

1-Methylcyclopropene (1-MCP) 처리에 따른 사과와 복숭아 과실의 품질 및 에틸렌 생성 변화의 비교

최 성 진
대구가톨릭대학교 생명공학과

Comparison of the Change in Quality and Ethylene Production between Apple and Peach Fruits Treated with 1-Methylcyclopropene (1-MCP)

Seong-Jin Choi

Department of Biotechnology, Catholic University of Daegu, Kyungbuk 712-702, Korea

Abstract

The responses of 'Tsuparu' apple and 'Baekhyang' peach fruits treated with 1-MCP, the ethylene inhibitor, were compared. In *Tsuparu* apple fruits, the reduction of flesh firmness and titratable acidity were significantly retarded for 2 weeks by the treating fruits with 1 or 5 ppm of 1-MCP immediately after harvest. The respiration decreased continually for 2 weeks and the onset of ethylene production were also retarded severely. However, in *Baekhyang* peach fruits, the effects of 1-MCP treatment on the respiration and ethylene production were only transient and the firmness reduction was retarded slightly by the repeated 1-MCP treatments. The responsiveness of the *Baekhyang* peach fruits on ethylene seems to be recovered rapidly after 1-MCP treatment. In case of *Baekhyang* fruits, the 1-MCP should be treated repeatedly for effective ethylene inhibition, and the ethylene accumulation should be avoided during the 1-MCP treatment.

Key words : 1-MCP, ethylene, apple, peach, storage, quality

서 론

에틸렌이 식물의 노화와 과실의 성숙을 촉진하는 사실이 오래 전에 알려진 이후 원예산물의 수확 후 저장성과 품질을 향상시키기 위하여 에틸렌의 생성과 작용을 제어하려는 다양한 시도가 있어왔다. 이 결과, 저산소 및 고이산화탄소 조건에서 에틸렌의 생성과 작용이 억제되는 원리를 이용하는 controlled atmosphere (CA) 저장 방법의 개발을 비롯하여 aminoethoxyvinylglycine (AVG)와 silver thiosulfate (STS) 등 에틸렌의 생성 또는 작용을 차단하는 화합물이 발견되어 채소, 과일, 화훼 등 신선 원예산물의 저장성을 향상시키는 데 활용되어왔다(1). 한편, 2,5-norbornadiene을 포함하여 cyclic olefin 화합물의 에틸렌 억제 작용이 보고된 (2) 이후

Sisler 등(3)은 cyclopropene의 유도체로서 특히 1-methylcyclopropene(1-MCP)이 매우 효과적으로 에틸렌의 작용을 억제한다는 사실을 발견하였다. 에틸렌 억제체로서 화훼 작물의 노화를 지연시킬 목적으로 주로 이용되고 있는 STS와는 달리 1-MCP는 기체상의 화합물이라는 특성을 지녀서 독특한 활용성을 가지며 처리 후 잔류하지 않을 뿐만 아니라 처리 농도 조건에서 독성이 매우 낮은 것으로 인정됨에 따라 앞으로 채소, 과일 등의 식용 작물의 저장에도 폭 넓게 활용될 것으로 기대되는 화합물이다.

식물 조직에 침투한 1-MCP (C_4H_6 , MW 54) 가스는 에틸렌 수용체와 특이적으로 결합하는 것으로 알려져 있다(4). 식물 조직에서 생성되는 에틸렌은 에틸렌 특이적인 수용체 단백질과 결합함으로써 비로서 작용성을 발휘한다. 그러나 1-MCP는 에틸렌 수용체에 대한 결합 친화도가 매우 커서 nL/L (ppb) 내지 μ L/L(ppm)의 낮은 농도 조건에서도 에틸렌을 대신하여 수용체 단백질과 효과적으로 결합하며 이러한

†Corresponding author. E-mail : sjchoi@cu.ac.kr,
Phone : 82-53-850-3548, Fax : 82-53-850-3459

결합을 통하여 에틸렌과 수용체간의 결합을 차단함으로써 에틸렌의 작용을 억제한다.

