

# 사과 및 단감 과실에서 세포막 특성의 변화와 과육 갈변 장애의 발생

## The Change of Cell Membrane Properties and Development of Flesh Browning Disorder in Apple and Persimmon Fruits : A Review\*

최성진 (대구효성가톨릭대학교 식물육종학과 교수)

### Abstract

The physiological properties of Fuji apple and Fuyu persimmon fruits suffering from flesh browning disorder were investigated. The CA-stored apple fruits showed faster electrolyte leakage, lower fatty acid content than low temperature stored and the lipid saturation index of brown-injured tissue was high. The chocolate-browned tissue in persimmon fruits showed also faster electrolyte leakage and in addition higher sterol/phospholipid ratio and lower fatty acid content in lipid extract. Therefore the function disturbance of cell membrane caused by abnormal fatty acid metabolism in anaerobic storage environment seems to be related in development of the flesh browning disorder in fruits. Acetaldehyde and ethanol as anaerobiosis products were increasingly accumulated with developing of the disorder, suggesting that those could be practically applicated as useful index substances for predicting the disorder.

### 서 론

후지 사과 과실은 저장 중에 과육의 일부 조직이 갈변한 후 증상이 진전됨에 따라 결국 갈변 부위의 조직이 붕괴되는 저장 장애(flesh browning)가 발생할 수 있다. 이러한 저장 장애를 입은 과실은 갈변 증상이 과실 내부 과육 조직에 발생되므로 외관상 정상 과실과 구별되지 않으며 과실의 풍미가 극히 저하되어 상품적 가치가 상실된다. 국내에서는 후지 과실의 CA저장 실용화를 가로막는 가장 큰 원인의 하나로 이러한 과육의 갈변 현상이 지목되고 있으며, 이 증상은 특히 저산소 및 고이산화탄소 저장 조건에서 두드러지게 발생하는 CA 저장 장애의 일종으로 알려져 있다(Lidster 등, 1990;

\* 본고는 '최, 1997. 한국원예학회지 38:250-254' 및 '최 등, 1998. 한국원예학회지 게재 신청 중'의 논문을 특별 강연을 위하여 총설한 것임.

Park과 Lee, 1992). 한편 부유 단감 과실에서는 MA 저장시 농가에서 일명 '초코렛' 현상으로 불리는 과육 갈변의 발생이 문제시 되고 있다. 일명 '초코렛' 현상에서는 사과와 달리 갈변과는 달리 갈변이 외부에 드러나며, 저장 1-2 개월후 부터 꽃자리 (blossom end) 부위의 과색이 짙어지기 시작하다가 점차 초코렛 색으로 갈변하면서 저장 기간의 경과와 더불어 원형의 갈변 부위가 급속하게 확대되는데, 갈변 부위와 정상 과육 부위의 경계가 뚜렷하게 구분되는 특징이 있으며 갈변 조직에서 과육의 연화가 수반되지는 않는다. 이러한 현상은 일반 저온 저장 조건에서는 발생하지 않으나 특히 저온과 MA를 병행한 저장 조건에서 발생이 심한 것으로 보아 사과 과실의 경우와 마찬가지로 저산소 또는 고이산화탄소에 따른 장애로 추측된다.

일반적으로 식물 조직의 갈변은 페놀화합물이 효소적 산화에 의해 퀴논류로 전환되어 갈색 색소가 형성됨으로써 나타나는 것으로 알려져 있으나(Macheix 등, 1990; Thompason, 1964), 후지 과실의 저장 중 과육의 갈변과 관련하여 페놀 화합물의 효소적 산화가 유발되기까지의 생리적 기작에 관해서는 구체적으로 구명되어 있지 않다. 그러나 과육 세포내에서 대부분(97%)의 페놀화합물이 액포내에 구획화 (compartmentation)되어 있는 점으로 미루어 볼 때(Yamaki, 1984), 페놀 화합물의 효소적 산화에 의한 과육 갈변의 유발에는 액포로부터의 페놀화합물의 유출에 따른 산화 효소(polyphenol oxidase)와의 물리적 접촉이 밀접하게 관련되어 있을 것으로 생각되며, 본고에서는 갈변 증상이 나타난 과실 조직의 세포막 투과성의 변화와 관련된 특성을 동일한 저장 조건에서도 갈변 증상이 아직 나타나지 않은 정상적인 과실 조직과 비교함으로써 후지 사과 및 부유 단감 과실에서 과육 조직의 갈변 유기와 관련된 생리적 요인을 밝히기 위하여 수행한 실험 결과(최, 1997. 한국원예학회지 38:250-254; 최 등, 1998. 한국원예학회지 게재 신청 중)를 1998년 춘계 한국농산물저장유통학회에서의 특별 강연을 위하여 총설하였다.

