

## オウトウ品種の果皮組織の細胞の形状・配列および 細胞壁の組織化学と裂果感受性との関係

山本隆儀・北村紀子・須貝恵美・佐藤 秀  
山形大学農学部農業生産学講座  
(平成7年9月1日受理)

### Interrelationships between Cell Shape and Cell Arrangement in Peel Tissue, Histochemical Property of the Cell Wall, and Cracking Susceptibilities in Cherry Cultivars

Takanori YAMAMOTO, Noriko KITAMURA, Emi SUGAI and Hide SATOH  
Section of Agricultural Production, Faculty of Agriculture,  
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan  
(Received September 1, 1995)

#### Summary

Several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel tissue were measured at the harvesting time in 8 cherry cultivars, and analyzed in respect of their correlations to the 4 indices of susceptibility of fruit cracking, the distribution of density of fracture on a fruit surface, the occurrence of fine cracks, and the physical properties of the peels.

From the analysis, it was generally evident that cultivars possessed the following characteristics were more susceptible to fruit cracking, i. e., flatter cells in the outer cell layers, larger tangential cell diameter and higher R/T (radial diameter/tangential diameter) ratio in the inner cell layers, larger difference of radial diameter or R/T ratio between the inner cell layers and the outer ones, larger cell surface area of the both layers and the difference between the both layers, and higher percentage of stained area by a dye of fast green or safranin to observed area in the section for microscopic examination. These characteristics made the peel fragiler and less extensional.

**key word**: cherry cultivars, cracking susceptibility, peel tissue, cell shape/arrangement, histochemical property

#### 緒 言

裂果が発生した果実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が発生するので、市場出荷できない。したがって、裂果の発生防止は果樹栽培上の重要な課題であるが、裂果発生の機構は完全には解明されていない。裂果発生に関係すると考えられる要因は、果実を破裂させる力(裂果の原動力要因)、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、およびこれらに直接的あるいは間接的に影響する気象、土壌ならびに栽培管理などの要因(環境的要因)に大別できる。

オウトウ品種の裂果感受性の差異をもたらす要因についてはこれまで様々な観点から調査されている(Christensenら, 1973; Christensenら, 1979)。また、裂果感受性に多数の要因が関与すること、および、いまだ決定的要因は判明していないことが報告されている(山本, 1991)。オウトウの裂果感受性の品種間差異に関連した最近の調査は主に国内でなされ、果皮細胞および果肉細胞の大き

キーワード: オウトウ品種, 裂果感受性, 果皮組織, 細胞形状・配列, 組織化学

さとの間の相関（山口ら，1993），果実の形に関連した果実表面応力の局部的集中分布との関係（山本ら，1990），果皮の物理性（せん断力，引っ張り強さおよび伸び長）との間の相関（山本ら，1995），肉眼では確認することのできない微細亀裂発生量との間の関係（山本ら，1994），および果実肥大の速度や歪みおよび肥大の非円滑性の程度などとの間の相関（山本ら，印刷中）が報告された。そして，これらの種々の要因により果皮組織の構造，特に細胞の形状と配列および細胞壁成分が影響を受け，裂果感受性の品種間差異の原因になる可能性が示唆された。

本報は裂果感受性の異なるオウトウ品種の成熟果実の果皮組織における細胞の形状と配列およびその細胞壁の組織化学を調査し，これらの品種間の比較から，裂果感受性の差異をもたらす要因を見だし，さらに，裂果発生機構の解明のための知見を得ようとしたものである。

#### 材料および方法

##### 1. 供試材料および果皮組織の細胞の形状・配列の測定方法

山形大学農学部実験圃場栽植の16年生のオウトウ8品種，各2本（第1表）の収穫期の果実から3部位（果頂部，胴部およびこうあ部）の果皮組織片（4mm×4mm×4mm，果肉組織の一部を含む）を採取し，FAAで固定した後に，常法によりパラフィン切片（厚さ約10 $\mu$ m）を作成し，ルテニウムレッド染色とファストグリーン・サフランの二重染色を行った。各部位5個の切片を対象に，1切片あたり等間隔・放射方向に3列取り（1部位あたり合計15列反復），細胞の放射径（R）と接線径（T）を表皮細胞層より第11細胞層まで層別に測定した（第1図）。第1層から第6層までを外層（out），第7層から第11層までを内層（in）とし，放射径，接線径および径比（放射径/接線径，R/T，第2図）の各平均値（Rout，Rin，Tout，Tin，R/Tout および R/Tin）とともに表面から内側方向に取った細胞層序列数に対するそれぞれの値の勾配係数（RKout，RKin，TKout，TKin，R/TKout および R/TKin）を計算した。

果皮組織のうち外側の細胞は通常内側からの圧力を受けて扁平になるので，細胞が元々小さくても接線径は大きい。したがって，細胞径のみでは果皮細胞の大きさを比較することはできない。変形しても細胞壁の伸長を伴わないならば，細胞表面積は不安定であるから，細胞表面積は細胞の大きさの良い指標になるものと考えられる。

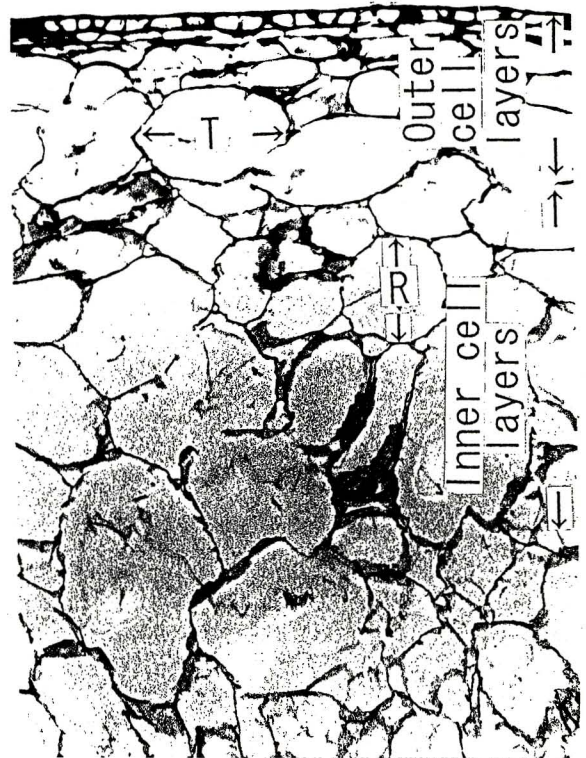


Fig. 1. A vertical section stained by Rutenium Red dye at apical end of peel of 'Napoleon'. Flatter cells with a long tangential diameter (T) and a short radial one (R) arranged in the outer cell layers (1-6th layer) and rounder cells in the inner layers (7-11th layer).

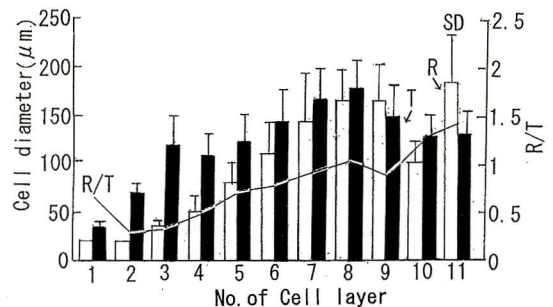


Fig. 2. A change of radial diameter (R, open bar), tangential one (T, closed bar) and R/T ratio (line) along the cell layer at the apical end of 'Napoleon'. Vertical lines indicate standard deviation (SD).

しかし、細胞表面積の推定計算のためには以下の仮定条件を必要とする。すなわち、果実表面に垂直な切片断面（縦断面）に見える細胞の形が楕円形で、その横断面形が円形であるとみなせば、放射方向を回転軸としたこの楕円の回転体の表面積を近似積分法により計算することができる。ただし、同じ方法で細胞容積も計算できるが、同じ大きさの細胞が変形する時、細胞壁の伸長を伴わなくても細胞容積は変化するので、細胞容積の大小による細胞の大きさの比較はできない。内層および外層の上記の計算結果を平均し、細胞表面積の推定値（Sin 及び Sout）とみなした。いうまでもなく、これは微細構造に基づく厳密な細胞表面積ではなく、細胞の大きさの比較のための数値である。

## 2. 果皮組織細胞壁の染色程度の画像解析

画像処理装置（PIAS, LA555）のカメラにルテニウムレッド染色あるいはファストグリーン・サフラニンの二重染色をした果皮切片のプレパラートを取り付け、切片画像を直接拡大して取り込み、各色素の補色輝度の疑似カラー画像を画像解析した。すなわち、ルテニウムレッド染色とサフラニン染色に対しては緑色の、ファストグリーン染色に対しては赤色の輝度のみの画像（モノカラー画像）をモニター画面に再生させると、輝度が低いほど各色素に染色されている程度が高くなるので、一定のしきい値（それぞれ、155, 150および150）で2値化画像（黒色と白色の画像）に変え、黒色部分の面積率を画像計算し、主たる細胞壁成分として、それぞれ、ペクチン質、クチン質・リグニン・コルク質およびセルロースからなる細胞壁面積率と見なした。

## 3. 裂果感受性の指標、果実表面上の可視亀裂密度分布、微細亀裂量および果皮の物理性のデータ

脱塩水への果実の浸漬処理（強制裂果処理）による果実単位としての裂果発生の程度を、発生果実の割合と発生までに要する時間の長さを取り入れて評価する裂果指数（CI）を調査した。また、上記処理果の可視亀裂量に関するデータから果実表面上の各部位における亀裂数の線密度を亀裂の型別に計算し、これらの全部位合計値を部位数で割って輪状平均亀裂密度（MDR）、縦状平均亀裂密度（MDL）および輪状+縦状平均亀裂密度（MDR+MDL）を計算した。これらの裂果感受性の4指標（CI, MDR, MDL および MDR+MDL）、あるいは型別可視亀裂密度の分布データを果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁組織化学との間の相関関係の解析に用いた。上記4指標などのデータには既報（山本ら、1993；山本ら、

1991）の結果をそのまま用いたので詳細な測定方法については省略する。

裂果発生機構の解明のためには、上記4指標のほかに肉眼では確認することのできない微細亀裂の発生程度および果皮の物理性の違いと果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学との間の関係を調査する必要がある。そこで収穫期の果実の3部位の微細亀裂の面積率、平均周囲長および平均面積を果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学との間の相関関係の解析に用いた。さらに、上記3部位の果皮片のせん断力、引っ張り強さおよび伸び長を上記同様な相関関係の解析に用いた。これらにも既報（山本ら、1995）の結果をそのまま用いたので測定方法については省略する。

なお、上記のデータを引用した既報における調査樹は今回の果皮組織観察に用いた樹と同じものである。

## 結果および考察

### 1. 果皮組織の細胞の形状・配列の特徴

果皮組織の細胞の放射径（R）および接線径（T）は細胞層が深くなるにつれて両径とも増大したが（第2図）、表皮より数層までは接線径が放射径を大きく上回り、これよりも深層では両者の間の差は縮まる傾向が見られ、径比（R/T）は外層（表皮より第6層まで）では約0.5、内層（第7層より第11層まで）では1前後となった（第2図）。

