スイカにおける果実の硬さと組織・細胞の構造

杉山慶太・菅野紹雄*・森下昌三・岩永喜裕

野菜・茶業試験場久留米支場 839-8503 福岡県久留米市御井町

Relationship between Rind Hardness and Rind Tissue Structure in Watermelon

Keita Sugiyama, Tsuguo Kanno, Masami Morishita and Yoshihiro Iwanaga

Kurume Branch, Natl. Res. Inst. Veg. Ornam. Plts. & Tea, Kurume, Fukuoka 839-8503

Summary

This study was carried out to analyze the inheritance of watermelon rind hardness and the relationship between rind tissue structure and rind hardness for breeding crack resistant cultivars. For inheritance analysis, a crack-prone cultivar, 'Beni Kodama', was hybridized with a crack resistant cultivar, 'Africa 22857' which was introduced from western Africa; their hybrid progenies were compared.

1. Hard rind cultivars and lines had thicker chlorenchyma cell layers and sclerenchyma cell layers, consisting of smaller, rounder compact cells in greater density than did the soft rind ones. We suppose that the rind tissue structure is correlated with the resistance to cracking following mechanical shocks.
2. Cell wall thickness is a relatively minor factor in rind hardness.
3. The rind hardness test of F_1 , F_2 and BC_1 progenies indicated that 'Africa 22857' has partially dominant genes for this characteristic.
4. Most characteristics associated with rind tissue structure are heritable because those in the F_2 generation and back cross progenies are similar to that of 'Africa 22857'.

Key Words: cell, crack, rind, tissue, watermelon.

緒 言

スイカの裂果には果実発育中の不適切な灌水や降雨などが原因で生じる生理的裂果と、収穫、選果作業および輸送時の振動や衝撃等によって生じる物理的裂果とがある。日本のスイカは諸外国の品種に比べて果皮(本実験ではスイカの果実において、花托と子房壁の発達した部分、日常用語で皮あるいは果皮と呼ばれる部分について調べたのであるが、以下の文では便宜的に「果皮」と表すこととした)が柔らかく、振動や衝撃によって裂果が生じやすい特性を有している。特に、こだま系スイカは果皮が薄いため生理的裂果よりも物理的裂果が生じやすい。そこで著者らはこだま系スイカの輸送性を高めることを目的として、物理的裂果に耐性をもつ品種の育成を開始した。

Andrus (1949)はスイカの輸送中に生じる裂果と果実形質との関連性を調査し、空洞が裂果発生の主要因であり、次いで果皮の硬さが影響していることを報告している。

1997年7月18日 受付. 1997年11月19日 受理.

*現在:野菜・茶業試験場施設生産部 470-2351 愛知県知多郡武豊町字南中根 45

しかし, Sugiyama・Kanno (1994)は, 衝撃による裂果は果皮硬度と最も関係が深いことを示し, Kenny・Porter (1941)は, スイカの果皮の硬さは柔細胞の細胞壁の厚さが関係していることを報告している。また, 倉田 (1971)は輸送性の高い品種と低い品種では, 厚壁細胞層の厚さに相違があることを観察している。しかし, 果皮の硬さと果皮組織の構造や細胞の大きさとの関係についてはほとんど明らかにされていない。

そこで, 本試験では果皮の硬さの異なる品種とその交雑後代の果皮組織・細胞を調査し, 果皮の硬さを決定している要因およびその遺伝性について明らかにすることを目的として実験を行った。

材料および方法

実験 1. 果皮の硬さを異にする品種の果皮組織・細胞の構造

材料に果皮の柔らかい「紅こだま」, 「黄肉こだま」, 「ニューこだま」, 「田端」, 「早生日章」, 果皮の硬さが中程度の「嘉宝」および果皮の硬い「北京系C」, 「Sugar Baby」, 「源五兵衛」, 「Africa 22857」(アフリカ西部から導入の野生種)および「Red Seeded 3b」を供試した。

1993年3月24日に催芽種子を播種し、3月29日にユウガオに接ぎ木を行い、直径10.5 cmのポットで育苗した。5月14日にハウス内に定植し、こだま系スイカは交配後35日、中・大玉系スイカは交配後40日を目安に成熟果を収穫した。

