

1-Methylcyclopropene 처리에 의한 토마토의 수확후 선도 연장

최선태¹ · 배로나^{2*}

¹원예연구소 저장이용과, ²서울대학교 농업과학공동기기센터

Extending the Postharvest Quality of Tomato Fruit by 1-Methylcyclopropene Application

Sun-Tae Choi¹ and Ro-Na Bae^{2*}

¹Postharvest Technology Division, National Horticultural Research Institute, Suwon 440-706, Korea

²National Instrumentation Center for Environmental Management, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(*Corresponding author: ronabae@hanmail.net)

Abstract. A inhibitor of ethylene action, 1-methylcyclopropene (1-MCP), was treated to prolong the shelf life of ‘Supermomotaro’ tomato at concentrations of 250, 500, and 1,000 ppb for 4 h at 20°C with 90% RH. After treatment tomatoes were stored still at 20°C with 90% RH. The ethylene evolution was abruptly increased after 2 days storage at tomatoes of all treatments and control, but the values of treated tomatoes were less than that of control. The respiration was also inhibited by 1-MCP treatment effectively. All 1-MCP treated tomatoes were harder than non-treated fruit, but there were no significant difference among the 1-MCP treated groups. Weight loss was found to be less in 1-MCP treated groups compared with control. Fruits of all treatment groups and control began to increase rapidly in Hunter ‘a’ value, indicated reddish degree, from 2 days after harvest and showed each of peak in 6 days. However 1-MCP treated tomatoes revealed less the values than those of control. Fruit deterioration degree were similar between 250 and 500 ppb of 1-MCP treatment groups, but the degree of 1,000 ppb 1-MCP treatment group was higher than those of low concentration treatment groups. The treatment of 1,000 ppb might be high for tomato fruit, and thereby leading to injury. The 1-MCP concentration of 500 ppb can be recommended to maintain the good appearance and quality among tomatoes treated as well as control.

Additional key words: color, deterioration index, ethylene, firmness, respiration, soluble solids content

서 언

많은 종류의 원예작물은 수확 후 에틸렌의 발생과 더불어 후숙되고 더욱 진전되면 노화에 이르게 된다. 이에 수확 후 후숙 기간을 연장시키고 신선도를 더 오래 유지하기 위해서 에틸렌을 제거하고자 하는 노력이 있었다. 최근에는 농산물에 화학제를 살포하여 수확 후 신선도를 유지하는 것에 대한 소비자의 기피 현상 때문에 이에 대한 대처 방안으로 가스를 이용한 저장 방법이 개발되었다. Controlled atmosphere (CA) 저장은 저장고 내에 산소와 이산화탄소의 함량 조절로 에틸렌 발생 억제 및 작물의 품질 저하 방지 등의 효과를

나타내고 있고, 한편으로는 1-methylcyclopropene(1-MCP)를 이용한 훈증 방법이 이용되고 있다. 1-MCP는 climacteric 작물에서 에틸렌에 의해 유기되는 후숙을 억제하는 것으로 알려져 있는데 작물을 CA저장을 할 경우 특히 신선도 유지에 효과적인 것으로 보고되어 있다(Watkins 등, 2000).

1-MCP는 사과와 배 등과 같은 climacteric 과일에서 미량의 처리로 에틸렌의 생성을 효과적으로 억제시키고 저장성을 증가시키며(Watkins 등, 2000), 사과에 1-MCP를 처리하면 과일의 후숙을 지연시켰다고 하였다(Baritelle 등, 2000; Fan 등, 1999; Fan과 Mattheis, 1999). 또한 1-MCP의 처리에 의해서 저장 중에 병균에 의한 부패 발생을 저하시켰고

* Received 11 September 2006; Accepted 4 January 2007.

(Roberts, 1990), 저장중 α -farnesene과 conjugated triens의 축적으로 superficial scald도 억제되었다(Watkins 등, 2000). 'Gala'에서는 1-MCP를 처리하면 후숙 과정중 휘발성 물질의 발생이 억제되었다(Fan 등, 2001).