オウトウ8品種の3部位の外層あるいは内層の平均値（15反復平均値）としてのR、TおよびR/T、ならびに内側方向に取った細胞層序列数に対するR、TおよびR/Tの勾配係数（RK, TK 及び R/TK）を第1～3表に示した。なお、上記のR、T、R/T、RK, TK, R/TKの6種類の数値について内層と外層の差{(内層の値)-(外層の値)}についても計算して表中に示した。R、TおよびR/Tの変動係数（CV）は小さかったが、これらの数値の内層と外層の差の変動係数は大きく、また、これらの数値の勾配係数（RKin, RKout, TKin, TKout, TKin-TKout, R/TKin 及び R/TKout）の変動係数は著しく大きかったことから（第1～3表）、果皮組織の構造（細胞の形状および配列）に大きな品種間差異の存在が示唆された。また、部位間の上記数値およびその変動係数の違いも相当見られ（第1～3表）、果実発育に伴う部位間の果皮組織の構造の違いおよびその品種間差異が示唆された。

Table 1. Several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel at fruit apex in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at fruit apex	Cultivars									Unit	CV <sup>y</sup> (%)
	Napoleon	Satoh-nishiki	Rockport	Nanyoh	Jaboulay	Van	Zaoh-nishiki	Obako			
Rin (1)	153.1	156.3	114.2	191.6	165.0	130.9	129.7	140.2	$\mu\text{m}$	16.41	
Rout (2)	54.0	45.3	47.6	56.4	56.4	48.7	48.7	69.5	$\mu\text{m}$	14.54	
(1)–(2)	– 99.1	– 111.0	– 66.5	– 135.1	– 108.5	– 82.1	– 80.9	– 70.6	$\mu\text{m}$	24.77	
Tin (3)	151.1	159.1	125.8	179.0	105.0	116.4	129.7	124.8	$\mu\text{m}$	17.43	
Tout (4)	101.2	86.4	91.6	121.8	88.5	79.8	73.9	126.4	$\mu\text{m}$	19.78	
(3)–(4)	– 49.8	– 72.6	– 34.1	– 57.1	– 16.5	– 36.6	– 55.8	1.6	$\mu\text{m}$	59.81	
R/Tin (5)	1.101	0.990	1.025	1.258	2.007	1.156	1.022	1.307		28.10	
R/Tout (6)	0.546	0.455	0.434	0.521	0.756	0.566	0.636	0.543		18.31	
(5)–(6)	– 0.555	– 0.535	– 0.591	– 0.737	– 1.321	– 0.590	– 0.386	– 0.764		41.22	
RKin (7)	1.51	1.35	– 3.29	23.77	8.63	21.56	1.84	– 29.26	$\mu\text{mcell}^{-1}$	504.04	
RKout (8)	18.15	0.47	14.83	17.88	20.54	14.12	2.36	23.60	$\mu\text{mcell}^{-1}$	59.57	
(7)–(8)	16.63	– 0.88	18.12	– 5.89	11.90	– 7.43	0.51	52.87	$\mu\text{mcell}^{-1}$	183.46	
TKin (9)	– 11.79	8.32	– 16.13	– 6.78	– 7.27	4.04	– 1.13	– 35.91	$\mu\text{mcell}^{-1}$	164.77	
TKout (10)	19.41	21.68	18.98	22.90	10.69	16.07	1.69	27.71	$\mu\text{mcell}^{-1}$	46.35	
(9)–(10)	31.20	13.26	35.11	29.69	17.97	12.03	2.82	63.63	$\mu\text{mcell}^{-1}$	73.46	
R/TKin (11)	0.121	0.014	0.122	0.206	– 0.171	0.165	0.099	0.313	$\text{cell}^{-1}$	131.48	
R/TKout (12)	0.056	– 0.061	– 0.009	0.069	0.251	0.048	0.074	0.037	$\text{cell}^{-1}$	155.17	
(11)–(12)	– 0.065	– 0.020	– 0.131	– 0.137	0.080	– 0.117	– 0.025	– 0.275	$\text{cell}^{-1}$	122.09	
Sin (13)	72167	77562	46143	105051	48352	45083	52776	52444	$\mu\text{m}^2$	33.68	
Sout (14)	22640	16470	18443	31158	18895	15085	33098	36022	$\mu\text{m}^2$	34.30	
(13)–(14)	49529	61092	27700	73893	29457	29998	19678	16422	$\mu\text{m}^2$	53.78	
RUTENIUM RED	18.60	27.22	29.48	8.63	16.46	13.85	12.14	16.59	%	40.16	
FAST GREEN	15.43	29.33	12.50	8.42	3.76	12.19	8.53	10.69	%	60.25	
SAFRANINE	3.38	3.30	2.15	1.58	0.74	1.77	1.76	1.29	%	46.34	

<sup>z</sup> Abbreviation, i.e., 'R', 'T', 'in', 'out', 'K', 'S', 'RUTENIUM RED', 'FAST GREEN' and 'SAFRANINE' denotes mean radial diameter, mean tangential one, inner cell layers (7–11th layer), outer ones (1–6th layer), coefficient of slope of any value against order of cell layer, mean surface area of cell, mean percentage of stained area by Rutenium Red to observed area, that by Fast Green and that by Safranin, respectively.

<sup>y</sup> Coefficient of variation.

Table 2. Several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel at equatorial side in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at fruit side	Cultivars									Unit	CV <sup>y</sup> (%)
	Napoleon	Satoh-nishiki	Rockport	Nanyoh	Jaboulay	Van	Zaoh-nishiki	Obako			
Rin (1)	99.5	72.4	104.8	74.5	134.4	120.8	89.1	99.1	μm	26.41	
Rout (2)	36.2	28.1	38.4	25.7	53.4	35.1	41.4	45.3	μm	23.63	
(1)–(2)	– 63.2	– 44.2	– 66.3	– 48.8	– 80.9	– 85.7	– 47.7	– 53.7	μm	25.41	
Tin (3)	131.1	116.3	109.4	167.7	95.3	111.4	126.4	124.6	μm	17.34	
Tout (4)	88.4	82.5	92.7	114.3	93.8	71.8	100.6	47.1	μm	23.35	
(3)–(4)	– 43.6	– 33.8	– 16.6	– 53.4	– 1.4	– 39.5	– 25.8	– 27.5	μm	186.09	
R/Tin (5)	0.806	0.642	1.032	0.616	1.587	1.126	0.785	1.040		33.22	
R/Tout (6)	0.456	0.361	0.395	0.384	0.586	0.495	0.441	0.489		16.22	
(5)–(6)	– 0.350	– 0.281	– 0.064	– 0.232	– 1.001	– 0.631	– 0.344	– 0.551		67.28	
RKin (7)	14.48	5.20	2.60	10.61	8.03	4.32	13.41	0.27	μmcell <sup>-1</sup>	69.81	
RKout (8)	1.85	6.64	12.14	6.10	17.98	10.07	11.42	12.54	μmcell <sup>-1</sup>	49.98	
(7)–(8)	– 12.62	1.44	9.54	– 4.51	9.95	5.75	– 1.98	12.26	μmcell <sup>-1</sup>	344.39	
TKin (9)	8.33	– 0.71	– 6.87	– 14.71	2.68	– 3.98	10.11	– 2.60	μmcell <sup>-1</sup>	835.53	
TKout (10)	18.52	11.10	16.78	27.95	9.75	11.56	23.86	15.96	μmcell <sup>-1</sup>	37.82	
(9)–(10)	10.18	11.82	23.65	42.67	7.06	8.54	13.74	18.55	μmcell <sup>-1</sup>	68.77	
R/TKin (11)	0.115	0.051	0.113	0.082	0.139	0.096	0.097	0.021	cell <sup>-1</sup>	42.26	
R/TKout (12)	– 0.007	0.037	0.069	– 0.003	0.167	0.068	0.016	0.065	cell <sup>-1</sup>	148.73	
(11)–(12)	– 0.122	0.014	– 0.045	– 0.085	0.028	– 0.028	– 0.083	0.644	cell <sup>-1</sup>	617.86	
Sin (13)	45458	32257	36476	58206	36557	41144	40601	42207	μm <sup>2</sup>	18.75	
Sout (14)	14282	12957	17321	23080	20121	11055	20123	6783	μm <sup>2</sup>	34.58	
(13)–(14)	31206	19303	19155	35126	16436	30089	20478	35424	μm <sup>2</sup>	30.24	
RUTENIUM RED	15.66	21.86	26.19	10.48	19.85	19.74	8.54	22.21	%	33.57	
FAST GREEN	18.58	21.94	6.92	5.76	3.16	7.93	4.46	9.29	%	69.87	
SAFRANINE	4.28	4.15	1.60	0.94	1.06	1.37	1.01	1.45	%	70.48	

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> Coefficients of variation.

## 2. 果皮組織切片における細胞壁染色色素による染色面積率

組織化学標本には生物の組織や細胞を構成する化学物質や酵素活性の微細な空間分布を明らかにできる利点があるが、その定量は化学分析のように厳密ではなく、従来から組織化学標本（顕微鏡観察像）の染色程度を肉眼

で段階的に判定したり (Pearse, 1968; Konarev, 1972; Iizuka ら, 1972), 最近では画像解析手法により、染色程度をその色の輝度に変換した後に、1次元ヒストグラムや2次元ヒストグラムを表示させることが行われている。また、組織化学とはいえないが、X線マイクロアナライザは金属元素の空間分布測定およびその定量を行

