

緒 論

高品質の果実を生産することは果樹栽培上最も重要な課題である。これまでの果樹栽培は、多収獲が増益に結びつくという考え方に基づいて、多肥多収栽培の技術体系が確立されてきた。しかし、化学肥料を主体に多用した結果、土壌の悪変をもたらし、品質の低下、生理障害の発生、および生産量の減少などがひきおこされてきた。それにもかかわらず、増産を追求するあまり、より一層の多肥を行なうという悪循環をくりかえしてきた。

こうした栽培体系により、各種の果樹で生理障害の発生が認められるようになり、生産面積に占める各種の生理障害の発生割合が増加する傾向が見られる。とりわけ、ナシ栽培において果実が著しく硬化して、品質を低下させ、商品価値を低減させる症状が多発し、“石梨”“石化病”“ユズ肌果”と呼ばれているものがある。

この障害果はニホンナシが産業的に生産が行なわれるようになった明治時代にすでに発生が確認されていた。池田伴親博士がその著「果樹生態論」(1904)の中で「梨に於て俗に“石梨”と称する果物を生ずることあり……」と述べ⁴⁶⁾、また、中川¹⁰⁷⁾は赤ナシで1900年代に“石化病”なる名称で発表されていたことを報告しており、このころから主産地では問題化していたことを示している。

これら、ニホンナシ果実の硬化障害に対し、文献があがっている呼称を整理してみるならば、水野¹⁰²⁾は二十世紀で“柚肌一名石梨”とし、中川¹⁰⁷⁾は二十世紀で“柚膚果”，立花¹⁴³⁾は長十郎で“柚肌梨(石梨)”，西本・岸本¹¹⁰⁾は二十世紀で“柚膚果”，鳥潟¹⁶⁰⁾は委縮性生理障害の中の硬化障害果について、“柚皮梨，石梨，石化病，縮果病という名称で呼ばれていた”とまとめている。その後、林^{27,29,30)}は二十世紀で“柚肌病”とし、猪瀬⁴⁸⁾は長十郎で“石ナシ”，塩原¹³⁴⁾は二十世紀で“硬化障害果(石ナシ)”，佐々木¹²⁵⁾は二十世紀で“ユズ膚”，高橋¹⁴⁹⁾は長十郎で“石ナシ”の名称を使用しており、立花¹⁴³⁾、塩原¹³⁴⁾の2、3の例外を除けば、ほぼ確立した名称で呼ばれるようになっていた。すなわち、長十郎に代表される赤ナシでは“石梨，石ナシ(果)”であり、二十世紀に代表される青ナシでは“柚膚果，ユズ肌(果)”と呼んでいる。しかし、こうした呼称の違いが同一症状によるものであるかどうかの

論議になっている要因でもある。

いずれにしろ、果実の硬化現象であり、本論文では、二十世紀、長十郎を始め、多くの品種を調査対象および供試材料としているため、統一の見地から“硬化障害果”ないし、“障害果”を使用し、引用文献として使用した際には原文に忠実を期すために“石ナシ果”および“ユズ肌果”を用いた。

この硬化障害は文献的記述からも明らかなように、確認されて以来、70余年を経過しており、その間、多くの研究者により精力的に研究が行なわれた結果、現象の特徴が数多く明らかにされている。

果実の面では、①果実が硬化し、肉質が粗剛である^{30, 48, 102)}，②果実発育が劣っており、可食部が少ない^{102, 107)}，③果実表皮がていあ部から全体へと凹凸がみられる^{30, 47, 48)}，④石細胞が大きく、その密度が高く分布している^{32, 102, 134)}，⑤果肉の水分含量が少なく、浸透圧および水ポテンシャルが高い^{30, 29, 114, 136)}，⑥糖の分別中還元糖が少ない^{62, 65, 102)}，⑦粗繊維および細胞壁成分が多い^{49, 102)}，⑧カルシウム含量が少ない^{47, 48, 62)}，⑨果実発育期間中の酵素，ホルモンの増減が見られる(田辺，林，平田 — 1975年春，1976年春園芸学会発表)，⑩酸含量の増加¹⁰²⁾，⑪でんぶんの残存^{30, 65)}，⑫呼吸代謝が高まっている^{66, 69)}，⑬熟度が進んでいる^{69, 107, 125)}，⑭ていあ部から腐敗する⁶⁷⁾などがあげられている。

栽培面では、①樹冠の中心部ほど発生が多い^{48, 107, 134)}，②徒長枝に近い位置の果実ほど発生しやすい^{48, 118)}，③剪定の強い場合に発生しやすい^{48, 57)}，④剪定の弱い場合に発生する¹¹⁸⁾，⑤結果過多の場合発生する^{33, 48, 57, 118)}，⑥結実が少なく大果の場合に発生しやすい⁷⁾，⑦短果枝上の花芽が多く、ショウガ芽が多い場合に発生する^{48, 49)}，⑧発生する樹は落葉が早い⁴⁸⁾，⑨1枝の着果にのみ発生することがある⁴⁸⁾，⑩葉中にカルシウム含量が少ない^{49, 62, 67)}，⑪摘果時期が早いほど発生が少ない⁴⁸⁾などである。

台木および地下部の面では、①マンシュウマメナシ *Pyrus betulaefolia* 台に発生しにくい^{27, 79, 107, 110)}

②ニホンマメナシ *Pyrus serotina* Rehder 台は発生しやすい^{79, 107, 110)}。

根の状態では、①障害果発生樹は根群の発達が悪く、細根の発生量が少ない^{33, 49, 107, 110, 143)}，②T-R率が高いと発生しやすい^{49, 110)}，③根の浸透圧が高い場合は発生しにくい^{32, 79)}，④断根が発生を促す¹¹⁰⁾，⑤過湿

および酸素不足による根の衰弱ないし腐敗が多くなると発生が多くなる^{107, 150)}、⑥マンシュウマメナシの根を寄接すると減少する^{47, 135, 136)}などがある。

土壌条件としては、①酸性土壌で発生しやすい^{62, 125, 149)}、②石灰不足の土壌で発生しやすい^{62, 125)}、③過湿土壌で発生する^{63, 136)}、④乾燥しやすい土壌で発生しやすい^{68, 107, 134)}、傾斜地の下の方の部分で発生しやすい⁴⁷⁾、⑤土壌の質により発生に差があり、火山灰土では少ない⁴⁷⁾、⑦有機質不足の土壌で発生が多くなる^{125, 143)}、⑧全窒素、置換性カリ過剰の土壌で発生しやすい^{125, 144, 145)}、⑨土層の深さと関係する¹²⁵⁾などにまとめられる。

品種については、①発生しやすい品種は“二十世紀”“早生二十世紀”、“長十郎”、“君塚早生”、“石井早生”、“旭”、“新世紀”、“菊水”、“祇園”、“八雲”、“雲井”、“博多青”、“豊水”、“新興”、“真鍮”、“明月”、“伊豆之誉”、“王冠”、“早生赤”、“吉野”、“二宮白梨”^{49, 134, 136)}、②発生しない品種は“幸水”、“新水”、“新高”、“新雪”^{49, 134, 136)}などである。

発生時期は5月下旬¹⁰⁷⁾、6月中旬⁴⁹⁾、6月-7月¹⁴³⁾、6月下旬¹¹⁰⁾、7月上旬⁴⁹⁾、7月下旬³³⁾などの報告がある。

以上の試験および調査の結果から、これまで述べられてきた対策(試験)として、池田⁴⁶⁾は夏季乾燥に際し、障害果発生が水の供給不足によるため、灌水するか、敷ワラを行なう必要があるとした。中川¹⁰⁷⁾は植替えにより発生が減少するとし、また、マンシュウマメナシに接木したものは発生しないという報告をした。立花¹⁴³⁾、岡村¹¹⁴⁾は堆肥施用が効果があるとし、高橋¹⁵⁰⁾は暗きよ排水で、大内らは1977年の落葉果樹試験研究打合会資料において、深耕で減少するとしている。さらに、内堀⁴⁸⁾は早期摘果の効果を認め、塩原¹³⁶⁾、猪瀬⁴⁹⁾らはマンシュウマメナシ台を主枝に寄接した結果、減少する傾向を認めた。また、広田³⁶⁾は過酸化カルシウム施用により、猪瀬⁴⁹⁾らは堆肥と石灰施用が効用のあることを報告している。以上のように、対策試験は、原因究明の試験に比較して量的に少なく、一応の対策方法は既にあげられているものの、具体的かつ、実用的な技術的対応方法が基礎理論に基づいて樹立されていないのが現状である。

池田博士が初めて記述して以来、林^{27, 29, 30)}の一連の研究報告までは、主に水分代謝の異常が原因であると考えられ、梅雨明け後の高温乾燥時に灌水の指導が行なわれてきた。しかしながら、生産現場では発生率が一方向に低下しなかったことや、猪瀬らが長十郎の石ナシ果に

カルシウム含量の低下しているということを1965年春園芸学会に報告をして以後、栄養生理上代謝異常の側面から再検討する気運が高まってきた。

したがって、本研究では、まず予備試験として、障害果発生について養分吸収の異常を明らかにすることが可能であるかどうか、水耕栽培実験を1968年から'70年までの3年間行なった。続いて、これまで多くの研究者によって報告されてきた障害果発生のいろいろな原因を解明するために、1969年から'74年までの6年間に、は場実験で発生現象の確認を行なうとともに土壌条件、根の生理的機能、葉及び果実の代謝生理に関するデータを統計的手法で分析し、発生機構の解明をした。

障害果発生原因に関するこれまでの統計処理は相関関係や分散分析によって分析する場合が多かった。しかし、障害果発生の各種現象が複雑多岐になっていると考えられたので、本研究では、多数の調査形質に基づいて主成分分析、変数選択型重回帰分析などの多変量解析を行なった。以上のような方法で明らかにされた発生原因を考慮に入れて、障害果発生防止の可能性を主にポット試験によって理論的に立証すると共に、具体的な発生防止の技術的体系を確立するためのは場試験を1973年から'79年までの7年間に実施した。発生防止の理論的解明と技術的に確立をする過程でも多変量解析の手法を適用し、硬化障害果の発生低下(健全果への移行)の機構を土壌、根、葉及び果実の生理代謝の側面から明らかにしようとした。

謝 辞

本文に入るに先だち、本研究を遂行するにあたり、ご懇篤なご教示とご指導を賜った筑波大学教授大垣智昭博士、ならびに、多くのご助言を賜った千葉大学名誉教授永沢勝雄博士、宇都宮大学助教授岸本修博士、鹿児島大学助教授岩堀修一博士に深甚なる謝意を表す。また、実験を実施するにあたってご理解とご援助を賜った前東京都農業試験場長小川敏男博士、田村光一郎現場長、伊達昇農芸化学部長ならびに芦川孝三郎栽培部長、多変量解析に多大なご指導を賜った農林水産省草地試験場生態システム研究室長塩見正衛博士、そして、電算処理にご援助を措きまなかった東京都工業技術センター電子計算機室の職員諸氏に衷心より御礼を申し上げる。

さらに、実験にご協力下さった土壌肥料研究室都田紘志研究員、竹迫紘研究員、果樹研究室土方智主任研究員、小林勇主事、神保三郎主事、村野弘主事、小田桐ヨシエ主事の各位に深く感謝の意を表す。

第 I 部 ニホンナシ硬化障害果の発生原因
の究明に関する研究

第1章 生産地における硬化障害果の 発生実態と要因分析

第1節 実態調査

1. 緒言

東京のナシ栽培は、安藤英輔「梨作り六十年」(1971年)によれば、多摩川河口の川崎大師河流を溯上し、水田地帯を中心に発展し、昭和初期には登戸、稲城を中心に約130 haにもおよび、太平洋戦争の勃発とともに作付統制令により減少したものの、戦後再び増加した(多摩川果物協同組合連合会編「多摩川梨変遷史」1963)。以上のような歴史的に古い産地であるために、密植、多肥多収の栽培技術が現在でも引き継がれており、また、水田隣接の過湿土で起りやすい土壌の溶脱現象が進んでいる。

一方、都市内でナシを生産するといういわば集約的経営でもあるため、直売、観光園の必須条件ともいべき高品質の果実が一層望まれている。こうした土壌の悪変化に由来する品質の低下と消費者から直接要望される品質の向上という両極の矛盾をいかに解決するかは当面の主要な課題になっている。とくに、ナシ栽培で不治の病とまでいわれた“ユズ肌”“石ナシ果”の障害果は大部分のナシ園で見受けられ、品質向上への足がかりとして早急に解決しなければならない問題である。

戦前から当地方に植えつけられた苗木は埼玉県安行地方から購入されたものであり、安行で使用された台木は大部分が福島県会津地方から買い付けられた野生種の種子であるとされている(上林諭一郎1924安行地方に於て使用されつつある果樹の砧木に就て、日本園芸雑誌36:22-26)。これらヤマナシ台木は土壌に対する適応性が狭く、悪変した土壌では細根量が少なく、また、活力も低く、その上養分吸収力が低い^{40,51,79,110)}ため、ユズ肌、石ナシ果が発生しやすい^{40,51,79,110)}ことも障害果の発生が認められる要因になっていると思われる。そこで都内の五市から調査園を選び、生理障害果の発生状況を把握するとともに、土壌、葉、果実を分析し、それら

の関係について調査した。

2. 調査ならびに実験方法

1) 調査園の設定

調査対象地域は多摩川流域の稲城、府中、国立、立川及び昭島の五市で、調査ナシ園は地域的に分布するように選択した。各調査園はその地域で樹の生育、肥培管理、病虫害防除及び土壌条件などがほぼ平均的なナシ園を選び、その中から樹齢、栽植本数、着果量及び生産量などについて変異にとむ16園を抽出した(Fig1-1)。

2) 土壌調査

土壌調査は収穫期の約20日前の1974年8月19,20日の両日に行ない、生理障害果発生程度の軽症な園は軽症樹を、重症発生樹の認められた園は重症樹をそれぞれ対象として樹幹から2mの位置を試坑した。土壌の採取は土層の土色別に分けて、深さを区分した。

3) 調査樹および障害果発生量調査

調査園において主に二十世紀を対象に調査し、長十郎の混植してある園は長十郎も併せて調査した。硬化障害果の発生調査は果実のていあ部に凹凸がわずかに感じられる程度のものを疑問果(+), 果実のていあ部1/3以下の部分に凹凸があり、ていあ部にやや着色が認められるものを軽症果(++)、1/3以上に凹凸と着色がみられるものを重症果(+++)に区別し、発生率は軽症果と重症果の合計から次式によって求めた。

$$\text{発生率(\%)} = \frac{\sum (\text{重症果} + \text{軽症果})}{\text{全着果数}} \times 100$$

調査樹は発生がほとんど見られない園では健全樹を、軽症発生樹が多く見られた園では軽症樹を、重、軽症発生樹が共に認められた園では重症樹及び対照樹としての健全樹をそれぞれ3樹ずつ調査した。なお、調査は収穫直前の9月9,10日に実施した。

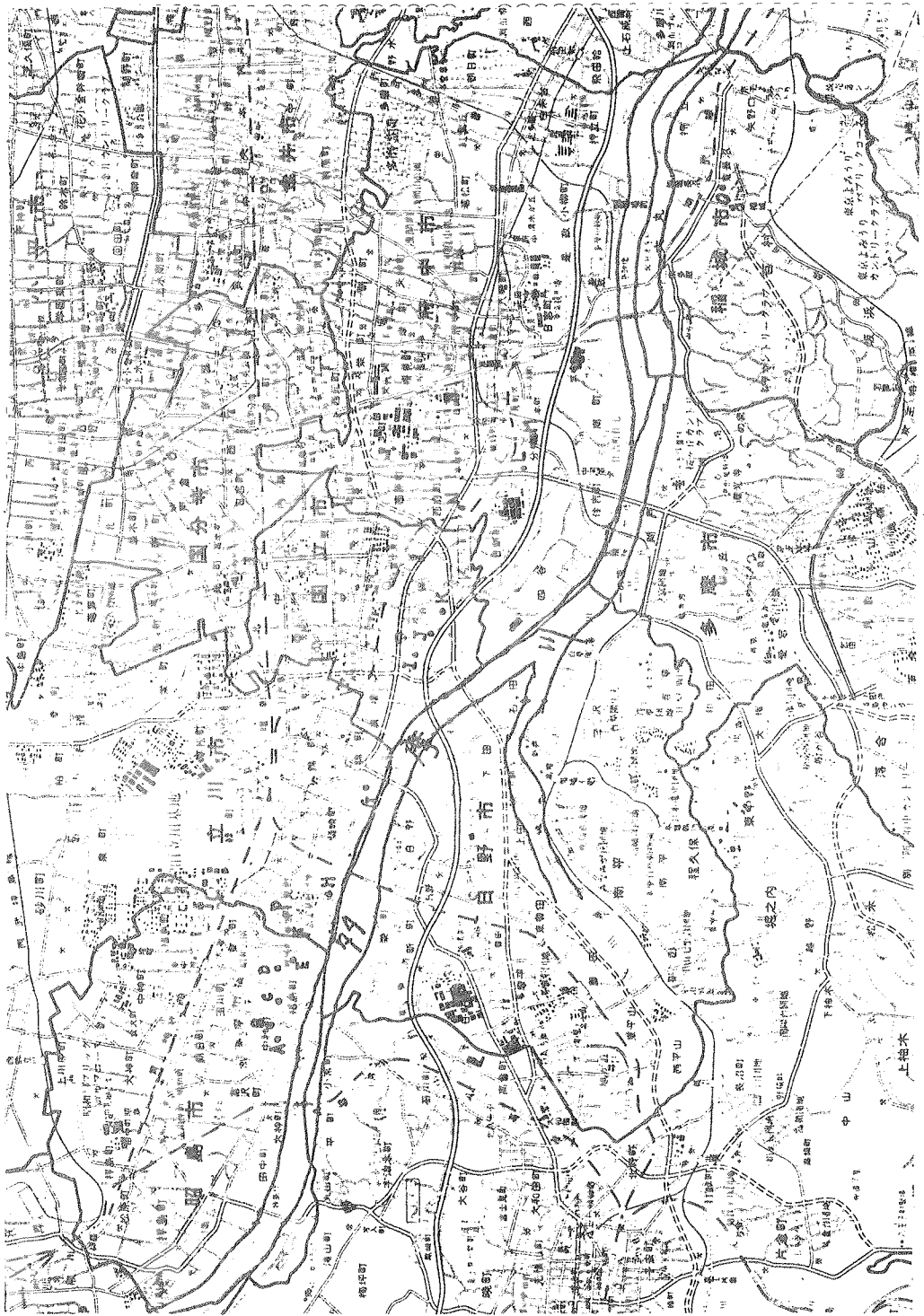


Fig. 1-1. Sampling points of grove's orchards in the Tamagawa basin (1974).

4) 土壌の分析

粒径分析は農林水産省地力保全事業の土壌分析法で採用されている方法で行なった。¹¹¹⁾ 土壌のpHは生土 10 g に 25 ml の蒸留水ないし 1 N KCl 液を加え、よく攪拌し、30 分以上放置後、ガラス電極で pH を測定した。置換酸度 (Y_1) は風乾土 20 g に 1 N KCl 50 ml を加え、1 時間振とうし、乾燥濾紙で濾過した濾液を 25 ml とり、煮沸して液中の二酸化炭素を追出した後、フェノールフタレインを指示薬として、0.1 N NaOH 液で滴定し、算出した。

リン酸吸収係数は風乾土 50 g に濃度 2.5% リン酸アンモニウム液 100 ml を加え、時々振とうしながら 24 時間放置した後、1 分間に 1000 回転で約 10 分間遠心分離した。濾液を適度に希釈し、バナドモリブデン酸アンモン法で定量した。¹¹¹⁾ 腐植は橋元・原田法¹¹¹⁾、全チッ素はセミクロ蒸留法、有効態リン酸は 2.5% 酢酸抽出法、塩基置換容量はセミクロンショレンベルガー法¹¹¹⁾ を用い、濾液をフォルモル法で定量した。置換性石灰、苦土は塩基置換容量測定酢酸アンモニウム浸出液について原子吸光法で、置換性カリウムは炎光分光光度法でそれぞれ行なった。

5) 果実および葉の分析

硬化障害果の発生度調査では発生樹 3 樹の果実を疑問果、軽症果、重症果、健全果に区分し、各区ごとに、それぞれ 5 果ずつ 1 樹当たり計 20 果 (3 樹で 60 果) を選んで分析に供した。

糖の分析 — 各果実を赤道部からコルクボーラで打ちぬいて、厚さ 1 mm の切片をつくり、各区 2 g を 90% エタノールで熱抽出して糖抽出液にした。全糖はアンスロン法³⁸⁾、還元糖はソモギー・ネルソン法³⁸⁾、ブドウ糖は次亜ヨード酸微量法¹²⁰⁾、果糖は還元糖—ブドウ糖、ショ糖は (全糖—還元糖) $\times$ 0.95 で算出した。Brix は果汁を屈折計で測定した。でんぶんの定量は糖抽出残査を用いて過塩素酸 — ヨウ素法¹⁰¹⁾ で行なった。滴定酸は、N/40 NaOH で滴定し、算出した。

無機成分分析 — 供試果実から果皮、果心を除き、ステンレスナイフでハツ切りにし、5 果からそれぞれのタテ割 1/8 果ずつまとめてそれを細切りにし、その後 95℃ で 1 時間処理し、70℃ の熱風で 24 時間乾燥した。乾燥試料をウィレー粉砕器で粉砕後、乳ばちで磨砕し、32 メッシュのふるいを通して分析試料とした。葉は健全樹と障害果発生樹別に 8 月 19 日、20 日に採取し、1% 酢酸で洗浄後、室温で水分を除去した。洗浄した葉は中肋を除去後、95℃ で 1 時間処理し、70℃ の熱風で 24 時間乾燥した。乾燥葉はウィレー粉砕器で粉砕後、32 メッ

シュのふるいを通して分析用試料とした。

分析は、チッ素はセミクロ蒸留法、リンはバナドモリブデン酸アンモン法、カリウムは炎光光度法、カルシウム、マグネシウムは、原子吸光光度法でそれぞれ行なった。¹¹¹⁾

3. 調査および実験結果

1) 調査園の栽培管理の状況

各調査園における収量、施肥量、土壌改良、資材の投入量などを聞き取り調査した結果について Table 1-1 に示した。平均樹齢は 25.3 年、栽植本数は平均で約 60 本 / 10a とやや多く、整枝法は戦前の関東式から折衷式の方法などが多く認められた。また、施肥量も 10a 当りチッ素 — 35.7 kg, リン — 29.4 kg, カリウム — 37.8 kg と多肥栽培が続けられており、石灰など改良資材の投入量は 10a 当り 84 kg でやや少ない傾向にあった。しかし、有機物は都市内にあっても 10a 当り 2.1 t 施用されており、主に古タタミが供給源であった。

2) 調査園の土壌の理化学性

調査園土壌の物理性については Table 1-2 に示した。多摩川流域の水田地帯に分布しているため、断面調査の結果では約 30% の園が比較的浅い層 (深さ 20 ~ 30 cm) に礫が出現した (Fig 1-2)。しかし、全体的に大部分が透水性が良好であり、液相率 24 ~ 49% とかなり高く、物理性にはあまりは場による差異が見られなかった。

化学性については Table 1-3 に示したように、腐植はナシの根が繁茂している主根域では大部分が 2 ~ 5% の範囲にあるが、それ以下の部分では不足気味であった。pH は A 園以外大部分が第 2 層以下で 3.41 ~ 5.39 (KCl)



Fig. 1-2. A profile of the soil of grower's orchards (1974).

Table 1-1. Conditions of orchard management in the grower's orchard surveyed (1974)

Or- Chard	Place	Age of tree	No. of tree (10a)	Yield (t/10a)	Amount of fertilizer (kg/10a)			Soil amendment input (kg/10a)	Soil amendment matter (t/10a)
					N	P	K		
A	Nakagami Akishima City	30	34	3.2	32.0	32.0	30.4	MgCO ₃ · CaCO ₃ 190	Rice-straw 0.9 Bean grounds 0.3
B	Nakagami "	22	76	3.0	32.2	20.6	30.3	Ca(OH) ₂ 100	Tatami* 3
C	Fukushima "	23	34	3.4	36.0	24.0	37.0	Ca(OH) ₂ 150	Farmyard manure 3
D	Gohchi, "	15	76	4.2	66.0	36.1	66.2	—————	Farmyard manure 3
E	Gohchi "	25	76	3.0	53.6	36.8	55.6	Ca(OH) ₂ 100	Barnyard manure 2, Tatami* 1
F	Fujimi, Tachikawa City	35	51	3.0	32.2	38.0	60.2	MgCO ₃ · CaCO ₃ 120	Tatami* 3, Born dust 0.1
G	Nishiki "	13	51	3.2	43.6	29.5	58.0	Ca(OH) ₂ 120	Rice-straw 2, Born dust 0.6
H	Fujimi "	25	51	3.0	18.6	11.8	28.2	MgCO ₃ · CaCO ₃ 70	Rice-straw 1
I	Yaho Kunitachi City	30	76	3.5	30.2	32.0	15.0	—————	Fowl droppings 0.2 Rice-straw 1
J	Yaho, "	30	76	3.5	30.0	27.1	26.0	—————	Fish-bone dust 0.1
K	Yaho, "	30	51	3.7	38.1	37.0	43.1	MgCO ₃ · CaCO ₃ 200	Fowl droppings 2, Rice-straw 0.6
L	Bubai, Fuchu City	28	51	3.5	37.1	28.3	42.1	—————	Barnyard manure 2.5, Bean grounds 0.1
M	Bubai, "	26	76	3.1	34.1	48.2	37.3	Ca(OH) ₂ 100	Farmyard manure 2, Bean grounds 0.3
N	Nishifu, "	28	51	3.1	37.0	30.5	26.0	MgCO ₃ · CaCO ₃ 100	Tatami* 2, Bean grounds 0.1
O	Higashi- naganuma, Inagi City	18	76	3.0	33.3	23.6	32.3	—————	Rice-straw 2
P	Tokyo Agr. Exp. Stn.	27	51	3.0	17.0	15.0	17.0	MgCO ₃ · CaCO ₃ 200	Farmyard manure 2
Mean		25	60	3.3	35.7	29.4	37.8	84.8	Farmyard manure 2.1 Another 0.1

* Tatami means a straw matting.

Table 1-2. Physical properties of soil of grower's orchards (1974)

Orchard	Horizon	Depth (cm)	% in dried soil		% in sand soil					Texture	Bulk density g/100ml	Three phase distribution %		
			Gravel	Moisture	Course sand	Fine sand	Total sand	Silt	Clay			Solid	Liquid	Air
A	1	0-14	1.95	3.53	14.5	40.7	55.2	25.6	19.2	CL	132.4	25.7	38.3	34.2
	2	14-50	9.85	1.39	13.7	29.5	83.2	17.0	19.4	CSL	143.3	35.1	33.3	31.6*
B	1	0-15	1.46	4.31	9.4	53.0	49.6	29.1	21.3	CL	149.4	25.2	42.4	32.4*
	2	15-40	1.52	3.83	7.9	40.6	48.5	26.7	24.8	CL	150.8	32.6	34.8	32.6
C	1	0-19	1.95	3.34	13.3	43.6	56.9	25.9	17.2	CL	154.5	23.1	45.5	31.4
	2	19-50	0.75	3.29	14.1	44.0	50.1	24.4	17.5	CL	156.3	27.6	43.6	28.8*
	3	50-70	2.02	4.76	5.8	34.6	40.4	33.5	26.1	LiC	151.7	22.9	46.5	30.6
D	1	0-30	1.96	4.04	13.2	41.7	54.9	40.9	18.6	CL	163.2	26.1	45.6	28.3*
	2	30-65	4.92	4.00	9.4	35.5	44.9	33.6	21.5	CL	158.7	24.2	49.1	26.7
E	1	0-23	4.89	3.79	26.7	45.6	72.3	17.3	10.4	FSL	133.5	46.3	26.5	27.2*
	2	23-50	37.87	3.51	67.3	21.5	88.8	6.8	4.4	LCS	141.3	42.3	28.7	29.1
F	1	0-21	6.52	5.26	14.3	39.2	53.5	27.7	18.8	CL	110.5	29.8	41.4	28.8
	2	21-34	4.05	5.97	13.5	40.1	53.6	28.5	17.9	CL	131.1	33.6	37.6	28.8*
	3	34-55	7.13	5.08	15.9	36.4	52.6	27.8	19.9	CL	152.7	29.3	43.3	27.4
G	1	0-34	2.71	1.59	49.5	42.2	91.7	5.1	3.2	LCS	142.7	45.5	24.4	28.1*
	2	34-46	1.57	1.39	28.9	53.4	82.3	9.8	7.9	FSL	179.6	38.2	35.7	26.1
	3	46-62	0.21	1.58	25.5	53.8	79.3	12.8	7.9	FSL	160.9	41.4	32.9	25.7
	4	62-85	0.18	1.29	27.1	63.7	90.8	5.2	4.0	FSL	163.5	40.8	33.2	26.0
H	1	0-20	2.28	2.91	16.1	54.6	70.7	17.0	12.3	FSL	155.5	39.9	34.9	25.2
	2	20-46	0.32	2.60	17.4	56.4	63.8	16.0	10.2	FSL	142.7	42.7	31.6	25.7*
	3	46-65	7.22	3.33	14.3	49.2	63.5	23.3	13.2	SiL	145.6	43.1	30.8	26.1
I	1	0-17	4.44	4.76	10.0	49.4	59.4	24.6	16.0	CL	141.1	34.4	40.3	25.3
	2	7-36	2.01	3.51	10.5	57.6	60.5	19.7	12.2	FSL	149.0	29.0	44.2	26.8
J	1	0-21	0.96	5.96	8.0	41.8	48.6	29.2	22.2	CL	116.2	29.0	43.0	29.0*
	2	21-36	0	3.65	7.2	48.6	55.8	28.2	16.0	CL	152.5	27.6	45.0	27.4
	3	36-60	0	2.44	10.8	60.0	70.8	19.0	10.2	FSL	155.1	28.2	45.2	26.6
K	1	0-18	0.75	4.76	9.5	44.2	53.7	27.9	18.4	CL	126.4	35.3	37.2	27.5*
	2	18-30	4.97	3.04	17.7	48.5	66.2	21.1	12.7	FSL	133.2	38.6	34.3	27.1
L	1	0-16	0.58	4.19	7.2	47.4	54.6	26.5	18.9	CL	142.4	35.9	37.1	27.0
	2	16-25	0.94	4.24	6.2	45.4	51.6	29.6	18.8	CL	150.3	33.7	34.8	31.5*
	3	25-41	2.00	4.29	7.8	35.6	43.4	37.1	19.5	CL	151.1	34.1	34.2	31.7
M	1	0-23	1.25	3.77	10.9	36.0	46.9	31.2	21.9	CL	140.4	32.1	41.7	26.2
	2	23-36	0.65	1.98	23.9	46.6	70.5	16.0	13.5	FSL	170.9	39.3	35.5	25.2
N	1	0-17	0.17	3.62	4.1	37.4	41.5	37.1	21.4	CL	147.0	34.1	41.2	24.7*
	2	17-33	0.43	2.52	7.4	46.8	54.2	28.2	17.6	CL	153.3	32.2	40.2	27.6
O	1	0-13	0.12	7.85	12.8	43.0	55.8	22.0	22.2	CL	120.2	33.3	38.3	27.9
	2	13-33	0.15	7.67	10.4	39.2	49.6	25.8	24.6	CL	119.4	32.7	38.9	28.4*
	3	33-52	1.28	6.53	10.7	35.7	46.4	26.7	26.9	LiC	131.3	33.5	38.6	27.9
P	1	0-17	12.77	5.19	21.2	35.9	57.1	25.4	17.5	CL	145.8	33.0	39.5	27.5
	2	17-38	7.34	5.21	22.7	35.1	57.8	24.0	18.2	CL	127.5	33.3	39.2	27.5*
	3	38-51	15.65	3.81	34.1	31.4	65.5	18.8	15.7	CL	140.6	32.8	37.8	29.4
Mean in rooting zone			2.47	4.11	15.0	43.1	58.1	24.6	17.3	—	139.9	33.8	37.8	28.3

Data lines affixed the asterisk used for calculation of MA in the next paragraph.

Table 1-3. Chemical properties of soil of grower's orchards (1974)

Orchard	Horizon	Depth (cm)	Main rooting zones (cm)	Humus (%)	Total N (%)	pH		Exchange acidity (Y ₁)	Phosphate absorption coefficient	Available P (mg/100g)
						H ₂ O	KCl			
A	1	0-14	10-30	4.31	0.24	7.53	6.77	0.1	1,087	85.0
	2	14-50		0.66	0.05	7.38	6.24	0.3	383	21.6*
B	1	0-15	8-17	4.17	0.31	5.80	4.70	0.5	891	181.1*
	2	15-40		1.43	0.10	4.34	3.52	12.9	631	101.0
C	1	0-19	12-35	4.29	0.27	5.38	4.33	0.8	775	122.8
	2	19-50		3.15	0.22	6.53	5.01	0.3	727	60.7*
	3	50-70		1.52	0.09	6.61	5.22	0.3	677	2.1
D	1	0-30	10-36	4.26	0.29	5.45	4.32	1.5	1,010	57.0*
	2	30-65		2.81	0.19	6.58	5.39	0.2	1,118	12.5
E	1	0-23	9-22	4.05	0.27	4.94	4.25	0.7	557	111.0*
	2	23-50		0.90	0.07	5.18	3.99	2.0	350	22.8
F	1	0-21	11-30	3.83	0.36	5.05	4.06	2.1	1,193	114.0
	2	21-34		4.19	0.26	5.44	4.31	1.3	1,215	63.3*
	3	34-55		2.81	0.18	5.61	4.64	0.4	879	21.6
G	1	0-34	10-34	0.90	0.08	5.94	4.68	0.2	433	69.1*
	2	34-46		0.62	0.08	5.71	4.33	1.0	386	21.6
	3	46-62		0.64	0.06	5.63	4.08	1.9	198	157.8
	4	62-85		0.50	0.05	5.55	3.96	2.3	432	15.5
H	1	0-20	13-31	2.43	0.17	4.89	3.85	4.0	748	68.7
	2	20-46		1.72	0.14	5.34	4.15	2.9	627	19.2*
	3	46-65		1.67	0.12	5.11	4.16	2.6	628	9.0
I	1	0-17	11-28	4.09	0.29	7.05	6.27	0.2	1,125	151.9
	2	17-36		2.03	0.17	5.17	3.96	3.9	800	22.8
J	1	0-21	10-26	6.52	0.43	3.96	3.62	9.8	1,103	90.7*
	2	21-36		3.14	0.21	4.40	3.92	9.7	1,170	30.2
	3	36-60		1.28	0.11	5.18	4.22	2.3	865	8.2
K	1	0-18	9-25	5.60	0.37	6.25	5.50	0.2	968	186.2*
	2	18-30		1.84	0.14	4.41	3.53	11.3	832	29.6
L	1	0-16	12-28	4.44	0.34	3.68	3.32	16.1	806	116.9
	2	16-25		2.71	0.21	4.35	3.83	15.5	1,020	11.8*
	3	25-41		2.43	0.16	5.32	4.43	10.1	1,170	7.0
M	1	0-23	10-26	4.10	0.29	5.37	4.28	1.0	802	124.7*
	2	23-36		1.36	0.10	5.89	4.32	0.8	624	25.2
N	1	0-17	8-18	3.29	0.23	5.93	4.73	0.3	608	124.1*
	2	17-33		1.88	0.14	5.68	4.49	0.6	746	23.9
O	1	0-13	12-32	4.05	0.42	4.76	3.76	3.4	1,213	180.9
	2	13-33		4.22	0.30	4.21	3.41	19.6	1,286	75.8*
	3	33-52		2.19	0.18	4.07	3.49	29.4	1,660	36.6
P	1	0-17	10-33	4.57	0.31	4.08	3.58	8.8	1,251	44.3
	2	17-38		5.10	0.33	5.30	4.46	1.6	1,252	163.2*
	3	38-51		3.29	0.23	5.38	4.50	1.3	959	60.3
Mean in rooting zone			10-30	3.54	0.25	5.46	4.47	3.7	855	86.4

Data lines affixed the asterisk used for calculation of MA in the next paragraph.

Table 1-4. Exchangeable bases of soil of grower's orchards (1974)

Orchard	Horizon	Depth (cm)	Exchangeable bases (me/100g)					CEC (me/100g)	% of Calcium Saturation	% of bases Saturation
			CaO	MgO	K ₂ O	NaO	Total			
A	1	0-14	30.23	0.92	0.66	0.14	31.95	15.9	190.1	200.9
	2	14-50	9.88	0.77	0.48	0.10	11.23	8.4	118.2	134.3*
B	1	0-15	12.73	1.89	0.97	0.14	15.73	21.6	58.9	72.8*
	2	15-40	1.40	1.45	0.60	0.17	3.62	10.8	13.0	33.7
C	1	0-19	6.72	0.86	0.50	0.22	8.30	16.0	42.1	52.0
	2	19-50	9.85	1.01	0.40	0.24	11.50	14.6	67.4	78.7*
	3	50-70	8.76	1.17	0.41	0.24	10.58	11.9	73.6	88.9
D	1	0-30	5.44	1.56	0.62	0.15	7.77	16.3	33.3	47.6*
	2	30-65	10.09	1.17	0.67	0.18	12.11	14.7	68.7	82.5
E	1	0-23	8.16	1.64	0.72	0.14	9.66	15.4	53.0	62.7*
	2	23-50	3.11	0.29	0.28	0.13	3.81	6.6	47.0	57.6
F	1	0-21	5.40	1.05	1.94	0.14	8.53	23.3	23.3	36.7
	2	21-34	6.85	0.62	1.42	0.20	9.09	20.1	34.2	45.3*
	3	34-55	7.22	0.75	0.87	0.17	9.01	19.4	37.2	46.4
G	1	0-34	4.22	0.42	0.57	0.09	5.50	7.6	58.2	72.4*
	2	34-46	3.69	0.57	0.40	0.09	4.75	7.2	51.0	65.6
	3	46-62	3.28	0.57	0.37	0.10	4.32	6.9	47.5	62.5
	4	62-85	2.96	0.61	0.33	0.08	3.98	6.2	47.7	64.2
H	1	0-20	3.43	0.47	0.52	0.10	4.51	12.5	27.4	36.1
	2	20-46	3.00	0.29	0.44	0.09	3.82	9.4	32.0	40.8*
	3	46-65	3.53	0.43	0.51	0.12	4.59	9.6	36.8	47.8
I	1	0-17	20.69	3.32	0.95	0.11	25.07	21.6	95.9	116.2
	2	17-36	1.26	0.70	0.71	0.15	2.82	12.3	10.3	23.0
J	1	0-21	4.30	0.48	0.92	0.17	5.87	23.5	18.3	25.0*
	2	21-36	1.63	0.19	0.44	0.12	2.38	11.8	13.9	20.3
	3	36-60	3.74	0.77	0.50	0.13	5.14	9.3	40.4	55.5
K	1	0-18	15.59	3.46	1.00	0.34	20.39	24.5	63.7	83.3*
	2	18-30	2.48	0.54	0.79	0.13	3.94	13.2	18.8	29.8
L	1	0-16	1.19	0.24	0.69	0.14	2.26	20.0	6.0	11.3
	2	16-25	1.33	0.18	0.47	0.13	2.11	12.2	10.9	17.3*
	3	25-41	5.84	0.92	0.93	0.15	7.84	13.6	43.0	57.8
M	1	0-23	8.35	1.21	0.58	0.23	10.37	18.6	44.8	55.7
	2	23-36	5.18	1.03	0.46	0.16	6.83	9.8	53.1	70.1
N	1	0-17	8.58	1.11	0.47	0.21	10.37	15.7	54.8	66.3*
	2	17-33	6.10	0.82	0.29	0.22	7.43	11.3	53.9	65.6
O	1	0-13	10.00	1.74	2.41	0.15	14.30	34.4	29.1	41.6
	2	13-33	4.32	1.15	1.84	0.19	7.50	28.4	15.2	26.4*
	3	33-52	2.77	1.00	1.80	0.17	5.74	19.8	14.0	29.0
P	1	0-17	0.93	0.16	0.23	0.11	1.43	19.6	4.7	7.4
	2	17-38	10.43	1.44	0.52	0.10	12.53	24.9	42.1	50.4*
	3	38-51	8.09	1.40	0.52	0.13	10.14	17.0	47.6	59.7
Mean in rooting zone			7.15	1.06	0.76	0.16	9.14	17.0	44.7	56.4

Data lines affixed the asterisk used for calculation of MA in the next paragraph.

Table 1-5. Yields and the occurrence of the physiological disorder in grower's orchards (1974)

Orchard	Variety	No. of fruit	Yield (kg)	Fruit weight (g)	No. of disordered fruit	% of disordered fruit
A	Nijisseiki	348.0	92.951	276.1	168.4	48.4
	Chōjuro	356.1	99.680	279.9	155.1	43.6
B	Nijisseiki	138.2	39.427	285.3	59.2	42.8
	Chōjuro	141.3	41.496	293.7	62.0	43.9
C	Nijisseiki	382.5	98.785	258.3	201.0	52.5
	Chōjuro	378.2	107.995	258.5	203.2	53.7
D	Nijisseiki	207.2	55.600	268.3	166.3	80.3
E	Nijisseiki	141.4	39.833	281.7	103.0	72.8
F	Nijisseiki	242.1	73.568	303.9	0	0 *
G	Nijisseiki	248.1	63.190	222.4	243.1	85.6
H	Nijisseiki	243.2	66.655	274.1	183.0	75.2
I	Chōjuro	145.2	50.025	344.5	61.0	42.0
J	Nijisseiki	191.0	46.107	241.4	176.0	92.1
	Chōjuro	196.3	68.600	349.5	176.2	89.8
K	Nijisseiki	287.2	85.382	297.3	180.1	62.7
L	Nijisseiki	297.6	86.724	291.4	226.3	76.0
M	Chōjuro	133.0	40.960	308.0	11.6	8.7
N	Nijisseiki	220.4	60.720	275.5	180.3	81.8
	Chōjuro	231.2	73.065	316.6	191.3	82.7
O	Nijisseiki	139.8	39.698	284.0	121.3	86.8
P	Nijisseiki	315.7	84.930	269.0	242.8	76.9
	Chōjuro	216.0	63.430	293.7	154.0	71.3
Mean	Nijisseiki	245.6	66.684	271.5	160.8	65.5
	Chōjuro	224.7	68.156	303.3	126.8	56.4

* In this orchard, 'Nijisseiki' trees that occurred the disorder was top-grafted to the non-occurring cultivar, Kosui.

Table 1-6. Nutrient contents of 'Nijisseiki' pear fruits in grower's orchard in relation to the degree of disorder (1974)

Orchard	Degree of disorder	% of dry weight					Absolute quantity (mg/fruit)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
A	Severe	0.355	0.060	1.092	0.056	0.051	96.5	16.3	296.7	15.1	13.9
	Normal	0.479	0.055	1.050	0.068	0.055	129.2	14.8	283.3	18.4	14.8
B	Slight	0.433	0.064	1.133	0.048	0.055	124.1	18.4	324.9	13.9	15.6
	Normal	0.588	0.063	1.362	0.060	0.053	169.4	18.2	393.0	17.2	15.3
C	Slight	0.464	0.037	0.996	0.050	0.061	127.2	15.6	273.0	13.6	16.6
D	Severe	0.462	0.059	0.971	0.030	0.053	130.9	16.7	275.1	8.1	15.0
	Normal	0.432	0.056	0.922	0.035	0.053	177.2	15.2	250.1	9.4	14.4
E	Slight	0.460	0.063	1.113	0.049	0.053	136.4	18.7	330.1	14.5	15.7
F	Normal	0.480	0.055	0.743	0.050	0.051	147.4	16.9	228.1	12.3	15.7
G	Severe	0.356	0.037	1.067	0.033	0.047	86.4	13.8	259.2	8.0	11.4
	Normal	0.371	0.049	0.901	0.035	0.048	90.1	11.9	218.9	8.5	11.7
H	Severe	0.572	0.054	1.108	0.021	0.069	158.4	15.0	306.3	5.9	19.1
	Normal	0.386	0.040	0.901	0.053	0.040	106.9	11.1	249.6	14.7	11.1
J	Severe	0.603	0.056	1.021	0.027	0.053	152.9	15.5	258.8	6.8	13.4
K	Slight	0.525	0.064	1.108	0.045	0.046	164.0	20.0	346.1	14.0	14.4
L	Slight	0.534	0.049	0.896	0.033	0.052	104.2	15.0	274.7	10.1	15.9
N	Severe	0.479	0.051	0.892	0.033	0.039	132.3	13.3	246.3	9.0	10.8
	Normal	0.294	0.048	0.789	0.038	0.048	82.0	13.4	220.0	10.7	13.4
O	Severe	0.533	0.056	0.988	0.026	0.055	129.5	13.6	240.0	6.4	13.4
P	Severe	0.450	0.048	1.220	0.039	0.051	122.7	13.1	332.7	10.5	13.9
	Normal	0.433	0.044	0.959	0.061	0.053	119.8	13.3	265.2	16.9	14.7
Mean	Disorder	0.464	0.057	1.047	0.038	0.053	128.1	15.8	289.5	10.5	14.5
	Normal	0.433	0.051	0.841	0.049	0.050	120.3	14.4	263.5	13.5	13.9
Significance test		NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	+	NS

t-test was done for the mean between abnormal and normal fruits of A,B,D,G,H,N and P orchards.

**, + : Significant at the 1% and 10% level, respectively.

NS: Non-significant.

Table 1-7. Nutrient contents of 'Chojuro' pear fruits in the grower's orchard in relation to the degree of disorder (1974)

Orchard	Degree of disorder	% of dry weight					Absolute quantity (mg/fruit)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
A	Slight	0.464	0.140	1.085	0.057	0.050	155.9	47.0	364.6	19.1	16.8
B	Severe	0.463	0.155	1.100	0.037	0.037	152.4	51.0	362.1	12.2	12.2
	Normal	0.340	0.107	0.863	0.057	0.049	121.8	38.3	309.0	20.4	17.6
C	Severe	0.511	0.166	1.260	0.042	0.044	175.2	56.9	431.8	14.4	15.1
I	Severe	0.371	0.104	0.864	0.045	0.033	146.2	41.0	340.4	17.7	13.0
J	Severe	0.370	0.109	1.095	0.039	0.037	148.9	43.9	440.7	15.7	14.9
M	Slight	0.372	0.105	0.015	0.052	0.041	137.5	38.8	375.1	19.2	15.2
N	Slight	0.402	0.114	0.720	0.051	0.035	144.6	41.0	258.9	18.3	12.6
P	Severe	0.340	0.099	1.018	0.047	0.036	97.5	28.4	292.0	13.5	10.3
	Normal	0.309	0.096	0.865	0.054	0.043	89.8	27.9	251.5	15.7	12.5
Mean	Disorder	0.412	0.124	1.020	0.046	0.039	144.8	43.5	358.2	16.3	13.8
	Normal	0.325	0.102	0.864	0.056	0.046	105.8	33.1	280.3	18.1	15.1

Table 1-8. Sugar contents of 'Nijisseiki' pear fruits in grower's orchard in relation to the degree of disorder (% of fresh weight, 1974)

Or- chard	Degree of disorder	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose Total sugar	Sucrose Fructose	Starch	Brix	Titrateable acidity (as malic)
A	Severe	9.98	8.34	3.10	5.28	1.52	0.15	0.29	0.031	10.8	0.121
	Normal	12.36	8.75	3.29	5.46	3.43	0.28	0.63	0.023	11.4	0.137
B	Slight	11.36	8.65	2.80	5.85	2.57	0.23	0.44	0.032	11.4	0.141
	Normal	12.28	8.68	2.78	5.90	3.42	0.28	0.59	0.018	11.2	0.134
C	Slight	10.91	7.53	3.35	4.18	3.21	0.29	0.77	0.022	10.6	0.144
D	Severe	10.34	7.67	3.79	3.88	2.54	0.25	0.65	0.028	10.8	0.147
	Normal	12.40	9.41	2.65	6.80	2.81	0.23	0.41	0.012	11.0	0.154
E	Slight	12.61	8.17	2.87	5.31	4.22	0.33	0.79	0.009	11.6	0.112
F	Normal	12.65	9.27	2.85	6.42	3.21	0.25	0.50	0.024	11.4	0.132
G	Severe	9.59	6.63	3.62	3.01	2.66	0.28	0.88	0.034	11.0	0.111
	Normal	11.30	7.85	4.09	3.76	3.27	0.29	0.87	0.018	11.2	0.144
H	Severe	9.08	6.78	3.82	2.95	2.19	0.24	0.74	0.034	11.2	0.141
	Normal	13.18	8.86	2.90	5.96	4.11	0.31	0.69	0.025	11.4	0.137
J	Severe	11.29	7.57	3.35	4.22	3.54	0.31	0.84	0.023	11.7	0.134
K	Slight	12.18	9.68	3.01	6.66	1.43	0.12	0.21	0.019	11.2	0.114
L	Slight	11.86	7.66	3.10	4.55	3.99	0.34	0.88	0.013	11.2	0.131
N	Severe	10.88	7.92	3.82	4.10	2.81	0.26	0.69	0.024	11.0	0.111
	Normal	12.53	9.10	3.53	5.57	3.26	0.26	0.59	0.018	11.2	0.104
O	Severe	10.39	7.71	3.97	3.74	2.53	0.24	0.68	0.019	11.6	0.131
P	Severe	10.30	7.52	3.38	4.14	2.64	0.26	0.64	0.012	10.4	0.102
	Normal	12.67	9.06	2.76	6.30	3.43	0.27	0.54	0.013	12.0	0.154
Mean	Disorder	10.83	7.84	3.38	4.45	2.76	0.25	0.62	0.023	11.1	0.126
	Normal	12.42	8.88	3.11	5.77	3.37	0.27	0.58	0.019	11.4	0.137
Significance test		**	**	NS	**	+	NS	NS	NS	NS	NS

t- test was done the mean between abnormal and normal fruits of A,B,D,G,H,N. and P orchards.

**, + : Significant at the 1% and 10% level, respectively.

NS : Non-significant.

Table 1-9. Sugar contents of 'Chōjuro' pear fruits in grower's orchard in relation to the degree of disorder (% of fresh weight, 1974)

Orchard	Degree of disorder	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose / Total sugar	Sucrose / Fructose	Starch	Brix	Titrateable acidity (as malic)
A	Slight	10.77	10.21	3.15	7.06	0.73	0.08	0.10	0.031	13.2	0.137
B	Severe	8.91	8.67	3.05	5.62	0.23	0.03	0.04	0.035	14.2	0.173
	Normal	11.94	11.53	2.45	9.07	0.39	0.03	0.04	0.015	12.4	0.101
C	Severe	10.02	8.83	3.15	5.68	1.13	0.11	0.20	0.017	12.6	0.174
I	Severe	9.98	8.21	2.36	5.85	1.69	0.17	0.29	0.017	12.8	0.099
J	Severe	9.33	8.03	2.25	5.78	1.24	0.13	0.21	0.058	12.2	0.112
M	Slight	10.80	10.21	2.45	7.75	0.56	0.05	0.07	0.018	14.2	0.111
N	Slight	10.37	8.66	2.46	6.20	1.63	0.16	0.26	0.012	12.8	0.114
P	Severe	10.44	8.13	3.48	4.65	2.19	0.21	0.47	0.014	12.8	0.134
	Normal	13.14	10.98	3.44	7.54	2.06	0.16	0.27	0.006	13.2	0.130
Mean	Disorder	10.10	8.87	2.93	6.07	1.18	0.12	0.19	0.024	13.1	0.132
	Normal	12.54	11.24	2.95	8.31	1.23	0.10	0.15	0.011	12.8	0.116

Table 1-10. Leaf analysis of nutrients in 'Nijisseiki' pear trees of grower's orchards (% of dry weight, 1974).

Orchard	N	P	K	Ca	Mg
A	2.47	0.170	1.28	1.75	0.267
B	2.91	0.187	1.39	1.55	0.247
C	2.53	0.179	0.96	1.67	0.258
D	2.60	0.155	1.08	1.42	0.278
E	2.67	0.196	1.18	1.10	0.225
F	2.44	0.165	1.81	1.25	0.192
G	2.23	0.140	0.98	0.96	0.150
H	2.35	0.138	1.08	1.40	0.219
J	2.44	0.170	1.37	1.10	0.216
K	2.75	0.175	1.22	1.60	0.243
L	2.49	0.164	1.35	0.94	0.229
N	2.50	0.161	0.86	1.45	0.210
O	2.23	0.162	1.35	1.20	0.197
P	2.34	0.143	0.95	1.32	0.290
Mean	2.50	0.165	1.20	1.30	0.230

と酸性化が進行しており、置換酸度 Y_1 も平均 3.7 と高い値であった。また、リン酸吸収係数は平均 842.1 と比較的小さく、有効態リン酸は平均で 86.4 mg と多く含まれていた。

土壌中の置換性塩基は Table 1-4 に示したように、置換性石灰および苦土が平均で 7.15 me ないし 1.06 me と著しく欠乏している状態であった。しかし、置換性塩基容量 CEC も平均で 17.0 me とやや低い値を示したため、石灰飽和度は 42.1% の多少不足ぎみの程度であった。

3) 収量および硬化障害果の発生率

二十世紀および長十郎果実の収量および障害果の発生率調査成績については Table 1-5 に示した。

着果数および 1 樹当り収量は栽植密度によって異なるが、10 a 当り 60 本植えて二十世紀は 1 樹当り 246 果、66.7 kg、長十郎は、225 果、68.2 kg の収量があり、両品種とも 4 t/10 a に近い収量になり、聞き取り調査した収量よりも多い推測収量になる。1 果平均重では二十世紀が 271.5 g、長十郎は 303.3 g であり、それぞれ品種固有の平均果重に相当した。

二十世紀の障害果発生率は最高が J 園の 92.1%、平均では 65.5% であり、長十郎は最高が二十世紀と同じ園の 89.8%、平均では 56.4% で、長十郎のほうがやや低い発生率であった。

4) 調査園の健全果と硬化障害果の無機成分含量

二十世紀の無機成分含量については Table 1-6 に示した。各園の障害果と健全果の平均を比較した場合、対乾物%でカリウム含量のみが障害果に多く含まれ、差は 1% レベルで有意差であった。しかし、1 果当り含有量で

比較した場合にはカルシウム含量のみが健全果に 0.5 ~ 8.8 mg/果多い傾向があった(有意水準 10%)。

長十郎の無機成分含量については Table 1-7 に示した。調査点数が少なかったため統計処理を行なわなかったが、対乾物%および 1 果当り絶対量とも障害果にチッ素、リン、カリウムが多く、カルシウム、マグネシウムが少ない傾向であった。また、これらの成分割合は二十世紀とほぼ同様であった。

5) 調査園の健全果と硬化障害果の糖含量

二十世紀の健全果と障害果の糖含量の比較については Table 1-8 に示した。全糖、還元糖、果糖、ショ糖が健全果に 1.59、1.04、1.32、0.61% と障害果より多く含まれ、ショ糖以外の各糖は 1% レベルで有意差が認められた。また、ブドウ糖、でんぷんは障害果に 0.004% 多く含まれていたが有意差は認められなかった。また、ショ糖/全糖比は健全果でやや高く、ショ糖/果糖比は障害果に多かったが、有意差は認められなかった。

長十郎の糖含量については Table 1-9 に示した。全糖、還元糖、果糖、ショ糖が健全果に多く含まれ、でんぷん含量、滴定酸度は障害果に多かったが、ブドウ糖はほとんど差が認められなかった。ショ糖/全糖比およびショ糖/果糖比はともに健全果より障害果で高かった。

6) 調査園の葉内無機成分含量

二十世紀の葉分析値を Table 1-10 に示した。チッ素、リン、カリウム含量はほぼ平均的含量であったが、カルシウムおよびマグネシウム含量は 0.94~1.75%、0.15~0.29% と著しく低かった。

長十郎の葉分析値は Table 1-11 に示したが、チッ素

Table 1-11. Leaf analysis of nutrients in 'Chōjuro' pear trees of grower's orchards (% of dry weight, 1974)

Orchard	N	P	K	Ca	Mg
A	2.37	0.186	1.00	1.70	0.266
B	3.03	0.190	1.41	1.18	0.260
C	2.62	0.185	1.10	1.71	0.280
I	2.26	0.155	1.15	1.00	0.213
J	2.45	0.135	0.65	1.36	0.210
M	2.30	0.151	0.85	1.92	0.195
N	2.63	0.170	0.89	1.48	0.230
P	2.18	0.207	1.35	1.54	0.260
Mean	2.48	0.172	1.05	1.36	0.213

リンは二十世紀とほぼ同程度の含量であり、カリウム含量は平均で1.05%と二十世紀より著しく少なく、カルシウム、マグネシウム含量は二十世紀と同様に少なかった。

4. 考 察

都下のナシ栽培は多摩川流域に発展した古い産地であるため、栽培管理上でも戦前の技術の継承が多い。すなわち、平均樹齢は25.3年生と終戦直後に植えられたものが多いが、栽植本数では51本～76本/10aと大部分が密植になっている。こうした密植栽培は樹冠部が狭いため仕立法が関東式になり、徒長枝の発生量および伸長量が多くなるため、施肥量が多く必要になる。さらに、戦前から戦後にかけて食糧増産の時期に行っていた多肥多収の技術が現在も持続しており、販売が直売中心になっても多収獲が増益に結びついているためなお続けられている。しかしながら、密植栽培であるため若齡樹のうちには高収量となるが、反面樹齡が進むにつれての収量の増加はあまり期待できない。また、高品質の果実を生産するためには着果数を制限し、1果重の大きい果実を生産する方法をとらなければならないのが現状である。

土壌条件は、多摩川流域の水田地帯に分布しているため、平均耕土が51.2cmと極めて浅く、土壌中の砂の割合は58.1%と高い値になっている。また、液相の割合が高く、固相および液相の合計で71.9%になり、過湿度壤を裹つづける値であった。こうした過湿土壌は必然的に酸性化が進行し、置換酸度 Y_1 も高い状態になっている。さらに、聞き取り調査の施肥量が多い(チッ素35.7, リン29.4, カリウム37.8kg/10a)割合には、全チッ素、置換性カリウムが少なく、また、置換性カルシウム、置換性マグネシウムも極めて低く、土壌の悪変が著しく進行していることがうかがえる。こうした土壌を改良しようとする目的で比較的多くの有機物を施用しているにもかかわらず、改良資材の不足や、過湿土壌で起りやすい塩基の溶脱ないし酸性化(甲斐秀昭・橋元秀教, 1976, 植物生育と収量, 農文協)が著しいためになかなか矯正されないのが現状である。これらの土壌は肥料成分としてのカチオンの吸収力が低いこともよく知られており¹⁴⁸⁾、施肥した割合にはあまり肥効が期待できないために、より多くの施肥をしており、その結果、土壌の悪変化がより促進される。そうした土壌が調査園の大部分でみられ、その結果、硬化障害果が多く認められ、A園のように2, 3年間土壌改良してもあまり効果が認められていない例が多い¹¹⁴⁾。

果実の各種成分含量を調査してみても、二十世紀果実中の無機成分含量は、対乾物%ではチッ素、リン、カリウム、マグネシウム含量ともに健全果よりも障害果に多く含まれていたが、統計的に有意差が認められたのはカリウムのみであった。こうした傾向については田辺^{144, 145)}の報告がある。しかし、果実が発育するにしたがって成分の対乾物%は減少する⁶³⁾ものの、1果中に吸収した成分量すなわち絶対量では果実発育とともに増加することが知られている⁶⁵⁾。そこで、1果中のmg含量で比較した場合、チッ素、リン、カリウム、マグネシウム含量とも健全果よりも障害果に多く含まれ、対乾物%含量と同様であったが、カリウム含量の統計的有意差は認められなくなった。

一方、カルシウム含量は対乾物%では障害果がやや少なかったものの、統計的に有意差が認められなかったものが、絶対量では有意差水準10%で健全果の方が多く、有意差が認められた。これは障害果は一般に水分含量が少ないことや²⁹⁾、障害果の果実発育が健全果よりも劣る^{102, 107)}ということから健全果と障害果のほぼ同じ大きさの果実を分析した場合に、どうしても含有成分割合は高く出やすいためにこうした差となって表われたものと思われる。

長十郎果実の無機成分含量は分析個体が少なかったために統計処理はできなかったが、対乾物%、絶対量とも、チッ素、リン、カリウム含量が障害果に多く、カルシウム、マグネシウム含量は少なかった。こうした傾向は二十世紀と同様であり、猪瀬^{48, 49)}が長十郎果実で行なった結果とほぼ一致しており、多くの研究者^{24, 25, 32, 147)}が指摘しているカリウムとカルシウム、マグネシウムの拮抗関係によるものと思われる。

二十世紀果実の糖含量は、全糖、還元糖、果糖、ショ糖が障害果よりも健全果に多く、とくに全糖、還元糖、果糖で1%レベルの有意差が認められた。こうした糖構成の異常については中川¹⁰⁷⁾、水野¹⁰²⁾らも同様な報告をしており、障害果は果実内において糖構成の変化がおこっているものと思われる。

長十郎果実の糖含量も、障害果は全糖、還元糖、果糖、ショ糖が低下しており、二十世紀果実とほぼ同様な結果を示していた。しかし、ショ糖/果糖比は二十世紀、長十郎とも健全果より障害果に高かったが、ショ糖/全糖比では逆の結果になり、明らかな変化があるようには思われなかった。

その他、二十世紀および長十郎の果実中のでんぷん含量

はやや障害果に多く、林ら³⁰⁾の結果とも一致していたが詳細な点については、第3章の研究で検討することにする。

葉内無機成分中のチッ素含量について、佐藤ら¹²⁶⁾によれば3.04%含まれるとし、多くの研究者^{32,41,109,127,168,174)}も2.0~3.51%の値を示している。本実験の結果でも二十世紀で2.5%, 長十郎で2.48%含まれており、果樹園間の変動も少なく、ほぼ同程度であった。

カリウム含量は二十世紀で1.2%, 長十郎で1.05%であり、吉岡ら¹⁷⁴⁾、細井ら⁴²⁾の1.63~1.8%よりは少なく、佐藤ら¹²⁹⁾の0.8~1.28%とはほぼ同程度であった。

カルシウム含量については二十世紀が1.3%, 長十郎が1.36%であり、吉岡ら¹⁷⁴⁾の2.64~3.03%に較べて極端に少なかった。

また、マグネシウム含量は二十世紀が0.23%, 長十郎が0.213%で吉岡ら¹⁷⁴⁾の0.294~0.377よりは少ない値であった。

以上のように葉内無機成分含量はチッ素、リン、カリウムではニホンナシの全国的な調査成績に較べてはほぼ同程度の含量であったが、カルシウムおよびマグネシウム含量が著しく低下しており、その上、各調査園の果実中の絶対量含量と同様な減少傾向を示していた。

5. 摘 要

東京都下の多摩川流域に分布するナシ園16園を選び、硬化障害果の発生実態と土壌、葉、および果実の分析値の関係を調べた。

1) 調査したナシ園は大部分が密植で、多肥栽培が行なわれており、過湿土壌でもあるため土壌の悪変が進行していた。

2) 大部分のナシ園で障害果の発生が認められたが、障害の発現程度は軽症の状態が多かった。

3) 二十世紀果実中の無機成分含量は、対乾物%ではカルシウム以外のチッ素、リン、カリウム、マグネシウムが障害果に多く、健全果に少なかったが、1果中の絶対量ではカルシウムのみが障害果に少ない傾向がみられた。

長十郎は障害果にチッ素、リン、カリウム含量がやや多く、カルシウム、マグネシウム含量は少なかった。

4) 二十世紀の糖含量は、障害果に全糖、還元糖、ショ糖が少なかった。長十郎の糖含量は二十世紀と同様な傾向であった。

5) 葉内無機成分含量は、二十世紀も長十郎もともに健全樹と障害果発生樹との間にチッ素、リン、カリウムは著しい差が認められなかったが、カルシウム、マグネシウム含量が障害果発生樹で極端に低下しており、果実中の絶対量と同様な傾向を示した。

第2節 生産地における硬化障害果の発生要因分析

1. 緒 言

前述の二十世紀の実態調査の結果を用いて、障害果の発生に関する要因分析を行なった。各園において実施した調査項目から障害果発生に関与すると思われる特性を選び、それらについて主成分分析および変数選択型の重回帰分析を行なった。

2. 統計的手法および結果

障害果発生に関連すると考えられるpH (KCl, H₂O), 置換性カルシウム, 石灰飽和度, 1果平均重, 果実中リン, カルシウム, 還元糖, ブドウ糖, 果糖, でんぷん,

葉中チッ素, カルシウムの13特性をとりあげた (Fig. 1-3)。これらの特性値間の相関行列を求めたのがTable 1-13である。

土壌pH, 置換性石灰, 石灰飽和度, 果実中のカルシウム絶対量, 葉中カルシウム含量はそれぞれの間で高い相関関係が認められた。また、リン絶対量, カルシウム絶対量, 各糖類, そして葉中チッ素との間でもそれぞれ負の相関が認められた。

このような、相関に関係のある多くの特性のもつ情報をできるだけ抽出したいいくつかの総合指標 (主成分) にまとめ、それによって、障害果発生程度の異なるナシ園の特徴を把握するために主成分分析を適用した¹¹⁵⁾。

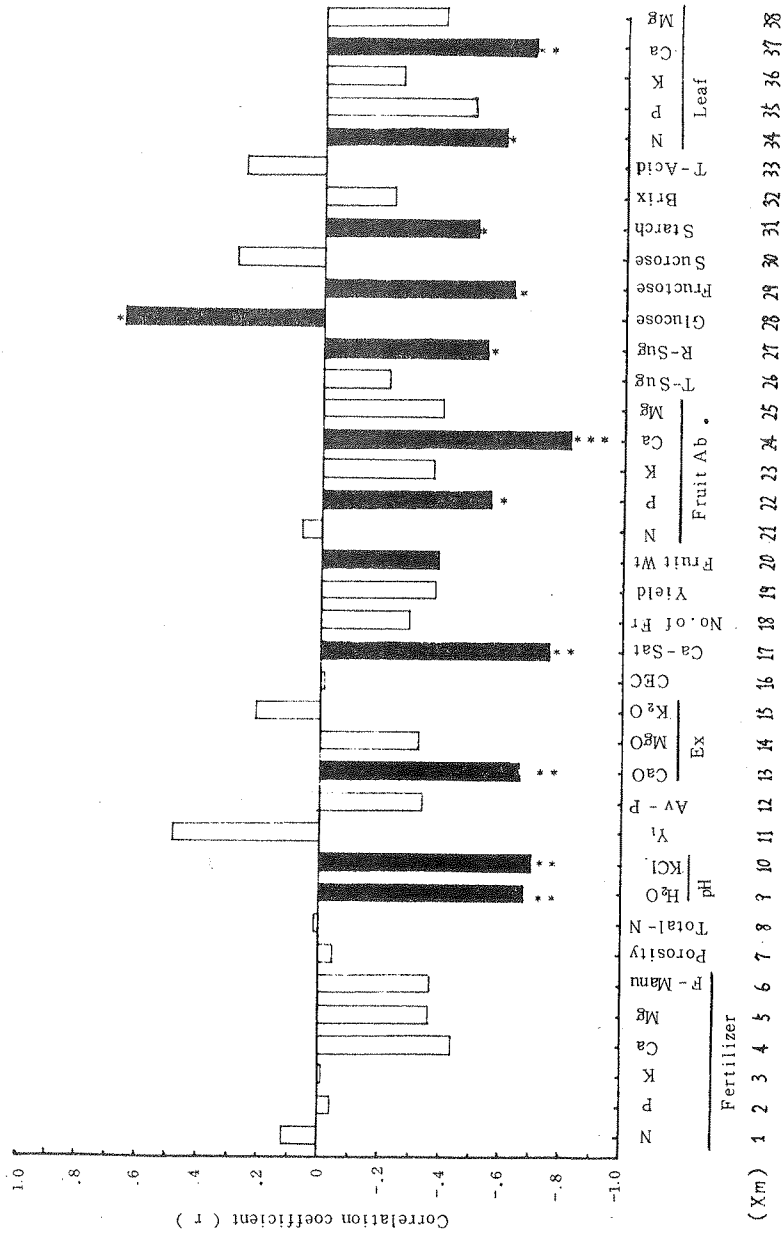


Fig. 1-3. Correlation coefficient of respective factors with to the occurrence of the physiological disorder of fruit hardening in grower's orchards (1974).

*, **, ***: Significantly different at 5.1 and 0.1 % level, respectively (Black sticks).
 F-Manu = Farmyard manure ; Av-P=Available P ; Ca-Sat = % of calcium saturation ; No. of
 Fr= No. of fruit ; Fruit Wt= Fruit weight ; Fruit Ab.= Fruit absolute quantity ; T-Sug=
 Total sugar ; R-Sug=Reducing sugar ; T-Acid=Titrateable acidity.

Table 1-12. Analysis of variance for fruit, leaf and soil property in grower's orchards (1974).

Property	Porosity	Total N	pH		Y ₁	Available P	CaO	MgO
			H ₂ O	KCl				
F	11.87	135.10	46.50	1208.62	8035.06	4684.86	684.24	123.5
Signifi- cance	**	**	**	**	**	**	**	**

Property	K ₂ O	CEC	% of Calcium saturation	No. of fruit	Yield	fruit weight	% of disorder	N-ab
F	96.49	757.09	3.84	6734.14	677.91	23.70	5051.01	6.40
Signifi- cance	**	**	**	**	**	**	**	**

Property	P-ab	K-ab	Ca-ab	Mg-ab	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose
F	17.89	11.73	9.50	3.66	2.07	4.93	4.44	50.4	6.88
Signifi- cance	**	**	**	**	NS	**	**	**	**

Property	Starch	Brix	Titrateable acidity	Leaf N	Leaf P	Leaf K	Leaf Ca	Leaf Mg
F	3.82	1.18	6.53	35.37	18.30	54.32	36.20	32.30
Signifi- cance	**	NS	**	**	**	**	**	**

** : Significant at the 1% level, NS : Non-significant.

N-ab : N absolute quantity, P-ab : P absolute quantity, K-ab : K absolute quantity, Ca-ab : Ca absolute quantity, Mg-ab : Mg absolute quantity.

Table 1-13. Means, standard deviation and correlation matrix of variables of grower's orchards (1974).

Variable	Mean	S.D.	pH		Ex-Ca	Ca Sat.	Fruit Wt.	P Abso.	Ca Abso.	R-sug	Gluc	Fruc	Star	Leaf	
			H ₂ O	KCl										N	Ca
pH { H ₂ O KCl	5.50	0.96	1.000												
	4.59	0.86	*** .921	1.000											
Exchangeable Ca	8.95 ¹⁾	7.10	*** .770	*** .889	1.000										
Calcium saturation	52.3 ²⁾	42.8	*** .834	*** .905	*** .936	1.000									
Fruit weight	277.6 ³⁾	33.3	-.265	-.071	-.034	-.193	1.000								
P absolute quantity	15.85 ⁴⁾	2.11	.230	***	***	.202	.291	1.000							
Ca "	10.59 ⁴⁾	3.25	*** .596	*** .690	*** .690	*** .597	.083	*** .654	1.000						
Reducing sugar	8.94 ⁵⁾	0.84	.253	***	*** .446	.214	.392	*** .700	*** .665	1.000					
Glucose	3.34 ⁵⁾	0.43	-.118	-.287	*** -.354	-.242	-.202	*** -.590	*** -.698	*** -.492	1.000				
Fructose	4.59 ⁵⁾	1.14	.244	***	*** .479	.259	.403	*** .761	*** .777	*** .928	*** .756	1.000			
Starch	0.023 ⁵⁾	0.009	*** .434	***	*** .162	.306	-.153	.013	-.157	-.106	.305	-.199	1.000		
Leaf N	2.50 ⁶⁾	0.20	.252	***	.296	.145	.254	*** .790	*** .636	*** .614	*** -.401	*** .633	.064	1.000	
Leaf Ca	1.34 ⁶⁾	0.27	*** .741	*** .730	*** .694	*** .605	.062	*** .322	*** .495	*** .438	.005	*** .322	*** .363	*** .447	1.000
% of disorder	71.0	15.1	*** -.647	*** -.675	*** -.659	*** -.589	-.007	*** -.522	*** -.792	*** -.479	*** .634	*** -.611	*** -.152	*** -.507	*** -.619

¹⁾ me/100 g, ²⁾ %, ³⁾ g, ⁴⁾ mg/fruit, ⁵⁾ % of fresh weight, ⁶⁾ % of dry weight.

さらに、障害果発生程度と、それに関係すると考えられる特性の影響の強さを測るために重回帰分析を行なった。

データ処理は東京都立工業技術センターの電子計算機FACOM 230-50型を用いた。

1) 主成分分析による果樹園の分類

Table1-1に示したA,B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,O,P園から各園3樹ずつ選んだ合計42樹のサン

プルについて果実の化学的成分および果樹園の土壌理化学性の13特性値に基づいて主成分分析を行なった。

第1主成分から第4主成分までの固有値とその固有ベクトルはTable1-14のとおりである。第1主成分で全変動48.4%が説明されたことになり、第2主成分までを考慮すると全体の約72%の変動を説明したことになる。

固有ベクトルは対応する主成分における各特性値の“重み”を現わし、その絶対値が大きいほどその主成分を説

Table 1-14. Vectors and contribution of variables of grower's orchards (1974).

Variable	Component No.				Contribution on 4 Components
	1	2	3	4	
X ₉ pH { H ₂ O	0.294	-0.347	-0.008	-0.065	86.7
X ₁₀ { KCl	.336	-.270	-.065	.105	91.4
X ₁₃ Exchangeable Ca	.338	-.206	-.173	.232	92.7
X ₁₇ Calcium saturation	.293	-.325	-.212	-.126	93.0
X ₂₀ Fruit weight	.058	.323	.339	.717	89.6
X ₂₂ P absolute quantity	.280	.276	.198	-.340	86.7
X ₂₄ Ca "	.359	.098	-.231	-.108	91.7
X ₂₇ Reducing sugar	.293	.273	.150	.127	80.7
X ₂₈ Glucose	-.230	-.292	.404	.139	80.9
X ₂₉ Fructose	.312	.321	-.038	.057	92.9
X ₃₁ Strach	.053	-.334	.546	-.235	76.7
X ₃₄ Leaf N	.263	.220	.344	-.383	84.7
X ₃₇ Leaf Ca	.286	-.214	.331	.180	81.4
Eigen value	6.290	3.039	1.230	0.811	Mean 87.6 %
Contribution	0.484	0.234	0.095	0.062	
Cumulative contribution	48.4 %	71.8 %	81.3 %	87.6 %	

Note : m in X_m are the same symbols in the Fig.3.

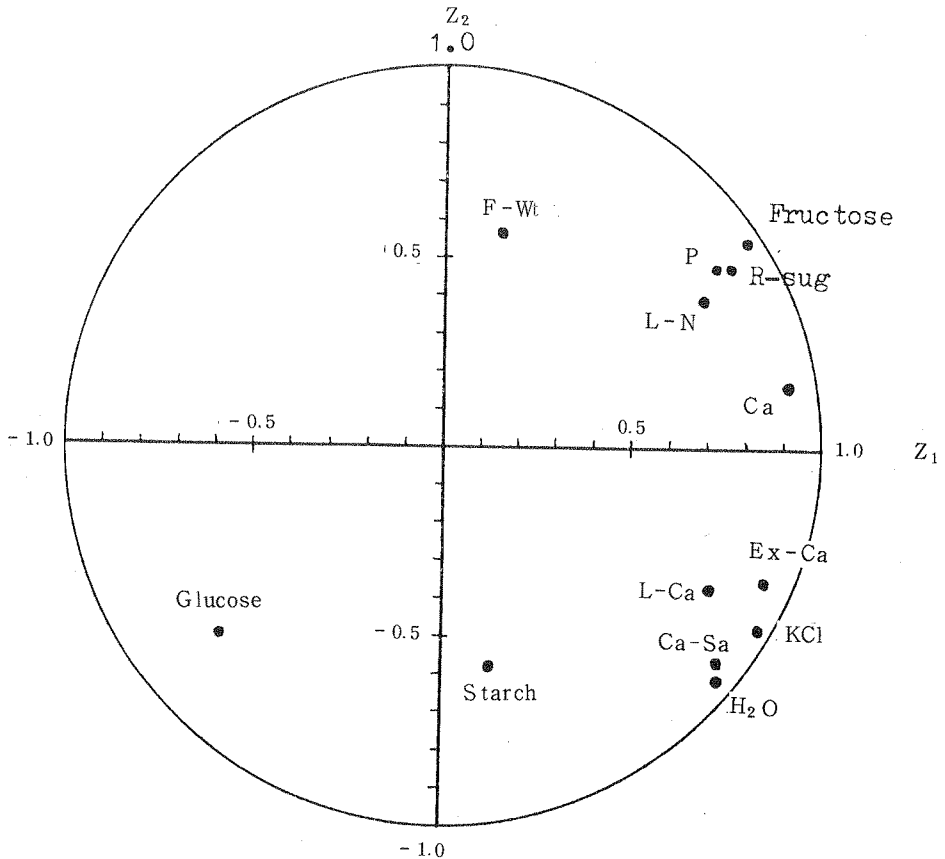


Fig. 1-4. Correlation between variables and the first and the second components (factor loading).

R-sug = Reducing sugar, F-Wt = Fruit weight, L-N = Leaf N, L-Ca = Leaf Ca, Ex-Ca = Exchangeable Ca, Ca-Sa = Degree of calcium saturation.

