

りんご品種の裂果感受性と果実表面応力分布

山本隆儀・細井喜久子*・笹原依邦子**・佐藤 秀
(山形大学農学部農業生産学講座)
(平成4年9月1日受理)

Cracking Susceptibility and Distribution of Surface Stress of Fruit in Apple Cultivars

Takanori YAMAMOTO, Kikuko HOSOI*, Ihoko SASAHARA**
and Hide SATOH

Section of Agricultural Production, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan
(Received September 1, 1992)

Summary

Fruit turgor pressure, fruit sizes and distributions of cracking density, skin stress and factor of stress concentration of several apple cultivars were investigated in relation to several indices of susceptibility to fruit cracking, e.g., cracking index, cumulative ratio of cracked fruits and mean cracking densities.

1. Cumulative ratio of cracked fruits (CRC) were determined by immersing the fruits in a dilute nonionic surfactant (0.1% Triton X-100) water solution for 72 hours in 1990. Cracking index (CI) and the CRC were determined in 1991 by counting and eliminating the cracked fruits every 8 hours during the immersing for 40 hours with the same solution. Further, the cracked fruits after the immersing treatments were observed to calculate the cracking densities (number of fractures per cm, CD) at each region separating the fracture pattern and the mean cracking densities, e.g., the mean cracking densities of ring fracture (MDR), that of lengthwise fracture (MDL) and that of the both fractures (MDR+MDL). Positively significant correlations were found between these indices of the susceptibility. It may be recognized based on these indices that 'Akane', 'Nero 26', 'Ohrei' and 'Ralls' were highly susceptible to fruit cracking and 'S.D.', 'R.D.', and 'Redspur' highly resistant.

2. The susceptibilities to fruit cracking by the continuous immersing treatment for the 72 hours were significantly and positively correlated to the fruit pressure (P). The susceptibilities to fruit cracking by the cracking index method were negatively correlated to the fruit cross diameter (a) and the fruit length (fruit transverse diameter, b) and positively correlated to the shape index of fruit (a/b).

3. Distributions of the relative value of skin stress acting in the direction of longitudinal arc ($\sigma_{L,t}$), that of latitudinal arc ($\sigma_{H,t}$), the factor of stress concentration in the direction of longitudinal

* 現在, 新潟県新潟農業改良普及所
Nihgata Prefectural Nihgata Agricultural Extension Office
** 現在, 山形県村山市役所
Municipal Office of Murayama in Yamagata Prefecture

arc (FSC_L) and that of latitudinal arc (FSC_H) were analyzed by a computer-digitizer system⁵⁵⁾. The skin stress acting in the direction of longitudinal arc were concentrated extremely around the stalk cavities and to some extent around the calyx ends all over the cultivars. In contrast, the skin stress acting in the direction of latitudinal arc were concentrated to some extent around the equators and diminished toward the both ends all over the cultivars. The mean values of $\sigma_{L,t}$, $\sigma_{L,i}$, FSC_L and FSC_H were separated by Duncan's multiple range test among many cultivars at several regions on fruit surface.

4. The cracking densities (CD) by the immersing the fruits for the longer time in 1990 had higher levels than that for the shorter time in 1991. The rises in CD s at most representative regions on fruit surface in the 2 years corresponded to the increase in skin stresses at the same regions in many cultivars. However, this correspondence was not found by the abundant secondary fractures in the some cultivars. 'Fuji' and 'Senshu' had high cracking densities (CD) around the stalk cavities (i and j points) which cultivars frequently suffer from some natural and special crackings, e.g., "Tsuruware" or the surface crackings around the stalk.

5. The susceptibilities to fruit cracking were correlated positively and significantly to the cracking densities of several regions, e.g., the densities of the ring fractures around the calyx end and at the side, and that of lengthwise fractures at the region from the terminal shoulder to the side. However, the susceptibilities to fruit cracking were not correlated to the values of the skin stress or the factor of stress concentration except special regions.

緒 言

裂果、変形果及び表面汚損果等（さび果、すれ傷果、日焼け果も含む）は、果実可食部の品質にはそれほど遜色がないにもかかわらず、市場出荷できない。このこと自体、キュウリの曲がり果と同様に我が国の青果物流通上の大きな問題といえるが、このうち、裂果だけは、傷口からの雑菌の侵入と、これによる貯蔵・流通過程での腐敗果や変質果の発生という正当な排除理由を有しているように思える。裂果が発生すると収穫直後に自家消費や飼料にあるいは低廉な価格で加工用原料に回さざるを得ず、裂果の発生防止は果樹栽培の重要な課題である。

裂果の被害はオウトウやブドウでは著しいが、リングでは自家消費、裂果に伴う落果、発生の年次変動等の理由のため、被害額の実態はよくわかっていない。リングの裂果には一般的な裂果である表面裂果（第1図）と特殊なものとしての内部裂果がある。表面裂果はたいいていの品種に発生するが、このうち新品種に発生したという点で問題になっている「千秋」の裂果については秋田県で1982年以来今日まで調査されている。これによると発生の年次変動は大きかったものの、最高約60%の園地も見られ、通常多くて30%台であったという^{2,3,5)}。内部裂果は最近発見されたもので、青森県の大量発生年（1983年）の調査によると、主力品種の「陸奥」だけでも

被害率は約20%程度（約5000トン、被害額14.2億円）に達し、加えて他の広範囲の品種にも発生したという⁵¹⁾。したがって、リングの裂果の被害は無視できない。

一般に裂果発生の要因を大別すると、果実を破裂させる力、すなわち、裂果の原動力に関する要因、膨脹破裂に対抗する果実組織の機械的強度に関する要因、及びこれらに直接的あるいは間接的に影響する気象、土壌並びに栽培管理などの要因（環境的要因）が考えられる。裂果の原因解明が一步進んでいるオウトウ並びにブドウについては、裂果の原動力に関する要因として、果実表面の応力分布^{19,54,55)}、膨圧や浸透ポテンシャル（Brixも含む）^{17,20,23,33,40,54,58,60)}、果面からの水吸収速度^{17,30,39,41,42)}及び果実肥大生長速度^{32,41,54)}が、果実組織の機械的強度に関する要因として、表皮組織（表皮細胞の大きさ、クチクラ、気孔、表皮の厚さ）^{17,19,33,35,59,60)}、下皮組織（下皮組織の厚さ、下皮組織細胞の大きさ、同細胞壁の厚さ）^{19,29,33,58,59)}及び果肉組織の物性（果肉硬度、下皮のせん断応力、引っ張り強度、粘弾性）^{18,26,28,32,33,35,53)}が、さらに、環境的要因として、降雨などを中心とした気象要因^{15,17,25,28,32,41,42,52)}、土壌要因³²⁾及び各種の栽培管理の影響^{1,12,14,15,22,24,27,32,37,38,45,48)}が調査されている。上記報告の多くが多数品種を用いた裂果感受性の比較と関連づけて行われた。

リングの裂果防止対策は、裂果抵抗性品種の育成・導

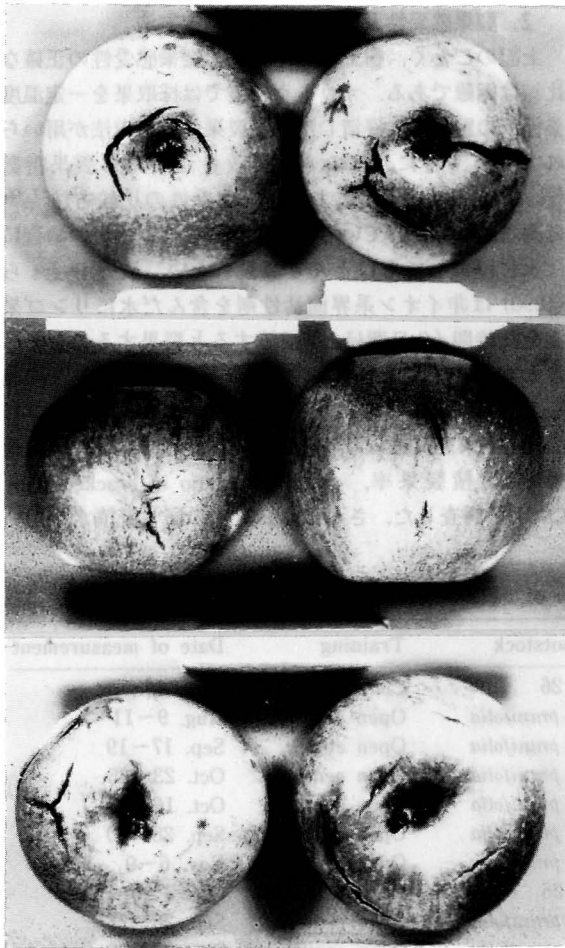


Fig. 1. Natural fruit cracking in 'Ralls'. Upper : calyx end, middle : side, lower : stalk cavity.

入と栽培管理による発生の軽減であろうが、現状を見る限り、いまだ有効な対策は確立されていない。既存品種の裂果感受性の比較調査は浸漬処理による9品種の裂果率(表面裂果)の比較¹⁶⁾及び23品種を用いた内部裂果の樹上裂果率の観察比較⁵¹⁾にとどまっている。また、裂果感受性の品種間差異の解明に関する研究は裂果発生の著しい'Stayman Winesap'と裂果しない他の5品種の果実組織の観察比較⁴⁷⁾及び裂果発生の著しい'Cox's Orange Pippin'を含む4品種の表皮組織の観察比較³⁴⁾にとどまり、ブドウやオウトウのこの方面の調査報告と比べると報告数、品種数ともに少ない。カミソリの刃を用

いた切れ込み(傷口)の開き具合による果実表面層の弾性ひずみの推定及びこの季節的変化の調査⁴³⁾を除き、果実表面の応力に関する研究報告は見当たらない。果実の肥大速度と裂果発生との間の密接な関係が'Stayman Winesap'⁴⁶⁾、'Cox's Orange Pippin'³¹⁾、'千秋'及び'陸奥'の内部裂果⁵¹⁾で調査されている。気象条件と裂果発生との関係については、'Stayman Winesap'⁴⁶⁾、'Cox's Orange Pippin'⁴⁰⁾、'千秋'³⁾、'ふじ'及び'陸奥'の内部裂果⁵¹⁾で、土壌系統及び土壌水分と裂果発生との関係については'Stayman Winesap'⁴⁶⁾、'Cox's Orange Pippin'³¹⁾及び'千秋'で調査されている。栽培管理のうち、台木の影響については'千秋'⁸⁾及び'ふじ'⁷⁾で、無機栄養との関連性について'千秋'^{4,7,8)}及び'陸奥'⁵¹⁾で、着果部位の影響について'千秋'^{3,4,5,6,7)}で、摘果の影響について'千秋'³⁾及び'Stayman'¹⁶⁾で、果面保護剤の影響について'Stayman'系品種¹⁶⁾及び'千秋'^{4,6,7,8,9,10,13)}で、被袋処理の影響について'千秋'^{3,4,8,10)}及び'陸奥'の内部裂果⁵¹⁾で、生長調節剤散布の影響について'千秋'^{3,8)}、'Stayman Red'²¹⁾、'Neipling Stayman'⁴⁹⁾及び'Stayman'¹⁶⁾で調査されている。上記の報告で見られるように、外国では'Stayman'及び'Cox's Orange Pippin'、我が国では主として'千秋'という特定の品種に限定した調査報告が中心であり、全体として報告数の蓄積も少ない。外国リンゴ産地で裂果に関する研究が少なかった理由として、米国西部、米国中北部、地中海沿岸、南欧、東欧では乾燥地帯のため裂果発生があまり問題にならないこと、及び、降雨量の増える中欧では加工用や醸造用のための生産が主であることが考えられる。しかし、モンスーン地帯のため裂果発生が多く、かつ、生食が主たる我が国ではこれに見合った研究や対策が必要であろう。

まず手始めに既存品種の裂果感受性の比較に着手して、これによる裂果抵抗性果実形質を明らかにすべきであるが、自然降雨下の裂果発生率は年次変動が大きいうえに、各品種の裂果感受性のピーク時の降雨量の年次間、地域間の違いも加わって、客観的な感受性の比較を困難にしている。本報告はこの感受性の比較方法を種々工夫しながら、新しい方法を用いて感受性の品種間差異を明らかにし、さらに裂果の原動力たる果実表面の応力分布や膨圧、浸透ポテンシャル、果形要因を比較したものである。なお、本報告は1989～1991年の3か年にわたり調査したものをまとめたものである。

材料及び方法

1. 供試品種

山形大学農学部実験圃場栽植のリンゴ6品種，同農学部附属農場栽植の11品種を用いた。この他に青森県りんご試験場より供与していただいた7品種の果実の縦断面複写画像を用いたが，これは後述の形状係数の解析のみに使用した。第1表に品種の来歴，台木の種類，仕立て方及び調査時期を記した。なお，同実験圃場の土性は砂壤土，地下水位は約0.9m，附属農場の土性は砂壤土，地下水位は1.5～2mであった。なお，本論文で用いた品種名の‘G.D.’，‘S.D.’，‘R.D.’，‘M.R.’，‘A.S.P.’及び‘P.G.’はそれぞれ‘Golden Delicious’，‘Starking Delicious’，‘Richard Delicious’，‘McIntosh Red’，‘American Summer Pearmain’及び‘Prime Gold’の略号であった。また，本文中使用の和名には‘M.R.’，‘A.S.P.’，‘Jonathan’及び

‘Ralls’にそれぞれ‘旭’，‘祝’，‘紅玉’及び‘国光’を用いた。

2. 裂果感受性及び亀裂密度の測定方法

上記のごとく，樹上裂果率による裂果感受性の正確な比較は困難である。オウトウ果実では採取果を一定温度条件下の脱塩水に浸漬し，強制裂果させる方法が用いられており，特に，この方法の改良法である裂果指数 (cracking index, CI) による裂果感受性の比較方法^{17,48)}は国際的に確立している。しかし，リンゴ果実の場合には水に浸漬してもほとんど裂果しない。最近 Byers ら (1990) は非イオン系界面活性剤を含んだ水にリンゴ果実を長時間 (3日間ほど) 浸漬すると裂果することを報告した¹⁶⁾。そこで，非イオン系界面活性剤の Triton X-100 の0.1%水 (20℃) を用いて，1990年にリンゴ11品種の各々約50個に72時間連続浸漬処理を施し，最終裂果率 (累積裂果率, cumulative ratio of cracked fruit, CRC) を調査した。さらに，1991年に同じ浸漬水を用い

Table 1. Origins, rootstocks, trainings and date of measurements of apple cultivars used.