사과와 복숭아 과실은 성숙 과정에서 에틸렌의 생성이 급증하며 성숙 과정에 에틸렌의 작용이 밀접하게 관련되어 있는 climacteric 형의 과실에 속한다. 사과 과실 중 조생종인 쓰가루는 특히 호흡과 에틸렌의 생성량이 높고 다른 사과 품종에 비하여 저장성이 비교적 낮은 품종이다. 한편 복숭아 과실에서 만생종에 속하지만 성숙과 더불어 과육의 용질화(melting flesh)가 일어나는 품종인 백향은 대부분의 다른 용질성 복숭아 품종과 마찬가지로 수확 후 수 일 내에 과육이 연화되는 저장성이 매우 낮은 과실이다. 과실의 성숙 지연과 저장성 향상을 목적으로 1-MCP를 이용할 때 1-MCP에 대한 과실의 반응은 처리 시기, 농도, 온도 등의 처리 조건과 함께 과실의 종류에 따라 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다(5). 본 연구에서는 쓰가루 사과와 백향 복숭아 과실에서 1-MCP 처리에 따른 수확 후 품질의 변화와 에틸렌 생성 및 호흡의 변화의 차이를 분석하여 과실간에 나타나는 1-MCP에 대한 반응의 차이의 원인을 살펴 고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 1-MCP의 처리

농가에서 관행적인 방법으로 재배한 쓰가루 사과(경북 경산)와 백향 복숭아(경북 청도)를 각각 해당 지역의 관행적인 수확 적기인 8월 중순과 9월 상순에 수확하여 실험에 이용하였다. 1-MCP의 제조는 Rohm and Haas Co., Korea에서 제공받은 SmartFresh를 이용하였다. 즉, 유리병에 계산된 양의 SmartFresh (70mg SmartFresh = 1 mL 1-MCP)를 넣고 고무마개를 닫은 후 주사기로 증류수를 가하고 충분히 교반함으로써 10,000 ppm의 1-MCP 가스를 제조하였다. 과실에 1-MCP 가스를 처리할 때에는 과실을 용기에 밀폐한 후 계산된 양의 1-MCP 가스를 주사기로 취하여 용기에 주입하는 방법을 이용하였다. 과실에 대한 1-MCP의 처리는 22°C에서 수행하였으며, 사과 과실의 경우 수확 직후 0.2, 1 또는 5 ppm의 1-MCP로 16시간 동안 1회 처리하였고, 복숭아 과실은 수확 직후 1 또는 5 ppm으로 16시간 동안 1회 또는 저장 기간 중 매일 1 ppm으로 16시간씩 처리하였다. 처리한 과실은 22°C, RH 90%의 조건에서 저장하였으며 사과는 처리 1주와 2주 후에, 복숭아는 처리 3일과 5일 후에 각각의 처리구 당 10개의 과실을 취하여 분석용 시료로 이용하였다. 처리간 평균값의 통계적 유의차 검정은 LSD 검정에 의하였다.

경도와 적정 산도의 측정

과실의 적도 부위를 박피한 후 직경 7 mm의 탐침을 장착

한 경도계(Fruit tester FT327, Italy)를 이용하여 과육의 경도를 측정하였다. 적정 산도 분석용 과즙을 착즙할 때에는 사과 과실의 경우 과육을 강판에 간 후 원심분리하여 착즙하였으나 점질의 복숭아 과실에서는 과육에 동량의 증류수를 가하고 막자 사발에서 간 후 원심분리하여 착즙하였다. 적정 산도는 과즙 10 mL를 0.1 N의 NaOH로 pH 8.2까지 적정하여 측정하였으며, 적정 산도의 표기는 과즙 10 mL당 0.1 N NaOH의 소요량으로 하였다.