明している^{73, 121, 173)}。さらに、この関連の大きさをよりはっきりさせるために、各特性値の因子負荷量(各特性値と主成分との相関係数)に関して第1主成分を横軸(Z_1)に、第2主成分を縦軸(Z_2)にして二次元の座標上に示したものがFig. 1-4である。

すなわち、第1主成分では果実中のカルシウム絶対量、還元糖、果糖、土壌中の置換性カルシウム、pH (KCl, H_2O)などが正の大きい値をとっている。このことから第1主成分は果実成分量、土壌中のカルシウム含量およびpHの高低を表わしていると考えられる。第2主成分では果重および果糖含量などが正の値をとり、でんぷん、ブドウ糖含量及び土壌のpH (H_2O)、石灰飽和度が負の値をとり、この主成分は果実の大小や果実成分と土壌塩基特性との対比を示している。

調査したナシ園を第1及び第2主成分スコアに基づいて図示した結果がFig. 1-5である。調査ナシ園を障害果の発生率の程度に基づいて識別してみると、障害果発生率が55%以下の少ないA, B, C園(○印)の各樹は第1主成分軸の右端に分布し、果実中のカルシウム絶対量、果糖、還元糖が多く、土壌中のpH (KCl, H_2O)、置換性カルシウムも高い特徴をもっていることがわかる。障害果発生率が56~70%とやや少ないK及びF園(●印)は右側に分布し、果実中のカルシウム絶対量、果糖、還元糖含量が比較的多く、土壌中のpH (KCl, H_2O)、置換性カルシウム、果重も大きい特徴をもっている。障害果発生率のやや高い71-85%のD, E, H, L, M, P園(▲印)は上述の果樹園と異なり第1主成分軸の左側に分布し、果実中のカルシウム絶対量、果糖、還元糖含量が

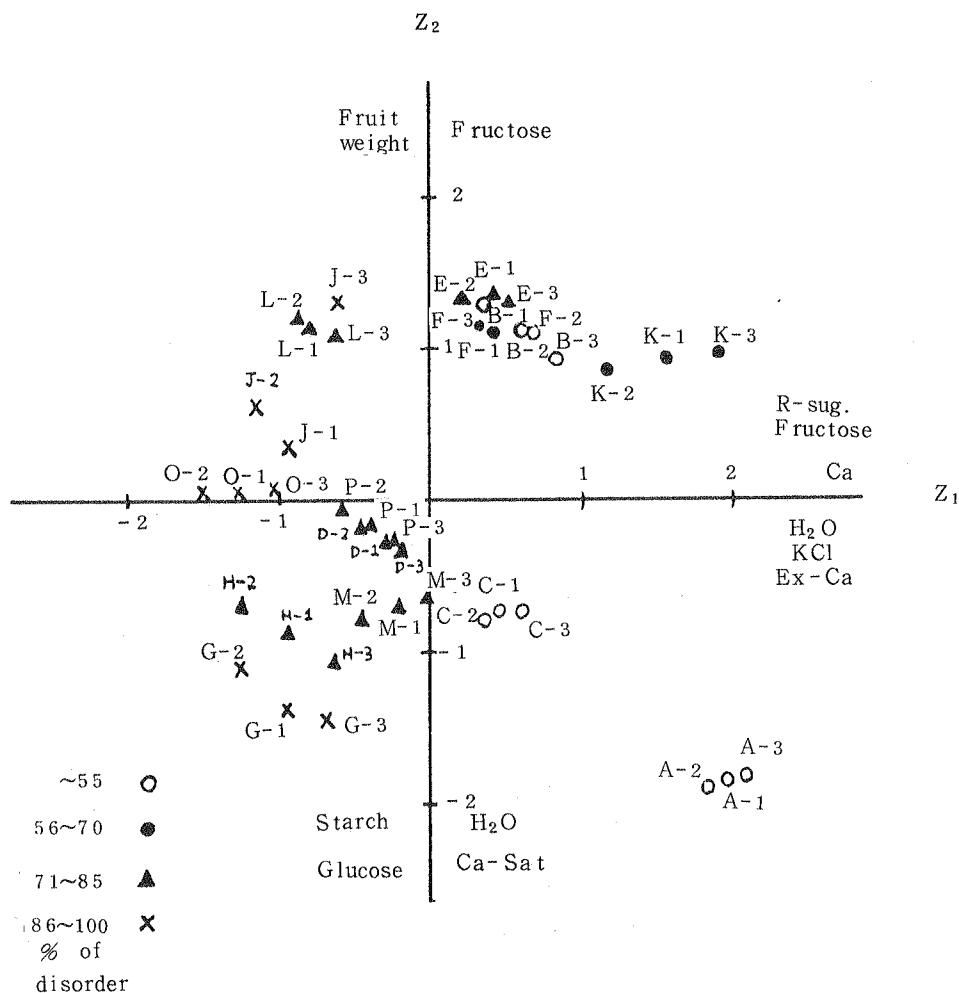


Fig. 1-5. Scatter diagram of grower's orchards based on component score (1974).

R-Sug. = Reducing sugar, Ex-Ca = Exchangeable Ca,

Ca-Sat = Degree of calcium saturation.

Refer to Table 1-1; A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, O, and P.

少なく、土壌中のpH (KCl, H₂O), 置換性カルシウムも低い特徴を有する。障害果発生率が86-100%と極めて高いG, J, O 園 (×印) は第2主成分軸の左側に分布し、果実中のカルシウム絶対量, 果糖, 還元糖含量が著しく少なく、土壌中のpH (KCl, H₂O), 置換性カルシウムも極端に低い特徴をもっている。

そこで、障害果発生率を従属変数 (Y) とし、第1主成分スコア (Z₁) を独立変数として単回帰式を求めた結果、 $Y = -12.236 Z_1 + 70.953$ が得られた。また、両者の

相関係数は $r = 0.813^{***}$ であった。障害果発生率と第2主成分スコア (Z₂) との単回帰は $Y = 0.613 Z_2 + 70.954$ が得られ、両者の相関は $r = 0.041$ であった。これらの結果から障害果発生率と第2主成分スコアの間には相関が認められなかった。

以上の結果から、障害果発生程度は第1主成分を説明する果実中のカルシウム絶対量, 果糖, 還元糖, 土壌中のpH (KCl, H₂O), 置換性カルシウムなどと関係があることが認められた。

2) 変数選択型の重回帰分析

主成分分析の結果、カルシウム絶対量、果糖、還元糖、pH (KCl, H₂O)、置換性カルシウム、果重などが障害果発生に関係していることが考えられた。これらの要因のうち、どの要因が強く関与しているかを明らかにするために重回帰分析を行なった。

Table 1-13の各特性値の相関行列から変数選択型の逐次増減法による重回帰分析を行なった。その結果をTable 1-15に示した。第1段階で選ばれた説明変数は果実中のカルシウム絶対量 (X₂₄) であり、その寄与率 (重相関係数 R²) は62.7%であった。続いて第2段階ではでんぷん (X₃₁) が選ばれ、寄与率は70.5%になった。第3段階ではブドウ糖 (X₂₈) が選ばれ、寄与率は74.5%、第4段階では葉中カルシウム (X₃₇) で82.1%になった。

3) 硬化障害果発生の指標

調査したナシ園の大部分に障害果の発生が認められたが、園によって重、軽症の差が認められたので、障害果の発現程度と果実中のカルシウム絶対量との関係について調べたものがFig. 1-6である。障害果の発現程度が重くなるにしたがってカルシウム絶対量が低下しており、

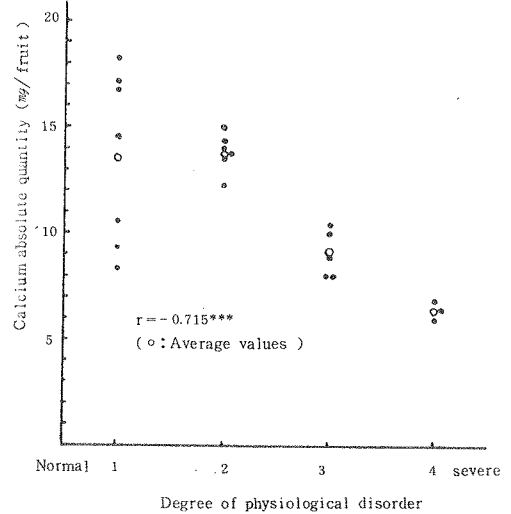


Fig. 1-6. Relationship between the degree of physiological disorder and calcium contents in 'Nijisseiki' pear fruits of grower's orchards (1974).

*** : Significant at 0.1% level.

Table 1-15. The multiple regression equation of grower's orchards (1974).

Step	The multiple regression equation	Coefficient of multiple determination (R ²)	Selected variable
1	$Y = -3.672 X_{24} + 109.868$	62.7 %	Ca absolute quantity
2	$Y = -3.878 X_{24} - 499.318 X_{31} + 123.592$	70.5	Starch
3	$Y = -2.984 X_{24} - 601.426 X_{31} + 10.165 X_{28} + 82.497$	74.5	Glucose
4	$Y = -1.11 X_{24} - 342.127 X_{31} + 18.597 X_{28} - 24.562 X_{37} + 61.26$	82.1	Leaf Ca
5	$Y = -1.442 X_{24} - 307.06 X_{31} + 20.283 X_{28} - 28.214 X_{37} + 3.625 X_{27} + 34.437$	84.4	Reducing sugar
6	$Y = -2.169 X_{24} - 414.515 X_{31} + 20.38 X_{28} - 33.283 X_{37} + 4.638 X_{27} + 3.921 X_{10} + 25.057$	85.5	Y ₁
7	$Y = -1.565 X_{24} - 308.728 X_{31} + 23.131 X_{28} - 31.794 X_{37} + 3.778 X_{27} + 8.545 X_{10} - 5.974 X_9 + 23.663$	87.0	pH (H ₂ O)

発現程度が軽くなるにつれカルシウム含量も増加した。それらの間には $r = -0.715^{***}$ の相関関係が認められ、商品価値を有する最低限度の軽症果(+)のカルシウム絶対量は 10mg/果 であった。

また、土壌条件を考慮して土壌中における石灰飽和度と発現程度との関係について示したものがFig. 1-7である。被害の著しい症状が認められた園は石灰飽和度も低下しており、果実中のカルシウム含量ほど顕著ではなかったが、 $r = -0.458^*$ の相関が認められた。そして軽症果発生時の石灰飽和度は40%以下であった。

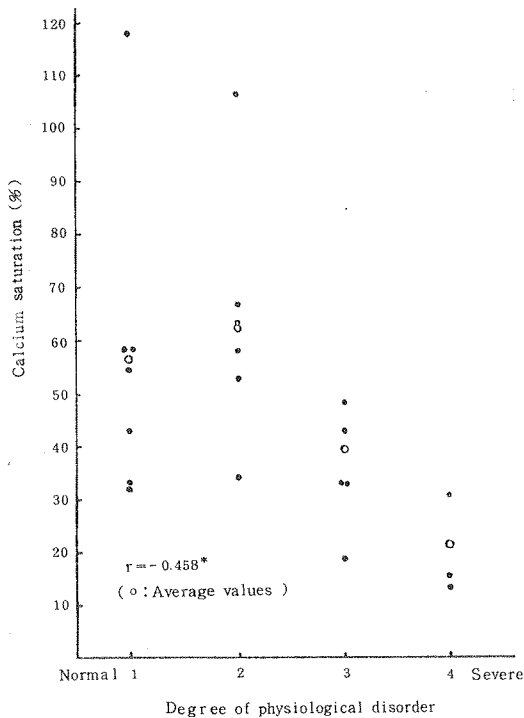


Fig. 1-7. Relationship between the degree of physiological disorder and calcium saturation in the soil of grower's orchards (1974).

*: Significant at 5% level.

3. 考 察

調査したナシ園はFig. 1-5から障害果発生率、果実成分量及び土壌塩基特性に対して多様な変異を示している。すなわち、調査したナシ園は障害果発生率と果実中

のカルシウム、果糖、ブドウ糖、土壌中の置換性カルシウム、pH (H_2O , KCl) などによって主に説明される第1主成分に区別された。このことから、これらの調査項目が相関関係しながら障害果発生率と極めて関係が深いことを知った。これらのことはすでに他の研究者によって明らかにされてきた結果^{66, 67, 69}と一致している。すなわち、林^{31, 32}の果実中でのんぶん含量が多いとする報告や、横溝¹⁷¹が水耕でカルシウムを欠除した際に炭水化物の蓄積低下が認められたとする報告とも一致していた。

さらに、変数選択型の重回帰分析による結果では、障害果発生率(Y)に関連する第1要因として、果実中のカルシウム絶対量が選出された。続いてでんぶん、ブドウ糖、葉中カルシウムの順で選ばれ、これらの4要因で80%以上の説明が出来る結果であった。なお、重回帰分析では土壌pH及び置換性石灰の2要因は選出されなかったが、Table 1-13の相関行列からも明らかなように、それらはカルシウム絶対量と極めて高い相関が認められていることから判断するならば、カルシウム絶対量の要因内に含まれてしまっているという解釈をしてもさしつかえないことになる。

以上のことから、障害果発生は直接的には果実中のカルシウム含量が不足し、それが糖およびでんぶんなどの構成異常を生じた結果、起ったものと考えられる。そうした糖構成の異常の結果、呼吸作用が異常に高まり^{66, 69}、その結果、解糖作用が促進されるため^{63, 67}果実内の水分含量が低下している⁶⁵のと相まって、収穫後の腐敗も促進されたものと考えられる。

さらに、カルシウム不足を起こす原因として土壌の悪変による面もある。障害果発生時の土壌状態として、土壌pHの低下、置換性石灰の不足、石灰飽和度の低下などがあり、なかでも石灰飽和度が約40%以下の時点が発生限界点であることが明らかとなった。そして、障害果発生時の果実中のカルシウム含量は 10mg/果 以下であろうと推測したが、これらの指標は今後現地で指導する上で利用できるものと思われる。主成分スコアから分類した各調査園はA, B, C園が比較的土壌改良も進んでおり、果実品質も良好なものが生産されていた。しかし、D, E, G, H, J, M, O, Pの各園は障害果発生率が高く、でんぶん含量が多く、より一層の土壌改良が必要であるように思われた。

こうしたカルシウム不足に原因するとする報告としては、二十世紀では佐々木¹²⁵⁾、大野¹¹⁸⁾、長十郎では猪瀬

ら^{48,49)}があり、西洋ナシの尻ぐされ、石ナシ果では深井²⁴⁾らがある。なかでも深井は土壌中の石灰飽和度について約40%以下が発生限界点と推測しているが、本実験の結果はその結果とまったく一致しており、また、障害果の腐敗もていあ部から始まる点でも一致していた。

4. 摘 要

第1節における実態調査から得られた成績を用いて、調査ナシ園の二十世紀について主成分分析ないし重回帰分析による要因分析を行ない、障害果発生について検討した。

1) 主成分分析の結果、ナシ園は果実中のカルシウム、

果糖、還元糖及び土壌中のカルシウム、pH (KCl)を表わす第1主成分によって大きく分類することができた。これらの成分が相関連しながら障害果発生をひきおしていることを知った。

2) 変数選択型の重回帰分析により、障害果発生率に関連する第1要因として果実中のカルシウム絶対量が選出され、続いて果実中のでんぷん含量、ブドウ糖、葉中のカルシウム含量の順で選出された。

3) 障害果発生の指標として、1果中のカルシウム含量が10mg、土壌中の石灰飽和度が約40%が発生限界であろうと推則した。

第2章 硬化障害果発生樹の果実生産力と生育

第1節 硬化障害果発生樹の年次別生産量と生育

1. 緒 言

一般に障害果が発生する樹は樹勢が劣っており^{110,135)}その上、着果過多にすると発生量が多くなるとされている¹¹⁸⁾。一方、障害果は大果になるにしたがって発生量が多くなるという報告⁷⁾もあり、果実生産力と障害果発生との関係について必ずしも厳密に究明されているわけではない。本実験では、障害果の発生樹が果実生産力および樹の生育上、どのような特徴が認められるかについて年次別に検討した。

2. 材料および方法

供試した二十世紀樹は東京都農業試験場果樹園(立川市富士見町)に栽植されている1946年定植のものであるが、1971年(樹齢25年生)から1978年(32年生)までの8年間にわたり障害果が80%以上発生した樹を10樹、まったく発生認められなかった健全樹10樹(1971年は両区20樹)を用いた。台木はニホンマメナシ台木を使用しており、以下各章の試験は同台木の供試樹である。障害果発生樹と健全樹の生産力を判断するために、毎年、収穫期に各樹の着果量、収穫量、1果重を測定した。なお、当果樹園は多摩川流域の沖積土壌であり、10a当り35本植の折衷式棚仕上(Fig. 2-1)、幹周67cm、樹冠部は3本主枝仕立で5.4m四方に広がり、棚面いっぱいに生育している。土壌の理化学性は礫が7~16%、孔隙率が約67%、腐植が3~5%、全チッ素が2~3%、pHがH₂Oで4.1~5.3、KClで3.6~4.5、置換性塩基が10~13me、CECが17~25me、石灰飽和度が44~78%である。毎年の肥培管理は、4,000kg収量目標で、年間チッ素—20、リン—10、カリウム—14kg/10aを、元肥80%、礼肥20%の割合で行ない、草生栽培を実施している。摘果は5月上旬、6月上旬の2回で10a当り着果数14,000果/10a目標に行ない、樹勢に応じて着果数を多少調節した。

新梢の測定は毎年冬季に剪定の際に、剪除した長さ5

cm以上の枝について行なった。なお、結果枝として分けて調査した新梢は長さ、太さを測定し、あらかじめ各樹ごとに測定し、算出した1cm当りの重さの定数を乗じた数値を加算し、各樹ごとの新梢本数、総重量、1枝重量とした。



Fig. 2-1. The condition of normal and abnormal tree of 'Nijisseiki' pear (1971).

Left : Normal tree,
Right : Abnormal tree.

3. 実験結果

二十世紀の障害果発生樹と健全樹における年次別の着果数、収穫量、1果平均重についてFig. 2-2に示した。着果数は収穫目標4t、14,000果として摘果をしているため、10a当り35本植で1樹当り約400果程度になる。

しかし、樹勢の状態を考慮して調節しているほか、台風、病害虫などによる落果が考えられるので多少の増減が認められた。そうした背景はあるものの、Fig. 2-2 Cのように、樹齢が25年生から27年生までの健全樹は420果から490果着果し、障害果発生樹は400果前後であった。28年生(1974)以後は樹齢の進展とともに生産力の低下がやや認められたこともあって、B図のように一定の果重を確保するために、両区とも350果から300果へと多少減少させるようにし、1977年まではほぼ一定の収穫量を得るようにした。

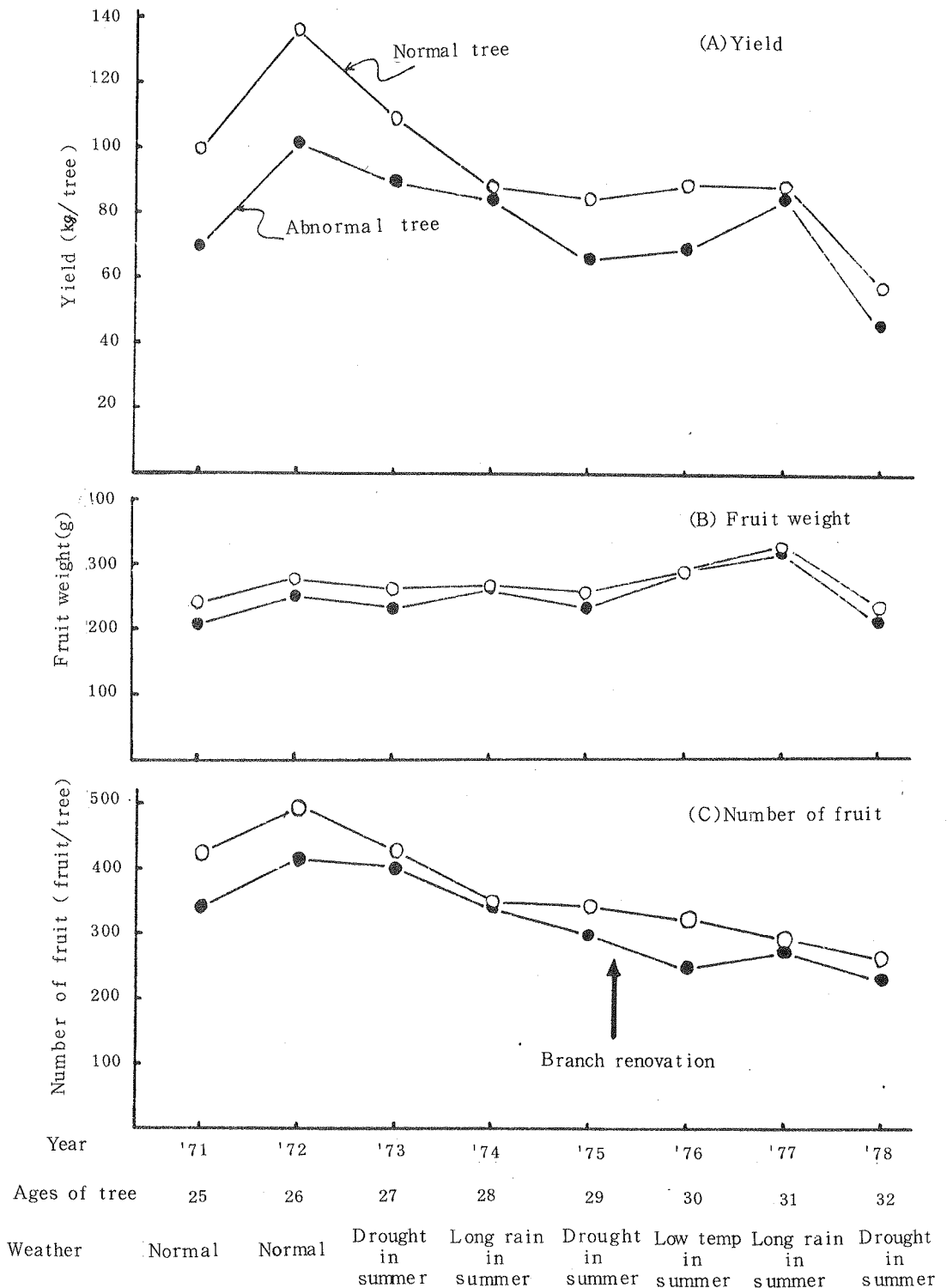


Fig. 2-2. Annual changes in the yield, number of fruit, and fruit weight of normal and abnormal trees of 'Nijisseiki' pear.

障害果発生樹は健全樹とほぼ同程度の果実発育を目標としたため、健全樹よりも着果数が減少し、その結果、収穫量が、最大18kg('76)、最少3kg('77)健全樹より少なかった。なお、1978年は夏季が異常早魃であったため、着果数を約250果/樹程度まで減少しているにもかかわらず、収量及び1果平均重がともに低下した。こうした悪条件下での障害果発生樹の果実は収量、1果平均重と

も健全樹の果実より劣っていた。

1果平均重の差があまり認められない場合、着果数に応じて収量に変化するので、この関係が障害果発生樹と健全樹との間にどのようなものであるかを調べたのがFig. 2-3である。着果数と収量との間の相関は、障害果発生樹と健全樹とがほぼ同様な傾向を示しているが、収量の分散が健全樹は回帰線に広く分散しているのに対し、障

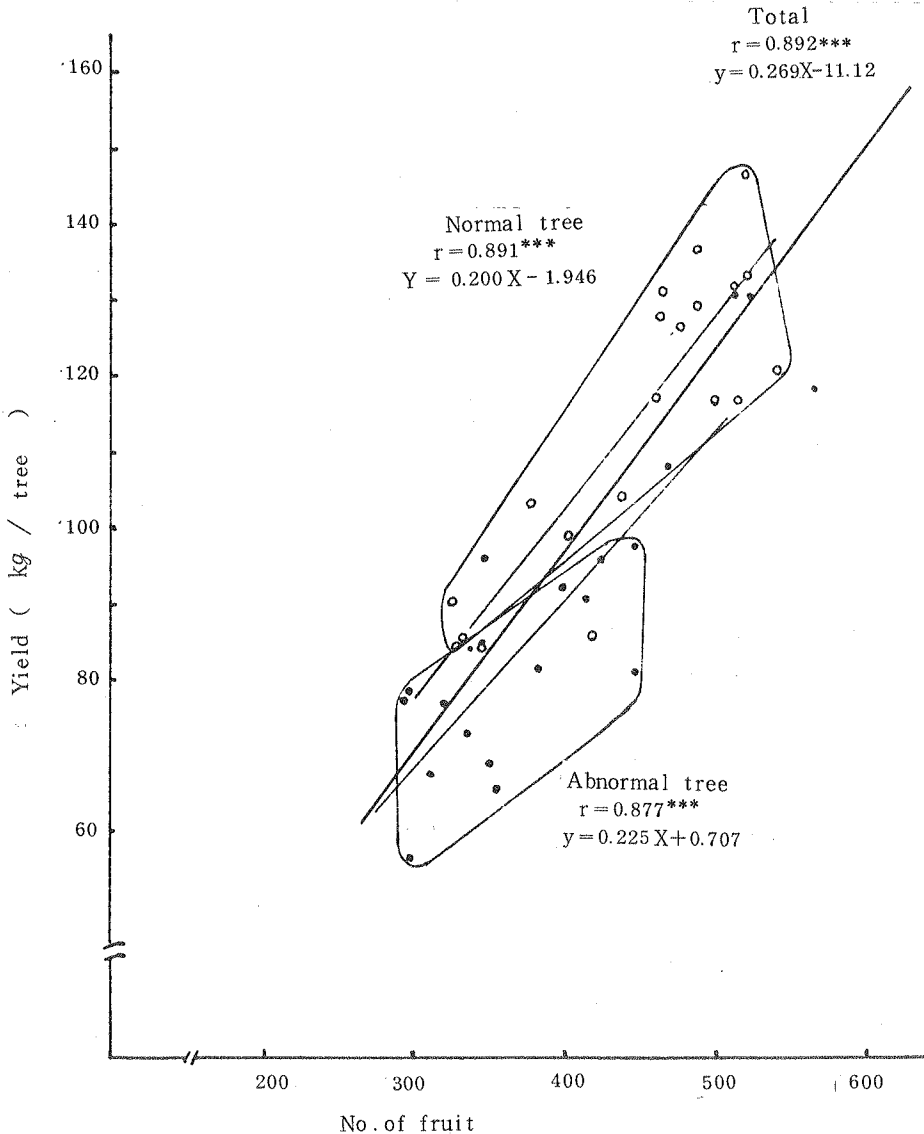


Fig. 2-3. Relationships between the yield and number of fruit in the abnormal and normal trees of 'Nijisseiki' pear (1971).

***; Significant at 0.1% level.

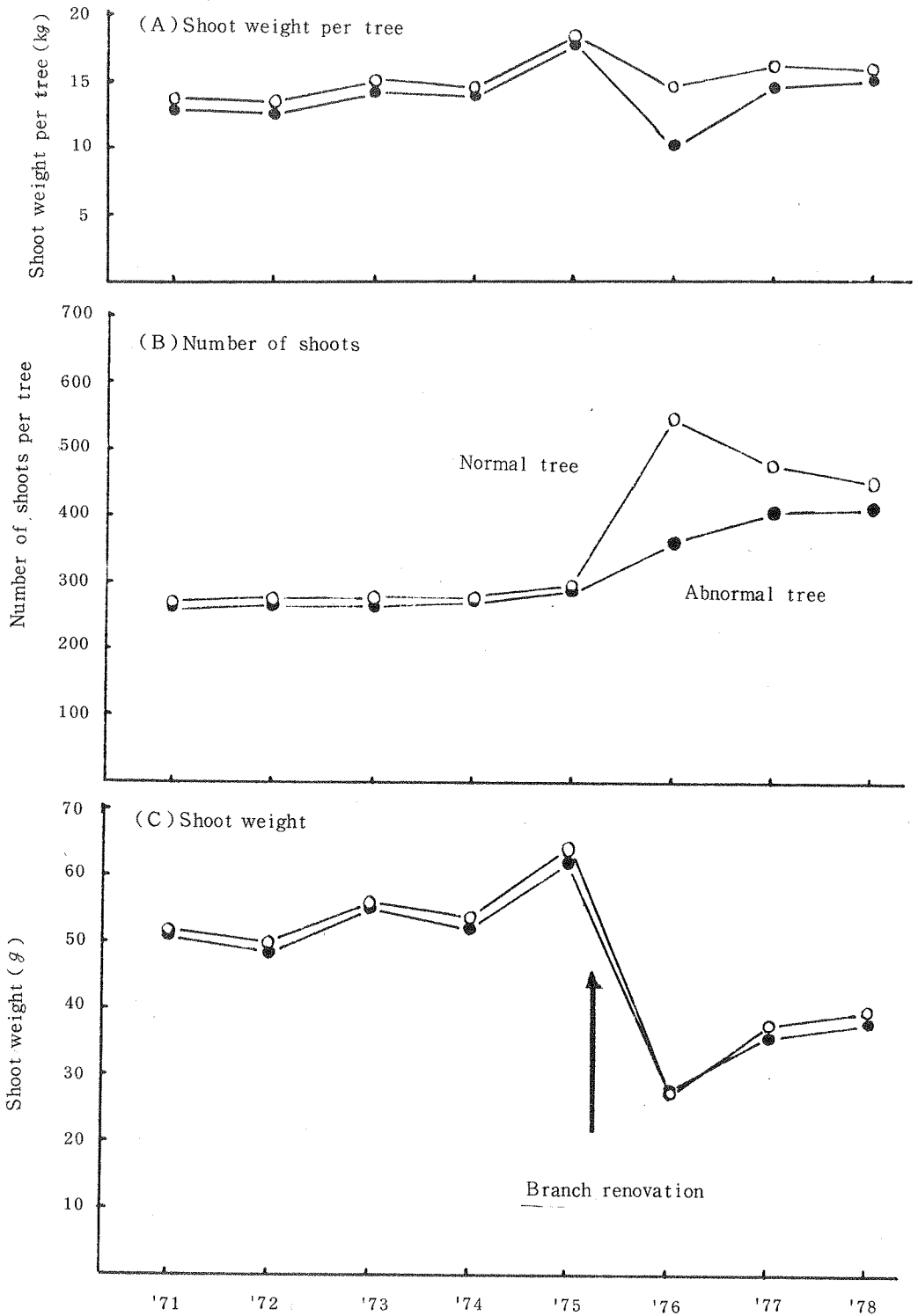


Fig. 2-4. Annual changes of average weight of a shoot, total weight of shoots per tree and number of shoots per tree in the normal and abnormal trees.

害果発生樹はやや狭い範囲に分散していた。また、健全樹よりも収量の分散が多少低い位置に存在し、これは障害果発生樹が着果数、収量とも健全樹より少く、いいかえるならば果実生産力が低いことになる。

つぎに、障害果発生樹と健全樹における樹勢を判断する目途として、新梢の生育量、すなわち新梢発生本数、伸長量、重量について測定した結果をFig.2-4に示した。1971年から'75年までの障害果発生樹と健全樹の新梢発生本数はB図のように、それぞれ263~293本、270~295本とはほぼ一定であり、新梢重量も障害果発生樹は13~18kg、健全樹は14.5~18.5kgと差が少なかった。しかしながら、1枝当りの新梢重では障害果発生樹が51~61g、健全樹は53~63gと、総重量の変化とはほぼ同様であり、障害果発生樹と健全樹の生育差はあまり認められなかった。

1975年の冬季に果台(短果枝)の老化が見られたので側枝更新を試みた結果、両区とも翌年の新梢発生本数が増加し、とくに健全樹の発生本数の増加が著しかった。しかし、1枝当りの重量では両区とも'75年の半分量の28gで、総重量では健全樹が前々年と同様15kg、障害果発生樹は10.5kgであったため、総じて後者は短い新梢が多く発生した結果になった。1977年以降は、1枝当り重量、総重量とも側枝更新前の状態に近づきつつあり、新梢発生本数も減少する傾向が認められた。

これまで得られた果実生産量と生育との間でどのような相関があるかをFig.2-5に示した。収穫量と新梢重量との間には1%レベルの正の有意相関が認められ、その上障害果発生樹と健全樹の間には明らかに差異が認められた。すなわち、障害果発生樹は収量、新梢重量とも健全樹より下位に分布しており、これは樹勢が劣っていることを示していた。

4. 考 察

障害果発生樹はFig.2-1にみられるように、一般的な栽培管理を行なっている条件下では、外観的に樹の生育、収穫量への影響といった面では判断し難い。しかしながら、各樹ごとの年次別調査では明らかに着果数、収穫量、1果平均重において健全樹のそれより低下しており、樹の果実生産力が低下していることが明らかであった。⁷³⁾ 岸本⁷³⁾によれば、果重に影響する主要因は着果数であるとしており、また、結果過多が障害果発生量を多くするという報告^{33,48)}もあることから、障害果発生樹は健全樹よりも少なく着果させたが、それにもかかわらず、

障害果発生樹は1果平均重がやや小さく、収量も毎年健全樹より劣っていた。このことはユズ肌果が常に小さいとする報告^{102,107)}と一致しており、果実生産力が低下しているためと考えられる。

1976、'77年における障害果発生樹と健全樹の1果平均重がともに増加し、両区の差が認められなくなったのは、着果数を320果から280果に減少させたためであり、収量の上では増加していない。したがって、本実験の栽植密度を前提とするとき、この樹齢では1果量280gの果実を300果/樹着果させ、1樹当収量84kgが適正であろう。

枝梢の生長と果実の生産との間には密接な関係があることは多くの研究者^{48,118,135,176)}により明らかにされており、本実験でも同様な結果であった。しかし、千葉県果樹栽培標準技術体系によれば樹冠占有面積を大きくすると、障害果発生を起しやすいとし、徒長枝の発生を抑えることを指導している。さらに、強勢な徒長枝が発生した基部にはユズ肌果が多いことや、弱勢の結果枝の基部の果実はユズ肌果となりやすいとする報告^{32,136)}もある。それらの意見は主に水分競合の面から、果実の水分不足が“ユズ肌果”発生に結びつきやすいという前提での論議である。しかしながら、障害果発生樹はその果実生産量さえも健全樹より低下していたことは樹体内

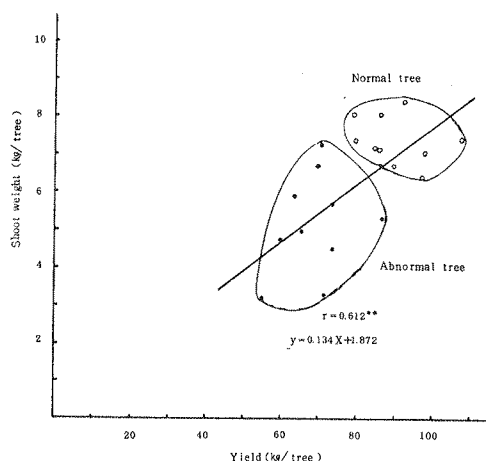


Fig. 2-5. Relationships between the yield and shoot weight in the abnormal and normal tree of 'Nijisseiki pear (1974).

** ; Significant at 1% level.

の水分不足よりも、むしろ樹の果実生産力の低下、樹勢の衰えに起因しているように思われた。

一般にみられる樹勢の衰退は年ごとに進行し、徐々に枯死へ移行していくものであるが、果実生産力と新梢伸長の面から障害果発生樹を年次的に判断するならば、健全樹よりも一定の差のままの生産力、樹勢の低下であろう。とくに、1975年冬季に実施した側枝更新は、樹にとって厳しい処理であるが、障害果発生樹の新梢発生数および新梢総重量が、健全樹よりもやや少ない状態にとどまっていた。この事実は障害果発生樹が衰弱および枯死へ進行しているものではないことを暗示していた。さらに、こうした現象は後章（第4章第2節）で述べる何等かの成分代謝の異常と関係があらうと推測することが出来る。

5. 摘 要

障害果発生樹が果実生産力および樹の生育上どのような特徴が認められるかについて、二十世紀を25年生（1971）から8年間、年次別に調査し、それらの関係について検討した。

第2節 徒長枝および着果量調節が硬化障害果発生に及ぼす影響

1. 緒 言

前節で障害果発生樹は果実生産が低下しているものの、新梢の生長は健全樹のそれとあまり変らないことを明らかにした。しかしながら、障害果発生に徒長枝がかかわる役割として、徒長枝の発生した結果枝に着生した果実は水分競合の面から障害果の発生量が多くなるという報告^{27,134)}や、徒長枝の発生と存在は、同化養分の消耗や結果位置の葉への日照低下など、果実品質を良くする上では直接的に役立たないとする意見（米山寛一“ナシの生育診断と栽培”農文協出版物）、また、実際の栽培上で徒長枝はいらない³¹⁾とまで考えられている。

また、樹勢に関連して果実发育の面から結果過多は障害果発生量を多くするという“千葉果樹栽培標準技術体系”の見解や、障害果発生樹の果実は全般的に小果であったとする報告¹⁰⁷⁾、これとは反対に、大果ほど発生する割合が多いとする意見⁷⁾、さらに、樹冠部の着果部位によって障害果の発生量が異なるとする報告^{107,134)}もある。これらの報告は障害果発生の認められた樹の特徴に

1) 障害果発生樹は健全樹に比較して、着果数、収量1果平均重とも劣っており、果実生産力が低下していた。

2) 障害果発生樹は新梢発生本数、新梢重量、1枝重量とも毎年一定の发育を示したが、健全樹との間では顕著な差が認められなかった。1975年の冬季に側枝更新を行なった結果、両区とも新梢発生本数が増加し、障害果発生樹は衰退現象が進行しているものではなかった。

3) 果実生産量と新梢伸長量との間には1%レベルの正の有意相関が認められ、障害果発生樹は果実生産量が健全樹より劣っており、樹勢が低下していた。しかし、この衰退は成分代謝などの異常から生じている一時的な現象のように思われた。

について述べたものであり、これらの現象を総合的に説明する試みはなされていない。

そこで、本実験では樹冠部の着果部位別に徒長枝の有無の面から、徒長枝が障害果発生にどのような影響を及ぼしているかを検討した。さらに、果実肥大と障害果発生との関係について、着果数を調整することが、障害果発生と果実内成分の質的变化にどのような影響を及ぼすかを樹冠部の着果部位別に調査した。

2. 材料および方法

実験に供試した二十世紀樹は前節と同じ場に栽植されているもので、調査は1973(27年生)、'74年の2か年にわたって実施した。

徒長枝処理は開花直後の4月下旬から新梢が1cm前後になったものをすべて摘除し、新梢発生が認められなくなった7月中旬まで実施した。ただし、主枝、亜主枝、側枝の先端の新梢は除外した。

樹冠部の区分は主幹から主枝の先端までの長さを3等分にし（Fig.2-6 参照）、内側（1.2m以内）、中間

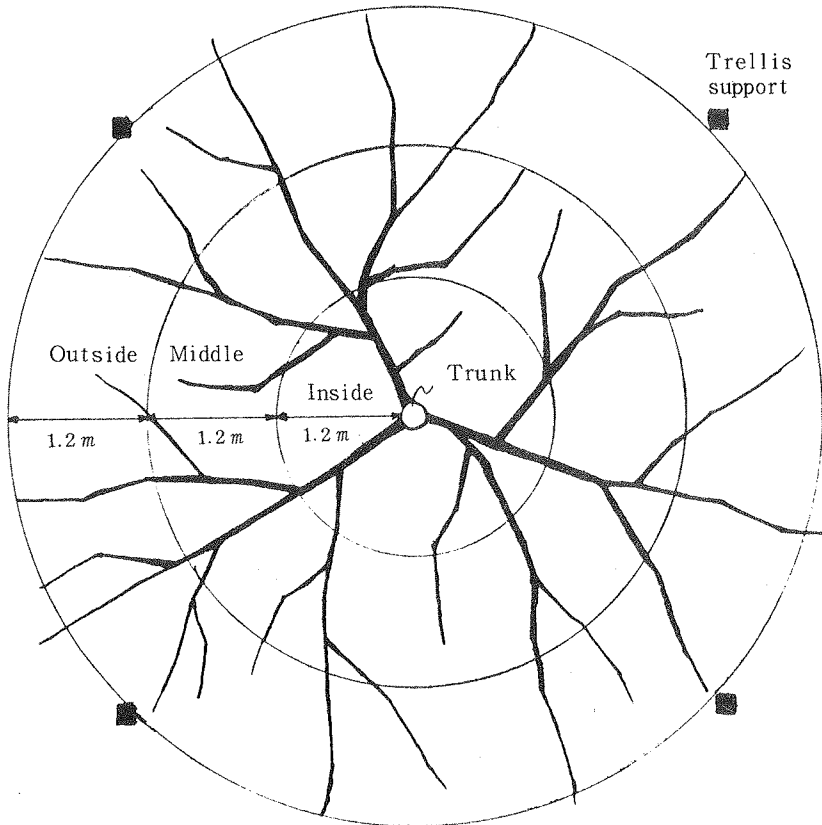


Fig. 2-6. Division of fruiting parts of tree crown.

The respective plots divided the tree crown into three equal length from trunk by using concentric circle. (5.4 m square, 35 trees/10a).

(1.2~2.4 m 以内), 外側 (2.4 m 以上) とした。樹冠部の占有面積は内側 4.52 m², 中間 13.57 m² (内側の 3 倍), 外側 22.61 m² (内側の 5 倍) であった。

摘果処理供試樹は, 1974 年 (28 年生) に障害果発生樹および健全樹とも樹勢が比較的旺盛で, 毎年約 500 果を着果させている "二十世紀" 樹を各 3 樹ずつ選び, 対照区 (500 果) に対し, 40% 摘果区は 1 樹当り 300 果になるよう 5 月中旬に摘果を行なった。

果実調査は徒長枝摘除試験, および摘果処理試験とも樹冠部内の内側, 中間, 外側別における果数, 重量, 1 果平均重, 障害果発生量について, 収穫期に行なった。

摘果処理試験の果実分析は部位別に, 果実を各部位 3 果ずつ採取して果実中の無機, 有機成分の分析を行なった。無機成分のチッ素, リン, カリウム, カルシウム,

マグネシウム, 有機成分の全糖, 還元糖, 果糖, ブドウ糖, ショ糖, でんぷん等の分析法は, 第 1 章第 1 節で実施した方法と同じである。

40% 摘果が新梢伸長へ及ぼす影響については, 各部位別に新梢の発生本数, 伸長量, 重量, 1 枝重について落葉直後に全調査した。

3. 実験結果

1) 徒長枝摘除が果実発育および硬化障害果発生に及ぼす影響

徒長枝を摘除した際の生育状況については Fig. 2-7 に示したように, 徒長枝の繁茂による短果枝葉への日照のさえぎりがなくなり, 充分受光する状態になった。したがって, 地表面へ透過する日照量も多くなった。また,

梅雨明け頃から始まる不時落葉も少なく、1短果枝毎には第1葉(豆葉)と本葉が1枚落葉した程度であった。

1973年の樹冠部位別にみた果実発育は、Table 2-1に示したように、障害果発生樹では着果数が徒長枝無摘除区よりも徒長枝摘除区でやや多かったものの、1果重が小さかったため1樹当りの収量も少なかった。しかし、健全樹では、着果数は摘除区でやや多く、1果平均重もやや大きかったため収量が増加していた。

これらの関係について、A徒長枝摘除・放任区間、B障害果発生樹・健全樹間、C樹冠部位別間の三元配列の分散分析を行なった結果をTable 2-2に示した。着果数と収量には徒長枝摘除の効果が認められた。これは障害果発生樹と健全樹間において摘除区と放任区(徒長枝伸長)の数値を加算して、比較しているために、こうした有意差となって表われた。また、障害果発生樹と健全樹間および樹冠部位別間でも徒長枝摘除が着果数、収量にも影響していることが明らかとなった。しかし、A×B(徒長枝摘除と障害果発生樹間)の場合には1果平均重に、A×C(徒長枝摘除と樹冠部位別間)、B×C(障害果発生樹と樹冠部位別間)では着果数と1果重へ影響を及ぼしていた。

1974年にも前年と同一樹に徒長枝摘除を行なった結果、Fig. 2-8に示したように障害発生樹間の比較では、着果数はほぼ同量であったが、収量(重量)は摘除区で多く、したがって、1果平均重もやや多くなった。また、



Fig. 2-7. The condition after dis-budding of 'Nijisseikj' pear tree (1974).

Foreground: Disbudding trees. The buds over 1 cm in shoot were dis-budded from the end of April to the middle of July.
Background: Non-disbudded trees.

健全樹間の比較では摘除区の着果数が少なかったものの収獲量がやや増加し、その結果1果平均重でも大きくなった。したがって、徒長枝摘除は摘果時の着果数に左右されるものの、ほぼ同量であったならば、1果平均重がやや増加し、1樹当りの収量には顕著な差となって現われることが明らかになった。

つぎに、徒長枝摘除が障害果発生率に及ぼす影響について、1973年には全体で摘除区が83.8%、放任区は87.8%で5%レベルの有意差が認められた(Table 2-1, Fig. 2-9)。樹冠部位別でも摘除区、放任区とも内側>中間>外側の順に発生率が高くなっているが、摘除区は各部位とも放任区より低下していた。しかし、1974年には摘除区は93.8%、放任区は89.3%と前年とは逆になり、有意差は認められなくなった。これら2か年の結果から判断すると、徒長枝摘除は他の土壌や気象条件とも関連して障害果発生率に対して有意差が認められたり、認められなかったりする程度の影響度であることが判った。

2) 40%摘果が果実発育および硬化障害果発生に及ぼす影響

40%摘果処理は毎年約500果の果実を生産している比較的樹勢の強い樹を選んで実施した。摘果が果実発育に及ぼす影響をTable 2-3に示した。40%摘果処理の障害果発生樹は294.5果、同健全樹は302.3果で、対照区の障害果発生樹の446.4果、同健全樹499.0果と比較して、それぞれ34.0%、39.4%の着果数であった。対照区の障害果発生樹は生育期間中に落果が認められたために、500果予定の着果数より6%少ない着果数になった。

着果数を40%削減することにより、1樹当り収量、1果平均重に及ぼす影響についての三元配列の分散分析の結果をTable 2-4に示した。40%摘果と対照区間では摘果による着果数の減少にともない1樹当りの収量が減少し、1果平均重は増加した。また、障害果発生樹と健全樹間における差への影響は、1樹当り収量および1果平均重ともに差が認められ、とくに、障害果発生樹の収量、1果平均重が劣っていた。

樹冠部位別にみた影響は各部位ごとの収量で認められたが、1果平均重までには及ばなかった。

障害果発生率に及ぼす影響は、40%摘果区、対照区ともに着果部位としては内側、中間部が外側部よりも高い発生率を示したが、摘果の影響そのものは40%摘果区は対照区よりも全体的に障害果発生率が8.7%高く、摘果処理が障害果発生率を低下させる事実は認められなかった。

Table 2-1. Effects of disbudding on the number of fruits, fruit weight, yield per tree and the occurrence of physiological disorder in relation to the fruit bearing part of crown of 'Nijisseiki' pear trees (1973).

Treatment	Inside			Midde			Outside			Total		
	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g
Disbudding	Abnormal tree											
	Disordered fruit	44.4 (9.8)	10.268 (2.272)	231.3 (11.8)	160.4 (11.8)	36.844 (2.715)	229.7 (11.8)	110.7 (4.9)	25.229 (1.115)	315.5 (7.7)	72.341 (1.777)	229.3
	Normal fruit	7.7	1.740	226.0	30.6	7.567	247.3	22.2	5.379	60.5	14.686	242.7
		(1.7)	(.385)		(2.2)	(.568)		(1.0)	(.238)	(1.5)	(.361)	
	Total	52.1 (11.5)	12.008 (2.657)	230.5	191.0 (14.1)	44.411 (3.273)	233.8	132.9 (5.9)	30.608 (1.353)	376.0 (9.2)	87.027 (2.138)	231.5
%												
of disorder		85.2%				84.0%			83.3%			83.8%
Control	Normal tree											
	Disordered fruit	66.2 (14.7)	16.400 (3.628)	247.7	264.1 (19.5)	69.650 (5.133)	263.7	178.8 (7.9)	45.300 (2.003)	509.1 (12.5)	131.350 (3.226)	258.0
	Normal fruit	28.7	6.891	240.1	171.4	41.530	242.3	118.6	28.654	318.7	77.075	241.8
		(6.3)	(1.525)		(12.6)	(3.050)		(5.2)	(1.267)	(7.8)	(1.893)	
	Total	3.5 (0.8)	.876 (.194)	250.3	23.7 (1.8)	5.977 (.440)	252.2	17.1 (0.8)	4.302 (.190)	44.3 (1.1)	11.155 (.274)	251.8
%												
of disorder		89.1%				87.9%			87.3%			87.8%
Normal tree	Disordered fruit	45.0 (10.0)	10.400 (2.301)	231.1	265.1 (19.5)	64.600 (4.761)	243.7	186.3 (8.2)	41.750 (1.846)	496.4 (12.2)	116.750 (2.867)	235.2

Values in parenthesis denotes the amounts of 1 square meter.

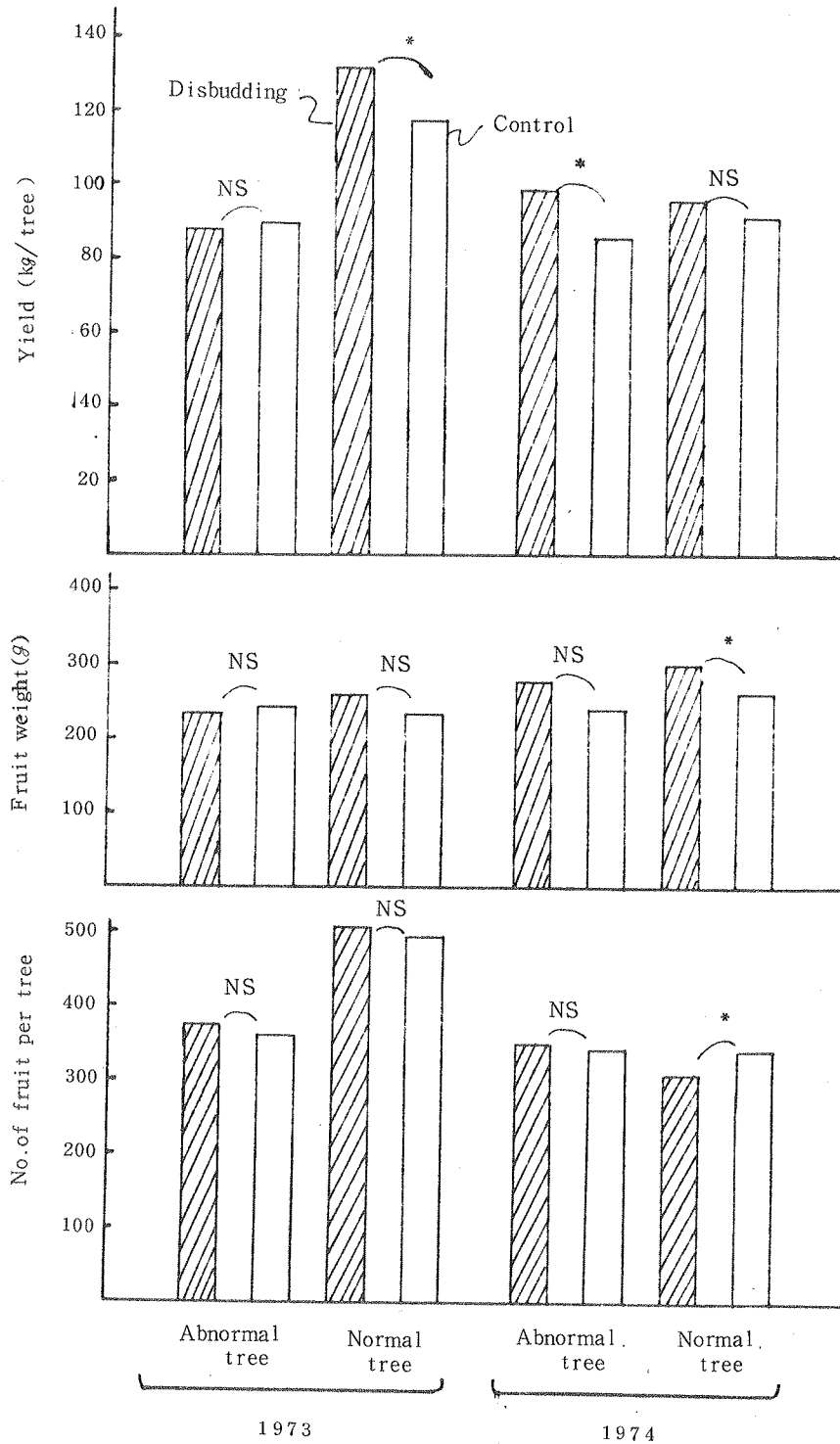


Fig. 2-8. Effects of disbudding on the yield, fruit weight and a number of fruits of 'Nijisseiki' pear tree.

*: Significant at the 5% level.

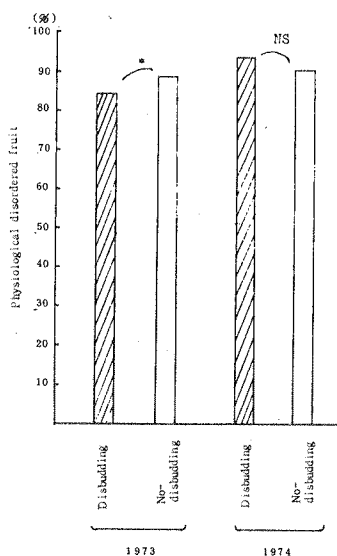


Fig. 2-9. Effects of disbudding on the occurrence of physiological disorder of 'Nijisseiki' pear fruit.

*: Significant at the 5% level.

40%摘果処理が果実内成分に及ぼす影響はTable 2-5, 2-6に, それらの分散分析の結果についてはTable 2-7に示した。

チッ素含有率は摘果処理区間, 樹冠部位別間で変化が認められず, 障害果発生樹と健全樹間でのみ差が認められた。リン含有率は摘果処理区間と障害果発生樹・健全樹間で有意差が認められ, 樹冠部位別間では差が認められなかった。

果実の無機成分のうちカリウムおよびマグネシウム含有率に対する摘果処理の影響は認められなかったが, カルシウム含有率は40%摘果・対照区間, 障害果発生樹・健全樹間, 樹冠部位別間において有意差が認められた。

有機成分については, 全糖, 果糖, でんぶん含有率について障害果発生樹・健全樹間で有意差が認められ, ブドウ糖, ショ糖含有率は40%摘果・対照区間, 障害果発生樹・健全樹間で有意差が認められた。還元糖含有率には有意差が認められなかった。

摘果処理の結果, 新梢伸長へ及ぼす影響についてはTable 2-8に, それらの分散分析の結果については

Table 2-2. Analysis of variance for data of the Table 2-1.

Treatment	No. of fruit	Yield	Fruit weight
Disbudding vs control (A)	283.18**	44.75**	0.13
Abnormal vs. normal tree (B)	1637.60**	215.06**	6.27
Fruit bearing parts in the tree crown (C)	5872.40**	661.19**	4.72
A × B	0.64	9.56	22.65*
A × C	358.43**	32.91*	0.96
B × C	146.93**	29.71*	1.85

*, ** : Significant at the 5% and 1% level, respectively.

The second order interaction (A×B×C) was used as error.

Table 2-3. Effects of fruit thinning on the number of fruits, fruit weight, yield per tree and the occurrence of physiological disorder in relation to the fruit bearing part of crown of 'Nijisseiki' pear trees (1973).

Treatment	Inside			Middle			Outside			Total		
	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g
Fruit thinning	Disordered fruit	40.3 (8.9)	10.150 (2.246)	251.9	136.4 (10.1)	36.390 (2.681)	266.8	91.5 (4.0)	23.550 (1.041)	257.4	263.2 (6.5)	261.3
	Normal fruit	2.0 (0.4)	.440 (.097)	220.0	5.2 (0.4)	1.460 (.108)	280.8	19.1 (0.8)	4.300 (.190)	225.1	26.3 (0.6)	235.7
	Total	42.3 (9.3)	10.590 (2.343)	250.4	141.6 (10.4)	37.850 (2.789)	267.3	110.6 (4.9)	27.850 (1.231)	251.8	294.5 (7.2)	259.1
	% of disorder	95.3%			96.3%			82.7%			91.1%	
	Normal fruit	39.3 (8.7)	11.252 (2.489)	286.3	156.8 (11.6)	46.820 (3.450)	298.6	106.2 (4.7)	31.409 (1.389)	295.8	302.3 (7.4)	296.0
Control	Disordered fruit	59.1 (13.1)	13.123 (2.903)	222.1	186.9 (13.8)	42.093 (3.102)	225.2	121.7 (5.4)	30.710 (1.358)	252.3	367.7 (9.0)	233.7
	Normal fruit	4.7 (1.0)	.883 (.195)	187.8	27.7 (2.0)	7.007 (.516)	253.0	46.3 (2.0)	11.472 (.508)	247.8	78.7 (1.9)	246.0
	Total	63.8 (14.1)	14.006 (3.099)	219.5	214.6 (15.8)	49.100 (3.618)	228.8	168.0 (7.4)	42.182 (1.865)	251.1	446.4 (10.9)	235.9
	% of disorder	92.6%			87.1%			72.4%			82.4%	
	Normal fruit	69.4 (15.4)	18.412 (4.037)	265.3	242.0 (17.8)	66.881 (4.929)	276.4	187.6 (8.3)	52.869 (2.337)	281.8	499.0 (12.3)	276.9

40% of the fruitlets were thinned at the middle of May.

Values in parenthesis denotes the amounts of 1 square meter.

Table 2-4. Analysis of variance for data of Table 2-3.

Treatment	No. of fruit	Yield	Fruit weight
Fruit thinning vs. control (A)	716.47**	156.45**	22.28*
Abnormal vs. normal tree (B)	17.44	57.03*	76.10*
Fruit bearing parts in the tree crown (C)	879.70**	289.63**	4.14
A × B	11.68	12.93	0.23
A × C	37.49*	4.33	2.46
B × C	6.12	7.10	0.05

*, **, : Significant at the 5% and 1% level, respectively.

The second order interaction (A × B × C) was used as error.

Table 2-5. Effects of fruit thinning on the mineral elements of 'Nijisseiki' pear fruits (% of dry weight, 1974).

Treatment			N			P			K			Ca			Mg		
			Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side
Fruit thinning	Abnormal tree	Disordered fruit	0.405	0.393	0.379	0.089	0.088	0.084	1.067	1.142	1.000	0.033	0.044	0.050	0.061	0.061	0.059
		Normal fruit	0.442	0.412	0.420	0.070	0.067	0.065	1.050	1.088	1.017	0.054	0.059	0.057	0.068	0.051	0.053
	Normal, fruit Normal tree		0.502	0.467	0.532	0.074	0.074	0.073	1.050	1.067	1.050	0.067	0.073	0.058	0.054	0.050	0.047
Control	Abnormal tree	Disordered fruit	0.410	0.390	0.399	0.085	0.084	0.080	1.108	1.183	1.328	0.029	0.043	0.046	0.077	0.061	0.057
		Normal fruit	0.451	0.422	0.439	0.091	0.111	0.088	1.229	1.411	1.096	0.039	0.047	0.046	0.060	0.075	0.055
	Normal, fruit Normal tree		0.483	0.445	0.493	0.074	0.074	0.073	1.411	1.187	1.025	0.067	0.066	0.053	0.074	0.063	0.046

Table 2-6. Effects of fruit thinning on the nutrient contents of 'Nijisseiki' pear fruits (% of fresh weight, 1974).

Treatment		Total sugar			Reducing sugar			Fructose		
		Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side
Fruit thinning	Abnormal tree									
	Disordered fruit	7.534	8.574	9.100	6.625	7.735	8.213	1.241	1.519	1.661
	Normal fruit	8.938	9.350	10.579	8.813	9.338	3.773	5.040	4.872	3.878
	Normal fruit Normal tree	10.700	11.575	10.800	9.963	9.900	6.435	6.206	6.206	6.204
Control	Abnormal tree									
	Disordered fruit	9.400	7.813	10.025	7.938	6.788	7.525	3.074	2.756	3.377
	Normal fruit	10.475	11.625	9.500	8.436	9.350	7.088	5.103	5.318	3.372
	Normal fruit Normal tree	11.563	11.375	12.650	7.950	8.431	9.188	4.086	5.162	5.287

Treatment		Glucos			Sucrose			Starch		
		Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side	Inside	Middle	Out-side
Fruit thinning	Abnormal tree									
	Disordered fruit	5.384	6.216	6.550	0.867	0.798	0.843	0.043	0.076	0.066
	Normal fruit	5.040	4.871	5.460	.119	.511	1.057	.022	.045	.022
	Normal fruit Normal tree	3.528	2.944	3.696	.870	1.862	.855	.024	.023	.016
Control	Abnormal tree									
	Disordered fruit	4.864	4.032	3.948	1.389	.974	2.375	.048	.060	.033
	Normal fruit	3.360	4.032	3.360	1.912	2.163	2.292	.036	.038	.033
	Normal fruit Normal tree	3.864	3.276	3.906	3.432	2.791	3.289	.036	.030	.027

Table 2-7. Analysis of variance for data of Table 2-5 and 2-6.

Treatment	N	P	K	Ca	Mg	Total sugar	Reducing sugar	Fructose	Glucose	Sucrose	Starch
Fruit thinning vs. control (A)	1.14	11.92*	6.03	31.54**	2.61	2.32	3.02	1.05	18.12*	84.65**	0.01
Abnormal vs. normal tree (B)	74.50**	7.77*	0.02	124.60**	0.88	8.65*	5.76	51.13**	12.85*	8.99*	19.84**
Fruit bearing parts in the tree crown (C)	5.12	1.97	0.72	12.87*	2.86	0.54	0.15	0.38	0.19	2.57	4.22
A × B	7.99*	17.83*	0.07	7.43*	0.17	0.02	0.82	12.42*	5.74	7.33*	3.79
A × C	0.85	0.94	0.09	0.01	0.76	0.34	0.32	0.02	1.03	0.76	1.79
B × C	4.73	0.77	0.71	16.31*	0.18	0.33	0.38	0.86	0.18	0.89	1.31

*, ** : Significant at the 5% and 1% level, respectively.

The second order interaction (A × B × C) was used as error.

Table 2-8. Effects of fruit thinning on the length of a shoot, average weight of a shoot, total weight of shoots per tree and number of shoots per tree in the normal and abnormal trees in relation to the fruit bearing parts of tree crown of 'Nijisseiki' pear (1974).

Treatment		Inside				Middle				Outside				Total			
		No. of	Shoot	Shoot	weight Shoot	No. of	Shoot	Shoot	weight Shoot	No. of	Shoot	Shoot	weight Shoot	No. of	Shoot	Shoot	Weight Shoot
		Shoot	length	weigh		Shoot	length	weight		Shoot	length	weight		Shoot	length	length	
Fruit thinning	Abnormal tree	56.0 (12.4)	cm 70.0	kg 2.940 (.650)	g 52.5	106.0 (7.8)	cm 67.1	kg 5.000 (.368)	g 47.2	59.0 (2.2)	cm 49.9	kg 2.092 (.077)	g 35.5	221.0 (5.4)	cm 63.2	kg 10.032 (.246)	g 45.4
	Normal tree	88.3 (19.5)	72.3	4.530 (1.002)	51.3	143.5 (10.6)	63.6	6.710 (.494)	46.6	48.6 (1.8)	51.1	1.250 (.046)	25.7	280.4 (6.9)	64.2	12.490 (.307)	44.5
Control	Abnormal tree	79.5 (17.6)	70.3	3.446 (.762)	43.3	167.5 (12.3)	61.5	7.795 (.574)	46.5	62.5 (2.3)	49.2	1.532 (.056)	24.4	309.5 (7.6)	61.7	12.776 (.314)	41.2
	Normal tree	91.0 (20.1)	79.2	4.852 (1.073)	53.3	128.0 (9.4)	66.9	6.203 (.457)	48.4	51.5 (1.9)	52.1	1.476 (.054)	28.7	270.5 (6.6)	68.0	12.531 (.308)	46.3

Values in parenthesis denotes the amounts of 1 square meter.

○○○○○ Table 2-9. Analysis of variance for data of Table 2-8.

Treatment	No. of shoot	Shoot length	Shoot weight	$\frac{\text{Weight}}{\text{Shoot}}$
Fruit thinning vs. control (A)	3.15	0.39	1.92	0.74
Abnormal vs. normal tree (B)	2.76	8.21	6.82	1.40
Fruit bearing position in the tree crown (C)	103.13**	151.55**	132.72**	6.36
A × B	3.87	6.21	1.09	5.16
A × C	0.86	1.40	0.60	2.66
B × C	3.70	2.11	7.64	1.99

*,** : Significant at the 1% level

The second order interaction (A × B × C) was used error.

Table 2-9に示した。

40%摘果処理が新梢の発生本数、1枝長、全重量、1樹重へ及ぼす影響について、40%摘果・対照樹間、障害果発生樹・健全樹間では有意差が認められなかった。しかし、樹冠部位別間では有意差が認められ、発生本数、1枝長、全重量とも樹冠内側、中間の順にまさっており、1枝長も有意差は認められなかったものの同様な傾向を示していた。

4. 考 察

徒長枝摘除が障害果発生に及ぼす影響について、徒長枝をその萌芽期間中連続して基部から摘除することは、摘心による果実への養分の増加が続き、果実の実止り、花芽分化へ影響を及ぼし、また、副梢の発生を助長することが知られている⁶⁰⁾。一方、若木の場合は、徒長枝の摘除は幹周、樹重、根重の発育を抑制するという報告⁸⁾もあり、徒長枝の生育のための同化養分の消耗と、反面着生葉の同化養分の生成量および転流などが関連しているため、成木、若木など栄養状態によって異った反応が認められ、必ずしも一定の見解に達していない。

本実験で行なった生育初期から7月下旬までの徒長枝摘除は、明らかに着果数、1樹当りの果実収量(生産量)に影響を及ぼしていたが、1果平均重にまでは影響を及ぼさなかった。これらの結果、徒長枝は果実を肥大させ、品質を良くする上で役立たないとする意見(米山寛一、1969, ナンの生育診断と栽培, 農文協)や、まったく不必要とする見解³¹⁾も成り立つが、徒長枝の伸長を促し、黒斑病の発生原因にもなり得る¹⁵⁷⁾ことを考慮するならば、果実発育への影響が大きいので極端な取扱いはいない方がよい¹⁰⁴⁾と考えられる。しかしながら、本実験の目的とするところは、徒長枝の発生している短果枝に着生した果実はユズ肌果発生が多いとする報告¹³⁵⁾があるため、徒長枝を摘除することにより障害果発生率を低下させるかどうかを知ることになり、その上、養水分の競合関係を類推することができるかどうかをも期待するものであった。しかし、1973年には徒長枝摘除により障害果発生率は低下したが、1974年には低下せず、むしろ増加した結果になった。この結果は徒長枝が障害果発生へ直接的に関与しているものではなく、他の要因との関連で間接的に関与しているものと思われた。

もっとも、塩原¹³⁴⁾は樹冠部の中心部ほど発生率が高かったことや、徒長枝の基部に着生した果実に発生量が多かったことの原因として、梅雨明け後の夏季の高湿

下で徒長枝が著しい蒸散作用を行なうために、樹体内の水分不足をきたし、その結果ユズ肌果発生率が増加すると考えている。仮に、そうした原因で発生するならば、本実験の徒長枝摘除は蒸散量を抑制するため、水分競合は低下し、発生量は低下するわけであるが、必ずしも期待した結果にならなかったことは他に原因があると考えられる。

すなわち、果実発育期の養分供給上、何らかの養分の質的バランスが崩れ、それが樹冠部の中心部ほど著しいために発生量が増加したと考えたほうが妥当のように思われる。

40%摘果が障害果発生に及ぼす影響について、40%摘果処理は障害果発生樹も健全樹もともに着果数を制限したことから、1果平均重はともに増加したものの、1樹当り果実収量は減少した。こうした結果はこれまで多くの研究者^{8,78,176)}が指摘しているように、摘果によって全収量は減少するという報告と一致していた。しかしながら、障害果発生樹、健全樹に対する40%摘果区、無処理(対照区)における樹冠の着果部位別の収量、1果平均重、着果数について、三元配列の分散分析にもとづき、成績の項において詳記したように、着果部位別の着果部位別の生産量は樹における果実の主生産部位である中間部において、40%摘果区の1果平均重が対照区より大きかったものの、比較的生産力の低い外側部では、摘果処理にもかかわらず、ほぼ同程度の1果平均重であるために相殺されて収量の値に差を生じて来ない。すなわち、障害果発生樹と健全樹とにおいて1樹当りの収量の差が認められなくなっている。

摘果処理と対照区間、または着果部位間においても顕著な差が認められなかったのは、先の徒長枝摘除同様、摘果処理による各果実への養分の量的供給を考慮した場合でも直接影響を及ぼさなかったことを意味している。したがって、障害果発生は単なる養水分の量的供給の問題よりも、果実発育の過程で含有成分の質的な過不足が大きく関与しているものと思われる。

これまで、果実肥大、1樹当り収量などへの影響、すなわち、主に果実への養分の量的配分の面から摘果処理が障害果発生へ及ぼす影響について考察してきたが、果実内成分への質的变化へも影響を及ぼしていないわけではない。すなわち、摘果処理した樹から生産した果実はリン含量が減少し、カルシウム含量が増加し、さらに、糖分ではブドウ糖含量が増加し、ショ糖含量が減少した。これら糖の変化は障害発生果の成分構成と一致する面も

あるが、摘果によるカルシウム含量の変化がもっと顕著であったならば障害果発生が抑制される可能性が考えられよう。しかし、40%摘果してもこの程度の変化であり、障害果発生への影響を及ぼさなかったことを考慮するならば、実際の栽培技術の対策として摘果による障害果発生への抑制効果は期待できないことになる。

摘果が新梢伸長へ及ぼす影響は樹冠部位別の発生本数、1枝重、全重量の変化に主にあらわれており、とくに内側、中間部で著しかった。これは先の徒長枝摘除が果実発育へ及ぼす影響と表裏の関係にあり、とくに、樹冠部位別の着果数、果実重量と発生本数、1枝重、全重量がともに高い不偏分散比を示していたことから推察できた。

5. 摘 要

二十世紀の障害果発生樹と健全樹について、樹幹から主枝の先端までの長さを1.2 mずつに樹冠部を三等分し、同心円状に内側部、中間部、外側部に区分した。それら各区分内における徒長枝摘除を2か年行ない、果実発育と障害果発生に及ぼす影響について調べた。また、40%摘果処理を行なって果実発育、障害果発生、果実内成分、新梢伸長へどのように影響を及ぼすかについても検討した。

1) 生育期間中の徒長枝摘除はA徒長枝摘除・対照区間、B障害樹・健全樹間、C樹冠部位別間における果数

と1樹当り収量に影響を及ぼした。

2) 徒長枝摘除が障害果発生に及ぼす影響について、1973年には低下したものの、1974年には摘除区が多くなり、統計的有意差は認められなくなった。これは徒長枝摘除が障害果発生へ直接関与しているのではなく、他の要因との関連を経て影響しているものと思われた。

3) 40%摘果処理は1果平均重の増加が認められ、着果数を抑制しているため1樹当り収量も少なかった。とくに、A 40%摘果・対照区間、B障害樹・健全樹間で1果平均重、1樹当り収量に有意差が認められ、C樹冠部位別間では1樹当り収量に有意差が認められた。

4) 40%摘果による障害果発生量について、各区分では有意差が認められなかった。

5) 果実内成分は40%摘果によりリン、カルシウム、ブドウ糖、ショ糖含量に影響を及ぼしていた。これは果実内成分の質的变化が認められたものの、障害果発生の減少までには量的に関与しなかったものと思われた。

6) 40%摘果による新梢伸長への影響は、C樹冠部位別の発生本数、1枝長、全重量で有意差が認められ、とくに、内側、中間部で著しかった。

7) 以上の結果から、樹体内養水分の配分転流を考慮して徒長枝摘除や着果量を抑制することは、果実発育へ影響を及ぼすことが認められたものの、果実内成分の質的变化を通して、障害果発生の抑制までに影響を及ぼすことは認められなかった。

第3節 花芽の交換接木と硬化障害果発生

1. 緒 言

ナシの硬化障害である“石ナシ、ユズ肌果”はこれまでの研究で主に生理障害であろうと推測されている。しかしながら、この障害果発生の原因が究明されていない現状では、Virusなどによる伝染病の特徴ではないとする十分な結論も得られていない。たとえば、リンゴの高接病、クリの胴枯病、アンズの枝枯病など、いずれも当初は生理障害と考えられ、後になってVirusなどの病原菌による症状であることが判明した例もある。

この症状は現地で一旦発生した場合に、なかなか矯正されないと同時に、障害果発生樹が逐年増加する傾向にもあることから伝染性のものではないかとする見方もあり、それらを完全に否定した報告もない。

したがって、本実験では伝染性のものであるかどうかを検討する目的で、花芽(短果枝)の交換接木を実施した。

2. 材料および方法

二十世紀樹について、毎年障害果発生が70%以上認められた24年生(1970)樹と健全樹を各2樹ずつ用いた。1970年1月30日に障害果発生樹から1樹25個ずつの花芽(短果枝)を採取し、健全樹2樹からも25個ずつ花芽を採取した。

採取した花芽は4月10日に障害果発生樹には健全果の花芽を、健全樹には障害果発生樹の花芽を交換してFig.6-1のように接木した。接木部位は樹冠部の基部から中央部にかけて、主に側枝に行なった。

3. 結果および考察

花芽(短果枝)の交換接木実施以降の年次別の障害果発生率Fig.2-10に示した。供試した障害果発生樹の通常の結果量の年における障害果発生率は、1969年には72.9%であったものが、その後、年次ごとに増加し、1971年には90%以上の発生率であった。

この障害果発生樹に健全樹の花芽を高接して着果した果実は、初年度の1970年には障害果発生率が50%であ

ったが、翌1971年以降は100%の障害果発生が認められた。このように、健全樹の花芽を高接した樹の障害果発生率が高かったことは、接木部位が樹冠部の基部から中央部の側枝にかけて接木しているためであり、同様な結果は本章第1節でも示したとおりである。以上のように、障害果発生樹に健全樹の花芽(短果枝)を高接した際に障害果発生が認められたのと同様な結果を、橋本らも認め1974年に園芸学会春季大会に発表している。また、障害果発生樹に多くの品種を高接してユズ肌果発生を検討した報告(第6章第1節)でも、初年度は発生率が少なかったものが、年次が増すにしたがって増加している結果を得ている。

接木した初年度は、Table2-10からも明らかなように、果実発育が遅れていることもあって障害果発生率が少なかったことも考えられる。

一方、健全樹に障害果発生樹の花芽(短果枝)を接木した場合には、まったく障害果発生が認められなかった。こうした結果と同様なことを鳥潟¹⁶⁰⁾は、寺見が行なった実験結果として、健全なホクシマメナシおよびニホンナシ台にユズ肌樹よりとった二十世紀の穂木を接木して、3年後には健全な果実が着生したことを紹介している。

いずれにしろ、本実験の結果、この障害果発生の原因として伝染性によるものではないことが明らかとなった。

4. 摘 要

ナシの硬化障害果の発生が伝染病によるものであるかどうかを確認するために、毎年障害果の発生が認められた24年生(1970)二十世紀樹を用いて、障害果発生樹に健全樹の花芽(短果枝)を、健全樹に障害果発生樹の花芽(短果枝)をそれぞれ交換して接木した。

1) 障害果発生樹に接木した健全樹の花芽(短果枝)は初年度から50%の障害果が認められ、2年次以降100%の発生率になった。

2) 健全樹に接木した障害果発生樹の花芽(短果枝)は、まったく障害果発生が認められず、この症状は伝染性のものではないことが明らかとなった。

Table 2-10. Effect of change-grafting of the flower bud between normal and abnormal trees on the occurrence of the physiological disorder of 'Nijisseiki' pear.

Treatment	No. of grafting	No. of taken bud	Year	No. of fruit set	Yield	Fruit weight	No. of normal fruit	No. of disordered fruit				% of disorder
								Severe	Middle	Slight	Total	
Abnormal tree Normal bud	25	20	'70	10	1.180	118.0	5.0	4.0	1.0	0.0	5.0	50.0
	"	"	'71	12	2.736	228.0	0.0	5.0	5.0	2.0	12.0	100.0
	"	"	'72	17	3.847	226.3	0.0	8.0	7.0	2.0	17.0	100.0
	"	"	'73	20	4.552	227.6	0.0	11.0	9.0	0.0	20.0	100.0
Normal tree Abnormal bud	25	23	'70	6	.836	139.3	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	"	"	'71	16	3.848	240.5	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	"	"	'72	21	5.078	241.8	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	"	"	'73	23	5.580	242.6	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

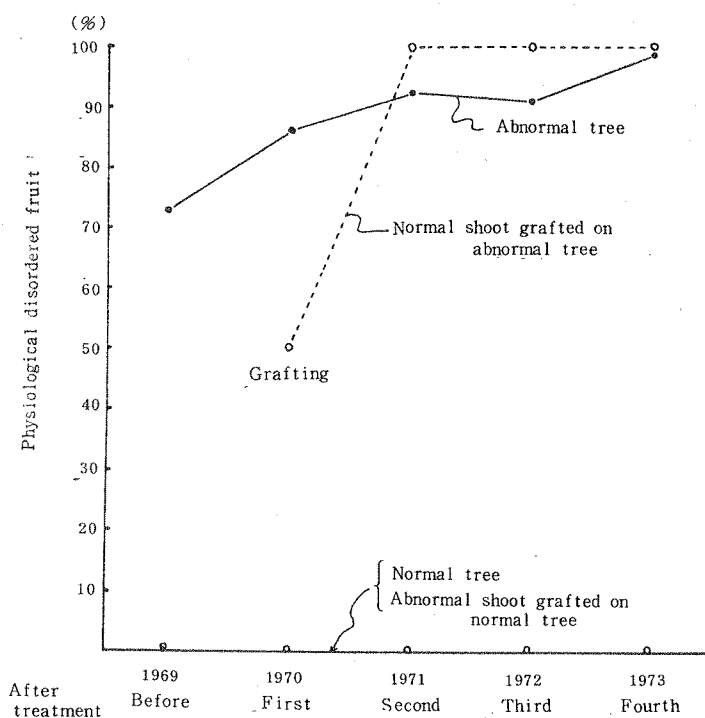


Fig. 2-10. Annual changes of the occurrence of physiological disorder in the fruits affected on the normal shoot, and abnormal shoots, where were grafted on the normal and abnormal trees respectively.

