リンゴ果実の着色におよぼす白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響

渡辺慶一¹⁾・G. Stephen LAWES²⁾・David J. WOOLLEY²⁾

¹⁾ 日本大学短期大学部 〒252-8510 藤沢市亀井野 1866

²⁾ Institute of Natural Resources, College of
Sciences, Massey University, Private Bag 11222,
Palmerston North, New Zealand

Effects of White Light+UV-B and α -Tocopherol on Skin Colouring in Apples

Keiichi WATANABE¹⁾, G. Stephen LAWES²⁾ and David J. WOOLLEY²⁾

¹⁾ Junior College, Nihon University, 1866 Kameino,
Fujisawa, Kanagawa 252-8510, Japan

²⁾ Institute of Natural Resources, College of
Sciences, Massey University, Private Bag 11222,
Palmerston North, New Zealand

Abstract

The effects of white light+UV-B and α -tocopherol on skin colouring in apple cultivars were investigated. Apple cultivars used were 'Royal Gala' and 'Braeburn' growing in orchard of Massey University, New Zealand.

The colouring of apple fruit was promoted by UV-B. In whole fruit treatment, α -tocopherol application affected the apple colouring. However, in skin disk treatment, the effect of α -tocopherol was negligible.

Keywords : apple, white light+UV-B, α -tocopherol, colouring

緒 言

リンゴ果実の着色は果実生産における重要な要素の一つである。リンゴ果実の赤色果皮の主要色素はアントシアニンの cyanidin-3-galactoside であることが知られている^{1,2)}。先に、筆者らはリンゴ果実の着色細胞の分布並びにクロロフィル、カロテノイドおよびアントシアニン色素について高速液体クロマトグラフィーを用いて調査した³⁾。リンゴ果実の着色について、Arakawa ら⁴⁻⁵⁾は、アントシアニン生成に対する白色光+UV 312

の効果が白色光に比べて著しく、果実の着色に紫外光の役割が大きいことを報告している。最近、Schmiz and Noga⁶⁾は、リンゴに対する環境ストレスの軽減を目的にパラコート処理したリンゴに α -トコフェロールを散布した結果、抗酸化作用が高まりリンゴ果実の着色に効果があることを報告している。

色調の表示には、種々の表色系があるが、現在 L, a, b 表色系が広く用いられている。L, a, b 表色系では、明度を L、色相と彩度を示す色度を a, b で表している。Lancaster ら⁷⁾は L, C, h 表色系を用いて果実、野菜の色調と色素の関係について報告している。すなわち、L は明度、C は彩度を表し、C の値が大きいとあざやかさが増し、小さいとくすんだ色になる。彩度 C は C=

1998 年 12 月 14 日受付

1999 年 4 月 10 日受理

$\sqrt{a^2+b^2}$ で求められる。h は色相角度を表し、a 赤方向の軸を 0 として、ここから反時計の色相に対して移動した角度で色の位置を示し、90 であれば黄色方向、180 であれば緑方向となり、0 に近い程赤色度が増す。色相角度 h は $h = \tan^{-1}(b/a)$ で求められる。この色相角度 h とアントシアニン含量には相関関係があるとしている。筆者らはこれら L, C, h 表色系を用い、リンゴの施設栽培や不良果実の着色促進を目的として、リンゴ果実の着色におよぼす白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響を中心にいくつかの実験を試みたのでこれらの結果を報告する。

材料および方法

ニュージーランド、マッセイ大学果樹園で栽培されているリンゴ (*Malus pumila* Mill. Var. *domestica* Schneider) 品種 'Royal Gala' および 'Braeburn' を収穫し、実験に用いた。25°C の恒温室で白色光 ($11 \mu\text{m}^{-2}/\text{sec}^{-1}$, 5.6 Wm^{-2}) および 白色光+紫外光 (UV-B, $1 \mu\text{m}^{-2}/\text{sec}^{-1}$, 0.67 Wm^{-2}) の混合光を果実、果皮片に 96 時間照射した。照射前と照射後に色彩色差計 (Minolta, CR-200) で果皮の色調を測定し、L, C, h 値を求めた⁷⁾。果皮片処理では、ろ紙を敷いた 9 cm プラスチックシャーレに径 14 mm, 厚さ約 1.5 mm の果皮片を置床し、ラップで覆った。 α -トコフェロールは vegetable oil に溶解した 25% 液 (w/v) を蒸留水で希釈して使用した。

