

リンゴ園の暗渠排水に関する研究

相馬盛雄・加藤 正・成田春蔵・中村幸夫*

Studies on the underdrainage of apple orchards.

MORIO SOMA, TADASHI KATO, HARUZO NARITA and YUKIO NAKAMURA
Aomori Apple Experiment Station
Kuroishi-City, Aomori Prefecture, Japan

目 次

I 緒 言	22
II 暗渠排水工事の概要	23
1. 試験ほ場の立地条件	23
2. 暗渠工事の概要	23
III 地下水位および排水量の変化	26
1. 地下水位の変化	26
(1) 調査方法ならびに測定方法	26
(2) 調査結果	28
ア. 時期別地下水面の変化	28
イ. 過湿期ならびに夏期の多雨時における地下水面の変化	29
ウ. 吸水渠と吸水渠の間の地下水面	30
(3) 考 察	31
(4) 摘 要	32
2. 排水量の変化	32
(1) 調査方法ならびに測定方法	32
(2) 調査結果	32
ア. 時期別排水量の変化	32
イ. 早春の過湿期における排水量の変化	32
ウ. 夏期の多雨時における排水量の変化	33
(3) 考 察	34
(4) 摘 要	35
IV 土壌の理化学性に及ぼす影響	35
1. 過剰水の分布	35
(1) 調査方法ならびに測定方法	35
(2) 調査結果	35
(3) 考 察	36
(4) 摘 要	36
2. 土壌三相の変化	36
(1) 調査方法ならびに測定方法	37
(2) 調査結果	37
(3) 考 察	40
(4) 摘 要	40
3. 地温の変化	41
(1) 調査方法ならびに測定方法	41

1972年7月31日受付

※ 現新潟県庁勤務

(2) 調査結果	41
(3) 考察	41
(4) 摘要	42
4. 土色ならびに斑紋結核の変化	43
(1) 調査方法ならびに測定方法	43
(2) 調査結果	43
ア. 土色の変化	43
イ. 斑紋結核の生成とD反応	34
ウ. 過湿期における二価鉄の消長	46
(3) 考察	46
(4) 摘要	47
5. 土壌透水性の変化	47
(1) 調査方法ならびに測定方法	47
(2) 調査結果	47
ア. 土壌孔隙率の変化	47
イ. 透水性の変化	48
ウ. 透水性に影響を及ぼす土壌要因	50
(3) 考察	51
(4) 摘要	52
6. 地耐力の変化	52
(1) 調査方法ならびに測定方法	52
(2) 調査結果	53
ア. 過湿期における土壌硬度の変化	53
イ. 土壌硬度とスピードスプレーヤーの走行性	56
ウ. 暗渠排水による踏圧層生成の抑制	56
(3) 考察	57
(4) 摘要	58
7. 暗渠排水による溶脱量	58
(1) 調査方法ならびに測定方法	58
(2) 調査結果	59
ア. 暗渠排出水中の肥料成分	59
イ. 暗渠工事園と未工事園の土壌塩基含量	59
ウ. 暗渠工事園における塩基含量の分布	60
(3) 考察	61
(4) 摘要	61
V リンゴの生育に及ぼす影響	62
1. 根群の分布と根群形態	62
(1) 調査方法ならびに測定方法	62
(2) 調査結果	62
(3) 考察	64
(4) 摘要	65
2. 暗渠工事園と未工事園の生育状況	65
(1) 調査方法ならびに測定方法	65
(2) 調査結果	66
(3) 考察	68
(4) 摘要	68
3. 収量および果実品質	68
(1) 調査方法	68

(2) 調査結果	69
(3) 考察	70
(4) 摘要	70
VI 病害虫発生相の変化	71
1. 調査方法ならびに測定方法	71
2. 調査結果	71
(1) モニリア病子実体の発生状況	71
(2) 実ぐされ発生状況	73
3. 考察	73
4. 摘要	73
VII 経済効果	74
1. 調査方法	74
2. 調査結果	74
3. 考察	74
4. 摘要	75
VIII 総括	75
引用文献	76
Summary	79

I 緒 言

生産の基盤である樹園地の、土壌および水利条件をリンゴ樹の発育に好都合にすることは望ましいことである。そして、うまいリンゴ作り、栽培の省力化が叫ばれている今日ほど、樹園地の栽培環境整備が緊急の要事であることは言うまでもない。栽培環境の改善としては、病害虫発生密度の低減、土地生産力の増強などがあげられる。とくにリンゴ園の地力を向上させ、土地のもつ生産力を十分に発揮させることができなければ、収量の増加と品質の向上に伴う収益性の向上は期待できないし、生産費の低減もあり得ない。

わが国のリンゴ園では、地力増強のための土壌管理法として草生栽培、敷ワラ栽培が広く普及し、著しい効果をあげているが、これらの土壌管理は土壌被覆など土壌の表面を保全する狭い意味での土壌管理法と言っても過言ではない。本来、リンゴ園の土壌管理は、リンゴの生長結実を最も良好にするような土壌条件への改善を指すものであるから、土壌管理は単に地表管理にとどまることなく、リンゴの品種、土壌の性質、経営条件を考慮しながら、灌水、排水、土層改良を含めた広い意味での土壌管理法が確立されなければならない。リンゴは果樹の中でも根圏が深く、下層土の性質によって生産性が著しく左右される。それだけに下層土の改善が重要な意味をもち、土壌深耕、土壌排水の果す役割が大きいものと考えられる。しかし、下層土の改善に対しては必ずしも有効な手段が講じられていないし、技術開発もまた遅れていると言つてよい。とりわけ、わが国における土壌排水の実験例は極めて少ない。

排水不良リンゴ園における土壌排水の効果については、諸外国では早くから研究が行なわれ、その効果が著しいことが明らかにされているが、わが国の果樹では土壌排水の研究が少なく、その成果についてはリンゴではほとんどみあたらない現状である。

わが国のリンゴ栽培は積雪寒冷地帯に発達しているが、このことと相関連して北海道、東北の北部では排水不良リンゴ園の分布が非常に多い。筆者ら⁽³⁰⁾ ⁽²⁸⁾ ⁽⁴¹⁾ ⁽⁴²⁾ ⁽⁴³⁾ ⁽⁴⁴⁾は青森県下のリンゴ園土壌調査を実施したところ、排水不良リンゴ園の分布が多く、青森県だけでも約5,300haに達し、全県下のリンゴ園面積中約25%に及び、そのほとんどが青森県西南地区の津軽地方に分布していることを報告した。

排水不良地のリンゴ園は、土壌の過湿が原因して樹体の生育不良、収量品質の低下を招いているばかりでなく、病害虫の多発とくにリンゴの作柄を決定すると言われる恐しい病気のモニリア病の発生が多く、作業の面でも停滞水や土壌中の過剰水のため地盤の支持力が弱く、大型機械の園地への導入を困難にしている例が多いな

ど、いわゆるリンゴ園の中でも低位生産地を形成しているところが非常に多い。したがって、排水不良リンゴ園では新しい技術も十分な効果が発揮できず、園地の排水不良がリンゴ栽培で大きな隘路になっている。この隘路を打開するには土壌排水を実施するよりほかに方法がない。

排水不良リンゴ園では、従来より個人的に明渠を設定したり、石暗渠、ソダ暗渠、竹暗渠、さらには箱暗渠などの簡易暗渠が行なわれた例は少なくない。しかし、明渠では土地利用度が低く、機械作業に支障が多いこと、簡易暗渠では効果の経済的持続年数が短いこと、さらには、個人的な小規模工事では排水効果が十分に達せられないなどから、土地改良としての本格的な管暗渠が提唱されるに至った。

この研究は、わが国の果樹園で始めて本格的な管暗渠による暗渠排水を共同で大規模に実施した弘前市大字宇和野地区、清水土地改良区の成果を見聞し、施工後6年目から暗渠排水の効果確認を目的として現地実態調査に着手し、最近ではリンゴ園における排水基準の設定を主題に試験研究を進めている。研究成果はすでに一部⁽³⁹⁾ ⁽⁴⁰⁾を公表しているが、ここでは、これらの研究報告を含めて1967年までに実施した暗渠排水の効果についてとりまとめをした。

本研究の実施にあたっては、元青森県りんご試験場化学部長沢川潤一博士（現岩手県園芸試験場長）、前青森県りんご試験場長木村基弥博士より御助言ならびに御指導を賜わった。成績のとりまとめにあたっては、青森県りんご試験場長福島住雄博士、岩手県園芸試験場長沢川潤一博士、青森県りんご試験場化学部長三浦淳平に御配慮をわずらわした。

また、試験研究をすすめるにあたっては、宇和野地区では弘前市大字悪戸の田村精三、岩木町大字高屋敷の石田清衛、岩木町大字如来瀬の対馬秀雄、浪岡地区では浪岡町大字杉沢の平野徳蔵、浪岡町大字杉沢の石村成男、浪岡町大字浪岡の岡田福太郎の各氏、ならびに宇和野地区と浪岡地区の暗渠共同施工区の生産者各位に絶大なる御支援と御協力を得た。さらに、研究の実施にあたっては、青森県りんご試験場業務員盛清、佐藤年治の御協力を得た。これら各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

なお、本研究中1961年から1966年までの研究は、農林省試験研究総合助成によって実施されたものであることを附記する。

II 暗渠排水工事の概要

1. 試験ほ場の立地条件

弘前市大字宇和野（以下宇和野地区と記す）と、南津軽郡浪岡町大字杉沢字板橋野山（以下浪岡地区と記す）の二地区に試験ほ場を設置した。宇和野地区は奥羽本線弘前駅から西方へ約4 km、浪岡地区は奥羽本線浪岡駅から東方へ約3 km離れたところにある（第1図）。この両地区とも地形的には台地上に分布し、土壌的に

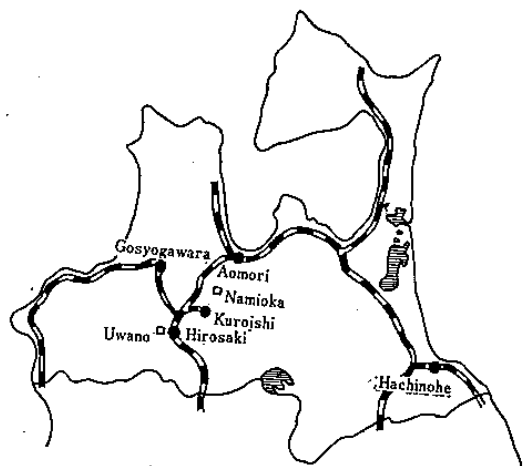


Fig. 1. Situation of experimental plots.

は成層状態が同一であり、また、年間降水量は1240mm前後、最大日降水量も約120mmになっているなど立地条件は非常に類似している。土壌は表層が保水力の大きい黒色火山灰土壌にて被覆され、中層の浮石粒を多量に含んだ土層を経て、下層にも密度の高い不透水性の堆積土層が厚く堆積している。そのため、両地区とも早春の過湿期にはリンゴ園土壌が過剰水で満され、第2図のように地表に停滞水を生ずることが多く、夏期でも豪雨時や長雨時には場所によってはしばしば停滞水が観察される。



Fig. 2. A view of a poorly drained apple orchard at the thawing season.

排水不良地の形成要因としては、地理的条件すなわち

水理的条件が悪い場合と、土壌条件、いかえれば土壌の透水性が悪い場合の二つがあげられる。このうち、いずれが悪くても排水不良地を形成するが、水理的条件、土壌条件とも悪い例が少なくない。宇和野地区と浪岡地区の排水不良リンゴ園は、下層に不透水性の土層が堆積して融雪期ならびに夏期の豪雨時に地下水位が上昇するなど土壌条件によるところが大きい。

2. 暗渠工事の概要

暗渠施設は宇和野地区、浪岡地区とも地下水位の高い10月から翌年4月までの過去20年間における最大月雨量の50%を15日間で排除できるように、単位排水量を1~2 l/sec/haに見込んで設計された。

(1) 宇和野地区の概要

宇和野地区は約800haの排水不良リンゴ園のうち26.96haを対象とし、事業費490万円を投じて1955年8月から1956年3月にかけて施工した。暗渠排水組織平面図を示すと第3図のとおりである。

Introductory remarks	
Drainage canal	——
Collecting canal	——
Water absorbing conduit	----
Lock	*
Paddy field	
Grass field	
Pond	

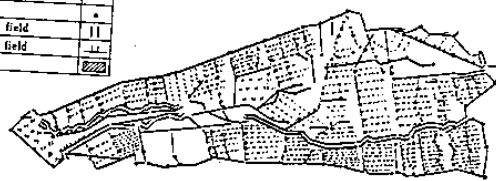


Fig. 3. Underdrainage systems at Uwano.

幹線排水路は明渠とした。集水渠は総延長が2,949mであるが、約100m間隔に1本の割合とし、排水口は幹線排水路の流れにさからわないように鋭角または直角になるように配置した。集水渠の埋設は第4図のように1.2mの深さに埋設したが、勾配は地形に応じて自然方式を採用したので1/50~1/100の範囲であった。

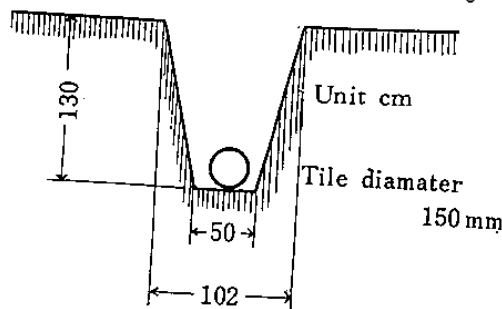


Fig. 4. Section of laying of collecting canal.

吸水渠の総延長は12,279mである。間隔は大半が13.0~14.4mで2樹列ごととし、できるだけ等高線に平行的に配列したが、吸水渠の延長は150mを超えないようにするとともに、最低でも1/300位の勾配を保つようにし

た。しかし、比較的勾配が急なところは3~4樹列ごとに吸水渠を配列した。

水こうは集水渠に吸水渠を2列配置するごとに設置したが、集水渠と吸水渠の接合部から1~2m下流側とした。設置箇所は90箇所にあんだが、いずれも平坦地用の水平式水こうを使用した。

また、使用した管は第5図、使用本数は第1表のとおりであるが、被覆材料には生ワラ、杉葉を使用した。

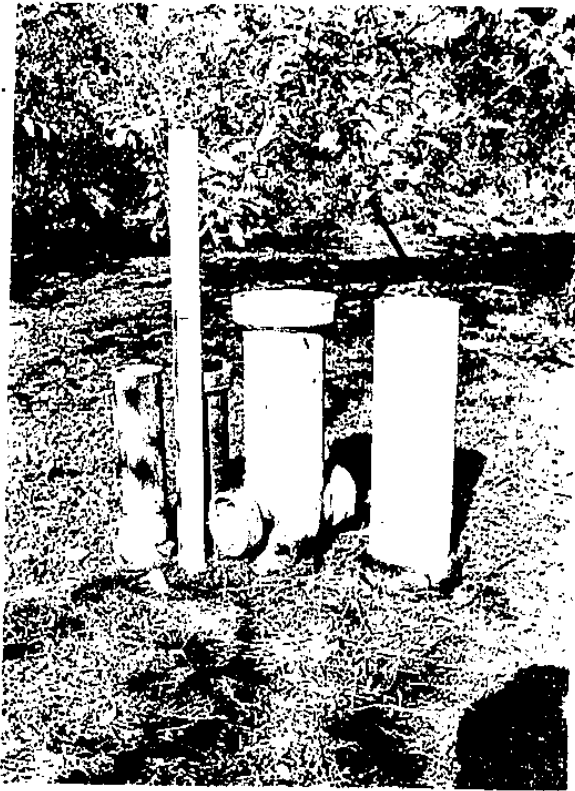


Fig. 5. Various types of drain tile used at Uwano.

Table 1. Sorts and numbers of drain tiles used (at Uwano).

Sorts of drain tiles		No. of tiles
Straight tile	Internal diameter 180 mm	26
	150	847
	100	2,899
	75	31,561
Branch tile	150 x 75	29
	100 x 75	125
	75 x 75	55
Lock	150	13
	100	52
	75	25
Concrete tile		6

(2) 浪岡地区の概要

浪岡地区は約 350haの排水不良リンゴ園中 15.20haを対象とし、事業費 300万円を投じて1962年11月から12月にかけて施工した。暗渠組織平面図を示すと第6図のとおりである。

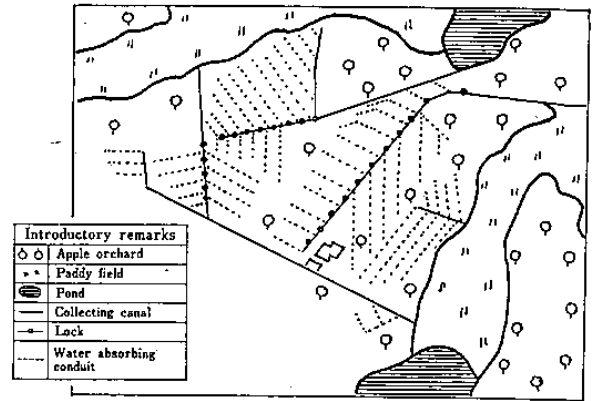


Fig. 6. Underdrainage systems at Namioka.

工事実施地区は排水地域外からの表面流出水の地区内侵入を防止するため、上幅 1.3m、下幅 0.3m、深さ 1.0mの明渠を配置するとともに、地区内の地下水は暗渠によって隣接する水田排水路に排除した。

集水渠および吸水渠の埋設は第7図のようにした。

Collecting canal Water absorbing conduit

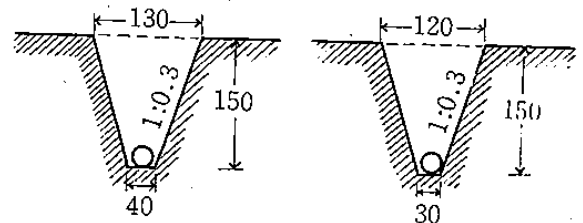


Fig. 7. Section of laying of collecting canal and water absorbing conduit.

集水渠は3本とし、総延長は 1,935mであるが、その勾配は 1/25~1/50 の範囲に保つようにした。

吸水渠は総延長が 6,255mである。間隔は大半が3樹列ごとの21m前後としてはほぼ等高線上に配列し、その延長は 150m位までとし、深さ 1.5mに埋設した。

水こうは43か所に設置したが、集水渠の勾配が比較的急なところが多いことから落差式水こうを採用し、夏期の乾燥時に水こうに蓋をして捕水するようにした。

また、使用した管の種類と本数は第2表のとおりであるが、被覆材料には生ワラ、杉葉を使用した。

第8図から第15図は浪岡地区における暗渠工事施工の工程を示したものである。



Fig. 8. A draining view before completion at Namioka.

Table 2. Sorts and numbers of drain tiles used (at Namioka).

	Sorts of drain tiles	Size		No. of tiles
		cm	cm	
Underdrain	Straight tile	60 × 23		1,321
		45 × 7.5		9,490
	Lock	60 × 23		44
		45 × 7.5		4
Ditch drain	Straight tile	45 × 7.5		3,857
		45 × 7.5		6
	Branch tile	45 × 7.5		6



Fig. 10. A view of trenching of collecting canal.



Fig. 9. A view of trenching of water absorbing conduit.



Fig. 11. Laying of a water absorbing conduit.



Fig. 12. Laying of lock.



Fig. 14. A burying view.

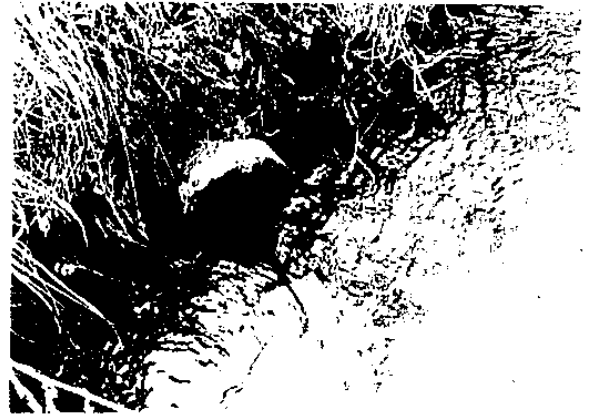


Fig. 15. A draining view.



Fig. 13. Tile drain, enveloped in permeable media of straw.

Ⅲ 地下水面および排水量の変化

この項では暗渠排水に伴う地下水面低下の実態と暗渠からの排水量を明らかにするため諸調査を実施した。

1. 地下水面の変化

暗渠工事園と未工事園における地下水面変化の実態を明らかにするとともに、暗渠工事園における地下水面形成の変化について調査を試みた。

(1) 調査方法ならびに測定方法

ア. 実験 1

時期別地下水面の変化を明らかにするため、宇和野地

区では1961年から1963年の3か年にわたり、浪岡地区は1963年に地下水面を定期的に観測した。

暗渠工事園においては、吸水渠より2 m離れた地点で樹間の中央部に、未工事園においても樹間の中央部に、各々直径5 cm、長さ200 cmのビニールパイプを第16図のように埋設し、簡易地下水面測定井戸を設置した。使用したパイプには地下水の透過を容易にするため、5 cm間隔で4列に小孔をあけ、埋設の際にはパイプの周囲に径1 cm程度の砂利を入れて固めた。

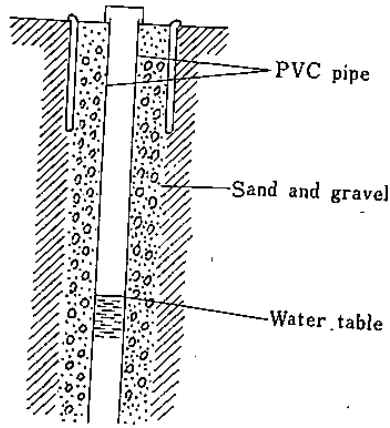


Fig. 16. Section of well for measuring ground water table.

下水位計をとりつけて短期間における地下水面の変動を観測した。

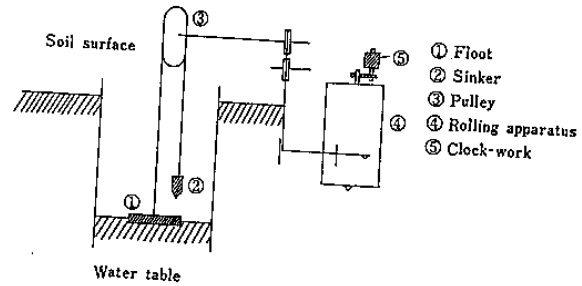


Fig. 17. Measurement apparatus of ground-water table.

イ. 実験 2

過湿期ならびに夏期の多雨時における地下水面の変化を明らかにするため、1963年に宇和野地区で観測を行なった。暗渠工事園では吸水渠より2 m離れた地点で樹間の中央部に、未工事園では樹間の中央部に観測井戸をつくった。観測井戸は直径45cm、長さ2 mで周囲に小孔のあるヒューム管を埋め、その上に第17図のような自記地

ウ. 実験 3

吸水渠と吸水渠間の地下水面を測定するため、宇和野地区で調査を行なった。1963年は地表下130cmに吸水渠を埋設した園地を対象とし、吸水渠の間隔15.6 mに1.2 m間隔で12本の地下水面測定用ビニールパイプを埋設し、融雪期の地下水面を観測した。1966年は地表下105 cmの深さに吸水渠を埋設した園地を対象とし、吸水渠の間隔15.7 mのところ0.5~2.85 mの間隔で11本のビニ

Table 3. Daily rainfall from 1961 to 1962 (at Uwano).

Date	1961 July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	1962 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July
1	-	-	16	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-
2	32	-	0	-	0	0	28	1	6	-	-	-	-
3	19	-	-	-	18	0	3	0	0	-	-	1	-
4	0	-	2	8	5	-	8	-	0	7	0	1	-
5	-	-	0	13	0	2	4	0	0	2	7	2	0
6	0	1	30	15	0	15	2	5	0	0	-	-	1
7	1	-	0	0	-	6	1	4	-	-	-	-	-
8	-	2	-	-	4	6	0	4	4	-	-	-	-
9	0	0	11	3	1	1	0	0	0	-	-	3	-
10	0	-	-	8	5	1	-	1	0	-	-	0	0
11	62	0	-	0	4	4	0	2	2	7	1	12	0
12	0	-	-	0	4	4	0	7	4	-	-	3	6
13	6	-	0	4	8	-	0	8	5	-	2	10	7
14	4	0	60	0	3	6	1	7	2	-	6	-	0
15	0	-	27	0	4	3	4	7	2	3	4	3	-
16	17	0	12	-	4	0	4	11	0	1	-	0	-
17	1	0	2	-	18	0	1	7	2	-	-	-	0
18	-	-	0	-	5	4	0	6	1	-	-	-	-
19	-	-	-	2	5	1	0	3	3	-	31	2	1
20	-	0	-	4	-	2	15	1	1	0	0	1	-
21	-	-	-	-	-	9	10	9	1	-	-	0	5
22	15	0	-	-	2	7	4	3	0	-	-	-	22
23	48	1	6	7	0	10	2	16	13	0	-	-	1
24	16	20	15	1	5	2	1	4	3	-	-	0	0
25	10	6	8	0	5	7	6	4	4	-	0	4	-
26	61	21	0	0	7	9	4	4	1	-	1	-	-
27	0	0	-	0	0	13	1	0	1	-	-	-	-
28	-	-	-	2	3	8	12	2	2	6	-	0	-
29	-	-	-	0	5	3	8	2	7	3	1	3	-
30	0	0	-	0	-	0	11	-	10	4	-	0	0
31	0	48	13	0	-	0	4	-	-	0	0	-	1
Total	292	99	202	67	102	119	121	118	73	39	53	46	44

ールパイプを埋設した。

(2) 調査結果

ア. 時期別地下水面の変化

暗渠工事の施工に伴う地下水面の時期別変化を明らかにするため、未工事園の地下水面と対比しながら調査を行なったところ次のような結果が得られた。

(イ) 宇和野地区の調査結果

調査地から約4 km離れた弘前気象観測所の降水量は第3, 4表のとおりである。また、時期別地下水面の調査結果は第5, 6表および第18図のとおりであった。

時期別地下水面をみると、暗渠工事園では1 m前後が多く、晩秋ならびに早春の過湿期においても地表下88cmより上昇したことがなかった。しかし、未工事園では秋期より春期にかけて、また、夏期においても多雨後には地下水面が著しく上昇した。

融雪後における早春の3月、4月頃の地下水面は、1962年4月2日を例にとると、未工事園では地表下10cmまで上昇したが、暗渠工事園では88cmであり、1963年3月25日の融雪直後の地下水面は未工事園では地表面に停滞水が観察されたが、暗渠工事園では地表下92cmのところに地下水面が位置した。夏期の7月および8月頃の多雨時における地下水面をみると、1961年7月24日の場合は前2日間の降雨量63mmによって未工事園では地下水面が地表下38cmまで上昇したが、暗渠工事園では88cmにとどまり、1963年7月29日の例では前5日間の降雨量89mmによって未工事園の地下水面は48cmに上昇したが、暗渠工事園では地表下102cmに位置していた。一方、1962年は夏期の降雨量が少なく、7月以降は暗渠工事園が地表下2 m以下に、未工事園でも177cmまで地下水面が低下

Table 4. Daily rainfall in 1963 (at Uwano).

Month Date	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
	1	10	12	0	-	1	-	1	10	-
2	10	0	0	-	8	0	25	-	-	2
3	2	-	-	0	-	1	1	-	0	-
4	8	0	0	1	-	0	0	-	-	3
5	0	6	0	0	-	-	-	0	-	-
6	-	7	11	-	4	-	1	1	-	1
7	1	-	-	-	0	-	1	1	1	-
8	3	16	-	-	3	0	-	-	13	10
9	3	4	-	14	-	-	-	2	18	0
10	-	0	-	1	-	-	-	11	0	3
11	-	-	-	-	-	13	0	0	6	0
12	-	-	-	-	-	64	-	-	1	0
13	-	-	0	2	6	-	2	-	4	0
14	-	-	30	14	6	5	-	17	1	4
15	-	2	-	0	0	4	10	-	0	2
16	0	3	0	-	14	0	10	7	2	0
17	-	9	0	-	8	0	2	0	-	1
18	0	0	0	2	0	0	18	1	1	9
19	-	-	-	0	0	-	14	-	0	3
20	0	-	9	3	0	-	-	-	1	1
21	0	-	0	-	-	-	8	-	0	4
22	-	-	0	12	0	10	25	-	5	2
23	7	1	-	5	0	2	0	-	1	1
24	30	1	13	0	48	1	-	-	0	3
25	-	-	-	30	37	0	1	0	15	0
26	-	-	11	0	4	0	3	1	2	5
27	-	-	-	-	-	-	1	0	5	8
28	8	-	-	0	0	0	0	-	8	5
29	5	8	-	35	5	0	-	12	1	12
30	0	16	12	1	-	12	0	7	4	1
31	-	-	19	-	-	2	-	1	-	0
Total	87	85	105	120	144	114	114	81	89	82

し、1963年には8月に入ってから降雨がほとんどなかったため8月12日の地下水面は未工事園が158cm、暗渠工事園では174cmまで低下していた。

Table 5. Seasonal change of ground-water table in drained and undrained plots (at Uwano, 1961-1962).

Plot	1961																
	July 18	20	24	Aug. 1	10	17	28	Sept. 11	18	27	Oct. 9	20	Nov. 10	13	24	30	Dec. 2
Drained plot	120	104	88	108	148	172	184	126	95	102	114	111	128	108	102	98	102
Undrained plot	82	86	38	83	115	128	155	90	52	62	90	98	96	89	87	81	83
Difference	20	18	50	25	33	44	20	36	43	40	14	12	32	19	15	17	15
Plot	1962																
	Feb. 6	Mar. 23	26	Apr. 2	6	10	16	24	May 2	8	10	16	24	June 6	11	14	July 2
Drained plot	103	90	91	88	93	98	104	108	113	118	120	132	135	166	172	182	201
Undrained plot	90	52	21	10	44	70	92	98	101	104	103	114	116	131	142	162	177
Difference	13	39	70	78	49	28	12	10	12	14	17	18	19	35	30	20	24

Table 6. Seasonal change of ground-water table in drained and undrained plots (at Uwano, 1963).

Plot	Month and date		Mar.						Apr.				May				June				July			
	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29					
Drained plot	92	103	113	115	117	113	118	123	117	118	115	118	126	137	108	115	145	138	102					
Undrained plot	0	55	74	97	102	103	107	111	105	105	103	114	108	120	83	102	125	108	48					
Difference	92	48	36	18	15	10	11	12	12	13	12	1	18	17	25	13	20	30	54					
Weekly rainfall	37	13	25	20	14	2	24	11	30	33	31	15	17	22	61	13	15	22	89					

plot	Aug.				Sept.						Oct.				Nov.				Dec.
	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	
Drained plot	138	174	115	137	140	147	180	121	121	130	140	115	125	122	114	107	113		
Undrained plot	110	158	95	110	130	114	123	94	104	110	131	107	109	106	100	102	96		
Difference	28	16	20	27	10	33	57	27	17	20	9	8	16	16	14	14	5	17	
Weekly rainfall	6	13	73	13	15	28	12	67	6	11	14	25	1	20	32	14	8	35	

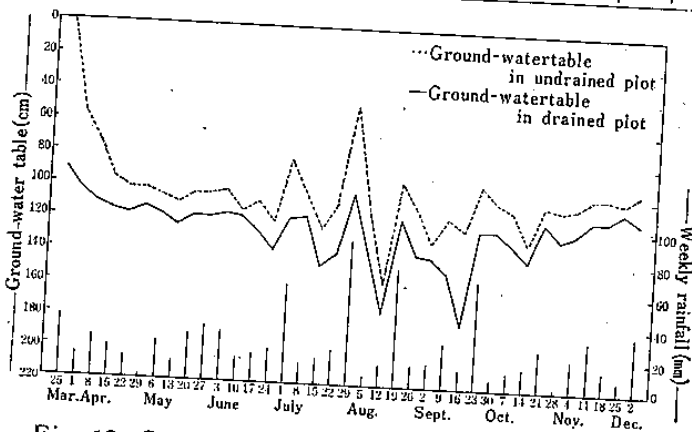


Fig. 18. Seasonal change of ground-water table in drained and undrained plots (at Uwano, 1963).

(イ) 浪岡地区の調査結果

調査地から約7km離れた青森県りんご試験場の降水量は第7表のとおりである。さらに、時期別地下水面の調査結果を示すと第8表のとおりであった。

浪岡地区の地下水観測は、5月の落花期から11月の収穫期まで継続実施したが、浪岡地区の地下水もまた宇和野地区と同じように暗渠工事園の地下水が未工事園のそれより常に低い状態で推移した。1963年7月1日の地下水は未工事園が前1週間の降雨量62mmによって地表下25cmにまで上昇したが、暗渠工事園では93cmにとどまった。一方、最も低下した9月2日の地下水は、未工事園で100cm、暗渠工事園は130cmであった。観測期間中における地下水の平均は暗渠工事園が108cm、未工事園が47cmであり、両区の差は61cmであった。この差は同一時期の宇和野地区の差20cmよりはるかに大きかった。

Table 7. Daily rainfall in 1963 (at Namioka.).