Cultivars	Origin	Rootstock	Training	Date of measurement
Akane	Jonathan×Worcester Pearmain	M 26	Central leader	Aug. 26～28
A. S. P.	Found in USA	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Aug. 9～11
M. R.	Found in Canada	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Sep. 17～19
Ohrei	Golden Delicious×Delicious	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Oct. 23～25
Ohrin	Golden Delicious×Indo	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Oct. 16～18
Jonathan	Esopus Spitzenberg×?	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Sep. 28～30
Ralls	Found in USA	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Nov. 6～9
G. D.	Chance Seedling in USA	M 26	Central leader	Oct. 3～6
S. D.	Bud sport of Delicious	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Sep. 26～28
R. D.	Whole tree sport of Delicious	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Sep. 28～30
Redspur	Whole tree sport of S. D.	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Sep. 28～30
Jonagold	Golden Delicious×Jonathan	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Oct. 11～13
Senshuh	Tohkoh×Fuji	M 26	Central leader	Sep. 17～19
Tsugaru	Golden Delicious×?	<i>M. prunifolia</i>	Open center	Sep. 9～11
Nero 26	(Jonathan×Goal)×Richard Delicious	M 26	Central leader	Sep. 9～11
Fuji	Ralls×Delicious	M 26	Central leader	Nov. 11～14
Hokutoh	Fuji×Mutsu	MM 106	Central leader	Oct. 31～Nov. 1
Mutsu	Golden Delicious×Indo	MM 106	Central leader	Oct. 10～12
Yohkoh	Seedling from Golden Delicious	MM 106	Central leader	Oct. 3～5
4-23	Fuji×Mahe 7	(Not recorded) ^y		Harvesting time
Tsurunotamago	(Not studied) ^z	(Not recorded)		Harvesting time
Kohgetsu	(Not studied)	(Not recorded)		Harvesting time
Tohkoh	Golden Delicious×Indo	(Not recorded)		Harvesting time
P. G.	(Not studied)	(Not recorded)		Harvesting time
Hanaiwai	(Not studied)	(Not recorded)		Harvesting time
Gara	Kid Orange Red×Golden Delicious	(Not recorded)		Harvesting time

^z Author et al. can't find ^y Not recorded at the sampling.

て、16品種の裂果指数等の調査を行った。これは原理的にはアウトウの方法⁴⁸⁾と同じであったが、浸漬時間を長くした点及び界面活性剤添加の点が異なった。すなわち、各品種50果を用い、8時間おきに可視亀裂の発生した果実を数え、浸漬槽から除去し、合計40時間調査したものである。裂果指数の計算方法はつぎの通りであった。すなわち、裂果に至るまでの時間が短いものほど大きな加重係数(8時間:9, 16時間:7, 24時間:5, 32時間:3, 40時間:1)を裂果数に乘じ、この積算値を求めた。50果全てが8時間以内に裂果すると仮定した場合の数値($50 \times 9 = 450$)でこの積算値を割り、100を乗じたものが裂果指数(<100)である。また、この測定から得られるデータを用い累積裂果率(CRC)も計算した。

上記2か年の実験の中で裂果発生したものについて亀裂を観察した。まず、亀裂発生果を色素で短時間染色後、亀裂の太さを太(1mm以上)、中(1~0.5mm)及び細(0.5mm以下)の3段階、開裂型を輪状型、縦状型、中間型の3型に分類しながら、果実表面の9代表点(第2

図のb,c,d,e,f,g,h,i及びj点)の通る緯線と交差する点数を数え、太さ別係数(太:1, 中:0.67, 細:0.33)を乗じて、重みづけ本数(1果平均)を各代表点ごとに算出し、これを緯線長(周長)で割った線密度(亀裂密度, 単位:重みづけ本数/cm)を各部位別及び開裂型別に計算した。なお、亀裂の走る方向と緯線との交差角度が0~30度, 31~60度及び61~90度のものをそれぞれ、輪状型, 中間型, 及び縦状型とした。なお、最終的には中間型は半分に分け、他の2型に加えた。このようにして得られた各果実各代表点の亀裂密度を反復測定果実数で平均し、各代表点の平均輪状亀裂密度(cracking density of ring fracture, CDR_n)と平均縦状亀裂密度(cracking density of lengthwise fracture, CDL_n)を計算し、さらにこれらを開裂型別に加算し、9で割った値をそれぞれ、1果当りの平均値、すなわち、平均輪状亀裂密度(mean cracking density of ring fracture, MDR)および平均縦状亀裂密度(mean cracking density of lengthwise fracture, MDL)とした。この2者を加算して1果当り両型の平均亀裂密度($MDR + MDL$)とした。なお、

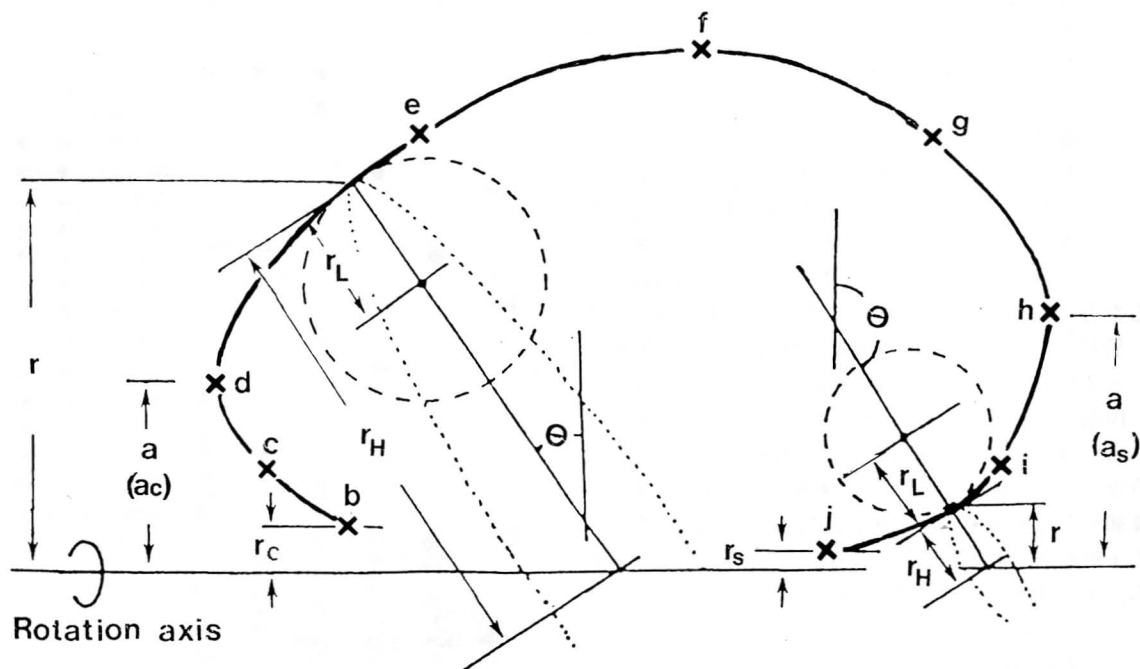


Fig. 2. A diagram showing radius of curvature in the direction of longitudinal arc (r_L), that of latitudinal arc (r_H) at an arbitrary point on a outline of a vertical section of a fruit, several independent variables (a , r , and θ) used in the analysis of distribution of surface stress based on "Theory of Shells" and representative regions (b, c, d, e, f, g, h, i and j).

CDR_n と CDL_n の添字 n は代表点の b, c, d, e, f, g, h, i 及び j 点を示す。上記の亀裂密度の調査は、1990年には72時間連続浸漬処理果を、1991年には8時間間隔で除去した可視亀裂発生果を用いて行ったことから、前者は長時間の果実吸水により二次裂開を併発した場合の、後者は発生後間も無い8時間以内の場合の亀裂密度という性格を有していた。上記の様に、本研究では5種類の裂果感受性の指標 (CI , CRC , MDR , MDL , $MDR+MDL$) を扱った。

この他、'国光'の樹上裂果について、1990年の10月上旬より11月中旬まで約10日間隔で発生果を採取し、上記の方法で亀裂密度を測定した。

3. 果実の水ポテンシャル、膨圧及び果汁の浸透ポテンシャルの測定方法

1990年に各品種の収穫予定日の約1週間前に3果を果こう基部から採取し、直ちに水中で切りもどし、水温20℃の水槽に果こう切り口を浸し、ビニルフィルムで密閉して2時間放置して水飽和に近い状態にした後、果実の水ポテンシャル (ψ) をプレッシャーチャンバ (大起理化学工業, DIK-PC-1) を用いて、また、同果実の搾汁の浸透ポテンシャル (ψ_s) をサーモカップルサイクロメータ (Wescor, HR-33) を用いて測定した。果実の膨圧 (P) は次式により近似的に求めた。

$$P = \psi - \psi_s \quad (1)$$

果肉組織の水ポテンシャル値をプレッシャーチャンバ法による果実の水ポテンシャル値で代用することは必ずしも妥当でないので、1991年には各品種5果づつ、1990年と同様の果実採取及び水飽和处理を行った後に、果肉組織の水ポテンシャル (ψ) を色素法¹³⁾に一定の改良を施した方法により測定した。すなわち、直径10mmの試験管に0.05M きざみで最高0.5M までのしょ糖液シリーズを多数組準備し、内径8mmのコルクボーラーで果肉赤道部を1果につき10か所打ち抜き、果実表面より1cmの深さの果肉を5mmの厚さのディスクになるようカミソリで切断し、まず、切断面から浸出する果汁を1組のしょ糖液で洗った後に、他の1組の該当濃度のしょ糖液中に浸し、密栓し、20℃下で2時間放置してから、ディスクを除去した。さらに、色素(メチレンブルー)をわずかに混入させたもう1組の該当濃度のしょ糖液を先の細いJ字形ガラス管を用いて取り、ディスクを除去した該当濃度のしょ糖液中に、この着色しょ糖液の滴(液塊)を静かに押し出し、この滴の比重差による昇降から、果肉組織に平衡するしょ糖液濃度を見出し、圧力値に変換した。なお、果汁の浸透ポテンシャル

(ψ_s) の測定、及び膨圧 (P) の推計は1990年と同様な方法を用いて行った。

なお、(1)式による膨圧の推計方法は多くの研究者により用いられてきたが、植物細胞の水分～圧力関係から見て問題が残る、かつ測定誤差の影響が大きく現われる¹³⁾。最近、膨圧の直接測定方法が開発されているが、この装置を保有していないので、本報告内では、膨圧値としての妥当性に疑問を残しているものの、上記の推計方法による値を膨圧の近似値として用いたことをこわっておきたい。

4. 果実表面応力分布及び形状係数分布の解析方法

Considine と Brown は「殻の理論」(Theory of Shells) を関数表現可能な2種の回転体表面 (spheroid と toroid) に適用して表面応力分布を解析した¹⁹⁾。Considine と Brown の方法¹⁹⁾に準拠し、関数で表現できない実際の果実表面の応力分布を解析できるように著者らが考案した「果実表面応力分布解析システム」を用いて、各品種の果実表面の応力分布と形状係数の分布の調査を行った。各品種約8～10個の果実を中心軸を通して正しく縦断し、透明樹脂板に載せ、適当な倍率(1～2倍)で複

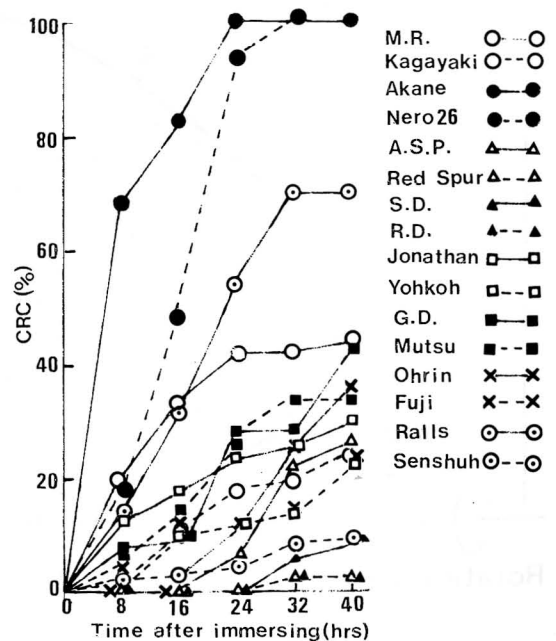


Fig. 3. Time courses of cumulative ratio of cracked fruits (CRC) by the cracking index method for 40 hours in several cultivars of apples in 1991.

