

고 이산화탄소 처리 조건이 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)의 숙성 중 품질 변화에 미치는 영향

최정희[†] · 정문철 · 김병삼 · 김동만
한국식품연구원

Effect of High CO₂ Pre-storage Treatment on the Quality of Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) During Ripening

Jeong-Hee Choi[†], Moon-Cheol Jeong, Byeong-Sam Kim and Dongman Kim
Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of high CO₂ pre-storage treatment on the quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during ripening. Tomatoes at different maturity stage of breaker and pink were treated in air, or CO₂ (25, 50, 100%) for 24 hr at 20°C before ripening in air at 20°C. Change of surface colour and softening were reduced by high CO₂ treatment of all concentrations. This effect of CO₂ on the colour and softening was higher in breaker fruit than pink fruit. CO₂ concentration of 25~100% did not affect on soluble solids content during ripening period. Titratable acidity of breaker tomatoes were reduced by 100% CO₂ treatment. High CO₂ treatment slightly reduced sweetness of breaker tomatoes. Acidity and texture of tomatoes increased with high CO₂ treatment. Off-flavour was denoted by CO₂ treatment in pink tomatoes. The external CO₂ injury developed after 22 days at 20°C in pink tomatoes when treated with ≥25% CO₂ and in breaker tomatoes with ≥50% CO₂.

Key words : maturity stage, texture, titratable acidity, injury, flavor

서 론

토마토는 주로 완숙되기 전인 breaker 단계에서 수확하여 유통되고 있다. Pink 단계 이후에 수확하는 것이 미숙과에 비해 품질이 우수하나 유통 중 품질변화가 급격히 일어나는 특성으로 인해 완숙과를 유통할 경우 소비자의 손에 이르렀을 때 과숙된 상태로 소비될 가능성이 높고, 유통 중 부패 및 연화로 인해 품질이 나빠지는 문제가 발생된다. 따라서 유통 중 품질변화를 억제할 수 있다면 완숙과를 수확하여 유통하는 것이 가장 바람직하다 할 수 있다. 토마토와 같은 호흡 급등형 작물의 숙성 과정은 에틸렌 발생과 깊은 관련이 있으므로 에틸렌 발생을 억제시킴으로써 품질의 변화를

조절할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 이산화탄소는 에틸렌의 생합성을 억제하는 기능이 있는 것으로 알려져 있으며(1-3), 고 이산화탄소를 단기간 처리한 경우 복숭아의 *Botrytis cinerea*의 생장이 억제되고 과일의 부패 및 연화 또한 억제되는 효과가 있다고 보고되고 있다(4-6). 이 뿐만 아니라 Retamales 등(7)은 고 이산화탄소가 포도의 *Botrytis cinerea* 생장 억제에 효과적임을 보고하였고, Crisosto 등(8)은 고 이산화탄소가 *Botrytis cinerea* 생장을 억제하나 장기 처리시 과피 변색이 더 증가할 수 있음을 밝힌바 있다. 또한 *Botrytis cinerea* 뿐만 아니라 *Monilinia fructicola*에 의한 부패 또한 고 이산화탄소에 의해 경감된다고 보고되었다(9). 고 이산화탄소 처리에 의한 품질변화 억제 효과와 그에 따른 장해 발생 정도는 작물의 종류에 따라 다르므로 본 연구는 이산화탄소 처리 조건에 따른 토마토의 품질변화를 구명하고자 수행되었다.

[†]Corresponding author. E-mail : choijh@kfri.re.kr,
Phone : 82-31-780-9156, Fax : 82-31-780-9254

재료 및 방법

재료

강원도 춘천시에서 재배된 ‘슈퍼탐’ 토마토를 Standards for Grade of Fresh Tomatoes (USDA, 1991)의 기준에 의거 breaker와 pink 단계에 수확한 후 일정한 크기의 과일을 선별하여 본 실험에 사용하였다.

이산화탄소 처리 및 숙성

수확된 토마토 과실을 밀폐 용기에 넣은 후 25, 50 및 100%의 이산화탄소를 약 20분간 흘려보내어 용기 내부의 공기를 충분히 치환한 후 투입구 및 배출구를 막아 밀폐용기 내·외부의 공기 이동을 차단하였다. 20℃에서 24시간 동안 처리하면서 2시간 간격으로 용기 내부의 가스를 gas-tight syringe로 채취하여 GC(GC-14A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 이산화탄소 농도를 확인하였다. 이산화탄소 분석 조건은 GC; GC-14A, Shimadzu, Japan, detector; TCD, column; Alltech CTR I, column temp.; 35℃, injector temp.; 60℃, detector temp.; 60℃, carrier gas; He 이었다. 이산화탄소 전처리 후 과실은 20℃ 저장고에 옮겨 숙성시켰으며 숙성기간 동안의 품질 변화를 비교 분석하였다.