Date	Month						
	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
1							
2		0	0	0	0	17	0
3		0	0	0	28	0	0
4		0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0
6	9	0	0	0	0	0	0
7		0	4	0	5	7	0
8		0	3	0	0	0	0
9		0	0	0	0	0	5
10		17	0	0	0	2	23
11		1	0	0	0	7	0
12		0	0	1	0	3	7
13		0	0	55	0	0	1
14	28	2	5	0	4	0	5
15		0	19	5	0	23	1
16		10	0	4	12	0	2
17		0	17	8	8	4	2
18		0	14	1	6	1	0
19		0	0	0	29	0	0
20		1	0	0	7	0	0
21		1	0	0	0	0	0
22		0	0	0	10	0	0
23		0	0	12	21	0	27
24	11	16	0	1	2	0	0
25		7	67	1	0	0	-
26			39	0	1	0	20
27	11	31	1	0	4	2	2
28		0	0	0	-	0	5
29		0	0	-	0	0	4
30	11	0	12	0	0	20	0
31	14	0	0	6	1	6	7
Total	94	118	181	96	138	92	111

Table 8. Seasonal change of ground-water table in drained and undrained plots (at Namioka, 1963).

Plot	Month and date		July			Aug.			Sept.			Oct.		Nov.			
	May 27	June 3	17	1	8	22	5	12	19	2	23	1	21	28	4	18	25
Drained plot	cm 101	cm 111	cm 108	cm 93	cm 110	cm 103	cm 100	cm 130	cm 125	cm 130	cm 90	cm 95	cm 112	cm 113	cm 105	cm 108	cm 103
Undrained plot	50	41	63	25	35	43	55	60	50	100	40	25	38	55	48	30	35
Difference	51	70	45	48	75	60	45	70	75	30	50	70	74	48	57	78	68

イ. 過湿期ならびに夏期の多雨時における地下水面の变化

一時的に多量の融雪水や降雨量があるときは、地下水面は急激に上昇することが多い。早春の過湿期ならびに夏期の多雨時における暗渠工事園と未工事園の地下水面の変動について経時的な観測を行なったところ次のような結果が得られた。

(ア) 早春の過湿期における地下水面の变化

1963年3月26日の融雪直後から4月1日までの短期間における地下水面の変動を調査した結果は第19図のとおりである。

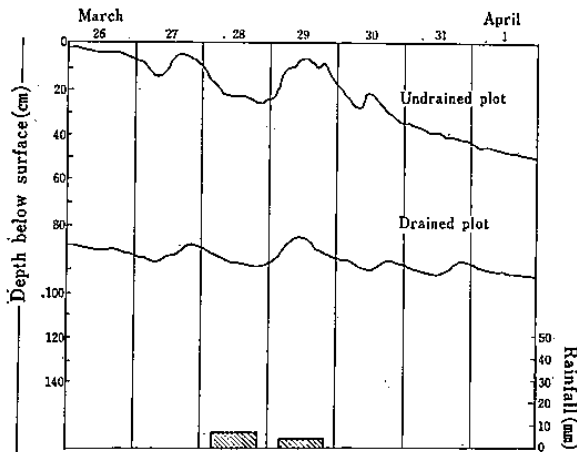


Fig. 19. Change of ground-water table during the thawing season (at Uwano, 1963).

未工事園における早春の過湿期の地下水面は、消雪に伴って一時に放出される大量の融雪水の影響を受けて3月26日の例にみられるように地表面近くまで地下水面が上昇し、その後徐々に低下しているが、わずかな降雨量によっても著しく地下水面が変動した。これに比べて暗渠工事園では消雪直後でも地下水面が地表下80cm以下に位置し、その後次第に低下しているが、地下水面低下の様相は未工事園より緩慢であり、降雨の影響をうける度合いも少なかった。

(イ) 夏期の多雨時における地下水面の变化

1963年7月25日を中心として観測した例を示すと第20図のとおりである。

降水量が前2日間で約85mmを記録した7月25日の地下水面は、未工事園では一挙に63cm上昇して地表下45cmに

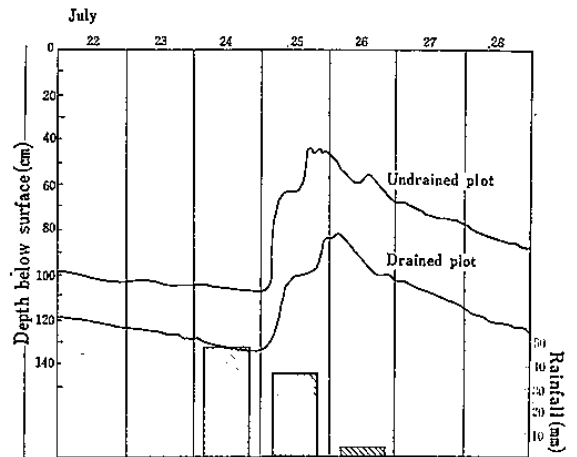


Fig. 20. Change of ground-water table at heavy rain in summer (at Uwano, 1963).

達し、暗渠工事園のそれは53cm上昇して地表下82cmに位置した。このときの変化をみると、未工事園、暗渠工事園とも降雨開始後ほぼ24時間を経過してから地下水面が上昇し始めた。その後、未工事園の地下水面上昇が急激で山もけわしく、暗渠工事園の地下水面上昇はゆるやかで山の形成も遅くあらわれ、未工事園に比べて数時間のずれがあった。一方、降雨後における地下水面の下降速度は未工事園より暗渠工事園の方が早い傾向にあり、次第に暗渠工事園と未工事園の地下水面の差が大きくなった。

ウ. 吸水渠と吸水渠の間の地下水面

暗渠工事園における水理機構を明らかにするため吸水渠間の地下水面を観測した調査結果は第21、22図のとおりである。

暗渠工事園における地下水面の深さは吸水渠からの距離によって異なり、吸水渠に近いほど地下水面が低く、吸水渠と吸水渠の間の中央部分が最も高かった。早春や晩秋の過湿期ならびに夏期の多雨時における地下水面は急勾配のアーチ型を形成している。最も勾配が急な消雪期を例にとると、埋設深130cmの場合について調査した1963年4月3日の結果では地下水面の最高と最低の差が36cmであり、暗渠の深さ105cmに埋設した箇所を調査した1966年3月23日の結果では18cmの落差になっていた。一方、夏期の乾燥期における地下水面勾配はゆるやかな

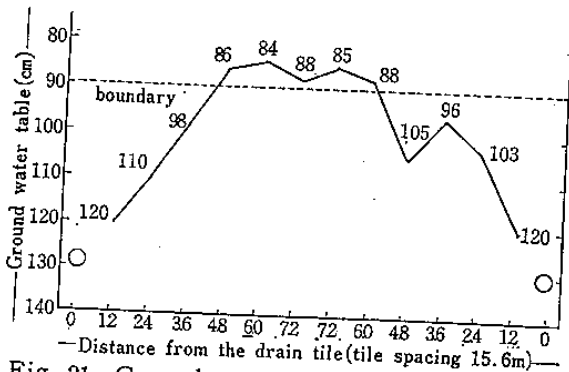


Fig. 21. Ground-water table conditioned by underdrainage (at Uwano, 1966).

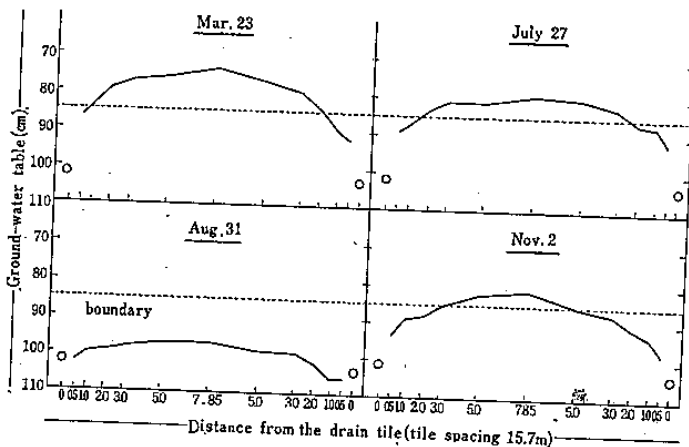


Fig. 22. Ground-water table conditioned by underdrainage (at Uwano, 1966).

アーチ型を形成していることが多く、1966年8月31日の結果にみられるように、吸水渠からの排水がなくなった直後でもアーチ型の地下水面を形成していた。

(3) 考察

篠辺 (32) は津軽地方で火山灰土壌の排水不良リンゴ園における地下水面は、早春の過湿期に高く、夏期は低く、10月中旬頃から再び上昇することが多いとし、全期間を通じて暗渠施工区の方が40~60cm未施工区より低い地下水面で推移したと述べている。この調査でもほぼこれと同様の結果が得られ、洪積台地上に分布する火山灰土壌の排水不良リンゴ園における地下水面は、消雪直後の早春には地表面近くに位置し、夏期の乾燥期には地表下1.5m以下に低下することが多く、その後秋期から冬期にかけて上昇し、消雪期に入ると急激に上昇するのが通例である。しかし、夏期でも多雨時や長雨時には地下水面が地表下0.3~0.5mまで上昇することは少なくない。これに比べて暗渠工事園では宇和野地区ならびに浪岡地区の調査結果からも明らかなように、常に低い地下水面で推移し、最も地下水面の上昇が著しい消雪後の早春でも地表下1.0m前後に位置することが多かった。

地下水面の上昇下降は気温、降雨量、土壌面蒸発量などに影響されるが、直接的には降雨量の多少に影響され

るところが大きい、第23図は1963年3月下旬の消雪期から12月始めの降雪期までにおける地下水面の上昇下降と前1週間の降雨量との関係を見たものである。暗渠工事園、未工事園とも両者の間に強度の有意相関関係が認められ、地下水面の上昇下降が降雨量の影響を強くうけていることを示している。しかし、暗渠工事園における地下水面の上昇下降と週間降雨量の相関係数は未工事園のそれより低く、暗渠工事園の地下水面の方が降雨量の影響をうけることが少なかった。このことは暗渠工事園の排水効果が顕著であったことを示すものと考えることができ

暗渠の埋設に伴う地下水の移動は主として暗渠に向って横方向に流動するため、吸水渠に近いほど地下水面が低下し、遠いほど地下水面が高くなって吸水渠間の地下水面はアーチ型を形成した。このアーチ型の地下水面は過湿期に急勾配で夏期にはゆるやかな勾配をなしている。暗渠の深さと間隔を決定するために必要な地下水面勾配は $\tan\beta$ であらわされるが、この土壌の過湿期における地下水面勾配を例にとり計算を試みると、暗渠の埋設位置が不透水性の埴土層に入ってから深さ40cmの場合(1963年)は地下水面勾配 $\tan\beta \approx 0.075$ と算出され、埴土層の深さ20cmの場合(1966年)のそれは $\tan\beta \approx 0.024$ と算出され、前者より後者の場合に勾配がゆるやかであった。埋設深が浅いときに

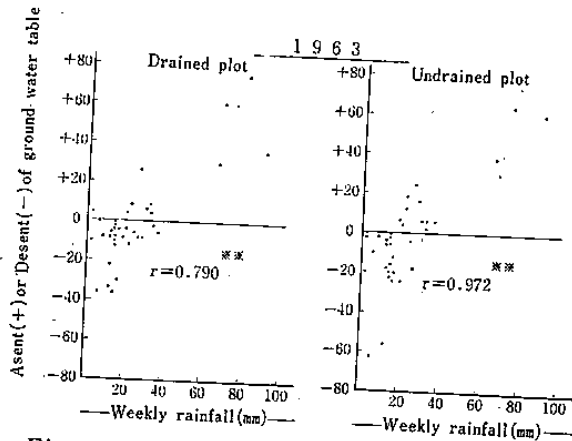


Fig. 23. Relation between weekly rainfall and ground-water table.

は、不透水性な埴土層の上層にある浮石層の透水性に影響されて勾配がゆるやかになったものと考えられる。暗渠の間隔を決定するには、その果樹の生育に必要な有効土層の深さを決定することが第1の前提条件となる。この調査結果は1, 2の事例に過ぎず多くを論ずることはできないが、青森県リンゴ園土壌調査の結果からすれば、有効土層が1m以上の園地は比較的安定した生産が続けられていることが観察されている。いま、かりにリ

リンゴの生育に必要な有効土層を1mと見込んで暗渠の深さと間隔を決定するとすれば、単一土層でない洪積台地上の火山灰土壌では、不透水性の密な埴土層の位置が深い場合は $\tan\beta=0.024$ を、浅い場合は $\tan\beta=0.075$ に近い地下水面勾配になるように深さと間隔を決定した方がよいと考えられる。

(4) 摘要

宇和野地区では1961年から1963年の3か年にわたり、浪岡地区では1963年に地下水位の変化を調査した。また、暗渠工事園における吸水渠間の地下水面については、宇和野地区で1963年と1966年に調査を行なった。

時期別地下水面の観測は暗渠工事園、未工事園ともリンゴ樹幹から2mの地点に簡易地下水面観測井戸をつくり、過湿期ならびに夏期の多雨時の地下水面観測は樹間の中央部に自記地下水位計を据えつけて観測した。また、吸水渠間の地下水面観測は間隔15.6mの場合は12本、15.7mの場合は11本のビニールパイプを埋込んで観測した。

ア. 地下水面は年により、時期により著しく変動した。未工事園では融雪期に地表面近くまで地下水面が上昇し、夏期の乾燥時には地表下150cm以下にまで低下し、秋期に再び上昇するが、夏期でも多雨時に地表下25~50cmまで上昇することがあった。暗渠工事園の地下水面は常に未工事園より低い状態で推移し、最も地下水面の高い融雪期でも地表下100cm前後に位置することが多かった。

イ. 早春の過湿期における地下水面は、未工事園では高いためわずかな降雨によって変動が大きかった。暗渠工事園では地下水面が低く、降雨による変動が少なかった。

ウ. 夏期の多雨時における地下水面の上昇は、一挙に50cm以上に及ぶことがあるが、その上昇曲線は暗渠工事園より未工事園の方が急勾配で山もけわしい傾向を示した。

エ. 吸水渠間の地下水面は吸水渠に近いほど低く、吸水渠間の中央部が最も高く、アーチ型の地下水面を形成した。吸水渠間の地下水面は融雪直後の頃が最も急勾配を示し、不透水性の埴土層の深さ20cmに暗渠を埋設したときは地下水面勾配 $\tan\beta=0.024$ であり、深さ40cmに埋設したときは $\tan\beta=0.075$ であった。

2. 排水量の変化

地下水面と排水量変化の実態を明らかにするため、時期別排水量、早春の過湿期ならびに夏期の多雨時における排水量の経時変化について調査を実施した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

宇和野地区の暗渠工事園中69aの園地について、1965年12月1日から1966年11月30日までの1か年にわたって

調査を行なった。調査園は集水渠、吸水渠とも径15cmのヒューム管を使用し、吸水渠の間隔は2樹列ごとに埋設しているため13.6~15.8mであり、暗渠の深さは0.9~1.2mであった。

排水量の測定は、集水渠を延長した排水口附近に毎秒20cc~3.0ℓの水量を計測できる流量計を設置して1週間ごとに観測を行なったが、消雪直前の3月17日から開花期の5月10日までは連日排水量調査を行ない、また、夏期の多雨時には6月28日14時から同月30日の18時までの3日間は1時間ごとに観測を行なった。

さらに、暗渠工事園の地下水面は吸水渠間の中央部分に自記地下水位計を据えつけて観測したが、同時に同一園内にある未工事地点の樹間中央部の地下水面についても観測を行なった。降雨量は自記雨量計を使用して観測した。

(2) 調査結果

ア. 時期別排水量の変化

暗渠工事園と未工事園の地下水面、暗渠工事園の単位排水量、降雨量を図にまとめると第24図のとおりとなる。

暗渠からの排水量はそれぞれの時期における地下水面の高低、降雨量の多少によって変動していた。年間を通じてみると、積雪期間中はそれほど降雨量が多くないにも拘らず排水量が多く、夏期にはかなり降雨量が多いが排水量は比較的少ない状態で推移し、6月上旬から下旬までと9月上旬の2回に無排水期間が観測された。

年間排水量は1haあたり13,295.0 m^3 と莫大な水量に達したが、この排水量は年間降雨量1606mmの約79%に相当する水量であった。さらに、4月から11月のリンゴの生育期における排水量は5543 m^3 で年間排水量の約42%であり、この時期の降雨量は平年よりかなり多く1035mmに達し、排水量はその降雨量の約54%に及んでいた。また、最も排水量の多い消雪日前2週間頃(3月2日~9日)の排水量は1週間で953.6 m^3 と年間排水量の7.2%に達し、最大流量を示した消雪日前2週間頃の3月2日の単位排水量は1948cc/sec/haであった。

イ. 早春の過湿期における排水量の変化

早春の過湿期における暗渠排水量を連日観測した結果は第25図のとおりである。

早春から初夏にかけての排水量は、融雪後の地下水面低下に伴って次第に減少した。消雪後2週間位は1日あたり100 m^3 /haを超える排水量を記録した日が数回に及んだが、この期間はわずかな降雨量でも地下水面の上昇、排水量の増加をもたらした。単位排水量は1ℓ/ha前後であった。その後次第に排水量が減少し、5月上旬頃には1日あたり数 m^3 の排水量で単位排水量も0.1ℓ/sec/ha程度に過ぎなかった。

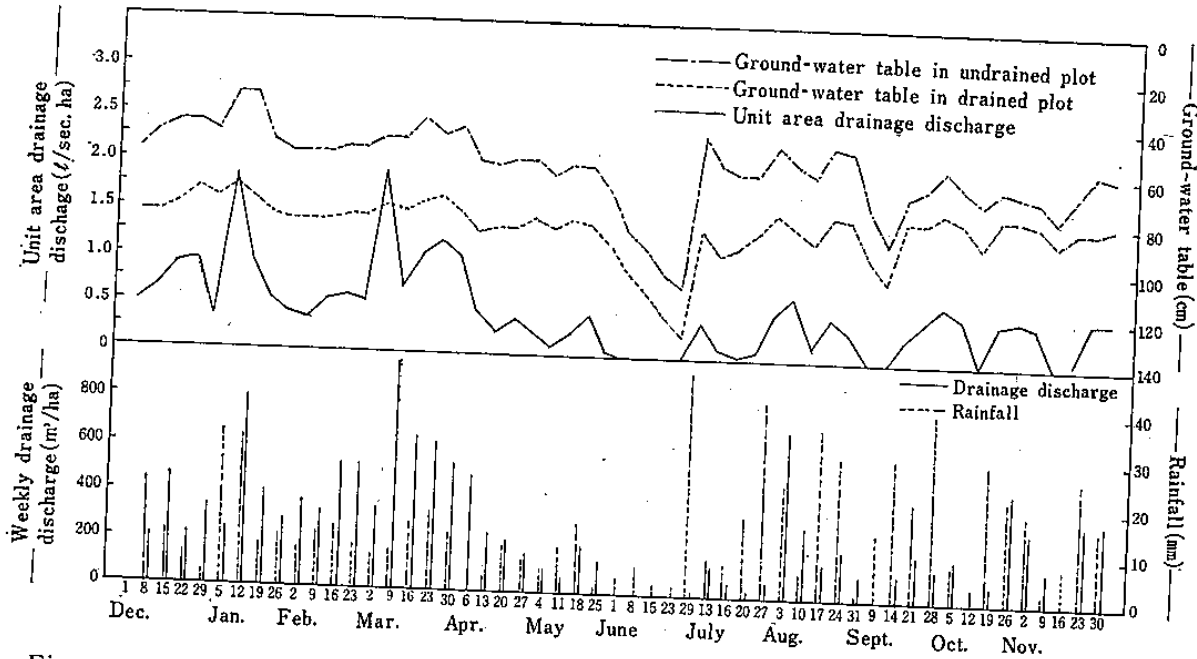


Fig. 24. Seasonal changes of weekly drainage discharge and unit area drainage discharge (at Uwano, 1966).

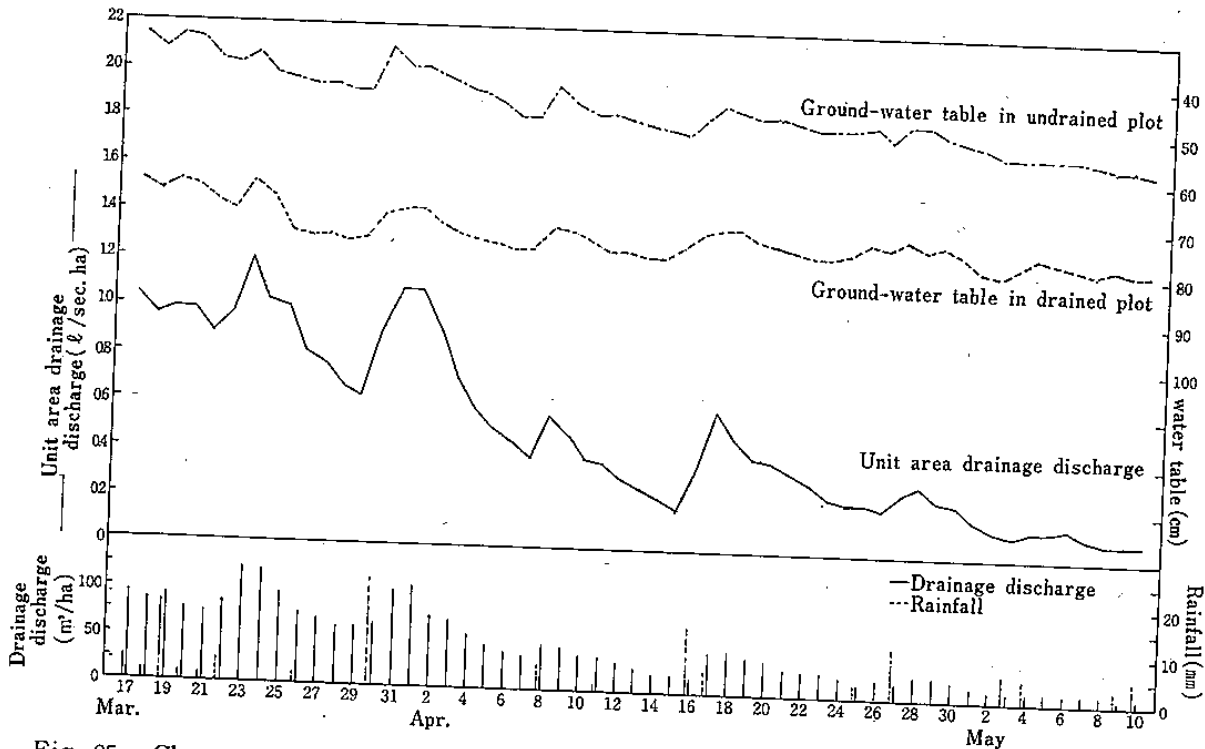


Fig. 25. Changes of drainage discharge and unit area drainage discharge, after the thawing season (at Uwano, 1966).

ウ. 夏期の多雨時における排水量の変化

夏期の多雨時における排水量の変化について1時間ごとと観測した結果を示すと第26図のとおりである。

6月1日以降、地下水面の低下が著しく排水量は認められなかったが、6月28日と29日にかけて豪雨があり、地下水面が一挙に50cmほど上昇した。降雨は6月28日14

時に始まり、29日9時までの19時間におよび、降水量は54.1mmに達した。排水が確認されたのは降雨開始後10時間を経過してからであり、その後次第に増加し、降雨が止んだ4時間後に最高の排水量に達し、1時間あたり2.1 m³/haであった。その後、徐々に排水量は減少した。

地下水面上昇は降雨後間もなく始まったが、急激な

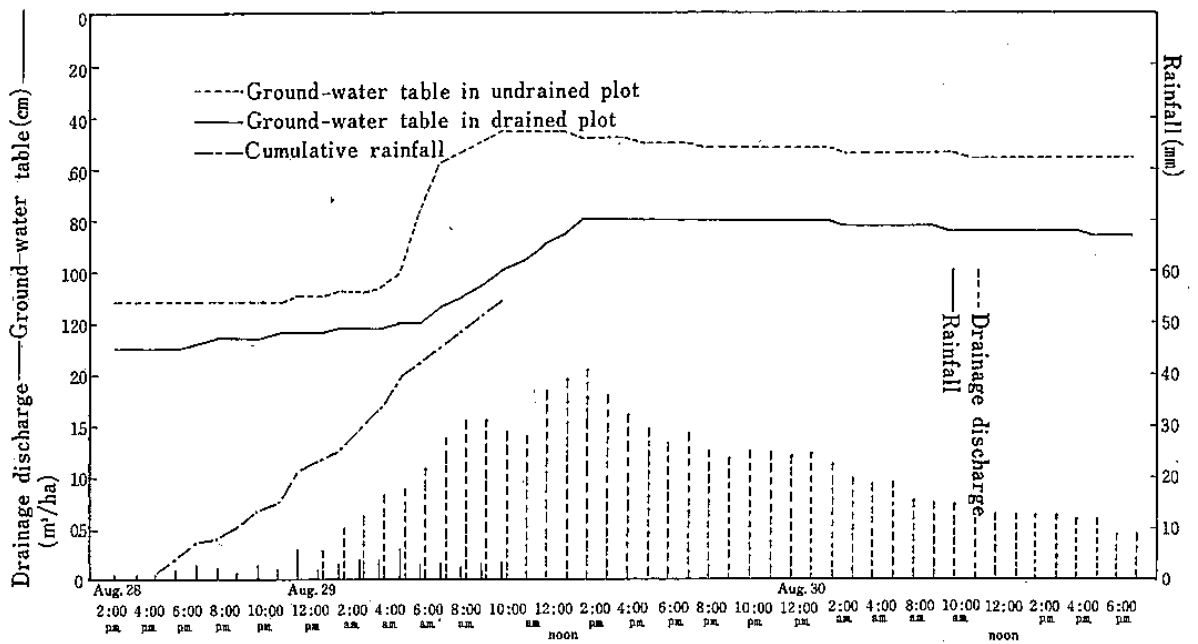


Fig. 26. Changes of ground-water table and drainage discharge at heavy rain in summer (at Uwano, 1966).

上昇を示したのは降雨開始15時間後であり、そのときの単位排水量は 306cc/sec/ha であった。地下水面が最も上昇したのは降雨停止後4時間を経過してからであり、排水量もまた最高を示し、このときの単位排水量は 566 cc/sec/ha であった。その後12時間位は地下水面は変動しなかったが、排水量は次第に減少した。

(3) 考 察

篠辺 (32) は津軽地方の火山灰土壌で暗渠からの流出水量を測定したところ、流出水量は3月中旬頃から急増し、3月20~25日頃にピークに達し、その後次第に減少して4月下旬には流出がなくなったが、ピーク時の最大流出水量は 10 l/sec/ha に及んだとし、また、早春の流出水量は積雪量、降水量、および気温の変化と密接な関係にあり、夏期には連続して相当量の降雨がない限り暗渠からの流出水が見られなかったと述べている。この調査でも積雪期間、とくに消雪期前に融雪水の影響を受けて地下水面が高く、排水量もまた多い状態で経過し、夏期には少ない排水量を示したが、無排水期間は6月上旬から下旬、9月上旬の2回に過ぎなかった。この結果は調査年の1966年が夏期の降雨量が多かったことが原因しているが、経年的にはしばしば観察されることであり、この年の4月から11月までのリンゴの生育期における降雨量に対して約54%が暗渠から排出されている。また、年間を通じて最も排水量の多い時期は消雪日前1~2週間頃で単位排水量は 2 l/sec/ha であった。地下水面は融雪水ならびに降水量に影響されるところが大きく、単位排水量はこの地下水面と密接な関係にある。第27, 28 図はそれぞれの測定日における地下水面と単位排水量の

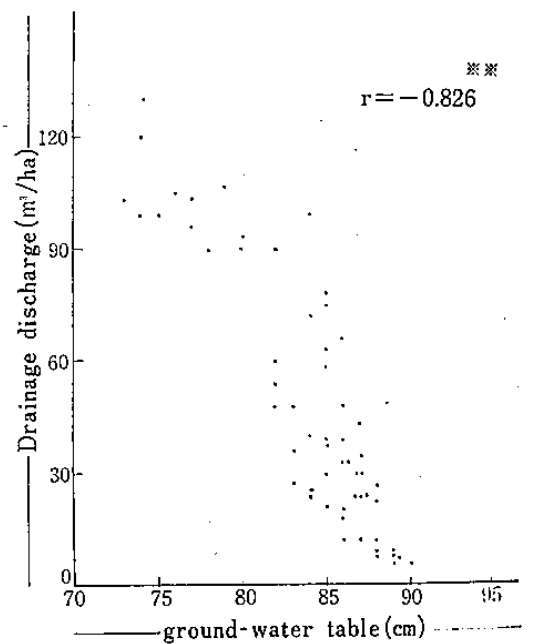


Fig. 27. Relation between ground-water table and daily drainage discharge, after the thawing season (at Uwano, 1966).

関係をみたものであるが、両者の間には強度の有意相関が認められ、地下水面の高いときほど単位排水量が大きかった。

さらに、夏期に地下水面が低下し、暗渠から排水がみられない時期に豪雨があった場合の地下水面をみると、一挙に50~70cm上昇する例が少なくない。夏期の豪雨時における排水の遅速は、降雨の強度、降雨開始時の地下水面などいろいろな条件によって影響されるものと

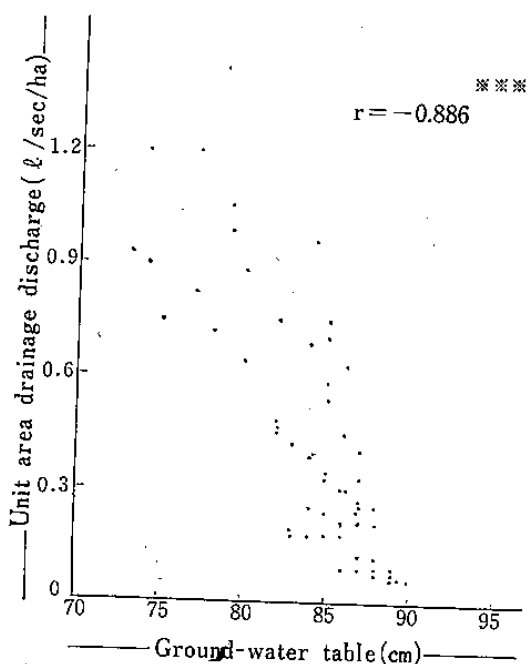


Fig. 28. Relation between ground-water table and unit area drainage discharge, after the thawing season, (at Uwano, 1966).

考えられるが、暗渠の深さを 0.9~1.2m にした洪積台地上の火山灰土壌では降雨開始後約10時間を経過すると

排水が行なわれ、降雨停止後約4時間を経てから最も地下水面が上昇し、排水量も多かった。この結果は狩野(14)が果樹園の暗渠施工園で降雨後半日から1日後に地下水面が上昇し、排水が確認されたと述べていることとほぼ一致していた。

(4) 摘要

宇和野地区の暗渠工事園69aを対象として1965年12月から1966年11月までの1か年間にわたって排水量調査を行なった。施設は暗渠を深さ0.9~1.2m、間隔を13.6~15.8mに埋設した園地である。

ア. 排水量は積雪期間中に多く、夏期には比較的少ない状態で推移した。年間排水量は降雨量の約79%に達し、4~11月までの生育期における排水量は降雨量の約54%に及んでいた。

イ. 単位排水量の最大は消雪日前2週間頃にあらわれ、約2l/sec/haであったが、消雪後2週間位までは1l/sec/ha前後の単位排水量であった。

ウ. 地下水面が130cmに位置していた夏期に54mmの豪雨が合ったときには、一挙に50cmほど地下水面が上昇したが、排水が確認されたのは降雨開始10時間後であり、最も排水量が多かったのは降雨停止4時間後であった。

IV 土壌の理化学性に及ぼす影響

この項では土壌の理化学性に及ぼす暗渠排水の影響を明らかにするため、暗渠排水に伴う過剰水の分布、土壌三相の変化、地温の変化、土色ならびに斑紋結核の変化、土壌透水性の変化、地耐力の変化、塩基の溶脱状況などについて諸調査を実施した。

1. 過剰水の分布

排水効果確認の一方法として、暗渠工事園と未工事園の土壌中における過剰水の分布を調査した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

1961年、1962年の両年にわたって宇和野地区の暗渠工事園とそれに隣接する未工事園を時期別に調査した。

採土区分は両区とも地表から深さ20cmまで第1層、20~40cmまでを第2層、40~60cmを第3層、60~80cmを第4層、80~100cmを第5層とし、深さ別にDIK採土器Ⅲ型を使用して採土した。採土したものは吸引式pF測定器にて土層別にpF1.0、1.5、2.0の土壌水分含量を測定した。供試土壌の水分特性は第9表のとおりである。

(2) 調査結果

時期別に土壌水分含量を測定し、pF 2.0より低張力の土壌水分を過剰水とみなして調査結果をまとめた(第29、30図)。

暗渠工事園と未工事園の過剰水分分布を土層別にみると次のようである。

Table 9. Moisture characters of experimental plot.