写した。この果実縦断面画像の輪郭線の無数の点の平面座標をデジタイザ〜コンピュータシステムにより読み取り入力し、上記システムのプログラムにより、各点の曲率半径や計算に必要な各変数（第2図）を計算出力し、最終的に応力と形状係数の値とこれらの分布曲線及び輪郭線図等を計算・作図した。上記システムへの入力データはこの他に、複写倍率と3で示した膨圧値を用いた。ただし、絶対応力（ σ_L と σ_H ）の計算には殻の厚さ（ t ）のデータが必要であるが（2式及び3式）、果実にとっての殻の厚さ（ t ）は把握できないので、上記システムは2つの仮定を設定して2種の応力相対量を算出した。すなわち、殻の厚さ（ t ）が品種間で等しいと仮定して、絶対応力と殻の厚さの積（ $\sigma \cdot t$ ）を算出して、これを応力相対量1とした⁵⁵⁾。応力は2つの主応力で表現できるので、経線方向及び緯線方向の応力相対量1（ $\sigma_L \cdot t$ 及び $\sigma_H \cdot t$ ）に分けて計算した。（4式及び5式）。他の応力相対量として、殻の厚さ（ t ）が果実の大きさ（ R ）に比例するものと仮定して、この比例係数（ k ）と絶対応力（ σ ）の積を応力相対量2（ $\sigma_L \cdot k$ 及び $\sigma_H \cdot k$ ）とした（6式、7式及び8式）⁵⁵⁾。

$$\sigma_L = P(r^2 - a^2) / (2rt \cdot \cos \theta) \quad (2)$$

$$\sigma_H = (P/t - \sigma_L/r_L) r_H \quad (3)$$

$$\sigma_L \cdot t = P(r^2 - a^2) / (2r \cdot \cos \theta) \quad (4)$$

$$\sigma_H \cdot t = (P - \sigma_L \cdot t/r_L) r_H \quad (5)$$

$$\sigma_L \cdot k = P(r^2 - a^2) / (2rR \cdot \cos \theta) \quad (6)$$

$$\sigma_H \cdot k = (P/R - \sigma_L \cdot k/r_L) r_H \quad (7)$$

$$t = k \cdot R \quad (8)$$

ここで r_L は経線方向の曲率半径、 r_H は緯線方向の曲率半径、 r は回転軸と表面上の各点との距離、 a は回転軸と肩部との距離、 θ は曲率円の中心線と赤道面とのなす角度である（第2図）。また、第2図中の r_c はがく筒の半径、 r_s は果こうの半径、 a_c はていあ部の半径、 a_s はこあ部の半径、 $b \sim j$ は9個の代表点を示し、このうち、 b 点はがく筒との接点、 d 点は果頂部側の肩の頂点、 f 点は胴部の頂点（最大横径の現れる赤道部）、 h 点は果実基部側の肩の頂点及び j 点は果こうとの接点であり、 c, e, g 及び i の各点は中間点である（第2図）。

他方、形状係数（factor of stress concentration, FSC ）は表面のある基準点の応力値に対する任意の点の応力値の相対的割合を示す指標であり、応力の大きさとは異なり、応力の不均一分布の程度を示すもので、形によっては形状係数が特定の部位で極めて大きくなること（応力が特定部位に集中すること）が一般に知られている。本

研究では果実表面のうち最も平滑な部位である赤道部の経線方向の応力値（ $\sigma_L \cdot t$ ）に対する両方向の各部位の応力値の割合（%）で表現し、略号として経線方向と緯線方向の形状係数にそれぞれ FSC_L と FSC_H を用いた⁵⁵⁾。ただし、この計算の原理から見て、形状係数からは果実の大きさ、殻の厚さ及び膨圧の大きさの影響が消失する。なお、果実の大きさ（ R ）には横径と果実長（縦径）の平均値を用いた。果実の殻の厚さ（ t ）が把握困難な理由は、風舟玉やガスボンベなど殻の厚さが把握できるものと異なり、果実では内部圧に対して果皮ばかりでなく果肉組織や維管束などがこれに対抗することが考えられるからである。なお、上記システム出力データから、果実の横径（ a ）、果実長（ b ）及び果形指数（shape index of fruit, a/b ）を入手できた。

5. 浸漬処理果及び‘国光’の自然裂果の写真撮影

赤色系品種には開裂部のみメチルグリーンで染色した後に赤色フィルターを用い、また、緑色系品種にはサフランニンで染色した後に緑色フィルターを用いて、いずれも高感度ネガフィルム（Fフィルム）で写真撮影を行った。

結果及び考察

1. 裂果感受性の指標間の相互関係と裂果感受性の品種間差異

第2表に1990年の72時間連続浸漬処理による裂果感受性の指標（ CRC 、 MDR 、 MDL 及び $MDR+MDL$ ）を、第3表に1991年の裂果指数測定方法による各指標（ CI 、 CRC 、 MDR 、 MDL 及び $MDR+MDL$ ）を示した。裂果指数（ CI ）は開裂するのに要する時間の長短の要因をも含み、これを含まない累積裂果率（ CRC ）よりは感受性の指標として鋭敏なものと考えられている⁴⁸⁾。また1990年及び1991年の2つの累積裂果率（ CRC ）のうち、72時間連続浸漬処理のものは開裂部分からの果実組織の溶質が浸出して浸漬液のイオン濃度を変えやすいこと及び開裂部分からの浸水により二次裂開が起きやすいものと考えられたが、両者とも亀裂の有無に基づいて計算される点、時間の長短を除けば本質的には同一の性格を有する。上記2つの指標（ CI 及び CRC ）が果実内の亀裂の多少を無視したのとは異なって、亀裂密度（ MDR 、 MDL 及び $MDR+MDL$ ）は果実内の亀裂の多少を考慮し、かつ亀裂の発生する部位、亀裂の太さ、亀裂の走る方向を加味した密度表現になっている点、質的に異なり、複雑な指標である。ただし、亀裂密度の数値には時間要因が無視さ

Table 2. Cumulative ratio of cracked fruits (CRC), mean density of ring fracture (MDR), mean density of lengthwise fracture (MDL) and MDR + MDL by the continuous immersing treatment for 72 hours in several cultivars of apples in 1990 and that of natural crackings of 'Ralls'.

Cultivars	CRC (%)	MDR ^z	MDL ^z	MDR+MDL ^z
M. R.	94.1	0.354	0.041	0.345
Ohrei	100.0	0.842	0.048	0.890
Ohrin	98.0	0.568	0.047	0.615
Jonathan	100.0	0.501	0.029	0.530
Ralls	100.0	0.823	0.065	0.888
S. D.	59.1	0.142	0.006	0.148
Jonagold	68.0	0.155	0.008	0.163
Sensuh	77.2	0.238	0.011	0.249
Fuji	95.8	1.073	0.011	1.084
Mutsu	87.7	0.217	0.059	0.276
Yohkoh	98.2	0.488	0.043	0.531
Ralls ^y		0.239	0.019	0.258

^z Unit: No. of fractures weighted per cm

^y Cracked fruits on a tree naturally from the beginning of October to the middle of November in 1990.

れている。1990年と1991年の亀裂密度値には浸漬時間の大きな違いの影響が現れ、前者の値が大きかった。なお、1991年の累積裂果率の時間的変化（第3図）を見ると浸漬開始後8～24時間の間が最も裂果が起こりやすいことがわかった。

1990年は黒星病、1991年は台風の発生により、測定できなかった品種があったが、両年に共通した品種についての各指標間の相関関係を第4表及び第4図に示した。1990年の長時間浸漬処理による各指標間ではCRCとMDR+MDLとの間でのみ有意な相関関係が見出された（第4表、 $r_{z5,z1}$ ）。しかし、1991年の各指標間では相互に

Table 3. Mean cracking index (CI), cumulative ratio of cracked fruits (CRC), mean density of ring fracture (MDR), mean density of lengthwise fracture (MDL) and the MDR + MDL by the cracking index method for 40 hours in several cultivars of apples in 1991.

Cultivars	CI	CRC (%)	MDR ^z	MDL ^z	MDR+MDL ^z
Akane	88.89	100	0.0637	0.0095	0.0732
Kagayaki	13.33	24	0.0036	0.0032	0.0068
M. R.	8.67	26	0.0076	0.0025	0.0101
A. S. P.	31.56	44	0.0685	0.0122	0.0807
Ohrin	12.44	36	0.0130	0.0051	0.0181
Jonathan	21.11	30	0.0164	0.0036	0.0200
Ralls	45.56	70	0.0144	0.0056	0.0200
G. D.	20.89	44	0.0150	0.0082	0.0232
S. D.	2.22	8	0.0032	0	0.0032
R. D.	1.11	2	0.0005	0.0005	0.0010
Red Spur	0.67	2	0.0006	0	0.0006
Sensuh	4.44	8	0.0014	0.0033	0.0047
Nero 26	68.89	100	0.0424	0.0143	0.0567
Fuji	11.78	22	0.0223	0.0002	0.0225
Mutsu	21.56	34	0.0029	0.0028	0.0057
Yohkoh	9.56	22	0.0068	0.0016	0.0084

^z Unit: No. of fractures weighted per cm

有意な相関関係が認められ、中でもCIとCRC間の相関が最も高かった（第4図）。両年の各指標間に有意な高い正の相関関係が認められたものは1990年のCRCと1991年のCIあるいはMDLとの間、1990年のMDRと1991年のCRC、あるいはMDR+MDLとの間、1990年のMDR+MDLと1991年のMDRあるいはMDR+MDLとの間であり（第4表、 $r_{z2,y1}$, $r_{z2,y4}$, $r_{z3,y3}$, $r_{z3,y5}$, $r_{z5,y3}$, $r_{z5,y5}$ ）。総じて平均縦状亀裂密度（MDL）との間の相関は低かった。これは平均輪状亀裂密度（MDR）に比較し

Table 4. Coefficients of correlation (r) between several cracking susceptibilities by the continuous immersing treatment for 72 hours in 1990 (CRC: z2, MDR: z3, MDL: z4 and MDR+MDL: z5) and by the cracking index method in 1991 (CI: y1, CRC: y2, MDR: y3, MDL: y4 and MDR+MDL: y5) in several cultivars of apples.

$r_{z2,y1}$	0.951 ^{***z}	$r_{z3,y1}$	0.388	$r_{z4,y1}$	0.642 ^{*y}	$r_{z5,y1}$	0.676 [*]
$r_{z2,y2}$	0.624	$r_{z3,y2}$	0.643 [*]	$r_{z4,y2}$	0.504	$r_{z5,y2}$	0.718 [*]
$r_{z2,y3}$	0.485	$r_{z3,y3}$	0.910 ^{***}	$r_{z4,y3}$	0.104	$r_{z5,y3}$	0.882 ^{***}
$r_{z2,y4}$	0.819 ^{***x}	$r_{z3,y4}$	0.022	$r_{z4,y4}$	0.671 [*]	$r_{z5,y4}$	0.295
$r_{z2,y5}$	0.536	$r_{z3,y5}$	0.900 ^{***}	$r_{z4,y5}$	-0.151	$r_{z5,y5}$	0.893 ^{***}
$r_{z2,z3}$	0.414	$r_{z3,z4}$	0.108	$r_{z4,z5}$	0.437	$r_{z5,z1}$	0.708 [*]

^{z,y} and ^x indicate $P < 0.001$, $P < 0.05$ and $P < 0.01$ (t-test), respectively.

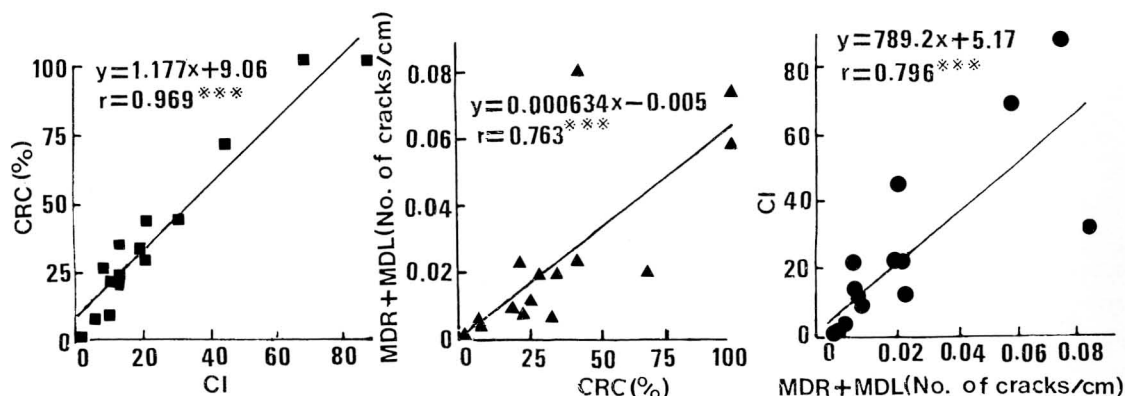


Fig. 4. The correlations between the cracking index (CI), cumulative ratios of cracked fruits (CRC) and mean cracking density (MDR+MDL) by the cracking index method for 40 hours in 16 cultivars of apples in 1991.

