

リンゴ園における酸性土壌の改良並びに 酸性化防止に関する研究

成田 春蔵・加藤 正・岩谷 齊・桜田 哲・相馬 盛雄

青森県りんご試験場

Studies on correction and prevention of soil acidity in apple orchard.

Haruzo NARITA, Tadashi KATO, Hitoshi IWAYA, Satoshi SAKURADA and Morio SOMA

Aomori Apple Experiment Station

Kuroishi, Aomori, 036-03, Japan

目 次

I 緒 言	43
II 石灰施用量がリンゴ幼木の生育に及ぼす影響	45
1. 試験方法	45
2. 調査結果	46
(1) 石灰施用量と土壌 pH の変化	46
(2) 土壌 pH, 塩基飽和度とリンゴ幼木の生育	46
(3) 土壌 pH, 塩基飽和度と葉身中及び樹体内無機成分含量	47
(4) 土壌 pH の違いと無機態窒素の生成発現	49
3. 考 察	49
4. 摘 要	50
III 石灰肥料の施用方法と酸性改良の効果	50
1. 石灰肥料の表面施用	50
(1) 試験方法	50
(2) 試験結果	51
1) 3年7か月後における石灰の滲透移行及び土壌 pH の変化	51
2) 13年後における石灰の滲透移行及び土壌 pH の変化	53
(3) 考 察	53
(4) 摘 要	54
2. サブソイラー並びに爆薬利用による石灰施用	54
(1) 試験方法	54
(2) 試験結果	55
1) サブソイラー利用による石灰施用	55
ア. 石灰の滲透移行並びに土壌 pH の変化	55
イ. サブソイラーの走行による生育阻害	56
2) 爆薬利用による石灰施用	56

ア. 石灰の滲透移行並びに土壌 pH の変化	56
イ. 爆破に伴う生育阻害	57
(3) 考 察	57
(4) 摘 要	59
3. 圧力水利用による石灰の注入施用	59
(1) 試験方法	59
(2) 試験結果	60
1) 注入方法の検討	60
2) 注入施用の酸性改良効果	60
(3) 考 察	61
(4) 摘 要	62
4. 噴射式注入機による石灰利用	62
(1) 試験方法	62
(2) 試験結果	63
1) 噴射式注入施用に伴う生育阻害の検討	63
2) 噴射式注入施用による石灰の滲透移行及び土壌 pH の変化	63
(3) 考 察	64
(4) 摘 要	65
IV 石灰の注入施用による粗皮病の回復効果	65
1. 試験方法	65
2. 調査結果	66
(1) 粗皮病の症状回復効果	66
1) 1967年処理の結果	66
2) 1968年処理の結果	67
(2) 土壌中の Mn 含量の変化	69
3. 考 察	69
4. 摘 要	70
V 石灰類の溶脱量と土壌の酸性化速度	71
1. 試験方法	71
2. 試験結果	72
(1) 滲透水中に含まれる塩基の溶脱量	72
(2) 土壌の塩基含量の変化	73
(3) 土壌 pH の低下速度	74
3. 考 察	74
4. 摘 要	75
VI 総 括	76
引用文献	77
Summary	79

I 結 言

リンゴ園ではその生産基盤である土壌の悪化が大きくクローズアップされているが、とりわけ、土壌の強酸性化に原因する問題が大きい。例を青森県にとると、リンゴ園土壌の80%以上が強酸性化し、その実態は他の主要リンゴ産地でも例外ではない(13) 30)。

リンゴの生育と土壌反応との直接的な関係について川島ら(14) 15)は各地の実態調査から、生産の良好なリンゴ園土壌はpH5.5~6.0であったとし、小林ら(16)はポッド試験の結果から、pH4.6~5.0が好適であったと述べている。これらの報告からすれば、リンゴ樹はかなり広範囲のpHに適合する作物であると言える。しかし、関谷(24)及び各地の報告をみると、最近ではpHの低い強酸性土壌よりもpHが弱酸性~中性の土壌反応の方が望ましいことは確かなようである。

一方、pHの直接的な関係はともかく、間接的には幾多の阻害要因があげられる。近年、苦土欠乏、粗皮病、ビタービット、縮果病など各種の生理障害が多発しているが、これら生理障害の発生は土壌の強酸性化がその背景になっている。特に、近年、増殖されたデリシャス系品種やふじの主要品種は粗皮病などの生理障害にかかりやすく、土壌の強酸性化はリンゴ栽培の大きな隘路になっている。

リンゴ園土壌の強酸性化の原因としては、母材的に酸性化しやすい土壌が多いこと、長年にわたって生理的酸性肥料を連用したこと、施肥量、特に窒素肥料を過剰に施用したことなどが指摘されるが、直接的には石灰肥料の未施用が大きな原因としてあげられる。

土壌酸性の改良は石灰肥料を施用することによって解決されるが、リンゴ園における石灰施用で酸性改良をはかるには多くの困難性がある。すなわち根圏土壌の全域を一挙に改良しようとすれば石灰の大量施用と滲透移行がなければならない。また、深層までの土壌と石灰肥料を混合しようとすれば断根障害が起るなどの問題もある。しかしながら、土壌の強酸性化に伴う地力の低下、各種生理障害の多発が、リンゴ栽培上大きな障害になっていることを考え合せると、酸性土壌の改良が目下の急務と言わなければならない。そのためには、土壌の酸性化につながる肥培管理を回避することはもちろんのこと、各種機械器具を利用した石灰施用方法を検討し、酸性土壌改良のスピード化、簡易化をはかる必要がある。

筆者らは、1966年以降、リンゴ園土壌の酸性改良と酸性化防止を目的とした石灰の施用方法並びに施用効果について試験研究を実施してきた。ここでは、石灰の施用量とリンゴ幼木の生育、土壌酸性の改良方法とその効果、石灰の注入施用による粗皮病の回復効果、石灰の溶脱と土壌の酸性化速度についてとりまとめた結果を報告する。

本研究の実施に当たっては、渋川潤一博士、成績のとりまとめに当たっては、青森県りんご試験場津川力博士に御配慮をわずらわした。また、研究をすすめるに当たっては、青森県りんご試験場業務管理員 盛 清、佐藤正、佐藤年治の各氏の御協力を得た。これら各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

II 石灰施用量がリンゴ幼木の生育に及ぼす影響

土壌 pH、塩基飽和度がリンゴ幼木の生育に及ぼす影響を明らかにし、酸性土壌改良の目標を設定するために試験を実施した。

1. 試験方法

試験は1967年から1969年にかけて無底木わく方式で実施した。木わくは幅2.0×1.7m、深さ45cmのものを土中につくり、消石灰を添加して塩基飽和度を調整した黒ボク土壌及び沖積土壌を詰め込み、1967年4月、1わくにスターキングデリシャスとゴールデンデリシャスの1年生苗木を8本ずつ植付けた。

試験区は黒ボク土壌が5区、沖積土壌は2区とした。試験区の名称及び石灰施用量は第1表に示したが、供試土壌の原土の塩基状態は、黒ボク土壌では塩基置換容量26.1m.e、置換性塩基のCa0.8m.e、Mg0.6m.e、K0.4

第1表 試験区の名称と消石灰の施用量

区名称 塩基飽和度(%) 施用量 区分	黒ボク土壌					沖積土壌	
	Ca 10	Ca 20	Ca 40	Ca 60	Ca 80	Ca 60	Ca 80
	8.0	20.0	40.0	60.0	80.0	53.6	80.0
1株当り 施用量(kg)	0	1.38	3.57	5.76	7.97	0	3.98
10a 当り換算 施用量(kg)	0	406	1,050	1,694	2,344	0	1,171

m.e、Na0.3m.eであり、沖積土壌は塩基置換容量21.1 m.e、置換性塩基のCa8.9m.e、Mg1.3m.e、K0.7m.e Naは0.4m.eであった。

植付けた苗木は生育2年後の1968年12月に半数を間引いて試験を継続したが、この間三要素肥料を施用せず、

薬剤散布は非ポルダー体系を採用して管理した。

生育調査は幹径肥大と新梢伸長を年々11月に行い、生体重量は生育3年後の1969年12月に採取し、地上部と地下部に分けて重量を測定した。

葉身中無機成分含量の検討は1969年8月1日に新梢中央葉を摘葉し、直ちに、中性洗剤と2%酢酸液で洗い、水道水と純水ですすいで水切りをして、中ろくを除き、通風乾燥後粉砕して分析試料とした。

樹体内無機成分含量の検討は、解体して生体重量を測定後、細根と各年枝ごとに試料をとり、水洗い、通風乾燥、粉砕の順にしたがって分析試料を調製した。

分析はNをセミマイクロケルダール法により、他の成分は試料を灰化後、希硫酸(1:1)で溶解して定容とし、Pはバナドモリブデン酸黄色法、Kはフレイムフォトメーター法、Ca及びMgは原子吸光度法により測定した。

土壌分析は、年々各区の土壌pHを測定した。更に、生育試験終了後の翌年、土壌pHの違いが土壌中の無機態窒素の生成発現に及ぼす影響を検討した。そのときの試験区は黒ボク土壌ではCa10%区(原土)、Ca40%区、Ca80%区の3区を、沖積土壌はCa60%区、Ca80%区の2区とし、土壌を直径1.0m、深さ80cmの大型ポットに詰め込んだものについて実験を行った。分析は生土を供試し、Bremner氏法³⁷⁾によってNH₄-N及びNO₃-Nを定量した。

2. 調査結果

(1) 石灰施用量と土壌pHの変化

黒ボク土壌及び沖積土壌の各区における土壌pHを経年的に調査した結果を第2表に示した。

黒ボク土壌の原土(Ca10%区)のpHはpH(H₂O)で4.5、pH(kcl)で4.0であり、消石灰を施用して塩基飽和度が大きくなるにつれて、pHが高くなったが、Ca80%区でもpH(H₂O)で6.6、pH(kcl)で5.8の弱酸性にとどまっていた。沖積土壌のpHは原土(Ca60%区)でpH(H₂O)5.9、pH(kcl)4.8であったが、Ca80%区ではpH(H₂O)で6.6、pH(kcl)で5.9に上昇していたが、黒ボク土壌の場合と同様弱酸性であった。また、3年間の試験期間中におけるpHは黒ボク土壌、沖積土壌とも大きな変動がなく経過していた。

(2) 土壌pH、塩基飽和度とリンゴ幼木の生育

各区の生育状況について年次別の幹径肥大及び新梢伸長量を第1、2図に示した。また、生育3年後の生体重量を第3図に示した。

スターキングデリシャスの幹径肥大は黒ボク土壌、沖積土壌ともpHが高く、塩基飽和

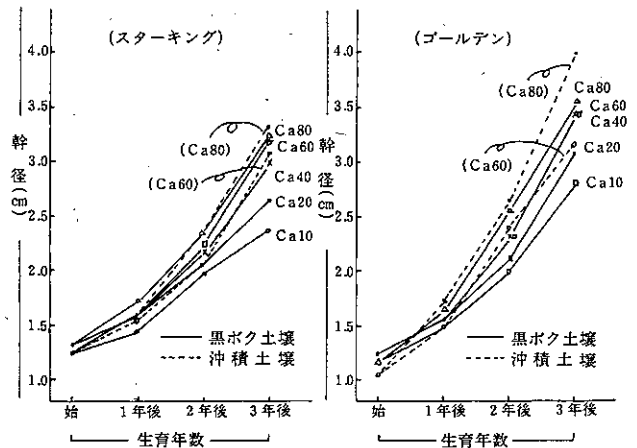
第2表 各区における土壌pHの変化

区	黒ボク土壌					沖積土壌		
	Ca 10	Ca 20	Ca 40	Ca 60	Ca 80	Ca 60	Ca 80	
6か月後	H ₂ O	4.6	5.3	5.5	6.2	6.7	6.0	6.8
	kcl	4.0	4.3	4.6	5.4	5.9	4.9	6.0
1年6か月後	H ₂ O	4.5	5.2	5.4	6.1	6.6	5.4	6.6
	kcl	4.0	4.2	4.7	5.2	5.8	4.9	5.9
2年6か月後	H ₂ O	4.5	5.2	5.4	6.0	6.6	5.9	6.6
	kcl	4.0	4.2	4.7	5.2	5.8	4.8	5.9

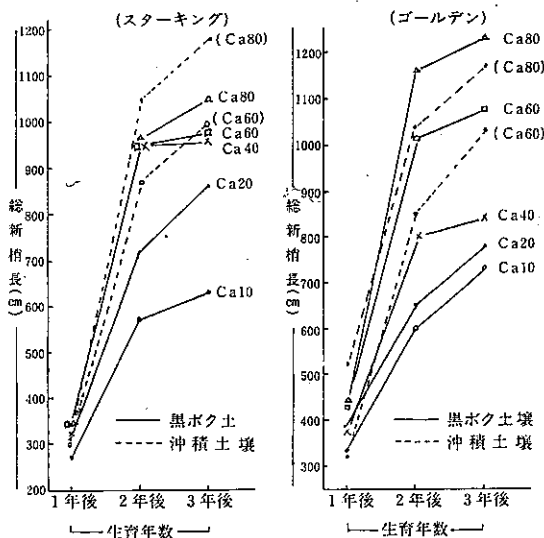
度が大きい区ほど増加傾向を示した。特に黒ボク土壌では生育年数が経過するにつれてCa80%区、Ca60%区がCa20%区、Ca10%区より肥大が顕著であった。また、ゴールドンデリシャスの幹径肥大は黒ボク土壌のCa40%区と60%区でほとんど差がなかったものの、黒ボク土壌、沖積土壌ともスターキングデリシャスの場合と同様、pHが高く塩基飽和度の大きい区ほど肥大が優れていた。

スターキングデリシャスの新梢伸長量は黒ボク土壌では生育2年後のCa40%区、Ca60%区、Ca80%区の間には差異を認めなかったもののCa10%区、Ca20%区の伸長より優れ、生育3年後にはpHが高く、塩基飽和度が大きい区ほど伸長量が著しい結果を示していた。一方、ゴールドンデリシャスの新梢伸長量は黒ボク土壌では生育2年目から、沖積土壌では植付け当年からpHが高く塩基飽和度の大きい区ほど伸長量が優れていた。

生育3年後に解体した4年生樹の生体重量をみると、スターキングデリシャスでは黒ボク土壌、沖積土壌ともpHが高く塩基飽和度の大きい区ほど生体重量が多く、根重量も多かった。特に、黒ボク土壌の原土(Ca10%区)の生体重量が少ないのが目立った。また、ゴールド



第1図 各区の年次別幹径肥大



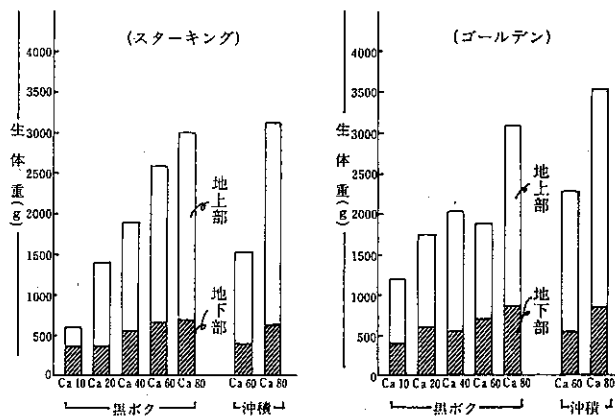
第2図 各区の年次別新梢伸長

ンデリシヤスの生体重量は黒ボク土壌のCa 60%区の枝幹重量がCa 40%区のそれより少ないので、生体重量は幾分劣っていたが、両土壌ともスターキングデリシヤスの場合と同様pHが高く塩基飽和度が大きい区ほど生体重量、根重量が多い傾向を示してした。

(3) 土壌pH、塩基飽和度と葉身中

及び樹体内無機成分含量

生育3年目の夏期における葉身中無機成分含量を第3表に示した。また、生育3年後に解体した樹体各部の無機成分含量を第4表に示した



第3図 各区の生体重量(処理3年後)

第3表 塩基飽和度と葉身中無機成分含量(乾物%)

品 種	成 分	黒 ボ ク 土 壌					沖 積 土 壌	
		Ca 10	Ca 20	Ca 40	Ca 60	Ca 80	Ca 60	Ca 80
ス タ ー キ ン グ デ リ シ ャ ス	N	2.46	2.51	2.69	2.83	2.93	2.55	2.90
	P	0.30	0.39	0.30	0.22	0.25	0.30	0.26
	K	2.61	2.48	2.47	2.03	2.13	2.10	2.00
	Ca	0.58	0.74	0.88	0.77	0.77	0.80	0.88
	Mg	0.17	0.29	0.26	0.30	0.35	0.25	0.26
ゴ ー ル デ ン デ リ シ ャ ス	N	2.44	2.44	2.55	2.59	2.85	2.60	2.90
	P	0.33	0.37	0.28	0.29	0.26	0.35	0.25
	K	2.79	2.72	2.62	1.94	2.03	2.77	2.47
	Ca	0.85	0.88	1.00	1.02	1.02	0.92	0.92
	Mg	0.18	0.16	0.20	0.28	0.31	0.20	0.24

第4表

塩基飽和度と樹体内無機成分含量(乾物%)

成分	区 分析 部位	スターキングデリシャス						ゴールデンデリシャス							
		黒ボク土壌					沖積土壌	黒ボク土壌					沖積土壌		
		Ca10	Ca20	Ca40	Ca60	Ca80	Ca60	Ca80	Ca10	Ca20	Ca40	Ca60	Ca80	Ca60	Ca80
N	1年皮部	1.40	1.43	1.50	1.60	1.70	1.45	1.62	1.55	1.54	1.60	1.63	1.60	1.60	1.70
	2年皮部	1.46	1.41	1.46	1.50	1.56	1.42	1.50	1.43	1.43	1.45	1.51	1.60	1.53	1.55
	3年皮部	1.44	1.42	1.47	1.51	1.56	1.46	1.53	1.43	1.42	1.53	1.53	1.56	1.46	1.55
	4年皮部	1.31	1.27	1.36	1.36	1.39	1.35	1.45	1.36	1.36	1.40	1.45	1.45	1.32	1.48
	1年木部	0.60	0.71	0.72	0.70	0.71	0.70	0.72	0.71	0.72	0.74	0.74	0.73	0.73	0.75
	2年木部	0.52	0.51	0.61	0.60	0.55	0.60	0.60	0.55	0.54	0.60	0.58	0.55	0.60	0.62
	3年木部	0.36	0.43	0.52	0.50	0.48	0.50	0.55	0.46	0.46	0.47	0.47	0.46	0.46	0.48
	4年木部	0.34	0.42	0.48	0.47	0.40	0.46	0.54	0.43	0.41	0.42	0.43	0.40	0.44	0.44
	細根	0.20	1.23	1.36	1.36	1.36	1.30	1.41	1.26	1.29	1.40	1.43	1.35	1.38	1.46
	P	1年皮部	0.15	0.17	0.17	0.18	0.23	0.18	0.20	0.17	0.18	0.18	0.17	0.21	0.18
2年皮部		0.14	0.14	0.16	0.16	0.19	0.16	0.19	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.18	0.17
3年皮部		0.10	0.14	0.15	0.15	0.18	0.14	0.19	0.14	0.14	0.15	0.14	0.16	0.17	0.17
4年皮部		0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.13	0.14	0.13	0.12	0.13	0.12	0.14	0.16	0.16
1年木部		0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11	0.09	0.10
2年木部		0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08
3年木部		0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
4年木部		0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.05
細根		0.12	0.12	0.12	0.13	0.15	0.13	0.14	0.12	0.12	0.13	0.12	0.14	0.13	0.14
K		1年皮部	0.96	0.88	0.80	0.81	0.75	0.97	0.90	0.99	0.98	0.99	0.97	0.87	0.97
	2年皮部	1.02	0.94	0.94	0.85	0.84	1.01	0.92	1.20	1.06	1.03	0.91	0.74	0.97	0.91
	3年皮部	1.02	0.93	0.86	0.78	0.74	0.89	0.80	1.07	1.02	1.00	0.94	0.87	0.94	0.92
	4年皮部	0.89	0.80	0.81	0.77	0.74	0.90	0.81	0.89	0.84	0.85	0.80	0.80	0.91	0.88
	1年木部	0.36	0.26	0.26	0.22	0.19	0.24	0.22	0.34	0.34	0.26	0.25	0.26	0.27	0.23
	2年木部	0.26	0.24	0.18	0.18	0.19	0.24	0.19	0.32	0.32	0.26	0.20	0.24	0.24	0.21
	3年木部	0.22	0.22	0.21	0.17	0.14	0.24	0.17	0.22	0.19	0.18	0.16	0.16	0.18	0.17
	4年木部	0.20	0.18	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.19	0.17	0.17	0.16	0.13	0.14	0.14
	細根	0.59	0.54	0.45	0.43	0.40	0.44	0.36	0.64	0.51	0.50	0.49	0.41	0.42	0.42
	Ca	1年皮部	1.36	1.45	1.82	1.83	1.95	1.58	1.72	1.30	1.32	1.32	1.36	1.43	1.43
2年皮部		1.34	1.33	1.81	1.98	2.07	1.50	2.04	1.29	1.23	1.46	1.51	1.62	1.77	1.72
3年皮部		1.50	1.70	2.07	2.29	2.29	1.91	2.27	1.74	1.83	1.94	1.90	1.89	1.95	2.22
4年皮部		2.63	2.53	2.88	2.74	2.86	2.98	3.16	2.04	2.32	2.46	2.46	2.62	2.59	2.95
1年木部		0.24	0.20	0.35	0.22	0.23	0.22	0.26	0.22	0.23	0.18	0.16	0.14	0.16	0.22
2年木部		0.16	0.12	0.15	0.11	0.15	0.13	0.16	0.11	0.13	0.17	0.13	0.10	0.11	0.12
3年木部		0.13	0.11	0.15	0.10	0.10	0.12	0.12	0.09	0.08	0.12	0.12	0.09	0.13	0.10
4年木部		0.12	0.09	0.14	0.07	0.09	0.11	0.11	0.11	0.08	0.12	0.07	0.11	0.09	0.09
細根		0.62	0.63	0.68	0.71	0.72	0.63	0.66	0.65	0.69	0.69	0.66	0.74	0.60	0.67
Mg		1年皮部	0.17	0.21	0.21	0.22	0.24	0.19	0.22	0.20	0.20	0.21	0.24	0.26	0.18
	2年皮部	0.16	0.16	0.17	0.18	0.24	0.16	0.23	0.15	0.14	0.18	0.19	0.20	0.14	0.18
	3年皮部	0.15	0.16	0.17	0.17	0.19	0.14	0.19	0.16	0.18	0.17	0.20	0.21	0.15	0.16
	4年皮部	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17	0.13	0.05	0.15	0.17	0.19	0.14	0.15
	1年木部	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06
	2年木部	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.06	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
	3年木部	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	4年木部	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
	細根	0.09	0.11	0.12	0.15	0.04	0.08	0.04	0.08	0.00	0.12	0.13	0.14	0.09	0.12

