

에틸렌 처리가 토마토 후숙관련 색도 발현 촉진에 미치는 영향

이 귀 현

강원대학교 농업공학부

Effects of Ethylene Treatment on Stimulating the Color Development Related to Postharvest Ripening of Tomatoes

Gwi-Hyun Lee

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University

Abstract

A study was carried out to investigate the optimum conditions of ethylene concentration and treatment temperature associated with stimulating the color development of tomatoes harvested at the maturity state of mature-green. In the case of Apollo tomatoes, the ethylene concentrations of 50ppm, 100 ppm, and 200 ppm did not affect considerably the values of color difference(ΔE) under all treatment temperatures(15, 20 and 30°C). However, at all the ethylene concentration used, treatment temperature of 15 or 20°C was found to be more effective than 30°C in increasing the ΔE by the accelerated color development. In the case of Sanches tomatoes, at all the ethylene concentration used, treatment temperature of 20°C was found to be more effective than 15 and 30°C in increasing the ΔE by the stimulated color development.

Key words: tomato, ethylene, color development, tomato ripening

서 론

우리나라에서 상품화되고 있는 토마토의 많은 량이 토마토 전 표면의 10% 이상이 붉은 색으로 착색되었을 때 수확하는 것이 일반적이다. 이러한 속도 단계의 토마토는 조직이 무르기 때문에 수확할 때 손상율이 크게 되며, 시장으로 운송되는 동안 표면 손상으로 인하여 손실량이 대단히 많게 된다. 또한 이러한 토마토는 약 3~5일 이내에 전 표면이 붉은 색으로 변하게 되므로 짧은 기간내에 소비자에게 판매되어야 하는 단점이 있다. 토마토의 수확이 숙성된 녹색 상태(녹숙기)에서 행해진다 면 이러한 수확 및 운송시의 손실을 줄일 수 있으며, 또한 수확기간의 단축으로 인한 작물의 관리비를 줄일 수 있는 이점도 있다. 그러나, 녹숙기에 수확된 토마토는 수확후 유통 및 판매기간 동안 균일하게 착색되어 상품성이 높은 상태로 소비자에게 판매되어야 한다. 그러므로, 녹숙기에 수확된 토마토의 이러한 문제를 해결

할 수 있는 수확 후 처리 기술의 한 방법은 에틸렌을 사용하는 것이며, 토마토를 적절한 온도 환경에서 적당한 농도의 에틸렌을 처리하여 균일하게 색도 발현을 촉진시켜 출하함으로써 상품성을 높일 수 있다.

과채류는 수확 후에도 살아 있기 때문에 호흡작용을 계속하여 열, 탄산가스 및 물이 발생한다. 과채류 중에는 수확후의 완숙기 직전에 호흡 급승(climacteric rise)이 있는 것과 그렇지 않는 것이 있다. 전자를 climacteric형이라 하며 후자를 non-climacteric형이라고 한다. 이 호흡 속도는 과채류의 발육도 및 속도 외에 저장온도 및 환경 공기의 조성에 의하여 크게 영향을 받는다. 호흡 급승형 과채류의 성숙 과정에서 나타나는 중요한 변화 현상은 에틸렌 가스 생성량의 급격한 증가이다(Haard와 Salunkhe, 1975; Lyons와 Pratt, 1964; Reid, 1992). 에틸렌은 식물 호르몬으로 인정되고 있으며, 이것은 식물의 성장을 조절하고 과일을 숙성시키는 중요한 물질로 간주되고 있다(Abeles *et al.*, 1992; Goodenough, 1986). 이러한 에틸렌은 광범위하게 원예산물의 숙성현상에 직간접적으로 영향을 미치고 있으며, 이 호르몬의 생합성 및 작용에 대한 연구

Corresponding author: Gwi-Hyun Lee, Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

가 활발하게 진행되고 있다(Jeffery *et al.*, 1984; Yang, 1985). 토마토는 호흡 급승형 과채류의 대표적인 것으로 외부 환경에 적당한 농도의 에틸렌을 주입함으로써 과일로부터 에틸렌 및 이산화탄소 발생량의 급격한 증가를 유도하여 후숙을 촉진시킬 수 있다(Kada, 1992).