1. 収穫後の果実の着色および着色細胞の分布に

およぼす白色光+UV-B の影響

'Braeburn' を用い、白色光+UV-B を照射した後、ミクロトームで果皮切片 (20~50 μm) を作製し、蒸留水でマウント後、光学顕微鏡 ($\times 400$) で下皮組織の着色細胞の分布を調査した。

2. 収穫後の果実の着色におよぼす白色光+UV-B

および α -トコフェロールの影響

'Royal Gala' を用い、 α -トコフェロールの濃度を無処理、0.1, 0.3 および 1.0% 区を設けた。1 区 15 個の果実を 3 反復で行い、1 回散布した後、2 時間後さらに散布した。

3. 果皮片の着色におよぼす低温処理、白色光、白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響

(1) 低温処理の影響

'Royal Gala' を用い、果実を暗黒下 2°C 48 時間および 25°C 48 時間処理した後果皮片をつくり、ショ糖無添加、0.3 M 添加したシャーレに置床後白色光を照射した。

(2) 着色の異なる果皮片の着色におよぼす白色光、白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響

'Royal Gala' 果皮色が緑色と黄色の果皮片を用いて、0.3% 区と無処理区を設け、2 時間浸漬し水洗をしないでショ糖 0.3 M 添加したシャーレに置床し白色光および白色光+紫外光を照射した。

(3) α -トコフェロールの濃度と処理時間の影響

'Royal Gala' を用い、 α -トコフェロール濃度 0, 0.1, 0.3, 1.0% と処理時間を 0, 2, 4, 7 時間区を設け、果皮片を浸漬した後蒸留水で 1 回水洗し、ショ糖 0.3 M 添加のシャーレに置床し白色光+紫外光を照射した。

(4) 果実処理後の果皮片の着色におよぼす影響

α -トコフェロールの濃度を 0, 0.1, 0.3, 0.5% 区設け、'Braeburn' 果実に散布後 48 時間放置してから果皮片をつくり、ショ糖 0.3 M 添加のシャーレに置床し白色光+紫外光を照射した。

4. α -トコフェロールの樹上散布時期の影響

'Braeburn' 4 樹を用い、0.4% α -トコフェロール液を 2 月 9, 16, 25 日散布区、3 月 2, 9, 16 日散布区および 2 月、3 月の 6 回散布区と無処理の 4 区を設け、1 区 30 個処理した。3 月 30 日に収穫し、果実の着色割合を調査した。また、樹別に果皮片をつくり、ショ糖 0.3 M 添加のシャーレに置床し白色光+紫外光を照射した。

実験結果

1. 果実の着色および着色細胞の分布におよぼす白色光+UV-B の影響

'Braeburn' 果実の着色および着色細胞の分布におよぼす白色光+UV-B の影響は Table 1 に示すとおりである。

白色光+UV-B を照射した後、明度 L の値が小さくなり、明るさが減少した。あざやかさを示す彩度 C の

Table 1 Effects of white+UV-B on red colour distribution and colouring in 'Braeburn' apples

		Before	After
Colour	L	50.62 $\pm$ 1.4 ²	35.61 $\pm$ 1.5
	C	31.32 $\pm$ 1.2	27.99 $\pm$ 1.4
	h	69.1 $\pm$ 1.5	31.1 $\pm$ 1.5
Coloured cells in hypodermis (%)	1st layer	9.9 $\pm$ 2.0	22.0 $\pm$ 2.1
	2nd	4.8 $\pm$ 1.0	11.3 $\pm$ 1.5
	3rd	0.9 $\pm$ 0.5	3.8 $\pm$ 1.2
	4th	0	1.6 $\pm$ 0.5

²Means $\pm$ S. E. of 15 fruits.