## 재 료 및 방 법

**공시 재료 :** 11월 초순 경북 경산시 소재 농가에서 관행적 방법으로 재배된 후지 사과 과실을 농가로 부터 구입하여 1-2%의 O<sub>2</sub> 농도 및 2-3%의 CO<sub>2</sub> 농도의 CA 조건과 병행한 저온 조건에서 저장하여 3개월을 경과시킨 결과, 약 50%의 과실에서 과육의 갈변증상이 발견되었으며, 이 시기에 분석을 위한 시료를 채취하였다. 즉 과실을 절단하여 과육 조직의 갈변 여부를 확인하여 갈변 과실과 정상 과실을 구분한 후, 갈변 과실은 다시 갈변 조직과 정상 조직으로 구분하여 각종 분석을 위한 시료로 이용하였다. 경남 진영 지방의 단감 저장 전문 업체에서 관행적인 저온 MA 방식으로 저장된 부유 단감 과실을 2월에 구입하여 실험실로 운반한 후 일명 '초코렛' 증상의 발생 정도에 따라 4단계의 갈변 지수(index of browning)로 과실을 분류하였다. 갈변 지수 0은 갈변과 관련된 증상이 나타나지 않은 정상 과실이며, 갈변 지수 1은 갈변 증상이 명확하게 드러나지는 않았으나 꽃자리 부위(blossom end region)의 색이 짙어서 농가에서 관행

적으로 향후 갈변 발생을 예견하는 과실이다. 갈변 지수 2와 3은 꽃자리 부위에 갈변 증상이 분명하게 나타난 과실로서 갈변 지수 2는 직경 1-3cm, 갈변 지수 3은 직경 3-5cm의 갈변 반점을 보인다. 각 단계로 분류된 과실은 꽃자리 부위와 적도면 부위 (equatorial region)의 과육 조직으로 나누어 각종 분석에 이용하였으며, 적도면 부위의 과육 조직은 갈변 지수 2와 3의 과실에서도 갈변 조직은 포함되지 않았다.

시료의 분석 : 각 시료별 조직의 전해질 용출률 측정은 시료 채취와 동시에 수행하였으며 그 밖의 분석은 채취한 시료를 액체 질소로 동결시킨 후 -20C에 보관하면서 수행하였다. 과육 조직의 전해질의 용출률의 측정(Choi, 1977); phospholipid (Dittmer와 Wells, 1960) 및 sterol의 함량(Lester, 1990), 지방산의 조성 (McKersie 등, 1978), 총 phenol 함량(Slinkard와 Singleton, 1977) 및 PPO 활성(Weschebeling와 Montgomery, 1990), 당 조성(Choi, 1997), 아세트알데히드 및 에탄올등(Choi, 1977)의 분석은 각각 기보고된 방법에 준하였다.

## 결 과 및 고 찰

### 1. 후지 사과 과실의 내부 갈변

과육 갈변 증상을 보인 후지 사과 과실의 전해질 용출률은 정상적인 과실에 비하여 높은 것으로 관찰되었는데, 정상 과실 조직에서는 조직내 총전해질의 44.6%가 1시간 내에 용출된 반면 갈변 과실의 정상 부위 및 갈변 부위의 조직은 각각 55.2%와 76.3%의 용출률을 나타내었다(표1). 한편 조직내 총전해질 함량을 대변하는 것으로 볼 수 있는 동결 해동후 침출 용액의 전기전도도는 갈변 조직에 있어서는 다른 종류의 조직에 비하여 비교적 낮았는데, 갈변 조직에 있어서는 갈변의 진행과 더불어 이미 상당량의 전해질이 소실되었음을 보인다. 조직의 전해질 용출 정도는 세포막의 선택적 투과성을 나타내는 지표로서(King과 Ludford, 1983; Murata, 1990; Sacher, 1973), 갈변 과실에서는 세포막의 정상적인 물질 구획 기능이 상당히 손상되어 있음을 보여준다.

