

## 사과 및 토마토의 신선도 평가를 위한 물리화학적 인자 탐색<sup>+</sup>

# Physicochemical Factors for Evaluating Freshness of Apple and Tomato

조 용 진\*                      황 재 관\*\*  
정희원  
Y. J. Cho                      J. K. Hwang

### ABSTRACT

This study was performed to analyze the variation of various physicochemical factors related to the freshness of apple and tomato during post-harvest period. The total soluble solids content, uronic acid content, cell surface roughness, density, rupture deformation and rupture force were measured for 39 days at 7-day intervals for apple and for 11 days at 2-day intervals for tomato, respectively. The cell surface roughness of apple increased with the elapsed time, while the rupture force decreased. In case of tomato, uronic acid content, density and rupture deformation increased with the elapsed time whereas the rupture force decreased. Both apple and tomato exhibited the significant correlations among those physicochemical factors.

**주요용어(Key Words):** physicochemical factor(물리화학적 인자), freshness(신선도), apple(사과), tomato(토마토)

### 1. 서      론

과채류의 신선도(freshness)란 용어는 사용 빈도가 매우 높은 반면에 정량적 평가가 매우 미흡한 인자이다. 그럼에도 불구하고 과채류의 품질 및 가격 결정에 크게 영향을 주는 인자임에 틀림이 없다. 신선도의 정의와 관련하여 Arthey(1975)는 신선도란 중요한 품질 인자로서 수확 후 소비자가 구매할 때까지 경과한 시간에 따라 생산물이 질적으로 저하된 정도에 의해 평가된다고 하였다.

일반적으로 생물체(biomaterials)의 신선도를 평가

하기 위해 사용되는 인자로는 화학적 성분, 물성, 관능 분석값, 휘발성 성분, 미생물 수, 대사물질(예, ATP 분해산물의 양) 등이 있다. 과채류의 경우, 신선도와 밀접한 관련성이 예상되는 인자를 물질의 구조 계층(hierarchy)을 통해 살펴보면 고분자의 결합 상태, 세포벽의 물리화학적 구조, 세포의 팽압 및 크기, 조직의 공극 및 세포의 배열 상태 등이 신선도에 영향을 줄 수 있다(Aguilera와 Stanley, 1990; Jackman과 Stanley, 1995).

Vincent(1989)는 사과 과육의 밀도와 탄성계수는 밀접한 상관관계를 가진다고 하였다. 다만, 속도가

<sup>+</sup> 본 연구는 농림부의 농림수산특정연구과제 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 한국식품개발연구원

\*\* 연세대학교 생물산업소재연구센터

높을수록 밀도와 탄성계수는 작아지면서 상호간의 상관관계가 감소한다고 하였다. 일반적으로 과채류가 신선할수록 세포의 팽압, 세포벽의 강도, 세포간 응집력 등이 높은 것으로 알려져 있는데, 이와 같은 인자들은 과육의 탄성계수, 경도, 전단응력 등과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Arthey와 Dennis, 1991).

Ben-Arie 등(1979)은 사과와 배의 숙성 동안 세포벽의 변화를 관찰한 결과, 중엽(middle lamella)의 분리가 현저하게 나타났으며, 세포벽에서의 섬유상 배열이 거의 상실되는 것으로 관찰되었다고 하였다.

이와 같이 사과와 토마토 같은 과채류는 수확 후 시간경과에 따라 조직과 세포의 물리적 변화가 나타나게 되는데, 분자수준에서는 여러 가지 분자 구조의 변화가 발생하지만 주로 세포벽을 구성하는 펙틴성 물질이 분해되어 세포벽의 붕괴를 초래하고 결국 거시적 물성의 변화를 야기하는 것으로 알려져 있다(Seymour 등, 1993; Jackman과 Stanley, 1995).

그러나, 지금까지의 많은 연구에도 불구하고 과채류의 신선도를 효과적으로 평가하는 정량적 방법이 아직 확립되어 있지 못한 형편이다. 이러한 원인은 신선도를 대표적으로 표시할 수 있을 뿐만 아니라 측정이 용이한 인자의 발굴이 미흡한 때문이었다.