Ca含量:黒ボク土壌における葉身中Ca含量はスターキングデリシャス,ゴールデンデリシャスともCa10%区,Ca20%区,Ca40%区とpHが高く,塩基飽和度が大きくなるにつれてCa含量が高まったが,Ca60%区,Ca80%区のCa含量はCa40%区の含量と同程度にとどまっていた。樹体各部のCa含量は,木部では各年枝とも区間差異を認めなかったが,各年枝の皮部及び細根ではpHが高く塩基飽和度が大きい区ほどCa含量が高い傾向を示していた。また,沖積土壌の葉身中Ca含量は,両品種と

もCa60%区よりCa80%区の方が高く,各年枝の皮部及び細根のCa含量も葉身中の場合と同様の傾向を示していた。

N含量:黒ボク土壌における葉身中N含量は,両品種ともpHが高く,塩基飽和度の大きい区ほど高く,各年枝の皮部及び細根のN含量も同様の傾向を示した。また,沖積土壌の葉身中N含量,各年枝の皮部及び細根のN含量は,両品種ともCa60%区よりCa80%区の方が高かった。特に,黒ボク土壌,沖積土壌とも葉身中及び1~2

年枝の若い部分でN含量の区間差異が顕著であった。

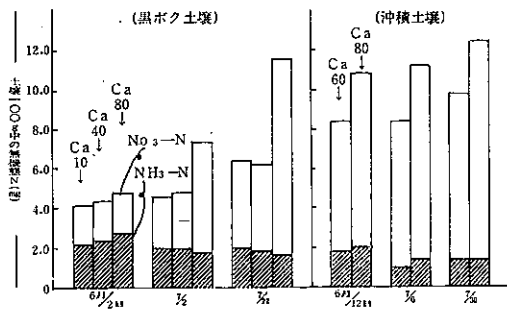
P含量：葉身中P含量は黒ボク土壌では両品種ともCa10%区及びCa20%区よりCa40%区、Ca60%区、Ca80%区のP含量が低く、沖積土壌ではCa60%区よりCa80%区のP含量が低かった。しかし、樹体各部のP含量は葉身中の含量と異なり、黒ボク土壌では両品種とも各年枝の皮部と細根のP含量は、pHが高く塩基飽和度が大きい区ほど高い含量を示し、沖積土壌でもスターキングデリシャスの各年枝の皮部と細根で、Ca60%区よりCa80%区のP含量が高い傾向を示した。

K含量：葉身中K含量は、黒ボク土壌では両品種ともpHが高く、塩基飽和度が大きい区ほどK含量が低下し、沖積土壌でも同様の傾向を示した。また、樹体各部のK含量は、黒ボク土壌では両品種ともpHが高く、塩基飽和度の大きい区ほど低下し、沖積土壌の両品種ともCa80%区のK含量がCa60%区のそれより低下していた。

Mg含量：黒ボク土壌の葉身中Mg含量は、両品種ともpHが高く、塩基飽和度が大きくなるにつれてMg含量が高くなり、沖積土壌でもCa60%区よりCa80%区のMg含量が高かった。また、樹体各部のMg含量をみると、黒ボク土壌では両品種ともpHが高く塩基飽和度の大きい区ほど各年枝の皮部及び細根のMg含量が高く、1~2年枝の木部でも高い傾向にあった。この傾向は沖積土壌でも黒ボク土壌と変りなく、両品種ともCa60%区よりCa80%区のMg含量が高かった。

(4) 土壌pHの違いと無機態窒素の生成発現

土壌の塩基飽和度を調製し、無施肥状態で、土壌pHが土壌中の無機態窒素の生成発現に及ぼす影響を検討した結果を第4図に示した。



第4図 塩基飽和度と無機態窒素の発現状況

消石灰を添加して塩基飽和度を調製したときの土壌pHは、黒ボク土壌の原土(Ca10%区)でpH(kcl)は3.9であったが、Ca40%区は5.1に、Ca80%区は6.3に上昇し、沖積土壌の原土(Ca60%区)のpH(kcl)5.2に対してCa80%区は6.5に上昇した。この土壌pHの違いによって土壌中から生成発現する無機態窒素は大きく影響された。

黒ボク土壌における無機態窒素の生成発現をみると、NH₃-Nは6月2日、7月2日、7月22日と僅少なが低下の傾向を示したが、pHの違いによる差異はなかった。しかし、NO₃-Nの生成量は6月始めから7月下旬にかけて次第に増加傾向を示し、6月2日ではpHの違いによる差異は認めなかったものの、7月2日及び7月22日ではpH(kcl)6.3を示したCa80%区のNO₃-N生成量は、pH(kcl)3.9のCa10%区、pH(kcl)5.1のCa40%区に比べ増加傾向が顕著であった。

一方、沖積土壌における無機態窒素の生成発現をみると、NH₃-Nは各時期とも黒ボク土壌より幾分低いレベルで推移し、pHの違いによる差異はなかった。NO₃-Nの生成量は各時期とも黒ボク土壌より多い状態で推移し、pH(kcl)6.5を示したCa80%区は、pH(kcl)5.2を示したCa60%区より各時期ともNO₃-Nの生成量が多かった。

3. 考 察

リンゴの生産と土壌pH、土壌中の置換性Ca、石灰飽和度との関係について、稲見¹⁰⁾は土壌中の置換性Caが生産力の高い沖積土壌で特に多く、生産力が中等な火山性土壌がこれに次ぎ、生産力の低い第三紀土壌が最も低かったが、土壌pHは変りなかったとし、川島ら^{14) 15)}は生産力の高いリンゴ園土壌はpH5.6~6.0、石灰飽和度は50%内外であるとしている。また、小林ら¹⁸⁾は消石灰と硫黄華の施用量を変え、強酸性から弱アルカリ性までの間に7区をつくり、1年苗を供試してポット試験を行ったところ、pH(H₂O)が4.5~5.0で推移した区が最も生育が良好であったと述べている。これらの成績からうかがわれるように、リンゴの好適pH、更には石灰飽和度を含めて実験方法や実験材料などによってかなりの相異がある。しかし、関谷²⁴⁾がとりまとめたミカンの成績によると、土壌のpH、石灰飽和度が低下するほど細根の乾物量が少なく、収量も低下しているなど、各地の報告をみても土壌pHが中性に近く、塩基飽和度が大きいほど良い成績が得られているようである。この試験でも強酸性から弱酸性の範囲であれば、pHが高く塩基飽和度が大きい区ほど良好な生育を示し、年数を重ねるにつれて明瞭な差異が見られた。

一般に、pHが低下している土壌は水素イオンが多く、他の陽イオンが少ない。置換性Caはその陽イオンの中で最も主要な成分であるが、Albrecht, W.A.⁹⁾によれば作物に対する石灰施用はpHが上昇して水素イオンが低下するから作物の生育が良好になるのではなく、作物の栄養分としての石灰を供給するからだとしている。しかし、この試験における樹体各部のCa含量をみると、土壌のpHが高く塩基飽和度が大きい区ほど葉身中、細根及び各年枝の皮部のCa含量が高まっていることから、

石灰そのものが直接リンゴ幼木の生育に反映したものと解釈される。

しかしながら、石灰施用に伴う生育の増加は、単に土壤pHの増加、置換性Ca、塩基飽和度の増加による結果ばかりでなく、石灰施用に伴う間接的な影響も大きく関与したものと考えられる。Lucasら⁴⁴⁾は土壤のpHと土壤養分の可給度について総説し、窒素、カリ、石灰、苦土などの各種養分は中性に近いほど可給度が高まっていたとしている。この試験の樹体内におけるCa以外の無機成分含量をみると、N、P、Mg含量もまた、葉身中、細根、各年枝皮部で、土壤のpHが高く、塩基飽和度の大きくなるにつれて増加していることから、実際には土壤中の各種養分の有効化、すなわち、石灰施用に伴う総合的な土壤改良効果が表われたものと判断される。特に、葉身中及び樹体内各部のN含量の増加が顕著であり、3年間の試験期間を無施肥状態で経過したにもかかわらず、pHが高く、塩基飽和度の大きいCa80%区では、両品種とも、年々施肥を繰り返した一般圃場並みのN含量であったことが注目される。

石灰施用に伴う地力窒素の発現については、White⁴²⁾ら、Natfel⁴¹⁾、野田³⁴⁾、原田³⁵⁾らの成績があるが、ともに石灰施用によって硝化作用が促進され、有機態窒素の無機化が進むことを確認している。この試験でも石灰施用によってpHの上昇が著しいCa80%区では同様の傾向をうかがうことができた。ただ、黒ボク土壤のCa40%区(pH(kcl) 5.6)とCa10%区(pH(kcl) 4.3)との間にはNO₃-Nの生成発現に差が認められず、ともに接近したレベルで推移していた。Natfel⁴¹⁾は同じpHに上昇しても塩

基飽和度の低いレベルでは必ずしも硝化作用が促進されないとしている。この点、緩衝能の大きい黒ボク土壤では石灰施用によるアルカリ効果の出方が遅いことが予想されるなど、今後の検討をまたなければならぬ要素が介在しているように考えられた。

以上の結果から、石灰施用量が増加するにつれて、リンゴ幼木の生育が良好になった理由として、石灰そのものの効果もさることながら、石灰施用に伴って土壤のpHが上昇し、塩基飽和度が大きくなり、その結果、総合された土壤改良効果があったためと推察される。

4. 摘 要

強酸性土壤の黒ボク土壤及び沖積土壤を供試して石灰施用量をかえ、土壤のpH、塩基飽和度がリンゴ幼木の生育に及ぼす影響を検討したところ、次のような結果を得た。

(1) スターキングデリシャス、ゴールデンデリシャスの幼木の生育量は強酸性から弱酸性の範囲内では黒ボク土壤、沖積土壤ともpH、塩基飽和度が高い土壤ほど生育が良好であった。

(2) 処理3年後における樹体内無機成分含量は各部位によって多少異なっているが、pH、塩基飽和度が高い土壤ほど葉、細根、各年枝皮部のN、P、Ca、Mg含量が高まる傾向を示し、K含量が低かった。特に、N含量の増加、K含量の低下が顕著であった。

(3) 土壤のpH、塩基飽和度が高いほど生育が良好になった理由としては、石灰そのものの効果他に、有機態窒素の無機化など各種土壤成分の有効化が大きく影響したものと考えられる。

Ⅲ 石灰肥料の施用方法と酸性改良の効果

リンゴ園における酸性土壤の改良を合理化するため、表面施用による石灰の滲透移行の実態を明らかにするとともに、サブソイラー及び爆薬を利用した石灰施用、圧力水を利用した石灰の注入施用、噴射式注入機を利用した石灰施用について検討した。

1. 石灰肥料の表面施用

(1) 試験方法

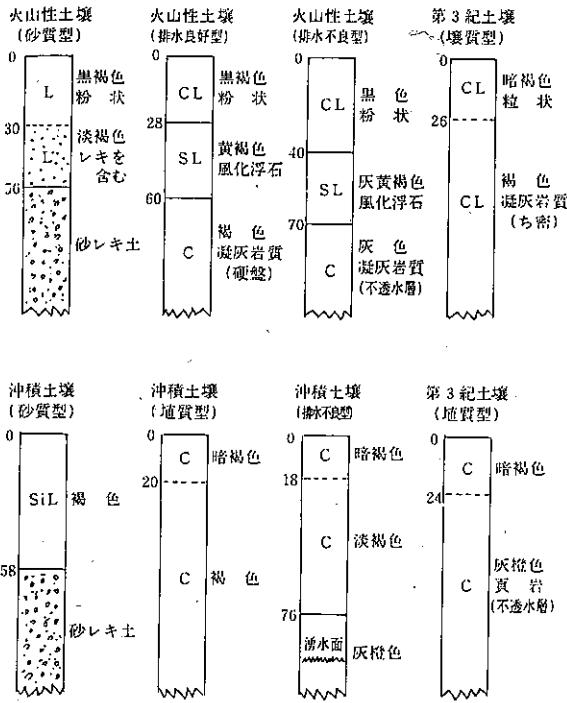
1) 石灰施用3年7か月後の調査

試験は1976年から1970年にかけて実施したが、調査地は青森県下の主要リンゴ栽培地帯から母材別に火山性土壤、沖積土壤、第三紀土壤を対象とし、更に、成層状態及び土壤の乾湿を考慮して第5図のとおり8土壤型を選定した。

火山性土壤の砂質型(黒石市牡丹平)は河岸段丘地に分布する土壤である。排水良好型(弘前市下湯口)及び

排水不良型(弘前市悪戸)は岩木山麓につながる洪積台地上に分布する土壤で、同一の成層状態をなしているが、排水良好型は若干傾斜をなしているところに位置することが多く、排水不良型は平坦部に位置して表土が深く、次層の浮石層も幾分軟かい状態で堆積している。一方、沖積土壤は岩木川流域に分布し、砂質型(藤崎町白子)は川原地帯に、埴質型は自然堤防地帯に位置し、排水不良型(藤崎町中野目)は層序的には埴質型と同一であるが、水田地帯に位置する土壤である。また、第三紀土壤の壤質型(平賀町唐竹)及び埴質型(五所川原市飯詰)は、ともに傾斜地や小丘地に分布する土壤である。

試験は、各土壤とも径30cm塩ビ管を打ち込み、1967年5月に、アルカリ度70%、CaO 45%、MgO 18%の粉状苦土石灰を、10a当たり2,400kg相当量で施用した。施用に当たっては、地表面を5cm程度耕うんして土壤を混



第5図 供試園の土壌断面

合した。また、その後の管理は年々春期に耕うんを行い随時除草した。

石灰の滲透移行状況及び土壌 pH の調査は処理 3 年 7 か月後に行い、処理区、無処理区とも地表面から深さ 10 cm ごとに採土した。分析は風乾砕土したものを、置換性 Ca は pH 7.0-N-酢酸アンモニア浸出液を原子吸光度法により、pH はガラス電極法で測定した。

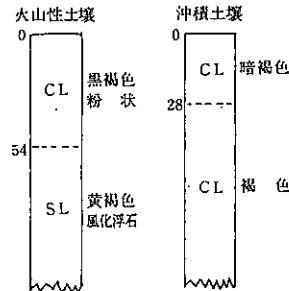
根群分布の調査は各土壌型とも隣接園を含めて 3 園づ

つとした。試坑は成木樹を対象とし、幹の中心から 2 m 離れた地点に幅 80 cm、深さ 150 cm の土壌断面をつくり、幹側の断面に表われた細根 (径 2 mm 以下) を深さ 10 cm ごとに数え、垂直分布率を求めた。

2) 石灰施用 13 年後の調査

試験は 1967 年 5 月に処理した土壌を、13 年後の 1980 年に調査した。

調査地は前記 1) の項に示した 8 土壌のうち、火山性土壌の排水不良型と沖積土壌の埴質型の園地を選んだが、第 6 図に示したように、成層状態



第 6 図 供試園の土壌断面

及び土性は同一園でありながら、3 年 7 か月後の調査地点と若干異なっていた。

試験は両土壌とも樹冠下を対象としたが、使用した石灰肥料、10a 当たり施用量、石灰施用後の土壌管理、採土及び土壌分析法は、前記 1) の項と同様の方法で行った。

(2) 試験結果

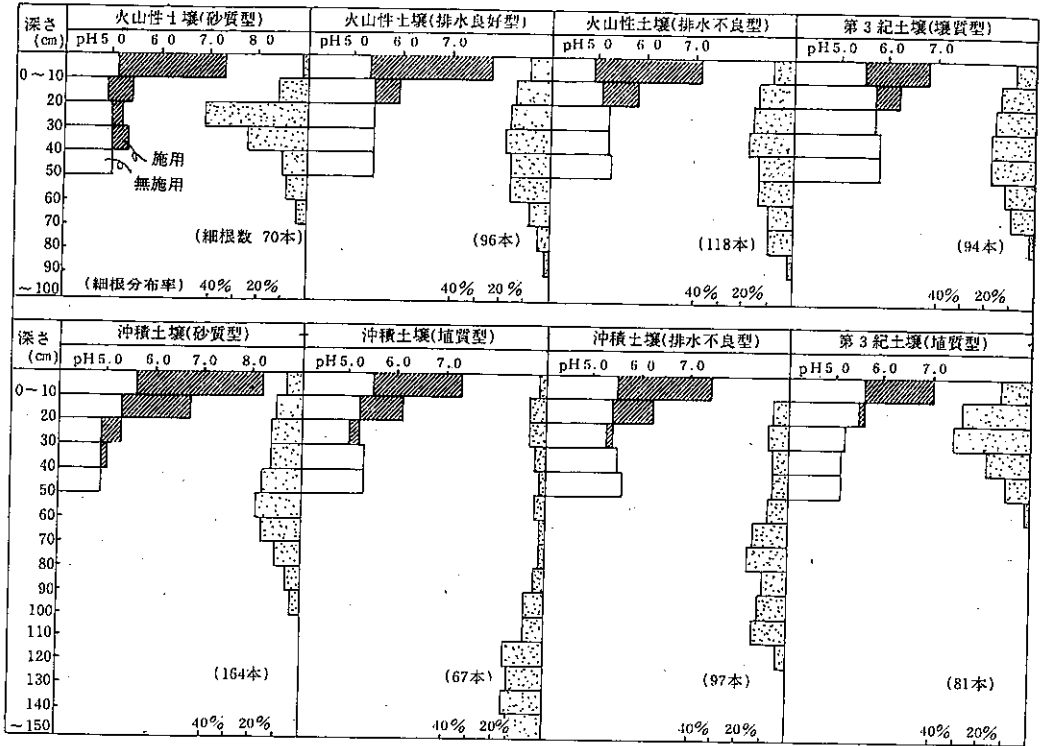
1) 3 年 7 か月後における石灰の滲透移行及び土壌 pH の変化

土壌型と石灰の滲透移行について、処理後 3 年 7 か月を経過したときの置換性 Ca を調査した結果を第 5 表に示した。また、石灰の滲透移行に伴う pH 上昇の深さとそれ

第 5 表 土壌型と石灰施用に伴う置換性 Ca の変化 (m·e/乾土 100g)

土壌の深さ (cm)	火山性土壌 (砂質型)		火山性土壌 (排水良好型)		火山性土壌 (排水不良型)		第三紀土壌 (埴質型)	
	無施用	施用	無施用	施用	無施用	施用	無施用	施用
0 ~ 10	6.1	22.6 (16.5)	9.4	22.4 (13.0)	4.8	21.8 (17.0)	10.7	22.6 (11.9)
20	4.3	6.3 (2.0)	6.4	10.4 (4.0)	4.9	6.5 (2.5)	10.2	11.2 (1.0)
30	2.7	3.9 (1.2)	4.8	3.6 (-1.2)	3.9	3.6 (-0.3)	11.7	12.0 (0.3)
40	2.7	3.2 (0.5)	3.7	4.2 (0.5)	2.7	2.9 (0.2)	13.0	13.2 (0.2)
土壌の深さ (cm)	沖積土壌 (砂質型)		沖積土壌 (埴質型)		沖積土壌 (排水不良型)		第三紀土壌 (埴質型)	
	無施用	施用	無施用	施用	無施用	施用	無施用	施用
0 ~ 10	16.0	31.4 (15.4)	16.5	26.2 (9.7)	20.3	33.4 (13.1)	10.2	23.1 (12.9)
20	17.5	19.9 (2.4)	18.0	21.7 (3.7)	15.5	19.9 (4.4)	6.0	5.6 (-0.4)
30	15.0	17.2 (2.2)	18.0	17.8 (-0.2)	15.8	15.2 (-0.6)	5.5	5.2 (-0.3)
40	12.5	14.5 (2.0)	19.0	18.3 (-0.7)	16.5	17.0 (0.5)	5.0	5.0 (0)
50	18.8	13.8 (-1.0)	18.5	19.0 (0.5)	17.3	17.5 (0.2)		

注 () 内の数値は増減を示したものを。



第7図 土壌型と石灰施用に伴う土壌pHの変化

それぞれの土壌型における細根の垂直分布率を対比して第7図に示した。

石灰施用に伴う置換性Caの増加は、処理後3年7か月を経過しているにもかかわらず、石灰と土壌を混合した表層部分とその直下を含めた地表下10cmまでは顕著であったが、それよりも深い部分での増加は少なかった。

置換性Caの増加が認められた土壌の深さは地表下20cm程度にとどまっている土壌型が多かったが、火山性土壌及び沖積土壌より下層に密な土層を有する第三紀土壌がやや浅い傾向を示し、同一母材でも成層状態によって多少異なっていた。すなわち、火山性土壌では、表層が黒ボクで被覆されて下層に密な埴土層が堆積している排水良好型及び排水不良型より、下層に砂れき土層を有して土層全体がやや粗粒質な砂質型の土壌の方が幾分下方まで置換性Caの増加が認められた。沖積土壌では表層から下層まで埴質な土壌からなる埴質型及び排水不良型より、土層全体がやや粗粒質な砂質型の土壌の方が下方まで増加していた。また、第三紀土壌では下層土がち密な土層になっているが、比較的表層下層とも中粒質の壤質型の土壌の方が埴質型のものより深い傾向を示した。

石灰施用に伴うpHの変化は置換性Caの増加に同調

し、pHの上昇を認めた土壌の深さは置換性Caの増加した深さとほぼ一致していた。8土壌型の中で最も深いところまでpHの上昇が認められた土壌は土層全体がやや粗粒質な土壌からなる火山性土壌及び沖積土壌の砂質型で、その深さは地表下40cmに及んでいたが、地表下20cmより深い部分ではpH上昇値が0.4以下の弱いものであった。

一方、りんご園土壌における根群の分布は土壌型によって著しい相違がある。いま、試坑断面に表われた細根の総数に対し、垂直的に深さ10cmごとの各土層における細根率が10%を超える土層の最も深い位置までを主要根圏とすると、8土壌型の中で根圏の浅い火山性土壌砂質型と第三紀土壌埴質型であっても主要根圏の深さは地表下50cmであり、最も深い沖積土壌埴質型では150cmの試坑範囲を超える深さに及んでいた。

この主要根圏の深さと石灰施用に伴うpHの上昇した土層の深さを対比すると、10a当たり2,400kgの苦土石灰を施用して3年7か月を経過しているにもかかわらず、pH上昇効果の認められた土壌の深さは各土壌型とも主要根圏の深さに比べれば極めて浅く、全層のpH上昇効果をあげるにはほど遠い結果であった。すなわち、最も深い土層までpHの上昇を示した火山性土壌砂質型を例

第6表 石灰施用13年後における土壌中の置換性Ca, Mg含量

深さ (cm)	火山性土壌						沖積土壌					
	石灰施用 (A)		無施用 (B)		(A) - (B)		石灰施用 (A)		無施用 (B)		(A) - (B)	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
0~10	57.6	4.6	13.8	4.6	43.8	0	40.8	2.8	15.0	2.9	25.8	-0.1
~20	13.2	2.8	4.0	1.4	9.2	1.4	18.4	5.0	15.0	2.7	3.4	2.3
~30	10.4	2.2	2.4	0.7	8.0	1.5	17.8	5.4	15.6	2.8	2.2	1.6
~40	19.0	2.1	2.8	1.3	16.2	0.8	18.6	7.3	13.8	2.9	4.8	4.4
~50	15.2	2.1	3.2	1.0	12.0	1.1	16.2	7.3	12.0	2.8	4.0	4.5
~60	14.0	2.1	3.2	1.0	11.8	1.1	16.2	7.3	12.2	3.0	4.0	4.3