Tab. 1. Comparison of electrolyte leakages from flesh-browned and uninjured intact Fuji fruit

	Intact Fruit	Flesh Browned Fruit	
		Intact Tissue	Browned Tissue
After 1h incubation in dw (uS/cm)	81.9	99.3	94.4
After freezing and thawing (uS/cm)	184.0	195.4	124.0
Percentage of leakage (%) <sup>z</sup>	44.6 <sup>ay</sup>	55.2 <sup>b</sup>	76.3 <sup>c</sup>

<sup>z</sup>Mean of 7 replications

<sup>y</sup>Duncan's multiple range test within raw (p=0.05)

또한 갈변 과실에서는 갈변 증상이 나타나지 않은 정상 부위의 조직이라 할지라도 정상 과실의 조직에 비하여 전해질 용출 정도가 높은 것으로 관찰되었는데, 갈변 과실은 세포막의 기능과 관련된 생리적 특성이 갈변 발생 이전에 이미 정상 과실과는 차이가 있는 것으로 추측된다.

일반적으로 식물 조직에서 나타나는 갈변 현상은 페놀 화합물이 페놀 산화효소의 작용으로 퀴논으로 산화된 후 퀴논이 비효소적으로 중합하여 갈변 물질을 생성함으로써 나타나는 것으로 알려져 있으나(Macheix 등, 1990 ; Mayer와 Harel, 1981 ; Thompson, 1964), 본 실험에서 갈변 과실과 정상 과실 간에 페놀 화합물의 함량 또는 페놀 산화효소(PPO)의 활성에서는 유의적 차이가 관찰되지 않았다 (표2).

Tab. 2. Comparison of various component contents between flesh-browned and uninjured intact Fuji fruit

Component	Intact Fruit		Flesh-Browned Fruit	
	CA-Stored	LT-Stored	Intact Tissue	Injured Tissue
	Total phenol (mg/g Fr.Wt.)			
	PPO activity(dA420/mg protein/min)			
Total phenol	1.2 <sup>a</sup>	1.5 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>
PPO	2.6 <sup>a</sup>	2.1 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	-
	Phospholipid / Sterol (umol/g Fr.Wt.)			
Phospholipid	1.11 <sup>az</sup>	1.12 <sup>a</sup>	1.09 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>
Sterol	0.04 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>
	Fatty acids (mg/100g Fr.Wt.)			
C14:0	1.6	1.5	1.5	1.5
C16:0	63.3	74.2	60.3	61.5
C18:0	13.2	9.2	11.7	9.8
C18:1	5.4	5.8	7.3	10.9
C18:2	199.2	231.6	203.4	108.4
C18:3	30.6	14.9	22.8	16.2
C20:0	5.8	5.0	4.7	4.8
C20:2	1.4	1.3	1.8	1.4
C22:1	3.6	3.6	2.8	4.1
C22:2	2.5	1.9	2.0	2.0
C24:0	1.4	1.3	1.4	1.8
Total FA	328.2	350.2	319.8	222.6
Sat. Index	16.9	17.4	16.2	27.7
	Sugars (% of total sugar)			
Sucrose	14.7 <sup>a</sup>	11.1 <sup>ab</sup>	14.4 <sup>a</sup>	7.7 <sup>b</sup>
Glucose	32.3 <sup>a</sup>	28.6 <sup>a</sup>	29.8 <sup>a</sup>	29.6 <sup>a</sup>
Fructose	49.0 <sup>a</sup>	56.4 <sup>b</sup>	50.7 <sup>a</sup>	57.3 <sup>b</sup>
Sorbitol	4.1 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>	5.1 <sup>a</sup>	5.5 <sup>a</sup>
	Ethanol (ppm)			
Ethanol	207 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	270 <sup>c</sup>	380 <sup>d</sup>

<sup>a</sup>Duncan's multiple range test within raw (p=0.05)

한편 정상적인 세포에서 액포에 축적되어 있는 페놀 화합물은(Yamaki, 1984) 세포질 또는 엽록체에 주로 분포되어 있는 페놀 산화 효소와(Butt, 1980) 공간적으로 격리되어 있다는 사실에 비추어 볼 때, 갈변 과실에서의 갈변 물질의 생성은 페놀 화합물의 함량 또는 페놀 산화 효소의 활성 증가와는 무관하게, 단지 액포막의 선택적 투과 기능이 손상된 후 점차적으로 페놀 화합물이 액포로부터 유출되어 액포 밖의 산화 효소와 물리적으로 접촉함으로써 이루어지는 것으로 생각된다.

