

## 감압저장 중 Tomato 과실의 당과 그에 관련되는 효소의 변화

강 우 원 · 최 종 욱 · 손 태 화

慶北大學校 食品加工學科  
(1984년 1월 12일 접수)

### Changes of Sugars and Their Related Enzymes in Tomato Fruits during the Storage of Subatmospheric Pressure

Woo-Won Kang, Jong-Uck Choi and Tae-Hwa Sohn

Department of Food Technology, Kyungpook National University  
(Received January 12, 1984)

#### Abstract

In this experiment, the changes in the components of carbohydrate and their enzyme activities were investigated to study the conversion of sugars in tomato under sub-atmospheric pressure storage.

The results obtained are as follows:

The soluble sugars in tomato fruits were, for the most part, fructose and glucose together with small quantity of sucrose and maltose. The content of fructose increased throughout the storage, while that of glucose increased at an early stage but decreased at the latter part, and that of sucrose decreased drastically with progress of storage.

The activity of  $\alpha$ -amylase and invertase playing important roles in conversion of sugars showed a rapid increase at onset of respiration climacteric, resulting that the content of total soluble sugar showed a tendency to decrease strikingly, whereas those of starch and sucrose to decrease rapidly. Thus, the effect of temperature was more pronounced than that of pressure.

#### 서 론

과실은 수확 후에도 추숙이 진행되어 착색 착향 및 연화등의 현상이 일어나며 이러한 일련의 추숙현상은 과실내 대사의 전환에 영향을 미치는 효소작용에 의한 내적요인과 외부환경으로 인해 일어나는 외적요인 등이 있다<sup>1)</sup>. Tomato 중에 포함되어 있는 탄수화물의 대부분은 단당류와 이당류로서 그중 주요

한 것은 glucose, fructose, sucrose 등인데 이들 당은 미숙과에서 볼 수 있는 starch의 분해에 의해 생육 후기에서 부터 수확 저장 중의 성숙기간 동안에 증대되는 경향이 있으며 또한 저장 중에는 호흡기질로 소비 되기도 한다<sup>2)</sup>. Davis 등<sup>3)</sup>은 tomato가 성숙함에 따라 starch함량 감소에 미치는  $\alpha$ -amylase의 역할에 대하여, Dinar 등<sup>4)</sup>은 tomato과실의 starch축적과 soluble solid사이의 관계를 설명하였고, Hobson 등<sup>5)</sup>

은 tomato의 성숙기간 동안 당 이동에 대하여, Yamaki 등<sup>1)</sup>은 배의 성숙과정 중 당의 변화와 그에 관련된 효소에 대하여 규명한 바 있으나 저장 중 당과 그 관련 효소의 변화에 대한 보고는 거의 찾아 볼 수 없기에 tomato의 저장성 규명을 위한 연구의 일환으로 최근 과실저장 방법의 새로운 시도로서 주목을 받고 있는 감압저장을 통하여 tomato과실의 저장물질인 starch와 호흡기질로 쓰이는 당 및 그에 관련되는 효소인  $\alpha$ -amylase와 invertase의 변화를 조사함과 아울러 생리작용의 지표가 되는 호흡량 정도 및 속도의 변화를 조사하였기에 보고하는 바이다.

**실험재료 및 방법**

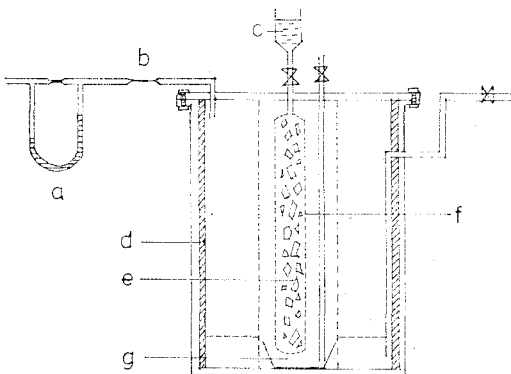
**1. 공시재료**

본 실험에 사용한 tomato는 대구시 불로동 소재 농원에서 노지재배한 「강력미수」를 녹색기일 때 수확하여 외관이 건진하고 중량이 150 g정도인 중과를 선별하여 공시재료로 하였다.