Soil layer	Depth (cm)	Soil moisture (% dry weight)			Soil moisture (% of volume)			Porus space (%)			
		1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	Total porus space
1	10	97.9	90.4	83.7	64.3	59.4	55.0	8.1	13.0	17.4	72.4
2	30	113.2	107.0	101.5	65.2	61.6	58.5	13.7	17.3	20.4	78.9
3	50	83.0	77.2	70.7	63.9	59.4	54.4	8.2	12.7	17.7	72.1
4	70	60.6	56.6	51.2	61.5	57.4	52.0	2.5	6.6	12.0	64.0
5	90	43.4	40.7	37.4	52.5	49.2	45.2	2.9	6.2	10.2	55.4

第1層における状態は、1961年では暗渠工事園、未工事園とも pF2.0 より低張力の過剰水は存在しなかったが、1962年には融雪直後に未工事園で過剰水が認められた。

第2層における過剰水の分布は、暗渠工事園では1961年、1962年の両年とも過剰水が存在しなかったが、未工事園では1961年の融雪期、夏期の多雨時、晩秋の過湿期に過剰水が存在し、1962年には早春と晩秋の過湿期に過剰水が認められた。

第3層における過剰水の分布は、暗渠工事園では1961年の融雪期、1962年の融雪期と初冬の根雪始めの頃に過剰水が存在したに過ぎなかったが、未工事園の1961年は早春の過湿期、夏期の多雨時および初冬の過湿期など年間を通じてしばしば過剰水が存在し、1962年は夏期には過剰水が存在しなかったが、春期と晩秋に存在した。

第4層における過剰水の分布をみると、暗渠工事園では1961年の春期と1962年の融雪直後に存在したが、未工事園のそれをみると1961年は過剰水が存在した時期が多く、1962年は春期と晩秋に存在した。

第5層における過剰水の分布は、暗渠工事園では1961年の春期と夏期の多雨時にみられ、1962年には融雪直後と晩秋に存在した。一方、未工事園では1961年はほとんど、どの時期でも過剰水が存在し、1962年は春期と晩秋に過剰水が認められた。

(3) 考察

作物に利用される最適土壌水分の領域については論議の多いところである。寺沢⁽⁴⁸⁾はは場容水量の下限は pF 1.5~2.0 と考えられることから、従来、有効水分の範囲と考えられていた pF2.7~4.2 を最小有効水分領域とし、pF1.5~4.2 を最大有効水分領域として区別している。この調査では pF2.0 より低張力の土壌水分を過剰水とみなし、暗渠工事園と未工事園の過剰水分布を考察することにした。

過剰水の分布は年により、時期によって異なるが、地下水面に影響されるところが大きい。未工事園における過剰水は、下層の第4、5層では融雪期から6月下旬頃まで存在することが多く、夏期には土壌水分含量が低下し、10月の後半に入ると再び土壌水分含量が増加して過剰水が存在するようになる。しかし、夏期においても多雨時あるいは長雨によって過剰水が存在することが少ない。また、下層のこのような水分状態はしばしば中層の第3層に及ぶことが多い。これに比べて暗渠工事園では表層および中層は勿論のこと、下層の第4、5層に

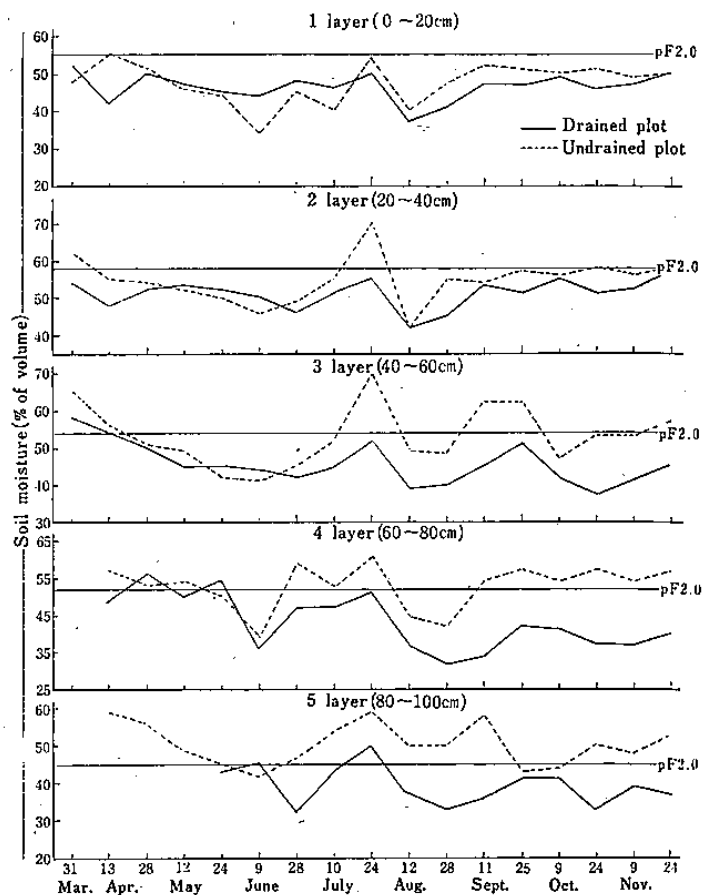


Fig. 29. Seasonal change of soil moisture in drained and undrained plots (at Uwano, 1961).

あっても pF2.0 より低張力の過剰水が存在することはほとんどなく、わずかに融雪直後に過剰水が存在する程度であり、排水効果が著しいことが明らかになった。

(4) 摘要

宇和野地区で1961年と1962年の2か年にわたって過剰水の分布状況を調査した。過剰水の測定は地表から深さ20cmごとに100cmまでとし、時期別に土壌水分含量を測定した。

ア. 過剰水の分布は年によりかなりの差異があったが、未工事園では深さ40~60cmの第3層でもしばしば過剰水がみられ、深さ60~80cmの第4層と深さ80~100cmの第5層では年間を通じて存在することが多かった。これに対して暗渠工事園では深さ80~100cmの第5層でも融雪期に過剰水が存在する程度に過ぎなかった。

2. 土壌三相の変化

暗渠排水に伴う地下水面の低下、過剰水の排除は、土壌三相分布の均衡を大きく変えると同時にリンゴの生育にも大きな影響を及ぼすことが考えられるから、暗渠工事園と未工事園の時期別土壌三相分布について調査を試みた。

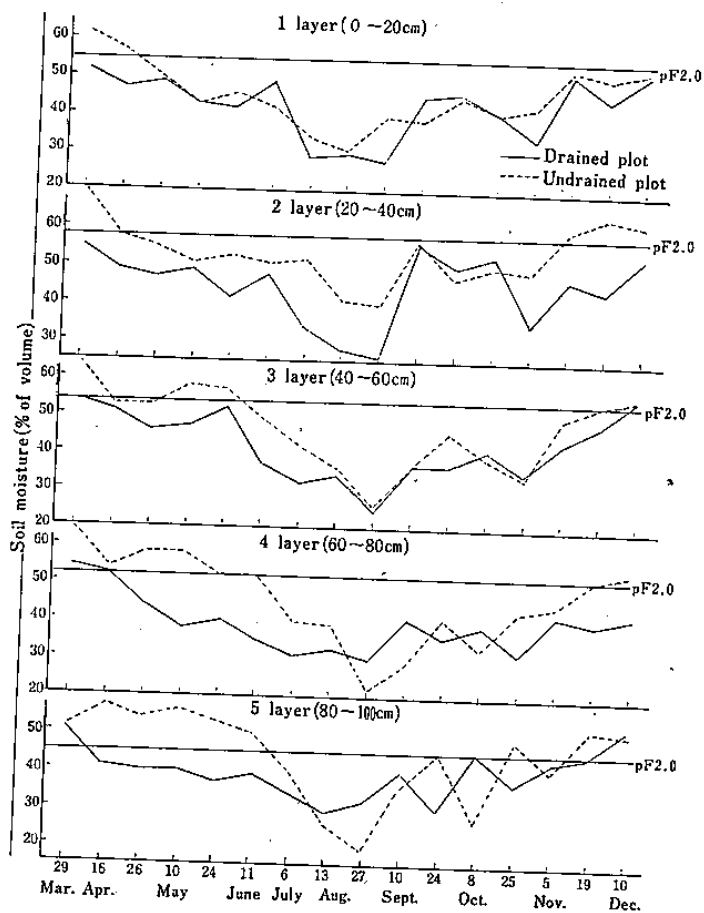


Fig. 30. Seasonal changes of soil moisture in drained and undrained plots (at Uwano, 1962).

(1) 調査方法ならびに測定方法

1961年, 1962年の2か年は宇和野地区を, 1963年は浪岡地区を対象とし, 暗渠工事園とそれに隣接する未工事園から時期別に採土して調査を行なった。採土区分は宇和野地区では表層から深さ 20cmまでを第1層, 20~40cmを第2層, 40~60cmを第3層, 60~80cmを第4層, 80~100cmを第5層としたが, 浪岡地区では深さ80cmの第4層までとした。採土はDIK採土器Ⅲ型を使用した。第3層以下の深い土層から採土するときは予めポストホールオーガーを使用して一定の深さまで土壌を排除してから採土した。採土した試料は実容積測定装置により三相分布を測定した。供試土壌の性質について両地区の概要を示すと第10, 11表のとおりである。

(2) 調査結果

ア. 宇和野地区の調査結果

1962年の過湿期および乾燥期における土壌三相の垂直分布を示すと第31図のとおりである。また, 1961年および1962年の土層別土壌三相の時期的変化を示すと第32, 33図のとおりであった。

土壌三相の垂直分布をみると, 過湿期では孔隙量の多くが液相で占められ, とくに未工事園にあつては土壌三相のうち気相割合が少ない。

Table 10. Soil characters of experimental plot (at Uwano).

Depth	Soil layer	Soil color	Soil texture	Humus	Soil hardness	Bulk density	Total porous space
0~20	I-layer	7.5YR2/1	LiL	11.45%	19 mm	65.7 g/100cc	72.4 v%
~40	Transitional layer	10YR5/4	CL	4.89	18	57.6	78.9
~60	II-layer a	10YR6/4	SL	1.62	22	77.0	71.2
~80	II-layer b	7.5YR7/3	CL	1.05	21	101.5	64.0
~100	III-layer	7.5YR6/2	LiC	0.86	25	121.5	55.4

Soil color : Shown by standard soil color chart (Hue Value/chroma).

Table 11. Soil characters of experimental plot (at Namioka).

Depth	Soil layer	Soil color	Soil texture	Humus	Soil hardness	Bulk density	Total porous space
0~20	I-layer	7.5YR2/1	LiL	12.34%	18 mm	63.8 g/100cc	71.9 v%
~40	Transitional layer	7.5YR4/3	CL	4.75	18	66.7	69.5
~60	II-layer	7.5YR6/6	SL	1.34	22	75.4	64.2
~80	III-layer	7.5YR8/2	LiC	0.91	26	124.6	51.8

I-layer : Volcanic ash (kuroboku), crumbling.
 Transitional layer : Dark brown clayey loam.
 II-layer : Yellowish brown volcanic ash and lapilli, contains pumice.
 III-layer : Brown grayish clay, very compact.

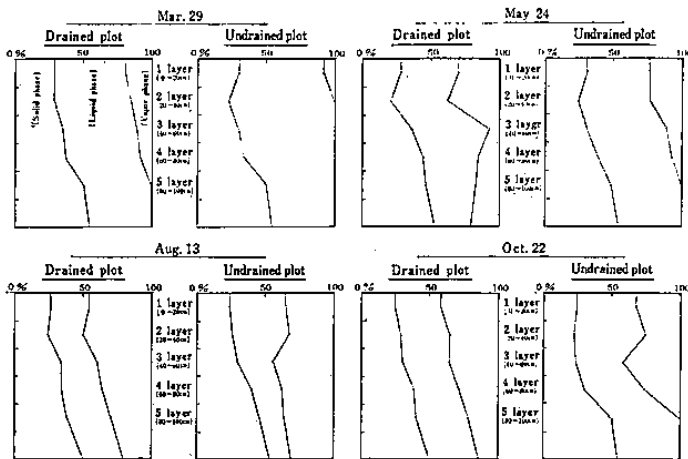


Fig. 31. Three phases of soil at wet and dry season (at Uwano, 1962).

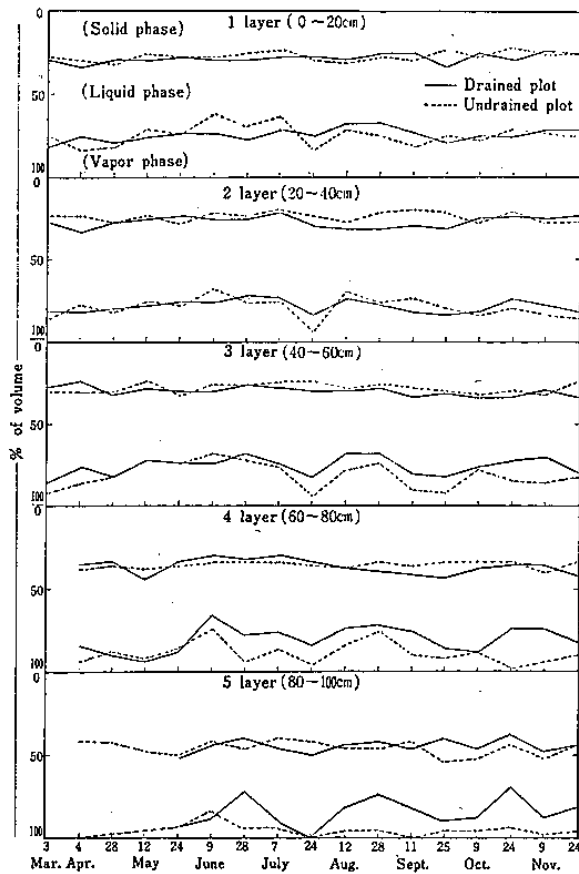


Fig. 32. Seasonal changes of three phases of soil in each layer (at Uwano, 1961).

1962年3月29日の結果を例にとると、未工事園では第1層に約7%の気相が存在するに過ぎないが、暗渠工事園においては第5層に気相が存在しなかったものの、比較的下層まで気相が存在していた。一方、夏期の乾燥期では気相が増加して液相が低下することが多い。1962年8月27日には両区とも液相が低下して気相が増加しているが、暗渠工事園と未工事園の下層土における液相割合

を比較するとむしろ暗渠工事園の方が大きかった。このように過湿期と夏期の乾燥期で土壌三相の分布に著しい差異がみられるが、これを土層別に時期的変化をまとめてみると次のようである。

第1層の三相分布は、1961年、1962年とも暗渠工事園と未工事園では過湿期および夏期の多雨時を除くとその差は少なかった。しかし、1961年は年間を通じて液相割合40~50%、気相割合20~30%で経過していることが多かったのに比べて、1962年の三相分布は春期と秋期は1961年と大差なかったが、夏期には液相割合20~30%、気相割合40~50%となっているなど時期的な変動が大きかった。

第2層の三相分布は、1961年は暗渠工事園、未工事園とも液相割合50%、気相割合20%前後で経過していることが多かったが、夏期の多雨時に未工事園の液相割合が増加して気相割合が減少した。しかし、1962年の場合は暗渠工事園、未工事園とも三相分布の時期的な変動が大きく、夏期には暗渠工事園の液相分布が小さく、気相分

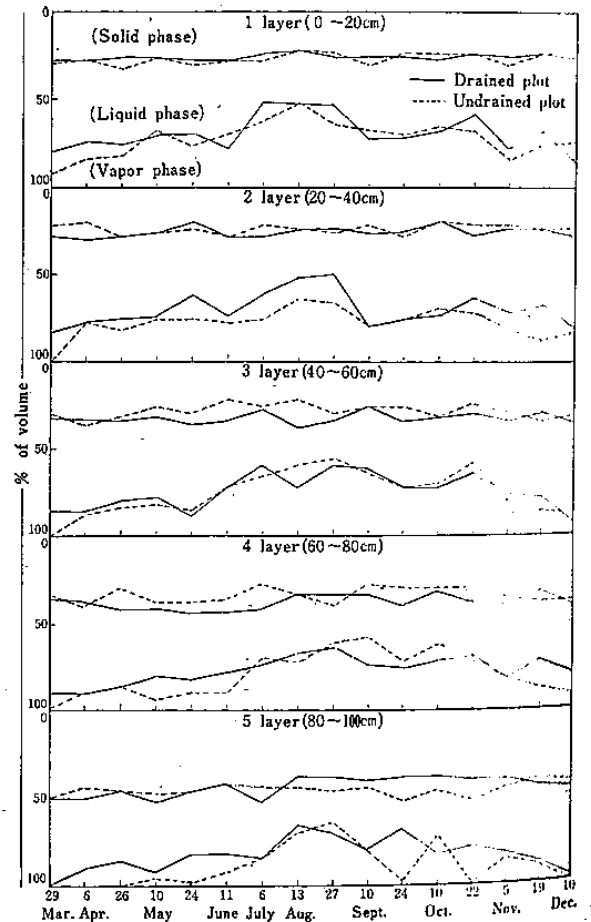


Fig. 33. Seasonal changes of three phases of soil in each layer (at Uwano, 1962).

布が増大していた。

第3層の三相分布は、1961年の暗渠工事園では液相割合が40~50%と比較的安定した状態で経過したが、未工事園では時期的な変動が大きく、早春の融雪直後と夏期の多雨後から晩秋までの液相割合が暗渠工事園のそれより多く、気相割合が減少してしばしば10%以下になった。1962年は暗渠工事園と未工事園の間に大差なかったが、時期的な変動が大きく、春期と晩秋は液相割合が50%を前後し、夏期のそれは30%前後であった。

第4層の三相分布は、1961年の春期では暗渠工事園、未工事園とも液相割合50%、気相割合10%前後で大差なかったが、その後暗渠工事園の液相割合が40%前後で経過することが多かったのに対し、未工事園では液相割合50%、気相割合10%以下のときが多かった。1962年は暗渠工事園、未工事園とも春期の液相割合が50%前後で気相割合が10%以下を示したが、未工事園の方は初夏までこのような経過をたどった。しかし、その後は時期的な変動を示したものの両区の間には大差がなかった。

第5層の三相分布は、1961年では暗渠工事園と未工事園の間に明瞭な差がみられ、暗渠工事園は春期と夏期の多雨時に気相割合が10%以下になったが、未工事園では年間を通じて気相割合が10%以下で推移した。1962年の三相分布は暗渠工事園では早春と晩秋の過湿期に気相割合が10%以下になった程度であるが、未工事園では春期と秋期および夏期の多雨時に液相割合が増加してしばしば気相割合が10%以下になった。

イ. 浪岡地区の調査結果

調査結果について過湿期、夏期の乾燥期および多雨時における土壌三相の垂直分布を示すと第34図のとおりである。また、土層別土壌三相の時期的変化を示すと第35図のとおりであった。

過湿期における土壌三相の分布を暗渠工事園と未工事園で比較すると、5月6日の例では未工事園における表層の第1層の気相割合が28%であったが、第2層以下は液相の増加に伴って気相の減少が著しく、第2層で8%、第3層および第4層では1~2%の気相割合であった。これに比べて暗渠工事園では比較的下層まで気相の分布が多かった。7月8日あるいは9月2日の例にみられるように夏期の乾燥期には未工事園でもかなりの気相割合を示すが、8月19日のように夏期でも多雨後では過湿期と同じように未工事園の気相が著しく減少した。このような土壌三相の時期的変化を土層別にまとめてみると次のようである。

第1層の三相分布は、暗渠工事園では液相割合が50

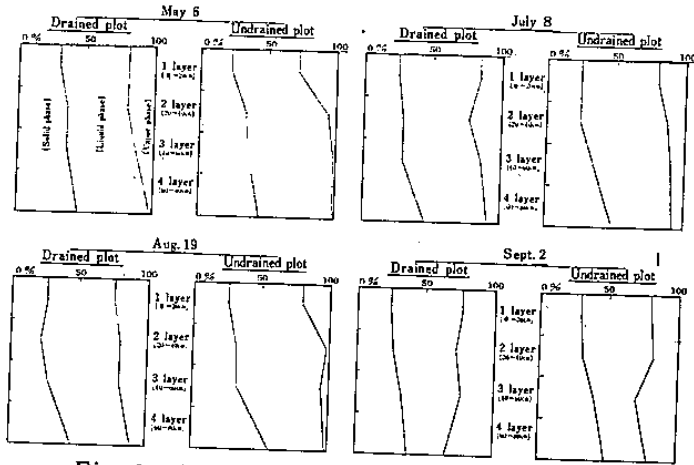


Fig. 34. Three phases of soil at wet and dry season (at Namioka, 1963).

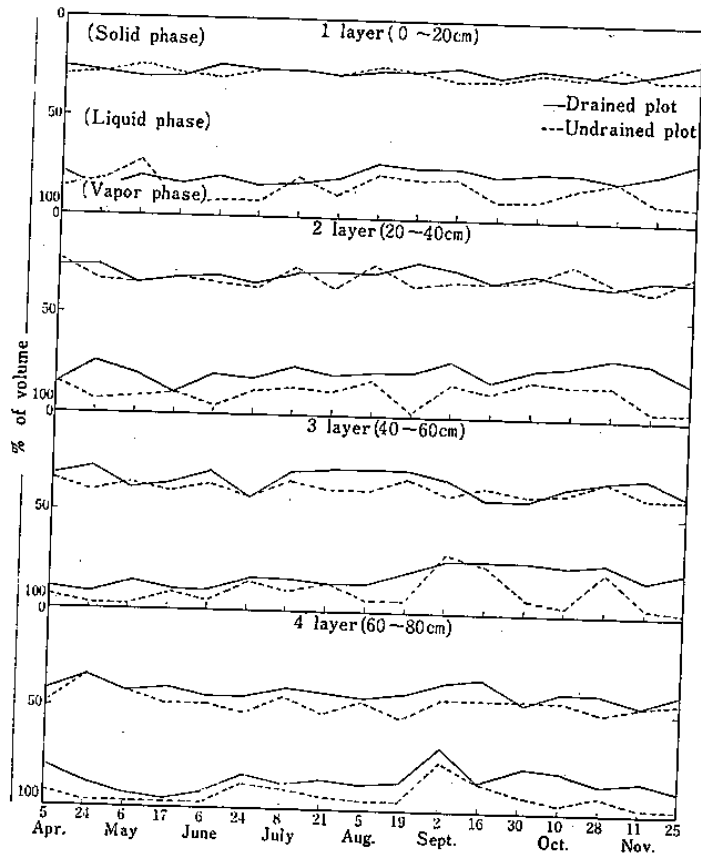


Fig. 35. Seasonal changes of three phases of soil in each layer (at Namioka, 1963).

%, 気相割合20%前後で時期的な変動は少なかったが、未工事園では液相割合50~60%、気相割合10~20%で暗渠工事園より三相分布のふれが大きかった。

第2層の三相分布は、暗渠工事園では液相割合50%、気相割合20%前後と時期的な変動が比較的少ない経過をたどったが、未工事園では液相割合が増加して気相割合が減少し、しばしば10%以下になった。

第3層の三相分布は、暗渠工事園では液相割合が春期

から夏期にかけて50%前後、夏期から秋期にかけて30~40%で推移したが、未工事園では年間を通じて液相割合が50~60%、気相割合は10%以下のときが多かった。

第4層の三相分布は、暗渠工事園、未工事園とも第3層の時期的変動と似た状態で推移し、暗渠工事園では春期に気相割合が10%以下になった程度に過ぎなかったが、未工事園では年間を通じてその大半が気相割合10%以下であった。

(3) 考察

洪積台地上に分布する宇和野地区と浪岡地区の土壤は、各土層とも層厚に若干の差異があり、土壤三相の分布も浪岡地区の液相分布が幾分宇和野地区より多い傾向にあったが、土層別に総括すると次のようである。

第1層の黒ボク層は孔隙量が約75%と大きく、雨水の下方への浸透が速やかに行なわれ、早春、晩秋の過湿期ならびに夏期の豪雨時でも液相が60%を超えることが少なく、暗渠工事園と未工事園との間にも過湿期と夏期の多雨時を除くと大きな差異が認められなかった。

第2層の漸移層もまた第1層と同様に孔隙量が多く、多雨時でも降下した雨水は速やかに下方へ浸透するが、下方に存在する地下水面の位置によって液相が変化し、未工事園では早春あるいは晩秋の過湿期、夏期の多雨時には液相が増加し、しばしば気相が10%以下になるが、暗渠工事園では気相が10%以下になった例が非常に少なかった。

第3層の浮石層は黒ボク層、漸移層に比べて孔隙量がやや少ない。この浮石層の土壤三相は未工事園では乾湿の差が激しく、早春、晩秋の過湿期ならびに夏期の多雨時には液相が増加して気相の低下が著しいが、暗渠工事園では未工事園に比較してかなり安定した三相分布で推移した。

第4層の埴土層は密な土層からなり、孔隙量は50~55%と少なく、粗孔隙もまた少なく浸透水の透過を著しく阻害している。したがって、未工事園では孔隙の大部分が液相で占められ、年間を通じて気相が10%以下のことが多いが、暗渠工事園では、早春の過湿期に気相が10%以下になる程度で比較的安定した三相分布を示していた。

池田⁽¹³⁾は、洪積土、沖積土、泥炭土の三種類について時期別土壤三相の分布をみたところ、気象要因によって差異はあるが、3種の土壤とも液相は春期から夏期にかけて減少し、夏期から秋期にかけて増加し、気相は液相と相反するとし、また、上層部は下層部より気相が大きかったと述べている。この調査でも土壤三相分布の時期的な変化はほぼ類似した結果を収めているが、暗渠工事園と未工事園の土壤三相分布は、中層の浮石層および下層の埴土層で明瞭な差異がみられ、未工事園では早春、晩秋の過湿期に液相分布が多く、気相分布が著しく

低下し、夏期の多雨時においても同様の結果を示したが、暗渠工事園では消雪直後に気相が減少したに過ぎない。

土壤三相のうち、固相は年間を通じて一定であるから、液相と気相の合量である孔隙量もまたほとんど変化しない。孔隙量中の液相と気相は相対的な関係にあるから、一方が増加すると一方が減少することになり、土壤三相の変化は、孔隙量中の液相の割合、すなわち、飽水度によって変化する。したがって、暗渠工事園と未工事園の三相分布の差は飽水度の差とみなすことができる。

BOYNTON⁽³⁾は樹勢および収量が極端に異なる二地区において、深さ0~4 feet までの各土層の物理的条件を調査したところ、含水量には差がなく、3~4 feetの土層の含空気孔隙量(気相)に著しい差が認められたとし、この含空気孔隙量の多少によって根が3 feet以上の深さに入りうるかどうか、両地区の生産力を左右する原因であろうと述べている。さらに、SCHUSTER STEPHENSON⁽³³⁾は容気量が5~6%以下の場合には根の伸長に適せず、容気量が10~12%あって土壤水分が25%位であれば根の発育がよく、水分の保持および水分の根への移動もよいと述べている。また、巢山⁽³⁵⁾は青森県で津軽地方の火山灰土地帯りんご園の物理的性質と根群分布との関係をみたところ、下層土の根群が分布している部分と分布しない部分とでは含空気孔隙量に顕著な差があり、根の分布していなかった部分の含空気孔隙量は6.5%以下であったと述べている。一般に含空気孔隙量は10%以上必要であるとされているが、この調査では表層部の黒ボク層、漸移層では両区とも著しく気相の減少された時期がなく、中層の浮石層から下層の埴土層では未工事園の気相が減少されて10%以下になる機会が多かったのに対して、暗渠工事園の下層土におけるそれは比較的安定した状態で推移した。このことが後述する樹体の生育、収量、果実品質に大きく影響したものと考えられる。

(4) 摘要

宇和野地区では1961年と1962年の2か年にわたり、浪岡地区は1963年に調査を行なった。宇和野地区は地表から深さ20cmごとに100cmまで5区分を、浪岡地区は地表から深さ20cmごとに80cmまでを4区分として採土したものを、実容積法によって土壤三相を測定した。

ア. 土壤三相のうち、液相と気相は同一地点においても気象要素によって変化し、過湿期ならびに夏期の多雨時には液相が増加して気相が少なく、夏期の乾燥時には気相が増加した。

イ. 土層別に土壤三相分布をみると、時期によって著しい差異があるが、下層ほど液相の占める割合が増加し、気相の分布が少ない。

ウ. 暗渠工事園と未工事園の土壤三相を比較すると、

黒ボク層と漸移層の表層部では過湿期および夏期の多雨時以外は三相分布に差が少ない。しかし、中層の浮石層では未工事園で過湿期ならびに夏期の多雨時に液相が増加して気相が極度に減少され、下層の埴土層では年間を通じて気相が10%以下になっていることが多いのに比べて、暗渠工事園では浮石層および埴土層とも早春の過湿期に気相が10%以下になる程度に過ぎなかった。

3. 地温の変化

暗渠排水は土壌温度の上昇に効果的な役割を果すことが予想されるので、暗渠工事園と未工事園における地温の変化について調査を実施した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

1962年は宇和野地区の暗渠工事園とそれに隣接する未工事園を対象として8月～12月まで観測を続け、1963年は浪岡地区の暗渠工事園とそれに隣接する未工事園について4月～11月まで観測した。両地区とも観測地点は樹間の中央部に設けたが、宇和野地区は地表から深さ5cmと30cmに、浪岡地区は深さ10cmと30cmに地温計を据えつけて定期的に観測を行なった。

(2) 調査結果

地温の時期的変化について宇和野地区と浪岡地区の調

査結果を示すと第12, 13, 14, 15表, 第36図のとおりである。

宇和野地区の地温変化は夏期から晩秋にかけて観測したものであるが、地表下5cmでは10月中旬まで暗渠工事園と未工事園の間に差がなかったが、10月下旬以降は常に暗渠工事園の方が0.5～1.0°C高かった。また、地表下30cmでは11月以降になって暗渠工事園の方がわずかに高くなっていた。

浪岡地区の暗渠工事園と未工事園の地温変化をみると、地表下10cmでは5月上旬まで両区の間には差がみられなかったが、その後夏期に向けて地温が上昇するにつれて暗渠工事園の地温が未工事園より高くなり、夏から晩秋にかけて地温が下降するにしたがって暗渠工事園と未工事園の差が縮まったが、年間の平均地温は暗渠工事園の方が未工事園より0.9°C高かった。また、地表下30cmの地温も10cmの場合と同じように推移し、暗渠工事園の年間平均地温は未工事園のそれより0.9°C高かった。

(3) 考察

土壌中の過剰水排除は、土壌の比熱を小さくして土壌温度を上昇させるに必要なエネルギー量を減ずる。一方、表面からの蒸発もこれによって減少するから、水の気化作用によって熱が奪われることが少なくなるとされ

Table 12. Seasonal change of soil temperature in drained and undrained plots (Depth 5cm, at Uwano, 1962).

Plot	Aug. 6	13	20	27	Sept. 3	10	17	24	Oct. 1	8	15
Drained plot	20.0	21.0	23.5	23.0	20.5	20.0	20.5	17.5	13.1	12.1	9.9
Undrained plot	20.5	22.0	23.5	22.0	20.5	20.0	19.5	18.0	14.2	12.6	10.1
Plot	Oct. 22	29	Nov. 5	6	12	19	26	Dec. 3	10	17	19
Drained plot	10.4	10.1	10.9	10.1	10.0	4.2	2.1	3.1	3.0	1.3	1.3
Undrained plot	8.2	9.5	9.7	9.5	6.0	3.4	1.2	2.8	2.1	0.7	0.7

Table 13. Seasonal change of soil temperature in drained and undrained plots (Depth 30cm, at Uwano, 1962).

Plot	Aug. 6	13	20	27	Sept. 3	10	17	24	Oct. 1	8	15
Drained plot	20.5	19.5	21.0	20.5	19.0	19.5	19.2	18.5	15.5	14.2	13.6
Undrained plot	22.0	21.0	22.5	20.5	20.0	19.5	19.5	18.5	16.4	14.8	14.2
Plot	Oct. 22	29	Nov. 5	6	12	19	26	Dec. 3	10	17	19
Drained plot	11.9	11.0	12.1	11.0	6.0	8.7	6.5	6.9	5.2	4.6	4.6
Undrained plot	12.4	11.6	11.5	10.6	5.3	8.5	5.8	5.6	5.5	4.4	4.4

Table 14. Seasonal change of soil temperature in drained and undrained plots (Depth 10cm, at Namioka, 1963).

Plot	Apr. 25	May 13	17	27	June 3	10	17	24	July 1	8	22	Aug. 5	12	19
Drained plot	9.5	16.0	14.5	14.5	14.0	14.5	15.0	16.5	20.3	17.0	18.5	23.2	20.6	20.6
Undrained plot	8.8	15.5	13.2	12.6	14.0	12.8	14.0	15.0	19.0	16.8	17.4	20.6	19.3	19.4
Plot	Aug. 26	Sept. 2	9	16	23	30	Oct. 7	21	28	Nov. 4	11	18	25	Mean
Drained plot	20.5	20.5	18.0	16.1	13.6	15.0	12.2	9.4	10.9	8.7	12.3	7.6	5.2	15.0
Undrained plot	19.4	20.3	16.6	16.6	12.5	12.8	11.5	8.5	19.9	8.6	12.0	6.9	5.0	14.1

Table 15. Seasonal change of soil temperature in drained and undrained plots (Depth 30cm, at Namioka, 1963).