전형적인 climacteric 과일인 바나나에 1-MCP를 pre-climacteric 상태에 미량으로 처리했을 때 후숙 지연, 호흡률 저하, 에틸렌 발생 억제, 그리고 과피의 클로로필의 파괴 억제 현상이 나타났다고 보고되었으며(Roh 등, 2000a), 100ppb 1-MCP를 처리로 아보카도의 저장 기간이 40% 연장되었다고 하였다(Hofman 등, 2001).

화훼류에서 1-MCP는 에틸렌에 대한 민감도에 따라 반응이 다르게 나타난다고 하였는데, 장미절화는 1-MCP를 처리한 즉시 에틸렌 발생 억제 반응을 나타내었으나, 며칠 이내에 다시 에틸렌에 대해서도 민감성을 나타내었다(Sisler 등, 1996). 한편 몇몇 백합 품종에서 1-MCP의 전처리는 절화수명 연장과 품질 보존에 도움을 주지 못하였으며, 에틸렌에 대해서도 억제 반응이 미약하게 나타났다(Elgar 등, 1999). 미니 장미에서 1-MCP는 처리는 에틸렌에 대해서는 효과적으로 생성 억제작용을 하였으나, 에틸렌이 없는 저장고에서는 1-MCP 처리에 따른 수확후 품질의 유지에 대한 효과의 차이가 없었다(Serek, 1993; Serek 등, 1994). Muller 등(2000)은 에틸렌 발생량이 다른 두 가지 미니 장미 품종의 모의 수송 실험에서 전처리로 1-MCP를 처리하였을 경우 수송 기간을 연장시켰다고 하였다.

1-MCP 처리시 온도 조건에 따른 효과의 차이에 대한 연구도 있었다. 백합에서 500ppb 1-MCP를 25°C에서 18시간 동안 전처리하면 에틸렌에 대한 반응은 완벽하게 차단시킬 수 있었으나 위조, 꽃떨이, 그리고 만개현상 등의 일반적인 노화현상은 억제시킬 수 없었다고 하였다(Celikel 등, 2002). Serek 등(1995)은 절화에서 20°C에서 1,000ppb 농도의 1-MCP 처리가 절화 수명 연장에 매우 유효하였고, 2°C에서는 전혀 효과가 없다고 하였으며, 미량의 1-MCP 농도도 처리 시간이 길어지면 고농도만큼 효과적이었다고 하였다.

원예산물에 대한 1-MCP의 처리 효과에 대한 대부분의 연구 결과는 과일 및 절화에서 저장 전에 1-MCP의 단독 처리에 대한 것이었다. 본 연구의 목적은 climacteric 작물인 토마토에서 다양한 농도의 1-MCP를 처리한 후 저장중 생리적인 변화를 조사하여 최상의 선도를 유지할 수 있는 적정 농도와 함께 토마토의 수확후 shelf life를 유지할 수 있는 조건을 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 토마토는 '슈퍼도태랑(Supermomotaro)' 품종으로 충남 부여군 현지 재배포장에서 2003년 6월 중순경 녹숙과 단계에서 수확하였으며, 즉시 선별하여 1-MCP 처리를 하였다.

