

사과 및 토마토의 신선도 평가를 위한 물리화학적 인자 탐색⁺

Physicochemical Factors for Evaluating Freshness of Apple and Tomato

조용진* 황재관**

정희원

Y. J. Cho J. K. Hwang

1. 서론

과채류의 신선도란 용어는 사용 빈도가 매우 높은 형편에 비하여 정량적 평가가 매우 미흡한 인자이다. 그럼에도 불구하고 과채류의 가격 결정에 크게 영향을 주는 인자임에 틀림이 없다. 신선도의 정의와 관련하여 Arthey(1975)는 신선도란 중요한 품질 특성에 해당된다고 지적하였으며, 상태와 시간의 관점에서 해석될 수 있다고 하여, 신선도란 수확 후 소비자가 구매할 때까지 경과한 시간을 의미하며, 또한 수확 후 즉시 소비되지 않음으로 인해 생산물이 질적으로 저하된 정도와 관련이 있다고 설명하였다.

일반적으로 생물(biomaterials)의 신선도를 평가하기 위해 사용되는 인자로는 화학적 성분, 물성, 관능분석값, 휘발성 성분, 미생물 수, 대사물질(예, ATP 분해산물의 양) 등이 있다. 과채류의 경우, 신선도와 밀접한 관련성이 예상되는 인자를 물질의 구조계층(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 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).

* 본 연구는 농림부의 농림수산물특정연구과제 연구비 지원으로 수행되었음

* 한국식품개발연구원

** 연세대학교 생물산업소재연구센터

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

이와 같이 사과와 토마토 같은 과채류는 수확후 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 평가하는데 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 각각 쓰가루(Tsugaru)와 모모파로(Momotaro)로서 수확 후 시료를 실온에 두면서 사과는 1주일 간격으로, 토마토는 2일 간격으로 4개씩 무작위로 선발하여 실험에 사용하였다.

나. 세포벽 물질의 정량

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

펙틴의 함량은 시료로부터 총고형분을 회수하여 isopropanol과 혼합한 후 상온에서 4시간 동안 방치하여 침전되는 침전물(수용성 다당류, water soluble polysaccharides) 중에서 m-hydroxydiphenyl법(Blumenkrantz와 Bennett, 1973)을 이용하여 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 microcomputer 등으로 구성된 영상분석장치와 $\times 40$ 대물렌즈가 장착된 광학현미경(Leica DMRB, Germany)을 이용하여 $640 \times 480 \times 3$ 의 해상도를 갖는 RGB 컬러 영상의 형태로 세포의 표면 영상을 획득하였다.

영상 분석을 위한 알고리즘의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저 640×480 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 256×256 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 극한력과 극한변형량을 각각의 개체에 대해서 3반복으로 측정하였다.

한편, 토마토는 반절한 후 절단면을 시료대 위에 놓고 사과의 경우와 같은 조건으로 극한력과 극한변형량을 측정하였다.

마. 밀도 측정

0.0001g의 정밀도를 가진 전자저울을 이용하여 platform scale method에 의해 사과와 토마토의 과육 밀도를 각각의 개체에 대해서 3반복으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시간에 따른 사과의 물리화학적 인자 변화

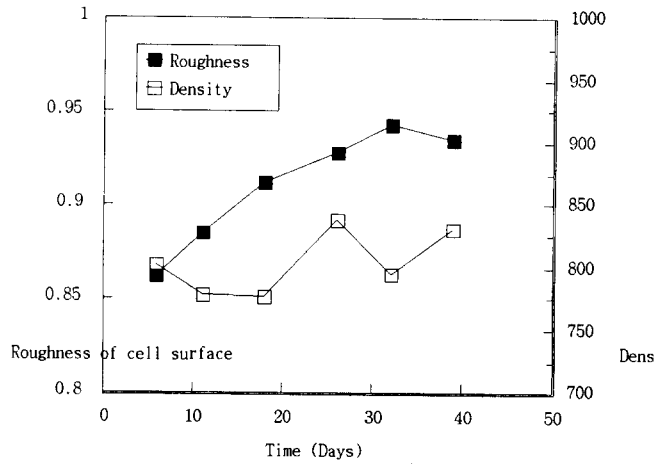


Fig. 1. The variation of cell surface roughness and flesh density of apple.