第3章 果実発育と成分含量の変化

第1節 二十世紀の硬化障害果発生樹の果実肥大と葉、果実の成分の時期別変化

1. 緒言

これまで、「ユズ肌果、石ナシ果」と呼ばれてきた障害果は果実が著しく硬化する現象であるため、種々の果実の生理学的な解析や、成分変化の面から多くの研究者^{40,79,102,107,110,143)}により原因究明が行なわれてきた。なかでも林ら^{27,29,30,32)}はユズ肌果発生樹では、葉および果実の浸透圧の差が著しく高く、その差の継続時間も長いとしている。また、ユズ肌果発生樹は水分不足が高く、人為的な乾燥処理でユズ肌果の発生を認めている。さらに、ユズ肌果は果肉内に木栓化を生じ、石細胞が数的及び質的に異常に発達し、多量のでんぶが果肉細胞内に残存したと報告している。一方、向井らは1965年園芸学会春季大会において、長十郎石ナシ果を分析した結果¹²⁵⁾、カルシウム含量が少なかったと報告し、佐々木らは実態調査の結果から果実中のカルシウム含量の低下と発生地の土壌の酸性化が著しいことを報告している。

以上のように、障害果は果肉細胞膜の木栓化やでんぶ、カルシウム含量の異常などが認められていることから、果実発育に対応する養分の転流、同化の異常が考えられるので、障害果発生率の高い樹と健全樹の果実、および葉における成分含量の時期別変化について調査し、障害果発生との関係について考察した。

2. 材料および方法

分析に供した果実は、当场果樹園に栽植してある二十世紀25年生(1971)樹から採取した。その際、障害果発生率が毎年80%以上の樹を選び障害樹とし、対照樹として近接の障害果発生の認められない健全樹を選んだ。肥培管理はチッ素20、リン10、カリウム14kg/10a(元肥80%、礼肥20%)である。果実の採取時期は、1971および1972年とも同期日に行ない(Fig.3-1)、5月25日から7月25日までは障害樹および健全樹から各40果ずつを採取し、その後は各20果ずつ採取した。果重を

測定した後、採取した果実は無機成分分析のために第1章第1節で用いた方法で調整し分析用試料とした。なお、1972年には採取した果肉100gを-25℃で凍結後、真空冷凍乾燥器で2昼夜乾燥し、第1章第1節で用いた方法で乾燥粉末試料とした。あわせて乾燥後の重量をひょう量し、水分含量を算出した。

葉は障害樹および健全樹各4樹から30枚ずつ計120枚を採取し、第1章第1節で用いた方法で調整した。無機成分および糖の分析は第1章第1節で実施した方法と同じ方法で行なった。

3. 実験結果

1) 果実の発育および水分含量

開花40日後から収穫期までの果実の発育経過(平均果重)をFig.3-1に示した。果実発育が旺盛になる6月下旬から、障害樹の果実よりも健全樹の果実の発育がまさ

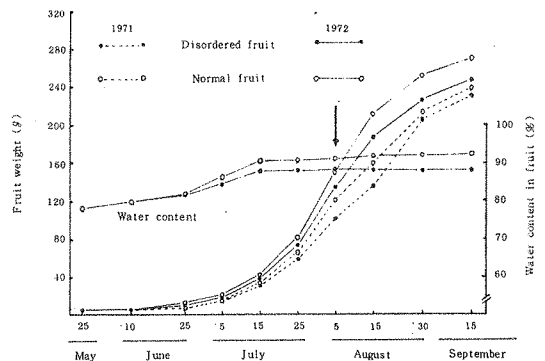


Fig.3-1. Seasonal changes in the fresh weight in 1971 and 1972 and in the percentage of water content in 1972 of 'Nijisseiki' pear fruits. Arrow denotes the first sign of the physiological disorder

り、8月上旬からその差は著しくなった。1971年8月後半の差がやや少なく、そのために収穫期の差は1果あたり約10gであったが、1972年には8月後半の差が著しく、収穫期には約30gの差が認められた。乾物重の増加も生体重の増加とほぼ一致しており、8月上旬からの差が著しくなった (Fig.3-2)。

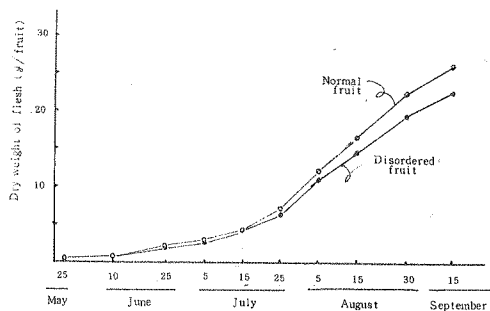


Fig.3-2. Seasonal changes in the dry weight of 'Nijisseiki' pear fruits in 1972

果実中の水分含量は両区とも7月上旬以降増加した。7月中旬に健全樹の果実は89%になったのに対し障害樹の果実は88.2%であり、障害樹の果実はその後ほとんど増加がみられなかった。健全果は収穫時91.1%にまで増加し、障害果との差は2.9%であった。因みに、障害樹の健全果について測定した結果、健全樹の健全果とほぼ同様な含水量であった。

なお、生育期間中に障害果が確認された時期は、Fig. 3-1に矢印で示したように8月上旬であった。

2) 果実中の無機成分含量

チッ素 果実中のチッ素含量はFig.3-3に示したように障害樹および健全樹の果実はいずれにおいても5月下旬には1.0~1.2%であり、果実の発育に伴って8月上旬まで低下し、その後はほぼ一定になった。障害果と健全果の比較では、1971、1972年とも対乾物%では終始障害果に多く含まれていた。しかし、1果中に含まれる絶対量 (mg/果) で比較すると、5月25日から7月5日までは有意差が認められず、その後は8月5日以外、収穫期まで障害果の方が5%レベルの有意差をもって多かった。

リン リン含量はFig.3-4に示したように、両区とも7月下旬まで徐々に低下したが、その後は収穫期までほぼ一定であった。両年とも健全果よりも障害果に多か

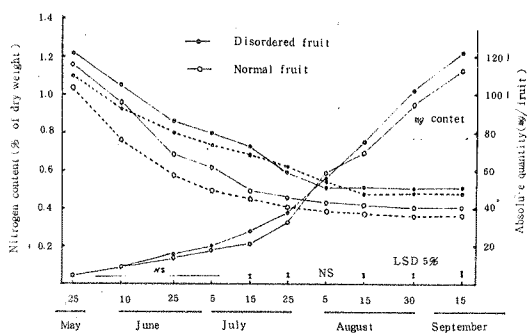


Fig.3-3. Seasonal changes in nitrogen contents of 'Nijisseiki' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities.

Dotted line - 1971. Solid line - 1972.

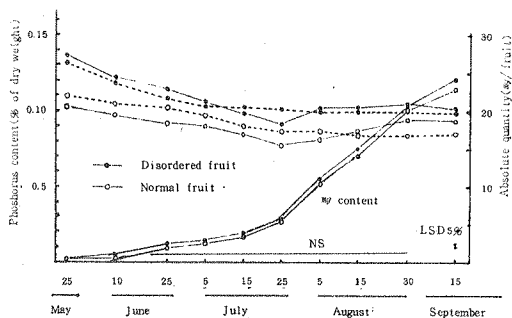


Fig.3-4. Seasonal changes in phosphorus contents of 'Nijisseiki' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities.

Dotted line - 1971, Solid line - 1972.

った。絶対量では発育初期から8月30日の収穫期に5%レベルの有意差で障害果に多かった。

カリウム カリウム含量はFig.3-5に示したように、対乾物%比較では果実発育初期まではほぼ一定であり、両年とも同じ傾向で障害果に多かった。7月25日、8月5日に下がるのは果実肥大旺盛期にあたるため、対乾物%は下がるが絶対量は増加傾向である。しかし、絶対量では対乾物%とは逆に、発育初期から健全果にやや多く含まれた結果になり、8月30日には有意差が認められた。

カルシウム カルシウム含量はFig.3-6のように、

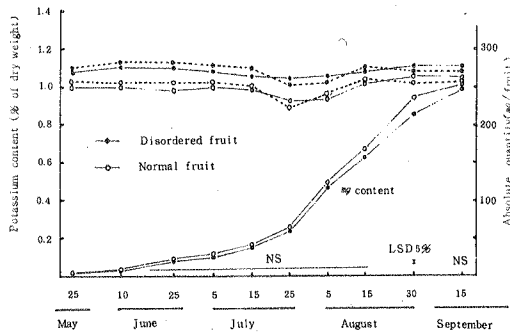


Fig. 3-5. Seasonal changes in potassium contents of 'Nijisseiki' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities.

Dotted line - 1971, Solid line - 1972.

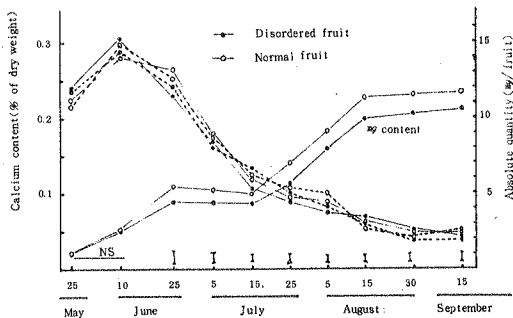


Fig. 3-6. Seasonal changes in calcium contents of 'Nijisseiki' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities.

Dotted line - 1971, Solid line - 1972.

5月上旬から6月上旬にかけて対乾物%ではやや増加し、その後は収穫期まで減少した。障害果と健全果の差は兩年とも認められなかった。絶対量では両区とも収穫期まで増加したが、6月下旬以降健全果に多くなり、5%レベルで有意差が認められた。

マグネシウム マグネシウム含量は Fig. 3-7 のごとく、両区とも5月下旬に多く、6月下旬までは変化は少なかったが、その後は緩慢に減少した。全発育期間中の含量は兩年とも障害果に多かったが、絶対量では有意差は認められなかった。

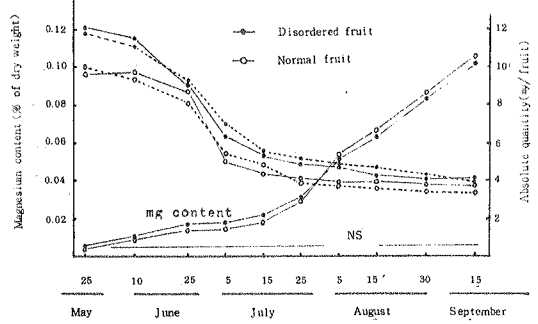


Fig. 3-7. Seasonal changes in magnesium contents of 'Nijisseiki' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities.

Dotted line - 1971, Solid line - 1972.

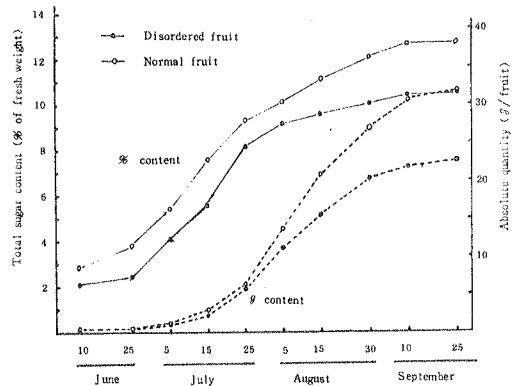


Fig. 3-8. Seasonal changes in total sugar content of 'Nijisseiki' pear fruits (1972).

3) 果実中の糖含量

全糖 全糖含量は Fig. 3-8 に示したように、対新鮮重%比較では発育初期から健全果に多かった。健全果では9月上旬まで著しい増加が認められたのに対し、障害果では8月上旬以降増加が緩慢になった。そのため収穫時の全糖は健全果の12.1%に比べ、障害果では10.2%にとどまり、約2%の差が認められた。1果中の絶対量では8月上旬以降著しい差が認められ、収穫期の9月25日に約9gの差が認められた。

還元糖 健全果中の還元糖は、Fig. 3-9 のように6月下旬から顕著に増加したが、障害果のそれも7月上旬以降の増加が著しかったため、生育後期における差は少

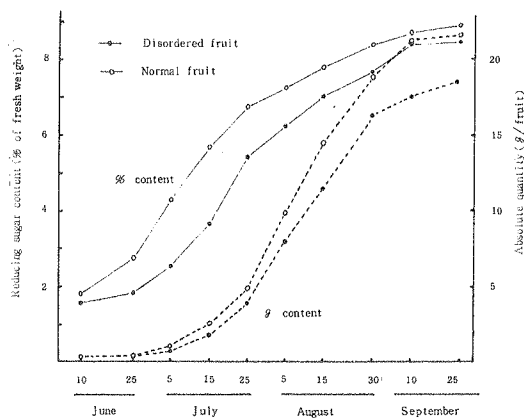


Fig. 3-9. Seasonal changes in reducing sugar content of 'Nijisseiki' pear fruits (1972).

なくなった。絶対量では8月上旬から徐々に差が大きくなり、それが収穫期まで続いた。

果糖 健全果の果糖はFig. 3-10のように、7月上旬以降著しく増加し、収穫期まで続いた。一方、絶対量では7月下旬以降、障害果と健全果の差が著しくなり、収穫期には約4gの差が認められた。

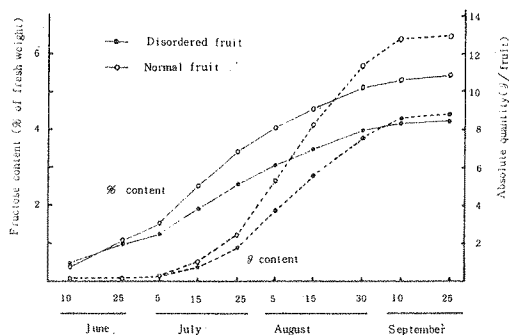


Fig. 3-10. Seasonal changes in fructose content of 'Nijisseiki' pear fruits (1972).

ブドウ糖 健全果のブドウ糖含量はFig. 3-11のように、8月上旬まで障害果より多かったが、その後の増加は認められなかった。これに対し、障害果では収穫期まで引き続き増加したため、8月上旬以降は障害果の含量が健全果より多くなった。絶対量は8月中旬までは健全

果が多く、その後は障害果に多く含まれたが、著しい差は認められなかった。

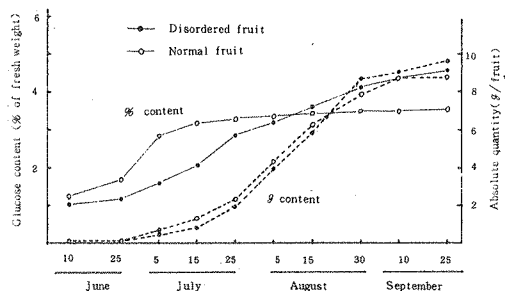


Fig. 3-11. Seasonal changes in glucose content of 'Nijisseiki' pear fruits (1972).

ショ糖 ショ糖含量はFig. 3-12のように、対新鮮重%比較では8月上旬まで差が認められなかったが、その後健全果でやや増加したのに対し、障害果では低下したために収穫時には約2%の差が認められた。絶対量でも8月上旬以降著しい差が認められた。

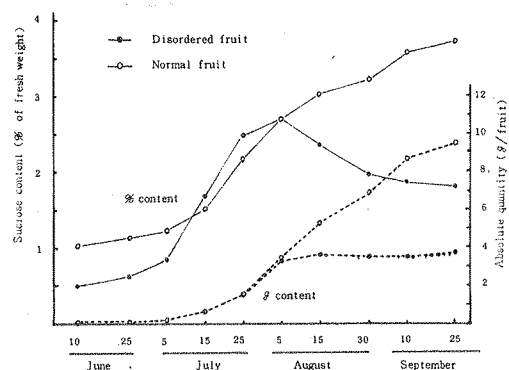


Fig. 3-12. Seasonal changes in sucrose content of 'Nijisseiki' pear fruits (1972).

てんぶん てんぶん含量はFig. 3-13のように障害果、健全果とも7月上旬に最高値になり、その後収穫期まで減少した。果実発育初期から障害果に多く含まれ、最高

値を示した7月上旬以降、両区の差が顕著になった。絶対量では8月上旬まで両区とも増加が認められたが、著しい差は認められなかった。その後健全果において著しく減少したのに対し、障害果は緩慢に減少したためその差が著しくなった。

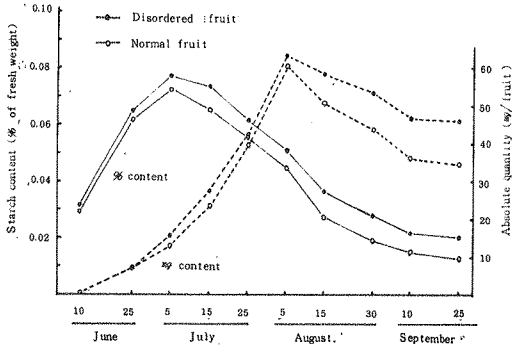


Fig. 3-13. Seasonal changes in starch content of 'Nijisseiki' pear fruits (1972).

4) 葉内無機成分含量

チッ素 葉中のチッ素含量はFig. 3-14に示したように、5月下旬に約3%であったものが、9月には2.2~2.4%まで低下した。障害果発生樹に比べて、健全樹のチッ素含量は8月以降やや低下したが、著しい差は認められなかった。

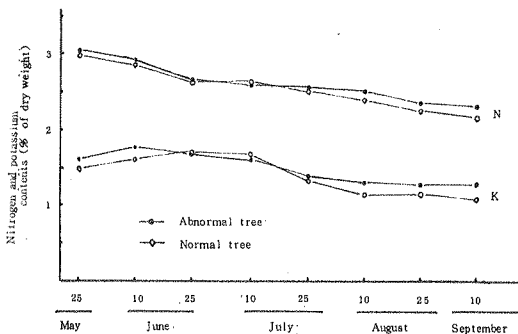


Fig. 3-14. Seasonal changes of nitrogen and potassium contents in leaves of 'Nijisseiki' pear (1972).

リン 障害果発生樹の葉中リン含量はFig. 3-16のごとく、5月下旬に0.25%であったが、9月10日には0.14%まで直線的に減少した。健全樹の含量は5月下旬には0.22%で障害果発生樹よりやや少なく、その傾向は9月まで続いた。

カリウム 葉中のカリウム含量はFig. 3-14のように、両区とも7月10日まで1.5~1.8%であったが、その後、健全樹の葉中含量は障害果発生樹のそれよりも減少していった。

カルシウム 葉中のカルシウム含量はFig. 3-15に示した。5月から9月まで健全樹では1.4%から2.3%まで増加したのに対し、障害果発生樹では1.3%から1.8%までしか増えず、後半の差が著しかった。

マグネシウム 葉中のマグネシウム含量はFig. 3-16に示したように5月から9月まで両区とも徐々に低下した。7月下旬以降健全樹の葉中含量がやや多かった。

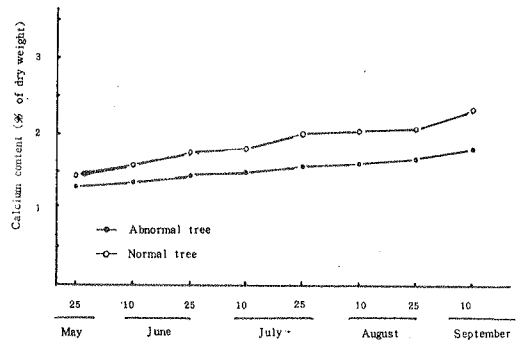


Fig. 3-15. Seasonal changes of calcium content in leaves of 'Nijisseiki' pear (1972).

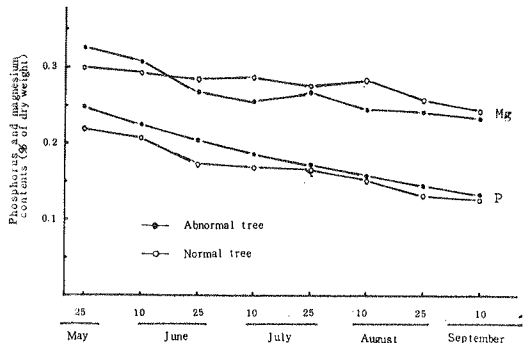


Fig. 3-16. Seasonal changes of phosphorus and magnesium contents in leaves of 'Nijisseiki' pear (1972).

4. 考 察

ニホンナシの果実発育に関する調査は比較的多く^{17,41,42,52,61,176)}、なかでも遠山¹⁵⁶⁾や林³²⁾がHuxleyの相対生長理論を用いての研究では、果肉細胞分裂停止期から細胞肥大期への転換点(反曲点)は、二十世紀で5月中旬頃であると報じている。本調査を開始した時期はすでにその反曲点を過ぎていたが、果重の増加は6月下旬から著しくなり、7月下旬以降発育が旺盛になるとともに障害果と健全果の差が顕著になった。そしてこの双方の果重差が著しくなった8月上旬に障害の症状が外見からも判断できるようになった。なお、1971年と1972年との間で果実発育上差が認められたのは1971年にやや夏季乾燥したためであり、そうした気象の不順が果実発育へ影響を及ぼしたためと考えられる。¹⁴⁶⁾

過去数年間、当場果樹園で収量調査をした結果、7樹平均で障害果発生樹の86.9 kg/樹に対し、健全樹は115.1 kg/樹であり、1果平均重は障害果は226.5 g、健全果は255.9 gで健全果のほうが大きかった(Fig. 2-2)。このように、障害果は果実発育が劣っており、差が著しくなる時期と障害の症状の発現する時期とが密接に関連していると思われた。

そこで、それらの現象を果実の成分変化と関連づけようとした。まず、果実中の水分含量については林^{29,32)}の研究があり、ユズ肌果と健全果の間で7月下旬以降差が認められたと報告し、Ackley¹⁾も西洋ナシで同様な結果をみている。本実験では6月下旬から7月中旬にかけて果実中の水分含量の急速な増加がみられたが、障害果発生樹と健全樹の果実の差は比較的少なかった。両区の差がやや著しくなるのは7月下旬以降からで、先の林らの結果とはほぼ一致していた。水分含量は、果実の発育とともに増加し、その増加の著しい時期に障害果より健全果のほうが多くなっており、果実発育と密接に関係していることが明らかであった。

果実および葉の無機成分含量については、果実中のチッ素含量は、佐藤¹²⁹⁾がポット試験の結果から、0.2~0.5%の範囲であると報告し、深井²⁴⁾は西洋ナシで0.26~0.62%の結果を得ている。また、林³²⁾は果実発育初期から経時的に分析した結果、5月までは減少が著しく、その後は緩慢に減少し、収穫期には約0.4%になったと報告しており、本実験の結果もほぼ同様な傾向であった。しかし、障害果と健全果の比較では、対乾物%、1果中の絶対量とも障害果のほうに多く含まれ、上記報告の数

値の範囲内に入っていたものの、障害果はその上限に近い含量であった。つぎに、ナシの葉中チッ素について多くの研究者^{32,41,109,126,168,174)}は、2.0~3.51%としているが、本実験でも2.18~3.03%で、その範囲内であった。しかし、障害果発生樹は健全樹よりも調査期間中を通して多く、果実中の含量と同様、チッ素の過剰吸収が若干ではあるがあることを示唆していた。

果実中のリン含量については、細井⁴²⁾によれば萌芽前期から細胞分裂停止期まで果実の発育に影響するとしている。しかし、その全体の量が少ないこともあって果実肥大、品質へはあまり関与していないとする報告^{32,125)}もある。本実験でも全発育期間において著しい変化は認められなかったが、果実中に含まれているリン含量は障害果にやや多かった。また、後ほど本章第4節に報告するように⁶⁷⁾、障害果を被害程度別に分析した結果でも、症状が甚しくなるにしたがってリン含量は増加し、障害果発生に何等かの影響を及ぼしていることが考えられる。大平¹¹⁷⁾によれば、リンはリン脂質として原形質の膜構造を作りあげる主要な成分であり、また、リン酸や糖、およびその関連化合物とエステル結合をして、光合成および呼吸作用におけるCO₂同化と解糖反応に関与するとしている。このように、リンが膜構造や解糖作用に深い関係があるとすれば、障害果に多く含まれていたことは果実の硬化現象や後述する糖構成に影響を及ぼしていることも考えられる。

果実中のカリウム含量は佐藤¹²⁹⁾は0.4~0.81%、横溝¹⁷¹⁾は0.7~1.03%であるとしており、本実験の結果では0.88~1.15%の範囲であった。障害果と健全果の比較では、対乾物%では終始障害果に多く、同様な結果は田辺¹⁴⁴⁾も報告している。また、さきに果実発育について考察したように、障害果は水分含量が少なく、果実肥大が劣っているため対乾物%では高い結果になる。しかしながら、1果中の絶対量についてみると健全果が多く含有し、逆の結果が認められた。絶対量で有意差が認められたのは8月30日だけであり、それ以外の時期には有意差は認められず、また、カリウムは葉分析でも7月下旬以降、障害果発生樹に多く含まれていたことを考慮するならば、必ずしも障害果発生に直接関与していないと思われた。

果実中のカルシウム含量は横溝¹⁷¹⁾によれば水耕栽培の長十郎で0.067%、菊水では0.065%であったとし、大野¹¹⁸⁾は二十世紀で0.05%含まれていたとし、佐々木¹²⁵⁾は実態調査の結果から0.047~0.054%含まれてい

たとしている。本実験でも収穫時の含量は0.05%前後であり、それらの結果と同程度であった。しかし、健全果と障害果を比較した場合、対乾物%では差は認められなかったが、1果中の絶対量では6月下旬以降健全果に多く、5%レベルの有意差が認められた。その結果、障害果発生に及ぼす影響について対乾物%よりも1果中の絶対量のほうがすべての成分で“重み”をもっていることが明らかになった。これらのことから障害果はカルシウム含量が著しく低下しているという判断ができるとともに、果実中の絶対量と同様に葉分析値でも障害果発生樹はカルシウム含量が少なく、その差も顕著になっており、障害果発生に及ぼすカルシウム含量の果たす役割は大きいと思われた。

以上のようなカルシウムの吸収低下については、カリウム過用によるカルシウム、マグネシウムの溶脱ないしは吸収抑制が考えられたので、本調査を実施しているナシ園の施肥量は1969年からチッ素20、リン10、カリウム14kg/10a(元肥80%、礼肥20%)と少なくし、施肥による影響を最少限にとどめるよう管理を行なっている。田辺ら¹⁴⁴⁾はユズ肌果発生に及ぼす果実のカリウムとカルシウムの含有比の問題を検討しているが、供試果実はユズ肌果の発生した農家のナシ園からサンプリングしており、それらの生産現場では糖度を高めるためにカリウム肥料が著しく過用になっているという報告がある¹⁵¹⁾。かつて著者ら(第1章)が実施した実態調査の結果でも30~66kg/10aも施用しており、カリウムの過剰吸収は必然的におこりやすくなり、本調査結果の場合とは条件が異なっていると思われた。さらに、カルシウムの吸収低下について鳥瀧(1966:落葉果樹の生理障害(1),果実日本:21:20-23)が述べているように、チッ素過剰施用の場合、土壤中において NO_3^- -Nとカルシウムが化合して硝酸石灰となり溶脱されると同時に、 NH_4^+ -Nが根に吸収される際にカルシウムの吸収阻害がおこるということも考えられる。いずれにしろ、土壌の理化学性の悪変に起因するカルシウムの吸収抑制が障害果発生に及ぼす影響については検討する必要がある、第8章第1節で論述することにする。

マグネシウムは一般にカルシウムの場合と類似した吸収の様相を示すとされているが¹²⁵⁾、本調査の1果中の絶対量では8月上旬以降健全果にやや多くなった程度であった。全期間中における両区の差は認められず、また、葉中含量では健全樹のほうにやや多かったものの、障害果発生にはあまり関係していないと思われる。なお、果

実中のカルシウム及びマグネシウム含量が7月5日及び15日に絶対量としてはほとんど増加しなかったのは、果実肥大による含量の増加以上に、この時期の対乾物%が急激な減少をしているために、こうした結果になったものと思われる。

障害果の糖含量については、中川¹⁰⁷⁾は健全果よりも少ないとし、水野¹⁰²⁾は全糖、還元糖が少なく、非還元糖が多いことを報告している。本実験において障害果は全糖、還元糖が少なかったが、ショ糖も減少しており、水野の結果と一致しない面もあった。近藤^{85,86)}によれば、二十世紀果実中の糖は果糖とショ糖がほとんどであり、ブドウ糖の存在は極めて少ないとしており、同様な結果については菊池・小島⁷⁶⁾も、また、西洋ナシではMagness⁹¹⁾やThompsonら¹⁵³⁾も報告している。そこで、還元糖について果糖とブドウ糖に分けて分析した結果、健全果には果糖が多かったのに対し、障害果は果糖含量が低下していたこと、およびその変化の時期などや糖構成の異常が障害果発生と時期的にも一致しており、特異な現象が障害果発生と密接に関連しているものと思われた。これらを裏づける資料として第4章第2節に示したように、障害果の障害程度別に糖構成を調査した結果、障害の程度が重くなるにしたがって果糖含量が低下しており、また、呼吸代謝も著しく促進されていた^{66,69)}。

つぎに、でんぶん含量は成熟期に近づくにしたがって減少することが知られているが、林ら³⁰⁾は組織学的観察の結果、ユズ肌果では組織内にでんぶん粒が残存すると報告した。本実験でも成熟期に近づくにしたがって減少したが、障害果における減少割合が健全果よりも少なく、顕微鏡観察でもでんぶん粒の残存が認められた。これは先の糖構成の異常に関連して、でんぶんから糖への転化が抑制されているためと思われる。

5. 摘 要

ニホンナシの生理障害の一つである二十世紀の硬化障害果について、その発生原因を究明する目的で果実、葉、および根の成分含量を季節的消長と障害果発生との関係について検討した。

1) 果実発育については、肥大が著しく始める時期以降、障害果よりも健全果のほうにまさり、含水量も同様な傾向を示した。障害果発生は果実発育が顕著になつた8月上旬に認められた。

2) 果実発育にともなう無機成分の変化については、対乾物%ではカルシウム以外チッ素、リン、カリウム、

マグネシウム含量が2か年とも発育初期から収穫期まで障害果に多く含まれていた。しかし、1果中の絶対量ではチッ素、リンだけが障害果に多く、カリウム、カルシウムは終始健全果に多く含まれ、マグネシウムについては有意差が認められなかった。障害果発生にカルシウム含量がとくに大きく影響を及ぼしていた。

3) 葉中の無機成分は、リンが障害果発生樹に多く、

カルシウム含量は健全樹に多く含まれ、果実内無機成分の傾向と一致していた。

4) 果実中の糖含量については、全糖、還元糖、果糖、ショ糖が発育初期から健全果に多く、ブドウ糖およびでんぷんは障害果に終始多かった。とくに、両者における果糖、でんぷん量の差が著しかったことは障害果発生における顕著な現象として特記される。

第2節 長十郎の硬化障害果発生樹の果実肥大と葉、果実の成分の時期別変化

1. 緒 言

長十郎の硬化障害果である“石ナシ果”は緒論でもふれたように、二十世紀の硬化障害果である“ユズ肌果”と同様、歴史的にはほぼ同時期に発生が確認されている。これら赤ナシの“石ナシ果”と青ナシの“ユズ肌果”とは、呼称が異なるように、原因が異なるものか、あるいは同一原因により発生した症状であるかどうか、これまでも意見が分かれており、実験的に証明した報告はない。^{57,118,130)}

本節では赤ナシの代表品種である長十郎について、これまで二十世紀の障害果で実施してきた手法を用いて実験および調査を行ない、得られた結果を二十世紀の結果（前節）と比較して検討した。

2. 材料および方法

分析に供した果実は、当场果樹園に栽植してある長十郎30年生（1972）樹から採取した。その際、障害果発生樹としては硬化障害果が85%以上発生している樹を3樹選び、対照樹は近接して障害果発生が認められなかった健全樹3樹を選んだ。なお、施肥は、毎年チッ素22、リン12、カリウム16kg/10a（元肥80%、礼肥20%）を施している。

果実の採取は1972年5月15日から9月10日まで20日間隔に行なった（Fig. 3-18）。5月15日から7月21日までは障害果発生樹および健全樹から各45果ずつを採取し、その後は各18果ずつを採取して果重を測定した。

果重測定後の果実は、第1章第1節で実施したと同じ方法で調製し、糖分析は直ちに行ない、無機分析用試料

は真空冷凍乾燥機で乾燥後、粉末試料とした。

葉は障害果発生樹および健全樹各3樹から30枚ずつ計90枚を採取した。葉の無機成分分析のための調製は第1章第1節で用いた方法で行ない分析用試料とした。

果実および葉の無機成分分析、果実の糖分析は第1章第1節と同じ方法で実施した。

3. 実験結果

1) 果実発育および硬化障害果の症状

長十郎果実の硬化障害の症状についてはFig. 3-17に示した。果実はいくつから硬化し、果面が凹凸になり、障害が著しくなるにつれ果実全体に症状が及ぶようになる。したがって、果実発育も健全果に比べて正常形にならない。

幼果期から成熟期までの果実発育についてはFig. 3-18に示した。開花直後から6月下旬までの果実発育は緩慢であり、7月上旬から8月下旬にかけて急激に肥大する。障害果と健全果の比較では、6月下旬まで両者の差は少なかったが、7月上旬～8月下旬の果実発育が旺盛になる時期に障害果の発育が劣り、差が大きくなった。

こうした果実発育とともに、果実の水分含量でも同様な変化が認められた。6月上旬までは80%以下の水分含量であったが、6月下旬から8月上旬まで著しく増加した。その後は成熟期まではほぼ同程度の水分含量であった。障害果と健全果の間では、6月下旬から8月上旬にかけて差が大きくなり、それは果実重の発育差が認められる時期と一致していた。

2) 果実中の無機成分含量

果実のチッ素含量はFig. 3-19に示したように、対乾

物%で5月中旬に1.8~1.97%であったものが、果実発育とともに低下し、成熟前には0.5~0.6%になった。

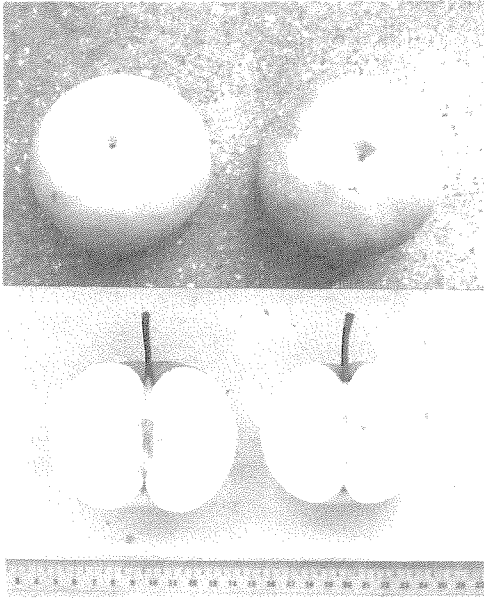


Fig. 3-17. Comparison of the normal fruit(left) and the disordered fruit(right) of 'Chōjuro' pear (1972).

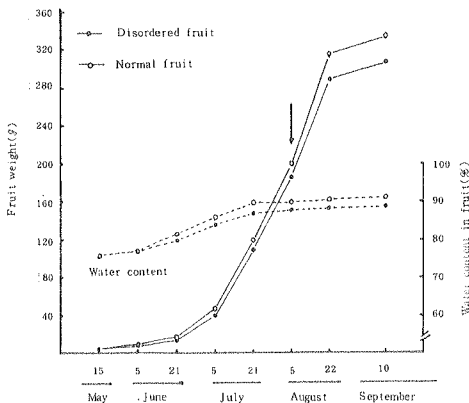


Fig. 3-18. Seasonal changes in the fresh weight and percentage of water content of 'Chōjuro' pear fruits (1972). Arrow denotes the first sign of the physiological disorder.

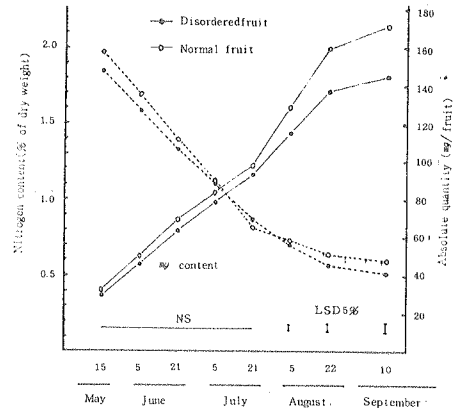


Fig. 3-19. Seasonal changes in nitrogen contents of 'Chōjuro' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities (1972)

障害果と健全果との間では7月21日以外の各時期とも健全果にやや多く含まれた。一方、1果中に含まれる絶対量では、果実発育とともに増加し、健全果は障害果より多く含まれ、8月上旬以降にその差が著しくなった。

リン含量はFig. 3-20に示したように、対乾物%では5月から7月下旬まで急激に減少し、その後は緩慢に減少した。障害果は健全果よりも終始多く含まれ、その間の差はほぼ一定であった。1果中の絶対量は果実発育とともに増加したが、8月上旬までは両者の差が認められなかった。8月22日以降は障害果に多くなり、5%レベルの有意差が認められた。

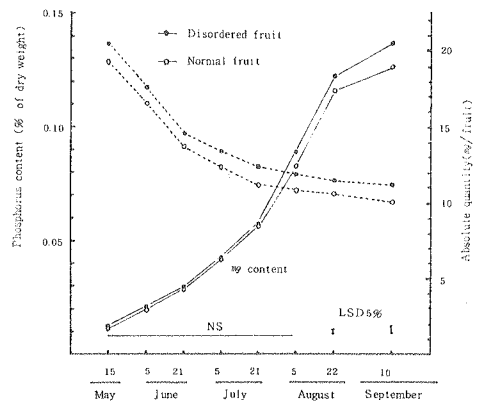


Fig. 3-20. Seasonal changes in phosphorus contents of 'Chōjuro' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities (1972).

カリウム含量についてはFig. 3-21に示した。対乾物%では障害果に多く含まれ、5月中旬から成熟期まで両者とも徐々に低下した。1果中の絶対量では5月中旬から8月下旬まで著しい増加はしたものの、両者間の差は認められず、9月10日のみが健全果に多く、有意差がみられた。

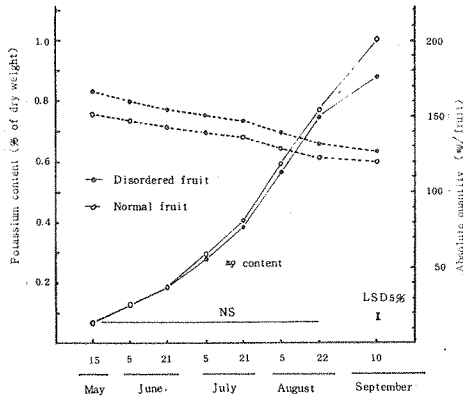


Fig. 3-21. Seasonal changes in potassium contents of 'Chōjuro' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities(1972).

果実のカルシウム含量はFig. 3-22に示したように、対乾物%では5月中旬から7月下旬まで著しく減少し、その後は徐々に低下した。7月上旬までは障害果に多く、7月下旬以降は健全果に多かった。1果中の絶対量は、

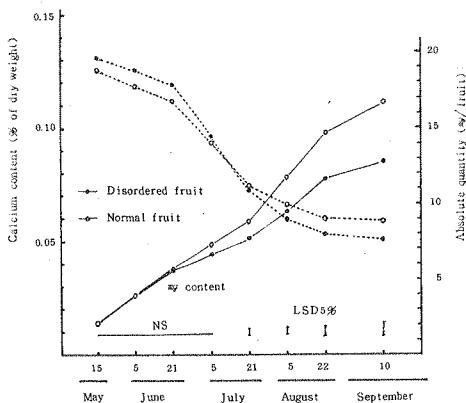


Fig. 3-22. Seasonal changes in calcium contents of 'Chōjuro' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities(1972).

果実発育とともに増加し、7月下旬以降は健全果に多く含まれ、統計的に有意差も認められた。

マグネシウム含量はFig. 3-23に示したように、対乾物%で5月中旬から7月下旬まで著しく低下し、その後の低下は緩慢になった。7月下旬までは障害果に多く、その差も大きかったが、その後は少なくなった。1果中の絶対量では、7月21日以外障害果に多く含まれていたが、両者間に有意差は認められなかった。

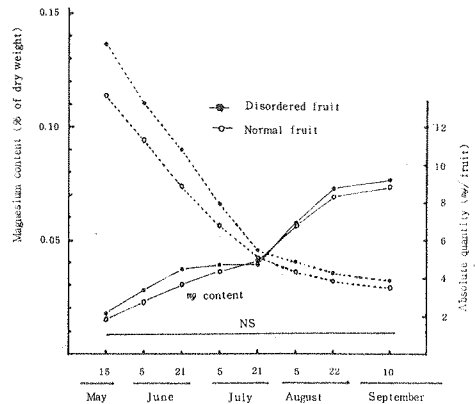


Fig. 3-23. Seasonal changes in magnesium contents of 'Chōjuro' pear fruits expressed as percentage of dry weight and absolute quantities(1972).

3) 果実中の糖含量

長十郎果実の全糖、還元糖、およびショ糖含量についてはFig. 3-24に示した。全糖および還元糖は5月から成熟期まで増加し、健全果に終始多く含まれた。ショ糖は5月から8月下旬までは増加し、その後はやや減少した。終始健全果に多く含まれていたが、障害果との差はあまり認められなかった。

還元糖中の果糖およびブドウ糖、さらにでんぷんについてはFig. 3-25に示した。果糖は6月から8月まで著しく増加し、障害果よりも健全果に多く含まれていた。ブドウ糖は6月から9月まで増加し、7月以降健全果に多かったが、成熟期における両者間の差は少なかった。

でんぷん含量は5月から7月までは増加し、その後成熟期になるとともに減少した。全期間、健全果より障害果に多く含まれていた。

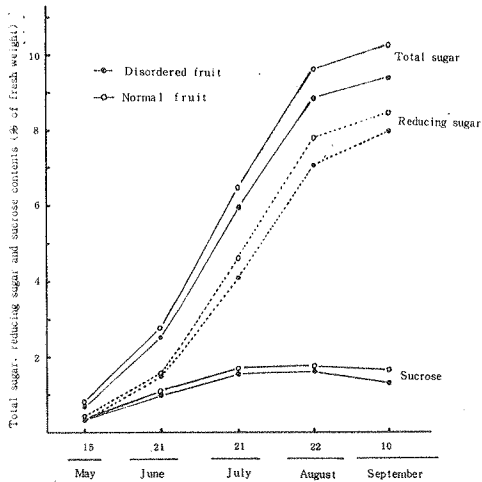


Fig. 3-24. Seasonal changes in total sugar, reducing sugar and sucrose contents of 'Chōjuro' pear fruits (1972).

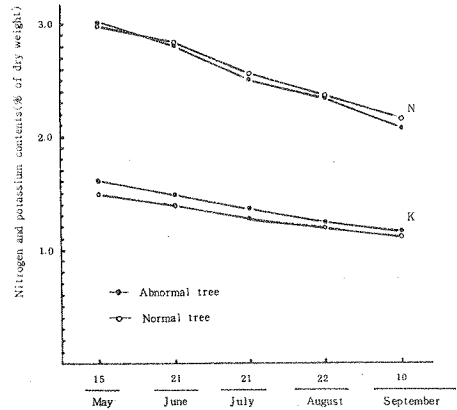


Fig. 3-26. Seasonal changes of nitrogen and potassium contents in leaves of 'Chōjuro' pear (1972).

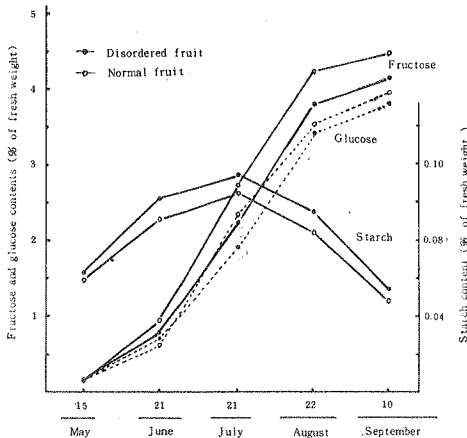


Fig. 3-25. Seasonal changes in fructose, glucose and starch contents of 'Chōjuro' pear fruits (1972).

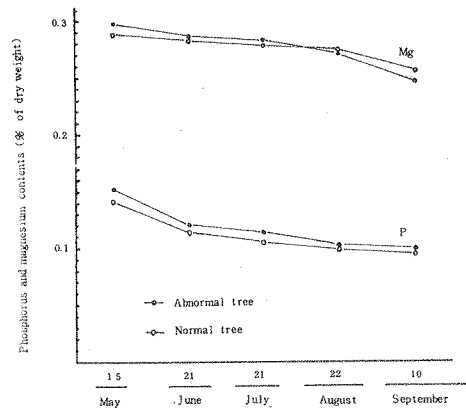


Fig. 3-27. Seasonal changes in phosphorus and magnesium contents in leaves of 'Chōjuro' pear (1972).

4) 葉内無機成分含量

葉のチッ素含量はFig. 3-26に示したように、5月から9月まで徐々に減少した。6月以降健全樹の葉に多かったが、その差は少なかった。

リン含量についてはFig. 3-27のように、5月から9月まで減少したが、終始障害果発生樹の葉に多く含まれていた。

カリウム含量は5月から9月まではほぼ直線的に減少し、リンと同様、障害果発生樹の葉にやや多かった。

カルシウム含量はFig. 3-28に示した。5月から9月まで増加し、全期間とも障害果発生樹の葉より健全樹の葉に多かった。

Fig. 3-27に示したマグネシウム含量は5月から7月までは障害果発生樹の葉に多く、その後は健全樹の葉に多くなったが、両者間の差は認められなかった。

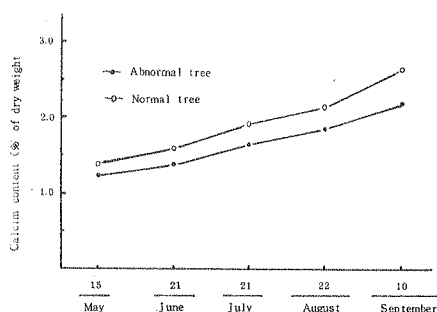


Fig. 3-28. Seasonal changes in calcium content in leaves of 'Chōjuro' pear (1972).

4. 考 察

長十郎果実の硬化障害果は、ていあ部が浅くなり、ていあ部の表面に凹凸が表われ、その症状が重くなるほど赤道部（胴部）から果梗部（肩部）へと広がっていくことが知られている^{27,47,69,102}。本実験でも Fig. 3-17 に示したように、ていあ部が浅く、果面が凹凸しており、果実発育も劣っていることから、いわゆる“石ナシ果”と同一症状であるといえる。また、この症状は第3章第6節の二十世紀果実で考察した症状（Fig. 3-40 参照）と外観上からは同一のものであると同時に、第6章で早生二十世紀樹に高接して発生した長十郎の障害果（後述）とも同一のものであるといえる。これまで、概して長十郎に代表される赤ナシでは“石ナシ果”と、二十世紀に代表される青ナシでは“ユズ肌果”という呼称が使用されてきたが、新潟の二十世紀で“石ケツ”¹³⁴、山口の二十世紀で“石ナシ果”¹¹⁴という呼称や、また、長十郎で果面にユズ肌症状の認められる“石ナシ”や、認められない“石ナシ”など⁴⁹があるとされており、これら地方により、また、症状の判定基準の差により必ずしも統一された呼称で呼ばれていないのが現状である。それらの問題を検討するため、1976年に農林水産省果樹試験場の提唱で埼玉園試、長野園試下伊那分場、鳥取果試、東京農試から長十郎の“石ナシ果”および二十世紀の“ユズ肌果”を障害の程度別に持参し、比較検討した。その結果、各県で呼ばれている名称の果実の症状はほぼ同一症状のものであることが確認された。

長十郎の果実発育は7月上旬から8月下旬までが旺盛で、この時期に障害果と健全果の果重差も認められ、また、果実の水分含量の増加とその両者の間に差が認めら

れるのが时期的にも一致していることは、それらが密接に関連しているものと理解できる。こうした傾向は二十世紀の果実発育と水分含量との関係とも一致しており⁶⁹、また、障害果の発現が確認できる時期とも一致していた。

長十郎果実の無機成分の経時的変化についてチッ素含量は1果中の絶対量は健全果が障害果よりも多く、8月上旬以降有意差が認められた。これは先の二十世紀果実における調査では8月中旬以降障害果に多かった結果とは異っており、品種による差異か、成熟度の違いによる差異かは明らかでないで、次節で障害の発現程度別の面から検討することとする。

リン含量は発育初期から障害果に多く、成熟期には有意差が認められ、カリウム含量は健全果に多く、成熟期に有意差が認められた傾向は二十世紀の果実内成分の消長（Fig. 3-4, 3-5 参照）とも一致していた。

カルシウム含量は対乾物%で発育初期において障害果にやや多く、後期には減少しており、絶対量では7月下旬以降健全果に多くなり、その間の差が著しくなった。二十世紀では、対乾物%でほとんど両区の差は認められなかったが、1果中の絶対量では健全果が6月下旬から多く、有意差も認められており、本実験の長十郎も同様であり、果実発育の初期から一致した結果を示した。

マグネシウム含量は、対乾物%も絶対量も健全果と障害果の間ではほとんど差異が認められず、二十世紀果実と同様であった。

つぎに、長十郎果実の糖含量について、全糖および還元糖は終始健全果に多く、また、還元糖中の果糖は健全果が果実発育とともに著しく増加し、障害果との間に顕著な差が認められた。これらは二十世紀果実の糖含量とも同様な傾向を示した。しかし、ブドウ糖は二十世紀果実では対新鮮重%が8月中旬以降に、絶対量では8月下旬以降に障害果のほうに多く含まれていたが、本実験の長十郎果実では健全果のほうに多く含まれており、多少異なった結果を示した。しかしながら、健全果と障害果との間における含量差があまり顕著でないことから判断するならば、ブドウ糖よりも果糖の含量差が障害果発生との関連要因として判断でき、その面では二十世紀の結果とも一致していた。

ショ糖は5月から9月まであまり増加せず、障害果と健全果とにおける差異も少なかった。二十世紀では8月中旬以降、健全果が著しく増加し、障害果との差が認められ、長十郎の結果とは異なっていた。この点に関し、品種間差異によるものであるか、その他の要因によるも

のかは明らかでない。

でんぶん含量は7月下旬にピークを示したが、先の二十世紀における成績は7月上旬にピークがあり、両品種とも障害果が健全果よりも多かった。こうした障害果に多く含まれていた結果は林³⁰⁾も認めており、障害果の特徴の一つと考えられる。

以上のように、長十郎の硬化障害果は、第3章第1節の二十世紀果実のそれらと比較して、チッ素、ブドウ糖、およびシロ糖含量で異なっていたものの、その他の各成分ではほぼ同様な傾向を示したことは、硬化障害果発生上果実内の質的变化が極めて類似していることになる。

葉中の無機成分は、チッ素含量が健全樹の葉でやや多かったが、二十世紀の障害果発生樹の葉は健全樹の葉より多く、果実と同様異なっていた。

リンおよびカリウム含量は障害果発生樹の葉が健全樹の葉よりも多く、二十世紀の葉中含量と同様な結果であった。

カルシウム含量は5月の1.2~1.4%から9月2.1~2.6%まで上昇しており、二十世紀の葉と同様に、健全樹の葉が障害果発生樹の葉よりも多く、その差も顕著であった。

マグネシウム含量は、二十世紀では健全樹の葉がやや多かったが、長十郎ではその傾向は8~9月のみであり、両品種とも健全樹の葉と障害果発生樹の葉との間の差はあまり認められなかった。

以上、長十郎の葉成分ではチッ素、リン、カリウム、およびマグネシウム含量が健全樹の葉と障害果発生樹の葉との間では著しい差は認められず、カルシウム含量のみに顕著な差が認められ、二十世紀の葉成分と同様な傾向を示した。これは果実中のカルシウム含量の変化とも類似しており、障害果発生に関連する要因とみることができる。

以上の結果から、二十世紀の“ユズ肌果”と長十郎の

“石ナシ果”は外観的にも果実内成分および葉内成分の変化から判断して、同一原因により発生している症状であろうと結論した。

5. 摘 要

長十郎の硬化障害果である“石ナシ果”は二十世紀の“ユズ肌果”と同一症状によるものであるのかどうかについて、いまだ明らかにされていないので、本実験では、果実および葉の成分含量の時期別変化を測定し、得られた結果を二十世紀の結果と比較しながら検討した。

1) 長十郎の硬化障害果はていあ部が浅く、果面が凹凸になり、症状が甚しくなるにしたがって赤道部から果梗部までに認められるようになる。また、障害果は健全果より発育が劣り、その水分含量も少なかった。

2) 果実中の無機成分では、チッ素含量が8月上旬以降健全果に多く、二十世紀果実とは異なっていたが、リン、カリウム、カルシウム、およびマグネシウム含量はほぼ同様な傾向を示した。特に、カルシウム含量は障害果で著しく少なかった。

3) 果実中の糖含量では、障害果が全糖、還元糖、果糖、ブドウ糖、およびシロ糖とも健全果より低下しており、でんぶん含量は障害果に多かった。二十世紀果実の糖構成と比較して、ブドウ糖およびシロ糖含量が異なった傾向を示した他は、ほぼ同様であった。

4) 長十郎の葉中の成分は、チッ素含量が果実と同様健全樹の葉に多かった以外、リンおよびカリウム含量は障害果発生樹の葉に、カルシウム含量は健全樹の葉に多く、マグネシウム含量はほぼ同程度で、二十世紀の葉のそれらと同様な傾向を示した。

5) 以上、長十郎果実および葉の無機成分および糖含量の時期別変化から比較判断して、二十世紀の障害果とほぼ同じ質的症状であろう。

第3節 硬化障害果発生に関連する果実成分の変化とその表示法の要因分析

1. 緒 言

これまで、二十世紀の障害果発生の原因を究明してきた過程で、果実の含有成分を検討する際に対乾物%と絶

対量(mg/果)表示とでどちらが有効な説明要因になり得るかの問題に直面した。

果実は受精直後の2~3gの状態から成熟期には約300gの重さになる。こうした著しい肥大を示す器官(果

実)は、また、含有成分の変化も顕著であり、果実発育にともなう含有成分の変化はFig. 3-3~3-7のように、成熟期に近づくにしたがって対乾物%では低下し、1果中に含まれる絶対量(mg/重)では増加する。表示のしかたによって異なった変化を示す時、障害果のような果実発育中期から後期にかけて症状が発現し、また、障害果と健全果の間で果実発育差(Fig. 3-1参照)のある場合の要因分析に、どちらがより適切な結論が得られるかについて判断するために、検討を試みた。

2. 材料および方法

供試した二十世紀は当場果樹園に栽植されており、毎年90%以上の障害果発生が認められた26年生(1972)樹から9月14日に果皮の緑色が退化し、淡黄色になった果実を採取した。硬化障害果は発現程度別に健全果、軽症果(ていぶ部1/3に発現)、中症果(赤道まで発現)、重症果(赤道部以上にも発現が及んでいる)に分別し、各区から6果ずつを採取し、あわせて健全樹に着果している健全果を5果加え計29果を分析した。

果実分析は、第1章第1節で実施した方法と同じ方法で行なった。

3. 結果および考察

二十世紀の発現程度別障害果における分析結果についてはTable 3-1に示した。障害果の対乾物%ではチッ素、カルシウム含量が少なく、障害の程度を増すにしたがってその差は増加した。カリウムは中、重症果でやや増加する傾向が認められ、リン、マグネシウムはあまり変化は見られなかった。このように、対乾物%では、多少の変化が認められたものの、全成分とも一元配列の分散分析の結果、有意差は認められなかった。しかし、絶対量表示では、各成分とも障害の程度が重くなるにしたがって減少しており、なかでもカルシウム絶対量の減少は著しく、健全果に対して障害が発生した果実のそれには統計的有意差が認められた。

障害果は第3章第1節でも明らかにしたように、果実発育が小さく、障害発現程度が著しいものほど果実発育が劣っているため、カルシウム含量は対乾物%の低下と果重の低下とが相乗して絶対量数値に反映し、顕著な差となったものと思われる。

そこで、これら29果の分析データを用いて相関行列を求めた結果をTable 3-2に示した。

Table 3-1. Comparison of mineral elements of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1972).

Degree of disorder	% of dry weight					Absolute quantity(mg/ fruit)					Fruit weight (g)
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
Severe	0.390	0.086	1.055	0.051	0.053	93.8	20.0	244.2	10.9	12.3	225.1
Middle	0.396	0.096	1.078	0.052	0.056	91.3	22.3	268.0	12.0	13.0	261.8
Slight	0.412	0.090	0.922	0.053	0.059	103.3	22.6	231.4	13.1	14.7	277.2
Normal ^{a)}	0.429	0.087	0.989	0.056	0.054	119.1	23.9	257.9	15.1	14.5	282.2
Normal ^{b)}	0.460	0.089	1.043	0.066	0.059	133.1	25.4	300.3	18.5	16.9	301.2
LSD at 5%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3.5	NS	NS
at 1%									4.8		

a) : Collected from trees bearing disordered fruits.

b) : Collected from trees bearing normal fruits only.

NS: Non-significant.

Table 3-2. Correlation matrix of variables of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1972).

Variable	N-%	P-%	K-%	Ca-%	Mg-%	N-ab.	P-ab.	K-ab.	Ca-ab.	Mg-ab.
X ₁ N %	1.000									
X ₂ P %	.022	1.000								
X ₃ K %	.198	.056	1.000							
X ₄ Ca %	.271	.099	.079	1.000						
X ₅ Mg %	.559	.297	.192	.317	1.000					
X ₆ N absolute quantity	.767	-.053	-.025	.111	.205	1.000				
X ₇ P absolute quantity	.169	.565	-.122	.064	.040	.560	1.000			
X ₈ K absolute quantity	.285	-.015	.620	.117	.021	.556	.496	1.000		
X ₉ Ca absolute quantity	.304	.043	-.080	.796	.122	.525	.457	.441	1.000	
X ₁₀ Mg absolute quantity	.525	.259	-.065	.193	.635	.710	.619	.444	.516	1.000
Y Degree of disorder	-.410	.223	.250	-.430	-.251	-.532	-.168	-.131	-.602	-.467

各成分間の対乾物%と絶対量との間でそれぞれ高い相関が認められ、また、チッ素対乾物%とマグネシウム対乾物%との間でも1%レベルの相関が認められた。絶対量は各成分間で高い相関が認められ、障害果の発現程度とカルシウム絶対量、チッ素絶対量で0.1%ないし1%レベルの負の相関が、チッ素対乾物%、カルシウム対乾物%、マグネシウム絶対量と発現程度の間では5%レベルの負の相関がそれぞれ認められた。

二十世紀の硬化障害果は例年8月5日前後に観察されるが、この時期は果実発育が著しい時期でもあり、そうした発育に関連して発現する生理障害症状は、成分の分布割合(対乾物%)よりも果実中にどれだけの成分がとりこまれているか(絶対量mg/果)、すなわち、器官発育の問題として把握し、解析する必要があるように思われた。事実、同一樹から経時的に採取した果実と葉を分析した場合、果実中の対乾物%と葉分析とでは異なった成分変化がみられ^{62,65,144,145)}、絶対量で表示した場合に

は葉分析値と傾向が一致した結果⁶²⁾になった。

4. 摘 要

硬化障害果のような果実発育過程で発現する生理障害症状は、その果実内成分を比較検討する際に、対乾物%で表示した方が妥当であるか、それとも器官発育として1果中に含まれる絶対量(mg/果)で表示したほうが適切であるかの問題に直面した。そこで、障害果の発現程度別果実を分析し、その結果を材料として、有効な表示法の要因分析を試みた。

1) 障害果の発現程度別に、先に本章第1節で明らかにした果重に差のある果実を選び成分分析をした結果、対乾物%では各成分とも統計的有意差は認められなかったが、1果中の絶対量ではカルシウム含量が有意差となって表われた。

2) 各成分間の相関を求めた結果、障害果発現程度はチッ素%及びカルシウム%とは5%レベルの有意相関で

あったが、チッ素絶対量及びカルシウム絶対量とは1%ないし0.1%レベルの有意相関を示し、マグネシウム絶対量とも5%レベルの有意相関が認められた。したがっ

て、果実発育が著しい時期に発生する硬化障害果のような症状は1果中に含まれる絶対量(mg/果)の資料にもとついて比較検討する必要があることが明らかとなった。

第4節 二十世紀果実の硬化障害発現程度別と果実成分との関係

1. 緒 言

先に、本章第1節で果実発育に伴う成分含量の時期別変化について明らかにしたが、本節では成熟期における障害発生果と健全果の含有成分がどのようにちがうかを明らかにするため、障害の発現程度(症状)別に分けて材料果実を採取し、それらの成分含量を測定した。さらに、その結果について統計的要因分析を試み、障害果発生に果実内成分がどのように関係しているかを考察したものである。

2. 材料および方法

分析に供した果実は当場果樹園に栽植されている27年生(1973)の二十世紀樹から9月14日採取したものである。採取に際し、毎年80%以上障害果が発生している6樹を選び、各樹の果実を重症果、軽症果、健全果

に分け、1樹より各症状別に1果ずつ計18果選択して採取し、あわせて健全樹6樹からも任意に1果ずつ採取し、合計24果を分析した。その際、分析値の果実の大きさによる誤差を少なくするために熟度が同程度のもので、果重が 280 ± 10 gのものを選んだ。なお、重症果、軽症果の判別基準は果実のていあ部から1/3以内の異常を軽症果、それ以上の異常を重症果とした。

採取した果実について無機成分分析のための調製および分析法、ないし、糖の分析法は第1章第1節で実施した方法と同じ方法で行なった。

これらの特性に関するデータを用いて、障害果発現程度と関連性のある特性を知るために多変量解析を適用した。

なお、データ処理には東京都立工業技術センターの電子計算機FACOM 230-50型を用いた。

Table 3-3. Nitrogen and mineral analysis of 'Nijisseiki' pear fruits^{a)} showing various degrees of physiological disorder (% of dry weight).

Degree of disorder	N	P	K	Ca	Mg
Severe	0.396	0.085	1.139	0.041	0.063
Slight	.412	.084	1.188	.047	.063
Normal ^{b)}	.431	.082	.981	.050	.060
Normal ^{c)}	.487	.078	1.132	.064	.050
at 5% LSD	0.072	NS	NS	0.010	NS
at 1%	—			0.013	

a) Fruit, almost uniform in weight(280 ± 10 g), were collected for analysis on September 14, 1973.

b) Collected from trees bearing disordered fruits.

c) Collected from trees bearing normal fruits only.

3. 実験結果

1) 果実中の無機成分含量

果実の無機成分含量については Table 3-3 に示した。チッ素含量は障害果が全般的に健全樹に結実している健全果よりも少なく、障害の程度が重くなるにしたがって減少していた。

リン含量は障害果に多く含まれ、その症状が重くなる

にしたがって増加する傾向が認められたが、一元配列の分散分析の結果では有意差は認められなかった。

カリウム含量は障害の発現程度に関係なくほぼ一定の含量であった。

カルシウム含量は障害果に少なく、障害の程度が重くなるにしたがって減少していた。それらの関係を Fig. 3-29 に示した。それぞれの発現程度(健全樹・健全果 1→障害樹・重症果 4)ごとに多少のバラツキは見られ

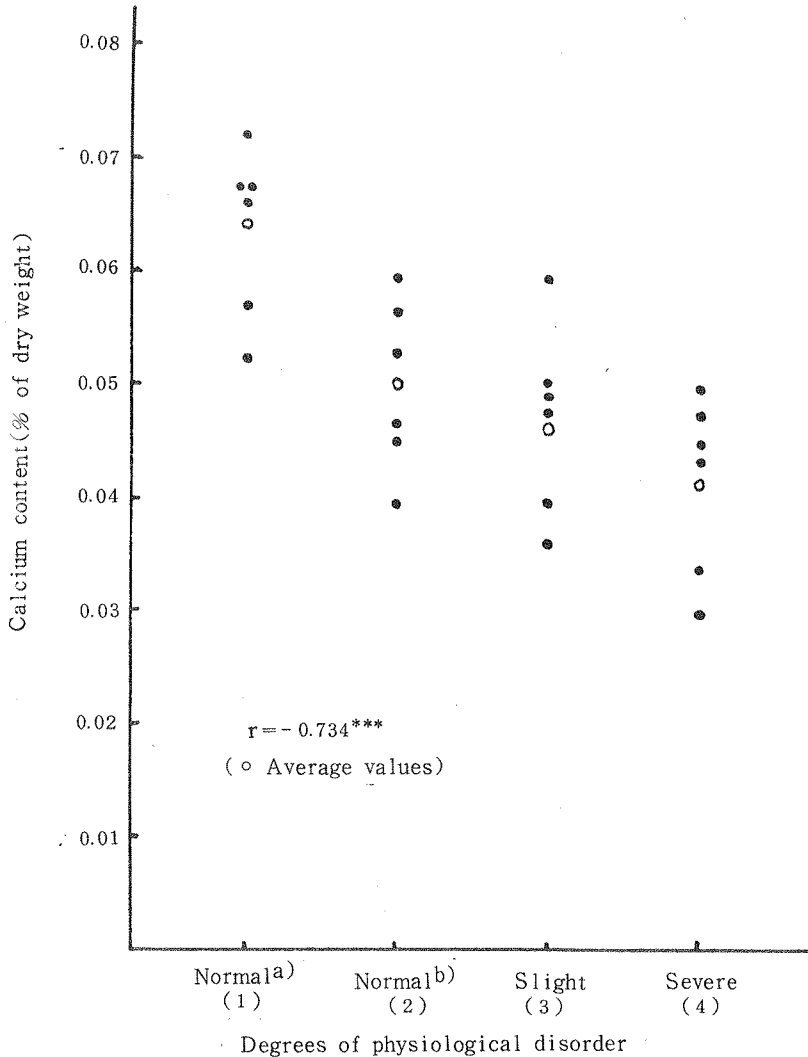


Fig. 3-29. Correlation between calcium content and degrees of physiological disorder in 'Nijisseiki' pear fruits (1973).

a) Collected from trees bearing normal fruits only.

b) Collected from trees bearing disordered fruits.

*** Significant at the 0.1% level.

るが、カルシウム含量は発現の程度と密接に関係しており、 $r = -0.734^{***}$ の相関が認められた。そして、軽症以上の障害が発生した時のカルシウムの含量は対乾物%で約0.047%以下であった。

マグネシウム含量はTable 3-3のように、障害果にやや多かったが、個体間のバラツキもあって有意差は認められなかった。

2) 果実中の糖含量

無機成分を調査した同一果実における糖含量はTable 3-4に示した。障害果はその程度が重くなるにしたがって全糖、還元糖、果糖、ショ糖が減少し、ブドウ糖、でんぷんは増加する傾向が認められた。重症果ではショ糖以外すべての糖で1%レベルで有意差が認められたが、軽症果では全糖、果糖が1%レベルで、ブドウ糖は5%レベルで有意差が認められた。また、果糖も障害樹に結実している健全果と、健全樹に結実している健全果との間に5%レベルで有意差が認められ、ショ糖/果糖比では高まり、ショ糖/全糖比および果糖/還元糖比では明らかに低下した。

こうした糖含量の増減状態を障害の発現程度別にみた糖構成割合について示したものがFig. 3-30である。健全樹に結実している健全果には果糖が多く含まれており、ついでブドウ糖、ショ糖の順であったが、障害果は果糖が著しく減少し、ブドウ糖が増加する傾向にあった。そして、発現程度が軽くなるにしたがって果糖が増加し、ブドウ糖はやや減少し、全体の糖含量も増加してくる傾向が認められた。

向が認められた。

滴定酸は障害果に少なかったが、有意差は認められなかった。

3) 硬化障害果の発現程度に及ぼす要因分析

各特性値間の相関行列をTable 3-5に示した。

無機成分間ではチッ素とカルシウム、リンとカリウム、リンとマグネシウム、カリウムとマグネシウムとの間にそれぞれ有意な相関が認められた。無機成分と糖含量との間では、チッ素とショ糖以外の糖との間に相関が見られ、リンはショ糖と、カリウムはブドウ糖、ショ糖と、カルシウムはブドウ糖、ショ糖以外の糖との間に、それぞれ相関が認められた。糖含量の間では二・三の例を除いて相関関係が認められた。

障害果の発現程度との間では、果糖、チッ素、全糖、でんぷん、カルシウムがそれぞれ0.1%レベルで高い相関が認められ、還元糖、滴定酸、ブドウ糖とは1%レベルの相関が認められた。

この相関行列を用いて主成分分析、重回帰分析を行なった。

障害程度の異なる果実が、これらの特性によって要約された指標(主成分)によってどのように特徴づけられるかを知るために主成分分析を行なった。この方法で計算した各特性値の第4主成分までの固有ベクトル、固有値、寄与率はTable 3-6に示した。さらに、各特性値の因子負荷量に関して第1主成分を横軸(Z_1)に、第2主成分を縦軸(Z_2)にして二次元の座標上に射影したも

Table 3-4. Comparison of sugars and acidity of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder(% of fresh weight, 1973).

Degree of disorder	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose Total sugar	Sucrose Fructose	Fructose Reducing sugar	Starch	Titrateable acidity (as malic)
Severe	8.74	7.47	5.20	2.27	1.21	0.138	0.503	0.304	0.054	0.109
Slight	9.93	8.64	4.98	3.66	1.22	.123	.333	.423	.037	.109
Normal ^{a)}	10.58	8.64	4.35	4.29	1.84	.174	.429	.496	.033	.115
Normal ^{b)}	11.44	9.27	3.64	5.65	2.07	.181	.366	.609	.026	.126
at 5% LDS	1.04	1.06	1.17	1.04	NS	.036	.101	.103	.012	NS
at 1%	1.42	1.45	1.58	1.40		.048	.136	.142	.016	

Fruit analysis was done for the same fruits as those used in Table 3-3.

a) Collected from trees bearing disordered fruits.

b) Collected from trees normal fruits only.

Table 3-5. Means, standard deviations and correlation matrix of variables of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

Variable	Mean	S.D.	N - %	P - %	K - %	Ca - %	Mg - %	Fr-sug	R-sug	Gluc	Fruc	Sucr	Star	Acid
X ₁ N %	0.431 ¹⁾	0.04	1.000											
X ₂ P %	0.082 ¹⁾	0.01	-.172	1.000										
X ₃ K %	1.110 ¹⁾	0.15	-.073	***.773	1.000									
X ₄ Ca %	0.051 ¹⁾	0.01	.499*	-.375	-.073	1.000								
X ₅ Mg %	0.059 ¹⁾	0.01	-.271	***.694	***.698	-.314	1.000							
X ₆ Total sugar	10.17 ²⁾	1.27	***.640	.078	.210	.565	-.078	1.000						
X ₇ Reducing sugar	8.51 ²⁾	1.06	***.540	-.267	-.230	.580	-.214	***.670	1.000					
X ₈ Glucose	4.54 ²⁾	1.03	***.551	-.311	-.444*	-.231	-.013	*.480	-.020	1.000				
X ₉ Fructose	3.97 ²⁾	1.50	***.765	.027	.138	.564	-.141	***.803	***.725	***.701	1.000			
X ₁₀ Sucrose	1.59 ²⁾	0.93	.247	.407	***.535	.071	.154	***.552	-.248	***.593	-.230	1.000		
X ₁₁ Starch	0.038 ²⁾	0.02	***.688	.340	.145	-.500	.310	***.560	***.541	*.408	***.663	-.119	1.000	
X ₁₂ Titratable acidity	0.115 ²⁾	0.01	***.586	-.060	.205	.464*	-.190	.384	.130	***.512	*.467	.331	-.321	1.000
Y Degree of disorder	2.50	1.14	***.845	.182	.043	***.630	.271	***.744	***.582	***.582	***.821	-.314	***.701	***.532

1) % of dry weight, 2) % of fresh weight.

Table 3-6. Results of principal component analysis for 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

Variable	Component No.				Contribution on 4 components
	1	2	3	4	
X ₁ N %	0.391	-0.029	0.084	-0.122	77.6 %
X ₂ P %	-.073	.492	-.222	-.082	86.5
X ₃ K %	.022	.513	-.114	.261	90.5
X ₄ Ca %	.324	-.140	-.049	.576	81.7
X ₅ Mg %	-.135	.394	-.422	.178	82.6
X ₆ Total sugar	.383	.113	-.207	-.082	82.2
X ₇ Reducing sugar	.302	-.208	-.549	.058	96.3
X ₈ Glucose	-.289	-.299	-.273	.248	83.3
X ₉ Fructose	.414	.057	-.205	-.135	91.8
X ₁₀ Sucrose	.157	.383	.331	-.195	75.3
X ₁₁ Starch	-.349	.122	.021	.320	72.3
X ₁₂ Titratable acidity	.280	.093	.424	.563	86.2
Eigen value	4.927	3.189	1.231	0.717	Mean 83.9 %
Contribution	0.411	0.266	0.103	0.060	
Cumulative contribution	41.1 %	67.6 %	77.9 %	83.9 %	

Note : m in X_m are the same symbols in the Table 3-5.

のがFig. 3-31である。第1主成分では全変動のうち41.1%の寄与率を示し、果実中のブドウ糖及びでんぷん含量が負の大きい値を、チッ素%, カルシウム%, 全糖, 還元糖及び果糖含量が正の大きい値をとっていた。したがって、この第1主成分は果実中の無機及び有機成分の多少を示している。第2主成分ではブドウ糖が負の値をとり、リン%, カリ%, マグネシウム%及びショ糖含量が正の値をとり、果実成分間の関連を示している。第2-

主成分まで考えてみると全体の変動の約68%を説明している。

そこで、各障害果の発現程度別の果実を第1及び第2主成分スコアに基づいて表わしたものがFig. 3-32である。障害樹の重症果(●印)はブドウ糖及びでんぷん含量が多く、チッ素, カルシウム, 全糖, 還元糖及び果糖含量が少ない特徴を示すグループに属す。一方、健全樹・健全果(○印)は、ブドウ糖及びでんぷん含量が著し

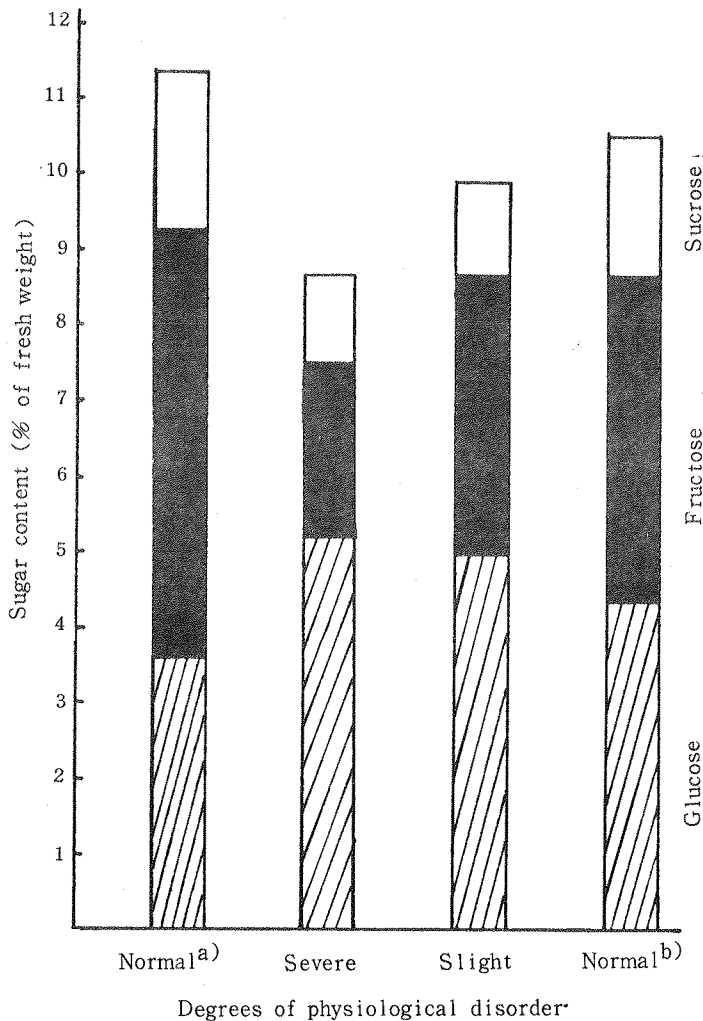


Fig. 3-30. Comparison of sugar components of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

- a) Collected from trees bearing normal fruits only.
- b) Collected from trees bearing disordered fruits.

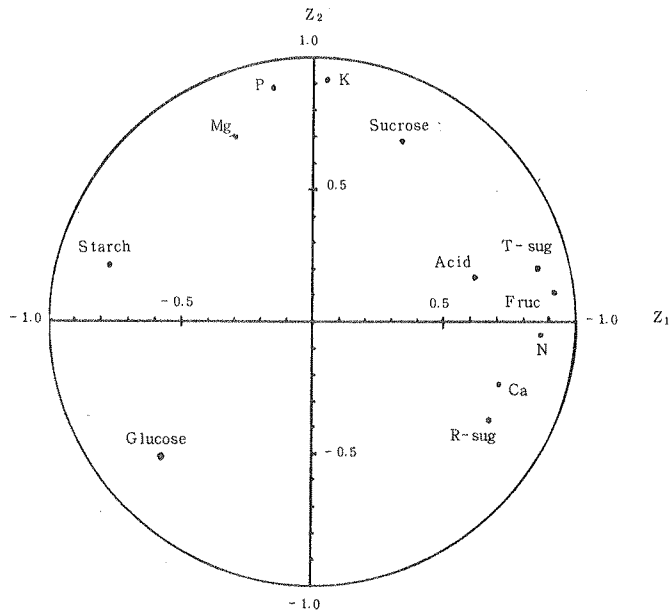


Fig. 3-31. Correlations between variables and the first and the second components in 'Nijisseiki' pear fruits showing degrees of physiological disorder (factor loading).

T-sug=Total sugar, R-sug=Reducing sugar, Acid=Titratable acidity.

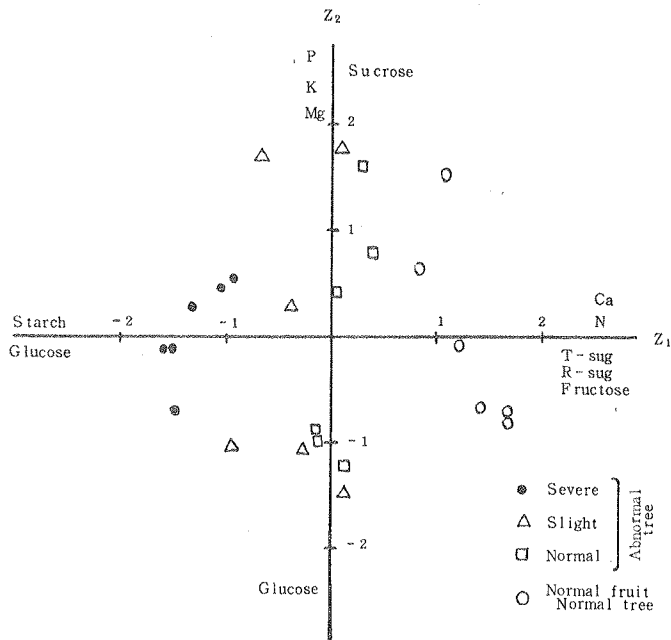


Fig. 3-32. Scatter diagram of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

T-sug=Total sugar, R-sug. = Reducing sugar.

Table 3-7. The multiple regression equation of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

Step	The multiple regression equation	Coefficient of multiple determination (R^2)	Selected variable
1	$Y = -24.471 X_9 + 13.059$	71.5 %	Fructose
2	$Y = -15.145 X_9 - 0.322 X_4 + 10.312$	78.8	Ca %
3	$Y = -14.229 X_9 - 0.257 X_4 - 18.878 X_1 + 10.625$	81.3	N %
Total	$Y = -30.701 X_1 + 8.708 X_2 - 0.08 X_3 - 11.592 X_4$ $+ 4.465 X_5 + 0.177 X_6 + 11.274 X_7$ $- 11.297 X_8 - 3.999 X_9 - 0.472 X_{10}$ $+ 16.308 X_{11} - 2.608 X_{12} + 4.75$	94.0	

Note : m in X_m and Y are the same symbols as shown in the Table 3-5.