본 연구에 사용된 1-methylcyclopropene(1-MCP, SmartFresh, Rohm and Hass Co.)는 3.3% vapor releasing powder(VP)이며 처리방법은 0.2m³의 아크릴상자에 토마토를 넣고, 3.3% 1-MCP(VP)를 각각 3.5mg(250ppb), 7mg(500ppb), 14mg(1,000ppb)의 양에 40°C 증류수를 1:16의 비율로 혼합하여 20°C에서(Serek 등, 1995) 4시간 밀폐하여 처리하였다. 처리과정 중 아크릴상자 내에 팬을 설치하여 공기순환을 유도하였다. 1-MCP 처리 후 온도 20°C와 90% 상대습도 조건에 저장하면서 생리적 변화 및 선도연장 효과를 알아보기 위해 2일 간격으로 에틸렌 발생량, 호흡량, 경도, 무게감소율, 색도, 그리고 부패율을 조사하였다. 이 때 호흡량과 에틸렌 발생량은 1L의 밀폐된 용기에 과일을 넣고 1시간 후에 가스 1mL을 포집하여 에틸렌 함량과 이산화탄소 함량을 gas chromatography(GC. HP 6890A, USA)로 측정하였다. 이산화탄소 함량 조사에서 GC 조건은 thermal conductivity detector로 검출하였고, active carbon 60-80 mesh 컬럼을 사용하였으며, 주입온도는 110°C, 컬럼온도는 70°C, 그리고 검출온도는 150°C였다(Bae와 Chung, 2003). 에틸렌 발생량 조사에서 GC 조건은 flame ionization detector로 검출하였는데, 컬럼은 active alumina 60-80mesh를 사용하였고, 이때 주입온도는 110°C, 컬럼온도는 70°C, 그리고 검출온도는 250°C였다(Bae와 Chung, 2003). 경도는 Texture analyser (TA-XT2, Stable Micro System, Haslemere, England)를 이용하여 과일의 꽃이 떨어진 배꼽부위를 측정하였으며 이때 측정 조건은 5mm probe를 이용하여 깊이 10mm까지 5.0mm·s⁻¹의 속도로 관입시킬 때 얻어지는 최대값으로 나타내었다. 무게감소율은 저장초기의 무게에 대한 감소량을 백분율로 환산하였다. 색도도 과일의 꽃이 떨어진 배꼽부위를 색차계 (Minolta chromameter CR-200, Japan)를 이용하여 측정하였다. 부패율은 부패 증상이 발생하기 시작하는 과일은 모두 부패과로 간주하여 한 처리내 과일 총 갯수에 대한 장해 과일수를 백분율로 나타내었다.

결과 및 고찰

녹숙과 단계의 토마토에 1-MCP를 250ppb, 500ppb, 그리고 1,000ppb를 처리한 후 20°C와 90% 상대 조건에 저장하

면서 2일 간격으로 품질의 변화를 알아보았다(Fig. 1). 토마토에서 에틸렌 발생은 모든 처리구에서 저장 2일째 급등하는 경향을 보였는데, 1-MCP 처리구가 무처리구보다 에틸렌 발생량이 적었고, 1-MCP 처리구 중에는 500ppb 처리구에서 에틸렌 발생량이 가장 적었다. 에틸렌의 발생량은 처리 후 4일째까지 급격히 감소하였고 처리 후 10일까지 1-MCP 처리구가 무처리구보다 다소 낮은 값을 보였다.

보고에 의하면 식물체가 1-MCP에 매우 미량으로 아주 짧은 기간 동안 노출되지만 하여도 내생 에틸렌 또는 외부에서 처리된 에틸렌에 의한 반응을 차단시키는 역할을 한다(Sisler와 Serek, 1997; 1999). 또한 cyclic olefin인 1-MCP는 에틸렌 receptor에 결합하여 식물체에서 에틸렌이 발생하지 못하게 하여 저장기간을 연장시킨다고 하였다(Sisler와 Serek, 1997). 다른 연구에서도 1-MCP는 식물체에 무독성이며 에틸렌 활성을 방해하는 경쟁적인 억제제로서 에틸렌의 receptor에 결합하여 선도를 연장시킨다고 하였다(Roh 등, 2000b; Sisler 등, 1996). 1-MCP는 ACC synthase의 활성을 촉진시키고 ACC의 생성량을 증가시키는 반면 ACC oxidase의 활성은 억제시켜 결과적으로 에틸렌의 생성을 감소시킨다고 하였다(Roh 등, 2000a). Fig. 1의 결과로 볼 때 처리 후 2일째에 에틸렌의 발생량이 무처리구에 비해 상대적으로 적게 발생하지만 무처리구처럼 급등하는 것으로 보아 본 연구에 사용된 1-MCP의 처리 농도로는 작물로부터 에틸렌의 발생을 완전히 억제할 수 없음을 알 수 있었다.