て、兩年、ほぼ全品種とも平均縦状亀裂密度 (MDL) が低かったためであると考えられる (第2, 3表)。さらに、1990年のCRCは長時間浸漬のためどの品種も高い値になった (第2表) ことから、指標としてあまり的確ではないものと思われる。

これまで報告されたリンゴ品種の裂果感受性の同一条件下の比較調査は欧米の9品種を用いた Byers らの報告¹⁶⁾ だけであった。また、リンゴでの裂果指数の調査は今回が初めての試みであったことから、何が最も妥当な指標かについては議論を要するが、裂果指数を中心に他の指標も加味して総合的に評価すれば、裂果感受性の高い品種として、'あかね'、'ネロ26号'、'王鈴' 及び '国光' が、低い品種として、'S.D.'、'R.D.' 及び 'レッドスパ' があげられる (第2, 3表)。ただし、今回の実験では '千秋' は兩年とも感受性は幾分低くなった。また、'千秋' は亀裂がこうあ部側に限定して発生しやすいことから、果実当りの亀裂密度は幾分低くなりやすい。加えて、本農場の同品種には裂果は例年極めて少なかったこと、及び同品種の裂果は園地により発生程度が相当異なる (秋田県果樹試験場の上田氏、私信) ことを考慮して判断を控えた。さらに、'ふじ' は1991年の裂果指数 (CI) は幾分低くなったが、1990年のMDR+MDLは最高値であった (第2, 3表)。これらの指標の品種間の序列が各指標間で異なった原因としては、果実内には亀裂がまばらに発生するが、どの果実にも発生する品種 (たとえば、'国光'、図版A) ではCIは大きく、亀裂密度は低くなったが、これとは逆に亀裂が一部の果実には発生するが、発生した場合には亀裂が密集する品種 (たとえば、'ふじ'、

図版D) では亀裂密度は平均しても高くなり、CIはそれほど大きくならないものと考えられる。

Byers らの3日間連続浸漬処理によると累積裂果率は '紅玉' が80%、'Stayman' が52%、'G.D.' が40%、及び 'York' が32%、他の5品種は0%であり¹⁶⁾、本実験結果 (第2表) より全体に低い結果のように思われる。この理由として、米国バージニア州と我が国との間の風土、栽培管理等の違いが考えられるが、これ以外におそらく Byers らの調査¹⁶⁾ では細かい可視亀裂が無視された可能性がある。内部裂果の樹上裂果率は '鶴の卵' が64.9%、'P.G.' が23.2%、'陸奥' が23.2%、'つがる' が10%、'ジョナゴールド' が7.2%、'青り3号' が6.7%、'ニューサマーキング' が3.3%、'R.D.' が1.8%であり、他の15品種は0%であった⁵¹⁾。

2. 果実の膨圧、果実の大きさ及び果形指数の品種間差異と裂果感受性との関係

第5表に果実の水ポテンシャル (ψ) と膨圧 (P)、果汁の浸透ポテンシャル (ψ_s)、果実横径 (a)、果実長 (b) 及び果形指数 (a/b) の平均値を示した。膨圧の高い品種として 'ふじ'、'国光' 及び '王鈴' が、低い品種として 'ネロ26号'、'ジョナゴールド' 及び '北斗' が、また、果実横径の大きい品種として 'ふじ'、'陸奥'、'北斗'、'陽光' 及び 'ジョナゴールド' が、小さい品種として 'あかね'、'祝'、'王鈴'、'千秋'、'紅玉' 及び '国光' が、果実長の大きい品種として '陸奥'、'北斗' 及び '王林' が、小さい品種として 'あかね'、'旭'、'祝'、'紅玉'、'国光' 及び 'ネロ26号' が、果形指数が大きい品種として 'あかね'、'旭'、'紅玉'、'国光'、'ジョナゴールド' 及び 'ネロ

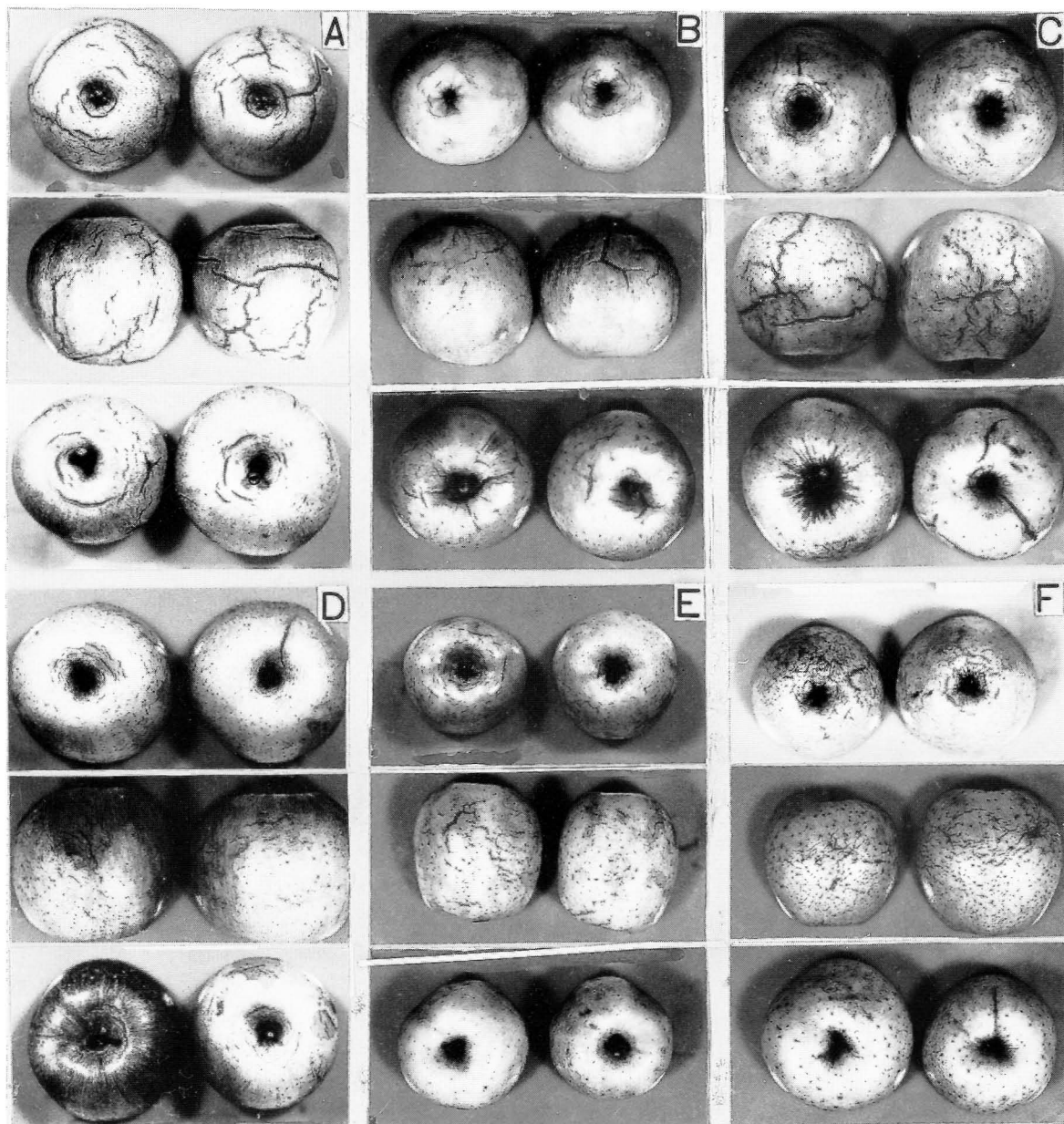


Plate. Fruit crackings by the immersing treatment for 72 hours in several cultivars of apples in 1990.

A : 'Ralls', B : 'Yohkoh', C : 'Mutsu', D : 'Fuji', E : 'Ohrei', F : 'Ohrin'.

The upper, the middle and the lower part of the individual cultivar indicates the calyx end, the side and the stalk cavity, respectively.

Table 5. Means of water potential of fruit (ψ), osmotic potential of the juice (ψ_s), turgor pressure of fruit (P), fruit cross diameter (a), transverse diameter (b) and shape index of fruit (a/b) in several cultivars of apples in 1991.

Cultivars	ψ (MPa)	ψ_s (MPa)	P (MPa)	a (cm)	b (cm)	a/b
Akane	-0.31 a ^z	-1.45 bc	1.14 d	7.46 g	6.05 h	1.233 a
M. R.	-0.28 a	-1.38 c	1.10 d	8.62 bcd	7.00 fg	1.230 a
A. S. P.	-0.28 a	-1.46 bc	1.18 cd	7.33 g	6.67 g	1.105 cde
Ohrei	-0.28 a	-1.62 a	1.34 ab	7.55 fg	7.85 cd	0.962 g
Ohrin	-0.28 a	-1.54 ab	1.26 bc	8.95 bc	8.58 ab	1.042 ef
Jonathan	-0.24 a	-1.48 bc	1.24 c	8.03 def	6.74 g	1.192 ab
Ralls	-0.24 a	-1.60 a	1.36 ab	8.12 cdef	6.75 g	1.186 ab
G. D.	-0.32 a	-1.41 c	1.09 d	8.59 bcd	7.78 cd	1.104 cde
S. D.	-0.28 a	-1.50 bc	1.22 c	8.69 bc	7.76 cd	1.119 cd
Jonagold	-0.24 a	-1.29 cd	1.05 de	9.03 b	7.88 cd	1.142 bc
Sensuh	-0.32 a	-1.43 c	1.11 d	8.02 ef	7.27 ef	1.099 cd
Tsugaru	-0.20 a	-1.28 d	1.08 d	8.53 bcd	7.64 de	1.116 cd
Nero 26	-0.27 a	-1.22 e	0.95 e	8.16 fg	6.82 fg	1.192 ab
Fuji	-0.21 a	-1.65 a	1.44 a	9.01 b	8.08 bcd	1.114 cd
Hokutoh	-0.21 a	-1.27 d	1.06 de	9.89 a	8.71 ab	1.091 cdef
Mutsu	-0.24 a	-1.52 ab	1.28 bc	9.61 a	9.07 a	1.058 ef
Yohkoh	-0.21 a	-1.47 bc	1.26 bc	8.97 b	8.29 bc	1.081 cdef

^z by Duncan's multiple range test (5% level)Table 6. Coefficients of correlation (r) between several susceptibilities by the continuous immersing treatment for 72 hours in 1990 ($CRC: z2$, $MDR: z3$, $MDL: z4$ and $MDR + MDL: z5$), by the cracking index—method in 1991 ($CI: y1$, $CRC: y2$, $MDR: y3$, $MDL: y4$ and $MDR + MDL: y5$) and several factors ($P: x1$, $a: x2$, $b: x3$ and $a/b: x4$) in several cultivars of apples in 1991.

		$r_{z2, x1}$	0.558	$r_{z3, x1}$	0.827** _z	$r_{z4, x1}$	0.373	$r_{z5, x1}$	0.847**
		$r_{z2, x2}$	-0.228	$r_{z3, x2}$	-0.308	$r_{z4, x2}$	-0.025	$r_{z5, x2}$	-0.301
		$r_{z2, x3}$	-0.085	$r_{z3, x3}$	-0.101	$r_{z4, x3}$	0.115	$r_{z5, x3}$	-0.075
		$r_{z2, x4}$	-0.079	$r_{z3, x4}$	-0.177	$r_{z4, x4}$	-0.161	$r_{z5, x4}$	-0.207
$r_{y1, x1}$	-0.336	$r_{y2, x1}$	-0.370	$r_{y3, x1}$	-0.265	$r_{y4, x1}$	-0.619* _y	$r_{y5, x1}$	-0.335
$r_{y1, x2}$	-0.556*	$r_{y2, x2}$	-0.466	$r_{y3, x2}$	-0.728**	$r_{y4, x2}$	-0.629*	$r_{y5, x2}$	-0.734**
$r_{y1, x3}$	-0.618*	$r_{y2, x3}$	-0.544*	$r_{y3, x3}$	-0.625*	$r_{y4, x3}$	-0.534*	$r_{y5, x3}$	-0.629*
$r_{y1, x4}$	0.577*	$r_{y2, x4}$	0.536*	$r_{y3, x4}$	0.356	$r_{y4, x4}$	0.276	$r_{y5, x4}$	0.353

^z and ^y indicate $P < 0.01$ and $P < .05$ (t-test), respectively.