果皮硬度の測定：果実の赤道部分から果皮を切り出し、縦2 cm×横2 cm×厚さ1 cmの果皮切片を作成した。果皮硬度測定にはオートグラフ (IS-100, 島津製作所) を用い、直径7 mmの円形プランジャーを果皮表面から貫入させた時の最大貫入抵抗値を測定した。なお、測定には50 kgのロードセルを用い、貫入速度は100 mm・min⁻¹とした。

果皮組織の観察：収穫直後、果皮組織をFAA液で固定した後、パラフィンに包埋し、ミクロトームにより厚さ約20 μmの切片を作成した。切片はヘマトキシリンで染色した後、光学顕微鏡によって表皮、表皮下の緑色細胞層および厚壁細胞層の厚さ、表皮から約4000 μmまでの細胞の大きさおよび柔細胞の細胞壁の厚さを調査した。なお、緑色細胞層の細胞および表皮下200~4000 μmの柔細胞については最大径 (長径) と最小径 (短径) を測定した。細胞の大きさはそれぞれの部位当たり25細胞を測定し、平均値で表した。

実験2. 果皮の硬さの遺伝と交雑後代における果皮組織・細胞の構造

果皮の柔らかい‘紅こだま’(P₁)と果皮の硬い‘Africa

22857’(P₂)を交雑親として選び、このF₁、F₂およびBC₁を試験材料とした。1994年8月26日に催芽種子を播種し、8月31日にユウガオに接ぎ木した後、直径10.5 cmのポットで育苗した。9月26日にハウス内に定植し、交配後40日を目安に成熟果を収穫した。供試個体数は‘紅こだま’9個体、‘Africa 22857’14個体、F₁27個体、F₂70個体およびBC₁40個体とした。なお、果皮組織の観察・調査についてはF₁は正逆交雑で得られた27個体の果実の中で果皮硬度が平均値に近い2果を、またF₂は70個体の中から果皮の硬さが異なる7果を、BC₁(F₁×P₁, F₁×P₂)では40個体の果実の中から果皮の硬い果実を3果と果皮の柔らかい果実を2果選び実施した。

果皮硬度の測定および果皮組織の観察・調査は実験1に準じて行った。なお、果皮硬度は小数点第1位を四捨五入して示した。また、細胞の大きさは各部位当たり10~30細胞を測定し、平均値で表した。

結果および考察

実験1. 果皮の硬さを異にする品種の果皮組織・細胞の構造

1) 果皮の硬さの品種間差異

果皮硬度は、‘紅こだま’、‘黄肉こだま’、‘田端’、‘ニューこだま’および‘早生日章’が5.5~6.4 kgと柔らかく、‘嘉宝’は7.8 kgと中程度、‘北京系C’、‘Sugar Baby’、‘源五兵衛’および‘Africa 22857’は11.4~13.2 kgと硬く、

Fig.1. Structure of rind tissue in very tender rind (A) and very hard rind (B).

(A): ‘New Kodama’, (B): ‘Gengobei’. Bar=100 μm.

Table 1. Relationships between rind hardness and

Cultivar	Rind hardness	Thickness of chlorenchyma cell layer	Cell size in chlorenchyma cell			200–500 ^z μ m		
			Short ^y	Long ^x	S/L ^w	Short	Long	S/L
			(μ m)	(μ m)		(μ m)	(μ m)	
Soft rind								
Beni Kodama	5.5a ^u	115a	17cde	41c	0.40	82b	142b	0.58
Ouniku Kodama	5.7ab	151cd	29a	75a	0.39	95a	180a	0.53
Tabata	5.8ab	172de	16cde	31d	0.52	76b	96cd	0.79
New Kodama	6.1ab	147bc	21b	56b	0.38	73b	137b	0.53
Wase Nisshou	6.4bc	117ab	16cde	30d	0.54	59c	93de	0.63
Middle rind hardness								
Kahou	7.8c	155bc	19bcd	45c	0.41	52cde	111c	0.47
Hard rind								
Beijing Xi C	11.4d	215f	20bc	24de	0.81	46e	76de	0.61
Sugar Baby	11.7de	178de	16de	30d	0.52	48de	74e	0.65
Gengobei	12.4de	183e	13e	20e	0.63	34f	45f	0.76
Africa 22857	13.2e	224f	19bcd	30d	0.63	58cd	91cde	0.64
Very hard rind								
Red Seeded 3b	26.4f	157cd	13e	20e	0.66	33f	39f	0.85
Relationships between rind hardness and cell size		0.335	– 0.304	– 0.610*	0.580	– 0.734**	– 0.730*	0.632

^z Distance from epidermis.^{y,x} Short is the minimum cell diameter, long is the maximum cell diameter.^w S/L=Short/Long ratio.