値はやや減少した。色相角度のh値は小さくなり、赤色度が増し着色が進んだ。また、下皮組織の着色細胞も白色光+UV-Bの照射によって1層から4層の分布割合が増加した。

2. 果実の着色におよぼす白色光+UV-Bおよび

α -トコフェロールの影響

‘Royal Gala’果実の着色におよぼす白色光+UV-Bおよび α -トコフェロールの影響はTable 2に示すとおりである。

α -トコフェロール0.1%区で色相角度hの値が小さく、赤色度が増し、最も着色が進んだ。ついで0.3%区、無処理区の順であった。明度L値は0.1%区、0.3%区で減少した。彩度Cは処理間に大きな変化はみられな

かった。1.0%区では逆に α -トコフェロール散布の障害がみられた。また、 α -トコフェロール無散布区では果皮面にさび状の障害がみられたが、散布区では果実への紫外線による障害が少ない傾向がみられた。

3. 果皮片の着色におよぼす低温処理、白色光、

白色光+UV-Bおよび α -トコフェロールの影響

(1) 低温処理の影響

‘Royal Gala’果皮片の着色におよぼす低温処理とショ糖添加の影響はTable 3に示すとおりである。

2°C 48時間の低温処理およびショ糖0.3M添加区でやや色相角度hが小さく、着色が良かったが顕著な差はみられなかった。明度L、彩度Cでは処理間に大きな

Table 2 Effects of white+UV-B light and α -tocopherol on colouring in ‘Royal Gala’ apple fruit

α -Tocopherol (%)	Before			After					UV damage ^z
	L	C	h(a)	L	C	h(b)	(a) - (b)		
0	63.58±1.3 ^y	34.16±1.2	82.7±1.3	44.09±1.5	35.21±1.3	41.6±1.4	41.1±1.4	+	+
0.1	60.63±1.4	33.77±1.3	75.3±1.4	38.05±1.6	33.33±1.5	31.0±1.5	44.3±1.5	+	+
0.3	61.63±1.3	33.92±1.2	72.2±1.2	38.19±1.3	34.59±1.4	30.5±1.2	41.7±1.2	+	+
1.0	58.89±1.2	31.86±1.4	72.5±1.2	43.55±1.2	34.40±1.3	45.2±1.3	27.3±1.3		+

^z+, Slight; ++, Marked.

^yMeans±S. E. of 45 fruits.

Table 3 Effects of pre-cooling and sucrose on colouring in ‘Royal Gala’ apple skin disk

Treatment			Before			After			
Cooled	Light	Sucrose	L	C	h(a)	L	C	h(b)	(a) - (b)
48h at 2°C	White	0.3M	52.90±1.7 ^z	31.44±1.2	71.4±1.9	50.31±1.6	34.31±1.6	61.6±1.8	9.8±1.9
	White	0	53.67±1.5	32.20±1.4	73.9±1.6	49.93±1.9	32.67±1.9	65.3±1.6	8.6±1.6
	Dark	0	55.27±1.4	32.10±1.3	76.4±1.7	53.02±2.0	31.36±2.1	72.2±1.3	4.2±1.5
48h at 25°C	White	0.3M	54.62±1.8	33.33±1.4	76.2±1.2	52.82±1.5	35.00±1.8	68.4±1.9	7.8±1.6
	White	0	54.21±1.9	31.97±1.2	73.1±1.6	52.69±1.3	34.36±1.6	67.1±2.1	6.0±1.9
	Dark	0	52.60±1.4	31.31±1.6	70.6±1.5	49.52±1.8	30.32±1.9	66.6±1.7	4.0±1.7

^zMeans±S. E. of 150 skin disks.