따라서, 본 연구는 사과 및 토마토의 주요 물리화학적 인자에 대해서 수확 후 경과시간에 따른 세포벽 물질의 함량, 세포벽의 표면 조직감, 과육의 밀도 및 경도의 변화를 분석하고, 인자들 상호간의 관계를 분석하여 수확 후 경과시간에 따른 신선도의 변화를 평가하는 데 유용한 인자를 탐색하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험재료

본 연구에 사용된 사과(경기 김포)와 토마토(강원 춘천)는 산지에서 적기에 수확된 것으로 품종은 각

각 쓰가루(Tsugaru)와 모모따로(Momotaro)로서 수확 후 시료를 실온에 두면서 사과는 1주일 간격으로, 토마토는 2일 간격으로 4개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다.

### 나. 수용성 분획 물질의 정량

수용성 세포벽 물질로서 수용성 총고형분 함량과 수용성 펙틴 함량을 측정하였다. 일정 비율의 물과 시료(사과 또는 토마토)를 균질기(homogenizer)로 1분간 균질화하고 상온에서 1시간 동안 교반한 후, 원심분리(5,000rpm, 10min) 및 여과 과정을 거쳐 건조하여 초기 시료량에 대한 백분율로 수용성 총고형분 함량(total water-soluble solids, TSS)을 측정하였다.

수용성 펙틴의 함량은 시료로부터 수용성 총고형분을 회수하여 isopropanol과 혼합한 후 상온에서 4시간 동안 방치하여 침전되는 침전물(수용성 다당류, water soluble polysaccharides)중에서 *m*-hydroxydiphenyl법(Blumenkrantz와 Bennett, 1973)을 이용하여 우론산(uronic acid)을 정량하는 방법으로 측정하였다.

### 다. 세포의 표면 조직감 정량

사과와 토마토 수확 이후 신선도 저하에 따른 과육 세포의 표면 조직감의 변화를 조(1997)의 방법을 이용하여 정량하였다.

과육을 해부용 칼로 얇게 절단하여 슬라이드 글라스에 놓고 1% 용액의 Congo Red로 염색한 시료에 대해서, color digitizer module(Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada), 2/3" one-chip color CCD camera(TMC-74, PULNiX America, Inc., USA), Pentium micro-computer 등으로 구성된 영상분석장치와 ×40 대물렌즈가 장착된 광학현미경(Leica DMRB, Germany)을 이용하여 640 × 480 × 3의 해상도를 갖는 RGB 컬러 영상의 형태로 세포의 표면 영상을 획득하였다.

영상 분석을 위한 알고리즘의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저  $640 \times 480$  화소의 크기를 갖는 컬러 영상으로부터 적색, 녹색 및 청색 성분 영상들로 분할하여 세포의 주름 상태를 가장 잘 보여주는 적색 성분 영상만을 취하였다. 적색 성분 영상에 대해 recursive Laplacian operation과 normalization operation을 이용하여 세포 표면의 주름을 추출하고, 영상의 중심 좌표를 기준으로 하여  $256 \times 256$  크기의 정방형 영상으로 절단한 후, 화소치의 표준편차를 산출하여 이 값을 세포 표면의 상대거칠기로 나타내었다. 한편, 상대거칠기는 각각의 개체에 대해서 3개의 시편을 제조하여 측정하였다.

라. 압축시험

사과의 경우, 과육을 지름 2mm, 높이 2mm의 원통형으로 자른 후 지름 5mm의 실린더형 플런저가 장착된 경도계(Sun Rheometer model COMPAC-100, Japan)를 이용하여 시료의 이송속도가 120mm/min인 조건하에서 파괴력과 파괴변형량을 각각의 개체에 대해서 3반복으로 측정하였다.

한편, 토마토는 반절한 후 절단면을 시료대 위에 놓고 사과의 경우와 같은 조건으로 파괴력과 파괴변형량을 측정하였다.

마. 밀도 측정

0.0001g의 정밀도를 가진 전자저울을 이용하여 platform scale method(Mohsenin, 1986)에 의해 사과와 토마토의 과육 밀도를 각각의 개체에 대해서 3반복으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시간에 따른 사과의 물리화학적 인자 변화

그림 1~그림 3은 사과의 여러 가지 물리화학적 인자의 시간에 따른 변화를 그림으로 나타낸 것이며, 표 1은 여러 가지 물리화학적 인자들의 시간과의 상관계수를 나타낸 것이다.