‘Red Seeded 3b’は26.4kgと極めて硬かった(第1表)。

2) 果皮の組織構造

ウリ科の果皮の主たる部分は、外果皮と中果皮で構成されている(Roth, 1977)。本試験においてスイカの果皮組織を観察したところ、表皮、表皮下の緑色組織、厚壁組織および柔組織で構成されていた。緑色組織は葉緑体をもつ細胞からなり、層の厚さは100~200 μm で、その内側に厚壁組織が数層みられ、さらに柔細胞が果肉に至るまで続いていた(第1図)。

3) 緑色組織

果皮の柔らかい‘紅こだま’や‘早生日章’の緑色細胞層の厚さは115~117 μm と薄く、果皮が硬い‘北京系C’、‘源五兵衛’および‘Africa 22857’は178~224 μm と厚かった。このように果皮の硬い品種は果皮の柔らかい品種に比べて緑色細胞層が厚い傾向がみられた。しかし、果皮の極めて硬い‘Red Seeded 3b’の緑色細胞層の厚さは157 μm で、果皮の柔らかい‘黄肉こだま’と‘ニューこだま’の147~151 μm と同程度、‘田端’の172 μm よりも薄いなど、緑色細胞層の厚さと果皮の硬さとは必ずしも一致しなかった。

緑色組織の細胞は果皮の柔らかい品種では短径16~29 μm 、長径30~75 μm 、短径/長径比0.4~0.5と大きい長楕円形をしていた(第1図A)。一方、果皮の硬い品種では細胞が短径13~20 μm 、長径20~30 μm 、短径/長径比

0.5~0.8と、果皮の柔らかい品種に比較して小さくて丸味があり、細胞の密度が高かった(第1図B)。同様の構造は、果皮が極めて硬い品種‘Red Seeded 3b’でも認められた。

4) 柔組織

表皮下200~500 μm の細胞層では、果皮の柔らかい品種の細胞が短径59~95 μm 、長径93~180 μm と大きく、長楕円形をしており、一方果皮の硬い品種の細胞は短径34~58 μm 、長径45~91 μm と小さくて楕円形に近かった。とくに果皮の硬い‘源五兵衛’と果皮の極めて硬い‘Red Seeded 3b’では、細胞の大きさが短径33~34 μm 、長径39~45 μm 程度と小さく丸味があった。また、単位面積当たりの細胞数についても、果皮の硬い品種では細胞の密度が高く、一方果皮の柔らかい品種では細胞の密度が低く、かつ大きな細胞間隙が観察された。果皮の硬さはこの部位の細胞の大きさと高い相関(短径 $r = -0.734^{**}$ 、長径 $r = -0.730^{*}$)が認められ、また細胞の形との相関も高かった($r = 0.632$)。

表皮下500~1000 μm の細胞層では、果皮の柔らかい品種では細胞が不規則な楕円形となり、‘紅こだま’、‘黄肉こだま’、および‘ニューこだま’では細胞の長径が200 μm を越える細胞も観察された。一方、果皮の硬い品種では球形に近い細胞が観察され、細胞の長径は100 μm 程度と小さかった。このように、表皮下500~1000 μm の細胞層

rind tissue in watermelon cultivars.

Cell size in the parenchyma cell									No. of schlerenchyma cell layer	Thickness ^v of cell wall (μm)
500–1000 μm			1000–2000 μm			2000–4000 μm				
Short (μm)	Long (μm)	S/L	Short (μm)	Long (μm)	S/L	Short (μm)	Long (μm)	S/L		
125a	194ab	0.64	158a	216a	0.73	172ab	254ab	0.68	1 – 2	1.2
111bc	211a	0.53	139b	235b	0.59	199a	256a	0.78	0 – 1	1.1
98cd	127de	0.77	104def	153c	0.68	123d	229abcd	0.54	4 – 5	1.3
115ab	184b	0.63	123bcd	194b	0.63	160bc	200cd	0.80	1 – 2	1.3
113b	146cd	0.77	131bc	239a	0.55	143bcd	249abc	0.57	4 – 5	1.2
98cd	161c	0.61	124bcd	208b	0.60	167b	206bcd	0.81	3 – 4	1.3
78e	101f	0.77	81gh	109de	0.74	133cd	188d	0.71	2 – 3	1.2
99cd	128de	0.77	117cde	159c	0.74	165b	223abcd	0.74	3 – 4	1.2
70f	103f	0.68	84fgh	106de	0.79	147bcd	207bcd	0.71	2 – 3	1.5
87de	109ef	0.80	97eg	134cd	0.72	176ab	227abcd	0.78	4 – 5	1.3
61f	96f	0.64	73h	100e	0.73	160bc	204bcd	0.78	4	1.3
– 0.831**	– 0.690*	0.083	– 0.740**	– 0.730*	0.498	– 0.020	– 0.458	0.351	–	0.256