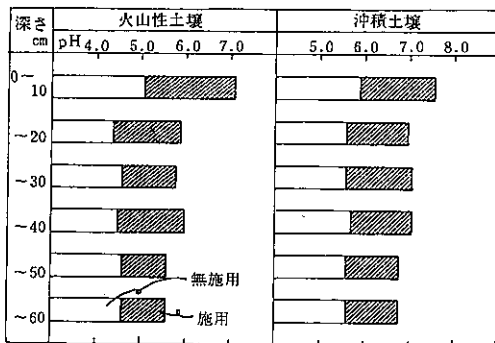
注 1. 数値はm.eにて表示した。

注 2. 石灰施用は10a 当り苦土石灰2,400kgを表面施用し, 5cm位耕起した。

にとっても, 主要根圏の深さ50cmに対し, pHの上昇した深さは地表下40cmに及んでいたものの, pH値0.5以上の判然とした効果を示した深さは地表下20cmまでに過ぎなかった。

2) 13年後における石灰の滲透移行及び土壌pHの変化

大量の石灰肥料を施用し, 13年後に土壌中の置換性Ca, Mg含量を調べたところ第6表のとおりであった。また, 土壌pHの変化は第8図のとおりである。



第8図 土壌の違いと石灰施用に伴う土壌pH(H₂O)の変化

これによると, 地表下60cmまでの各層における置換性Ca, Mg含量は, 両土壌とも石灰施用区の方が無施用区より高く, 石灰, 苦土の滲透移行に伴う土壌pHの上昇が認められた。

すなわち, 土壌中の置換性Ca含量について石灰施用区と無施用区を比較すると, 両土壌とも0~10cmの深さでは石灰施用区の方が顕著な高含量を示し, 黒ボク土壌で57.6m.e, 沖積土壌で40.8m.eであった。10cm以下の深さでは, 火山性黒ボク土壌の無施用区の方が2.4~3.2m.eであるのに比べ, 石灰施用区のそれは10.4~19.0m.eであり, 無施用区よりも8.0~16.2m.eの増加量があった。

また, 沖積土壌の10cm以下の深さでは, 無施用区が12.0~15.6m.eであるのに比べ, 石灰施用区のそれは16.2~18.4m.eであり, 無施用区よりも2.2~4.8m.eの増加量があった。

置換性Mg含量は, 置換性Ca含量と若干様相を異にし, 両土壌とも0~10cmの表層部では石灰施用区と無施用区で差がなかった。しかし, 火山性黒ボク土壌の10cm以下の深さでは無施用区よりも石灰施用区の方が0.8~1.5m.eの増加量が, 沖積土壌の10cm以下の深さでは2.3~4.5m.eの増加量があった。

一方, pHは両土壌とも, 無施用区よりも石灰施用区の方が高い値を示し, その増加状況は0~40cm部位までの深さの方が40cm以下の深さよりも顕著であった。火山性黒ボク土壌のpH増加状況について, pH(H₂O)を例にとると, 無施用区の0~10cmの深さではpHが5.1, 10cm以下の深さでは総じてpHが4.4~4.6であったが, 石灰施用区では0~10cmでpH7.1, 10~40cmまでの深さのpHが6.0前後であり, 無施用区のそれよりも1.2~2.0の増加値を示した。また, 40cm以下の深さでは, 無施用区のpHが4.6であるのに比べ, 石灰施用区のpHが5.6であり, これは0~40cmまでの深さの増加状況よりもやや少ないものの1.0程度の増加値を示した。同様の傾向は沖積土壌でも認められ, 無施用区のpH(H₂O)は0~60cmの各深さにわたってpHが5.6~5.9であったが, 石灰施用区では6.8~7.6の値を示し, 無施用区に比べて0~40cmまでの上層では1.2~1.7の増加値を, 40cm以下の深さでは0.9の増加値を示した。

(3) 考 察

多年性で深根性の作物である果樹園の酸性土壌改良は, 園地を自由に耕起できないから多くの困難を伴うことは周知のとおりである。とりわけ, 根圏の深いリンゴ園における石灰施用は石灰肥料の滲透性が弱いこと, 大量施用を行わなければ酸性改良につながらないことが問

題点として指摘される。

石灰肥料の滲透性の弱さについては、すでに1940年川島¹⁶⁾によって指摘されている。この試験で母材、成層状態及び土壌の乾湿の異なる8種類の土壌について、石灰の表面施用に伴う置換性Caの増加及びpH上昇がみられた深度を処理3年7か月経過後について検討し、一方、8種類の土壌から、青森県内の普遍的な土壌である火山性黒ボク土壌と埴質沖積土壌については処理13年経過後にも検討した。その結果、石灰施用してから13年経過後では、石灰及び苦土含量の富化とpH上昇が認められたが、石灰施用後3年7か月では火山性土壌、沖積土壌とも砂質型の土壌が他の土壌に比べて、幾分、深かったものの、明瞭な酸性改良を認めた土壌の深さは、地表下20cm程度に過ぎなかった。これらのことから推察すれば、深さ60cmの根圏深を改良するためには、少なくとも10年前後の長年月を要するものと思われた。

このように、石灰の表面施用が即座に下層の酸性改良につながる理由としては、石灰肥料の滲透力の弱さと表層から下層への滲透途中で土壌中にとどまる割合の少ないこと、あるいは土壌中から溶脱する石灰の減少量より石灰施用による石灰の富化量がそれほど多くないことが考えられる。しかし、Ririe⁴⁵⁾並びに丹野³⁹⁾が⁴⁶Ca放射性石灰(CaCO₃)を利用した試験結果からすれば施用石灰の滲透力の弱さが下層土の酸性改良に結びつかないとみるのが至当であろう。この事実からすれば、普通、60~70cmの主要根圏をもっている青森県下のリンゴ園土壌における酸性改良は、極めて難しく、その改良には長年月を要すると言わなければならない。

また、根圏の深いリンゴ園土壌の酸性改良をはかるには、石灰の大量施用が不可欠となる。いま、青森県下のリンゴ園土壌における主要な母材について、pH緩衝能曲線からpH(H₂O) 4.5の強酸性土壌をpH(H₂O) 6.0の弱酸性土壌まで改良するための10a当たり所要石灰量(アルカリ度55%の苦土炭カルとして)を、土壌の深さ60cmと試算すると、岩木山系黒ボク土壌では3,100kg、十和田・八甲田山系黒ボク土壌と沖積土壌では1,400kg、第三紀土壌では2,400kgとなり、トン単位の大量施用の感をまぬがれない。更に、実際の石灰施用に当たっては、自然界からの溶脱量を加算した施用量を考慮しなければならない。この溶脱量は土壌の種類、降水量、施肥などいろいろな条件によって大きく左右されるが、年間150kg程度の苦土炭カルに相当する量に及ぶとされている。このことは後述する第V項の成績からもうかがうことができる。

いずれにしても、石灰の表面施用による酸性土壌の改良は長年月を要することは避けられないと言った方がよく、早急に改良するには、機械器具を利用した石灰肥料の施用体系を確立しなければならない。

(4) 摘 要

1966年以降、リンゴ園土壌における酸性土壌の改良方法として、従来から行われてきた石灰の表面施用による効果を、処理3年7か月後と処理13年後に検討したところ、次のような結果を得た。

1) 母材、成層状態、土壌の乾湿を異にする8種類の土壌を対象として、10a当り2,400kgの粉状苦土石灰を表面施用し、処理3年7か月後に置換性Ca含量を調査したところ、火山性土壌と沖積土壌の両砂質型土壌は、石灰の滲透移行が地表下40cmに達して、他の6土壌型より幾分深かった。しかし、土壌pHの増加値が0.5以上の顕著な酸性改良効果を示した土壌の深さは、火山性土壌、第三紀土壌、沖積土壌の各土壌型とも、地表下20cm程度に過ぎず、主要根圏土壌の深さに比べれば極めて浅い改良深度であった。

2) 火山性土壌の排水不良型と沖積土壌の埴質型を供試し、10a当たり2,400kgの粉状苦土石灰を施用し、13年経過後に、土壌中の置換性Ca、Mg含量及び土壌pHを調査したところ、両土壌とも地表下60cmの深さまで、かなり顕著な改良効果が認められた。

2. サブソイラー並びに爆薬利用による石灰施用

(1) 試験方法

1) サブソイラー利用による石灰施用は1967年火山性土壌の2園地と沖積土壌の1園地を選んで試験を行った。火山性土壌乾燥型(りんご試2号園)は表層40cmが細れきを含む黒ボクで被覆され、中層のれきを含む砂礫土を経て、地表下55cmから砂れき土が厚く堆積している土壌である。火山性土壌排水不良型(弘前市小沢)は表層40cmの黒ボク、中層の浮石層を経て、地表下80cmから密な埴土が堆積している。一方、沖積土壌埴質型(藤崎町白子)は表層から下層まで軟らかい埴土が堆積して有効土層の深い土壌である。

実験に使用したサブソイラーは共立型深層施肥機MS F-2型で、刃幅は8cmであった。サブソイラーの走行はリンゴ樹の片側としたが、それぞれの園地における根群分布と樹相とを考慮し、火山性土壌乾燥型(11年生紅玉)では幹の中心から1.5m、火山性土壌排水不良型(20年生国光)では2.4m、沖積土壌埴質型(35年生スターキング)では1.7m離れた地点まで近づけた。石灰肥料の施用は樹間部を対象とし、溝巾の走行間隔を40cm、溝の深さ30cmとした。施用量は粉状苦土石灰を10a当たり2,400kg相当量とし、サブソイラーの走行速度と石灰の投下量を一定に保ちながら施用した。

土壌分析は処理6か月後に、刃先の中心から横方向及び垂直方向へ5cmごとに採土したものを無処理土壌と比較した。分析は置換性Ca、pHとも前記1-(1)-(1)の

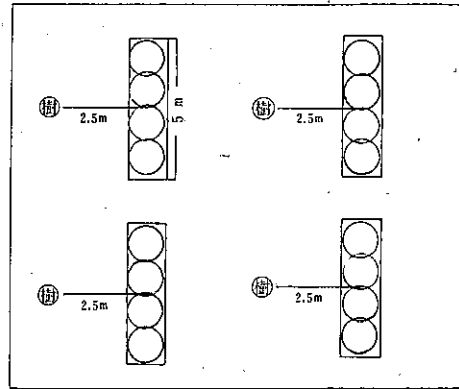
項と同様の方法で行った。

サブソイラー走行に伴う生育障害のは握は各土壌とも4樹ずつ供試し、1樹当たり収量、1果平均重量を求め、無処理土壌と比較した。

2) 爆薬利用による石灰施用

1967年、火山性土壌(排水良好型)と第三紀土壌の2園地で試験を行った。火山性土壌(弘前市小沢)は表層35cmの黒ボク、中層の浮石層を経て、地表下55cmからち密な凝灰岩質の植土層が堆積している土壌である。一方、第三紀土壌(りんご試3号園)は表層が比較的軟らかい植壤土であるが、地表下25cmの下層土は小れきを含む凝灰岩質の堅い土壌からなっている。

爆破は5月下旬に行った。爆破のやり方は第9図のように幹から2.5m離れたリンゴ樹の片側部分を樹列と平行しながら1.3m間隔で1樹当たり4か所の爆破孔をつくった。爆薬は黒カーリットを使用し、1孔所当たり100



第9図 爆破位置

gの量を深さ50cmにそう入して爆破させた。石灰肥料は爆破孔を軽く整地した後、1孔当たり4.7kg(10a当たり2,400kg相当量)の粉状苦土石灰を施用した。

土壌分析は処理6か月後に、爆心部から横方向へ10~15cm, 35~40cm, 60~65cm, 地点を深さ5cmごとに地表下60cmまで採土し、無処理土壌と比較した。分析は置換性Ca, pHとも前記1)の項と同様の方法で行った。

爆破に伴う生育障害のは握は両土壌とも4樹ずつ供試し、1樹当たり収量、1果平均重量を求め、無処理樹と比較した。

(2) 試験結果

1) サブソイラー利用による石灰施用

ア. 石灰の浸透移行並びに土壌pHの変化

処理6か月後における置換性Ca及びpHの変化について、火山性土壌乾燥型と沖積土壌堆積型の調査結果を第7, 8表に示した。

火山性土壌でサブソイラーを利用した石灰施用による置換性Caの増加範囲は、垂直的には破砕深より15~20cm深く、地表下45~50cmの深さに及び、水平的には破砕溝より5cm程度の広がりを示したものの、下方ほどその広がりが狭く、破砕溝の直下付近では溝巾10cmの広がりにとどまっていた。また、pHの上昇範囲をみると、垂直的には置換性Caの増加が認められた深さより5cm程度浅かったが、水平的には置換性Caの増加範囲とはほぼ一致して

第7表 サブソイラー利用石灰施用による置換性Ca, pHの変化 (火山性土壌)

深さ cm	置換性Caの分布 (m.e)							pH(H ₂ O)の分布						
	無施用		サブソイラー施用					無施用		サブソイラー施用				
	15	10	5	0	5	10	15	15	10	5	0	5	10	15
5	4.2	4.3	22.1	22.6	39.9	7.1	4.4	4.9	4.9	5.7	5.5	5.6	5.3	4.9
10	2.8	2.8	4.7	15.5	6.5	3.8	2.7	4.8	4.9	5.5	5.5	5.1	5.9	4.8
15	2.1	2.0	3.9	14.6	9.1	3.4	2.2	4.7	4.8	6.1	5.6	5.2	5.8	4.9
20	2.6	2.7	5.3	47.9	18.4	3.5	2.7	4.8	4.7	6.0	5.9	5.3	5.8	4.8
25	2.2	2.3	8.4	97.4	49.1	2.1	2.3	4.9	4.7	5.9	6.6	5.6	4.9	5.0
30	2.5	2.6	4.1	93.3	42.6	4.0	2.4	5.0	5.0	5.9	8.7	5.6	5.2	5.0
35	3.6	2.9	4.8	∞	12.2	3.2	3.0	5.2	5.1	5.1	7.8	5.7	5.3	5.2
40	2.9	2.8	2.2	18.9	9.7	2.6	2.9	5.2	5.2	5.2	6.4	5.5	5.2	5.1
45	3.3	3.2	3.2	5.2	6.5	2.4	3.4	5.3	5.3	5.0	5.3	5.6	5.4	5.4
50	3.3	3.3	3.2	4.3	7.5	4.2	3.4	5.3	5.3	5.2	5.3	5.5	5.3	5.2

第8表 サブソイラー利用石灰施用による置換性Ca, pHの変化 (沖積土壌)

深さ cm	置換性Caの分布 (m.e)							pH(H ₂ O)の分布						
	無施用		サブソイラー施用					無施用		サブソイラー施用				
	15	10	5	0	5	10	15	15	10	5	0	5	10	15
5	11.8	11.9	42.3	36.9	37.3	24.4	11.9	5.2	5.3	6.8	6.1	6.4	6.2	5.3
10	11.1	11.0	20.0	63.4	42.7	15.5	11.0	4.7	4.8	6.3	6.8	6.5	5.7	4.8
15	11.7	11.6	66.2	64.3	∞	13.9	11.8	4.8	4.9	7.1	7.3	11.2	4.6	4.9
20	15.2	14.9	51.8	60.2	96.5	14.9	15.2	5.0	5.1	7.9	8.8	8.7	4.7	5.1
25	16.3	15.8	34.1	10.4	21.2	16.4	16.4	5.6	5.6	7.0	10.2	6.2	5.0	5.7
30	15.9	16.0	37.6	63.1	18.5	16.1	16.1	5.5	5.6	6.8	7.9	5.7	5.4	5.4
35	17.2	17.1	31.2	19.8	19.9	17.8	17.3	5.6	5.7	6.9	6.3	5.8	5.6	5.6
40	18.0	18.2	18.1	20.0	23.3	18.1	18.1	5.8	5.9	5.9	6.2	6.2	5.8	5.7
45	17.1	17.2	17.4	20.0	18.5	17.1	17.1	5.9	5.9	5.9	5.9	6.2	6.0	5.9
50	17.4	17.6	17.4	18.1	19.5	17.5	17.5	5.8	5.9	5.7	5.6	5.9	6.0	5.9

いた。

一方、沖積土壌における置換性Caの増加範囲及びpHの上昇範囲をみると、垂直的には火山性土壌と差異を認めなかったが、水平的には破碎溝から離れた部分で若干の改良むらがあり、破碎溝の両側5cmがほぼ確実に改良されている火山性土壌に比べて、僅少なながら改良効果が劣る傾向にあった。

イ. サブソイラー走行による生育阻害

サブソイラーの走行位置を幹に近づけ過ぎると断根に

よる悪影響が懸念される。そこで、サブソイラー走行に伴う生育阻害を明らかにして機械の利用性を把握するため、断根量と収量品質に及ぼす影響について検討した。調査結果は第9、10表に示した。

この試験は園地によって、品種、樹令、サブソイラーの走行位置など試験条件を異にしているが、1樹当たりの断根量は火山性土壌乾燥型で1,007g、火山性土壌排水不良型で619g、沖積土壌埴質型で1,766gであった。

しかし、断根の様相をみると、火山性土壌乾燥型では

表層部と下層部で大差なかったものの、火山性土壌排水不良型では表層部より下層部が多い傾向を示し、沖積土壌埴質型では下層ほど断根量が頭著であった。

このような断根状態を示した各土壌型の園地における処理当年の1樹当たり収量及び1果平均重量は無処理の対照区と大差なかった。特に、有効土層の浅い火山性土壌乾燥型については、次年度にも同様の調査を行ったが、結果は処理当年と変わりなく生育阻害は認められなかった。

2) 爆薬利用による石灰施用

ア. 石灰の滲透移行並びに土壌pHの変化

爆破によって生じた孔を軽く埋戻して整地後に石灰施用を行い、処理6か月後に置換性Ca、pHを調査した結果を第11、12表に示した。

処理6か月後における置換性Caの増加範囲及びpHの上昇範囲をみると、火山性土壌、第三紀土壌とも爆心直上部に近いほど深層に及び、爆心部から遠ざ

第9表 サブソイラー区の断根量 (g)

深 さ (cm)	火山性土壌A *				火山性土壌 B **				沖 積 土 壌 ***			
	細根	小根	中根	計	細根	小根	中根	計	細根	小根	中根	計
0 ~ 10	113	58	200	372	38	35	75	146	78	177	80	355
10 ~ 20	42	35	190	267	54	65	77	196	74	211	253	538
20 ~ 30	44	29	295	369	58	50	168	277	138	350	405	893
計	199	122	686	1,007	150	148	320	619	290	737	739	1,766

注 *印は11年生紅玉で幹の中心から1.5m、**印は20年生国光で2.4m、***印は35年生スターキングで1.7m離れた箇所を掘削したものである。

第10表 サブソイラーの利用が収量及び果実肥大に及ぼす影響

処 理 後 数 年	区 別	火山性土壌A		火山性土壌B		沖 積 土 壌	
		1樹当り 収 量	1 個 平均重	1樹当り 収 量	1 個 平均重	1樹当り 収 量	1 個 平均重
処 理 当 年 秋	サブソイラー	79.3	216	90.0	196	97.7	280
	対 照	65.0	218	100.0	197	85.1	265
処 理 2 年 目 秋	サブソイラー	64.5	213	—	—	—	—
	対 照	61.5	200	—	—	—	—

第11表 爆薬を利用した石灰施用による置換Ca、pHの変化 (火山性土壌)

深 さ (cm)	無 施 用		爆 破 直 上 部 か ら の 距 離											
			左 (cm)						右 (cm)					
			65-60		40-35		15-10		10-15		35-40		60-65	
Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH			
0~5	3.9	4.4	26.9	6.2	26.4	6.7	13.4	6.2	25.4	9.6	34.4	7.6	16.1	6.4
10	2.0	4.1	16.6	5.2	19.3	8.3	11.4	6.7	29.5	7.2	12.0	6.8	13'6	6.4
15	1.2	4.2	10.9	4.8	23.0	7.8	20.4	7.2	42.1	7.9	14.4	7.7	12.4	5.8
20	0.9	4.3	12.2	4.5	17.3	7.4	12.0	6.9	17.0	6.5	3.3	5.7	1.8	4.7
25	0.8	4.3	2.1	4.4	3.9	5.6	14.9	6.5	2.8	5.7	1.6	4.9	1.2	4.7
30	0.8	4.2	1.2	4.3	1.7	5.0	11.8	6.2	2.6	5.0	1.4	4.8	1.0	4.6
35	1.2	4.3	1.3	4.3	1.4	4.6	3.3	5.0	1.4	4.5	1.3	7.7	0.9	4.3
40	1.2	4.4	1.3	4.4	1.6	4.6	1.5	4.6	3.1	5.1	1.1	4.5	1.2	4.4
45	1.1	4.5	1.3	4.5	1.3	4.5	2.2	4.6	5.8	4.8	1.3	4.5	0.9	4.5
50	1.2	4.6	1.0	4.5	1.9	4.6	2.1	4.4	7.5	4.8	1.3	4.5	0.9	4.4
55	3.2	4.8	2.7	4.5	1.1	4.5	2.1	4.3	5.7	4.4	2.4	4.6	1.6	4.5
60	2.4	4.7	3.0	4.7	2.6	4.5	1.9	4.3	5.0	4.7	4.7	4.7	3.9	4.8

Caはm.e, pHはpH (H₂O) で表示した。

第12表 爆薬を利用した石灰施用による置換性Ca, pHの変化(第三紀土壌)

深さ (cm)	無施用		爆破直上部からの距離											
			左 (cm)					右 (cm)						
			65-60		40-35		15-10		10-15		35-40		60-65	
Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	Ca	pH	
0~5	2.3	5.1	8.1	6.3	15.7	7.5	21.3	8.1	15.7	7.6	16.7	7.4	13.1	7.0
10	1.3	5.1	5.3	6.1	11.0	7.0	16.4	7.8	9.3	7.1	12.2	7.2	6.4	6.2
15	2.1	5.2	3.6	5.6	9.6	6.4	8.2	7.7	4.9	6.4	4.5	6.2	3.7	5.6
20	1.9	5.2	2.8	5.3	2.1	5.7	10.2	6.2	3.6	6.0	3.6	5.9	1.8	5.4
25	2.0	5.1	2.3	5.2	2.5	5.4	6.3	6.0	2.7	5.5	2.4	5.4	1.5	5.3
30	1.6	5.0	1.7	5.0	3.9	5.1	2.5	5.4	2.0	5.4	1.9	5.4	1.3	4.9
35	1.9	5.0	1.2	5.0	1.1	5.1	1.9	5.2	2.1	5.4	1.3	5.1	0.8	4.9
40	1.2	5.1	1.1	5.1	1.1	5.1	1.9	5.2	2.6	5.5	1.2	5.1	0.8	4.9
45	2.0	5.2	1.1	5.2	1.5	5.1	1.6	5.3	2.9	5.5	1.4	5.2	0.8	4.9
50	1.8	5.2	1.2	5.2	2.1	5.1	1.4	5.0	2.5	5.4	1.6	5.0	0.8	4.9
55	2.2	5.2	1.3	5.2	2.3	5.1	1.8	5.1	2.2	5.0	1.5	5.2	1.0	4.9
60	2.2	5.2	1.6	5.2	2.6	5.1	1.5	5.1	2.7	5.0	1.5	5.1	1.5	4.9