그림 1~그림 3의 전체적인 경향을 살펴보면, 사과 수확 후 시간이 경과함에 따라서 세포의 표면 조직감은 점점 거칠어지고, 과육의 파괴력은 작아지며, 세포벽으로부터 분해되어 나오는 우론산의 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 전체적인 현

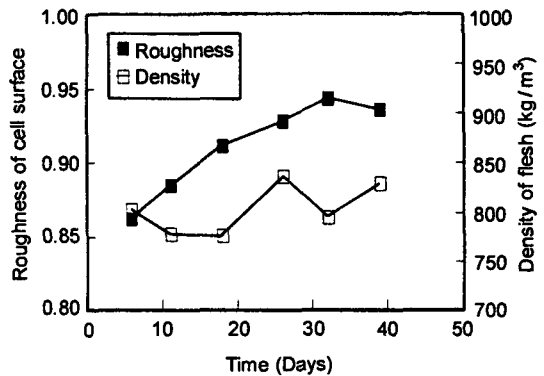


Fig. 1 Variations in cell surface roughness and flesh density of apple with the time elapsed after harvest.

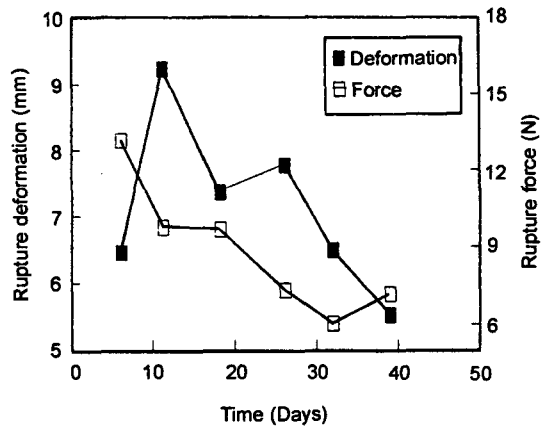


Fig. 2 Variations in rupture deformation and rupture force of apple flesh with the time elapsed after harvest.

상은 기존의 세포벽 붕괴에 관한 연구보고(Ben-Arie 등, 1979; Jackman과 Stanley, 1995)와 일치한다.

그러나, 그림에서 보는 바와 같이 시간에 대해서 비교적 명확한 선형적 변화를 보이는 물리화학적 인자로는 세포 표면의 상대거칠기와 파괴력인 것으로 나타났다. 반면에, 과육의 밀도, 파괴변형량, 수용성 총고형분 함량, 우론산 함량 등의 시간에 따른 변화는 명확한 경향을 보이지 않았다. 이와 같은 경향은 수확 후 경과한 시간과의 상관계수를 분석한 결과인 표 1을 통해서도 알 수 있는 바와 같이 세포 표면의 상대거칠기 및 파괴력의 시간과의 상관계수가 높은 것으로 나타났다.

나. 시간에 따른 토마토의 물리화학적 인자 변화

그림 4 ~ 그림 6은 토마토의 여러 가지 물리화학적 인자의 시간에 따른 변화를 그림으로 나타낸 것이며, 표 2는 여러 가지 물리화학적 인자들의 시간과의 상관계수를 나타낸 것이다.

그림 4에서 보는 바와 같이, 토마토 세포의 표면 거칠기와 과육의 밀도는 시간의 경과에 따라서 증가하는 것으로 나타났다.

그림 5에서 토마토의 저장 기간에 따라 파괴변형량은 증가하는 반면에 파괴력은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 저장 기간 중 토마토의 세포 구조를 형성하는 성분의 변화에 따른 세포 조직의 integrity의 감소를 의미한다.

그림 6에서 토마토의 저장기간에 따라 수용성 총고형분과 수용성 펙틴 함량이 증가하는 것을 알 수

Table 1 Correlation coefficients of various physicochemical factors of apple with time elapsed after harvest

Cell surface roughness	Flesh density (kg/m <sup>3</sup> )	Total soluble solids (%)	Uronic acid (μg/ml)	Rupture deformation (mm)	Rupture force (N)
0.9345	0.5579	-0.6774	0.4738	-0.5427	-0.8927
(0.0063)	(0.2499)	(0.1393)	(0.3424)	(0.2658)	(0.0166)

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

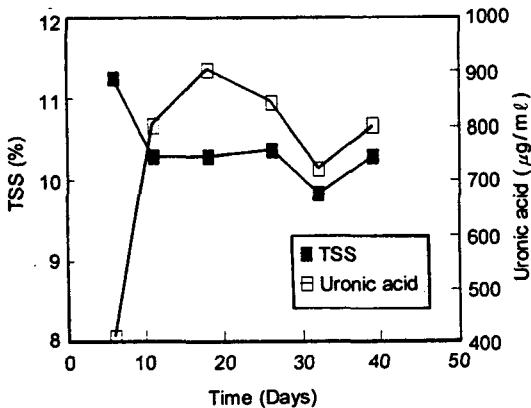


Fig. 3 Variations in total soluble solids and uronic acid of apple flesh with the time elapsed after harvest.