**2. 실험구분 및 장치**

손 등<sup>2)</sup>의 감압조절 장치를 사용하여 저장용기내의 온도 및 압력을 Table 1과 같이 구분하여 실시하였다.

저장용기는 Fig. 1과 같이 제작한 것을 사용하였다. 즉 용기내 통기량을 기체유량계와 porous plug로 조절하고 저장 중 KOH용액을 세절된 유리관이



a; Flow meter                      b; Porous plug  
 c; KOH solution                  d; Styrofoam  
 e; Splinters of glass  
 f; CO<sub>2</sub> Absorption apparatus  
 g; Plastic container

**Fig. 1. Diagram of storage chamber.**

**Table 1. Classification of experiment**

TMTS	Pressure (torr.)	Temp. (°C)	Note
Normal Atmospheric pressure	760	25	NAP-R
		15	NAP-L
Sub-atmospheric pressure	380	25	SAP-R
		15	SAP-L

채워진 탄산가스 흡수장치내로 간헐적으로 주입하여 호흡작용에 의해 생성되는 탄산가스를 흡수 제거하여 저장 중 탄산가스의 영향을 배제 하였다.

**실험 방법**

**1. 호흡량의 측정**

호흡량은 大久保<sup>3)</sup>의 방법에 준했다.

**2. 속도 측정**

속도는 Wu 등<sup>4)</sup>의 방법에 준하여 Table 2와 같이 구분하여 조사하였다.

**Table 2. Relation between color and ripening coefficient of tomato**

Color	Coefficient*
Green	1
Breaker	2
Pink	3
Red	4
Red ripe	5

\* In the rating system for ripening, a numerical value for color was according to Wu and Salunke<sup>5)</sup>

**3. 경도 측정**

경도는 Universal Hardness Meter(Kiya Co.)를 사용하여 측정하고 단위는 kg/cm<sup>2</sup>로 나타내었다.

**4. Starch 측정**

Starch측정은 Hassid와 Abraham<sup>15)</sup>의 방법에 따라 실시하였다.

**5. 효소액 조제**

Tomato과육부 40 g을 0.1 % K-ascorbate와 10

mM  $\beta$ -mercaptoethanol을 함유한 0.05 M phosphate buffer(pH 7.3) 20 ml와 마쇄 여과한 후 여액을 1000  $\times$ g에서 15분간 원심분리한 다음 상등액을 투석하여  $\alpha$ -amylase 효소액으로 하였고, 칩전물은 여과할 때 생긴 pulp와 합하여 1% Triton X-100을 함유한 0.05 M phosphate buffer(pH 7.3) 20 ml를 가하고 원심분리한 다음 투석하여 invertase 효소액으로 하였다.

## 6. 효소력 측정

### Invertase

0.01 M sucrose 용액 1 ml를 정확히 시험관에 취하고 0.01 M acetate buffer(pH 4.5) 1 ml와 증류수 0.8 ml를 가하여 30°C에서 2~3분 예운한 다음 같은 방법으로 예운된 효소액 0.2 ml를 첨가하여 전용량이 3 ml되게 하였다.

30°C에서 10분간 반응시킨 후 효소작용에 의해 생성된 reducing group을 Nelson-somogyi법에 준하여 500 nm에서 비색측정하였다.

이때 효소활성 1 unit는 1시간에 1  $\mu$  mole의 glucose를 활성화시키는 효소량으로 정하였다.