Table 4 Effects of white, white+UV-B light and α -tocopherol on colouring in ‘Royal Gala’ apple skin disk

Light	α -Tocopherol (%) ^z	Skin colour	Before			After				UV damage ^y
			L	C	h(a)	L	C	h(b)	(a) - (b)	
White	0	Green	60.35±2.1 ^x	36.68±1.9	90.8±2.1	50.01±1.8	34.16±1.9	53.9±2.0	36.1±2.1	—
	0	Yellow	56.51±1.8	31.61±1.5	60.8±1.8	49.25±1.5	38.81±2.1	40.4±1.9	20.4±1.9	—
	0.3	Green	60.80±2.0	35.54±2.0	88.8±1.9	54.37±2.0	33.03±1.8	68.8±2.0	20.2±2.0	—
	0.3	Yellow	58.95±1.9	31.97±1.8	63.1±1.8	51.66±1.9	34.40±2.0	47.5±1.9	15.6±1.9	—
White + UV-B	0	Green	59.27±1.8	34.61±2.0	86.1±1.9	40.62±1.9	34.23±1.8	34.6±2.0	51.5±2.0	+
	0	Yellow	55.04±1.6	31.99±1.8	57.9±2.0	42.03±1.7	36.96±2.0	34.4±1.8	23.5±1.9	+
	0.3	Green	60.50±2.0	36.57±1.9	89.7±1.7	45.99±1.8	32.72±1.9	55.5±1.6	34.2±1.7	+
	0.3	Yellow	55.44±1.9	32.33±2.1	58.2±1.9	46.18±2.0	34.56±1.9	46.2±1.8	12.0±1.9	+

^zNo rinse.

^y—, None; +, Slight; ++, Marked.

^xMeans±S. E. of 120 skin disks.

変化はみられなかった。

(2) 着色の異なる果皮片の着色におよぼす白色光、白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響

白色光、白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響は Table 4 に示すとおりである。

白色光区と白色光+UV-B 区を比較すると白色+UV-B 区で L 値は減少したが、C 値は顕著な差異はみられなかった。色相角度 h は値が小さくなり、白色光+UV-B 区は着色が良好であった。果皮のカラーレベルでは緑色で着色がよく、 α -トコフェロール無添加

区で着色がやや良好であった。

(3) α -トコフェロールの濃度と処理時間の影響

α -トコフェロールの濃度と処理時間の影響は Table 5 に示すとおりである。

処理濃度では 0.1 および 0.3% 区の明度 L 値が減少する傾向がみられた。彩度 C は処理間に顕著な変化はみられなかったが色相角度 h は 0.1% および 0.3% 区で赤色度が増し着色が良好であった。1.0% 区では着色が阻害された。処理時間では顕著な差異はみられなかった。

Table 5 Effects of concentration and treatment period of α -tocopherol on colouring in 'Royal Gala' apple skin disk

Light	α -Tocopherol (%) ^z	Before			After					UV damage ^y	
		L	C	h(a)	L	C	h(b)	(a) – (b)			
0	0	58.01±2.1 ^x	33.32±1.8	75.8±2.0	50.16±2.0	33.26±2.1	55.1±2.1	20.7±2.1	+	+	
2	0.1	59.49±1.8	33.54±1.9	78.8±2.1	47.63±1.9	34.87±2.0	48.0±2.0	30.8±2.1	+	+	
2	0.3	57.10±1.5	32.13±2.0	75.1±1.9	48.12±1.8	33.74±1.9	50.9±1.9	24.2±1.9	+	+	
2	1.0	58.49±1.5	32.82±1.9	77.6±1.8	53.01±1.6	34.25±1.9	70.4±1.9	7.2±1.9	+		
4	0.1	59.32±1.9	33.21±1.9	80.6±2.1	48.20±1.9	33.81±1.8	52.0±2.0	28.6±2.1	+	+	
4	0.3	59.84±1.6	33.04±2.1	81.6±1.9	46.90±1.5	34.24±1.6	50.4±1.9	31.2±1.9	+		
4	1.0	57.71±1.9	33.15±1.7	78.2±1.7	52.76±1.7	33.59±1.9	70.9±1.8	7.3±1.8	+		
7	0.1	60.72±2.1	32.13±2.1	79.2±2.0	47.70±1.8	34.22±1.9	52.7±1.9	26.5±2.0	+	+	
7	0.3	62.89±1.8	33.05±1.9	86.0±1.9	48.31±1.9	34.69±1.8	49.7±2.0	36.3±2.0	+		
7	1.0	55.74±2.0	31.53±2.0	73.6±1.7	49.40±1.6	31.91±1.6	67.9±1.8	5.7±1.8	+		