Table 3. Several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel at stalk cavity in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at stalk cavity	Cultivars									Unit	CV <sup>y</sup> (%)
	Napoleon	Satoh-nishiki	Rockport	Nanyoh	Jaboulay	Van	Zaoh-nishiki	Obako			
Rin (1)	73.2	153.3	50.2	142.6	84.3	69.0	58.1	80.4	$\mu\text{m}$	42.97	
Rout (2)	31.4	45.3	28.2	49.7	42.8	46.9	27.6	39.0	$\mu\text{m}$	22.57	
(1)-(2)	-41.7	-111.0	-21.9	-92.9	-41.4	-22.0	-30.5	-41.4	$\mu\text{m}$	65.99	
Tin (3)	106.0	162.4	135.1	142.2	84.0	102.4	145.9	37.6	$\mu\text{m}$	35.46	
Tout (4)	69.2	107.4	82.6	81.1	73.1	61.9	78.4	52.9	$\mu\text{m}$	21.42	
(3)-(4)	-36.7	-54.9	-52.5	-61.1	-10.9	-40.4	-67.5	15.2	$\mu\text{m}$	72.40	
R/Tin (5)	0.688	0.996	0.439	1.025	1.052	0.771	0.389	1.004		33.83	
R/Tout (6)	0.463	0.455	0.449	0.671	0.537	0.485	0.404	0.693		20.61	
(5)-(6)	-0.225	-0.541	0.010	-0.354	-0.515	-0.286	0.015	-0.311			
RKin (7)	7.85	20.82	5.27	35.91	-1.83	5.27	-2.85	7.64	$\mu\text{mcell}^{-1}$	136.69	
RKout (8)	5.40	13.38	4.50	20.40	11.79	6.46	3.05	8.23	$\mu\text{mcell}^{-1}$	62.93	
(7)-(8)	-2.44	-7.44	-0.77	-15.51	13.63	1.19	5.90	0.59	$\mu\text{mcell}^{-1}$	1424.7	
TKin (9)	3.25	-3.08	0.97	30.59	-4.03	-3.69	7.53	5.52	$\mu\text{mcell}^{-1}$	245.07	
TKout (10)	10.64	29.14	16.81	23.14	5.58	7.27	12.70	-0.02	$\mu\text{mcell}^{-1}$	72.71	
(9)-(10)	7.39	32.23	15.83	-7.45	9.61	10.96	5.15	-5.54	$\mu\text{mcell}^{-1}$	146.29	
R/TKin (11)	0.058	0.194	0.041	0.133	0.061	0.081	-0.008	0.052	$\text{cell}^{-1}$	80.52	
R/TKout (12)	0.009	-0.011	-0.038	-0.011	0.085	0.017	-0.015	0.062	$\text{cell}^{-1}$	340.98	
(11)-(12)	-0.049	-0.205	-0.074	-0.144	0.024	-0.064	-0.023	0.010	$\text{cell}^{-1}$	117.22	
Sin (13)	28243	79300	35614	63558	22189	26021	42432	8014	$\mu\text{m}^2$	60.81	
Sout (14)	9982	23433	12997	15583	12378	10131	11808	7296	$\mu\text{m}^2$	37.73	
(13)-(14)	18261	55867	22617	47975	9809	15890	30624	718	$\mu\text{m}^2$	74.42	
RUTENIUM RED	21.42	25.08	9.58	21.43	13.12	13.10	22.27	13.05	%	33.11	
FAST GREEN	13.74	43.29	8.87	11.02	4.04	10.79	10.65	10.52	%	85.55	
SAFRANINE	2.91	5.21	1.53	1.63	1.41	1.82	1.01	1.27	%	65.68	

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> Coefficient of variation

う。本報では上記の画像解析手法に基づいて、一定の輝度以上の染色部分の面積率（染色面積率）を計算させたことから、肉眼判定法より細かい数量化ができたものと考えられる。ルテニウムレッドはペクチン質をよく染めるとともに細胞質、染色体、核も染め、サフランインは木化、コルク化した細胞壁をよく染めるとともに核やクロ

マチンも染めるが（木島，1963）、柔細胞からなる果皮組織を用いて厚さ約  $10\mu\text{m}$  の薄い切片を作製し、染色、脱水、透徹などの行程を経るため、染色部分はほとんど細胞壁に限定された（第1図）。ファストグリーンはセルロースをよく染める（木島，1963）。クチンの検出はスタンIIIの方が優れているが、サフランインによってもクチク

ラ部分が赤く染まったことから、リグニン、ズベリンおよびクチンの染色程度を一括してサフラニンの赤色輝度を用いて数量化したもので、各々の染色程度については不明である。ただし、サフラニン染色部位は表皮細胞周辺に限定されたことから、オウトウ果実ではこの3者は果皮の浅い層に混在しているものと考えられる。

植物組織の柔細胞の細胞壁のうち、2次壁の肥厚は顕著でないが、1次壁と2次壁のセルロースのマイクロフィブリルは細胞の張力とともに組織の引っ張り力を、中層の主成分であり、かつ、1次壁や2次壁の繊維の間を充填し(マトリックス)、あるいは繊維に結合するペクチン物質やヘミセルロースは細胞間の接着力を、リグニンはせん断力や硬さを与える(Greulach, 1972)。また、リグニン、ズベリン、クチンはセルロースと結合したり、細胞壁に堆積して、それぞれ、木化、コルク化、クチン化という2次的変質を主に表皮組織周辺で引き起こすことがあり(木島, 1963)、裂果現象の構造力学としては果皮組織の伸展性の低下や脆さに関係するものと考えられる。

切片断面のうち表面より約2.5mmまでの深さと約3mmの幅からなる約7.5mm<sup>2</sup>の矩形におけるルテニウムレッド、ファストグリーンおよびサフラニンの各色素単独による染色の2値化画像の黒色部分の多少は各色素による相対的な染色程度を示すものである。2値化処理の際のしきい値を変えたり、切片の厚さに大きな違いがあればこの黒色部分の面積は変わる。しかし、全品種の全切片を同じ厚さ(この場合には約10μm)にし、色素ごと同一のしきい値で2値化することで染色程度の高低の品種間比較が可能であると考えられる。

画像計算された各色素による染色面積率(第1~3表)は細胞壁中の各色素により染色される成分の多少とともに、切片の一定区画内の細胞壁の面積密度をも反映した複合的数値である。したがって、細胞壁中の各成分の濃度を厳密に比較できないが、一定の深さまで取った果皮組織当りの染色された細胞壁部分の多少を示す点で

は、有益な情報と考えられる。サフラニンによる染色面積率は他の2色素のそれよりもかなり低かったが、各色素による染色面積率の変動係数はいずれも大きく、また、部位間の染色面積率の違いも見られ(第1~3表)、一定の深さの果皮組織中の細胞壁成分の分布量に品種間差異があることを示している。

3. 果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学と裂果感受性4指標との間の相関関係

第4表に8品種の裂果感受性の4指標(山本ら, 1991)を掲載した。部位ごとの細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学の合計24変数(第1~3表)と裂果感受性の4指標との間の相関係数を第5表に示した。果頂部および胴部の外層の径比(R/Tout)と輪状平均可視亀裂密度(MDR)やMDR+MDLとの間に負の有意な(第3図A)、こうあ部の外層の接線径勾配係数TKoutと裂果指数(CI)との間、および、果頂部の内層と外層の細胞平均表面積の差(Sin-Sout)と裂果指数との間の正の有意な相関(第3図B)が認められたのをはじめ、二、三の変数と裂果感受性指標との間に有意な相関が認められたが、総じて、多くの変数との間の相関は有意水準には達しなかった(第5表)。また、果頂部果皮切片のルテニウムレッド色素染色の面積率とMDR(第3図C)およびMDR+MDLとの間には正の有意な相関が認められた(第5表)。

4. 果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学と果実表面各部位における可視亀裂密度との間の相関関係

上記の裂果感受性4指標は可視亀裂が認められるかどうかを基準として1果まるごとで評価した裂果感受性であった。しかし、亀裂はある部位に、あるいはある方向(型)のものがいったん発生すると内部のエネルギーを喪失して他の部位の、あるいは別方向(型)の亀裂の発生は抑えられるものと考えられる。また、裂果発生部位や亀裂の型は果実全体の形による果実表面応力の集中

Table 4. Cracking index (CI), mean density of ring fracture (MDR), mean density of lengthwise fracture (MDL) and MDR+MDL in 8 cherry cultivars.

Indices of susceptibility of cracking	Cultivars								Unit
	Napoleon	Satoh-nishiki	Rockport	Nanyoh	Jaboulay	Van	Zaoh-nishiki	Obako	
CI	68.00	67.67	63.78	58.00	40.78	37.34	20.44	6.33	
MDR	0.1650	0.3350	0.4273	0.2239	0.0670	0.0775	0.0600	0.0056	cm <sup>-1</sup>
MDL	0.0217	0.0401	0.0201	0.0264	0.0436	0.0063	0.0106	0.0055	cm <sup>-1</sup>
MDR+MDL	0.1867	0.3751	0.4474	0.2503	0.1106	0.0838	0.0706	0.0111	cm <sup>-1</sup>

Table 5. Correlations between the the 4 indices of susceptibilities of fruit cracking and the several variables related to cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of the 3 parts of peel in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at each part		Susceptibilities				Susceptibilities				Susceptibilities			
		CI	MDR	MDL	MDR+ MDL	CI	MDR	MDL	MDR+ MDL	CI	MDR	MDL	MDR+ MDL
		Against fruit apex				Against equatorial side				Against stalk cavity			
Rin	(1)	0.267	-0.135	-0.573	-0.078	-0.256	-0.446	-0.032	-0.437	0.376	0.263	0.590	0.312
Rout	(2)	-0.578	-0.291	0.093	-0.274	-0.570	-0.467	0.133	-0.442	0.077	-0.120	0.346	-0.084
(1)-(2)		0.469	-0.044	0.563	0.011	-0.021	-0.340	-0.121	-0.342	0.425	0.348	0.603	0.396
Tin	(3)	0.530	0.398	0.144	0.401	0.121	0.067	-0.184	0.048	0.618	0.420	0.037	0.413
Tout	(4)	-0.104	0.179	0.161	0.189	0.518	0.090	0.152	0.102	0.648	0.572	0.487	0.603
(3)-(4)		0.625	0.265	0.020	0.260	0.259	0.060	-0.362	0.024	0.520	0.278	-0.229	0.249
R/Tin	(5)	-0.222	-0.451	0.559	-0.386	-0.323	-0.377	0.201	-0.348	-0.014	-0.104	0.652	-0.040
R/Tout	(6)	-0.463	<u>-0.842<sup>y</sup></u>	0.167	<u>-0.804</u>	-0.505	<u>-0.731<sup>y</sup></u>	0.083	-0.704	-0.335	-0.071	0.190	-0.052
(5)-(6)		-0.112	-0.264	0.643	0.196	-0.451	<u>-0.730</u>	0.281	-0.684	0.154	-0.098	<u>0.744</u>	-0.025
RKin	(7)	0.447	-0.183	-0.051	-0.183	0.257	-0.388	-0.047	-0.382	0.453	0.427	0.245	0.438
RKout	(8)	-0.192	-0.165	0.054	-0.155	-0.554	-0.249	0.173	-0.226	0.283	0.145	0.584	0.196
(7)-(8)		0.455	-0.083	-0.066	-0.087	0.474	-0.090	-0.130	-0.100	0.483	0.536	-0.026	0.519
TKin	(9)	0.433	-0.083	0.062	-0.075	-0.207	-0.473	-0.062	-0.466	0.031	0.050	-0.107	0.038
TKout	(10)	0.207	0.517	0.203	0.523	-0.016	0.011	-0.358	-0.024	<u>0.711</u>	0.623	0.302	0.635
(9)-(10)		0.227	-0.280	-0.040	-0.277	-0.164	-0.405	0.038	-0.391	-0.518	-0.433	-0.329	-0.453
R/TKin	(11)	-0.315	0.125	-0.638	0.061	0.371	-0.197	0.041	-0.188	0.538	0.417	0.537	0.457
R/TKout	(12)	-0.287	-0.677	0.273	-0.633	-0.257	-0.195	0.423	-0.150	-0.513	-0.597	0.366	-0.546
(11)-(12)		-0.342	0.240	-0.474	0.188	0.677	0.060	-0.054	0.053	0.668	0.611	0.204	0.614
Sin	(13)	0.479	0.240	0.297	0.262	0.018	-0.180	-0.251	-0.199	0.588	0.462	0.315	0.479
Sout	(14)	-0.610	-0.259	-0.229	-0.274	0.324	-0.020	0.206	0.000	0.601	0.520	0.559	0.559
(13)-(14)		<u>0.730</u>	0.347	0.393	0.375	-0.206	-0.167	-0.395	-0.200	0.571	0.435	0.244	0.447
RUTENIUM RED		0.477	<u>0.744</u>	0.312	<u>0.783</u>	0.140	0.531	0.254	0.541	0.292	-0.041	0.174	-0.024
FAST GREEN		0.490	0.550	0.208	0.555	0.511	0.386	0.244	0.398	0.412	0.446	0.361	0.469
SAFRANINE		0.654	0.404	-0.011	0.392	0.593	0.347	0.279	0.364	0.611	0.434	0.455	0.466

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.<sup>y</sup> — : p<0.05, = : p<0.01.