Tab. 3. Comparison of sorbitol/total sugar ratio between flesh-browned and uninjured intact Fuji fruit<sup>z</sup>

	Intact Fruit		Flesh-Browned Fruit	
	Intact tissue	Water-Cored Tissue	Intact Tissue	Injured Tissue
Sorbitol (%)	6.46	11.88	6.89	12.95

<sup>z</sup> The fruit samples were obtained from a store house in Andong, Kyungbuk, in which most of stored Fuji fruits were suffered from flesh-browning during low temperature storage in 1994

지질 이중층으로 구성되어 있는 세포막은 sterol/phospholipid ratio가 감소하거나 지질 지방산의 포화도가 증가될 때 지질 유동성의 저하로 인한 막경화와 함께 투과성의 증대가 나타나는 것으로 알려져 있다(Thompson, 1988). 따라서 본 실험에서 sterol/phospholipid ratio 및 지질 포화도를 조사한 결과 (표2), 갈변 과실에서 인지질의 함량은 정상 과실에 비하여 다소 낮은 경향을 나타내었으나 통계적 유의차는 발견되지 않았다. 그러나 갈변 조직의 지질 포화도는 정상 조직에 비하여 매우 증가한 것으로 관찰되었는데, CA 조건에서는 지방산의 합성 및 전환 등 지방산 대사(Brakemann 등, 1993; Schmitz, 1968) 또는 불포화 지방산의 합성이(Stumpf, 1980) 억제되는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 CA 저장 과실은 총지방산 함량이 저온 저장 과실에 비하여 낮고 특히 갈변 과실에서는 저하 정도가 심한 것으로 분석되어 CA 조건에서의 지방산 대사 저해는 궁극적으로 세포막의 선택적 투과 기능 저해와 관련이 있을 것으로 추측된다.

Tab. 4. Electrolyte leakage during incubation in distilled water or ethanol

Incubation Time (hr)	Control	Ethanol	
		1%	5%
Electrolyte leakage (%)			
1	26.1	30.5	31.2
2	26.4	38.5	40.5

저산소 조건에 따른 무기 호흡의 결과로 CA 저장시 과실 조직내 에탄올의 축적이 나타났으며, 특히 갈변 과실의 갈변 조직에서 비교적 고농도의 에탄올이 검출되어 조직의 갈변은 또한 에탄올의 축적과 밀접하게 관련되어 있을 것으로 추측되는데, 정상 과실의 조직을 에탄올 1% 또는 5% 용액에 침지할 경우, 조직의 전해질 용출이 증가하는 경향이 관찰되는 점으로 미루어 볼 때 (표4), 조직내 에탄올의 축적에 따른 과육의 갈변 유발은 아마도 세포막 기능의 손상과 이에 따른 세포막의 투과성 증대가 관련되어 있을 것으로 생각된다. 한편 정상 과실과 갈변 과실 간의 당조성의 차이를 분석한 결과 갈변 과실에서는 총당 대비 sorbitol의 함량이 높은 것으로 관찰되었다 (표2과 3). 사과 과실에서 sorbitol의 축적은 밀(water core)의 발생 원인으로 알려져 있으며(표3) (Fidler와 North, 1970; Williams와 Billingsley, 1973), 후지 과실은 수확기가 늦을 수록 저산소 장해에 민감해지는 것으로 보고되어 있는데(Park과 Lee, 1992), 밀을 함유한 과실은 저장 중에 저산소 조건에 보다 민감하여 에탄올의 축적이 용이하게 나타나는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하면, 세포막의 선택적 물질 투과 기능의 손상에 따른 물질 구획 기능의 상실(decompartmentation)은 후지 사과 과실의 저장 중 과육 갈변 증상의 발생과 관련이 있으며, sorbitol 축적에 따른 밀의 발생 및 저산소 조건에서의 에탄올의 축적과 지방산 대사의 저해 등은 세포막의 선택적 투과성을 저해하는 요인으로 작용하는 것으로 생각된다. 특히 저장 중 과실 조직내 에탄올의 축적 정도는 과육 갈변 증상 발생의 사전 예고 지표로도 활용할 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 부유 단감 과실의 일명 '초코렛' 현상