처리구와 무처리구를 비교하면 1-MCP 처리에 의해 호흡량은 효과적으로 억제되었는데 처리간 유의차는 없었다(Fig. 2). 특히 1-MCP 처리구는 저장 2일 후까지 감소하다가 무처리구에 비해 계속 낮은 호흡량을 나타냈다. 보고에 의하면 녹

숙과 토마토는 5°C에서 호흡속도가 10-20mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹ 정도로 호흡속도는 중간 정도이며 2일 후부터 호흡이 급등하기 시작하여 4일째에 최고의 값을 나타내었는데(Choi, 1997), 본 실험에서도 무처리구에서 4일째에 호흡이 급등하였다. 일반적으로 climacteric형 과일에서 에틸렌 발생과 호흡 급등의 관계는 과일에 따라 차이가 있으며, 호흡 급등 전에 에틸렌 급등이 발생하는지 호흡 급등 후에 에틸렌 급등이 발생하는지에 따라 1-MCP에 대한 반응이 다르다고 하였다(Choi, 1997). 토마토는 녹숙과 시기에 미량의 내생 에틸렌으로 인해 후숙이 유기된다고 하였다(Davies와 Viola, 1992; Su 등 1984). 본 실험에서는 이 시기에 1-MCP를 처리함으로써 호흡이 급등하기 전에 에틸렌 발생이 억제되어 호흡급등이 억제되고 후숙이 지연되었다고 볼 수 있다(Figs. 1, 2). 사과에서도 Fan 등(1999)은 1-MCP처리로 에틸렌의 발생과 호흡을 억제시켰다고 하였다.

경도는 무처리구 및 모든 1-MCP 처리구에서 감소하였으며, 무처리에서 6일까지 급격히 감소하는데 비해 1-MCP 처리에서는 그 감소 폭이 무처리에 비해 적었다(Fig. 3). 처리 후 6일까지 무처리구와 1-MCP 처리 한 토마토 과일의 경도는 유의하게 차이가 있었으나 그 이후에는 무처리 및 처리 농도간 차이가 없었다. 사과도 preclimacteric과 climacteric 시기에 1-MCP를 처리하면 장기 저온저장 기간 동안 초기의 경도가 유지되었다고 하였다(Blankenship과 Unrath, 1998).

무게 감소율은 무처리구가 저장 2일 후부터 급격하게 증가하면서 1-MCP 처리구보다 감소율이 컸으나 1-MCP 처리구는 처리 농도 간에는 차이가 없이 완만하게 증가하였고 무리구와 큰 차이를 보였다(Fig. 4). 무처리의 1-MCP처리구에 비해 무게 감소율이 다소 높았던 것은 에틸렌 발생으로

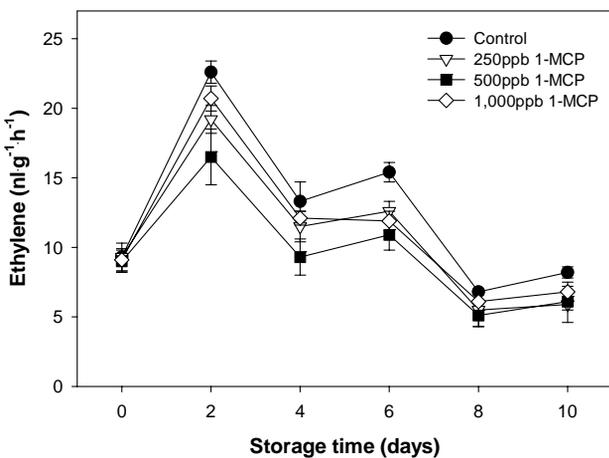


Fig. 1. Effect of 1-MCP treatments at various concentrations on ethylene evolution of tomato stored at 20°C. Vertical bar means standard error.