^v Cell wall thickness of parenchyma cells in the mesocarp.^u Mean separation within column by Duncan's multiple range test, at 5% level.

** Significant at the 1% level, * Significant at the 5% level.

でも果皮の柔らかい品種は果皮の硬い品種に比べ細胞が大きく、果皮の硬さと細胞の短径および長径との間にそれぞれ -0.831^{**} および -0.690^{*} の高い負の相関関係が認められた。

表皮下 1000–2000 μm の細胞層では、細胞の形に品種間差異がみられなくなり、細胞の長径/短径比は 0.55–0.79 となり、形は楕円形～球形をしていた。果皮の硬い 'Sugar Baby' と果皮の柔らかい '田端' の細胞の大きさは同程度であったが、'田端' では細胞間隙が目立ち、細胞壁が歪んでいるのが観察された。また細胞の大きさも果皮の柔らかい品種は果皮の硬い品種に比べ大きい傾向が認められ、果皮の硬さと細胞の短径および長径との間にそれぞれ -0.740^{**} および -0.730^{*} の高い負の相関関係

が認められた。

表皮下 2000–4000 μm の細胞層では、さまざまな大きさの不整形な細胞が認められ、果皮の柔らかい '紅こだま' と '黄肉こだま' の細胞がやや大きかった以外は、果皮の柔らかい品種と果皮の硬い品種間の差異は小さく、果皮の硬さと細胞の短径および長径と間の相関は、それぞれ -0.020 および -0.458 と低かった。

5) 厚壁組織

厚壁細胞層は、果皮の硬い 'Sugar Baby', 'Africa 22857' および果皮の極めて硬い 'Red Seeded 3b' では 4–5 層観察された。一方、果皮の柔らかい '紅こだま', '黄肉こだま' および 'ニューこだま' では 0–2 層であった。このように、厚壁細胞層は果皮の硬い品種で厚い傾向がみ

Table 2. Inheritance of rind hardness in progeny lines derived from the cross between 'Beni Kodama' and 'Africa 22857'.

Parental cultivars and its progeny lines	Number of fruits	Rind hardness (kg)																Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
P ₁ : Beni Kodama	9	0	0	1	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8
P ₂ : Africa 22857	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5	1	3	1	13.3
P ₁ × P ₂	14	0	0	0	1	2	2	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	6.7
P ₂ × P ₁	13	0	0	0	2	1	3	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	6.5
F ₂	70	0	1	5	6	9	7	14	12	8	5	0	2	1	0	0	0	6.9
F ₁ × P ₁	26	0	0	5	5	6	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5.0
F ₁ × P ₂	14	0	0	0	0	1	3	2	0	1	5	1	0	1	0	0	0	8.6