Caはm.e, pHはpH (H₂O) で表示した。

かるとつれて浅かった。

火山性土壌における置換性Ca及びpHの変化は、爆心直上部から10~15cm離れた部分では、埋戻しをした土壌(飛散部分)の深さより30cm下方の地表下60cmの深さに達し、爆破直上部から60~65cm離れた部分では埋戻しの深さより10cm下方の地表下20~25cmの深さに及んでいた。一方、第三紀土壌のそれは、爆破直上部から10~15cm離れた部分では埋戻しの深さより25cm下方の地表下50cmに達し、爆破直上部から60~65cm離れた部分では埋戻しの深さより10cm下方の地表下15~25cmの深さであった。

爆破後における石灰施用で置換性Caの増加、pHの上昇した範囲は爆破によって生じた飛散部分(埋戻し部分)、再沈下部分、亀裂部分を加えた爆破孔の大きさとはほぼ一致する結果を示し、同一薬量でできた爆破孔の大きい火山性土壌の方が第三紀土壌より広範囲に及んでいた。

イ、爆破に伴う生育阻害

爆破はリンゴ樹根の切断、動揺をうながして、樹勢の衰弱を招くおそれがある。そこで爆破に伴う生育阻害の実態を把握するため、収量及び果実肥大について検討した。調査結果は第13表に示した。

幹から2.5m離れた地点を中心として爆破を行ったところ、火山性土壌では半径80cm、深さ80cm、第三紀土壌では半径75cm、深さ65cmの漏斗型の爆破孔ができた。この爆破孔の外縁部は幹の中心から約1.7mまで近づくことになるが、火山性土壌、第三紀土壌とも爆破区の1樹当たり収量及び1果平均重量は無処理の対照区と大差な

かった。特に、根群分布が浅く、断根障害を受けやすいと思われる第三紀土壌の結果をみると、処理当年では爆破区の1樹当たり収量、1果平均重が対照区より数字的に若干低い値を示していたものの、処理2年目では1樹当たり収量に差がなく、1果平均重量は反対に爆破区の方が大きく、爆破に伴う生育阻害はなかったものと判断された。

第13表 爆薬の利用が収量および果実肥大に及ぼす影響

土 壌	処理年次	区	1 樹 1 樹		1 個
			当たり	当たり	
			着果数	収量	平均重
火山性土壌 (50年生 国 光)	処理当年	爆破区	個	kg	g
		対照区	886	143.5	161
第三紀土壌 (50年生 紅 玉)	処理当年	爆破区	580	91.6	158
		対照区	613	99.3	162
	処 理 2 年 目	爆破区	707	147.0	205
		対照区	811	150.0	184

(3) 考 察

1) サブソイラー利用による石灰施用

石灰施用は土壌と石灰を混合することによって酸性改良の効果があげられることは周知の事実である。この点、サブソイラーの利用は、耕うん機の利用と同一に考えることはできないが、土壌の破碎深耕と同時に石灰施用ができる利点がある。しかし、その効果は機械の能力によって規制され、水平的には破碎溝の広さにより、垂直的には破碎深によって決定されるところが大きい。

この試験でサブソイラーの走行に伴う土壌の攪乱状態を観察したところ、火山性土壌における溝巾は8cmの刃巾より広く12cmに及び、土壌切断面の随所に土くずれがみられるとともに、樹根や草生根にくらつきを与え、溝巾から左右5cm程度まで土壌の攪乱が認められた。しかし、粘着性の強い腐質な沖積土壌では土壌管理法に清耕法を採用していることも加味されてか、粉状質な黒ボクを表面にもつ火山性土壌より水平的に幾分不規則な様相を示した。

サブソイラーの走行と同時に施用した石灰による酸性改良の広がりはこの土壤の攪乱状態とはほぼ一致した結果を示し、火山性土壤、沖積土壤とも溝巾より横方向へ5cm程度の広がりを見せ、沖積土壤の広がり若干不規則な傾向を示した。田中⁴⁰⁾はサブソイラーを利用した石灰施用を試みたところ、横への広がりには走行部位が主であり、せいぜい列の中心から10cmまでの酸性改良が予想され、20cm地点ではほとんど改良されていなかったと述べている。この試験結果でもほぼ同様の結果が得られ、サブソイラーの破砕深を30cmにした場合の酸性改良範囲は、垂直的には破砕深より10~15cm下方まで改良されて地表下40~45cmに及んだが、水平的には1回の走行で溝巾を含めて20cm程度であった。

これらの結果から伺われるように、サブソイラーを利用した石灰施用では、表面施用に比べ下方改良は大きいですが、水平改良をはかるためには、サブソイラーの走行回数をかなり密にしなければ効果をあげにくいことが指摘できる。

2) 爆薬利用による石灰施用

爆破によって生じた孔は、土壤が飛散した部分(飛散部)、掘り上げられて再び沈下した部分(再沈下部)、亀裂を生じた部分(亀裂部)の3つに区分することができる漏斗型を形成している。この爆破孔の土壤断面における土壤硬度は、筆者²⁹⁾の調査によれば、再沈下部では山中式硬度計で平均的に10前後の値を示しているが、部位によっては硬さを感じないほど膨軟化し、その下層の亀裂部でもかなり軟らかくなっている。

このような爆破孔を軽く埋戻して整地後に石灰施用を行ったところ、比較的短期間の処理6か月後に、爆破孔の断面形態及び土壤物理性の変化とはほぼ一致する範囲まで酸性改良の効果がみられた。このことは、爆破による土壤の膨軟化は同時に粗孔隙量を増加させ、雨水の滲透を容易にする一連の土壤物理性の改善が石灰の滲透移行を促進したものと推察することができる。しかし、下層土の密な第三紀土壤は火山性土壤よりも酸性改良の広がり小さく、特に、石灰の垂直滲透による改良深度が、爆心直上部及び爆心部から離れた各部位とも10cm位浅い結果を示していた。相馬²⁷⁾はリンゴ園で爆破実験を行い、希望する大きさの植穴をつくるには、火山性土壤より下層土がち密で有効土層の浅い第三紀土壤では爆薬量を多く必要とするとしている。この実験でも同様の傾向を示し、地表下50cmに100gの黒カーリットをそう入して爆破を行ったところ、火山性土壤では威力半径(爆破孔の地表面半径)80cm、深さ(爆心部直下)80cmの孔ができ、第三紀土壤では威力半径75cm、深さ65cmの孔であり、この爆破孔の大きさがそのまま酸性改良の広がりには反映したものとみることができる。

爆破による石灰施用効果については長野県のリンゴ園における成績⁴⁰⁾、安酸⁴¹⁾のナン園での成績があり、ともにその利用性の大きいことが判明している。この試験でもまた同様の成果を得ることができたと言えよう。とりわけ、第三紀土壤では、下層土がち密で有効土層が浅く、傾斜地に分布し大型機械の導入が困難なことを考え合えると、爆薬を利用した石灰施用は土壤の酸性改良と同時に下層土の物理性をも改善できる有効な手段として評価することができる。

3) サブソイラー及び爆薬の利用と生育阻害

成木リンゴ園で石灰施用にサブソイラーや爆薬を利用した場合、リンゴ樹根の切断は避けられない。同時に断根によって養水分の吸収が妨げられ、樹勢が衰弱して収量品質に悪影響を及ぼすことが懸念される。したがって、実際には幹からある程度の距離を保ちながらサブソイラーの走行位置、爆薬のそう入位置を決定しなければならない。

サブソイラーによる石灰施用は、樹列に沿って行ったがその走行位置は、樹勢の弱い火山性土壤乾燥型の11年生紅玉では幹の中心から1.5m離れた地点を、すでに成木に達している火山性土壤排水不良型の20年生国光では2.4m地点を、根群分布の深い沖積土壤植質型の35年生スターキングでは1.7m地点を走行させた。その結果、処理当年の収量及び1果平均重量は各土壤とも無処理樹と変りなく、最も有効土層が浅い火山性土壤乾燥型は表層部、下層部ともかなりの断根量を示したにもかかわらず、2年目の収量果実肥大も無処理樹と変りなく生育阻害を認めなかった。

また、爆薬による石灰施用の爆破位置は、火山性土壤、第三紀土壤とも樹列に沿って幹から2.5m離れた地点を爆破した。このときの土壤攪乱は幹から2.0m離れた地点あたりまで、30cmの破砕深で走行したサブソイラー並みの断根量になったものと推察されるが、処理当年の収量及び1果平均重量は両土壤とも無処理樹と変りなかった。特に、下層土がち密で有効土層の浅い第三紀土壤は、2年目のそれも処理当年と同様の結果を示し、生育阻害を認めるまでに至らなかった。

この2つの試験はリンゴ樹が養水分の吸収が盛んになる5月中、下旬に実施したものであるが、その結果を要約すると、リンゴ樹の片側処理では、10年生前後の若木で幹の中心から1.5m離れた地点、成木では火山性土壤と、第三紀土壤が2.0m程度、深い沖積土壤では1.5m程度離れた地点まで近づけても生育阻害はないことを表わしている。

そもそも、サブソイラーや爆薬の利用による生育阻害の発現は、根の分布状態によって大きく影響される。相馬²⁶⁾及び青森県りんご試験場⁵⁶⁾⁷⁾が40年生前後の成木を

対象として調査した主要土壌統と根群分布の成績から、いま、幹の中心から半径2.0mを越えた部分の根群分布率をまとめてみると、第14表のとおりであり、根群分布は

第14表 土壌型と根群の水平分布率(青り試)

土 壌	深 さ	全根水平分 布率(%)		小根水平分 布率(%)	
		半径 0~2m	半径2 m以上	半径 0~2m	半径2 m以上
火山性土壌	全 層	79.3	20.7	61.8	38.2
	0~30cm	44.9	16.9	31.6	25.8
第三紀土壌	全 層	89.8	10.2	55.4	44.6
	0~30cm	73.2	8.1	30.6	44.6
沖積土壌	全 層	88.0	12.0	43.4	56.6
	0~30cm	54.6	0.2	9.3	1.3

土壌型によって著しい違いがある。これらの成績から単純にサブソイラーや爆薬を利用する場合の断根量を想定することはできないが、幹の中心から2.0m離れた地点の片側処理では、サブソイラーの破碎深、爆破孔の大きさより、ある程度は下層の断根につながるとしても、火山性土壌や第三紀土壌では1樹当たり断根量は全根量に対しては数%以内、活動的な小根の断根量では1樹当たり小根量の10%以内にとどまり、深い沖積土壌では全根、小根ともその断根量は極く少量に過ぎないと見込んで差支えないであろう。このことは、サブソイラーを利用した石灰施用における断根量が少なかったことから伺うことができる。

リンゴ園土壌における石灰の表面施用は、下層土の酸性改良に長年月を要する現状からすれば、できるだけ深層改良のできる方法を見出すことが必要であり、表面施用だけでは酸性改良が難しい。この点、石灰施用にサブソイラーや爆薬を利用し、断根による生育障害を回避しながら広範囲に酸性改良をはかるには、リンゴ樹の周囲を片側ずつ改良する方法が最も効果的であると言えよう。したがって、成木リンゴ園では樹列ごとに、若木園では樹令とともに利用範囲を外側に拡大する耕起区分を設定し、年次計画を立てて実施すればその利用場面がかなり大きいことがこの試験から明らかになった。このことから、サブソイラーや爆薬に限らず、リンゴ農家が所有している大型トラクターを利用すればより効率的に酸性改良ができ、同時に、有機物の大量施用など総合的な土壌改良が可能なが見された。

(4) 摘 要

サブソイラー利用による石灰施用の効果については、1967年、1968年の二年に亘り火山性土壌の2園地と沖積土壌の1園地で検討した。また、爆破整地後における石

灰施用の効果については、1967年、1968年にかけて火山性土壌と第三紀土壌の各1園地で実験を行った。結果を要約すると次のとおりである。

1) サブソイラー 利用による石灰施用で処理6か月後におけるpH上昇効果は置換性Caの増加範囲よりも若干小さかったが、垂直的には各園ともサブソイラーの破碎深30cmより10~15cm下方の地表下40~45cmまで認められ、水平的には破碎溝(巾12cm)より左右5cm程度であり、1回の走行で巾20cmに亘ってpHが上昇していた。火山性土壌と沖積土壌のpH上昇範囲は大差なかったが、沖積土壌の方が水平的に幾ぶんむらがあった。

2) 爆薬利用による石灰施用で処理6か月後における置換性Caの増加範囲、pH上昇範囲は爆破によって土壌断面形態が変化した爆破孔の大きさとほぼ一致していた。すなわち、火山性土壌では、爆破直上部から左右10~15cm離れた部位では地表下55~60cm下方まで、直上部から左右60~65cm離れた部位では地表下20~25cmまでpHが上昇した。また、第三紀土壌においては、爆破直上部から左右10~15cm離れた部位では地表下50cmに達し、直上部から60~65cm離れた地位では地表下15~25cmまでpHが上昇していたが、火山性土壌より改良範囲が小さかった。

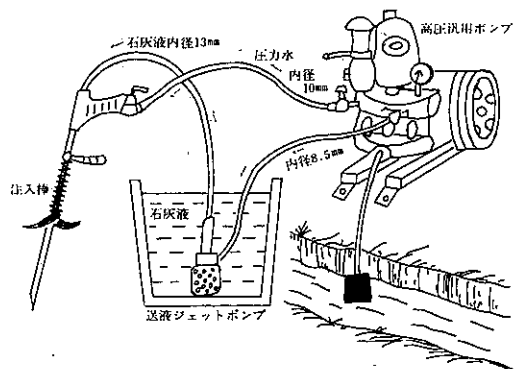
3) 石灰施用にサブソイラー並びに爆薬を利用した実験例から、成木の片側処理に伴う生育障害を検討したところ、サブソイラーの破碎深30cmに相当する深耕が、火山性土壌及び第三紀土壌では幹から2.0m程度離れた地点、沖積土壌では1.5m程度離れた地点であれば生育障害を引き起さないものと推察された。

3. 圧力水利用による石灰の注入施用

(1) 試験方法

この方法は石灰懸濁液を高圧ポンプの圧力を利用して注入棒から吐出させ、その吐出圧力で土壌をせん孔しながら石灰肥料を土中深く施用する方法である。

試験は第10図に示すように高圧ポンプ、送液ジェット



第10図 高圧汎用ポンプを利用した注入方式

ポンプ、圧力水と石灰液の2本の送液ホース、それに注入棒を組み合わせた石灰注入機を使用して実験を行った。この注入機はポンプの中を石灰懸濁液が通過すれば磨耗が激しいので特殊ジェットポンプから石灰懸濁液が注入棒に送液される。したがって、注入棒の吐出口では別に送られてきた圧力水と合流して土壌をせん孔する方式を採用している。吐出時の石灰懸濁液と圧力水の割合は1:3であるが、注入棒からの吐出水圧は $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ で、吐出水量は1秒間当たり約 300ml である。

1) 注入方法の検討

注入法の石灰濃度、注入間隔、注入時間を決定するため、1966年5月に沖積土壌植質型の圃地で実験を行った。

試験は注入棒からの吐出時における消石灰濃度(石灰懸濁液では30%)で7.5%石灰液を1孔当たり7秒間注入した区、3.75%石灰液を14秒間注入した区、7.5%石灰液を14秒間注入した区の3区をつくり、それぞれの地表から40cmの深さまで注入棒をそう入して注入施用を行った。

土壌分析は処理6か月後に注入孔から横方向と垂直方向へ5cmごとに採土して、無処理土壌と比較した。分析は置換性Ca、pHとも前記1—(1)—(1)の項と同様の方法で行った。

2) 注入施用による酸性改良効果の確認

1967年5月、火山性土壌(弘前市小沢)、沖積土壌(藤崎町白子)、第三紀土壌(平賀町唐竹)の3土壌型を選んで試験を行った。火山性土壌は表層が40cmの黒ボクで被覆され、中層の浮土層を経て、地表下70cmに凝灰岩質のち密な植土層が堆積している土壌である。沖積土壌は表層から下層まで植土からなり、有効土層が深い土壌である。また、第三紀土壌は表層が暗褐色の植質土で、下層は地表下25cmから凝灰岩質のち密な土層となっている。

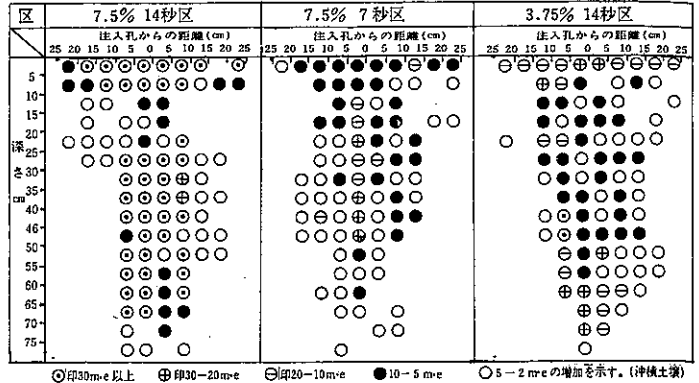
石灰の注入方法は、樹冠下 25m^2 を注入間隔30cm、注入深度40cmとし、消石灰濃度を7.5%(吐出時)として1孔当たり7秒間の注入を行った。この方法では 25m^2 当たり 60kg の消石灰の施用量となる。

土壌分析は前記1)の場合と同様の方法で行った。

(2) 試験結果

1) 注入方法の検討

石灰濃度、注入時間及び注入間隔の決定をはかるた



第11図 注入施用に石灰濃度と注入時間を異にしたCa含量の増加

め、石灰濃度と注入時間を組み合わせた3区をつくり実験を行った結果を第11図に示した。

石灰濃度、注入時間の相違による置換性Caの増加範囲は、石灰濃度7.5%14秒区、3.75%14秒区、7.5%7秒区の3区とも大差なく、垂直的には注入棒をそう入した深さ40cmより30cm下方の地表下75cmに達し、水平的には地表部分を除いた部位でも、注入孔から25cmの距離に及んでいた。特に、地表下60cmの深さを目安とした水平方向への置換性Caの広がりをみると、3区とも注入孔から10cm以内の距離ではその大半が顕著な増加であり、10~15cm離れた部分では多少のむらはあるものの増加した部分が多い。15cmを越えた距離では増加部分は急激に減少していた。

しかし、処理前の土壌より乾土100g当たり20m.e.の過大な置換性Caが増加した部分を試坑断面の面積から求めると、7.5%14秒区では地表部分と注入孔から水平方向へ10cm以内の大部分が過大に増加した部分で占められ、3.75%14秒区では地表部分と注入棒のそう入深である地表下40cm以下に過大に増加した部分が多くみられた。この2区に比べて7.5%7秒区は地表下40cmの注入孔附近に過大に増加した部分がみられる程度で、垂直的にも水平的にも濃度むらが緩和され、少ない水量で改良効果をあげることができた。

2) 注入施用の酸性改良効果

火山性土壌、沖積土壌及び第三紀土壌を対象とし、石灰濃度7.5%、注入時間7秒で石灰の注入施用を行い、処理6か月後における置換性Caの増加、pHの上昇を検討した結果を第12、13図に示した。

置換性Caの増加は注入孔に近いほど増加量が多く、遠ざかるにつれて少なかった。また、土壌的には火山性土壌及び第三紀土壌より沖積土壌の増加量が多かった。この置換性Caの増加範囲をみると、水平的にやや不規則ではあるが各土壌型とも注入孔を中心とした半径15cmに及び垂直的には火山性土壌、第三紀土壌とも注入棒のそ

土壌の深さ (cm)	火山性土壌						第三紀土壌						沖積土壌								
	注入孔からの距離 (cm)						注入孔からの距離 (cm)						注入孔からの距離 (cm)								
	15	10	5	0	5	10	15	15	10	5	0	5	10	15	15	10	5	0	5	10	15
0-5	○	○	●	○	○			●	○	○	●	○	○		○	○	○	○	○	○	○
10		○	○	○	○				○		○				○	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
25	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
30	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
35	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
45	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
50	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
55	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
60	○	○	○	○	○			○							○	○	○	○	○	○	○

○印、●印、○印は各々無施用に比べてCa含量20m.e以上、20-10m.e、10-5m.e、5-1m.eの増加量を示す。

第12図 石灰の注入施用による置換性Ca含量の変化

土壌の深さ (cm)	火山性土壌						第三紀土壌						沖積土壌								
	注入孔からの距離 (cm)						注入孔からの距離 (cm)						注入孔からの距離 (cm)								
	15	10	5	0	5	10	15	15	10	5	0	5	10	15	15	10	5	0	5	10	15
0-5	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
25	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
30	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
35	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
45	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
50	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
55	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
60	○	○	○	○	○			○							○	○	○	○	○	○	○

○印、●印、○印は各々無施用に比べてpH1.0以上、1.0-0.5、0.5-0.2の上昇を示す。

第13図 石灰の注入施用によるpH (H₂O) の変化

う入深より15cm程度下方の地表下55~60cmであったが、沖積土壌では更に深かった。

また、pHの上昇は置換性Caの増加傾向とほぼ一致していたが、pHの上昇程度は垂直的にも水平的にも沖積土壌の方が火山性土壌及び第三紀土壌より著しかった。いま、注入孔を中心に直径30cm、深さ60cmの試坑断面積1,800cm²のうち、pH値0.2以上の上昇を示した部分は火山性土壌で83%、沖積土壌で96%、第三紀土壌では78%を示し、pH値0.5以上と顕著な上昇を示した部分は火山性土壌で50%、沖積土壌で82%、第三紀土壌では51%を占めていた。

(3) 考 察

リンゴ園土壌における酸性改良を目的とした石灰施用を効果的に行うには、根群分布の多い樹冠下から始めることは当然のことである。青森県りんご試験場⁵⁾⁶⁾⁷⁾で主要土壌統の根群分布について調査した成績によると径5mm以下の小根の水平分布は、火山性土壌及び第三紀土壌で

は幹の中心から半径3m (28m²)に1樹当たり小根量の85%前後が分布し、深い沖積土壌のそれは約60%に及ぶことを明らかにしている。したがって、土壌酸性の害を排除するには幹に近い根圏土壌の改良が先決となる。しかし、幹に近い樹冠下ほど耕起に伴う断根障害を起こす危険性が多く、深く耕うんできないから酸性改良は容易でない。この点、石灰の注入施用は断根のおそれがなく、一挙に、深層まで酸性改良が期待できることから、樹冠下の酸性改良に適用する方法として検討した。

まず、注入間隔と吐出時の石灰濃度を決定するため沖積土壌で試験を行った。その結果は注入時間すなわち水量を多くしたとしても短時間のうちでは石灰液の分散に限度があり、水量の多い石灰液濃度7.5%14秒区、3.75%14秒区の2区と、石灰液濃度7.5%7秒区との間に酸性改良の広がりには差がなく、3区とも注入孔から横方向へ25cmまで酸性改良した部分を認めたものの、改良効果の著しい部分は15cm程度にとどまっていた。つまり、注入深40cmで1孔当たりの注入時間を長くしても地表面にあふれ出る水量が多く、石灰の分散も地表部に多かった。また、石灰液濃度7.5%の14秒区は同一石灰液濃度の7秒区より注入孔から横方向へ10cm程度まで置換性Caが過大に増加した部分が多かった。これらの結果から、高圧ポンプの圧力水を利用し、毎分約18ℓの液量を注入する方法は、石灰濃度7.5%で注入時間を1孔当たり7秒程度に