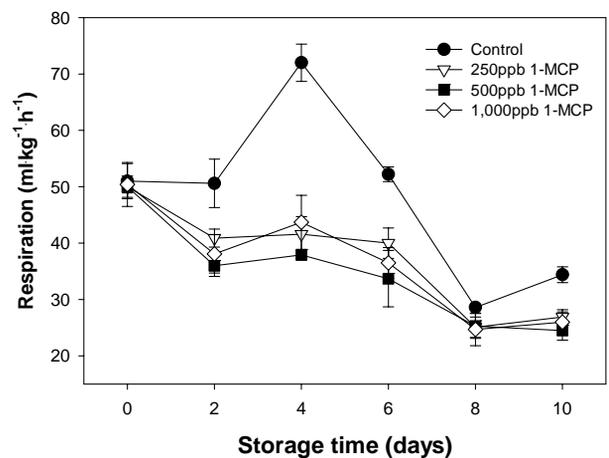


Fig. 2. Effect of 1-MCP treatments at various concentrations on respiration of tomato stored at 20°C. Vertical bar means standard error.

세포벽 물질의 연화와 수분 증발이 증가하는데 1-MCP 처리구가 무처리구에 비해 무게 감소율이 높았던 것도 이와 같은 이유 때문인 것으로 생각된다(Burns와 Pressey, 1987).

과피의 착색진행 정도를 적색도를 나타내는 Hunter color의 'a' 값으로 비교한 결과, 수확 당시인 '녹숙과'의 거의 일정한 값을 나타낸 'a'은 무처리 및 모든 1-MCP 처리구는 처리후 6일째까지 급격하게 증가하다가 이후에 일정한 값을 유지하였으며, 무처리구가 가장 높은 값을 나타내었고 전반적으로 1,000ppb 1-MCP 처리에서 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 5). 무처리 및 모든 1-MCP 처리구 토마토의 Hunter 값을 측정할 부위는 꽃이 떨어진 과일의 배꼽 부위였으므로 토마토에서 가장 빨리 착색이 되어 처리간 값의 차이가 크지 않았다. 육안으로 관찰한 색상은 모든 처리구가 시간이 지나면서 녹색에서 점점 붉은색으로 변하였으며 처리 농도

간에 꼭지달린 부위가 녹색으로 남아 있는 정도는 차이를 보였다. 무처리구의 토마토가 가장 빨리 전체적으로 완전히 붉은색으로 후숙되었고 250ppb, 500ppb, 그리고 1,000ppb의 순서로 꼭지달린 부위 주변에 녹색이 오래 남아 있었다. 이로써 토마토에서 1-MCP 처리는 무처리에 비해 수확후 후숙의 한 지표인 적색화를 지연시킴으로써 후숙이 억제되었음을 알 수 있었다.

저장 6일째에 장해과 발생을 조사한 결과 250ppb 처리는 무처리에 비해 부패율이 약간 적게 나타났고, 500ppb 처리에서는 무처리와 비슷한 수준이었으며, 1,000ppb 처리에서는 오히려 무처리에 비해 부패율이 높아 고농도 처리에 의한 장해가 발생하였음을 알 수 있었다(Fig. 6). 세가지 농도의 1-MCP의 처리 결과로 볼 때에 500ppb의 1-MCP 처리는 부패율이 대조구에 비해 약간 낮으면서 외관으로 보았을 때