Table 3. Relationships between rind hardness and

Progeny lines	Rind hardness	Thickness of chlorenchyma cell layer	Cell size in chlorenchyma cell			500 ^z μ m		
			Short ^y	Long ^x	S/L ^w	Short	Long	S/L
	(kg)	(μ m)	(μ m)	(μ m)		(μ m)	(μ m)	
P ₁ : Beni Kodama	4.8	109.5c ^u	14.0b	50.0a	0.28	71.7a	130.0a	0.55
P ₂ : Africa 22857	13.1	230.2a	17.8a	30.7b	0.58	42.7c	67.2b	0.64
F ₁								
P ₁ × P ₂	6.8	145.2b	14.4b	34.2b	0.49	49.1bc	68.8b	0.71
P ₂ × P ₁	7.5	129.4b	15.5b	31.9b	0.63	51.6b	66.8b	0.77
F ₂								
CK59-14	3.0	135.3d	22.2ab	73.2a	0.30	62.9bc	106.8b	0.59
CK59-17	4.5	178.0b	23.6ab	53.0b	0.45	85.4a	153.8a	0.56
CK59-36	5.5	158.3c	25.7a	79.7a	0.32	57.0c	168.2a	0.39
CK59-70	8.7	112.9e	18.5bc	46.5bc	0.40	68.2b	121.6b	0.56
CK59-11	9.0	178.9b	17.8c	26.4b	0.67	57.0c	78.2c	0.73
CK59-62	9.3	183.2b	18.1bc	30.7cd	0.59	53.4c	68.6c	0.78
CK59-1	12.3	228.0a	23.8a	28.4d	0.84	40.2b	56.6c	0.71
Back cross								
LK49-14 (F ₁ × P ₁)	2.5	76.4c	23.0a	67.3a	0.34	61.0a	110.5a	0.55
LK49-6 (F ₁ × P ₁)	3.3	44.5d	15.8c	67.3a	0.24	68.8a	118.1a	0.58
LK49-4 (F ₁ × P ₁)	10.3	190.3b	14.4c	22.2b	0.65	38.9c	61.7cd	0.63
LK49-7 (F ₁ × P ₁)	10.5	196.2b	17.0bc	27.8b	0.61	51.1b	72.2bc	0.71
LK60-20 (F ₁ × P ₂)	10.0	239.7a	20.7ab	33.8b	0.61	45.7bc	58.2d	0.79
Relationships between rind hardness and cell size		0.807**	- 0.191	- 0.813**	0.841**	- 0.731*	- 0.699*	0.527

^{z~u} See Table 1. Fig.2. Rind tissue in parents and its F₁.

(A) : 'Beni Kodama', (B) : F₁, (C) : 'Africa 22857'. The tissues are: epidermis (e), chlorenchyma cell (c), sclerenchyma layer (s), parenchyma cell (p). Bar=200 μ m.

rind tissue in progeny lines.

Cell size in the parenchyma cell						No. of schlerenchyma cell layer	Thickness ^v of cell wall (μm)
1000- 1500 μm			3000- 4000 μm				
Short (μm)	Long (μm)	S/L	Short (μm)	Long (μm)	S/L		
87.6a	171.8a	0.51	211.9a	297.6a	0.71	1- 2	1.2
85.0ab	119.7b	0.71	191.1b	247.6b	0.77	4- 6	1.2
70.1b	121.3b	0.58	201.2b	271.3b	0.74	2- 3	1.2
81.6ab	116.2b	0.70	162.9c	228.2b	0.71	2- 3	1.1
83.4ab	134.0b	0.62	186.6cd	247.5cd	0.75	0	1.2
94.9a	200.0a	0.47	184.6cd	242.9d	0.76	1- 2	1.3
72.9b	235.5a	0.31	231.3a	333.3a	0.69	2	1.3
71.8b	133.7b	0.54	201.0bc	282.9bc	0.71	3- 4	1.1
90.9a	114.4b	0.80	196.7c	274.6cd	0.72	3	1.1
76.5b	100.1b	0.76	208.9ab	296.4ab	0.71	3- 4	1.1
72.0b	125.7b	0.57	170.8d	237.9d	0.62	2- 4	1.2
71.9b	133.5b	0.54	132.0c	166.0c	0.80	0	1.2
72.1b	165.9a	0.44	195.7a	282.9a	0.69	0	1.2
66.8b	101.2c	0.66	142.6c	185.7c	0.77	2- 4	1.3
78.0b	110.2bc	0.71	211.4a	289.3a	0.73	4- 5	1.4
93.1a	112.7bc	0.83	166.9b	227.1b	0.74	4- 5	1.3
- 0.012	- 0.562	0.589	- 0.003	0.063	- 0.241	-	0.037

られ、果皮の硬さと関係のある重要な組織と考えられた。しかし、果皮の柔らかい‘田端’および‘早生日章’でも4~5層の厚壁細胞層が観察された。このことは、果皮の硬さが厚壁細胞層のみによって決定しているのではなく、緑色組織や柔組織とも関係して決められていることを示しているものと考えられた。

6) 細胞壁の厚さ

供試した品種の柔細胞の細胞壁の厚さは1.1~1.5 μm の範囲で、果皮の硬さとの関連性は低かったため($r=0.256$)、細胞壁の厚さが果皮の硬さに及ぼす影響は小さいと考えられた。しかし、果皮の硬い品種では組織が濃く染色されることから、細胞壁へのリグニンやスベリンの沈着割合が多いのではないかと考えられた。