색도 및 경도

시험구당 5개의 과실을 무작위로 선택하여 색도 및 경도 측정에 사용하였다. 과실의 표면색은 색차계(CRT-200, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였고 Hunter 값으로 나타내었다. 과실의 경도는 휴대용 경도계(FHM-1, Takemura, Japan)를 사용하여 측정하고자 하는 부위의 과피를 제거한 후 지름이 0.5 mm인 plunger를 장착하여 puncture test한 후 나타난 최고값으로 표현하였다.

당도 및 적정 산도

시험구당 5개의 과실을 무작위로 선택하여 당도 및 적정 산도를 측정하였다. 당도는 가용성 고형물 함량으로 나타내었는데, 시료로부터 과즙을 착즙한 후 당도계(N-1E, Atago, Japan)를 사용하여 측정하였고, 적정 산도는 착즙액 20 mL를 취하여 pH meter(420, Mettler-Toledo, Spain)를 이용하여 과즙의 pH를 확인한 후, 0.1 N NaOH로 pH가 8.2까지 적정하여 소비된 NaOH 량을 malic acid %로 환산하여 표시하였다.

엽록소 함량

과육 2 g에 에탄올 25 mL을 첨가하여 암소에서 4시간 동안 둔 후 homogenize 한 후 여과하여 얻은 상등액을 spectrophotometer(V530, Jasco, Japan)로 663 nm 와 645 nm에서의 흡광도를 측정하였다. 총엽록소 함량은 다음과 같은 수식을 통해 환산하였다; $(7.220 \times A663) + (2.030 \times A645)$.

이산화탄소 장애율

이산화탄소 전처리 후 시험구당 10개의 과실을 20℃에 보관하면서 외부 및 내부의 장애현상을 관찰하여 장애 증상이 나타난 면적을 전체 면적에 대한 백분율로 나타내었다.

관능검사

훈련된 관능검사 요원 10명을 대상으로 토마토의 단맛, 신맛, 조직감, 향 등의 항목에 대해 9점 척도의 차이식별 검사를 실시하였다.

결과 및 고찰

수확된 ‘슈퍼탐’ 토마토를 25, 50, 100%의 이산화탄소 조건에 24시간 동안 처리한 후 일반 대기 상태에 옮겨 상온에서의 품질 변화를 조사하였다. 토마토는 수확 후 클로로필의 분해와 카로티노이드의 합성이 일어나 과피색의 변화가 빠르게 일어나므로 품질 변화를 육안으로 쉽게 확인할 수 있다. 고 이산화탄소를 처리한 경우 과피 변색이 효과적으로 억제되어 신선한 외관이 상온에서 11일 동안 유지되었다(Fig. 1). 특히 Hunter L값과 a값의 변화가 크게 억제되었다. Breaker 토마토의 경우 상온에서 11일 동안 Hunter L 값이 51.1에서 42.5로 급격히 낮아지고 Hunter a값이 4.8에서 16.9로 크게 증가하여 11일 후에는 완숙과에 가까운 색을 띠게 된다. 이산화탄소를 처리한 후 상온에 두면 이러한 변화가 크게 억제되었는데, 100% 이산화탄소를 처리한 과실의 경우 11일 후 Hunter L과 a값은 각각 48.0과, 7.0으로 무처리구에 비해 매우 적은 변화를 보여주었다. Pink 토마토도 breaker 토마토와 동일하게 상온에서의 Hunter L 과 a 값의 변화가 이산화탄소 처리에 의해 억제되었다. 특히, pink 토마토의 경우 상온에서 과피색의 변화가 심하게 일어나 검붉은 색을 띠게 되면 외관의 선호도가 떨어지므로 이산화탄소 처리를 통해 과피색의 변화를 억제하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다. Breaker 토마토의 초기 엽록소 함량은 7.0 mg/kg FW이었는데 상온에서 2일 후 1.7 mg/kg FW으로 급격히 낮아졌으며 25, 50, 100% 이산화탄소를 전처리할 경우 상온에서 2일후 엽록소 함량이 각각 3.2, 3.6, 4.1 mg/kg FW으로 무처리에 비해 높은 함량을 유지하였다(Fig. 2). Pink 토마토의 엽록소 함량은 초기에 2.3 mg/kg FW이었으며, 상온에서 2일 동안 0.5 mg/kg FW로 감소되나 이산화탄소 처리에 의해 엽록소 함량의 감소가 억제되어 25, 50, 100% 처리시 각각 0.8, 1.0, 0.8 mg/kg FW의 상대적으로 높은 함량을 나타내었다.

