているために一言で表現することは困難である。しかし最も主要な事は次のように3大別できる。すなわち砂質田は粘土含量が低い点、普通田と未熟田は下層土の硬度が高く

透水速度が過度におそい点、湿田は排水が不良であることが収量性を制限する最も重要な要因であるといえる。

これに対する改良方法としては、客土、深耕、排水改善等物理的方法は勿論改良剤を施用し化学性を改良する方法が提示されており多くの研究報告がある。ここでは物理的改良方法に対しその問題点と効果に対し検討することとする。

(1) 客 土

客土は粘土含量が低い砂質田に埴質土壌を加えることに依って作土層の粘土含量を増加させ保肥力を高め透水速度を抑制して物理的沮害要因を根本的に改良することが目的である。客土材料としては山赤土が多く利用されているが山地土壌は化学的特性が水田土壌とは大きく差があるため水田に多量客土する場合肥沃度の変化がはつきりとあらわれる。表2から砂質田と山赤土の土壌特性を比較してみれば山赤土は粘土含量・CEC・有効珪酸は砂質田よりいちじるしく高いが有効磷酸・有機物・pHは低い。従つて客土をすれば有効磷酸・有機物・塩基含量が減少し減収の可能性は大きくなると思われる。従つて客土の時はこれら減収要因を補完する改良剤を十分に施用することによつて客土に依る物理性改善の効果を最大にすることが出来る。

表2：客土対象地と客土材料の土壌特性比較

	粘 土 含 量 (%)	C.E.C (me/100g)	珪 酸 (ppm)	磷 酸 (ppm)	O.M (%)	pH
対象地(砂質畚)	5~14	7.2	67	86	1.8	5.8
客土材料(山赤土)	25~40	11.3	233	13	0.8	5.5

しかしながら70年代以前には客土を老朽化田に酸化物質と特殊成分を供給するものであると解釈し客土量が10a当り10%内外で改良剤施用に注意を欠いた為減収する事例が多かった。増収の場合もその増収率はいちじるしく低かった(表3)。

表3：客土に依る増収頻度

	減 収	増 収 率 (%)		
		1～5	6～15	15以上
頻 度 (%)	40.1	27.0	21.9	11.0

('62～'70：試験数480)

図8は1979年に農技研で実施した客土水準別効果試験の結果で表土の粘土含量が6%であった。砂礫質田に埴質土の客土量を各各異にして客土した後各種改良剤を客土材料に不足している成分を補完する程度と化学性改良目標値(磷酸：100ppm，珪酸：130ppm，加里飽和度：2.5%，堆肥：1,200kg/10a)に適合する量を各各施用して密陽23号を栽培した結果である。客土を行い粘土含量の増加を図ると減水深が少なくなり保肥能が増大して収量は粘土含量の増加に依つてほぼ直線的に上昇することを示している。また客土に依る増収効果は化学性改良を併行して実施する時一層大きくなることも明らかになった。

客土事業に於てもっとも大きい問題点は砂質田が多く分布している地域にはよい客土材料が不足しているのが事実である。また客土は数十トンの多量の土を運搬しなければならない為時間と労力及び投資等を共に解決しなければならない問題点もある。従つて少量の材料で客土と同じ効果が期待できる代替