^z α -Tocopherol treated skin disk, then rinsed one time at DW.

^y+, Slight; ++, Marked.

^xMeans±S. E. of 120 skin disks.

Table 6 Effects of white+UV-B light and α -tocopherol on colouring in 'Braeburn' apple skin disk

α -Tocoph- erol ^z (%)	Before			After				
	L	C	h(a)	L	C	h(b)	(a) – (b)	UV damage ^y
0	49.28±2.1 ^x	28.24±1.9	76.3±1.8	34.92±2.0	24.52±1.8	35.0±1.9	41.3±1.9	+ +
0.1	49.45±1.9	28.80±1.8	75.7±1.6	33.89±1.8	25.01±1.9	32.3±1.8	43.4±1.7	+ +
0.3	48.58±1.8	28.47±1.8	72.9±1.9	34.28±1.9	24.42±1.6	35.7±2.0	37.2±2.0	+ +
0.5	48.69±2.0	29.00±2.0	73.6±1.8	34.39±1.8	24.00±1.7	36.4±1.9	37.2±1.9	+

^z α -Tocopherol treated whole fruit, then skin disks cut and irradiated.

^y+, Slight; ++, Marked.

^xMeans±S. E. of 120 skin disks.

Table 7 Effects of time of α -tocopherol application on colouring area in 'Braeburn' apple fruit

Treatment ^z	Colouring (%)
Control	60.3±2.2 ^y
3 times in Feb.	59.2±7.3
3 times in Mar.	65.4±10.2
6 times in Feb. and Mar.	68.3±7.9

^z α -Tocopherol 0.4%.

^yMeans±S. E. of 120 fruits.

(4) 果実処理後の果皮片の着色におよぼす影響

α -トコフェロールを果実に処理した後の果皮片の着色におよぼす影響は Table 6 に示すとおりである。

明度 L、彩度 C に大きな差異はみられなかった。色相角度 h は 0.1% 区でやや減少し、赤色度がやや進んだが処理間に顕著な差はみられなかった。

4. α -トコフェロールの散布時期の影響

圃場試験における α -トコフェロールの散布時期の影響は Table 7 に示すとおりである。

果実の着色割合は 2 月、3 月の 6 回散布区、3 月 2、9、

Table 8 Effects of white+UV light on colouring by using time of α -tocopherol application in 'Braeburn' apple skin disk

Time of application	Before			After			
	L	C	h(a)	L	C	h(b)	(a)-(b)
Control	50.94 $\pm$ 2.0 ²	30.40 $\pm$ 2.1	71.5 $\pm$ 2.0	35.62 $\pm$ 2.1	28.62 $\pm$ 2.0	31.6 $\pm$ 1.9	39.9 $\pm$ 2.0
3 times in Feb.	50.32 $\pm$ 1.9	30.28 $\pm$ 1.9	73.1 $\pm$ 1.9	35.07 $\pm$ 1.9	26.90 $\pm$ 1.8	31.7 $\pm$ 1.8	41.4 $\pm$ 1.9
3 times in Mar.	50.31 $\pm$ 1.9	29.68 $\pm$ 1.8	72.2 $\pm$ 1.9	34.32 $\pm$ 2.0	26.72 $\pm$ 1.9	28.2 $\pm$ 1.9	44.0 $\pm$ 1.9
6 times in Feb. and Mar.	50.54 $\pm$ 1.8	29.73 $\pm$ 1.9	73.2 $\pm$ 1.8	35.11 $\pm$ 1.8	25.97 $\pm$ 2.0	29.9 $\pm$ 1.8	43.3 $\pm$ 1.8

²Means $\pm$ S. E. of 120 skin disks.