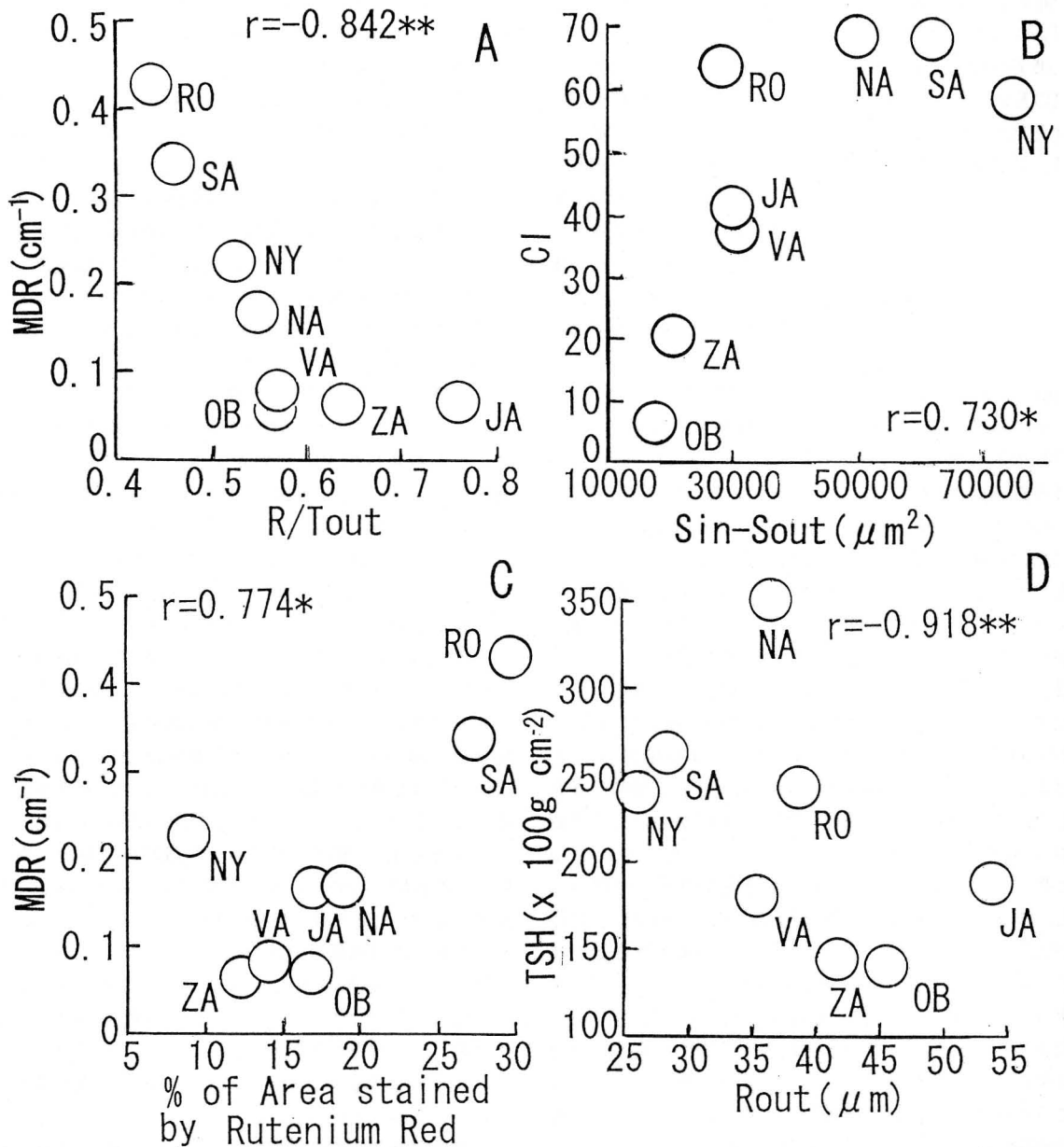


Fig. 3. Relationships between the mean density of ring fracture (MDR) and the R/T (radial diameter/tangential diameter) ratio in the outer cell layers of peel at the apical end (A), between the cracking index (CI) and the mean area of cell surface in the inner layer—that in the outer layer (Sin-Sout) at the apical end (B), between the MDR and the percentage of area stained by Rutenium Red dye to the rectangular area in the section at the apical end (C) and between the tensile strength of peel in the direction of latitudinal arc (TSH) in the outer cell layers at the equatorial side and the mean radial cell diameter in the outer layers (Rout) at the equatorial side (D) of the 8 cherry cultivars. Abbreviations of name of the cultivars : NA = 'Napoleon', SA = 'Satohnishiki', RO = 'Rockport', NY = 'Nanyoh', JA = 'Jaboulay', VA = 'Van', ZA = 'Zaohnishiki' and OB = 'Obako'.

分布の仕方や別部位における果皮の物理性によっても影響されるものと思われる。

果実の肥大生長や果実の形の変化は果皮組織全般の細胞の形状・配列にも影響する。したがって、組織観察部位と亀裂発生部位が同一部位である組み合わせに限定せず、3部位の果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学と果実表面の9代表点における型別の可視亀裂密度（線密度）との間の相関係数を総当りで計算し、第6～8表に示した。なお、相関の計算に用いた可視亀裂密度分布データ（山本ら、1991）の記載は省略したが、表面9部位の中で全品種の亀裂密度がいずれも  $0\text{cm}^{-1}$  の場合は相関係数を計算できないので、第6～8表から削除し、輪状と縦状、それぞれ、6部位について記した。

その結果、第5表に比較して有意水準に到達した相関係数の数は増えた（第6～8表）。とりわけ、果頂部の果皮組織においてこのことが顕著であった（第6表）。このことは局所的な亀裂発生が果実全体あるいは他部位における要因（肥大、応力分布、物理性）の作用を受けることにより発生することを示唆しているが、相関関係に立ち入った解釈を記すことは、これらの作用の複雑性から見て、現段階では適切でないと考えられる。そこで、目立った特徴点のみ列挙すると以下の通りである。すなわち、①果頂部果皮の  $R/Tin$ 、 $R/Tout$  および  $R/Tin-R/Tout$  とこうあ部（hおよびi点）および胴部（e、fおよびg点）の亀裂密度との間に正の有意な相関が存在した。この傾向は胴部果皮に関しても弱かったものの認められた。また、 $R/Tin$ 、 $R/Tout$  および  $R/Tin-R/Tout$  と果頂部の亀裂密度との間には密接な関係が推察された。すなわち、果頂部付近の果皮、果肉の細胞の放射径が大きいほど反対側（こうあ部付近）の亀裂発生量が多く、接線径が大きいほど果頂部の亀裂発生が多い。②果実3部位の果皮のいずれも外層の径比勾配  $R/TKout$  が大きくなるにつれ、こうあ部側の亀裂密度は高く、反対に果頂部側の亀裂密度は低くなる傾向が推察された。③こうあ部果皮の細胞の接線径が大きいほど果頂部側の輪状亀裂密度が高くなる傾向が推察された。

#### 5. 果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学と果実表面各部位における微細亀裂発生量との間の相関関係

上記3.および4.の裂果感受性4指標および亀裂密度分布は可視亀裂をもとにしたものであった。肉眼では確認することのできない微細亀裂の発生は開裂のためのエネルギーの発散や消失、果実表面の水分吸収経路の提供

あるいは果皮の物理性の変化をもたらしことから、可視亀裂の発生に与える影響の仕組みは複雑なものと予想される。しかし、最終的に可視亀裂には至らない場合でも小規模な裂果であることには違いはない。そこで、4.で記した理由から組織観察部位に該当する部位の微細亀裂発生量にとどまらず、対応部位を度外視して、果実3部位の果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学と果実3部位の微細亀裂分布の画像解析結果である微細亀裂面積率、微細亀裂平均周囲長および微細亀裂平均面積との間の相関係数を第9～11表に示した。なお、相関の計算に用いた上記の微細亀裂の3変数のデータ（山本ら、1995）の記載は省略した。

3部位の果皮に共通した相関関係は少なかったが、以下の傾向が推察された。すなわち、①果頂部果皮あるいはこうあ部果皮の  $Rin$  の値が大きいほどこうあ部の微細亀裂量が多くなる傾向が見られた。同様な傾向が  $Rin-Rout$  にも見られた。②果頂部果皮の  $Tin$  と胴部およびこうあ部の微細亀裂量との間の正の有意な相関が認められた。③3部位の果皮の  $Rkin-TKout$  の値が大きいほど微細亀裂量が多くなる傾向が見られた。特に、胴部果皮の  $RKin-RKout$  と胴部およびこうあ部の微細亀裂量との間に正の有意な相関が認められた。④胴部果皮の  $TKout$  と果頂部および胴部の微細亀裂量との間に負の有意な相関がみとめられたが、他部位の果皮の  $TKout$  については有意な相関は認められず、また、相関係数の符号はほとんどが正であった。⑤こうあ部の  $R/TKin$  および  $R/TKout$  と胴部に限定された微細亀裂量との間の高い正の相関が認められた。⑥果頂部の内層の細胞平均表面積 ( $Sin$ ) および内層と外層の同表面積の差 ( $Sin-Sout$ ) とこうあ部の微細亀裂発生量との間の正の有意な相関、並びに、こうあ部の果皮の細胞平均表面積 ( $Sin$  および  $Sout$ ) および内外の差 ( $Sin-Sout$ ) と胴部微細亀裂発生量との間の正の有意な相関が認められた。⑦サフラニン色素による染色面積率が高いほど全ての部位の微細亀裂量が多くなる傾向が見られた。

#### 6. 果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学と果皮片の物理性との間の相関関係

レオメータによる物理性の調査に用いた果皮片は表面より約1mmの厚さに調整されたものであり（山本ら、1994）、果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織化学の観察部位はパラフィン切片用固定材料の果実表面より、それぞれ、約0.9mm以内の領域および約2.5mm以内の領域である。このため、相関関係解析のための変数

Table 6. Correlations between mean cracking density at representative regions on a fruit surface and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel at fruit apex in 8 cherry cultivars. Representative regions on a fruit surface: b = fruit tip, d = apical shoulder, f = equator, h = basal shoulder, c = equidistant between b and d, e = equidistant between d and f, g = equidistant between f and h, i = equidistant between h and the stalk.