에틸렌 및 CO₂ 생성량(호흡량)의 측정

각 처리구당 10개의 과실에 대하여 매일 에틸렌과 CO₂ 생성량을 측정하였다. 과실을 1 L의 밀폐 용기에 1시간 동안 밀폐한 후 용기로부터 0.5 mL의 공기를 채취하여 GC(Shimadzu 14B, Japan)를 이용하여 에틸렌(2m active alumina SUS column, FID)과 CO₂(2m active carbon SUS column, TCD)를 분석하였다.

결과 및 고찰

1-MCP 처리에 따른 품질의 변화

쓰가루 사과에 대한 1-MCP의 처리는 수확 후 과실의 품질의 저하를 크게 억제하는 것으로 나타났다. 사과 과실의 경우 경도, 당도, 산도 등은 주요 품질 구성 요소인데, 이 중 특히 경도와 산도의 유지에 1-MCP의 처리는 매우 효과적이어서 대조구 과실의 경우 저장 2주후 과육의 경도와 적정 산도는 수확 당시 측정치의 각각 66%와 75% 수준으로 크게 감소하였으나 1-MCP 처리 과실에서는 처리 농도에 따라 감소폭이 둔화되어 1 ppm 1-MCP 처리구의 경우에 저장 2주후의 경도와 산도가 각각 수확 당시 값의 각각 86%와 89%의 수준을 유지하였다(Fig. 1과 2). 그러나 1-MCP 처리는 당도의 변화에 영향을 미치지 않았다(테이터 생략). 쓰가루 사과와 유사하게 백향 복숭아에서도 1-MCP 처리에 의해 수확 후 저장 중 경도와 산도의 저하가 억제되는 경향을 보였으나 1 또는 5 ppm 1-MCP를 수확 직후 1회 처리했을 때의 효과는 미미하였으며 1 ppm의 1-MCP를 매일 반복적으로 처리하였을 때 비로소 경도 저하에 대한 유의적인 억제 효과가 인정되었다(Fig. 1과 2).

1-MCP 처리에 따른 호흡의 변화

쓰가루 사과에서 1-MCP의 처리는 과실의 호흡을 크게 억제하였다. 대조구 과실의 경우 저장 중 호흡이 지속적으로 증가하여 약 1주 후에는 정점에 이르렀으나 1 ppm 이상의 1-MCP 처리 과실에서는 실험 기간 동안 호흡이 지속적으로 감소하여 정점에 이르렀을 때의 대조구 과실의 약 33% 수준까지 호흡량이 크게 감소하였다(Fig. 3). 백향 복숭아에서도 1-MCP의 처리는 과실의 호흡을 억제하였으나

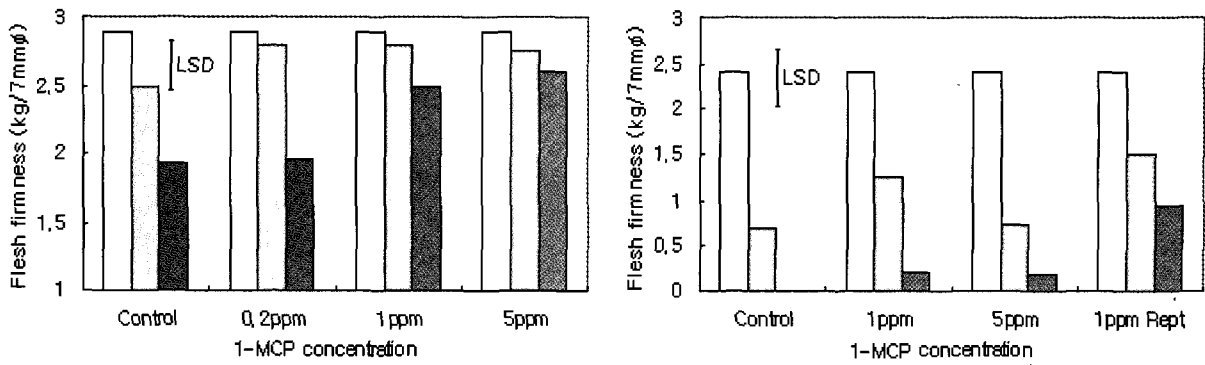


Fig. 1. The changes of flesh firmness in Tsugaru apple (left) and Baekhyang peach fruits (right) treated with varied concentrations of 1-MCP.