した方が石灰の分散が過度になることが少なく、注入間隔は30cm程度が適当であることがは握された。

次いで、樹冠下25m²に60kgの消石灰を全吐出量800ℓに溶解し、1注入孔当たり移動時間の2秒を含めて注入時間を9秒とみなし、30cm間隔で注入することを想定しながら、青森県下の主要リンゴ園土壌である火山性土壌、第三紀土壌、沖積土壌について注入法の効果確認を試みた。その結果は各土壌とも深層まで、注入孔からの半径15cm程度まで酸性改良の効果は確認することができたが、改良効果(pHの上昇)の程度は土壌の種類(母材)によって多少異なる様相を示した。すなわち、火山性土壌及び表層土に黒ボクを混入している第三紀土壌の改良効果は沖積土壌に比べ、質的に若干弱い傾向を示していたが、この差異は火山性土壌の粗孔隙量が大きいにもかかわらず、pH緩衝能が大きいことがあげられよう。また、注入棒を地表下40cmにそう入した場合の下層の改良深度は火山性土壌及び第三紀土壌よりも沖積土壌の方が深か

った。このような差異を生じた原因は、下層土が軟らかく透水性の大きい沖積土壌の方が、下層土にも密で透水性の小さい凝灰岩質土壌を有する火山性土壌と第三紀土壌よりも石灰浸透が容易に行われたものと考えられる。

そもそも、注入施用による石灰の分散は水量が多ければ多いほどその分散は大きいものと考えられる。粗孔隙の多い火山性土壌と表層土に黒ボク土壌を混入する第三紀土壌では粗孔隙の少ない沖積土壌よりも水量が多くなれば同じような改良効果が期待できないものと考えられやすい。しかし、実際には、各土壌とも25㎡当たり800ℓの注入量でありながら、1注入孔当たり7~10秒の注入時間を越えると、注入孔からあふれ出る石灰液が多かったことから推察するに、注入施用で瞬間的に石灰液を分散できる範囲は、必ずしも土壌個々の粗孔隙の全量に左右されることなく、むしろpFゼロに近い粗孔隙量に左右されたものと考えられ、土壌の違いによる横方向への分散がそれほど大きな差異を示すに至らなかったと言えよう。

他方、pH緩衝能は地質母材によって著しい相違がある。いま、樹冠下の25㎡を対象とし、pH(H₂O)4.5から6.0まで上昇させるに必要な石灰量をこの試験で得られた改良深度を考慮して試算すると、火山性土壌は表層の黒ボク、次層の浮石層を合わせた深さ60cmで70kg、第三紀土壌で深さ60cmで65kg、沖積土壌では深さ80cmで50kgとなる。このような、地質母材の性質の相違が改良程度に大きく反映したものと推察される。したがって、期待する効果をあげるには、母材の緩衝能、pH、仮比重(土量)、更には改良深度を考慮しながら、注入施用の石灰施用量を決定する必要がある。

いずれにしても、従来から行われて来た石灰の表面施用では、下層土の改良に長年月と多くの労力を要することを考え合わせると、この注入法は大量の水を必要とする欠点があるものの、一挙に下層まで改良できる利点を明らかにすることができた。

(4) 摘 要

1966年と1967年の両年に亘って、火山性土壌、第三紀土壌、沖積土壌を対象とし、高圧汎用ポンプの圧力水を利用した石灰の注入施用による酸性土壌の改良効果について検討したところ、次のような結果を得た。

1) 注入棒からの吐出時の石灰濃度で7.5%7秒間注入区、濃度3.75%14秒間注入区、濃度7.5%14秒間注入区の3区をつくり、処理6か月後に置換性Caの増加範囲を比較したところ、改良効果の認められた横方向への広がり半径15cm程度で3区間に差がなく、石灰濃度7.5%/7秒間注入区が置換性Caの増加に比較的むらがなく実用的であった。

2) 注入条件を石灰濃度7.5%、注入時間を7秒とし、注入深を40cmとして火山性土壌、第三紀土壌、沖積

土壌の改良効果を比較したところ、処理6か月後における置換性Caの増加範囲及びpHの上昇範囲は、水平的には半径15cm程度で土壌間に差がなかったが、酸性改良効果(pH上昇値)は沖積土壌より火山性土壌、第三紀土壌の方が幾ぶん弱かった。また、垂直的には下層にも密な土層をもつ火山性土壌及び第三紀土壌で地表下60cm程度にとどまったが、沖積土壌はこの2土壌よりかなり深かった。

4. 噴射式注入機による石灰施用

(1) 試験方法

噴射式注入施用は土木工法を改良したものであるが、超高压発生装置(200~250kg/cm²)に送られた石灰乳(30~50%)が1ロッド(注入棒)に付着している2個のノズルから、注入棒の回転に伴って円板状に強制噴射される方法である。

ここでは、日東化学工業株式会社製噴射式注入機“ソイルパワー”(以下噴射式注入機と呼ぶ)を使用して試験を行った。

1) 噴射式注入施用に伴う生育阻害の検討

噴射式注入機のノズルから横方向へ強制噴射される石灰液によって、リンゴ樹の生育阻害が懸念されるので、1974年5月、青森県りんご試験場1号園B7号圃場の成木2樹を供試して試験を行った。

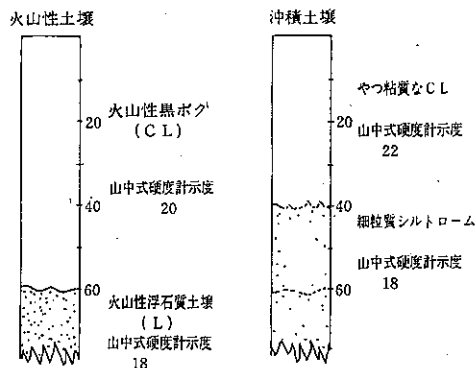
試験圃場は、表層が35~40cmの火山性黒ボク土壌にて被覆され、下層に砂れき土が厚く堆積しているが、実験では注入棒に6個のノズルを10cm間隔に配置した噴射式注入機を使用し、幹の中心から半径2.5m以内の樹冠下6か所に注入を行った。1孔当たり注入量は50%若土石灰液で20ℓとした。

石灰液の注入に伴う生育阻害のは握は、樹根の損傷程度を観察するとともに、処理当年及び次年度の収量と果実肥大について検討した。

2) 噴射式注入施用による石灰の浸透移行及び土壌pHの変化

注入棒に付着している2個のノズルから、地表下20cm部位を40cm部位に噴射させる注入機を使用して試験を行った。

試験は南津軽郡浪岡町(火山性土壌)と北津軽郡鶴田町(沖積土壌)の2か所で行ったが、園地の土壌断面は第14図のとおりであった。すなわち、火山性土壌は表層0~60cmが黒色腐植質火山灰層(黒ボク)の埴壤土CLであり、次層(60cm以下)は火山性浮石層の砂壤土SLであった。沖積土壌は岩木川流域の川原地帯に堆積した土壌で、表層0~40cmまでは埴壤土(CL)であったが、40cm以下はやや粗粒質なシルトローム(SiL)からなっていた。両土壌とも硬い土層はみられず、山中式硬度計示度で20~22を示した。1975年6月、250ℓに250kgの



第14図 供試土壌の断面図

炭カル(アルカリ度53%)を溶解させ(以下これを50%濃度・懸濁液と呼ぶ), 1注入孔当たり, 25ℓの懸濁液(炭カルとして12.5kg)を注入したが, 1樹当たりの施用量は樹冠下の4か所に行ったので, 50kgとなった。

噴射注入後の調査は, 石灰の噴射範囲及び滲透移行状況をは握するため, 注入樹と無処理樹の置換性Ca含量を比較検討した。採土は処理当初, 処理1年後, 処理3年後に行ったが, その区分は距離別, 深さ別とも5cmごとにした。また, 分析方法は前記1—(1)—(1)の項と同様の方法で行った。

(2) 試験結果

1) 噴射式注入施用に伴う生育阻害の検討

石灰液の強制噴射は, 直接的に樹根を損傷するおそれがあるので, 先ず, 噴射注入の直後に, 1樹当たり2か所ずつ試抗し, 5~15mmの中根を主に損傷程度を観察したが, ほとんど外傷が認められなかった。

また, 噴射時の土壌攪乱に伴って細根の切断が心配されたので, 噴射注入が収量及び果実肥大に及ぼす影響を検討したところ, 第15表に示すような結果であった。

第15表 石灰の噴射注入が収量, 果実肥大に及ぼす影響

処理	樹No	処理当年(1974)			処理翌年(1975)		
		個数	重量 kg	1果平均重 g	個数	重量 kg	1果平均重 g
噴射入	1	787	220.1	280	842	240.7	286
	2	970	216.3	223	992	210.1	212
無処理	1	999	195.7	196	495	136.4	276
	2	820	191.4	233	769	211.6	275
	3	726	140.3	193	430	100.3	233
	4	328	75.4	230	389	101.4	261

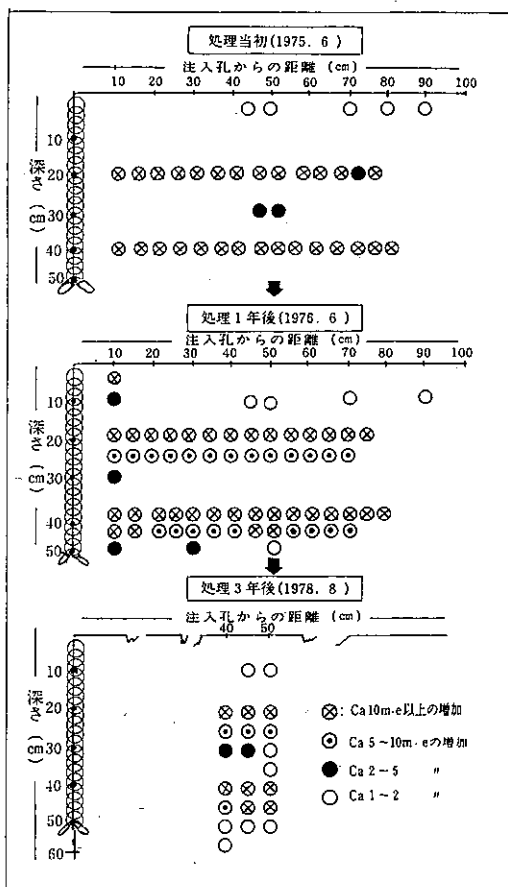
注 供試品種は恵である。

すなわち, 1樹当たり収量及び果実肥大は, 調査樹によって多少異っているが, 噴射注入を行ったリンゴの収量及び1果平均重量は, 処理当年, 次年度とも, 対象樹のそれとほとんど変わりなく, 生育阻害が認められなかった。

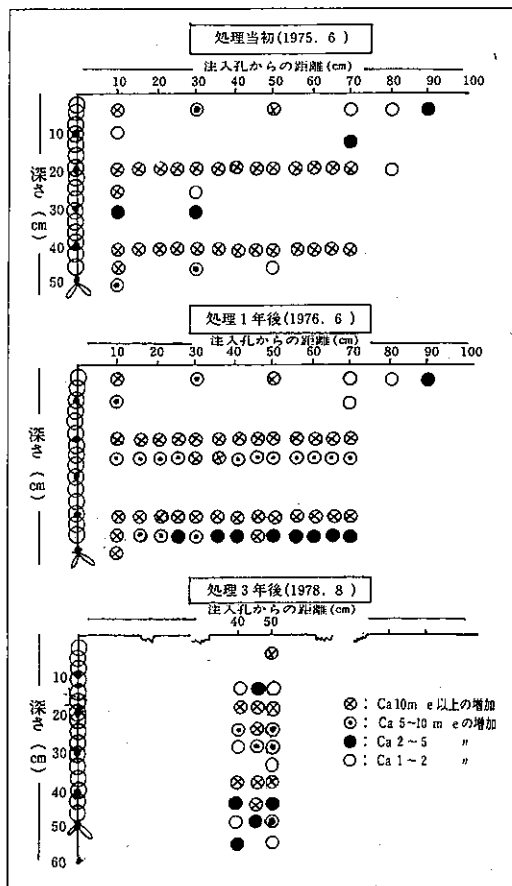
2) 噴射式注入施用による石灰の滲透移行及び土壌pHの変化

噴射式注入機を使用して, 注入1孔当たり25ℓ(炭カルとして12.5kg)を施用したときの置換性Caの増加範囲並びにその後の経年変化は第15図と第16図のとおりであった。

これによると, 処理当初の置換性Ca含量の増加範囲は, 火山性土壌, 沖積土壌とも垂直的には強制噴射された地表下20cm部位と40cm部位で認められるに過ぎなかったが, 水平的な広がりでは火山性土壌では注入孔からの半径80cm位, 沖積土壌では注入孔からの半径70cm位であった。また, その増加程度は無処理区に比べ, 10ミリグラム当量(m.e)以上の増加量を示した(⊗印)。



第15図 噴射式注入施用によるCa含量の変化(火山性土壌)



第16図 噴射式注入施用によるCa含量の変化
(沖積土壌)

処理1年後には、注入孔からの距離別、深さ別とも5cmごとに土壌を採取して垂直的な置換性Ca含量の増加状況を検討したが、両土壌とも処理当初よりも地表下25cmと地表下45cmの地点で増加範囲の拡大がみられた。すなわち、処理当初よりも5cmくらいの方下滲透がみられたが、その大多数は置換性Ca含量で5~10m.eの増加量を示した(⊙印)。

処理3年後における置換性Ca含量の増加状況の把握は、深さ別では5cmごとにしたが、水平的には注入孔から40cm、45cm、50cm部位に限って検討した。その結果は、地表下35cmと地表下55cm附近で若干の増加むらがあったものの、総じて、処理当年の噴射部位である地表下20cmから40cmの間においては、1~2m.eの増加量(○印)と2~5m.eの増加量(●印)によって、その間がつながる傾向を示し、また、地表下40cm以下でも下方へ10~15cmは同様の増加傾向があった。すなわち、噴射式注入施用では、処理してから3年くらい経過すると地表下20cmから60cmまでの置換性Ca含量の増加傾向が著し

かった。

(3) 考 察

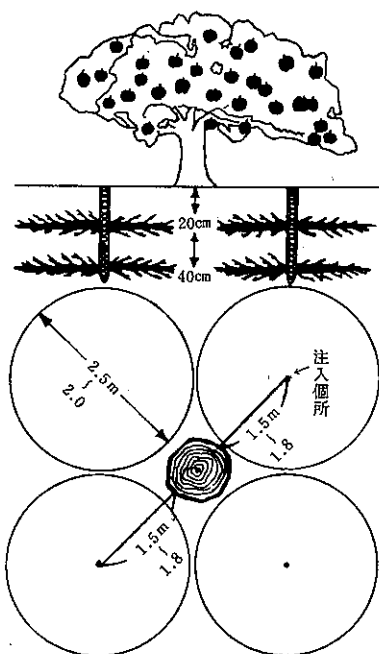
リンゴ園における酸性土壌の改良方法としては、樹冠下部分の改良が行われやすいこと、すなわち、断根障害を少なくして、深層まで一挙に改良できる技術が望ましい。前述した圧力水による石灰施用はこの目的を満し得る技術であることが判明したが、1樹冠下(25㎡)を改良しようとするれば、約1,000ℓ近くの多量の水を必要とすること、また30分~1時間の所要時間が必要であることなどの欠点がある。

こうした観点からすれば、石灰の噴射式注入施用は、1樹冠下の改良のために、100ℓ程度(25ℓ×4穴)の水量でよく、また、所要時間も3~5分程度で実施できる利点があるので、その実用性について検討を加えることにした。

この試験では、まず、石灰液の強制噴射に伴う生育障害の有無を検討したが、超高圧による石灰液の噴射を行っても、円形の樹根では損傷する機会が少なく、果実生産を阻害する程度の危険性がほとんどないことを確認した。次いで単純に耕起できない樹冠下土壌を、できるだけ広範囲に改良するため、石灰液の噴射位置を地表下20cmと40cmにして注入施用を行い、その後における石灰の滲透移行状況を調査した。結果は、細根分布の多い地表下20~60cmの土層を、3~4年間で目標とする酸性改良が可能になったことが明らかになった。このことは、地表下50~60cmまでの主要根圏を改良するに、石灰の表面施用では、通常、10数年の長年月を要することを考え合わせると、その実用性が高いと評価できる。特にふじ、スターキングが主力品種となった最近のリンゴ栽培では、この方法の活用が粗皮病の治療並びに発生予防、地力の向上に伴う施肥の合理化に利用し得るところが大きい。

しかしながら、噴射式注入施用機は、1,000ℓ用スปีドスプレー並みの大型車であり、幹から1.2~1.5m以上に離れなければ走行できない。通常、第17図のように、注入場所は、幹から対角線上にて約1.5m離れた場所に注入施用すれば理想的である。もしも、横の広がり(分散)が小さければ、酸性の改良面積が小さく、注入個所数を多くしなければならぬ。その広がり、噴射時間、噴射圧力など機械構造や水量、石灰濃度などに左右されることも大きい。土質的には、硬さ、粗孔隙量などが関係する。火山性土壌と沖積土壌で行ったこの実験の場合でも、山中式硬度計で22の値をもつ沖積土壌の方が、20の値をもつ火山性土壌よりもやや少ない広がりであった。

したがって、傾斜地リンゴ園のように、地表下40cm以内に密な土層が出現するところでは、注入個所を多くする等、実際場面での工夫が必要であるが、一般的には処理3~4年位の短期間で主要根圏の改良が可能である



第17図 噴射式注入施用の注入位置

こと、しかも、大面積の改良がしやすい利点があることなどを考え合わせると、今後、青森県内リンゴ園での利用場面が大きいものと推察される。

(4) 摘要

噴射式注入機による石灰施用の実用性を明らかにするため、噴射に伴う生育阻害の有無、酸性改良の効果を検討したところ、次の結果を得た。

1) 石灰液の強制噴射は、樹根を損傷することなく、収量及び1果平均重量も無処理樹と変わりなく、生育阻害を認めなかった。

2) 噴射式注入機を利用し、石灰液を地表下20cm部位と40cm部位に円板状に注入したときの水平的な広がりを見ると、火山性土壌では注入孔から半径80cm位、沖積土壌では注入孔から半径70cm位であった。また、Caの下方浸透効果を見ると、両土壌とも処理1年後では施用位置より5cm位、処理3年後では施用位置より15~20cmの深さに及んでいる。

Ⅳ 石灰の注入施用による粗皮病の回復効果

リンゴ枝幹部の生理障害である粗皮病の発生は、土壌の強酸性化がその背景になっている。したがって、その土壌対策として、従来から石灰の表面施用が行われてきたが、粗皮症状の回復が思うように進展しない場合が多い。そこで石灰の注入施用による粗皮病の回復効果を検討した。

1. 試験方法

(1) 粗皮病の症状回復効果

1) 1967年処理の場合

1967年5月、弘前市小沢地区の台地上リンゴ園で、表層が黒ボク土壌にて被覆され、中層の浮石層を経て、下層に密な埴質土が堆積している火山性土壌を対象とし、石灰の注入施用による粗皮病の回復試験を行った。

試験は粗皮症状の著しい樹齢30年生前後のスターキングデリシャスを供試し、消石灰を注入施用した区と表面施用した区の2区をつくり、それぞれ3~4樹ずつ処理した。注入施用は高圧ポンプの圧力水を利用した注入機を使用し、樹冠下の25m²を対象として1樹当たり62.5kgの消石灰を約900ℓの水(石灰液+圧力水)で30cm間隔、深さ40cmまで注入した。表面施用は慣行法にしたがって、1967年5月と1968年4月に消石灰を30kgずつ樹冠下に施用し、表層5cm程度を耕うんした。

粗皮症状の回復判定は生育2年後の1968年11月に行った。調査は1樹当たり4本の結実母枝を選び年次ごとに皮部の亀裂を数えた。

石灰施用に伴う土壌pHの変化は、処理開始6か月後に無処理土壌を含めて調査した。採土は表面施用区と無処理土壌は地表下60cmの深さまで5cmごととしたが、注入施用区は注入孔を中心に横方向へ左右15cm、深さ60cmまでそれぞれ5cmごとに行った。

2) 1968年処理の場合

1968年5月、県下の主要リンゴ栽培地帯から8土壌型を対象として試験を行った。

各調査地における土壌の断面形態及びその特徴は第18図に示した。第三紀土壌は4園地を選んだが、一の渡(弘前市)と唐竹(平賀町)は傾斜の中腹部に、広船(平賀町)と飯詰(五所川原市)は傾斜地下部の平坦地に位置し、ともに表土が浅く、有効土層が浅い土壌である。火山性土壌の浪岡(浪岡町)と下湯口(弘前市)の2園地は台地上の平坦地であるが、下湯口は地下水面の高い排水不良園である。また、沖積土壌は藤崎(藤崎町)と板柳(板柳町)の2園地を選んだが、藤崎は粗粒質な土壌からなって乾燥しやすく、板柳は水田に包囲されて地表下1m以内に地下水面が存在する排水不良園で

土壌断面		PH		腐植 含量	塩基 飽和度	土壌断面		PH		腐植 含量	塩基 飽和度
		H ₂ O	KCl			H ₂ O	KCl				
一の渡 第三紀土壌	黒褐色のCL	5.0	4.3	4.0	27	第三紀土壌	黒褐色のCL	4.8	4.3	3.2	40
	赤褐色のC	4.5	4.1	0.8	23		赤褐色のC (灰炭質)	4.5	4.1	1.2	55
唐竹 第三紀土壌	黒褐色のCL	4.5	4.0	4.6	30	第三紀土壌	黒褐色のC	5.0	4.5	2.1	57
	灰褐色のC (灰炭質)	4.7	4.3	0.9	22		灰褐色のC (泥炭質)	4.5	4.2	0.7	49
浪岡 火山性土壌	黒色火山灰土 (黒ボク)CL	4.6	4.1	13.0	15	火山性土壌 排水不良	黒色火山灰土 (黒ボク)C	4.4	3.7	13.5	20
	黄褐色のS.L (浮石層)	4.5	4.0	0.4	8		灰褐色のS.L (浮石層)	4.3	4.0	0.5	10
	淡褐色のC (灰炭質)	4.6	4.2	0.3	33		灰褐色のC (灰炭質)	4.7	4.2	0.4	40
藤崎 沖積土壌	褐色のL	4.2	3.9	3.1	70	沖積土壌 排水不良	黒褐色のC	4.5	4.0	4.1	81
	黒色のS.L (シルト質)	4.1	3.8	1.8	69		灰褐色のC (淡水面あり)	4.6	4.2	2.0	80

第18図 調査地土壌の断面形態と特徴

ある。

これらの圃地は母材によって pH、塩基飽和度を異にしているが、第三紀土壌は pH (H₂O) が 4.0~5.0、塩基飽和度が 22~57%、火山性土壌の pH (H₂O) は 4.3~4.7、塩基飽和度は 8~20% であり、沖積土壌では pH (H₂O) 4.1~4.6、塩基飽和度は 69~81% で、いずれも土壌の強酸性化が著しかった。