Variables <sup>z</sup> at fruit apex	Mean density of ring fracture (cm <sup>-1</sup> )						Mean density of lengthwise fracture (cm <sup>-1</sup> )					
	b	c	d	g	h	i	c	d	e	f	g	h
Rin (1)	-0.199	0.087	0.014	-0.241	-0.028	0.296	-0.099	0.569	0.450	0.428	0.480	0.383
Rout (2)	-0.549	-0.536	-0.631	-0.148	-0.492	0.150	-0.276	-0.338	0.028	0.156	0.341	0.345
(1)-(2)	-0.024	0.267	0.224	-0.203	0.135	0.257	-0.012	0.703	0.457	0.371	0.385	0.283
Tin (3)	0.342	0.527	0.301	-0.563	0.241	-0.505	0.160	0.316	-0.098	-0.289	-0.307	-0.312
Tout (4)	-0.082	0.005	-0.230	-0.244	-0.254	-0.168	0.110	-0.198	0.016	-0.035	0.094	0.082
(3)-(4)	0.415	0.535	0.491	-0.382	0.448	-0.383	0.076	0.480	-0.113	-0.263	-0.388	-0.383
R/Tin (5)	-0.470	-0.370	-0.181	0.529	-0.255	<u>0.942</u> <sup>y</sup>	-0.108	0.293	<u>0.711</u> <sup>y</sup>	<u>0.841</u> <sup>y</sup>	<u>0.927</u>	<u>0.821</u>
R/Tout (6)	<u>-0.779</u>	-0.601	-0.431	0.238	-0.484	<u>0.779</u>	-0.585	0.118	0.468	<u>0.715</u>	<u>0.750</u>	<u>0.698</u>
(5)-(6)	-0.310	-0.227	-0.072	0.572	-0.147	<u>0.905</u>	0.075	0.326	<u>0.726</u>	<u>0.803</u>	<u>0.897</u>	<u>0.786</u>
RKin (7)	0.041	0.319	0.303	0.036	-0.118	0.130	-0.034	0.289	0.322	0.268	0.112	0.006
RKout (8)	-0.302	-0.247	-0.364	0.316	-0.575	0.306	0.065	-0.416	0.424	0.457	0.516	0.525
(7)-(8)	0.162	0.371	0.408	-0.104	0.145	-0.021	-0.055	0.417	0.089	0.027	-0.125	-0.218
TKin (9)	0.158	0.250	0.347	-0.120	<u>0.889</u>	0.042	-0.100	0.557	0.027	-0.016	-0.120	-0.175
TKout (10)	0.303	0.225	-0.039	-0.199	0.225	-0.330	0.388	-0.077	-0.133	-0.281	-0.165	-0.136
(9)-(10)	-0.014	0.086	0.270	-0.003	0.188	0.171	-0.238	0.439	0.076	0.108	-0.017	0.070
R/TKin (11)	-0.039	-0.062	-0.360	-0.575	-0.358	<u>-0.805</u>	-0.131	<u>-0.717</u>	-0.681	-0.690	-0.650	-0.598
R/TKout (12)	-0.627	-0.452	-0.264	0.441	-0.536	<u>0.856</u>	-0.328	0.113	0.696	<u>0.872</u>	<u>0.882</u>	<u>0.805</u>
(11)-(12)	0.032	-0.048	-0.316	-0.368	-0.274	-0.651	0.045	-0.691	-0.593	-0.611	-0.533	-0.501
Sin (13)	0.178	0.433	0.238	-0.488	0.133	-0.261	0.089	0.420	0.099	-0.057	-0.049	-0.098
Sout (14)	-0.456	-0.341	-0.420	-0.489	-0.519	-0.262	-0.428	-0.352	-0.333	-0.216	-0.111	-0.129
(13)-(14)	0.362	0.275	0.409	-0.301	0.341	-0.162	0.260	0.567	0.233	0.028	-0.006	-0.049
RUTENIUM RED	<u>0.780</u>	0.496	0.557	0.431	<u>0.780</u>	-0.064	<u>0.744</u>	0.222	0.016	-0.170	-0.196	-0.120
FAST GREEN	0.540	0.343	0.262	-0.362	<u>0.852</u>	-0.447	0.261	0.401	-0.364	-0.530	-0.492	-0.403
SAFRANINE	0.451	0.337	0.188	-0.294	0.483	-0.489	0.193	0.141	-0.088	-0.264	-0.345	-0.152

<sup>z</sup> The abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> — : p < 0.05, = : p < 0.01, — : p < 0.001

Table 7. Correlations between mean cracking density at representative regions on a fruit surface and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel at equatorial side in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at equatorial side	Mean density of ring fracture(cm <sup>-1</sup> )						Mean density of lengthwise fracture(cm <sup>-1</sup> )					
	b	c	d	g	h	i	c	d	e	f	g	h
Rin (1)	-0.355	-0.430	-0.273	0.674	-0.370	0.657	-0.096	0.251	0.460	0.605	0.577	0.585
Rout (2)	-0.497	-0.608	-0.367	0.541	-0.355	0.686	-0.216	-0.177	0.335	0.540	0.609	0.620
(1)-(2)	-0.198	-0.237	-0.162	0.609	-0.313	0.501	0.007	-0.241	0.434	0.515	0.436	0.441
Tin (3)	-0.024	-0.245	-0.013	-0.625	-0.298	-0.522	-0.124	-0.090	-0.180	-0.260	-0.274	-0.306
Tout (4)	0.258	0.568	0.629	0.183	-0.047	0.147	0.215	0.400	0.469	0.356	0.175	0.078
(3)-(4)	0.034	0.182	-0.138	<u>-0.761</u> <sup>y</sup>	-0.117	<u>-0.712</u>	-0.194	-0.150	-0.367	-0.461	-0.492	-0.449
R/Tin (5)	-0.339	-0.415	-0.204	<u>0.726</u>	-0.251	<u>0.796</u>	-0.015	-0.075	0.495	0.643	0.673	0.631
R/Tout (6)	<u>-0.718</u>	<u>-0.740</u>	-0.578	0.389	-0.474	<u>0.738</u>	-0.455	-0.156	0.427	0.659	<u>0.725</u>	<u>0.727</u>
(5)-(6)	<u>-0.722</u>	<u>-0.725</u>	-0.548	0.247	-0.284	<u>0.789</u>	-0.484	0.130	0.389	0.614	<u>0.732</u>	0.689
RKin (7)	-0.256	-0.017	-0.007	-0.211	-0.288	0.058	-0.368	0.183	0.350	0.356	0.240	0.299
RKout (8)	-0.254	-0.313	-0.035	0.592	-0.145	0.653	-0.003	-0.004	0.168	0.328	0.400	0.263
(7)-(8)	-0.008	0.171	0.016	-0.468	-0.090	-0.341	-0.220	0.113	0.114	0.032	-0.086	0.028
TKin (9)	-0.398	-0.532	-0.361	-0.044	-0.029	0.193	-0.495	0.011	0.054	0.203	0.195	0.357
TKout (10)	-0.025	0.244	0.091	-0.405	-0.460	-0.464	-0.116	-0.250	-0.154	-0.195	-0.278	-0.311
(9)-(10)	-0.305	-0.553	-0.366	0.169	0.185	0.355	-0.342	0.069	0.061	0.204	0.233	0.362
R/TKin (11)	0.040	0.174	0.325	0.680	-0.240	0.531	0.158	0.091	<u>0.743</u>	<u>0.732</u>	0.523	0.523
R/TKout (12)	-0.175	-0.270	-0.014	0.720	0.041	<u>0.829</u>	0.123	0.192	0.438	0.548	0.621	0.524
(11)-(12)	0.329	0.516	0.555	0.181	0.087	0.026	0.172	0.306	0.376	0.256	0.018	0.013
Sin (13)	-0.242	0.076	-0.169	-0.394	-0.626	-0.272	-0.200	-0.264	0.067	0.046	0.008	-0.036
Sout (14)	0.121	0.442	0.559	0.291	-0.169	0.322	0.165	0.375	0.527	0.468	0.320	0.185
(13)-(14)	-0.326	-0.230	-0.558	-0.597	-0.514	-0.495	-0.314	-0.524	-0.298	-0.278	-0.214	-0.164
RUTENIUM RED	0.472	0.174	0.203	0.520	0.488	0.124	0.611	-0.023	0.026	-0.067	-0.012	-0.160
FAST GREEN	0.346	0.168	0.037	-0.386	0.666	-0.364	0.134	0.320	-0.160	-0.303	-0.260	-0.098
SAFRANINE	0.346	0.182	0.086	-0.232	0.617	-0.239	0.168	0.334	0.030	-0.116	-0.114	0.071