26号'が、小さい品種として'王鈴'、'王林'及び'陸奥'が認められた(第5表)。これらの数値と裂果感受性との相関関係を第6表に示した。1990年の長時間浸漬処理による各指標と膨圧(P)との間の相関は高かったが(第6表, $r_{z3, x1}$, $r_{z5, x1}$)、果実の大きさや果形指数との間に有意な相関は見出されなかった(第6表)。1991年の裂果指数方法による各指標と膨圧(P)との間の相関は MDL ($r_{y4, x1}$)を除き有意ではなかったが、果実の大きさや果径指数との間に有意な相関が認められた(第6表, $r_{y1, x2}$, $r_{y3, x2}$, $r_{y4, x2}$, $r_{y5, x2}$, $r_{y1, x3}$, $r_{y2, x3}$, $r_{y3, x3}$, $r_{y4, x3}$, $r_{y5, x3}$,

$r_{y1, x4}$, $r_{y2, x4}$)。浸漬方法により相関関係の異なる傾向が見られた原因については不明である。ただし、1991年の裂果指数(CI)及び累積裂果率(CRC)と果径指数との間に正の有意な相関関係($r_{y1, x4}$)が認められたことは、果実生長肥大における横方向の肥大生長が盛んな品種ほど裂果しやすいことを示している(第5図)。「千秋」の後半の果実肥大が急なもののほど裂果発生が多かったことが報告されている⁷⁾反面、「陸奥」の果形指数と内部裂果との間には有意な相関関係が認められなかったという報告⁵¹⁾がある。果実の大きさと裂果感受性との相関関係が何

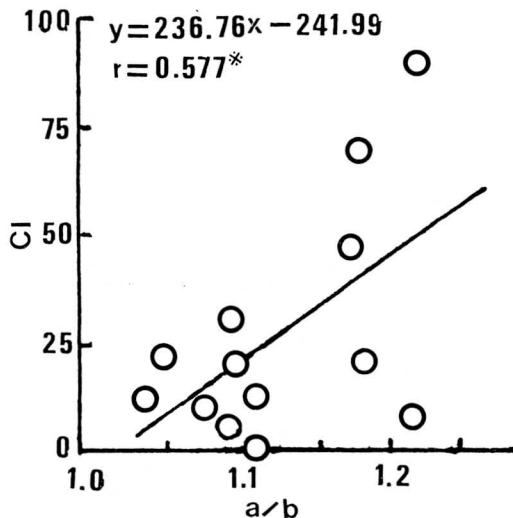


Fig. 5. The correlation between cracking index (CI) and shape index of fruit (a/b) in 13 cultivars of apples in 1991.

れも負であったことは (第6表), 大果な品種ほど裂果しやすいというややあいまいな通念が通用しないことを示している。'陸奥'の内部裂果発生率と横径や果実長 (縦径) との間に有意な正の相関関係があったが, '青り3号'では逆に発生果の短径が健全果のそれよりが小さかったこと⁵¹⁾, '千秋'の裂果は200g以下の小玉で発生が多く, また, 300g以上の大王でも発生が多くなったこと^{3,4)}, 及び'Cox's Orange Pippin'の裂果発生率と果実の大きさとは無関係³¹⁾などの報告がある。なお, 他の樹種についてはアウトウ8品種の横径及び縦径と20時間連続浸漬処理による累積裂果率との間に有意な正の相関関係が認められたが, 果実の膨圧 (P) との間には有意な相関関係は認められなかったこと⁵⁵⁾, また, ブドウ13品種の裂果感受性と横径, 果実長 (縦径) 及び膨圧との間に有意な相関関係が認められなかったこと⁵⁶⁾が報告されている。

3. 果実表面応力分布及び形状係数分布の特長

各品種代表的な形状係数の分布と果実縦断面形を第6図に示した。全品種を通じて経線方向の応力はこうあ部に特に集中し, ついでいあ部に集中し, 肩部と胴部では小さかった (第6図実線の FSC_L)。各品種約8~10個を用いて解析したが, 各代表点の経線方向の形状係数の平均値 (FSC_L) の全品種を通じての範囲は, j点で約50~1200%, i点で約170~230%, b点で約180~300%, c

点で約100~145%, d,e,f,g及びh点で約85~120%であった。また, 緯線方向の応力は胴部に集中し, くぼみ部分では弱かった (第6図点線の FSC_H)。各代表点の緯線方向の形状係数の平均値 (FSC_H) の全品種を通じての範囲は f点で約140~210%, e点で約145~190%, g点で約100~140%, b,c,i及びj点で約8~50%であった。

各代表点ごとの形状係数の平均値を Duncan の多重検定法を用いて品種間比較を行ったところ, FSC_L は b,c,i 及び j 点で多くの品種間に, d,e 及び g 点で少数の品種間に有意差が認められ, FSC_H は e 及び f 点で多くの品種間に, その他の点で少数の品種間に有意差が認められた。なお, FSC_L と FSC_H の平均値及び多重検定の結果はデータ量が大きい紙面の関係から掲載していない。

応力相対量1 ($\sigma_L \cdot t$ と $\sigma_H \cdot t$) に加えて, この和 ($\sigma_L \cdot t + \sigma_H \cdot t$) の平均, 合計3組の各代表点の平均値の品種間比較も Duncan の多重検定を用いて行った。この結果もデータ量が大きかったため紙面の関係から掲載していない。さらに, もう一組の応力相対量2 ($\sigma_L \cdot k$ と $\sigma_H \cdot k$) は応力相対量1 ($\sigma_L \cdot t$ 及び $\sigma_H \cdot t$) と良く似た傾向を示したので掲載していない。1991年の各供試品種の各代表点の $\sigma_L \cdot t$ と $\sigma_H \cdot t$ の平均値の分布を第7図及び第8図の中に示したので, これを参考にして以後示すことにする。

応力相対量1の大小関係は形状係数の大小関係に加えて膨圧値と果実の大きさの影響が加わったものである (2式と3式)。このことは球表面の応力が内部圧 (P) と球半径 (r^*) の積とに比例することでも理解できる (8式)。

$$\sigma_L = \sigma_H = (P \cdot r^*) / (2t) \quad (8)$$

すなわち, 第5表に示した P , a , b 値の大小関係と第6図の形状係数の大小関係が共に影響したものになっていた。形状係数についての Duncan の多重検定結果と同様に, 応力相対量1の平均値にも多くの点で多くの品種間で有意差が認められた。同一品種といえども, よく観察すれば果形に個体差があり, 果形が互いに微妙に異なったが, 上記の有意差の存在はこの微妙な差異による形状係数の違いをも上回る品種間差異が存在し, この差異を本システムが識別できたことを示している。

$\sigma_L \cdot t$ と $\sigma_H \cdot t$ の分布は上記の形状係数 (FSC_L と FSC_H) の分布 (第6図) と似て, 全品種を通じて, $\sigma_L \cdot t$ はこうあ部で特に大きく, ついで, ていあ部で大きく, 胴部では小さく, $\sigma_H \cdot t$ は胴部で大きく, 両くぼみ部で小さかった (第7図及び第8図)。各代表点の $\sigma_L \cdot t$ の全品種を通

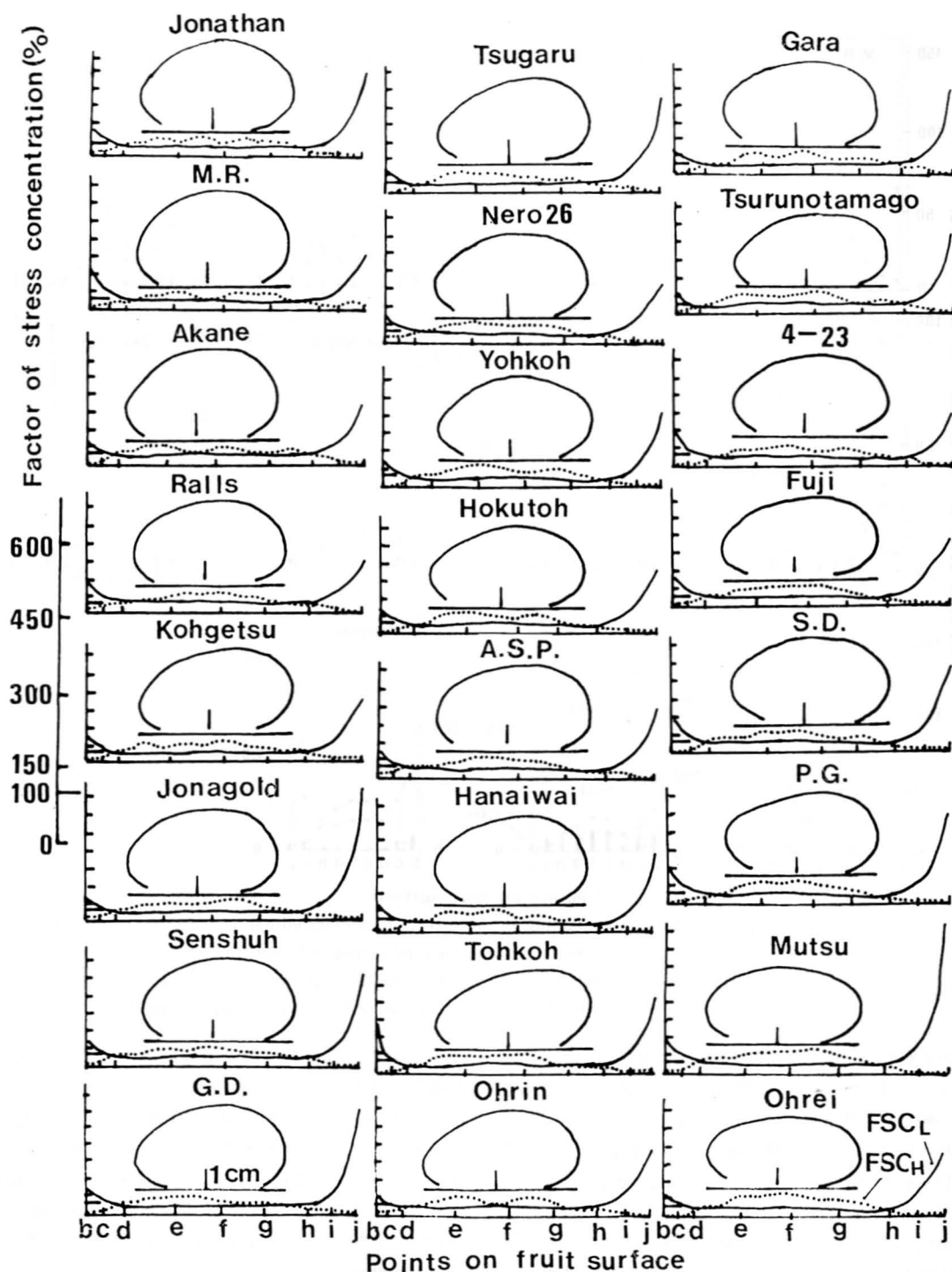


Fig. 6. The representative output of the distribution of factor of stress concentration (FSC) and the shape of outline of vertical section in fruits of several cultivars. FSC_L : FSC in the direction of longitudinal arc, FSC_H : FSC in the direction of latitudinal arc. Straight lines within the outline indicate 1 cm.

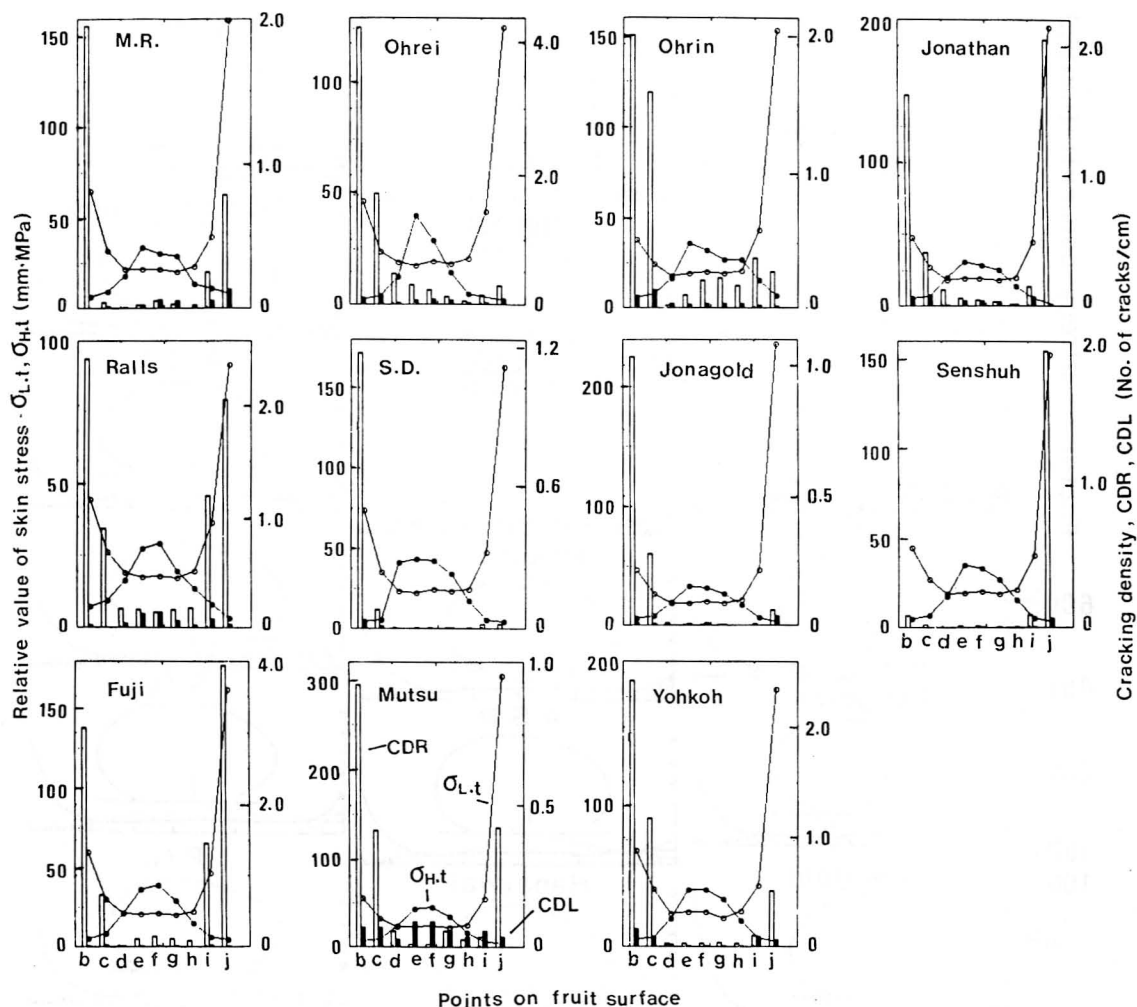


Fig. 7. Distributions of surface stress acting in the direction of longitudinal arc ($\sigma_L \cdot t$, open circle), that of latitudinal arc ($\sigma_H \cdot t$, closed circle), cracking density of ring fracture (CDR, open bar) and that of lengthwise fracture (CDL, closed bar) on the representative regions on the fruit surface by the immersing treatment for 72 hours in several cultivars of apples in 1990.