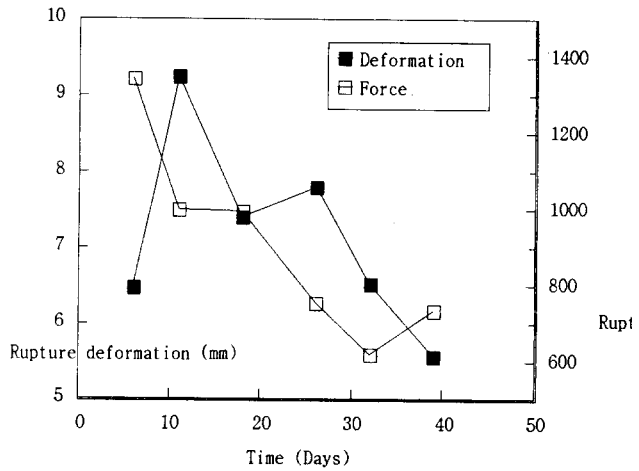


Fig. 2. The variation of rupture deformation and rupture force of apple flesh.

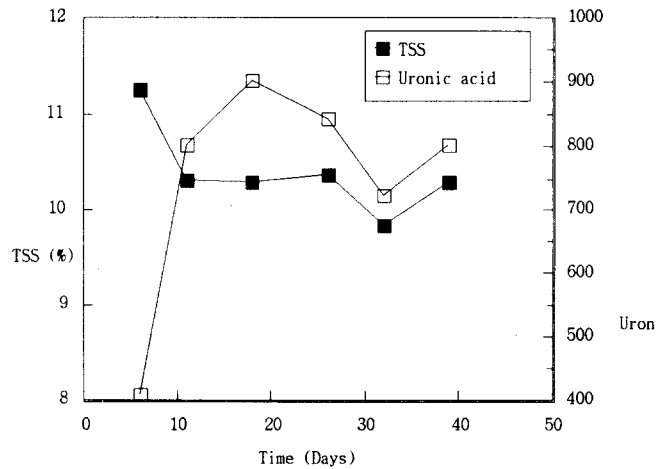


Fig. 3. The variation of total soluble solids and uronic acid of apple flesh.

Table 1. The correlation coefficients of various physicochemical factors of apple with time elapsed after harvest.

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

Note: The figures in parentheses mean the significance probabilities.

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

그림 1에서 3의 전체적인 경향을 살펴보면, 사과 수확 후 시간이 경과함에 따라서 세포의 표면 조직감은 점점 거칠어지고, 과육의 극한력은 작아지며, 세포벽 물질이 분해되어 총고형분은 감소하며, 세포벽으로부터 분해되어 나오는 우론산의 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 전체적인 현상은 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 상대거칠기, 극한력 그리고 총고형분 함량인 것으로 나타

났다. 이와 같은 경향은 수확 후 경과한 시간과의 상관계수를 분석한 결과인 표 1을 통해서도 알 수 있는 바와 같이 세포 표면의 상대거칠기, 극한력, 총고형분 함량 등의 시간과의 상관계수가 높은 것으로 나타났다.

나. 시간에 따른 토마토의 물리화학적 인자 변화

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

토마토의 경우, 수확 후 신선도 저하에 따라서 비교적 명확하게 선형적인 변화를 보이는 물리화학적 인자들은 과육 밀도, 우론산 함량, 극한변형량, 극한력 등인 것으로 나타났다.

Table 2. The correlation coefficients of various physicochemical factors of apple with time elapsed after harvest.