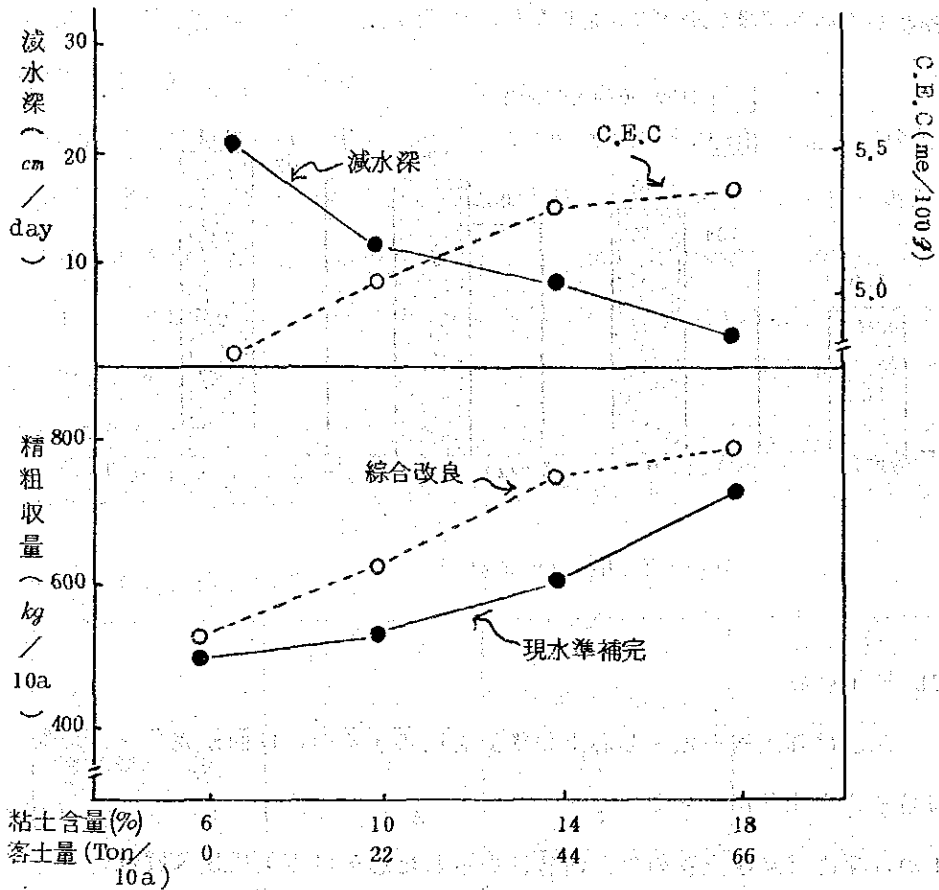


図 8：客土水準別物理性改善と増収効果

材料の開発が要望されている。我が国では迎日湾一帯にCECが高いBentoniteとZeoliteが多く産出している。

図 9 は砂質田にCECが異なる 2 種の Zeolite を施用した試験結果であり、CEC が 100 me/100g の Zeolite は 500 kg/10a、CEC 60 me/100g の Zeolite は 1,000 kg/10a 施用した時統計的に有意な増収効果があつた。

この結果からみれば優良な粘土鉱物は客土材料が不足する地域で砂質田の改

良剤として利用する可能性は高まると言えよう。

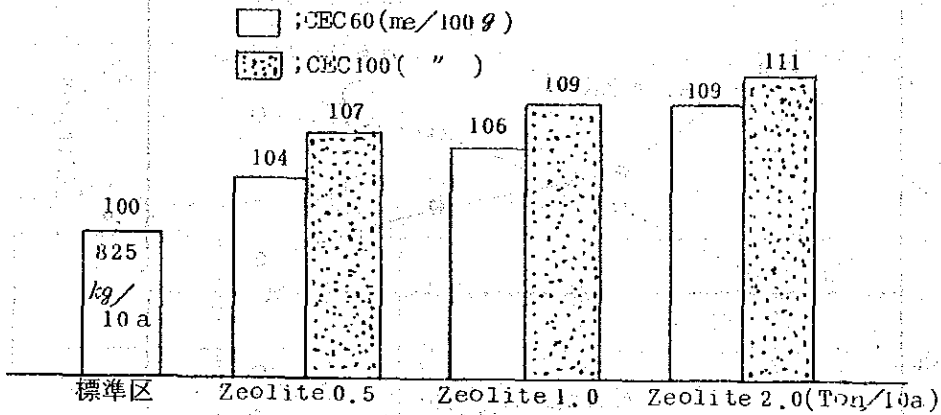


図 9 : Zeoliteの施用効果

(2) 深土破碎

深耕は作土層を拡大し心土の構造を改善するのに目的がありその対象地は普通田と未熟田である。

表 4 から深耕対象地土壌の化学的特性をみれば心土は表土に比べ有機物と有効磷酸含量は低いが珪酸・Ca・Mg等の養分含量が高い。従つて深耕を行い窒素と磷酸を多少増施すれば物理性改善効果は勿論心土に集積した養分を利用する

表 4 : 深耕対象地の化学的特性

	pH	O.M (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Ca -	Mg me/100g	C.E.C -
表土	5.4	3.0	55	67	4.5	1.8	10.8
心土	6.3	1.9	19	115	5.8	2.7	11.1

効果も大きく期待することが出来る。しかし、伝統的な深耕方法(deep plow)は種種の問題を生じている。

一番目に深耕をすれば表土の移動が多くなるために表面が平坦を失い地均作業を遂行するのにかなりの努力が必要である。特に機械化に依る田植の際には地面の不均に依り浮苗が多く生ずるので深耕をこのまない実情である。