16 日散布区でやや高い傾向がみられた。2 月 9, 16, 25 日散布区および無処理区ではやや低い傾向がみられた。

また、これらの果実から果皮片をつくり、白色光+UV-B を照射した結果を Table 8 に示した。 α -トコフェロールの散布時期が 2 月, 3 月の 6 回散布区, 3 月 2, 9, 16 日散布区で果皮片の着色がやや良好であった。

考 察

リンゴ果皮の赤色色素はアントシアニンの cyanidin-3-galactoside である。赤色の濃い品種では cyanidin-3-galactoside の量も多い^{3,7,8)}。このアントシアニン色素は細胞液胞内に形成され、着色細胞とよばれている。果皮組織の下皮細胞層の第 1~第 3 層における着色細胞の分布割合が赤色の濃淡に関連している^{9,10)}。色調の表示には最近、Lancaster ら⁷⁾は L, C, h 表色系を用い、色相角度 h とアントシアニン含量との間に相関関係があるとしている。本実験では明度 L や彩度 C においては顕著な変化はみられなかったが、色相角度 h が小さくなると赤色度が増し、着色が進むことが認められた。赤い色調を示すリンゴ果実の着色の指標として簡便で有効であると考えられる。これまで、リンゴ果実の着色に関する研究が多く行われ、時期別アントシアニン生成と気温との関係では、'スターキング・デリシャス' の場合、未熟期では低温ほど増加したが、成熟期では適温が 15°C に遷移する傾向にあり、'ふじ' ではいずれの時期でも 10°C でアントシアニン量が増加し、品種によって着色の適温が異なることが報告されている¹¹⁾。Curry¹²⁾ はリンゴ果皮片を用いた実験で、2°C, 48 時間の低温処理でアントシアニン量が増加することを報告している。筆者らも、同様に試みたところ着色がやや進んだが、顕著な効果は認められなかった。品種によってその効果は異なるものと思われる。

光条件とアントシアニン生成については、白色光単独より白色光+紫外光が着色に効果のあることが報告されている^{4,5)}。本実験においても、白色光単独照射よりも

白色光+UV-B の混合光照射の方が着色に顕著な効果がみられ、下皮組織における第 1 層から第 3 層における着色細胞の分布が増加し、紫外光の役割が大きいことがうかがわれた。これらのことは収穫した着色不良果実への UV-B 処理によって着色促進に有効であると考えられる。しかし、実用化に当たっては白色+UV-B の混合光の照射時間や量などについてさらに検討しなければならない。一方、 α -トコフェロールは顕著な抗酸化作用をもつことが知られており^{13~16)}、植物の環境ストレスに対して抵抗性を増加させる働きがある。Biacs ら¹⁷⁾ は赤色パブリカにトコフェロールを添加して貯蔵した場合、退色を軽減することができたとしている。また、パラコート処理したリンゴに α -トコフェロールを散布することにより、抗酸化作用が高まり、リンゴ果実の着色に効果のあることが報告されている⁸⁾。本実験において、2 月, 3 月に α -トコフェロールの 6 回の樹上散布は果実の着色割合を増加させた。また、収穫した果実処理でも α -トコフェロールは着色にやや効果があるように思われた。さらに、紫外線照射による果実への障害を軽減すると考えられる。これまでに、紫外線照射による障害軽減にフラボノイドやカロテノイドが効果のあることが報告されている^{18,19)}。種々の実験を進める場合、*in vitro* の実験系を確立する必要がある。本研究でもリンゴ果実の生理、生化学研究を進めるため *in vitro* 系を確立しようとして果皮片を試みた。しかし、果皮片処理では一部の実験において着色にやや効果がみられるものの、安定した効果はみられなかった。組織を切り取ったことの障害や本実験における α -トコフェロールの濃度が最適でないのかもしれない。これらのことについてさらに検討したいと考えている。