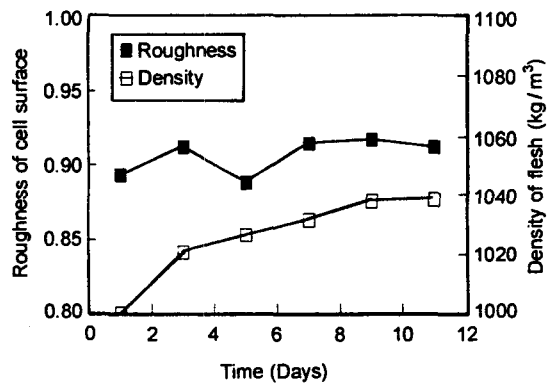


Fig. 4 Variations in cell surface roughness and flesh density of tomato with the time elapsed after harvest.

있다. 이는 저장 기간 중 세포벽에 존재하는 펙틴 분해 효소의 작용에 의해 프로토펙틴(protopectin)의 수용화가 발생하기 때문으로 해석된다. 세포벽 성분의 수용화에 따른 세포벽 조직의 이완 현상은 결과적으로 그림 5에 나타난 바와 같이 파괴력의 감소와 파괴변형량의 증가를 야기한다.

그림 4 ~ 그림 6과 표 2의 결과에 의하면, 토마토의 경우, 수확 후 신선도 저하에 따라서 비교적 명확하게 선형적인 변화를 보이는 물리화학적 인자들은 과육 밀도, 우론산 함량, 파괴변형량, 파괴력 등인 것으로 나타났다.

다. 물리화학적 인자들의 상호관계

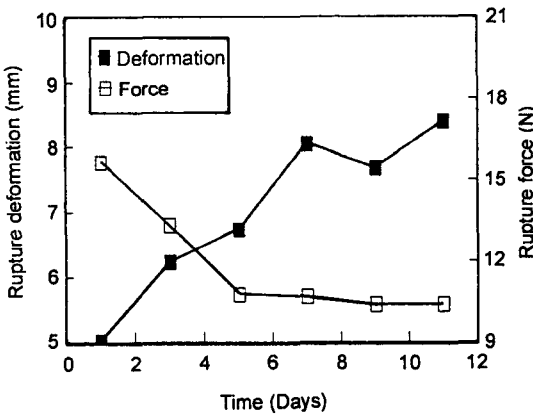


Fig. 5 Variations in rupture deformation and rupture force of tomato flesh with the time elapsed after harvest.

표 3은 사과 및 토마토 수확 후 시간이 경과함에 따라 신선도가 변할 때, 관련되는 물리화학적 인자들의 변화에 대해서 상호관계를 상관계수로 나타낸 것이다.

사과(쓰가루)의 신선도가 저하될 때, 파괴력과 세포의 표면거칠기는 99%의 신뢰수준에서 서로 부의 방향으로 변하는 것으로 나타났다.

토마토의 경우에는 사과의 경우에 비해 보다 많은 물리화학적 인자들이 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 즉, 과육의 밀도는 우론산 함량 및 파괴변형량과는 서로 정의 상관관계를 가지는 것으로 나타났고, 파괴력과는 부의 방향으로 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타

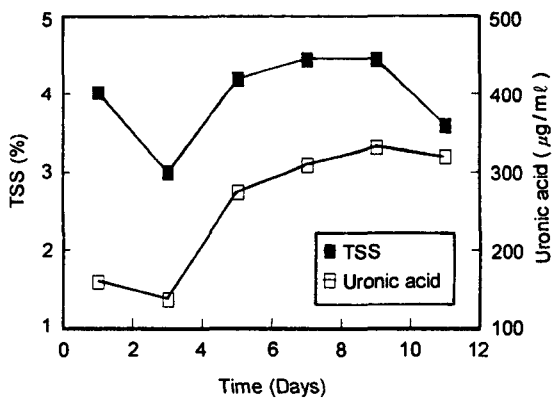


Fig. 6 Variations in total soluble solids and uronic acid of tomato flesh with the time elapsed after harvest.