く少なく、チッ素、カルシウム、全糖、還元糖及び果糖が多いグループに分けられる。障害樹・軽症果(△印)及び障害樹・健全果(□印)は重症果と健全樹・健全果のほぼ中間に位置したグループに分けられる。しかし、このグループの中にも、第2主成分(Z_2 軸)のリン、カリウム、マグネシウム及びショ糖が多いグループと、ブドウ糖が多く含まれるグループとが認められた。

このように、障害果発現程度は第1主成分に関係する果実中のブドウ糖、でんぶん、全糖、還元糖、果糖、チッ素%, カルシウム%との間に関連があると考えられた。そこで、障害果発現程度を従属変数(Y)とし、第1主成分スコア(Z_1)を説明変数として単回帰式を求めた結果、 $y = -1.027 Z_1 + 2.5$ が得られた。また、両者の相関は $r = -0.899^{***}$ であった。これらの結果から、障害果発現程度と第1主成分スコアとの間には極めて高い相関関係が認められた。障害果発現程度と第2主成分スコア(Z_2)との単回帰式は $y = 0.04 Z_2 + 2.5$ が得られ、両者の相関は有意でなく、障害果発現程度と第2主成分スコアとの間には相関が認められなかった。

以上の結果、ブドウ糖、でんぶん、全糖、還元糖、果糖、チッ素%, カルシウム%などが障害果発生に関係していることが明らかとなった。これらの要因のうち、どの要因が強く関与しているかを明らかにするため重回帰分析を行なった。その結果をTable 3-7に示した。第

1段階で選ばれた説明変数は果糖(X_9)であり、その寄与率は71.5%であった。第2段階ではカルシウム(X_4)が選ばれ、寄与率は78.8%になり、第3段階ではチッ素(X_1)が選ばれ、寄与率は81.3%になった。一応、全変数の最良回帰式は表示したように、その寄与率94%であったが、障害果の発現程度に関与する最良回帰式は、 $Y = -14.229 X_9 - 0.257 X_4 - 18.878 X_1 + 10.625$ になり、3変数、すなわち、果糖、カルシウム、チッ素で充分説明できた。

4. 考 察

果実の無機成分の経時的に変化について、第3章第1節で明らかにしたように、障害果と健全果について比較した結果、カルシウム以外チッ素、リン、マグネシウム含量が障害果に多かった。しかし、それらは分析した果実の大きさが異なっていたことや、果実の熟度に影響されたことも考えられたので、本実験ではほぼ同じ大きさの果実で、熟度は果面のクロロフィルが退化し、淡黄色になった果実を選び、それらを障害発現の程度別に分けて比較検討した。なお、当場の二十世紀栽培園は本実験を実施するに際し、成分のカリウムとカルシウムの拮抗関係や多肥による含有量の過剰吸収をなくするために、1969年から10a当たり4t収量として施肥量はチッ素—20、リン—10、カリウム—14kgを例年実施している

ものである。

障害果のチッ素含量はすべて健全樹に結実している健全果よりも低下しており、第1節の結果とは異なっていた。これは同じ熟度の果実を選んでも障害果はていぶ部が著しく黄化していることもあってこのような熟度の差がチッ素含量の低下となって表われたものと思われる。その他、リン、カリウム、マグネシウムも多少の差異は認められたものの統計的に有意差が認められなかったことは、サンプリングの条件によって変化する範囲内の差のように思われた。とくに、リンは全体的に含有量が少ないので以上のような影響を受けやすいものと思われた。

カルシウム含量は顕著な差となって現われ、障害果発生に関係していることが明らかであった。同様な傾向は田辺ら¹⁴⁴⁾も二十世紀のユズ肌果発生園から採取した果実で認め、佐々木ら¹²⁵⁾も実態調査の結果から同様な報告をしている。また、猪瀬⁴⁸⁾は長十郎石ナシ果で、深井²⁴⁾は西洋ナシの石ナシ、尻ぐされ果で同様な結果を認めている。これら、障害果発生の際のカルシウム含量は発現程度別から判断すると、 280 ± 10 gの果実で、0.047%以下であろうと推測した (Fig. 3-29)。この成分割合を1果中の含量に換算すると約11 mgになり、かつて実態調査の結果 (第1章第2節) から明らかにした10 mg/237 gとはほぼ一致した値であった。

ナシ果実の糖含量について、近藤ら^{85,86)}は糖構成の面から詳細に検討した結果、その還元糖の大部分は果糖であり、ブドウ糖は少量存在し、非還元糖はショ糖であることを確認した。その後、松岡⁹⁸⁾、菊池ら⁷⁶⁾、小島^{83,84)}からも同様な結果であることを確認しており、西洋ナシでも Magness⁹¹⁾ や Thompson ら¹⁵³⁾ が、さらに、チュウゴクナシ“慈梨”では大沢¹¹⁹⁾ が同様な報告をしている。そして、障害果の糖含量について、水野¹⁰²⁾ が分析した結果、全糖、還元糖含量が健全果よりも少なく、非還元糖は多かったと報告している。本実験でも障害果の全糖、還元糖は少なく、同様な結果を示したが、ショ糖は減少しており、上記の報告とは一致しなかった。

さらに、本実験では還元糖中の果糖およびブドウ糖について分別定量した結果、障害果はその発現程度が重くなるにしたがって果糖が減少し、ブドウ糖が逆に増加したこと、これらのことは近藤ら^{85,86)} が一般の健全な果実は果糖が多く、ブドウ糖が少ないとする結果と異なっており、ショ糖/全糖比が少なく、ショ糖/果糖比が高かったことは、障害果は一般にショ糖および果糖含量が少ないことになり、こうした糖構成の異常が障害果発生へ

何らかの関連する要因になっているものと思われた。すなわち、成熟期における果糖およびショ糖の増加とブドウ糖の減少が果実の熟期判定の要因になる¹⁵⁹⁾ことはよく知られているが、障害果がそれらと逆の結果になったことは、でんぶんの残存も含めて果実内において何らかの異常反応が起っていることが予想される。事実、著者が果実および葉の呼吸量について測定した結果 (第4章第1節)、障害果は呼吸作用が異常に高まっていた。

障害果の発現程度別について、主成分分析ならびに重回帰分析を行ない、関連する要因分析を試みた。主成分分析によると、第1主成分では全変動の41.1%を示していた。この第1主成分では、ブドウ糖、でんぶん、全糖、還元糖、果糖、チッ素、カルシウム含量などの特性によって特徴づけられていた。したがって、これらの各成分の多少が障害果発現程度と極めて密接な関係にあることが示された。また、重回帰分析によると、障害果の発現程度に最も深い関係にあった要因は果糖、続いてカルシウム、チッ素含量の順であった。実際に、一般に障害果は甘味が低下していることが知られており、それは糖の甘味度はショ糖を100として、ブドウ糖74、果糖173とブドウ糖より約2.3倍の甘味を持っている果糖¹¹³⁾の低下によるためである。また、そうした果糖の低下はTable 3-7の相関行列からも明らかのように、カルシウム含量の低下とも密接に関係していた。よく農家で耳にすることであるが、石灰を施用することにより果実発育は劣るが、甘味が増加するという経験的教訓がある。これはカリウムが果実発育に密接に関係しており³²⁾、また、カリウムが土壌中に多く存在するとカルシウム吸収が抑制されることから^{25,26)}、そうした果実発育の低下と糖分の増加とが認められたものと思われる。こうした糖とカルシウムとの関係について、横溝¹⁷¹⁾は水耕でカルシウムを欠除させた結果、還元糖が低下したと報告しており、また、広田³⁶⁾はCaO₂施用による障害果発生防止の効果とともに、糖度が高まったと報告していることはカルシウムが糖構成へ影響を及ぼしていることを物語っている。さらに、Bangerth ら¹⁰⁾はリンゴ紅玉を用いて、CaCl₂溶液に浸漬した果実はInternal breakdownの発現が抑制されたとし、また、ソルビトールやブドウ糖溶液に浸漬した果実は呼吸作用が高まったが、同時にCaCl₂溶液に浸漬した場合には呼吸作用が抑制されたと報告していることから、カルシウム含量と障害果発生との関係は深いものと思われる。

このように、カルシウム含量と糖含量との関係が明ら

かになり、なかでも単糖類である果糖と密接な関係が認められたことは、ブドウ糖を含めて解糖、呼吸作用の関係について検討する必要があると考察するに至った。それらについては第4章第2節でふれることにする。

5. 摘 要

成熟期においてほぼ同じ大きさの二十世紀果実を障害果の発現程度別に分け、それらの成分含量を測定し、得られた結果について統計的要因分析を試み、障害発生に果実成分がどのように関係しているかについて検討した。

1) 障害果は無機成分のうちリン含量がやや多く、チッ素、カルシウム含量は少なかった。障害果の発現程度が甚しくなるにしたがってその傾向は著しくなった。障害果発生をもたらすカルシウム含量の限界は0.047%以下と推測した。

2) 障害果の糖含量は健全果より全糖、果糖の含量が

低下しており、ブドウ糖、でんぷんは増加した。なかでも発現程度が甚しくなるにしたがって果糖の減少が著しく、ブドウ糖は増加したのに対し、ショ糖にはあまり変化が認められなかった。

3) 果実のチッ素含量と全糖、還元糖、果糖含量の間に、および、カルシウム含量と全糖、還元糖、果糖含量の間には正の、チッ素含量とブドウ糖、でんぷん含量との間に、および、カルシウム含量とでんぷんとの間には負の相関が認められた。なお、カルシウム含量とブドウ糖、および、ショ糖との間には相関が認められなかった。

4) 主成分分析および重回帰分析の結果、障害果の発現程度と果糖、カルシウム、チッ素、でんぷん含量などが極めて密接な関係にあることがわかった。とりわけ、カルシウムの吸収低下と果糖の含量低下が関連していることを明らかにした。

第5節 長十郎果実の硬化障害発現程度別と果実の成分との関係

1. 緒 言

前節で果実発育に伴う成分含量の時期別変化について明らかにしたが、本節では二十世紀と同様(第3章第4節)、成熟期における障害果と健全果の含有成分がどのように異なっているかを明らかにするために、障害果を発現程度別に分析した。それらの結果から、障害果発生に関連する果実成分を摘出するために、統計的要因分析を試みた。

2. 材料および方法

供試果実は当場果樹園に栽植されている長十郎31年生(1973)樹から9月10日に採取した。その際、障害が毎年85%以上の果実に発生している樹を6樹選び、各樹の果実を重症果(ていあ部において1/3以上に症状が発生)、軽症果(1/3以下の症状)、および健全果に分け、各症状別に1果ずつ1樹から計18果を採取し、あわせて健全樹6樹からも任意に1果ずつ6果採取し、合計24果を分析した。なお、分析誤差を少なくするため熟度のほぼ同程度のもので、果重が 310 ± 10 g以内のものを選んだ。

採取した果実の分析のための試料調製、無機成分およ

び糖分析については第1章第1節において実施した方法と同じ方法で行なった。

さらに、分析結果について、要因分析として行なった主成分分析、および変数選択型重回帰分析は第1章第2節及び本章第4節と同じ方法で実施した。

3. 実験結果

1) 果実中の成分含量

成熟期における障害果と健全果の各部位別の成分含量についてTable 3-8に示した。

果肉部を肩部、胴部、および底部に分けて分析した結果、チッ素、リン、およびカリウム含量は健全果よりも障害果に多く含まれており、カルシウムおよびマグネシウム含量は健全果に多かった。また、果心部および種子はチッ素、カルシウム、およびマグネシウム含量が健全果のほうに多く、リンおよびカリウム含量は障害果のほうに多かった。果皮はチッ素およびカリウム含量が障害果に多く、リン、カルシウム、およびマグネシウム含量は健全果に多かった。

以上、果肉部とそれ以外の部分を比較してみると、果心および種子ではチッ素含量が、果皮ではリン含量が障害果より健全果のほうに多かった以外は、大部分の成分

で果肉部とはほぼ同様な含有割合を示していた。

つぎに、発現程度別障害果の無機成分含量を Table 3-9 に示した。チッ素、リン、およびカリウム含量は対乾物%ないし1果中の絶対量とも健全果に多く、障害程度が著しい果実ほど低下しており、一元配列の分散分析の結果、有意差が認められた。マグネシウム含量は健全樹の健全果に多かったが、障害果発生樹に結実している健全果では著しく低下しておるため、症状の程度とは関連した結果を示していなかった。

これら無機成分のうち、カルシウム含量のみが障害果の発現程度と関連して有意差が認められたので、障害程度とカルシウム含量との関係を表わしたものが Fig. 3-33 である。健全樹の健全果はカルシウム含量が平均で 26 mg/果であり、また、障害果発生樹の健全果は 23.5 mg/果であり、かつ、ともに個体間の変異は小さかったが、軽症果ないし重症果は 19.5 mg/果ないし 15.5 mg/果と低下するとともに、変異も大きくなった。そして、これら障害果の発現程度（健全樹・健全果 1→障害樹・重症果 4）とカルシウム含量との間には $r = -0.888^{***}$ の有意な相関が認められた。

2) 果実中の糖含量

無機成分を測定したものと同一果実についての糖含量は Table 3-10 に示した。障害程度が著しくなるにしたがって全糖、還元糖、果糖、およびショ糖は減少し、ブドウ糖はやや増加した。しかし、統計的に有意差が認められたのは、全糖および果糖のみであった。還元糖は分別するとブドウ糖の増加と果糖の減少が相殺されたために、障害程度が著しくなるにしたがって減少しているものの有意差が認められるまでには至らなかった。全糖は還元糖とショ糖の減少結果が累積したため、有意差が認められた。ショ糖/全糖比は障害程度が増すにしたがってやや低下したが有意差は認められず、ショ糖/果糖比のみが高まり有意差も認められた。

以上の糖含量について、障害程度との関係を図示したものが Fig. 3-34 である。長十郎果実中の糖含量で、フラクシオン別に分別定量を行なった。果糖はブドウ糖、およびショ糖以上に多く含まれ、また、その増減割合も障害程度とともに多いことがみられる。

でんぷんは障害果に多くみられ、重症果は健全樹の健全果より 2 倍以上も含まれていた。Brix にはほとんど

Table 3-8. Comparison of nutrient contents in different sections of normal and disordered fruits of 'Chōjuro' pear (% of dry weight, 1974).

Part in fruit	Normal fruit					Disordered fruit				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Peduncle flesh	0.583	0.103	0.890	0.062	0.078	0.616	0.120	1.065	0.054	0.060
Calyx end flesh	.433	.074	.625	.054	.080	.448	.106	.990	.040	.062
Equator flesh	.418	.104	.850	.056	.075	.423	.098	.955	.044	.053
Peel	.777	.070	.330	.082	.114	.807	.068	.370	.067	.109
Core	.717	.070	.490	.103	.056	.689	.098	.650	.062	.045
Seed	4.900	.266	.586	.413	.496	4.830	.273	.600	.367	.420

Table 3-9. Comparison of mineral elements of 'Chōjuro' pear fruit showing various degrees of physiological disorder(1973).

Degree of disorder	% of dry weight					Absolute quantity(mg/ fruit)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Severe	0.444	0.111	0.992	0.048	0.067	143.5	36.3	325.1	15.5	21.7
Slight	0.402	0.105	1.001	0.057	0.061	141.5	37.5	355.0	19.5	21.2
Normal ¹⁾	0.398	0.098	0.832	0.063	0.053	129.6	33.3	299.1	23.5	17.9
Normal ²⁾	0.367	0.087	0.921	0.075	0.085	126.6	30.0	317.1	26.0	28.6
LSD at 5%	NS	NS	NS	0.009	0.022	NS	NS	NS	2.64	6.68
LSD at 1%				0.012	0.030				3.59	9.11

1) Collected from trees bearing disordered fruits.

2) Collected from trees bearing normal fruits only.

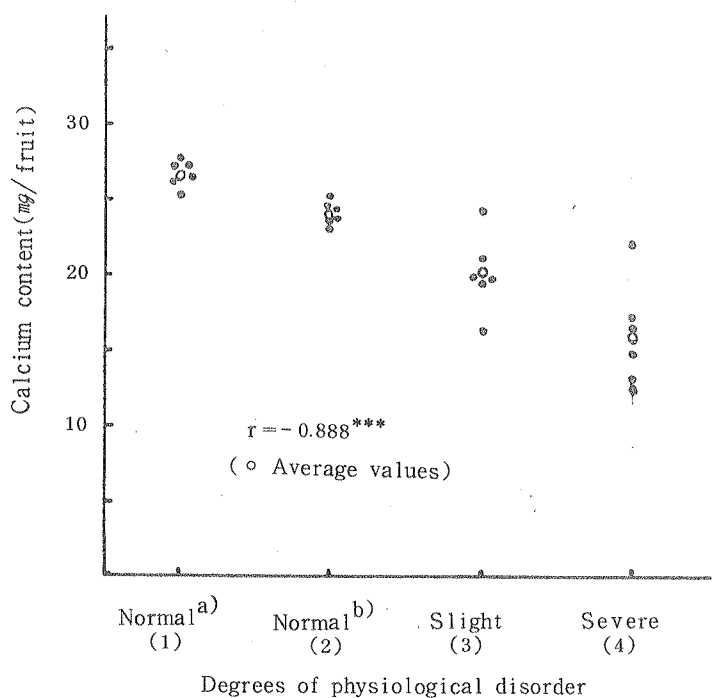


Fig. 3-33. Correlation between calcium content and degrees of physiological disorder in 'Chōjuro' pear fruits(1973).

a) Collected from trees bearing normal fruits only.

b) Collected from trees bearing disordered fruits.

*** Significant at the 0.1% level.

Table 3-10. Comparison of sugar contents of 'Chojuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (% of fresh weight, 1973).

Degree of disorder	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose Total sugar	Sucrose Fructose	Starch	Brix	Titrateable acidity (as malic)
Severe	10.69	9.03	3.79	5.24	1.58	0.148	0.302	0.023	12.7	0.120
Slight	11.51	9.83	3.21	6.63	1.60	0.139	0.241	0.021	13.0	0.111
Normal ^{a)}	12.21	10.17	3.51	6.68	1.94	0.159	0.290	0.015	12.0	0.106
Normal ^{b)}	13.23	10.98	3.51	7.43	2.14	0.162	0.288	0.011	13.2	0.092
at 5% LSD	1.42	NS	NS	1.27	NS	NS	0.048	0.007	NS	NS
at 1%	1.94			—			0.060	0.009		

Fruit analysis was done for the same fruits as those used in Table 3-9.

a) Collected from trees bearing disordered fruits.

b) Collected from trees bearing normal fruits only.

変化がみられず、滴定酸は障害果に多かったが、有意差は認められなかった。

3) 硬化障害果の発現程度におよぼす要因分析

長十郎障害果の発現程度別に分析した Table 3-9, 3-10の結果をこみにした 24 果をサンプリングに基づいて各特性値間の相関行列として表わしたものが Table 3-11 である。

無機成分間では、チッ素とリン、リンとカリウム、カルシウムとマグネシウム、リンとマグネシウム間でそれぞれ相関が認められた。無機成分と糖間では、チッ素と全糖、リンと全糖、ブドウ糖およびショ糖、カルシウムとブドウ糖以外の各糖、マグネシウムと全糖、還元糖およびブドウ糖間にそれぞれ有意の相関があった。

糖間では、全糖とブドウ糖以外の各糖との間に、還元糖と果糖、ブドウ糖と果糖およびショ糖、でんぶんと全糖、還元糖、およびショ糖との間にそれぞれ有意の相関が認められた。

その他、でんぶんとリン、カルシウムおよびマグネシウムとの間に、および、滴定酸と全糖、還元糖、果糖、およびでんぶんと間にそれぞれ有意の相関が認められた。

障害程度と全糖、還元糖、果糖、およびカルシウム含

量とは負の、でんぶんおよび滴定酸とは正の有意相関があった。

長十郎の障害程度の異なる果実が、これらの特性によって要約された指標（主成分）によってどのように特徴づけられるかを知るため、二十世紀と同様に主成分分析を行なった。この方法で計算した各特性値の第 4 主成分までの固有値、固有ベクトル、寄与率は Table 3-12 に示した。さらに、各特性値の因子負荷量に関して第 1 主成分を横軸（ Z_1 ）に、第 2 主成分を縦軸（ Z_2 ）にして二次元の座標上に射影したものが Fig. 3-35 である。第 1 主成分では全変動のうち 44.8% の寄与率を示し、絶対量の大きいでんぶん、滴定酸が負の値をとり、全糖、還元糖、カルシウム絶対量が正の値をとっていた。したがって、この第 1 主成分では果実中の無機及び有機成分の多少の関連を示す軸になっている。第 2 主成分ではブドウ糖及びショ糖が負の値を、果糖、Brix、リン絶対量及びカリウム絶対量が正の値をとり、果実成分間の関連を示している。第 2 主成分まで考えてみると、全変動の 65.2% の寄与率を説明している。

そこで、障害果発現程度別の各果実を第 1 及び第 2 主成分スコアに基づいて表わしたものが Fig. 3-36 である。障害樹の重症果（●印）はでんぶん及び滴定酸が多く、

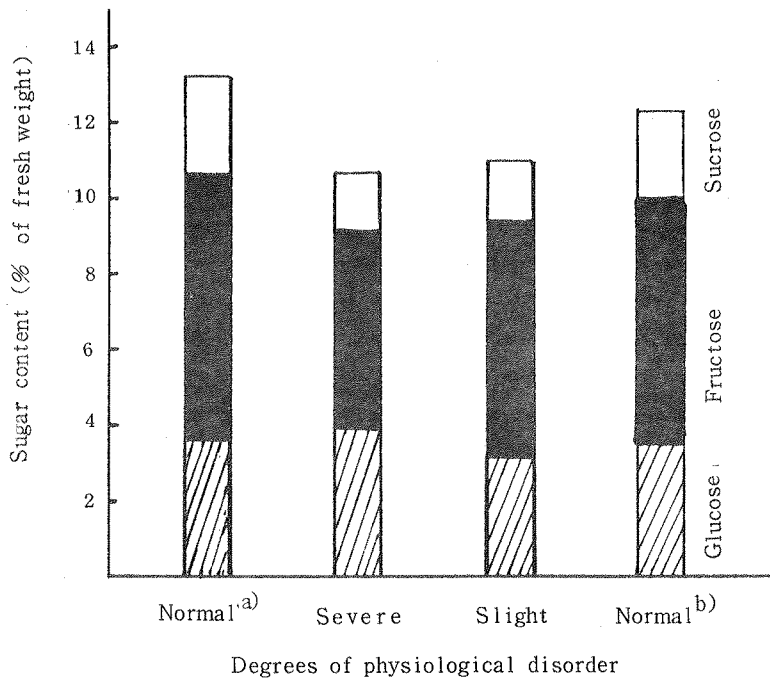


Fig. 3-34. Comparison of sugar components of 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

- a) Collected from trees bearing normal fruits only.
b) Collected from trees bearing disordered fruits.

カルシウム絶対量、全糖及び還元糖が少ない特徴がある。一方、健全樹・健全果(○印)は障害の発現が認められず、でんぷん及び滴定酸が少なく、カルシウム絶対量、全糖及び還元糖が多く、障害樹・重症果とは明らかに区別することができる。また、障害樹・軽症果(△印)は重症果に近い位置に分布し、障害樹・健全果(□印)は健全樹・健全果に近い位置にあり、明らかに区別することができた。

このように、障害果発現程度は第1主成分に関係するでんぷん、全糖、還元糖含量、滴定酸、カルシウム絶対量との間に関連があると考えられた。そこで、障害果発現程度を従属変数(Y)とし、第1主成分スコア(Z_1)を説明変数として単回帰式を求めた結果、 $y = 0.814 Z_1 + 2.5$ が得られた。また、両者の相関は $r = -0.713^{***}$

であった。これらの結果から、障害果発現程度と第1主成分スコアとの間には極めて高い相関関係が認められた。障害果発現程度と第2主成分スコア(Z_2)との単回帰式は $y = -0.328 Z_2 + 2.5$ が得られ、両者の相関は有意でなく、障害果発現程度と第2主成分スコアの間には相関が認められなかった。以上の結果、でんぷん、全糖、還元糖、滴定酸、カルシウム絶対量などが障害果発生に関係していることが明らかとなった。これらの要因のうち、どの要因が強く関与しているかを明らかにするために重回帰分析を行なった。

つぎに、障害果発現程度を従属変数(Y)にし、各特性値を説明変数(Xm)として変数選択型重回帰分析を行なった結果、 $Y = -0.224 X_{12}(\text{Ca}) + 7.228$ 寄与率78.8%が得られた。

Table 3-11. Means, standard deviations and correlation matrix of variables of 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

Variable	Mean	S.D.	Total sugar	R-sug.	Gluc.	Fruc.	Suc.	Star.	Brix	Acid	N-ab.	P-ab.	K-ab.	Ca-ab.	Mg-ab.
X ₁ Total sugar	11.91 ¹⁾	1.46	1.000												
X ₂ Reducing sugar	10.00 ¹⁾	1.15	*** .803	1.000											
X ₃ Glucose	3.51 ¹⁾	0.75	.176	.135	1.000										
X ₄ Fructose	6.50 ¹⁾	1.28	** -.619	*** .817	-.461	1.000									
X ₅ Sucrose	1.82 ¹⁾	0.89	* .597	.186	.491	-.113	1.000								
X ₆ Starch	0.018 ¹⁾	0.01	*** -.696	* -.500	-.082	-.397	-.503	1.000							
X ₇ Brix	12.9	0.42	* .445	* .457	-.224	.542	-.023	-.190	1.000						
X ₈ Titratable acidity	0.107 ²⁾	0.42	*** -.706	*** -.727	-.176	-.545	-.366	*** .655	-.132	1.000					
X ₉ N Absolute quantity	135.4 ³⁾	23.9	* -.464	-.200	.284	-.349	-.263	.396	-.211	.125	1.000				
X ₁₀ P	34.3 ³⁾	9.8	** -.536	-.349	-.439	-.054	-.574	* .456	.149	.498	.522	1.000			
X ₁₁ K	324.1 ³⁾	53.7	-.277	-.094	-.344	.118	-.346	.326	.138	.236	.361	*** .711	1.000		
X ₁₂ Ca	21.1 ³⁾	4.5	*** .819	*** .738	.034	*** .643	* .491	*** -.698	* .416	*** -.615	-.302	-.384	1.000		
X ₁₃ Mg	22.4 ³⁾	6.5	*** .687	*** .576	* .498	.223	.336	* -.473	.156	*** -.663	-.179	*** -.617	* .426	1.000	
Y ₁₄ Degree of disorder	2.5	1.1	-.653	-.616	.081	-.608	-.342	.689	-.394	.550	.298	.268	.170	*** -.888	-.303

1) % of fresh weight, 2) %, 3) mg / fruit.

Table 3-12. Results of principal component analysis for 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

Variable	Component No.				Contributions on 4 components
	1	2	3	4	
X ₁ Total sugar	0.394	0.063	0.024	0.154	93.4
X ₂ Reducing sugar	.339	.212	.249	-.194	90.8
X ₃ Glucose	.096	-.461	.428	.092	88.1
X ₄ Fructose	.248	.459	-.029	-.218	95.9
X ₅ Sucrose	.238	-.304	-.039	.635	92.6
X ₆ Starch	-.325	.008	.098	-.191	66.0
X ₇ Brix	.147	.378	.028	.282	57.5
X ₈ Titratable acidity	-.335	-.017	-.232	.247	78.4
X ₉ N absolute quantity	-.196	-.039	.682	.031	87.5
X ₁₀ P "	-.283	.346	.228	.239	90.5
X ₁₁ K "	-.175	.355	.325	.273	72.5
X ₁₂ Ca "	.349	.139	.025	.270	82.4
X ₁₃ Mg "	.304	-.162	.255	-.309	78.1
Eigen value	5.825	2.658	1.393	0.863	Mean 82.6 %
Contribution	0.448	0.204	0.107	0.066	
Cumulative contribution	44.8 %	65.2 %	75.9 %	82.6 %	

Note : m in X_m are the same symbols in the Table 3-11.

4. 考 察

第2節で長十郎果実中の養分要素の時期別変化において、障害果は健全果よりもチッ素、カリウム、およびカルシウム含量が少なかった。しかし、成熟期における同じ大きさで、熟期が同程度の果実を分析した本節の結果では、障害果のチッ素、リン、およびカリウム含量が健全果よりも多かった。このように異なった結果は、先の

二十世紀についても見られており、その原因として時期別変化のために分析した果実は、採取各時期におけるそれぞれの平均的な果実を採取しているために、障害果と健全果との間に果重差および熟度差があったためと思われる。

本節の実験において、同程度の果重や熟度の果実を分析した際にはチッ素、リン、カリウム成分が障害果に多い結果になり、第3章第1節で検討したように障害果と

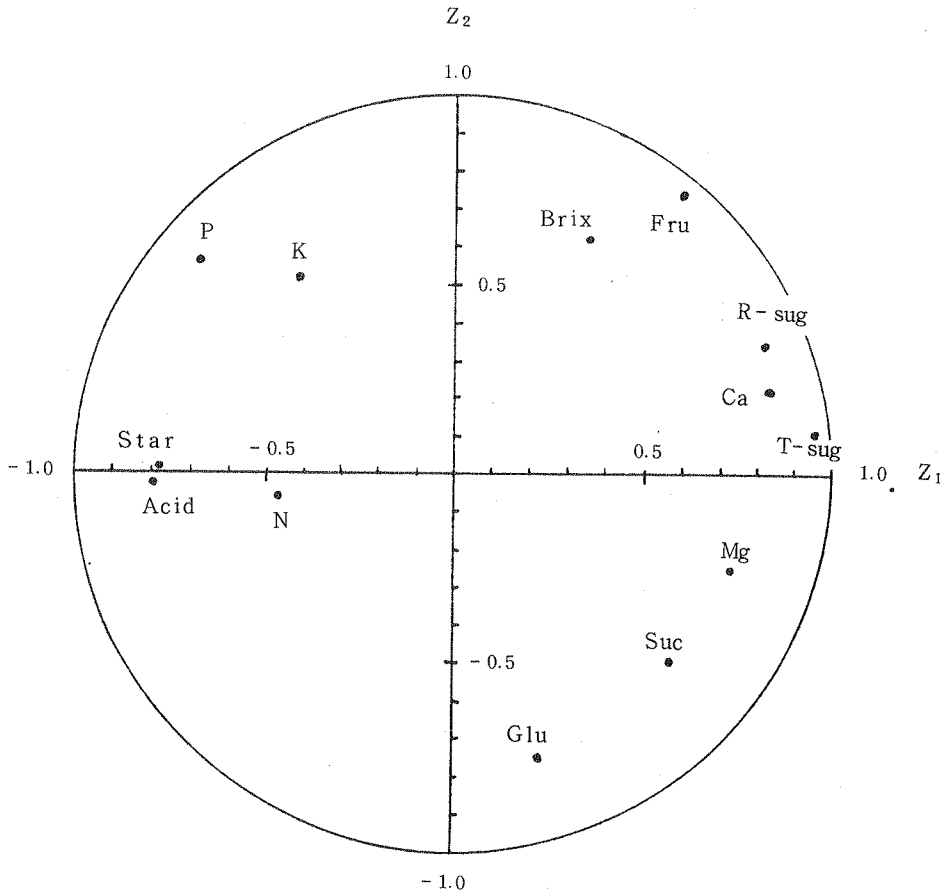


Fig. 3-35. Correlation between variables and the first and the second components in 'Chojuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (factor loading).

T-sug=Total sugar, R-sug=Reducing sugar, Glu=Glucose, Fru=Fructose, Suc=Sucrose, Star=Starch, Acid=Titratable acidity.

健全果における果実発育および成熟度の差異が果実中の養分要素に影響してくる。

いずれにしろ、障害程度別間において統計的に有意差が認められなかったことは、障害果発生に、チッ素、リン、およびカリウム含量が直接的に関与していないわけであって、その意味では二十世紀の結果（第3章第4節）とほぼ同じとみなすことができる。

カルシウムとマグネシウム含量は障害程度の異なる果実間では障害果にとともに少なく、有意差が認められたが、そのうちマグネシウムについては障害果発生樹に結実し

ている健全果において著しく少ない含量であったために得られた結果であった。したがって、障害果発現程度と密接な関係が認められたのはカルシウム含量のみであり、また、障害果発生の限界カルシウム含量は20mg/果以下であるという基準が得られた。これは、石ナシ果はカルシウム含量が少ないとする向井らの1965年園芸学会春季大会の報告を裏づける結果であると同時に、前節と同じ結果でもあった。

つぎに糖含量では、各糖とも障害果の発現程度に関連して増減が認められたが、有意差が認められたのは全糖、

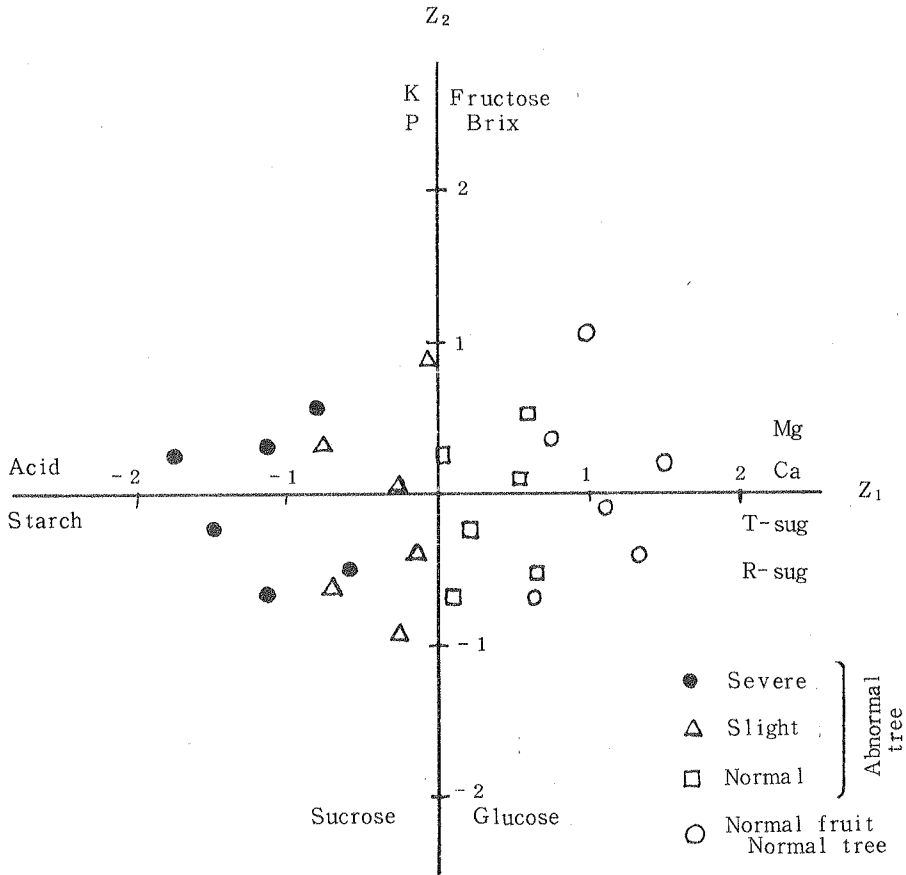


Fig. 3-36. Scatter diagram of 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

Acid=Titratable acidity, T-sug=Total sugar,

R-sug=Reducing sugar.

果糖,そしてでんぶんのみであった。とくに,果糖含量は長十郎果実で糖の分別成分中最も多く,障害程度が著しくなるにしたがって減少したことは,先の二十世紀の結果とも共通していた。また,でんぶん含量も症状が著しくなるとともに増加していたことは,糖構成と密接に関連している成分だけに,障害果の果実内で何等かの代謝異常が起っていることを意味している。それはまた,障害果発生の指標要因になり得るものと思われる。

障害果の発現程度と全糖,還元糖,果糖,およびカルシウム含量とは負の,発現程度とでんぶんおよび滴定酸とは正の有意相関が認められた。

主成分分析によると,全変動の44.8%を説明する第1主成分ではでんぶん,滴定酸,全糖,還元糖,カルシ

ウム絶対量などの特性によって特徴づけられていた。このことは,これら成分の多少が障害果発現程度と極めて密接な関係にあることが示された。こうした結果を,前節の二十世紀の結果と比較してみるならば,でんぶん,全糖,還元糖及びカルシウム含量などが同じく関連する要因であり,また,重回帰分析によると,障害果発現程度に対してカルシウム含量が関与していたことは,二十世紀のユズ肌果と長十郎の石ナシ果とはほぼ同じ要因によって発現しているという特徴を把握することができる。

5. 摘 要

長十郎果実の硬化障害果(石ナシ果)は二十世紀の障害果(ユズ肌果)と同一原因により発生する症状である

かどうかを検討するため、成熟期に障害果を発現程度（障害程度）別に分析し、それらの結果について要因分析を試みた。

1) 長十郎の硬化障害果と健全果とを果実の部位別に分析した結果、果肉ではチッ素、リン、およびカリウム含量が障害果に多く、カルシウムおよびマグネシウム含量は健全果に多かった。果心および種子ではチッ素含量が、果皮ではリン含量が健全果に多かった以外、各成分とも果肉とはほぼ同様な傾向を示した。

2) 障害程度別では、チッ素、リン、およびカリウム含量は症状が甚しくなるにしたがって増加する傾向であったが、統計的に有意差は認められなかった。カルシウムおよびマグネシウム含量には有意差が認められたが、障害程度とともに変化したのはカルシウム含量のみであ

り、それらの間には $r = -0.888^{***}$ の有意相関が認められた。

3) 長十郎果実の糖含量は、障害程度が甚しくなるにしたがって全糖、還元糖、果糖、ショ糖が減少し、ブドウ糖およびでんぷんは増加した。しかし、統計的に有意差が認められたのは全糖、果糖、およびでんぷんのみであり、とくに、果糖の減少が著しかった。

4) 障害果の発現程度と全糖、還元糖、果糖、およびカルシウム含量とは負の、発現程度とでんぷんおよび滴定酸とは正の有意相関が認められた。主成分分析により、障害果発現程度はでんぷん、滴定酸、全糖、還元糖、カルシウム絶対量などの多少と密接な関係にあることがわかった。したがって、これらの要因は二十世紀の硬化障害に関連していたものとほぼ一致していた。

第6節 二十世紀の硬化障害果の細胞組織と細胞壁成分

1. 緒 言

ナシ果実の硬さは果肉の細胞数および石細胞数（群）、さらに、細胞壁成分の状態に支配されていることが知られている^{96,97)}。既往の研究で、硬化障害果は石細胞数が多いとする報告^{30,102,134)}がある反面、あまり増加が認められないとする報告^{48,49)}もある。このように、石細胞数（群）の量的変化については明らかな結論が得られていない。

一方、石細胞壁成分の変化についても二・三の報告^{49,96,97)}があるだけであり、石細胞数（群）と細胞壁成分の関係についても明らかにされていないので、本実験ではこれらの関係について検討した。

2. 材料および方法

細胞の形態観察に先だって、第3章第3節で明らかにしてきた果実部位別の無機成分量を検討した。供試した果実は1974年9月5日に二十世紀28年生樹の障害果発生樹と健全樹から5果ずつを採取し、それら果実を果皮、果心、果肉、種子に分け、さらに、果肉を果梗部、赤道部、ていあ部に三分して分析に供した。分析法は第1章第1節で実施した方法と同じである。

果実硬度は富士理化（株）のレオメーター RUD-J 型を用いて、9月5日採取した果実の果梗部、赤道部、

ていあ部を円筒状の $\phi 5\text{ mm}$ アダプターで 0.5 mm / 秒の速度で加圧して測定した。

石細胞数（群）調査は、第3章第1節で果実の季節的発育調査から明らかにしたように障害果と健全果の平均的果実発育に差が認められるにいたった果実を選んだ。すなわち、障害果と健全果は7月1日（幼果期）には果重がそれぞれ 16.3 g と 18.6 g 、9月18日（成熟期）にはそれぞれ 295.1 g と 318.2 g のものを10果ずつ採取した。供試果実はタテ割りし、半断面の果肉部の面積を測定し、その後、石細胞が褐変するまで濃硝酸に浸漬した。褐変後、水洗し（Fig. 3-39）、半断面内に分布する石細胞数（群）を解剖顕微鏡下で数えた。

果肉内のでんぷんは、9月15日に採取した果肉を凍結切片とし、スライドガラス上で $0.01\text{ N I}_2\text{-KI}$ 液を1滴たらして検鏡した。

果肉中でんぷんの定性反応は滝の方法¹⁵¹⁾で行なった。すなわち、糖抽出後の残査を20%過塩素酸溶液で3回抽出し、回収液を遠心分離した。沈澱物を4 cm巾のペーパークロマトにバンド状につけ風乾し、展開液を15% KOH 液とし、下降法で1日間流下させ、洗浄後、流水で完全に KOH を除き風乾した。これをさらに、35% KClO_4 溶液で1夜流下洗浄後、再び流水で洗浄し風乾した。このペーパークロマトを0.2%沃素アルコール溶液に浸漬して呈色反応させた。

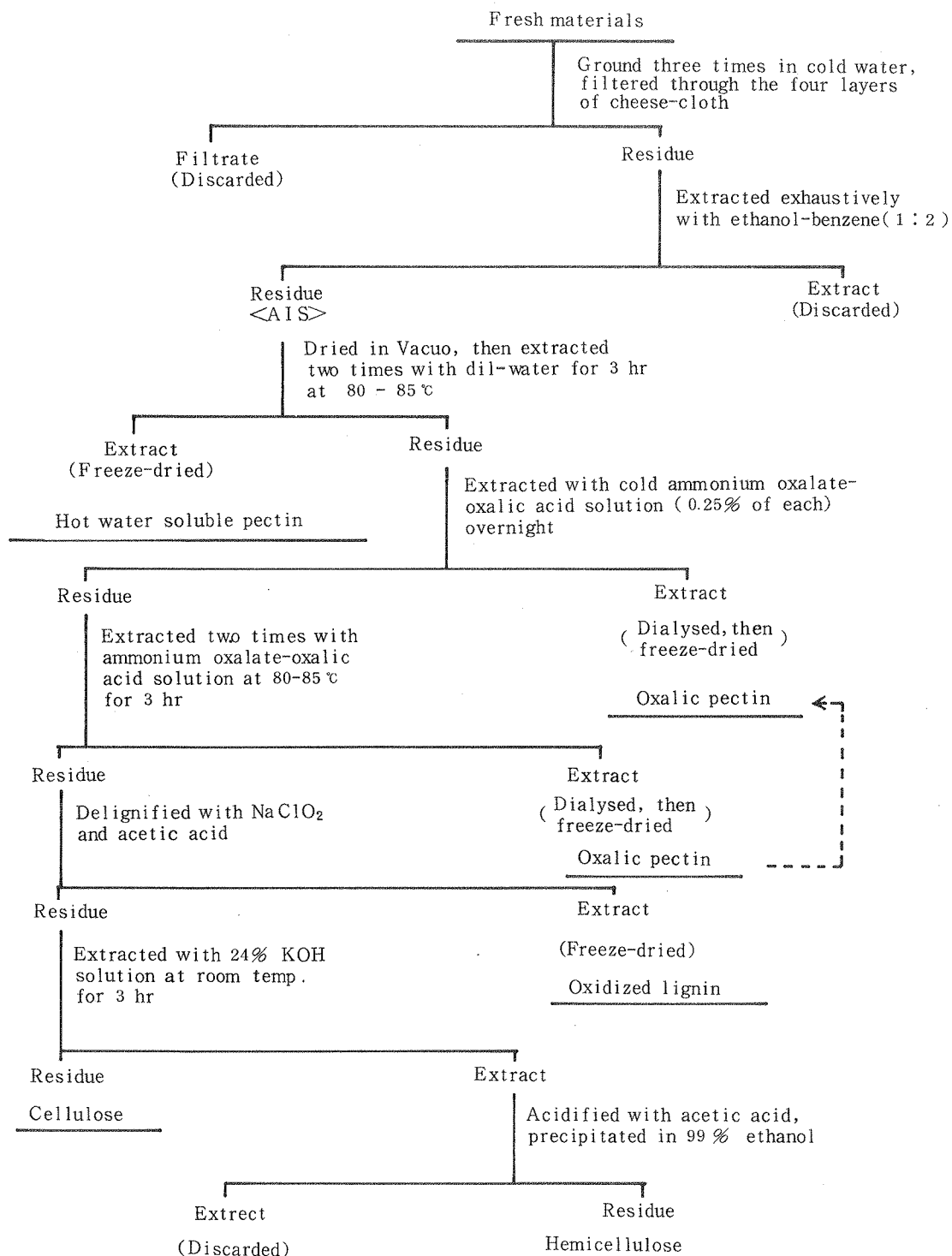


Fig. 3-37. Fractionation of cell walls substances from fruit flesh⁵⁴⁾

果実の表皮細胞は9月15日に採取した果実の表皮部分の凍結切片をつくり、スーダンⅢ液で染色、検鏡した。

果肉中の細胞壁部分はFig. 3-37に示したように、伊藤⁵⁴⁾の方法で、7月20日、9月15日に採取した果実から熱水ペクチン、シュウ酸ペクチン、酸化リグニン、セルロース、ヘミセルロースに分離定量した。

3. 実験結果

1) 果実の部位別成分含量と硬度

硬化障害果と健全果における果実の部位別無機成分含量はTable 3-13に示した。各部位におけるチッ素、リン、カリウム含量は障害果に多く、種子中のチッ素含量のみが健全果に多かった。

カルシウム含量は各部位とも健全果より障害果に少なく、とくに、果肉中のていあ部で著しく低下していた。マグネシウム含量は種子以外の部分で障害果より健全果のほうが多少低下していた。

果肉硬度はFig. 3-38に示したように、健全果は果梗部が 440 g/cm^2 であり、ていあ部でも 480 g/cm^2 であったのに対し、障害果は果梗部が 490 g/cm^2 で、赤道部 582 g/cm^2 、ていあ部が 976 g/cm^2 と、ていあ部になるにしたがって増加した。

2) 果肉細胞

Fig. 3-39に示したように、健全果より約28g劣る

障害果では果肉部の発育が劣っており、これらの半断面における果肉面積と石細胞数(群)を測定した結果はTable 3-14に示した。幼果期(7月1日)と成熟期(9月18日)における障害果は、両時期とも果重、半断面積および単位面積当りの石細胞数(群)において健全果より劣っており、それぞれ有意差が認められた。しかし、半断面積内における石細胞数(群)では有意差が認められなかった。これは材料として選んだ障害果と健全果の間で、果実差がある場合、1果中に存在する石細胞数(群)には差がないことを意味している。

障害果は果肉内にでんぷん粒が残存することが知られているが、石細胞周辺(Fig. 3-40)、および一般細胞内(Fig. 3-41)にも多く分布していることが認められた。これらでんぷん粒を抽出して、アミロースとアミロペクチンに分離し、呈色反応を調べた結果、アミロペクチンは障害果と健全果の間で差異が認められず、アミロースはブルーのバンドの部分が多少広い程度であった(Fig. 3-42)。

つぎに、果実の表皮細胞の写真をFig. 3-43に示した。障害果はスーダンⅢで染色した結果、健全果よりも厚い表皮が見られた。これは果実表皮が脂質物質で被われていることを示している。

Table 3-13. Comparison of nutrient contents in different sections of normal and disordered fruits of 'Nijisseiki' pear (% of dry weight, 1974).

Parts in fruit	Normal fruit					Disordered fruit				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Peduncle flesh	0.579	0.072	1.290	0.068	0.058	0.627	0.092	1.365	0.058	0.058
Calyx end flesh	0.568	0.068	1.275	0.062	0.059	0.608	0.096	1.380	0.050	0.060
Equator flesh	0.488	0.059	1.125	0.060	0.068	0.527	0.081	1.180	0.042	0.070
Peel	0.896	0.058	0.665	0.120	0.148	0.959	0.058	0.625	0.100	0.179
Core	0.717	0.072	0.890	0.130	0.071	0.607	0.096	1.049	0.095	0.068
Seed	4.899	0.262	0.575	0.400	0.487	4.720	0.267	0.590	0.375	0.472

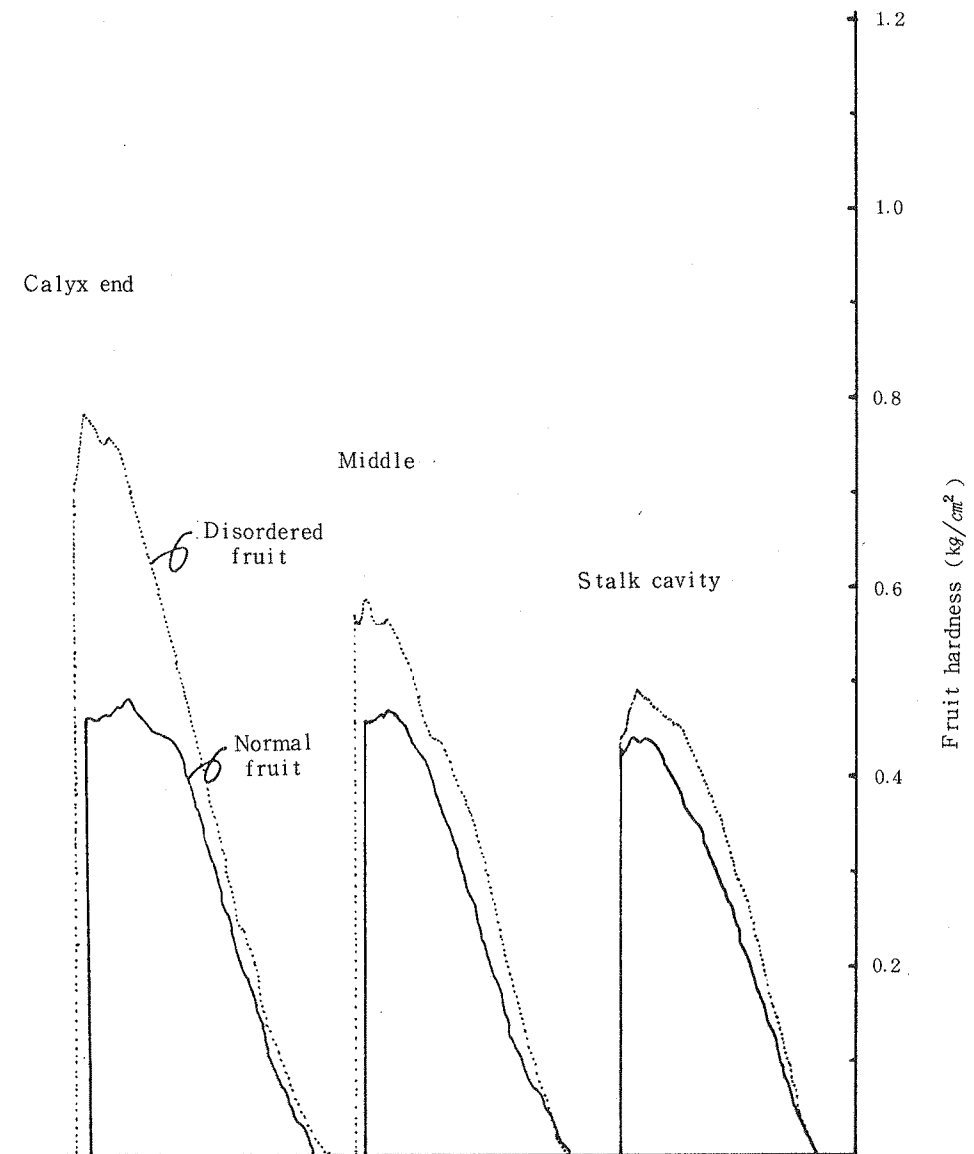


Fig. 3-38. Comparison of fruit hardness on the fruits sections between the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear(1974)

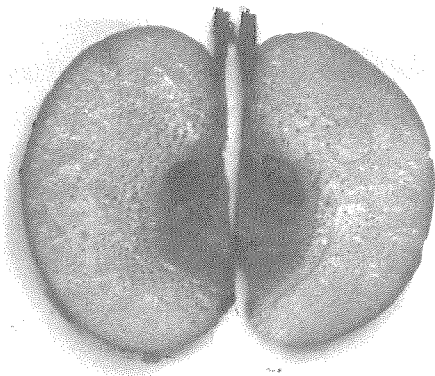


Fig. 3-39. Comparison of distribution of stone cells in the half-sections of normal(left) and physiological disorder(right) of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

3) 細胞壁成分

障害果と健全果の7月20日と9月15日における細胞壁成分含量をTable 3-15に示した。果重および果肉重とも健全果は障害果よりも重いが、含水率が高いため、アルコール不溶性物質(AIS)含量%では少なくなっている。

また、新鮮果肉中およびAIS中の各成分は、障害果は熱水ペクチン、酸化リグニン含量が健全果よりも多かった。

これら各成分の含有割合を分配率(%)で表わしたものがFig.3-44である。7月20日から9月15日の間で、分配率の変化は、熱水ペクチン、酸化リグニンで障害果、健全果ともに増加したが、シュウ酸ペクチンは障害果ではやや低下したのに対し、健全果ではやや増加した。

また、健全果は7月20日にセルロースが多く含まれていたものの、成熟期の9月15日には障害果とあまり差が認められない含量になった。ヘミセルロースは健全果が成熟期に多少増加したのに対し、障害果はやや減少した。

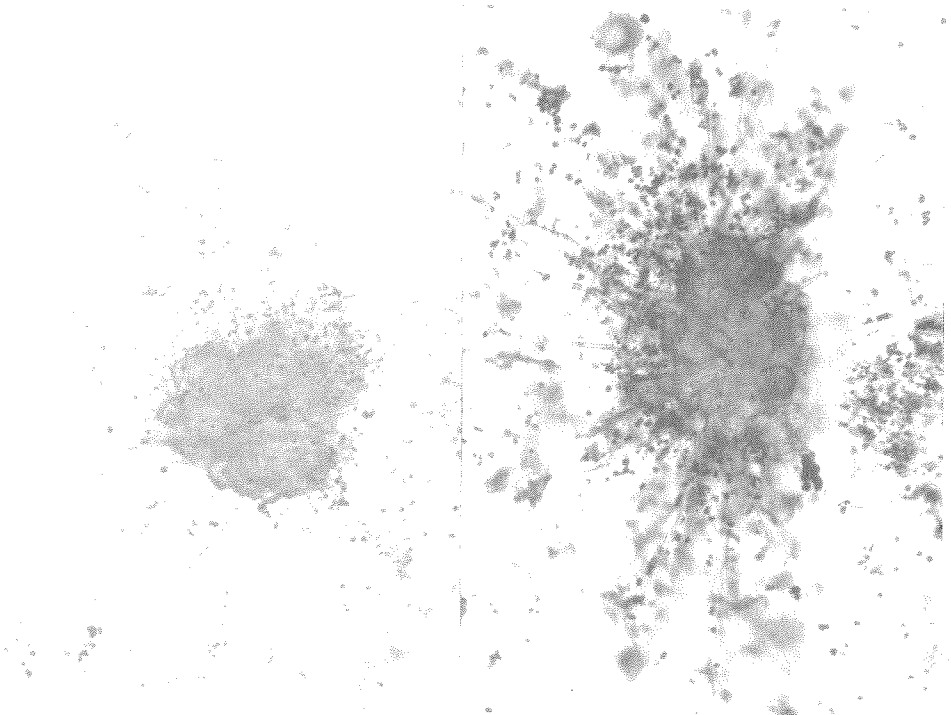


Fig. 3-40. Comparison of starch distribution around the stone cell in normal (left) and physiological disorder(right) of 'Nijisseiki' pear fruits (x100; 1974).

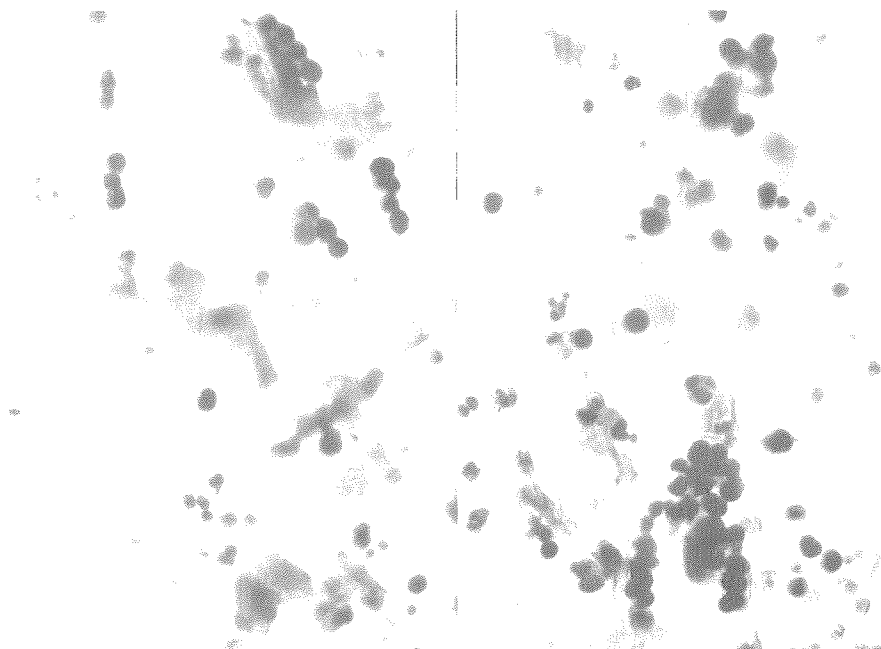


Fig. 3-41. Comparison of starch distribution in the cells of normal(left) and physiological disorder(right) of 'Nijisseiki' pear fruits ($\times 400$; 1974).

Table 3-14. Changes of stone cell in developmental stage of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

Division	Young fruit period (July 1)				Maturation period (Sept.18)			
	Yield	Half cross-sectional area	No. of stone cell in half cross-sectional area	No. of stone cell in cm^2	Yield	Half cross-sectional area	No. of stone cell in half cross sectional area	No. of stone cell in cm^2
Disordered fruit	g 16.3	cm^2 3.06	843.5	275.7	g 295.1	cm^2 29.2	1042.8	35.7
Normal fruit	18.6	4.36	788.7	180.9	318.2	32.1	1019.0	31.7
Significance	*	**	NS	**	*	**	NS	**

*, ** : Significantly different at the 5% and 1% level, respectively.

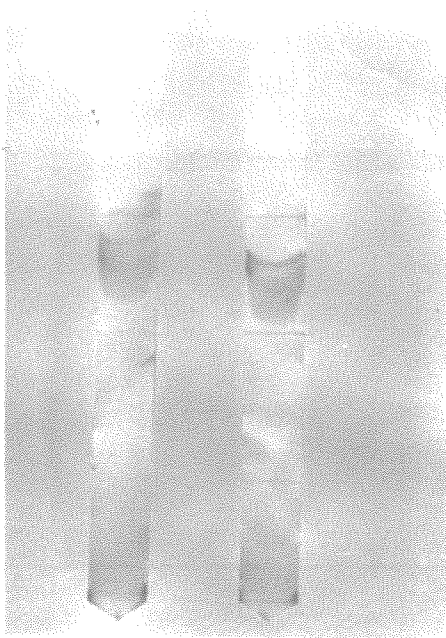


Fig. 3-42. Separation of amylose (above-blue band) and amylopectin (below-brown band) from starch in normal(right) and physiological disorder(left) of 'Nijisseiki' pear fruits by paper chromatography (1974).

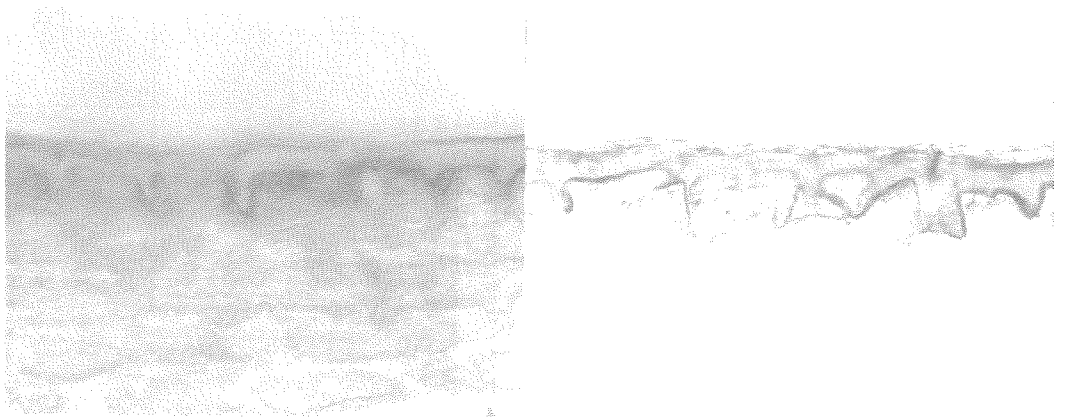


Fig. 3-43. Comparison of thickness of epidermal cells in normal(left) and physiological disorder(right) of 'Nijisseiki' pear fruits($\times 600$; 1974).

したがって、ホロセルロース(セルロース+ヘミセルロース)は、障害果よりも健全果のほうが多かった。

4. 考 察

硬化障害果は障害の発現程度が軽い場合にはていあ部のみに硬化が見られ、症状が著しくなるにしたがって赤道部、果梗部へと進行していく。これは、この障害が果実発育と養分供給に関連して発現する症状であるため、ていあ部から順次発現することが考えられる。すなわち果実発育は遠山ら¹⁵⁶⁾、林³²⁾らによれば、二十世紀では開花1か月後の反曲点を境にして、細胞分裂による果実発育から細胞肥大による果実発育にうつるとされている。細胞分裂による果実発育は主に縦径がのびるように発育し、細胞肥大による発育は果実の横径の肥大が多いことが知られている³¹⁾。反曲点となる5月中旬頃には、障害果と健全果の外見による識別はまったくできず、これまでの観察では外見的には6月⁴⁹⁾～8月上旬⁴⁷⁾になってはじめて識別でき、成分の経時的分析結果の差が判然としてくるのは、症状が外見的に識別のできる時期から約1か月前の7月上旬(本章第1節)からであった。この時期は果実発育上、養水分が著しく果実内にとりこまれる時期で、また、細胞肥大が著しくなる時期でもある。こうした肥大が収穫期まで続くのであるが、Fig. 3-39にみられるように、健全果でもていあ部の発育よりも赤道部、果梗部の発育がまさっており、障害果はていあ部と果梗部の発育差がより顕著になっている。

Table 3-15. Cell wall substances in different season of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

Division	Fruit weight g	Flesh weight g	% of water content	* AIS content		Respective substances in AIS (%)						
				g /Fruit	%	Hot water soluble pectin	Oxalic pectin	Oxidized lignin	Hemi-cellulose	Cellulose	Holo-cellulose	
Disordered fruit	July 20	86.3	68.1	89.8	2.213	3.25	1.81	11.6	16.7	41.8	28.1	72.8
	Sept. 15	236.4	207.9	88.5	2.599	1.25	3.67	12.2	20.7	38.4	25.0	63.4
Normal fruit	July 20	95.3	72.0	90.0	1.782	2.48	1.90	11.7	15.2	34.4	36.8	71.2
	Sept. 15	272.7	243.9	89.9	2.731	1.12	2.94	13.1	16.3	41.3	26.4	67.7

Division	Respective substances in fruit flesh (%)						
	Hot water soluble pectin	Oxalic pectin	Oxidized lignin	Hemi-cellulose	Cellulose	Holo-cellulose	
Disordered fruit	July 20	0.059	0.375	0.541	1.360	0.915	2.372
	Sept. 15	0.046	0.153	0.259	0.480	0.313	0.793
Normal fruit	July 20	0.047	0.298	0.376	0.853	0.911	1.764
	Sept. 15	0.033	0.147	0.182	0.642	0.296	0.758

* Alcohol insoluble substance

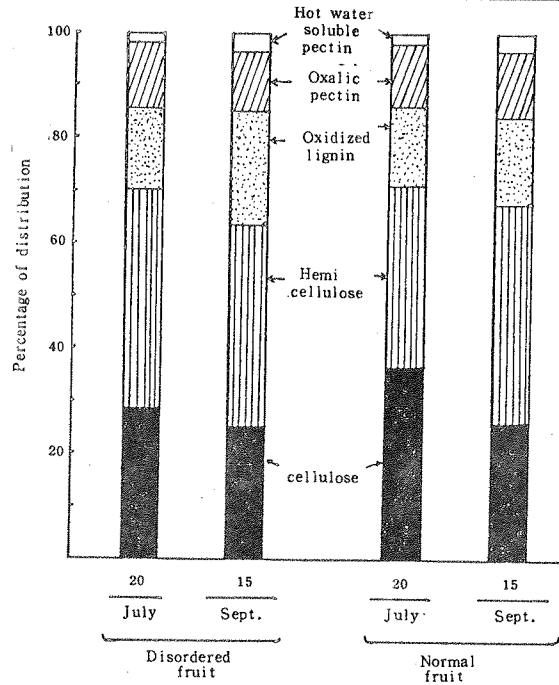


Fig. 3-44. Compositional rates of each substances obtained from cell wall preparations in the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1974).

以上のような、果実の部位別に发育差があり、しかも、障害果は健全果よりもその差が顕著であることからして、果肉内成分の面でも同様なことが考えられる。障害果は各成分とも果梗部よりもていあ部で低下していたが、とくに、カルシウム含量は、障害果ではていあ部に著しく少なくなっており、发育の差と一致した傾向であった。

果実硬度は健全果が三部位で $440 \sim 480 \text{ g/cm}^2$ であまり差が認められなかったのに対し、障害果は果梗部 490 g 、赤道部 582 g 、ていあ部 976 g/cm^2 と果梗部よりもていあ部の硬度が著しく高かった。この傾向は果肉内のカルシウム成分のていあ部における低下と、果実の部位別发育差と同様な傾向を示しており、次に検討する細胞壁成分の変化とも密接に関連しているものと思われる。

二十世紀果実の石細胞について、三木¹⁰⁰⁾は大きい石細胞群が多く存在するものの、その分布密度は少ないとしている。硬化障害果について、石細胞数(群)が多くなるという報告^{30,102,134)}と、あまり増加しないとする報告^{48,49)}とがある。

本実験では本章第1節で明らかにしたように障害果と健全果において果実の发育差が認められているので、両区間の平均的な发育差を示している果実を用いて調査し

た。すなわち、幼果期(7月1日)には 2.3 g 、成熟期(9月18日)には 23.1 g の差のあるものを選び、半断面内における石細胞数(群)を調査した。その結果、幼果期も成熟期も果重、半断面面積では障害果が小さく、半断面内の石細胞数(群)では差が認められなかった。したがって、単位面積当りの石細胞数(群)は、障害果に多くなり、有意差も認められた。もし仮に、障害果と健全果についてほぼ同じ大きさの果実を同様な方法で調べたならば、果実の半断面面積では両区の差が認められなくなり、半断面内の石細胞数(群)では障害果に多くなり、単位面積内の石細胞数(群)も多い結果になることは明らかである。

このように、調査する際の果実の大きさや、顕微鏡下で検鏡する際の方法によって異なることは当然であるが、石細胞数(群)が多いとした報告^{30,102,134)}は一定の大きさの果肉切片を摘出して、顕微鏡下の1視野内における石細胞数(群)を調査した結果である。これは単位面積内における石細胞数(群)を調査したことになり、本実験の障害果の単位面積当りの石細胞数(群)が多かったことと一致する。

一方、猪瀬ら⁴⁸⁾の結果のように、ほぼ同じ大きさの果

実を用いて、顕微鏡の同一視野内における石細胞数が各部位でも差が認められなかったという報告もある。いずれにしても、障害果発生が内的にも外的にも変化が認められる時期、すなわち、6月下旬から7月上旬の果実発育が顕著になる時期というものは、遠山ら¹⁵⁶⁾、林³²⁾らの報告している細胞分裂が旺盛に行なわれている時期をはるかに過ぎている時期であることを考慮するならば、障害果に石細胞数が著しく増加することはあまり考えられない。むしろ、障害果において、単位面積あたり石細胞数が多いということは果実発育(細胞肥大)が劣っていることに由来すると見るべきであろう。

障害果のでんぷん粒の増加は果肉の大部分の細胞、および石細胞周辺に見られ、林³⁰⁾の結果や、本章第4、5節の分析データにおいて増加していることとよく一致していた。しかし、でんぷんを構成しているアミロースおよびアミロペクチンといった質的变化については明らかに差は認められなかった。

障害果の表皮細胞が肥厚していたのは、脂質物質の集積によるためである。このことについては次章において明らかにしている呼吸作用が異常に促進された結果と関係していると思われる。

二十世紀果肉中の細胞壁成分は、町田ら⁹⁶⁾の報告によれば、AIS%で不溶性ペクチン、ヘミセルロース、ホロセルロースが多く、セルロースはあまり多く含まれていないとしている。本実験では新鮮果肉中およびAIS中の熱水ペクチン、酸化リグニンが障害果に多く含まれており、町田ら⁹⁷⁾の硬化障害果に水溶性ペクチンが多く、不溶性ペクチンが少ないとする報告、高辻らが1977年に、落葉果樹試験研究打合せ会議資料の中で、長十郎石ナシ果で硫酸リグニンが多いとした成績や、猪瀬ら⁴⁹⁾のホロセルロースが少ないとする報告などと一致していた。しかし、田辺らが1976年園芸学会春季大会に発表した不溶性ペクチン、セルロース、ヘミセルロースがユズ肌果で多いとする報告とは必ずしも一致しない面もあった。

いずれにしても、果実の硬化現象に関連する要因として、水溶性ペクチンは全カルシウムとともに果実硬度に関与

しているとする報告¹⁹⁾があり、石細胞の構成成分であるリグニンなどが多くなっていることは当然考えられる。

さらに、セルロース、ヘミセルロース、ペクチンなどは多糖類に属しており、本章前節で明らかにした糖含量の変化やでんぷん粒の残存など、糖代謝に関与していることが推測され、障害果にホロセルロース(セルロース+ヘミセルロース)が少なかったことは障害発生に何かの関係があるものと思われる。

5. 摘 要

硬化障害果が健全果に比して果実の部位別にどのような成分的差異を示すかについて、また、障害果と果実硬度との関係について調査し、さらに、とりわけ石細胞数(群)の量的変化についても調査した。さらに、硬化現象に大きく関与している細胞壁成分についても分別定量した。

1) 障害果のチッ素、リン、カリウム含量は健全果より種子以外の各部位でやや多く含まれていたが、両区とも果梗部よりていあ部で少なかった。カルシウム含量は障害果に少なく、とくにていあ部で著しく少なかった。果実硬度はカルシウム含量と反比例の傾向が認められ、障害果のていあ部で著しく硬化していた。

2) 果肉の細胞組織は、果重および半断面面積が障害果で少ないため、半断面内の石細胞数(群)では有意差が認められなかったものの、単位面積当りの石細胞数(群)が健全果よりも多くなった。

3) 障害果は細胞内および石細胞周辺にでんぷん粒が多く分布していたが、でんぷんを構成しているアミロースおよびアミロペクチンの差は認められなかった。

4) 障害果の表皮細胞が肥厚していたのは脂質の集積によるためであり、呼吸代謝の異常と関係していると思われた。

5) 障害果は細胞壁中に水溶性ペクチンと酸化リグニンが多く含まれ、ホロセルロース(セルロース+ヘミセルロース)は低下していた。これら細胞壁成分の変化は果実の硬化現象と密接に関連していた。

第7節 長十郎果実の硬化障害発現程度と細胞壁成分との関係

1. 緒言

長十郎の障害果は果実の硬化が著しく^{7,48,149)}、それらは水分含量の低下とともに、細胞壁成分が変化していることも知られている(49、及び高述らが1977年と1978年ともに落葉果樹試験研究打合せ会議資料、1978年園芸学会春季大会に発表した成績)。先の第6節の二十世紀でも、障害果は水溶性ペクチンと酸化リグニンが多く、ホロセルロースの低下が認められたので、本節では障害程度別に細胞壁成分を分析して、障害果の発現程度と細胞壁成分との関係について検討した。

2. 材料および方法

供試果実は、前節と同じように長十郎31年生樹(1973)5樹から9月12日に採取した。障害果の発現程度および健全果の区分も前節と同じ基準で選び、1樹から各症状別に310±10gの果実を6果ずつ計30果、あわせて健全樹5樹から2果ずつ計10果を採取し、合計40果を用いた。

果肉からのアルコール不溶性成分(AIS)は、障害果発生樹の1症状につき2果ずつサンプリングした果実から1果につき果肉150gずつ計300gをとり、70%エタノール中で磨砕し、20分間煮沸した。冷却後、80%エタノールを加えて10分間煮沸し、これを滲液のアントロン反応がなくなるまでくり返した。その後、残査を無水アルコールで2回、アセトンで2回、エーテルで2回洗浄し、デシケーター中で恒量になるまで乾燥してAISとした。

可溶性ペクチンはAIS 0.5gを用い、30℃の温湯中で3時間ずつ2回抽出し、滲液を凍結乾燥した。残査を80℃の0.05N塩酸で1夜および3時間と2回抽出し、不溶性ペクチン用とした。その後の処理は町田ら⁹⁶⁾の行なった方法を用いて、0.1N NaOHで中和した後、同試薬を100ml加えて1夜静置した。1N酢酸50mlを加えた後、1M CaCl₂溶液を50ml加え、1時間静置した後5分間煮沸した。直ちに滲過後、数回熱湯で洗浄し、G3ガラスフィルターに移して乾燥後秤量した。

総ペクチンは可溶性ペクチンと不溶性ペクチンの合計で表わした。

ホロセルロースはJermyn (1955)⁹⁶⁾の方法を用いた。

すなわち、AIS 0.8gに0.5%シュウ酸アンモニウムを加え、80℃恒温器中でかくはんし、5時間後に滲過した。残査にふたたび0.5%シュウ酸アンモニウムを加え、1夜80℃に保ち、翌朝滲過した。残査を蒸留水で洗い、三角フラスコに移してから氷酢酸と亜塩素酸ソーダで塩酸処理を行なった。その後ガラスフィルターで滲過後、氷水、アルコール、アセトン、エーテルで脱水後、恒量になるまで乾燥した。

セルロースはホロセルロース0.3gをとり、10%NaOHを加えた後、75℃恒温に18時間かくはんしながら保ち、その後、G2ガラスフィルターで滲過し、残査を蒸留水で洗浄後、乾燥して、セルロース量とした。

ヘミセルロースはホロセルロースからセルロースを引いた差で表わした。

果肉硬度はハードネスメーターで測定した。

主成分分析は第1章第2節と同じ方法で行なった。

3. 実験結果

1) 長十郎硬化障害果の果肉発育

長十郎の障害果と健全果における果肉発育についてFig. 3-45に示した。果心の発育は横径および縦径とも両者の差がほとんど認められなかったが、果肉部においては著しい差がみられた。



Fig. 3-45. Comparison of distribution of stone cells in the half-sections of normal(left) and physiological disorder(right) of 'Chōjuro' pear fruits(1973).

また、石細胞群の分布も、障害果は全体的に果実発育が劣っているために、単位面積内における密度としては多くなっているものの、果肉半断面内の石細胞群数としては、二十世紀と同様、あまり増加していない。

2) 硬化障害果の発現程度別における細胞壁成分

障害果の発現程度と細胞壁成分の含量については Table 3-16 に示した。障害程度が著しくなるとともに果肉硬度および AIS 含量も多くなり、一元配列の分散分析の結果、有意差が認められた。

AIS 中に含まれる細胞壁成分は、総ペクチン、可溶性ペクチン、および不溶性ペクチンが障害程度とともに増加したが、有意差が認められたのは総ペクチンと不溶性ペクチンのみであった。一方、新鮮果肉中に含まれる細胞壁成分は、総ペクチン、可溶性ペクチンおよび不溶性ペクチンとも増加したが、有意差が認められたのは総ペクチンと可溶性ペクチンのみであった。

AIS 中のホロセルロース、セルロース、およびヘミセルロースは障害程度が甚しくなるとともにやや増加したが、新鮮果肉中ではヘミセルロースが障害程度とともに著しく増加し、ホロセルロースおよびセルロースはやや増加した程度であった。

3) 細胞壁成分の要因分析

果肉硬度、AIS、および細胞壁成分間における相関行列については Table 3-17 に示した。果肉硬度と AIS との間には正の有意相関が認められた。また、果肉硬度と新鮮果肉中のヘミセルロース以外の各成分との間で、それぞれ正の有意相関が認められたが、AIS 中の各成分とはすべて有意な相関が認められなかった。

AIS 中の各細胞壁成分間で多少相関が認められたが、それ以上に新鮮果肉中のそれらの間でそれぞれの高い相関がみられた。

また、障害程度は果肉硬度、AIS 含量、および AIS 中ないし新鮮果肉中の各ペクチン類との間で有意な相関が認められた。

これら相関行列から障害果発現程度別の 20 個のサンプルの 15 特性値について主成分分析を行なった。第 1 主成分及び第 2 主成分に関する各特性値の因子負荷量を Fig. 3-46 に示した。第 1 主成分は全変動の 42.3% の寄与率を占め、AIS、新鮮果肉中の総ペクチン、同可溶性ペクチン、及び同不溶性ペクチンなどが正の値をとっていた。第 2 主成分では AIS 中の総ペクチン及び同不溶性ペクチンが正の値を示し、AIS 中ないし新鮮果肉中のホロセルロース及びセルロースが負の値を示した。第

2 主成分まで考えてみると全変動の 67.0% の寄与率を説明している。

そこで、障害果発現程度別の各果実を第 1 及び第 2 主成分スコアに基づいて示したのが Fig. 3-47 である。障害果の重症果 (●印) は AIS 含量、新鮮果肉中の総ペクチン、可溶性ペクチン、及び不溶性ペクチンが多く含まれている特徴を持つグループに属す。一方、健全樹・健全果 (○印) は重症果とは異なってそれらの各成分が少ないために、大部分が対称的な位置に分布している。また、障害樹・健全果 (□印) 及び障害樹・軽症果 (△印) はそれらのほぼ中間に位置していた。

このように、障害果発現程度と第 1 主成分に係する AIS、新鮮果肉中の総ペクチン、同可溶性ペクチン及び同不溶性ペクチンなどとの間に関連があると考えられた。そこで、障害果発現程度を従属変数 (Y) とし、第 1 主成分スコア (Z_1) を説明変数として単回帰式を求めた結果、 $Y = 0.853 Z_1 + 2.5$ が得られた。また、両者の相関は $r = 0.743^{***}$ であった。これらの結果から、障害果発現程度と第 1 主成分スコアとの間には極めて高い相関関係が認められた。障害果発現程度と第 2 主成分スコア (Z_2) には相関が認められなかった。

4. 考 察

長十郎果実の果肉発達は果実発育後期、すなわち細胞肥大期に障害果と健全果の間における差が著しくなることを本章第 2 節で明らかにしたが、それは Fig. 3-45 に示したような果肉の果梗部 (肩部)、赤道部 (胴部) およびていあ部 (腰部) の発育差によるためであった。こうした傾向は先の二十世紀 (第 3 章第 6 節) でも認められており、果肉発育の著しい時期に差が表われるものと思われる。

三木¹⁰⁰⁾によれば、長十郎の石細胞群は二十世紀よりも多く、とくにていあ部での差が著しいとしている。しかし、長十郎の石細胞群は障害果と健全果の果実発育差が認められる細胞肥大期以前の細胞分裂期に量的な決定がなされるため、1 果中に含まれる石細胞群数は障害果と健全果の間に差は当然みられない。しかしながら、Fig. 3-45 のように障害果に多く見られるのは、障害果の果実発育が劣っていることによるため単位面積当りの分布密度としては多くなるためであり、1 果中の石細胞群数と同じ意味の、半断面積当りの石細胞群数としては差がないことはいうまでもない。こうした結果は二十世紀でも認められており、その理由として、林ら³⁰⁾や塩原

Table 3-16. Comparison of cell wall substances of 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of the physiological disorder (1973).

Degree of disorder	Fruit hardness (kg)	AIS content (%)	Respective substances in AIS (%)						Respective substances in fruit flesh (%)					
			Total pectin	Soluble pectin	Insoluble pectin	Holo-cellulose	Cellulose	Hemi-cellulose	Total pectin	Soluble pectin	Insoluble pectin	Holo-cellulose	Cellulose	Hemi-cellulose
Severe	2.41	2.097	12.31	8.23	4.10	60.97	19.89	41.09	0.254	0.170	0.067	1.100	0.415	0.845
Slight	1.99	1.718	11.07	7.46	3.58	61.89	21.23	40.46	0.190	0.126	0.063	1.072	0.376	0.634
Normal 1)	1.89	1.691	9.86	6.24	3.61	63.67	24.06	41.71	0.166	0.104	0.062	1.083	0.379	0.704
Normal 2)	1.97	1.570	8.92	6.01	2.90	65.76	21.28	44.47	0.139	0.094	0.046	1.026	0.316	0.531
at 5% LSD	0.28	0.412	2.37	NS	1.04	NS	N	NS	0.032	0.034	NS	NS	NS	0.228
at 1%	0.38	—	3.27	—	—	—	—	—	0.044	0.047	—	—	—	0.315

1) Collected from trees bearing disordered fruits.

2) Collected from trees bearing normal fruits only.