摘 要

リンゴ果実の着色におよぼす白色光+UV-B および α -トコフェロールの影響について調査した。実験にはニュージーランド、マッセイ大学果樹園で栽培されている

‘Royal Gala’および‘Braeburn’を用いた。リンゴ果実の着色には紫外光の効果が大きく、着色が促進された。また、 α -トコフェロールの影響は果実処理では着色およびUVによる障害の軽減に効果がみられた。しかし、果皮片処理では顕著な効果はみられなかった。

引用文献

- 1) Duncan, J. V. and Dustman, R. B.: The anthocyanin pigments Winesap apple, J. Am. Chem. Soc., 58: 1511-1514 (1936)
- 2) Timberlake, C. F. and Bridle, P.: The anthocyanins of apples and pears: the occurrence of acyl derivatives, J. Sci. Food Agric., 22: 509-513 (1971)
- 3) 渡辺慶一, Lawes S., and Woolley, D.: リンゴ果実の着色細胞の分布およびクロロフィル, カロテノイド, アントシアニン色素, 園学雑, 別2: 96 (1998)
- 4) Arakawa, O., Hori, Y. and Ogata, R.: Characteristics of color development and phenylalanine ammonia-lyase activity in ‘Starking Delicious’, ‘Fuji’ and ‘Mutsu’ apple fruits, J. Japan. Soc. Hort. Sci., 54(4): 424-430 (1986)
- 5) 荒川 修: リンゴ数品種の着色特性: 袋掛け及び光質の違いが成熟段階におけるアントシアニン生成の変化に及ぼす影響, 園学雑, 57(3): 373-380 (1988)
- 6) Noga, G. and Schmitz, M.: Tocopherol and its potential for improving fruit quality in apple, Acta Horticulturae, In press
- 7) Lancaster, J. E., Lister, C. E. T. Reay, P. and Triggs, C. M.: Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 122(4): 594-598 (1997)
- 8) Lancaster, J. E., Grant, J. E., Lister, C. E. and Taylor, M. C.: Skin color in apples-influence of copigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 119(1): 63-69 (1994)
- 9) 渡部俊三, 荒川 修: リンゴ果実の果皮組織における着色細胞の発現と分布, 山形大学紀要(農学), 9(2): 197-213 (1983)
- 10) Dayton, D. F. 1959. Red color distribution in apple skin. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74: 72-81.
- 11) 野呂昭司: リンゴの栽培管理と品質, 園学シンポジウム要旨, 196-212 (1994)
- 12) Curry, E. A.: Temperatures for optimum anthocyanin accumulation in apple tissue, J. Hort. Sci., 72(5): 723-729 (1977)
- 13) Fryer, M. J.: The antioxidant effects of thylakoid vitamin E(α -tocopherol), Plant Cell & Environm., 15: 381-392 (1993)
- 14) Mallet, J. F., Cerrati, C. Ucciani, E. Gamisans J. and Gruber, M.: Antioxidant activity of plant leaves in relation to their alpha-tocopherol content, Food Chem., 49: 61-65 (1994)
- 15) Scandalios, J. G.: Oxygen stress and superoxide dismutases. Plant Physiol., 101: 7-12 (1993)
- 16) Schmitz, M. and Noga, G.: α -Tocopherol reduces environmental stress and improves fruit quality, Acta Horticulturae, In press
- 17) Biacs, P. A., Czinkotai B. and Hoschke, A.: Factors affecting stability of coloured substances in paprika powders. J. Agric. Food Chem., 40: 363-367 (1992)
- 18) Middleton, E. M. and Teramura, A. H.: The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage. Plant Physiology, 103: 741-752 (1993)
- 19) Stephanou, M. and Manetas, Y.: Ultraviolet-B radiation effects on the Mediterranean ruderal *Dittrichia viscosa*, Plant Ecology, 128: 109-112 (1977)