Plot	Apr. 25	May 13	17	27	June 3	10	17	24	July 1	8	22	Aug. 5	12	19
Drained plot	8.4	11.0	12.4	12.7	13.5	14.5	16.4	17.5	17.8	18.5	17.0	21.4	21.0	21.0
Undrained plot	8.0	11.1	11.4	11.4	12.5	11.8	13.4	17.0	17.0	15.0	15.6	18.5	18.9	18.8
Plot	Aug. 26	Sept. 2	9	16	23	30	Oct. 7	21	28	Dec. 4	11	18	25	Mean
Drained plot	20.2	20.0	18.4	15.0	15.4	13.4	13.5	11.8	11.4	10.6	14.5	8.0	8.2	14.9
Undrained plot	18.9	19.5	17.1	16.0	14.4	13.2	13.0	11.4	11.4	10.6	14.2	8.0	7.8	14.0

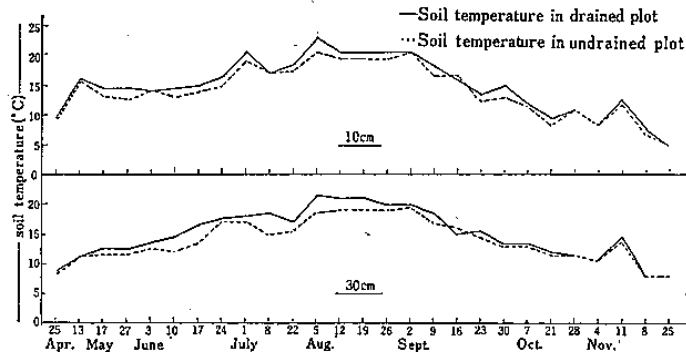


Fig. 36. Seasonal change of soil temperature in drained and undrained plots (at Namioka, 1963).

ている。

三輪⁽²⁴⁾は廿世紀梨の灌水試験で灌水区の方が無処理区より地温が低い状態で推移したと述べ、篠辺⁽³²⁾は暗渠施工区と未施工区の地温を、地表下5cm~100cmを区分して観測を行なったところ、地表下5cmと60cm以下の深層部分で暗渠施工区の地温が上昇していたと述べている。このように土壌水分の多少と地温との間には密接な関係がみられ、この調査でも1962年の宇和野地区の夏期には、暗渠工事園と未工事園の間に土壌水分含量に差がなく、地温もまた両区の間には差を認めなかったが、その後土壌水分含量の増加が著しい未工事園の地温が暗渠工事園より低い状態で推移した。また、1963年の浪岡地区は土壌水分含量の少ない暗渠工事園の方が年間を通じ

て未工事園より高い状態で推移した。

一般に根の生長に必要な地温は10~30℃とされ、20℃前後が最適とされている。NIGHTINGALE⁽²⁹⁾の成績によると、12.8℃における根の生長は10℃より大きく、18.3℃では明らかに12.8℃にまさり、わずか2~3℃の地温の差が根の生長に著しい影響を及ぼすようである。この調査では根の生長を抑制するような高い地温は認められなかったため、常に高い地温で経過した暗渠工事園の方が未工事園より根の生長を促進したものと考えられる。

(4) 摘要

1962年は宇和野地区で、1963年は浪岡地区で地温を調査した。

地温の観測は、宇和野地区では深さ5cmと30cmを、浪岡地区では10cmと30cmを定期的に観測した。

宇和野地区では土壌水分に差異がなかった夏期における地温は暗渠工事園と未工事園の間に差がなく、晩秋の過湿期に入ってから暗渠工事園の地温が約1.0℃位高い状態で推移した。また、浪岡地区では全生育期間を通じ土壌水分の少ない暗渠工事園の地温が常に高い状態で推移し、年間平均では深さ10cm、30cmとも約1.0℃高かった。

4. 土色ならびに斑紋結核の変化

暗渠施工後における土色および斑紋結核の変化を知るため土壌断面調査を行なうとともに、春期の過湿期における二価鉄の生成状況について調査を実施した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

1964年と1965年の2か年にわたり土色と斑紋結核の生成状況を調査したが、排水不良園および暗渠工事園は主として宇和野地区から、排水良好園は鬼沢地区と宇和野地区で同一層序を有する園地を、それぞれ10園ずつ選定して夏期の乾燥時に調査を行なった。土壌断面はリンゴ樹幹から2m離れた地点を試坑し、暗渠工事園ではさらに暗渠埋設位置から1.5~2.0m離れた地点を試坑した。試坑は幅1.0m、深さ1.2mとし、地表から10cmごとに区分してそれぞれの深さ別に土色、斑紋結核および Ferrous dipyridyl の呈色（以下、D反応と略す）を調査測定した。土色はマンセルの表色法を採用して作られた標準土色帖の色相 7.5YR にあてはめて表示した。斑紋結核は形態を膜状、層状、斑状、管状、脈状に区分し、含量は目測で10%をあり、10~30%を含む、30%以上を富むと表示した。また、D反応は $\alpha\alpha'$ -dipyridyl 試薬 ($\alpha\alpha'$ -dipyridyl 1gを10%酢酸液 500mlに溶解)を断面に滴下して10分以上放置後、発色の有無によって微紅、なしの二つに区分した。

さらに、1965年に宇和野地区で深さ105cmに暗渠を埋設して暗渠工事園とそれに隣接する未工事園で3月23日の消雪直後から6月15日まで二価鉄の生成量を調査した。採土はボーリングを使用し、深さを地表から15cm（黒ボク層）、45cm（浮石層）、75cm（埴土層）に区分し、各区分とも4反覆とした。二価鉄の定量は高井(47)の酢酸塩緩衝液抽出法にしたがった。また、各時期とも採土と同時に地温および土壌中の含空気孔隙率を測定した。

(2) 調査結果

ア. 土色の変化

排水良好園、排水不良園および暗渠工事園の調査結果を土層別に示すと第37図のとおりである。

洪積台地上の火山灰土壌は土層によって母材を異にし、土色もまた母材によって差異があるが、排水良好園、排水不良園、暗渠工事園を土層別に対比すると次のようである。

第1層の黒ボク層は、排水良好園が黒褐色、暗褐色、褐色を呈し、排水不良園では黒色、黒褐色、暗褐色を呈して排水良好園より明度、彩度とも低かった。暗渠工事

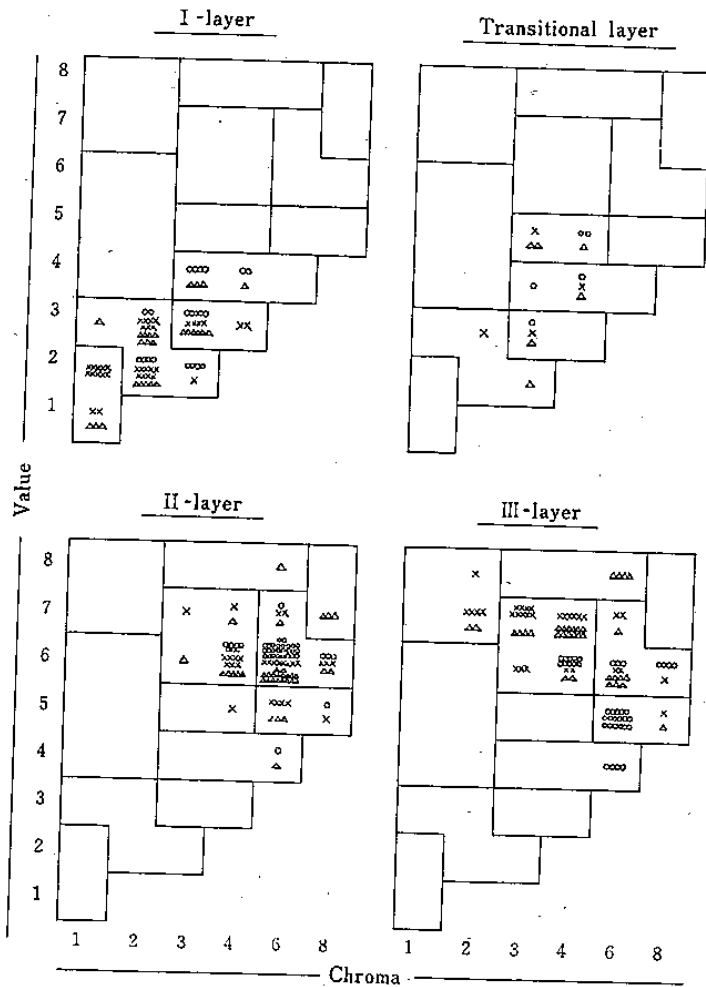


Fig. 37. Soil color for each layer, in well drained, poorly drained and drained plots (1965-1966).

園の土色は排水良好園に接近していた。

第2層の漸移層は、各区分ともこの層を欠除する園地が多く明らかでないが、排水不良園の方が排水良好園より明度、彩度とも低い傾向にあった。

第3層の浮石層は、排水良好園では明橙褐色、灰橙色を呈しているが、排水不良園では明褐色、明橙褐色、灰橙色を呈し、排水良好園に比較して明度の範囲が広く、彩度もやや低い傾向を示した。暗渠工事園の土色は排水不良園のそれに比較して彩度がやや高い傾向にあった。

第4層の埴土層は、排水良好園が褐色、明褐色、明橙褐色、灰橙色を呈し、排水不良園では明橙褐色、灰褐色、淡褐色で排水良好園より明度が高く、彩度が低かった。暗渠工事園の土色は排水不良園に比較して彩度がやや高い傾向にあった。

イ. 斑紋結核の生成とD反応

試坑断面における斑紋結核の生成状況とD反応について調査結果をまとめると第16, 17表のとおりである。

この調査は中層の浮石層と下層の埴土層を主体に実施した。未工事園では各園とも中層の浮石層に斑紋結核が

Table 16. Soil color and rusty mottles of ferric iron

Soil layer	Depth below boundary (cm)	No. 1				No. 2			
		Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
			Form	Content			Form	Content	
II layer	20-30	7/4	Spot	+		6/6	Non.	Non.	
	30-40	6/3	Spot	++		6/6	Non.	Non.	
III layer	0-10	6/4	Vein Tube	++	Non.	5/8	Film	+	Non.
	10-20	7/4	Vein Tube	++	Non.	7/4	Film	++	Non.
	20-30					7/4	Film	++	Non.
	30-40								
Soil layer	Depth below boundary (cm)	No. 6				No. 7			
		Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
			Form	Content			Form	Content	
II layer	20-30	6/6	Non.	Non.		6/6	Non.	Non.	
	30-40	6/6	Non.	Non.		6/6	Non.	Non.	
III layer	0-10	6/6	Vein Tube	++	Non.	6/6	Spot	+	Non.
	10-20	7/4	Vein Tube	+++	Non.	7/4	Spot	++	Non.
	20-30	7/4	Vein Tube	++	Non.	7/4	Spot	++	Non.
	30-40	7/3			Non.				

Soil color : Shown by standard soil color chart (Hue 7.5YR Value/Chroma).

Content of rusty mottles of ferric iron, + : 10%

++ : 10-30%

+++ : 30%<

Table 17. Soil color and rusty mottles of ferric iron

Soil layer	Depth below boundary (cm)	No. 1				No. 2			
		Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
			Form	Content			Form	Content	
II layer	20-30	7/4	Spot	++		6/6	Vein	++	
	30-40	6/3	Spot	+++		7/3	Vein Tube	+++	
III layer	0-10	6/4	Spot	+++	Non.	7/3	Vein Tube	++	Non.
	10-20	7/4	Spot	++	Non.	7/3	Glei		Non.
	20-30	7/4	Glei		Non.	7/2	Glei		Slightly red
	30-40	7/3	Glei		Slightly red				
Soil layer	Depth below boundary (cm)	No. 6				No. 7			
		Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
			Form	Content			Form	Content	
II layer	20-30	5/4	Spot	++		6/4	Spot	++	
	30-40	6/4	Spot	+++		6/4	Spot	+++	
III layer	0-10	6/3	Glei		Non.	7/4	Spot	++	Non.
	10-20	7/2	Glei		Slightly red	7/3	Glei		Non.
	20-30	8/2	Glei		Slightly red	7/3	Glei		Slightly red
	30-40					7/2	Glei		Slightly red

Soil color : Shown by standard soil color chart (Hue 7.5YR Value/Chroma).

Content of rusty mottles of ferric iron, + : 10%, ++ : 10-30%, +++ : 30%<

in subsoil, in drained plots. (1965-1966).

No. 3				No. 4				No. 5			
Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
	Form	Content			Form	Content			Form	Content	
6/6	Non.	Non.		7/8	Non.	Non.		6/6	Non.	Non.	
5/6	Non.	Non.		7/6	Non.	Non.		6/6	Non.	Non.	
7/4	Film	+	Non.	6/6	Film	+	Non.	6/4	Vein	+	Non.
7/3	Film	++	Non.	7/4	Film	++	Non.	7/4	Vein Tube	++	Non.
				7/3	Glei		Non.	7/3	Glei		Non.
				7/2	Glei		Non.	7/2	Glei		Slightly red

No. 8				No. 9				No. 10			
Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
	Form	Content			Form	Content			Form	Content	
6/6	Non.	Non.		6/6	Non.	Non.		7/8	Non.	Non.	
6/4	Spot	+		6/6	Non.	Non.		6/8	Non.	Non.	
6/6	Non.	Non.	Non.	7/6	Non.	Non.	Non.	6/6	Non.	Non.	Non.
6/6	Spot	+	Non.	8/6	Vein Tube	+	Non.	6/6	Vein Tube	++	Non.
7/4	Spot	++	Non.	8/6	Vein Tube	+	Non.	7/4	Vein Tube	++	Non.
				8/6	Vein Tube	++	Non.				

in subsoils, in undrained plots (1965-1966).

No. 3				No. 4				No. 5			
Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
	Form	Content			Form	Content			Form	Content	
6/4	Spot	++		7/6	Spot	+		6/6	Non.	Non.	
6/4	Spot	+++		7/4	Spot	++		6/6	Vein Tube	++	
6/4	Spot	++	Non.	7/6	Spot	+++	Non.	6/8	Vein Tube	+++	Non.
7/3	Glei		Non.	7/4	Spot	++	Non.	7/4	Vein Tube	++	Non.
6/3	Glei		Non.	7/3	Glei		Non.	7/3	Glei		Non.

No. 8				No. 9				No. 10			
Soil color (7.5YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction	Soil color (7.5 YR)	Rusty mottles of ferric iron		D-reaction
	Form	Content			Form	Content			Form	Content	
6/6	Vein	++		6/6	Vein	+		6/6	Spot	+	
6/4	Vein Tube	+++		6/4	Vein Tube	++		6/6	Spot	+++	
7/6	Vein Tube	++	Non.	6/6	Vein Tube	+++	Non.	5/8	Spot	+++	Non.
6/3	Glei		Non.	6/4	Vein Tube	++	Non.	5/8	Spot	++	Non.
7/2	Glei		Slightly red	7/4	Glei		Non.				
				7/3	Glei		Non.				

多く、下層の埴土層はグライ化しているものが多かった。すなわち、中層の浮石層では下部に斑紋結核がみられ下層の埴土層に近い位置ほどその含量が多く、下層の埴土層では園地によって異なるが上部10cm位のところに斑紋結核を含み、その下部はグライ化しているものが多かった。しかし、暗渠工事園では中層の浮石層に斑紋結核の分布が少なく、下層の埴土層では上部ほど斑紋結核を含んでいるが、層界からの深さ30cm程度下方までその分布がみられ、地表からの深さ120cmの範囲にまで斑紋結核が発達していた。

一方、埴土層におけるD反応について調査した結果は、暗渠工事園では反応を示さない園地が大半を占めていたが、未工事園では約半数が反応を示した。しかし、反応を示した園地はいずれも微紅色を呈したに過ぎず、二価鉄の含量は極めて少ないものであった。

ウ. 過湿期における二価鉄の消長

早春の過湿期における暗渠工事園と未工事園の二価鉄を測定した結果は第38図のとおりである。

二価鉄の生成量は、暗渠工事園、未工事園とも非常に少ない含量であった。すなわち、暗渠工事園と未工事園を比較すると、未工事園の二価鉄生成量が多い傾向を示したが、両区とも僅少な生成量に過ぎなかった。また、土層別に比較すると、湛水下に位置することの少なかった黒ボク層および浮石層は勿論のこと、湛水下に位置することの多かった埴土層でも、とくに二価鉄の生成量が多い時期がなく、5月中旬からの

Table 18. Ferrous iron productin of submerged and incubated at 10°C and 20°C

Soil layer	FeI and Eh	Temp. (°C)	Days after submerging						
			0	1	3	6	11	17	24
I-layer	FeI(r/g)	10	0	0	0	1	0	3	2
		20	0	0	0	0	3	10	39
	Eh(mv)	10	625	555	545	525	490	480	505
		20	615	565	555	515	485	465	385
II-layer	FeI(r/g)	10	1	1	2	0	0	2	1
		20	1	1	0	0	0	2	0
	Eh(mv)	10	685	675	670	660	635	615	605
		20	675	670	555	535	535	590	595
III-layer	FeI(r/g)	10	1	1	2	1	1	2	1
		20	2	2	1	3	1	2	3
	Eh(mv)	10	590	600	590	570	470	520	495
		20	605	605	550	500	485	440	420

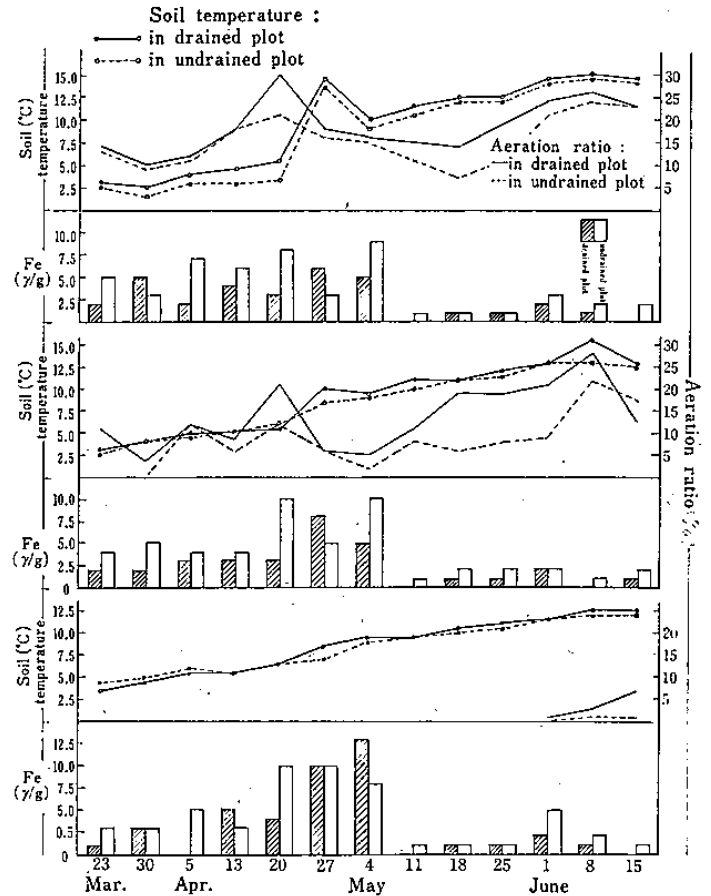


Fig. 38. Ferrous iron production in drained and undrained plots (at Uwano).

生成量は各土層ともこん跡程度の含量で経過した。

さらに、現地は場から各土層ごとに土壌を採り、保温湛水下における二価鉄の生成量について室内実験を試みたが、第18表の結果からも明らかのように、1か月程度の保温湛水で生成された二価鉄の含量は現地は場の場合と同じように、極めて少ない量であった。

(3) 考 察

土色は土壌水分含量の変化に伴って変色することは周知のとおりである。小島⁽¹⁹⁾はグライ土壌を除いた16種の土壌を供試して土壌水分含量と土色の関係をみたところ、半湿潤状態では土壌水分含量が減少するにしたがって明度が上昇するが、乾燥状態、湿潤状態ではほぼ一定であると述べている。この調査における排水良好園、排水不良園および暗渠工事園の三者の土色は、半湿潤状態における乾湿区分の範囲内であってほぼ類似した結果が得られ、表層および中層の黒ボク層と浮石層では排水良好園の方が排水不良園より明度、彩度とも高い傾向を示し、暗渠工事園は排水良好園に接近した土色であっ

た。しかし、単に土壌水分含量だけでは説明できない面があり、暗渠工事園における土色の変化は施工後8～9年間に土壌の酸化、還元の均衡状態に変化が生じたことなどいろいろな条件が相乗された結果と考えられる。このことは下層土においても同様であり、通気性の改善が著しかった暗渠工事園の下層土は排水不良園より明度が低い傾向にあり排水良好園側に移行していた。また、暗渠施工後8～9年を経過した暗渠工事園の斑紋結核の分布は未工事園より20～30cm深く、その生成位置は浮石層から埴土層へと移行しているなど土色と同じように下層土の通気性改善によって変化が生じた。

一方、埴土層におけるD反応は、暗渠工事園では反応を示さない園地が大半を占めていたが、未工事園では約半数が反応を示した。しかし、反応を示すことの多かった未工事園でも微紅色を呈したに過ぎず、二価鉄の含量は極めて少ないものであった。山中、木村⁽⁵⁾は土壌のグライ化に伴う還元土色の発達について、グルコース添加が二価鉄の生成量に及ぼす影響を検討したところ、土色の色相が黄色から青灰色に向うにつれて二価鉄の抽出量が増加したと述べているが、この調査では第4層の埴土層は暗渠工事園、未工事園とも土色の色相がRYに位置していることからもうかがわれるように、年間を通じて二価鉄の生成量が少ないものと判断された。

林、脇坂⁽⁶⁾は湛水下では次第にEhが低下するとともに二価鉄の生成量も多くなり、二価鉄の量が、乾土100g当り20mg以上になるとリンゴ樹根に害作用がみられたとしているが、二価鉄の生成は時期により、また、土壌の性質などによって異なる場合が多く、山中、木村⁽⁵⁾の成績によると湛水下にあっても自然状態（グルコース無添加の場合）では沖積土壌を除くと、いずれも二価鉄の生成量が少ないものになっている。この調査では土壌断面のD反応のほか現地は場の過湿期における二価鉄の生成量も極めて少なく、さらに、室内実験で1か月程度の湛水保温下における二価鉄の生成量も微量であるなど、この土壌では二価鉄の生成に伴うリンゴ樹根の生育障害は少ないものと考えられる。

(4) 摘要

宇和野地区を主体に1964年と1965年に土色と斑紋結核ならびD反応の調査を行ない、1966年に過湿期における二価鉄の生成量を調査した。

土色の調査は排水良好園、排水不良園、暗渠工事園とも10園ずつ選定して、深さ120cmの土壌断面をつくり、地表から10cmごとに調査した。斑紋結核は浮石層と埴土層を対象とし、D反応は埴土層を対象として排水不良園と暗渠工事園の比較を行なった。また、過湿期における二価鉄の生成量は暗渠工事園と未工事園の黒ボク層、浮石層、埴土層を対象として3月23日から6月15日まで定期的に調査した。

ア. 排水良好園と排水不良園の土色を対比すると、黒ボク層と浮石層では排水良好園の方が明度、彩度とも高い傾向にあり、埴土層では明度が低く彩度が高い傾向にあった。暗渠工事園の土色は排水不良園側から排水良好園側へと変化し、表層ほど顕著であった。

イ. 排水不良園では中層の浮石層下部に斑紋結核が多く、下層の埴土層には少なく、暗渠工事園では下層の埴土層に斑紋結核の発達がみられ、その生成位置は未工事園より20～30cm深くなっていた。

ウ. 排水不良園の埴土層では調査園の約半数ほどD反応がみられ、暗渠工事園ではD反応を示す園地が少なかった。しかし、D反応を示した各園とも微紅色の呈色反応で二価鉄の含量は非常に少ないものであった。

エ. 早春の過湿期における二価鉄の生成量は各土層とも非常に少ない状態で推移し、多い時期でも乾土1g当り13rであった。また、1か月程度の湛水保温下における二価鉄の生成量も非常に少ない量であり、この土壌では二価鉄の生成に伴うリンゴ樹根の生長障害は少ないものと考えられた。

5. 土壌透水性の変化

暗渠排水に伴う水理機構の変化は、土壌構造に変化をもたらすと同時に透水条件の改善をもたらすことが期待されるので、土壌孔隙率の変化および土壌透水性の変化について調査を実施した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

調査は1964年と1965年の2か年にわたって実施した。排水不良園と暗渠工事園は宇和野地区を主体に、排水良好園は同一層序を有する宇和野地区と鬼沢地区を対象としたが、各区とも10園ずつ選定して調査を行なった。試坑地点は排水良好園と排水不良園は樹間の中央部を、暗渠工事園は樹間の中央部で暗渠から1.5～2.0cm離れた地点を選定した。試坑断面は深さ1.2mとして地表から10cmごとに土壌孔隙率、ち密度、透水性を測定した。採土は深さ別にDIK採土器Ⅲ型を使用して行ない、採土したものは実容積法にしたがって土壌孔隙率を、透水性測定装置を使用して定水位法による透水係数を測定した。さらに、採土と同時に山中式硬度計を使用してち密度を測定し、別に粘土含量を定量するための試料を採取した。

また、暗渠工事園では暗渠埋設地点の土壌孔隙率と土壌の透水係数を測定し、非埋設地点との比較を行なった。

(2) 調査結果

ア. 土壌孔隙率の変化

暗渠排水に伴う下層土の通気性改善によって土壌の乾燥化が進むと、土壌断面に亀れつが発生するなど土壌構造に変化が生ずることが考えられたので、暗渠施工後8

Table 19. porus space, soil hardness and clay content in well drained, poorly drained and underdrained plots.

Soil layer	Well drained plot			Poorly drained plot			Underdrained plot		
	Porus space	Soil hardness	Clay content	Porus space	Soil hardness	Clay content	Porus space	Soil hardness	Clay content
I layer	75.9	21	12.6	77.9	17	19.4	77.3	19	17.8
Transitional layer	84.9	18	5.1	77.5	16	18.2	80.9	19	11.9
II layer	76.6	22	7.8	64.0	21	16.9	73.3	19	18.6
III layer	58.8	24	23.2	51.1	23	23.6	57.4	22	24.1

～9年を経過した宇和野地区を主体に調査したところ第19表のような結果が得られた。

排水良好園と排水不良園の孔隙率を比べると、黒ボク層では両区の間には差が認められなかったが、漸移層、浮石層、埴土層ではいずれも排水良好園の方が孔隙率が大きかった。暗渠工事園の孔隙率は黒ボク層では排水不良園と差異がなかったが、漸移層、浮石層、埴土層の各土層はいずれも排水不良園の孔隙率より大きく、排水良好園のそれに接近した含量であった。

ち密度を排水良好園と排水不良園で対比すると、各土層とも排水良好園の方が高く、暗渠工事園のそれは排水不良園に比較して表層部の黒ボク層と漸移層では高く、中層の浮石層および下層の埴土層では低い傾向にあった。

また粘土含量をみると、排水良好園の表層および中層の各土層では排水不良園より少なかったが、下層の埴土層では両区の間には含量差はなかった。一方、暗渠工事園の粘土含量は各土層とも排水不良園と大差なかった。

次に、暗渠工事園の暗渠埋設位置における土壌孔隙率は第20表のとおりであった。

Table 20. porus space in burying and non-burying parts.

Soil layer	Burying part		Non-burying part	
	Range	Mean	Range	Mean
I layer	63.5-80.9	75.2	72.7-83.8	77.2
Transitional layer	70.5-79.9	76.2	79.2-84.0	81.0
II layer	66.1-86.8	73.2	57.3-82.1	71.6
III layer	54.7-80.9	69.4	40.7-66.1	56.4

暗渠埋設位置の土壌断面は、埋設直後では孔隙率の分布が著しく大きく、その後、次第に埋設土が沈下して孔隙率が低下したものと考えられるが、暗渠施工後8～9年を経過した暗渠埋設位置の土壌孔隙率は、表層の黒ボク層では非埋設位置と変りなかった。しかし、中層の浮石層および下層の埴土層では非埋設位置より孔隙率が大きかった。

イ、透水性の変化

排水良好園、排水不良園および暗渠工事園の深さ別透水係数を示すと第21表および第39、40、41図のとおりである。

Table 21. Values of permeability in well drained, poorly drained and underdrained plots.

Depth (cm)	Well drained plot		Poorly drained plot		Underdrained plot	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$
0-10	0.53-47.06	12.54	0.84-59.70	10.67	0.49-34.78	10.96
10-20	0.80-10.58	8.86	1.90-30.77	6.67	1.07-11.05	5.30
20-30	2.66-13.79	7.57	1.37-22.85	5.93	2.44-46.51	14.06
30-40	3.67-21.05	12.88	0.22-16.95	9.03	3.66-22.86	9.40
40-50	1.36-18.18	8.02	0.13-21.05	6.13	1.61-8.60	4.19
50-60	0.22-24.69	5.65	0.18-19.32	3.30	0.08-9.90	3.11
60-70	0.30-20.41	4.31	0.93-5.41	1.41	1.17-4.85	2.91
70-80	0.08-16.95	5.14	0.09-4.78	1.13	0.15-5.13	2.50
80-90	0.06-2.44	1.48	0.02-2.82	0.72	0.04-3.76	1.23
90-100	0.09-6.73	1.41	0.02-9.09	1.41	0.03-6.06	1.42
100-110	0.03-2.24	1.14	0.02-0.22	0.14	0.13-2.46	0.95
110-120		0.43				2.13

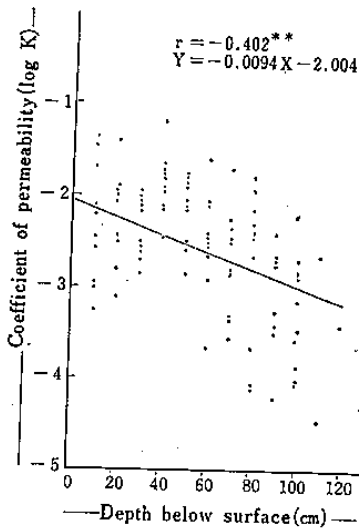


Fig. 39. Relation between permeability and depth below surface in well drained plots.

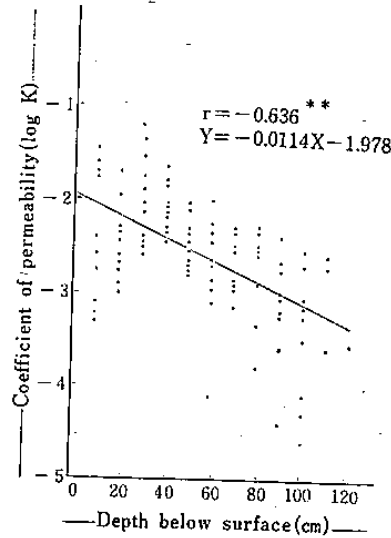


Fig. 41. Relation between permeability and depth below surface in drained plots.

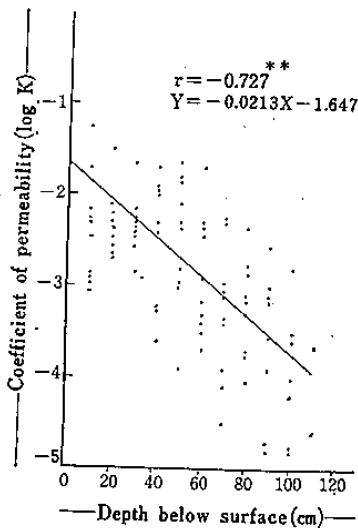


Fig. 40. Relation between permeability and depth below surface in poorly drained plots.

排水良好園と排水不良園の間には透水性に明瞭な差がみられ、また、暗渠工事園における透水性の増加が著しかった。すなわち、排水不良園では土壌の深さと透水

係数との間に強度の有意相関があり、下層ほど透水性が小さく、表層土と下層土の透水係数（回帰直線）の勾配が大きかった。排水良好園の場合も排水不良園と同じように土壌の深さと透水係数の間に強度の有意相関がみられたが、排水不良園よりやや関連性が薄く、表層土と下層土との透水係数の勾配はゆるやかであった。一方、暗渠工事園の表層土と下層土との透水係数の勾配をみると排水良好園に接近した勾配を示した。

次に排水良好園、排水不良園および暗渠工事園の深さ別透水係数を土層別にとりまとめて表示すると第22表のとおりである。

表層部の黒ボク層および漸移層では排水良好園、排水不良園、暗渠工事園と三者の間にほとんど透水係数に差がなく、 10.0×10^{-3} 前後であったが、中層の浮石層および下層の埴土層の透水性は、排水不良園に比べて排水良好園の方が大きく、暗渠工事園のそれは排水良好園の透水係数と近似した値を示した。とくに最も透水性の小さい埴土層の透水係数は平均的にみて排水良好園が 2.50×10^{-3} 、排水不良園のそれが 0.72×10^{-3} 、暗渠工事園のそれは 2.24×10^{-3} であり、暗渠工事園は排水良好園とほぼ

Table 22. Values of permeability in well drained, poorly drained and underdrained plots.

Soil layer	Well drained plot		Poorly drained plot		Underdrained plot	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
I layer	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 0.53-43.53	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 10.43	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 3.15-32.84	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 8.81	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 1.22-22.47	$\times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 8.97
Transitional layer	6.16-11.70	8.16	1.63-16.95	10.90	5.05-18.50	12.30
II layer	5.14-13.64	8.80	0.03- 3.21	2.19	0.66- 7.09	3.86
III layer	0.28- 4.72	2.50	0.02- 3.55	0.72	0.63- 6.06	2.24

ひとしく、排水不良園よりははるかに透水性がすぐれていた。

また、暗渠工事園の暗渠埋設位置は、埋設直後では雨水の降下浸透速度は著しいが、その後次第に浸透速度が低下するものと考えられる。そこで、施工後8~9年を経過した場合の暗渠埋設位置と非埋設地点の透水性を検

討したところ第23表のような結果が得られた。これによると、暗渠埋設位置における土壌の透水性は、黒ボク層および漸移層では差異がなかったが、中層の浮石層および下層の埴土層では各園とも埋設位置の方が非埋設位置より透水性が良好であった。

Table 23. Values of permeability in burying and non-burying parts.