The firmness was measured immediately after harvest (empty bars) or 1 week (gray bars) and 2 weeks (black bars) after treatment during storage at 22C. The inserted vertical bars show LSD 0.05.

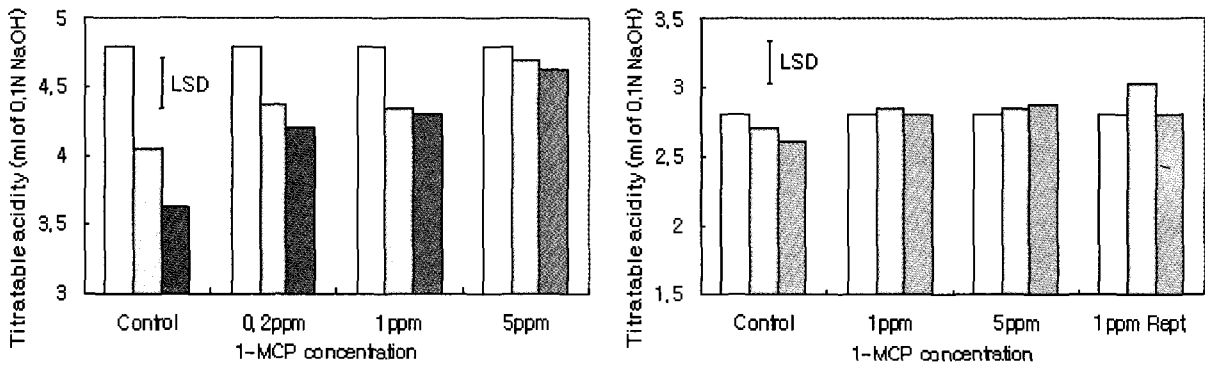


Fig. 2. The changes of titratable acidity in Tsugaru apple (left) and Baekhyang peach fruits (right) treated with varied concentrations of 1-MCP.

The legends are the same as Fig. 1.

그 억제 양상은 사과와는 다르게 나타났다. 즉, 1-MCP 처리 과실의 호흡은 비록 대조구 과실의 60~75% 수준으로 억제 되긴 하였으나 쓰가루 사과에서와 같은 지속적인 감소 양상은 나타나지 않았으며 대조구와 거의 유사한 비율로 꾸준히 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3).

1-MCP 처리에 따른 에틸렌 생성의 변화

쓰가루 사과에서 1-MCP의 처리는 에틸렌 생성을 억제하여 에틸렌 생성의 증가가 나타나는 시점을 늦추는 것으로 나타났다. 대조구 과실에서 에틸렌의 생성은 수확 후 4일에 증가하기 시작하여 초기 1주 동안에는 매일 1.5~4배의 비율