토마토의 색소 합성은 온도에 따라서 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉 30°C 이상의 온도에서는 토마토의 리코펜 색소 합성이 억제되며, 이러한 온도에서는 에틸렌 합성을 위한 효소의 활성이 크게 억제되기 때문인 것으로 보여진다(Sayre *et al.*, 1953; Tomes, 1963). 또한, 토마토의 호흡율도 30°C 이상의 온도에서는 크게 억제되며(Inaba and Chachin, 1989), 이러한 온도에서는 외부환경에 에틸렌을 주입하여도 토마토의 리코펜 색소 합성 촉진에 효과가 없는 것으로 알려져 있다(Yang *et al.*, 1990). 그러나, 토마토의 리코펜 색소 합성을 위한 적절한 온도 범위는 15~25°C 인 것으로 보고되었다(Khudairi, 1972). 그러므로, 이러한 연구 결과로 볼 때 적절한 온도에서 적정 농도의 에틸렌을 처리함으로써 토마토 색도의 발현 촉진을 극대화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

지금까지 대부분의 연구는 에틸렌 처리 또는 처리 온도의 한 요인이 토마토 후숙 촉진에 미치는 영향에 대해 중점을 두었으나, 에틸렌 처리 농도와 처리 온도의 혼합적 효과가 토마토의 후숙 촉진에 미치는 영향에 대한 연구가 부족하다. 그러므로, 본 연구의 목적은 에틸렌 처리 농도와 처리 온도의 혼합적 효과를 연구하여 녹숙기에 수확된 토마토의 색도 발현을 촉진시키는데 있어 최적의 에틸렌 농도 및 온도환경 조건을 구명하는데 있다.

재료 및 방법

실험에 사용된 토마토는 아폴로 및 산체스의 2종류였으며, 크기가 균일하고 손상이 없는 전 표면이 녹색 상태인 숙성된 녹숙기의 토마토를 선별하여 실험재료로 사용하였다. 에틸렌 처리는 서로 다른 온도에서 아폴로 및 산체스 토마토 모두 2일 동안 행해졌다. 에틸렌 처리 2일 후 아폴로 토마토는 5일, 산체스 토마토는 6일 동안 서로 다른 온도에 저장되었다. 에틸렌 처리 및 온도가 토마토의 색도 발현에 미치는 영향을 조사하기 위해 에틸렌 처리 후 저장기간 동안 1일 간격으로 토마토의 색도를 측정하였다. 실험계획은 3 수준의 처리온도 및 4 수준의 에틸렌 처리 농도를 사용한 3×4 요인 실험이었다. 에틸렌 처리농도는 50 ppm, 100

ppm, 200 ppm, 대조구(Control) 였으며, 처리온도는 15°C, 20°C, 30°C였다.

에틸렌 처리는 4.5 l의 유리병에 실험재료를 넣고 밀폐시킨 후 순도 99.9%의 에틸렌을 병마개의 중앙에 설치된 고무마개(Rubber stopper-ID×OD: 7×13 mm)를 통하여 1 mL주사기로 농도에 맞는 적정량을 주입함으로써 행해졌다. 에틸렌 주입 1일 후 유리병의 마개를 열고 유리병내의 에틸렌 혼합 공기를 신선한 공기로 대체한 후 병마개를 막고 다시 위와 같은 방법으로 에틸렌을 주입하여 2일 동안 에틸렌 처리를 하였다. 에틸렌 처리 농도는 유리병의 공기량과 주입되는 에틸렌의 체적비로 계산하였다. 에틸렌 처리 2일 후 유리병 마개를 제거한 상태에서 유리병 내의 토마토를 항온항습기에 저장하였다. 에틸렌 처리 및 처리 후 토마토의 저장을 위해 일정한 온도에서 상대습도 85%로 설정된 디지털 항온항습기(HJ-9011/3, Heung Jin Testing Machine Co., LTD., Korea)를 사용하였다. 또한, 일부의 토마토는 대조구로서 에틸렌 처리 없이 서로 다른 온도의 항온항습기에 저장되었다.

토마토의 색도 측정은 아폴로의 경우 실험 전 토마토 주위에 약 직경 2 cm의 원 3개를 유성펜으로 표시하였으며, 이러한 원 안의 색도를 실험기간동안 연속적으로 측정 및 평균하여 토마토 한 개의 색도값을 나타내었다. 산체스 토마토의 색도 값은 한 지점에 원을 표시하여 아폴로 토마토와 같은 방법으로 측정하였다. 처리당 아폴로 토마토는 4개였으며, 산체스 토마토는 10개가 사용되었다.