Soil layer	Burying part		Non-burying part	
	Range	Mean	Range	Mean
I layer	1.02-13.91	6.89	1.22-22.47	9.48
Transitional layer	6.25-27.73	14.71	5.05-18.50	13.78
II layer	2.08-10.67	5.63	0.66- 7.09	3.94
III layer	1.19- 4.93	2.74	0.92- 2.75	1.68

ウ. 透水性に影響を及ぼす土壌要因
土層別に土壌の透水係数と孔隙率、ち密度および粘土

含量との関係を示すと第24表、第42図のとおりである。

Table 24. Relation between permeability and porus space, soil hardness and clay content.

Soil layer	Porus space	Soil hardness	Clay content
I layer (n=81)	0.024	- 0.115	0.051
Transitional layer (n=14)	0.438	- 0.147	- 0.329
II layer (n=100)	0.662**	- 0.044	- 0.565**
III layer (n=94)	0.501**	- 0.062	- 0.138

*: Significant at 5% level.
**: Significant at 1% level.

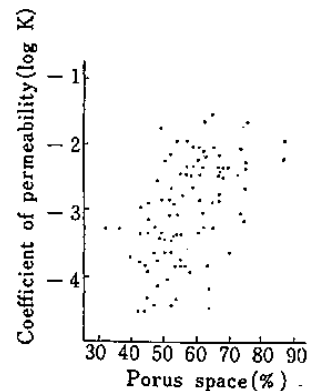


Fig. 42. Relation between permeability and porus space.

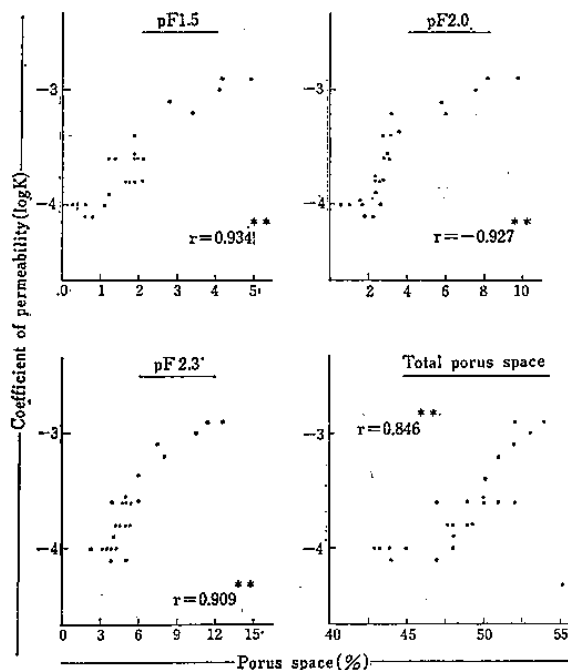


Fig. 43. Relation between permeability and porus space (1965).

表層部の黒ボク層および漸移層では透水係数と孔隙率、ち密度、粘土含量との間にはいずれも相関関係は認められなかったが、透水性の小さい中層の浮石層および下層の埴土層では孔隙の多いものほど透水性が大きく、両者の間には強度の有意相関が認められた。

さらに、同一は場内で暗渠組織の外周に位置する吸水渠を中心に、組織内側2m地点(工事)と組織外側(未工事)20m地点の下層の埴土層について粗孔隙量を測定し、粗孔隙量と透水係数の関係をみると第25表および第43図のとおりであった。暗渠工事園の埴土層における全孔隙量、粗孔隙量とも未工事園よりも多く、透水係数も大きかった。pF1.5, 2.0, 2.3における粗孔隙量および全孔隙量と透水係数の関係は、各クラスとも孔隙量の多いものほど透水係数が大きく、それぞれ両者の間に強度の有意相関が認められたが、どのクラスの粗孔隙が透水係数に大きく影響したかは明らかでなかった。

また、土色の変化については前述したN項の土色なら

Table 25. Values of permeability and coarse porus space in the III layer, in drained and undrained plots.

Plot	Depth below boundary (cm)	Soil color (Hue/Value/chroma)	Rusty mottles of ferric iron		Coefficient of permeability ($\times 10^{-3} \text{cm/sec}$)	Coarse porus space (V%)			Total porus space (V%)
			Form	Content		pF 0-1.5	pF 0-2.0	pF 0-2.3	
Drained plot	5	7.5YR 5/4-5/6	Vein and tube	++	0.85	3.4	6.7	8.9	52.4
	15	" 6/3-7/3	Vein and tube	++	0.61	2.6	4.9	7.6	50.3
	25	5Y 4/1-5/1	Vein and tube	+	0.20	1.6	2.7	4.3	48.7
Undrained plot	5	5Y 4/1-5/1	Vein and tube	+	0.20	1.6	2.4	4.7	48.9
	15	" 5/1-6/1	Glei	-	0.09	0.5	1.4	3.7	45.0
	25	" 5/1-6/1	Glei	-	0.11	1.5	2.3	4.7	46.6

びに斑紋結核の変化のとおりであるが、この土色と透水性の関係を色相 7.5YR に透水係数をあてはめ平均値で表示すると第44図のとおりであった。

(3) 考 察

一般に畑地状態では暗渠排水に伴って土壌の孔隙量は増加するとされている。この調査における暗渠工事園と排水不良園の孔隙量をみると、各土層とも土性にほとんど差がないにも拘らず、孔隙量の少ない下層ほど暗渠工事園の孔隙量が増加し、排水良好園の孔隙量と大差なかった。一方、土壌の密度は土壌水分含量が減少すると増加する。暗渠工事園と未工事園の密度を比較すると、表層部では土壌の乾湿に影響されて暗渠工事園の方が大きかったが、中層の浮石層および下層の埴土層では土壌の乾湿に関係なく暗渠工事園の方が軟かい傾向を示した。暗渠工事園の下層土が軟かくなった原因は明らかでないが、下層の埴土層は凝灰岩質の土壌からなり、乾燥すると土壌の凝集力が強まり、堅くなる性質を有していることから、過剰水の分布する機会が少なかった暗渠工事園では通気が良好となり、乾燥化が進んで亀れつが生ずるなど経年的にもろくなり、結果的に土壌の孔隙量増加をもたらしたものと考えられる。

土壌の透水性は土性と土壌構造に影響されるところが大きく、土壌中の孔隙量と孔隙の大きさによって著しい差異がある。真下(2)は土壌中に pF1.7以下の低張力を示す粗孔隙の量が増加すると透水性もまた増加すると述べている。この調査でどのクラスの粗孔隙が透水性に大きく関与したかは明らかでないが、暗渠工事園の下層土(埴土層)は未工事園より孔隙量が多く、粗孔隙量もまた増加して透水性の増加をもたらしていることが明らかになった。排水不良リンゴ園の埴土層は構造的に均質連結状でグライ化している場合が多いのに対し、暗渠工事園では下層土の通気性改善に伴って土色に変化し、斑紋結核が生成するが、同時に土壌孔隙量の増加がみられた。したがって、この土壌では暗渠排水に伴って土色の明度が低くなり、彩度が高くなったとき、さらにはグラ

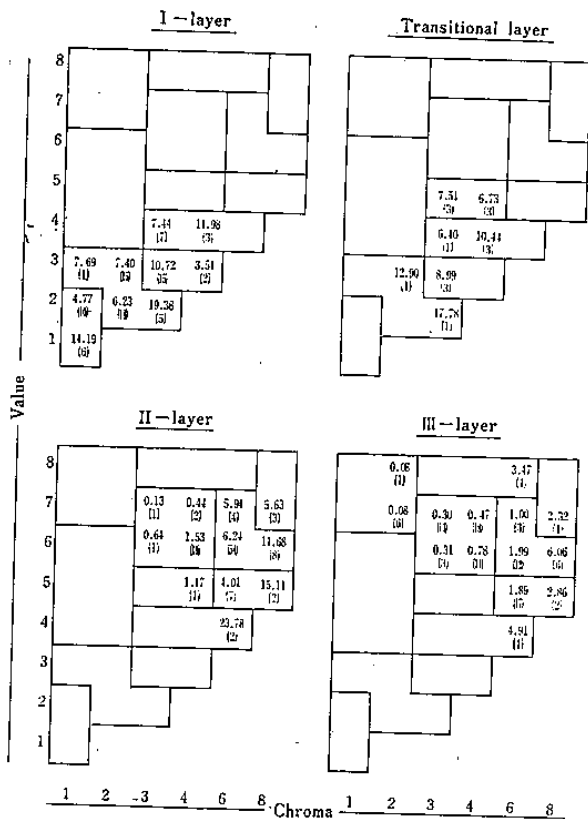


Fig. 44. Relation between permeability ($\times 10^{-3} \text{cm/sec}$) and soil color.

透水係数の大きい表層部の黒ボク層および漸移層では明度および彩度が異なっても透水性に大きな差異がなかった。しかし中層の浮石層では明度および彩度が大きくなるにつれて透水性が増加する傾向にあり、下層の埴土層でもまた浮石層と同様の傾向を示した。

イ層に斑紋結核が生成された場合、土壌の透水性が増加していることを肉眼的に観察し得ることが明らかになった。

丸田、井利⁽²²⁾は重粘土水田において暗渠埋設位置は水の浸透に対して重要な役割を果していることが示唆されたと述べている。この調査で施工後8~9年を経過した暗渠埋設位置の孔隙量と透水性は表層部では非埋設位置と変りなかったが中層の浮石層、下層の埴土層では非埋設位置よりすぐれ、暗渠工事園に降下浸透した雨水の浸透速度を早めるなど透水条件の改善に大きな役割を果していることが推察された。

一般に暗渠工事園における透水条件の変化は、吸水渠間の地下水水面勾配など水理機構の変化について論議されることが多いが、実際には暗渠埋設位置の透水性増加、非埋設位置の透水性増加が加算されて排水効果をあげているものと言えよう。

(4) 摘 要

宇和野地区を主体に1964年と1965年の2か年にわたって調査を行なった。

排水良好園、排水不良園、暗渠工事園とも10園ずつ選定し、各園ともリンゴ樹幹から2m離れた地点を深さ120cmまで試坑し、10cmごとに土壌孔隙率、透水係数、ち密度を測定した。また、暗渠工事園5園について暗渠埋設位置の土壌孔隙率、透水係数を測定した。

ア. 洪積台地上の火山灰土壌における孔隙率は下層ほど小さくなっている。排水良好園と排水不良園を比較すると、表層部の黒ボク層および漸移層では大差ないが、中層の浮石層と下層の埴土層では排水良好園の方が孔隙率が大きく、最も孔隙率の小さい埴土層では排水良好園が平均的に58.8%、排水不良園が51.1%であった。暗渠工事園のそれは各土層とも排水良好園と同程度で浮石層および埴土層の孔隙率増加が顕著であり、埴土層のそれは57.4%であった。

イ. ち密度は下層ほど高かった。排水良好園と排水不良園を比較すると、各土層とも排水良好園の方がち密度が高い。暗渠工事園のち密度は表層部の黒ボク層と漸移層では排水良好園と同程度でち密度が高くなっていたが、浮石層と埴土層では排水不良園よりも低い傾向を示した。とくに、ち密度の高い埴土層では排水良好園の示度が平均的に24mmで樹根が伸長しにくく、排水不良園のそれが23mm、暗渠工事園の示度が22mmで比較的樹根が伸長しやすい堅さであり、暗渠排水に伴う埴土層の軟化が目立った。

ウ. 土壌の透水性は下層ほど小さかった。排水良好園と排水不良園の透水係数を比較すると、各土層とも排水良好園が大きく、最も透水性の小さい埴土層では排水良好園が平均値で 2.50×10^{-3} 、排水不良園は 0.72×10^{-3} であった。また、暗渠工事園の透水性は各土層とも排水良

好園と同程度の透水係数を示し、最も透水性の小さい埴土層の透水係数は 2.24×10^{-3} であった。

エ. 土壌の透水係数は土壌孔隙率と関係が深く、暗渠工事園で透水係数の増加著しかった埴土層では粗孔隙量も増加していた。また、暗渠排水に伴う透水性の変化は、下層の埴土層における土色の变化、斑紋結核の生成、グライ層の低下などから肉眼的に観察し得ることが明らかになった。

オ. 暗渠埋設位置における土壌孔隙率、透水性は非埋設位置のそれに比較して、中層の浮石層と下層の埴土層でともに大きく、浸透水の処理に大きな役割を果していることがうかがわれた。

6. 地耐力の変化

過湿期における土壌硬度の変化、土壌硬度とスピードスプレーヤーの走行性、スピードスプレーヤーによる踏圧層の生成などについて調査を実施した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

ア. 実験 1

1965年4月15日、発芽直前の第1回農薬散布時に、宇和野地区の暗渠工事園10園と未工事園14園について過湿期における土壌硬度を調査した。調査は両区とも樹幹から2m離れた地点をプロクター貫入抵抗器So6を使用して土壌硬度の比較を行なった。貫入抵抗測定後、同一地点のち密度、土壌三相、含水比、地下水水面を測定したが、ち密度は山中式土壌硬度計を使用し、土壌三相は実容積法によって三相割合を測定した。

過湿期における土壌硬度の変化追跡は、1966年に宇和野地区で、深さ1.0mに暗渠を埋設した暗渠工事園と隣接する未工事園で行なった。調査は樹幹から約3.6m離れた樹間の中央部を、消雪直後から開花直前まで定期的に土壌硬度を測定した。同時に暗渠工事園では、暗渠からの距離による土壌硬度の変化を、深さ90cmに暗渠を埋設した地点で吸水渠からの距離を0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、7.0mに区分し、3月23日、4月6日、4月27日の三回にわたって土壌硬度を測定した。土壌硬度はプロクター貫入抵抗器So6を使用し、貫入抵抗値で表示した。

イ. 実験 2

土壌硬度とスピードスプレーヤーの走行性について1967年8月に実験を試みた。実験は宇和野地区で5~8年生の若木を栽植した清耕リンゴ園を対象としたが、スピードスプレーヤーの走行は30mmの降雨後24時間を経過してから行なった。使用した機種は、共立式SSD-70⁹でタンクに満水し、ファガソンF型トラクターにけん引させた。土壌硬度はプロクター貫入抵抗器So6を使用して土壌の荷重抵抗を測定したが、各地点とも8か所ずつ測定し平均値で表示した。また、トラクターの経済速度

の指標としてスリップ率をみたが、支持力の強い道路上における後車輪一回転の距離に対してそれぞれの実験時における進行距離の不足分を百分率で表示してスリップ率とした。

ウ. 実験 3

スピードスプレヤーの走行に伴う踏圧層の生成については、1967年8月に宇和野地区を対象として実施した。同一共防内の暗渠工事園、未工事園とも8園ずつ選定し、樹冠下の踏圧をうけていない部分と最も踏圧の著しい走行地点中心部に区分して、深さ40cmまでの貫入抵抗、ち密度、現地容積重、固相率を比較した。また、暗渠工事園、未工事園とも1園ずつ選定して踏圧層の生成状況を幅100cm、深さ40cmの土壌断面について調査した。現地容積重は幅、深さとも10cmごとに、ち密度は幅10cm、深さ5cmごとに調査した。現地容積重はDIK採土器Ⅲ型を使用して採土したものを乾燥後に秤量し、ち密度は山中式土壌硬度計を使用した。

(2) 調査結果

ア. 過湿期における土壌硬度の変化

発芽直前の過湿期における暗渠工事園と未工事園の土壌貫入抵抗を比較した結果は第26、27表のとおりである。

スピードスプレヤーなど大型機械の走行性と最も関係の深い地表から深さ10cmまでの土壌貫入抵抗をみると暗渠工事園、未工事園とも調査地点によって貫入抵抗にかなりの差異を示したが、平均的には暗渠工事園の貫入抵抗は8.8kg/cm²であり、未工事園では4.5kg/cm²で暗渠工事園の土壌硬度が著しく増加していた。この時期における地下水面をみると、未工事園では表層の黒ボク層か中層の浮石層に位置し、暗渠工事園では中層の浮石層か下層の埴土層に位置することが多かった。地下水面の存在する位置が黒ボク層の場合は土壌の貫入抵抗が極めて小さく平均的にみて4.1kg/cm²であり、黒ボク層より浮石層、浮石層より埴土層と下層に地下水面が位置するほど

Table 26. Bearing capacity in drained and undrained plots (at Uwano, 1964).

	Depth (cm)	Undrained plot (14)		Drained plot (10)	
		Range	Mean	Range	Mean
Bearing capacity (kg/cm ²)	0-5	1.7-8.4	4.5	4.9-11.7	8.3
	5-10	1.5-9.5	4.3	5.7-11.2	8.8
	10-15	1.5-9.9	5.6	6.0-12.2	9.1
	15-20	2.0-9.6	5.9	5.8-14.0	8.4
Soil hardness (mm)	5	10-20	14	16-21	17
	15	8-18	14	14-18	16
Solid phase (%)	5	24.2-35.0	30.0	24.7-36.1	30.2
	15	22.7-31.0	27.6	23.3-28.6	27.4
Liquid phase (%)	5	50.5-58.3	56.5	41.1-55.1	49.3
	15	54.3-73.1	65.2	46.7-67.6	56.2
Vapor phase (%)	5	6.3-20.5	13.5	16.0-27.9	20.5
	15	4.1-14.3	7.2	11.4-21.5	16.4
Moisture ratio (%)	5	65.0-103.8	83.0	60.9-80.1	72.5
	15	79.4-114.3	95.4	65.0-91.7	83.6
Groundwater table (cm)	—	25-60	42	50-150	76

() : No. of surveyed orchards.

Table 27. Bearing capacity and ground-water table in each layer.

Position of groundwater table	Undrained plot				Drained plot			
	No. of orchard	Average layer thickness (cm)	Bearing capacity (kg/cm ²)		No. of orchard	Average layer thickness (cm)	Bearing capacity (kg/cm ²)	
			Range	Mean			Range	Mean
I layer	6	37	1.7-5.8	4.1	0	33		
II layer	8	46	3.6-9.5	6.4	5	46	5.7-9.7	7.9
III layer	0				5		8.3-11.7	10.2

土壌の貫入抵抗が大きかった。

次に、消雪直後から開花期までの春期の過湿期における土壌硬度の変化は、1966年の消雪期は例年に比べて20日間位早かったので3月16日から土壌の貫入抵抗を測定した。結果は第45、46図のとおりである。

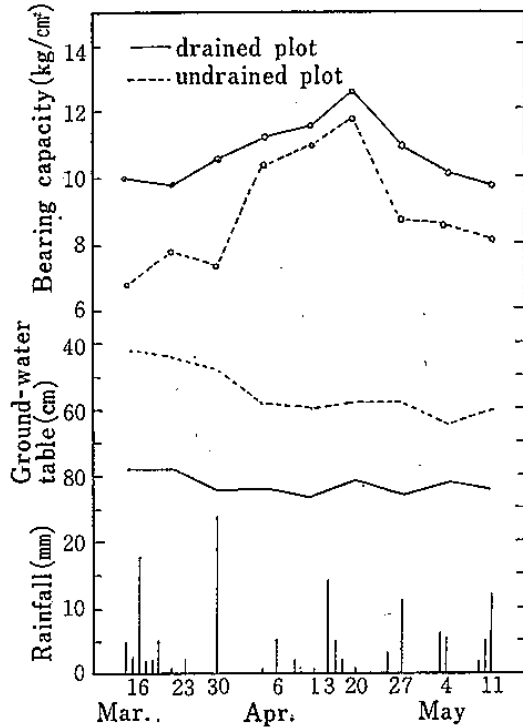


Fig. 45. Changes of bearing capacity in wet season (at Uwano, 1965).

地表から深さ10cmまでの貫入抵抗をみると、暗渠工事園では消雪直後から下層の埴土層に地下水面が位置していたため未工事園より貫入抵抗が大きい状態で推移した。暗渠工事園における貫入抵抗は、3月16日から3月30日頃までは $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、4月6日から4月27日までは $11\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上で経過し、5月4日および11日は当日に降雨があり $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 前後の貫入抵抗であった。一方、未工

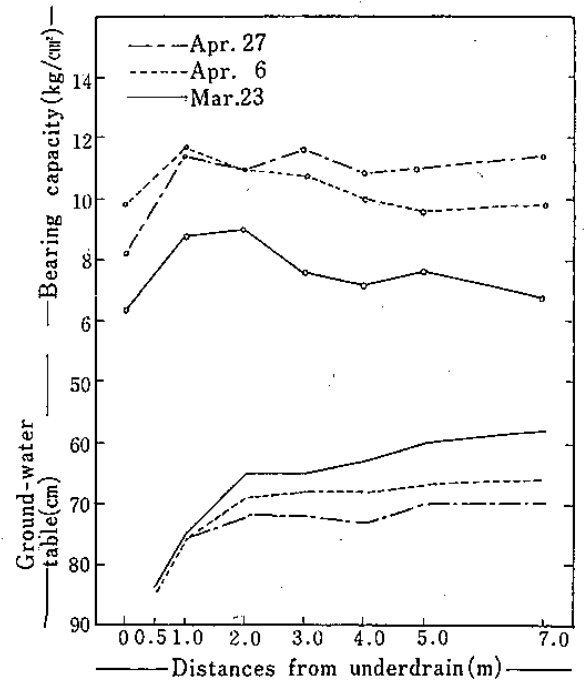


Fig. 46. Relation between bearing capacity and distances from underdrain tile (at Uwano, 1965).

事園の地下水面は消雪期から開花にかけて次第に低下したが中層の浮石層に位置し、土壌の貫入抵抗は3月16日から3月30日までは $6\sim 8\text{kg}/\text{cm}^2$ で経過し、4月6日～20日までは $11\text{kg}/\text{cm}^2$ に増加したが、その後はいずれも $8\sim 9\text{kg}/\text{cm}^2$ に低下し、暗渠工事園に比べると常に小さい貫入抵抗であった。

さらに、この時期の暗渠工事園における土壌貫入抵抗の分布をみると、吸水渠間の地下水面勾配が比較的急な3月26日には暗渠に近い $1\sim 2\text{m}$ では $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 前後の貫入抵抗を示し、3m以上離れたところでは $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 台と貫入抵抗が小さかった。しかし、地下水面勾配がゆるやかな4月27日には園地全体で土壌の貫入抵抗が増加し、暗渠からの距離別による貫入抵抗の差がなく、いずれも

Table 28. Bearing capacity by soil penetrometer and trafficability of S.S. in straight course (at Uwano, August 1966).

Revolving order of wheel	Depth (cm)	Revolving order of wheel											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bearing capacity (kg/cm^2)	0-5	8.4	9.0	7.8	12.1	10.0	11.5	9.7	11.4	10.4	11.1	10.1	9.2
	5-10	8.1	10.9	7.8	10.3	10.9	10.8	11.8	10.9	9.5	10.7	10.8	9.6
	10-15	13.2	12.8	12.3	11.8	11.8	13.1	14.6	16.6	14.1	16.3	18.6	14.5
	15-20	13.2	12.4	13.7	11.5	12.0	15.2	16.9	18.0	18.6	18.6	18.6	14.5
Depth of sinking (mm)	—	4	11	16	15	4	11	22	46	12	25	10	12
Slip rate (%)	—	5.5	5.5	4.1	5.5	6.8	4.1	1.4	1.4	2.7	1.4	1.4	1.4

Table 29. Bearing capacity by soil penetrometer and trafficability of S.S. in turning course (at Uwano, August 1966).

Depth (cm)	Course No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Bearing capacity (kg/cm ²)	0-5	7.2(13)	8.0(13)	8.9(14)	8.7(14)	8.9(14)	10.3(15)	10.3(15)	14.2(16)
	5-10	8.1(14)	7.8(13)	8.1(14)	8.8(15)	9.5(14)	10.3(15)	10.7(15)	16.5(17)	14.3(16)
	10-15	13.8(15)	14.6(15)	12.2(14)	14.3(16)	10.8(14)	14.5(16)	16.3(16)	24.5(18)	18.0(17)
	15-20	17.4(16)	15.5(15)	12.6(14)	15.9(16)	12.0(14)	21.3(17)	21.5(17)	21.5(17)	18.1(17)
Moisture ratio (%)	5	84.9	83.0	80.6	79.6	76.0	73.7	70.5	63.5	60.6
	15	85.2	88.3	82.6	88.2	82.5	82.2	77.1	71.1	73.2
Depth of sinking (mm)	—	135	98	90	110	89	65	48	10	37
Slip ratio (%)	—	Stop	Stop	Stop	Stop	76.8	26.0	15.1	4.1	6.8

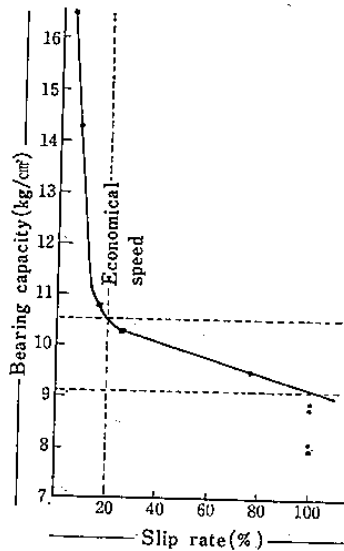


Fig. 47. Relation between slip rate and bearing capacity.

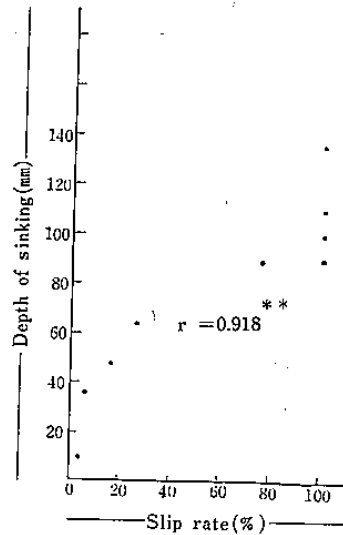


Fig. 48. Relation between slip rate and depth of sinking.

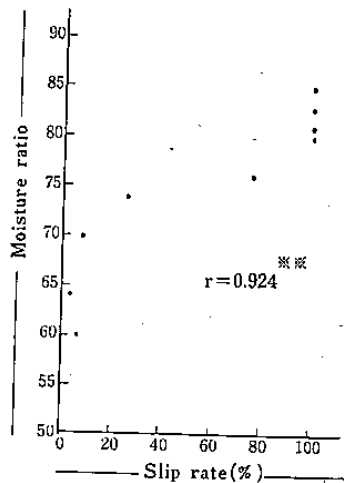


Fig. 49. Relation between slip rate and moisture ratio.

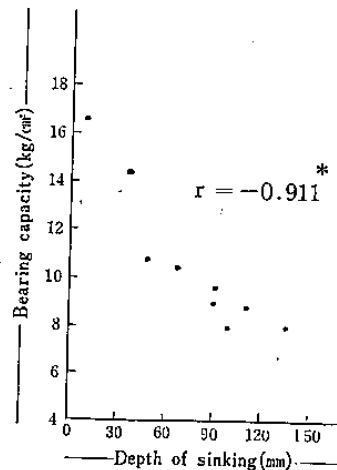


Fig. 50. Relation between depth of sinking and bearing capacity.

11kg/cm²台で圃地内のむらが少なくなった。

イ. 土壌硬度とスピードスプレーヤーの走行性

スピードスプレーヤーの走行性を左右する土壌硬度の指標を得るため現地実証試験を行なった。結果を示すと第28, 29表および第47, 48, 49, 50図のとおりである。

直線コースにおける土壌の貫入抵抗とスピードスプレーヤーの走行性(低速で2.0km/h)をみると、コースの前半はややスリップ率が大きく4.1~6.8%であり、後半は1.4~2.7%であった。この結果は土壌の貫入抵抗の差によるものか、初発時の走行速度不足に影響されたものか明らかでないが、このコースにおける地表から深さ10cmまでの貫入抵抗7.8~12.1kg/cm²の範囲ではスピードスプレーヤーの走行性に大差なかった。

半径4.0m, 低速で2km/hという条件で行なったとき

の巡回コースにおける土壌の貫入抵抗とスピードスプレーヤーの走行性は、地表から深さ10cmまでの貫入抵抗が7.8~8.9kg/cm²ではいずれも後車輪の沈下が深く、スリップをくりかえして走行不能となり、8.9~10.3kg/cm²の貫入抵抗では26.0~76.8%のスリップ率で走行速度が著しく低下した。しかし、10.3kg/cm²以上の貫入抵抗では比較的スリップ率が少ない状態で走行することができた。また、この巡回コースにおけるスリップ率は車輪の沈下が多いものほど、土壌の含水比が大きいものほど大きく、両者の間にはそれぞれ強度の有意相関が認められ車輪の沈下深さと貫入抵抗の間にも強度の有意相関があった。

ウ. 暗渠排水による踏圧層生成の抑制

1964年に昭信式SS-CI型を導入してから3年余を

Table 30. Production of stamping layer in undrained and drained plots.

Plot	Depth (cm)	Bearing capacity		Bulk density		Soil hardness		Coefficient of permeability	
		Non-stamping	Stamping	Non-stamping	Stamping	Non-stamping	Stamping	Non-stamping	Stamping
		kg/cm ²	kg/cm ²	g/100cc	g/100cc	mm	mm	×10 ⁻³ cm/sec	×10 ⁻³ cm/sec
Undrained plot	5	18.9	46.5	66.7	80.6	17	26	2.61	1.08
	15	15.2	34.9	65.6	72.9	19	23	3.57	0.51
	25	10.9	24.6	64.7	65.8	18	19	3.12	2.86
	35	15.2	27.9	71.3	69.8	18	18	5.96	4.95
Drained plot	5	14.9	62.8	65.3	93.5	16	27	2.25	0.06
	15	12.7	78.9	65.8	87.7	18	26	4.63	0.14
	25	9.6	67.4	63.5	72.4	16	24	4.38	0.63
	35	14.3	62.0	69.8	71.8	16	20	8.41	1.18

Note: Average of 8 orchards.

Table 31. Bulk density in S.S. running way, in well drained and poorly drained plots (1967).

Plot		Well drained plot									
Distance from the center (cm)	Depth (cm)	-50	-40	-30	-20	0	0	-20	-30	-40	-50
		g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc
	5	68.6	67.9	73.0	79.1	78.0	76.3	76.5	72.5	70.0	70.8
	15	63.6	63.8	69.1	72.9	74.8	73.7	68.9	69.7	68.3	67.4
	25	65.5	65.5	67.1	66.4	66.5	67.8	66.6	67.4	66.9	66.6
	35	67.4	67.2	68.7	67.9	66.7	65.1	65.0	68.9	66.6	66.3
Plot		Poorly drained plot									
Distance from the center (cm)	Depth (cm)	-50	-40	-30	-20	0	0	-20	-30	-40	-50
		g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc	g/100cc
	5	71.3	76.5	79.7	82.5	86.3	84.5	81.7	79.5	76.3	75.9
	15	68.7	74.0	78.7	80.4	84.1	83.5	79.9	80.7	73.0	69.8
	25	67.6	68.1	71.8	74.1	80.4	81.8	75.7	74.8	70.7	68.7
	35	66.9	65.2	66.4	71.1	64.1	69.1	68.4	69.3	69.0	66.4

Table 32. Soil hardness in S. S. running way, in well drained and poorly drained plots (1967).

Plot Distance from the center (cm) Depth(cm)	Well drained plot										Poorly drained plot									
	40-50	30-40	20-30	10-20	0-10	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	40-50	30-40	20-30	10-20	0-10	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
0-5	20	20	22	23	24	24	23	21	21	20	23	24	25	25	27	28	26	26	25	23
5-10	18	22	22	22	23	25	23	21	19	19	22	24	25	26	26	28	25	24	24	22
10-15	17	21	20	20	23	23	22	20	18	18	21	23	23	23	26	25	25	23	22	22
15-20	18	18	19	19	21	22	19	19	18	17	20	21	21	22	24	24	23	22	21	21
20-25	17	16	18	19	20	19	17	16	17	16	18	20	19	22	24	23	22	21	20	21
25-30	15	15	17	16	17	17	18	16	18	16	19	20	19	21	24	23	21	21	19	20
30-35	15	16	20	19	18	18	17	16	18	18	19	19	20	20	22	22	21	21	20	20
35-40	17	18	19	20	20	20	19	18	20	19	20	20	21	22	22	23	21	22	20	20

経過した同一共防内の暗渠工事園と未工事園における踏圧層の生成状況を調査した結果は第30, 31, 32表のとおりである。

スピードスプレーヤーが走行してない樹冠下土壌の貫入抵抗は、未工事園より暗渠工事園の方が大きい傾向を示し、ち密度もほぼ同様の傾向にあり、踏圧をうけないときの表層部の土壌硬度は暗渠工事園の方が大きかった。スピードスプレーヤー走行地点の土壌硬度は暗渠工事園、未工事園とも無踏圧地点より著しく増加していたが、無踏圧の場合とは反対に未工事園の方が暗渠工事園よりはるかに大きい土壌硬度で踏圧による変化が激しいことが目立った。すなわち、スピードスプレーヤー走行地点における踏圧の影響を現地容積重の増加から判断すると、未工事園の場合は30cmの層厚を有する表層の黒ボク層を超えて次層の浮石層にまで達し、その深さは地表下40cm以上に及んでいた。これに比べて暗渠工事園の現地容積重増加は地表下20~30cmで第1層の黒ボク層を超えることがなかった。

一方、踏圧層の幅も未工事園より暗渠工事園の方が狭く、踏圧による土壌の圧縮度もはるかにゆるいものであった。このことは現地容積重の増加率からも明らかであるが、両区の踏圧層についてち密度を対比するとより明瞭である。すなわち、未工事園の走行地点では第32表中

を実線で囲んだ土壌のち密度、「密」の部分が深さ15cm、幅70cmに及んでいたが、暗渠工事園でもち密度、「密」の部分が存在しなかった。また、踏圧によって土壌の透水性が著しく小さくなったが、未工事園の方が暗渠工事園より低下の度合が甚しかった。

(3) 考 察

山中 (51) は土壌硬度と含水量の間には比例的な関係があり、土壌水分の減少に伴って土壌硬度は増加するが、増減の幅は細粒質な土壌ほど大きく、粗粒質な土壌ほど小さいとしている。この調査では主として過湿期における土壌硬度を検討したが、第33表にみられるように土壌の貫入抵抗は土壌水分の多少と密接な関係にあり、暗渠工事園と未工事園の間にみられる土壌の貫入抵抗の差は、暗渠工事園における地下水面の低下が土壌表層部の土壌水分の減少をもたらし、結果的に土壌貫入抵抗の増加をもたらしたとみることができるとする。

暗渠工事園における表層部の土壌貫入抵抗増加は、リンゴ園にスピードスプレーヤーなど大型機械の導入を容易にすると同時に、その走行性を良好にするものと考えられる。機械の走行性に関する因子としては機械によるものと、土壌によるものがあり、この両者を同時に考慮することによって走行性の判定が可能となる。機械側のものとしては、車両指数 (V.C.I.), 接地圧, 接地

Table 33. Correlation coefficients (r) between bearing capacity and soil factors.