토마토는 유통 중 급격히 연화 되므로 과피색의 변화뿐 아니라 연화를 억제하는 것이 매우 중요하다. 본 실험에 사용된 ‘슈퍼탐’ 토마토의 수확시 경도는 breaker가 3.0 kgf, pink 과실이 2.7 kgf이었으며 breaker 과실은 상온 유통 중

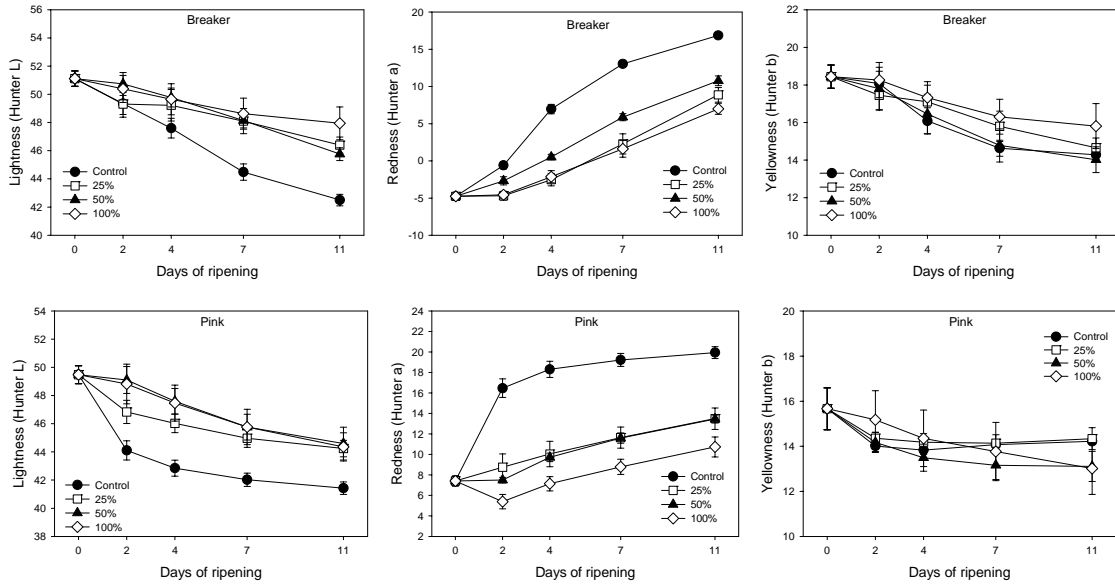


Fig. 1. Effect of high CO₂ pre-storage treatments on the change of surface colour of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=5).

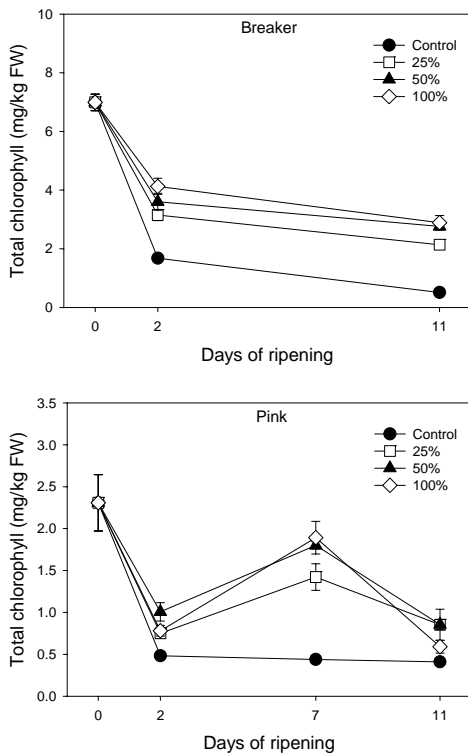


Fig. 2. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the total chlorophyll in pericarp tissue of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=5).