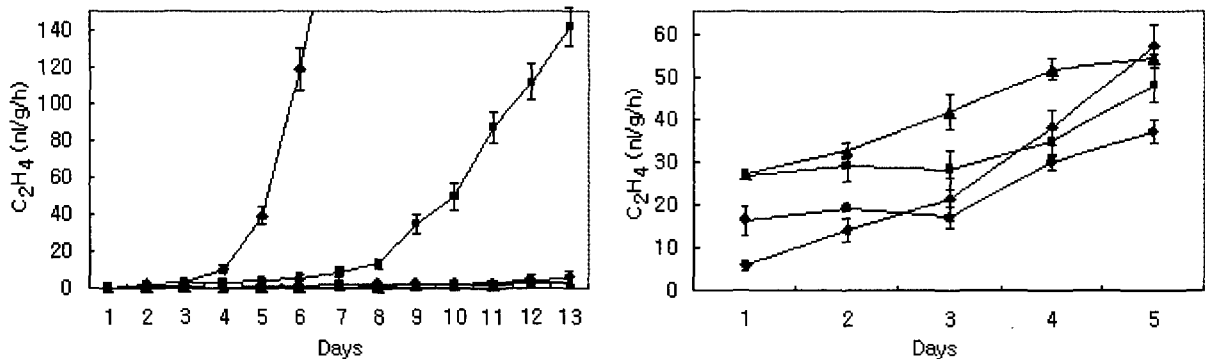
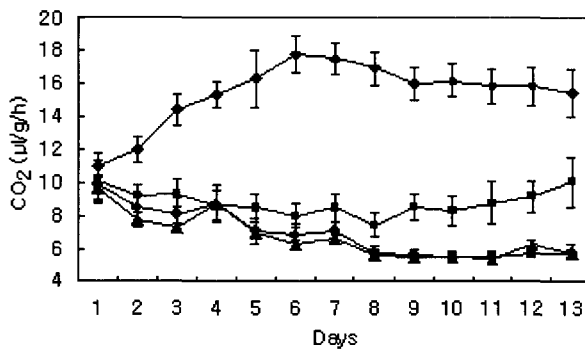


Fig. 3. The changes of ethylene production in Tsugaru apple (left) and Baekhyang peach fruits (right) treated with varied concentrations of 1-MCP.

The Tsugaru fruits were treated with 0 (-◆-), 0.2 (-■-), 1 (-●-) and 5 ppm (-▲-) of 1-MCP. The Baekhyang fruits were treated with 0 (-◆-), 1 (-■-), 5 ppm (-●-) and repeatedly with 1 ppm (-▲-) of 1-MCP. The vertical bars show standard errors.

로 급격히 증가하다가 약 1주 후부터는 증가율이 1~2배로 점차 둔화되는 양상으로 실험 기간 동안 꾸준히 증가하였다 (Fig. 4; 그림에서 대조구의 일부 데이터 생략). 1-MCP 처리 과실의 경우, 0.2 ppm 처리 과실에서는 처리 5일 후 완만한 에틸렌 생성의 증가를 보이다가 약 1주일부터 급속히 증가하였으나 증가 속도는 대조구에 비하여 완만하였다. 그러나 1 ppm과 5 ppm 처리 과실에서는 실험 기간 동안 뚜렷한 에틸렌 생성의 증가를 관찰할 수 없었다. 한편 백향 복숭아에서는 1-MCP의 처리에 의해 처리 직후 오히려 에틸렌의 생성이 대조구에 비하여 증가한 후 일정 수준을 유지하며 특히 반복적인 처리는 오히려 에틸렌의 생성을 더욱 증가시키는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 이러한 결과는 사과와는 달리 복숭아에서는 1-MCP가 에틸렌의 생합성을 효과적으로 억제하지 못하였음을 보인다.



(9, 10). 본 연구에서도 쓰가루 사과에서는 실용적으로 이용될 수 있을 만큼 1-MCP의 두드러진 성숙 지연과 저장성 향상 효과를 확인할 수 있었으나, 백향 복숭아에서는 과육의 연화를 지연하는 효과가 있음에도 불구하고 저장성 향상의 실용적 목적으로 이용하기에는 1-MCP의 처리 효과가 미미한 것으로 생각된다. 복숭아 과실에서 1-MCP의 이용과 관련하여, 용질성의 복숭아 품종의 저장성 향상에 1-MCP의 처리가 효과적이라는 보고가 있는 반면(11), 1-MCP 처리가 복숭아 과실의 연화를 지연하지만 과육의 갈변을 유발한다고 부정적인 보고도 있다(12).