Cell surface roughness	Flesh density (kg/m ³)	Total soluble solids (%)	Uronic acid (μg/ml)	Rupture deformation (mm)	Rupture force (g)
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.

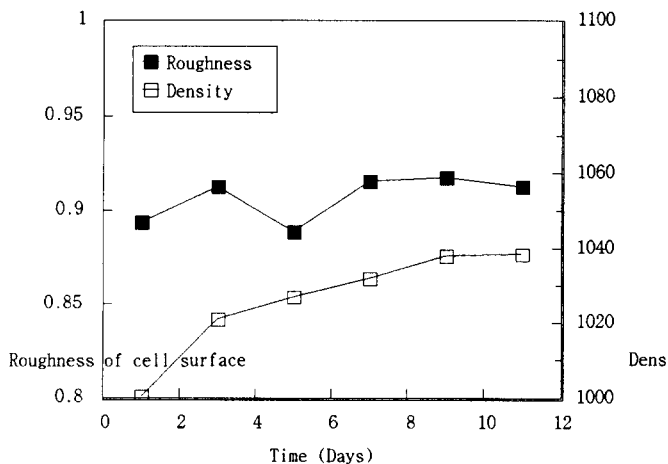


Fig. 4. The variation of cell surface roughness and flesh density of tomato.

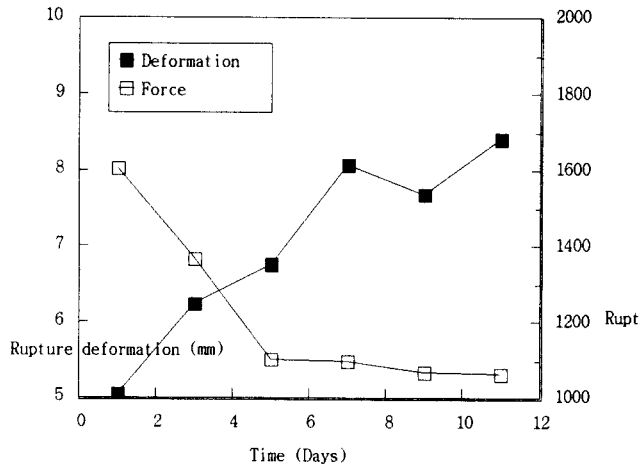


Fig. 5. The variation of rupture deformation and rupture force of tomato flesh.

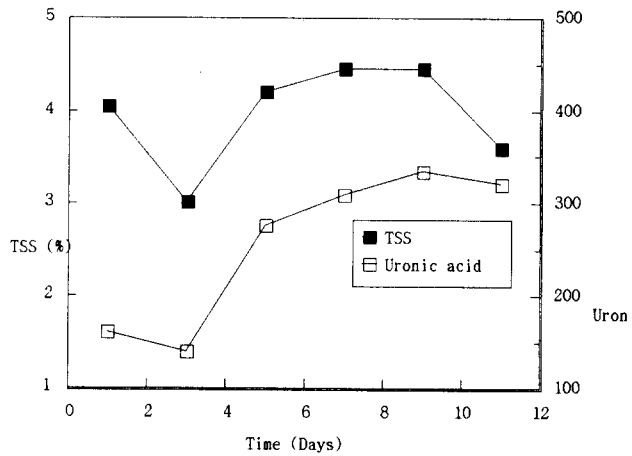


Fig. 6. The variation of total soluble solids and uronic acid of tomato flesh.

다. 사과와 물리화학적 인자들의 상호관계

표 3은 사과 수확 후 시간이 경과함에 따라 나타나는 물리화학적 인자들의 변화에 대해서 인자 상호간의 상관관계를 나타낸 것이며, 그림 7에서 9는 유의한 상관관계를 가지는 인자들을 그림으로 나타낸 것이다. 표와 그림에서 보는 바와 같이 사과의 경우 세포 표면의 상대거칠기, 과육의 총고형분 함량 및 과육의 극한력은 상호간에 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

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

Table 3. Correlation coefficients among physicochemical parameters of apple.