꾸준히 연화되어 11일 후 경도가 1.5 kgf로 낮아지고, pink 과실은 상온보관 초기에 급격히 연화되어 4일 후 과실의 경도가 1.4 kgf에 이르렀다(Fig. 3). 반면, 이산화탄소 처리된 breaker 과실은 상온 유통 11일 이후 처리 조건에 상관없

이 1.9 kgf 이상의 경도를 유지하였고, pink 토마토의 경우에도 상온 유통 4일 후의 경도가 25, 50, 100% 처리구 각각 1.8, 2.0, 2.2 kgf으로 유지되어 고 이산화탄소 처리가 토마토의 연화를 억제하는 효과가 있음을 알 수 있었다. 수확된 토마토는 수확시의 속도에 관계없이 수확 후 상온에서 당도의 변화가 거의 발생하지 않았으며 이산화탄소 처리가 당도에 미치는 영향이 없는 것으로 판단되었다(Fig. 4). 과실의 산도는 당도와는 달리 상온 보관 중 급격히 하락하는데, breaker 토마토의 경우 초기 산도 0.43%가 상온 11일 후 0.36%로 하락하였고 pink 과실 또한 0.41%에서 0.37%로 감소하였다(Fig. 5). 25~50%의 이산화탄소 전처리 처리가 과실의 산도에 미치는 영향은 없었으나, 100% 농도 처리시 breaker 토마토의 숙성 기간 중 산도가 다른 처리구에 비해 조금 더 낮아지는 결과를 나타내었다.

소비자들이 느끼는 토마토의 신선도 및 품질에 대한 선호도를 조사하기 위해 10명의 패널을 대상으로 관능검사를 실시하였다. Breaker 토마토를 상온 유통할 경우 이산화탄소 전처리에 의해 단맛이 감소하는 경향을 나타내었는데, 2일째 무처리구의 단맛 지수는 5.1이었고 이산화탄소 처리구는 3.7~4.0이었으며, 11일째에는 무처리구의 단맛지수가 4.0으로 감소하였고, 이산화탄소 처리구는 더 낮은 3.3~3.8로 감소하였다(Fig. 6). 이와는 달리 pink 토마토는 이산화탄소에 의한 단맛의 변화가 없었다. 복숭아는 이산화탄소 전처리를 할 경우 당도에는 영향이 없으나 관능검사 결과 이산화탄소 처리된 과실의 단맛이 높아진다고 보고된 바 있다(6,7). 토마토는 후숙이 진행되면서 과실의 산미가 낮아지는 경향을 보인다. 관능검사 결과 breaker 토마토의 경우 상온 11일째 산미가 2.7로 낮아지는데 이산화탄소

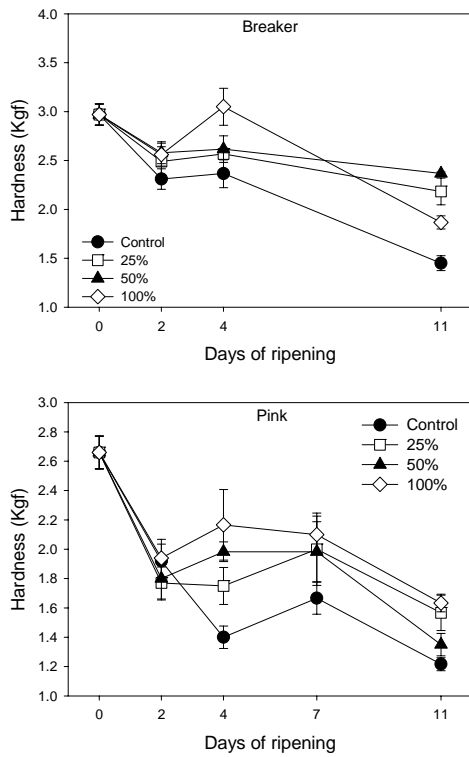


Fig. 3. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the hardness of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=5).