	Solid phase	Liquid phase	Vapor phase	Moisture ratio	Soil hardness	Ground-water table
Bearing capacity	0.496*	-0.581**	0.299	-0.795**	0.684**	-0.836**
Moisture ratio	—	—	—	—	-0.681**	-0.748**

*: Significant at 5% level.
 **: Significant at 1% level.

面積、接地部の形状などがあり、土壌側のものとしては、土性、粒度分布と密度、含水比、間隙比、透水性などの一次的な静的条件と、それによって影響される二次的な動的条件の土壌の強さとがある。スピードスプレーヤーの走行性についての実験は、土壌の強さをもって土壌側の条件とし、直線コースならびに旋回コースにおける共立式 SSD-70B 型の走行性を検討したものであるが、土壌の貫入抵抗が $7.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の直線コースでは機械の走行に支障がなく、旋回コースでは貫入抵抗が $10\sim 11\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上であれば園地内の走行が容易なことが示唆された。機械走行の難易は、走行部のスリップおよび沈下の程度、旋回の難易、わだち跡走行の難易など各種の形態を総合して判定しなければならない。走行難易判定基準については金須⁽¹⁵⁾の提案があり、一般にはスリップ率20%以上では機械の走行とけん引が難しく、40%以上では作業が不能になるとされている。この実験結果は事例が少なく十分な考察することができないが、旋回コースの場合に限ると $8.9\sim 10.3\text{kg}/\text{cm}^2$ ではスリップ率が大きく、走行速度が著しく低下して経済速度の維持が難しく、 $8.9\text{kg}/\text{cm}^2$ では走行不能になった。

しかし、リンゴ園にスピードスプレーヤーを導入した場合、農薬を適期に散布するため、土壌の強さの如何を問わず走行する例が少なくない。とくに、早春の過湿期などでは必ずしも機械の走行性が阻害されないにしても、土壌水分が多いため土圧をうけやすく、走行地点は次第に踏圧層を形成することになる。鎌田⁽¹⁶⁾が畑地で分類したものによると、リンゴ園における踏圧層の生成は、そのほとんどが管理作業時に特定の場所を表層から踏圧する通路踏圧(畦間踏圧)にあたるものであり、この踏圧層の生成は土壌の成層状態と土壌水分の多少によって異なる。暗渠工事園と未工事園のスピードスプレーヤー走行地点における踏圧層の生成をみると、表層部の土壌硬度が強い暗渠工事園の方が踏圧層が浅く、その範囲がせまかった。踏圧による土壌の沈下は、夏期には少なく、土壌水分の多い過湿期に大きかったものと考えられ、暗渠工事園と未工事園の踏圧層生成に差を生じたのもこの時期の土壌硬度が大きく影響したものと考えられる。

(4) 摘 要

宇和野地区で1965年から1967年の3か年間にわたって地耐力の調査を行なった。

過湿期における土壌硬度の変化は、暗渠工事園10園、未工事園14園を選定して比較するとともに過湿期における変化の様相をみたが、土壌硬度は土壌の貫入抵抗を主にして調査を行なった。土壌硬度とスピードスプレーヤーの走行性は、共立式 SSD-70B をファガソン F 型トラクターにけん引させ、プロクター貫入抵抗器 So6 による土壌の貫入抵抗との関連性をみた。また、暗渠工事園に

おける踏圧層生成の抑制効果は、暗渠工事園、未工事園とも8園ずつ選定して踏圧層の生成状況をみた。

ア. 過湿期における地表から深さ10cmまでの土壌貫入抵抗は、未工事園では14園平均で $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 、暗渠工事園では10園平均で $8.8\text{kg}/\text{cm}^2$ であり、暗渠工事園の方が著しく土壌硬度が増加していた。

イ. 過湿期における土壌の貫入抵抗は、地下水水面、含水比、液相、ち密度と密接な関係にあり、それぞれ強度の有意相関が認められた。

ウ. 過湿期における土壌硬度の変化をみると、暗渠工事園の土壌貫入抵抗は未工事園より常に大きく推移し、消雪直後あるいは降雨後の貫入抵抗が小さい時期ほど未工事園との差が大きかった。また、暗渠工事園における貫入抵抗の変化は、消雪直後では暗渠に近い部分で大きく、遠い部分は小さかったが、消雪後約40日を経過した頃には暗渠からの距離に関係なく $11\text{kg}/\text{cm}^2$ 台の貫入抵抗を示した。

エ. 夏期の降雨24時間後に土壌の貫入抵抗とスピードスプレーヤー走行性について検討したところ、 $7.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の貫入抵抗を示した直線コースでは走行に支障がなく、旋回コースでは $10.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下の貫入抵抗ではスリップ率、沈下深とも大きく、走行が容易でないことが示唆された。

オ. 同一共防内の暗渠工事園と未工事園の踏圧層生成状況をみると、表層部の土壌硬度が小さい未工事園が暗渠工事園より踏圧の影響を強くうけ、暗渠工事園における踏圧層の深さは20cm前後であったのに対して未工事園では40cm前後の深さに達していた。

7. 暗渠排水による溶脱量

暗渠排水に伴う肥料養分の損失量と土壌養分の保持量、とくに塩基含量の実態を明らかにし、暗渠工事園における合理的な肥培管理体系の確立をはかるため諸調査を実施した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

ア. 実験 1

暗渠排水中の肥料成分については宇和野地区の暗渠工事園 69a を対象として、1965年12月から1966年11月までの1年間にわたって排水量調査を行ない、排水水中に含まれる肥料成分量を1週間ごとに捕水して定量した。排水水の分析は $\text{NO}_3\text{-N}$ をフェノール硫酸法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はネスラー試薬法、 P_2O_5 は Ammonium Vanadate-Molybdate 法、K および Na は焰光光度計法、Ca および Mg はキレート滴定法、Mn は過沃素酸法、Fe は O-phenanthroline 比色法を採用した。

イ. 実験 2

暗渠工事園と未工事園の土壌塩基含量については、1966年に宇和野地区の暗渠工事園とそれに隣接する未工

事園をそれぞれ5園ずつ選定し、土壌中の塩基含量とpHなどについて調査した。調査地点はリンゴ樹幹から2m離れたところを試坑して土層別に採土した。土壌分析はpH7.0-N酢酸アンモニウム液を使用し、遠心法で浸出した濾液をK, Naは焰光光度計法, CaおよびMgはキレート滴定法により定量した。

ウ. 実験 3

暗渠工事園における塩基含量の分布については、1966年に宇和野地区で調査を行なった。吸水渠の間隔13.6mの地点で暗渠直上部から0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.8mと採土区分を設定し、深さ10cm(黒ボク層), 20cm(黒ボク層), 40cm(浮石層), 70cm(植土層)と土層別に採取した。土壌分析は前項と同様の方法で定量した。

(2) 調査結果

ア. 暗渠排水水中の肥料成分

調査結果をまとめてみると第51, 52図および第34表のとおりである。

暗渠からの排水量は積雪期間中に多く、夏期には比較的少ない状態で推移した。排水水の肥料成分濃度を時期別にみると、NH₃-Nは夏期の7月から秋期にかけて高く、燐酸は春期から秋期にかけてやや高い濃度を示した。他の各成分はいずれも晩秋から早春の消雪期にかけて次第に低い濃度になり、消雪後の早春から秋期にかけて再び濃度が高まる傾向にあった。

しかし、各成分とも時期別流出量は排水量の多少に左右され、降雪期間中の流出量が多く、春期から秋期の生育期には比較的少なかった。排水水とともに流出した肥料成分量は石灰が最も多く、次いで窒素、ナトリウム、苦土、加里、マンガン、燐酸の順であり、鉄の流出量は最も少なかった。最も流出量の多かった石灰はこの1年間に10aあたり149kgに達し、苦土、加里、ナトリウムを加えた塩基の含量は約235kgに及んでいた。一方、還元状態で溶出されやすい成分をみると、マンガンはかなりの量に達

していたが、鉄の流出量は非常に少ないものであった。また、窒素、燐酸、加里の肥料三要素の流出量は、施肥したものと、もともと土壌に含まれているものの含量から溶脱したものと考えられるが、窒素の流出量が非常に多く、10aあたり約46kgに及んでいた。

イ. 暗渠工事園と未工事園の土壌塩基含量

施工後、10年を経過した暗渠工事園と未工事園の土壌中における置換性塩基含量および酸度を示すと第35表のとおりである。

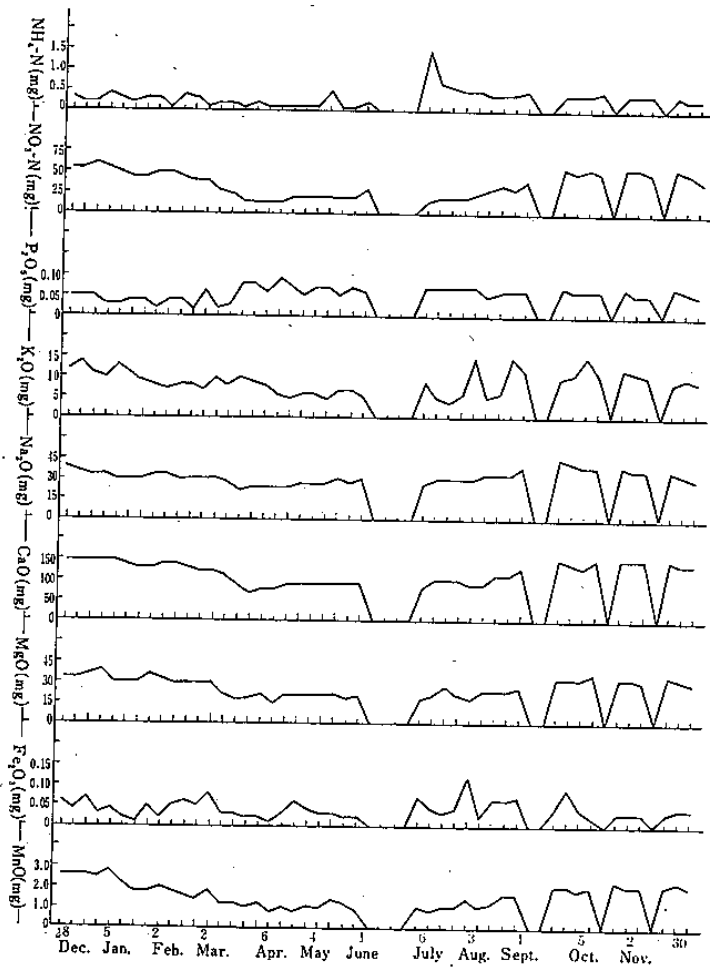


Fig. 51. Seasonal changes of nutrient concentrations contained in drainage water.

Table 34. Annual losses of nutrients by underdrainage (at Uwano, 1966).

Period	Area	Drainage discharge	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO
Dec. 1 - Mar. 16	69a 10a	5853.5 848.3	11.8 0.17	200.01 28.99	0.28 0.04	52.47 7.60	168.71 24.45	669.31 97.00	156.34 22.66	0.20 0.03	9.49 1.38
Mar. 17 - Nov. 30	69a 10a	3320.1 481.2	1.13 0.16	116.08 16.82	0.18 0.03	26.17 3.79	101.79 14.75	358.98 52.03	83.99 12.17	0.13 0.02	4.53 0.66
Annual drainage discharge	69a 10a	9173.6 1329.5	2.31 0.34	316.09 45.81	0.46 0.07	78.64 11.40	270.50 39.20	1028.29 149.03	240.33 34.83	0.33 0.05	14.02 2.03

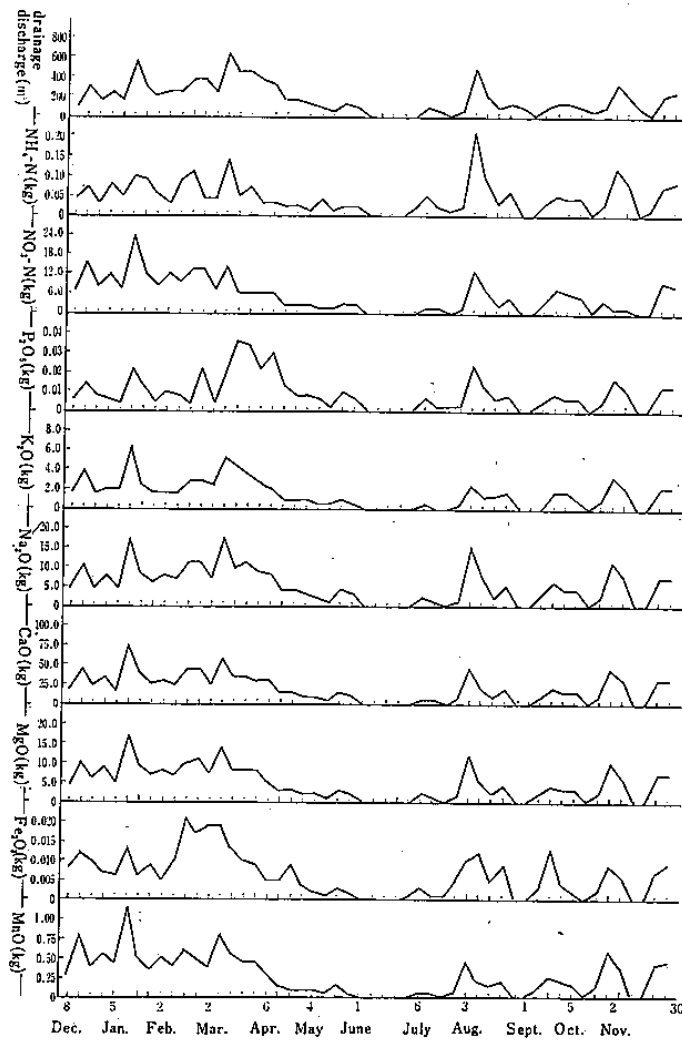


Fig. 52. Seasonal changes of nutrient amounts contained in drainage water.

土壌中の塩基含量は暗渠工事園、未工事園とも園地によってかなりの差があった。暗渠工事園と未工事園を比較すると、表層の黒ボク層では Ca, K, Na 含量では両区の間にはほとんど差が認められず、Mg 含量は暗渠工事園の方が高い含量を示す園地が多く、中層の浮石層では Ca, Mg, K, Na の各塩基含量とも暗渠工事園の方が未工事園より低い傾向を示した。さらに、下層の埴土層でも暗渠工事園の Ca 含量は未工事園のそれより若干高い傾向を示したが、その他の Mg, K, Na 含量は暗渠工事園の方が未工事園より低い傾向にあった。このように各土層とも要素によってふれが大きく、必ずしも暗渠工事園と未工事園の間に明瞭な差異を示さなかったが、塩基飽和度ではかなり明瞭な結果を示した。すなわち、黒ボク層では暗渠工事園の方が未工事園より若干高い傾向にあり、下層の埴土層では大差なかったが、中層の浮石層における塩基飽和度は暗渠工事園の方が未工事園より平均的にみて25%位減少していた。

また、pH は表層の黒ボク層と下層の埴土層では両区の差異が明らかでないが、中層の浮石層では暗渠工事園の pH 低下が目立った。

ウ、暗渠工事園における塩基含量の分布
吸水渠間の塩基含量分布を示すと第53図のとおりである。

土壌中の塩基含量は黒ボク層上部(10cm)では耕耘などによって土壌が攪乱されているためか、暗渠からの距離別にみた塩基含量分布に一

Table 35. Soil chemical properties in drained and undrained plots (at Uwano, 1965).

Plot	Layer and depth	Range and mean	Humus	pH		Exch. acidity	C.E.C.	Exchangeable cation				Cation-saturation degree	Phosphate absorption coefficient
				H ₂ O	KCl			Ca	Mg	K	Na		
Drained plot	I layer (10cm)	Min.	%	4.98	4.02	5.57	me	me	me	me	me	%	1413
		Max.	10.13	5.62	4.68	5.57	26.1	4.99	1.17	0.24	0.20	26.4	1608
		Mean	15.54	5.26	4.22	4.97	28.8	6.75	5.36	2.05	0.87	50.3	1513
	II layer (50cm)	Min.	0.68	5.06	3.48	3.40	13.8	3.05	0.30	0.21	0.23	31.3	604
		Max.	1.06	5.43	4.38	4.38	17.4	4.99	1.68	1.99	0.47	59.6	1008
		Mean	0.88	5.21	4.02	4.20	15.6	4.30	1.11	0.91	0.39	43.0	804
	III layer (90cm)	Min.	0.23	5.34	4.28	2.58	14.7	5.17	0.70	0.21	0.34	46.5	542
		Max.	0.55	5.92	4.93	4.18	18.2	6.93	2.19	0.75	0.87	59.9	704
		Mean	0.35	5.72	4.60	3.60	16.5	6.20	1.42	0.35	0.57	51.7	590
Undrained plot	I layer (10cm)	Min.	11.74	5.02	4.02	3.89	24.1	4.10	0.65	0.39	0.26	19.8	1463
		Max.	16.33	5.92	4.78	5.89	28.4	8.41	1.29	2.31	0.40	41.4	1529
		Mean	12.98	5.36	4.28	4.38	26.9	5.40	0.89	1.19	0.34	29.1	1492
	II layer (50cm)	Min.	0.68	5.12	3.75	3.66	12.5	4.01	1.39	0.21	0.34	57.2	542
		Max.	1.34	5.72	4.78	4.38	14.2	7.02	3.11	2.71	0.87	89.1	919
		Mean	0.84	5.50	4.68	4.20	13.5	5.46	2.22	0.96	0.61	68.5	742
	III layer (90cm)	Min.	0.23	5.32	4.28	2.40	13.4	4.84	1.29	0.30	0.40	48.9	542
		Max.	0.49	5.76	4.53	4.20	17.6	6.13	3.20	1.18	1.30	60.1	680
		Mean	0.33	5.53	4.38	3.18	16.5	5.19	1.88	0.72	0.93	52.8	580

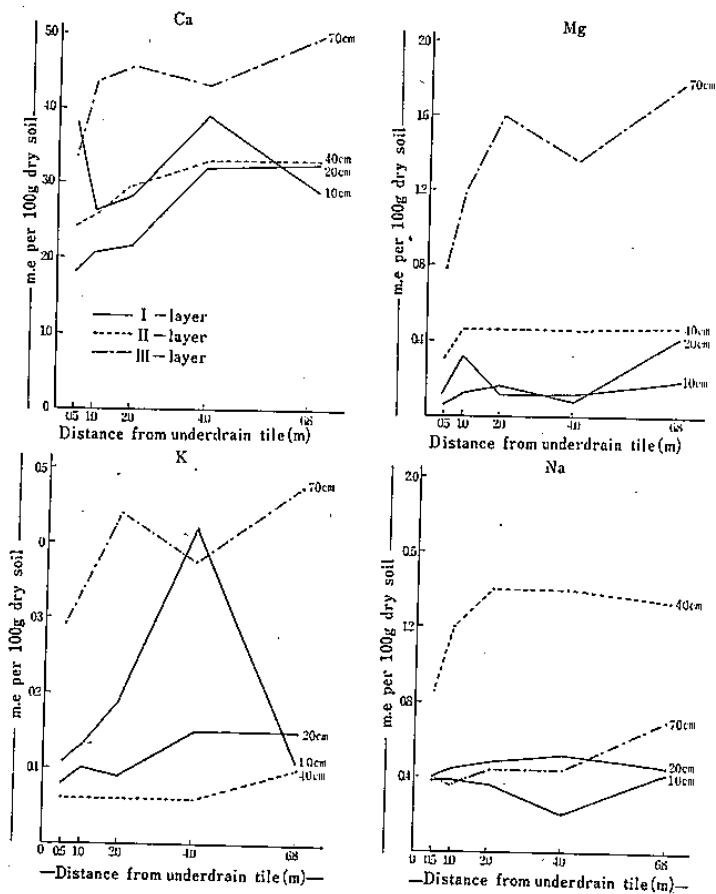


Fig. 53. Relation contents of exchangeable cation and distance from underdrain. (at Uwano, 1965).

定の傾向を示さなかったが、黒ボク層下部(20cm)、浮石層(40cm)、埴土層(70cm)ではCa, Mg, K, Naの各塩基とも暗渠から遠ざかるにつれてその含量が多く、塩基の移動溶脱が少ない傾向を示した。その勾配は塩基の種類によって多少異なっているが、下層ほど勾配が大きくなる傾向にあり、埴土層のそれはかなり明瞭であった。

(3) 考察

渋谷川⁽³⁴⁾はライシメーターを使用してリンゴ園から溶脱する肥料成分量は清耕栽培で多く、草生栽培で少ないとし、最も流亡量の多かった石灰は清耕栽培で10aあたり150kg、草生栽培では78kgであったとしている。この調査で暗渠から流出した肥料成分量は、草生栽培にも拘らず著しく多い量であり、石灰だけに限っても10aあたり149kgに及び、石灰、苦土、加里、ナトリウムなど塩基の含量では約235kgに達していた。肥料成分の流亡量は気象条件、土壌条件、肥培管理などによって大きな差異を生ずるものと考えられるが、暗渠からの塩基の溶脱量は驚異的な数量であった。

このように、年々大量の塩基が溶脱すると土壌の自然肥沃度は次第に低下することになり、施工後8~9年を経過した暗渠工事園の塩基含量は未工事園より著しく少

ないものであった。塩基の溶脱には化学的因子によるものと物理的因子によるものがある。原田、久津那⁽⁷⁾⁽⁸⁾は化学的因子をあげているが、暗渠排水における溶脱は化学的因子に加うるに、排水に伴う土壌の物理的因子により影響をうけ、両因子が相関連してあらわれるものと考えられる。とくに、暗渠工事園の中層の浮石層で置換性塩基含量が少なく、塩基飽和度ならびにpHの低下が著しかったが、これは未工事園では年間を通じて埴土層上部に地下水水面が存在し、中層の浮石層でもしばしば地下水水面が観測されるなど浮石層の浸透水降下速度が著しく阻害されたのに比べて、暗渠工事園では地下水水面の低下が著しく、下層の埴土層でも過剰水の分布がほとんどないなど浸透水の降下速度が早まり、溶脱の機会が多くなったためと考えられる。さらに、暗渠工事園における地下水の流れは暗渠に向かって移動するため、塩基含量の分布は下層ほど水理機構の変化と一致していた。

この調査結果から明らかのように暗渠工事園の施肥体系は未工事園以上に塩基の補給を考慮しなければならないことが明らかである。

(4) 摘要

宇和野地区で1965年と1966年の2か年にわたって暗渠排水に伴う溶脱状況を調査した。

暗渠排水の肥料成分については、69aの暗渠工事園を対象とし週ごとに排水の分析を行った。暗渠工事園と未工事園の土壌塩基含量の比較はそれぞれ5園ずつ選定して土層別に分析を行なった。また、暗渠工事園における塩基含量の分布は、吸水渠からの距離別、土層別に分析を試みた。

ア. 暗渠からの排水とともに流亡した肥料成分量は、積雪期間中に多く、夏期の生育期間中は比較的少ない量であった。流亡量は石灰が最も多く、次いで窒素、ナトリウム、苦土、加里、マンガン、リン酸の順で鉄の流亡量が最も少なかった。

イ. 最も流亡量の多かった石灰は1年間に10aあたり149kgに達し、苦土、加里、ナトリウムなど塩基の含量は約235kgに及んでいた。また、三要素肥料中、窒素の流亡量が10aあたり約46kgと目立っていた。

ウ. 暗渠工事園と未工事園における土壌中の塩基含量、塩基飽和度、pHを対比すると、暗渠工事園の中層の浮石層における塩基含量が少なく、塩基飽和度、pHの低下が顕著であった。

エ. 暗渠工事園における塩基含量の分布は、黒ボク層上部では明らかでないが、黒ボク層下部、浮石層、埴土層と下層ほど暗渠に近い部分の塩基含量が少ない傾向を示した。塩基含量のこのような分布は暗渠工事園における地下水面勾配と類似していた。

V リンゴの生育に及ぼす影響

この項では暗渠排水に伴う停滞水、過剰水の排除が根群の分布と根群形態、地上部の生育相変化、収量ならびに果実品質に及ぼす影響などについて諸調査を実施した。

1. 根群の分布と根群形態

暗渠工事園と未工事園の根群分布と根の外部形態について調査を行なった。

(1) 調査方法ならびに測定方法

1964年から1965年にかけて宇和野地区を主体に本調査を行なった。暗渠工事園、未工事園ともそれぞれ9園ずつ選定した。根群の分布はリンゴ樹幹から2m離れた地点を樹幹に向かって幅80cm、深さ120cmの土壤断面をつくり、地表から10cmごとに根数を数えた。暗渠工事園ではさらに暗渠からの距離別に根数調査を行なった。根の分類は径2.0mm以下のものを細根、2~5mmを小根、5mm以上のものを中根としたが、主として細根の分布を調査した。

根の外部形態は土層別に掘り上げた土壤から、それぞれ径1.0mm前後、長さ10cm程度の細根を土壤断面の1土層あたり10本内外拾い集め、根の分岐状況、根色を観察した。根色はマンセルの表色法を採用して作られた標準土色帖の色相5YRにあてはめて表示した。

さらに根色と根の活力関係については、宇和野地区の排水不良園で樹令42年の国光を供試し、樹幹から2m離れた東西南北の4か所から、幅60cm、厚さ15cmに改変したMonolith法によって深さ80cmまで採土し、採土したものの中から径1mm程度の細根を拾い集め、5YRにあてはめて1~3/1~6を黒色根、4~7/1~8を褐色根とし

て、 α -ナフチルアミンの酸化力をみた。

(2) 調査結果

土壤断面にあらわれた細根数を深さ別に示すと第36表のとおりである。この深さ別細根数を基礎に1試坑断面あたり細根の分布、土層別細根数および下層の埴土層における細根数を求めてみると第37、38、39表のとおりであった。

リンゴ樹幹から2m離れた土壤断面の細根数は暗渠工事園、未工事園とも園地によってかなりの差異がみられたが、細根数の分布を深さ別にみると、地表から深さ40cm位までは両区の間にはほとんど差がなく、40cm以下

Table 36. Number of fine roots in each layer, in drained and undrained plots (width 80cm, depth 10cm, at Uwano, 1964-1965).

Depth (cm)	Drained plot		Undrained plot	
	Range	Mean	Range	Mean
0-10	3-15	9.0	4-14	7.7
10-20	2-24	12.6	5-21	11.7
20-30	2-23	9.1	1-18	8.4
30-40	3-15	7.4	0-22	6.2
40-50	2-33	13.0	0-14	5.7
50-60	3-74	16.2	0-19	6.0
60-70	5-64	15.3	0-13	5.8
70-80	1-36	12.4	0-11	4.1
80-90	2-30	9.0	0-10	3.0
90-100	1-24	5.1	0-3	0.8
100-110	0-12	1.8	0-5	0.6
110-120	0-6	0.7	0	0
Total	54-239	111.6	35-97	60.0

Table 37. Number of fine roots in section of pits in drained and undrained plots (width 80cm, depth 120cm, at Uwano, 1964-1965).

Plot	No. of fine root	Distribution of No. of orchard						Total	Mean of fine roots per pit
		31-60	61-90	91-120	121-150	151-200	201-250		
Drained plot		1	3	2	1	1	1	9	111.6
Undrained plot		5	3	1	0	0	0	9	60.0

Table 38. Number of fine roots in each layer and per unit area in drained and undrained plots (at Uwano, 1964-1965).

Soil layer	Drained plot				Undrained plot			
	Range	Mean of fine roots	Area	No. of fine root/m ²	Range	Mean	Area	No. of fine root/m ²
I layer	5-64	28.3	0.204	139	10-64	34.8	0.292	119
Transitional layer	2-18	4.2	0.053	79	1-14	2.9	0.037	79
II layer	9-231	60.0	0.275	218	6-34	15.3	0.232	66
III layer	1-37	19.1	0.240	80	0-17	7.0	0.241	29

Table 39. Distribution of fine roots in III layer, in drained and undrained plots (at Uwano, 1964-1965).

Depth below III layer (cm)	Drained plot			Undrained plot		
	Range	Mean of fine roots	No. of orchards without fine root	Range	Mean of fine roots	No. of orchards without fine root
1-10	1 - 13	8.0	0	0 - 10	5.1	2
10-20	0 - 10	4.9	1	0 - 7	1.2	5
20-30	0 - 10	4.0	3	0 - 1	0.6	8
30-40	0 - 4	1.3	7	0 - 1	0.1	8
40-50	0 - 2	0.9	8	0	0	9
Total	1 - 37	19.1	—	0 - 17	7.0	—

の深さでは暗渠工事園の細根数が未工事園のそれよりはるかに多い分布であった。1 試坑断面あたりの細根数は暗渠工事園では 61~120本の園数が多く、未工事園では 31~90本で暗渠工事園の細根数は未工事園の約 2 倍に達していた。

洪積台地上の火山灰土壌における土壌断面は、表層から下層へと黒ボク層、漸移層、浮石層、埴土層の順に堆積している。各土層の層厚は園地によって多少の差異はあるが、土壌断面の細根数を土層別にまとめてみると、未工事園では下層ほど少なかった。暗渠工事園の細根数は表層部の黒ボク層、漸移層は未工事園と大差なかったが、中層の浮石層では未工事園の約 3.3倍、下層の埴土層では約 2.8倍の細根数で浮石層と埴土層の増加が顕著であった。また、根の伸長停止位置になっている埴土層の根群分布も暗渠工事園の方が未工事園より到達深度が深かった。

根の伸長は土壌の物理的要因に影響されるところが大きい。第40表は土層別に細根数と土壌要因の関係を示したものである。これによると根の伸長停止位置になって

いる埴土層では細根数と気相割合、孔隙率、ち密度、透水係数との間に強度の有意相関があり、細根の分布が認められなかった土壌断面は数量的に気相割合では 5%以下、孔隙率では50%以下、ち密度では25mm以上、透水係数では $\times 10^{-5}$ 以下であった。

さらに、暗渠埋設位置における細根数をみると第41表

Table 40. Correlation coefficients between number of fine roots and permeability, porus space, soil hardness and vapor phase.

Soil layer	Coefficient of permeability	Porus space	Soil hardness	Vapor phase
I layer (n=56)	0.175	0.055	- 0.110	0.358*
Transitional layer (n=10)	0.769	0.634	- 0.016	0.534
II layer (n=59)	0.239	- 0.025	- 0.261*	0.138
III layer (n=54)	0.514**	0.524**	- 0.466**	0.697**

*: Significant at 5% level.

**: Significant at 1% level.

Table 41. Distribution of fine roots in burying parts (at Uwano, 1965).