じての変動幅は j 点で約 90～300 mm·MPa (メガパスカル), i 点で約 35～55 mm·MPa, b 点で約 35～70 mm·MPa, 胴部の各代表点で約 15～25 mm·MPa であった。各代表点の $\sigma_H \cdot t$ の全品種を通じての変動幅は e 点で約 24～43 mm·MPa, f 点で約 25～45 mm·MPa, g 点で約 20～35 mm·MPa であったのに対して, j 点で約 2～8 mm·MPa, b 点で約 2～7 mm·MPa であった。

第 2 図及び (2)～(5) 式から, P の大小を度外視してもくぼみ部の $\sigma_L \cdot t$ もしくは FSC_L はくぼみ部 ($\theta < 0$) の半径 a が大きいほど, くぼみ部の各点の r が小さい

ほど, 胴部の各点の r が大きいほど, 各点の経線方向の曲率半径が大きいほど, 角度 θ が大きいほど大きくなること, 並びに胴部の $\sigma_H \cdot t$ は各代表点の r_L 及び r_H が大きくなるほど増大すること, 加えて $\sigma_L \cdot t$ と $\sigma_H \cdot t$ は互いに逆の大小関係にあることが推察された。事実, たとえば FSC_L と j 点の r (果こうの半径) との間に $r = -0.719^{***}$ の, i 点の r との間に $r = -0.723^{***}$ の高い負の相関関係が, また, b 点の r_L との間に $r = 0.658^{**}$ の, c 点の r_L との間に $r = 0.478^*$ の, j 点の r_L との間に $r = 0.526^*$ の正の相関関係が, また相関係数は小さ

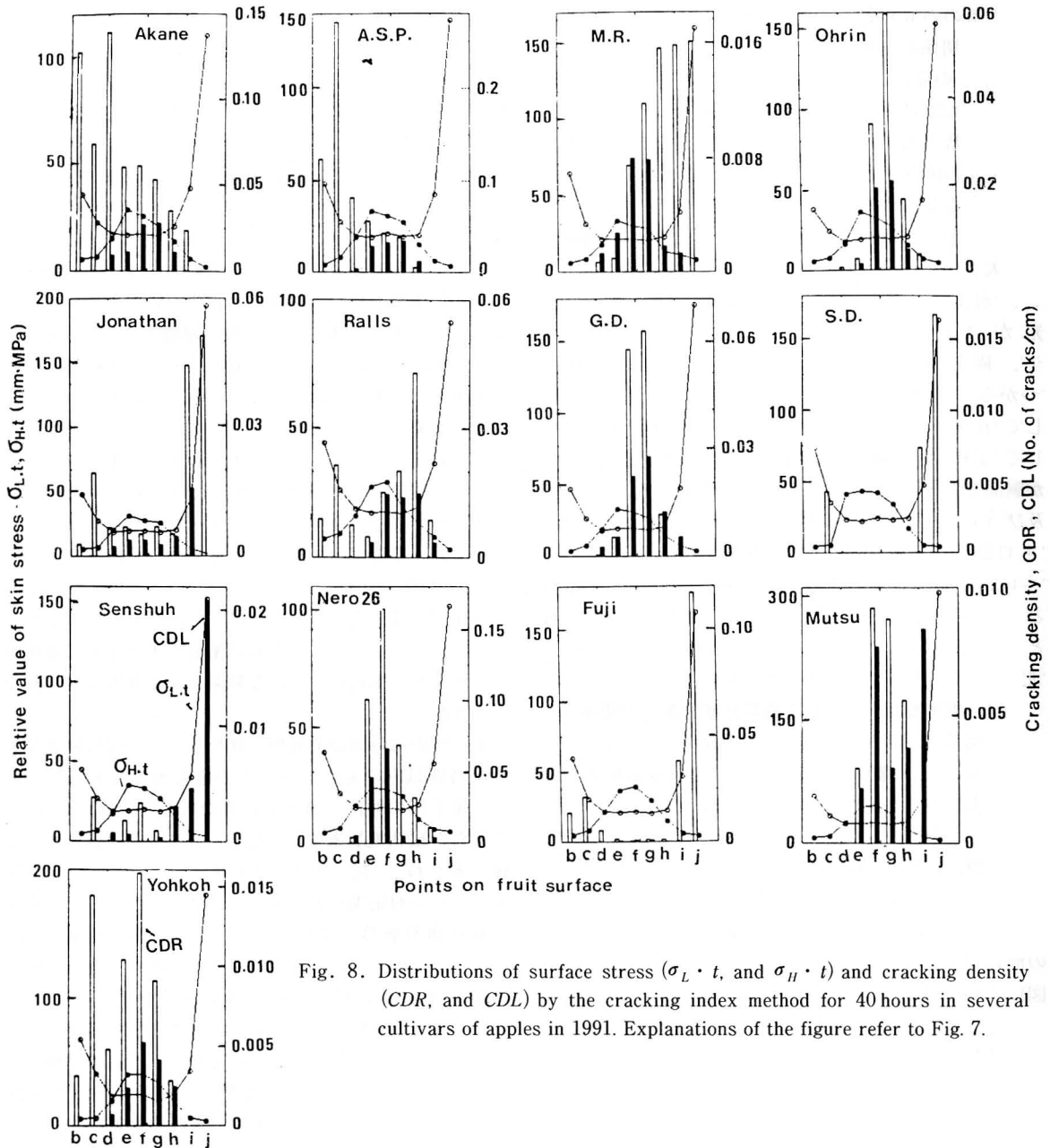


Fig. 8. Distributions of surface stress ($\sigma_L \cdot t$, and $\sigma_H \cdot t$) and cracking density (CDR, and CDL) by the cracking index method for 40 hours in several cultivars of apples in 1991. Explanations of the figure refer to Fig. 7.

かったもののb点とc点のていあ部の半径 a_c との間に正の相関関係が推察された。さらに、 FSC_L とe,f,g点の各 r_L との間に、それぞれ、 $r=0.687^{**}$ 、 $r=0.953^{**}$ 、 $r=0.525^*$ の正の相関関係が認められた。ただし、単独の変数の大小というより、 a, r, θ, r_L, r_H の各変数値間の種々の組み合わせにより形状係数の大小関係が影響されているようであった。

多重検定による平均値比較結果によると FSC_L 値がj点で大きい品種として‘陸奥’、‘ジョナゴールド’、‘つがる’、‘紅玉’、小さい品種として‘東光’、‘北斗’及び‘国光’が、b点で大きい品種として‘S.D.’、‘P.G.’、‘旭’、‘北斗’、‘陽光’及び‘ガラ’が、小さい品種として‘王林’、‘つがる’、‘花祝’及び‘あかね’が、胴部で大きい品種として‘花祝’、‘北斗’、‘S.D.’及び‘王鈴’が、小さい品種として‘王林’及び‘鶴の卵’が認められた。他方、 FSC_H 値が胴部で大きい品種として‘王鈴’、‘陸奥’、‘S.D.’、‘ふじ’及び‘P.G.’が、小さい品種として‘紅玉’、‘旭’、‘あかね’、‘ネロ26号’及び‘花祝’が、j点で大きい品種として‘ネロ26号’、‘鶴の卵’、‘P.G.’及び‘花祝’が、小さい品種として‘王鈴’、‘紅玉’及び‘千秋’が、b点で大きい品種として‘旭’及び‘ガラ’が、小さい品種として‘王鈴’、‘北斗’、‘P.G.’及び‘花祝’が認められた。

4. 果実表面応力分布と亀裂密度分布との関係

第7図及び第8図は各品種の各代表点の $\sigma_L \cdot t_{b-j}$ (○印)と $\sigma_H \cdot t_{b-j}$ (●印)の分布に対して、浸漬処理による各代表点の平均亀裂密度である CDR_{b-j} (白棒グラフ)と CDL_{b-j} (黒棒グラフ)の分布を対応させて示した。浸漬時間が長かった場合 (第7図, 1990年) には、短かった場合 (第8図, 1991年) より亀裂密度は全体に高くなった。1990年では、応力分布と輪状亀裂密度 (CDR_{b-j}) との間にはおおそ密接な対応関係が認められた (第7図)。「千秋」を除く他の品種ではていあ部の大きい $\sigma_L \cdot t$ に対応して、この応力が作用する方向に対して垂直に走る輪状亀裂の密度 (CDR) がこの部分で高かった (第7図)。また、「王鈴」、「王林」、「S.D.」及び「ジョナゴールド」を除く他の品種でこうあ部の大きい $\sigma_L \cdot t$ に対応して、この部分の輪状亀裂密度 (CDR) が高かった (第7図)。こうあ部の亀裂密度がこの部分の応力の大きさほどには高くなかった理由としてこうあ部の果皮組織の機械的強度が大きいことが考えられる。青森県りんご試験場 (1987) は、著者らが考案した空気圧による果皮強度測定方法⁵³⁾を用いて7品種の果皮強度を測定比較したところ、こうあ部の果皮強度が共通して大きく、赤道部が

最も小さかった¹¹⁾。他方、胴部で大きかった $\sigma_H \cdot t$ に対応して、この応力の作用する方向に対して垂直に走る縦状亀裂の密度 (CDL_{b-j}) が良く対応した品種は「陸奥」及び「国光」のみで、他の品種では対応関係は見られなかった (第7図)。また、輪状亀裂密度の高い部分で縦状亀裂密度が高くなることが認められ (‘ジョナゴールド’のj点、‘旭’のi点及びj点、‘陽光’のb,c,i及びj点、‘王林’のb及びc点、‘王鈴’のb及びc点)、この原因として二次裂開が考えられる。一般的には、応力が働いて最初に亀裂が生じる部分の当初の方向のエネルギーは消失する。果肉が柔らかく、果肉組織と皮部分 (果皮組織) の接着力が弱いオウトウ果実やブドウ果粒では最初の亀裂により果皮がゆるみ変形する程度が大きいため、当初とは異なる方向のエネルギーも同時に大方消失するものと考えられる。しかし、果肉が硬く、果肉組織と果皮組織の接着力が強いリンゴ果実では最初の亀裂によってもこれと異なる方向のエネルギーはさほど消失しないばかりか、亀裂により機械的強度が著しく低下することから、最初の裂開部位を起点として引き続いて異なる方向の応力による亀裂 (二次裂開) が発生するものと考えられる。このことが上記の輪状亀裂の多発部位に縦状亀裂を併発し、網目状の複雑な裂開となる原因かもしれない (図版)。

第7図の72時間浸漬処理と異なり、第8図は亀裂発生後8時間以内のものについての亀裂密度であったためか、第7図の傾向とは大いに異なった。全体的に $\sigma_H \cdot t$ の分布と縦状亀裂密度 (CDL_{b-j}) の分布との間に多く品種 (‘あかね’、‘祝’、‘G.D.’、‘王林’、‘ネロ26号’及び‘陽光’) に良い対応関係が認められたが、逆に $\sigma_L \cdot t$ の分布と輪状亀裂密度 (CDR_{b-j}) の分布との間の関係は「紅玉」、「S.D.」及び「ふじ」を除いてあまり密接でなく、輪状亀裂密度が高い部分で縦状亀裂密度が高かった (‘王林’、‘G.D.’、‘国光’、‘ネロ26号’、‘陸奥’及び‘陽光’)。これも二次裂開の影響と考えられるが、これらの品種のこの部分の果皮強度の低下の影響¹¹⁾も考えられ、今後検討する必要がある。こうあ部の縦状亀裂密度の高かった品種として「千秋」が認められ、1990年の同品種のこうあ部の輪状亀裂密度が高かったことと対照的であった。また、胴部からこうあ部にかけて輪状亀裂密度の高かった品種として、「旭」が、果頂部から胴部にかけて輪状亀裂密度の高かった品種として「あかね」及び「祝」が認められ、また、「ふじ」では縦状亀裂密度は特に低く (第8図)、1990年の結果 (第5表) とよく似ていた。

5. 裂果感受性の品種間差異と亀裂密度分布及び形状係数の分布との関係

第7表に1991年の調査による裂果感受性の各指標 (CI , CRC , MDR , MDL , $MDR+MDL$) と11品種の各代表点の亀裂密度 (CDR_{b-j} , CDL_{b-j} 及び $CDR_{b-j}+CDL_{b-j}$) との間の相関関係を示した。いずれの指標も i 点と j 点の輪状亀裂密度 CDR との間には有意な相関関係が認められなかったが、他のほとんどの代表点の CDR との間に有意な正の相関関係が認められた。他方、縦状亀裂密度 CDL に対しては d 点と e 点でいずれの指標との間に、及び、 g 点と h 点の一部の指標との間に有意な正の相関関係が認められたにすぎない (第7表)。このことは裂果感受性の品種間差異が主としていあ部及び胴部の輪状亀裂並びに果頂部側肩部から胴部にかけての部分の縦状亀裂の多少によりもたらされていることを示している。こうあ部の亀裂は‘ふじ’の“つる割れ”⁷⁾や‘千秋’

のこうあ部表面裂果や“つる割れ”⁷⁾等で問題になっている。‘千秋’の裂果の内訳は、“つる割れ”のみが71.1%，こうあ部裂果が12.2%および肩部裂果が17.6%であった⁷⁾。また、このことは、1990年調査の‘ふじ’の i 点と j 点及び‘千秋’の j 点の輪状亀裂密度 (CDR) あるいは1991年の調査の‘ふじ’の j 点の輪状亀裂密度及び‘千秋’の i 点と j 点の縦状亀裂密度 (CDL) が他の部位に比較して高かった (第7図及び第8図) ことと一致した。しかし、多くの品種の裂果感受性と i 及び j 点の亀裂密度との間に有意な相関が認められなかったことは、他の多くの品種のこの部分に裂果が少なかったことによるものと思われる (第7図及び第8図)。

第8表に裂果感受性の指標と各代表点の形状係数との間の相関関係のうち、正の有意な相関関係が得られたもののみを示した。 $\sigma_{L \cdot t_{b-j}}$ 及び $\sigma_{H \cdot t_{b-j}}$ は裂果感受性のいずれの指標との間にも有意な正の相関関係が認め

Table 7. Coefficients of correlation (r) between several susceptibilities by the immersing method for 40 hours in 1991 (CI : $y1$, CRC : $y2$, MDR : $y3$, MDL : $y4$ and $MDR+MDL$: $y5$) and cracking densities at representative points on fruit surface (w : CDR , v : CDL and u : $CDR+CDL$) in several cultivars of apples. Subscript of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9 of w , v and u indicate the point of b , c , d , e , f , g , h , i and j , respectively.