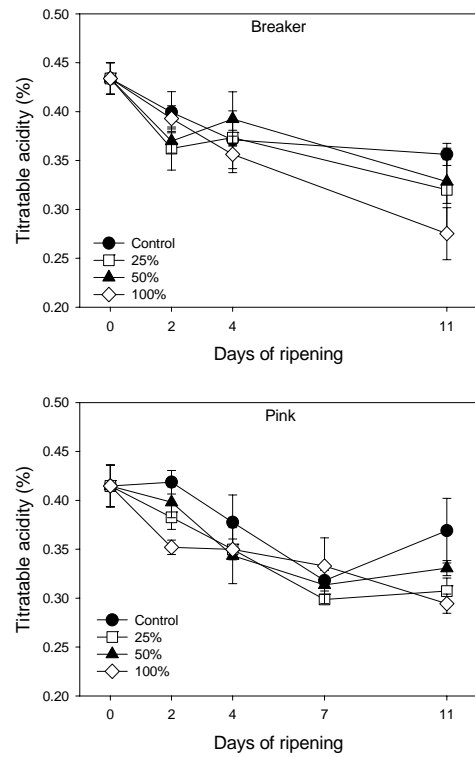


Fig. 5. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on titratable acidity of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=5).

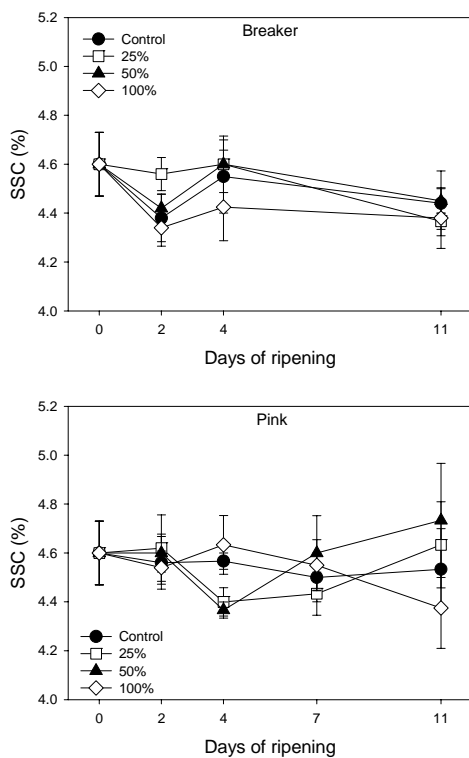


Fig. 4. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the SSC of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=5).

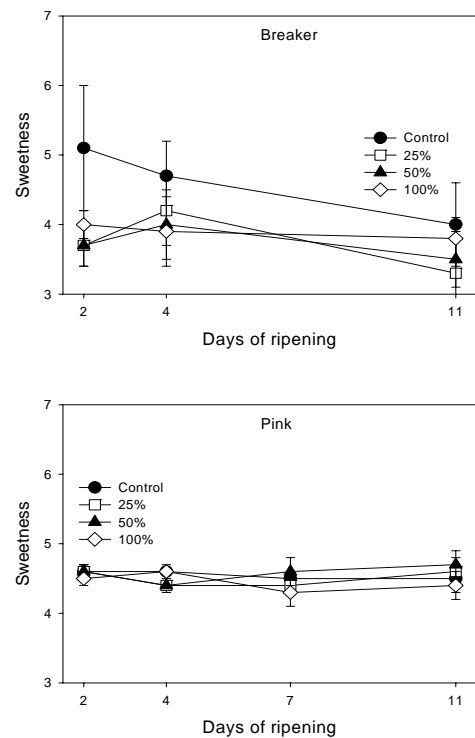


Fig. 6. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the sweetness of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=10).

처리를 할 경우 농도가 높을수록 산미가 강하게 유지되어 100% 처리구의 경우 4.3을 유지하였다(Fig. 7). Pink 토마토의 경우에도 breaker 토마토와 마찬가지로 이산화탄소 처리에 의해 산미가 높게 유지되는 결과를 나타내었으며, 100% 이산화탄소 처리구가 가장 높은 산미를 보였다. 토마토의 숙성 중 조직감 변화를 조사한 결과 breaker와 pink 과실 모두 이산화탄소 처리에 의해 조직감이 우수하게 유지되는 것을 알 수 있었다(Fig. 8). 이산화탄소 농도에 따른 효과의 차이는 유의적이지 않았다. 이산화탄소 전처리시 과육에 이산화탄소가 잔류하여 이취가 발생될 우려가 있으므로 과실 고유의 향에 대한 평가를 한 결과 breaker 과실은 이산화탄소 처리에 의한 영향이 없으나 pink 과실은 이산화탄소 처리시 향에 대한 평가점수가 낮아졌다(Fig. 9). 이러한 영향은 처리농도와 상관없이 25~100% 농도에서 모두 유사한 정도로 나타났다. Fallik 등(10)은 토마토에 24시간 동안 저 산소 처리를 할 경우 혐기호흡에 의해 이취가 발생한다고 보고하였는데, 본 실험에서 나타난 향의 변화는 혐기호흡에 의한 것이기 보다 이산화탄소 자체에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다. 100% 이산화탄소 처리 후 상온에서 22일 동안 보관한 후에는 과육조직이 반투명해지고 수분이 빠지는 장애 증상이 관찰되는데 breaker 단계에 수확한 토마토는 50% 이상의 농도에서 장애가 발생되었고 pink 단계에 수확한 토마토의 경우 25% 이산화탄소 처리구에서 장애가 발생되었다(Table 1). 이러한 장애 증상은 상온에서 22일 이후에 발생되었으므로 11일의 유통기간 중에는 문제가 되지 않았다.