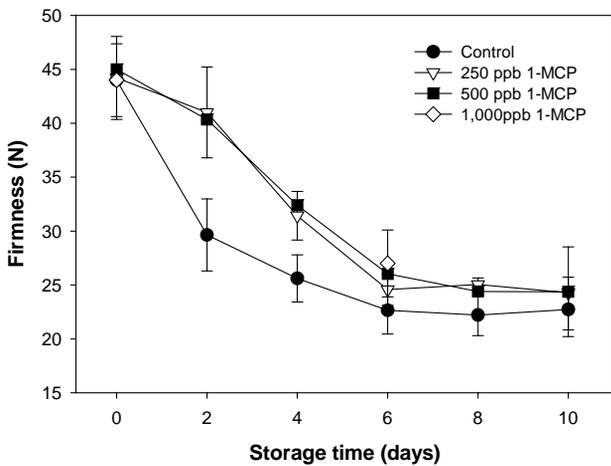


Fig. 3. Effect of 1-MCP treatments at various concentrations on the firmness of tomato stored at 20°C. Vertical bar means standard error.

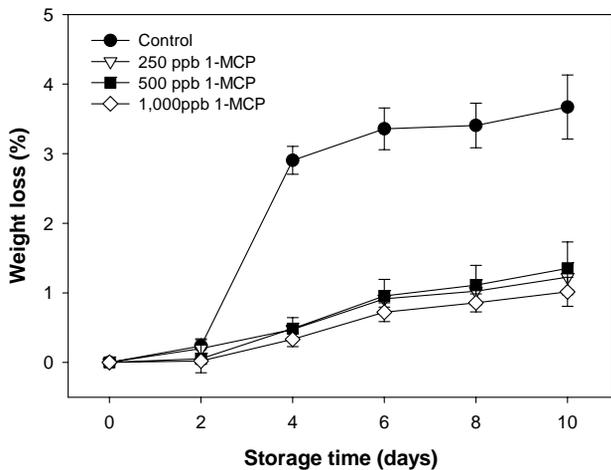


Fig. 4. Effect of 1-MCP treatments at various concentrations on the weight loss of tomato stored at 20°C. Vertical bar means standard error.

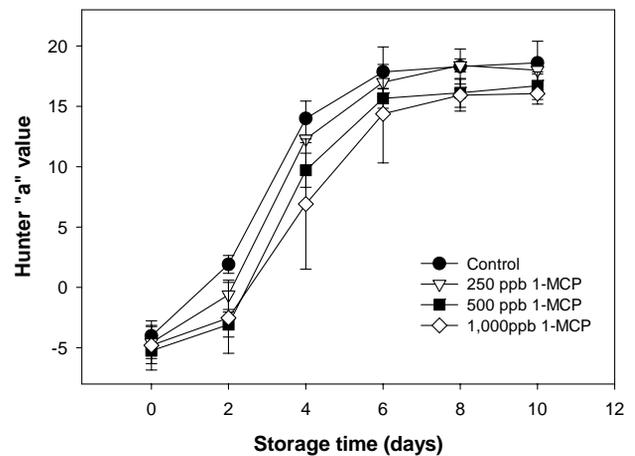


Fig. 5. Effect of 1-MCP treatments at various concentrations on Hunter 'a' values of tomato stored at 20°C. Vertical bar means standard error.

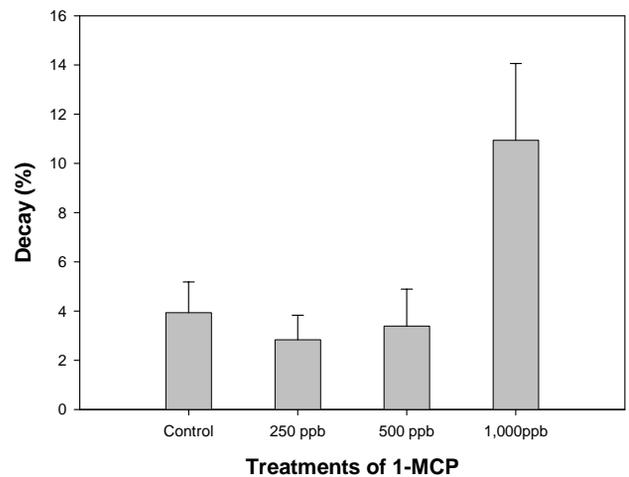


Fig. 6. Effect of 1-MCP treatments at various concentrations on the deterioration index of tomato stored at 20°C for 6 days. Vertical bar means standard error.