일명 '초코렛' 현상의 과육 갈변 진전 정도에 따른 조직의 부위별 전해질 용출량을 측정된 결과(그림 1), 갈변이 심한 과실(갈변 지수 3)의 꽃자리 부위 조직은 전해질 용출률이 매우 높았으며, 갈변 정도가 심하지 않은 과실에서도 정상 과실에 비하여 약간의 전해질 용출을 증가가 관찰되었다. 또한 과실의 꽃자리 부위 조직은 적도면의 비갈변 조직 보다 전해질 용출률이 높은 경향을 나타내었는데, 이는 갈변의 발생이 항상 꽃자리 부위에서 시작된다는 사실과 밀접한 관련이 있으며, 꽃자리 부위의 조직은 다른 부위에 비하여 생리적으로 비교적 손상받기 쉬운 상태에 있는 것으로 생각된다. 조직의 전해질 용출률은 세포막의 투과성에 대한 지표로서(King과 Ludford, 1983; Murata, 1990; Sacher, 1973), 세포막의 투과성 증대는 액포내에 구획화되어 있는(Yamaki, 1984) 페놀 화합물의 누출 및 페놀 산화 효소와의 접촉을 유발하여 갈변 색소 생성의 원인을 제공하는 것으로 추측할 수 있다.

단감 과실의 저장 중 일명 '초코렛' 현상의 저장 장해는 특히 MA 저장 시에 발생하는데, PE film에 의한 과실의 밀봉은 저산소 및 고이산화탄소 조건을 형성시키므로 이 저장 장해의 발생이 저산소 및 고이산화탄소 조건에 따른 무기 호흡의 저해와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 따라서 무기 호흡 대사 산물인 아세트알데히드와 에탄올의 함량을 분석한 결과 (그림 2), 갈변이 진전됨에 따라 무기 호흡 대사 산물의 축적이 뚜렷하게 증가하는 경향이 관찰되었으며, 이 경우에 있어서도 꽃자리 부위의 조직

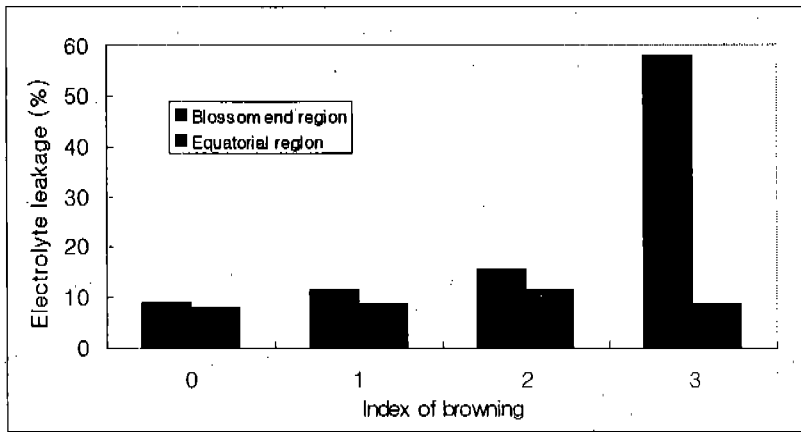


Fig. 1. The difference of electrolyte leakage from persimmon fruit tissue according to the degree of browning.

(Index 0: normal fruit, 1: obscurely, 2: slightly, 3: severely browned)

이 적도면 조직에 비하여 이러한 대사 산물의 함량이 높은 것으로 나타났다. 그러나 갈변이 상당히 진전된 과실(갈변 지수 3)에 있어서 적도면의 비갈변 부위 조직은 아세트알데히드 또는 에탄올 함량이 매우 높음에도 불구하고 전해질 용출률은 정상 과실의 값과 큰 차이를 보이지는 않았다. 이러한 사실은 유기 호흡의 저해에 따른 무기 호흡 대사 산물의 축적이 조직 갈변의 진전과 밀접한 관련이 있음에도 불구하고 조직의 전해질 용출률을 증가시키지는 않았으며, 따라서 조직내 아세트알데히드 또는 에탄올의 축적은 조직 갈변의 진전을 나타내는 지표이기는 하나 조직 갈변 유발의 직접적 원인은 아닌 것으로 생각된다.