### $\alpha$ -amylase

0.4% starch 용액 1 ml, 0.01 M K-phosphate buffer(pH 6.5) 1 ml, 효소액 1 ml를 각각 invertase 측정법과 동일하게 처리한 다음 30°C에서 30분간 반응시킨 후 1 N-acetic acid 0.2 ml를 가하여 반응을 중지시킨다. 여기에 다시  $I_2$ -KI 용액 2 ml를 가하고 증류수로 8 ml가 되게 하여 575 nm에서 비색측정하였다. 이때 효소활성 1 unit는 1시간에 흡수율이 10% 감소하는 효소량으로 정하였다.

### 당 정량

당 정량은 High-performance liquid chromatography에 의하여 정량하였다. 즉 tomato 과육부 50 g을 취하여 최종농도가 80%가 되게 순수 ethanol을 가하여 homogenize한 후 환류냉각장치가 부착된 열탕에서 40~60분 정도 끓여서 감압여과하고 여액을 rotary evaporator로 농축한 것을 증류수로 씻어 50 ml에 정용하고 pre-filtration(Toyo. No.2)한 후 0.45  $\mu$  membrane filter로 여과한 것을 High-performance liquid chromatography 시료로 하였다.

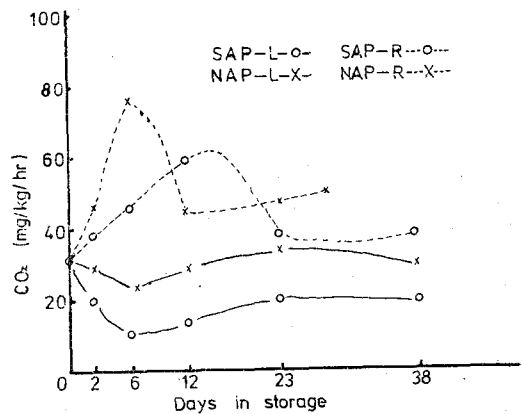
High-performance liquid chromatography로 분리된 각 chromatogram은 같은 조건에서 표준당(Merck계)의 retention time과 비교하여 동정하였으며 이때 분석조건은 Table 3과 같다. 동정된 각 chromatogram의 면적은 반직폭법으로 구한 다음 standard curve에서 그 함량을 구하였다.

**Table 3. Instrument and operating conditions high-performance liquid chromatography**

Instrument	Water model 244
Solvent	Acetonitril-H <sub>2</sub> O(80:20, v/v)
Detector	R. I.
Column	Carbohydrate analysis(3.9 mm $\times$ 30 cm)
Temp.	Ambient
Flowrate	2 ml/min
Chart speed	5 mm/min
Sample size	10 $\mu$ l

## 결과 및 고찰

생리작용의 지표가 되는 호흡량의 변화를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다.



**Fig. 2. Changes of CO<sub>2</sub> production during the storage of tomato fruits.**

Fig. 2에서 보는 바와 같이 저장기간 중 저온구가 상온구보다, 감압구가 상압구보다 낮은 값을 보였으며 preclimacteric 및 climacteric maximum에 이르는 시기에도 많은 차이가 있었음을 명백히 알 수 있었다. 즉 상온상압구에서는 약 6일경에, 상온감압구에서는 15일경에, 저온구에서는 25일경에 climacteric maximum에 도달하였음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로 미루어 저온이나 감압이 tomato의 추숙을 억제 또는 지연시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

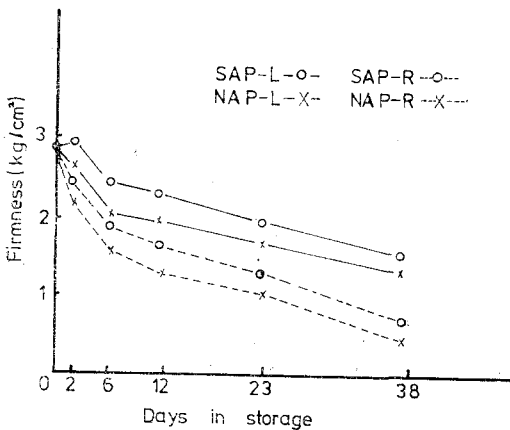
과실 신선도판단의 지표가 되는 속도변화를 조사한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서 보는 바와 같이 저온구가 상온구보다, 감압구가 상압구보다 속도 진전이 억제되었으며