토마토의 색도 측정은 색도계(CR-200, Japan)를 사용하여 L, a, b 값을 측정하였고, 색도차(ΔE)를 다음식에 의해 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

색도차(ΔE)는 실험 초기의 토마토 색도를 기준으로 하여 각 색도 측정치에 대해 계산하였다. 아폴로 토마토의 경우는 에틸렌 처리 후 저장 5일째, 산체스 토마토는 저장 6일째 날의 색도차, ΔE를 통계분석하여 토마토 색도 발현 촉진에 미치는 에틸렌 처리 농도 및 처리 온도의 효과를 조사하였다(SAS Institute, Inc., 1991).

결과 및 고찰

아폴로 토마토 색도 발현 촉진 연구

에틸렌 처리농도 및 처리온도가 토마토의 색도 발현 촉진에 미치는 효과를 조사하기 위해 에틸렌 처리

Table 1. Main effect of treatment temperature on color difference (ΔE) of tomatoes

| Treatment | ΔE |
|-----------|------------|
| 15°C | 24.91 a |
| 20°C | 25.68 a |
| 30°C | 14.59 b |

[†]Mean separation within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 16 observations.

Table 2. Main effect of ethylene concentration on color difference (ΔE) of tomatoes

| Treatment | ΔE |
|-----------|------------|
| 50 ppm | 22.69 a |
| 100 ppm | 22.80 a |
| 200 ppm | 22.64 a |
| Control | 18.80 b |

[†]Mean separation within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 12 observations.

Table 3. Interactive Effects of ethylene concentration and treatment temperature on color difference (ΔE) of tomatoes

| Ethylene | Temperature | | |
|----------|-------------|---------|---------|
| | 15°C | 20°C | 30°C |
| 50 ppm | 26.79 a | 26.75 a | 14.51 a |
| 100 ppm | 26.66 a | 26.98 a | 14.75 a |
| 200 ppm | 26.58 a | 26.73 a | 14.62 a |
| Control | 19.63 b | 22.28 b | 14.49 a |

[†]Mean separation within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 4 observations.

및 저장 7일째 되는 날의 색도차(ΔE)를 분산분석 한 결과, 처리온도 및 에틸렌 처리 농도는 주 효과와 교호작용을 나타내었다. 그러므로, 처리온도 및 에틸렌 처리 농도에 대한 주 효과(Table 1, Table 2)와 교호작용(Table 3)을 통계분석 하였다. Table 1과 같이 처리 온도 15°C 및 20°C가 토마토의 색도차(ΔE)에 미치는 영향은 같았으나, 처리온도 30°C에 비해 큰 영향을 미쳤다. 즉, 온도 15°C 및 20°C에서 에틸렌 처리할 때가 30°C에서 처리 할 때 보다 색도 발현 촉진에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한, Table 2에 나타난 것과 같이 토마토의 색도차(ΔE)에 미치는 에틸렌 처리 농도(50 ppm, 100 ppm, 200ppm)간의 유의차는 없었으나, 에틸렌 처리가 대조구 보다는 큰 효과를 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때 실험에 사용된 어떤 에틸렌 처리 농도든 에틸렌을 처리하는 것이 처리하지 않는 것 보다 토마토의 색도 발현 촉진에 큰 효과를 미치는 것으로 나타났다.