二番目は脊簿な土が反転され表土に集積されるためこれに対して適合する土壤改良を行わない場合は作況が不均衡になり、減収されるおそれがある。

1960年代に遂行された深耕試験の増収頻度をみても減収の確率が30%以上であり、深耕後窒素と糞を増施しても減収する事例が多かった。(表5)

表5：深耕に依る増収頻度

	深 耕 (20 cm)	深 耕 + N 20% 増 施	深耕 + N増施 + 生 糞
増収頻度 (%)	63	71	66
増 収 率 (%)	5.8	6.0	8.0

このように深耕は地力及び努力面から問題があるためこれを改善する新しい深耕技術の研究開発が要望されている。現在農業技術研究所では農機械研究所と共に45HPトラクタ附着用深土破砕機を製作し既存の耕耘機種と比較試験を遂行中である。

図10は耕耘方法別に土層の仮比重変化を表わしたもので深土破砕は土深50cmまで多い亀裂を生ずるようにし仮比重と硬度を低くする効果が大きく心土が反転しないため深耕に依る問題点も解消するにいたった。

また湖南平野の退化塩土において、深土破砕と標準耕耘方法(動力耕耘機)

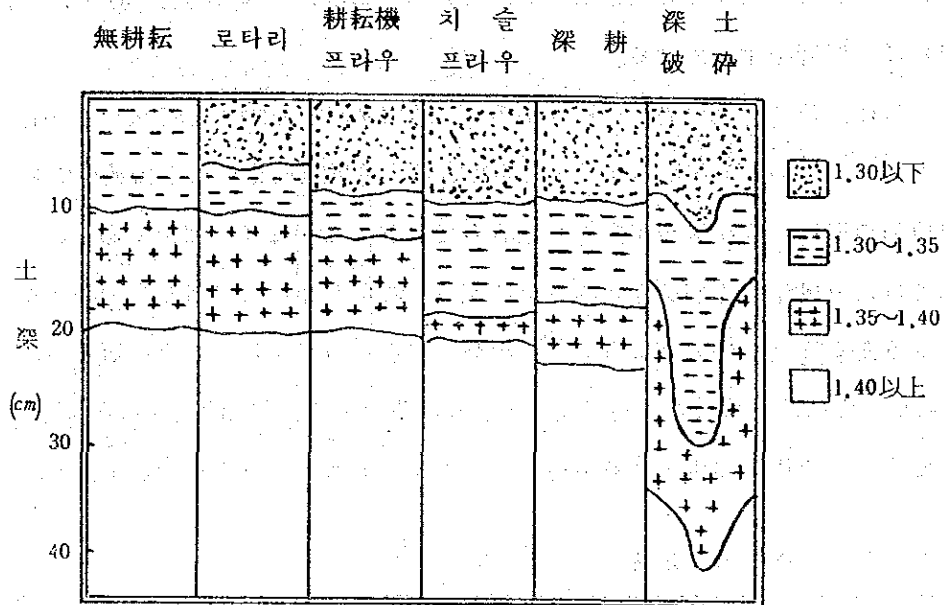


图 10：耕耘方法別仮比重分布

を4年間にわたり比較した試験結果(图 11)に依れば深土破碎の増収効果は3~4年間続けられることが明らかにされた。従つて深土破碎は未熟田または普通田特にすきとこ層が発達きたり心土の仮比重が大きい土壤の物理性改善方法として非常に望ましいことと考えられる。

(3) 地下排水

图 12 は湿田で土壤水圧-水の移動-土壤温度-収量の相互関係を模式的に表わしたものである。湿田は地点に依り水理特性が異なり、収量の差が甚しく全体的収量性も低い。また地盤が弱くて農機械作業が困難であり二毛作が不可能な点等種種の問題点がある。