**Table 4. Effect of subatmospheric pressure storage on the ripening behavior of tomatoes**

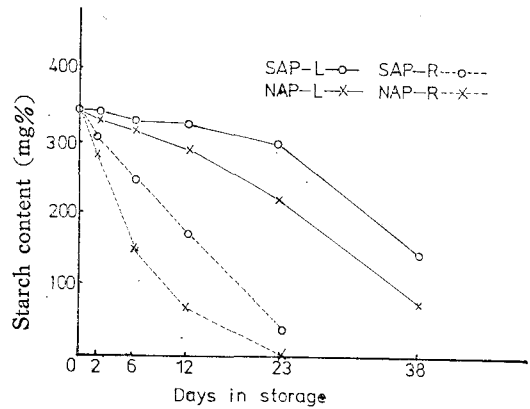
TMTS	Days in storage				
	2	6	12	23	38
NAP-R	1	2.6	3.4	4.6	
SAP-R	1	1.9	3.1	4.0	4.2
NAP-L	1	1.6	2.1	2.8	4.0
SAP-L	1	1.2	1.8	2.6	3.7

상온상압구에서는 저장 6일경에 2.6으로 이미 착색이 시작되었고, 저온감압구에서는 저장 23일 경에야 비로소 2.6으로 착색이 시작하였다. 이러한 속도의 지연효과는 과실체내의 색소성분의 대사가 감압처리와 저온처리로 상당히 억제되었기 때문에 일어난 것으로 생각되며 Wu<sup>9)</sup>등의 보고서에서도 이와 유사한 경향을 볼 수 있다.



**Fig. 3. Changes of firmness during the storage of tomato fruits.**

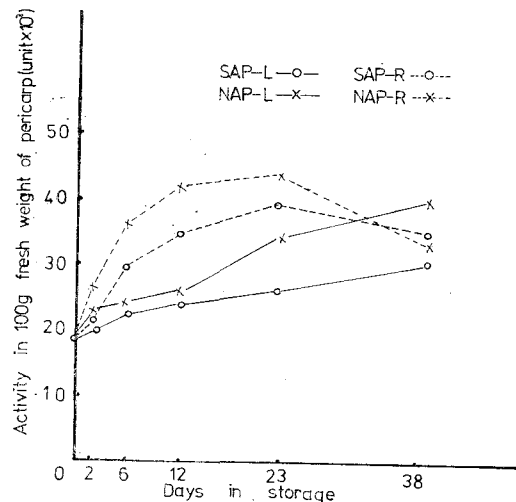
Fig. 3은 저장 중 경도의 변화를 나타낸 것으로서 저장초기에 2.84 kg/cm<sup>2</sup>이었던 것이 저장일수가 경과함에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 그 감소폭은 상온상압, 상온감압, 저온상압, 저온감압구의 순으로 컸다. 이와 같이 감압구에서 경도 감소가 상압구보다 완만함은 감압하에서는 추숙 hormone인 ethylene의 제거가 용이함과 저산소 농도가 원인이 되어 과실의 호흡이 억제되는 결과로 생각된다. 또한 저온구에서 경도의 감소가 완만한 것은 tomato과실의 세포벽을 구성 하는 물질인 pectin의 가용화에 영향을 미치는 pectinesterase의 활성이 저온저장에서는 억제된다는 보고<sup>10)</sup>와 일치함을 보였다. 저장 중 starch함량의 변화는 Fig. 4에서 보는 바