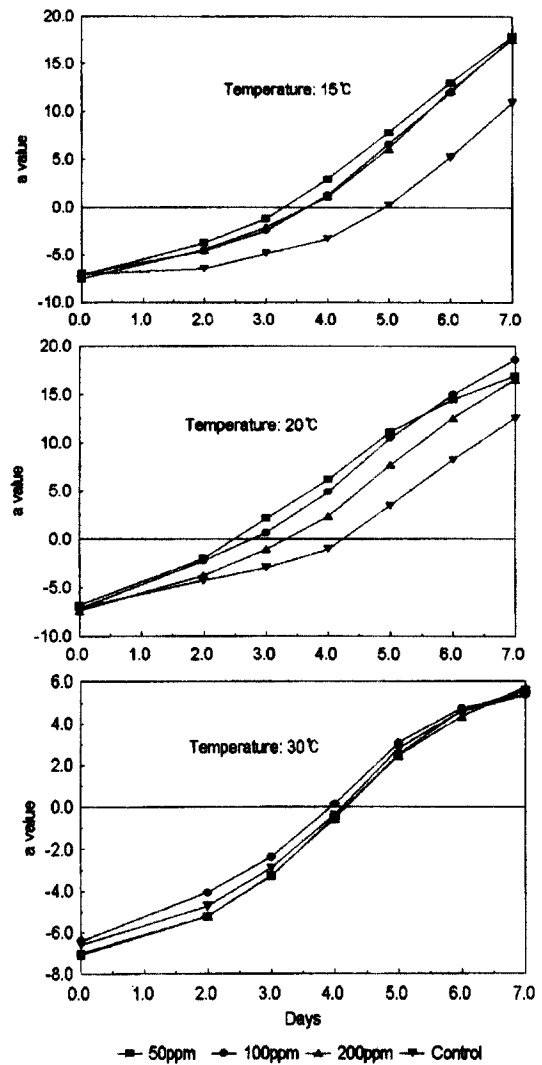


Fig. 1. The effects of ethylene concentration and treatment temperature on the change in a value of tomatoes.

Table 3의 교호작용을 분석한 결과를 보면 저장온도 15°C 및 25°C에서는 에틸렌 처리가 대조구에 비해 토마토의 색도차(ΔE)에 크게 영향을 미쳤으나, 저장온도 30°C에서는 에틸렌 처리 효과가 없음을 나타내었다. 이러한 결과를 종합해보면 에틸렌 처리 농도간에는 토마토의 색도 발현 촉진에 미치는 영향에 큰 차이를 보이지 않았으나, 어떤 에틸렌 처리농도든 15°C 및 20°C의 온도에서 에틸렌 처리하는 것이 토마토의 색도 발현 촉진에 큰 효과가 있음을 나타내었다. 그러므로, 본 연구 결과는 Kader *et al.* (1997)이 보고한 것과 같이 적절한 온도에서 에틸렌을 처리하면 숙숙기에 수확된 토마토의 색도 발현 촉진으로 후숙 기간의 단축 효과

를 가져올 수 있음을 잘 나타내고 있다.

에틸렌 처리 농도 및 처리온도가 토마토의 색도 값 a의 변화에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었으며, 적색의 정도를 나타내는 a 값의 크기에 미치는 에틸렌 농도간 처리효과의 차이는 크지 않았다. 그러나, 처리온도가 15°C 및 20°C였을 때 에틸렌 처리가 대조구에 비해 토마토의 a 값을 증가시키는데 매우 큰 효과를 보였다. 또한, 처리온도가 30°C였을 때는 에틸렌 처리가 토마토의 a 값을 증가시키는데 효과가 없었으며, 대체로 a 값의 크기가 15°C 및 20°C에서 에틸렌 처리된 토마토에 비해 매우 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 15°C 및 20°C에서 에틸렌 처리될 때 토마토의 적색 색소인 리코펜이 발달되었지만(Khudairi, 1972), 30°C의 높은 처리온도에서는 리코펜 발달이 억제되어 에틸렌 처리 효과가 없었기 때문인 것으로 사료된다(Buescher와 Doherty, 1998; Paz et al., 1981). 이러한 결과를 종합하면 어떤 처리온도에서도 에틸렌 처리 농도간에는 토마토의 a 값 변화에 큰 영향을 미치지 않았으나, 실험에 적용된 어떤 에틸렌 처리농도에서든 15°C 및 20°C의 온도에서 에틸렌 처리하는 것이 30°C 보다 색도 발현 촉진으로 인한 아폴로 토마토의 a 값 증진에 효과적인 것으로 나타났다.

산체스 토마토 색도 발현 촉진 연구

에틸렌 처리농도 및 처리온도가 산체스 토마토의 색도 발현 촉진에 미치는 효과를 조사하기 위해 에틸렌 처리 및 저장 8일째 되는 날 색도차(ΔE)를 통계 분석

Table 4. Main effect of treatment temperature on color difference (ΔE) of tomatoes

| Treatment | ΔE |
|-----------|---------|
| 15°C | 11.76 a |
| 20°C | 26.69 b |
| 30°C | 15.97 c |

Mean separation within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 40 observations.