<sup>z</sup> The abbreviations refer to Table 1.<sup>y</sup> — : p<0.05

Table 8. Correlations between mean cracking density at representative regions on a fruit surface and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall of peel at stalk cavity in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at stalk cavity	Mean density of ring fracture (cm <sup>-1</sup> )						Mean density of lengthwise fracture (cm <sup>-1</sup> )					
	b	c	d	g	h	i	c	d	e	f	g	h
Rin (1)	0.186	0.318	0.238	-0.420	0.510	-0.034	0.105	<u>0.727<sup>y</sup></u>	0.014	-0.107	0.003	-0.099
Rout (2)	-0.156	-0.018	-0.096	-0.242	0.118	0.186	-0.104	0.412	0.063	0.058	0.173	0.029
(1)-(2)	0.268	0.380	0.310	-0.428	0.585	-0.092	0.155	<u>0.751</u>	-0.007	-0.150	-0.050	-0.130
Tin (3)	0.594	<u>0.712</u>	<u>0.741</u>	-0.108	0.480	-0.294	0.306	0.474	-0.066	-0.243	-0.396	-0.450
Tout (4)	0.663	0.686	<u>0.778</u>	0.006	<u>0.817<sup>y</sup></u>	-0.051	0.461	<u>0.784</u>	0.054	-0.141	-0.189	-0.252
(3)-(4)	0.476	0.635	0.623	-0.159	0.222	-0.397	0.176	0.232	-0.127	-0.271	-0.465	-0.507
R/Tin (5)	-0.254	-0.184	-0.277	-0.149	0.159	0.393	-0.075	0.480	0.247	0.261	0.460	0.367
R/Tout (6)	-0.311	-0.187	-0.344	-0.211	-0.345	0.056	-0.073	-0.127	0.010	0.046	0.216	0.120
(5)-(6)	-0.169	-0.142	-0.116	-0.084	0.383	0.478	-0.159	0.685	0.313	0.314	0.484	0.413
RKin (7)	0.338	0.535	0.305	-0.434	0.230	-0.360	0.265	0.394	-0.064	-0.250	-0.221	-0.309
RKout (8)	0.062	0.305	0.228	-0.178	0.172	0.189	0.151	0.593	0.266	0.171	0.260	0.095
(7)-(8)	0.046	0.590	0.300	-0.526	0.227	-0.670	0.293	0.099	-0.272	-0.485	-0.501	-0.521
TKin (9)	-0.040	0.279	0.091	-0.401	-0.399	-0.319	-0.039	-0.073	-0.040	-0.101	-0.120	-0.219
TKout (10)	0.695	<u>0.797</u>	<u>0.757</u>	-0.184	0.664	-0.306	0.461	0.623	-0.050	-0.284	-0.357	-0.425
(9)-(10)	-0.570	-0.358	-0.498	-0.224	<u>-0.872</u>	-0.056	-0.390	-0.544	0.002	0.126	0.126	0.127
R/TKin (11)	0.381	0.414	0.312	-0.281	0.669	-0.084	0.285	0.670	-0.003	-0.171	-0.090	-0.157
R/TKout (12)	<u>-0.707</u>	<u>-0.743</u>	-0.634	0.177	-0.293	0.704	-0.406	0.045	0.351	0.556	<u>0.734</u>	<u>0.718</u>
(11)-(12)	0.648	0.700	0.570	-0.355	0.671	-0.456	0.391	0.509	-0.220	-0.450	-0.483	-0.528
Sin (13)	0.529	0.652	0.633	-0.314	0.632	-0.264	0.274	0.685	-0.107	-0.292	-0.330	-0.416
Sout (14)	0.576	0.608	0.666	-0.104	<u>0.839</u>	-0.029	0.391	<u>0.844</u>	0.012	-0.169	-0.163	-0.251
(13)-(14)	0.504	0.648	0.609	-0.361	0.563	-0.319	0.236	0.628	-0.136	-0.317	-0.366	-0.449
RUTENIUM RED	-0.022	0.099	0.050	-0.678	0.306	-0.282	-0.308	0.511	-0.146	-0.194	-0.181	-0.146
FAST GREEN	0.428	0.292	0.267	-0.426	<u>0.876</u>	-0.312	0.154	0.602	-0.334	-0.468	-0.392	-0.361
SAFRANINE	0.448	0.320	0.276	-0.272	<u>0.857</u>	-0.175	0.233	0.635	-0.066	-0.228	-0.186	-0.114

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> — : p<0.05, = : p<0.01

Table 9. Correlations between distribution of fine cracks at 3 parts and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall at fruit apex in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at fruit apex	Fruit apex			Equatorial side			Stalk cavity		
	% of area	Mean periphery	Mean area	% of area	Mean periphery	Mean area	% of area	Mean periphery	Mean area
Rin (1)	0.031	0.059	0.048	<u>0.743</u>	0.321	0.133	<u>0.741</u>	0.574	0.286
Rout (2)	0.039	-0.128	-0.040	-0.155	-0.628	-0.039	-0.135	-0.168	0.056
(1)-(2)	0.019	0.103	0.063	<u>0.829</u>	0.651	0.151	<u>0.821</u>	0.651	0.278
Tin (3)	0.115	0.384	0.327	<u>0.770</u>	0.524	0.315	<u>0.770</u>	<u>0.754</u>	0.445
Tout (4)	0.242	0.030	0.119	0.250	-0.217	0.084	0.250	0.288	0.251
(3)-(4)	-0.035	0.368	0.240	0.589	<u>0.708</u>	0.255	0.589	0.542	0.256
R/Tin (5)	-0.012	-0.476	-0.350	-0.003	-0.302	-0.209	-0.003	-0.165	-0.164
R/Tout (6)	-0.205	-0.192	-0.174	-0.158	-0.227	-0.126	-0.158	-0.227	-0.104
(5)-(6)	0.059	-0.530	-0.378	0.053	-0.217	-0.217	0.053	-0.126	-0.169
RKin (7)	0.108	0.339	0.191	0.401	0.601	-0.003	0.401	0.564	0.101
RKout (8)	0.534	0.019	0.201	-0.030	-0.493	0.120	-0.030	0.066	0.247
(7)-(8)	-0.136	0.275	0.075	0.348	<u>0.711</u>	-0.053	0.348	0.443	-0.020
TKin (9)	-0.246	0.181	-0.016	0.275	<u>0.751</u>	-0.001	0.275	0.178	-0.089
TKout (10)	0.321	0.066	0.122	0.219	0.217	0.171	0.219	0.103	0.174
(9)-(10)	0.316	0.103	-0.064	0.107	0.455	-0.074	0.107	0.085	-0.139
R/TKin (11)	0.068	0.413	0.302	-0.234	-0.168	0.012	-0.234	0.081	0.101
R/TKout (12)	0.034	-0.226	-0.126	-0.005	-0.016	-0.103	-0.005	-0.016	-0.004
(11)-(12)	0.088	0.176	0.124	-0.331	-0.224	-0.104	-0.331	-0.071	-0.037
Sin (13)	0.097	0.299	0.250	-0.016	0.495	0.251	<u>0.829</u>	<u>0.786</u>	0.418
Sout (14)	-0.298	0.000	-0.035	-0.618	-0.584	-0.162	-0.111	0.096	0.021
(13)-(14)	0.216	0.304	0.268	0.230	<u>0.735</u>	0.319	<u>0.887<sup>y</sup></u>	<u>0.761</u>	0.417
RUTENIUM RED	0.193	-0.337	-0.161	0.216	0.218	0.109	-0.077	0.218	-0.075
FAST GREEN	0.057	0.129	0.071	0.276	0.660	0.302	0.276	-0.075	0.089
SAFRANINE	0.442	0.571	0.637	0.019	0.392	<u>0.790</u>	0.525	0.290	0.662

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> — :  $p < 0.05$ , = :  $p < 0.01$

における測定部位の対応関係は必ずしも厳密ではない。しかし、オウトウ 8 品種の裂果指数(CI)と引っ張り強さやせん断力との間に密接な関係が見られ、とりわけ、胴部横方向およびこうあ部縦方向の引っ張り強さとの間に、それぞれ、 $r=0.885^{**}$  および  $r=0.701^*$  の高い正の有意な相関が見いだされ (山本ら, 1994), 果皮が硬くて

伸展性の低い品種ほど裂果しやすいといえるので、その原因を果皮の組織構造の面から探求することの意義は大きい。

4. および 5. で記した相関解析における変数間の対応関係と異なり、この場合は組織観察部位と物理性の測定部位とが同一のものに絞ったが、複雑系の現象、不均一

Table 10. Correlations between distribution of fine cracks at 3 parts and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall at equatorial side in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at equatorial side	Fruit apex			Equatorial side			Stalk cavity		
	% of area	Mean periphery	Mean area	% of area	Mean periphery	Mean area	% of area	Mean periphery	Mean area
Rin (1)	0.251	-0.165	-0.053	0.248	-0.402	-0.066	-0.444	-0.435	-0.136
Rout (2)	-0.075	-0.478	-0.311	0.044	<u>-0.775<sup>y</sup></u>	-0.187	-0.515	-0.593	-0.238
(1)-(2)	0.385	0.049	0.107	0.312	-0.102	0.018	-0.311	-0.102	0.018
Tin (3)	0.044	-0.170	-0.093	0.287	-0.466	-0.050	-0.376	-0.546	-0.099
Tout (4)	0.101	0.069	0.095	-0.252	0.266	0.017	0.600	0.780	0.227
(3)-(4)	-0.072	0.451	0.322	-0.342	0.421	0.252	0.451	0.514	0.314
R/Tin (5)	0.072	-0.451	-0.322	0.342	-0.421	-0.252	-0.451	-0.514	-0.314
R/Tout (6)	0.044	-0.170	-0.093	0.287	-0.548	-0.050	-0.376	-0.466	-0.099
(5)-(6)	-0.158	-0.250	-0.249	0.567	-0.271	-0.138	-0.271	-0.487	-0.223
RKin (7)	0.416	0.492	0.581	-0.276	-0.034	0.517	0.587	0.609	0.632
RKout (8)	0.316	0.104	0.251	0.155	-0.433	<u>-0.725</u>	-0.649	-0.602	<u>-0.740</u>
(7)-(8)	0.226	0.467	0.456	-0.255	0.229	<u>0.729</u>	<u>0.728</u>	<u>0.713</u>	<u>0.802<sup>y</sup></u>
TKin (9)	0.199	0.513	0.537	-0.016	-0.410	0.423	-0.105	-0.346	0.261
TKout (10)	-0.430	<u>-0.795</u>	<u>-0.761</u>	<u>-0.792</u>	-0.157	0.025	0.310	0.701	0.306
(9)-(10)	0.367	<u>0.766</u>	<u>0.762</u>	0.477	-0.133	0.257	-0.332	-0.677	-0.031
R/TKin (11)	-0.052	0.150	0.255	-0.046	-0.084	0.209	0.211	0.313	0.275
R/TKout (12)	0.022	0.339	0.291	0.520	-0.218	-0.445	-0.419	-0.573	-0.534
(11)-(12)	-0.046	0.001	0.030	-0.062	0.464	0.283	0.511	0.616	0.344
Sin (13)	0.266	0.502	0.445	-0.451	-0.034	0.150	0.417	<u>0.738</u>	0.432
Sout (14)	-0.007	-0.124	-0.082	-0.261	0.086	0.075	0.462	0.665	0.075
(13)-(14)	0.271	0.589	0.503	-0.270	-0.093	0.261	0.097	0.278	0.380
RUTENIUM RED	0.196	-0.428	-0.287	0.399	0.068	-0.108	-0.324	-0.518	-0.290
FAST GREEN	0.228	0.348	0.379	0.362	0.471	0.650	0.451	0.028	0.379
SAFRANINE	0.367	0.372	0.471	0.321	0.382	<u>0.769</u>	0.523	0.091	0.579

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> — : p<0.05, = : p<0.01

系の対象および個体間誤差のためか、全体的に相関係数は有意水準に達するものは少なく、その解釈は困難なのが多かった(第12表)。

顕著な相関関係のみ列挙すると以下のとおりであった。すなわち、①胴部果皮の Rout とその横方向の引っ張り強さとの間に高い負の有意な相関(第3図D)が認

められ、Rout が小さいほど果皮の硬さが増す傾向が見られた。②こうあ部の Tin および Tout とその縦方向の伸び長との間の正の相関が認められた。③全般に Tin-Tout の値が大きいほど果皮の硬さが増す傾向が見られた。④RKout と胴部の引っ張り強さとの間に負の相関が認められた。⑤全般に RKin-RKout の値が大きいほ

Table 11. Correlations between distribution of fine cracks at 3 parts and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall at stalk cavity in 8 cherry cultivars.