Table 2 Correlation coefficients of various physicochemical factors of tomato with time elapsed after harvest

Cell surface roughness	Flesh density (kg/m <sup>3</sup> )	Total soluble solids (%)	Uronic acid (µg/ml)	Rupture deformation (mm)	Rupture force (N)
0.5869 (0.2207)	0.9262 (0.0080)	0.2305 (0.6603)	0.8912 (0.0171)	0.9457 (0.0043)	-0.8712 (0.0238)

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

났다. 우론산은 파괴변형량과의 관계에서 서로 정  
의 상관을 보인 반면에, 파괴력과는 서로 부의 상  
관을 보였다. 표 3에서 보는 바와 같이 토마토의  
신선도 변화와 관련된 인자들 중 과육의 밀도와  
파괴력의 상관계수가  $-0.9630$ 이고, 이 때의 유의  
확률이  $0.0020$ 으로서 가장 높은 상관관계를 보였  
다.

그림 7 ~ 그림 11은 유의한 상관관계를 가지는  
인자들의 상호간의 관계를 그림으로 나타낸 것이  
다.

따라서, 이러한 인자들은 사과와 신선도와 같은  
내부 품질을 비파괴적으로 평가하고자 할 때 기준  
자료로 활용될 수 있을 것이다.

Table 3 Correlation coefficients among physicochemical parameters of apple and tomato

Apple	Pupture force (N)		
	Cell surface roughness	$-0.9618$ (0.0222)	

Tomato	Uronic acid ( $\mu\text{g/ml}$ )	Rupture deformation (mm)	Rupture force (N)
	Density ( $\text{kg/m}^3$ )	$0.8425$ (0.0352)	$0.9501$ (0.0037)
Uronic acid ( $\mu\text{g/ml}$ )		$0.8729$ (0.0232)	$-0.8947$ (0.0160)

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

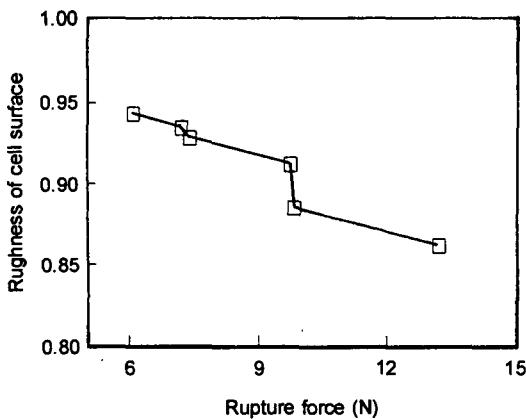


Fig. 7 Rupture force versus cell surface roughness of apple.

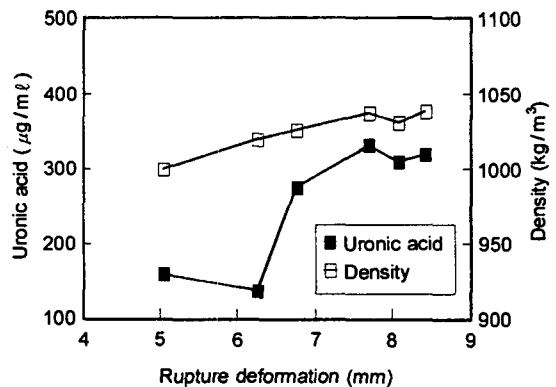


Fig. 8 Uronic acid and density versus rupture deformation of tomato.

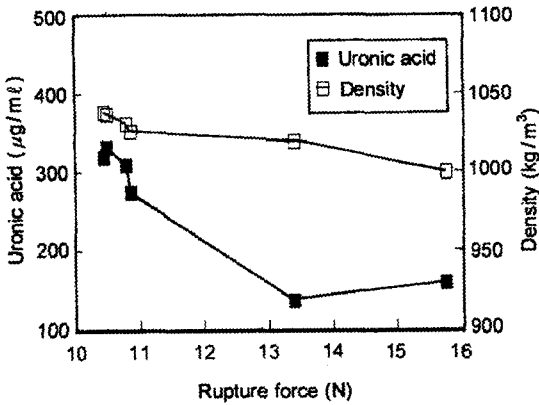


Fig. 9 Uronic acid and density versus rupture force of tomato.