Table 5. Main effect of ethylene concentration on color difference (ΔE) of tomatoes

| Treatment | ΔE |
|-----------|---------|
| 50 ppm | 19.10 a |
| 100 ppm | 19.64 a |
| 200 ppm | 20.05 a |
| Control | 14.69 b |

Mean separation within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 30 observations.

한 결과 에틸렌 처리 농도 및 처리온도에 대한 주 효과가 나타났다. 그러나, 각 각의 에틸렌 처리농도에 있어서 처리온도간에 토마토 색도차에 미치는 효과(교호작용)는 없었다. 그러므로, 저장온도 및 에틸렌 처리농도에 대한 주 효과를 분석한 결과를 Table 4 및 Table 5에 나타내었다. Table 4에서와 같이 각 각의 처리온도가 색도차에 미치는 효과는 크게 달랐으며, 20°C, 30°C, 15°C 순서로 색도차에 영향을 미쳤다. 또한, Table 5에 나타낸 것과 같이 에틸렌 처리 농도간에는 색도차에 크게 영향을 미치지 않았으나, 대조구에 비해 큰 영향을 보였다. 이러한 결과로 볼 때 20°C의 처리온도가 산체스 토마토의 색도 발현 촉진에 가장 효과적이었으며, 실험에 적용된 어떤 농도든 에틸렌 처리는 토마토 색도 발현 촉진에 영향을 주었다.

Fig. 2는 에틸렌 처리농도 및 처리온도가 토마토의

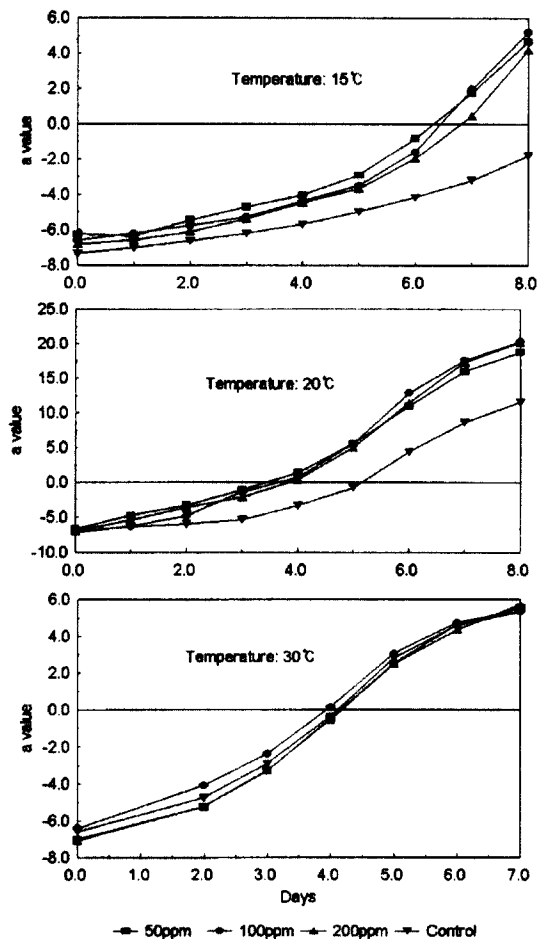


Fig. 2. The effects of ethylene concentration and treatment temperature on the change in a value of tomatoes.

색도 값 a의 변화에 미치는 영향을 나타내고 있다. 모든 저장온도에서 적색의 정도를 나타내는 a 값의 크기에 미치는 에틸렌 처리 효과는 대조구에 비해 매우 컸으나, 에틸렌 처리농도간에는 a 값에 미치는 영향이 크지 않았다. 색도 값 a의 변화에 미치는 에틸렌 처리 효과는 저장온도가 20°C였을 때가 15°C 및 30°C였을 때 보다 매우 좋았다. 이러한 결과는 20°C의 저장온도에서 에틸렌 처리될 때는 토마토의 적색 색소인 리코펜의 발달이 크게 촉진되었으나 상대적으로 저온인 15°C 및 고온인 30°C의 저장온도에서는 에틸렌 처리가 토마토의 리코펜 발달에 크게 영향을 주지 못한 결과로 사료된다(Yang *et al.*, 1990). 이러한 결과를 종합해보면 어떤 에틸렌 농도든 20°C의 온도에서 처리하는 것이 산체스 토마토의 a 값 변화에 크게 영향을 미쳐 토마토의 색도 발현 촉진에 효과적인 것으로 나타났다.