Table 3-17. Means, standard deviations and correlation matrix of variables of 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of the physiological disorder (1973).

Variable	Mean	S.D.	Fruit hardness	AIS content	Respective substance in AIS					Respective substances in fruit flesh						
					Total pectin	Soluble pectin	Insoluble pectin	Holo-Cellulose	Cellulose	Hemi-cellulose	Total pectin	Soluble pectin	Insoluble pectin	Holo-cellulose	Cellulose	Hemi-cellulose
Fruit hardness	2.07 1)	0.28	1.000													
AIS content	1.765 2)	0.35	*** .808	1.000												
Respective substances in AIS	Total pectin	10.04 2)	3.11	.087	.111	1.000										
	Soluble pectin	6.99 2)	1.795	-.088	-.009	.509 *	1.000									
	Insoluble pectin	3.55 2)	0.84	.257	.309	** .640	.139	1.000								
	Holo-cellulose	63.07 2)	4.41	.077	-.071	-.435	-.614	-.188	1.000							
	Cellulose	21.66 2)	3.68	-.054	.125	-.094	-.424	.082	.468 *	1.000						
Respective substances in fruit flesh	Hemi-cellulose	41.93 2)	3.14	-.032	-.409	-.459 *	-.339	-.362	.644 **	-.078	1.000					
	Total pectin	0.187 2)	0.053	** .630	*** .763	.528 *	.573 **	.565 **	-.426 *	-.161 *	-.515 *	1.000				
	Soluble pectin	0.124 2)	0.038	* .514	.626 **	.461 *	.761 ***	.297 *	-.507 *	-.295 *	-.455 *	.936 ***	1.000			
	Insoluble pectin	0.064 2)	0.022	** .636	*** .770	.477 *	.062	.839 **	-.148	.117	-.448 *	.795 ***	.532 *	1.000		
	Holo-cellulose	1.115 2)	0.228	*** .786	*** .939	-.022	-.200	.259	.264	.308	-.211 **	.605 **	.442	.708 ***	1.000	
Respective substances in fruit flesh	Cellulose	0.373 2)	0.106	** .606	*** .784	.006	-.264	.266	.446 *	.501 *	-.210 *	.458 *	.281 **	.625 ***	.925 ***	1.000
	Hemi-cellulose	0.683 2)	0.177	.417	.441	-.123	-.139	.110	-.074	-.242	.098	.273	.193	.335	.382	1.000
Degree of disorder	2.50	1.15	* .560	* .522	** .641	* .503	* .487	* .457	-.420	-.212	-.416	*** .801	*** .760	** .615	*** .373	.294 .109

1) kg, 2) %.

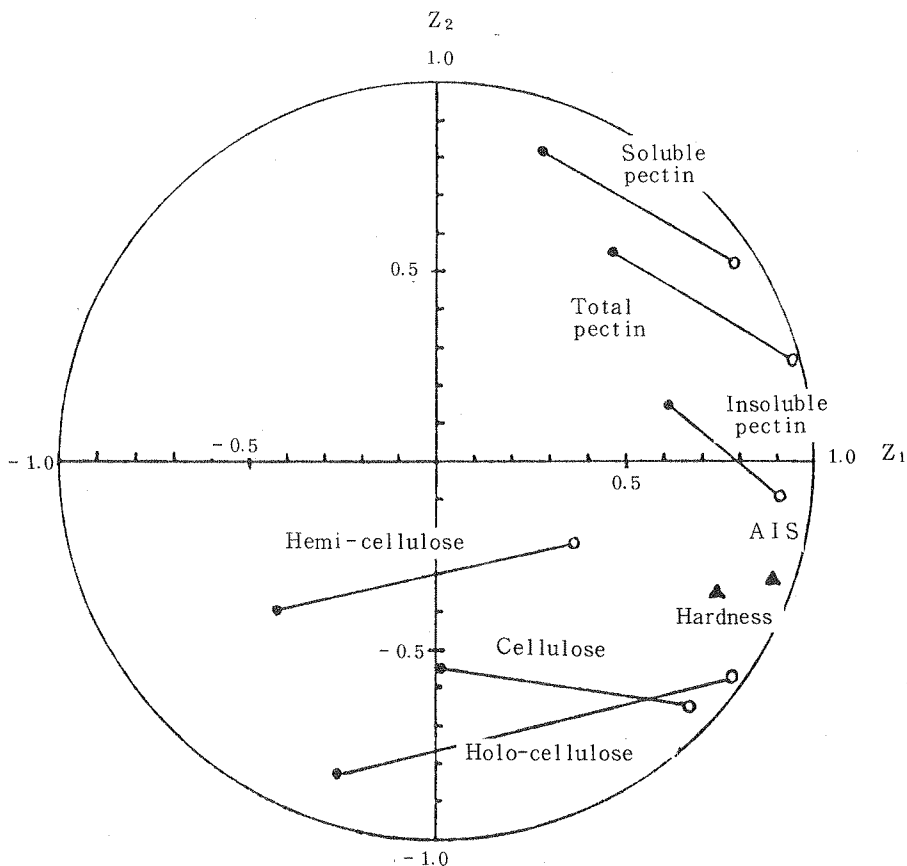


Fig. 3-46. The changes of cell wall substances in 'Chōjuro' pear fruits (factor loading on 1st and 2nd components).

- Respective substances in AIS.
 - Respective substances in fresh flesh.
- AIS = Alcohol insoluble substances.

¹³⁴⁾が行なった両区から一定の果肉を摘出して、検鏡測定した単位面積当りの分布密度の結果とは異なっていることに由来する。

長十郎障害果は果肉硬度およびAISが多い結果が得られたが、猪瀬⁴⁹⁾も同様な結果を得ており、先の二十世紀でも同様であった。

果肉硬度と細胞壁成分との関係について、町田⁹⁶⁾によれば長十郎の果肉硬度と新鮮果肉中のホロセルロース、セルロース、およびヘミセルロースとの間で高い相関があるとし、猪瀬⁴⁹⁾や高辻⁴⁹⁾らが1978年園芸学会春季大会に発表及び1978年に落葉果樹試験研究打合せ会議資料に発表した報告にも同様な結果を報告している。本実験

でも新鮮果肉中のヘミセルロース以外の各成分、果肉硬度およびAISとの間で密接な相関が認められ、ほぼ同様な結果であった。

つぎに、障害果の発現程度と果肉硬度およびAISとの間で、それぞれ相関が認められたことは、硬化障害果は端的に果肉が硬化する現象であるので当然のことといえる。しかし、障害程度と細胞壁成分との間では、AIS中および新鮮果肉中とも総ペクチン、可溶性ペクチン、および不溶性ペクチンとの間だけに相関があり、障害程度とホロセルロース、セルロースおよびヘミセルロースの間では相関が認められなかった。これは障害程度の区分の際の判定基準にもよるが、これまで果肉硬度が

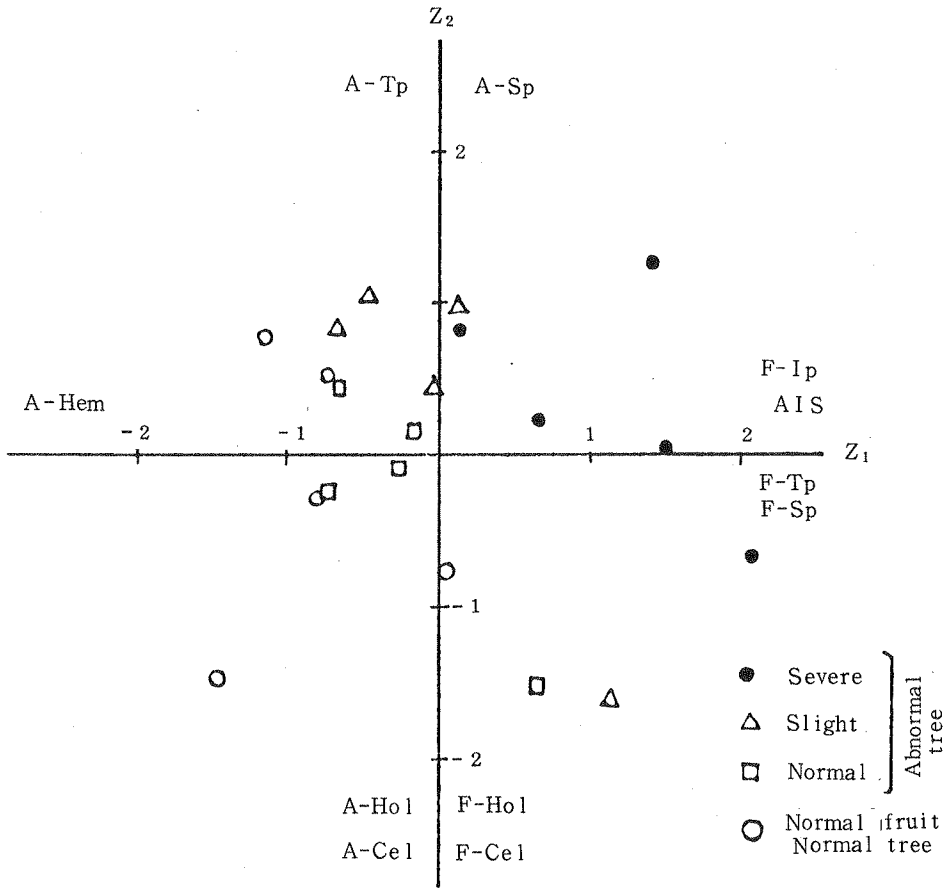


Fig. 3-47. Scatter diagram of 'Chōjuro' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1973).

A-Tp=Total pectin in AIS, A-Sp=Soluble pectin in AIS, A-Hol=Holo-cellulose in AIS, A-Cel=Cellulose in AIS, A-Hem=Hemi-cellulose in AIS, F-Tp=Total pectin in flesh, F-Sp=Soluble pectin in flesh, F-Ip=Insoluble pectin in flesh, F-Hol=Holo-cellulose in flesh, F-Cel=Cellulose in flesh.

高いものはすべて硬化障害果(石ナシ果)であるのかのようには考えられてきた点にも問題があり、その意味では、町田⁹⁷⁾が長十郎果肉で障害果における不溶性ペクチンの増加は、硬化障害果の重要な要因の一つと考えられるとしたことに意義があり、本実験の結果とも共通するものであった。

障害果の発現程度に対する細胞壁成分の要因分析の結果では、果肉硬度とAISは障害程度と相関があることは相関行列からも明らかであるが、それらは必ずしも、同一の変動を示すものではないこともFig.3-46からも

くみとれる。こうした差異は、細胞壁成分との間で、新鮮果肉中のホロセルロース、セルロース、ヘミセルロース、それに不溶性ペクチンなどは、果肉硬度やAISに近づいているのに対し、障害程度へは総ペクチンおよび可溶性ペクチンが近づいており、それぞれ異なった関係の深さを示している。

これら長十郎の障害果と比較して、二十世紀の細胞壁成分は、水溶性ペクチンが増加し、ホロセルロースが低下した点では一致していた。

以上の細胞壁成分含量から障害果の発現程度別について

て分類したものがFig. 3-47であるが、障害果と健全果の間で明らかに区別することができた。これまで、前節で検討してきた無機成分および糖構成などと同様、硬化障害果は細胞壁成分も質的に変化していることが明らかとなった。

5. 摘 要

長十郎の硬化障害果は、これまで果実の成分含量が健全果とは異なる変化をしていることを明らかにしてきたが、果実硬化と直接関係の深い細胞壁成分が障害程度とどのような関連を持っているかについて検討した。

1) 長十郎障害果は果心部の発育に差が認められなかったが、果肉部の発育が低下していた。その結果、果肉中の石細胞群の分布密度は多いが、果実の半断面積内の量的変異は少なかった。

2) 障害果の発現程度が著しくなるにしたがって果肉

硬度およびAISは増加した。また、AIS中の総ペクチンおよび不溶性ペクチンは増加し、新鮮果肉中でも総ペクチン、可溶性ペクチン、およびヘミセルロースが増加し、有意差が認められた。

3) 果肉硬度とAISとの間で密接な相関が認められ、障害程度と果肉硬度、AISとの間に、また、障害程度とAIS中および新鮮果肉中の総ペクチン、可溶性ペクチン、不溶性ペクチンとの間でも相関が認められた。

4) 障害程度は果肉硬度およびAISとは多少異なった変動を示し、障害程度には新鮮果肉中の総ペクチンおよび可溶性ペクチンが関連し、果肉硬度およびAISには新鮮果肉中のホロセルロース、セルロース、ヘミセルロース、それに不溶性ペクチンなどが関連していた。

5) 細胞壁成分の組成から障害程度について分類した結果、障害果と健全果の質的区別をすることができた。

第4章 硬化障害果の呼吸代謝と成分の変化

第1節 硬化障害果の呼吸量と葉の水収支との関係

1. 緒言

第3章で、二十世紀の硬化障害果は果実のリン含量がやや多く、カルシウム含量が低下しており、それらに関連して糖構成の異常、とりわけ果糖の低下、でんぷん粒の残存が著しいことを明らかにしてきた^{62,65,67)}。こうした糖構成の異常は、糖分が呼吸燃焼の基質として利用されていることや¹⁵⁹⁾、糖とカルシウムとが呼吸作用に関与しているという報告^{10,12,20,21)}があることから、果実中の呼吸作用に何等かの影響を及ぼしていることが考えられる。さらに、障害果は水分含量が低下しており³⁹⁾、また、果皮の着色も著しく促進されていることが認められている⁶⁷⁾。そこで、障害果の発育初期から成熟期にかけて果実および葉の呼吸作用について調査し、あわせて葉の水収支についても調査し、それらの関係について検討した。

2. 材料および方法

分析に供した材料は当場果樹園に栽植されている二十世紀27年生樹(1973)及び長十郎30年生樹(1972)から採取した。毎年80%以上の障害果発生が認められたものを障害果発生樹とし、対照樹として隣接した障害果発生が認められていない健全樹を選び、経時的に果実および葉の呼吸量を測定した。なお、施肥は二十世紀に対して年間チッ素20、リン10、カリウム14kg/10a、長十郎に対してチッ素22、リン12、カリウム16kg/10a(元肥80%、礼肥20%)で行なった。

1) 呼吸量の測定

果実の呼吸量の測定はワールブルグ検圧計を用いて¹⁷²⁾好気条件下、30℃、振とう回数毎分120回で行なった。健全樹と障害果発生樹から2果ずつとり、2連制で各果ごとに測定し、その平均値で表わした。試料は果実の赤道部からコルクボーラーで果肉1gをとり、厚さ1mmのスライスをマイクロトームで作製し、それを細断してゲフェスに入れ、O₂呼吸量とCO₂放出量を同時に測定

した。

葉の測定には1区5枚ずつをとり、それぞれ葉身のタテ半分を1mmの幅に細断し、その0.5gをゲフェスに入れて果肉と同様に行なった。

2) 果実のCO₂放出量測定

果実のCO₂放出量測定は収穫期(9月12日)に供試果実を障害発現程度別に分け、日立一掘場製の炭酸ガス測定装置を用いて測定した。供試果実は280±5gのものを各5果ずつ黒布で遮へいたデシケータ中に入れ、20℃で4時間連続通気法(5ℓ/hr)により行なった。

3) 蒸散量測定

供試した材料は50cm以上に伸長し、本葉が5枚以上着いた徒長枝を用いた。条件を一定にするため各区とも完全に展葉したほぼ同じ大きさの葉を残し、未展葉部位は切除して、切口にビニロウを塗布した。それらをあらかじめ既知の水量を入れた500ml容の三角フラスコに枝の基部をさし、綿せんをして午前9時から午後4時まで7時間屋外で蒸散させた。一区3連制で行ない、実験終了後葉面積を測定し、同一葉面積当り蒸散量に換算して葉1枚/7hrで表示した。

4) 水分不足度

葉の水分不足度については、Ackley^{1,2)}^{138,139)}、鈴木らの方法で行なった。すなわち、葉を午前9時に採取し、直ちに生体重を測定した後、デシケータ中で葉柄を水中にさした。24時間吸水させた後、完全膨圧時の重量(飽和葉重)を測定し、105℃定温器中で乾燥させ、恒量になった後秤量して乾燥重とした。供試葉は徒長枝上の中位の葉20枚とした。なお、算出式は次のとおりである。

$$\text{水分不足度(％)} = \frac{\text{飽和葉重} - \text{採葉時重(生体重)}}{\text{飽和葉重} - \text{乾燥重}} \times 100 \quad (\text{WSD})$$

5) 腐敗果調査

収穫時の9月14日に収穫した果実をTable 4-1のごとく重症果(ていぶ部から果実の1/3以上に症状を示している果実)、軽症果(1/3以下の症状果)、健全果、および健全樹に結実した健全果に区分し、室温貯蔵では

各区 150 果、5℃の低温貯蔵では各区 120 果ずつを貯蔵した。室温貯蔵は 30 日後（10月13日）、5℃低温貯蔵は 45 日後（10月29日）にそれぞれ腐敗量を調査した。

6) 糖の分析

糖の分析は収穫時の果実と 5℃ 45 日間低温貯蔵した果実を用いて、全糖はアンスロン法、還元糖はソモギーネルソン法、ブドウ糖は次亜ヨード酸微量法、果糖は還元糖－ブドウ糖、ショ糖は（全糖－還元糖）× 0.95 でそれぞれ行なった。

3. 実験結果

1) 果実および葉の呼吸量

果実の発育初期から成熟期までの呼吸量の変化について Fig. 4-1 に示した。5月中旬から6月下旬まではO₂

吸収量およびCO₂放出量とも低下したが、梅雨期に入ってから再び増加した。この期間中のO₂吸収量およびCO₂放出量は健全果よりも障害果のほうが多くなり、その差が認められるようになった。その後、健全果は梅雨明けとともにO₂吸収量、CO₂放出量とも低下したのに対し、障害果は8月中旬まで増加しており、その後は低下したが、この間のO₂吸収量、CO₂放出量とも両者に顕著な差が認められた。呼吸商（RQ）は果実発育初期には低い値であったが、梅雨期になるにしたがって健全果も障害果も増加し、障害果が多少高い傾向であったが両区の差は少なかった。その後、梅雨明けとともに健全果は低下したのに対し、障害果は梅雨期の状態のまま収穫期まで続き、著しい差が認められた。

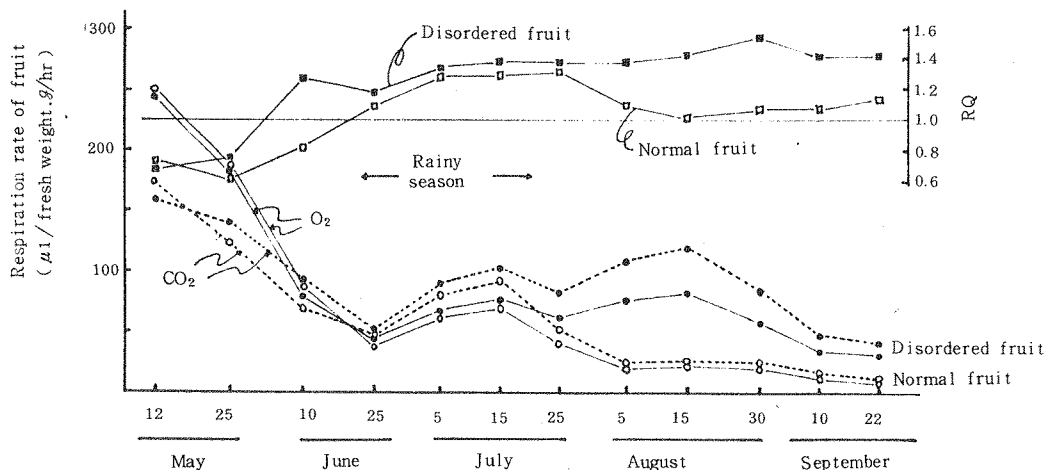


Fig. 4-1. Seasonal changes in the respiration rates of the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1973).

長十郎果実の呼吸量については Fig. 4-2 に示した。5月から6月にかけてO₂吸収量は著しく低下し、その後、健全果は42 μl（7月）から28 μlまで低下したのに対し、障害果は65 μl（7月）から50 μl（9月）までの低下にとどまった。

CO₂放出量について、健全果は5月から7月まで著しく低下し、その後は緩慢に減少したのに対し、障害果は6月まで著しく低下し、7月以降緩慢になったため、両者間で20～30 μlの差が認められた。

健全果のRQは6月まで1.1であり、7月以降1.3前後であった。一方、障害果は6月までは1.0、7月には

1.53まで上昇し、その後は1.4前後になり、健全果との間で差がみられた。

つぎに、収穫時における二十世紀障害果の障害発現程度別のCO₂放出量について測定した結果を Fig. 4-3 に示した。健全樹に結実した健全果は6.4 mgのCO₂放出量であったが、障害果発生樹の健全果でも10.3 mgあり、明らかな差が認められた。さらに、軽症果は17.2 mg、重症果は18.9 mgあり、障害果の症状が重くなるにしたがって増加した。

障害果発生樹と健全樹の葉の呼吸量については Fig. 4-4 に示した。5月下旬から7月上旬までO₂吸収量は

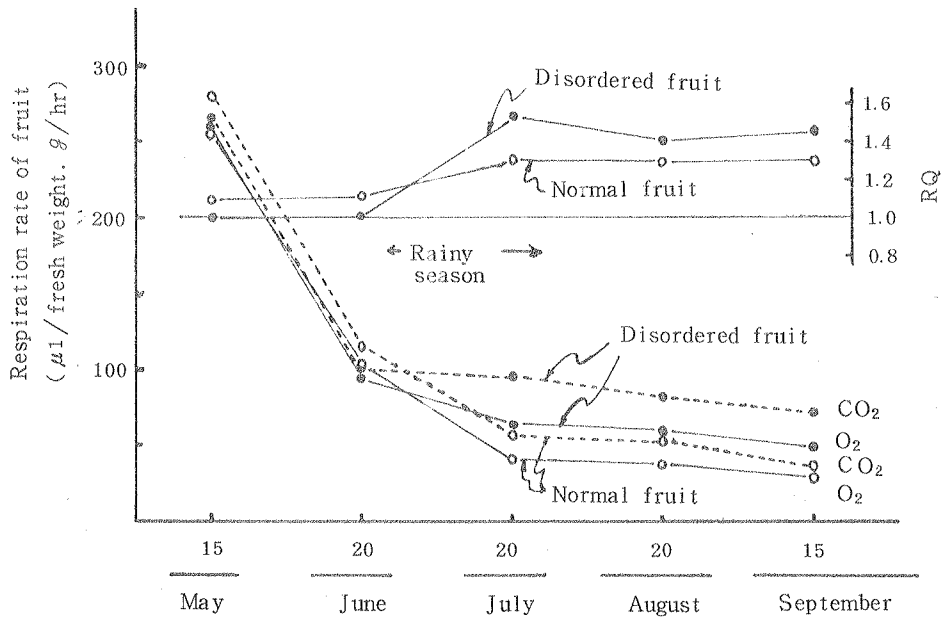


Fig. 4-2. Seasonal changes in the respiration rates of the physiological disorder and normal fruits of 'Chōjuro' pear (1972).

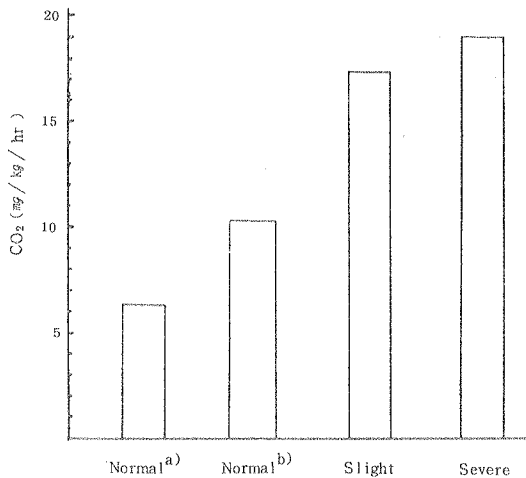


Fig. 4-3. Comparison of carbon dioxide production between the physiological disorder and normal fruits of 'Nijis-seiki' pear (Sept.15, 1973).

- a) Collected from trees bearing normal fruit only.
b) Collected from trees bearing disordered fruits.

健全果よりも障害果発生樹の葉のほうがやや多かったが、7月下旬以降は健全樹の葉のほうが多くなった。一方、CO₂放出量は梅雨入りとともに健全樹の葉で低下したのに対し、障害果発生樹の葉では緩慢に低下し、著しい差が認められた。しかし、8月上旬以降は健全樹の葉もCO₂放出量が増加したため、障害果発生樹との差はほとんど認められなくなった。したがって、RQも6月上旬から7月下旬まで健全樹の葉が著しく低下したために、障害果発生樹の葉との間で顕著な差となって表われた。8月以降は障害果発生樹の葉が多少高い値で続いた。

長十郎の呼吸量についてはFig. 4-5に示したように、O₂吸収量については5月から9月まで両者間の差が認められなかった。CO₂放出量は、健全樹葉が5月から7月にかけて著しく低下したのに対し、障害果発生樹の葉ではあまり低下しなかったため、その間の差は著しかった。その後9月まで健全樹の葉で増加したので、障害果発生樹の葉との間の差は少なくなった。

RQは、健全樹の葉において5月から梅雨後期の7月上旬まで0.74に減少し、その後は9月の1.02まで増加した。障害果発生樹の葉は6月には1.21あり、その後9月には1.06まで徐々に低下したため、主に梅雨期に健全樹の葉との間で著しい差がみられた。

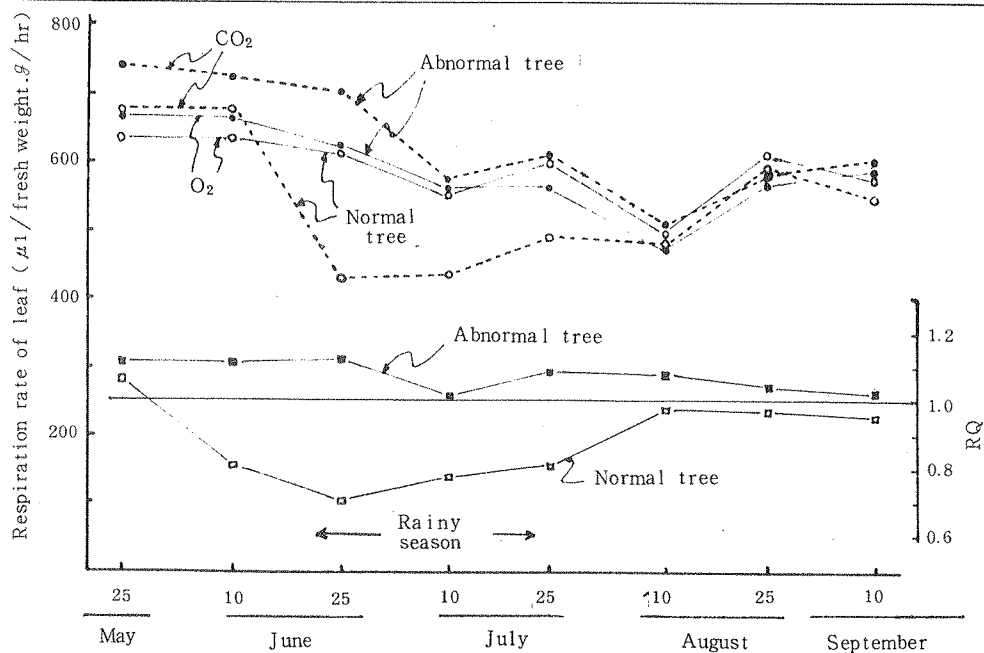


Fig. 4-4. Seasonal changes in the respiration rates of leaves sampled from trees bearing the physiological disorder and normal fruits of 'Nijis-seiki' pear (1973).

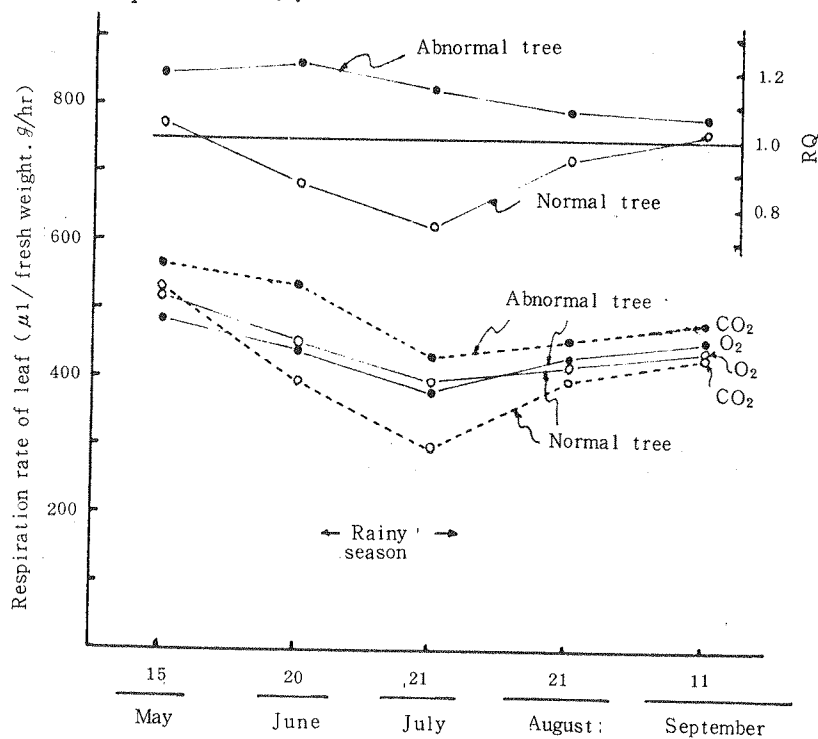


Fig. 4-5. Seasonal changes in the respiration rates of leaves sampled from trees bearing the physiological disorder and normal fruits of 'Chōjuro' pear (1972).

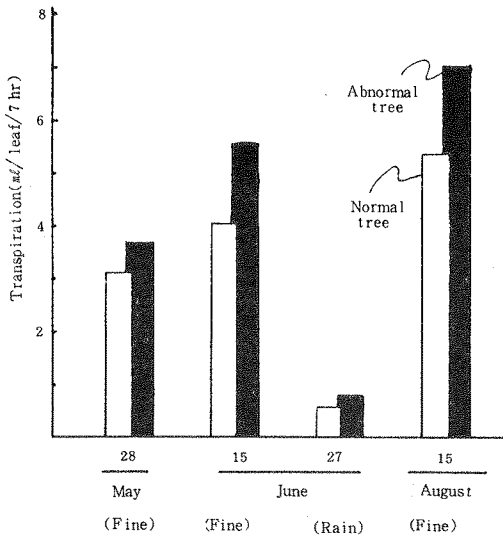


Fig. 4-6. Seasonal changes in the transpiration rates of leaves sampled from trees bearing the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1973).

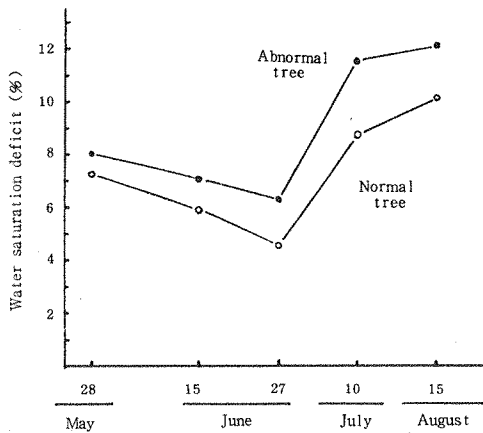


Fig. 4-7. Seasonal changes in the water saturation deficit of leaves sampled from trees bearing the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1973).

2) 葉の蒸散量および水分不足度

5月の下旬から8月中旬までの葉の蒸散量についてはFig. 4-6に示した。蒸散量は天候によって影響されるが、晴天の日には5月、6月、8月になるにしたがって増加しており、健全樹よりも障害果発生樹の葉のほうが終始多く蒸散していた。また、6月下旬の降雨の日の測定では蒸散量は全体的に低下していたが、それでも障害果発生樹の葉のほうが多かった。

つぎに、葉の水分不足度についてはFig. 4-7に示したとおりである。5月下旬から6月下旬までの水分不足度は健全樹も障害果発生樹も徐々に低下し、7月以降は著しく増加した。健全樹と障害果発生樹の葉の比較では、障害果発生樹の葉のほうが終始水分不足の状態であった。

そこで、蒸散量と水分不足度との関係について調べたものがFig. 4-8である。葉の蒸散量が多くなるにしたがって水分不足度も増加しており、それらの間には $r = 0.934^{***}$ の高い有意な相関が認められた。

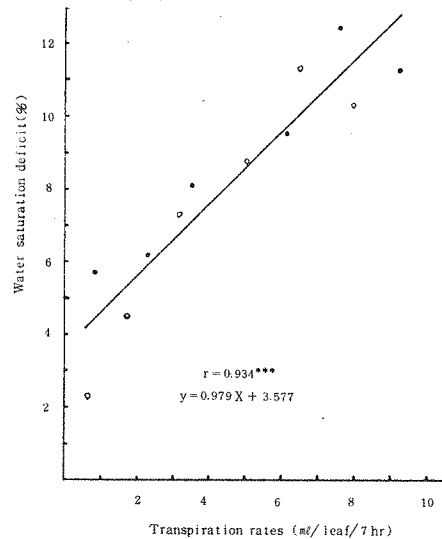


Fig. 4-8. Correlation coefficient between water saturation deficit and transpiration rates of leaves sampled from trees bearing the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1973).

- Leaves collected from trees bearing normal fruit only.
- Leaves collected from trees bearing disordered fruits.

Table 4-1. Comparison of numbers of fruit decay during the storage of 'Nijisseiki' pear fruits showing various stages of the physiological disorder (1973).

Stage of disorder	After 30 days in storage at room temperature			After 45 days in storage at 5°C temperature		
	No. of stored fruits	No. of decayed fruits	% of decayed fruits	No. of stored fruits	No. of decayed fruits	% of decayed fruits
Severe	150	97	64.7	120	68	56.7
Slight	150	71	47.3	120	41	34.2
Normal ^{a)}	150	19	12.7	120	12	10.0
Normal ^{b)}	150	5	3.3	120	0	0

a) Collected from trees bearing disordered fruits.

b) Collected from trees bearing normal fruits only.

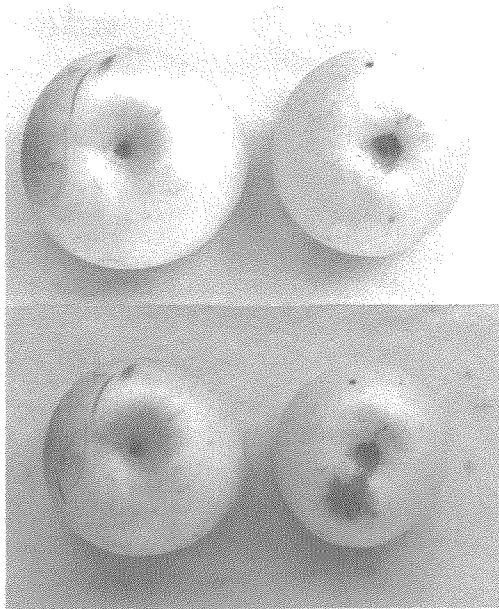


Fig. 4-9. Development of fruit decay at the calyx end of fruit of 'Nijisseiki' pear (1973).

Above : at harvest time.

Below : after 45 days in storage at 5°C

Right : disordered fruit.

Left : normal fruit.

3) 硬化障害果の腐敗現象

障害果は梅雨明け以降、呼吸作用が著しく高まっていることが明らかとなったので、日持ちの悪いことが予想された。そこで、室温ならびに5°C低温貯蔵をした際に、どれだけ腐敗果が認められるかについて調査した結果をTable 4-1に示した。室温30日貯蔵で健全樹の健全果は3.3%の腐敗果が認められたのに対し、障害果発生樹の健全果は12.7%、軽症果が47.3%、重症果は64.7%がそれぞれ腐敗した。また、5°C45日間低温貯蔵でも障害果のみが腐敗し、障害の発現程度が甚しくなるにしたがって増加していた。

さらに、5°C45日間低温貯蔵した果実の腐敗状況についてはFig. 4-9に示した。腐敗果の大部分はていあ部から腐敗が始まり、障害果の症状が最初に認められる部分と一致していた。

4) 貯蔵果の糖含量の変化

障害果の収穫時と5°C45日間低温貯蔵した果実の糖含量についてはTable 4-2に示した。収穫時の糖含量はこれまで明らかにしてきた結果^{62, 67)}と同じく、障害果は健全果に比べて果糖、ショ糖が少なく、ブドウ糖がやや多い傾向であった。5°C45日間低温貯蔵した果実は健全果ないし障害果とも果糖含量が著しく減少しており、ショ糖、ブドウ糖がやや増加したものの全体的に全糖、還元糖は低下していた。ショ糖/全糖比は貯蔵により健全果も障害果も同様に高まったが、ショ糖/果糖比が障害果で著しかったことは障害果の果糖の低下によるため

Table 4—2. Comparison of sugar contents between fruits at harvest time and fruits after stored for 45 days of 'Nijisseiki' pear showing various degrees of physiological disorder in 1973(% of fresh weight).

Stage of disorder	Harvest time							After 45 day in storage						
	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose	Sucrose	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose	
						Total sugar	Fructose					Total sugar	Fructose	
Severe	10.30	7.52	3.38	4.14	2.64	0.26	0.64	9.38	6.03	3.74	2.29	3.18	0.33	1.39
Slight	11.01	8.12	3.22	4.90	2.75	0.25	0.56	10.18	6.73	3.80	2.93	3.28	0.32	1.12
Normal ^{a)}	11.65	8.78	3.13	5.65	2.73	0.23	0.48	10.70	7.10	3.82	3.28	3.42	0.32	1.04
Normal ^{b)}	12.67	9.06	2.76	6.30	3.43	0.27	0.54	11.71	7.54	3.84	3.70	3.96	0.34	1.07

a) Collected from trees bearing disordered fruits.

b) Collected from trees bearing normal fruits only.

であった。

4. 考 察

多くの果実は受精直後から幼果期にかけて呼吸が著しく高く、果実発育とともに低下することが知られている^{158, 159)}。本実験の障害果は5月上旬から6月下旬まで呼吸量は低下したが、梅雨入りとともに健全果よりも著しく高まり、その状態が8月下旬まで続いた。こうした傾向は田辺らが1975年園芸学会春季大会に発表した成績で5月中旬から7月上旬までではあるが、ユズ肌果の呼吸量が異常に高まっていたとする報告と一致していた。さらに、本実験の葉の呼吸量が梅雨期をはさんで異常に高まっていたことは、果実発育の著しい時期と関連して、障害果発生に代謝上何らかの変化を起していることを示唆していると考えられる。第3章第1節で明らかにしたように^{66, 67)}、障害果中のカルシウム含量および果糖含量が低下し、でんぷんが残存する時期は、この呼吸作用の変化する時期とも一致しており、また、この時期は外見的に障害果症状が識別できる時期でもある。さらに、8月中、下旬の呼吸量の高まりや、障害の発現程度が甚しくなるにしたがってCO₂放出量が増加していたことは、障害果が健全果よりも10日から1週間早く着色することと深い関係があるのではなかろうか。

カルシウム含量と呼吸との関係について、Faustら^{20, 21)}、Bramlageら¹²⁾はリンゴ果肉で、Tingwaら¹⁵⁴⁾はアボガド果肉で、それぞれ密接に関係していることを報告している。とりわけ、Bangerthら¹⁰⁾はリンゴ“紅玉”を用いて、ブドウ糖ないしソルビトール液に果肉を浸漬した結果、CO₂放出量が増加したとし、それらにカルシウムを添加したものはCO₂放出量が抑制されたという報告をしている。このように、糖ないしカルシウムが呼吸作用に密接に関与していることが明らかになり

つつあるが、本実験の障害果の調査では呼吸作用が異常に高まっていたことと、第3章第4節で報告^{66, 67)}した果実成熟期における果実中のカルシウムおよび果糖含量の低下とでんぷんの残存とが密接に関連していることを考え合わせるならば、障害果発生の原因究明への何らかの糸口を示唆しているものと思われた。

樹体内のWatar balanceについては多くの報告^{1, 2, 29, 32, 134)}があり、なかでも、鈴木ら¹³⁸⁾はミカンの葉を用いて検討した結果、樹体内のWatar balanceを示す指標として水分不足度(W. S. D.)が有効であることを明らかにした。W. S. D. すなわちは場状態の水分含量と完全膨圧時の水分含量を比較した数値は、吸水と蒸散のbalanceを示す数値であるとしている。本実験の結果でも蒸散量とW. S. D. との間に密接な関係が認められ、障害果発生樹の葉が健全樹のそれよりも終始蒸散量が多かった。こうした障害果発生樹の葉が高いW. S. D. を示すことについては、林ら²⁹⁾、塩原ら¹³⁴⁾も同様に確認しており、林^{27, 32)}はその理由として葉の浸透圧が高かったためとしている。とくに、夕方から夜間にかけてW. S. D. の低下速度がユズ肌果発生樹は遅いとしており、葉も果実も健全樹に比して障害樹のほうが浸透圧の昼夜の差が多くなっている時間が長いことを述べている。このようにW. S. D. の低下速度が遅いのは蒸散量が多いことと関連して、障害果発生樹は一方では根の吸収力が弱まっていることも考えられるが、他方では先に考察したように果実および葉の呼吸作用が異常に高まっていることも考えられる。事実、梅雨明け後の乾燥期に充分灌水しても果実内水分含量が一向に上昇しないことや、障害果発生率が低下しないのは呼吸作用の高まりと関連しているためと思われる。

これまで、障害果は健全果よりも呼吸量および蒸散量が異常に高まっていることを考察してきたが、苦名¹⁵⁹⁾

によれば、果実の呼吸が活発であるほど成熟から老化への速度が大きくなる。換言すれば、長期保存に堪えなくなるということができるとしている。本実験でも、室温ならびに5℃に低温貯蔵した際に、障害果に貯蔵中の腐敗が多く認められ、障害の発現程度が甚しくなるにしたがって増加していたことは、そうした推測を裏づける結果を示したことになる。また、障害果に腐敗果の増加と関連して糖構成の異常が認められたことは、先の Bangert¹⁰⁾ の結果や Drake¹⁵⁾ がリンゴで、Internal breakdownや腐敗現象と関連づけて報告していることとも共通する面があると思われた。

ニホンナシで横溝¹⁷⁾ は、水耕においてカルシウム欠除処理をした果実は、パーオキシダーゼ活性が高まり、その結果呼吸代謝が高まり、果実の腐敗が促進されたとしており、林²⁹⁾ も乾燥処理の結果、同様に、Black-endに似た症状が発生する現象と関連づけて報告していることも共通する面があると思われた。セイヨウナシでは、Woodbridge¹⁶⁾ や深井²⁴⁾ らは石ナシ・しり腐れ症状果では果実中のカルシウム含量が低下しており、それらに関連して障害が発生しているのではないかと推測している。

以上のように、ニホンナシ果実の生理障害である硬化障害果は果肉中において著しくカルシウム含量が低下し、それに関連して糖構成の異常が認められ、さらに、呼吸代謝が異常に高まっており、その結果腐敗現象が著しかったという一連の関係が認められ、このことは今後の原因究明のカギになるものと思われる。

第2節 二十世紀硬化障害の発現程度別果実の成分と呼吸量との関係

1. 緒 言

前節で、果実および葉の呼吸量とWater balanceとの間で密接に関係していることを明らかにした。一方、第3章では障害果発生における各成分の変化について考察してきたので、これら各成分の変化と呼吸作用の変化と包括した際に、各要因間でどのような関係が認められるかについて検討した。

2. 材料および方法

本実験に供試した材料は、前節で使用したのと同じ樹から採取した果実で、分析および測定事項は次のとお

5. 摘 要

障害果発生樹および健全樹の果実、葉について発育初期から収穫期まで経時的に呼吸量を測定し、あわせて果実貯蔵後の腐敗量も調査した。また、葉の蒸散量および水分不足度についても調べ、それらの関係について検討した。

1) 障害果は梅雨入りとともに健全果より O_2 吸収量ないし CO_2 放出量とも増加し、その状態が8月下旬まで続いた。その結果、RQも健全果より高い値を示し、障害の発現程度が著しくなるにしたがって呼吸が異常に高まっていた。

2) 障害果発生樹の葉も6月下旬から7月下旬にかけて呼吸の異常が認められ、果実とはほぼ同様な傾向を示した。

3) 障害果発生樹の葉の蒸散量は健全樹の葉よりも終始多く、水分不足度も常に高い値を示した。また、蒸散量と水分不足度との間にも正の有意相関が認められた。

4) 障害果を室温に30日間、ならびに5℃に45日貯蔵した結果、腐敗果が多く認められ、障害の発現程度が著しくなるにしたがって増加した。また、それら果実の腐敗部位は障害果症状が最初に認められるていぶ部から始まった。

5) 5℃45日間低温貯蔵した果実の糖含量を分析した結果、全糖、還元糖、果糖は収穫時よりも減少しており、なかでも果糖の減少が著しく、また、ショ糖は多少増加する傾向が認められた。こうした障害果の糖構成の異常は呼吸代謝の異常、腐敗現象の促進等と密接に関連していた。

りである。

供試果実は、障害果発生樹2樹からそれぞれ重症果、軽症果、および健全果を2果ずつ計12果を、対照区として健全樹2樹から2果ずつ計4果、合計16果を成熟期の8月22日と9月5日の2回サンプリングした。なお、分析誤差を少なくするため、各区とも着色、熟度がほぼ同程度で、1果重平均が $260 \pm 5g$ のものを選んだ。

収穫直後の果実を直ちに縦に4分割し、1/4果を呼吸量測定に、他の1/4果を糖分析に用い、残り1/2果は無機成分分析用に調製した。

果肉の呼吸量測定は、前節で行なったと同じワールブルグ検圧計を用い、糖および無機成分分析は第1章で行

なったと同じ方法でそれぞれ実施した。

さらに、これらのデータに対して第1章第2節で用いた主成分分析を適用し、障害果発現程度と成分及び呼吸との関係を検討した。

3. 実験結果

二十世紀果実の障害程度別における無機成分含量についてはTable 4-3に示した。チッ素およびリン含量は対乾物%ないし1果中の絶対量とも障害果の発現程度が著しくなるにしたがってやや増加する傾向であったが、カリウムおよびマグネシウム含量と同様、統計的に有意差は認められなかった。

カルシウム含量については、障害果の発現程度が顕著になるとともに減少し、有意差も認められた。

果実中の糖含量についてはTable 4-4に示したように、障害果の発現程度が甚しくなるにつれてブドウ糖が増加し、果糖は減少した。しかし、統計的に有意差が認められたのは果糖だけであった。その結果、還元糖は障害果の発現程度の進行とともに減少したものの、有意差が認められるまでには至らなかった。

また、ショ糖は障害果の発現程度が甚しくなるにつれて減少したものの、有意差は認められなかった。しかし、当然全糖は、還元糖とショ糖の減少した結果が加算されるため、障害果の発現程度とともに著しく減少し、統計的に有意差が認められた。ショ糖/全糖比は障害程度とともに低下し、ショ糖/果糖比は増加し、ショ糖/果糖比のみが有意差を示した。

果実の呼吸量については、 O_2 吸収量の変化があまり認められなかったのに対し、 CO_2 放出量は障害果の発現程度が甚しくなるにしたがってやや増加する傾向が認められた。呼吸商(RQ)としては障害果の発現程度とともに増加し、有意差も認められた。16サンプルについて各特性値間の相関行列を示したのがTable 4-5である。

無機成分と糖の間では、カルシウム含量と全糖、還元糖、果糖、およびショ糖との間で正の有意相関が、リン含量とショ糖との間で、マグネシウム含量と還元糖との間では負の相関が認められた。さらに各糖の間では、全糖と還元糖、果糖、およびショ糖で、還元糖と果糖で、果糖とショ糖との間にはそれぞれ正の有意相関が、ブドウ糖と果糖およびショ糖との間には負の相関が認められた。

RQとリン含量およびブドウ糖の間では正の、RQとカルシウム含量、全糖、果糖、およびショ糖との間で

は負の相関であった。 O_2 と CO_2 、 O_2 とカリウム含量、 CO_2 とリン含量およびカリウム含量との間には正の、 CO_2 と果糖との間には負の相関であった。

つぎに、障害果の発現程度とカルシウム含量、全糖、還元糖、果糖、およびショ糖との間には負の、発現程度とブドウ糖およびRQとの間には正の有意相関が認められた。

これらの相関行列から障害果発現程度別の16サンプルの14特性値について主成分分析を行ない、固有ベクトル、固有値及び寄与率をTable 4-6に示した。さらには、第1主成分と第2主成分に関する各特性値の因子負荷量についてFig. 4-10に示した。第1主成分では全変動のうち41.6%の寄与率を示し、絶対値の大きいRQが負の大きい値を示し、カルシウム絶対量、全糖及び果糖が正の大きい値を示した。すなわち、第1主成分は果実成分量と呼吸(RQ)との対比を表わしている。第2主成分ではチッ素絶対量及びブドウ糖が負をカリ絶対量、ショ糖、 O_2 吸収量及び CO_2 放出量が正の値をとった。第2主成分までで全変動の63.3%の寄与率を説明している。

そこで、障害果発現程度別の各果実を第1及び第2主成分スコアに基づいて示したものがFig. 4-11である。障害樹・重症果(●印)は第1主成分軸の左側にあり、RQが高く、カルシウム絶対量、全糖及び果糖含量が少ないという特徴がある。一方、健全樹・健全果(○印)はカルシウム絶対量、全糖及び果糖含量が多く、RQが低い特徴を示すグループに属す。また、障害樹・軽症果(△印)は重症果に近い位置に分布し、障害樹・健全果(□印)は健全樹・健全果に近い位置にあり、両者は明らかに区別することができた。

そこで、障害果発現程度を従属変数(Y)とし、第1主成分スコア(Z_1)を説明変数として単回帰式を求めた結果、 $Y = -1.073 Z_1 + 2.5$ が得られた。また、 $r = -0.929^{***}$ と極めて高い相関関係が認められた。

つぎに、障害果発現程度と第2主成分スコア(Z_2)との間には相関が認められなかった。

以上の結果から、障害果発現程度と第1主成分に関係するRQ、カルシウム絶対量、全糖及び果糖などとの間に関連が認められた。

主成分分析の中でとくに障害果の発現程度と密接に関係のあったカルシウム含量、果糖、およびRQとの間における偏相関を調査したのがTable 4-7である。単相関では、カルシウム-果糖、果糖-RQ、カルシウム-

Table 4-3. Comparison of mineral elements of 'Nijisseiki' pear showing various degrees of physiological disorder (1974)

Degree of disorder	% of dry weight						Absolute quantity (mg/fruit)					
	N	P	K	Ca	Mg		N	P	K	Ca	Mg	
Severe	0.442	0.085	1.021	0.043	0.051		118.3	22.7	273.5	11.4	13.7	
Slight	.445	.085	.984	.051	.048		118.6	22.5	262.4	13.5	12.9	
Normal a)	.438	.079	.982	.059	.048		116.8	21.2	262.4	15.8	12.8	
Normal b)	.426	.075	.986	.066	.050		114.1	19.8	264.3	17.7	13.3	
LSD at 5%	NS	NS	NS	.006	NS		NS	NS	NS	1.6	NS	
LSD at 1%				.008						2.3		

a) Collected from trees bearing disordered fruits.
b) Collected from trees bearing normal fruits only.

Table 4-4. Comparison of sugar contents and respiration of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1974).

Degree of disorder	% of fresh weight					Sucrose Total sugar	Sucrose Fructose	$\mu\text{l/g FW/hr}$		RQ
	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose			O ₂	CO ₂	
Severe	10.52	8.34	4.64	3.70	2.29	0.22	0.62	22.75	32.65	1.435
Slight	11.26	8.64	4.12	4.56	2.45	0.22	0.54	17.75	23.62	1.331
Normal a)	11.87	9.02	3.77	5.25	2.71	0.23	0.52	20.26	23.51	1.160
Normal b)	12.81	9.41	3.48	5.93	3.23	0.25	0.54	21.73	22.51	1.036
LSD at 5%	0.49	NS	NS	0.62	NS	NS	0.07	NS	NS	0.178
LSD at 1%	0.64			0.87			0.10			0.250

a) Collected from trees bearing disordered fruits.
b) Collected from trees bearing normal fruits only.

Table 4-5. Means, standard deviations and correlation matrix of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1974).

Variable	Mean	S.D.	N-ab	P-ab	K-ab	Ca-ab	Mg-ab	T-sug	R-sug	Gluc.	Fruc.	Sucr.	RQ	O ₂	CO ₂
X ₁ N absolute quantity	116.9 ¹⁾	5.96	1.000												
X ₂ P	21.6 ¹⁾	3.60	.238	1.000											
X ₃ K	265.6 ¹⁾	28.09	-.051	.433	1.000										
X ₄ Ca	14.6 ¹⁾	2.62	-.336	-.146	.014	1.000									
X ₅ Mg	13.2 ¹⁾	1.44	.346	-.018	.223	-.305	1.000								
X ₆ Total sugar	11.6 ²⁾	0.90	-.271	-.344	-.194	*** .920	-.304	1.000							
X ₇ Reducing sugar	8.9 ²⁾	0.76	-.042	-.017	-.294	** .638	-.551	*** .760	1.000						
X ₈ Glucose	4.0 ²⁾	0.87	.411	.431	-.100	-.422	-.297	-.322	.123	1.000					
X ₉ Fructose	4.8 ²⁾	0.93	-.342	-.424	-.152	*** .831	-.173	*** .865	.606	*** -.675	1.000				
X ₁₀ Sucrose	2.7 ²⁾	0.55	-.403	-.540	.071	** .607	.194	.580	-.080	*** -.688	.586	1.000			
X ₁₁ RQ	1.24	0.19	.190	.609	-.068	** -.702	.044	*** -.792	-.476	* .530	*** -.803	*** -.651	1.000		
X ₁₂ O ₂	20.12 ³⁾	6.03	-.431	.268	.732	** -.045	-.005	-.208	-.350	-.049	-.216	.135	.081	1.000	
X ₁₃ CO ₂	25.57 ³⁾	8.55	-.153	.500	.647	*** -.287	.129	-.437	-.420	.227	* -.498	*** -.152	.397	*** .879	1.000
X ₁₄ Degree of disorder	2.50	1.15	.275	.324	.114	*** .934	.121	*** -.936	*** -.654	* .521	*** .920	*** -.648	** .816	.172	.412

¹⁾ mg/fruit, ²⁾ % of fresh weight, ³⁾ μl/fresh weight. g/hr.

Table 4-6. Results of principal component analysis for 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1974).

Variable	Component No.				Contributions on 4 components
	1	2	3	4	
X ₁ N Absolute quantity	-0.150	-0.302	0.154	0.624	88.4 %
X ₂ P "	-.251	.029	-.381	.367	79.1
X ₃ K "	-.120	.447	-.156	.387	86.6
X ₄ Ca "	.364	.107	-.247	.183	91.3
X ₅ Mg "	-.100	.156	.510	.435	86.6
X ₆ Total sugar	.396	-.008	-.195	.135	94.8
X ₇ Reducing sugar	.262	-.251	-.425	.157	94.1
X ₈ Glucose	-.249	-.290	-.324	.015	78.3
X ₉ Fructose	.406	.054	-.035	.094	91.2
X ₁₀ Sucrose	.288	.312	.235	-.026	83.5
X ₁₁ R Q	-.370	-.120	-.043	-.196	83.0
X ₁₂ O ₂	-.131	.508	-.230	-.114	94.4
X ₁₃ CO ₂	-.260	.389	-.225	.001	89.2
Eigen Value	5.408	2.821	2.004	1.174	Mean 87.7 %
Contribution	0.416	0.217	0.154	0.090	
Cumulative contribution	41.6 %	63.3 %	78.7 %	87.7 %	

Note: m in X_m are the same symbols in the Table 4-5.

RQの間でそれぞれ0.1%および1%レベルでの有意相関が認められたが、偏相関ではカルシウム-果糖、果糖-RQのみが有意となり、カルシウム-RQとの間では有意差がなくなった。これはカルシウム含量が果糖生成に関係し、そして、果糖がRQに関連しているものの、カルシウム含量がRQへは直接関与していないということの意味している。

4. 考 察

二十世紀果実の障害果発現程度別における果実成分含量の変化については、第3章第4節で検討したが、本実

験の結果でもチッ素、リン、カリウム、およびマグネシウム含量で有意差は認められなかった。また、カルシウム含量は障害果の発現程度が著しくなるにしたがって低下しており、第3章第4節と同様な結果を示した。

糖含量は、本実験では全糖および果糖含量のみが発現程度が著しくなるにしたがって低下し、有意差も認められた。しかし、還元糖、ブドウ糖、およびショ糖含量は発現程度とともに変化が認められたものの、有意差が認められるまでには至らなかった。先の第3章第4節 (Table 3-4) では、還元糖およびブドウ糖に有意差が認められており、本実験と多少異なった結果を示した。

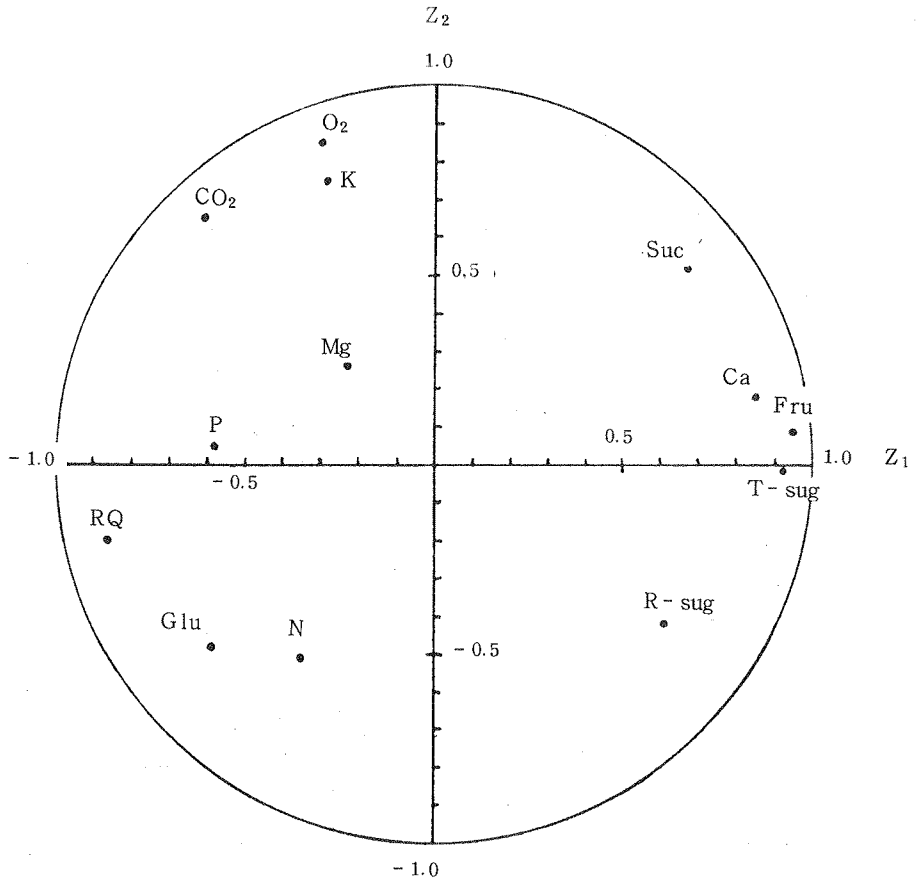


Fig. 4-10. Correlation between variables and the first and the second components in 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (factor loading, 1974).

T-sug=Total sugar, R-sug=Reducing sugar, Fru=Fructose,
Glu=Glucose, Suc=Sucrose.

Table 4-7. Comparison of single and partial correlation coefficients between calcium, fructose contents and R Q of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

Item	Ca — Fructose	Fructose — R Q	Ca — R Q
Single	$r = 0.831^{***}$	-0.803^{***}	-0.702^{**}
Partial	$r = 0.630^*$	-0.554^*	-0.105

*, **, *** : Significant at the 5 %, 1 % and 0.1% level, respectively.

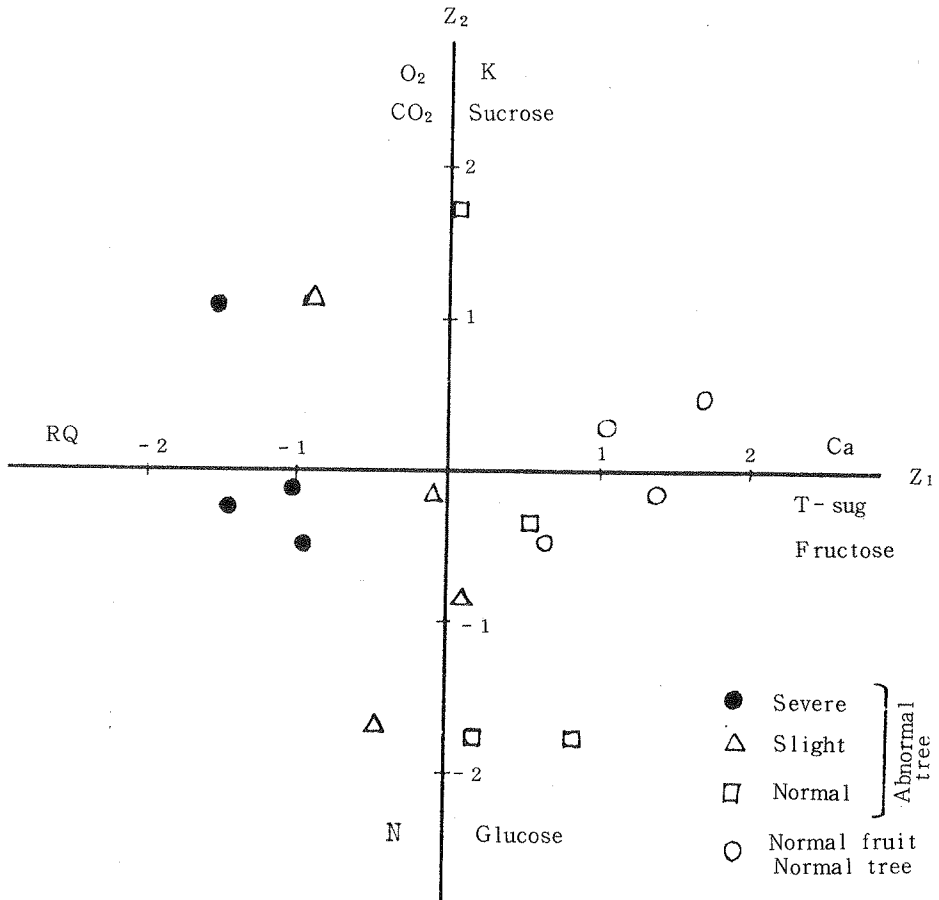


Fig. 4-11. Scatter diagram of 'Nijisseiki' pear fruits showing various degrees of physiological disorder (1974).

T-sug=Total sugar.

これは、前章では果糖の変化が著しかったために、ブドウ糖の増加へも影響を及ぼし、その結果還元糖としても有意差が認められたものである。本実験のように、成熟初期に2回(8月22日, 9月5日)に分けてサンプリングしているため、果糖の増加がやや少なく、ブドウ糖および還元糖への影響も少なかったためにこうした差異となつて表われたものと思われる。

いずれにしても、先のTable 3-4と本実験の結果で有意差の認められた果糖は、障害果の発現程度に深い関係のある糖構成の異常の判断要因の一つと考えてよいものと思われる。

果実の呼吸量については、 O_2 吸収量も CO_2 放出量も障害果の発現程度間では有意差が認められなかったが、

呼吸商(RQ)では明らかな有意差が認められた。前節で明らかにしたように、障害果は O_2 吸収量に対し CO_2 放出量が著しく高まっているものの、Fig. 4-1に示したように成熟が進むにしたがつて全体的に O_2 吸収量も CO_2 放出量も低下してきているためであろう。しかしながら、障害果の発現程度が著しくなるにしたがつてRQが1より著しく高まっていたことは、既述の学説にもとずけば¹¹³⁾ 糖類から脂質への転換が行なわれていることや、脱炭酸酵素の活発化に基づき、 CO_2 放出が増大しているなどの解糖作用が促進されたためと考えられる。

これまで、障害果の発現程度における無機成分、糖構成および呼吸量の変化について個別的に検討してきたが、各要因間の関係についてはTable 4-5の相関行列に示

したような結果になる。すなわち、障害果の発現程度とカルシウム含量、全糖、還元糖、果糖、およびシロ糖とは負の、発現程度とブドウ糖、およびRQとは正の有意相関になる。

つぎに、これまで障害果の発現程度に関連の深かった特性を要約した指標(主成分)を基準にして、分析に供したそれぞれの果実を分類したものがFig. 4-11である。障害果の重症果は第1軸(Z_1)の-1~-1.6の範囲に分布し、軽症果は-0.9~原点までの間に分布している。これはRQが高く、果糖、全糖、およびカルシウム含量が少ないためである。また、障害樹の健全果は原点から+1の範囲に、健全樹の健全果は+0.6~+1.7の範囲に分布しており、障害果とは逆に、RQが小さく、果糖、全糖およびカルシウム含量が多いためにはっきりと区別することができる。第3章のFig. 3-32でも、これらと同様な分布をしていたことは、障害果の発現がほぼ同じ要因によって生じたものと判断してもよいことを示している。

以上の結果から、障害果の発現程度に関係の深かった果糖、カルシウム含量、およびRQとの間でどのような関係にあるかについて偏相関関係を算出してみた。カルシウムと果糖、果糖とRQとの間には密接な関係が認められるが、カルシウムとRQの間では偏相関は認められなくなった。これは、カルシウムが主に根から吸収され、それが葉および果実内で糖構成、とりわけ、果糖に密接に関係しているものの、障害果の成熟期における呼吸代謝の異常へは直接関与しているものではなく、むしろ、糖構成の異常に関連して呼吸が高まっているものと考えられた。

5. 摘 要

成熟期における二十世紀の障害果は、発現程度別に成分含量および呼吸量がどのように変化し、また、それらの間でどのような関連を持っているかについて検討した。

1) 障害果は、チッ素、リン、カリウム、およびマグネシウム含量で変化が認められなかったが、カルシウム含量は発現程度が甚しくなるにしたがって減少し、有意差も認められた。

2) 糖含量では、全糖および果糖が障害果の発現程度とともに著しく低下し、有意差も認められた。しかし、還元糖、ブドウ糖、およびシロ糖は有意差が認められなかった。

3) 果実の呼吸量については、 O_2 吸収量があまり変化しなかったが、 CO_2 放出量が発現程度とともにやや増加し、その結果、RQが高まり、健全果と障害果との間に有意差が認められた。

4) 障害果の発現程度に密接な関係が認められたのは、果糖、全糖、およびカルシウム含量であり、カルシウム含量と同程度でRQも関与していた。

これら、関係の深い要因を要約した指標を基にして、発現程度別の果実を分類した結果、重症果、軽症果、障害樹の健全果および健全樹の健全果の間の区別ができた。

5) カルシウム、果糖、およびRQの相互間の関係について論じた。

第5章 硬化障害果発生樹の根の生理機能

第1節 硬化障害果発生樹における根の活力と成分含量の変化

1. 緒 言

硬化障害果の発生樹は根の生理機能が著しく低下していることが知られている^{33,49)}。その原因として土壌の理化学性が悪化した反映として機能が低下する側面と、根自体の生理異常により低下する側面とが考えられる。

そこで、本節では障害果発生に根の生理機能がどのような関連を持っているかについて、その無機成分、呼吸量、および生理活性の面から検討した。

2. 材料および方法

供試樹は第3章で供試した樹と同一のものである。無機分析のためのサンプリングは80%以上の障害果発生率が認められた二十世紀28年樹(1974)から径1mm以下の細根を12月から8月まで7回にわたって採取した。なお、対照区として障害果発生認められなかった健全樹3樹を選んで、同期日に採取した。

採取した根は土粒の付着がなくなるまで水で洗浄した後、水滴を濾紙で完全に除去し、90℃の乾燥器中で1時間加熱後、80℃の通風乾燥器中で一昼夜乾燥した。乾燥した根はワイヤー粉砕機で粉碎後、分析用試料にした。無機成分の分析は第1章第1節の果実および葉の分析と同じ方法で行なった。

根の呼吸量および活力調査に用いた試料は、先の無機成分分析に供試した樹から約10cmに伸長した新根(硬化していない白い色状を呈した根)のみを無機成分分析試料と同時期に採取した。採取と同時に根を蒸留水中に入れ、直ちに呼吸量および活力測定を行なった。

根の呼吸量は、先端から3cmまでの部分を各区1g用い、それを0.2mmの厚さにマイクロームでスライスし、ゲフェスに入れて第4章の果実で行なったと同じワブルグ検圧法で行なった。²⁰⁴⁾

根の活力測定として、Triphenyl tetrazolium Chloride (TTC)の還元力と α -Naphthyl amine (α -NA)の酸化力による方法を用いた。

TTC還元力調査は、根の先端から5cmまでの部分1gを試験管にとり、0.4%TTCとN/10リン酸緩衝液(pH 7.0)を等量混合して10ml入れ、37℃の恒温器中に3時間静置し、その後、2N硫酸によって反応を止め、根をとり出して濾紙で水分をぬぐい去った。その根を乳鉢中で酢酸エチルと石英砂を入れて磨碎し、フォルマザンを抽出し、定容後、分光光度計の485nmで測定した。^{3,4,5)}

α -NA酸化力は、坂井ら¹²⁴⁾の方法により行ない、根の先端から5cmまでの部分2gを100ml容三角フラスコにとり、40ppmの α -NA溶液とN/10リン酸緩衝液(pH 7.0)を等量混合して50mlを入れ、25℃恒温器中で3時間振とうした。このサンプル液2mlを蒸留水100mlを入れた50ml目盛つき試験管にとり、1%スルファニール酸液1ml、100ppm亜硝酸ソーダ液1mlを加えてよく振とうし、蒸留水を加えて20mlとして30分後、分光光度計510nmで測定した。

3. 実験結果

1) 根の発育状況

障害果発生樹と健全樹における根の状態についてはFig. 5-1に示した。障害果発生樹の根は全体的に発生量が少なく、根に弾力性がなくなっており、その上、暗褐色化している。一方、健全樹の根は細根の発生量が多く、伸長量も長く、弾力のある状態を示している。

2) 根の無機成分含量

細根中のチッ素含量については、Fig. 5-2に示したように、両区とも12月から4月にかけてやや多く含まれており、6月から8月にかけて徐々に低下した。しかし、障害果発生樹の根はほぼ等量の差をもって終始健全樹の根より少なかった。

リン含量についてはFig. 5-3に示した。両区とも4月にやや増加したが、7月上旬まではほぼ同量であり、その後8月にかけて低下した。12月から4月にかけて健全樹の根にやや多く含まれていたが、その後は差が認

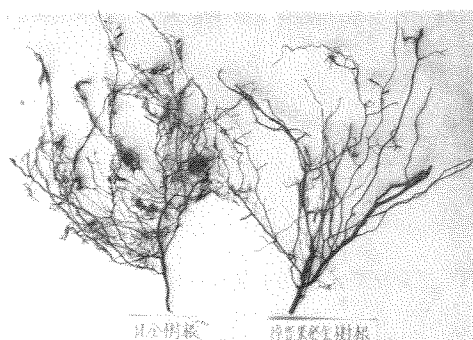


Fig. 5-1. Rootlet abstract of normal(left) and abnormal trees(right) of 'Nijisseiki' pear (1974).

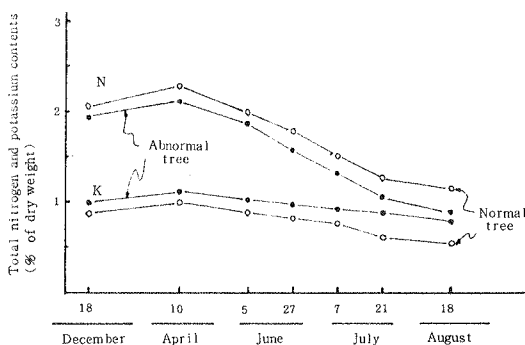


Fig. 5-2. Seasonal changes of total nitrogen and potassium contents in roots of 'Nijisseiki' pear tree (1974).

められなくなった。

細根中のカリウム含量は、12月から4月にかけて多少増加したものの、8月まであまり変化は認められなかった。障害果発生樹の根にやや多く含まれていたが、その差は少なかった (Fig. 5-2)。

カルシウム含量は Fig. 5-3 のように、12月から4月にかけて健全樹の根ではやや増加し、その後は8月まで徐々に低下した。一方、障害果発生樹の根では12月に多少低かったものの、4月以降8月までほとんど変化は認められなかった。両区の間で、障害果発生樹の根は12月から4月までは少なく、6月から8月までは多く含まれ

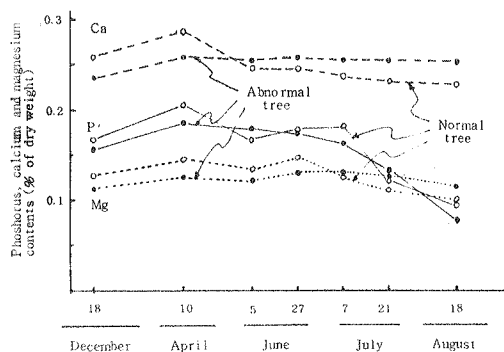


Fig. 5-3. Seasonal changes of phosphorus, calcium and magnesium contents in roots of 'Nijisseiki' pear tree (1974).

る結果となった。

マグネシウム含量は12月から6月下旬まで健全樹の根にやや多く、その後は障害果発生樹の根に多くなった。しかし、両区間の差は顕著ではなかった。

3) 根の呼吸量

根の呼吸量については Fig. 5-4 に示した。O₂ 吸収量は健全樹の根が4月から7月上旬まで一定の差をもって多く、7月下旬には両区とも低下し、8月には再び増加したが、両区の差は少なくなった。

CO₂ 放出量は、健全樹の根が4月から7月上旬まで増加したのに対し、障害果発生樹の根はあまり増加せず、両区間に差が認められた。その後、両区とも7月下旬に一時的に低下し、8月に再び増加したが、両区の差はあまり変化しなかった。

RQは4月から6月まで両区とも低かったが、7月上旬以降高まり、1に近づいた。全期間を通して健全樹の根よりも障害果発生樹の根のほうが高い値を示した。

4) 根の活力

根の活力をTTC還元力およびα-NA酸化力によって測定した結果を Fig. 5-5 に示した。TTC還元力は両区とも4月から6月にかけて著しく増加し、その後8月にかけて低下した。障害果発生樹の根は健全樹の根よりも少なく、4月から6月にかけて顕著であったが、その後8月にかけて両区の差はあまり認められなくなった。

α-NA酸化力は、障害果発生樹の根が4月から8月まで100 μg でほとんど変化しなかったのに対し、健全樹の根は4月に586 μg あり、約6倍の差が認められた。

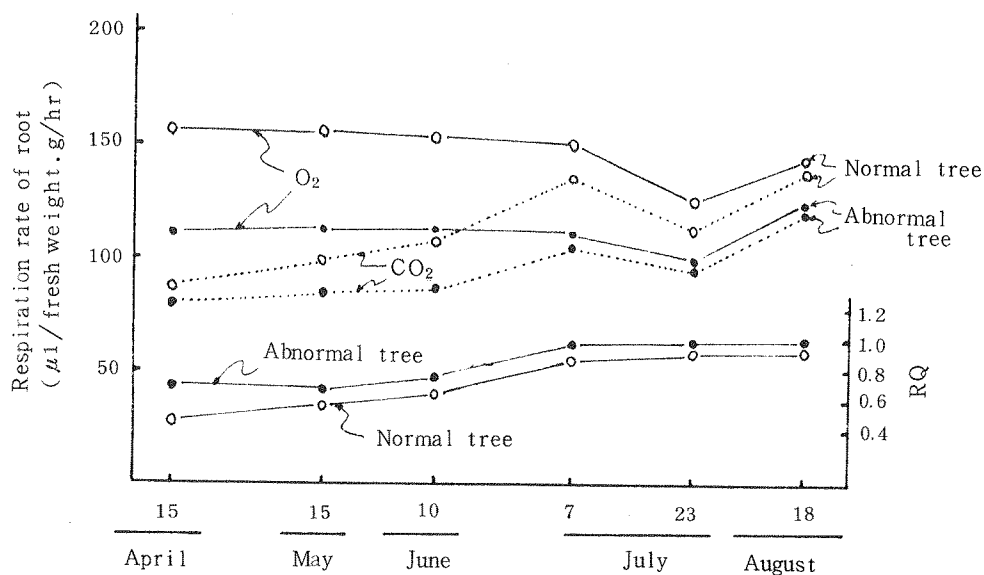


Fig. 5-4. Seasonal changes in the respiration rates of roots sampled from trees bearing the physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1974).

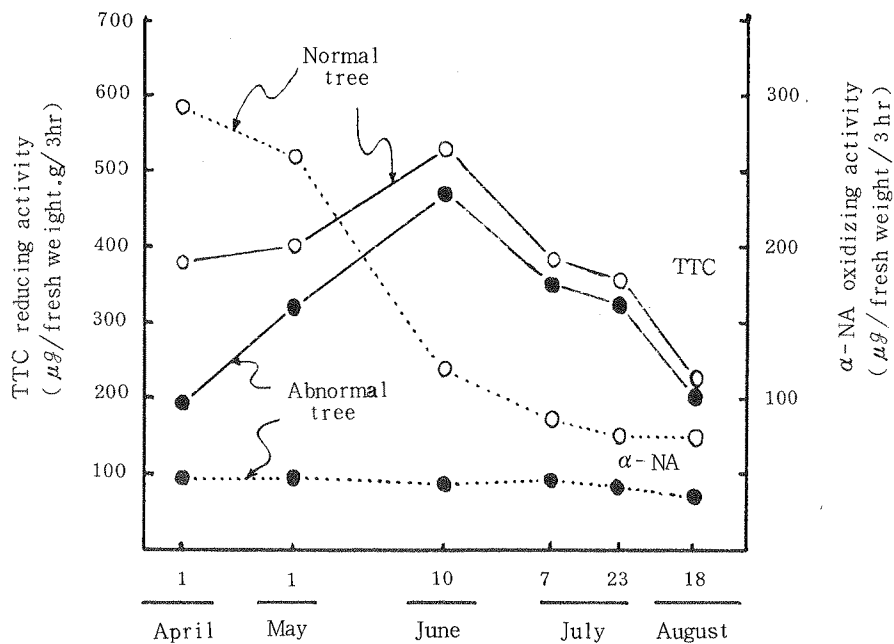


Fig. 5-5. Seasonal changes in the root activities of the trees bearing physiological disorder and normal fruits of 'Nijisseiki' pear (1974).