試験は各圃地ともスターキングの粗皮病樹を供試し、樹冠下の 25 m² に 60 kg の消石灰を注入施用した区と表面施用した区の 2 区とした。注入施用は石灰注入機を使用し、吐出時の濃度を約 7% として間隔を 30 cm、深さ 40~60 cm まで注入棒をそう入した。表面施用は表層 5 cm 位を耕うんしながら施用した。供試樹数は各圃地とも 1 区当たり 3 樹ずつとしたが、樹齢は試験開始時で一の渡が 15 年生、唐竹が 30 年生位、広船が 13 年生、飯詰が 8~15 年生、浪岡が 30 年生位、下湯口が 30 年生位、藤崎が 30 年生位、板柳は 15 年生であった。

粗皮症状の回復状況の判定は、処理開始前に症状のみ

られる枝齡 5 年の結実枝を 1 樹当たり 8~10 本ずつ選んでラベルを附し、1968 年春は 2 年枝、1968 年秋には 2 年枝と 3 年枝、1968 年秋には 2 年枝と 4 年枝の皮部に表われた亀裂を数えた。

葉中無機成分含量の検討は、1968 年、1969 年とも 7 月 30 日に新しょう中央葉を採葉して分析に供した。分析葉は採葉直後、スポンジを使用して中性洗剤と 2% 酢酸液で洗い、井戸水と純水ですすぎ、水切りをして中ろくを除き、通風乾燥後、粉碎して分析試料とした。分析は N をセミマイクロケルダール法により、他の成分は、550℃ で灰化した後 1:1 塩酸で溶解して定容とし、P はバナドモリブデン酸黄色法、K はフレイムフォトメーター法、Ca、Mg、Mn は原子吸光光度法により測定した。

(2) 土壌中の Mn 含量の変化

粗皮病は Mn の過剰吸収による生理障害とされているが、各試験地で土壌中の Mn の動きを把握することは注入施用区の場合、試料採取などに困難を伴うことが多いから、火山性土壌は下湯口の試験地から黒ボク土壌を、沖積土壌は板柳の試験地から堆積沖積土壌を場内に搬入して試験を行った。

試験は、1969 年に行ったが、黒ボク土壌、沖積土壌とも消石灰を添加した土壌と無添加の土壌を、それぞれ直径 1 m、深さ 80 cm のコンクリートポットに詰め込み、土壌水分を潤沢に保った区 (湿潤区) とやや適湿に保った区 (適湿区) を設けた。水分管理は試験期間中降雨をさけ、黒ボク土壌は湿潤区を最大含水量の 90% 前後に、適湿区は 50% 前後に保った。

土壌分析は 5 月から 11 月まで月初めに行った。採土は地表下 30 cm の深さまでとし、分析には生土を供試した。分析方法は Jackson の方法²⁵⁾ によって、水溶性 Mn は純水で、置換性 Mn は pH 7.0-N-酢酸アンモニア液で、易還元性 Mn は 0.2% ハイドロキノン含有 pH 7.0-N-酢酸アンモニア液で浸出したものについて測定した。

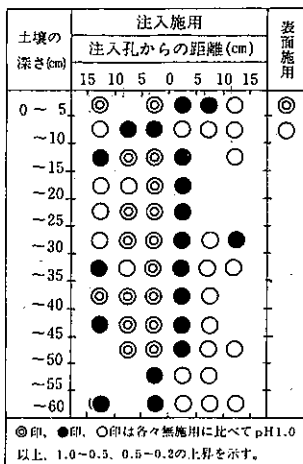
2. 調査結果

(1) 粗皮病の症状回復効果

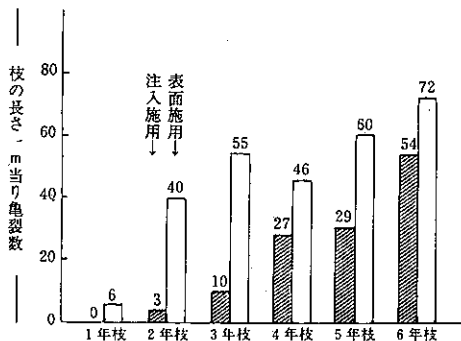
1) 1968 年処理の結果

石灰の注入施用に伴う pH の変化について処理後 6 か月を経過したときに調査した結果を第 19 図に示した。また、注入施用による粗皮症状の回復状況について処理 2 年後 (生育年で) の状態を表面施用と対比して第 20 図に示した。

石灰の注入施用による pH の上昇範囲は、水平的には



第19図 石灰の注入施用による土壌pH(H₂O)の変化(弘前市小沢)

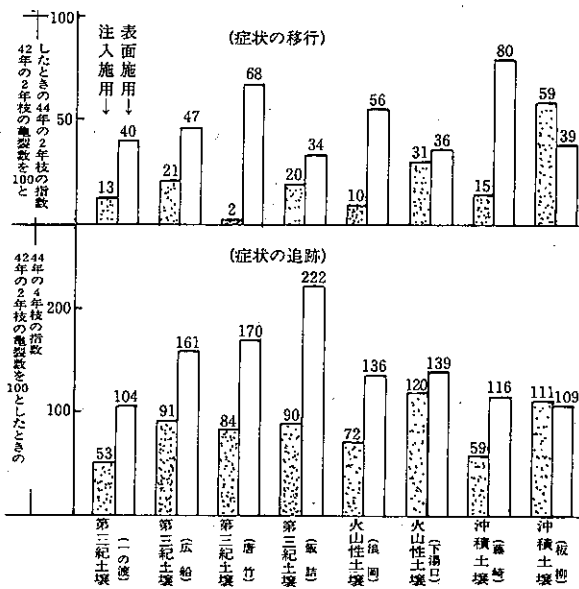


第20図 石灰の注入施用による粗皮病の樹勢回復状況(弘前市小沢)

第16表 土壌型と石灰施用による粗皮症状の回復

土 壤	注 入 施 用					表 面 施 用				
	1967		1968		1969	1967		1968		1969
	2年枝	2年枝	3年枝	2年枝	4年枝	2年枝	2年枝	3年枝	2年枝	4年枝
第三紀土壌(一の渡)	43.0	6.8	37.4	5.6	23.4	34.0	7.1	30.3	23.4	35.2
第三紀土壌(広船)	41.1	32.6	37.6	8.7	37.0	46.3	1.8	39.8	21.6	74.5
第三紀土壌(唐竹)	96.1	4.6	91.9	2.3	81.2	75.1	22.8	94.0	50.7	127.5
第三紀土壌(飯詰)	38.7	13.8	41.2	7.7	34.6	45.6	18.1	53.5	15.5	101.4
火山性土壌(浪岡)	79.6	13.5	87.7	8.2	57.6	61.5	9.9	78.2	34.6	83.7
火山性土壌(下湯口)	50.7	21.9	40.7	15.0	60.8	69.2	34.3	64.2	25.0	96.2
沖積土壌(藤崎)	48.1	8.9	44.3	7.4	28.5	49.8	9.0	74.3	39.8	57.8
沖積土壌(板柳)	54.3	24.8	51.8	32.0	60.3	41.2	23.6	47.3	16.1	44.7

注 数値は長さ1m当たりの亀裂数を表示したもの。



第21図 注入施用による粗皮病の回復状況

やや不規則であるが、ほぼ主要根圏の全域に及び、表面施用のpH上昇範囲よりもはるかに大きく、酸性改良効果が著しかった。このような酸性改良効果が反映して石灰の表面施用区より注入施用区の粗皮症状の回復効果が顕著であった。すなわち、各年枝ごとに枝の長さ1m当たりの亀裂数をみると、各年枝とも注入施用区の方が表面施用区より亀裂数が少なかった。特に処理後に新しく伸長した1年枝及び2年枝、処理当時1年枝であった3年枝の若い枝に対する亀裂の発生が極めて少なく、経年時に若い枝へと移行する粗皮症状の軽減が顕著であった。

2) 1969年処理の結果

土壌条件の異なる8園地で石灰の注入施用と表面施用による粗皮症状の回復状況を比較した結果を第16表および第21図に示した。

粗皮病樹では、その症状が年々若い枝へと移行するとともに、枝齢が古くなるにつれて症状が激しくなることが多い。このような観点に立って、石灰の注入施用、表面施用に伴う粗皮症状の回復状況を検討した。

粗皮症状の移行について

て、処理開始時の2年枝における長さ1m当たりの亀裂数と処理2年後(生育年)でのそれに比べると、各園地の注入施用区、表面施用区とも石灰の大量施用によって亀裂数が少なくなり、粗皮症状が軽減していた。その結果について注入施用区と表面施用区を比べてみると、第三紀土壌の一の渡、唐竹、広船、飯詰、火山性土壌の浪岡、沖積土壌の藤崎の各園地では、注入施用区の粗皮症状の回復が顕著であった。しかし、排水不良リンゴ園を形成している火山性土壌の下湯口と沖積土壌の板柳では注入施用区と表面施用区に明瞭な差がなく、板柳では注入施用区であっても粗皮症状が進行していることが伺われた。

また、同一部位の症状回復について、処理開始時の2年枝の長さ1m当たり亀裂数を100とし、生育2年後の4年枝の亀裂数の比率を求めてみたところ、表面施用区では各土壌の園地とも処理開始時の亀裂数より増加していたのに比べ、注入施用区の下湯口、板柳では表面施用区と同程度の結果を示したが、一の渡、唐竹、広船、飯詰、浪岡、藤崎の各園地は2年前の亀裂数より少なくなっていた。

このような粗皮症状の回復の違いを示した石灰の注入施用区と表面施用区の樹体栄養について葉身中無機成分含量の推移をみた結果を第17表に示した。

第17表 石灰施用方法と粗皮病樹の葉身中無機成分含量(スターキングデリシャス乾物%)

土 壤	施用 方法	N (%)		P (%)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Mn (ppm)	
		1968年	1969年	1968年	1969年	1968年	1969年	1968年	1969年	1968年	1969年	1968年	1969年
第三紀土壌 (一の渡)	注入	3.14	3.23	0.19	0.19	1.49	1.93	1.45	1.29	0.24	0.24	550	348
	表面	2.98	2.88	0.23	0.24	1.54	1.86	1.23	0.93	0.25	0.24	668	554
第三紀土壌 (広 船)	注入	3.00	3.16	0.21	0.21	1.68	1.98	1.26	1.25	0.29	0.33	443	390
	表面	2.93	2.62	0.21	0.21	1.72	2.09	1.19	1.16	0.28	0.30	659	588
第三紀土壌 (唐 竹)	注入	3.10	3.19	0.15	0.21	1.38	1.94	1.14	1.22	0.26	0.26	552	435
	表面	2.89	2.80	0.19	0.20	1.52	1.89	1.19	1.15	0.28	0.28	710	691
第三紀土壌 (飯 詰)	注入	2.93	3.18	0.19	0.20	1.69	1.62	1.33	1.34	0.31	0.36	516	499
	表面	2.84	2.80	0.19	0.19	1.59	1.69	1.23	1.02	0.29	0.29	597	551
火山性土壌 (浪 岡)	注入	3.09	3.16	0.18	0.20	1.74	1.56	1.22	1.37	0.26	0.33	610	499
	表面	3.12	3.00	0.17	0.21	1.58	1.63	1.18	1.33	0.27	0.36	634	551
火山性土壌 (下湯口)	注入	2.78	2.68	0.17	0.23	1.30	1.56	1.23	1.18	0.24	0.29	620	641
	表面	2.81	2.54	0.19	0.27	1.33	1.40	1.24	1.16	0.27	0.29	671	689
沖積土壌 (藤 崎)	注入	3.10	3.23	0.29	0.22	1.69	1.91	1.20	1.44	0.27	0.28	514	420
	表面	2.94	2.84	0.19	0.21	1.63	1.83	1.39	1.38	0.25	0.27	534	487
沖積土壌 (板 柳)	注入	2.72	2.71	0.20	0.27	1.39	1.30	1.24	1.24	0.30	0.31	620	616
	表面	2.81	2.63	0.19	0.33	1.54	1.34	1.40	1.25	0.30	0.29	678	672

Mn含量：注入施用区の粗皮症状の回復が著しかった第三紀土壌の一の渡、唐竹、広船、飯詰、火山性土壌の浪岡、沖積土壌の藤崎では処理1年目から表面施用区より低い含量を示し、処理2年目では更にその含量が低下して、その差が一層明瞭になった。しかし、排水不良リンゴ園で、症状の回復が少なかった火山性土壌の下湯口、沖積土壌の板柳の注入施用区におけるMn含量は、処理1年目から表面施用区のそれと同程度の高い含量を示し、処理2年目でもMn含量の低下を示さなかった。

N含量：注入施用により粗皮症状の回復があった各園地では、処理1年目から表面施用区よりN含量が高く、

処理2年目では更に含量が高くなって表面施用区の含量との差が大きくなった。しかし、排水不良リンゴ園の下湯口と板柳の注入施用区では、処理1年目、2年目とも低いN含量で推移し、両年とも表面施用区のN含量と大差なかった。

Ca含量：注入施用区のCa含量と表面施用区のそれを比較すると、注入施用により粗皮症状の回復が著しかった各園地とも処理1年目では一定の傾向を示さなかったが、処理2年目では注入施用区の方が表面施用区よりCa含量が高い傾向にあった。特に、第三紀土壌の4園地ではかなり顕著な差が認められた。しかし、排水不良リン

ゴ園の2園地では注入施用区と表面施用区のCa含量に差がなかった。

P, K, Mg含量: 注入施用区と表面施用区のP, K, 及びMg含量を比較すると、第三紀土壌、火山性土壌、沖積土壌の各園地とも一定の傾向がなく、両者の間に差

が認められなかった。

(2) 土壌中のMn含量の変化

土壌中のMnの動きについて、pH及び土壌水分の影響を検討した結果を第18表に示した。

第18表 石灰施用および水分の多少と土壌中のMn含量の変化 (Mn ppm乾土当り)

Mnの形態	区	石灰施用	黒ボク土壌							沖積土壌						
			5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
易還元性	湿潤区	+	98	99	102	145	87	75	54	168	147	160	170	109	142	90
		-	174	256	246	231	215	143	97	177	261	254	219	239	181	174
	適湿区	+	85	71	43	47	66	65	62	50	54	51	45	80	120	37
		-	103	102	89	101	93	119	91	58	63	55	75	106	125	71
置換性	湿潤区	+	3.3	6.5	4.8	5.0	4.7	0.7	0.6	2.2	3.6	7.5	4.0	2.0	1.0	0.9
		-	6.7	10.3	13.3	9.4	12.9	6.6	4.0	6.6	7.9	11.8	21.1	14.0	12.0	5.6
	適湿区	+	1.6	1.5	1.5	2.6	2.6	0.4	2.4	2.0	2.3	1.0	1.0	1.1	0.8	0.7
		-	1.6	3.7	1.2	6.3	6.9	1.7	7.7	3.1	5.0	3.6	1.7	2.1	3.3	1.9
水溶性	湿潤区	+	0.8	2.3	1.2	0.7	0.7	0.7	0.6	1.1	2.0	0.8	0.5	0.2	0.2	0.1
		-	1.9	4.9	2.6	3.0	3.2	1.5	1.3	1.5	3.9	3.1	2.1	0.8	0.6	0.5
	適湿区	+	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.6	0.2	0.7	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2
		-	0.5	1.0	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	0.5	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.2

pHは黒ボク土壌の石灰施用(+)で6.9, (-)で4.8, 沖積土壌の石灰施用(+)で6.1, (-)で5.1であった。

これによると、土壌中の易還元性Mn、置換性Mn及び水溶性Mnは黒ボク土壌、沖積土壌とも石灰施用によって土壌のpHが上昇した区が無処理区より低い含量で推移した。しかし、土壌中のMn含量は土壌水分の多少によって著しい相違があった。すなわち、石灰無施用土壌では黒ボク土壌、沖積土壌とも土壌水分の多い区が、土壌水分の適度な区に比べて易還元性Mn、置換性Mn及び水溶性Mnが年間を通じて高い含量を示していた。また、石灰施用土壌でも同様の傾向を示し、石灰無施用土壌ほど土壌水分の影響が顕著であったが、各種形態のMn含量は土壌水分の多い区の方が、高い含量で経過することが多く、その含量も5月から8月にかけては石灰無施用土壌の土壌水分の適度な区のMn含量より高いことが多かった。

3. 考 察

青森県下における粗皮病の発生は青木³¹⁾、長井ら³²⁾によると、土壌条件によって左右されることが少ないが、その原因は土壌の強酸性化に伴うMnの過剰吸収による生理障害であると報告している。したがって、その土壌対策には土壌酸性の改良が不可欠とされ、石灰の大量施用が行われてきた。しかし、石灰の表面施用で酸性の改良効果をあげるには長年月を要することが多いばかり

でなく、粗皮症状がほとんど回復しない例が少なくない。

粗皮病樹の粗皮症状の回復の早晩は、台木の種類、品種、土壌の乾湿、土壌の有効深度、pHなど様々な要因が関与しているが、とりわけ、石灰施用に伴う土壌のpH上昇が大きく影響する。青木³¹⁾は沖積土壌で粗皮病の徴候がある4~5年生若木園で秋、春、夏と3回に分けて、50kgの消石灰を土壌と混合施用したが、下層土はほとんど酸性改良に至らなかったと述べている。このことは、前述した石灰の表面施用の試験結果からも明らかのように、たとえ、大量の石灰肥料を施用したとしても、下方根圏への石灰の浸透量が少なく、土層全体の酸性改良が容易でないことが理由としてあげられる。この点、注入法による石灰施用は深層まで短日時に改良できる有利性がある。

この試験で石灰の注入施用が、従来から行われてきた表面施用より粗皮病の回復効果が大きかった理由は、注入法の利点が生かされて根圏土壌の全域にわたって酸性が改良された結果とみることが出来る。すなわち、土壌の表層部分に限られて酸性改良がみられる石灰の表面施用に比べ、注入施用では土層全体に酸性が改良されたため、土壌中のMnが不可給態化してリンゴ樹に吸収され

るMnの絶対量が少なくなったこと、潜在地力、特に窒素地力の発現がスムーズになったことが粗皮病樹の樹勢回復につながった大きな理由としてあげられよう。このことは、葉身中無機成分含量に反映し、各種土壌で粗皮病症状の回復が顕著であった注入施用の方が表面施用よりCa含量が高い傾向を示し、Mn含量が低下し、N含量の増加していたことから推察することができる。

畑地状態でのpH上昇がMnの不可給態化につながることは橋本ら³⁵⁾、岩田ら¹¹⁾、細田ら³⁸⁾、鴨田ら¹⁷⁾、鈴木ら²¹⁾など多くの成績がある。この試験でも黒ボク土壌と沖積土壌で石灰施用した土壌と無処理の土壌についてMn含量の消長をみた結果は同様の傾向にあり、石灰施用によってpHが上昇した土壌が水溶性Mn、置換性Mn、還元性Mnとも年間を通じて低い含量で推移していた。一方、pHの上昇に伴って硝化作用が促進され、土壌有機物が無機化して窒素地力が向上することは周知のとおりであり、また前述した石灰施用とリンゴ幼木の生育についての試験結果からも伺われる。このように、注入施用の粗皮病の回復効果が著しかったことは、石灰施用に伴うこれら一連のアルカリ効果が発揮されたものと解することができる。

しかしながら、火山性土壌及び沖積土壌の排水不良リンゴ園では、石灰の注入施用による粗皮病の症状回復が必ずしも表面施用のそれより早まらない結果を示し、粗皮病の土壌対策として石灰施用による酸性改良だけでは効果があがりにくいことが示唆された。もともと、排水不良リンゴ園では、土壌の過湿に伴って酸素不足、有害還元物質の生成など根の伸長が阻害されやすい。須佐²²⁾は排水不良地におけるリンゴ樹根の形態は先端が萎縮した状態であるとし、相馬ら²⁸⁾は排水不良リンゴ園では下層ほど黒変した根が多く、黒変した根は活力が劣っていたとしている。これらの成績から推察すると、排水不良リンゴ園における粗皮病は極端に根の活性が弱まっているため、土壌の酸性が改善された場合でも樹の側から即応できないことも考えられなくもない。しかし、それ以上に、土壌の酸性は改良されたものの、土壌中のMnが不可給態化につながらなかったことがあげられよう。そもそも、土壌中の有効態Mn含量はpH、Eh、和湿度、地温、有機物含量などに影響されることが多い。特に、pHを高め、還元状態を改善することが土壌中のMn含量低下につながることを岩田ら¹¹⁾、鈴木ら²¹⁾が指摘している。

この試験でも同様の結果が得られ、黒ボク土壌、沖積土壌とも湿潤区が適湿区よりMn含量が高く、湿潤区において石灰を施用して酸性改良をはかった場合でも、適湿区の石灰施用をしていない区よりMn含量が高い状態で推移していたことが注目される。

青木⁹⁾は粗皮病発生園地の土壌状態はおおむね表土が浅く、排水不良リンゴ園が、一時的に過湿におち入りやすい状態であるとし、その改良のためには排水改善も大きな手段であると述べている。これらの結果からすると、その改良のためには、石灰の注入施用で土壌の酸性改良をしたとしても、通常の園地に比較して回復が遅いことが考えられ、また、排水不良地帯のリンゴ園で症状の回復を早めるには、排水改善をしない限り、回復効果をあげにくいものと推察される。

4. 摘 要

県下の主要リンゴ園土壌である火山性土壌、第三紀土壌、沖積土壌からスターキングの粗皮病発生園9か所を選び、石灰の注入施用による粗皮病の回復効果について表面施用と比較試験したところ次の結果を得た。

(1) 1967年、火山性土壌で石灰の注入施用による粗皮病の回復効果を検討したところ、有効土層の全域にわたってpHが上昇した注入施用区は地表下10cm程度の深さまでよりpHが上昇しない表面施用区に比べ、1～6年次の粗皮病症状回復が顕著であった。

(2) 1968年、8か所の園地で試験を行ったところ、火山性土壌、第三紀土壌、沖積土壌とも、排水の良好な園地では石灰の表面施用より、注入施用の方が粗皮病の回復効果が顕著であったが、排水不良リンゴ園では注入施用、表面施用とも粗皮病症状の回復が鈍かった。

(3) 1968年の試験で、石灰の注入施用によって、粗皮病症状の回復効果が著しかった樹の葉身中無機成分含量は、表面施用に比べてCa含量が高く、Mn含量が低い傾向を示し、N含量の増加も顕著であった。

(4) 火山性土壌及び沖積土壌の排水不良リンゴ園で、石灰の注入施用による粗皮病の回復効果が鈍かった原因について検討したところ、土壌酸性が改良されても土壌水分が多い場合は土壌中の易還元性Mn、置換性Mn、水溶性Mn含量とも、土壌水分の少ない場合よりも高いレベルで推移していた。