$r_{y1,w1}$	0.565 ^{*z}	$r_{y2,w1}$	0.437	$r_{y3,w1}$	0.886 ^{***y}	$r_{y4,w1}$	0.523	$r_{y5,w1}$	0.857 ^{***}
$r_{y1,w2}$	0.232	$r_{y2,w2}$	0.157	$r_{y3,w2}$	0.761 ^{***x}	$r_{y4,w2}$	0.487	$r_{y5,w2}$	0.739 ^{**}
$r_{y1,w3}$	0.686 ^{**}	$r_{y2,w3}$	0.544 [*]	$r_{y3,w3}$	0.843 ^{***}	$r_{y4,w3}$	0.489	$r_{y5,w3}$	0.810 ^{***}
$r_{y1,w4}$	0.795 ^{***}	$r_{y2,w4}$	0.791 ^{***}	$r_{y3,w4}$	0.801 ^{***}	$r_{y4,w4}$	0.862 ^{***}	$r_{y5,w4}$	0.838 ^{***}
$r_{y1,w5}$	0.694 ^{**}	$r_{y2,w5}$	0.782 ^{***}	$r_{y3,w5}$	0.551 [*]	$r_{y4,w5}$	0.849 ^{***}	$r_{y5,w5}$	0.620 [*]
$r_{y1,w6}$	0.616 [*]	$r_{y2,w6}$	0.728 ^{**}	$r_{y3,w6}$	0.557 [*]	$r_{y4,w6}$	0.825 ^{***}	$r_{y5,w6}$	0.621 [*]
$r_{y1,w7}$	0.797 ^{***}	$r_{y2,w7}$	0.865 ^{***}	$r_{y3,w7}$	0.376	$r_{y4,w7}$	0.550 [*]	$r_{y5,w7}$	0.420
$r_{y1,w8}$	0.156	$r_{y2,w8}$	0.079	$r_{y3,w8}$	0.146	$r_{y4,w8}$	-0.193	$r_{y5,w8}$	0.093
$r_{y1,w9}$	-0.257	$r_{y2,w9}$	-0.303	$r_{y3,w9}$	-0.072	$r_{y4,w9}$	-0.445	$r_{y5,w9}$	-0.139
$r_{y1,v3}$	0.853 ^{***}	$r_{y2,v3}$	0.773 ^{**}	$r_{y3,v3}$	0.810 ^{***}	$r_{y4,v3}$	0.721 ^{**}	$r_{y5,v3}$	0.822 ^{***}
$r_{y1,v4}$	0.614 [*]	$r_{y2,v4}$	0.662 ^{**}	$r_{y3,v4}$	0.693 ^{**}	$r_{y4,v4}$	0.869 ^{***}	$r_{y5,v4}$	0.745 ^{**}
$r_{y1,v5}$	-0.018	$r_{y2,v5}$	-0.112	$r_{y3,v5}$	0.375	$r_{y4,v5}$	-0.148	$r_{y5,v5}$	0.293
$r_{y1,v6}$	0.433	$r_{y2,v6}$	0.459	$r_{y3,v6}$	0.672 ^{**}	$r_{y4,v6}$	0.645 [*]	$r_{y5,v6}$	0.688 ^{**}
$r_{y1,v7}$	0.500	$r_{y2,v7}$	0.518	$r_{y3,v7}$	0.466	$r_{y4,v7}$	0.540 [*]	$r_{y5,v7}$	0.498
$r_{y1,v8}$	-0.045	$r_{y2,v8}$	-0.060	$r_{y3,v8}$	-0.257	$r_{y4,v8}$	-0.040	$r_{y5,v8}$	-0.231
$r_{y1,v9}$	-0.255	$r_{y2,v9}$	-0.333	$r_{y3,v9}$	-0.266	$r_{y4,v9}$	-0.138	$r_{y5,v9}$	-0.250
$r_{y1,u1}$	0.579 [*]	$r_{y2,u1}$	0.448	$r_{y3,u1}$	0.885 ^{***}	$r_{y4,u1}$	0.518	$r_{y5,u1}$	0.851 ^{***}
$r_{y1,u2}$	0.232	$r_{y2,u2}$	0.157	$r_{y3,u2}$	0.761 ^{**}	$r_{y4,u2}$	0.487	$r_{y5,u2}$	0.739 ^{**}
$r_{y1,u3}$	0.707 ^{**}	$r_{y2,u3}$	0.568 [*]	$r_{y3,u3}$	0.853 ^{***}	$r_{y4,u3}$	0.515	$r_{y5,u3}$	0.822 ^{***}
$r_{y1,u4}$	0.750 ^{**}	$r_{y2,u4}$	0.762 ^{**}	$r_{y3,u4}$	0.779 ^{**}	$r_{y4,u4}$	0.875	$r_{y5,u4}$	0.821 ^{***}
$r_{y1,u5}$	0.707 ^{**}	$r_{y2,u5}$	0.797 ^{***}	$r_{y3,u5}$	0.588 [*]	$r_{y4,u5}$	0.877 ^{***}	$r_{y5,u5}$	0.657 [*]
$r_{y1,u6}$	0.600 [*]	$r_{y2,u6}$	0.691 ^{**}	$r_{y3,u6}$	0.637 [*]	$r_{y4,u6}$	0.825 ^{***}	$r_{y5,u6}$	0.690 ^{**}
$r_{y1,u7}$	0.790 ^{***}	$r_{y2,u7}$	0.850 ^{***}	$r_{y3,u7}$	0.440	$r_{y4,u7}$	0.606 [*]	$r_{y5,u7}$	0.483
$r_{y1,u8}$	0.125	$r_{y2,u8}$	0.053	$r_{y3,u8}$	0.059	$r_{y4,u8}$	-0.179	$r_{y5,u8}$	0.020
$r_{y1,u9}$	-0.303	$r_{y2,u9}$	-0.363	$r_{y3,u9}$	-0.119	$r_{y4,u9}$	-0.472	$r_{y5,u9}$	-0.184

^z, ^y and ^x indicate $P < 0.05$, $P < 0.001$ and $P < 0.01$ (t-test), respectively.

Table 8. Coefficients of correlation (r) between several susceptibilities by the cracking-index method in 1991 ($CI: y1$, $CRC: y2$, $MDR: y3$, $MDL: y4$ and $MDR + MDL: y5$) and factor of stress concentration ($FSC_H: t$, $FSC_L: s$ and $FSC_H + FSC_L: q$) at representative points in several cultivars of apples. Negative or non-significant coefficients of correlation were omitted in the table. Subscript of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9 of t , s and q indicate the point of b , c , d , e , f , g , h , i and j , respectively.

$r_{y1,t7}$	0.799*** _z	$r_{y2,t7}$	0.707** _y	$r_{y3,q8}$	0.579* _x	$r_{y4,q8}$	0.675**	$r_{y5,q8}$	0.614*
$r_{y1,s1}$	0.595*	$r_{y2,s1}$	0.651*						
$r_{y1,q7}$	0.728**	$r_{y2,s2}$	0.551*						
$r_{y1,q8}$	0.703**	$r_{y2,q7}$	0.608*						
		$r_{y2,q8}$	0.745**						

_z, _y and _x $P < 0.001$, $P < 0.01$ and $P < 0.05$ (t-test), respectively.

られなかった。また、ほとんどの各代表点の FSC_L 及び FSC_H についても同様であった。ただし、1991年の調査の裂果指数 (CI) と FSC_{Lb} , FSC_{Hh} , $FSC_{Lh} + FSC_{Hh}$ 及び $FSC_{Li} + FSC_{Hi}$ との間に (第8表の $r_{y1,s1}$, $r_{y1,t7}$, $r_{y1,q7}$, $r_{y1,q8}$), 累積裂果率 (CRC) と FSC_{Lb} , FSC_{Lc} , FSC_{Hh} , $FSC_{Lh} + FSC_{Hh}$, 及び $FSC_{Li} + FSC_{Hi}$ との間に (第8表の $r_{y2,s1}$, $r_{y2,s2}$, $r_{y2,t7}$, $r_{y2,q7}$, $r_{y2,q8}$), 平均輪状亀裂密度 (MDR) と $FSC_{Lh} + FSC_{Hh}$ との間に ($r_{y3,q8}$), 縦状平均亀裂密度 (MDL) と $FSC_{Lh} + FSC_{Hh}$ との間に ($r_{y4,q8}$) 及び 1果当り両型の平均亀裂密度 ($MDR + MDL$) と $FSC_{Lh} + FSC_{Hh}$ との間 ($r_{y5,q8}$) に正の有意な相関関係が認められた (第8表), 以上のことから, 裂果感受性の品種間差異と各品種の各代表点の応力分布や形状係数の分布との間には特定の部位を除き密接な関係を存在しなかったものと考えられる。なお, 果形の品種間差異の著しいブドウでは FSC_H の変動幅と裂果感受性との間に有意な正の相関関係が認められたものの, 多く代表点の FSC_L , FSC_H , $\sigma_L \cdot t$ 及び $\sigma_H \cdot t$ との間には相関関係が認められなかった⁵⁶⁾。また, オウトウ8品種の20時間連続浸漬処理による累積裂果率と b 及び i 点の $\sigma_L \cdot t$ 及び f 点の $\sigma_H \cdot t$ との間に有意な相関関係が認められた⁵⁵⁾。いずれにしても, リンゴにおいては上記の二次裂開が起きやすいことに加えて, 果実組織の機械的強度の要因 (その分布も含む) が裂果感受性に強く働くものと考えられ, 裂果発生と応力分布との関係はさほど密接ではないものと考えられる。

本調査によりリンゴの裂果感受性の品種間差異の識別及び各品種における果実表面の応力分布と亀裂密度分布との間のある程度の密接な関係を明らかにできたが, 裂果感受性の品種間差異をもたらし要因については果形指数や特定部位の形状係数の違い以外に明らかに出来な

かった。いうまでもなく, リンゴの裂果発生程度には今回調査した裂果の原動力に関する要因の他に, 果皮組織の機械的強度や果実肥大特性の要因が大きく働くものと考えられる。果実の組織学的調査の方面では特定の品種に限定されてはいたものの詳細な観察が行われている。この中で, 特に下皮組織の細胞の扁平化⁴⁷⁾, 細胞壁の肥厚^{10,47)}, 細胞形の不均一化¹⁰⁾等による下皮組織の伸展性の低下と裂果発生とが密接であることが示唆されている。このことはオウトウ^{33,36)}及びブドウ^{20,35,58)}にもある程度共通しており, 一般に裂果感受性の品種間差異の大きな要因と考えられるが, 今回の調査では全く扱っていない。肥大特性の品種間差異とともに今後の大きな調査課題であると考えている。

謝 辞

本研究を遂行するに当たって, 青森県りんご試験場及び山形大学農学部附属農場果樹園の多数の貴重な品種を供試させていただいた。青森県りんご試験場場長の工藤祐基農学博士 (当時), 西村達弘技師及び当試験場関係者各位, 山形大学農学部附属農場果樹部門の難波勉治助教授, 本間清治氏技官及び当農場関係者各位に心より謝意を表します。

摘 要

裂果感受性の品種間差異の要因解析を目的として, リンゴ数品種の果実の膨圧, 果実の大きさ, 果形指数, 裂果感受性の指標としての浸漬処理による裂果指数, 累積裂果率並びに平均亀裂密度, 亀裂密度の分布及び果実表面の応力と形状係数の分布を測定し, これらの相互関係を解析した。