**Fig. 4. Changes of starch content during the storage of tomato fruits.**

와 같이 저장초기에 0.34 %이던 것이 저장일수가 경과함에 따라 급격히 감소하였고 그 감소폭은 상온상압구, 상온감압구, 저온상압구, 저온감압구의 순으로 컸으며, 상압구에서는 저장 23일경에 starch가 거의 소실된 반면 저온구에서는 저장말기까지도 상당량 잔존해 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 저온감압구에서 starch분해가 지연된 것은 감압이나 저온으로 호흡이 억제되어(Fig. 2) 호흡기질의 소모 및 영양물질의 전류가 완만함을 나타낸 것으로 생각된다. Starch의 분해에 관여한다고 알려진  $\alpha$ -amylase와 starch phosphorylase중에서  $\alpha$ -amylase의 활성변화를 조사한 결과는 Fig.5와 같다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 저장 중 starch가 감소



**Fig. 5. Changes of  $\alpha$ -amylase activities during the storage of tomato fruits.**

함에 따라  $\alpha$ -amylase활성은 증가하였는데 상온구는 저장초기에 활성이 급증하다가 저장말기에 약간 감소하는 경향이였으며, 저온구에서는 저장전반에 걸쳐 완만히 증가하는 경향을 보였다. 이것을 앞서 조사한 호흡량의 변화와 비교해 보면 climacteric시기와  $\alpha$ -amylase가 급증하는 시기는 일치하는 경향을 알 수 있었는데 Dinar 등<sup>4)</sup>은 climacteric rise시기에  $\alpha$ -amylase나 invertase가 급격히 증가하여 환원당을 축적한다고 하였으며 Mao 등<sup>11)</sup>도 banana에서 이와 유사한 결과를 얻고 있다.

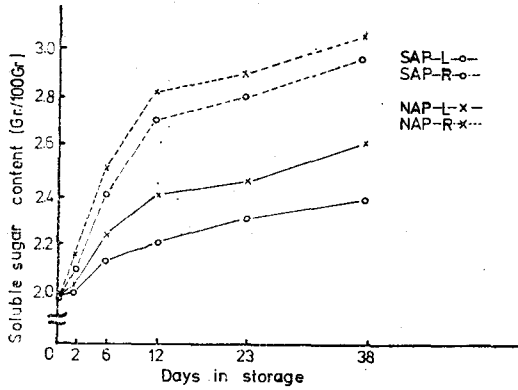


Fig. 6. Changes of sugar content during the storage of tomato fruits.

Fig. 6은 저장 중 total soluble sugar의 변화를 나타낸 것으로 저장초기에 1.98 %이었던 것이 저장일수가 경과함에 따라 급격히 증가하였으며 상온구에서는 저장말기에 약 3 %가 존재하였고, 저온구에서는 2.4 %로서 그 증가폭은 상압구가 더 큼을 알 수 있었다. 그리고 감압저온구가 상압상온구에 비해 함량이 다소 적었으며 압력에 의한 차이보다 온도에 의한 차이가 더 크게 나타났다. 앞서 조사한 starch함량과 total soluble sugar함량을 비교해 볼 때 starch가 상온구에서 0.34 %이던 것이 저장 중 모두 소실되었는데 당은 저장기간을 통하여 약 1 %정도 증가한 것으로 미루어 starch가 만족 할 만한 당의 전구체가 되지 못하고 있는 것 같다.

Dinar 등<sup>4)</sup>은 단당류는 starch외에 저장 탄수화물인 insoluble residue로부터 유도된 것으로 추측하고 있다. 그리고 당의 변화가 저장말기까지 증가하는 것으로 미루어 당이 호흡기질로 이용되는 것이 많지 않을 것으로 생각된다.