	Roughness of cell surface	Density (kg/m ³)	Total soluble solids (%)	Uronic acid (µg/mL)	Rupture deform. (mm)	Rupture force (gf)
Roughness of cell surface	1.0000	0.4031 (0.4281)	-0.8292* (0.0413)	0.6330 (0.1773)	-0.3370 (0.5136)	-0.9618** (0.0022)
Density (kg/m ³)		1.0000	0.0860 (0.8713)	-0.0129 (0.9806)	-0.4467 (0.3745)	-0.3695 (0.4710)
Total soluble solids (%)			1.0000	-0.7489 (0.0867)	-0.0927 (0.8613)	0.8903* (0.0174)
Uronic acid (µg/mL)				1.0000	0.3273 (0.5265)	-0.6396 (0.1714)
Rupture deform. (mm)					1.0000	0.1633 (0.7571)
Rupture force (gf)						1.0000

Notes) (): Significance probability which means "highly significant" when its value is equal to or less than 0.01.

** : highly significant at confidence level of 99%

* : significant at confidence level of 95%

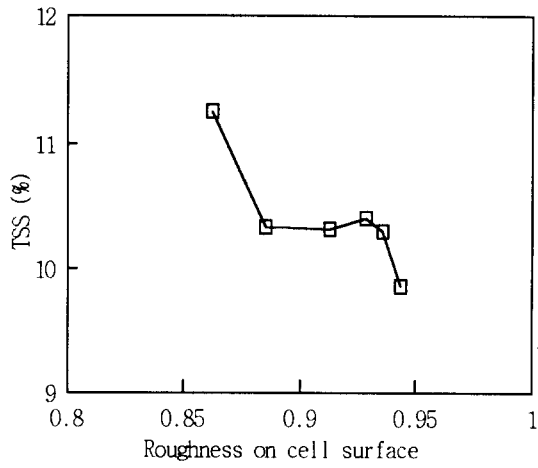


Fig. 7. The relationship between cell surface roughness and total soluble solids of apple.

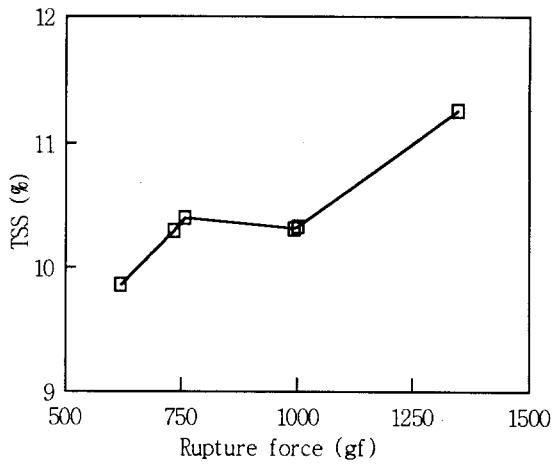


Fig. 8. The relationship between rupture force and total soluble solids of apple.

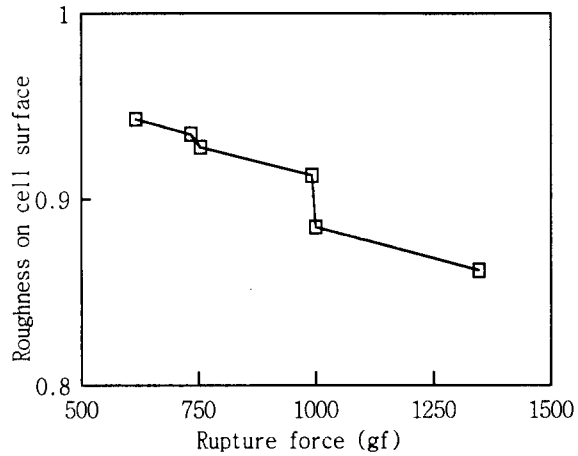


Fig. 9. The relationship between rupture force and cell surface roughness of apple.