Soil layer	Depth (cm)	0 - 40cm			40 - 80cm			80 - 120cm			120 - 160cm		
		Range	Mean of fine roots	Mean of fine roots in each layer	Range	Mean of fine roots	Mean of fine roots in each layer	Range	Mean of fine roots	Mean of fine roots in each layer	Range	Mean of fine roots	Mean of fine roots in each layer
I layer	0-10	1-4	4.0		0-3	1.2		0-6	3.0		2-11	5.4	
	10-20	1-10	7.2		0-4	2.4		0-5	3.0		1-8	4.8	
	20-30	2-12	6.0	17.2	1-4	1.6	5.2	1-6	2.8	8.8	2-8	4.8	15.0
II layer	30-40	1-8	4.4		1-3	1.4		1-7	3.4		2-12	7.0	
	40-50	1-13	6.8		1-9	3.4		2-9	6.4		2-13	8.4	
	50-60	2-18	8.4		2-8	5.2		1-9	5.4		2-19	12.4	
	60-70	3-18	11.2	30.8	2-13	7.6	17.6	2-14	8.4	23.6	2-17	10.8	39.6
III layer	70-80	5-24	16.4		1-7	3.6		2-11	5.0		2-14	6.2	
	80-90	4-11	7.4		1-5	2.0		1-6	2.2		2-6	3.0	
	90-100	0-9	2.0		0-2	1.0		0-3	1.6		2-6	3.0	
	100-110	0-2	0.6		0-2	0.6		0-1	0.4		1-3	1.4	
	110-120	0-1	0.2	26.6	0-1	0.2	7.4	0-1	0.2	9.4	0-1	0.6	14.2
Total	41-94	74.6	74.6	17-50	30.2	30.2	26-57	41.8	41.8	39-87	68.8	68.8	

のとおりであった。暗渠埋設位置における細根数は掘削部分で急激に増加していた。通常、根群の分布はリンゴ樹幹から遠ざかるにつれて密度が低下するが、暗渠埋設位置はリンゴ樹幹から最も遠いところにあるにも拘らず暗渠埋設のための掘削によって土層改良が行なわれたため、埋設位置附近の細根数が増加していた。

根の外部形態については、細根の分岐形態と根色について調査を試みた。

細根の分岐形態を観察したところ、土層によって分岐形態に差異がみられ、黒ボク層では分岐が多く、浮石層では分岐が少なく棒根状を呈し、埴土層では分岐が少なく屈曲したものが多かったが、暗渠工事園と未工事園の間にはほとんど差異が認められなかった。しかし、暗渠工事園の暗渠埋設位置における細根の分岐形態は上層下層を問わず分岐が著しく、しばしば掘削時の断根部分から箒状に派出しているのがみられた。

土層別に調査した細根の根色について暗渠工事園と未工事園を対比すると第54図のとおりである。

細根の根色には、明度、彩度ともかなりの幅があった。暗渠工事園と未工事園を比べると、暗渠工事園では各土層とも赤褐色のものがその大半を占めていたが、未工事園では赤褐色のほかに黒赤褐色、暗赤褐色、黒褐色のものが多く、下層ほど黒変したものが多かった。そこで根色と根の活力に対する指標を得るため同一樹の黒色系細根と褐色系細根を区分し、 α -ナフチルアミンの酸化力を比較したところ第42表のような結果が得られた。すなわち、細根の α -ナフチルアミンの酸化力をみると、表層の黒ボク層、中層の浮石層とも褐色系細根より黒色系細根の酸化力が低く、その差は浮石層より黒ボク層の方が大きかった。また、下層の埴土層ではそのほとんど

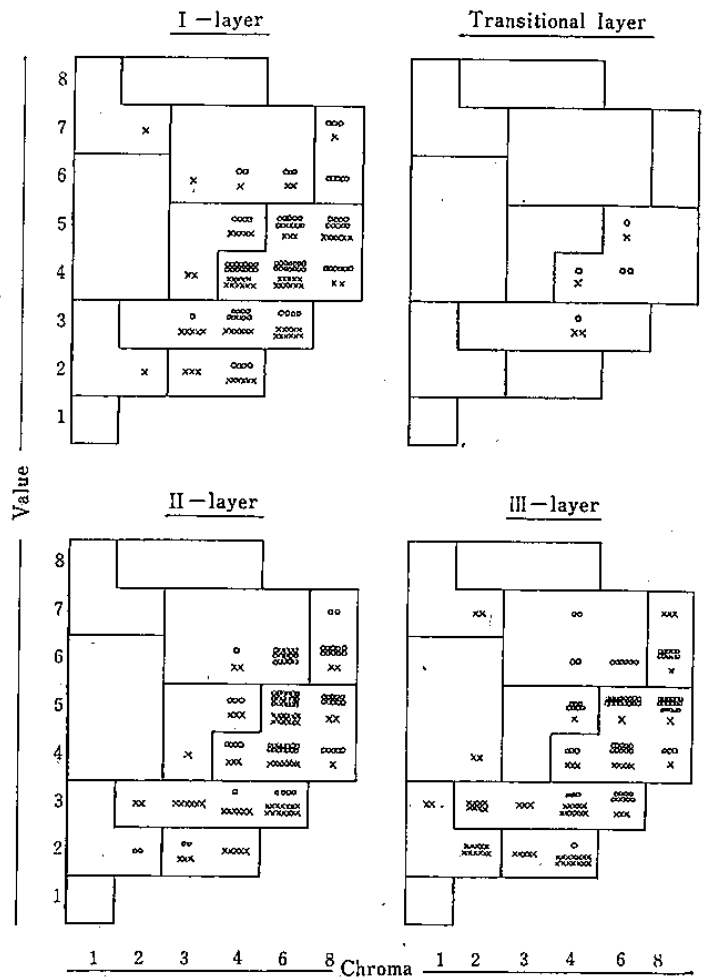


Fig. 54. Root color in drained and undrained plots (at Uwano, 1964-1965).

が黒色系細根であり、その酸化力は黒ボク層および浮石層の黒色系細根とはほぼ同程度であった。

(3) 考察

一般に、土壌中の含空気孔障量(気相)が10%以下になると、通気不良のために根の生育が抑制され、6~7%以下に減少するともはや根の生育は困難になるとされ

Table 42. Root color and quantity of α Naphtylamine oxidized by roots (r/g dry matter).

Soil layer	Root color (Hue 7.5YR Value / chroma)	Sample. 1		Sample. 2		Sample. 3		Sample. 4		Mean	
		3hrs	6hrs	3hrs	6hrs	3hrs	6hrs	3hrs	6hrs	3hrs	6hrs
I layer	1-3/2-4	10.6	13.6	13.9	17.9	9.5	11.6	12.0	15.0	11.5	14.5
	4-9/4-8	7.7	10.8	10.1	13.0	6.8	7.8	6.3	10.0	7.7	10.4
II layer	1-3/2-4	9.1	12.5	12.6	16.0	10.7	13.7	9.9	12.2	10.6	13.6
	4-6/2-4	7.9	9.3	8.8	11.5	7.8	9.6	9.0	11.0	8.4	10.3
III layer	1-3/1-4	9.9	11.7	9.6	11.6	—	—	8.0	10.2	9.1	11.2

Root color : Shown by standard soil color chart.

ている。土壌中の含空気孔隙量と根群の分布については、すでにⅣ項中の土壌三相の変化のところで考察したとおりであるが、土壌中の酸素濃度と根の生長については、わが国では森田、米山⁽²⁵⁾、および森田、西田⁽²⁶⁾による研究がある。それによると、リンゴが正常な生育をするためには土壌中の酸素濃度は7~8%以上は必要であり、5%以下では生長が抑制されると述べている。また、BOYNTON⁽²⁾、DEVILLIERS⁽³⁾、CHILDS⁽⁴⁾らの成績を総合すると酸素濃度は10%以上を必要とし、さらに新根の発生には15%以上を要するとしている。この調査で暗渠工事園の浮石層、埴土層と中層から下層の根群分布が未工事園より著しく増加したことが明らかになったが、これは前述したように暗渠工事園の中層から下層にかけての気相の増加、孔隙率の増加、ち密度の低下、透水性の増加など土壌の性質が良好になった結果、細根数が多くなったものと考えることができ、上述した諸成績とはほぼ一致していた。さらに、浦木、坂本⁽⁴⁹⁾は、梨園の暗渠工事園で暗渠埋設位置の根群分布が多かったと述べているが、本調査においても暗渠埋設位置は樹幹から最も遠いところにありながら、細根の分布が多く、暗渠周辺の下層ほど顕著であった。

根の外部形態については、通気が良好な場合は根毛が多く、根色は赤褐色を呈しているが、通気が不良になると根毛が少なく、短かく、黒変したものが多くとされている。⁽⁴⁾ HEINICKE⁽¹¹⁾は1年生旭を浸水した場合、酸素欠乏により根の発育が抑制され、細根がほとんどなく、黒色を呈していたと述べている。この調査でもほぼこれと同様の結果が得られ、各土層とも暗渠工事園の根色は赤褐色のものが多く、未工事園では黒褐色のものが多かった。次に同一樹から褐色系と黒色系の細根を集めて実験に供したところ、褐色系の細根が黒色系の細根より α -ナフチルアミンによる酸化力が高いことが確認され、黒色系細根の多い未工事園より褐色系細根の多い暗渠工事園の細根の活力が増加していることが推察された。

(4) 摘要

宇和野地区を主体に1964年と1965年の2か年にわたって根群分布と根群形態の調査を行なった。

暗渠工事園、未工事園とも9園ずつ選定し、リンゴ樹幹から2m離れた地点に幅80cm、深さ120cmの試坑断面をつくり、断面にあらわれた根数を調査するとともに、土層別に根の外部形態を調査した。さらに、暗渠工事園では暗渠からの距離と根群分布状況を調査した。また、排水不良園の同一樹から黒色系細根と褐色系細根を土層別に採集し、根の α -ナフチルアミン酸化力をみた。

ア. 樹幹から2m離れた幅80cm、深さ120cmの土壌断面にあらわれた細根数は、表層部の黒ボク層および漸移

層では暗渠工事園と未工事園の間ほとんど差がなかったが、中層の浮石層と下層の埴土層では暗渠工事園の細根数増加が顕著であった。また、埴土層における根の到達深度も暗渠工事園の方が未工事園より20cm位深くなっていた。

イ. 各土層別に細根数と土壌要因との関係をみたところ、根の伸長停止位置になっている埴土層において密接な関係があり、土壌の孔隙率、透水係数、ち密度、気相分布といずれも強度の有意相関が認められた。

ウ. 暗渠工事園の暗渠埋設位置は樹幹から最も遠い位置にありながら細根の分布が多く、暗渠周辺の下層ほど細根数の増加が顕著であった。

エ. 細根の分岐形態は、黒ボク層では分岐数が多く、浮石層では棒根状を呈して分岐が少なく、埴土層では屈曲したものが多かったが、暗渠工事園と未工事園の間には分岐形態に差異が認められなかった。

オ. 暗渠工事園と未工事園における細根の根色を対比すると、各土層とも暗渠工事園では赤褐色のものが多く、未工事園では黒褐色、暗赤褐色、黒赤褐色のものが多く、下層ほど黒変したものが多かった。また、同一樹から褐色系細根と黒色系細根を採集し、 α -ナフチルアミン酸化力をみたところ、褐色系細根の酸化力が大きく、赤褐色系細根の多い暗渠工事園の根の活力増加が示唆された。

2. 暗渠工事園と未工事園のリンゴ樹の生育状況

暗渠排水に伴う生育相の変化を知るため諸調査を実施するとともに樹体栄養について検討した。

(1) 調査方法ならびに測定方法

生育状況の調査は、宇和野地区では暗渠工事園、未工事園とも5樹ずつの調査樹を選定し、浪岡地区では両区とも3樹ずつの調査樹を選定して調査を行なった。対象品種は国光とし、発芽、開花状況の調査は1962年に宇和野地区で行ない、新しょう伸長は1963年に宇和野地区で結実母枝の延長上にある新しょうを1樹あたり30本ずつ選定して落花直後から新しょう伸長停止期まで定期的に測定し、果実肥大は1963年に宇和野地区、浪岡地区とも1樹あたり30個の果実を選んで第1回めの摘果が終わった6月中旬から収穫期まで定期的に肥大状況を追跡した。果実の大きさはノギスを使用して縦横径を測定し、果実を球形とみなして体積を求めた。

樹相の比較は、宇和野地区の同一ほ場で暗渠工事地点と未工事地点の樹齢43年の国光をそれぞれ8樹ずつ選んで幹周、総新しょう長、樹冠容積を測定した。樹冠容積は樹高(h)と開張の半径(a)を測定し、次式を適用して計算を行なった。 $V = \frac{1}{6} \pi h(h^2 + 3a^2)$

樹体分析は1964年に行なった。同一ほ場で樹相調査を行なった暗渠工事地点と未工事地点から6月20日、8月9日、9月19日の三期にわたって新しょう中央葉と新しょうを採取し分析に供した。一方、宇和野地区を主体に暗渠工事園、未工事園をそれぞれ10園ずつ選定し、8月始めに新しょう中央葉をとり分析に供した。分析はNをケルダール氏法、Pを Ammonium Vanadate-Molybdate 比色法、Kは焰光光度計法、CaおよびMgはキレ

ー卜滴定法、Feは O-phenanthrolin 比色法、Mnは過沃素酸法を採用した。

(2) 調査結果

暗渠工事園、未工事園とも国光の芽出しは樹によって若干の差異がみられたが、両区の間にはほとんど差がなかった。

開花状況について調査した結果は第43表のとおりである。

Table 43. Differences of blooming stage in drained and undrained plots.

Plot	No. of cluster	May 8			May 10			May 12			May 15			Flower abscission
		Pink Blooming	Balloon		Pink Blooming	Balloon		Pink Blooming	Balloon		Pink Blooming	Balloon		
Drained plot	417	409	7	1	293	63	61	111	58	248	20	25	215	157
	—	(98.1%)	(1.7%)	(0.2%)	(70.3%)	(15.1%)	(14.6%)	(26.6%)	(13.9%)	(59.5%)	(4.8%)	(6.0%)	(51.6%)	(37.6%)
Undrained plot	374	362	12	0	266	42	66	91	58	225	10	17	215	132
	—	(96.8%)	(3.2%)	(0%)	(71.2%)	(11.2%)	(17.6%)	(24.3%)	(15.5%)	(60.2%)	(2.7%)	(4.5%)	(57.5%)	(35.3%)

開花状況は樹の個体差が大きく、開花始め、満開期、落花とも暗渠工事園と未工事園の間には明らかな差異を認めることができず、リンゴ樹の頂部の花で暗渠工事園の方が未工事園より開花が幾分早いように観察されたに過ぎなかった。

時期別新しょう伸長および果実肥大状況を暗渠工事園と未工事園を対比すると第44、45、46表のとおりである。また、同一ほ場で工事地点と未工事地点の樹相を比較した結果は第47表のとおりであった。

Table 44. Seasonal change of shoot length in drained and undrained plots. (at Uwano, 1963).

Plot	Month and date	May 27	June 4	June 10	June 17	June 24	July 1	July 8	July 15	July 22
Drained plot		7.4	12.1	15.3	19.1	21.8	23.0	23.7	23.8	23.8
Undrained plot		7.0	11.2	14.2	17.0	18.6	19.2	19.2	19.3	19.3
t-values between plots		1.21	2.64*	1.86	2.72*	3.40**	4.00**	3.87**	4.32**	3.94**

* : Significant at 5 level.

** : Significant at 1 level.

Table 45. Seasonal change of fruit growth in drained and undrained plots (at Uwano, 1963).

Plot	Month and date	June 17	June 1	June 15	June 29	Aug. 12	Aug. 26	Sept. 9	Sept. 23	Oct. 7	Oct. 21	Nov. 4
Drained plot		10.2	27.2	48.7	75.6	107.4	141.5	165.7	194.5	212.2	234.0	256.3
Undrained plot		10.2	26.6	47.1	69.6	94.5	120.7	144.5	166.0	187.1	196.3	222.3
t-values between plots		0	1.01	0.80	1.81	3.44*	5.77**	5.04**	5.81**	3.23*	4.82*	3.75*

* : Significant at 5% level.

** : Significant at 1% level.

Table 46. Seasonal change of fruit growth in drained and undrained plots (at Namioka, 1963).

Plot	Month and date	July 1	July 8	July 22	Aug. 5	Aug. 12	Aug. 29	Sept. 9	Sept. 16	Sept. 23	Oct. 7	Oct. 21	Oct. 4
Drained plot		17.5	25.8	33.7	62.4	90.7	109.0	115.1	129.7	131.1	143.9	188.6	208.6
Undrained plot		15.1	17.7	32.2	49.2	68.2	90.1	108.9	112.0	117.1	128.7	169.8	195.1

Table 47. Tree growth in drained and un-drained plots (at Uwano, 1965).

Plot	Trunk girth	Total shoot length	Tree crown volume
	cm	m	m ³
Drained plot	137 (103)	709.63(156)	141.5(121)
Undrained plot	134 (100)	469.19(100)	117.2(100)

新しゅうの伸長は6月中旬頃までは両区の間には差が明かではなかったが、6月下旬頃からきわめて高い有意差が認められ、暗渠工事園の新しゅう伸長がすぐれていた。

同様に果実肥大も7月までは両区の間には差異が認められなかったが、8月以降では暗渠工事園の方がすぐれており、10月以降になって両区の差がやや縮まったが、この傾向は収穫期まで持続していた。また、同一は場で暗渠施工後9年を経過した工事地点と未工事地点の生育量を比較したところ、未工事地点を100とすば工事地点の幹周は103、総新しゅう伸長156、樹冠容積121の指数で暗渠工事地点の生育量が非常にすぐれていた。

次に樹体内成分について調査結果を示すと第48、49表のとおりである。

Table 48. Nutrient contents in various portions of trees in drained and undrained plots (Dry matter basis, at Uwano, August 1965).

Portion of the trees	Month and date	N (%)		P (%)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Fe (ppm)		Mn (ppm)	
		Drained plot	Un-drained plot	Drained plot	Un-drained plot	Drained plot	Un-drained plot	Drained plot	Un-drained plot	Drained plot	Un-drained plot	Drained plot	Un-drained plot	Drained plot	Un-drained plot
Leaves	June 20	3.24	3.30	0.22	0.25	1.81	1.99	0.95	0.55	0.20	0.20	239	218	523	—
	Aug. 9	3.19	3.31	0.17	0.18	1.39	1.51	1.31	1.81	0.91	0.20	93	90	448	589
	Sept. 19	3.02	2.95	0.16	0.16	1.27	1.32	1.37	1.31	0.21	0.16	83	80	654	793
Shoots, bark	June 20	1.71	1.57	0.18	0.15	1.32	1.12	1.26	1.05	0.26	0.17	80	53	175	124
	Aug. 9	1.36	1.43	0.14	0.14	1.01	0.85	1.53	1.46	0.15	0.16	49	45	269	267
	Sept. 19	1.30	1.28	0.19	0.15	0.95	0.98	1.72	1.58	0.20	0.13	43	39	252	367
Shoots, wood	June 20	1.58	1.55	0.17	0.20	1.12	1.00	0.41	0.40	0.08	0.11	59	43	64	40
	Aug. 9	1.19	1.24	0.16	0.17	0.49	0.50	0.48	0.46	0.02	0.02	39	27	51	55
	Sept. 19	0.90	0.89	0.16	0.16	0.38	0.24	0.30	0.26	0.03	0.04	30	24	84	104

Table 49. Leaf nutrient contents in drained and undrained plots (Dry matter basis, at Uwano, August 1965).

Plot	Range and mean	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
Drained plot	Max.	3.82	0.29	1.82	1.58	0.32	122	490
	Min.	3.50	0.19	1.34	0.96	0.22	76	90
	Mean	3.37	0.24	1.49	1.23	0.25	94	245
Undrained plot	Max.	3.84	0.29	1.82	1.47	0.33	152	605
	Min.	3.47	0.20	1.16	0.77	0.21	68	190
	Mean	3.69	0.24	1.47	1.12	0.25	95	346

同一は場内で生育量に差異が認められた暗渠工事地点と未工事地点の樹体内成分含量は、新しゅう中央葉、新しゅう皮部、新しゅう木部とも同じような傾向を示した。新しゅう中央葉では両区とも各時期におけるN、P、K、Ca、Mg、Fe含量に差を認めなかったが、Mn含量は暗渠工事地点の方が低い傾向を示した。新しゅう皮部および新しゅう木部でも新しゅう中央葉とはほぼ同様

の傾向を示したが、6月20日と8月9日のMn含量は両区の間には差が明らかでなく、9月19日に暗渠工事地点のそれが未工事地点より少ない含量を示したに過ぎなかった。

また、暗渠工事園と未工事園をそれぞれ10園ずつ選定して採葉した新しゅう中央葉の成分含量をみると、両区とも園地によってかなりの変異がみられたが、平均的に

はN, P, K, Ca, Mg, Fe含量は両区の間には差がなく, Mn含量は暗渠工事園の方が未工事園より低い傾向を示した。

(3) 考 察

この調査では暗渠工事園と未工事園の間には発芽, 開花状況について明瞭な差異がなく, 一般に言われている排水不良地の発芽, 開花の遅れを暗渠排水によって促進できるのかどうか, 調査結果の範囲では説明することができなかった。

果樹の生育に及ぼす地下水面の影響については, わが国においても多くの研究報告があり, いずれも地下水面の低い場合の生育がすぐれている。(36) (12) (18) (20) また, HEINICKE, BOYNTON (40) は過湿なリンゴ園を二分し, 一区をそのまま, 一区に排水管を埋設してリンゴ苗木を植えつけたところ, 排水区の樹の生長がすぐれていたと述べている。また, 平林 (9) は暗渠工事園で暗渠直上部からの水平距離別に梨若木を植えつけたところ, 暗渠から遠ざかるにつれて生育量が減少したとしている。この調査における結果もこれらの成績とほぼ同様であり, 暗渠工事園では未工事園の生育に比較してすぐれていた。その理由としては前述したとおり, 地下水面の低下に伴う根圏の拡大によって養水分の吸収が効果的に行なわれたことのほかに, 多雨時でも下方根圏の浸水部分が少なく, 浸水した場合でもその期間が短いなど根の活力低下を招くような悪条件に遭遇することが少なく, 各種の生理作用が未工事園より暗渠工事園の方がより順調に営まれた結果と考えることができる。

さらに, 樹体内成分は新しょう中央葉, 新しょう皮部および新しょう木部とも暗渠工事園のマンガン含量が未工事園より低い傾向を示したことが特長としてあげられる。青木 (1) はリンゴ粗皮病に関する研究で, リ病樹の多いA地区と健全樹のB地区を比較したところ, 年間を通じて土壤水分含量の多いA地区の樹体各部におけるマンガン含量が高かったと述べ, また, MANN, QUAS-TEL (23) は一時的な湛水によっても土壤中の置換性マンガン含量は高まるとしている。これらの成績からもうかがわれるように土壤水分含量が多いときは土壤中の置換性マンガン含量が高まり, これを反映して樹体内のマンガン含量も高まるようである。この調査では年間を通じて土層全体に過剰水の分布がほとんどなく, 土壤三相の液相分布も時期的な変化の少なかった暗渠工事園の方が未工事園より樹体各部のマンガン含量が低い傾向を示した。わが国におけるリンゴ粗皮病の発生はそのほとんどが, マンガンの過剰吸収に基因すると報告され, 現にその土壤対策として土壤酸性の矯正, 土壤の乾湿を適度に保つ水管理が強調されている。この調査結果から多くを論ずることはできないが, 暗渠排水の実施はマンガンの

過剰吸収によるリンゴ粗皮病発生の危険度を軽減することを示唆しているものと考えられる。

(4) 摘 要

宇和野地区を主体に1962年から1965年にかけて暗渠排水が樹体の生育および樹体栄養に及ぼす影響を調査した。

発芽および開花状況, 新しょう伸長状況, 果実肥大状況は暗渠工事園, 未工事園とも5樹ずつ選定して調査を行なった。樹体分析は同一園の暗渠工事地点と未工事地点を比較したほかに, それぞれ10園ずつ選定して葉身分析を行なった。

ア. 発芽および開花状況は, 暗渠工事園と未工事園の間に明らかな差異が認められなかった。

イ. 新しょう伸長は6月中旬頃までは暗渠工事園と未工事園の間に差異が認められなかったが, 6月下旬頃から暗渠工事園の方がすぐれていた。

ウ. 果実肥大は7月までは両区の間には差が認められなかったが, 8月以降では暗渠工事園の方がすぐれていた。

エ. 同一は場で暗渠施工後9年を経過した工事地点と未工事地点の生育量は, 未工事地点を100とすれば, 工事地点の幹周 103, 総新しょう伸長量 156, 樹冠容積 121の指数で暗渠工事地点の生育量が非常にすぐれていた。

オ. 新しょう中央葉の成分含量をみると, N, P, K, Ca, Mg, Fe 含量は両区の間には差が認められなかったが, Mn 含量は暗渠工事園の方が未工事園より少なかった。また, 新しょう皮部, 新しょう木部でも同様の傾向を示した。

3. 収量および果実品質

暗渠排水に伴う地下水位や土壌の変化は, 結果的に収量の増加と果実品質の向上をもたらすことが考えられたので, その実態を明らかにしようとする経年的に調査を実施した。

(1) 調査方法

宇和野地区では1961年に暗渠工事園, 未工事園とも5樹の調査樹を設定して5年間同一樹の調査を行ない, 浪岡地区では1963年にそれぞれ3樹ずつ調査樹を選んで3年間継続して調査を行なった。調査樹の管理は地区ごとに剪定, 摘果, 摘葉を同一人が行ない, 施肥, 薬剤散布, 人工授粉なども同一条件になるようにした。

調査樹の樹冠容積は, 樹高(h)と開張の半径(a)を測定した後, 次の公式を適用して計算した。

$$V = \frac{1}{6} \pi h (h^2 + 3a^2)$$

果実品質はリンゴ標準規格にしたがって着色割合, 果実の大きさ, 果実外観の障害程度などによって総合判定

し、秀、優、良、並の4階級に区分した。供試品種の国光の着色割合、果実の大きさからみた選果基準を示すと次のとおりである。

秀 色沢割合60%以上、果実の大きさは165g以上、障害程度は健全果または商品価値を損なわないもの

優 色沢割合40%以上、果実の大きさは145g以上、障害程度は健全果または商品価値を損なわないもので秀を除いたもの。

良 色沢割合20%以上、果実の大きさは125g以上、障害程度は健全果または商品価値を損なわないもので秀、優に格づけされなかったもの。さらに色沢割合および果実の大きさは秀、優に該当するが障害程度がやや商品価値を損ねているもの。

並 色沢割合20%以下、果実の大きさは125g以下、または障害程度が著しく商品価値のない不良なもの。

選果は青森県選果登録証所持者が1名で行なった。

さらに1964年に果実形質の内容を明らかにするため糖分と滴点酸度について検討したが、調査は宇和野地区を主体に暗渠工事園、未工事園ともそれぞれ10園ずつ選定し、1園から10個ずつ採取して分析に供した。分析は糖分はベルトラン氏法、酸度を苛性ソーダ滴点法によって行なった。

(2) 調査結果

1961年から1965年にかけて調査した宇和野地区の結果を示すと第50表のとおりである。また、1963年から1965年にかけて調査した浪岡地区の結果は第51表のとおりであった。

Table 50. Yield and quality of fruits in drained and undrained plots (at Uwano).

Year	Plot	Fruit yield (kg)	Classes of fruit quality (%)					Average fruit weight (g)
			A	B	C	D	Total	
1961	Drained plot	342.7	60.5	33.3	3.4	2.9	100.0	181
	Undrained plot	246.3	56.9	33.5	5.7	3.9	100.0	184
1962	Drained plot	281.5	78.9	16.2	1.7	2.2	100.0	207
	Undrained plot	244.9	69.0	26.5	1.2	3.3	100.0	176
1963	Drained plot	291.5	35.2	47.8	14.1	2.9	100.0	222
	Undrained plot	267.0	35.3	52.9	8.2	3.6	100.0	202
1964	Drained plot	355.8	30.1	48.8	17.2	3.9	100.0	209
	Undrained plot	254.4	18.0	54.1	12.8	6.1	100.0	193
1965	Drained plot	340.9	21.3	50.9	24.7	3.1	100.0	187
	Undrained plot	266.5	9.1	54.7	29.9	6.3	100.0	187
Mean of 5 years	Drained plot	322.4	45.2	39.6	12.2	3.0	100.0	102
	Undrained plot	255.8	37.7	44.3	13.4	4.8	100.0	188

A : Very good quality. B : Good quality. C : Ordinary quality. D : Inferior quality.

Table 51. Yield and quality of fruits in drained and undrained plots (at Namioka).

Year	Plot	Fruit yield (kg)	Classes of fruit quality (%)					Average fruit weight (g)
			A	B	C	D	Total	
1963	Drained plot	277.7	37.4	40.3	9.9	12.2	100.0	164
	Undrained plot	216.7	6.2	33.7	25.5	34.6	100.0	154
1994	Drained plot	311.0	38.0	49.3	8.0	4.7	100.0	174
	Undrained plot	201.6	4.0	44.4	48.5	3.1	100.0	165
1965	Drained plot	245.8	21.6	66.5	7.3	4.6	100.0	181
	Undrained plot	201.0	4.7	39.8	45.8	9.7	100.0	167
Mean of 3 years	Drained plot	278.1	32.4	52.0	8.4	7.2	100.0	173
	Undrained plot	206.4	5.0	39.3	39.9	15.8	100.0	162

収量について両区を比較すると、宇和野地区の1樹あたり収量は5か年平均で暗渠工事園の322.5kgに対して未工事園のそれは253.2kgで暗渠工事園の方が約27%多かった。浪岡地区においても同様の傾向を示し、暗渠工事園の3か年平均収量278.2kgに対して未工事園のそれは206.5kgであり、暗渠工事園の方が約35%の増収になっていた。また、単位容積あたりの収量をみると、宇和野地区における暗渠工事園の樹冠容積は1樹あたり199m³、未工事園のそれは173m³であり、それぞれ樹冠容積1m³あたり1.62kg、1.48kgで暗渠工事園の方が多かった。一方、浪岡地区では暗渠工事園の樹冠容積が180m³で未工事園のそれは167m³であり、それぞれ樹冠容積1m³あたり1.54kg、1.24kgで暗渠工事園の方が多く、着果

密度が高かった。

果実品質について両区の成績をみると、宇和野地区の暗渠工事園では5か年平均で「秀」が45%、未工事園のそれは38%であり、暗渠工事園の方が「秀」の割合が約7%多く、反面、「優」「良」「並」の割合が少なかった。一方、浪岡地区における果実品質をみると、暗渠工事園の「秀」割合は3か年平均で32%、「優」の割合が52%であったが、未工事園の「秀」割合はわずか5%に過ぎず、「優」の割合も40%で良品ものの占める割合が非常に少なかった。

果実成分について酸度と糖含量を比較したところ第52表のような結果が得られ、1964年では両成分とも暗渠工事園と未工事園の間には差が認められなかった。

Table 52. Contents of free acid and sugar of fruits in drained and undrained plots (at Uwano, 1964).

Fruit weight	Plot	Free acid (malic acid mg/fruit juice 100cc)			Reducing sugar (glucose g/fruit juice 100cc)			Non-reducing sugar (glucose g/fruit juice 100cc)			Total sugar (glucose g/fruit juice 100cc)		
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
		150g	Drained plot	537	445	482	8.08	6.98	7.46	4.36	2.23	3.29	12.44
	Undrained plot	610	432	487	8.09	6.99	7.43	4.16	2.54	3.40	11.47	9.43	10.86
180g	Drained plot	531	445	490	7.71	6.79	7.25	4.37	2.13	3.38	12.08	8.92	10.65
	Undrained plot	519	401	469	7.60	6.83	7.34	4.05	2.37	3.36	11.60	9.24	10.70

(3) 考 察

地下水面が収量に及ぼす影響については、OSKAMP⁽³¹⁾は地下水面とリンゴ Baldwin の生産との関係をみたところ地下水面が低い園地ほど収量が多いとし、森田、石原⁽²⁷⁾は山梨県と静岡県におけるナン園およびブドウ園の地下水面と収量の関係を検討したところ、地下水面の低い園地の収量が多かったと述べている。地下水面の果実品質に及ぼす影響については、鈴木⁽³⁷⁾は水田洋ナシの尻ぐされ病発生は地下水面が高く根群の分布が浅いものほど多かったとし、推根、佐久間⁽³⁸⁾は土壌水分の過剰によって桃果実の糖分が低下し、核割果が多くなり、果実に黒星病、菌核病が発生して上果の占める割合が減少して下果が多くなるから地下水面の高い園地では暗渠排水が必要であるとしている。さらに、暗渠排水の果実品質に及ぼす影響について、浦木、坂本⁽⁴⁹⁾は二十世紀ナン園に暗渠工事を施工したところ、ゆず肌の発生果が少なくなるなど果実品質の向上が認められたと述べている。これらの成績から明らかなように果樹では排水不良園の収量および果実品質が劣るとするのが一般的である。

この調査でもこれらの成績とほぼ同様の結果が得られ、未工事園に比べて暗渠工事園の収量が多く、果実肥大がすぐれ、着色が良好なことなど暗渠排水の効果が顕

著なことが確認された。しかし、果実の成分内容の変化は明らかにすることができなかった。土壌水分と果実品質との関係について、筆者ら^{(45) (46)}はその後スターキング・デリシャスを供試して調査した結果、乾燥園のリンゴは排水不良園より、収穫期における果実芯内のエチレン発生率が大きく、糖含量が高く、果実の成熟度が進んで食味も良好なことなどを確認している。したがって、暗渠排水に伴う果実成分の変化は今後さらに研究を要する課題であり、リンゴ園の排水基準設定の面からもその解明が重要な問題と考えられる。

(4) 摘 要

暗渠排水の収量ならび果実品質に及ぼす影響を明らかにするため、宇和野地区では1961年から1965年までの5か年間、浪岡地区では1963年から1965年の3か年にわたって暗渠工事園と未工事園の比較検討を行なった。

ア. 暗渠工事園と未工事園の収量を比較すると、各年とも暗渠工事園の方が多く、宇和野地区では5か年平均で約27%、浪岡地区では3か年平均で約35%多かった。

イ. 果実品質は年により変動が大きい、各年とも暗渠工事園の果実品質が未工事園よりすぐれていた。宇和野地区では5か年平均で良品ものの「秀」が約7%多く、反面、「優」「良」「並」の果実が少なかった。また、浪岡地区の果実品質は暗渠工事園の方が「秀」が27

%, 「優」が12%と良品ものが多く, 「良」「並」の不良品ものが少なく, 両区の品質差は宇和野地区より大きかった。

ウ. 収穫果の果実成分について酸度と糖含量を比較したところ, 暗渠工事園と未工事園の間には差が認められなかった。

VI 病害虫発生相の変化

排水不良リンゴ園は早春における消雪期のおくれとともに地表の乾燥が悪いため, 清掃や落葉の処理作業, 薬剤散布などの諸作業がおくれたり, 省略されたりする例が非常に多い。そのため, モニリア病を始め, 斑点落葉病など各種病害虫の発生しやすい環境を形成している。暗渠排水に伴う地下水面の低下, 過剰水の排除は, 病害虫の発生相とくにモニリア病の発生に大きな変化をもたらすことが考えられたので諸調査を実施した。

を対象とし, それぞれ2樹を選んで調査樹とした。調査樹あたり5年生の結果枝をそれぞれ2本ずつ選び, 5月27日~6月17日まで実ぐされ発生状況を追跡調査した。

2. 調査結果

(1) モニリア病子実体の発生状況

宇和野地区および浪岡地区の調査結果を示すと第53, 54表のとおりである。

宇和野地区の結果では, A地区, B地区とも暗渠工事園の菌核発芽率は未工事園の発芽率よりも低かった。子実体の発育についてA, B地区とも暗渠工事園と未工事園の間に差は認められなかった。浪岡地区の結果をみると, 4月15日の調査では, 暗渠工事園の方が未工事園よりも発芽率が低く, 子実体発育の進行状況も1~2型おくれた。4月25日の調査では4月15日の結果ほど明瞭ではなかったが, 暗渠工事園の方が未工事園に比較して発芽率が低く, 子実体発育の進行もおいていた。

このような結果を示した暗渠工事園と未工事園の消雪状況について観察した結果は第55表, 第55図のとおりであった。消雪時期は年により差はあるが, 1962年, 1966年の両年とも暗渠工事園の方が未工事園より2~3日早かった。また, 地下水面の低下が著しかった暗渠工事園の方が未工事園よりAo層の土壤水分含量が減少していた(第56表)。

1. 調査方法ならびに測定方法

モニリア病子実体の発生状況については, 1961年は宇和野地区を, 1963年は浪岡地区を対象として調査を行なった。宇和野地区ではA地区とB地区を設け, 暗渠工事園とそれに隣接する未工事園からそれぞれ4か所を選び, 1㎡あたりの菌核を採集し, その発芽および子実体発育状況の調査を行なった。浪岡地区でも暗渠工事園と未工事園について, 4月15日と4月25日の二回にわたり宇和野地区と同様の調査を行なった。また, 子実体の発生に影響を及ぼすと考えられる消雪状況については1962年と1966年に宇和野地区で観察を行ない, 菌核の主な越冬場所である土壤のAo層における土壤水分含量の消長は1964年に浪岡地区で調査した。

実ぐされの発生状況については, 1963年に浪岡地区で調査を実施した。暗渠工事園とそれに隣接する未工事園

Table 53. Appearance of apothecia of the Monilia disease in drained and undrained plots (at Uwano, 1961).