V 石灰類の溶脱量と土壌の酸性化速度

降雨量の多い我が国では、一度、石灰施用によって、土壌酸性を矯正したとしても、その後、年々、酸性化が進むことは明白である。また、深根性のリンゴ園では、酸性が強くなってからでは、大量施用が必要であることなどその改良も困難なことが多い。したがって、毎年少量ずつでも恒常的に石灰施用を続けながら、酸性化を防止した方が得策である。そのためには、土壌の種類ごとに石灰類の流出量と土壌の酸性化速度を把握しておく必要がある。

1. 試験方法

(1) 試験区の設定

場内に設置してあるコーネル大学型ライシメーター(表面積1.8×1.8m、深さ1.8m)5基を使用し、1971年4月に試験区を設定した。

深さ1.8mのライシメーターの最下層部(地表下65cm以下の部分)には砂れき土を、その上部15cmの厚さには川砂(細砂)を敷きつめた。更に、その上部の表層45cmには、苦土炭カルでpH(kcl)6.0前後に調整した岩木山系黒ボク土壌を2基に、十和田・八甲田山系黒ボク土壌、埴質沖積土壌、砂質沖積土壌をそれぞれ1基に詰め込んだ。

供試土壌の性質は第19表に示した。岩木山系黒ボク土壌は土性が軽埴土(LiC)で腐植に富み、塩基置換容量

の大きい土壌であり、十和田・八甲田山系黒ボク土壌は土性が岩木山系黒ボク土壌よりも粗い砂質埴壤土(SCL)で、塩基置換容量が小さい土壌である。また、埴質沖積土壌は粘土含量の多い埴土で、腐植含量が少なく、砂質沖積土壌は粗砂含量が50%を越えるなど土性が粗く、腐植含量の少ない土壌である。

施肥は各土壌とも、10a当たり換算で、N(窒素)を10kg施用したが(三要素入り複合肥料を使用)、岩木山系黒ボク土壌については、N10kg区とN30kg区を併設した。

(2) 調査方法

肥料成分溶脱量の調査は、各年とも1月から12月まで月別に滲透水量を把握するとともに、滲透水中に含まれる肥料成分含量(N, K, Ca, Mg, Na)を測定した。

また、毎年11月には供試土壌の0~30cmまでの土壌を採取し、土壌pHの変化(pH低下状況)及び土壌の塩基状態の変化について検討した。

滲透水中の成分の測定法は、Nは蒸溜後、硝酸指示薬による硫酸滴定法、CaとMgは原子吸光法、NaとKはフレイムフォトメーター法により測定した。また、土壌の分析法は塩基置換容量がpH7.0-N酢酸アンモン振とう浸出法、置換性Ca, Mgは原子吸光光度計法、NaとKはフレイムフォトメーター法、pHはガラス電極法により測定した。

第19表 供 試 土 壌 の 特 徴

土 壤	粒 径 粗 成 (%)					全炭素 %	腐 植 %	塩基置換容量 (m.e)	磷酸吸収係数
	粗 砂	細 砂	シルト	粘 土	土 性				
岩 木 山 系 黒 ボ ク 土 壌	25.0	17.4	30.2	28.4	LiC	7.2	12.4	27.0	1,610
十和田・八甲田山系 黒 ボ ク 土 壌	40.4	18.1	23.3	18.2	ScL	5.3	9.1	24.4	1,250
埴 質 沖 積 土 壌	16.1	20.8	26.6	36.5	LiC	2.1	3.6	20.3	810
砂 質 沖 積 土 壌	50.5	13.0	24.5	12.0	SL	0.5	0.8	18.3	720

2. 試験結果

(1) 滲透水中に含まれる塩基の溶脱量

pH (kcl) 6.0前後に矯正した表面積3.3㎡のライシメーター土壌から、8年間に流亡した肥料成分量を、10a当りに換算して第20表に示した。

滲透水とともに流亡した肥料成分量はCaOが最も多

く、次いでMgO、Na₂O、N、K₂Oの順であり、各成分とも滲透水量の多い年ほど流亡量が多い傾向を示した。

土壌の違いによる肥料成分の流亡量をみると、各成分とも年によってふれがあるので必ずしも一定でないが、N、CaO、MgOでは土壌間に差があり、K₂O、Na₂Oではほとんど土壌間差がなかった。すなわち、Nの流亡量

第20表 滲透水とともに流亡した肥料成分量(10a当り)

成分	土壌とN施用量	年								8か年 平均
		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
滲透 水量 (ℓ)	砂質沖積(N10kg)	2,675	2,188	3,001	3,643	2,742	3,280	2,601	2,999	2,891
	埴質沖積(N10kg)	1,992	1,926	2,407	3,087	2,110	2,774	2,179	2,480	2,369
	十和田・八甲田 山系黒ボク(N10kg)	2,076	1,812	2,713	3,308	2,018	2,590	1,913	2,408	2,016
	岩木山系黒ボク(N10kg)	2,505	2,034	2,803	3,610	2,541	2,964	2,255	2,728	2,680
	" " (N30kg)	2,503	2,050	2,609	3,207	2,294	2,806	2,139	2,638	2,531
N (kg)	砂質沖積(N10kg)	8.59	4.73	5.46	9.76	8.79	13.26	2.61	10.01	7.90
	埴質沖積(N10kg)	7.51	3.89	2.22	9.45	7.56	9.83	2.45	8.00	6.36
	十和田・八甲田 山系黒ボク(N10kg)	7.15	4.28	5.40	10.53	7.51	20.14	3.43	11.55	8.75
	岩木山系黒ボク(N10kg)	9.84	5.96	4.64	12.41	8.41	22.30	3.88	16.05	10.44
	" " (N30kg)	10.95	6.04	5.41	14.79	30.84	33.23	3.46	31.36	17.01
K ₂ O (kg)	砂質沖積(N10kg)	10.89	8.16	9.49	11.59	11.11	9.41	6.22	7.40	9.28
	埴質沖積(N10kg)	9.19	7.80	7.99	13.96	9.17	8.36	7.00	7.40	8.86
	十和田・八甲田 山系黒ボク(N10kg)	7.62	6.26	6.29	9.30	11.50	5.80	3.80	6.16	7.09
	岩木山系黒ボク(N10kg)	8.91	6.95	7.46	16.59	7.52	6.52	4.87	8.47	8.41
	" " (N30kg)	13.99	11.78	12.13	17.54	11.50	12.00	7.37	10.92	12.15
CaO (kg)	砂質沖積(N10kg)	58.18	45.42	50.42	84.40	54.53	48.11	37.86	44.16	53.02
	埴質沖積(N10kg)	47.03	38.09	40.94	104.06	50.71	47.37	37.22	44.16	51.19
	十和田・八甲田 山系黒ボク(N10kg)	42.39	49.92	55.20	121.19	54.11	56.44	31.68	50.00	57.62
	岩木山系黒ボク(N10kg)	61.67	51.84	50.92	115.20	53.66	54.89	33.37	45.69	58.41
	" " (N30kg)	69.59	66.54	64.62	183.42	71.06	79.60	39.17	76.16	81.27
MgO (kg)	砂質沖積(N10kg)	15.39	11.47	11.50	29.28	14.81	10.25	9.85	10.17	14.09
	埴質沖積(N10kg)	8.57	6.02	6.25	17.64	8.13	5.59	5.59	10.17	8.50
	十和田・八甲田 山系黒ボク(N10kg)	11.78	11.63	11.68	31.95	10.78	9.48	6.28	7.65	12.65
	岩木山系黒ボク(N10kg)	18.16	17.14	16.75	43.76	17.91	15.95	11.37	5.46	20.15
	" " (N30kg)	18.05	17.24	16.06	55.91	16.58	15.96	9.50	16.75	20.76
Na ₂ O (kg)	砂質沖積(N10kg)	18.54	12.24	14.70	21.33	15.83	11.02	8.80	9.01	13.93
	埴質沖積(N10kg)	11.33	8.91	15.78	20.96	13.88	11.57	8.41	9.01	12.48
	十和田・八甲田 山系黒ボク(N10kg)	15.66	11.80	19.19	21.51	12.06	9.91	7.11	8.57	13.23
	岩木山系黒ボク(N10kg)	19.00	13.96	18.33	20.32	12.45	10.17	7.41	8.30	13.74
	" " (N30kg)	21.22	14.53	20.27	24.22	14.61	12.41	8.32	10.64	15.78

注 表面積3.3㎡のライシメーターからの溶脱量を10a当りに換算した。

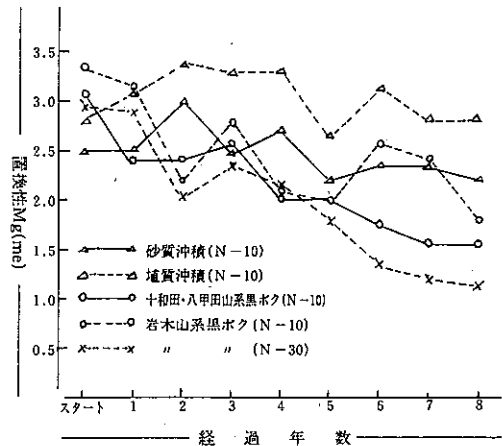
は岩木山系黒ボク土壌が他の3土壌より多い傾向を示し、CaOの流亡量は火山性黒ボクの2土壌が沖積の2土壌より多く、MgOの流亡量は岩木山系黒ボク土壌が最も多く、次いで砂質沖積土壌、十和田・八甲田山系黒ボク土壌、埴質沖積土壌の順であった。

そこで、溶脱した塩基の総量(CaO+MgO+K₂O+Na₂O)を石灰肥料(55%CaO苦土炭カル)に換算し、各土壌の10a当たり年間溶脱量を求めたところ、岩木山系黒ボク土壌が最も多く182kg、次いで、十和田・八甲田山系黒ボク土壌が167kg、砂質沖積土壌が164kg、埴質沖積土壌は145kgで最も少ない溶脱量であった。

また、多肥の塩基溶脱量に及ぼす影響を把握するため、岩木山系黒ボク土壌で、N-10kg施用区とN-30kg施用区の溶脱量を検討したところ、N-30kg施用区の溶脱量は、単に窒素が多いばかりでなく、CaOではN-10kg施用区の1.4倍、Na₂OではN-10kg施用区の1.2倍の量に達した。しかし、MgOでは両者の間にほとんど差を認めなかった。更に、塩基の総量を石灰肥料に換算し、10a当たりの年間溶脱量を求めてみたところ、N-30kg施用区の溶脱量は239kgで、N-10kg施用区のそれに比べて1.3倍の量であった。

(2) 土壌塩基含量の変化

土壌酸性を矯正した後、8年間に亘って土壌の塩基含量の変化をみたところ、第21表、第22、23、24図のとおりであった。

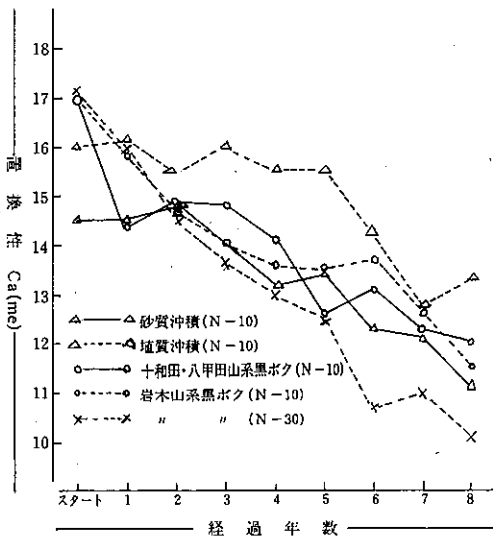


第23図 土壌及び施肥量の違いと置換性Mgの変化

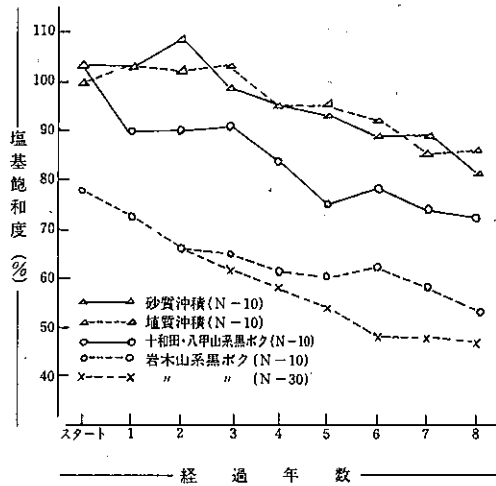
第21表 試験開始8年後における土壌中塩基含量の変化

土 壌	窒素 施用 量	試験開始時					8 年 後						
		Ca	Mg	K	Na	塩 基 飽 和 度	Ca	Mg	K	Na	塩 基 飽 和 度		
砂質沖積土壌	kg	10	14.5	2.5	1.1	0.8	%	103.3	11.1	2.2	0.7	0.8	80.9
埴質沖積土壌	10	16.0	2.8	1.1	0.4	100.0	13.3	2.8	0.8	0.5	35.7		
十和田・八甲田山系 黒ボク土壌	10	17.0	3.0	0.4	0.3	103.3	12.0	1.5	0.6	0.2	71.5		
岩 木 山 系	10	17.0	3.4	0.4	0.3	78.1	11.5	1.8	0.7	0.3	53.0		
黒ボク土壌	30	17.1	3.0	0.4	0.4	77.4	10.1	1.2	1.2	0.3	47.4		

これによると、土壌中の置換性K、Na含量は、試験開始時と8年後との間に大きな変動を認めなかったが、置換性Ca、Mg含量及び塩基飽和度は、試験開始とともに年々低下し、8年後にはかなり大幅に低下していた。



第22図 土壌及び施肥量の違いと置換性Caの変化



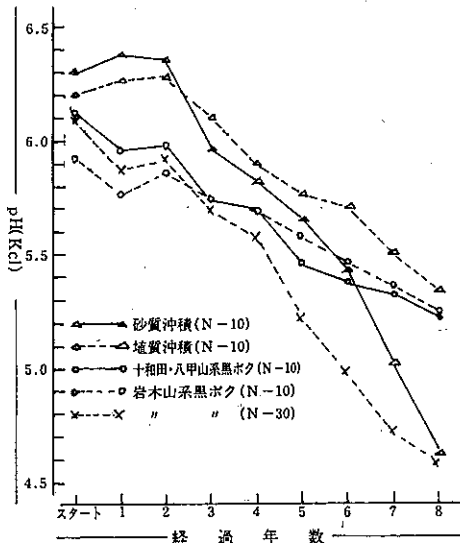
第24図 土壌及び施肥量の違いと塩基飽和度の変化

土壌の違いと総塩基含量及び塩基飽和度の変化をみると、試験開始時の状態に比べて8年後のそれは、砂質沖積土壌では総塩基含量が4.1m.e、塩基飽和度が22%の低下を示し、埴質沖積土壌ではそれぞれ2.9m.eと14%の低下、十和田・八甲田山系黒ボク土壌ではそれぞれ6.4m.eと32%の低下、岩木山系黒ボク土壌ではそれぞれ6.8m.eと25%の低下であった。このような塩基含量の低下をもたらした各塩基の状態をみると、沖積土壌では置換性Caの含量低下が顕著であり、8年間に砂質沖積土壌で3.4m.e、埴質沖積土壌で2.7m.eの低下を示した。これに比べて火山性黒ボク土壌では置換性CaとMg含量の低下が顕著で、十和田・八甲田山系黒ボク土壌で置換性Caが5.0m.e、Mgが1.5m.e、岩木山系黒ボク土壌では置換性Caが5.5m.e、Mgが1.6m.eの含量低下であった。

また、施肥量の多少が土壌の塩基含量に及ぼす影響をみると、N施用量の多い区で塩基含量の低下が顕著であった。すなわち、岩木山系黒ボク土壌のN-30kg施用区における処理8年後の塩基含量は、試験開始時に比べ、総塩基含量ではKが増肥されたことに伴って置換性 K_2O が増加したので8.1m.eの低下にとどまったが、置換性Caで7.0m.e、置換性Mgは1.8m.e、塩基飽和度は30%の低下を示した。この含量低下はN-10kg施用区より、置換性Caで1.5m.e、置換性Mgで0.2m.e、塩基飽和度で5%の増加であった。

(3) 土壌pHの低下速度

pH (KCl) 6.0前後に矯正した後における土壌 pH の低下速度について検討した結果を第25図に示した。



第25図 土壌及び施肥量の違いと土壌pHの変化

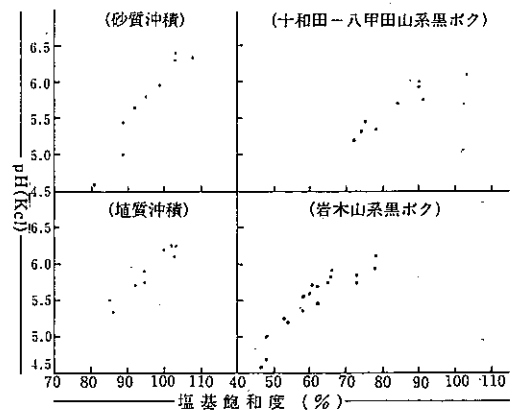
石灰施用を行って酸性を矯正した後、年々、10 a 当たり10kgの窒素を施用したときの土壌 pH の低下は、各土

壤とも処理2年後までは大きな変化を示さなかったものの、その後は年ごとにpHの低下が顕著であった。

沖積土壌におけるpHの変化は、両土壌とも処理2年後までは試験開始時と変わりなく、3年以降になって土壌pHが低下したが、砂質沖積土壌では年々急激な下降状態が続いて、8年後には試験開始時より1.69のpH低下を示した。それに比べ、埴質沖積土壌ではかなり緩やかな下降状態を示し、8年後には0.86のpH低下であった。一方、火山性黒ボク土壌のpH変化をみると、両土壌とも処理2年後までは緩慢なpH低下であったが、その後は年ごとに下降を続け、8年後には十和田・八甲田山系黒ボク土壌で0.91のpH低下を示し、岩木山系黒ボク土壌では幾分緩やかな下降状態を示したものの、0.68のpH低下であった。

また、岩木山系黒ボク土壌を供試して、窒素施用量が土壌pHに及ぼす影響をみたところ、土壌pHの低下に顕著な差異を認めた。すなわち、N-10kg施用区は試験開始後の8年間に0.68のpH低下にとどまったのに比べ、N-30kg施用区では8年間に1.52と顕著なpH低下を示した。

このように、土壌の違い、施肥量の違いによって土壌pHの低下の様相は異なっていたが、第26図に示すように土壌pHは、それぞれの土壌の持っている土壌の塩基置換容量に対する各塩基の総量の比である塩基飽和度と密接な関係にあった。



第26図 土壌の塩基飽和度とpHの関係

3. 考 察

我が国では降水量が多いため、土壌の酸性化は必然的に起こる現象であり、その防止には、石灰肥料の施用を、年々、恒常的に実施する必要があるとされている。しかし、その対応は土壌の種類、肥培管理などによって異なることが多い。

この試験は、土壌の酸性化防止の観点から、本県の代表的な4種類の土壌を供試し、土壌pH (KCl) を6.0前

後に矯正した後、土壌の違い、施肥量の違いによる、石灰類の溶脱量と土壌の酸性化速度を経年的には握したものであるが、先ず、10 a 当たり N 施用量 10 kg の条件下で行われた土壌の違いによる変化の様相を、概括的に示すと次のようである。

・ 滲透水中に含まれる塩基の溶脱量は岩木山系黒ボク土壌が最も多く、次いで、十和田・八甲田山系黒ボク土壌、砂質沖積土壌の順で、埴質沖積土壌が最も少なかった。また、試験開始 8 年後における土壌中の塩基含量の低下は、塩基の溶脱量とはほぼ同様の結果を示していた。しかし、土壌 pH の低下速度は、塩基の溶脱量及び土壌中の塩基含量低下の様相と異なり、砂質沖積土壌が最も急速であり、次いで、十和田・八甲田山系黒ボク土壌、埴質沖積土壌の順で、岩木山系黒ボク土壌の pH 低下が最も緩慢であった。

土壌中に入る降雨水や融雪水の量が、土壌の容水量を超えると、土壌中から肥料成分の滲透溶脱が引き起こされる。この滲透水に溶出する肥料成分は、土壌の性質、すなわち、塩基吸着基の種類、塩基飽和度、塩基置換容量の大小、土壌の反応、滲透水の性質とその速度によって影響されるところが大きい。

土壌中の陽イオン吸着体は、主として無機粘土と腐植であるが、土壌中の Ca、Mg など塩基の放出性は、無機粘土を主体とする鉍質土壌より、腐植（腐植酸とアロフェン）を母体とする腐植質火山灰土壌の方が大きいとされている。¹²⁾ この試験においても、腐植含量の少ない砂質沖積土壌及び埴質沖積土壌の鉍質土壌の方が、十和田・八甲田山系黒ボク土壌と岩木山系黒ボク土壌の腐植質火山灰土壌より、塩基の溶脱量、土壌中の塩基含量の低下とも少ない結果が得られた。しかし、腐植質火山灰土壌の中では岩木山系黒ボク土壌が、十和田・八甲田山系黒ボク土壌より、塩基の溶脱量、土壌中の塩基含量の低下が大きく、鉍質土壌では砂質沖積土壌の方が、埴質沖積土壌のそれより大きかった。この違いは、滲透水量及び窒素溶脱量の結果から知見されるように、土壌の容水量、滲透水の性質に影響されたものと考えられる。

更に、土壌の違いと土壌 pH の低下速度をみると、沖積土壌は火山性黒ボク土壌より速い傾向を示し、また、火山性黒ボク土壌では、岩木山系黒ボク土壌より十和田・八甲田山系黒ボク土壌の pH 低下速度が速い傾向にあるなど、必ずしも、塩基の溶脱量、土壌中の塩基含量の低下値とは一致しなかった。むしろ、沖積土壌、火山性黒ボク土壌とも、土壌の塩基飽和度の低下が大きい土壌で pH 低下が顕著であった。すなわち、塩基飽和度の低下に伴う土壌 pH の低下は、塩基置換容量がほぼ同程度の沖積土壌では、砂質沖積土壌が埴質沖積土壌より塩基含量の低下と同様、塩基飽和度の低下が大きく、pH 低下が急激であった。一方、火山性黒ボク土壌では、十和

田・八甲田山系黒ボク土壌の塩基の溶脱量及び土壌中の塩基含量低下が、岩木山系黒ボク土壌より少なかったにも拘らず、塩基置換容量が小さいため塩基飽和度の低下が大きく、結果的に土壌の pH 低下が加速された。また、沖積土壌と火山性黒ボク土壌で塩基飽和度の低下速度に比べると、火山性黒ボク土壌のそれが著しかったが、土壌 pH の低下速度はむしろ沖積土壌より緩慢であった。

次に、岩木山系黒ボク土壌を供試して、N 施用量の違いによる変化を概括すると、N-30 kg 施用区における結果は、塩基の溶脱量が 239 kg で N-10 kg 施用区の 1.3 倍、塩基飽和度の低下が 30% で N-10 kg 施用区より 5% 大きく、pH 低下値は N-10 kg の 0.68 に比べて 1.52 を示し、それぞれ顕著な変化を示していた。