以上の結果から、果皮の硬い品種では、表皮下2000 μm までの細胞は小さくて丸味があり、単位面積当たり細胞数が多かった。一方、果皮の柔らかい品種では細胞は大きくて横に長い楕円形をし、また細胞間隙がみられるなど、単位面積当たり細胞数が少なかった。このように果皮の硬さは表皮下2000 μm までの細胞の大きさ、形と、細胞の密度が深く関係していると考えられた。また厚壁細胞の存在およびその層数も果皮の硬さに大きな影響を

及ぼしていると推察された。表皮下2000~4000 μm では大小さまざまな細胞が存在し、果皮の硬さと細胞の大きさとの関係は低く、また細胞壁の厚さが果皮の硬さに及ぼす影響も小さいと考えられた。

実験 2. 果皮の硬さの遺伝と交雑後代における果皮組織・細胞の構造

1) 果皮の硬さの遺伝

交雑親に用いた‘紅こだま’の果皮硬度は3~6 kg、平均4.8 kg、‘Africa 22857’の果皮硬度は11~16 kg、平均13.3 kgであった(第2表)。「紅こだま」と‘Africa 22857’の F_1 の果皮硬度は4~9 kgの間にあり、平均6.6 kgで、両親の平均値よりも低かった。 F_2 の果皮硬度の平均値は6.9 kgで、 F_1 とほぼ同じであったが、変異幅は約2~13 kgと大きかった。 F_1 に‘Africa 22857’を戻し交雑した個体では果皮硬度に5~13 kgの変異がみられ、平均値は8.6 kgで、 F_1 に比べると高く、 F_1 と‘Africa 22857’のほぼ中間に位置した。一方、 F_1 に‘紅こだま’を戻し交雑した個体では、果皮硬度は低い方に分布し、平均値は5.0で、 F_1 に比べて低かった。以上の結果から、果皮硬度は柔らかい側に部分優性遺伝すると考えられた。

2) 交雑親の果皮の硬さと組織・細胞の構造

果皮の柔らかい‘紅こだま’の緑色組織層の厚さは $109.5\ \mu\text{m}$ で、果皮の硬い‘Africa 22857’の $230.2\ \mu\text{m}$ のおよそ半分程度で薄かった(第3表). また‘紅こだま’の緑色組織の細胞は‘Africa 22857’に比べて大きく、形は短径/長径比が 0.28 と細長かった.

‘紅こだま’の表皮下 $500\sim 4000\ \mu\text{m}$ の柔細胞の大きさは、短径 $71.7\sim 211.9\ \mu\text{m}$ 、長径 $130.0\sim 297.6\ \mu\text{m}$ であった. 一方‘Africa 22857’は短径 $42.7\sim 191.1\ \mu\text{m}$ 、長径 $67.2\sim 247.6\ \mu\text{m}$ と、‘紅こだま’に比べ小さくて丸味のある形をしていた. 厚壁細胞は‘紅こだま’で $1\sim 2$ 層(第2

図A), ‘Africa 22857’では $4\sim 6$ 層が観察された(第2図C).

3) F_1 における果皮の硬さと組織・細胞の構造

正逆交雑した F_1 の緑色細胞層の厚さは $129.4\sim 145.2\ \mu\text{m}$ と、両親の中間よりやや薄かった. また、緑色組織の細胞および表皮下 $500\sim 4000\ \mu\text{m}$ の細胞は、‘Africa 22857’と大きさと形において類似していたが、厚壁細胞は $2\sim 3$ 層と両親の中間よりやや薄かった(第2図B). このことから、‘Africa 22857’がもつ緑色組織および柔組織の細胞の大きさと形は F_1 において優性に発現するが、

Fig.3. Rind tissue in F_2 derived from cross between ‘Beni Kodama’ and ‘Africa 22857’.

(A) : ‘CK59-14’, (B) : ‘CK59-36’, (C) : ‘CK59-70’, (D) : ‘CK59-1’. The tissues are: epidermis(e), clorenchyma cell (e), sclerenchyma layer (s), parenchyma (p). Bar = $200\ \mu\text{m}$. Arrows indicate distortion of the

緑色細胞層および厚壁細胞層の厚さはやや劣性に発現すると考えられた。F₁は‘Africa 22857’に近い細胞構造をもつことによって果皮の硬さは高められたが、緑色細胞層や厚壁細胞層の厚さについては‘Africa 22857’よりも薄いため、‘Africa 22857’並みの果皮の硬さに至らなかったものと考えられた。