その後、健全樹の根は5月から7月上旬まで著しく低下し、8月にかけてほぼ一定になったが、それでも、障害果発生樹の根の2倍の酸化力を持っていた。

4. 考 察

ナシの根の伸長は、木村⁷⁷⁾によれば2月下旬から始まるとし、中村¹⁰⁸⁾は5月と7月にピークを示すとしている。また、岩田^{55,56)}によれば5月に根の伸長が旺盛になり、施肥により活動期が変化するとしている。

本実験では、各成分とも4月にやや増加し、その後は緩慢に減少しており、これは新根が旺盛に伸長したことによるためであろうが、幼果中の成分が増加するほど顕著ではなかった。12月から4月まで障害果発生樹の根より健全樹の根に多く含まれた成分は、カリウム以外のチッ素、リン、カルシウム、マグネシウム含量であったが、6月以後はチッ素含量のみが健全樹の根に多いだけで、他の各成分は障害果発生樹の根に多いか、ほぼ同程度になった。これらのうち、根の成分と葉の成分 (Fig. 3-14 参照) とが同様な消長を示したのはカリウム含量のみであり、チッ素およびカルシウム含量は逆の結果になり、マグネシウム含量はあまり関係が認められなかった。以上のように、4月の新根の伸長期に各成分がやや増加し、健全樹根に多く含まれていたことは、次に考察する根の活力にも関係しているものと思われる。しかし、カリウム含量が障害果発生樹の根に多かったことは土壤中のカリウム過剰の反映として、根が過剰吸収している結果表われたものであろう。

いずれにしても、根は養分吸収器官であると同時に、吸収した養分を転流する器官でもあるため、根中の無機成分含量が障害果発生樹の根と健全樹の根との間で顕著な差となって表われなかったものと思われる。

若い根は呼吸作用が旺盛であることがよく知られている^{29,98)}。本実験の健全樹の根は、伸長の旺盛な4月～6月にかけて障害果発生樹の根よりも O_2 吸収量が多く、 CO_2 放出量が高まっており、RQ 値は低い値であった。これは根の吸収機能が健全樹の根で順調に働いているのに対し、障害果発生樹の根が機能低下をきたしている結果であろうと思われた。

また、根の呼吸作用は、根の活力一すなわち根の酸化力および還元力とも密接に関連していることが報告^{4,5,165)}されている。

α -NA による根の活力測定は、根のパーオキシダー

ゼが α -NA に作用して酸化されるとされ^{3,165)}、TTC 反応は根のチトクロームオキシダーゼ作用でTriphenyl formazan に還元されるので、組織内の脱水素酵素の強さを測定していることになる^{4,5,165)}。本実験では、 α -NA 酸化力、TTC 還元力とも健全樹の根が障害果発生樹の根よりも終始まさっており、とくに、4月～6月には顕著な差が認められたことは、障害果発生樹の根が新根を発生するものの、外見以上に活力が弱まっていることを示唆していた。

また、健全樹の根は、 α -NA 酸化力が4月から6月にかけて低下したのに対し、TTC 還元力が増加したのは、相見⁴⁾は、 α -NA が主に根の表皮、原表皮および根冠部に反応し、TTC は主に中心柱および原中心柱に反応するとしており、本実験の場合、根の発育ステージの差異がこうした結果になったものと思われる。

したがって、障害果発生樹の根の活力が健全樹の根よりも著しく低下していたことは、 α -NA 酸化力およびTTC 還元力調査の結果によって判断し得ると同時に、4月から6月にかけて顕著な差が認められた α -NA による測定法は、TTC 反応以上に障害果発生樹の根の有効な活力測定に利用できるものと思われる。

5. 摘 要

障害果発生樹における根の機能が、健全樹の根に比較してどのような差異が認められるかについて、根の成分含量、呼吸量および活力の面から検討した。

1) 根の無機成分は、根の伸長が旺盛になる4月前後に各成分ともやや増加し、その後緩慢に減少した。4月まではカリウム以外の各成分が健全樹の根に多かったが、6月以降は両区間に差は認められなくなった。

2) 健全樹の根の呼吸量は、4月から6月にかけて O_2 呼吸量および CO_2 放出量ともに障害果発生樹の根よりも多かったが、RQ では障害果発生樹の根のほうが終始高い値を示した。

3) 根の活力では、 α -NA 酸化力およびTTC 還元力とも健全樹の根が障害果発生樹の根よりもまさっており、とくに、4月から6月にかけて顕著な差が認められた。 α -NA 酸化力は、障害果発生樹の根が4月から8月まではほぼ一定であったのに対し、健全樹の根は4月に約6倍、8月には約2倍の活力を示し、この測定法は根の活力測定に有効に利用できることを推測させた。

第 6 章 硬化障害果発生の品種間差異

第 1 節 硬化障害果発生の品種間差異とその葉，果実成分の変動

1. 緒 言

これまで，ナシ果実の硬化障害については，主に長十郎，二十世紀など主要品種についての研究が行なわれてきたが，現在まで栽培されてきた多くの品種について，その発生の有無についてはあまり報告されていない。^{49,134)}

それは，序論でもふれたように，長十郎に代表される赤ナシでは“石ナシ”，二十世紀などの青ナシでは“ユズ肌”と呼ばれ，それらが同一原因によるものであるかどうかを証明した報告がなされていないこともあって，品種間の発生の確認について必らずしも充分立証されていないのが現状である。

塩原¹³⁴⁾は発生樹に高接した場合に，高接品種が八雲，早生二十世紀，八幸，新興では発生し，幸水，新高では発生しなかったとしている。また，橋本は 1974 年園芸学会春季大会で発表したように，数品種を高接して，高接品種が八幸，二十世紀，豊水では発生し，新水，幸水は発生しなかったと報告をしている。このように，報告者により品種が限られているため，本実験では当场果樹園で保存している 39 品種について硬化障害果の発生確認をすると同時に，主要品種を高接し，対照樹との成分の差異の面から硬化障害果の発生原因を検討した。

2. 材料および方法

当场果樹園で品種保存されているニホンナシ 39 品種について，障害果の発生の有無を確認するため，それぞれの収穫期に果実の障害程度を甚，軽，無発生に分けて判定した。判定の際に，品種保存樹の土壌条件によっても発生程度が左右されるので，発生症状の軽微ないし無発生の品種については，100%の果実に障害が発生している早生二十世紀 18 年生樹に 1974 年 3 月 20 日に高接し，発生程度を調査した (Fig. 6-1)。

つぎに，硬化障害果の発生品種と無発生品種との成分の差異を調べるため，先の発生品種確認と同様，100%の果実に障害が発生している早生二十世紀 18 年生樹に



Fig. 6-1. Grafting method on 'Wase-Nijisseiki' pear tree (1974).

主要 10 品種 (Table 6-2 参照) を高接し，果実および葉の分析を行なった。高接した各品種は翌 1975 年から発生が確認できたが，果実および葉内成分への影響が充分判定できるように，高接 2 年後の 1976 年に果実をそれぞれの収穫期に採取し，葉は 8 月 10 日に採取した。

果実および葉の分析は第 1 章第 1 節と同一方法である。

3. 実験結果

1) 硬化障害果を発生する品種

これまで，生産現場で栽培されてきた品種および現在栽培されている品種で，当场で保存している品種を硬化障害果の発生程度別に区別したものが Table 6-1 であ

Table 6-1. Classification of cultivars into three degrees of the physiological disorder of Japanese pear fruits (1975).

Division	Occurring cultivar		Non - occurring cultivar
	Severe	Slight	
Early cultivar	<u>Wase-Nijisseiki</u> , <u>Ishii-wase</u> , <u>Hakko</u> <u>Yakumo</u> , <u>Suisei</u> Kubonashi.	Hayatama, Asahi, Kimizuka-wase, Kumoi, Doitu, <u>Hakata - ao</u> , Chōju, Shinchu.	Shinsui, Tama, Kosui.
Medium cultivar	<u>Nijisseiki</u> , <u>Gion</u> , <u>Seigyoku</u> , Chōjuro, <u>Taihaku</u> , Senryo, <u>Suisyu</u> .	<u>Kikusui</u> , Sagami, Hosui, <u>Hokkai</u> , <u>Izuno - homare</u> , <u>Ninomiya - hakuri</u> .	Inagi
Late cultivar	<u>Seiryu</u> , Shinko, Atago.	Yoshino, Wase-aka, Oku - sankichi, Shinsetu.	Niitaka.

Under-lined cultivars denote the green rind pear in ripening.

る。調査した39品種のうち、硬化障害果の発生が認められた品種は34品種で、発生の認められなかった品種は新水、幸水、多摩、稲城、新高の5品種であった。また、熟期の早晚性による差や青梨、赤梨間の差は認められなかった。

2) 硬化障害果発生樹に高接した品種の硬化障害果の発生と果実成分の対照樹との差異

硬化障害果の発生が確認された石井早生、菊水 雲井、二十世紀、豊水、長十郎の6品種と、無発生の多摩、新水、幸水、新高の4品種を100%の果実に障害が発生している早生二十世紀樹に高接した実験において、障害果の発生する6品種はいずれも高接後の結実果に硬化現象が確認され、無発生4品種には認められなかった。とくに、硬化現象の認められた果実は赤梨品種では長十郎に代表される“石ナン”症状であり、青梨品種では二十世紀に代表される“ユズ肌果”症状であった (Fig. 6-2)。

これら、同一品種を高接樹と対照樹について果実の無機成分を分析し、その結果は Table 6-2 に示した。果

実中の無機成分は対乾物%でチッ素、リン、マグネシウムが高接区で多く、カリウム、カルシウムは対照区で多かったが、カルシウム含量のみが統計的有意差を示した。1果中の絶対量ではチッ素が高接区に多く、カリウム、カルシウム含量は対照区に多く含まれ、これらには、二元配列の分散分析の結果、いずれも有意差が認められた。

Table 6-3 に示したように糖含量は高接樹では全糖、還元糖、果糖が少なく、ブドウ糖、でんぷんが多く含まれていた。以上の各糖成分は統計的有意差が認められ、障害果の発生した早生二十世紀に高接した各品種のうち、障害果発生品種による影響がとくに著しかった。ショ糖 / 全糖比は高接により変化が認められなかったが、ショ糖 / 果糖比が高接によりやや高まった。

葉分析成績について、高接樹ではチッ素以外で、リンがやや増加し、カリウム、カルシウム、マグネシウムは減少しており、果実中の無機成分と同様な傾向を示したのはカリウム、カルシウム含量であり、とくに、カルシウム含量の差が著しかった (Table 6-4)。

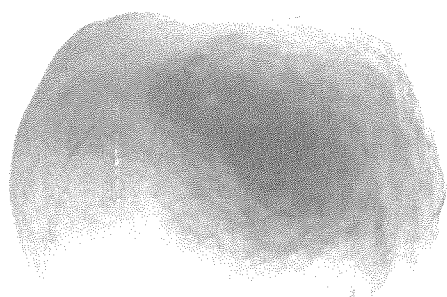


Fig. 6-2. Condition of disorder fruited of 'Nijisseiki' (left) and 'Chōjuro' pear (right) bearing on the shoot that was grafted on abnormal tree of 'Wase-Nijisseiki' pear (1976).

以上の結果を用いて、障害果発生品種と無発生品種とが高接樹と対照樹との間で、その成分にどのような差異があったかについて、主成分分析によりその間の移動を調べた。

はじめに、早生二十世紀を含めた各品種の各成分（特性値）間の相関関係を Table 6-5 に示した。無機成分間の相関は、チッ素とカリウム絶対量以外のすべての間で正の有意相関が認められた。糖と無機成分の間では、還元糖とチッ素、リン、カルシウム絶対量とが、果糖とカルシウム絶対量の間で正の有意相関が、ショ糖とリン、カリウム、マグネシウム絶対量との間では負の有意相関が認められた。また、でんぷんとリン、カリウム絶対量との間でも正の有意相関が認められた。

果実内成分と葉成分との間では、チッ素のみが葉内チッ素成分と果実内チッ素絶対量との間で、また、果実内でんぷんと葉内カリウム含量との間でも負の相関がそれぞれ認められた。

各品種の高接及び対照区 20 種に早生二十世紀を加えた 21 種をサンプルとし、18 特性を用いて主成分分析を行なった。各品種ごとの高接樹と対照樹の果実を第 1 主成分及び第 2 主成分スコアに基いて分類したものが Fig. 6-3 である。早生二十世紀に高接した二十世紀、菊水、長十郎、雲井、石井早生などの果実は早生二十世紀の果実と同じ位置に分類することができる。また、無発生品種の新水、幸水、多摩、新高などの果実は早生二十世紀の果実からは遠い位置に分布しており、明らかに

区別することができた。このことは、各品種が早生二十世紀に高接した場合に、果実内無機及び有機成分には一定の変動（影響）がもたらされていることが見られる。すなわち、硬化障害果の発生する 6 品種は第 2 象限に位置している早生二十世紀の方向へ高接した場合に変動していることが認められる。これに対し、硬化障害果の無発生品種は高接した場合でも、早生二十世紀とは反対の方向へ変動している。これは、果実および葉中の各成分の含有割合から総合的に判断した場合に、無発生品種は発生する早生二十世紀に高接してあっても、早生二十世紀とは異なった成分割合を示していることを意味しており、それは高接による影響を受けにくいことを意味していることになる。

4. 考 察

調査した 39 品種のうち、硬化障害果の発生程度が甚しい品種は 16 品種、軽微は 18 品種で、無発生品種は新水、幸水、多摩、稲城、新高の 5 品種であった。

塩原¹³⁴⁾は高接試験の結果から新水、幸水、新高を発生しなかったとしている。

一方、猪瀬⁴⁹⁾は現地調査のまとめとして、石井早生、旭、雲井、幸水、真鍮、新興、君塚早生、新高、新雪などを発生の認められなかった品種として紹介している。これらの品種の高接ないし現地確認試験などでは、それぞれの調査方法によって差が認められるが、硬化障害果のような原因究明が著しく困難な課題では発生しやすい

Table 6-2. Changes of nutrient contents in the fruits of respective cultivars grafted on the physiological disordered trees of 'Wase-Nijisseiki' pear (1976).

Division	% of dry weight					Absolute quantity(<i>mg</i> / fruit)					Fruit weight (<i>g</i>)	
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg		
Wase- Nijisseiki	0.355	0.112	1.013	0.041	0.057	57.5	18.1	164.1	6.6	9.2	220	
Grafting	Ishii- wase	0.328	0.101	0.971	0.038	0.063	98.9	30.5	292.8	11.6	19.0	335
	Tama	0.315	0.108	1.054	0.061	0.053	70.9	24.3	237.2	13.7	13.1	260
	Shinsui	0.313	0.094	0.911	0.056	0.050	68.5	20.6	199.3	12.3	10.9	221
	Kosui	0.459	0.106	0.882	0.069	0.058	107.4	24.8	206.4	16.2	10.5	280
	Kikusui	0.328	0.096	0.758	0.056	0.045	63.5	18.6	146.7	10.8	8.7	265
	Kumoi	0.301	0.112	0.868	0.035	0.045	85.3	31.8	246.1	9.9	13.3	345
	Niji- sseiki	0.408	0.120	0.623	0.051	0.054	104.3	30.7	159.2	11.0	13.8	284
	Hosui	0.235	0.094	0.606	0.052	0.040	81.2	32.5	209.4	19.0	13.8	364
	Chōjuro	0.328	0.094	0.799	0.058	0.042	80.6	23.1	196.3	14.3	10.3	323
	Niitaka	0.381	0.102	0.675	0.054	0.049	183.5	49.1	325.0	26.0	23.6	545
Mean	0.374	0.103	0.815	0.053	0.050	94.4	28.6	221.8	14.5	13.6	322	
Control	Ishii-wase	0.311	0.094	0.913	0.048	0.058	87.6	26.5	257.2	13.5	16.3	323
	Tama	0.326	0.084	0.822	0.063	0.051	76.6	19.3	193.1	14.8	12.0	261
	Shinsui	0.271	0.082	0.801	0.068	0.052	54.9	16.6	162.2	13.8	10.5	225
	Kosui	0.299	0.096	0.880	0.068	0.052	73.5	23.6	216.2	16.7	12.8	273
	Kikusui	0.305	0.091	0.713	0.065	0.051	74.1	22.1	173.3	15.8	12.4	270
	Kumoi	0.301	0.088	0.709	0.049	0.030	94.8	27.7	223.3	15.4	9.5	350
	Niji- sseiki	0.374	0.073	1.025	0.058	0.052	96.9	18.9	265.7	15.0	13.5	288
	Hosui	0.188	0.092	0.897	0.054	0.039	59.0	28.9	281.5	17.0	12.2	357
	Chōjuro	0.275	0.104	0.975	0.060	0.045	72.9	30.0	280.9	17.3	13.0	321
	Niitaka	0.221	0.094	0.778	0.062	0.043	120.3	51.2	423.6	33.8	23.4	550
Mean	0.287	0.090	0.851	0.060	0.047	81.7	24.8	247.7	17.3	13.6	322	
LSD at 5%				0.011		17.1		45.4	2.1			
LSD at 1%	NS	NS	NS	0.017	NS	24.6	NS	65.2	2.9	NS	NS	

Underlined cultivars denote the occurring cultivars of physiological disorder.

Table 6-3. Changes of sugar contents in the fruits of respective cultivars grafted on the physiological disordered trees of 'Wase-Nijisseiki' pear (% of fresh weight, 1976).

Division	Total sugar	Reduc- ing sugar	Glu- corse	Fru- ctose	Su- crose	Sucro- se	Sucro- se	Starch	Brix	Titra- table acidity (as malic)	
						Total sugar	Fru- ctose				
Wase- Nijisseiki	12.10	10.10	5.04	5.06	1.90	0.16	0.38	0.027	11.2	0.181	
Grafting	Ishii- wase	10.16	7.92	3.36	4.56	2.13	0.21	0.47	0.028	12.6	0.208
	Tama	13.14	9.03	2.07	6.96	3.90	0.30	0.56	0.016	13.0	0.114
	Shinsui	11.12	7.77	3.81	3.96	3.35	0.30	0.85	0.028	12.3	0.172
	Kosui	13.02	9.72	3.44	6.28	3.14	0.24	0.50	0.013	13.0	0.134
	Kikusui	12.45	9.22	5.10	4.12	2.97	0.24	0.72	0.017	12.6	0.201
	Kumoi	11.47	8.36	4.20	4.16	2.96	0.26	0.71	0.017	12.0	0.121
	Nijji- sseiki	11.78	8.04	4.35	3.69	3.55	0.30	0.96	0.011	11.6	0.261
	Hosui	12.15	9.79	4.90	4.89	2.24	0.18	0.45	0.009	12.6	0.154
	Chōjuro	12.54	8.21	4.85	3.36	4.11	0.33	1.22	0.034	13.0	0.201
	Niitaka	12.93	11.95	5.30	6.65	0.93	0.07	0.14	0.034	12.8	0.171
Mean	12.08	9.10	4.14	4.86	2.93	0.24	0.60	0.021	12.6	0.174	
Control	Ishii- wase	10.63	7.86	3.51	4.34	2.63	0.25	0.60	0.019	11.8	0.163
	Tama	13.64	9.50	3.21	6.38	3.93	0.29	0.62	0.008	13.2	0.121
	Shinsui	12.75	8.10	3.58	4.52	4.42	0.35	0.98	0.009	13.2	0.154
	Kosui	11.31	9.14	4.20	4.94	2.54	0.22	0.51	0.004	12.6	0.127
	Kikusui	12.61	9.56	3.93	5.63	2.90	0.23	0.52	0.012	13.1	0.129
	Kumoi	12.54	9.80	3.78	6.02	2.60	0.21	0.43	0.016	11.2	0.107
	Nijji- sseiki	12.24	9.05	4.30	4.75	3.03	0.25	0.64	0.016	11.2	0.210
	Hosui	12.85	10.51	5.10	5.41	2.22	0.17	0.41	0.012	12.4	0.191
	Chōjuro	13.06	9.89	3.90	5.99	3.01	0.23	0.50	0.022	13.8	0.188
	Niitaka	12.66	10.53	4.31	6.22	2.02	0.16	0.32	0.029	12.6	0.135
Mean	12.43	9.39	3.97	5.42	2.93	0.24	0.54	0.015	12.5	0.153	
LSD	at 5%	0.53	0.70	0.56	0.93				0.005		
	at 1%	0.76	1.00	0.80	1.33	NS	NS	NS	0.007	NS	NS

Underlined cultivars denotes the occurring cultivars of physiological disorder.

Table 6-4. Changes of leaf analysis of respective cultivars grafted on the physiological disordered trees of 'Wase-Nijisseiki' pear (% of dry weight, 1976).

Division	N	P	K	Ca	Mg	
<u>Wase-Nijisseiki</u>	2.56	0.17	1.05	1.18	0.50	
Grafting	<u>Ishii-wase</u>	2.54	0.20	1.12	0.96	0.33
	Tama	2.17	0.20	1.27	1.27	0.38
	Shinsui	2.17	0.19	1.26	1.30	0.45
	Kosui	1.96	0.20	1.42	1.07	0.48
	<u>Kikusui</u>	2.23	0.20	1.31	1.08	0.40
	<u>Kumoi</u>	2.22	0.20	1.06	1.02	0.38
	<u>Nijisseiki</u>	2.24	0.22	1.49	1.00	0.43
	<u>Hosui</u>	2.42	0.20	1.30	1.20	0.41
	<u>Chōjuro</u>	2.56	0.20	1.23	1.15	0.38
	Niitaka	1.99	0.21	1.23	1.27	0.35
Mean	2.25	0.20	1.27	1.13	0.40	
Control	<u>Ishii-wase</u>	2.01	0.20	1.33	2.00	0.46
	Tama	2.17	0.17	1.31	1.26	0.40
	Shinsui	2.10	0.17	1.39	1.54	0.46
	Kosui	2.22	0.16	1.33	1.33	0.48
	<u>Kikusui</u>	2.15	0.19	1.31	1.53	0.43
	<u>Kumoi</u>	1.96	0.14	1.30	1.96	0.40
	<u>Nijisseiki</u>	2.05	0.20	1.32	1.36	0.40
	<u>Hosui</u>	2.06	0.17	1.35	1.80	0.43
	<u>Chōjuro</u>	2.09	0.20	1.31	1.40	0.43
	Niitaka	2.06	0.17	1.13	1.67	0.47
Mean	2.09	0.18	1.31	1.59	0.44	
LSD at 5%	NS	0.07	0.10	0.24	0.08	
at 1%		—	0.14	0.34	0.12	

Underlined cultivars denote the occurring cultivars of the physiological disorder.

Table 6-5. Means, standard deviations and correlation matrix of variable of respective varieties on the occurring tree of disorder (1976).

Variable	Mean	S.D.	N-ab	P-ab	K-ab	Ca-ab	Mg-ab	T-sug	R-sug	Gluc	Fruc	Suc	Star	Brix	Acid	L-N	L-P	L-K	L-Ca
N Absolute quantity	82.36 ¹⁾	32.57	1.000																
P "	27.08 ¹⁾	9.09	.622	1.000															
K "	231.8 ¹⁾	67.2	.369	.804	1.000														
Ca "	15.40 ¹⁾	5.69	.620	.782	.***	1.000													
Mg "	13.42 ¹⁾	4.10	.477	.860	.***	.716	1.000												
Total sugar	12.38 ²⁾	1.10	.259	.007	.025	.265	-.144	1.000											
Reducing sugar	9.35 ²⁾	1.15	.504	.481	.429	.573	.302	.667	1.000										
Glucose	4.15 ²⁾	0.73	.296	.280	.060	.165	.068	-.094	.327	1.000									
Fructose	5.21 ²⁾	1.15	.321	.306	.390	.470	.252	.727	.799	-.309	1.000								
Sucrose	2.90 ²⁾	0.86	-.335	-.616	-.519	-.401	-.563	.326	.482	-.540	-.146	1.000							
Starch	0.018 ²⁾	0.01	.217	.406	.435	.223	.417	-.121	.124	.286	-.061	-.336	1.000						
Brix	12.73	0.96	.120	.130	.022	.303	.087	.538	.325	-.061	.354	.228	.064	1.000					
Titratable acidity	0.164%	0.04	-.106	-.041	-.103	-.243	.036	-.291	.256	.460	.***	-.057	.275	-.191	1.000				
Leat	N	2.21 ³⁾	0.22	-.478	-.292	-.331	-.185	-.123	-.259	.012	-.276	.178	.075	.081	.155	1.000			
		0.189 ³⁾	0.02	.108	.088	-.084	.187	-.066	-.182	.101	-.269	.109	.258	.357	.521	.134	1.000		
		1.28 ³⁾	0.11	.134	-.266	-.370	-.022	.216	-.103	-.166	.044	.402	.589	.152	.185	-.364	.058	1.000	
		1.35 ³⁾	0.30	.115	.102	.305	.346	.061	.167	-.092	.241	-.138	-.100	-.284	-.316	-.527	.***	.175	1.000
		0.42 ³⁾	0.05	-.059	-.244	-.180	.003	-.050	-.055	-.001	-.057	.053	-.288	-.232	-.136	-.198	.376	.208	.298

1) mg/fruit, 2) % of fresh weight, 3) % of dry weight.

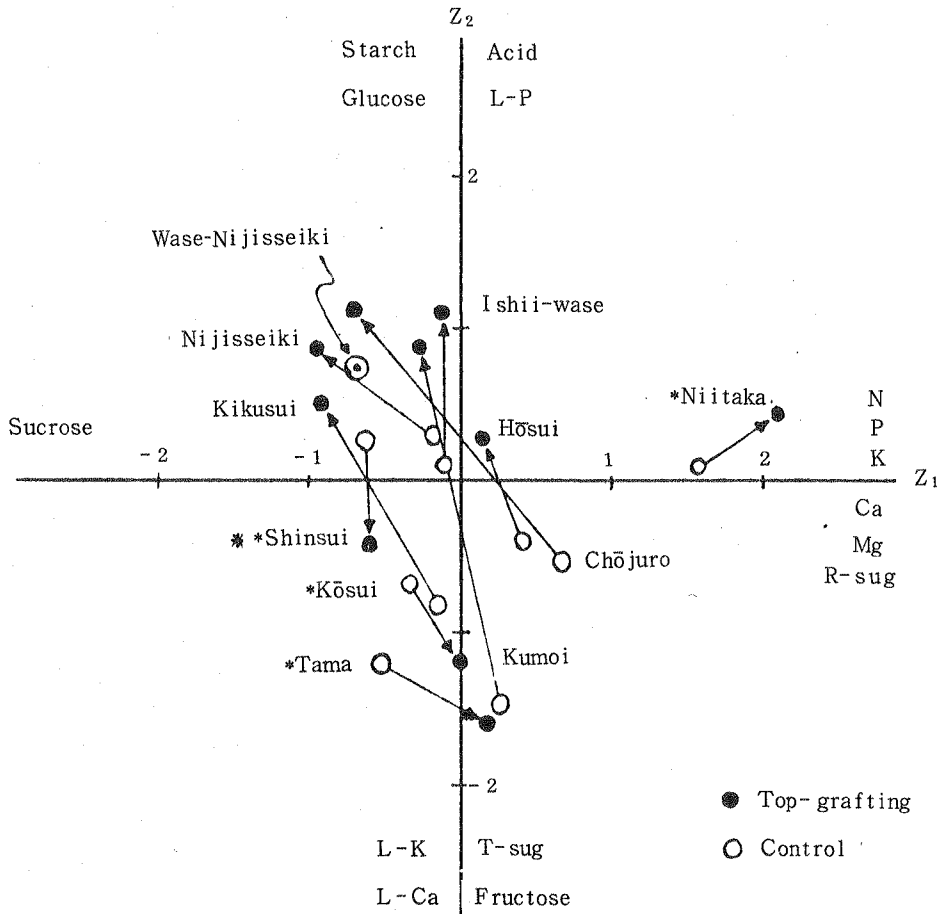


Fig. 6-3. Alterations of each cultivars grafted physiological disordered trees of 'Wase-Nijisseiki' pear(1976). Asterisk(*) denotes non-occurring cultivars of physiological disorder. R-sug=Reducing sugar, T-sug=Total sugar, L-K=Leaf K, L-P=Leaf P, L-Ca=Leaf Ca, Acid=Titrateable acidity.

条件, すなわち, 100%の果実が障害果になっている樹に高接をして確認をする必要があることはいうまでもない。その点, 前二者(塩原, 橋本)が高接試験から新水, 幸水, 新高が発生しなかったことを認めており, 本実験でも同様な結果であったことは, これらの品種は, 発生しない品種として断定としても差支えないものと思う。

その他, 1例であるが, 東京都農業試験場育成品種である多摩は祇園×幸水であり, 非発生品種幸水の遺伝的影響を受けているために発生しないものと思われる。また, 都下稲城市で作成された“稲城”は八雲×新高であ

り, 非発生品種新高の影響を強く受けたために, 発生しない品種になったものであろう。しかし, 交配親を検討してみるならば, 新水は菊水×君塚早生, 幸水は菊水×早生幸蔵であり, 菊水, 君塚早生, 祇園はTable 6-1に示したように障害果発生品種に属している。新高は天の川×今村秋で, その両品種を当場で保存していないために, 確認できなかったが, いずれにしろ遺伝的特性からの発生関係については, この資料からは明確な結論は得られなかった。

一般栽培で硬化障害果の発生が認められにくい品種でも, 発生しやすい条件, すなわち, 100%の果実が発生して

いる樹に高接することにより発生する品種と発生しない品種とに区別することができる。このように、外見的に発生する品種と発生しない品種との間には、果実の成分組成においても明らかな差が認められた。障害果発生品種は前章で明らかにしてきた無機成分の変化、とくに、カルシウム含量や、糖含量とくに全糖、果糖が減少し、ブドウ糖、でんぶん含量が増加するという現象が見られる。これに対し、発生しない品種は100%の果実に障害発生が認められた早生二十世紀に高接しても、果実および葉内の成分への影響は少なく、外見的な硬化現象も、また味覚についての影響もほとんど認められなかった。

とくに、障害果の発生する品種は早生二十世紀の成分組成の方向へ変動し、発生しない品種はそれらとは反対の方向へ変動した結果が得られたことは興味深いものがある (Fig. 6-3)。

これまで明らかにしてきた障害果発生の品種間差異は、果実および葉内の成分変化により発生が規定されていることを意味しているともいえる。したがって、硬化障害果の発生しない5品種、すなわち、新水、幸水、多摩、稲城、新高は樹体内の養分代謝の異常が起りにくいため発生しなかったものであり、これまで報告^{63,68)}してきた結果を裏づける資料となり得た。

5. 摘 要

ニホンナシ果実の硬化現象の発生の品種間差異につい

て、東京都農業試験場で保存している39品種を調査した。さらに、障害果の発生する6品種と、無発生の4品種を100%の果実が障害果である早生二十世紀樹に高接し、果実および葉を分析し、成分組成の面から発生品種と無発生品種との間の差異を検討した。

1) 調査した39品種のうち、硬化障害果の発生が認められなかったのは早生種で新水、幸水、多摩、中生種で稲城、晩生種で新高の5品種であった。

2) 硬化現象の認められた果実は赤梨で“石ナシ果”症状であり、青梨は“ユズ肌果”症状を呈しており、同一原因による障害であった。

3) 硬化障害果の発生しなかった5品種を交配親の関係から検討した結果、発生品種が交配親に含まれており、遺伝的特性からは明らかな傾向は得られなかった。

4) 障害果の発生する6品種と無発生の4品種を100%の果実が発生している早生二十世紀樹に高接し、果実および葉の成分分析をした結果、果実のチッ素、カリウム、カルシウム含量、全糖、還元糖、果糖、ブドウ糖、でんぶん含量へ影響が認められ、とくに、カルシウム絶対量、果糖が減少し、でんぶん含量が増加した。

5) 早生二十世紀樹に高接した障害発生品種は対照樹の同一品種に較べ、その成分組成が早生二十世紀と同様な傾向に変動し、無発生品種は反対の方向へ変動しており、成分組成に由来する硬化現象であることが明らかとなった。

第Ⅱ部 ニホンナシの硬化障害果の発生

防止対策に関する研究

第7章 石灰の樹上処理による硬化障害果の発生防止効果

第1節 石灰の葉面散布および果実処理が硬化障害果発生に及ぼす影響

1. 緒言

これまで、第1部でナシの硬化障害果の発生原因を究明してきたが、カルシウムが果実内の代謝、とりわけ果糖及びシロ糖含量に影響を及ぼしていることを明らかにした。

最近石灰質農薬の減少にともなって果実の品質低下も論じられるようになってきた。そこで、本節では石灰を葉面散布および果実発育初期に浸漬処理をすることにより、石灰が硬化障害果発生に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

供試樹は毎年90%以上の障害果発生が認められた二十世紀28年生(1974)樹を3樹、さらに健全樹を3樹用いた。各樹ごとに、亜主枝を用いて、1区が50果になるように区分し、各石灰散布区を設けた。

石灰の葉面散布区は硝酸カルシウム $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、塩化カルシウム CaCl_2 、炭酸カルシウム CaCO_3 を用いて、第1回散布は1974年5月7日(満開30日後)、第2回は5月28日、第3回は6月18日、第4回は7月9日に行ない、石灰の種類ごとに散布回数を組合せて実施した。石灰散布溶液は、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCl_2 が0.5%で、 CaCO_3 は1%とし、手動型噴霧器で散布した。

果実調査は9月15日に実施し、葉は8月25日に採取した。

石灰の果実浸漬処理は、予備試験として1975年に18年生早生二十世紀に対して行ない、本実験として1976年に葉面散布に使用した二十世紀の障害果発生樹3樹を用いて、炭酸カルシウム CaCO_3 1%液を使用した。処理区分は1回から4回処理区まで設け、1区当り各樹ごと

に60果を処理した。処理時期は満開30日後(5月20日)45日後(6月5日)、60日後(6月20日)、75日後(7月5日)の4回実施した。果実の採取調査は9月16日に行なった。

果実の無機成分分析、糖の分析、および葉分析は第1章第1節で実施した方法を用いた。

3. 実験結果

1) 石灰の葉面散布による影響

各種の石灰の葉面散布が障害果発生に及ぼす影響について、その結果をTable 7-1に示した。 CaCl_2 区および CaCO_3 区は無処理区に比して発生率が低下しており、有意差が認められた。また、 CaCl_2 区はほとんど効果が認められなかった $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区との間でも有意差が認められた。

散布回数では CaCl_2 区および CaCO_3 区の3~4回散布区で発生率がかなり低下した。散布効果のほとんど見られなかった $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 区でも4回散布区で対照区よりやや低下する傾向が認められた。平均値として、1回と3回、2回と4回、1回と4回の処理間でそれぞれ有意差が認められ、散布回数が多い区ほど発生率が低下する傾向を示した。

石灰の葉面散布が、果実内無機成分に及ぼす影響として、1回散布果から4回散布果の結果をTable 7-2に示した。

チッ素含量は対乾物%で障害果発生樹の各区が健全樹のそれらよりやや少なかった程度であった。しかし、1果中の絶対量では、障害果発生樹よりも健全樹で少なく、有意差も認められた。

リン含量は対乾物%では健全樹の CaCO_3 、 CaCl_2 処理区が、絶対量では健全樹および障害果発生樹の CaCl_2 、 CaCO_3 処理区がそれぞれ多くなり、5%レベルの有意

Table 7-1. Effects of calcium foliar spray on the occurrence of the physiological disorder of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

Treatment	Times of spray				Mean	Significance
	1	2	3	4		
0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	92.1 %	89.7 %	93.3 %	89.5 %	91.4 %	
0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	92.2	89.9	90.0	88.9	90.3	
0.5% CaCl_2	91.3	90.1	88.0	82.3	87.9	
0.5% CaCO_3	93.0	90.6	85.7	84.3	88.4	
Control	—	—	—	—	92.5	
Mean	92.4	90.1	89.3	86.3	90.1 (89.5)	
Significance						

*, ** : Significant at the 5% and 1% level, respectively.

Table 7-2. Effects of calcium foliar spray on the contents of mineral elements of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

Treatment	% of dry weight					Absolute quantity (mg/fruit)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Abnormal tree										
0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.381	0.056	0.995	0.052	0.060	76.9	11.3	201.0	10.5	12.1
0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0.386	0.061	0.993	0.046	0.056	72.2	11.6	189.7	8.8	10.7
0.5% CaCl_2	0.386	0.063	1.011	0.053	0.059	78.4	12.8	205.2	10.8	12.0
1.0% CaCO_3	0.382	0.060	0.963	0.056	0.056	74.9	12.0	188.9	11.0	11.0
Control	0.381	0.067	0.991	0.048	0.046	65.4	11.4	196.6	9.2	9.9
Normal tree										
0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.396	0.061	1.018	0.061	0.048	81.3	12.3	206.7	12.4	9.7
0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0.398	0.062	0.998	0.058	0.049	79.4	12.6	203.6	11.8	10.0
0.5% CaCl_2	0.382	0.067	1.006	0.067	0.052	76.8	13.5	202.2	13.5	10.4
1.0% CaCO_3	0.389	0.068	1.018	0.065	0.053	79.7	13.9	208.7	13.3	10.9
Control	0.400	0.066	1.112	0.058	0.058	75.5	13.4	226.5	12.0	12.0
LSD at 5%	NS	0.012	NS	0.007	NS	14.9	2.0	43.8	1.5	NS
at 1%		—		0.020		—	—	—	4.1	

差が認められた。

マグネシウム含量は対乾物%，絶対量ともカルシウム散布による変化が認められなかった。

カリウム含量は障害果発生樹の各区が健全樹よりもやや少なくなっており，なかでも， CaCO_3 区の低下が多かったために，5%レベルの有意差が認められた。

カルシウム含量は，対乾物%および絶対量とも $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ， CaCl_2 ， CaCO_3 処理区が高まっており，健全樹の各区は障害果発生樹のそれらよりも多かった。

つぎに，糖含量に及ぼした影響についてはTable 7-3に示した。

還元糖は障害果発生樹も健全樹もともに， $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区， CaCl_2 区， CaCO_3 区が増加した。ブドウ糖は障害果発生樹の CaCO_3 区において，健全樹の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 区および CaCO_3 区において低下しており，果糖は障害果発生樹の $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区， CaCl_2 区，健全樹の $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区， CaCO_3 区においてそれぞれ増加した。ショ糖は両樹とも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 区， CaCl_2 区， CaCO_3 区において増加し， $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区においてやや減少した。したがって，全糖としては石灰の葉面散布により両樹ともやや増加したが有意差が認められるまでには至らなかった。

った。

でんぷんは障害果発生樹の CaCl_2 区， CaCO_3 区，健全樹の CaCO_3 区において低下し， $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区において両樹ともやや増加した。

葉分析についてはTable 7-4に示したが， CaCl_2 区で両樹とも軟弱な葉に多少葉害が認められた。葉中のチッ素含量は石灰の葉面散布により障害果発生樹でやや増加し，リン含量は低下した。カリウム含量は障害果発生樹の各散布区で低下し，健全樹でも $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区が低下した。

カルニウム含量は障害果発生樹の各散布区が著しく増加し，健全樹でも $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区と CaCl_2 区でやや増加した。

マグネシウム含量は障害果発生樹の各処理区がやや低下し，健全樹は無処理区とはほぼ同程度であった。

以上，石灰の葉面散布により各部位ごとにどのような影響を受けたかを，障害果発生樹と健全樹間変動(A)，石灰の種類別間変動(B)，石灰の散布回数間変動(C)，として分散分析の結果の不偏分散比(F)をTable 7-5に示した。

A変動間，すなわち障害果発生樹と健全樹間において

Table 7-3. Effects of calcium foliar spray on the sugar contents of 'Nijisseiki' pear fruits (% of fresh weight, 1974).

Treatment		Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Sucrose Total sugar	Sucrose Fructose	Starch
Abnormal tree	0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	10.71	8.70	4.18	4.52	1.90	0.18	0.42	0.041
	0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	10.62	7.95	3.96	3.99	2.52	0.24	0.63	0.041
	0.5% CaCl_2	11.00	8.58	3.93	4.65	2.30	0.21	0.49	0.028
	1.0% CaCO_3	11.22	7.99	3.66	4.33	3.52	0.30	0.81	0.024
	Control	9.91	8.06	3.95	4.11	1.75	0.18	0.43	0.039
Normal tree	0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	11.35	8.99	3.71	5.28	2.24	0.20	0.42	0.021
	0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	11.63	8.33	3.52	4.81	3.13	0.27	0.65	0.024
	0.5% CaCl_2	11.88	8.13	3.70	4.43	3.56	0.30	0.80	0.020
	1.0% CaCO_3	11.89	8.50	3.58	4.92	3.20	0.27	0.65	0.021
	Control	9.80	8.38	3.78	4.60	1.39	0.14	0.30	0.022
LSD at 5%		1.62	NS	0.59	NS	NS	NS	NS	0.024
at 1%		—	—	—	—	—	—	—	—

Table 7-4. Effects of calcium foliar spray on the contents of mineral elements of 'Nijisseiki' pear leaves (% of dry weight, 1974).

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
Abnormal tree					
0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	2.14	0.12	1.13	0.98	0.28
0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	2.07	0.11	1.23	0.97	0.32
0.5% CaCl_2	2.09	0.11	1.30	0.90	0.33
0.1% CaCO_3	1.97	0.12	1.31	1.03	0.31
Control	1.80	0.13	1.47	0.75	0.37
Normal tree					
0.5% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1.94	0.11	1.25	1.62	0.53
0.5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1.83	0.11	1.33	1.44	0.48
0.5% CaCl_2	1.72	0.12	1.42	1.69	0.57
1.0% CaCO_3	1.84	0.10	1.31	1.56	0.45
Control	1.99	0.12	1.34	1.55	0.52
LSD at 5 %	0.13	.004	0.20	0.07	0.04
at 1 %	0.18	.006	0.28	0.09	0.06

有意差が認められたのは、果重、果実中のチッ素、カリウム、カルシウム、還元糖、ブドウ糖、果糖、ショ糖、でんぷん、葉中チッ素、リン、カルシウム、マグネシウムであり、これまで原因究明で明らかにした結果とほぼ同じであった。

石灰の種類別としてのB変動間では、果実中のカリウム、カルシウム、還元糖、ブドウ糖、果糖、でんぷん、ショ糖および葉中の全成分で変化していることが認められた。

また、石灰の散布回数としてのC変動間では、果実中のカルシウム、還元糖、果糖、葉中のチッ素、リン、カルシウムであり、B変動間よりは影響を受ける調査成分は少なかった。

2) 石灰の果実浸漬による影響

石灰の葉面散布の結果、葉害が少なく、比較的效果の高かった炭酸カルシウム CaCO_3 を用いて果実浸漬を行ない、障害果発生率に及ぼす影響について1975年に予備試験として早生二十世紀に行なった結果をTable 7-6に示した。

CaCO_3 1% 液を1回から3回処理した結果、処理回数が多くなるにしたがって障害果発生率は低下した。

続いて、1976年に二十世紀果実に1回から4回処理した結果をTable 7-7に示した。

二十世紀に CaCO_3 を浸漬処理した結果は、処理回数が多い区ほど障害果発生率の低下する傾向が認められ、早生二十世紀に対する予備試験と同様であった。しかし、4回処理区の発生率は62.2%であり、3回処理区の発生率よりは低下したものの、4回処理と3回処理との間の差は2回処理区と3回処理区との差ほど大きくはなかった。

石灰の果実浸漬が果実内無機成分に及ぼす影響についてTable 7-8に示した。 CaCO_3 の処理回数が多くなるとともにチッ素、リン、カリウム含量は対乾物%、絶対量とも低下する傾向が見られたが、カルシウム含量は処理回数とともに増加し、マグネシウム含量は多少の増加が認められたが、有意差は認められなかった。

つぎに、果実の有機成分に及ぼす影響はTable 7-9に示した。還元糖は無処理に比較して、処理回数が多くなるにしたがって増加した。これは、ブドウ糖がやや減少したものの、果糖の増加が著しかったためである。

また、ショ糖は処理回数が多い区ほど増加した結果を示し、このショ糖と先の還元糖の増加が加算されて全糖も増加する結果になった。

滴定酸は処理回数による変化がほとんど認められなかったが、硬度は処理回数の増加とともに減少しており、石灰の浸漬による影響が認められた。

Table 7-5. Analysis of variance for data of the Table 7-2, 7-3 and 7-4.

Treatment	Fruit weight	Absolute quantity					Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fructose	Sucrose	Starch	Leaf analysis			
		N	P	K	Ca	Mg							N	P	K	Mg
Abnormal vs. normal tree	A 155.9 ^{**}	19.7 ^{**}	0.02	14.1 ^{**}	121.4 ^{**}	1.43	0.06	214.1 ^{**}	120.1 ^{**}	507.0 ^{**}	13.0 ^{**}	109.2 ^{**}	25.0 ^{**}	35.6 ^{**}	1.06	2462.5 ^{**}
Between sorts of calcium	B 2.4	0.7	0.99	3.6 [*]	22.2 ^{**}	1.80	1.90	66.4 ^{**}	18.5 ^{**}	79.6 ^{**}	7.9 ^{**}	7.8 ^{**}	3.9 [*]	18.6 ^{**}	3.27 [*]	18.4 ^{**}
Between times of calcium spray	C 2.4	1.2	0.95	0.5	4.7 [*]	0.32	0.84	21.2 ^{**}	2.3 [*]	24.9 ^{**}	0.01	0.9	4.9 [*]	4.5 [*]	0.16	4.9
A × B	1.8	1.6	1.02	5.2 [*]	2.6	3.23	2.40	17.6 ^{**}	6.6 ^{**}	4.1 [*]	1.8	6.7 ^{**}	10.3 ^{**}	16.7 ^{**}	1.40	25.3 ^{**}
A × C	1.4	1.2	0.13	0.7	1.3	0.82	0.98	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	1.2	4.65 [*]	0.3
B × C	0.9	0.2	0.71	1.0	5.4 [*]	0.65	0.61	8.3 ^{**}	2.2 [*]	12.1 ^{**}	1.3	0.5	3.0 [*]	0.6	0.57	2.9 [*]

*, ** : Significant at the 5 % and 1 % level, respectively.
The second order interaction (A×B×C) was used error.

Table 7-6. Effects of fruit dipping in calcium solution on the occurrence of the physiological disorder of 'Wase-Nijisseiki' pear fruits (1975).

Times of treatment	No. of fruit	No. of disordered fruits	% of disordered fruits	% of disordered fruits in last year (1974)
CaCO ₃ 1	30	24.4	81.3	89.6
CaCO ₃ 2	30	21.9	73.0	88.9
CaCO ₃ 3	30	20.6	68.7	91.3
Control	30	27.4	91.3	90.6

Concentration : CaCO₃ 1% ; Date of dipping : May 20, June 5, June 20.

Table 7-7. Effects of fruit dipping in calcium solution on the occurrence of the physiological disorder of 'Nijisseiki' pear fruits (1976).

Times of treatment	No. of fruit	No. of disordered fruits	% of disordered fruits
CaCO ₃ 1	60	52.1	86.8
CaCO ₃ 2	60	48.2	80.3
CaCO ₃ 3	60	42.6	71.0
CaCO ₃ 4	60	37.3	62.2
Control	60	55.2	92.0

Concentration : CaCO₃ 1% ; Date of dipping : May 20, June 5, June 20, July 5.

Table 7-8. Effects of fruit dipping in calcium solution on the elements of 'Nijisseiki' pear fruits (1976).

Times of treatment	% of dry weight					Absolute quantity(mg/ fruit)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
CaCO ₃ 1	0.412	0.088	1.133	0.054	0.050	95.2	20.3	261.7	12.7	11.6
CaCO ₃ 2	0.426	0.081	1.125	0.057	0.047	98.0	18.6	258.8	13.1	10.8
CaCO ₃ 3	0.374	0.076	1.008	0.061	0.048	87.5	17.8	235.9	14.3	11.2
CaCO ₃ 4	0.385	0.073	0.988	0.062	0.051	89.3	16.9	229.2	14.4	11.8
Control	0.424	0.090	1.135	0.051	0.046	97.5	20.7	261.1	11.7	10.6
LSD at 5%	0.041	0.016	0.120	0.010	NS	8.1	2.6	26.0	1.3	NS
at 1%	—	—	—	0.015		—	—	—	—	

Concentration : CaCO₃ 1%.

Table 7-9. Effects of fruit dipping in calcium solution on the sugar contents of 'Nijisseiki' pear fruits (% of fresh weight, 1976).

Times of treatment	Total sugar	Reducing sugar	Glucose	Fru-ctose	Su-crose	Su-crose Total sugar	Su-crose Fru-ctose	Starch	Titra-table acidity (as malic)	Hardi-ness 10^7 dyn/cm^2
Ca CO ₃ 1	10.86	6.91	3.11	3.80	3.75	0.35	0.99	0.046	0.17	3.81
Ca CO ₃ 2	11.42	7.53	3.69	3.84	3.70	0.32	0.96	0.043	0.17	3.39
Ca CO ₃ 3	12.23	7.86	3.27	4.59	4.15	0.34	0.90	0.041	0.19	3.26
Ca CO ₃ 4	12.25	7.88	3.25	4.63	4.15	0.34	0.90	0.038	0.18	3.19
Control	10.78	6.88	3.41	3.47	3.71	0.34	1.07	0.051	0.18	4.16
LSD at 5 %	1.22	0.39	0.26	0.38	0.27	NS	NS	0.008	NS	0.24
at 1 %	—	0.59	0.49	0.42	0.46			0.011		0.31

Concentration : CaCO₃ 1 %.

4. 考 察

ナシに石灰を葉面散布することにより果実の品質が向上することはよく知られている。

本実験は、石灰の葉面散布により、障害果の発生防止の可能性を検討したものであるが、他面では果実内の果糖やショ糖の増加、でんぶんの減少、着色の増進など、果実内成分に影響を及ぼすことを期待して実施したものである。各種の石灰を葉面散布した結果、CaCl₂ 0.5%液とCaCO₃ 1.0%液の3～4回散布に障害果発生率の抑制効果が認められた。広田ら³⁶⁾果実の品質向上の面から石灰の葉面散布を検討して、CaCO₃およびCaOが果実発育初期から後期にかけて連続散布した際に効果のあることを認め、清藤ら¹³³⁾もリンゴでCaCl₂によるビタービット発生の防止効果を認めている。

また、本実験の葉面散布は、果実内成分、とりわけ糖含量に及ぼす影響が認められ、とくに果糖およびショ糖の増加と、ブドウ糖およびでんぶんの減少が見られたことは、第1部で選り出した障害果発生の各誘起要因とほぼ同じ要因であり、その要因が葉面散布により健全果の成分組成に近づいていることを示した。さらに、果実中の無機成分および葉中無機成分に影響を及ぼしたが、広田らが1971年に落葉果樹試験研究打合せ会議資料で報告した成績でも果実および葉中のカルシウム含量が顕著に増加し、また、糖含量の変化⁶³⁾や、汚染障害果防止のためカキにCaCO₃を葉面散布した結果、葉中のチッ素含量の変化を認めた報告(1972年、落葉果樹試験研究打合せ会議資料299～300頁)とも一致していた。

つぎに、果実への石灰浸漬処理は、葉面散布の効果が著しかったCaCO₃のみを用いたが(CaCl₂は軟弱な葉に多少薬害が認められた)、CaCO₃処理は1%液でも薬害が認められず、処理回数が多い区ほど障害果の発生率が低下する傾向が認められた。しかし、3回処理に比して4回処理区の発生率の低下程度がややにぶってきたことから判断するならば、4回処理で約30%程度の効果が限度のようにも思われた。葉面散布による発生率の低下が約10%程度であったことと比較して、果実浸漬による効果が大きかったことは、果面から石灰が直接に吸収され、果実内の生理代謝に影響を及ぼしたためと考えられる。それは、また、果実内成分の変化が葉面散布の結果よりも大きく影響を受けていることから明らかにである。

Lidsterら⁹⁰⁾はリンゴ果実にCaCl₂液を浸漬して、果実内へのカルシウムの吸収移行を明らかにしているが、本実験でも、果実中のカルシウム含量が高まっており、その他、チッ素、リンおよびカリウム含量も変化していることが明らかとなった。

こうした無機成分の変化に関連して、果実中の糖含量にも影響を及ぼしていることが理解できる。すなわち、全糖、還元糖、果糖、およびショ糖は処理回数が多くなるにしたがって増加し、ブドウ糖およびでんぶんは減少した。また、滴定酸は変化が認められなかったものの、硬度は明らかに低下した。こうした変化は、先の葉面散布と同様、限度はあるものの健全果の果実内成分組成に近づきつつある結果といえる。

5. 摘 要

石灰を二十世紀ナンに葉面散布および果実浸漬処理することにより、障害果発生に及ぼす影響について検討した。

1) 各種の石灰を葉面散布した結果、0.5% CaCl_2 区および1% CaCO_3 区に障害果発生率の低下する傾向が認められ、それらの3~4回散布区が約10%程度の軽減効果を示した。

2) 石灰の葉面散布が果実内無機成分に及ぼす影響として、チッ素およびカルシウム含量は増加し、カリウム含量は低下した。とくに、カルシウム含量の増加が著しかった。また、リンおよびマグネシウム含量は多少の変化が認められたが、有意差が認められるまでには至らなかった。

果実内糖含量では、還元糖、果糖、およびショ糖が葉面散布により増加し、ブドウ糖およびでんぷんは減少する傾向が認められた。

3) 石灰の葉面散布により、葉身中のチッ素およびカルシウム含量は増加し、リン含量はやや低下し、カリウムおよびマグネシウム含量は障害果発生樹の各区で低下した。こうした変化は果実とほぼ同様な傾向であった。

4) CaCO_3 の果実浸漬処理は、処理回数の多い3~4回処理で21~30%の発生率軽減効果を示した。

5) 果実浸漬処理が果実内成分に及ぼす影響として、処理回数が多くなるにしたがってチッ素、リン、およびカリウム含量が低下し、カルシウム含量は増加した。また、糖含量は全糖、還元糖、果糖、およびショ糖が処理回数とともに増加し、ブドウ糖およびでんぷんは減少する傾向が認められた。滴定酸は影響が見られなかったが、果実硬度は処理回数の増加とともに低下した。

6) 以上の結果、石灰の葉面散布より果実浸漬処理のほうが発生率軽減効果が顕著であった。これは、果実の成分に及ぼす影響でも果実浸漬処理のほうが大きかったことに起因していると思われる。

第 8 章 土壌改良による硬化障害果発生の 防止対策

第 1 節 土壌への石灰施用と乾湿処理が硬化障害果発生に 及ぼす影響

1. 緒 言

第 3 章第 4 節で、二十世紀の障害果は、障害の発現程度が著しくなるにしたがって果実中のカルシウムおよび果糖含量が減少し、でんぷんの残存が認められ、それらの間には密接な関係があることを報告した。

さらに、果実中のカルシウム含量、果糖および呼吸量との間にも極めて高い相関が認められたことはすでに明らかにした（第 4 章第 2 節）。

これまで、“ユズ肌果”ないし“石ナシ果”は、カルシウム含量が少なかったという報告^{47, 48, 49, 63, 118, 125)}はあるが、土壌へ石灰を施用することにより“ユズ肌果”の防止効果が認められたという報告は少ない^{36, 49, 68)}。

一方、土壌を乾燥処理した結果、“ユズ肌果”症状が発生した報告^{27, 29, 134, 136)}や、逆に灌水処理した結果、“ユズ肌果”症状が発生した報告^{17, 13, 136)}もある。

本実験では、ポット試験により土壌へ石灰を施用し、それにさらに乾燥ないし過湿処理をした場合、果実にどのような影響を及ぼすかについて調査した。さらに、その果実、葉および土壌を分析し、それ等の結果から障害果発生の防止の可能性についても検討した。

2. 材料および方法

1) 材料および試験区

乾燥および標準湿度処理は内径 60 cm、深さ 60 cm の有底コンクリート製ポット (1/354 a) に沖積土 (Fig 8-1) を 120 kg 入れ、過湿処理は水管理を容易にするため、同じ大きさのコンクリート製ポットの中に、内径 50 cm、深さ 50 cm のポリエチレン製バケツ (1/509 a) の底部に ϕ 3 cm の穴を 5 か所あけ、沖積土を 70 kg 入れてセットした。

供試樹は、同一条件の個体を得るために、ほ場の二十

世紀成木から採取した根 (台木はニホンヤマナシ) に、障害果発生の認められた二十世紀 1 樹から採取したほ木を接木して苗木を養成し、その中から毎年障害果発生の認められた 8 年生樹を選んで、1974 年 3 月 1 日に鉢植えた。



Fig. 8-1. The pot experiment with 'Nijisseiki' pear trees (1975).

Above : Dried treatment and standard treatment.

Below : Wetted treatment.

試験区はTable 8-1のように、乾燥処理、過湿処理および標準湿度処理に分け、それらの各処理ごとに過酸化カルシウム(CaO_2)、生石灰(CaO)を施し、石灰無施用を対照区とし、1区3連制で計27ポット(1本植え)を用いた。カルシウム施用量は200 kg/10 aを基準として算出したため、乾燥および標準湿度処理区が56.5 g/ポット、過湿処理は39.3 g/ポットを、毎年12月15日に20 cmの深さまでの土壌とよく混和して施した。乾燥および過湿処理はテンシオメーターを用いて深さ20 cmの土層がpF 2.6, pF 1.3, 標準湿度処理はpF 2.2になるように、毎年梅雨明けの7月上旬から8月31日まで、あらかじめ各区ごとに作成したかん水曲線を参考にして毎日かん水してpF調整をした。なお、乾燥処理期間中は、雨水の流れを防ぐため、半円をコンクリート製、残り半円を木製のふたでおおいをした。施肥量はチッ素15, リン10, カリウム14 kg/10 aを基準とし、乾燥および標準湿度処理区にはチッ素4.24, リン2.83, カリウム3.95 g/ポット、過湿処理区には、チッ素2.95, リン1.96, カリウム2.75 g/ポットを施した。

Table 8-1. Number of treated pots on the calcium supply and soil moisture (1974).

Treatment	Wet	Standrad	Dry
CaO_2	3 pots	3 pots	3 pots
CaO	3	3	3
Control	3	3	3

2) 分析および測定方法

供試果実は、毎年9月10日に採取し、障害果の発現程度を調べ、その後直ちに呼吸量およびエチレン発生量を測定した。その後、各樹ごとにほぼ同じ大きさで、重症果、軽症果、および健全果の果実を1果ずつ、計3果を1/2に縦断し、一方を果皮および果心を除去して果肉のみを細かく切断し、真空冷凍乾燥機で2昼夜乾燥して粉末試料とした。残り1/2から2 gをとり、糖の分析に用い、また、果汁をしぼって滴定酸度を測定した。

呼吸量は、黒布で遮へいた9 l容のデンケーター中に5~6果を入れ、毎分200 mlの通気法^{16,155)}で行なった。エチレンの測定は、呼吸量を測定後、過塩素酸水銀法¹⁵²⁾でエチレンを捕集し、島津ガスクロマトグラフィー

(水素炎型)を用いてアルミナカラム($\phi 3 \text{ mm} \times 1 \text{ m}$, 60~80 メッシュ活性アルミナ)により行ない、カラム温度120℃, インジェクション温度170℃キャリヤーガス窒素50 ml/分, 水素0.7 kg/cm², 空気0.8 kg/cm²で測定した。

糖の分析は、前記のように重症果、軽症果および健全果の果肉2 gをとり、Fig. 8-2に示したように90%エタノールで3回抽出し、滲液を除蛋白後、250 mlに定容した。この液を滲過後一定量とり、N/10水酸化バリウム溶液でpH 7.5~8.0に調製し、100 mlに定容した。さらに、この液を滲過し、Dowex (H^+)カラムを通して中性糖液を作成し、一定量をとって蒸発乾固した。これをSweeleyら¹⁴²⁾の方法によりPridine, HMDS, 及びTMCSでTMS化(Tri methylsilyl)し、Fig. 8-3に示したような条件でガスクロマトグラフィーにより測定した。

果肉の無機分析は、糖と同様、重症果、軽症果、および健全果に分け、第1章第1節と同じ方法で行なったものを平均値として表示した。葉分析については、毎年9月1日に成葉を採取し、第1章第1節で用いた方法で調製し、分析した。

葉の水分不足度については、8月10日午後2時に材料の葉を採取し、Ackleyら^{1,2)}の方法で行なった。

土壌の分析は、第1章第1節で行なった方法で、農林水産省の地力保全事業で実施している方法¹¹¹⁾で行ない、土壌中の全カルシウムは炭酸ナトリウム熔触法—原子吸光度法で行なった。開始時の成分はTable 8-2に示した。

多変量解析はカルシウム処理と土壌の乾湿処理に対し27個のサンプルの30個の特性値について第1章第2節と同じ方法で行なった。

3. 実験結果

1) 硬化障害果発生率

土壌への石灰施用ならびに乾燥、過湿処理が障害果発生率に及ぼす年次的变化についてはFig 8-4に示した。

実験開始初年度の障害果発生率は標準湿度処理(対照区)が90%であったが、標準湿度処理で CaO_2 , CaO 処理の両区は約20%前後まで減少した。しかし、土壌水分が標準湿度処理以外の乾燥処理、過湿処理の CaO_2 処理、 CaO 処理、無処理の各区は50~70%の範囲内にあり、対照区との間に顕著な差は認められなかった。その後、乾燥および過湿処理の各区は障害果発生率がやや増

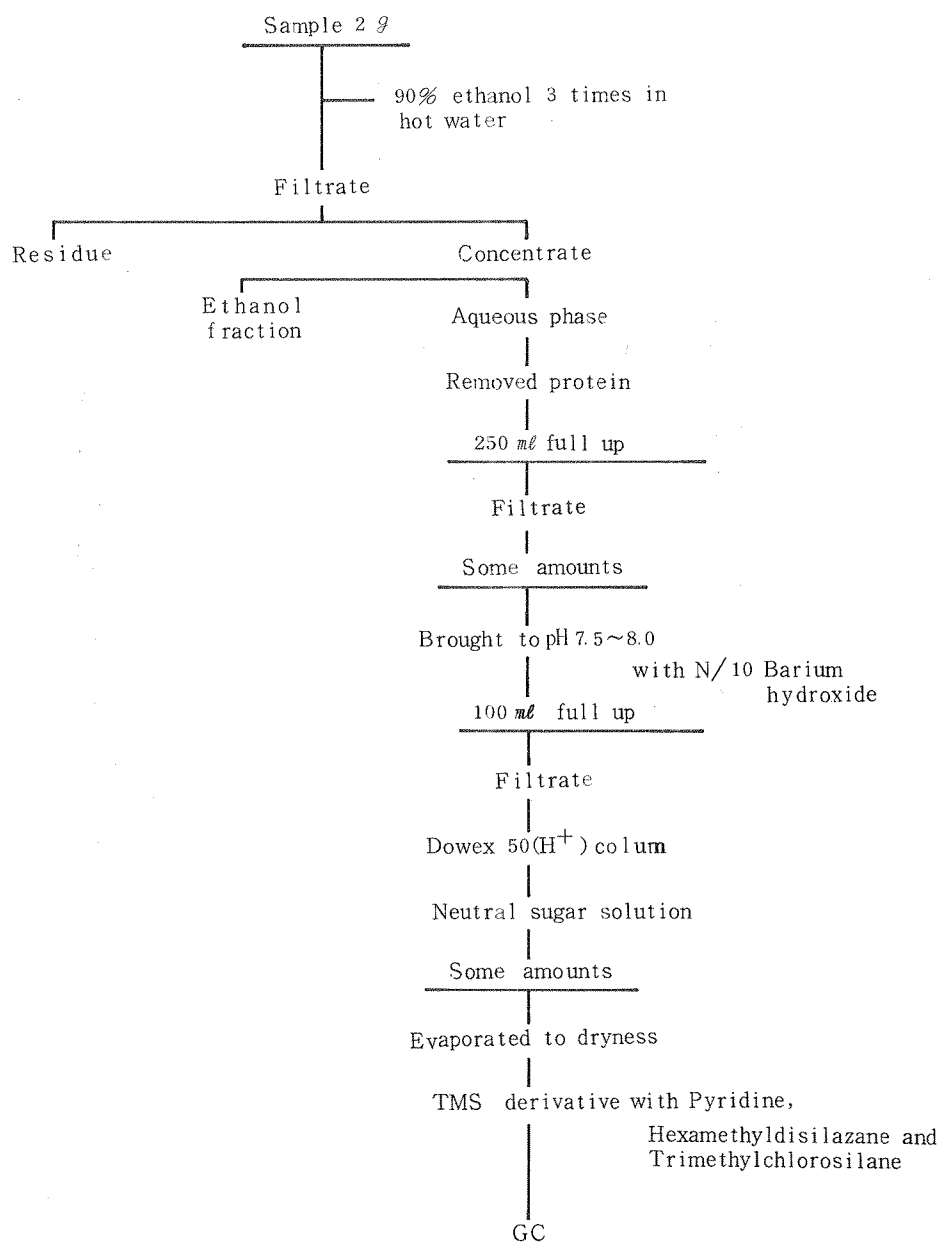


Fig. 8—2. Extraction and fractionation procedure of neutral sugar solution from fruit tissue.

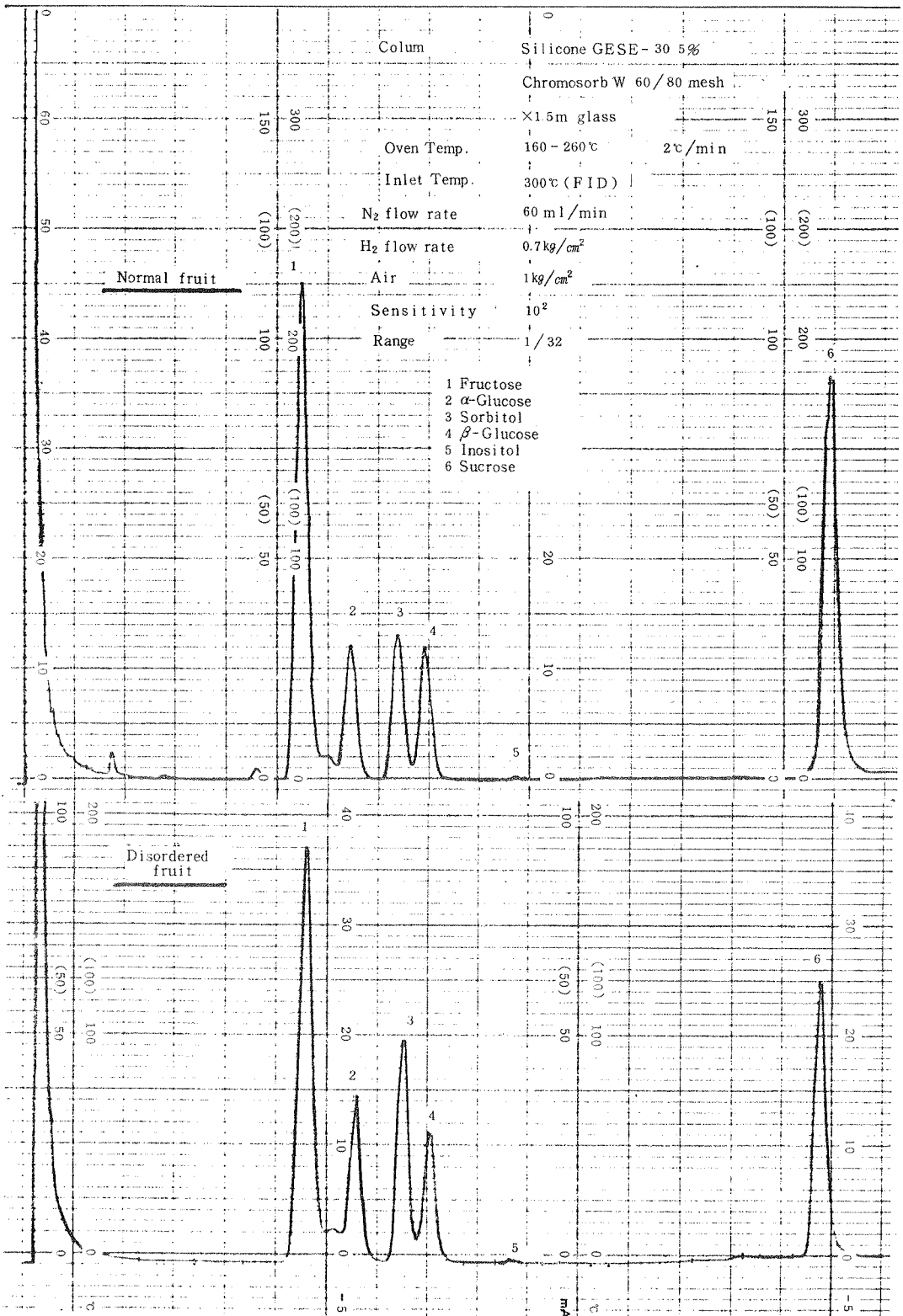


Fig. 8-3. Separation of sugar contents in normal (above) and physiological disorder(below) of 'Nijisseiki' pear fruits (1974).

Table 8-2. The chemical property of potted soils before the soil treatments (1974).

Treatment	Humus (%)	Total -N(%)	pH		Y ₁	Available phosphorus P ₂ O ₅ (mg/100 g)
			H ₂ O	K C l		
CaO ₂	4.57	0.29	5.30	4.72	1.20	41.8
CaO	4.54	0.29	5.35	4.68	1.21	41.6
Cont.	4.56	0.29	5.32	4.70	1.20	41.8

Treatment	Exchangeable base (me/100g)			CEC (mg/100g)	Calcium Saturation (%)	Base Saturation (%)
	CaO	MgO	K ₂ O			
CaO ₂	7.61	1.61	0.82	23.2	32.8	43.1
CaO	7.53	1.59	0.71	23.4	32.2	42.0
Cont.	7.64	1.57	0.74	23.2	32.2	42.1

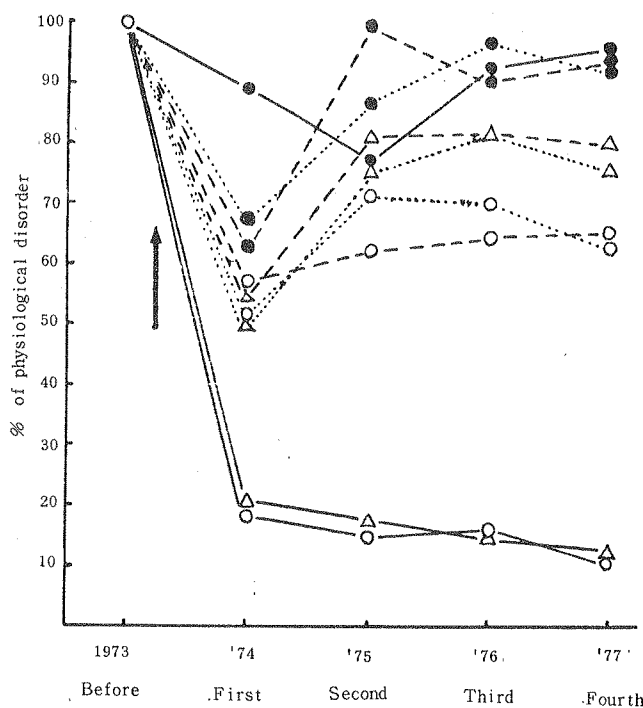


Fig. 8-4. Annual changes of physiological disorder affected with calcium supply and wet- and dry- treatments to the soils of 'Nijisseiki' pear.

Arrow denotes the starting time of this experiment.

○—CaO₂; △—CaO; ●—Control; dotted line=dry;
chain line=wet; real line=standard treatments.

Table 8-3. The effects of the treatments of calcium supply and soil moisture to the soils of pot experiment on fruit yield of physiological disorder of 'Nijisseiki' pear (1976).

Treatment		Number of fruit				Yield of fruit	Fruit weight	% of disordered fruits
		Severe	Slight	Normal	Total			
Standard	Ca O ₂	0	4.7	23.3	28.0	5.354 ^{kg}	191.2 ^g	16.8
	Ca O	0	4.0	24.0	28.0	5.067	181.0	14.3
	Cont.	14.0	12.0	2.0	28.0	4.980	117.9	92.9
Wet	Ca O ₂	6.0	5.0	6.0	17.0	2.520	148.2	64.7
	Ca O	13.0	5.0	4.0	22.0	3.010	136.0	81.8
	Cont.	8.0	2.0	1.0	11.0	1.263	114.8	90.1
Dry	Ca O ₂	5.0	6.0	5.0	16.0	2.078	129.9	70.0
	Ca O	7.0	10.0	4.0	21.0	2.760	131.4	81.4
	Cont.	13.0	7.0	1.0	22.0	2.671	121.4	96.4

Table 8-4. The effects of the treatments of calcium supply and soil moisture to the soils of pot experiment on mineral elements of 'Nijisseiki' pear fruits (1976).

Treatment		% of dry weight					Absolute quantity (mg/ fruit)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Standard	CaO ₂	0.365	0.074	0.978	0.062	0.047	63.38	12.77	177.62	11.47	8.17
	CaO	.385	.066	.832	.062	.039	57.89	9.93	124.72	9.50	5.73
	Cont.	.398	.072	1.044	.044	.042	68.41	12.28	178.96	7.51	8.27
Wet	CaO ₂	.324	.054	.579	.057	.043	46.39	7.68	83.17	8.10	6.08
	CaO	.324	.058	.536	.052	.038	40.92	7.40	68.13	6.60	4.75
	Cont.	.247	.051	.620	.039	.034	35.60	7.37	89.52	5.56	4.92
Dry	CaO ₂	.480	.066	.889	.046	.039	72.63	10.26	136.89	7.07	6.14
	CaO	.329	.067	.816	.045	.038	49.47	10.09	122.72	6.78	5.73
	Cont.	.411	.059	.645	.038	.038	64.95	9.36	103.25	6.12	6.11
LSD	at 5 %	.118	.012	.126	.011	.013	22.79	3.41	31.19	1.54	2.85
	at 1 %	.196	.020	.260	.017	—	—	5.66	51.69	2.55	4.29

加したが、試験3、4年次になるにしたがって処理区間において一定の傾向が認められるようになった。すなわち、標準湿度処理のCaO₂およびCaOは障害果発生率が初年度の約20%から徐々に低下し、4年次には約13%程度までになった。

一方、乾燥ないし過湿処理のCaO₂区は4年次に発生率が62～65%であったのに対し、双方のCaO区は75～80%であり、10数%の差が認められた。しかし、対照区は各処理とも90%以上の発生率であり、乾燥および過湿処理間の差は認められなかった。

こうした障害果発生率への影響とともに、障害果の発現程度にも量的差異が認められたので、1977年の結果をTable 8-3に示した。

標準湿度処理のCaO₂およびCaO区は2年次から重症果が認められなくなり、大部分が軽症で商品価値のある果実であった。これに対し、乾燥ないし過湿処理はCaO₂およびCaO区であっても軽症果と同量の重症果がみられた。

障害果発生率と関連して1樹当り収量および1果平均重においても標準湿度処理は乾燥および過湿処理よりもまさっていた。過湿処理の対照区(石灰無施用区)は、3年次(1976)から根の衰弱によると思われる枝の枯死がみられ、その結果、着果数が減少し、収量の低下をもたらした。しかし、過湿処理のCaO₂およびCaO区は果実肥大が進み、乾燥処理のそれらよりまさっていた。

2) 果実内成分の変化

果実の無機成分含量及びそれらの二元配列の分散分析についてはTable 8-4に示した。過湿処理の各区は標準および乾燥処理区よりその果実の各成分とも対乾物%、1果中の絶対量において低下しており、過湿処理の影響が明らかに認められた。一方、乾燥処理区の果実はCaO₂区のチッ素含量(対乾物%と絶対量)、同対照区果実のチッ素(対乾物%)以外は各成分とも標準湿度処理区の果実よりも少ないか、ほぼ同程度の含量であった。とくに、カルシウム含量は、乾燥および過湿処理区の果実のCaO₂およびCaO区でも対乾物%、絶対量とも標準湿度処理区のそれらより少なく、乾燥処理区の果実における低下が著しかった。

果実の糖含量および呼吸量、エチレン放出量についてはTable 8-5に示した。石灰処理が糖へ及ぼす影響として、標準湿度処理区は全糖、果糖、ショ糖含量が増加し、ブドウ糖、ソルビトールは減少した。しかし、土壌を過湿処理した区では石灰施用により全糖が増加したも

の、ブドウ糖も増加した。また、果糖、およびショ糖含量はCaO₂区で増加したが、CaO区で減少しており、ソルビトールもCaO₂区で増加した結果になり、石灰施用効果は認められなかった。一方、乾燥処理区は石灰施用で全糖、果糖含量が増加したが、ショ糖は低下した。また、ソルビトール含量はCaO₂区で増加しており、標準湿度処理区のそれらほど石灰施用効果が認められなかった。ショ糖/全糖比およびショ糖/果糖比は標準湿度処理区が石灰施用によりやや増加したものの、過湿処理および乾燥処理の各区で減少しており、有意差は認められなかった。

でんぷん含量は乾燥ないし過湿処理による各区果実とも増加した結果を示し、滴定酸度は過湿処理の各区の果実でやや低下した。

果実の呼吸量は熟度が著しく促進されていた乾燥および過湿処理の各区の果実について高まっており、とくに乾燥処理の各区の果実が著しかった。

エチレン放出量は呼吸量と同様、乾燥および過湿処理の各区の果実で高い値を示した。

3) 葉内無機成分含量

葉中の無機成分含量についてはTable 8-6に示した。チッ素は各処理区間の差が認められなかったが、リンないしカリウムは果実と同様、過湿処理の各区で著しく低下していた。乾燥処理区のカリウム含量は標準湿度処理よりもやや少なく、過湿処理区より多かった。

カルシウム含量は乾燥ないし過湿処理の各区が標準湿度処理よりも著しく低下しており、果実と同様、カルシウムを施用した土壌でも吸収抑制が認められた。マグネシウム含量は乾燥処理の各区でやや高まっており、過湿処理の各区では著しく高まっていた。

葉の水分不足度は乾燥処理の各区で高く、過湿処理の各区は標準湿度処理とほぼ同程度であった。

4) 土壌の化学性

土壌の化学性についてはTable 8-7に示したように、乾燥および過湿処理により腐植ないし全チッ素含量は多少増減が認められたものの統計的有意差は認められなかった。

土壌のpHはH₂O浸出法、KCl浸出法とも、乾燥および過湿処理のCaO₂およびCaO区でやや高まったが、標準湿度処理区には及ばなかった。

置換酸度(Y₁)は、過湿処理の各区で実験開始前とほぼ同程度であったが、標準湿度処理のCaO₂およびCaO区は著しく低下し、乾燥処理のそれらはやや低下した程

Table 8-5. The effect of calcium supply and wet- and dry-treatments on sugars and respiration of 'Nijisseiki' pear fruits (mg/g. FW, 1976).

Treatment		Total sugar	Fru- ctose	Glu- cose	Sor- bitol	Su- crose	Starch	Titra- table acidity (as malic)	CO ₂ mg/kg/h	C ₂ H ₄ μl/kg/h
Standard	Ca O ₂	126.06	53.34	26.03	21.04	25.65	0.018	0.203	10.96	0.87
	Ca O	123.08	48.23	27.25	20.25	27.35	0.018	0.239	13.11	0.87
	Cont.	113.04	41.53	31.54	24.55	15.42	0.021	0.208	16.06	0.96
Wet	Ca O ₂	113.83	37.53	31.39	24.57	20.34	0.021	0.196	14.38	1.13
	Ca O	106.16	35.95	29.56	22.08	18.57	0.021	0.198	15.08	1.15
	Cont.	105.70	36.07	26.61	23.03	20.00	0.024	0.188	18.61	1.45
Dry	Ca O ₂	116.23	40.54	26.48	29.54	19.67	0.024	0.225	16.33	1.22
	Ca O	109.40	38.10	27.03	25.23	19.04	0.023	0.214	16.31	1.15
	Cont.	113.19	37.57	29.60	25.54	20.48	0.026	0.218	16.96	1.29
LSD	at 5%	10.47	3.53	5.38	4.61	6.30	0.002	0.028	1.38	0.29
	at 1%	17.37	5.86	—	7.64	10.33	0.003	0.046	2.29	0.48

Table 8-6. The effects of the treatments of calcium supply and soil moisture to the soils of pot experiment on mineral elements of 'Nijisseiki' pear leaves (% of dry weight, 1976).