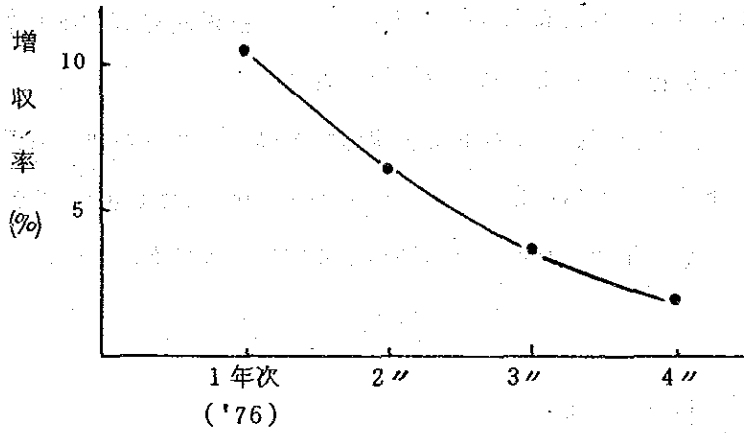


図 11：深土破碎効果の持続性

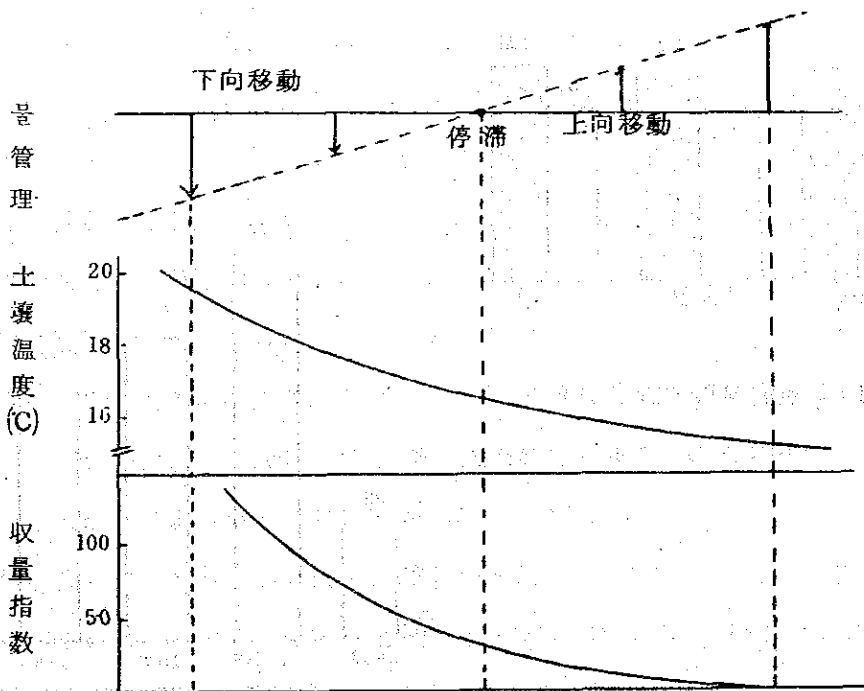


図 12：湿漕で水理特性と収量との関係

このような問題点を改善する為には暗渠・排水管を設置し地下水位を調節できるように排水組織を根本的に改善すべきである。排水改善対象地としては湿田以外に塩害田・特異酸性田を含めなければならない。

埴質田で地下排水管設置は5～8%程度増収の効果があるが増収原因は登熟率の向上によることが明らかにされた。(図13) また塩害田における地下排水は除塩を促進するためにその効果は非常に大きい(図14)