Variables <sup>z</sup> at stalk cavity	Fruit apex			Equatorial side			Stalk cavity		
	% of area	Mean periphery	Mean area	% of area	Mean periphery	Mean area	% of area	Mean periphery	Mean area
Rin (1)	-0.256	-0.085	-0.197	0.491	0.703	-0.037	0.616	0.346	-0.014
Rout (2)	-0.207	-0.040	-0.226	0.660	0.602	-0.240	0.224	0.092	-0.229
(1)-(2)	-0.252	-0.094	-0.176	0.409	0.671	0.021	0.659	0.368	0.038
Tin (3)	-0.147	0.098	-0.001	-0.084	0.655	-0.015	0.444	0.503	0.021
Tout (4)	-0.238	-0.247	-0.271	0.270	0.693	-0.054	0.270	0.693	-0.100
(3)-(4)	-0.075	0.285	0.155	-0.279	0.547	0.010	0.357	0.567	0.089
R/Tin (5)	-0.124	-0.235	-0.268	0.687	0.277	-0.083	0.296	-0.031	-0.090
R/Tout (6)	-0.033	-0.150	-0.158	0.009	-0.182	-0.234	0.046	0.104	-0.072
(5)-(6)	-0.144	-0.255	-0.258	<u>0.882<sup>y</sup></u>	0.451	0.012	0.358	-0.093	-0.080
RKin (7)	0.044	0.177	0.083	0.073	0.625	0.030	0.636	0.648	0.174
RKout (8)	-0.132	-0.172	-0.238	0.377	0.512	-0.189	0.581	0.474	-0.046
(7)-(8)	0.154	0.378	0.282	-0.143	0.585	0.170	0.556	0.645	0.288
TKin (9)	0.002	0.216	0.150	-0.519	0.024	-0.089	0.425	<u>0.743<sup>y</sup></u>	0.214
TKout (10)	-0.115	0.000	-0.073	0.103	<u>0.787</u>	0.005	0.605	0.533	0.037
(9)-(10)	0.089	0.197	0.192	-0.551	-0.582	-0.085	-0.077	0.267	0.167
R/TKin (11)	-0.089	-0.025	-0.126	0.649	<u>0.861</u>	0.041	0.535	0.228	-0.022
R/TKout (12)	-0.077	-0.298	-0.227	0.472	-0.433	-0.069	-0.228	-0.483	-0.128
(11)-(12)	-0.076	0.148	0.042	0.236	<u>0.901</u>	0.058	0.534	0.435	0.042
Sin (13)	-0.278	-0.008	-0.139	0.178	<u>0.799</u>	-0.056	0.576	0.472	-0.033
Sout (14)	-0.306	-0.252	-0.329	0.456	<u>0.810</u>	-0.108	0.501	0.232	-0.169
(13)-(14)	-0.264	0.055	-0.086	0.102	<u>0.777</u>	-0.042	0.582	0.524	-0.086
RUTENIUM RED	-0.229	0.350	0.233	0.057	0.424	0.358	0.622	0.409	0.354
FAST GREEN	-0.285	-0.017	-0.120	0.485	0.704	0.145	0.323	-0.069	-0.044
SAFRANINE	0.014	0.111	0.090	0.588	<u>0.724</u>	0.397	0.498	0.039	0.198

<sup>z</sup> Abbreviations refer to Table 1.

<sup>y</sup> — : p<0.05, = : p<0.01

ど果皮の硬さが増す傾向が見られた。⑥全般にファストグリーンおよびサフランによる染色の面積率が高いほど果皮が硬い傾向にあった。

## 7. 総合考察

オウトウの裂果発生機構および裂果感受性と果実形質に関するこれまでの研究例の総説（山本，1991）の中でも記されているように，裂果感受性には多くの形質が関

与するものの，決定的なものは発見されていない。そのうち，果実組織と裂果感受性との関係についても酸果オウトウを含む8品種の裂果指数を比較した Kertesz・Nebel (1935) の調査報告では，表皮細胞の大きさと裂果の発生は無相関であり，柔細胞が小さいほど裂果しやすい，下皮細胞が小さく数が多いほど裂果しやすい，および，表皮細胞の内壁が厚いほど裂果しやすいとされてい



る。また、表皮細胞内壁厚と裂果指数との間には有意ではないが正の相関が報告されている (Mohamed, 1978)。最近、山口ら (1993) は32品種の強制裂果処理による裂果発生程度と果肉細胞横径、各部位の表皮細胞横径あるいは縦径との間に有意な正の相関を見いだした。また、果実組織とは異なるが、これに間接的に影響する種々の果実肥大特性と裂果感受性との間の密接な関係が報告された (山本ら, 1994)。

本報は上記の果実組織の観察例のように細胞径や壁厚の単独の比較だけでなく、品種間の変動係数の大きい径比の勾配係数およびこれらの内層と外層の違いなどの、いわゆる組織構造 (細胞の配列) の特徴、ならびに細胞壁の組織化学観察結果を新たに加えて、種々の裂果感受性との間の関係を明らかにできたものと考えている。

3., 4. および 5. では種々の裂果感受性と本実験結果との間の相関関係について個別に記したが、4. で記したように、亀裂発生部位と果皮組織の部位との間の対応関係は単純化できないこと、品種数が少なかったために有意水準に到達する相関係数の数が少なかったこと、および亀裂観察の供試果実と微細亀裂の画像解析に用いた果実およびパラフィン切片に供試した果実とが同一の果実でなかったうえに調査年次も一部異なったことによる個体間誤差の影響などが考えられ、相関関係はあまり明瞭ではなかった。そこで、実験項目や相関解析の果実部位間の対応関係にとらわれずに、上記の裂果感受性4指標、果実表面の代表的部位の可視亀裂密度データおよ

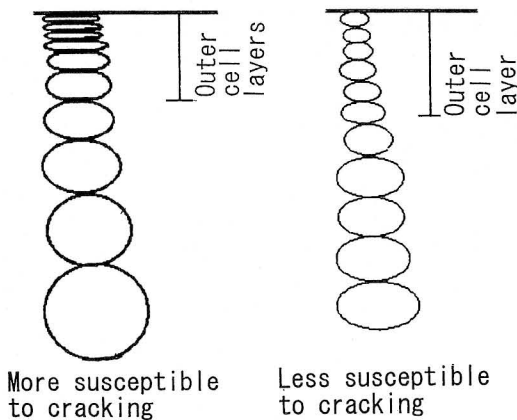


Fig. 4. Diagrammatic showings of cell shapes and their arrangement in the peel of more susceptible cultivars to fruit cracking (left) and less susceptible ones (right).

Table 13. Comparisons of numbers of correlation in respects of direction to promote or inhibit fruit cracking and their significant levels among all combinations between variables related to the cracking susceptibility and that of cell shape, cell arrangement and histochemical property in 8 cherry cultivars.

Variable <sup>2</sup>	Numbers of correlations							
	Direction to promote fruit cracking				Direction to inhibit fruit cracking			
	Levels				Levels			
	0.1%	1%	5%	10%	0.1%	1%	5%	10%
Rin (1)	0	0	3	3	0	0	0	0
Rout (2)	0	0	1	2	0	1	0	1
(1)-(2)	0	0	3	5	0	0	0	0
Tin (3)	0	0	5	2	0	0	0	1
Tout (4)	0	0	5	5	0	0	0	0
(3)-(4)	0	0	1	6	0	0	2	0
R/Tin (5)	1	1	4	5	0	0	0	0
R/Tout (6)	0	0	6	2	0	1	6	1
(5)-(6)	0	3	6	4	0	0	3	1
RKin (7)	0	0	2	3	0	0	0	0
RKout (8)	0	0	0	1	0	0	3	2
(7)-(8)	0	0	5	3	0	0	0	1
TKin (9)	0	1	2	0	0	0	0	0
TKout (10)	0	0	4	6	0	0	3	0
(9)-(10)	0	1	2	0	0	0	0	1
R/TKin (11)	0	1	2	3	0	0	2	3
R/TKout (12)	0	3	5	2	0	0	2	3
(11)-(12)	0	1	0	5	0	0	0	2
Sin (13)	0	1	3	5	0	0	0	1
Sout (14)	0	2	1	2	0	0	0	0
(13)-(14)	0	1	6	3	0	0	0	0
RUTENIUN RED	0	0	5	1	0	0	0	1
FAST GREEN	0	2	0	4	0	0	0	0
SAFRANINE	0	1	4	3	0	0	0	0

<sup>2</sup> Abbreviations refer to Table 1.

び微細亀裂発生データのデータ、合計25個の変数と果実3部位それぞれの細胞の形状・配列および組織化学の合計24個の変数との間の相関係数 (第5~9表) のうち、裂果発生を助長する方向 (符号が正) の有意な相関数、裂果発生を抑制する方向 (符号が負) の有意な相関数、および参考までに有意水準10%の両方向の相関数を比較した (第13表)。

この比較表で裂果発生を助長する方向の相関数とその逆の方向の相関数より明らかに多い変数に注目したところ、以下の傾向が推察される。すなわち、①外層の接線

Table 12. Correlations between physical properties of peel at 3 parts and several variables of cell shape, cell arrangement and histochemical property of cell wall in 8 cherry cultivars. ST: Shearing stress, TSL: Tensile strength in direction of longitudinal arc, TSH: Tensile strength in direction of longitudinal arc, TSH: Tensile strength in direction of latitudinal arc, ELL: Elongation length in direction of longitudinal arc, ELH: Elongation length in direction of latitudinal arc.