Orchard	Plot	No. of sclerotium	No. of sclerotium germinated	Germination ratio (%)	No. of apothecium	Process of apothecial development				
						First type (prominent)	Second type (Club-shaped)	Third type (Pipy)	Fourth type (Cup-shaped)	Fifth type (Trumpet-shaped)
A	Drained plot	137	6	4.4	8 (100.0%)	7 (87.5%)	1 (12.5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Undrained plot	128	15	11.7	12 (100.0%)	12 (100.0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
B	Drained plot	43	10	23.3	31 (100.0%)	8 (25.8%)	10 (32.2%)	6 (19.3%)	7 (22.6%)	0 (0%)
	Undrained plot	87	37	38.1	107 (100.0%)	26 (24.3%)	24 (22.4%)	30 (28.0%)	17 (15.9%)	10 (9.4%)

Table 54. Appearance of apothecia of the *Monilia* disease in drained and undrained plots (at Namioka, 1963).

Month and date	Plot	No. of sclerotium	No. of sclerotium germinated	Germination ratio (%)	No. of apothecium	Process of apothecial development				
						First type (prominent)	Second type (Club-shaped)	Third type (Pipy)	Fourth type (Cup-shaped)	Fifth type (Trumpet-shaped)
Apr. 15	Drained plot	23	1	4.3	1 (100.0%)	1 (100.0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Undrained plot	106	35	33.0	88 (100.0%)	81 (92.0%)	6 (6.8%)	1 (1.2%)	0 (0%)	0 (0%)
Apr. 25	Drained plot	79	43	54.4	114 (100.0%)	37 (32.4%)	17 (14.9%)	43 (37.7%)	11 (9.8%)	6 (5.2%)
	Undrained plot	82	50	60.0	111 (100.0%)	9 (8.1%)	12 (10.8%)	39 (35.2%)	36 (32.4%)	15 (13.5%)

Table 55. The rate of thawing in drained and undrained plots (at Uwano).

Plot	1962				1966					
	Mar. 25	Mar. 29	Apr. 2	Apr. 6	Mar. 19	Mar. 21	Mar. 23	Mar. 25	Mar. 27	Mar. 29
Drained plot	0%	15%	60%	100%	10%	35%	70%	90%	100%	100%
Undrained plot	0	0.5	40	95	0	0	30	55	85	95

Table 56. Soil moisture of A₀ layer in wet season, in drained and undrained plots (at Namioka, 1964).

Plot	Soil moisture (% of dry soil)					Ground-water table (cm)				
	Apr. 21	Apr. 22	Apr. 23	Apr. 24	Apr. 25	Apr. 21	Apr. 22	Apr. 23	Apr. 24	Apr. 25
Drained plot	71.6	61.2	95.7	83.8	66.0	104	83	86	82	96
Undrained plot	103.2	115.4	123.9	107.4	81.0	28	23	33	36	40
Difference	32.1	54.2	28.2	23.6	15.0	76	60	53	46	56



Fig. 55. Difference of thaw between drained plot and undrained plot (at Uwano, 1962).

(2) 実ぐされの発生状況

暗渠工事園と未工事園のモニリア病実ぐされ発生状況を調査した結果は第57表のとおりである。

実ぐされには、症状が稚果の外部にあらわれるものと、外部にあらわれないものがある。一般的には外部

にあらわれるものが多いので、この調査では外部に症状があらわれたものだけに限って調査を行なった。結果は暗渠工事園、未工事園とも実ぐされ数が非常に少なく、この段階では両区の間には差を認めることができなかった。

Table 57. Occurrence of young fruit rot in drained and undrained plots (at Namioka, 1964).

Plot	No. of cluster	May 27		June 3		June 6		June 10		June 17	
		No. of fruit	No. of fruit-rot	No. of fruit	No. of fruit-rot	No. of fruit	No. of fruit-rot	No. of fruit	No. of fruit-rot	No. of fruit	No. of fruit-rot
Drained plot	226	1119	0	955	7	890	13	379	5	257	5
	—	(100.0%)	(0%)	(100.0%)	(0.7%)	(100.0%)	(1.5%)	(100.0%)	(1.3%)	(100.0%)	(2.0%)
Undrained plot	232	1138	1	1002	9	876	15	377	0	206	0
	—	(100.0%)	(0.1%)	(100.0%)	(0.9%)	(100.0%)	(1.7%)	(100.0%)	(0%)	(100.0%)	(0%)

3. 考 察

モニリア病は、複雑な伝播経路をたどる病気である。実ぐされ被害部の組織内に形成された菌核は、通常、地上に落ちて越冬し、翌春、発芽して子実体を発生する。子実体の発生は大体リンゴの芽出しから開花期頃まで続き、開花前は子のう胞子が稚葉に侵入して葉ぐされおよび花ぐされをおこし、その上に形成された大型分生胞子と子実体から子のう胞子が開花中の柱頭に侵入して実ぐされをおこし、さらに株ぐされへと進展する。したがって、防除は総合的に実施する必要があり、集団地で共同あるいは一斉防除が絶対条件だとされて来た。とくに開花中の病菌胞子密度を低下せしめることが防除の大きな目標になっている点、子実体の発生防止は最も重要なこととされている。

木村⁽¹⁷⁾はモニリア病子実体の発生状況を実地調査したところ、放任している落葉の下か、排水のきわめて不良な園地で地表面に湿り気がある場所に多く、常発地帯がほとんど100日以上根雪地帯になっているのも地表上の湿り気が大きく関与しているものと考えられるとし、子実体の発生を抑制するためには消雪の促進、排水溝の設置、園内の落葉清掃など、発生環境の改善をはからなければならないと述べている。この調査では暗渠工事園における子実体発生抑制効果が顕著であったが、これは暗渠排水によって過剰水が排除され、地下水が低下し、また消雪が促進されたこと、それによって菌核の越冬場所であるAo層の土壌水分が著しく減少したことなど地表の乾燥化が大きく寄与したものと考えられる。また、暗渠排水に伴い早春に地表が乾燥化することは、単にモニリア病子実体の発芽を抑制するばか

りでなく、園地内の清掃作業を促進させ、菌核や落葉を早く除去し、適期の薬剤散布が可能になるなど、他病害虫の防除にも好結果を及ぼすものと考えられる。

しかし、暗渠工事園と未工事園の実ぐされは、両区とも発生が少なく、両区の間には差を認めることができなかった。この調査で実ぐされ病の発生が少なかった理由の一つとして開花後の天候に恵まれたことがあげられよう。また、この年から新しく登場したジクロン、チウラム剤の効果が著しく、その利用が実ぐされの発生を抑制したことも大きく影響したものと考えられる。

4. 摘 要

宇和野および浪岡の両地区で1961年から1966年にかけてモニリア病の発生状況を調査した。

モニリア病子実体の発生状況は両地区で暗渠工事園とそれに隣接する未工事園で調査を行なった。消雪状況の観察は宇和野地区で行ない、子実体発生期の土壌のAo層における水分含量は浪岡地区で調査を行なった。また、実ぐされ病発生状況は暗渠工事園、未工事園とも調査樹を設定して追跡調査を行なった。

ア. モニリア病菌核の発芽率は、暗渠工事園の方が未工事園より低く、子実体の発育も1～2型おくれていた。

イ. 実ぐされ病の発生は暗渠工事園、未工事園とも非常に少なく、この段階では両区の間には差が認められなかった。

Ⅶ 経 済 効 果

りんご園の暗渠排水事業を行なうには多額の経費を必要とする。また、集団で大規模に実施しなければ効果があがらないから地域住民の協力を必要とする。この点、投資に見合う経済効果ができるかどうかを明らかにすることは暗渠排水を推進する上で非常に大切なことである。そこで、経済効果の一端を明らかにするため暗渠工事園と未工事園の果実販売価格の判定を試みた。

1 調査方法

宇和野地区では暗渠工事園、未工事園とも5本の調査樹を設定して1962年と1965年に、浪岡地区はそれぞれ3樹ずつの調査樹を設定して1964年と1965年に調査を行な

った。収穫したりんごは秀、優、良、並の4階級に区分したが、両区とも品質区分した果実のうち、販売にまわせる秀、優、良と3階級のりんごを普通貯蔵庫に入れた。販売価格の判定は翌年の2月上旬に各階級とも1箱ずつ出庫して青森県りんご移出商10人にそれぞれ品質階級ごとに価格を入れてもらい、各階級とも10人の平均価格を算出するとともに1樹あたりの粗収益を試算した。

2 調査結果

販売価格の判定を試みた調査結果を示すと第58表のとおりである。

Table 58. The selling price of fruits harvested in drained and undrained plots.

Orchard	Year	Item	Drained plot				Undrained plot			
			A	B	C	Total	A	B	C	Total
Uwano	1962	Price (yen/18kg)	611	363	204	—	538	342	186	—
		Fruit yield (kg/tree)	222.2	48.3	4.7	275.2	169.1	65.1	2.5	236.7
		Price (yen/tree)	7,533	976	53	8,562	5,056	1,237	26	6,319
		Price (yen/10a)	—	—	—	102,744	—	—	—	75,828
	1965	Price (yen/18kg)	741	565	314	—	735	550	254	—
		Fruit yield (kg/tree)	72.6	173.4	84.2	330.2	24.4	145.6	79.7	249.7
		Price (yen/tree)	2,991	5,445	1,465	9,901	996	4,455	1,124	6,575
		Price (yen/10a)	—	—	—	118,812	—	—	—	78,900
Namioka	1964	Price (yen/18kg)	549	389	296	—	482	310	214	—
		Fruit yield (kg/tree)	116.9	154.5	24.9	296.3	8.1	89.6	97.8	195.5
		Price (yen/tree)	3,565	3,337	408	7,310	217	1,541	1,164	2,922
		Price (yen/10a)	—	—	—	87,720	—	—	—	35,064
	1965	Price (yen/18kg)	631	432	278	—	529	391	227	—
		Fruit yield (kg/tree)	53.2	163.2	18.0	234.6	9.4	80.0	92.1	181.5
		Price (yen/tree)	1,867	3,917	278	6,062	276	1,736	1,160	3,172
		Price (yen/10a)	—	—	—	72,744	—	—	—	38,064

りんごの販売価格は同一品種の国光でも年によりかなりの差異があった。暗渠工事園と未工事園の販売価格を比べると、果実品質が同一クラスのものでも暗渠工事園の方が未工事園より高く、とくに最上級の「秀」品ではかなりの価格差があった。そこで両区の収量および品質割合の調査結果から1樹あたりの粗収益を求め、暗渠工事園と未工事園の収益差を求めてみたところ、宇和野地区の1962年は2,243円、1965年は3,426円ほど暗渠工事園の粗収益が多く、浪岡地区の1964年は4,388円、1965年は2,890円ほど暗渠工事園の粗収益が多かった。

3 考 察

りんごの販売価格を構成する要因は非常に複雑であり、年により、時期によって著しい差異がある。したがって、この成果のみで暗渠排水の経済効果を論ずることは困難であるが、管暗渠による排水効果は半永久的に持続するなどを考慮に入れると、その経済効果は非常に高いことが知見された。また、暗渠排水によって大型機械の導入が容易になったこと、調査を行っていないが諸作業の能率向上など労働合理化の面からみても、その効果は大きかったものと推察される。

4 摘 要

暗渠排水の経済効果について、その指標を得るため1962年、1964年、1965年に品質調査を行なった果実を対象として販売価格の判定を試みた。同一クラスの果実品

質でも暗渠工事園の方が未工事園より高かった。また、暗渠工事園の粗収益は収量の増加と品質の向上によって、未工事園のそれに比べて1樹あたり2,243円~4,388円高かった。

VIII 総 括

1961年以降、筆者らはリンゴ園暗渠排水の効果確認と排水基準の設定を目的として調査研究を実施して来たが、ここでは暗渠排水の効果についてとりまとめをした。試験は場は、1955年から1962年の間に暗渠排水工事を施工した宇和野地区と浪岡地区のリンゴ園を対象とした。

調査結果を総括すれば次のとおりである。

1. 地下水面および排水量の変化

(1) 洪積台地上の未工事園における地下水面は、春期と秋期の過湿期に著しく高く、夏期の乾燥期でも多雨時には地下水面が地表面近くまで上昇した。しかし、暗渠工事園の地下水面は過湿期および夏期の多雨時でも深さ1m以下に位置することが多かった。

(2) 未工事園の春期における地下水面は、かなり長期間にわたって高く、少ない降雨量によっても地下水面の変動がみられたが、暗渠工事園では地下水面が低いため降雨量に影響されることが少なく変動が小さかった。

(3) 夏期の多雨による地下水面の上昇は、暗渠工事園は未工事園より上昇幅が狭い。したがって、暗渠工事園の地下水面上昇曲線は未工事園よりゆるやかな勾配でピークの形成も遅かった。

(4) 暗渠工事園で最も地下水面が高かった融雪直後における吸水渠列間の地下水面勾配は、下層にあるち密な埴土層の深さ20cmに暗渠を埋設したときは $\tan\theta$ が0.024、埴土層の深さ40cmに暗渠を埋設したときは $\tan\theta$ 0.075であった。

(5) 暗渠からの排水量は積雪期間中に多く、夏期には比較的少ない状態で推移した。年間排水量は降雨量の約79%に達し、4月から11月までの生育期における排水量はその期間の降雨量の約54%に及んでいた。

(6) 単位排水量の最大は融雪日前2週間頃にあらわれ、約2ℓ/ha/secであった。

2. 土壌理化学性に及ぼす影響

(1) pF2.0より低張力の土壌水分を過剰水とみなした場合、未工事園では深さ40~60cmにしばしば過剰水がみられ、深さ60~80cm、80~100cmの下層では年間を通じて過剰水が存在することが多かった。これに対して暗渠工事園では、深さ80~100cmの下層でも融雪直後に過剰水が存在する程度に過ぎなかった。

(2) 土壌三相のうち、液相と気相の割合は時期により

著しく異なっていた。深さ0~20cm、20~40cmの表層では、春期と秋期および夏期の多雨時に未工事園の液相が暗渠工事園に比べて大きい傾向を示したが、その差は少なかった。深さ40~100cmの下層では未工事園の気相が暗渠工事園に比較して著しく減少した時期が多く、とくに深さ80~100cmでは、年間を通じて10%以下の気相を示す場合が多かった。しかし、暗渠工事園では融雪直後と夏期の多雨時に気相10%以下になった程度に過ぎなかった。

(3) 暗渠工事園と未工事園の地温を比べると、暗渠工事園の方が常に高い状態で推移し、その差は年平均1℃位であった。

(4) 暗渠施工後8~9年を経過した土壌断面の土色は、表層ほど変化が著しく、黒ボク層、浮石層では明度、彩度とも未工事園より高く、埴土層では明度が低い傾向を示した。斑紋結核の生成位置は暗渠工事園の方が下方に移行して未工事園より20~30cm深かった。

(5) 春期の過湿期における二価鉄の生成量、および湛水保温下における生成量は、いずれの土層においても非常に少なかった。したがって、この土壌では二価鉄の生成による生育阻害は少ないものと判断された。

(6) 暗渠工事園の土壌孔隙率は、中層の浮石層および下層の埴土層で未工事園より大きく、土壌の透水性も浮石層と埴土層で増加していた。また、暗渠工事園で施工後8~9年を経過した暗渠埋設位置の孔隙率と透水性をみたところ、浮石層と埴土層では非埋設地点より大きかった。

(7) 暗渠工事園では表層部の土壌硬度が増強された。とくに、早春の過湿期における土壌硬度の増強が著しく、スピード・スピレーヤーなど大型機械の走行性が向上することが推察された。

(8) 暗渠からの排水中に含まれて流亡した肥料成分は石灰、窒素、ソーダ、苦土、加里、マンガ、ン、磷酸の順であり、石灰の流亡量がとくに多かった。また、暗渠施工後10年を経過した土壌中の塩基含量は未工事園に比べて中層の浮石層で含量低下が顕著であった。

3. リンゴの生育に及ぼす影響

(1) 暗渠排水に伴う地下水位の低下、過剰水の排除によって根の到達深度が深まり、土壌断面の細根数は中層の浮石層および下層の埴土層において目立って増加し

た。また、暗渠工事園の細根の根色は褐色系のものが多いのに比べて未工事園では黒色系のものが多い。褐色系細根の α -ナフチルアミン酸化力は黒色系細根より大きかったことから、暗渠工事園では細根の活力が増加していることが示唆された。

(2) 暗渠工事園と未工事園のリンゴ樹生育状況を比較すると、発芽、開花には差異がなく、新しょう伸長、果実肥大は暗渠工事園の方がすぐれ、経年的にみて幹周、樹冠容積とも暗渠工事園の生育量は未工事園よりすぐれていた。また、樹体内成分を比較するとN、P、K、Ca、Mg、Fe含量は暗渠工事園と未工事園の間に差を認めなかったが、Mn含量は暗渠工事園の方が少ない傾向を示した。

(3) 暗渠工事園と未工事園の収量および果実品質は各年とも暗渠工事園の方がすぐれていた。年により差異は

みられるが収量は20%~40%暗渠工事園の方が多く、果実品質も暗渠工事園で上品ものも多く、中品あるいは不良品が少なかった。

4. モニリア病発生相の変化

モニリア病の発生相の変化について検討した。暗渠工事園と未工事園の子実体についてみると、暗渠工事園において子実体の発芽率が低く、子実体の発育段階も1~2型おくらせていた。しかし、実ぐされの発生は両区とも少なく、その差は明らかでなかった。

5. 経済効果

暗渠工事園の粗収益は未工事園のそれに比べて1樹あたり2,243円~4,388円高く、高い経済効果が認められた。

引用文献

1. 青木二郎, 奥瀬一郎 (1965) リンゴ粗皮病に関する研究 第6報 台木および土壌含水量の相違がスターキング・デリシャス若木の新しょう伸長および樹体内マンガンの季節的消長に及ぼす影響 弘大農報告 11号 8~12.
2. BOYNTON, D. (1940) Soil atmosphere and the production of new rootlets by apple tree root systems. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 37: 19-26.
3. ——— (1938) Concerning the pore space in two orchard soil of different productivity. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 35: 315-319.
4. CHILDS, W. H. (1941) Photosynthesis, transpiration and growth of apple trees as influenced by various concentrations of oxygen and carbon dioxide in the soil atmosphere. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 33: 179-180.
5. DEVILLIERS, J. I. (1939) Some responses of McIntosh apple seedlings growing with the roots in various concentration of oxygen. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 30: 86.
6. 林真二, 脇坂幸雄 (1956) 果樹の湿害について 土壌の酸化還元電位の低下及び有害還元物質との関係 園学雑 25: 59-67.
7. 原田登五郎, 久津那浩三 (1955) 土壌中における塩基の行動 第1報 Negative Chargeの主因とNH₄, Caの吸着 農技研報告 B5: 1-26
8. ———, ——— (1960) 土壌中における塩基の行動 第2報 Negative Chargeの主因とNH₄, Caの吸着(続) 農技研報告 B10: 37-80
9. 平林俊一 (1964) 排水暗渠の増設が梨樹の生育に及ぼす影響 園芸学研究集録 第3輯
10. HEINICKE, A. T. and D. BOYNTON. (1941) The response of McIntosh apple trees to improved sub-soil aeration. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 38: 27-31.
11. ——— (1932) The effects of submerging the roots of apple trees of different seasons of the year. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 29: 205-207.
12. 出田正夫, 三木隼人 (1956) 地下水位の高低がオリーブの生育に及ぼす影響 果樹試験研究年報 83-86.
13. 池田実, 原田勇, 田村香居 (1956) 土壌三相に関する研究 第1報 土壌三相の時期的変化 日土肥誌 26: 502-504.
14. 狩野徳太郎 (1937) 暗渠よりの排水量および地下水位の変せんに関する実験 京大農場集報 1: 54.
15. 金須正幸 (1966) 農業機械の走行可能性 土壌の物理性 14: 10-14.
16. 鎌田嘉孝 (1966) 大型機械の走行性と畑作物の生育 土壌の物理性 14: 4-9.

17. 木村基弥 (1962) リンゴモニリア病に関する研究 青り試報告 6:87 P P.
18. 熊谷徹郎, 佐藤幸平 (1960) 地下水位の高低が果樹の生育に及ぼす影響 果樹試験研究年報 128.
19. 小島道也 (1957) 土色と水分含量との関係について 日土肥誌 28:220-222.
20. 小竹穉, 垣内久蔵, 山川建 (1955) 地下水位の高低試験 果樹試験研究年報 175-176.
21. 真下育久 (1963) 森林土壌の理化的性質とスギ, ヒノキの成長に関する研究 林野土壌調査報告 11:182 P P
22. 丸田勇, 井利一 (1966) 重粘土水田の暗渠施工が土壌の断面形態に及ぼす影響 新潟農試報告 16:47-54.
23. MANN, P. J. and J. H. QUASTEL. (1946) Manganese metabolism in soil. *Nature*. 158:154-156.
24. 三輪忠珍 (1937) 梨「二十世紀」灌がい試験報告 京大農場彙報 1:112.
25. 森田義彦, 米内寛一 (1951) 果樹の生育に及ぼす土壌の物理的組成の研究 II 土壌空気と植生の関係 (第3報 梨, 柿及び柿樹実生の生育) 園学雑 20(2):73-76.
26. ———, 西田光夫 (1952) 果樹の生育に及ぼす土壌の物理的組成の研究 II 土壌空気と植生の関係 (第5報 桃, 柿, 梨, 豆柿実生の生育) 園学雑 20(3.4):144-152.
27. ———, 石原正義 (1950) 果樹の生育に及ぼす土壌の物理的組成の研究 I 果樹園土壌の諸調査 (第2報) 園学雑 19(1):13-22.
28. 中村幸夫, 大野達夫 (1964) 青森県リンゴ園土壌調査 II 青り試報告 8:61 P P.
29. NIGHTINGALE, G. T. (1955) Effects of temperature on growth and metabolism of apple and peach roots. *Bot. Gaz* 96(4):581-639.
30. 大野達夫, 中村幸夫 (1963) 青森県リンゴ園土壌調査 I 青り試報告 7:73 P P.
31. OSKAMP, J. (1933) Ground water as a measure of the suitability of soil for orchard purposes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 30:410-414.
32. 篠辺三郎 (1967) リンゴ園の暗渠排水 農土学誌 35:118-126.
33. SCHUSTER, C. E. and R. E. STEPHENSON (1940) Soil moisture root distribution and aeration as factors in nut production in Western Oregon. *Oregon Agr. Exp. Sta. Bull.* 372.
34. 渋谷潤一 (1962) リンゴ園土壌管理法としての草生敷草に関する研究 青り試報告 5:100 P P.
35. 巢山太郎 (1958) 熊代克己「リンゴ」より引用 16-17.
36. 須佐寅三郎, 青葉高, 石塚昭吾, 安部健一 (1953) 地下水位が果樹の根の発育に及ぼす影響 園学雑 21(2):113-116.
37. 鈴木寅雄 (1952) 山形県における洋梨栽培の技術的改善 農及園 26:639-643.
38. 推根幹夫, 佐久間忠雄 (1961) 果樹園開設と地下水位 農及園 36:979-982.
39. 相馬盛雄, 中村幸夫, 成田春蔵 (1965) リンゴ園の暗渠排水に関する研究 排水不良リンゴ園の実態 東北農業研究 第7号 139-141.
40. ———, ———, ——— (1965) リンゴ園の暗渠排水に関する試験 果樹に関する土壌肥料研究集録 81-84.
41. ———, ———, ——— (1965) 青森県リンゴ園土壌調査 III 青り試報告 9:41-56
42. ———, 成田春蔵, 加藤正, 中村幸夫 (1966) 青森県リンゴ園土壌調査 IV 青り試報告 10:47-76.
43. ———, ———, ——— (1967) 青森県リンゴ園土壌調査 V 青り試報告 11:19-63.
44. ———, ———, ——— (1970) 青森県リンゴ園土壌調査 VI 青り試報告 14:29-99.
45. ———, 加藤正, 成田春蔵 (1972) 土壌水分とリンゴ樹の生育ならびに果実品質に関する研究 第2報 エチレンの生成と果実成分の関係 園芸学会47年度春季大会発表要旨 72-73.
46. ———, 成田春蔵, 加藤正 (1976) 土壌水分とリンゴ樹の生育ならびに果実品質に関する研究 第3報 土壌の乾湿と果実硬度, 滴定酸度および屈折計示度 園芸学会47年度春季大会発表要旨 74-75.
47. 高井康雄, 加村崇雄, 足立勇 (1958) 水田土壌における鉄化合物の行動について (第2報) 日土肥誌 29:216-220.
48. 寺沢四郎 (1963) 畑土壌の水分の運動に関する研究 農技研報告 B13号 1-115

49. 浦木松寿, 坂本庵 (1965) 梨園土壌の水管理に関する研究 第2報 果樹園暗渠排水の効果に関する調査 鳥取果試報告 3:10-18.
50. 山中金次郎, 木村悟 (1957) 土壌のグライ化に関する研究 第2報 二価鉄の生成機構について 日土肥誌 29:104-103.
51. ———; 松尾憲一 (1962) 土壌硬度に関する研究 土壌硬度と含水量の関係 日土肥誌 33:343-347.

Summary

Since 1961, the authors, members of the Aomori Apple Experiment Station, have been studied the efficiency of underdrainage and to settle herewith the standard of drainage for apple orchards. We report here the record of our experiments on the efficiency of underdrainage. The experiments were carried on at the apple orchards of Uwano and Namioka, where underdrainage facilities were arranged during the years 1955-62.

The results obtained are summarized as follows:

1. Fluctuations of the ground-water level and of the amount of discharged water.

(1) At the time of excess soil moisture the ground-water level of undrained orchards on diluvial terrace was remarkably high; even in the dry season of summer it moved up almost to the surface of the ground when there was a heavy rain. On the other hand, the ground-water level of drained orchards usually kept at the depth of more than one meter below the surface of the ground.

(2) In early spring the ground-water level of undrained orchards remained high for a long period; the level fluctuated even after a light rainfall. On the contrary, the ground-water level of drained orchards was not influenced so much by rainfall; it remained low by the aid of drainage and did not show significant fluctuation.

(3) After a heavy rainfall in summer, the ground-water level of drained orchards ascended with slower speed and within smaller range and reached its maximum level later than the ground-water level of undrained orchards.

(4) Just after the thawing of snow, when the ground-water level was highest throughout the whole year, the grade of the ground-water level had the value of 0.024 (tangent β) at the area where drain tiles were buried at the depth of 20 centimeters in the III layer and 0.075 (tangent β) at the area where tiles were buried at the depth of 40 centimeters in the III layer.

(5) In snow season the drainage discharge was heavy, and in summer it was small. The quantity of annual drainage amounted to about 79% of the quantity of annual rainfall; during the growing season of apples, i. e. from April to November, the quantity of drainage amounted to about 54% of the quantity of rainfall during the same season.

(6) The unit area drainage discharge reached its maximum about two weeks before the day of thaw and recorded about 2 l/sec per hectare at that time.

2. Effects of underdrainage on the chemical and physical properties of soil.

(1) If the soil moisture of less than pF 2.0 is considered to be superfluous, the superfluous water of undrained orchards stayed sometimes at the depth of 40-60 centimeters, and throughout the year mostly at the depth of 60-80 and 80-100 centimeters. At drained orchards, however, it was only after the thaw and only at the depth of 80-100 centimeters that superfluous water was observed.

(2) The liquid phase and the vapor phase of the soil changed their rates in a great measure from time to time. In upper soil at the depth of 0-20 and 20-40 centimeters, the rate of the liquid phase of undrained orchards was mostly higher than that of drained orchards in spring, fall and in the heavy rain season of summer; yet the difference of rates between the two was not much. In lower soil at the depth of 40-100 centimeters, the vapor phase of undrained orchards often diminished to a far lower rate than that of drained orchards; particularly at the depth of 80-100 centimeters, the vapor phase of undrained orchards kept the rate of less than 10% for the most part of the year, while at drained orchards it was only after the thaw or in the heavy rain season of summer that the vapor phase diminished to the rate of less than 10%.

(3) The soil temperature of drained orchards was always at a higher degree than that of

undrained orchards; the annual average of the former was higher than the latter approximately by 1°C.

(4) At orchards passed over 8-9 years after the underdrainage arrangement, the change of soil color was most remarkable in the upper soil. The I layer and the II layer increased in value and chroma, whereas the III layer decreased in value. The position of the rusty mottles of ferric iron moved down 20-30 centimeters deeper at drained orchards than at undrained orchards.

(5) At the time of excess soil moisture of spring or in soils submerged and incubated, the amount of ferric iron was quite small in each soil layer. This suggests that in the soil of our experiment orchards the growth of apple tree is only in the slightest degree impeded by the production of ferric iron.

(6) At drained orchards the aeration rate of soil increased both in the II layer and in the III layer; also the permeability of soil to water increased in either layer. The rates of aeration and permeability in the II and III layer were higher where drain tiles were buried than where they were not.

(7) The surface soil of drained orchards increased its hardness, and that remarkably particularly at the time of excess soil moisture in early spring; hence it was conjectured that the operation of big machines such as the speed sprayer would be speeded at drained orchards.

(8) The loss of lime was heaviest of the various kinds of nutrients lost by drainage. The rates of the loss of other nutrients lowered in the following order: nitrogen, sodium, magnesium, potassium, manganese and phosphorus. The loss of cation in the II layer was remarkably heavier at the orchards where drainage facilities had been arranged ten years before than at undrained orchards.

3. Effects of underdrainage on the growth of apple trees.

(1) As the drainage removed superfluous water and lowered the ground-water level, the roots of apple trees grew deeper than before and the number of roots increased remarkably in the subsoil. The color of roots in drained orchards was mostly brown, while that in undrained orchards was mostly black. It was conjectured that the roots in drained orchards increased in activity, judging from the fact that the amount of α -naphthylamine oxidized by the brown roots of a tree was larger than that oxidized by the black roots of the same tree.

(2) There was no significant difference in the time of germination and blooming between the apple trees of drained orchards and those of undrained orchards. But the apple trees of drained orchards showed superiority in the shoot and fruit growth, in the trunk girth, and in the tree crown volume. There was no distinct difference between drained orchards and undrained ones in N, P, K, Ca, Mg and Fe content of the various portions of the apple tree, but Mn content appeared to be lower at drained orchards.

(3) Every year the apples of drained orchards were superior to those of undrained orchards in yield and quality. The crop of apples was larger at drained orchards than at undrained orchards by 20-40%. At drained orchards, the crop of good apples was ample and that of inferior apples scanty.

4. Effects of underdrainage on the occurrence of the Monilia disease.

We made research of the Monilia disease which controlled the crop of apples. The germination rate of apothecia was low at drained orchards, and also apothecial development was slower there than at undrained orchards. The number of young fruit-rot was, however, so small at either orchards that the effect of underdrainage in the respect was not clearly observed.

5. Economical benefit of underdrainage.

The great economical benefit of underdrainage was proved by the fact that the gross income was larger at drained orchards than at undrained orchards by 2243-4388 yen per tree.