Fig. 7은 저장중 sucrose함량의 변화를 나타낸 것으로 저장말기에 약 0.12 % 정도이었으나 저장일수가 경과함에 따라 급격히 감소하였으며, 상온구에서

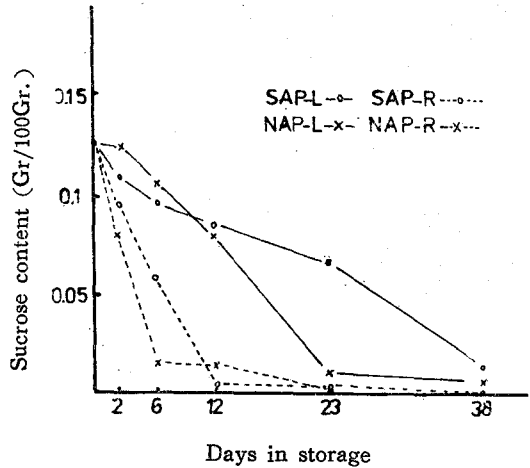


Fig. 7. Changes of sucrose content during the storage of tomato fruits.

는 저장초기에 급격히 감소하여 저장 12일 이후에는 거의 존재하지 않았고, 저온구에서는 저장전반에 걸쳐 점차적인 감소를 보이고 있다. Walker 등<sup>6)</sup>은 tomato에서 sucrose농도는 carbon translocation rate와 carbon metabolism에 중요한 역할을 한다고 하였으며 또한 이것은 온도에 의한 영향이 크며 저온이 상온보다 sucrose분해가 억제된다고 보고한 바 있다.

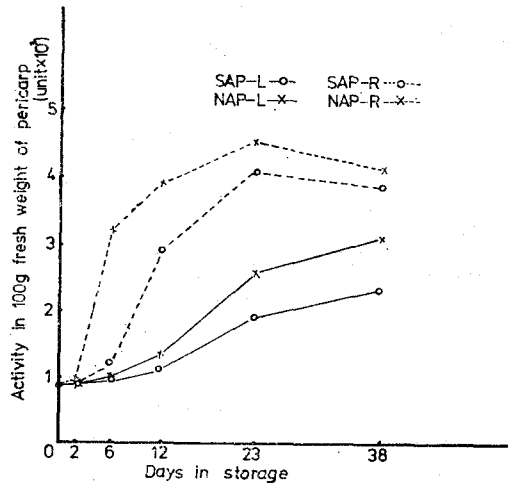


Fig. 8. Changes of invertase activities in cell walls fraction during the storage of tomato fruits.

Fig. 8은 저장중 invertase( $\beta$ -D-fructofuranoside fructohydrolase, E.C. 3, 2, 1, 26.) activity의 변화를 나타낸 것으로 저장초기에 약 900 unit이던 것이 저장일수가 경과함에 따라 전반적으로 증가하는

경향이였으며 상온구에서는 저장초기에 급격히 증가하였고 저장말기에 약간 감소하는 경향이였으나 저온구에서는 저장전반에 걸쳐 점차적으로 증가하는 경향이였다. 여러 연구자들<sup>12~14)</sup>은 tomato의 세포벽에 주로 존재하는 invertase의 활성도가 증가함에 따라 조직내 sucrose농도가 감소하며 hexose농도가 증가한다고 보고하고 있다.

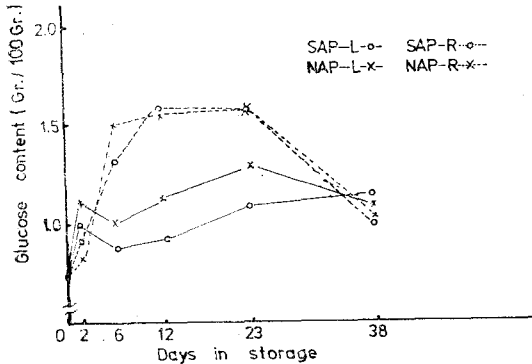


Fig. 9. Changes of glucose content during the storage of tomato fruits.