Variables <sup>z</sup> at each part	Fruit apex			Equatorial side					Stalk cavity		
	ST	TSL	ELL	ST	TSL	TSH	ELL	ELH	ST	TSL	ELL
Rin (1)	0.082	0.380	-0.057	0.137	-0.253	-0.570	-0.292	-0.186	0.119	0.095	0.300
Rout (2)	0.217	-0.418	-0.235	-0.435	-0.475	<u>-0.918<sup>y</sup></u>	0.036	0.185	0.330	0.100	-0.257
(1)-(2)	0.014	0.533	0.018	0.437	-0.072	-0.250	-0.420	-0.361	0.052	0.086	0.423
Tin (3)	-0.047	0.612	0.176	0.298	0.218	0.398	0.265	-0.179	0.099	0.163	0.686
Tout (4)	0.251	-0.057	-0.276	-0.044	0.326	0.068	0.595	0.400	-0.088	0.080	<u>0.713<sup>y</sup></u>
(3)-(4)	-0.247	0.671	0.395	0.671	0.378	0.704	-0.044	0.574	0.195	0.190	0.580
R/Tin (5)	0.428	-0.323	-0.194	-0.116	-0.372	-0.641	-0.191	0.076	0.064	0.027	-0.202
R/Tout (6)	0.330	-0.243	0.158	0.026	-0.390	<u>-0.743</u>	-0.105	-0.175	-0.147	-0.294	-0.323
(5)-(6)	0.690	-0.221	-0.076	0.008	-0.407	-0.580	0.073	-0.086	0.158	0.186	-0.094
RKin (7)	0.606	<u>0.741</u>	0.225	0.124	0.396	-0.153	<u>0.745</u>	-0.066	0.267	0.166	0.135
RKout (8)	0.268	-0.155	-0.527	-0.514	<u>-0.743</u>	-0.692	-0.163	0.464	0.026	0.009	0.202
(7)-(8)	0.393	0.685	0.412	0.371	0.667	0.306	0.543	-0.307	0.378	0.239	0.066
TKin (9)	0.259	0.560	0.287	-0.271	0.026	-0.552	0.389	-0.052	-0.068	-0.141	0.284
TKout (10)	0.389	0.086	-0.601	0.057	0.053	0.053	0.312	0.003	0.110	0.173	0.602
(9)-(10)	0.022	0.370	0.465	-0.064	-0.058	-0.360	-0.047	-0.180	-0.146	-0.261	-0.203
R/TKin (11)	0.196	0.113	0.166	0.124	0.280	-0.326	0.260	0.082	0.346	0.286	0.055
R/TKout (12)	-0.130	-0.214	-0.027	-0.314	-0.421	-0.516	-0.145	0.337	-0.176	-0.132	-0.381
(11)-(12)	0.124	-0.102	-0.061	0.272	0.512	0.251	0.336	0.050	0.349	0.272	0.290
Sin (13)	0.392	0.591	0.130	0.492	0.181	0.138	-0.348	0.168	0.088	0.109	0.634
Sout (14)	-0.422	-0.291	0.518	-0.184	-0.154	0.117	0.512	0.607	0.001	0.084	0.575
(13)-(14)	0.567	<u>0.717</u>	<u>0.729</u>	0.621	0.288	0.057	-0.703	-0.253	0.109	0.488	0.634
RUTENIUM RED	-0.147	-0.259	-0.502	-0.125	0.051	0.157	-0.574	0.092	0.173	0.250	0.592
FAST GREEN	0.147	0.265	-0.243	0.125	0.668	0.600	0.113	-0.198	0.185	0.172	0.265
SAFRANINE	0.371	0.532	-0.226	0.101	<u>0.772</u>	0.480	0.227	-0.169	0.379	0.467	0.164

<sup>z</sup> Abbreviations of variables refer to Table 1.

<sup>y</sup> — :  $p < 0.05$ , = :  $p < 0.001$

径 (Tout) が大きいほど, ②内層の放射径 (Rin) が大きく, かつ, その径比 ( $R/Tin$ ) が大きいほど, ③“内層の値マイナス外層の値”として計算した放射径の差 ( $Rin-Rout$ ), 径比の差 ( $R/Tin-R/Tout$ ), 放射径勾配の差 ( $RKin-RKout$ ) および径比勾配の差 ( $R/TKin-R/TKout$ ) がそれぞれ大きいほど, ④内層および外層の細胞平均表面積 ( $Sin$  および  $Sout$ ) とその差 ( $Sin-Sout$ ) が大きいほど, ⑤ファストグリーンおよびサフラニン染色の面積率が高い品種ほど裂果感受性が高いことである。上記の傾向を総合的に考慮して裂果感受性の高い果皮の組織構造とそうでない組織構造 (細胞の形状と配列) の模式図を第4図に示した。

果皮片が硬くて伸展性が低いことは決して果皮が強固であることを意味しない。裂果現象の場合にはむしろ破壊に対して脆いものと考えられる。果皮片の物理性と果皮組織の細胞の形状・配列との間の相関関係 (第12表) は第4~11表に示した果皮組織の細胞の形状・配列と裂果感受性との間の相関関係と相通じるところが多い。外層の放射径が大きいことは細胞がまだ扁平ではなく伸展の余地があることを意味する。また, 外層の放射径に比較して内層の放射径が大きいことは内部の果肉細胞の急速な肥大に押されて外層が扁平になっている程度が高いことと解釈され, 果皮の伸展の余地がなくなっていることを意味している。なお, 本実験における細胞径の測定が放射方向と接線方向に分けて行ったが, この両方向に加えて果実の軸に対する縦方向 (経線方向) と横方向 (緯線方向) に分けて組み合わせ測定していれば, 果皮片の物理性との関係は一層明瞭になったものと考えられる。

ファストグリーンやサフラニンの染色の面積率が高いことは, 扁平な細胞が多いため表層縦断面の一定区画に占める細胞壁部分の面積割合が高いこと, および, 細胞壁中にセルロース繊維やマトリックスとしてのクチン, コルク質およびリグニンなどが多いことを意味し, これらは果皮片の硬化や伸展性の低下をもたらすものと考えられる。

果皮組織の細胞の形状・配列と果実の肥大特性あるいは果実表面応力分布とは相互に関連しているものと考えられる。これらは裂果発生を引き起こす原動力の観点から, 肥大による内部圧力の大きさとその力の働く方向あるいは局部的に集中する表面応力の方向とその部位が裂果の程度あるいは裂開の型を決めるものとしてこれまで調査されてきた (山本ら, 1990; 山本ら, 1990; 山本ら, 印刷中)。

オウトウでは横方向の果径変化率が高いほど, 横方向への肥大の歪みが大きいほど, および果実肥大の非円滑性の程度が高いほど縦状平均亀裂密度MDLが高くなること (山本ら, 印刷中), ならびに輪状の亀裂はその多くが果頂部とこうあ部に集中分布し (山本ら, 1991), この両部位の経線方向の果実表面応力の集中分布と良く対応すること (山本ら, 1990) が報告されている。本調査から果皮組織の外層の細胞の形が扁平な品種, すなわち,  $R/Tout$  が小さい品種ほど1果としての平均輪状亀裂密度 (MDR) が高かった (第5表) 反面, 部位別に見ると両型の亀裂密度とも果頂部側の亀裂密度とは負の, こうあ部側の亀裂密度とは正の相関関係が認められた (第6~7表)。また, 内層細胞の径比  $R/Tin$  が大きい品種ほどこうあ部および胴部の縦状亀裂と輪状亀裂の発生量が多かった (第6表および第7表)。これらの知見は単に裂果感受性の品種間差異の要因としてだけでなく, 裂果発生機構の全容解明にも今後役立つものと思われる。

横方向の急速な肥大, 横方向への歪みおよび肥大の非円滑性は, 縦方向の生長が抑えられていることを意味する。他方, このことは果実の肥大や膨脹による内側からの圧力に対する果皮組織の生長 (細胞分裂や細胞伸長) や細胞壁成分の補填が伴わないために果実生長が一時的に停滞し, 圧力がさらに高まると果皮組織が引き伸ばされ急に肥大するという, いわば緩急の程度の著しい肥大を余儀なくされることを意味する。このような状態は裂果のエネルギーを蓄積させるとともに, 本報で記した果肉組織や果皮組織の細胞の形状や配列に影響するであろう。内生の植物ホルモンなどによる果実の生長が十分かつ円滑に調節されているならば, 裂果のエネルギーはさほど蓄積しないまま経過するものと考えられる。

植物生長調節物質による裂果防止試験 (Tabuenka, 1985; Yamamoto ら, 1992) も上記の考え方に立って今後進める必要があろう。自然状態で最終的に可視亀裂にいたるか, 肉眼では確認することができない程度の微細亀裂のままに終るかはこのエネルギーの蓄積, 発散の仕方によるものと推察される。そして, このエネルギーの蓄積, 発散の仕方は果皮および果肉の物性と果実肥大特性の両者に決まるところが大きいものと考えられる。

## 摘 要

裂果感受性の異なるオウトウ8品種を用いて, 収穫期果実の果皮組織の細胞の形状・配列および細胞壁の組織

化学を調査し、これらと可視亀裂による裂果感受性4指標、果実表面上の亀裂密度分布、肉眼では確認することのできない微細亀裂発生量および果皮の物理性との間の相関関係を解析した結果、以下の傾向が見いだされた。

裂果感受性は果皮の外層細胞が扁平で内層細胞の放射径が大きく、かつ、その径比（放射径／接線径）が大きいほど、果皮組織の細胞層が深くなるにつれて放射径および径比が急に大きくなるものほど、（内層の値）－（外層の値）として計算した放射径の差および径比の差が大きいほど、内層および外層の細胞平均表面積とその差が大きいほど、ファストグリーンおよびサフラン各色素による染色面積率が高い品種ほど高かった。また、上記の傾向が強いものほど果皮片が硬く、伸展性が低かった。

#### 引用文献

- Christensen, J. V. 1973. Cracking in cherries. VI. Cracking susceptibility in relation to the growth rhythm of the fruit. *Acta. Agric. Scand.* **23**: 52-54.
- Christensen, J. V. 1979. Reifezeit, Platzneigung und Fruchtgröße bei Süßkirchensorten. *Erbwerbsorbstbau* **21**: 122-123.
- Greulach, V. A. 1972. *Plant Function and Structure*. The Macmillan Company. New York. Collier-Macmillan Publishers. London.
- Iizuka, I., S. Watanabe and T. Yamamoto. Studies on leaf burn of pear trees. I. Histological observation on pear leaves. *Bull. Yamagata Univ., Agr. Sci.* **6**(3): 501-519.
- Kertesz, Z. I. and Nebel, B. R. 1935. Observation on the cracking of cherries. *Plant Physiol.* **10**: 763-777.
- Konarev, V. G. 1972. *Cytochemistry and histochemistry of plants*. Israel program for scientific translations. Jerusalem.
- 木島正夫, 1963. 顕微鏡実験を主とする植物形態学の実験法. 広川書店. 東京.
- Mohamed, M. A. H. F. 1978. Investigations into fruit quality of sweet cherry. II. Histological investigations into the exocarp of sweet cherry. *Arch. Gartenbau.* **26**: 211-220.
- Pearse, A. G. E. 1968. *Histochemistry. Theoretical and applied*. Churchill Livingstone. Edinburgh and London.
- Tabuenka, 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.
- 山口正巳・石黒 亮・佐藤功・1993. オウトウの果実肥大特性の解明. (第5報) 果皮の部位別細胞径. 果肉硬度と裂果抵抗性との関係. *園学雑.* (62別1): 124-125.
- 山本隆儀, 1991. オウトウの果実の裂果とその防止対策. *園学平3 シンポ講要*: 49-64.
- 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**: 509-517.
- 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.
- 山本隆儀・仁井田貴之・須貝恵美. 1995. リンゴならびにオウトウ品種の果皮の物理性および微細亀裂の分布と裂果感受性との関係. *山形大学農学部農場報告* **7**: 7-17.
- 山本隆儀・佐藤 秀・渡部俊三. 1991. オウトウ数品種の裂果指数, 果面上の亀裂の型及びその分布. *山形農林学会報.* **48**: 75-78.
- Yamamoto, T., H. Satoh and S. Watanabe. 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**: 507-511.
- 山本隆儀・須貝恵美・仁井田貴之. 1996. リンゴならびにオウトウ品種の果実肥大速度と裂果感受性との関係. *園学雑.* **64**. (印刷中).
- 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.