Treatment	N	P	K	Ca	Mg	WSD [*]	
Standard	Ca O ₂	1.87	0.170	1.21	2.10	0.28	11.19
	Ca O	1.96	.180	1.27	2.15	.23	13.43
	Cont.	1.94	.172	1.33	1.72	.27	16.29
Wet	Ca O ₂	1.92	.157	.90	1.74	.41	10.52
	Ca O	1.85	.155	.66	1.80	.38	11.35
	Cont.	1.80	.135	.61	1.50	.35	13.66
Dry	Ca O ₂	1.85	.170	1.01	1.75	.31	14.85
	Ca O	2.03	.192	.99	1.82	.29	13.71
	Cont.	1.87	.164	.76	1.65	.30	17.43
LSD	at 5 %	NS	.035	.35	.28	.01	3.51
	at 1 %		—	—	.65	.02	—

* Water saturation deficit (AM 9, August 10, 1977).

度であった。

有効態リン酸は実験開始前は $41.8 \text{ mg}/100 \text{ g}$ であったものが、3年後には各区とも半分以下に低下し、とくに、過湿処理の CaO_2 および対照区における低下が著しかった。

置換性塩基では、カルシウム含量が標準湿度処理の各区で $9 \sim 10 \text{ me}/100 \text{ g}$ に増加したのに対し、乾燥ないし過湿処理の CaO_2 および CaO 区は約半量の $4 \sim 5 \text{ me}/100 \text{ g}$ の程度であった。マグネシウム含量は、過湿処理と標準湿度処理では同程度含まれていたが、乾燥処理は著しく低下していた。カリウム含量は、実験開始前よりも各区ともやや低下したが、処理区間の差は認められず、CECも同様に統計的に有意差は認められなかった。

石灰飽和度は、置換性カルシウムの増減に関連して、標準湿度処理の CaO_2 および CaO 区が著しく増加したのに対し、乾燥ないし過湿処理の CaO_2 および CaO 区はあまり増加せず、実験開始前の土壌とほぼ同程度であった。塩基飽和度は石灰飽和度とはほぼ同様な傾向を示した。

以上のように、置換性カルシウムの変化が乾燥ないし過湿処理により影響されていることから、土壌中における全カルシウムとの関係について調査したのが Fig. 8-5 である。実験開始前の土壌中の置換性カルシウムは 7.5 me 、全カルシウムは $39.4 \text{ me}/100 \text{ g}$ であったものが、3年後には標準湿度処理の CaO_2 および CaO 区は置換性カルシウムが $8.8 \sim 11.0 \text{ me}$ 、全カルシウムが $44.2 \sim 45.5 \text{ me}$ に増加しているのに対し、乾燥ないし過湿処理の CaO 、 CaO_2 処理区は毎年カルシウムを施用しているにもかかわらず、実験開始前よりも低い値で置換性カルシウムが $4 \sim 6 \text{ me}$ 、全カルシウムが $30 \sim 37 \text{ me}/100 \text{ g}$ であった。

5) 石灰施用効果の分析

これまで表示した Fig. 8-4, Table 8-3 ~ Table 8-7 のデータを用いて、サンプル数 27、特性値 30 について主成分分析を行なった。第 1 主成分及び第 2 主成分についての各特性値の因子負荷量（各特性値と主成分との相関関係）については Fig. 8-6 に示した。第 1 主成分は全変動のうち 39.7 % の寄与率を説明し、 CO_2 、 C_2H_4 及びでんぶん含量が負の大きい値を示し、土壌中の置換性カルシウム、石灰飽和度、果実中のカルシウム、果糖などが正の大きい値を示した。すなわち、第 1 主成分は土壌及び果実の成分を表わし、第 2 主成分では葉中のマグネシウム含量が負の値を、果実中のチッ素、リン、

カリウム、葉中のカリウム及び葉の水分不足度などが正の値を示した。第 2 主成分まで考えてみると全体の変動の 56.1 % を説明している。この第 2 主成分では葉及び果実中の無機成分の関係を表わしている。

そこで、調査した各ポット別の果実を第 1 及び第 2 主成分スコアに基づいて示したものが Fig. 8-7 である。土壌の乾湿処理別に各果実をグループ分けしたが、標準湿度処理の CaO_2 及び CaO 区は CO_2 、 C_2H_4 、でんぶん含量が少なく、果実中のカルシウム、果糖、土壌中の置換性カルシウム、石灰飽和度が高く、標準湿度処理の対照区や乾燥及び過湿処理の各区とは明らかに異なっている。

乾燥処理区は CaO_2 、 CaO 及び対照区とも各特性の変化が少なく、ほぼ中央部に分布している。一方、過湿処理区は対照区が障害果発生率、でんぶん含量、 CO_2 、及び C_2H_4 発生量などが多いが、 CaO_2 及び CaO 区はあまり変化しておらず、中央に分布している。しかし、湿度処理区は全体的に葉中マグネシウム、土壌中の置換性マグネシウムが多く、葉中チッ素、リン、カリウム、果実中カリウム及び水分不足度が少なく、乾燥処理区や標準湿度処理区とは異なって分布していた。

障害果発生率を従属変数 (Y) とし、第 1 主成分スコア (Z_1) を説明変数として単回帰式を求めた結果、 $Y = -27.014 Z_1 + 67.164$ が得られた。また、両者の相関は $r = -0.884^{***}$ であった。これらの結果から、障害果発生率と第 1 主成分スコアの間には極めて高い相関関係が認められた。障害果発生率と第 2 主成分スコア (Z_2) との間には相関は認められなかった。

このことから、障害果発生率と第 1 主成分に関係する CO_2 、 C_2H_4 、果実中のでんぶん、果糖、カルシウム含量、土壌中の置換性カルシウム、石灰飽和度などとの間に関連があると考えられた。そこで、これらの要因のうち、どの要因が深く関与しているかを明らかにするために重回帰分析を行なった。

障害果発生率を従属変数 (Y) とし、本実験で用いた 30 要因を説明変数 (X_m) として、障害果発生率に関係の深いものから順次選抜していく変数選択型重回帰分析を行なった結果、次のような重回帰式を得た。

$$Y = -5.237 X_1 - 6.013 X_2 - 26.108 X_3 + 9.367 X_4 - 58.648 X_5 + 1.755 X_6 - 1.061 X_7 + 188.34 \quad (\text{寄与率 } 94.68 \%)$$

(置換性カルシウム) (果実カルシウム) (葉カルシウム) (腐植) (果糖) (ソルビトール) (CEC)

Table 8-7. The effects of the treatments of calcium supply and soil moisture to the soils of pot experiment on the chemical property of potted soils (August 31, 1976).

Treatment	Humus (%)	Total -N(%)	pH		Y ₁	Available phosphorus P ₂ O ₅ (mg/ 100g)	Exchangeable base (me/100g)			CEC (me/100g)	Calcium satura- tion (%)	Base satura- tion (%)	
			H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O				
Standard	CaO ₂	2.85	0.45	6.75	5.95	0.2	22.0	8.98	1.58	0.57	17.3	51.9	64.3
	CaO	1.96	.48	6.85	6.10	0.1	14.8	10.08	2.16	.58	17.6	57.3	72.8
	Cont.	3.06	.64	5.20	4.70	1.6	13.0	2.35	.77	.48	16.1	14.6	22.4
Wet	CaO ₂	2.63	.50	6.50	5.75	1.2	11.2	4.16	1.27	.57	16.3	25.5	36.8
	CaO	2.84	.53	6.30	5.80	1.1	15.8	5.61	1.15	.51	16.8	33.4	43.3
	Cont.	2.83	.50	4.60	4.30	2.3	10.0	2.41	.36	.45	16.3	13.1	18.1
Dry	CaO ₂	2.97	.50	5.95	5.45	.8	20.4	5.3	.48	.55	16.5	32.1	38.4
	CaO	3.13	.50	5.85	5.45	.7	18.6	4.28	.36	.52	16.5	25.9	31.3
	Cont.	3.11	.56	4.70	4.30	1.6	14.4	2.89	.31	.45	16.5	17.5	22.1
LSD	at 5 %	NS	0.56	0.93	0.4	0.9	2.39	0.71			NS	18.5	24.0
	at 1 %		1.28	—	0.9	2.2	5.51	1.64				42.5	—

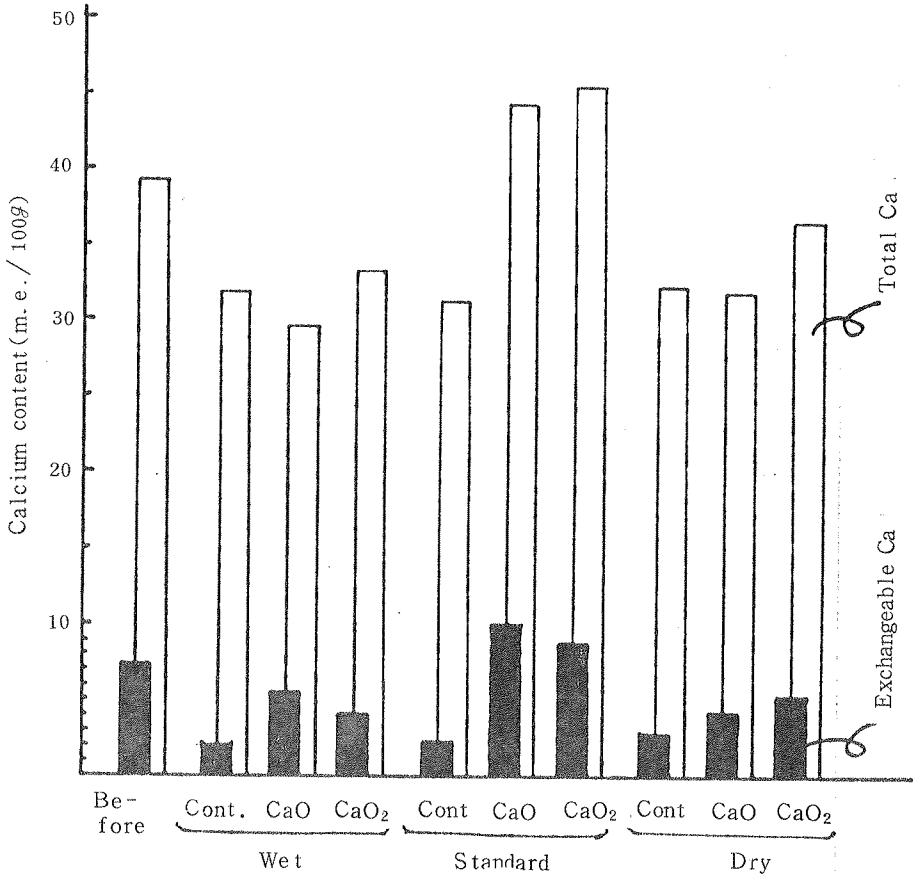


Fig. 8-5. The effects of the treatments of calcium supply and soil moisture to the soils of pot experiment on the contents of total and exchangeable calcium of soils(1976).

すなわち、第1段階で置換性カルシウム、第2段階で果実カルシウム、第3段階で葉カルシウム、第4段階で土壌中の腐植、第5段階で果糖、第6段階でソルビトール、第7段階でCECが選択され、第7段階までの寄与率(重相関係数の2乗)は94.68%であった。

4. 考 察

精密な管理によって育成した二十世紀樹を鉢植えにして、果実、葉および土壌の分析調査面から石灰施用による障害果発生防止の可能性について検討した結果、本実験では標準湿度処理(pF 2.2)のもとでのCaO₂およびCaO施用区は実験開始初年度から障害果発生率が約20%まで低下し、その後も毎年一定の傾向で減少し、あわせて障害程度も大部分が商品価値のある軽症果になった。これはポット内の限られた土壌を厳密に改良した

反映として表われた結果で、障害果発生防止の可能性を示唆したものといえる。

しかし、同じ石灰施用区であっても乾燥(pF 2.6)ならびに過湿(pF 1.3)状態の土壌条件下にあった場合には障害果発生防止効果はあまり期待できなかった。こうした乾燥による影響として、林^{29,32)}、塩原¹³⁴⁾は土壌が乾燥した時に土壌中の石灰が欠乏しやすいとし、樽谷⁸⁸⁾もブドウで土壌が乾燥するにつれ葉内カルシウム含量が低下したとしている。また、ナシの根は果樹の中で中位の耐湿性を示す^{28,80)}ものの、長期間湛水状態におかれると土壌中の酸化還元電位(Eh)が低下し、CO₂の集積と還元物質の生成により^{99,103,169)}直接ないし、^{28,80)}間接に被害を受け細根が枯死することが知られている。本実験の場合、こうした根の衰退による吸収力の低下と過湿による塩基の溶脱¹⁶²⁾も関連して、石灰の施

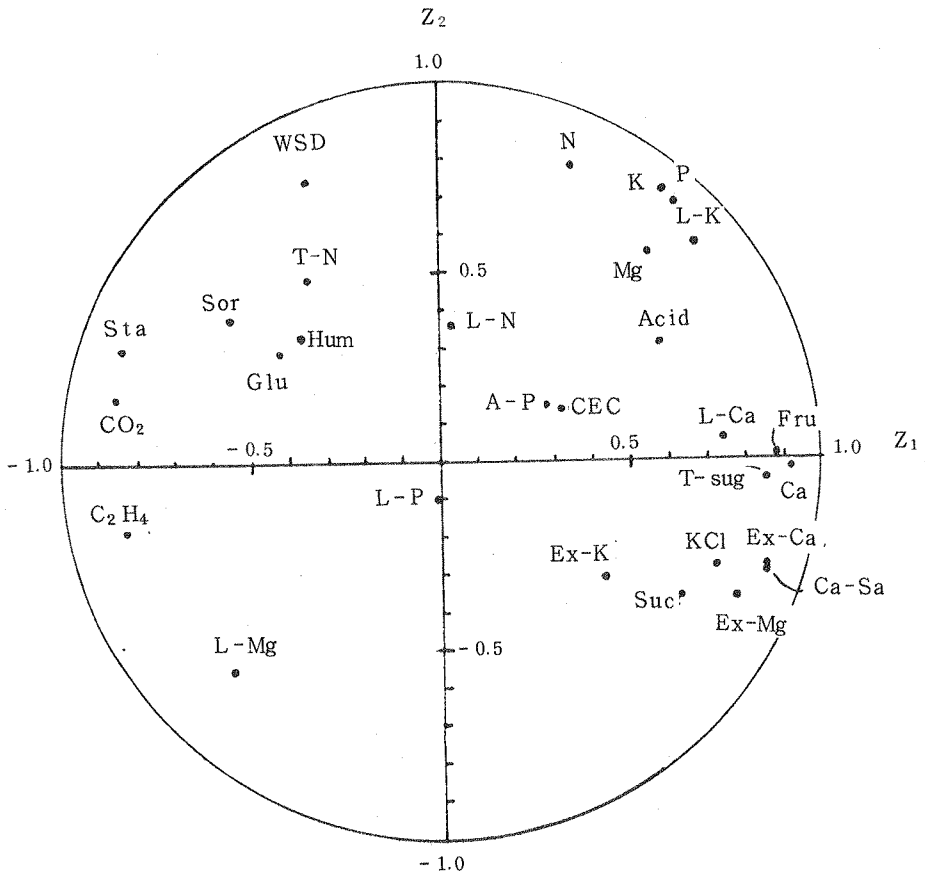


Fig. 8-6. Correlation between variables and the first and the second components the soils of pot experiment of 'Nijisseiki' pear as influenced by calcium supply and soil moisture.

WSD=Water saturation deficit, T-sug=Total sugar, R-sug=Reducing sugar, Glu=Glucose, Fru=Fructose, Sor=Sorbitol, Suc=Sucrose, Sta=Starch, L-N=Leaf N, L-P=Leaf P, L-K=Leaf K, L-Ca=Leaf Ca, L-Mg=Leaf Mg, T-N=Total N in soil, A-P=Available P, Hum=Humus, Ex-K=Exchangeable K, Ex-Ca=Exchangeable Ca, Ex-Mg=Exchangeable Mg, Ca-Sa=Degree of calcium saturation, Acid=Titrate acidity.

用効果が認められなかったことも考えられる。

実験開始初年度に、乾燥ないし過湿処理のCaO₂およびCaO施用区において、障害果発生率が一時的に50数%に低下したが、その後CaO₂区は62~65%に、CaO区は75~80%にもどり、その間の差が13~15%認められた。この初年度の障害果発生率の低下は、植え替えの時の断根による影響¹⁰⁷⁾であろうが、3、4年後にCaO₂区とCaO区との間で一定の差が認められたのはCaO₂中の酸素による影響であろう。

果実の無機成分について、過湿処理の各区はチッ素、リン、およびカリウム含量が標準および乾燥処理の各区に比べて対乾物%、1果中の絶対量とも少なく、カルシウムおよびマグネシウム含量は標準湿度処理のそれらより少なかった。こうした傾向は葉分析のリン、カリウムおよびカルシウム含量、土壌中のカルシウムおよびマグネシウム含量でも認められており、樽谷⁸⁸⁾、葦沢⁹⁾らがブドウで、渡辺¹⁶²⁾がナシで報告している結果と一致していた。一方、乾燥処理の各区は、果実中のチッ素

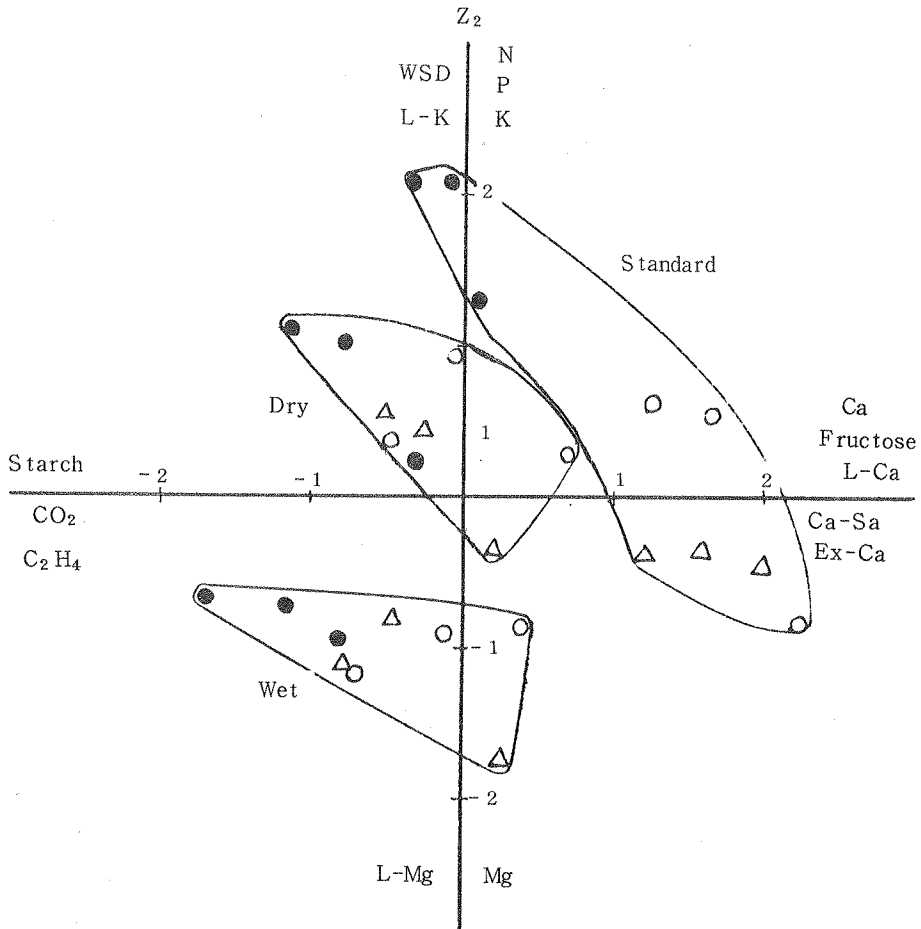


Fig. 8-7. Scatter diagram of respective plots as influenced by calcium supply and soil moisture to the soils of pot experiment of 'Nijisseiki' pear (1976).

○ CaO_2 , Δ CaO , ● Control, WSD=Water saturation deficit, L-K=Leaf Ca, L-Mg=Leaf Mg, Ex-Ca=Exchangeable Ca, Ca-Sa=Degree of calcium saturation.

含量が多かったものの、カリウムおよびカルシウム含量が少なく、葉中のカリウムおよびカルシウム含量が低下し、土壤中の置換性カルシウムおよびカリウムがともに低下しており、乾燥による根の吸収力の低下によるためと思われる。また、Fig. 8-5 から明らかなように、乾燥および過湿処理の石灰施用区が全カルシウムおよび置換性カルシウムとも3年間に減少していたこととも関係しているように思われた。

果実の糖含量について、標準湿度処理の石灰施用区は対照区の果実に比べて果糖およびショ糖が増加し、ブドウ糖およびソルビトールが低下しており、先に報告^{66,67)}

した障害果は果糖およびショ糖が低下したという結果と一致していた。このように石灰施用は、障害果の発生を減少させるとともに、果糖およびショ糖含量を増加させ、果実の質的变化に影響を及ぼしていることがうかがえる。しかし、乾燥および過湿処理の石灰施用区は標準湿度処理のそれらに比べて果糖およびショ糖含量が増加せず、また、ブドウ糖およびソルビトール含量も減少しないままの状態であったことは、先の障害果発生率の低下が少なかったことや果実内無機成分へあまり影響を及ぼさなかったことと同様、糖構成へも効果は認められなかったことを意味している。したがって、乾燥、および過湿の

条件下の土壌では石灰施用の効果が認められないということになる。

酸含量については、ミカンで夏季乾燥処理により増加した報告^{50,137,140)}があり、二十世紀ナンでは遠藤¹⁸⁾のかん水により低下したという報告もある。本実験では、乾燥処理の各区が多少増加した程度であり、過湿処理の各区もやや低下した傾向を示した。

果実の呼吸量およびエチレン放出量は、標準湿度処理よりも乾燥および過湿処理の各区が多く、とくに乾燥処理の各区で著しかったことは成熟が促進されているためと思われる。また、かん水処理した果実が日持が悪い¹³¹⁾ことや、安藤ら⁶⁾が述べている果実の成熟が促進されていた結果などは、本実験の過湿処理の各区と同様な果実になっていたためと考えられる。

これまで、障害果発生現象を主成分分析によって調べたところ^{66,67)}、果実中のカルシウムおよび果糖含量、呼吸量の増加などがこの現象と密接に関連していることが明らかとなった。本実験では、それらの結果を参考にして、設定した石灰施用区ならびに乾燥および過湿処理区の果実、葉、および土壌などの分析結果について主成分分析を試み、障害果発生防止の可能性の面から関連要因の検討をした。

その結果はFig. 8-6に示したように、障害果発生率が土壌、果実及び葉の特性によって要約された第1主成分について多様な変異を示していることが明らかである。全変動の半分以上を説明する第1及び第2主成分について、各処理区はCO₂、C₂H₄、でんぶん含量、カルシウム、果糖含量、置換性カルシウム、石灰飽和度、土壌中及び葉中のマグネシウム、葉中チッ素、リン、カリウム、果実中カリウム、葉の水分不足度などの総合特性値によって明瞭に区別された。このことは、これらの成分の多少が障害果発生率と極めて深い関係にあることを意味している。

つぎに、変数選択型の重回帰分析を行なった結果、障害果発生に及ぼす影響および同発生率と関連の深い要因は、第1に土壌中の置換性カルシウム、第2に果実中のカルシウム、第3に葉中のカルシウム、第4に土壌中腐植、続いて果実中の果糖、ソルビトール、土壌のCECの順であった。

対策試験として実施した処理が、第I部で明らかにしてきた関連要因のコントロールと結びついていたことは、これまで指摘した要因が障害果発生防止の可能性に結びつくものであったことを示している。いしかえるならば、

これら選抜された要因を栽培条件として増加ないし減少させ、土壌を改良することにより、障害果発生防止の対策になり得るといえる。

つぎに、主成分分析で第1主成分に関連した要因を基準にして、乾燥、過湿、および標準湿度処理の各区のばらつきをFig. 8-7に示した。標準湿度処理の石灰施用区は対照区に比べて、果実中のカルシウムおよび果糖含量と葉中のカルシウム含量が多く、障害果発生率、でんぶん含量、CO₂ およびC₂H₄ 放出量などから遠い右端に位置している。一方、乾燥処理の各区は、石灰施用区と対照区間の変動差は少なく、ほぼ中央部に狭い範囲で位置している。また、過湿処理の各区は全般的に乾燥および標準湿度処理のそれらよりも低く、第2軸よりもやや左側に多く分散している。このように、過湿処理の各区が乾燥および標準湿度処理よりも異なった位置に分布していることは、過湿による根の吸収力の低下と、果実中のカルシウムおよび果糖含量が少なく、土壌中の石灰飽和度およびpH(KCl)が低く、葉中のマグネシウム以外の各成分が少ないためである。したがって、これらの成分を根に充分吸収させるように過湿条件を取り除く必要がある。また、乾燥処理の各区が狭い分散であったことは、果実中のカリウム、葉中のチッ素、リン、およびカリウム含量が過湿処理の各区より多く吸収しているものの、葉中マグネシウムおよびカルシウム、果実中のカルシウムおよび果糖含量、土壌中の石灰飽和度、およびpH(KCl)などが低下しているためである。これはFig. 8-5で示したように、乾燥による土壌中の塩基(主にカルシウムおよびマグネシウム)の不溶化が原因しているように思われた。

以上の結果から、乾燥ないし過湿状態の土壌では障害果発生防止対策として、第1にかん水ならびに排水対策を施し、その後に石灰および有機質施用による土壌改良を行なう必要があると思われた。

5. 摘 要

毎年障害果発生認められた8年生二十世紀をコンクリート製ポットに栽植し、CaO₂ およびCaOを施用し、あわせて乾燥処理(pF 2.6)、過湿処理(pF 1.3)および標準湿度処理(pF 2.2)を行ない、障害果の発生にどのような影響を及ぼすかについて調べた。さらに、果実、葉および土壌を分析し、それらの結果から障害果の発生防止の可能性について統計的分析を試みた。

1) 障害果発生率は、標準湿度処理の石灰施用区が初

年度から著しく低下し、4年次には約13%にまで低下した。石灰施用区の果実は発育も良く、軽症の果実でも大部分は商品価値が認められた。しかし、乾燥および過湿処理の石灰施用区は初年度には50数%まで低下したが、その後は増加し、4年次には CaO_2 区が62~65%に、 CaO 区は75~80%になった。

2) 果実内無機成分含量は、過湿処理においては、チッ素、リン、およびカリウム含量が標準および乾燥処理に比べて、対乾物%および1果中の絶対量とともに少なく、カルシウムおよびマグネシウム含量は標準湿度処理のそれよりも少なかった。

3) 葉分析の結果では、過湿処理のリン、カリウム、およびカルシウム含量が少なく、乾燥処理ではカリウムおよびカルシウム含量が低下していた。また、土壌中の塩基については、過湿処理では置換性カルシウムおよびマグネシウム含量が少なく、乾燥処理では置換性カルシウムおよびカリウム含量が低かった。さらに、土壌中の全カリウムも、乾燥および過湿処理の両区は標準湿度処

理に比べて著しく低かった。

4) 果実中の糖含量は、標準湿度処理の石灰施用区で果糖およびショ糖含量が高く、ブドウ糖およびソルビール含量は低かった。しかし、乾燥および過湿処理の石灰施用区ではそのような傾向は認められなかった。酸含量は、乾燥処理がやや高く、過湿処理は低かった。

5) 果実の呼吸量およびエチレン放出量は、乾燥および過湿処理が果実の成熟が促進されていたため、標準湿度処理よりも多かった。

6) 主成分分析ならびに変数選択型重回帰分析の結果、果実中のカルシウム、果糖、でんぷん、 CO_2 、 C_2H_4 、土壌中の置換性カルシウム、石灰飽和度、pH、葉中マグネシウム、チッ素、リン、カリウム、果実中のカリウム、土壌中マグネシウム、葉の水分不足度などの特性値が障害果発生率と極めて深い関係にあることがわかった。これらの選抜された要因は、障害果発生防止対策実施上の指標項目になり得ることが明らかとなった。

第2節 石灰連用が硬化障害果発生防止に及ぼす影響

1. 緒言

前節で鉢植“二十世紀”樹を用いて、石灰の土壌施用による硬化障害果の発生防止の効果が著しいことを明らかにした。これまで、石灰の土壌施用による障害果発生防止の試験が少なかったこともあって^{35,49)}石灰の施用効果を疑問視する意見も多い^{33,134,136)}。本節では、ほ場において石灰連用による発生防止の効果について、土壌、果実、および葉の質的变化の面から検討した。

2. 材料および方法

実験に供試した“二十世紀”は、28年生(1974)の折衷式仕立、樹間5.4m正方形植えて10a当り35本植えである。83%以上の障害果発生が認められた樹と、隣接した健全樹を15樹ずつ選んだ。また、健全果のうち、6樹は生産農家の20年生“二十世紀”樹を用いた。

石灰施用区は前節の試験で著しく効果の認められた過酸化カルシウム(CaO_2)を1樹当り1kg、3kg、6kgおよび消石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)6kgを各3樹ずつ、障害果発生樹と健全樹に施用した。なお、 CaO_2 3kgと同6kg区は試験開始1年次(1974)および2年次(1975)にそ

れぞれ同2kg、同4kgを施用したが、石灰の施用効果を高めるため3年次(1976)以降増加したものである。

石灰施用法はFig. 8-8に示したように、毎年12月上旬に巾40cm、深さ30cm、長さ2.4mの溝を放射状に1当たり8本掘り、土壌を石灰および堆肥(2t/10a)

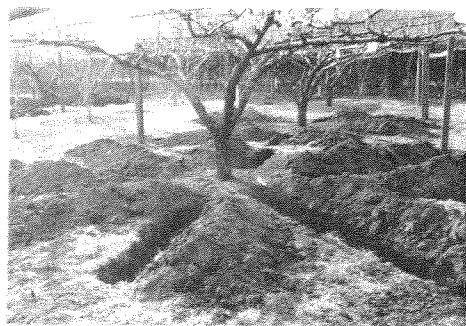


Fig. 8-8. The method of calcium application for the soil improvement.

Eight ditches of 40 cm wide, 30 cm depth and 2.4 m length per tree were dug out yearly.

とよく混和してうめ戻した。なお、4年次(1977)以降は樹冠部直下の土壌を大部分掘り起してしまったので、地表面に石灰および堆肥を全面散布し、その後、25 cm 深さのロータリー耕転を行なった。

分析試料用土壌として石灰施用前の1973年12月1日と施用4年次の1977年9月5日に、主な根群域内の深さ25 cmの耕土を各樹から採取した。分析法は第1章第1節で行なった方法によった。

障害果発生率の調査は、毎年9月中旬の成熟期に採取し、ていあ部に少しでも症状の認められたものを障害果とした。1977年に調査した重症果および軽症果の区別は第1章第1節で実施した方法で行なった。

分析用果実は1977年9月14日に各障害果発生樹から重症果、軽症果、および健全果の3果を、また、健全樹の各樹からは3果ずつ採取した。それらの果実は、直ちに果肉硬度測定をし、その後、タテわりして1/4果は糖分析に、1/4果は滴定酸に、1/2果は無機分析に用いた。果肉硬度はレオメーター(富士理化KK)で測定し、糖の分析は前節と同じガスクロマトグラフィーによる方法で行なった。滴定酸はN/10 NaOHによる方法で、無機分析は第1章第1節と同じ方法で行なった。

葉分析は障害果発生樹と健全樹の各樹から本葉20枚ずつを採取し、1%酢酸液で洗浄後、乾燥し、第1章第1節と同じ方法で行なった。

多変量解析による石灰施用効果の分析として、主成分分析および変数選択型重回帰分析は第1章第2節で実施した方法によった。

3. 実験結果

1) 硬化障害果の発生率

本実験に供試した障害果発生樹は、83%以上の発生率(1973)が認められたもので、石灰施用後の年次的変化をFig. 8-9に示した。

対照区は実験開始以降、90%以上の発生率が続いたのに対し、 CaO_2 1 kg区は2年次に高かった以外はやや低下し、約80%前後になった。一方、 CaO_2 6 kg区は1年次から発生率の低下がみられ、7年次には約35%まで低下した。 CaO_2 3 kg区および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 kg区は CaO_2 6 kg区と同1 kg区の中間的な低下程度を示し、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 kg区よりは CaO_2 3 kg区のほうがやや少なかった。

障害果発生率の低下とともに、発現程度別の量的変化も認められたので、4年次(1977)の障害程度別の構成

割合についてTable 8-8に示した。

石灰無施用の対照区と CaO_2 1 kg区は数量的に軽症果が最も多く、続いて重症果、健全果の順であるのに対し、 CaO_2 3 kg区、同6 kg区および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 kg区は数量的に多い順にあげると軽症果、健全果、重症果の順になり、石灰施用により発生率が低下する傾向が認められた。また、石灰施用の各区は、着果数が増加し、1果平均重がやや小さかったが、全体の収量は増加していた。

2) 石灰施用が果実内成分に及ぼす影響

石灰施用が障害果発生樹と健全樹の果実内無機成分含量の変化に及ぼす影響についてTable 8-9に示した。

チッ素含量は対乾物%および1果中の絶対量とも障害果発生樹の CaO_2 6 kg区が増加したため、無施用区との間で有意差が認められた。

リン含量は障害果発生樹の石灰施用区がやや低下し、絶対量で対照区よりも少なかった。

カリウム含量は対乾物%，絶対量とも多少の変化がみられたが、有意差が認められるまでには至らなかった。

カルシウム含量は、石灰施用量の多い区ほど増加し、対照区との間で有意差が認められた。

マグネシウム含量は健全樹の対照区がやや多く、石灰施用区との間で差がみられた。

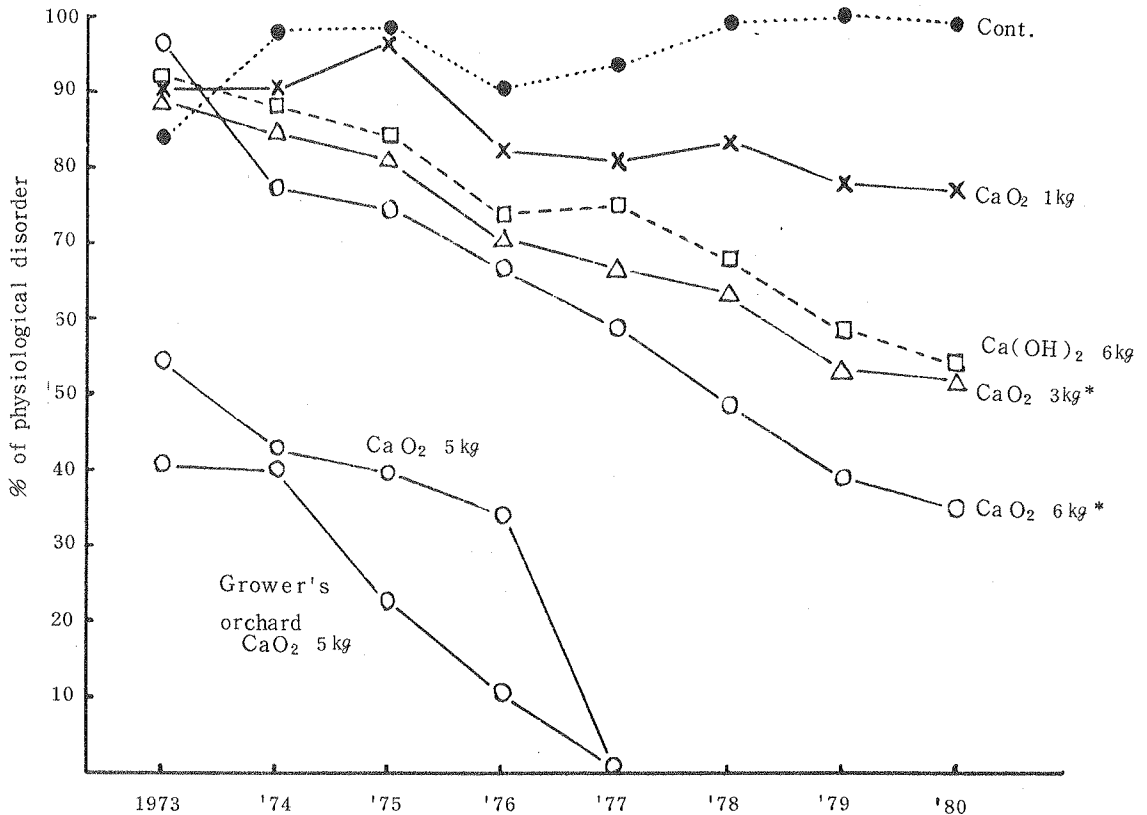
つぎに、石灰施用が果実の糖分に及ぼす影響についてはTable 8-10に示した。障害果発生樹の果実は健全樹のそれらと比較して、果糖およびショ糖含量が少なく、ブドウ糖、ソルビトール、およびでんぷん含量がやや多くなっており、全体として全糖含量は少なくなっている。また、石灰施用区の果実は障害果発生樹と健全樹の対照区の果実より果糖およびショ糖含量が多くなっており、ソルビトールおよびでんぷん含量は低下していた。障害果発生樹の果実中のブドウ糖含量は石灰施用量が多い区ほどやや増加していたが、健全樹の果実では低下していた。ショ糖/全糖比およびショ糖/果糖比が障害果発生樹と健全樹で高まったことは石灰施用により果糖もショ糖も著しく高まった結果であった。

滴定酸は障害果発生樹の石灰施用区でやや高く、果肉硬度は石灰施用量が多い区ほど低下していた。

3) 石灰施用が葉内成分に及ぼす影響

石灰施用による葉内成分の変化についてはTable 8-11に示した。

葉中チッ素含量は障害果発生樹および健全樹とも石灰施用の各区が対照区よりも増加していた。



Before First Second Third Fourth Fifth Sixth Seventh
 Fig. 8-9. Annual changes of physiological disorder affected with calcium supply to the soils of 'Nijisseiki' pear.

*These plots were supplied 2 kg for CaO₂ 3kg, and 4kg for CaO₂ 6kg plots per tree from 1974 to 1975.

リン含量は障害果発生樹の石灰施用各区がやや低下し、健全樹の各区は対照区とほぼ同程度であった。

カリウムおよびマグネシウム含量は障害果発生樹の各区がやや低下し、健全樹の各区はやや増加する傾向が認められたが、有意差はみられなかった。

カルシウム含量は障害果発生樹および健全樹とも石灰施用各区が増加し、施用量が多い処理区ほど著しかった。

4) 石灰施用が土壤の理化学性に及ぼす影響

石灰施用が土壤の理化学性に及ぼす影響について Table 8-12 に示した。

腐植は石灰施用の各区で試験開始前の土壤より低下しており、全チッ素も全区で低下していた。

pHは開始前の土壤と比較して、障害果発生樹と健全樹

の対照区がH₂O浸出で同程度か、やや高まっていたが、KCl浸出ではやや低下していた。石灰施用の各区は両樹とも開始前より高まっており、石灰施用量が多い区ほど高い値を示した。

置換酸度(Y₁)は、開始前より両樹の対照区およびCaO₂ 1kg区が高まっており、石灰6kg施用区は低下していた。

有効態リン酸は各区とも開始前よりやや高まっていた。

置換性塩基では、石灰施用量が多い区ほどカルシウム含量は高まり、マグネシウム含量はやや低下した。カリウム含量は障害果発生樹で石灰施用区がやや増加し、健全樹では対照区より低下した。また、置換性カルシウムの増加とともに石灰飽和度および全カルシウム含量も増

Table 8-8. Effects of calcium supply to the soil on the occurrence of the physiological disorder and fruit yield of 'Nijisseiki' pear trees (1977).

Treatment	Severe			Slight			Normal			Total			% of disor-dered fruits
	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	No. of fruit	Yield kg	Fruit weight g	
CaO ₂ 1 kg	80.8	24.103	298.3	151.3	45.880	303.2	56.2	18.340	362.3	253.0	88.323	349.1	80.5
CaO ₂ 3	68.5	21.970	320.0	122.1	39.700	325.1	96.5	31.990	331.5	288.3	93.660	325.2	66.4
CaO ₂ 6	18.2	5.620	308.8	145.0	45.660	314.9	114.3	37.720	290.5	290.5	89.000	306.4	58.8
Ca(OH) ₂ 6	43.6	12.630	289.7	169.1	51.000	301.6	70.9	23.300	328.6	266.0	86.930	326.8	75.0
Control	108.0	31.900	295.4	129.0	38.100	295.3	16.0	5.300	331.3	218.5	75.300	344.6	93.7
at 5 %	6.6	.936	14.0	2.5	1.431	6.2	2.8	2.302	25.7	27.7	11.372	NS	5.3
LSD at 1 %	9.3	1.332	19.9	3.6	2.036	8.8	4.0	3.274	—	45.9	—	—	7.6

Table 8-9. Effects of calcium supply to the soil on the mineral elements of 'Nijisseiki' pear fruits (1977).

Treatment		% of dry weight					Absolute quantity (mg/fruit)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Abnormal tree	kg										
	CaO ₂ 1	0.39	0.060	1.15	0.060	0.045	103.7	15.9	305.2	15.7	11.7
	CaO ₂ 3	0.45	0.052	1.19	0.058	0.045	125.7	14.7	323.9	16.9	12.6
	CaO ₂ 6	0.54	0.059	1.17	0.064	0.045	145.4	15.8	316.3	17.2	12.2
	Ca(OH) ₂ 6	0.41	0.053	0.93	0.062	0.044	105.0	13.6	287.0	15.6	11.2
Normal tree	Control	0.39	0.064	1.25	0.050	0.045	106.0	17.3	332.9	11.5	12.1
	CaO ₂ 1	0.38	0.056	1.02	0.076	0.042	119.4	16.7	321.8	21.8	13.3
	CaO ₂ 3	0.44	0.058	1.06	0.081	0.042	118.9	15.7	289.8	21.8	11.5
	CaO ₂ 6	0.48	0.059	1.04	0.085	0.043	135.6	17.1	297.1	23.8	12.5
	Ca(OH) ₂ 6	0.48	0.058	1.07	0.085	0.048	135.3	16.2	296.1	23.0	13.7
LSD	Control	0.45	0.063	1.14	0.067	0.055	120.4	17.0	305.8	15.6	15.3
	at 5 %	0.11	0.008	NS	0.008	0.011	32.4	2.1	NS	3.6	3.4
	at 1 %	—	—	—	0.014	—	—	—	—	5.9	—

加する傾向が認められた。

CECは各区とも開始前の土壌よりやや低下し、健全樹より障害果発生樹の各区のほうがやや少なかった。

孔隙率は障害果発生樹のCaO₂ 6 kg区および健全樹のCa(OH)₂ 6 kg区がやや低下していた。

以上のような土壌条件下で生育した根の状態について Fig. 8-10 に示した。石灰施用4年次(1977)の根の発生状態は、障害果発生樹の対照区で細根発生量が極めて少なく、根色も暗褐色であるのに対し、石灰施用区の根は細根発生量が多くなっており、褐色のものが多くなっている。また、健全樹の根は細根が密生しており、弾力性のあるものが多かった。

5) 多変量解析による石灰施用効果の分析

石灰施用による障害果発生の防止効果を検討するため、Table 8-8～8-12のデータを用いて相関行列を求めたのがTable 8-13である。

果実中の無機成分間では、チッ素とカリウムおよびカルシウムに、リンとマグネシウムとに相関がみられた。無機成分と糖との間では、チッ素、リン、およびカルシウムが各糖の間ではそれぞれ相関があり、とくに、カルシウムは各糖との間に密接な関係が認められた。

各糖間ではそれぞれ深い関係が多くみられた。硬度はカルシウム、全糖、果糖、ソルビトール、ショ糖、およ

びでんぶんとの間で相関があった。

葉成分と糖との間では、リンが全糖およびブドウ糖と、カリウムがイノシトールと、カルシウムが果糖、ブドウ糖、ソルビトール、ショ糖、およびでんぶんと、マグネシウムが全糖、およびブドウ糖とそれぞれ相関がみられた。

糖と土壌成分との間では、全糖と果糖は腐植、pH、Y₁、置換性カルシウムとに、ブドウ糖と置換性マグネシウムとに、ソルビトールと腐植、有効態リン酸とに、イノシトールは有効態リン酸とに、ショ糖は腐植、Y₁、置換性カルシウムとに、でんぶんは腐植、全チッ素、pH、Y₁、有効態リン酸、置換性カルシウムとにそれぞれ相関が認められた。また、土壌硬度は腐植、全チッ素、pH、Y₁、置換性カルシウムとの間に相関がみられた。

その他、土壌成分間ではpH(KCl)と腐植、全チッ素とに、Y₁と腐植、石灰飽和度、全チッ素、pH(KCl)とに、置換性カルシウムと腐植、全チッ素、pH(KCl)、Y₁、石灰飽和度とに、置換性カルシウムと全チッ素、CECとにそれぞれ有意の相関が認められた。

障害果発生率と各要因(特性値)間とでは、果実中のカルシウム、全糖、果糖、ショ糖、葉中のカルシウム、土壌中の全チッ素とは負の有意相関が、ソルビトール、でんぶん、硬度、土壌中のY₁、有効態リン酸、置換性マ

Table 8-10. Effects of calcium supply to the soil on the sugar contents of 'Nijisseiki' pear fruits (mg/fresh weight, g, 1977).

Treatment	Total sugar	Fru- ctose	Glu- cose	Sorbitol	Ino- sitol	Su- crose	Sucrose Total sugar	Sucrose Fructose	Starch %	Titrateable acidity (as malic) %	Hardness 10^7 dyn/cm ²
Abnormal tree (CaO ₂ kg 1 3 6 CaO ₂ . 6 Ca(OH) ₂ 6 Control	114.74	42.78	23.32	17.88	2.26	28.50	0.25	0.67	0.040	0.173	3.58
	127.77	44.70	29.50	17.23	2.71	33.64	0.26	0.75	0.034	0.145	3.27
	130.33	45.69	27.96	16.88	3.02	36.78	0.28	0.80	0.021	0.161	3.05
	130.16	43.08	30.35	19.92	3.47	33.35	0.26	0.77	0.037	0.165	3.00
	101.12	33.38	20.40	20.49	2.23	24.62	0.24	0.74	0.047	0.154	3.92
Normal tree (CaO ₂ kg 1 3 6 CaO ₂ . 6 Ca(OH) ₂ 6 Control	123.34	43.74	21.68	13.59	3.03	41.30	0.33	0.94	0.021	0.171	3.01
	127.03	49.39	20.06	13.21	3.05	41.33	0.33	0.84	0.018	0.143	3.19
	132.00	50.96	13.56	10.03	2.23	55.22	0.42	1.08	0.014	0.154	2.85
	122.25	48.16	15.43	11.27	1.88	45.52	0.37	0.95	0.017	0.149	2.93
	122.72	46.11	19.69	14.88	3.03	39.01	0.32	0.85	0.016	0.165	3.07
LSD at 5 %	21.92	8.41	13.32	3.76	NS	7.63	0.07	NS	0.002	0.002	0.67
at 1 %	—	13.95	—	6.24		12.65	—		0.003	—	—

Table 8-11. Effects of calcium supply to the soil on the mineral elements of 'Nijisseiki' pear leaves (% of dry weight, 1977).

Treatment		N	P	K	Ca	Mg
Abnormal tree	kg					
	CaO ₂ 1	2.31	0.11	1.27	1.94	0.27
	CaO ₂ 3	2.15	0.11	0.94	1.98	0.33
	CaO ₂ 6	2.17	0.11	0.99	2.08	0.32
	Ca(OH) ₂ 6	2.12	0.10	1.03	1.73	0.27
Normal tree	Control	1.98	0.13	1.25	1.31	0.37
	kg					
	CaO ₂ 1	2.13	0.14	0.98	1.96	0.32
	CaO ₂ 3	2.11	0.13	1.18	2.08	0.34
	CaO ₂ 6	2.13	0.13	1.31	2.14	0.33
LSD	Ca(OH) ₂ 6	2.15	0.13	1.28	1.81	0.37
	Control	1.99	0.12	1.08	1.81	0.32
LSD at 5 %		0.16	0.03	NS	0.39	NS
at 1 %		0.27	—		0.64	

グネシウムとは正の有意相関がそれぞれ認められた。

つぎに、石灰施用量別の30個のサンプルを30個の特性値について主成分分析を行ない第7主成分までの固有ベクトル、固有値、累積寄与率についてTable 8-14に示した。さらに、第1主成分及び第2主成分についての、また、第1主成分及び第3主成分についての各特性値の因子負荷量に関してFig. 8-11に示した。

すなわち、第1主成分は全変動のうちの28.2% 寄与率を示した硬度、でんぶん、ソルビトール、土壌中のY₁、腐植が負の大きい値をとり、果実中のカルシウム、果糖、ショ糖、葉中のカルシウム、土壌のpH(KCl)、置換性カルシウムなどが正の大きい値をとった。したがって、第1主成分は果実及び土壌の特性を表わしている。第2主成分では果実中のリン、葉中のリン、カルシウムが正の値をとった。第2主成分までをとると全変動の47.4%を説明している。この第2主成分はブドウ糖と果実及び葉の無機成分特性との関係を表わしている。第3主成分では果実中のカリウムが負の値を、土壌中の全チッ素、置換性カリウム、CEC、石灰飽和度が正の負をとり、第3主成分までの全変動は57.2%の寄与率を示した。この第3主成分は果実中のカリウムと土壌中の各成分特性との関係を表わしている。

つぎに、石灰処理をした各樹の果実を第1及び第2主成分スコアに基づいて示したものがFig. 8-12である。健全樹と障害果発生樹に対して、石灰処理した各樹の間には明らかな差異が認められた。すなわち、障害果発生樹の対照区はでんぶん、ソルビトール、硬度、腐植、Y₁が高く、果実中のカルシウム、果糖、ショ糖、葉中のカルシウムが著しく低下している特徴をもつ。しかし、障害果発生樹に石灰を3kg/樹以上施用した区は障害果発生率、でんぶん、ソルビトール、硬度などはやや低下し、果実中のカルシウム、果糖、ショ糖なども増加しており、ほぼ中央部に分布してゐる。これらは、また、ブドウ糖が多く、果実中のリン、葉中のリン及びカルシウムが少なく、健全樹の果実成分特性とは異なった位置に分布している。

一方、健全樹の各処理区は石灰施用量が多い区ほど果実中のカルシウム、果糖、ショ糖などが多くなっているが、対照区(石灰無施用区)との間でもそれほど著しい差は認められなく、ほぼ同じ位置に分布している。

以上の結果、障害果発生率と第1主成分に関連する果肉硬度、でんぶん、ソルビトール、果糖、ショ糖、果実中のカルシウム含量、葉中のカルシウム、土壌中の腐植、Y₁、pH(KCl)、置換性カルシウムなどとの間に関連があることが認められた。

障害果発生率を従属変数(Y)とし、第1主成分スコア(Z₁)を説明変数として単回帰式を求めた結果、 $Y = -25.598 Z_1 + 37.416$ が得られた。また、両者の相関は $r = -0.656^{***}$ であった。これらの結果から、障害果発生率と第1主成分スコアとの間には極めて高い相関関係が認められた。

障害果発生率と第2主成分スコア(Z₂)との単回帰式は $Y = -22.912 Z_2 + 37.415$ が得られ、両者の相関は $r = 0.586^{***}$ であり、障害果発生率と第2主成分スコアとの間にも極めて高い相関が認められた。

障害果発生率と第3主成分スコア(Z₃)との間には相関が認められなかった。

したがって、この結果から土壌への石灰施用は、1樹当たり3kg(100kg/10a)以上施用した際に、障害果発生樹の果実は健全樹の果実成分に近ずき、障害果発生の防止効果を示していることになる。

主成分分析の結果、果実硬度、でんぶん、ソルビトール、果糖、ショ糖、果実中カルシウム含量、葉中カルシウム、土壌中の腐植、Y₁、pH(KCl)、置換性カルシウムなどが障害果発生に関係していることが明らかとなっ

Table 8-12. Effects of calcium supply to the soil on the chemical properties of soils (September 5, 1977).

Treatment	Humus (%)	Total -N (%)	pH		Y ₁	Available Phosphorus P ₂ O ₅ (mg/100g)	Exchangeable bases (me/100g)			CEC (me/100g)	Calcium Satura- tion (%)	Porosity (%)	Total Ca (me/100g)
			H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O				
Before	3.96	0.30	5.45	5.20	0.5	20.3	1.92	0.94	1.41	22.1	8.7	66.0	25.60
Abnormal tree kg	1	0.19	5.88	5.27	2.0	21.3	1.81	0.93	1.39	17.9	10.1	65.3	22.95
	3	0.21	6.20	5.57	0.4	22.8	3.84	1.00	1.57	17.0	22.6	68.4	30.11
	6	0.24	6.33	5.69	0.3	22.9	4.48	0.69	1.71	18.9	23.7	64.1	44.91
	Ca(OH) ₂	0.25	6.46	5.69	0.2	23.8	4.34	0.65	1.74	17.2	25.2	66.4	38.76
	Control	0.22	5.55	5.00	2.8	24.2	0.72	0.21	1.51	18.2	4.0	66.2	21.62
Normal tree	1	0.21	5.73	5.13	1.4	22.2	2.09	0.18	1.25	17.0	12.3	65.3	31.60
	3	0.24	6.15	5.59	0.5	22.8	3.22	0.46	1.55	20.2	15.9	66.2	36.48
	6	0.28	6.30	5.74	0.4	22.4	4.71	0.38	1.47	20.9	22.6	67.0	46.49
	Ca(OH) ₂	0.27	6.38	5.80	0.3	20.5	4.47	0.56	1.57	19.8	22.6	64.2	44.42
	Control	0.26	6.08	5.13	1.1	21.4	1.67	0.40	1.83	20.9	8.0	67.1	30.94
LSD	at 5%	0.02	0.54	0.21	0.2	3.6	1.10	NS	0.43	3.2	8.2	4.3	5.99
	at 1%	0.03	0.90	0.35	0.3	—	1.82		—	—	13.6	—	9.95

Main rooting zones.

Table 8-13. Means, standard deviations and correlation matrix of variables as to the soil of 'Nijisseiki' pear trees influenced by calcium supply (1977).

Variable	Mean	S.D.	Nr.ab.	P.ab.	K.ab.	Ca ⁺⁺ ab.	Mg ⁺⁺ ab.	T ⁺⁺ sug.	Pruc	Gluc	Sorb	Inos	Sacr.	Star.	Acid.	Hard.	L-N%	L-P%	L-K%	Ca%	L ⁺⁺ Mg%	H ⁺⁺ mus	T-N	pH	Y ₁	Av-P	Ex ⁺⁺ Ca	Ex ⁺⁺ Mg	Ex ⁺⁺ K	%-Dis.		
(N absolute quantity)	121.4	17.9	1.000																													
P	16.1	1.6	.067	1.000																												
K	298.6	30.7	.562	.116	1.000																											
Ca	18.6	3.9	.421	.214	.175	1.000																										
Mg	12.6	1.8	.179	.396	.218	.207	1.000																									
Total sugar	121.18	24.43	.452	.444	.258	.466	.186	1.000																								
Fructose	44.30	10.23	.429	.303	.246	.624	.091	.532	1.000																							
Glucose	21.53	7.02	.014	.352	.117	.309	.260	.539	.325	1.000																						
Sorbitol	15.54	4.02	.335	.221	.173	.755	.054	.286	.443	.443	1.000																					
Inositol	2.68	0.58	.057	.351	.091	.135	.057	.316	.131	.533	.374	1.000																				
Sucrose	38.39	11.09	.569	.130	.245	.741	.119	.656	.705	.589	.235	.767	.046	1.000																		
Starch	0.027	0.01	.010	.236	.245	.857	.238	.433	.589	.235	.767	.015	.712	1.000																		
Titrateable acidity	0.158	0.02	.271	.381	.200	.187	.136	.247	.168	.058	.081	.034	.347	.056	1.000																	
Hardness	3.16	0.33	.326	.070	.032	.554	.068	.468	.670	.149	.563	.055	.573	.527	.109	1.000																
(N %)	2.12	0.12	.096	.350	.144	.082	.068	.118	.117	.092	.003	.005	.096	.055	.206	.114	1.000															
P %	0.12	0.02	.204	.382	.139	.426	.543	.139	.235	.623	.194	.274	.138	.283	.171	.048	.199	1.000														
K %	1.12	0.17	.406	.130	.185	.046	.123	.286	.088	.375	.167	.374	.121	.099	.105	.008	.154	.275	1.000													
Ca %	1.52	0.38	.307	.351	.010	.857	.241	.175	.369	.555	.633	.180	.473	.735	.130	.358	.038	.522	.138	1.000												
Mg %	0.32	0.06	.020	.411	.027	.209	.108	.372	.328	.401	.129	.078	.142	.080	.295	.198	.215	.682	.107	.373	1.000											
(Humus)	3.93	0.37	.360	.233	.026	.555	.370	.441	.448	.165	.394	.150	.486	.563	.169	.450	.368	.102	.148	.449	.144	1.000										
Total-N	0.24	0.03	.358	.230	.303	.458	.465	.012	.113	.952	.338	.073	.256	.536	.001	.393	.171	.370	.043	.584	.273	.172	1.000									
pH(KCl)	5.46	0.29	.391	.363	.223	.461	.101	.398	.410	.172	.274	.013	.349	.483	.247	.483	.299	.096	.097	.340	.001	.083	.531	1.000								
Y ₁	0.92	0.86	.419	.359	.065	.514	.017	.527	.549	.293	.354	.206	.418	.627	.178	.626	.160	.076	.276	.328	.051	.552	.531	.848	1.000							
Available-P	22.4	1.2	.020	.384	.086	.435	.345	.004	.214	.284	.485	.465	.083	.378	.180	.268	.217	.354	.272	.218	.076	.015	.241	.146	.169	1.000						
Ex-Ca	3.13	1.40	.510	.362	.097	.474	.123	.473	.471	.229	.312	.082	.437	.541	.218	.515	.286	.176	.225	.310	.086	.733	.517	.955	.902	.073	1.000					
Ex-Mg	0.52	0.26	.090	.451	.150	.217	.073	.139	.133	.455	.204	.136	.276	.261	.063	.207	.483	.359	.036	.368	.147	.022	.234	.325	.239	.266	.246	1.000				
Ex-K	1.56	0.19	.092	.406	.211	.229	.236	.100	.012	.249	.328	.048	.057	.176	.039	.127	.255	.184	.216	.053	.257	.442	.222	.327	.109	.207	.108	1.000				
CEC	18.5	8.9	3.7	.065	.159	.341	.009	.108	.114	.153	.082	.135	.045	.223	.083	.223	.153	.103	.213	.127	.026	.058	.069	.356	.360	.174	.035	.246	.066	.460	1.000	
Calcium saturation	18.4	8.9	12.9	.141	.471	.317	.091	.199	.323	.224	.381	.033	.217	.188	.133	.054	.360	.169	.313	.242	.004	.175	.432	.299	.631	.622	.152	.677	.202	.237	.334	1.000
% of disorder	34.9	36.9	.293	.242	.047	.826	.320	.389	.517	.298	.696	.101	.653	.799	.058	.607	.121	.392	.050	.740	.194	.330	.515	.243	.460	.418	.279	.378	.011	.175	.219	

1) $\mu\text{g}/\text{fruit}$, 2) $\mu\text{g}/\text{fresh weight}$, 3) $\mu\text{g}/\text{fresh weight}$, 4) $10^7 \text{ dyn}/\text{cm}^2$, 5) $\%$ of dry weight, 6) $\%$ of dry weight, 7) $\mu\text{g}/100\text{g}$, 8) $\text{me}/100\text{g}$.

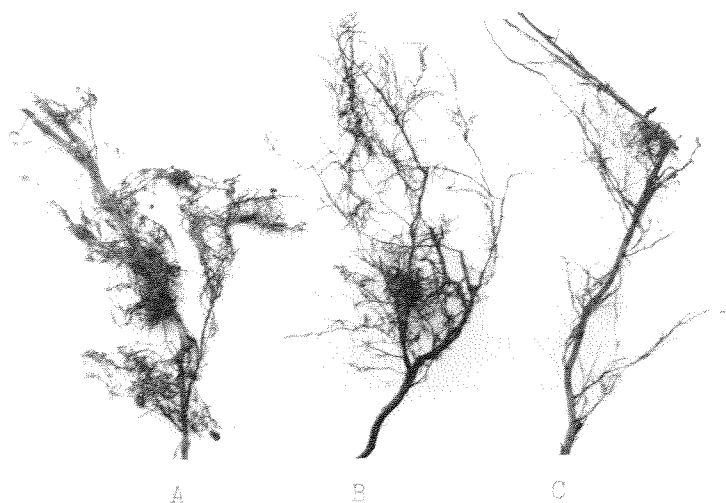


Fig. 8-10. Effects of calcium supply on the rooting of normal(A) and abnormal trees(B) of 'Nijisseiki' pear (C:non-calcium supply of abnormal tree, 1976).

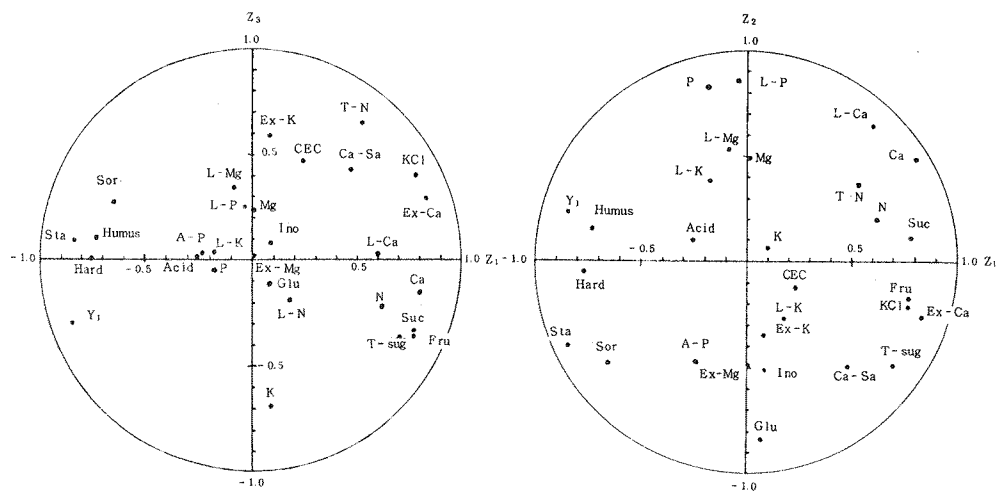


Fig. 8-11. Correlations between variables and the first and the second components(right), and the first and the third components(left) the soil of 'Nijisseiki' pear trees as influenced by calcium supply (factor loading, 1976).

Sta=Starch, T-sug=Total, sugar, Fru=Fructose, Glu=Glucose, Sor=Sorbitol, Ino=Inositol, Suc= Sucrose, Hard=Hardness, T-N=Total N, A-P=Available P, Ex-K=Exchangeable K, Ex-Ca=Exchangeable Ca, Ex-Mg=Exchangeable Mg, Ca-Sa=Degree of calcium saturation, L-P=Leaf P, L-K=Leaf K, L-N= Leaf N, L-Ca=Leaf Ca, L-Mg=Leaf Mg.

Table 8-14. Results of principal component analysis for the soil of 'Nijisseiki' pear trees influenced by calcium supply(1977).

Variable			Component No.							Cotribution on 7 components
			1	2	3	4	5	6	7	
X ₁	Fruit nutrients	N absolute quantity	0.217	0.009	-0.126	0.258	-0.145	0.135	-0.193	71.2 %
X ₂		P "	-.066	.348	-.031	.097	-.071	-.067	.097	76.8
X ₃		K "	.034	.027	-.409	.175	-.278	.229	-.236	89.4
X ₄		Ca "	.281	.209	-.091	-.013	-.009	-.058	-.037	91.9
X ₅		Mg "	.003	.210	.140	.229	-.404	.228	.127	86.6
X ₆		Total sugar	.246	-.173	-.215	.108	.057	.116	.111	87.0
X ₇		Fructose	.270	-.072	-.216	-.001	.052	.161	.165	85.2
X ₈		Glucose	.024	-.356	-.065	.088	-.127	.007	.095	78.9
X ₉		Sorbitol	-.229	-.203	.163	.140	-.129	-.098	-.126	85.3
X ₁₀		Inositol	.031	-.216	.050	.421	-.034	-.246	.124	81.2
X ₁₁		Sucrose	.273	.050	-.201	.088	.223	.083	-.040	87.3
X ₁₂		Starch	-.294	-.169	.059	-.089	-.216	.029	-.074	91.0
X ₁₃		Titratable acidity	-.090	.043	.002	-.085	-.216	-.259	.588	83.8
X ₁₄		Hardness	-.264	-.020	.004	-.021	-.120	-.034	-.288	73.3
X ₁₅	Leaf analysis	N %	.063	-.111	-.110	-.295	-.361	-.144	-.065	63.8
X ₁₆		P %	-.016	.360	.146	.007	-.122	-.171	.008	86.9
X ₁₇		K %	-.063	.161	.021	-.399	.271	.181	-.063	75.1
X ₁₈		Ca %	.211	.276	.021	.028	.081	-.154	-.104	86.4
X ₁₉		Mg %	-.032	.227	.202	.145	-.128	-.057	-.442	79.3
X ₂₀	Chemical properties of soil	Humus	-.256	.066	.062	.140	-.018	.396	.147	92.6
X ₂₁		Total-N	.185	.160	.386	.110	-.041	.070	.086	88.7
X ₂₂		pH(KCl)	.273	-.092	.238	-.182	-.081	-.052	-.151	94.5
X ₂₃		Y ₁	-.294	.098	-.179	.007	.137	.053	-.009	89.6
X ₂₄		Available-P	-.084	-.199	.018	.292	.300	-.252	-.240	85.4
X ₂₅		Ex-Ca	.292	-.113	.175	-.102	-.089	-.092	-.116	93.1
X ₂₆		Ex-Mg	.001	-.207	.008	-.338	-.374	.221	-.143	89.4
X ₂₇		Ex-K	.031	-.147	.355	.215	-.013	.367	.078	84.0
X ₂₈		CEC	.083	-.053	.279	-.077	.271	.352	.021	63.7
X ₂₉	Calcium saturation	-.166	-.207	.257	-.074	.012	-.169	.023	71.7	
Eigen value			8.174	5.501	2.849	2.271	2.001	1.762	1.545	Mean
Contribution			0.282	0.192	0.098	0.078	0.069	0.061	0.053	
Comulative contribution			28.2 %	47.4 %	57.2 %	65.0 %	71.9 %	78.0 %	83.3 %	

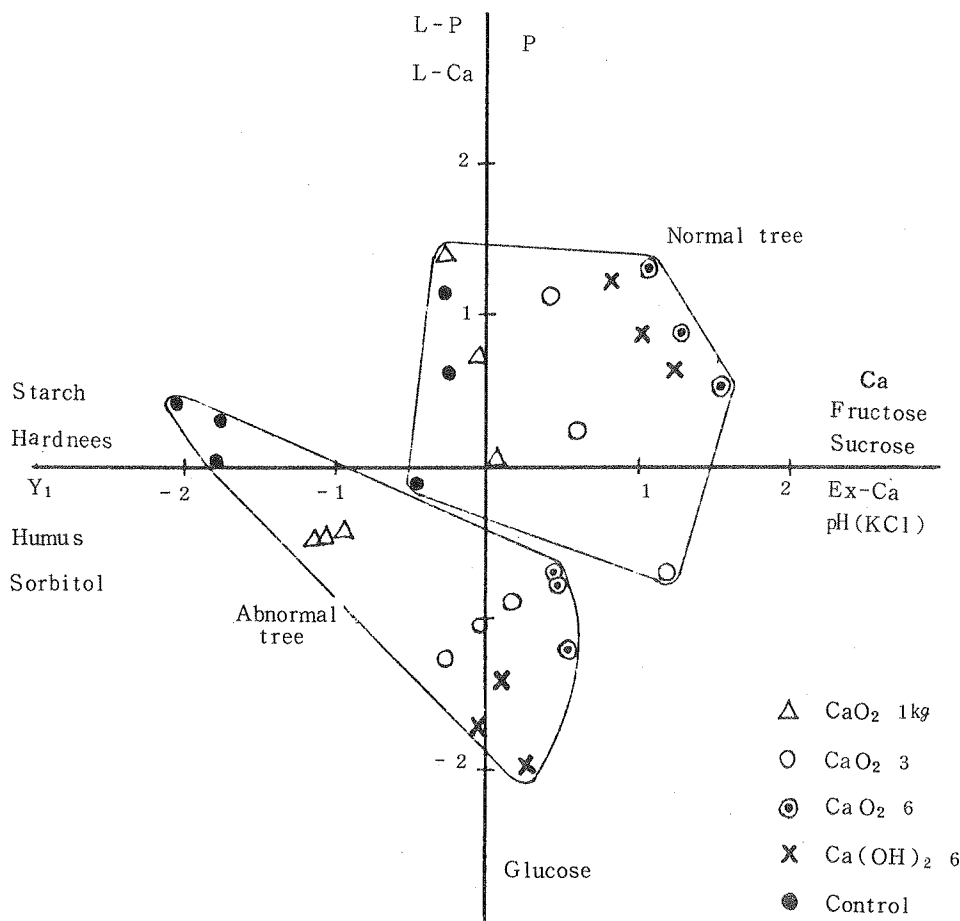


Fig. 8-12. Scatter diagram of normal and abnormal trees as influenced by respective amounts of calcium supply to the soil. (1977).

L-P=Leaf P, L-Ca=Leaf Ca, Ex-Ca=Exchangeable Ca.

た。これらの要因のうち、どの要因が強く関与しているのかを明らかにするために重回帰分析を行なった。

障害果発生率を従属変数(Y)として、調査した各要因(特性値)を目的変数(X_m)とし、石灰施用後の障害果発生率を予測する回帰式を変数選択型の重回帰分析で計算したものがTable 8-15である。

この結果、第1次要因として果実中のカルシウム絶対量が選出され、その寄与率は、68.2%であった。続いて、イノシトール、腐植、ソルビトール、石灰飽和度、置換性カルシウムの順になっており、果糖やショ糖が選出されなかった点では主成分分析の結果と多少異なっていた。

4. 考 察

“二十世紀”の障害果発生樹について、前節で明らかにしたように、鉢植え土壌を石灰施用により改良した際には、2年次から発生率が顕著に低下したが、実際のは場条件下ではFig. 8-9のように、発生率の低下が緩慢であり、最多量の石灰施用した1樹当り6kg区(200kg/10a)でも7年次に約35%程度であった。こうした石灰施用の緩慢な効果はナシがカルシウムに鈍感な作物である¹²⁸⁾と同時に、根の分布している土層をまんべんなく、いかに効果的に改良するかにかかわっているといえる。すなわち、本実験で実施した放射状8本溝掘法は、溝幅

Table 8-15. The multiple regression equation according to the degrees of physiological disorder of 'Nijisseiki' pear fruits (1977).

Step	The multiple regression equation	Coefficient of multiple determination (R^2)	Selected variable
1	$Y = -8.338 X_4 + 192.065$	68.2 %	Ca absolute quantity
2	$Y = -8.634 X_4 - 14.474 X_{10} + 236.48$	72.8	Inositol
3	$Y = -10.314 X_4 - 18.807 X_{10} - 30.107 X_{20} + 386.014$	77.9	Humus
4	$Y = -7.544 X_4 - 26.557 X_{10} - 32.414 X_{20} + 3.879 X_9 + 302.475$	83.6	Sorbitol
5	$Y = -7.949 X_4 - 24.181 X_{10} - 51.576 X_{20} + 4.236 X_9 - 0.908 X_{29} + 382.465$	89.8	Calcium saturation
6	$Y = -8.748 X_4 - 21.96 X_{10} - 35.677 X_{20} + 4.156 X_9 - 1.453 X_{29} + 10.395 X_{25} + 314.213$	93.9	Exchangeable Ca
7	$Y = -7.805 X_4 - 21.633 X_{10} - 20.743 X_{20} + 4.048 X_9 - 1.387 X_{29} + 14.442 X_{25} - 247.649 X_{21} + 289.032$	96.0	Total N in soil
8	$Y = -7.24 X_4 - 24.299 X_{10} - 15.509 X_{20} + 3.803 X_9 - 1.388 X_{29} + 14.956 X_{25} - 253.436 X_{21} + 4.24 X_{24} + 175.695$	97.0	Available P
9	$Y = -6.323 X_4 - 25.729 X_{10} - 14.168 X_{20} + 4.608 X_9 - 1.422 X_{29} + 14.339 X_{25} - 218.399 X_{21} + 4.511 X_{24} - 58.658 X_{19} + 151.676$	97.5	Mg in leaf
10	$Y = -5.731 X_4 - 24.398 X_{10} - 10.251 X_{20} + 4.396 X_9 - 1.376 X_{29} + 15.564 X_{25} - 219.986 X_{21} + 4.358 X_{24} - 78.091 X_{19} + 13.37 X_{14} + 89.381$	98.0	Hardness

Note : m in X_m and Y are the same symbols as shown in the Table 8-14.