4) F₂ 個体の果皮の硬さと組織・細胞の構造

F₂の中で、果皮の柔らかい‘CK59-14’、‘CK59-17’および‘CK59-36’の緑色細胞層の厚さは135.3~178.0 μm 、果皮の硬い‘CK59-11’、‘CK59-62’および‘CK59-1’は178.9~228.0 μm と、果皮の硬い個体は柔らかい個体に比べて緑色細胞層が厚かった。また、緑色組織の細胞および表皮下500~1500 μm の細胞については、果皮の硬い個体が果皮の柔らかい個体よりも小さく、細胞密度が高い傾向がみられた。表皮下3000~4000 μm では細胞の大きさと果皮の硬さとの間には一定の関係が認められなかった。

厚壁細胞層は果皮の柔らかい個体では観察されないか、あるいは薄く(第3図A, B)、一方果皮の硬い個体では厚かった(第3図C, D)。F₂の細胞壁の厚さは1.1~1.3 μm で、果皮の硬さとの関係は認められなかった。

F₂個体の中には、‘CK59-70’のように果皮が硬くても‘紅こだま’程度に緑色組織が薄く、柔細胞が大きい個体も認められた。また、この個体は緑色組織の細胞が小さくて丸味があり、厚壁細胞層が3~4層あることから、これらの組織・細胞構造が果皮の硬さを高めていると推察された。

果皮の硬い個体では細胞壁に歪みがなく、一方果皮の柔らかい個体では歪みが認められた(第3図A, B)。また、果皮の硬い‘CK59-1’は、ヘマトキシリンによって組織が濃く染色された(第3図D)。

以上のようにF₂世代でも、果皮の硬い個体は緑色組織層と厚壁細胞層が厚く、細胞は小さくて丸味のある構造をしていた。とくに、果皮硬度が12.3 kgと硬い‘CK59-1’では‘Africa 22857’とほぼ同様な果皮組織・細胞構造が認められたことから、果皮の硬いスイカを育種することは比較的容易であると考えられた。

5) BC₁ 世代における果皮の硬さと組織・細胞の構造

F₁に‘紅こだま’を戻し交雑して得られた果皮の柔らかい‘LK49-14’と‘LK49-6’の緑色細胞層の厚さは‘紅こだま’よりも薄く、厚壁細胞層は観察されなかった。緑色細胞層の細胞および柔細胞(表皮下500~1500 μm)の大きさと形は‘紅こだま’に近かった。この両個体が‘紅こだま’よりも果皮が柔らかかったのは、緑色細胞層が‘紅こだま’よりも薄く、厚壁細胞層がないためと考えられた。一方、F₁に‘Africa 22857’を戻し交雑して得られた果皮の硬い‘LK49-4’と‘LK49-7’および‘LK60-20’の緑色細胞層および厚壁細胞層の厚さと表皮下1500 μm までの

柔細胞の大きさと形および細胞密度は‘Africa 22857’とほぼ同じであった。しかし、表皮下3000~4000 μm の柔細胞の大きさと果皮の硬さとの間には一定の関係がみられなかった。

細胞壁の厚さは果皮の柔らかい個体で1.2 μm 、硬い個体で1.3~1.4 μm と、果皮の硬い個体の細胞壁が僅かに厚かった。

以上のように、BC₁世代でも果皮の硬い個体の果皮組織・細胞構造が‘Africa 22857’に似ていたことは、‘Africa 22857’がもつ果皮組織・細胞特性は戻し交雑によって遺伝する利用可能な特性であると考えられた。

実験1では緑色組織の厚さと果皮の硬さとの間に高い相関がみられなかったが、実験2では大きく関係していることが示された。このことは、緑色組織の厚さは果皮の硬さを決定する主要因ではないものの果皮の硬さに影響を及ぼす要因であると考えられた。

厚壁細胞は果皮の硬い品種で厚く、果皮の硬さを決める要因であることを倉田(1971)が指摘したとおり、本試験でも果皮の硬い品種、F₂、BC₁個体は、いずれも厚壁細胞が厚く層状になっていた。また、F₂において果皮の柔らかい‘CK59-14’と果皮の硬い‘CK59-70’の細胞の大きさは、緑色組織を除きほぼ同じであったが、‘CK59-14’には厚壁細胞がみられず、‘CK59-70’では3~4層の厚壁細胞が観察された。このことは、厚壁細胞は植物体の強度を保つための細胞といわれるとおり(Mohsenin, Nuri. N, 1982)、厚壁細胞の存在が果皮の強度を高めていることを示すものと思われた。しかし、厚壁細胞層が厚くても果皮が柔らかい品種もあり、厚壁細胞以外の組織・細胞とも関連しながら果皮の硬さを決定しているものと考えられた。