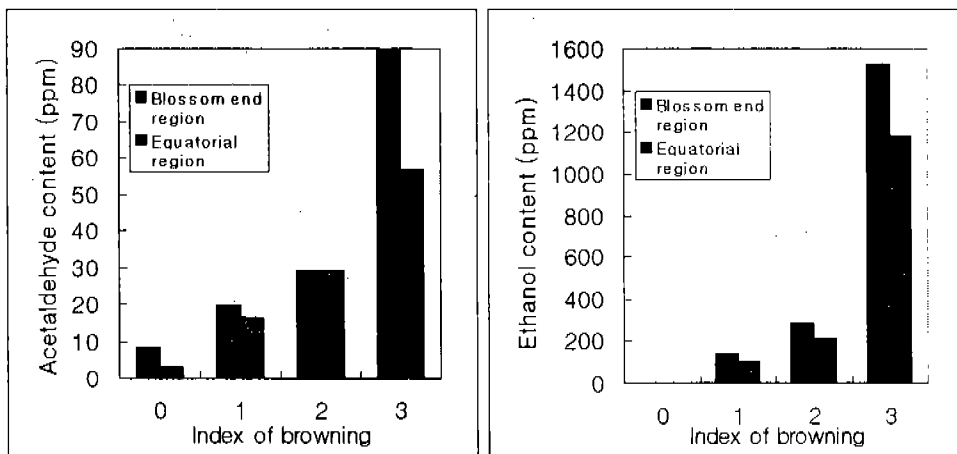


Fig. 2. The difference of acetaldehyde and ethanol content in persimmon fruit tissue according to the degree of browning. (See Fig. 1 for index description).

한편 지질 이중층으로 구성되어 있는 세포막은 지질의 물리화학적 특성이 투과성의 변화에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Marangoni 등, 1996; Thompson, 1988). 갈변의 진행 정도에 따른 지질 추출물의 sterol/phospholipid ratio의 차이를 조사한 결과, sterol/phospholipid ratio의 차이는 조직의 전해질 용출률의 차이와 매우 유사한 경향을 보였으며(그림 1과 3) 갈변 정도가 심한 과실의 꽃자리 부위의 조직은 sterol에 비하여 phospholipid의 함량이 심하게 저하되었다. 한편 지질 추출물의 지방산 함량에 있어서는 꽃자리 부위의 조직이 적도면의 정상 조직에 비하여 낮았으며(그림 4), 지방산의 종류에 따른 일관성이 발견되지는 않았으나 대체적으로 갈변 정도가 심한 과실일 수록 총지방산 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. 세포막은 원활한 기능 수행을 위하여 구성 지질은 합성과 분해 과정을 통하여 기존의 지방산이 새로운 지방산으로 대체되는 끊임없는 대사 과정이 필수적인 것으로 알려져 있는데(Kinnunen, 1991; Steer, 1988), 갈변 조직에 있어서의 지방산 함량의 저하는 이러한 대사 작용의 저해를 암시한다. 따라서 sterol/phospholipid ratio의 증가가 세포막의 경화와 관련되어 있으며(Lurie 등, 1987; Thompson, 1988) 지방산 합성 능력의 유지가 세포막의 정상적 기능 수행을 위하여 필수적임에 비추어 볼 때(Kinnunen, 1991), 갈변 조직에서의 전해질 용출률 증가는 세포막의 물리화학적 특성 변화에 따른 현상임을 추측할 수 있다.

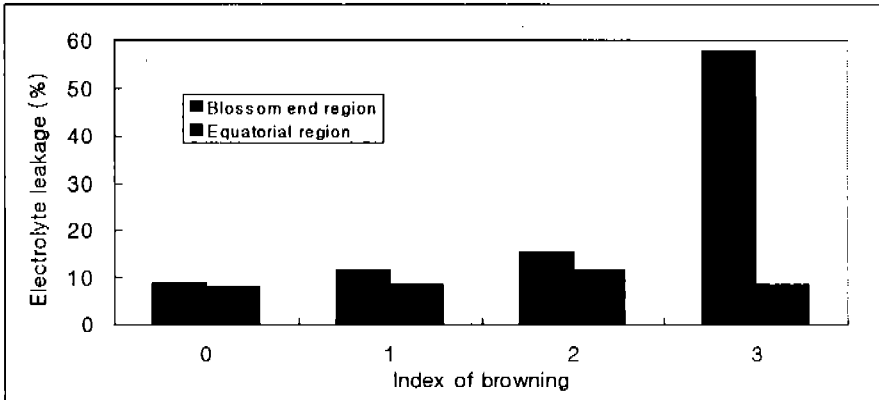


Fig. 3. The difference of sterol/phospholipid ratio in persimmon fruit tissue according to the degree of browning. (See Fig. 1 for index description).