요 약

녹숙기에 수확된 토마토의 색도 발현을 촉진시키는 데 있어 최적의 에틸렌 농도 및 온도환경 조건을 조사하였다. 아폴로 토마토의 경우 어떤 처리온도(15°C, 20°C, 30°C)에서도 에틸렌 처리 농도간에는 토마토의 색도차(ΔE) 값 변화에 큰 영향을 미치지 않았으나, 실험에 적용된 어떤 에틸렌 처리농도(50 ppm, 100 ppm, 200 ppm)든 15°C 및 20°C의 온도에서 에틸렌 처리하는 것이 30°C에서 처리하는 것보다 색도 발현 촉진으로 인한 토마토의 색도차(ΔE) 및 a 값 증가에 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 산체스 토마토의 경우는 어떤 에틸렌 농도(50 ppm, 100 ppm, 200 ppm)에서든 20°C의 온도에서 처리하는 것이 15°C 및 30°C에서 처리하는 것보다 토마토의 색도차(ΔE) 및 a 값 증가에 크게 영향을 미쳐 토마토 색도 발현 촉진에 효과적인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행한 농림수산특정연구사업의 연구결과 중 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

Abeles, F.B., P.W. Morgan, and M.E. Saltveit, Jr. 1992.

- Ethylene in Plant Biology*. 2nd ed. Academic Press, Inc., San Diego, CA
- Buescher R.W. and J.H. Doherty. 1978. Color development and carotenoid levels in rin and nor tomatoes as influenced by ethephone, light and oxygen. *J. of Food Sci.* **43**: 1816-1818, 1825
- Goodenough, P.W. 1986. A review of the role of ethylene in biochemical control of ripening in tomato fruit. *Plant Growth Regul* **4**: 125-137
- Haard, N.F. and D.K. Salunkhe. 1975. *Postharvest Biology and Handling of Fruits and Vegetables* AVI Publishing Company, Inc., Westport, Conn., USA
- Inaba, M. and K. Chachin. 1989. High-temperature stress and mitochondrial activity of harvested mature-green tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**(5): 809-814
- Jeffery, D., C. Smith, P. Goodenough, I. Prosser, and D. Grierson. 1984. Ethylene-independent and ethylene-dependent biochemical changes in ripening tomatoes. *Plant Physiol.* **74**: 32-38
- Kader, A.A. 1992. Postharvest biology and technology: an overview. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. A. A. Kader(ed.). Univ. of California, Davis, CA, USA. pp15-20
- Kader A.A., M.A. Stevens, M. Albright-Holton, L.L. Morris, and M. Algazi. 1997. Effect of Fruit Ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **102**(6): 724-731
- Khudairi, A.K. 1972. The ripening of tomatoes. *Amer. Sci.* **60**: 696-707
- Lyons, J.M. and H.K. Pratt. 1964. Effects of stage of maturity and ethylene treatment on respiration and ripening of tomato fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **84**: 491-500
- Paz, O., H.W. Janes, B.A. Prevost, and C. Frenkel. 1981. Enhancement of fruit sensory quality by post-harvest applications of acetaldehyde and ethanol. *J. of Food Sci.* **47**: 270-276
- Reid, M.S. 1992. Ethylene in postharvest technology. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops* A. A. Kader(ed.). Univ. of California, Davis, CA, USA. pp97-108
- SAS Institute, Inc. 1991. *SAS System for Linear Model*. 3rd ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA
- Sayre, C.B., W.B. Robinson, and T. Wishnetsky. 1953. Effects of temperature on thecolor, lycopene, and carotene content of detached and of vine-ripened tomatoes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **61**: 381-387
- Tomes, M.L. 1963. Temperature inhibition of carotene synthesis in tomato. *Bot. Gaz.* **124**: 180-185
- Yang, S.F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *HortSci.* **20**(1): 41-45
- Yang, R.F., T.S. Cheng, and R.L. Shewfelt. 1990. The effect of high temperature and ethylene treatment on the ripening of tomatoes. *J. Plant Physiol.* **136**: 368-372