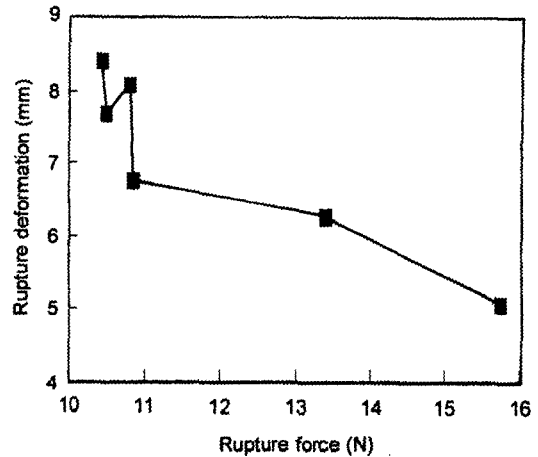


Fig. 11 Rupture deformation versus rupture force of tomato.

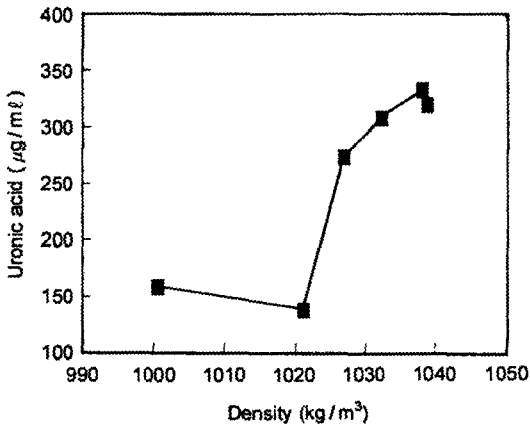


Fig. 10 Uronic acid versus density of tomato.

하는 인자는 과육의 밀도, 우론산 함량, 파괴변형량 및 파괴력인 것으로 나타났으며, 이러한 인자들은 상호간에 유의한 상관관계를 보였다. 특히, 과육의 밀도는 파괴변형량 그리고 파괴력과 매우 명확한 선형적 관계를 가지는 것으로 나타났다.

이와 같이 사과와 토마토는 신선도와 관련하여 상이한 물리화학적 특성을 보였으며, 신선도와 같은 내부 품질을 비파괴적으로 평가하기 위해서는 특정 품목에 적합한 물리화학적 인자가 고려되어야 하는 것으로 분석되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 사과와 토마토의 신선도 평가에 적합한 물리화학적 인자를 탐색하고자 수확 후 경과한 시간에 따른 여러 가지 물리화학적 인자들의 변화를 분석하고, 인자들 상호간의 상관관계를 분석하였다.

사과의 경우, 수확 후 시간이 경과함에 따라서 세포 표면의 상대거칠기가 증가하였고, 과육의 파괴력은 감소하였다. 두 인자 상호간에 유의한 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

토마토의 경우에는 시간 경과에 따라 유의하게 변

#### 참고 문헌

1. 조용진. 1997. 세포 표면 특성을 이용한 사과 신선도 평가, 한국농업기계학회지 22(4):433-438.
2. Aguilera, J. M. and D. W. Stanley. 1990. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering. Elsevier Applied Science, London, pp. 87-129.
3. Arthey, V. D. 1975. Quality of Horticultural Products. Butterworths & Co Publisher, Ltd. London, pp. 89-90.

4. Arthey, D. and C. Dennis (ed.). 1991. Vegetable Processing. Blackie, Glasgow. pp. 244-245.
5. Ben-Arie R., N. Kislev and C. Frenkel. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiology* 64:197-202.
6. Blumenkrantz, J. A. and R. D. Bennett. 1973. New method for quantitative determination of uronic acid. *Analytical Biochemistry* 54:484-487.
7. Jackman, R. L. and D. W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology* 6:187-194.
8. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York. pp. 95-96.
9. NOESIS. 1991. *A Tutorial on Image Processing*. Noesis Vision Inc., Quebec, Canada. pp. 149-166.
10. SAS. 1988. *SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 6.03*. SAS Institute, Inc., Cary, USA.
11. Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London. pp. 17-24.
12. Vincent, J. F. V. 1989. Relationship between density and stiffness of apple flesh. *J. of the Science of Food and Agriculture* 47(4):443-462.