전체적인 품질이 가장 우수하였다. 250ppb는 저장6일 후에 부패과 발생은 500ppb 처리구보다 적었으나 외관으로 본 상품성이 500ppb 처리구보다 낮았다. 1,000ppb의 1-MCP 처리는 무처리구 및 다른 농도처리구에 비해 부패과 발생이 많거나 외관이 좋지 않아 상품성이 떨어지는 결과를 보였다. 작물, 시간, 그리고 온도에 따른 1-MCP의 처리 농도에 대하여는 많은 보고가 있었는데 사과는 100ppb의 1-MCP 처리로 9개월간 품질이 유지되었고(Watkins 등, 2000), 아보카도에서 100ppb 1-MCP를 처리했을 때에 저장 기간이 40% 연장되었다(Hofman 등, 2001). 백합은 500ppb의 1-MCP를 25°C에서 18시간 동안 전처리 했을 때에 에틸렌에 대한 반응은 완벽하게 차단시킬 수 있었다(Celikel 등, 2002). Serek 등(1995)은 절화 장미의 품질 유지는 20°C에서 1,000ppb 농도의 1-MCP 처리가 매우 유효하였고 2°C에서는 전혀 효과가 없다고 하였는데, 본 실험에서 토마토는 1-MCP 500ppb의 농도로 20°C에서 4시간 처리가 가장 적절한 품질을 유지할 수 있는 조건인 것으로 조사되었다.

초 록

에틸렌 작용억제제인 1-methylcyclopropene(1-MCP)의 농도별 처리에 따른 토마토의 선도연장 효과를 검증하기 위해 토마토 ‘슈퍼도태랑’을 mature green 단계에서 수확한 다음 1-MCP를 20°C에서 250ppb, 500ppb, 그리고 1,000ppb의 농도로 4시간 동안 처리후 온도 20°C와 90% 상대습도 조건에 저장하면서 에틸렌 발생, 호흡량 및 품질특성 변화를 조사하였다. 토마토의 에틸렌 발생은 모든 처리구에서 저장 2일째 급등하는 경향을 보였는데, 1-MCP 처리구는 무처리에 비해 그 급등 정도가 다소 낮았으며, 호흡량 또한 1-MCP 처리에 의해 효과적으로 억제되었다. 과일 경도는 1-MCP 처리구가 무처리구에 비해 1-MCP 처리 농도별 차이는 크지 않았으나 높은 값을 유지하였다. 무게 감소율도 처리농도간의 차이는 거의 없었으나 무처리에 비해 1-MCP 처리구에서 낮은 값을 보였다. 과피의 착색진행 정도는 적색도를 나타내는 Hunter ‘a’ 값으로 비교한 결과, 모든 처리구가 2일부터 6일까지 빠르게 증가하였지만 1-MCP 처리구는 무처리구에 비해 낮은 값을 나타내었다. 장해과 발생은 무처리와 250ppb과 500ppb 처리에서 비슷한 수준이었으며, 1,000ppb 처리에서는 오히려 무처리에 비해 부패율이 높아 고농도 처리에 의한 장해로 판단되었다. 외관으로나 전체적인 품질로 판단할 때에 1-MCP 500ppb 처리구가 무처리구 및 250ppb, 1,000ppb 처리구에 비해 가장 좋은 선도를 유지하였다.