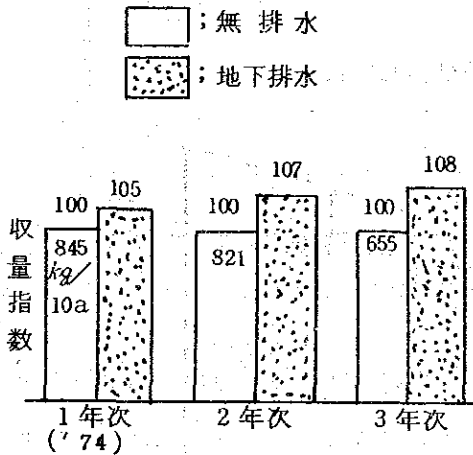


図13：埴質湿田で排水効果

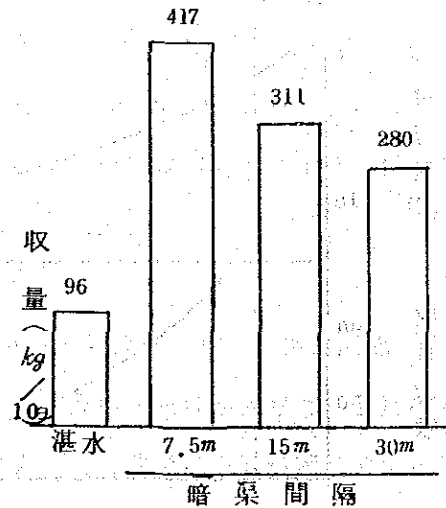


図14：干拓地土壌で暗渠排水効果

一方普通田・未熟田の透水速度は適正水準である 10 mm/日 よりはるかに低い
ため地下排水促進に依る効果はかなり大きいものと期待される。

しかし地下排水を実際に行うには種種の問題がある。平野地では地表排水
組織が水頭勾配をあたえる程充分でなく谷間地では地下排水に依る用水量
が増加するので旱魃時水不足に依る被害の可能性が大きい。従つて地下排
水施設に先立つて用排水路の合理的再整備、田水確保・揚水に依る強制排水
及び水の再利用に関する綿密な研究検討が望ましい。

4. 結 論

農産物の増産方法は栽培面積拡大と単位収量の向上と言う2つの方向
が考えられるが米の場合栽培面積の拡大はほぼ不可能である。

米は他の作物に比べ経済性が高く灌漑が可能である土地はほとんど水田に
利用され、水田に転換可能な農耕地は皆無の状態にあり干拓可能地は約40
万ha位と推定できるがこれを開発するには長い年月と莫大な投資を必要とす
るので現在とりあげる問題ではない。従つて米の増産は品種改良・栽培法改
善、地力増進等単位収量の向上を図るほかはない。

我が国に於て土壤改良に依る地力増進の可能性はかなり高い。低位生産地
が67%以上を占め生産力が高い普通田は土壤特性上種種の低収要因があ
るため土壤改良による地力増進の餘地は多いものと言える。

本共同研究において獲得した研究結果を総合検討することによつて土壤物
理性の適正範囲を設定するに至り水田類型別に物理性の沮害要因と改良方
法が究明された。砂質田に対しては容土に依る土性改良、普通田に対して
は深土破碎に依る構造改善、湿田に対しては地下排水促進が効果的であり、

このような物理性改善は土壌化学性を好適に変えることによつて増収効果は一層高まることが明らかになつた。

しかしこのような改善方法を実際適用するには現実的な問題点がある。

すなわち、客土に於ては優良な客土材料を手に入れにくい点があり、また費用が過多に要する点深土破碎はトラクタ普及率が低調である点、地下排水は水頭勾配をあたえるための地表排水組織の再整備及び用水確保対策が先決すべき問題点として指摘されている。

従つて今後の研究方向はもつと手やすくまた安価な手段で水田土壌の物理性を適正範囲に維持させる技術開発に重点をおくべきである。また低収要因の究明と増収効果に頼る研究から物理性の変化機作、物理性と化学性との相互関係、微細構造の役割、物理性に依る地力判定のモデル化等土壌物理研究を一層濃密に発展させる必要がある。

5. 引用文献

1. 金東漢・李鍾浩・嚴基泰. 1979. 土壌精密調査,
農技研報告書(1979) 127-148.
2. 盧承杓外3人. 1977. 排水條件別施肥量と栽植密度試験,
全北道院報告書(1977) 95-108.
3. 朴昌緒・任正男・柳寛植, 1980. 湿畚の水理特性と収量との相関,
農技研報告書(1980) 178-186.
4. 辛元教・任正男. 1976. 畚土壌の物理化学的要因と透水性に関する
研究. 農技研報告書(1976) 173-192.
5. 辛元教・任正男, 1979. 畚土壌特性と水稻生産力との相関究明
農技研報告書(1979) 190-208.

6. 辛元教・任正男, 1980. 物理性改良要因究明試験
農技研報告書(1980) 147-150.
7. 嚴明浩・任正男, 1979. 土壤の物理化学的要因と透水量透水性調節
方法. 農技研報告書(1979) 234-239.
8. 嚴明浩・鄭弼均, 1980. 優良粘土鉱物の改良剤利用試験
農技研報告書(1980) 161-165.
9. 任正男, 1980. 土壤の物理性と有機物. 韓土肥誌 11: 145-160.
10. 鄭斗浩, 1977. 暗渠間隔が排水および除塩に及ぼす影響.
農工研報告書(1977) 190-208.
11. 趙仁相・任正男, 1978. 退化塩土の物理性改善に関する研究.
農技研報告書(1978) 175-181.
12. 趙仁相・任正男・趙永吉, 1979. 退化塩土の物理性改善に関する研究
農技研報告書(1979) 175-190.