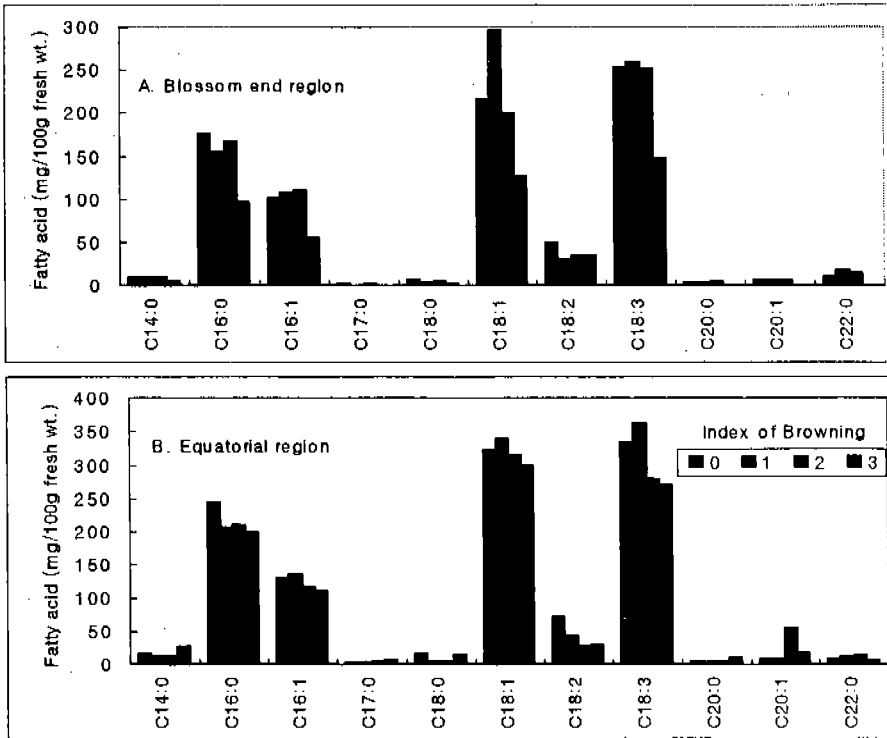


Fig. 4. The difference of fatty acid content in persimmon fruit tissue according to the degree of browning. (See Fig. 1 for index description).

따라서 단감 과실에 있어서 저온 MA 저장 중 일명 ‘초코렛’ 현상으로 불리우는 갈변 현상은 세포막 기능의 저해와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉 식물 세포에 있어서 갈색 색소의 재료 물질인 페놀 화합물은 액포내에 구획화되어 있는데 (Yamaki, 1984), 세포막의 기능 저하에 따른 세포막 투과성의 증대는 액포내 페놀 화합물의 용출을 유발하며 용출된 페놀 화합물이 산화 효소와 접촉함으로써 효소적 갈변화 반응(Macheix 등, 1990)에 의한 조직의 갈변이 나타나는 것으로 추측된다. 한편 이러한 세포막 기능의 저해는 MA 저장 조건에서의 지방산 합성의 억제(Brakemann 등, 1993), 무기 호흡의 유발등과 관련이 있을 것으로 생각되는데, 비록 에탄올 또는 아세트알데히드의 조직내 축적이 갈변 유발의 직접적 원인인 것으로 보이지는 않으나, 이러한 무기 호흡 산물의 축적 정도는 사과 과실의 경우에서와 마찬가지로 조직 갈변을 미리 예견하기 위한 지표로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