라. 토마토의 물리화학적 인자들의 상호관계

표 4는 토마토의 경우에 수확후 시간이 경과함에 따른 세포의 표면상태, 과육의 밀도, 과육의 극한력 및 극한변형량, 그리고 세포벽의 붕괴로 인한 세포벽 물질의 함량을 측정하여 상관관계를 분석한 결과를 나타낸 것이며, 그림 10에서 13은 유의한 상관관계를 가지는 인자들의 상호간의 관계를 그림으로 나타낸 것이다. 표와 그림에서 보는 바와 같이 토마토의 경우에는 과육의 밀도, 극한력, 극한변형량, 우론산 함량 등이 상호간에 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 특히, 그림10과 11을 통해서 알 수 있는 바와 같이 밀도는 극한변형량 그리고 극한력과 선형적 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

Table 4. The correlation coefficients among physicochemical parameters of tomato.

	Roughness of cell surface	Density (kg/m ³)	Total soluble solids (%)	Uronic acid (µg/mL)	Rupture deform. (mm)	Rupture force (gf)
Roughness of cell surface	1.0000	0.6104 (0.1981)	-0.1047 (0.8434)	0.3535 (0.4918)	0.6382 (0.1726)	-0.4092 (0.4205)
Density (kg/m ³)		1.0000	0.1834 (0.7279)	0.8425* (0.0352)	0.9501** (0.0037)	-0.9630** (0.0020)
Total soluble solids (%)			1.0000	0.6262 (0.1834)	0.2411 (0.6454)	-0.3406 (0.5087)
Uronic acid (µg/mL)				1.0000	0.8729* (0.0232)	-0.8947* (0.0160)
Rupture deform. (mm)					1.0000	-0.9185** (0.0097)
Rupture force (gf)						1.0000

Notes) (): Significance probability which means "highly significant" when its value is equal to or less than 0.01.

** : highly significant at confidence level of 99%

* : significant at confidence level of 95%

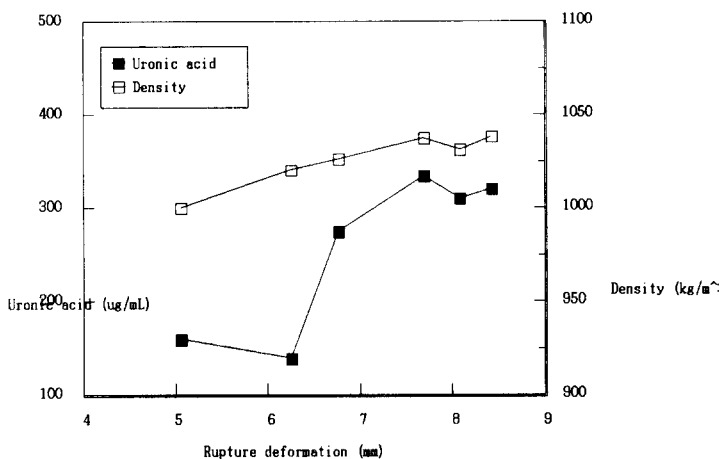


Fig. 10. The relationship of uronic acid and density with rupture deformation of tomato.