추가 주요어 : 경도, 부패율, 색도, 선도, 에틸렌, 호흡

인용문헌

- Bae, R.N. and D.S. Chung. 2003. Chilling injury temperature and changes of quality during storage or marketing in leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 44:49-51.
- Baritelle, A.L., G.M. Hyde, J.K. Fellman, and J. Varith. 2000. Ripening, textural changes, and 1-MCP in pears and apples. Postharvest Biol. Technol. 23:153-160.
- Blankenship, S.M. and C.R. Unrath. 1998. Ethylene inhibitor, 1-methylcyclopropene, delays apple softening. HortScience 33:469.
- Burns, J.K. and R. Pressey. 1987. Ca in cell walls of ripening tomato and peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112:783-787.
- Celikel, G.F., L.L. Dodge, and S.M. Reid. 2002. Efficacy of 1-MCP (1-methylcyclopropene) and promalin for extending the post-harvest life of oriental lilies (*Lilium* X ‘Mona Lisa’ and ‘Stargazer’). Scientia Horticulturae 93:149-155.
- Choi, S.J. 1997. The ethylene biosynthesis and reaction, p. 121-124. In: S.K. Lee (ed.), Postharvest physiology of horticultural crops. Seung Gyun Co. Seoul.
- Davies, H.V. and R. Viola. 1992. Regulation of sugar accumulation in stored potato tubers as influenced by storage temperature. Amer. Potato J. 55:561-571.
- Elgar, H., J. Allan, B. Woolf, and L. Bielecki. 1999. Ethylene production by three lily species and their response to ethylene exposure. Postharvest Biol. Technol. 16: 257-267.
- Fan, X., L. Argenta, and J.P. Mattheis. 2001. Impacts of ionizing radiation on volatile production by ripening ‘Gala’ apple fruit. J. Agric. Food Chem. 49:254-262.
- Fan, X., S.M. Blankenship, and J.P. Mattheis. 1999. 1-Methylcyclopropene inhibit apple ripening. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124:690-695.
- Fan, X. and J.P. Mattheis. 1999. Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. J. Agric. Food Chem. 47:2847-2853.
- Hofman, A., M. Jobin-Décor, C.F. Meiburg, A.J. Macnish, and D.C. Joyce. 2001. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. Aust. J. Exp. Agric. 41:567-572.
- Muller, R., C.E. Sisler, and M. Serek. 2000. Stress induced ethylene production, ethylene binding, and the response to the ethylene action inhibitor 1-MCP in miniature roses. Scientia Horticulturae 83:51-59.
- Roberts, R.G. 1990. Postharvest biological control of gray mold of apple by *Cryptococcus laurentii*. Phytopathology 80: 526-530.
- Roh, K.A., Y.L. Ha, K.C. Son, and H.Y. Pak. 2000a. 1-MCP affects ethylene biosynthesis produced in wound tissue of squash. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41: 565-568.

- Roh, K.A., K.C. Son, B.C. In, and E.C. Sisler. 2000b. Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene on the action mechanism and ripening in banana. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:523-526.
- Serek, M. 1993. Ethephon and silver thiosulfate affect postharvest characteristics of *Rosa hybrida* 'Victory Parade'. *HortScience* 28:199-200.
- Serek, M., E.C. Sisler, and M.S. Reid. 1994. Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:1230-1233.
- Serek, M., E.C. Sisler, and M.S. Reid. 1995. Effects of 1-MCP on the vase life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regul.* 16:93-97.
- Sisler, E.C., E. Dupille, and M. Serek. 1996. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropene on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regul.* 18:79-86.
- Sisler, E.C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol. Plant.* 100:577-582.
- Sisler, E.C. and M. Serek. 1999. Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 40:1-7.
- Su, L., T. McKeon, T.D. Grierson, M. Cantwell, and S.F. Yang. 1984. Development of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase and polygalacturonase activities during the maturation and ripening of tomato fruit. *HortScience* 19: 576-578.
- Watkins, C.B., J.F. Nock, and B.D. Whitaker. 2000. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene under air and controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 19:17-32.