・ 土壌の酸性化を助長する肥培管理として、窒素施用量との関係が一般的に知られており、施用量が多くなるにつれて土壌 pH の低下が大きくなるとされ、この試験でも同様の結果が得られた。本来、施肥窒素の土壌中における行動は、最終的には硝酸態窒素となり、土壌コロイドに吸着されないまま、その大部分は土壌溶液中に溶出する。土壌溶液中の硝酸は、H⁺イオンと NO₃⁻イオンに解離し、H⁺イオンは濃度の上昇とともにすみやかに土壌の置換性 Ca や Mg を置換し、置換浸出した Ca や Mg は土壌溶液中で NO₃⁻イオンと当量的に溶存しているものと考えられる。このような状態で降雨水や融雪水があるときは Ca や Mg の溶脱につながる。したがって、窒素施用量が多いほど塩基の溶脱が多くなり、結果的に酸性化を助長することは避けられないと言てよい。

以上のように、浸透水とともに溶脱する塩基の量は、土壌の種類、施肥管理によって異なるものの、総じて石灰肥料（苦土炭カル）に換算すれば、1 年間に 150~200 kg に相当する溶脱量であった。この溶脱量は青森県りんご試験場³⁴⁾が土壌管理法としての草生法と清耕法について検討した成績、相馬²⁸⁾がリンゴ園の暗渠排水工事園における排出水中に含まれる塩基の総量を算出した結果などと、ほぼ一致する結果が得られた。

いずれにしても、これらの事実からすると、リンゴ園では、この溶脱量に見合う量の石灰肥料を年々補給しない限り、酸性化防止につながらないことが推察された。

4. 摘 要

1971~1979 年にかけて、場内で表面積 3.3 m² のライシメーターに pH (kcl) 6.0 前後に矯正した岩木山系黒ボク土壌、十和田・八甲田山系黒ボク土壌、砂質沖積土壌、埴質沖積土壌の 4 種を詰め込み、石灰類の溶脱量と土壌の酸性化速度を検討した。また、岩木山系黒ボク土壌には、N 施肥 10 kg 区と 30 kg 区を併設し、施肥量との関係についても検討した。

結果は次のとおりである。

(1) 8年間に滲透水とともに流亡した塩基の総量を石灰肥料(55%CaO苦土炭カル)に換算し、各土壌の年間10a当たり溶脱量を求めると、砂質沖積土壌で164kg、埴質沖積土壌で145kg、十和田・八甲田山系黒ボク土壌で167kg、岩木山系黒ボク土壌では182kgであった。

(2) 試験開始8年後における土壌中の塩基含量の低下は、砂質沖積土壌で塩基の総量が4.1m.e、塩基飽和度で22%の低下を示し、埴質沖積土壌ではそれぞれ2.9m.e、14%の低下、十和田・八甲田山系黒ボク土壌ではそれぞれ6.4m.e、32%の低下、岩木山系黒ボク土壌ではそれぞれ6.8m.e、25%の低下を示した。

(3) 試験開始8年後における土壌pHの低下は、砂質沖積土壌で1.69、埴質沖積土壌で0.86、十和田・八甲田山系黒ボク土壌で0.91、岩木山系黒ボク土壌では0.68の低下値であった。また、土壌pHの低下は、沖積土壌、

火山性黒ボク土壌とも塩基飽和度の低下が大きい土壌ほど顕著であった。

(4) 岩木山系黒ボク土壌を供試し、N-10kg施用区とN-30kg施用区の塩基の溶脱量と土壌pHの低下速度を比較したところ、N-30kg施用区の塩基溶脱量、土壌中の塩基含量の低下とも、N-10kg施用区よりはるかに大きい量であった。また、8年間の土壌pHの低下は、N-10kg施用区の0.68に比べて、N-30kg施用区では1.52の低下値で、多肥に伴う土壌の酸性化が著しかった。

(5) 土壌から滲透水とともに溶脱した塩基の量は、土壌の種類、施肥量の多少によって異なるが、石灰肥料(苦土炭カル)に換算すると、1年間に10a当たり150~200kgに相当する量であり、この量に見合うだけの石灰肥料を施用しない限り、土壌の酸性化を防止できないものと推察された。

VI 総 括

1966年以降、筆者らはリンゴ園土壌の酸性改良並びに酸性化防止を目的とした石灰の施用方法、並びに施用効果について試験研究を実施してきたが、ここでは、石灰の施用量とリンゴ幼木の生育、土壌酸性の改良方法とその効果、石灰の注入施用による粗皮病の回復効果、石灰類の溶脱と酸性化速度についてとりまとめをした。

試験結果を要約すると次のとおりである。

1. 石灰の施用量とリンゴ幼木の生育

(1) 黒ボク土壌、沖積土壌とも石灰施用量が多いほど、すなわち、土壌pH及び塩基飽和度が高いほどスターキング、ゴールデンの幼木の生育が良好であった。

(2) 処理3年後における幼木の樹体内無機成分含量は、各年枝の木部では土壌pH及び塩基飽和度の多少による差異はなかったが、葉、細根、各年枝の皮部では土壌pH及び塩基飽和度の高い土壌ほどN、P、Ca、Mg含量が高い傾向を示し、K含量が低かった。特に、N含量の増加、K含量の低下が顕著であった。

2. 酸性土壌の改良方法とその効果

(1) 母材、成層状態、土壌の乾湿が異なる8種類の土壌を対象として10a当たり2,400kgの粉状苦土石灰を表面施用し、処理3年7か月後に石灰の滲透移行並びに土壌pHの変化を調査したところ、砂質型の火山性土壌及び沖積土壌の改良深度が地表下40cmに達して他の6土壌より幾分深かった。しかし、pH値0.5以上の顕著な酸性改良効果を示した土壌の深さは、火山性土壌、沖積土壌、第三紀土壌の各土壌型とも地表下20cm程度に過ぎなかった。

(2) 火山性土壌の排水不良型と沖積土壌の埴質型を供

試し、10a当たり、2,400kgの粉状苦土石灰を施用し、13年経過後に、土壌中の置換性Ca、Mg含量及び土壌pHを調査したところ、両土壌とも地表下60cmの深さまで、かなり顕著な改良効果が認められた。

(3) サブソイラーを使用し、破碎深を30cmとして、石灰施用を行ったときの酸性改良効果は、垂直的には地表下40~45cmに及び、水平的には破碎溝から左右5cm程度であった。

(4) 爆薬100gを深さ40cmにそう業して爆破を行い、整地後に石灰施用を行ったときの酸性改良効果は、爆破孔の大きさとほぼ一致し、火山性土壌では深さ60cm、半径80cmの漏斗型、第三紀土壌では深さ50cm、半径70cm程度の漏斗型の範囲に及んだ。

(5) 石灰施用にサブソイラー並びに爆薬を利用した実験例から、成木の片側処理に伴う生育阻害を検討したところ、サブソイラーの破碎深30cmに相当する深耕が、火山性土壌及び第三紀土壌では幹から2.0m程度離れた地点、沖積土壌では1.5m程度離れた地点であれば生育阻害を引き起さないものと推察された。

(6) 高圧汎用ポンプの圧力水を利用した石灰の注入施用について石灰濃度、注入時間を検討したところ、吐出時の石灰濃度7.5%で1孔当たり7秒間の注入が比較的濃度むらが少なく実用的であった。また、注入深を40cmとして各土壌の酸性改良効果を比較したところ、水平的には、各土壌とも半径15cm程度までpHが上昇し、垂直的には火山性土壌及び第三紀土壌が地表下60cm程度であったが、沖積土壌はかなり深かった。

(7) 超高圧発生装置を利用した石灰の噴射式注入法は、石灰液を横方向に強制的に噴射しても、リンゴ樹の

生育阻害につながらないことを確認後、下層土の酸性改良効果を検討した。

噴射式注入機を利用し、石灰液を地表下20cm部位と40cm部位に円板状に噴射させたときの水平的な広がりを見ると、火山性土壌では注入孔から半径80cm位、沖積土壌では半径70cmであった。また、Caの下方浸透効果を見ると、両土壌とも処理1年後では施用位置より5cm位、処理3年後では施用位置より15~20cmの深さに及んでいた。したがって、噴射式注入機を利用した石灰施用は、3~4年の比較的短期間に土壌の深層まで酸性改良が可能なが明らかになった。

3. 石灰の注入施用による粗皮病の回復効果

(1) 母材、成層状態、土壌の乾湿が異なる8種類の土壌について検討したところ、粗皮症状の回復は石灰の表面施用よりも注入施用が顕著であった。しかし、排水不良園では表面施用と同様粗皮症状の回復が鈍かった。

(2) 石灰の注入施用による粗皮症状の回復が顕著であった各土壌の葉身中無機成分含量は、石灰の表面施用に比べてMn含量が低かった。一方、N及びCa含量が高く、特にN含量の増加が顕著であった。

4. 石灰類の溶脱量並びに土壌の酸性化速度

(1) 土壌pH (kcl) を6.0程度に矯正した後、年々、10a当たり10kgのN施肥を行い、8年間に亘って試験を

継続した結果によると、浸透水に含まれて溶脱した塩基の量及び土壌の塩基含量の低下は、火山性黒ボク土壌が沖積土壌より大きく、岩木山系黒ボク土壌、十和田・八甲田山系黒ボク土壌、砂質沖積土壌、埴質土壌の順であった。

(2) また、土壌の酸性化速度は、8年間に砂質沖積土壌で1.69、埴質沖積土壌で0.86、十和田・八甲田山系黒ボク土壌で0.91、岩木山系黒ボク土壌で0.68の低下を示し、沖積土壌、火山性黒ボク土壌とも、土壌の塩基飽和度の低下が大きい土壌ほど顕著であった。

(3) 岩木山系黒ボク土壌を供試し、10a当たりN-10kg施用とN-30kg施用した場合の塩基の溶脱量と酸性化速度を比較したところ、N-30kg施用したときの塩基の溶脱量と土壌中の塩基含量の低下が大きく、土壌pHの低下はN-10kg施用の0.68に比べて、N-30kg施用の場合は1.52の低下値であり、多肥による土壌の酸性化が顕著であった。

(4) 浸透水とともに流亡した石灰類の総量は、土壌の種類及びN施用量によって異なるものの、市販の石灰肥料(苦土炭カル)に換算すれば、1年間に10a当たり150~200kgに相当する量であり、年々、この溶脱量に見合う石灰肥料を施用しない限り、土壌の酸性化防止ができないものと推察された。

引用文献

- 1) 青森県：昭和50年度 りんご指導要項。P41。青森県編。
- 2) 秋田県：果樹指導要項 昭和44年度。P39。秋田県編。
- 3) 青森りんご試：草生栽培と浸透流去水に関する調査。昭和36年度業務年報。P13。1961。
- 4) 青森りんご試：草生栽培と浸透流去水に関する調査。昭和37年度業務年報。P12。1962。
- 5) 青森りんご試：主要土壌統における根群分布に関する調査。昭和38年度業務年報。P15-16。1965。
- 6) 青森りんご試：主要土壌統の根群分布に関する調査。昭和39年度業務年報。P18-19。1966。
- 7) 青森りんご試：主要土壌統の根群分布に関する調査。昭和41年度業務年報。P26-27。1968。
- 8) 青木二郎：リンゴ粗皮病に関する研究。弘前大学農学部学術報告16。P131-226。1970。
- 9) Albrecht, W.A.: Plants and the exchangeable calcium of the soil. *Amer. Journ. Bot.* 5: P394-402. 1941.
- 10) 稲見五郎：青森県におけるリンゴ園土壌。土肥誌13。P304-306。1939。
- 11) 岩田武司・奥田 東：作物の窒素給源として見たる硝酸態及びアンモニ態窒素。(続報)土壌による差異に就いて。土肥誌11(4)。P396-398。1937。
- 12) 出井嘉光・谷川 渡：畑土壌における塩基の可動性に関する研究。第1報 石灰及び苦土の飽和度と可動性の関係。九州農試彙報。5(1)。P919-28。1958。
- 13) 岩手県：果樹指導要項 昭和45年度。P35。岩手県編。
- 14) 川島祿郎：苹果園土壌の反応と石灰飽和度に就いて。農化誌15(6)。P744-750。1939。
- 15) 川島祿郎・永田正直：苹果園土壌の反応と石灰飽和度に就いて(続報)。農化誌16(1)。P36-38。1940。
- 16) 川島祿郎・陶山源一郎：梨園土壌の反応と石灰飽和度に就いて。併せて、土性と石灰の浸透性との関係。土肥誌14(6)。P345-354。1940。

- 17) 嶋田 寛・岡田久江：土壤中のマンガンに就いて。土肥誌 26(1)。P 1-4。1955.
- 18) 小林 章・熊代克巳・北川博敏：土壤反応が苗木の生長に及ぼす影響。農及園 33(7)。P 1083-1084。1958.
- 19) 小林 章：果樹と土壤反応の問題。農及園 33(9)。P 1325-1329。1958.
- 20) 佐藤公一：果樹の葉分析法（作物試験法），農業技術協会編。1957.
- 21) 鈴木新一・本谷耕一・河本 泰・安藤 毅：湛水土壌中の酸化還元性に就いて（第3報）MnとpH, Ehとの関係。土肥誌 21(2)。P 162-163。1947.
- 22) 須佐寅三郎：根に関する試験及調査。青森県リンゴ試験場業績20年抄。P 34-36。青森リンゴ試編。1952.
- 23) Jackson, M. L: Soil chemical Analysis, Prentice Hall Inc. 1962.
- 24) 関谷宏三：土壤生産力，果樹園芸大辞典。P 207。養賢堂（東京）。1972.
- 25) 関谷宏三：果樹園土壤としての生産力要因。植物栄養・土壤肥料大辞典。P 802-803。養賢堂（東京）。1976.
- 26) 相馬盛雄・成田春蔵・泉谷文足・中村幸夫・加藤 正：沖積土リンゴ園のカリ栄養について（第3報）。潜在的カリ欠乏園の根群分布について。園芸学会昭和40年度秋季大会発表要旨。P 10。1965.
- 27) 相馬盛雄：爆薬によるリンゴ園の植穴造成と抜根。農及園 41(10)。P 1497-1500。1966.
- 28) 相馬盛雄・加藤 正・成田春蔵：リンゴ園の暗渠排水に関する研究。青森県りんご試験場報告 17。P 58-65。1972.
- 29) 成田春蔵：爆薬による土層改良試験。東北農業研究 15。P 307-308。1974.
- 30) 長野県：果樹指導指針 昭和49年度。P 231。長野県。
- 31) 長井晃四郎・一木 茂・泉谷文足・清藤盛正・桜田 哲・鎌田長一：リンゴ枝幹部の栄養障害に関する研究（第1報）。マンガン過剰に基づく粗皮病の発生について。園学誌 34(4)。P 265-271.
- 32) 長井晃四郎・一木 茂・泉谷文足・清藤盛正・桜田 哲・鎌田長一：リンゴ枝幹部の栄養障害に関する研究（第2報）。ホウ素欠除による皮部障害の発生について。青森県りんご試験場報告 13。P 29-37。1969.
- 33) 野本亀雄：畑土壤中における塩基の行動に関する研究（第1報）。石灰の溶脱について。東海近畿農試報告 4。P 140-145。1957.
- 34) 野田昌也：土壤の反応について。土肥誌 8(2)。P 200-207。1934.
- 35) 橋本重久・勝又憲一・河森 武：滴淹欠乏土壤に関する研究第4報）。滴淹欠乏地帯における麦作に及ぼす磷酸肥料の影響。土肥誌 24(1)。P 5-9。1953.
- 36) 原田登五郎：水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究。辞技研報告B-9。P 123-245。1959.
- 37) Bremner, J. M: Methods of Soil Analysis. P 1149-1237。1965.
- 38) 細田克己・高田秀夫：砂質土壤の滴淹欠乏に就いて。土肥誌 24(1)。P 10-14。1953.
- 39) 丹野 頁・色部照夫：草生果樹園における石灰施用試験。Ca⁴⁵CO₃の土壤中の移行に就いて。昭45年度寒冷地果樹に関する試験研究打合せ会議資料。P 117。農林省園芸試験場盛岡支場編。1971.
- 40) 田中 謙：果樹園土壤の悪変と改良対策。農及園 45(1)。P 23-30.
- 41) Naftel, J. A.: Journal of the American Society of Agronomy 23(3)。P 175-185。1931.
- 42) White, J. W., F. J. Holben and C. D. Jeffries: Influence of soil acidity upon the decomposition of organic matter in soils, Soil Sci. 37(1)。P 1-14。1934.
- 43) 安酸俊行：ナン園の土壤改良。農及園 46(2)。P 359-364。1971.
- 44) Lucas, R. E. and J. F. Davis.: Relationships between pH values of organic soil and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Sci. 92(3)。P 177-182。1961.
- 45) Ririe, D. S. T. Toth and F. E. Bear: Movement and effect of lime and gypsum in soil. Soil sci. 73。P 23-33。1952.

Studies on correction and prevention of soil acidity in apple orchard.

Haruzo NARITA, Tadashi KATO, Hitoshi IWAYA,
Satoshi SAKURADA and Morio SOMA.

Aomori Apple Experiment Station,
Kuroishi, Aomori, 036-03, Japan.

Summary

In recent years, it has been observed that soils of apple orchard in Aomori Prefecture exhibited acidic properties due to application of physiological acidic fertilizers and over application of nitrogen fertilizer without liming for a long time.

In such orchards, the physiological disorders of apple trees have observed due to this soil degradation.

Since 1966, the authors have carried out studies on the effects and methods of lime applications in apple orchards.

This report deals with the results obtained during this study from 1966 to 1979, and the results were summarized as follows.

1. The relationships between the growth of young apple trees and the amount of liming.

The experiments were carried out to investigate the growth of young apple trees (Starking Delicious and Golden Delicious) under experimental controlled pH values and percentages of base-saturation of the two soil types, namely, the black humus-volcanic ash soil and the clayey alluvial soil.

(1) After three years from planting, the growth of young apple trees was proportional to the percentage of base-saturation in the two soils, i. e. in the sequence of growth ; 80% (pH6.6) > 60% (pH6.0) > 40% (pH5.4) > 20% (pH5.2) > 10% (pH4.5) in the black humus-volcanic ash soil, 80% (pH6.6) > 60% (pH5.9) in the clayey alluvial soil.

(2) The contents of nitrogen, phosphorous, calcium and magnesium in the leaves, the small-roots and the several branches-barks were observed in higher with increasing the percentage of base-saturation.

2. On the methods of lime application to soil in apple orchard.

The effectiveness of four new different liming methods were compared with the surface application of ordinary method.

The four methods were :

- (i) Subsoiler-liming (: lime application with subsoiler)
- (ii) Dynamite-liming (: lime application in a hole dug by the explosion of dynamite)
- (iii) Soil injection of liquid-lime (: soil injection of lime solution pressured by injection-machine, commercial name "Soiler".
- (iv) Soil injection of liquid-lime (: horizontally injection of lime-solution in soil by high pressure injection-machine, commercial name "Soil-Power".

(1) In the ordinary method, i. e. the surface application, 24 metric ton of lime applied per hectare to different soil types by mixing surface soil down to 5 cm.

An improvement of soil pH condition after 3 years and 7 month from liming was effective to the depth of 20 cm from surface, but after 13 years from liming it was effective to depth of 60 cm from surface. Improvement of the soil characters in respect to pH and exchangeable

calcium were easier in the sandy volcanogenous and the alluvial soil than in other soils.

(2) In the subsoiler-liming method, the soil was treated down to depth of 30 cm from surface. To the vertical direction, improvement of soil acidic condition and enrichment of exchangeable calcium were observed to the depth of 40~45 cm from the surface. To the horizontal direction, however, the extent of improvement was within 5 cm from the drain dug by the subsoiler.

(3) In the dynamite-liming method, hollow dug by the dynamite was leveled off before the liming. The contents of exchangeable calcium were increased considerably around a site which was softened by the explosion.

(4) In the soil injection method of making use of the "Soiler", liquid lime was injected into the soil at intervals of 30 cm in four direction. Soil characters in respect to pH value and the contents of exchangeable calcium were improved in the extent of the whole rootzone by this method.

(5) In the soil injection method of making use of "Soil-Power", liquid lime was horizontally injected into soil at the depth of 20 cm and 40 cm below surface.

The enrichment of exchangeable calcium were observed at the depth of 20 cm and 40 cm at initial, but it was obvious that the whole extent of the rootzone was improved by downward movement of applied lime after 3 years.

(6) The method of soil injection of liquid-lime was found to be the most effective than that of surface application to correct soil acidity of apple orchard.

3. The recovery of the rough bark disease by using the soil injection of liquid-lime.

The effect of the soil injection of liquid-lime to recover the rough bark disease which was cause by excess absorption of manganese were investigated by using "Soiler" machine on several soil series of apple orchard.

(1) This method was found to be very effective to recover the rough bark disease except on poorly or temporarily water logged soils.

(2) The vigorous growth of shoots and enrichment of nitrogen contents in leaves were observed on the trees which recovered from the disease, but the contents of manganese in the leaves were decrease.

This was supposed to be due to the fact of increase of nitrogen and decrease of manganese in soils of the recovered plots.

4. The percolation and reaching losses of base of soil, and the rate of slowing-down of soil acidity.

This experiments were practiced during 1971 to 1979 to learn the percolation and reaching losses of base of soils and the rate of slowing-down of soil acidity with lysimeters.

(1) The percolation and reaching losses of base and the rate of slwing-down of soil acidity in different soils were as follows :

Table 1. The percolation and reaching losses of base in different soils for a year.

soils	base (kg/ha/year)			
	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
black humus-volcanic ash soil (I) (erupted from IWAKI)	84.1	584.1	201.5	137.4
black humus-volcanic ash soil (II) (erupted from HAKKODA)	70.9	576.2	126.5	132.3
clayey alluvial soil	88.6	511.9	85.0	124.8
sandy alluvial soil	92.8	530.2	140.9	139.3

Table 2. The rate of slowing-down of soil acidity after 8 years from liming in different soils.

soils *	pH value		(A-B)
	(A) initial soil pH	(B) after 8 years from liming	
black humus-volcanic ash soil (I) (erupted from IWAKI)	5.91	5.23	0.68
black humus-volcanic ash soil (II) (erupted from HAKKODA)	6.12	5.21	0.91
clayey alluvial soil	6.20	5.34	0.86
Sandy alluvial soil	6.30	4.61	1.69

* 100kg N/ ha

(2) The percolation and reaching losses of base and the rate of slowing-down of soil acidity in different nitrogen fertilizers with black humus-volcanic ash soil-(I) were as follows.

It was greater in the plot of 300 kg per hectare than that of 100 kg of nitrogen fertilizer element per hectare were applied.

Table 3. The percolation and reaching losses of base in different nitrogen fertilizers for a year.

nitrogen fertilizer element per hectare N : kg/ha	base (kg/ha/year)			
	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
100 kg	84.1	584.1	201.5	137.7
300 kg	121.5	812.7	207.6	157.8

Table 4. The rate of slowing-down of soil acidity after 8 years from liming in different nitrogen fertilizers.

nitrogen fertilizer element per hectare (N : kg/ha)	pH value		(A-B)
	(A) initial soil pH	(B) after 8 years from liming	
100 kg	5.91	5.23	0.68
300 kg	6.10	4.58	1.52

(3) These facts were recognized that annual losses of lime material (enclose 55% CaO) by percolation were 1500~2000kg per hectare in apple orchard in Aomori prefecture.