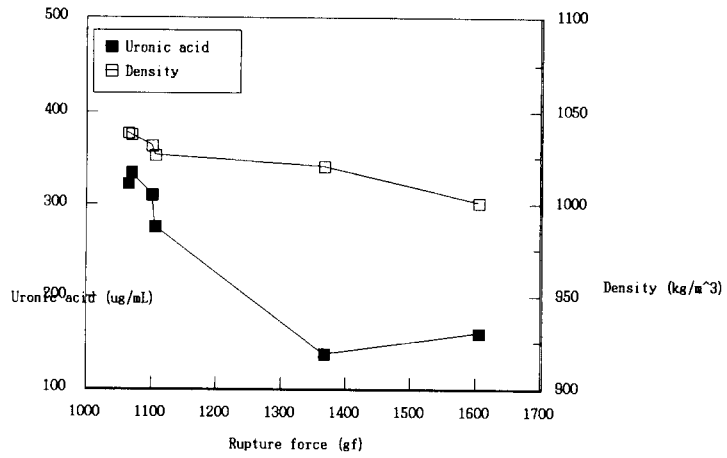


Fig. 11. The relationship of uronic acid and density with rupture force of tomato.

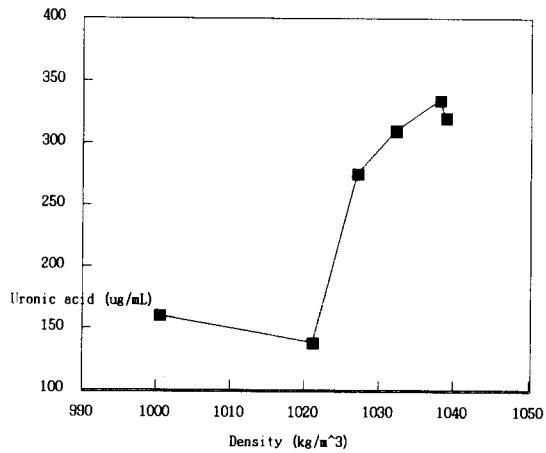


Fig. 12. The relationship of uronic acid with density of tomato.

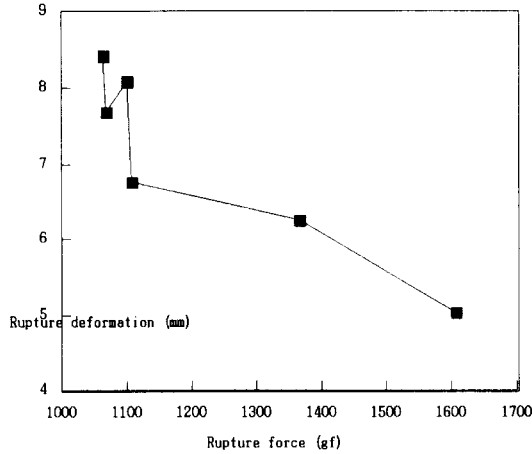


Fig. 13. The relationship of rupture deformation with rupture force of tomato.

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 극한력과 총고형분 함량은 감소하였다. 이러한 인자들은 상호간에 유의한 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

토마토의 경우에는 시간 경과에 따라 유의하게 변하는 인자는 과육의 밀도, 우론산 함량, 극한변형량 및 극한력인 것으로 나타났으며, 이러한 인자들은 상호간에 유의한 상관관계를 보였다. 특히, 과육의 밀도는 극한변형량 그리고 극한력과 매우 명확한 선형적 관계를 가지는 것으로 나타났다.

이와 같이 사과와 토마토는 신선도와 관련하여 상이한 물리화학적 특성을 보였으며, 신선도와 같은 내부 품질을 비파괴적으로 평가하기 위해서는 품목에 적합한 물리화학적 인자가 고려되어야 하는 것을 알 수 있다.

5. 참고문헌

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.
3. Arthey, V. D. 1975. *Quality of horticultural products*. Butterworths & Co Publisher, Ltd. London. p.89-90.
4. Arthey, D. and C. Dennis (ed.). 1991. *Vegetable Processing*. Blackie, Glasgow. p.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. NOESIS. 1991. A tutorial on image processing. Noesis Vision Inc., Quebec, Canada. p.149-166.
9. SAS. 1988. *SAS/STAT guide for personal computers, version 6.03*. SAS Institute, Inc., Cary, USA.
10. Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucker (ed.). 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London. p.17-24.
11. 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.