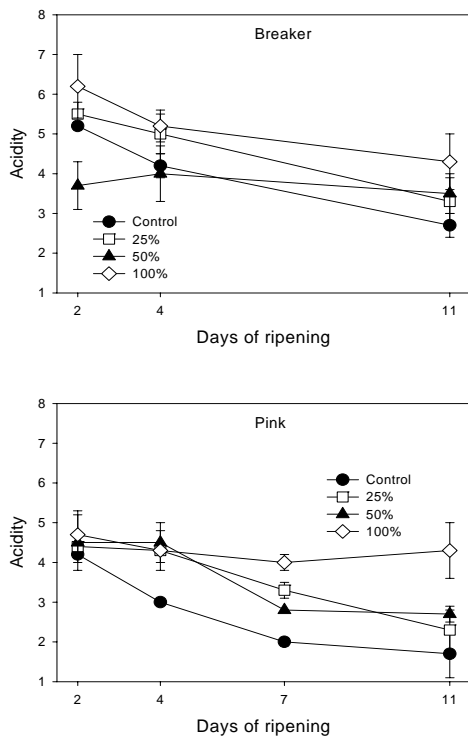


Fig. 7. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the acidity of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=10).

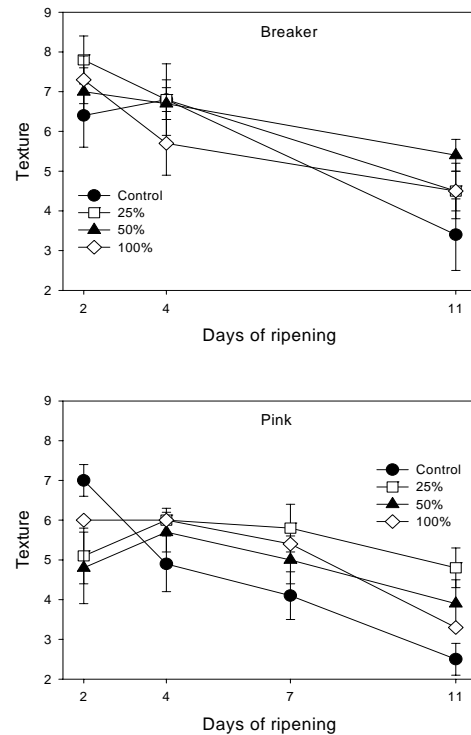


Fig. 8. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the texture of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=10).

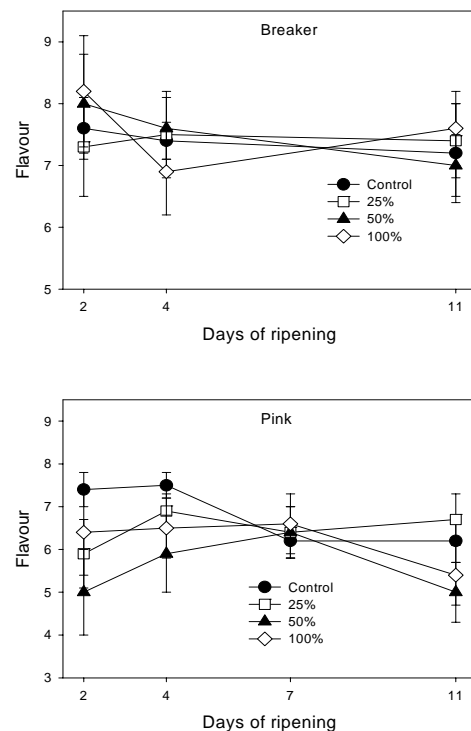


Fig. 9. Effect of high CO₂ pre-storage treatment on the flavour of tomatoes harvested at different maturity stages during ripening. Data are mean±S.E. (n=10).