40 cm, 深さ 30 cm, 長さ 2.7 cm で約 2.6 m³ の土壌改良であり, 10a 当り 35 本植えの 1 樹当りの根の土壌占有体積 6.87 m³ の約 1/3 にあたる。したがって, 根域全体の土壌改良には 3 年を必要とする計算になり, 本実験で 4 年次 (1977) に発生率がやや大きく低下した結果や同様な報告 (広田隆一郎, 1973, 落葉果樹試験研究打合せ会議資料, 169~170), さらに, 現地農家やほ場で約 40~50% の発生樹に CaO₂ を 5 kg を施用した例で 4 年次に発生率が認められなくなったのは, そうした理由を裏づける結果を示したものであろう。

一般的に実施されているトレンチャーやオーガー法などは, いずれもこの放射状溝掘法より土壌の改良量が少ないため, 障害果発生率を増加させない程度で, 減少するに至るまでの効果は認められないことは, 鳥取県試が 1974 年に落葉果樹試験研究打合せ会議に提出した資料

にも示されている。このように改良効果の緩慢なことが一面では石灰施用しても発生率への効果が認められなかったとする意見^{134, 136)}や, また, カルシウム不足ならばカルシウムを施せばなおるというように簡単に解決しない原因であって, 問題である³³⁾という見解になるのである。

その上, ナシは石灰に鈍感な作物であることがよく知られているが¹²⁸⁾, 見方を変えるならば, 一旦障害果が発生した樹は石灰不足度を相当重く影響を受けた段階の反映として発現したもので, 対策として石灰を施用してもその効果は急速には表われにくいことにもなる。また, 石灰を施用した際に, 土壌の深層へ移行する速度が著しく緩慢であることも考え合せるならば⁷¹⁾, 本実験のように最も効果的な土壌改良法を実施しても数年で障害果発生率が半減した程度は妥当のように思われる。

現地農家では、80%以上の障害果発生樹はほとんど認められず、仮にあつたとしても発現しない品種に新植したりしており、参考までに図示(Fig. 8-9)した50%程度のものが多い。この程度の発生率では現地でも当果樹園でも4年次には完全に回復しており、この結果から判断すれば、著しく効果の認められた CaO_2 6 kg区は数年後に回復することも予想できる。

いずれにしろ、石灰施用による障害果発生防止効果は明らかになり、発生率が80%から50%へ低下する以上に、50%から発生が認められなくなる割合は加速度的に低下していくように思われた。

つぎに、障害果発生率の低下は果実内成分の質的变化によってもたらされていることも明らかである。すなわち、前章(第3章第4節)の発生要因の分析で明らかにした果実内カルシウム含量が土壌改良の進行にともなうて増加し、また、チッ素やリン含量も増減した影響がみられた。

さらに、硬化障害果は糖構成として、果糖およびショ糖が少なく、ブドウ糖、ソルビトール、でんぶんなどが多いという特徴を明らかにしたが、石灰施用により発生率の低下が著しかった CaO_2 6 kg区、同3 kg区などは果糖およびショ糖が増加し、でんぶんは減少した結果が認められた。それらはブドウ糖やソルビトールの減少という点ではやや不十分の面もあったが、主要因であるカルシウムや果糖、ショ糖、でんぶん含量が健全果の構成割合に近づいていることは、石灰施用が果実内成分の質的变化を誘起していることを意味している。

土壌改良として石灰を施用した際に、土壌中の有機物を低下させることはよく理解されているが、本実験でも堆肥を毎年2t/10aを施用しているにもかかわらず、石灰多量施用区ほど腐植含量の低下は著しかった。また、石灰施用区的全チッ素が無施用区より多かったのは、有機物の分解が促進され、その結果、チッ素含量が増加したためと思われる。

本実験の土壌分析は石灰施用4年次の土壌について行なったものであるが、石灰施用量が多い区ほど置換性カルシウム、全カルシウム、石灰飽和度が高まっており、pHも高くなっている。こうした高石灰土壌では、施肥したカリウムが土壌に吸着されるより放出されやすくなっているため¹⁰⁶⁾、 CaO_2 6 kg区や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 kg区では高まったものと思われる。

以上のように土壌改良の結果、根の生育へも影響を及ぼしている。石灰施用区は障害果発生樹でも対照区より

細根量が多くなっており、根が活力のある状態になりつつある。それは健全樹の根と比較して、量的にやや少ないものの、養水分の吸収力は高まっているものと思われる。

つぎに、本実験で試みた多変量解析では、石灰連用による障害果発生率の低下がどのような関連性を持って施用効果をもたらしたかを明らかにしようとしたものである。

障害果発生率と各要因との単相関では、果実中カルシウム絶対量が負の、続いてでんぶんが正の、葉中カルシウムが負の、ソルビトールが正の、ショ糖が負の、硬度が正の相関の順であり、いずれも0.1%レベルの有意相関であった。さらに、果糖および土壌中の全チッ素が1%レベルの負の相関で、続いて Y_1 および有効態リン酸が正の、葉中リン、全糖が負の、そして、置換性マグネシウムが正の5%レベルの有意相関の順であった。

しかし、調査した各樹はFig. 8-12からも明らかのように、果実、葉及び土壌特性に関して要約された第1主成分に関して多様な変異を示していることが明らかである。主成分によって、全変動の約半分を説明する第1及び第2主成分で調査した各樹は、でんぶん、ソルビトール、硬度、ショ糖、カルシウム、リン、果糖、ブドウ糖、葉中カルシウム、リン、土壌中のpH(KC1)、置換性カルシウム、 Y_1 、腐植などの総合特性値によって明瞭に区別された。このことは、これらの成分の多少が障害果発生率と極めて関係が深いことを意味している。これはまた、先に第3章で行なった障害果発生率および発現程度に関連する要因分析の結果から明らかにされた要因と比較して、本実験の石灰施用により発生率が軽減する過程でも同じ結果を示したことは、石灰施用が発生防止対策として利用できることを示唆しているといえる。

障害果発生率が最も低下した CaO_2 6 kg区は、7年次で発生率が半減しており、障害果発生樹の石灰施用量別の中でも(Fig. 8-9)健全樹の状態に一番近づいているものの、健全樹と多少差異が認められるのは、二次要因に含まれていたブドウ糖、ソルビトール、イノシトールなどの低下が不充分であったためである。それらは今後、土壌改良を継続する過程で、障害果発生率の低下とともに、質的にも健全果と同じ果実成分の構成割合になることが期待できるものと思われる。

5. 摘 要

二十世紀ナシの硬化障害果が著しく発生(83%以上)

したほ場において、石灰を毎年1～6 kg/樹施用して土壌改良することによる障害果発生防止効果を調査した。また、土壌改良4年次の果実、葉および土壌を分析し、それらの結果について、多変量解析により発生防止の効果をもたらす要因関係について検討した。

1) 石灰連用により障害果発生率は2年次以降低下が認められ、石灰施用量が多い区ほどその効果が著しかった。とくに、 CaO_2 6 kg区(1樹当り)は7年次に30%まで低下した効果が認められた。

2) 石灰連用による防止効果は重症果数を低下させるとともに、商品価値の認められる軽症果や健全果を多くし、果実収量も増加した。

3) 石灰施用により、果実内成分はチッ素およびカルシウム含量が増加し、リン含量はやや低下した。とくに、カルシウム含量の増加は石灰施用量の多い区ほど著しかった。

糖含量は、障害果発生樹の果実が健全樹の果実よりも果糖およびショ糖が少なく、ブドウ糖、ソルビトール、でんぷんがやや多くなっており、全糖はやや低下していた。しかし、石灰を施用した障害果発生樹の果実は、施用量が多い区ほど健全果に近い成分構成割合を示した。

4) 葉中成分は、石灰施用により障害果発生樹も健全樹もチッ素およびカルシウム含量が増加し、障害果発生樹のリン含量はやや低下した。また、石灰施用量が多い区ほどカルシウム含量が増加し、果実と同様な傾向を示した。

5) 石灰施用により土壌中の腐植、全チッ素、 Y_1 、CECがやや低下し、pH(KCl)、有効態リン酸、置換性カルシウム、全カルシウム、石灰飽和度などが増加した。また、根の発育は、石灰施用により障害果発生樹の細根量が増加し、活力のある根が多くなった。

6) 果実の品質、とくに糖と相関が認められたのは、全糖と果糖が果実中のチッ素、カルシウム、腐植、pH(KCl)、 Y_1 、置換性カルシウムと、そして全糖はリンと、ブドウ糖は果実中リン、置換性マグネシウム、石灰飽和度と、ソルビトールは果実中カルシウム、腐植、有効態リン酸と、イノシトールは有効態リン酸と、ショ糖は果実中チッ素、腐植、 Y_1 、置換性カルシウムと、でんぷんは果実中チッ素、カルシウム、腐植、全チッ素、pH(KCl)、 Y_1 、有効態リン酸、置換性カルシウムであった。また、障害果発生率とは果実中カルシウム、全糖、果糖、ショ糖、葉中リン、カルシウム、土壌中全チッ素とは負の、ソルビトール、でんぷん、硬度、 Y_1 、有効態リン、置換性マグネシウムとは正の有意相関が認められた。

7) 主成分分析の結果は障害果発生率がでんぷん、ソルビトール、硬度、ショ糖、果糖、ブドウ糖、果実中のカルシウム、リン、葉中のカルシウム、リン、土壌中のpH(KCl)、置換性カルシウム、 Y_1 、などの総合特性値(第1主成分)と極めて密接な関係にあることを意味していた。

第1主成分及び第2主成分について供試樹を分類した結果、障害果発生樹の石灰施用量が多い区ほど健全樹に接近しており、施用量間を区別することができた。また、変数選択型の重回帰分析では、障害果発生率に関与する要因として、果実中のカルシウム、イノシトール、腐植、ソルビトール、石灰飽和度、置換性カルシウムの順で選ばれた。

8) 以上の結果から、石灰施用による土壌改良は、硬化障害果の発生率を低下させ、果実内成分も質的に健全果と同様な構成割合に移行しており、有効な発生防止対策になり得ることを明らかにした。

第9章 総 合 考 察

果樹栽培の目的は適切な樹体の生長と高品質の果実をより多く生産することにある。こうした基本的課題にあつて、ナン果実が生理的に硬化する“石ナン果”“エズ肌果”と呼ばれている障害果は品質を著しく低下させ、商品価値がなくなり、果樹栽培上、根本的に矛盾する現象である。

I 硬化障害果の発生実態

日本のナン栽培は、歴史的にも古い時代から行なわれ^{75, 89, 115)}、栽培技術の改善が積極的に取りくまれるなかで、優良品種が出現し⁷⁵⁾、一貫して増産技術の開発が行なわれてきた^{23, 116)}。これら増産技術は江戸時代に確立した棚仕立てや、多肥多収栽培に見られるように、増収が主要な目的になり、高品質の果実生産は品種選抜の過程で関与した程度であつた。こうした歴史的背景にあつて、ナンの生産地では硬化障害果の発生が認められるようになり、池田博士が“果樹生態論”(1904)の中で明らかにされた⁴⁶⁾とおりである。

それ以来、林^{27, 29, 30)}が行なつた一連の研究まで、主に障害果になった果実中の水分含量が少なかったことから、梅雨明け後の高温乾燥期に積極的なかん水が硬化障害果の発生防止の最も有効な対策として実施されてきた。

石原⁵³⁾が1926年に全国産の長十郎果実の比較調査したなかで、代表優良果として紹介した写真を見るかぎり、それでさえ、果実が軽症の障害果の症状を呈しており、筆者が50年後の1977年に全国の試験研究機関のご協力により行なつた長十郎果実の品質調査でも軽症ではあるが、約64%の障害果が認められた⁷⁰⁾。

本研究では、都内の多摩川流域に分布するナン園の二十世紀と長十郎品種について調査した結果、ほぼ全園で障害果の発生が認められ、軽症の発生樹は気象条件などにより、年により発生、未発生の変動を呈している状況であつた。さらに、障害果発生の要因分析を行ない、果実中のカルシウム、果糖、ショ糖の減少、ブドウ糖およびでんぶんの増加などが関係しており、その上、土壌のpH(H₂O, KCl)、土壌中の置換性カルシウム(石灰飽和度)の低下なども関係していることが明らかとなった。

いずれにしろ、いまだにその対策に苦慮していること

は、現在でも多くの府県でその対策試験を実施していることから推察することができる^{49, 67, 114, 125, 134, 144, 149)}。

II 硬化障害果発生樹の生産力

障害果発生樹は外見的に観察するかぎり、健全樹と生育上の差異は判断しにくい(Fig. 2-1)。しかしながら、樹の生育や果実生産力など年次的変化について調査した結果、障害果発生樹は樹の生育面では新梢発生本数、新梢伸長量が健全樹より劣っており、また、果実生産力という点では、着果数、1果平均重および1樹当り収量なども劣っていることが明らかとなった。

これまで、果実の着果部位、とりわけ樹冠の中心部はと障害果の発生量が多いとする報告¹³⁴⁾があり、その理由として、中心部に徒長枝の発生が多いため、果実との水分競合を起すためとされていた。しかしながら、障害果発生が生理的な栄養代謝の異常に由来することが多く報告されるようになった現在、徒長枝と果実肥大との水分競合の問題を果実生産力の観点から再検討しておくことは必要と思われた。

そこで、枝梢の生長期に全徒長枝を摘除して障害果発生率を調査した結果、徒長枝摘除に関係なく、樹冠部の内側≧中間>外側の順に発生率が認められ、その上、果実内成分の水分競合の関係が主因で発生しているものではないことを意味していた。さらに、樹体内の養分の量的配分の面から、着果量を40%摘果し、果実肥大による障害果発生の軽減を期待したが、果実肥大は認められたものの、発生率の低下には結びつかなかった。

以上のように、水分競合や養分の量的配分に関係が見られなかったことは、伝染性による障害果発生の疑問も残るので、障害果発生樹と健全樹の花芽(短果枝)をそれぞれ交換して高接をした。その結果、健全樹に高接した花芽には健全果となり、障害果発生樹に高接した花芽には障害果の発生が認められ、伝染性の原因による障害でないことが判明した。

以上の結果から、障害果発生樹は樹の生育および果実生産力などにおいて健全樹よりも低下しているものの、罹病樹などのように年々衰退する徴候は認められず、外見的には判別しがたい程度の樹勢の低下のように思われ

た。

Ⅲ 硬化障害果の果実発育

ナシの果実発育は細胞分裂による発育と細胞肥大による発育とからなっている^{32,156)}。とくに、細胞肥大が著しくなる6月下旬頃から8月中旬にかけて果実重量は18～20倍にもなる。こうした果実発育は果実中の水分含量と細胞構成物質(乾物重)の増加によってもたらされている(Fig. 3-1, 3-2)。

果実発育が著しくなる6月下旬から硬化障害果は健全果との間の発育差が認められるようになり、それは果実中の水分含量および果肉乾物重が低下しているためである。

以上のような果実発育に関連して、障害果が発生する時期は外見的に5月下旬頃から認められるという報告¹⁰⁷⁾もあるが、ポット試験のような特殊な実験ではその時期に認められるものの、一般的に二十世紀や長十郎では8月上旬頃である(Fig. 3-1, 3-18)。このように、障害果の外見的発現は8月上旬であるが、それが次に述べる果実内成分の変化の反映した結果として見るなら、内的変化は7月上旬以降である。しかし、果実発育差から見れば6月下旬からになり、判断基準によって異なってくるのは当然と考えられる。また、この6月下旬は細胞肥大前期にあたり、1果中ないし果実半切断面内における細胞数、および石細胞群の量的発達では健全果と障害果の差異が認められなかったことから判断すれば、細胞肥大前期以降の6月下旬ないし7月上旬頃の成分の質的变化を著しく誘起していることが考えられる。

Ⅳ 果実内成分の変化

硬化障害果は果実に発現する症状であるため、果実分析を行ない、その差異を明らかにすることは最も必要な調査方法である。

一般に、果実分析を実施すると無機成分の含量(対乾物%)は果実発育とともに低下するが、それは果実発育が受精直後から成熟期までの間に約100倍に増加し、また、成熟期には水分含量が90%以上になるためである。そのような変化をするなかで、障害果と健全果における無機成分含量の差が小さいこともあって、厳密な試料採取条件を設定しない限り、明らかな有意差を認めにくくなっている。

しかしながら、果実発育を個体発育という観点でとらえて、1果中にとりこまれる成分含量、すなわち、絶対

量(mg/果)として表示した際には各成分とも増加し、障害果と健全果の間における差異も顕著になり、その判別も明らかになった(第3章第1節)。そこで、障害果は健全果よりも果実発育が劣っていることでもあり、それらを加味した絶対量と対乾物%とで、どちらが硬化障害果の発現に密接な関係を持っているかについて検討した(第3章第3節)結果、対乾物%よりも絶対量表示の方が有効な表示法であることが判明した。

以上のように、絶対量表示が有効な表示法であったが、第3章第4節で行なったように、障害果を発現程度別に分け、ほぼ同じ大きさの果実を分析しても同様の結果が得られた。すなわち、発現程度が著しくなるにしたがってチッ素およびカルシウム含量が低下し、第3章第1節の季節的变化においてもカルシウム絶対量の低下が顕著であった。チッ素およびリン含量は季節的变化ではやや多く、カリウム含量はやや増加していたが、それらは熟度や果実の大きさなどの条件によって変化する範囲内の少ない量であった。したがって、障害果が発現するカルシウム含量は、二十世紀の平均的果重280gの果実中对乾物%で0.047%、1果中の絶対量で10mg以下、長十郎の平均的果重310gの果実中に0.057%、1果中の絶対量で20mg以下であろうと結論した。

つぎに、果実中の糖含量は比較的多く含まれているため、対新鮮重%でも障害果と健全果における差は充分認められた。

障害果は全糖および還元糖が少ないとする報告^{102,107)}があり、甘味が少ないことでは共通した見解であった。しかし、分別定量が行なわれていないため、糖代謝や細胞壁成分との関係にまで言及されていない。

本研究では、果実発育とともに障害果は健全果より果糖およびショ糖が低下し、ブドウ糖とでんぶんの増加が明らかになり、また、障害果の発現程度別においても、果糖の低下とブドウ糖およびでんぶんが増加していることを明らかにした。このように、障害果にはブドウ糖が多くショ糖が少なかったことは、ブドウ糖からショ糖への変換能力がカルシウム欠除によって低下していることが考えられる^{25,141)}。ほか、でんぶんが残存していることは分解酵素であるホスホリラーゼが低下していることも考えられる。でんぶんはよく知られているように、アミロースとアミロペクチンからできており¹⁴¹⁾、それらはブドウ糖の結合したものであることから明らかなように、糖の構成に異常をきたしているものと思われる。

硬化障害果は果肉硬度が著しく高まっていることは明

らかであるが^{7,30,49,131)}、それは石細胞群の量的変化によるものではなく、細胞壁成分が変化したことによるためである¹⁶⁷⁾。細胞壁成分は基本構造をなす α -セルロースのミクロフィブルスと、それを囲む非セルロース性多糖類、すなわち、ペクチン質とヘミセルロースとからなっており、また、分化した型でリグニンも含まれていることが知られている¹⁴¹⁾。

本研究では、二十世紀の障害果は健全果よりも熱水ペクチンと酸化リグニンが増加しており、セルロースが新鮮果肉中でやや多かった。また、長十郎の細胞壁成分は二十世紀の分析法と異なった方法で行なったが、障害果の発現程度が増すにしたがってペクチン類が増加し、新鮮果肉中におけるセルロース、ヘミセルロースも増加しており、二十世紀と類似した結果を示した。

ペクチンはガラクトロン酸が $\alpha-1, 4$ 結合したものであるが、リグニンはフェニルプロパンの重合体で CO_2 からキシミ酸経路、ケイ皮酸経路を経て合成されるので²⁵⁾、障害果のペルオキシダーゼ活性の高まりは予想される。いずれにしろ、障害果における細胞壁成分、とりわけ非セルロース性多糖類およびリグニンの増加が果肉硬化に直接関与しているものと推察した。

V 葉内成分の変化

障害果発生樹の葉内成分は、二十世紀についての経時の変化として、チッ素、リン、およびカリウム含量が健全樹葉よりやや多く、カルシウムおよびマグネシウム含量は低下していた。一方、長十郎ではチッ素およびカルシウム含量は障害果発生樹葉に少なく、リンおよびカリウム含量がやや多く含まれていた。これら、両品種で共通した傾向を示したのはリン、カリウム、およびカルシウム含量であり、果実内成分の消長と一致した結果を示していた。

これらの各成分は、対策試験として実施した石灰の葉面散布および土壌改良の結果では、障害果発生樹の葉のチッ素およびカルシウム含量は増加し、リンおよびカリウム含量は減少する傾向を示し、マグネシウム含量は多少変動が見られた程度であった。したがって、障害果発生樹の葉のカルシウム含量が果実と同様、著しく減少していたことは障害果発生に関与していると考えられ、チッ素、リン、およびカリウム含量は二次的に関連しているものと思われた。

VI 果実および葉の呼吸代謝の変化

果実の呼吸作用は受精直後から幼果期にかけて高く、果実発育とともに低下することが知られている^{106,159)}。

しかしながら、硬化障害果は梅雨期後半の7月中旬頃から健全果より O_2 吸収量に対し、 CO_2 放出量が異常に高まり、その結果、呼吸商(RQ)も高まった。そうしたRQの高まりは収穫期まで続いているため、果実の熟度が健全果より1週間から10日も促進されており、硬化している割には日持ちが悪くなっていた。

さらに、葉の呼吸作用は、6月下旬から7月下旬までの梅雨期間中に健全樹の葉の CO_2 放出量が著しく低下したのに対し、障害果発生樹の葉はほとんど変化しなかったため、その間の差が認められた。8月初旬以降は健全樹の葉が高まったが、終始障害果発生樹の葉が高い値を示した。こうした果実および葉の呼吸作用の高まりが蒸散量の増加となり、果実および葉内の水分不足の高まりや、水分ポテンシャルの低下¹¹⁴⁾となって表われたものと思われる。

以上のように、果実および葉の呼吸作用の異常は、先の糖構成の変異と関連して考えると、呼吸、すなわち、糖の酸化によりATP生産が促進され、グルコースを原料とするエネルギーは成分の合成や細胞構造に影響していることが推察される。したがって、細胞壁成分としてのペクチンやリグニンの増加となって表われているものと思われる。

VII 硬化障害発生樹の根の生理機能

根の養分吸収は、主として先端の若い部分で行なわれ、吸水能力は根毛帯で行なわれていることが知られている⁸⁷⁾。とくに、塩類の吸収は根の分裂帯でもっとも多く行なわれ、この部分は呼吸作用が盛んに行なわれている場所でもある。このように、吸収機能の勾配と呼吸作用の勾配とが一致しており、塩類の吸収には盛んな呼吸・代謝作用を必要とすることがよく説明されている³⁹⁾。

障害果発生樹の根は、健全樹の根に比較して、塩類、とくにカルシウムの吸収量が低下しており、その上、TTC還元力および α -NA酸化力も劣っていたことは、呼吸代謝が低下していたためと考えられる。とくに、酸化力の低下は土壌中の三価などの鉄イオンや硫化水素などの影響により⁸⁷⁾、根の生育阻害を引き起しているものと思われる。

根自体の無機成分含量では差が認められなかったが、

果実および葉中の含有割合が障害樹で低下していたことは、そうした根の塩類吸収能力の低下した反映として表われたものであろう。

また、根の吸収機能の低下は土壌条件が悪化した結果もたらされているものであり、実態調査の結果からも明らかのように、 pH (H_2O , HCl), 置換性カルシウム, 全カルシウム, 石灰飽和度などの低下によっておこっているものと思われる。とくに、土壌中の石灰飽和度が 40 % 以下のときに障害果発生が表われやすいものと推論した。

VIII 硬化障害果発生の品種間差異

硬化障害果が全国的規模で発生し、多くの品種で発現している現状では、発生しない品種を明らかにしておくことも更新の際に必要なことといえる。

これまでの調査や、高接試験の結果^{49,134)}から整理してみると幸水、新水、新高の三品種は複数以上の報告で硬化障害果の発生しないことが明らかにされている。また、石井早生、旭、雲井、君塚早生、真鍮、新興、新雪なども発生しない品種として報告⁴⁹⁾されているが、本研究では新雪以外、発生品種に属している。これら赤ナシは、判断基準の差異にもよろうが、果皮が硬いこともあって二十世紀などより判別しにくいことや、発生しても発現程度が比較的軽いため、発生しない品種に分類されていたものと思われる。

東京都農業試験場育成品種の“多摩”は祇園×幸水であるが非発生品種幸水の影響を受けた面もあり、また、都内で育成された“稲城”は八雲×新高（非発生品種）からの交配品種である。両品種とも非発生品種が交配親として用いられているのは興味深い。

したがって、現在まで障害果の発生が確認されていない品種は新水、幸水、多摩、稲城、新高の 5 品種ということになる。

IX 硬化障害果発生の要因分析

これまで、樹体の生長、果実発育および成分の変化、果実および葉の呼吸作用、根の生理代謝など、個々の面で障害果発生の原因について考慮してきた。しかし、ほ場に植えた状態のナシの樹は、それぞれの要因が動的な関連性をもって生育を支配され、そうした条件下で障害果が発生しているのであるから、その関連の上になって分析し、その対策を講じなければならないことはいうまでもない。

本実験では、実態調査、障害果の発現程度、細胞壁成分、呼吸作用および品種別の質的变化について、調査した各項目が障害果発生にどのような関連性をもって影響を及ぼしているかを、多変量解析としての主成分分析および変数選択型重回帰分析により検討した。

第 1 章の実態調査に関して、主成分分析を行ない、その結果、果実中のカルシウム、果糖、土壌中のカルシウム、 pH (KCl) などが関連する特性として見出された。続いて、果重に対比して pH (H_2O), 石灰飽和度、でんぶんなどであった。また、重回帰分析では障害果発生率 (Y) に影響を及ぼす要因は、果実中のカルシウム、続いてでんぶん、果重、還元糖の順であった。

そこで、二十世紀の障害果を発現程度別に分けたグループについて主成分分析を行なった。障害果は第 1 主成分では、でんぶん、全糖、還元糖、果糖、チッ素、カルシウム含量などの総合特性値によって明瞭に区別された。したがって、これらの成分の多少が障害果発現程度と極めて密接な関係にあることを知った。重回帰分析では、発現程度 (Y) に対して関連する要因は果糖、カルシウム、チッ素の順であった。

一方、長十郎について、二十世紀と同様、障害果を発現程度別に分けたグループについて主成分分析を行なった。障害果は第 1 主成分では、でんぶん、全糖、還元糖、滴定酸、カルシウム含量などの総合特性値によって区別された。

このことは、これらの成分の多少が障害果発現程度と密接な関係にあることを意味している。

さらに、二十世紀の障害程度に果実中の呼吸量を加えて主成分分析を行なった結果（第 4 章）、第 1 主成分では RQ 、カルシウム、全糖、果糖などが、第 2 主成分ではブドウ糖、ショ糖、カリウム、 O_2 吸収量、 CO_2 放出量などが障害果発生と密接な関係にあることが明らかとなった。

以上の結果からも明らかなように、障害果の発生率や発現程度に密接に関連する主要因は、果実中のカルシウム、果糖、でんぶん、 RQ などであった。続いて、無機成分としてチッ素、リン、カリウムなどであり、糖としてはショ糖、全糖、還元糖、ブドウ糖、土壌では置換性カルシウム、 pH (H_2O , KCl), 石灰飽和度などが重要な要因として選出された。

そして、それら関連する要因から硬化障害果の特徴を総合的に分類してみるならば、二十世紀では Fig. 3-32 および Fig. 4-11 のように、長十郎では Fig. 3-36 のよ

うに明らかに区別することができた。

このような結果が得られたことは、これらの要因を増加ないし減少させることにより、障害果の発生を防止する可能性があることを示唆しているといえる。

以上、これまでの結果から、ニホンナシの硬化障害果の発生機構について図示したものがFig. 9-1である。

硬化障害果は、土壌条件の悪化が根の機能に影響を及ぼし、根の活力および養水分の吸収力の低下となって現われ、その結果、果実および葉内成分の代謝異常を誘発し、果実の硬化現象となって表われてくるものと思われる。

X 硬化障害果の発生防止対策

第I部で、硬化障害果の発生現象について明らかにしたが、第II部ではそれらの結果を参考にして、発生防止対策を実施した。とくに、障害果発生に大きく関与していたカルシウムについて、樹上処理(葉面および果実浸漬処理)ないし土壌改良の面から施用した。

樹上処理として、 CaCl_2 0.5%および CaCO_3 1%葉面散布処理が多少効果のある結果を示した。また、葉面散布により果実内成分、とりわけ、カルシウム、果糖およびショ糖の増加と、カリウム、ブドウ糖、でんぶんの減少傾向を示したが、4回散布でも約10%程度の発生率の低下であったことから判断するならば、実効的効果までには至らなかった。

石灰の果実浸漬は、 CaCO_3 の処理回数が多い区ほど効果を認め、4回処理で約30%の発生率低下を示した。また、果実内成分の変化も処理回数が多い区ほどカルシウム、果糖、ショ糖の増加と、チッ素、リン、カリウム、ブドウ糖、でんぶんの減少が認められた。

以上のように、葉面散布および果実浸漬処理は発生率がやや低下し、果実内成分にも影響を及ぼしたが、低下率が少なかったことから判断するならば、これらの方法は補助的対策として利用できる程度のように思われた。

硬化障害果を根本的に軽減もしくは防止させるためには、土壌改良による方法が最も重要であることはいうまでもない。しかしながら、これまでの多くの研究では土壌改良の必要性を強調した報告^{7,31,33,49,107,114,118,125,135)}は多いが、土壌改良を実施して効果を認めた報告^{49,68)}はあまり多くない。

本研究では、始めにポット試験により厳密に土壌を改良した際の防止効果の可能性と、土壌が過湿や乾燥状態におかれた際の防止効果の低下について基本的に明らか

にした。さらに、実際のは場において効果的な土壌改良の方法を加味して、数年間連続して改良効果を検討したものである。

ポット試験では、石灰施用による発生防止効果は2年次から発生率が約20%に低下し、その後の年次的変動でも徐々に低下する傾向が認められた。一方、は場試験では石灰施用量の多い1樹当り CaO_2 6kg区(200kg/10a)が年次的に漸減し、重症果の発生割合も少なくなったが、 CaO_2 1kgでは、気象など他の条件の影響を受け、減少傾向が小さかった。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6kg区や CaO_2 3kg区は CaO_2 6kg区ほどではないが、年次的に減少する傾向が認められた。さらに、参考までに同一方法で40~55%の障害果発生樹に実施した区では、4年次には発生がまったく認められなくなり、軽症の発生樹では短い年数で回復することが明らかとなった。

以上のように、83%以上の障害果発生樹が容易に回復しにくい理由として、土壌の量的な改良の困難さが反映しているものと思われる。すなわち、本研究で実施した方法は、単年に巾40cm、深さ30cm、長さ2.4mの溝状8本掘起法であり、これは樹冠下土壌全域の約38%にあたり、100%の改良するためには3年を必要とする。仮に、3年で終了したとしても、ナシの根は垂直的分布として、西本・岸本¹¹⁰⁾によれば深さ30cmまでの根量はニホンナシ台で77.5%という垂直的分布状態を示し、養分吸収に関係の深い細根量は深さ30cmまでに57.4%、深さ30cmから60cmまでの間に31.4%分布しており、残りは深さが60cm以上の深層に存在していると報告していることから判断すれば、深さが30cm以上の深層の改良が不十分になっていることになる。は場試験の場合、そうした根の分布が、ポット試験のように顕著な効果が現われにくくなっており、障害果発生率が7年次に半減の約35%まで漸減した主要因をなしているものであり、深さが30cm以下の土層に石灰や有機質が徐々に浸透して影響を及ぼしているためと考えられる。

このような、石灰による土壌改良の効果は発生率の低下と関連して、障害果内の成分の質的变化も認められた。

ポット試験では、土壌の標準湿度処理(pF 2.2)では、果実中カルシウム、果糖、およびショ糖含量が増加し、チッ素、リン、カリウム、ブドウ糖、ソルビトール、およびでんぶんの減少が認められた。さらに、は場試験でも、障害果発生率の低下とともに、果実中のカルシウム、果糖、およびショ糖含量の増加、そして、ブドウ糖、ソ

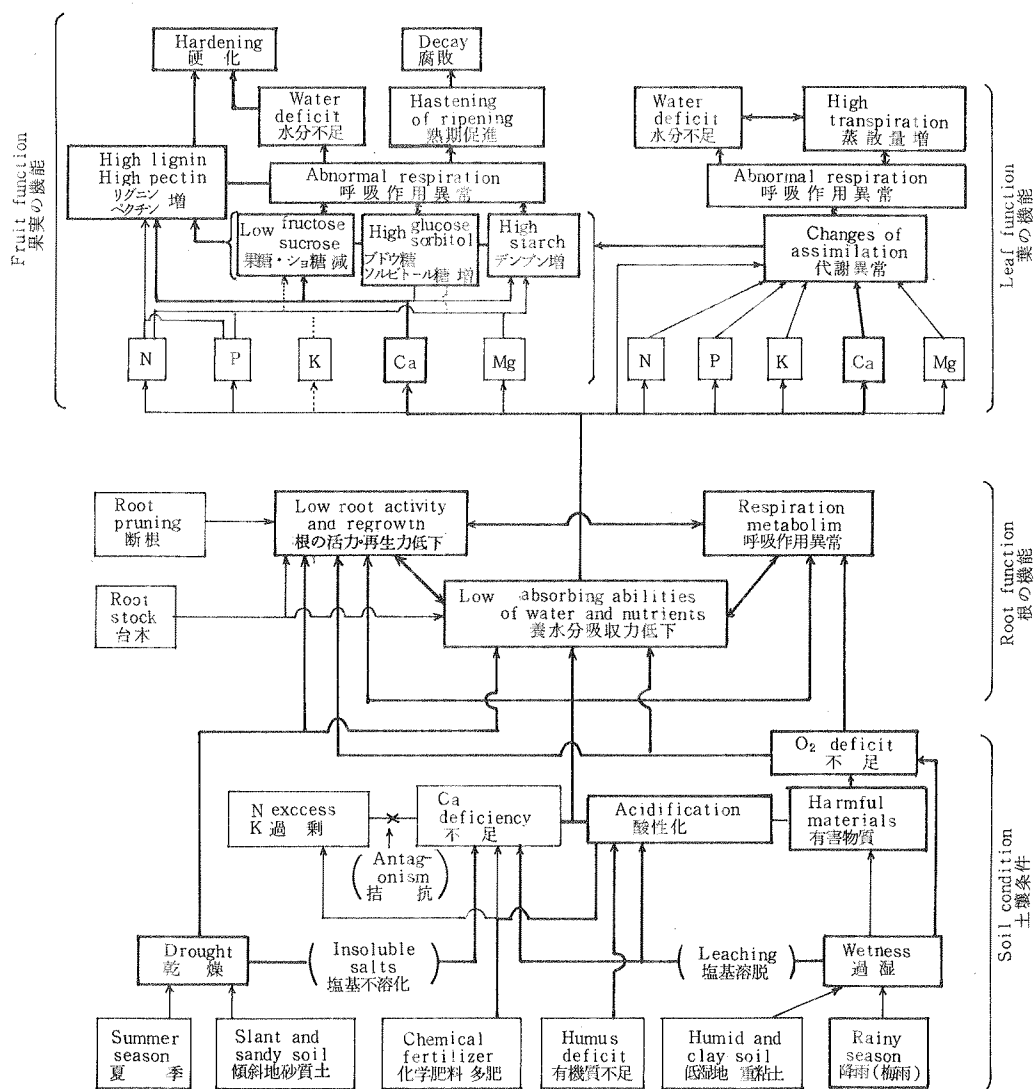


Fig. 9-1. The occurring mechanism of the physiological disorder of fruit hardening in Japanese pear.

Blod and real lines denote in close and shight relationships and clotted line have not relatimship.

ルビトール、でんぷん、および果肉硬度が減少した結果は、ポット試験と同じ結果であり、石灰施用の効果として健全樹の健全果に類似した成分組成になっていることを意味している。

しかしながら、石灰を施用しても土壤条件が過湿(pF 1.3)や乾燥(pF 2.6)状態では、石灰の溶脱や不溶化が起っているため、障害果発生率の低下はあまり期待できず、果実中のカルシウム、果糖、ショ糖含量の増加やブドウ糖、ソルビトール、でんぷん、果肉硬度の減少などが認められず、その上、果実のCO₂やC₂H₄放出量の増加する傾向が認められた。

以上のような、石灰施用の効果は土壤が改良された結果現われたものであるが、土壤の変化はpH、置換性カルシウム、全カルシウム、石灰飽和度などで増加がみられ、腐植、全チッ素、Y₁などの低下が認められた。こうした土壤の改良にともなって障害果発生樹の根も再生されており、活力のある細根が多くなりつつあることが認められた(Fig. 8-10)。

石灰施用による発生防止の効果はこれまでの個々の考察からもほぼ推察することができるが、第I部の障害果発生率に関する要因分析で実施した多変量解析を、障害果が減少した結果についても行なうことにより、石灰施用の効果がどのように影響を及ぼしたかを理解することができる。すなわち、土壤改良により発生率の変化に関連する要因として、ポット試験では、果実中のカルシウム、果糖、葉中のカルシウム、果実のCO₂、でんぷんなどが密接な関連にあることが明らかとなり(Fig. 8-6)、また、は場試験では障害果発生率とでんぷん、ソルビトール、果糖、ショ糖、ブドウ糖、硬度、果実中カルシウ

ム、同リン、葉中カルシウム、同リン、土壤中のpH(KCl)、置換性カルシウム、Y₁などが関係していることが明らかになった(Fig. 8-11)。これらの結果はポット試験及びは場試験でもほぼ同様であった。

さらに、これら選抜された要因から各試験処理を分類した結果、ポット試験では土壤の標準湿度処理、過湿処理、および乾燥処理の各区に分けられ、それぞれの障害果と健全果の間でも区別することができた(Fig. 8-7)。一方、は場試験でも、障害果発生樹に石灰を多量施用した区は、対照区や石灰少量区より健全樹に近い位置に分類することができた(Fig. 8-12)。双方の結果から、石灰施用は果実のブドウ糖、ソルビトール、およびイノシトールなどの変化に多少不十分な面が残されているが、大部分の成分割合では健全樹の果実に近づいており、見方を変えるならば、土壤改良の顕著な効果の反映として変化しているものと理解することができる。

以上の結果から、石灰施用による土壤改良の効果が、活力のある根の発生を促し、養水分の吸収力が高まり、その結果、障害果発生が抑制され、果実発育が良好になり、果実内成分が変化するというFig. 9-1に示した一連の関係が改善されてくるものと思われる。

したがって、効果的な障害果発生防止対策は根の伸長している土壤をまんべんなく改良することはいうまでもないが、過湿土壤ではまず排水対策を講じ、また、乾燥土壤では有機質などを充分に施して保水力を高め、さらに、かん水対策を講じた上で、土壤改良を実施する必要がある。以上のような観点から、数年間にわたって土壤改良を実施することが障害果発生防止の根本的な対策になることを解明した。

第 10 章 総 摘 要

ナシ栽培において、高品質の果実を生産することは基本的な課題であるが、ナシが生理的に硬化する“石ナシ果”“ユズ肌果”と呼ばれている症状は、品質を著しく低下させ、商品価値がなくなるため、ナシ生産者にとって重要な問題になっている。この症状は 1900 年初期からすでに発生が確認されており、全国的規模で発生が見られている。

都内の生産地でも大部分の果樹園で発生が認められており、観光、直売を主体にした経営では高品質の果実生産が望まれていることから、これら、障害果の発生原因の究明と発生防止の対策が早急に要望されている。

本研究では、第Ⅰ部で発生原因について、実態調査、樹の生育、果実発育、果実成分の変化、呼吸代謝、根の生理代謝などの面から検討し、発生の機作を数理統計的要因分析を試みて明らかにした。さらに、第Ⅱ部では、発生防止対策として、石灰施用による効果を樹上処理、土壌改良、果実発育、果実内成分の変化、呼吸代謝の面から実証し、技術的な防止対策を確立した。それらの成績の概要は以下のとおりである。

1. 硬化障害果発生樹の果実生産力

障害果発生樹は、外見的な生育ではほとんど差が認められなかったが、年次の調査では新梢発生本数、新梢伸長量とも健全樹より劣っており、また、果実生産力としての着果数、1 果平均重および 1 樹当たり収量でも劣っていた。

樹冠の着果部位別における障害果発生率を調査するため、萌芽する徒長枝を摘除、あるいは、着果数を 40 % 減少させて観察した結果、必ずしも徒長枝と果実の水分競合や、樹体内の養分の量的配分に影響されているように思われなかった。さらに、障害果発生樹と健全樹の花芽（短果枝）を交換して接木した結果、健全樹の花芽には障害果が認められなくなり、伝染性の原因によるものではないことが判明した。

2. 硬化障害果の果実発育および果実内成分の変化

障害果の果実発育は、細胞肥大が著しくなる 6 月下旬頃から健全果との間で差が認められ、これは果実中の水

分含量と細胞構成物質の増加上の差によってもたされていた。さらに、果実発育に関連して、障害果の発生する時期は、外見的には 8 月上旬頃であったが、果実肥大上の差では 6 月下旬であり、果実内成分の変化では 6 月下旬から 7 月上旬頃であった。

果実内無機成分の季節的变化では、障害果は対乾物%でチッ素、リン、カリウム、マグネシウム含量が多かったが、1 果中に含まれる絶対量では差が少なくなった。また、対乾物%で差が認められなかったカルシウムは絶対量では健全果に著しく多くなった。

これまで、果実内の無機成分は主に対乾物%表示で行なわれてきたが、果実発育とともに対乾物%は減少するため、障害果と健全果の間における差が僅少になり、比較がきわめて困難な面があった。そこで、硬化障害果のように、果実の発育旺盛な時期に発生する症状では、対乾物%と 1 果中に含まれる絶対量 (mg/果) とでどちらが有効な表示法であるかを要因分析した結果、絶対量による表示が適切であることが明らかとなった。

障害果の発現程度別では、障害が著しくなるにしたがって、チッ素およびカルシウム含量が低下し、リン含量はやや増加した。とくに、カルシウム含量の変化が著しく、障害果が発現する際のカルシウム含量は、二十世紀について果重 280 g の果実では対乾物%で 0.047 %、1 果中の絶対量では 10 mg 以下、長十郎では果重 310 g の果実では対乾物%で 0.05 %、絶対量では 20 mg 以下であろうと結論した。

つぎに、果実中の糖含量について、障害果は時期別変化でも、発現程度別でも果糖およびショ糖が低下しており、ブドウ糖およびでんぷん含量が増加していた。とくに、果糖およびショ糖の低下が著しかったために、還元糖および全糖含量も低下していた。こうした糖構成の異常は、カルシウムが低下したことや、呼吸作用が異常に高まっていることとも密接に関係しており、その結果、熟度へも影響を及ぼしていることが明らかとなった。

さらに、障害果の果肉硬度の高まりは、石細胞群の増加によるものではなく、細胞壁成分、とくに、セルロースや、それらを囲む非セルロース多糖類（ペクチンとヘミセルロース）およびリグニンの増加などによって起っていることが明らかとなった。

3. 硬化障害果発生樹の 葉内成分の変化

障害果発生樹の葉内成分は、二十世紀でチッ素、リン、およびカリウム含量が健全樹よりもやや多く、カルシウムおよびマグネシウム含量は低下していた。また、長十郎ではチッ素およびカルシウム含量が障害果発生樹葉に少なく、リンおよびカリウム含量がやや多く含まれていた。両品種とも共通した変化を示したのは、リン、カリウム、およびカルシウム含量であり、とくに、カルシウム含量の低下が著しく、それらは果実内成分の消長と一致していた。

4. 硬化障害果および葉の 呼吸代謝の変化

障害果の呼吸作用は、梅雨期後半の7月中旬から健全果よりもCO₂放出量が高まり、その結果、RQも高い値を示した。そうしたRQの高まりは収穫期まで続いたため、熟度も健全果より1週間から10日ほど促進され、日持ちが悪く、てい部から腐敗した。

葉の呼吸作用は、6月下旬から7月下旬まで健全樹の葉のCO₂放出量が著しく低下したのに対し、障害果発生樹の葉はあまり低下しなかったため、この間のRQの差も認められた。8月以降、健全樹の葉のRQも増加したが終始障害果発生樹の葉の方が高い値を示した。こうした果実および葉の呼吸作用の変化は、先の糖代謝の異常とも関連しており、その結果、果実および葉内の水分不足に影響を及ぼしたものと思われる。

5. 硬化障害果発生樹の 根の生理機能

障害果発生樹の根は、健全樹の根よりもカルシウムの吸収量が低下しており、また、根の活力としてのTTC還元力および α -NA酸化力も劣っていた。それらの根の活力低下は、根の吸収量の低下とも密接に関係しており、さらに、土壌の悪変、土壌中の有害物質により根の生育阻害の影響を受けた結果、細根量が少なくなっているためとも思われた。

そうした根の減少と吸収機能の低下は、土壌中のpH、置換性カルシウム、全カルシウム、石灰飽和度などの低下による土壌の悪変に起因しており、石灰飽和度が40%以下の際に障害果が発生しやすいものと推論した。

6. 硬化障害果の発生品種

これまで、青ナシに対し、“ユズ肌果”，赤ナシに対し“石ナシ果”と呼ばれてきた硬化障害果は100%障害が発生している早生二十世紀に各品種を高接検定を行なった結果、外見的にも、果実内成分の変化としても同一原因により発生していることが確認できた。また、当場で保存している39品種について検討した結果、現時点で新水、幸水、多摩、稲城、新高の5品種が発生しない品種として確認した。

7. 硬化障害果発生の要因分析

硬化障害果の発生要因分析のために、多変量解析の主成分分析および変数選択型重回帰分析により実施した。実態調査の障害果発生率に関連する要因、二十世紀および長十郎の障害果発現程度別の要因分析、二十世紀の発現程度別における果実内成分と呼吸量との関係の要因分析などを行なった結果、障害果発生に関連する主要因として、果実中のカルシウム、果糖、でんぷん、RQなどであった。続いて、無機成分としてチッ素、リン、カリウム含量が、糖ではショ糖、全糖、還元糖、ブドウ糖などが、土壌では置換性カルシウム、pH(KCl, H₂O)、石灰飽和度などがとり出された。これらの要因を要約した第1主成分に基づいて障害果を分類した結果、発現程度別に区別することができた。さらに、それらの結果から、障害果の発生機構のモデルを作成した。

8. 硬化障害果の発生防止対策

第I部で明らかにした障害果の発生原因を参考にして、発生防止対策のために石灰の樹上処理と土壌改良を実施した。

各種石灰を葉面散布した結果では、CaCl₂ 0.5%とCaCO₃ 1%4回処理が約10%の発生率の低下を示し、果実内成分も矯正されていた。さらに、CaCO₃の果実浸漬では、4回処理で約30%の発生率の低下を示したが、発生率の軽減割合から判断するならば、これら樹上処理は補助的対策として利用できる程度のように思われた。

つぎに、土壌改良として、ポット試験において厳密に土壌を改良した結果、2年次から約20%に発生率が低下し、その後も徐々に減少した。一方、は場試験では、1樹当りCaO₂ 6kg区(200kg/10a)が年次的に減少する効果を示し、7年後には約35%までになった。しかし、CaO₂ 1kg区は3年次以降減少傾向は認められな

くなり、 CaO_2 3 kg区や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 kg区は徐々にではあるが低減し、7年次で52～54%になった。また、発生率が40～55%の樹についても、参考までに実施したが、4年次以降発生が認められなくなり、軽症の発生樹ほど短年次で回復することが明らかとなった。

さらに、土壌改良の結果、障害果は果実内成分のカルシウム、果糖、ショ糖含量が増加し、ブドウ糖、ソルビトール、でんぷんが減少し、健全果に近い成分構成になった。

以上のように、土壌への石灰施用により、障害果発生防止の可能性を明らかにしたが、ほ場試験ではポット試験のように早く効果が認められなかったことは、細根が

分布している深さ30 cm以下の土壌改良が不充分であったためであろうと推測した。また、土壌が過湿状態(pF 1.3)や、乾燥状態(pF 2.6)では、石灰の溶脱や不溶化が起っているため、障害果の発生率の低下や果実内成分の変化、および果肉硬度などの回復があまり期待できないことも明らかになった。したがって、そうした土壌では排水対策や、土壌の保水力の増加およびかん水対策を講じた上で土壌改良をする必要があると思われた。

以上のような観点から土壌改良を実施すれば、活力のある根の発生を促し、養水分の吸収力が高まり、その結果、障害果発生も抑制され、果実発育および果実内成分の変化も改善されてくるものと思われる。

引用文献

1. Ackley, W. B. 1954. Seasonal and diurnal changes in the water contents and water deficits of Bartlett leaves. *Plant Physiol.* 29 : 455 — 488.
2. ————. 1954. Water contents and water deficits of leaves of Bartlett pear trees on the two rootstocks, *Pyrus communis* and *P. serotina*. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 64 : 181 — 185.
3. Aimi, R., and K. Fujimaki. 1958. Cell-physiological studies on the function root I. Chemical and enzymatic constitution associated with the structural differentiation of root in rice plant. *Proc. Crop sci. Japan.* 27 : 21 — 23.
4. 相見霊三・藤巻和子. 1959. 根の機能に関する細胞生理的研究 II. 水稻根に於ける α -NA酸化力の細胞内分布とTTC還元力との関係について. *日作紀* 28 : 205 — 207.
5. ————. 1960. TTCによる根の活力診断法. *農及園*. 35 : 1345 — 1346.
6. 安藤茂市・岩垣駿夫. 1937. 灌水が和梨二十世紀樹の生育並に果実の發育, 形質に及ぼす影響(第2報). 和梨灌水試験成績. *園学雑*. 8 : 252 — 267.
7. 荒木均・広部康夫・西元直行・大野正夫・永沢勝雄. 1973. 和ナシ長十郎の石ナシに関する研究. *千葉大園芸学部学術報告* 21号. 1 — 7.
8. 浅見与七. 1947. 果樹栽培汎論(剪定及摘果編). 養賢堂.
9. 葦沢正義. 1964. 香川県における葡萄の旱害に関する研究. *香川大学農学部紀要*. 17 : 1 — 69.
10. Bangerth, F., D. F. Dilley, and D. H. Dewey. 1972. Effect of postharvest calcium treatments on internal breakdown and respiration of apple fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97 : 679 — 682.
11. ————. 1976. A role for auxin transport inhibitors on the Ca content of artificially induced parthenocarpic fruits. *Physiol. Plant.* 37 : 191 — 194.
12. Bramlage, W. D., M. Drake, and J. H. Baker. 1974. Relationships of calcium contents to respiration and postharvest condition of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99 : 376 — 378.
13. Davis, L. D., and W. P. Tufts. 1935. Black-end of pears III. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 33 : 304 — 315.
14. ————, and N. P. Moore. 1935. Black-end of pears IV. PH of Bartlett pear fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 33 : 316 — 322.
15. Drake, M., W. J. Bramlage, and J. H. Baker. 1974. Correlations of calcium content of 'Baldwin' apples with leaf calcium, tree yield, and occurrences of physiological disorders and decay. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99 : 379 — 380.
16. Eaks, I. L. 1970. Respiratory response, ethylene production, and response to ethylene of Citrus during ontogeny. *Plant Physiol.* 45 : 334 — 338.
17. 遠藤融郎. 1973. 和梨果実の日肥大周期に関する研究. *広島果試特別研究報告* 第1号 : 1 — 126.
18. ————. 1975. 和ナシ果実の日肥大周期に関する研究(第6報). 果径の日肥大周期と土壌湿度との関係. *園学雑*. 44 : 248 — 259.
19. Esau, P., M. A. Joslyn, and L. L. Claypool. 1962. Changes in water-soluble calcium content of pear fruit tissue during maturation and ripening in relation to changes in pectic substances. *J. Food Sci.* 27 : 509 — 526.
20. Faust, M., and C. B. Shear. 1972. The effect of calcium on respiration of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97 : 437 — 439.
21. ————, and J. D. Klein. 1974. Leaves and sites of metabolically active calcium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99 : 93 — 94.
22. Ferguson, I. B., and E. G. Bollard. 1976. The movement of calcium in woody stems. *Ann. Bot.* 40 : 1057 — 1065.
23. 藤巻雪生. 1975. 園芸生産物統計〔日本園芸中央

- 会編, 日本園芸発達史〕有明書房.
24. 深井尚也, 1973. セイヨウナシの石ナシ・しり腐れの発生とその対策, 農及園, 48: 1307—1311.
 25. 古谷雅樹・宮地重遠・玖村敦彦編, 1972. 物質の交換と輸送, 朝倉書店.
 26. 橋本武・中村和弘, 1971. 施肥による土壌酸性化ならびに中和に関する研究(第1報), 土壌と肥料との化学反応ならびに硝酸化成による土壌pHの変化, 土肥誌, 42: 453—458.
 27. 林真二, 1955. 二十世紀梨の抽肌病に関する研究, (第1報) 葉及果実の浸透圧と抽肌発生について, 園学雑, 24: 94—102.
 28. ———, 脇坂幸雄, 1956. 果樹の湿害について, 園学雑, 25: 59—68.
 29. ———, ———, 1956. 二十世紀梨の抽肌病に関する研究, (第2報) 水分不足と抽肌発生について, 園学雑, 25: 116—124.
 30. ———, ———, 1957. ———, (第3報) 抽肌発生の解剖学的考察, 園学雑, 26: 178—184.
 31. ———, 1960. 梨, 朝倉書店.
 32. ———, 1961. 日本梨果実の発育に関する研究, 鳥取大学農学部園芸学研究室, 1—137.
 33. ———, 1968. ナシの生理障害〔鳥潟博高編, 果樹の生理障害と対策〕pp. 219—249. 誠文堂新光社.
 34. ———, 1979. 生理的障害, 災害, 病虫害〔小林章・苦名孝共編, 果樹園芸各論〕, pp. 28—31. 養賢堂.
 35. Hepper, M. J. 1927. Pear black-end and its relation to different root stocks. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 24: 139—142.
 36. 広田隆一郎・南条教光, 1971. 和ナシに対する非ホルダー剤の生理的影響とその軽減策としてのカルシウム剤の混用散布の効果, 鳥取果試研究報告, 7: 30—42.
 37. 宝月岱造, 1973. 植物の伸長生長とセルロース合成——新しい合成阻害剤 Dichlofenil, 化学と生物, 11: 710—712.
 38. 堀越弘毅, 1958. 還元糖および糖類, 〔関根隆光ら編, 生化学領域における光電比色法〕, 各論(2), pp. 27—38. 南江堂.
 39. 星川清親, 1972. 根の内部構造と機能, 〔古谷雅樹ら編, 物質の交換と輸送〕, pp. 46—55. 朝倉書店.
 40. 細井寅三, 1953. 梨の砧木に関する研究(第1報), 土壌湿度が砧木を異にする二十世紀の生長に及ぼす影響, 農及園, 28: 297—298.
 41. ———・遠藤融郎・岩崎一男, 1963. 砂耕における肥料三要素濃度とナシの樹体生長ならびに果実発育との関係, 園学雑, 32: 271—277.
 42. ———・門屋一臣・湯田英二, 1964. 細胞組織学的にみたナシ果実の発育と肥料三要素との関係(第1報), 4カ年継続の砂耕試験成績, 園学雑, 33: 29—34.
 43. ヒュイット, E. J. and A. T. スミス, 1979. 〔鈴木米三・高橋英一共訳〕, 植物の無機栄養, 理工学社.
 44. Huxley, J. S., and G. Teissier, 1936. Terminology of relative growth. Nature, 137: 780—781.
 45. 飯島隆志, 1968. 果実内の栄養成分, 〔小林章編著〕果樹の良品生産技術, pp. 121—182. 誠文堂新光社.
 46. 池田伴親, 1904. 果樹生態論, 成美堂書店.
 47. 猪瀬敏郎, 1967. ナシ栽培新書, 養賢堂.
 48. ———, 1968. ニホンナシの石ナシ, 〔鳥潟博高編, 果樹の生理障害と対策〕, pp. 250—265. 誠文堂新光社.
 49. ———・井上四郎・大友忠三・向井武勇・伊丹清・奥野隆, 1977. 石ナシに関する研究, 埼玉園試研究報告, 6: 1—35.
 50. 井上宏・末包正・木下隆, 1971. 温州ミカン幼樹の栄養生長ならびに結実におよぼす土壌湿度の影響について, 香川大学農学部学術報告, 23(1): 27—34.
 51. 石田雅士・山野出・傍島善次, 1966. 日本ナシの台木に関する研究 I. 台木実生の浸透圧と生育状況, 京都大学学術報告, 農学, 第18号: 23—28.
 52. 石原三一, 1925. 日本梨果実の発育に就て, 園芸之研究, 20: 214—222.
 53. ———, 1926. 本邦各地産梨「長十郎」果実の比較調査成績, 園芸試験場報告, 7: 1—35.
 54. Ito, A., and A. Fujiwara, 1967. Functions of calcium in to cell wall of rice leaves. Plant & Cell Physiol., 8: 409—422.
 55. 岩田秀夫・山下裕, 1939. 廿世紀梨における施

- 肥が根群の活動に及ぼす影響, 農及園, 14: 1534—1542.
56. ————, 1939, 二十世紀梨の根群の活動とその季節的变化, 園学雑, 10: 154—162.
57. 果樹の栽培新技術編集委員会編, 1978, 果樹の栽培新技術, 博友社.
58. 刈米達夫, 1967, 最新植物化学, pp. 36—61, 広川書店.
59. 河口至商, 1973, 多変量解析入門, pp. 35—52, 森北出版.
60. 川口正英, 1929, 日本梨の夏季剪定と副梢の伸長及び花芽の発生, 農及園, 4: 563—569.
61. ————, 1931, 日本梨に於ける葉面積と果実の發育に就いて(1), 農及園, 6: 583—588.
62. 川俣恵利・都田紘志, 1976, ナン園における生理障害果の発生実態とその要因解析, 東京農試研究報告, 9: 15—33.
63. ————, 1976, 石灰施用によるナンのユズ肌果発生防止対策, 農及園, 51: 1485—1490.
64. ————, 1977, ガスクロマトグラフィーによる果実類の糖構成に関する研究, 東京農試研究報告, 10: 53—67.
65. ————, 1978, 二十世紀ナンのユズ肌果発生における成分含量の時期別変化, 東京農試研究報告, 11: 25—34.
66. Kawamata, S. 1978, Occurrence of 'Yuzuhada', a physiological disorder of Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehd. cv. 'Nijis-seiki'), in relation to its nutrient content and respiration rates, Scientia Hort., 8: 143—153.
67. 川俣恵利, 1978, 日本ナン果実の硬化障害に関する研究(第1報), 二十世紀果実のユズ肌発現程度と成分含量との関係, 園学雑, 46: 449—456.
68. ————, 1979, 日本ナン果実の硬化障害に関する研究(第2報), 鉢植土壌への石灰施用と乾湿処理がユズ肌果発生に及ぼす影響, 園学雑, 48: 137—146.
69. ————, 1979, 二十世紀ユズ肌果の呼吸量と葉のWater balanceとの関係, 東京農試研究報告, 12: 3—9.
70. ————, 1980, 長十郎ナンの果実品質に関する研究, 東京農試研究報告, 13: 48—62.
71. 川島禄郎・陶山源一郎, 1940, 梨園土壌の反応と石灰飽和度に就いて, 併せて土性と石灰の浸透圧との関係, 土肥誌, 14: 345—351.
72. Kendall, M. G. 1957, A course in multivariate analysis, Charles Griffin & CO. LTD.
73. ————, 1975, Multivariate analysis, Charles Griffin & CO. LTD.
74. Kidd, F., C. West, D. G. Griffiths, and N. A. Potter, 1940, An investigation of the changes in chemical composition and respiration during the ripening and storage of conference pears, Ann. Bot., 4: 1—30.
75. 菊池秋雄, 1951, 果樹園芸学, (上巻, 果樹種類論), 養賢堂.
76. ————・小島博, 1931, 梨果の發育に伴ふ化学的成分の変化に就て, 農及園, 6: 19—30.
77. 木村光雄, 1952, 日本梨の根群に関する研究, 西京大学学術報告, 農学, 第3号: 1—64.
78. 岸本修, 1978, カキとナンにおける摘果とせん定の適正度に関する研究, 宇都宮大学農学部学術報告特輯, 第33号: 1—78.
79. 小林章・傍島善次, 1950, 梨園の機能障害と砧木の浸透圧, 農及園, 25: 887—888.
80. ————・島村和夫・池田勇, 1954, 果樹の耐水性に関する研究, IV土壌の酸化還元電位の低下と果樹種類間の抵抗性, 農及園, 29: 549—548.
81. ————, 1958, 果樹の栄養生理, 養賢堂.
82. ————, 1975, 果樹環境論, 養賢堂.
83. 小島博, 1933, 梨果の發育と化学成分の変化に就て(第1報), 農化, 9: 498—504.
84. ————, 1933, 梨果の發育と化学成分の変化に就て(第2報), 農化, 9: 504—510.
85. 近藤金助, 1929, 生食品の化学(第3報), 梨果の成分と気候, 農化, 5: 911—917.
86. ————・鈴木正之・島田勝吉, 1929, 生食品の化学(第4報), 梨果の糖分に就て, 農化, 5: 918—920.
87. 熊沢喜久雄・西沢直子, 1976, 植物の養分吸収, 東京大学出版会.
88. 樽谷勝, 1970, ブドウの早期落葉に関する研究, V. 梅雨期の湛水・多湿が早期落葉に及ぼす影響について, 香川大学農学部学術報告, 21: 207—215.

89. 黒上泰治, 1975, 果樹栽培技術の発達に関する展望, (日本園芸中央会編, 日本園芸発達史), 有明書房.
90. Lidster, P. D., and S. W. Porritt, 1978, Some factors affecting uptake of calcium by apples dipped after harvest in calcium chloride solution, *Can. J. Plant Sci.* 58: 35—40.
91. Magness, J. R. 1920, Investigations in the ripening and storage of Bartlett pears, *J. Agr. Res.* 19: 473—500.
92. Martin, W. E. 1937—38, Chemical studies of the ripening process of Bosc pears, *Bot. Gaz.* 99: 42—68.
93. Mason, J. L., and M. F. Welsh. 1970, Cork spot(pit) of 'Anjou' pear related to calcium concentration in fruit, *Hortscience*, 5: 447.
94. ———, and J. M. McDogald, 1974, Influence of calcium concentration in nutrient solutions on breakdown and nutrient uptake in 'Spartan' apple, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 318—321.
95. ———, B. G. Drought, and J. M. McDogald, 1975, Calcium concentration of 'Spartan' apple in relation to amount senescent breakdown in individual fruits, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100: 343—246.
96. 町田裕・田代俊生, 1968, ナシの肉質に関する研究, II, 日本ナシの肉質に関係する諸要素について, (第2報)細胞膜成分, 園芸試験場報告, A, 第7号: 93—110.
97. ———・松井仁, 1970, ナシ果実の果肉細胞膜成分に関する研究(第2報)硬化障害果における細胞膜成分, 農及園, 45: 377—378.
98. 松岡仲助, 1929, 果実の発育に伴ふ化学成分の変化に就て, 園芸之研究, No. 24: 付録1—26.
99. 松本五樓・勝木信一, 1940, 旱害に対する二三の化学的考察, (第3報)監害・その他, 土肥誌, 14: 289—299.
100. 三木泰治, 和梨の石細胞に関する二・三の観察, 園学雑, 6: 8—25.
101. 水野卓・金兵忠雄, 1963, 茶葉の澱粉定量について, 食品工誌, 10: 216—223.
102. 水野勉, 1938, 柚肌梨の形態的並に分析的研究, 農及園, 13: 1197—1204.
103. 森田修二, 1939, 土壌の酸化還元電位に関する研究(第1報), 果樹園及び茶園土壌の酸化還元電位と園の優良不良との関係に就て, 土肥誌, 13: 451—460.
104. 永沢勝雄, 1957, 果樹園芸汎論, 明文堂.
105. 永田武雄・松村喜久夫, 1966, 置換塩基の種類に関する研究(第3報), 置換塩基の放出について, 土肥誌, 37: 251—253.
106. 中川昌一, 1978, 果樹園芸原論, 養賢堂, pp. 306—312.
107. 中川慶実, 1940, 梨二十世紀柚膚化防止法の試験(予報), 農及園, 15: 2245—2252.
108. 中村三七郎, 1935, 温帯果樹(柑橘・柿・枇杷及梨)の根群の活動に関する研究, 園学雑, 6: 305—317.
109. 中村三夫・遠藤元庸・長田紘男, 1973, 富山市域和ナシ園のチッソ栄養診断, 岐阜大農研報, 34: 19—32.
110. 西村周一・岸本勇元, 1946, 梨二十世紀の柚膚果発生に関する試験(予報)園芸学研究集録, 第三輯, 49—59.
111. 農林省農林水産技術会議事務局監修, 土壌養分測定法委員会編, 1971, 土壌養分分析法, 養賢堂.
112. 農林省振興局研究部監修, 1968, 新撰土壌肥料全編, pp. 334, 養賢堂.
113. 緒方邦安, 1972, 青果保蔵汎論, pp. 22—26, 建帛社.
114. 岡村和彦・西村浩一・永松博, 1978, 二十世紀ナシの石ナシ発生防止に関する研究, (第1報)発生樹の水ポテンシャル値と気孔開度の季節的变化について 山口農試研究報告, 30: 45—54.
115. 奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉沢正, 1971, 多変量解析法, pp. 159—257, 日科技連.
116. 恩田鉄弥, 1975, 明治年間の果樹栽培史, (日本園芸研究会編・明治園芸史), pp. 52—58, 有明書房.
117. 太平幸次, 1969, 多量元素, [高橋英一ら共著, 作物栄養学], pp. 61—70, 朝倉書店.
118. 大野敏朗, 1970, 日本ナシのユズ肌・石ナシの発生とその防止対策, 農及園, 45: 395—499.
119. 大沢仲三, 1936, 本邦各地に産する支那梨慈梨の

120. 小曾戸和夫・数見秀次郎・小鷹正之・薔花雄,
1959, 果実類の糖分定量に関する研究(第2報),
次亜硫酸微量法による果実中の葡萄糖の定量, 農化,
33: 166—170.
121. 応用統計ハンドブック編集委員会編, 1978, 応用
統計ハンドブック, 養賢堂.
122. Perring, M. A. 1968, Mineral composition
of apples III. Further investigations into
relationship between composition and disorders of the fruit, J. Sci. Food Agri.
19: 640—645.
123. Ryugo, K., and L. D. Davis. 1968, Yuzu-
hada, a physiological disorder of oriental
pear, and its possible relation to Black-end
and Hard-end of Bartlett, HortScience,
3: 15—17.
124. 坂井弘・吉田富男, 1957, ムレ苗発生条件に関す
る研究, α -NAの定量法, 北海道農試彙報, 72:
82—91.
125. 佐々木生雄・佐藤雄夫・鈴木継明, 1973, 二十世
紀ナン園土壤の実態とユズ膚の発生要因, 福島園試研
究報告, 第4号: 11—23.
126. 佐藤公一・石原正義・原田良平, 1952, 果樹葉分
析に関する研究, (第3報) 梨園の葉分析調査, 農技
研報告, E, (園芸) 第1号: 43—76.
127. ———・———・栗原昭夫, 1956, 温州密柑
及び梨樹の季節的養分吸収に関する研究, 農技研報告,
E, 第6号: 161—198.
128. ———・———・———, 1958, 石灰およ
びpHが主要果樹の生長ならびに体内成分におよぼす影
響, 農技研報告, E (園芸), 第8号: 77—96.
129. ———・———・金戸橋夫・町田裕, 1959,
窒素・リン酸・カリの施用がナンの生長・葉および樹
体成分ならびに果実の品質におよぼす影響(肥料試験),
農技研報告, E (園芸), 第9号: 195—213.
130. ———・森英男・松井修・北島博・千葉勉編著,
1976, 果樹園芸大事典, 養賢堂.
131. 佐藤敏夫, 1931, 実験上より見たる果樹園灌水に
よる効果に就て, 農及園, 6: 70—78.
132. Shear, C. B., and M. Faust, Calcium tran-
sport in apple trees, Plant Physiol, 45: 670
—674.
133. 清藤盛正・長井晃四郎, 1970, リンゴの葉・果実
および枝幹表面からの $^{45}\text{CaCl}$ と $^{45}\text{Ca}(\text{OH})_2$ の吸収
と分布について, 園学雑, 39(4): 291—297.
134. 塩原孝一・渡辺信吾, 1965, 二十世紀ナンの硬化
障害果発生に関する研究(第1報), 新潟園試研究報
告, 第1号: 1—32.
135. ———・———, 1967, 二十世紀ナンの硬化
障害発生の原因と対策, 農及園, 42: 1109—1112.
136. ———・渡辺勝栄・熊木茂, 1973, 二十世紀ナ
ンの硬化障害果(石ナン)発生防止に関する研究(第
2報), 新潟園試研究報告, 第8号: 1—26.
137. 鈴木鉄男・金子衛・田中実, 1967, カンキツ幼樹
の生育と結実に及ぼす時期別土壌乾燥処理の影響, 園
学雑, 36: 389—398.
138. ———・———・鳥潟博高・八田洋章, 1968,
温州ミカンの水分均衡に関する研究, (第1報) 葉の
飽和水分不足度より見たWater balanceの変化, 園
学雑, 37: 37—44.
139. ———・———・———・———, 1969,
温州ミカンの水分均衡に関する研究, (第2報) 葉の
W・S・D測定法における二・三の問題点と土壌水分
・施肥濃度がW・S・Dおよび見かけの同化量におよ
ぼす影響, 園学雑, 38: 1—8.
140. ———・岡本茂・山田吉鋭, 1975, 温州ミカ
ンの葉色と果実品質に及ぼす照度・チッ素濃度および土
壌水分の影響, 園学雑, 44: 241—247.
141. 鈴木米三・増田芳雄, 1978, 植物生化学, 理工学
社.
142. Sweeley, C. C., R. Bently, M. Makita,
and W. W. Wells, 1963, Gas-liquid chroma-
tography of trimethylsilyl derivatives of su-
gars and related substances, J. Amer. Soc.
85: 2497—2507.
143. 立花千秋, 1943, 柚皮梨(石梨)と梨の白紋羽病
防除の一例, 農及園, 18: 761—762.
144. 田辺賢二・林真二・平田尚美・瀬戸長生, 1977,
二十世紀ナンのユズ肌病に関する研究(第4報), 無
機成分と障害発生との関係について, 園学雑, 45:
335—341.
145. ———・———・———, 1978, 二十世紀ナ
ンのユズ肌病に関する研究(第5報), K施用量なら
びに果実中の可溶性K, Ca, Mg含量と障害発生との
関係, 園学雑, 47: 317—326.
146. 田中章一・米山寛一・山田満男, 1965, 日本梨果

- 実の発育と気象条件の統計学的関係。鳥取果試研究報告，第3号：48—62。
147. 高橋英一・谷田沢道彦・大平幸次・原田登五郎・山田芳雄・田中明共著，1969，作物栄養学，pp. 81—139，朝倉書店。
148. ———，1973，植物栄養学序説〔15〕農及園，48：731—736。
149. 高橋栄治・安延義弘・積田宗明・渡辺照夫，1974，日本ナシ“長十郎”の果肉障害防止に関する試験，（第1報）石ナシ発生樹の環境と生態調査，神奈川園試研究報告，No 22：27—33。
150. ———，1976，———，（第2報）石ナシ発生防止法実証試験，神奈川園試研究報告，No 23：19—23。
151. 滝基次，1958，澱粉のクロマトグラフィーに関する研究，（第3報）ペーパークロマトグラフィーによる澱粉のアミロースの分離定量について，農化，33：245—249。
152. 寺井弘文・上田悦範・緒方邦安，1973，果実追熟に対するエチレン効果の機作に関する研究（第1報），園学雑，42：75—80。
153. Thompson, F., and A. C. Whitier, 1913, Forms of sugar found in common fruits, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 11：16—22。
154. Tingwa, P. O., and R. E. Young, 1974, The effect of calcium on the ripening of Avocado (*Persea americana* Mill.) fruits, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 99：540—542。
155. Todd, G. W., R. C. Bean, and B. Propst, 1961, Photosynthesis and respiration in developing fruits III. Comparative rates at various stages of development, Plant Physiol., 36：69—73。
156. 遠山正瑛・林真二，1957，和梨果実の発育に関する研究（第1報），果肉細胞分裂，肥大の品種間差異並びに果実の大きさとの関係について，園学雑，25：274—278。
157. ———，1957，梨，〔小林章編著，果樹園芸ハンドブック〕，pp. 317—386，養賢堂。
158. 苦名孝，1968，果実貯蔵の基礎，〔小林章編著，果樹の良品生産技術〕，pp. 251—294，誠文堂新光社。
159. ———，1971，果実の生理，養賢堂。
160. 鳥潟博高，1950，ナシの果実の萎縮性生理障害について，農学，4：248—253。
161. 鳥取県果樹試験場，1975，昭和48年度ナシ園の栄養分析診断事業調査成績，1—89。
162. 渡辺照夫・古藤実・鎌田博，1959，梨の施肥改善に関する研究（第1報），1. 梨実生幼樹の生長と葉成分に及ぼす土壌水分及び加肥の影響について，神奈川農試園芸分場研究報告，No 4：61—64。
163. Wilkinson, B. G. 1968, Mineral composition of apples IX. Uptake of calcium by the fruit, J. Sci. Food and Agr., 19：646—647。
164. Woodbridre, C. G. 1971, Calcium level of pear tissues affected with crok and black end, Hort. Sci., 6：451—543。
165. 山田登・太田保夫・中村拓，1964， α -ナフチルアミンによる水稻根の活力診断，農及園，36：1983—1985。
166. 山木昭平，1980，ナシ果実の生長，成熟過程における細胞壁多糖類及び関連分解酵素活性の変動と収穫適期との関係，園芸学会昭和55年度秋季大会シンポジウム講演要旨，151—162。
167. 山本良一，1974，細胞壁の力学的性質，——応力緩和とヘミセルロース——，化学と生物，12：666—668。
168. 山根忠昭・松浦一人・山路健・小豆沢斉，1973，安来地方で発生するナシのクロロシスに関する研究，島根農試研究報告，11：52—66。
169. 山崎伝，1952，畑作物の湿害に関する土壌の化学的並に植物生理学的研究，農技研報告，(B)，第1号：1—92。
170. ———，1966，微量元素と多量要素，博友社。
171. 横溝久，1974，果樹の水・砂耕法による無機栄養に関する研究，Ⅲ，水耕液中のCa欠除がニホンナシ結実樹の生育に及ぼす影響，果樹試報，A，1：79—92。
172. 吉川春寿ら編，1954，ワールブルグ検圧計，化学の領域，増刊，15，南江堂。
173. 吉川誠次・石間紀男・五十嵐洋子・斉藤説子，1969，主成分分析法による国際食糧供給パターンに関する研究，食糧研報告，第24号：23—30。
174. 吉岡四郎・岡本美知・大野敏朗・安間貞夫，1973，ナシ生産地における品質改善対策，（第1報）長十郎の品質実態と品質関連要因の抽出，千葉農試研究報

- 告, 第13号: 1-8, : 71-79.
175. _____, 1976, ナン生産 176. 吉原千代司, 1967, 二十世紀梨の樹体生長と果実
地における品質改善対策, (第2報) 長十郎梨におけ
る品質関連要因の摘出, 千葉農試研究報告, 第17号 生産の関係についての研究, 広島農試報告, 第25号
: 1-56.

Studies on fruit hardening, a physiological disorder in Japanese pear
(*Pyrus serotina* Rehder var. *culta* Rehder)

by

Shigetoshi KAWAMATA

Summary

It is of fundamental importance in Japanese pear growing to produce high quality fruit. A physiological disorder called "Ishinashi" or "Yuzuhada" is, however, a serious problem for pear growers because the affected fruit shows hardness at the calyx and the unevenness of fruit skin, thus results in marked decrease in fruit quality and loses market value. The disorder was noticed in the early 1900's when growing dramatically increased, and it exists all over Japan.

The disorder has been widely detected in pear orchards in Tokyo area, and is especially a serious problem since the orchards are aimed at pick-yourown operation and roadside markets and so exceptionally high quality fruit is required. Therefore, it is of utmost importance to find the cause of the disorder and to establish a control measure.

In part I of this study the cause of the disorder was investigated in relation to growth and development of trees and fruits, metabolism of fruit composition, respiration and metabolism in roots as well as survey of affected and healthy orchards. Results were analysed using factor analysis.

In part II, calcium was applied by spray and soil application to control the disorder. The effect of calcium on fruit development and changes in fruit composition was also investigated. As a result, commercially feasible methods to control the disorder were established.

1. Productivity of trees bearing disordered fruit.

Only a few fruit-bearing trees were affected. Number of new shoots and elongation rate of shoots were decreased in abnormal trees compared to normal trees, although apparent growth looked similar. The fruit productivity of abnormal trees was also lower than normal trees as judged by fruit number, average fruit weight and yield.

From the experiment of removing newly developing shoots or thinning fruit to 60%, it seems that the incidence of the disorder may not be influenced by competition for water between shoots and fruit, nor by distribution of nutrients.

When a spur of an abnormal tree was grafted on a normal tree, fruit on the spur did not show the disorder. Thus it was concluded that the disorder is not transmitted.

2. Changes in fruit development and in fruit nutrient in relation to the physiological disorder.

Fruit weight of normal fruit increased more than disordered fruit during the period of vigorous cell enlargement in June. This increase was due to the increase of water contents and materials of cell constituent in the fruit. Thus the disorder can be detected at the end of June by the difference in fruit growth, or in early June by changes in fruit composition, although it is early August when the symptom of the disorder became noticeable externally.

Hitherto, changes of mineral elements in the fruit were expressed by the percentage of dry weight, but the comparison became difficult since the percent of mineral elements decreased as fruit developed. Therefore, by using principal component analysis (PCA) a detailed comparison was made of the expression using dry weight percent and absolute quantity in fruit by factor analysis. The comparison revealed that the absolute quantity was more effective to correlate the incidence of the disorder during fruit development.

N, P, and K were consistently higher throughout the season but Ca was lower in disordered fruit than in normal fruit. Moreover, the amount of N and Ca decreased, while P tended to increase as the disorder progressed. It appears that physiological disorder becomes apparent when Ca falls to a level of 0.047% or less than 10 mg per fruit of 280 g in case of cv. 'Nijisseiki' and of 0.05% or less than 20 mg per fruit of 310 g for cv. 'Chōjuro'.

Regarding sugar content, fructose and sucrose in disordered fruit became lower while glucose and starch became higher than those in normal fruit as the season progressed or as the disorder became severe. Especially, marked decrease in fructose and sucrose resulted in lower total sugars and reducing sugars in disordered fruit. It was suggested that the abnormality of sugar metabolism in disordered fruit was closely related to a low level of calcium and an enhancement of respiration, which in turn affected the maturation and ripening of the disordered fruit. Moreover, it became clear that the increase in hardness of the disordered fruit was not caused by an increased in stone cell but by an increase of cell wall constituents, especially cellulose and non-cellulotic polysaccharides such as pectin and hemicellulose.

3. Changes of mineral elements in the leaves.

N, P, and K were consistently higher and Ca and Mg markedly lower in leaves of trees bearing disordered fruit than those of normal trees of 'Nijisseiki' during the growing season. On the other hand, N and Ca in 'Chōjuro' were lower while P and K were higher in leaves of trees bearing disordered fruit than in those of trees bearing normal fruit. Thus P and Ca in leaves are associated with the occurrence of this disorder, especially the latter.

4. Changes of respiration rates in fruit and leaves.

Disordered fruit evolved a higher amount of CO_2 than normal fruit in the middle of July, at the end of the rainy season, and thus the respiratory quotient (RQ) was also higher in disordered fruit. The trend continued until the ripening season. As a result disordered fruit ripened about 7 to 10 days earlier. Disordered fruit showed a shorter shelf-life, decaying at the calyx end.

Although respiration rates of leaves in normal trees decreased, those in abnormal trees hardly decreased. This resulted in a large difference in the RQ between leaves of normal and abnormal trees. Although the RQ of leaves in normal trees recovered to the previous level after the beginning of August, the RQ of leaves in abnormal trees showed a higher value than those of leaves in normal trees from the beginning to the end.

It seems that a shift in respiration rates in disordered fruit and leaves are related to abnormal sugar metabolism, which in turn affects water relations in fruit and leaves.

5. The physiological function of roots.

The root of abnormal trees showed a lower absorption rate of Ca than normal trees, and there was a decline in root activity as evidenced by a decrease in reduction of triphenyl tetrazolium chloride (TTC) and in the oxidation of α -naphthylamine (α -NA). While low root activity was closely related to the decrease of root respiration. It seemed that lowering root activity in abnormal trees is caused by a decrease in rootlets which resulted from an aggravation of the soil. Thus the decrease of root absorption capacity may be due to a reduction in pH values, exchangeable and total Ca and percentage of calcium saturation in the soil. It seemed that physiological disorder became apparent when the percentage of calcium saturation fell down to a level of 40% or less in the soil.

6. The cultivars prone to the physiological disorder.

By top-grafting spurs of 39 cultivars of 'Wase-Nijisseiki' trees which always bear fruit showing the disorder, it was confirmed that the physiological disorder called "Yuzuhada" in "Nijisseiki" (green rind pear) and the one called "Ishinashi" in 'Chōjuro' (reddish brown pear), were caused by the same factor. Moreover, it was demonstrated that so far five cultivars, 'Shinsui', 'Kosui', 'Tama', 'Inagi', and 'Niitaka' do not suffer from the disorder.

7. Factor analysis on the occurrence of the disorder.

A factor analysis on the occurrence of the physiological disorder has been done using principal component

analysis (PCA) and multiple regression analysis (MRA). Especially PCA was applied to the data obtained by an investigation into the actual condition of abnormal trees and orchards, and of factor related to the various degrees of the disorders found in 'Nijisseiki' and 'Chôjuro', and relation between fruit composition and respiration rate, and degrees of the disorder in 'Nijisseiki'.

Ca, fructose, and starch in fruit, and the RQ significantly contributed to the first principal component of the disorder of the fruit, while various other factors, such as levels of N, P, K, sucrose, total sugars, reducing sugars and glucose in fruit, the levels of exchangeable Ca, percentage of calcium saturation and pH values of the soil, contributed the second principal components. The results of MRA showed a tendency similar to those outline by PCA. It seems that these methods are useful for the factor analysis and the investigation of the mechanism of the occurrence of the physiological disorder as illustrated by the diagram in Fig. 9-1.

8. A preventive measure against the occurrence of the disorder.

The present experiments were carried out to prevent the disorder by supplying calcium to the trees and to the soil as a soil conditioner, as the importance of calcium was revealed in Part I. Calcium application to the leaves with 0.5% CaCl_2 or 1% CaCO_3 four times at twenty days intervals decreased the incidence of the disorder by 10%. However, this treatment improved fruit composition. Dipping fruit in CaCO_3 four times at fifteen days intervals decreased the incidence by approximately 30%. It seems, however, that calcium application to leaves or to fruit cannot be a fundamental countermeasure to prevent the occurrence of the physiological disorder.

The experiments were carried out to investigate the effects of calcium supply to pot soil and to the field as a soil conditioner on the incidence of the disorder. Pot experiments were conducted from 1973 to 1977 using eight-year-old trees of 'Nijisseiki' pear which had developed more or less symptoms of the disorder every year. The occurrence of the disorder decreased markedly by a calcium application even in the first year and continued to decrease to as low as 13% in the fourth year. Fruit from Ca applied trees showed a considerably high quality with only slight symptom of the disorder. Moreover, the fruit had higher amounts of Ca, fructose, and sucrose, and lower amounts of glucose, sorbitol, and starch. Thus the level of these constituents in the treated fruit gradually became to those the normal fruit.

In the field experiments, the occurrence of the disorder decreased gradually by an application of 6 Kg CaO_2 per tree (200 Kg/10 a), and continued to decrease to as low as 35% in the seventh year. However, an application of 1 Kg CaO_2 per tree did not decrease the occurrence after the third year, while an application of 3 Kg CaO_2 or 6 Kg Ca(OH)_2 per tree slowly decreased the occurrence of the disorder to about 50% in the seventh year. In a similar experiment in another field, an application of calcium to the trees which showed about 40 to 55% of incidence, resulted in complete suppression of the disorder after the fourth year. It was shown that the slight occurrence of the disorder in 'Nijisseiki' may be controlled in a shorter period of time by a calcium application. Greater effects were not obtained in the field sooner in spite of the remarkable effects in pot experiment and it may be due to the inefficiency of soil improvement 30 cm or below. Moreover, it was revealed that under both wet (pF 1.3) and dry (pF 2.6) soil conditions calcium application did not decrease the occurrence of the disorder because of the leaching and insolubility of calcium in the soil, respectively. At the same time fruit constituents and flesh hardness were not improved in these conditions. Therefore, it is necessary to provide a good drainage in wet soil, and to increase moisture holding capacity and/or supply enough water in dry soil.

With the progress of soil improvement, the trees bearing disordered fruit will develop healthy roots, which in turn enhance the ability of nutrient absorption. As a result the occurrence of the physiological disorder will decrease markedly, trees will become more healthy and the level of nutrients in the fruit will be improved.