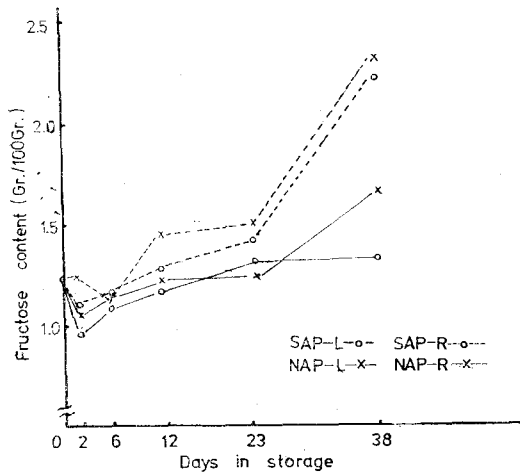


Fig. 10. Changes of fructose content during the storage of tomato fruits.

Fig. 9, Fig. 10은 저장 중 glucose함량과 fructose 함량의 변화를 나타낸 것으로 glucose는 저장초기에 0.7% 정도이던 것이 상온구에서는 저장초기에 급격히 증가하였고 저장말기에는 감소하는 경향이였으며, 저온구는 저장전반에 걸쳐 다소 증가하는 경향이였다. 한편 fructose는 전반적으로 glucose함량보다 다소 높은 함량을 보였으며 저장 23일까지는 저온구나 상온구 모두 그 함량에는 큰 차이가 없었으나 저장 말기에 상온구가 급격히 증가하여 2% 이상의 함량을

보였다.

요 약

감압 저장 중 tomato과실에서 일어나는 당전환의 일부를 조사 하고자 저장기간을 통하여 탄수화물의 성분과 그들에 관련된 효소활성 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

tomato과실에 함유되어 있는 soluble sugar의 대부분은 fructose glucose이며 소량의 sucrose와 maltose가 존재하였다. 이들의 저장 중 변화를 살펴보면 fructose는 저장전반에 걸쳐 증가하는 경향이였고, glucose는 저장초기에 증가하다가 저장말기에 약간 감소하였으며 sucrose는 저장시일이 경과함에 따라 급격히 감소하는 경향이였다.

당전환에 중요한 역할을 하는  $\alpha$ -amylase와 invertase의 활성은 climacteric onset 시기에 급격히 증가하였으며 이로 인하여 이 시기에 total soluble sugar는 급격히 증가하는 반면 기질인 starch와 sucrose는 현저히 감소하는 경향이였다. 이러한 경향은 압력에 의한 영향보다 온도에 따른 영향이 더 크게 나타났다.

문 헌

- Ogura, N., Nagawa, H. and Jakehana, H.: *J. Agr. Chem.*, **49**, 189(1975)
- 岡本長夫: 果實의 CA貯藏, 植物의化學調節, **5**, 168(1970)
- Davis, J.N. and Cocking, E.C.: *Planta*, **67**, 242(1965)
- Dinar, M. and Stevens, M.A.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **106**, 415(1981)
- Hobson, G.E. and Davies, J.N.: *The tomato*, **2**, 437(1971)
- Shohei Yamaki, S.: *Bull. Fruit Tree Res.*, **6**, 15 (1979)
- 손태화: 영남대학교 대학원 박사학위논문, (1975)
- 大久保増太郎: 日園學誌, **37**(3), 72(1968)
- Wu, N.T., Jadhav, S.T. and Salunke, D.K.: *J. Food Sci.*, **37**, 952(1972)
- 小倉長雄, 中川弘毅, 竹花季太郎: 日農化誌, **49**, 271(1975)

11. Mao, W.W.: *J. Food Sci.*, **46**, 1400(1981)
12. Jakehama, H. : *Tech. Bull. Fac. Hortic. Chiba Univ.*, **18**, 67(1970)
13. Nakagawa, H. : *Agr. Biol. Chem.*, **39**, 1(1975)
14. Manning, K. and Maw, G.A. : *Phytochemistry*, **14**, 1965(1975)
15. Hassid, W.Z. and Abraham, S. : *Methods in Enzymology*, Academic Press, N.Y., **3**, 38 (1957)