Table 1. Development of CO₂ injury of tomatoes harvested at different maturity stages after 22 days of ripening.

	Control	25%	50%	100%
Breaker	-	-	2.3±0.2	4.6±0.3
Pink	-	1.0±0.1	2.5±0.0	2.5±0.5

Data are mean±S.E. (n=10)

요 약

고 이산화탄소 전처리시 토마토의 숙성 중 품질 변화에 미치는 영향을 구명하기 위해 breaker와 pink 단계에 토마토를 수확한 후 고 이산화탄소(25, 50 및 100%)를 24시간 처리한 후 상온에서 숙성시키면서 품질변화를 조사하였다. 이산화탄소 전처리시 숙성기간 중 과피 변색과 과실의 연화가 억제되는 효과가 극명하였으며 이러한 효과는 pink 단계의 토마토 보다는 breaker 단계의 토마토에서 더 컸다. 이산화탄소 처리가 토마토의 숙성 중 당도에 미치는 영향은 없었으며, 100% 농도 처리시 breaker 토마토의 산도가 낮아지는 경향을 보였다. 관능검사를 실시한 결과 breaker 토마토의 경우 고 이산화탄소 처리에 의해 단맛이 감소하였다. 토마토의 산미와 조직감은 과실의 숙도에 관계없이 이산화탄소 처리에 의해 높게 유지되었다. Breaker 단계에서 수확한 토마토는 이산화탄소 전처리에 의한 이취 발생이 없으나, pink 토마토에서는 이취가 발생하여 향에 대한 선호도가 낮아졌다. 상온에서 22일 후 고 이산화탄소 장해 증상이 관찰되었는데, breaker 토마토는 50% 이상의 농도에서, pink 토마토의 경우 25% 이상의 농도 처리시 발생하였다.

참고문헌

1. Mathooko, F.M. (1996) Regulation of ethylene biosynthesis in higher plants by carbon dioxide. *Postharvest Biol. Technol.*, 7, 1-26
2. Burg, S.P. and Burg, E.A. (1967) Molecular requirements

- for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.*, 42, 144-151
3. Gomey, J.R. and Kader, A.A. (1996) Controlled- atmosphere suppression of ACC synthase and ACC oxidase in 'Golden Delicious' apples during long-term cold storage. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 121, 751-755
4. Choi, J.H., Jeong, M.C. and Lim, J.H. (2004) Effect of short-term CO₂ on growth of *Botrytis cinerea*. *Korean J. Food Preserv.*, 11, 246-249
5. Choi, J.H., Lim, J.H., Jeong, M.C. and Kim, D. (2007) Effect of CO₂ treatment on postharvest quality of 'Kurakatawase' peach fruits. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 25, 54-58
6. Choi, J.H., Lim, J.H., Jeong, M.C. and Kim, D. (2005) Effect of CO₂ pre-treatment on quality of 'Hikawa Hakuto' peach fruits. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 12, 540-545
7. Retamales, J., Defilippi, B.G., Arias, M., Castillo, P. and Manriquez, D. (2003) High-CO₂ controlled atmospheres reduce decay incidence in Thompson Seedless and Red Globe table grapes. *Postharvest Biol. Technol.*, 29, 177-182
8. Crisosto, C.H., Garner, D. and Crisosto, G. (2002) Carbon dioxide-enriched atmospheres during cold storage limit losses from *Botrytis* but accelerate rachis browning of 'Redglobe' table grapes. *Postharvest Biol. Technol.*, 26, 181-189
9. Tian, S., Fan, Q., Xu, Y., Wang, Y. and Jian, A. (2001) Evaluation of the use of high CO₂ concentrations and cold storage to control *Monilinia fructicola* on sweet cherries. *Postharvest Biol. Technol.*, 33, 53-60
10. Fallik, E., Poleyayaa, Y., Tuvia-Alkalaia, S., Shaloma, Y. and Zuckermann, H. (2003) A 24-h anoxia treatment reduces decay development while maintaining tomato fruit quality. *Postharvest Biol. Technol.*, 29, 233-236

(접수 2007년 10월 1일, 채택 2007년 11월 30일)