1. 界面活性剤 Triron X-100 の0.1%水溶液を用い

て、果実単位の亀裂発生の有無をもとに、72時間連続浸漬処理(1990年)による累積裂果率(CRC)及び8時間間隔で亀裂発生果を除去しながら合計40時間の浸漬処理(1991年)による累積裂果率(CRC)及び裂果指数(CI)⁴⁸⁾の測定を行った。また、この実験における亀裂発生果について、亀裂の数と太さを考慮して、果実表面上の部位別及び開裂型別に亀裂密度(重みづけ亀裂本数/cm)の分布並びに1果あたりの平均輪状亀裂密度(MDR)、平均縦状亀裂密度(MDL)及びこの両者の合計(MDR+MDL)を調査した。裂果感受性の多くの指標間に有意な相関関係が認められた。これらの指標を総合的に検討した結果、裂果感受性の高い品種として‘あかね’、‘ネロ26号’、‘王鈴’及び‘国光’が、また、低い品種として‘S.D.’、‘R.D.’及び‘レッドスパ’が認められた。

2. 裂果感受性と果実の大きさ(a, b)の間に有意な負の、並びに果形指数(a/b)との間に有意な正の相関関係が認められた。また、72時間連続浸漬処理と膨圧(P)との間に有意な正の相関関係は認められた。

3. 「果実表面応力分布解析システム」⁵⁵⁾を用いて、各品種の経線方向及び緯線方向の応力相対量1($\sigma_L \cdot t$ 及び $\sigma_H \cdot t$)並びに形状係数(FSC_L 及び FSC_H)の分布を調査解析した。リンゴ全品種を通じて経線方向の応力($\sigma_L \cdot t$)及び形状係数(FSC_L)の値はこうあ部で大きく、ついでていあ部で大きかった。他方、緯線方向のそれら($\sigma_H \cdot t$ 及び FSC_H)は胴部で大きかった。Duncanの多重検定の結果、多くの品種間の多くの部位でこれらの値の平均値が分離された。

4. 浸漬時間の長かった1990年の亀裂密度は1991年のものより高かった。両者とも果実表面上の応力分布との間に多く品種においておおよそ密接な対応関係が認められたが、二次裂開の発生の多少により品種によっては対応関係が認められなかった。こうあ部の裂果および“つる割れ”が問題になっている‘千秋’や‘ふじ’のこうあ部(i及びj点)の亀裂密度は高かった。

5. 裂果感受性と各部位の亀裂密度との間にこうあ部(i及びj点)を除き高い有意な正の相関関係が認められ、特に、多くの品種の裂果感受性の高低はていあ部及び胴部の輪状亀裂並びに果頂部側肩部から胴部にかけての縦状亀裂の多少と密接であった。しかし、応力値あるいは形状係数の値の大小と裂果感受性の品種間差異との間には特定の部位を除き関連性は認められなかった。

引用文献

- 1) ACKLEY, B. W. and W. H. KRUEGER. 1980. Overhead irrigation water quality and the cracking of sweet cherries. HortSci. 15: 289-290.
- 2) 秋田県果樹試験場. 1982. 千秋に関する試験および調査. 2) 梗あ部の裂果防止に関する試験および調査. 秋田果試業報. 26: 54-55.
- 3) 秋田県果樹試験場. 1983. 千秋の栽培に関する試験. 1) 果実の発育および裂果. 秋田果試業報. 27: 77-83.
- 4) 秋田県果樹試験場. 1984. リンゴ千秋の裂果防止に関する試験. 秋田果試業報. 28: 32-45.
- 5) 秋田県果樹試験場. 1985. リンゴ千秋の裂果防止に関する試験(総合助成課題). 秋田果試業報. 29: 41-49.
- 6) 秋田県果樹試験場. 1986. リンゴの栽培管理に関する試験. 3) 千秋の裂果防止に関する試験. 秋田果試業報. 30: 54-65.
- 7) 秋田県果樹試験場. 1987. リンゴ千秋の裂果防止に関する試験. 秋田果試業報. 31: 85-96.
- 8) 秋田県果樹試験場. 1988. 千秋の裂果防止に関する試験. 秋田果試業報. 32: 104-206.
- 9) 秋田県果樹試験場. 1989. 千秋の栽培法に関する試験. 4) 千秋の果皮に発生する緑斑部の無機成分含有率. 秋田果試業報. 33: 156-157.
- 10) 秋田県果樹試験場. 1991. 千秋の裂果防止に関する試験. 秋田果試業報. 35: 117-127.
- 11) 青森県りんご試験場. 1987. 裂果の発生要因の解明と防止. イ. 千秋の外部裂果の発生要因と防止. 昭和62年度業務年報: 63-65.
- 12) BANGERTH, F. 1973. Investigation upon Ca related physiological disorders. Phytopath. Z. 77: 20-37.
- 13) BARRS, H. D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In “Water deficits and plant growth” (KOZLOWSKI, T. T. ed.): 236-368. Academic Press. New York and London.
- 14) BELMANS, K. 1989. Study of growth, yield and fruit quality of sweet cherry, cv. Hedelfinger R. after soil application of Paclobutrazol. Acta Hort. 239: 443-446.
- 15) BULLOCK, R. M. 1952. A study of some inorganic compounds and growth promoting chemicals in relation

- to fruit cracking of Bing cherries at maturity. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 59 : 243-253.
- 16) BYERS, R. E., CARBAUGH, D. H. and PRESLEY, C. N. 1990. 'Stayman' fruit cracking as affected by surfactants, plant growth regulators, and other chemicals. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115(3) : 405-411.
 - 17) CHRISTENSEN, J. V. 1972. Cracking in cherries III. Determination of cracking susceptibility. Acta Agric. Scand. 22 : 128-136.
 - 18) CHRISTENSEN, J. V. 1975. Cracking in cherries. VII. Cracking susceptibility in relation to fruit size and firmness. Acta Agric. Scand. 25 : 11-13.
 - 19) CONSIDINE, J. A. and BROWN, K. 1981. Physical aspects of fruit growth. Theoretical analysis of distribution of surface growth forces in fruit in relation to cracking and splitting. Plant Physiol. 68 : 371-376.
 - 20) CONSIDINE, J. A. and KRIEDEMANN, P. E. 1971. Fruit splitting in grape Determination of the critical turgor pressure. Aust. J. agric. Res. 23 : 17-24.
 - 21) COSTA, G. 1983. Influence of growth regulators on apple fruit cracking (cv "Stayman Red"). Acta Hort. 137 : 367-373.
 - 22) DAVENPORT, D. C., URIU, K. and HAGAN, R. M. 1972. Antitranspirant film: curtailing intake of external water by cherry fruit to reduce cracking. HortSci. 7 : 507-508.
 - 23) FORLANI, M. C., PASQUARELLA, G., and ERRICO, M. D. 1988. Studies on the sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivar of Campania. I. Susceptibility to cracking. Annali della Facoltà di Scienze. Agrarie della Università degli Studi di Napoli, Portici. IV. 21 : 81-87.
 - 24) FOSTER, W. R. 1938. Cracking of cherries. Sci. Agr. 17 : 550.
 - 25) GERHARDT, F., ENGLISH, H. and SMITH, E. 1945. Cracking and decay of Bing cherries as related to the presence of moisture on the surface of the fruit. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 46 : 191-198.
 - 26) HANKINSON, B. and RAO, V. N. M. 1979. Histological and physical behavior of tomato skins susceptible to cracking. Amer. Soc. Hort. Sci. 104(5) : 577-581.
 - 27) HARRINGTON, W. O., HILLS, C. H., JONES, S. B., STAFFORD, A. E. and TENNES, R. 1978. Ethyl oleate sprays to reduce cracking of sweet cherries. HortSci. 13 : 279-280.
 - 28) 平田克明・柴 寿・三好武満. 1970. ブドウ (デラウエア) の裂果と防止方法. 農業及び園芸. 45(6) : 923-927.
 - 29) 平塚 伸・松島二良・笠井 剛・輪田竜治・須崎徳高. 1989. ブドウ 'オリンピック' の裂果に関する組織学的研究. 園学雑. 58(3) : 545-550.
 - 30) 飯塚一郎・矢野和男. 1972. 摘み取ったオウトウ果実の吸水について. 園学要旨. 昭47秋 : 16-17.
 - 31) IRVING, D. E. and DROST, J. H. 1987. Effects of water deficits on vegetative growth, fruit growth and fruit quality of Cox's Orange Pippin apple. J. Hort. Sci. 62(4) : 427-432.
 - 32) 泉 克明・木原 宏・茂原 泉・前島 勤. 1990. ブドウ赤色大粒種の着色向上, 裂果防止技術の確立. 第1報. 赤色大粒種の裂果に関する試験. 長野中信農試報. 8 : 21-36.
 - 33) KERTESZ, Z. I. and NEBEL, B. R. 1935. Observation on the cracking of cherries. Plant Physiol. 10 : 763-772.
 - 34) KNUTH, D. and STÖSSER, R. 1987. Comparison of the sun-exposed and shaded side of apple fruits. I. Cuticle, epidermal cell size, and surface waxes. Gartenbauwissenschaft. 52(2) : 49-57.
 - 35) MAYNHARDT, J. T. 1964. A histological study of berry-splitting in some grape cultivars. S. Afr. J. Agric. Sci. 7 : 707-716.
 - 36) MOHAMED, M. A. H. F. 1978. Investigation into fruit quality of sweet cherry. II. Histological investigation into the exocarp of sweet cherry. Arch. Gartenbau. 26 : 211-220.
 - 37) 大野俊雄・小柳津和佐久・鈴木恵三. 1951. 桜桃の裂果防止に関する研究. 園学雑. 22 : 239-243.
 - 38) PROEBSTING, E. L., CARTER, G. H. and MILLS, H. H. 1973. Quality improvement in canned 'Rainier' cherries (*P. avium* L.) with gibberellic acid. J. Amer. Hort. Soc. Sci. 98 : 334-336.
 - 39) 沢田英吉. 1931. 桜桃実割れに関する研究. 農業及び園芸. 6 : 865-892.
 - 40) SEKSE, L. 1987. Fruit cracking in Norwegian grown sweet cherries. Acta Agric. Scand. 37 : 325-328.
 - 41) 柴 寿. 1983. ブドウの裂果発生原因と防止対策. 農業及び園芸. 58(3) : 419-425.

- 42) 柴 寿・茂原 泉. 1978. ブドウ巨峰の裂果発生原因と防止対策. 農業及び園芸. 53 (8) : 1011-1015.
- 43) SKENE, D. S. 1980. Growth stresses during development in Cox's Orange Pippin apples. J. Hort. Sci. 55 (1) : 27-32.
- 44) TABUENCA, M. C. 1985. Reduction of cracking in sweet cherries following the use of NAA sprays. Anales de la Estación Experimental de Aula Dei. 17 : 209-213.
- 45) 泊 功・石塚昭吾. 1996. 降雨によるオウトウの実割れの機構とOED散布によるその防止効果. 農業及び園芸. 41 : 1379-1380.
- 46) VERNER, L. 1935. A physiological study of cracking in Stayman Winesap apples. J. Agr. Res. 51 (3) : 191-222.
- 47) VERNER, L. 1938. Histology of apple fruit tissue in relation to cracking. J. Agr. Res. 57 (11) : 813-824.
- 48) VERNER, L. and BLODGETT, E. C. 1931. Physiological studies of the cracking of sweet cherries. Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 184 : 3-16.
- 49) VISAI, C. and FAILLA, O. 1989. Effects of Promalin and Paclobutrazol on cracking and quality of Neippling Stayman apples. Acta Hort. 239 : 451-454.
- 50) WALTER, T. E. 1967. Russeting and cracking in apple : A review of world literature. Rep. East. Mall. Res. St for 1966 : 83-95.
- 51) 渡辺政弘・山谷秀明・雪田金助・石山正行・清藤盛正. 1987. 1983年青森県におけるリンゴ陸奥等実割れの発生実態. 青森りんご試報. 24 : 83-103.
- 52) 山本隆儀. 1973. オウトウの裂果と果実の水分関係. 山形農林学会報. 30 : 74-85.
- 53) 山本隆儀・岩田俊彦・渡部俊三. 1989. 空気圧による果皮強度の敏速測定方法とオウトウ果実を用いた測定結果. 山形農林学会報. 46 : 7-12.
- 54) 山本隆儀・工藤 信・渡部俊三. 1990. オウトウ‘佐藤錦’の裂果と果実肥大特性. 園学雑. 59 : 325-332.
- 55) 山本隆儀・細井喜久子・渡部俊三. 1990. 果実表面応力分布解析システムによるオウトウ果実の解析結果と裂果発生との関係. 園学雑. 59 (3) : 509-517.
- 56) 山本隆儀・佐藤 秀・渡部俊三. 1992. ブドウ品種の果粒表面応力分布と裂果感受性. 園学雑. 61 (別1) : 78-79.
- 57) YAMAMOTO, T., SATOH, H. and WATANABE, S. 1992. The effects of calcium and naphthalene acetic acid sprays on cracking index and natural rain cracking in sweet cherry fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61 (3) : 507-511.
- 58) YAMAMURA, H. and NAITO, R. 1985. Susceptibility to berry splitting in several grape cultivars. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 53 (4) : 390-395.
- 59) YAMAMURA, H., NAITO, R. and TAMURA, H. 1986. Effects of light intensity and humidity around clusters on the formation of surface wax and the resistance to berry splitting in 'Delaware' grapes. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 55 (2) : 138-144.
- 60) ZIELINSKI, Q. B. 1964. Resistance of sweet cherry varieties to fruit cracking in relation to fruit and pit size and fruit color. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84 : 98-102.