Kenny・Porter(1941)は、スイカ果皮の柔細胞の細胞壁の厚さが果皮の硬さと関係していることを報告しているが、本試験の結果ではほとんど関係が認められなかった。しかし、果皮の柔らかい品種、F₂、BC₁個体において柔細胞の細胞壁に歪みが観察され、細胞壁の強度が果皮の硬さに関与している可能性が示唆された。また、果皮の硬い品種、F₂、BC₁個体ではヘマトキシリンによって組織が濃く染色されることから、リグニンやスベリンなどの物質が細胞壁に多く沈着して細胞壁を強固にしている可能性が考えられた。細胞壁は主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンによって構成され、作物によってその構成比がかなり異なっていることから(村尾ら, 1987)、これら物質を調査することによって、細胞壁の歪みと果皮の硬さとの関係が明らかになると思われる。また、果皮の柔らかい品種、F₂、BC₁個体では果皮の硬い品種、F₂、BC₁個体に比べて細胞間隙が大きく、細胞間の結合が疎の状態であったことから、細胞間の結合に関与しているペクチン質などについても果皮の硬さとの関係を調べる必要がある。

以上のことから、スイカの果皮の硬さは表皮から約2,000 μm までの細胞の大きさと形および密度、緑色細胞層と厚壁細胞層の厚さなどが相互に影響して決定されるものと考えられた。また、これらの形質はそれぞれ遺伝的に支配されていると考えられるが、栽培環境や果実の成熟度などによっても変異すると考えられ、これらの点については今後検討する必要がある。

摘 要

耐裂果性スイカの果皮特性を明らかにすることを目的として、果皮の硬い品種と柔らかい品種の果皮の組織・細胞構造を調査した。また、果皮の柔らかい栽培品種‘紅こだま’、果皮の硬さが中程度の品種‘嘉宝’、アフリカ西部から導入した野生種で果皮の硬い系統‘Africa 22857’など、およびその交雑後代を材料として果皮の硬さの遺伝と組織・細胞構造との関係を調べた。

1. 果皮の硬い品種, F_2 , BC_1 個体は、果皮の柔らかい品種, F_2 , BC_1 個体に比べて緑色組織が厚い傾向があった。また、表皮から約2000 μm までの細胞は小さくて丸味があり、単位面積当たりの細胞数が多いことが明らかとなった。緑色組織の内側に存在する厚壁細胞は果皮の硬い品種, F_2 , BC_1 個体では層状に厚く存在し、一方果皮の柔らかい品種, F_2 , BC_1 個体では観察されないかまたは層数が少なかった。

2. 細胞壁の厚さと果皮の硬さとの関係は認められなかった。

3. ‘紅こだま’と‘Africa 22857’を交雑親とし、この F_1 , F_2 および BC_1 の果皮硬度を調査したところ、果皮の硬さは柔らかい側に部分優性遺伝した。

4. 果皮の組織・細胞構造は遺伝的特性であり、果皮の硬い‘Africa 22857’の組織・細胞構造が F_2 , BC_1 個体からも観察された。

謝 辞 本研究を行うに当たり、御助言を戴いた千葉大学園芸学部西野栄正助教授に心からお礼申し上げる。

引用文献

- Andrus, C. F. 1949. Factors influencing breakage resistance in watermelons. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 53: 319-322.
- Kenny, I. J. and D. R. Porter. 1941. Relative rind toughness among watermelon varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 38: 537-540.
- 倉田久男. 1971. スイカ栽培新書. p.35-37. 養賢堂. 東京.
- Mohsenin, Nuri. N. 1982. 食品の物性(林 弘道訳). p.14-22. 光琳. 東京.
- 村尾沢夫・荒井基夫・坂本禮一郎. 1987. セルラーゼ. p.1-3. 講談社. 東京.
- Roth, I. 1977. Fruit of Agniosperms. p.471-477. Gebruder Borntraeger. Berlin.
- Sugiyama, K. and T. Kanno. 1994. Varietal differences of crack resistance and its testing methods in watermelon. XXIV International Hortic. Congress, Kyoto. Abstracts: 159.