## 초 록

후지 사과 및 부유 단감 과실의 과육 갈변과 관련된 생리적 특성을 조사하였다. 갈변 사과 조직은 전해질 용출률이 높고 낮은 지방산 함량 및 높은 지질 포화도를 나타내었다. 일명 '초코렛' 갈변 부유 단감 과실의 경우에도 전해질 용출률은 높았으며, 높은 sterol/phospholipid ratio과 낮은 지방산 함량을 보였다. 따라서 CA 또는 MA 조건의 저산소 조건에서 지방산 대사의 억제에 의한 세포막 기능의 저해는 과실에서 세포막 투과성의 증대 및 과육 갈변 장애의 발생과 관련이 있는 것으로 보인다. 한편 아세트알데히드 및 에탄올 등 무기 호흡 대사 산물의 축적은 장애의 발생과 더불어 증가하였으며, 이들 물질은 장애 발생의 조기 예측 지표로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Brakemann, A., J. Streif, and F. Bangerth. 1993. Relationship between a reduced aroma production and lipid metabolism of apples after long-term controlled-atmosphere storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:243-247.
2. Butt, V.S. 1980. Direct oxidases and related enzymes, p.81-123. In: P.K. Stumpf and E.E. Conn (eds.). *The biochemistry of plants*, vol. II. Metabolism and respiration. Academic Press, NY.
3. Choi, S.-J. 1997. Physiological properties related to flesh browning in 'Fuji' apple fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:250-254.
4. Dittmer, J.C. and M.A. Wells. 1969. Quantitative and qualitative analysis of lipids. *Methods in Enzymology* 14:482-530.
5. Fidler, J.C. and C.J. North. 1970. Sorbitol in stored apples. *J. Hort. Sci.* 45:197-204.
6. King, M.M. and O.M. Ludford. 1983. Chilling injury and electrolyte leakage in fruit of different tomato cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:74-77.
7. Kinnunen, P.K.J. 1991. On the principles of functional ordering in biological membranes. *Chem. Phys. Lipids* 57:379-399.
8. Lester, G. 1990. Plasma membrane from muskmelon leaves: Purification and lipid composition during growth at 15 or 30C. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:274-277.
9. Lidster, P.D., G.D. Blanpied, and R.K. Prange (eds.). 1990. Apples, p.7-22. In: *Controlled-atmosphere disorders of commercial fruits and vegetables*. Agricultural Canada Publication, Ottawa.
10. Lurie, S., L. Sonogo, and R. Ben-Arie. 1987. Permeability, microviscosity and chemical changes in the plasma membrane during storage of apple fruit. *Sci. Hort.* 32:73-83.
11. Macheix, J., A. Fleuriet, and J. Billot. 1990. Changes and metabolism of phenolic compounds in fruits. In: *Fruit Phenolics*. CRC Press, Boca Raton. pp. 149-237.
12. Marangoni, A.G., T. Palma, and D.W. Stanley. 1996. Membranes effects in postharvest physiology. *Postharvest Biol. Technol.* 7:193-217.
13. Mayer, A.M. and E. Harel. 1981. Polyphenol oxidases in fruits - Changes during ripening, p. 160-180. In: J. Friend and M.J.C. Rhodes (eds.). *Recent advances in*

the biochemistry of fruit and vegetables. Academic Press, NY.

14. McKersie, B.D. Jr., J.R. Lepick, J. Kruuv., and J.E. Thompson. 1978. The effects of cotyledon senescence on the composition and physical properties of membrane lipid. *Biochem. Biophys. Acta* 508:197-212.
15. Murata, T. 1990. Relationship of chilling injury stress to membrane permeability. In: C.Y. Wang (ed.) *Chilling injury*. CRC Press, Boca Raton. pp. 201-209.
16. Park, Y.M. and S.K Lee. 1992. Susceptibility of 'Fuji' apples to low-oxygen injury and high-carbon dioxide injury during CA storage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 33:38-43
17. Sacher, J.A. 1973. Senescence and postharvest physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:197-224.
18. Schmitz, K.J. 1968. Über das Verhalten der Fette und Wachse von Apfelschalen während der Entwicklung der Früchte und bei ihrer Aufbewahrung in verschiedenen Lagersystemen. *Erwerbsobstbau* 10:147-149.
19. Slinkard, K. and V.L. Singleton. 1977. Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *Amer. J. Enol. Vitic.* 28:49-54.
20. Steer, M.W. 1988. Plasma membrane turnover in plant cells. *J. Exp. Bot.* 39:987-996.
21. Stumpf, P.K. 1980. Lipids, p. 177-202. In: P.K. Stumpf and E.E. Conn (eds.). *The biochemistry of plants, vol. IV. Structure and functions*. Academic Press, NY.
22. Thompson, R.H. 1964. Structure and reactivity of phenolic compounds, p. 1-29. In: J.B. Harbone (ed.). *Biochemistry of phenolic compounds*. Academic Press, London.
23. Thompson, J.E. 1988. The molecular basis for membrane deterioration during senescence. In: L.D. Nooden and A.C. Leopold (eds.) *Senescence and Aging in Plants*. Academic Press, San Diego. pp. 52-84.
24. Weschebeling, P. and M. W. Montgomery. 1990. Strawberry polyphenoloxidase: Purification and characterization. *J. Fd. Sci.* 55:1315-1319.
25. Williams, M.W. and H.D. Billingsley. 1973. Water core development in apple fruits as related to sorbitol levels in the tree sap and to minimum temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98:205-207.
26. Yamaki, S. 1984. Isolation of vacuoles from immature apple fruit flesh and compartmentation of sugars, organic acids, phenolic compounds and amino acids. *Plant Cell Physiol.* 25:151-156.