처리 온도, 농도, 시간 등의 1-MCP의 처리 조건은 처리 효과에 영향을 미치는데, 특히 과실의 발육 단계에 따른 처리 효과의 차이가 커서 발육의 진전과 더불어 처리 효과는 일반적으로 감소하는데(10, 13), 이는 발육의 진전에 따

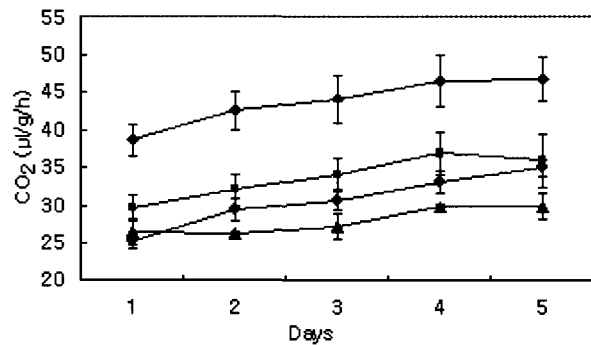


Fig. 4. The changes of respiration in Tsugaru apple (left) and Baekhyang peach fruits (right) treated with varied concentrations of 1-MCP.

The legends are the same as Fig. 3.

1-MCP 처리에 대한 반응의 차이

수확 후 저장성 향상과 관련하여 다양한 종류의 과실에서 1-MCP 처리 효과가 보고되어 있는데(5), 1-MCP의 처리는 특히 성숙의 유발이 에틸렌의 작용과 직접적으로 연계되어 있는 climacteric 형의 과실에서 두드러진 효과를 나타낼 것으로 기대된다. 딸기와 같은 non-climacteric 형의 과실에서는 1-MCP 처리에 따른 에틸렌 작용의 억제가 성숙을 지연시킴으로써 저장성을 향상시키는데 기여하기보다 과실의 병 저항성의 약화를 유발하여 오히려 저장성을 감소시키는 것으로 보고되어 있기도 하다(6, 7). 이는 식물에서 에틸렌의 작용성은 다양하여 에틸렌은 비단 노화 또는 성숙 촉진 작용 뿐만 아니라 phenol 화합물의 생성 촉진을 통한 내병성 증진에도 관련되어 있기 때문이다. 그러나 climacteric 형에 속하는 과실에 있어서도 과실의 종류에 따라 1-MCP의 처리 효과에 차이가 있어서, 바나나 과실에서는 1-MCP를 성숙 지연과 저장성 향상의 실용적 목적에 이용하기에는 처리 효과의 재현성이 너무 낮은 것으로 보고되어 있는 반면 (8) 사과 과실에서는 여러 연구에서 1-MCP의 뚜렷한 성숙 지연과 저장성 향상 효과가 보고되어 있다

른 에틸렌 생성의 증가가 1-MCP의 처리 효과에 영향을 미치지 때문이다. 그러나 과실의 종류에 따른 1-MCP 처리 효과의 차이는 에틸렌 생성의 차이에 의해서만 설명될 수는 없으며, 보다 근본적으로는 과실의 에틸렌에 대한 반응성의 차이를 고려해야 할 것이다. 일반적으로 과실에 대한 1-MCP의 처리 방법은 과실을 1-MCP 가스와 함께 일정 시간 밀폐하는 방법이나 이러한 밀폐 조건에서는 에틸렌이 축적될 수 있으며 1-MCP는 에틸렌과 결합하면서 수용체와 결합하게 된다. 1-MCP의 에틸렌 수용체에 대한 결합 친화도는 매우 커서 에틸렌의 10배에 이르는 것으로 알려져 있는데(4), 이는 1 ppm의 1-MCP가 10 ppm의 에틸렌과 결합할 수 있음을 의미한다. 본 연구에서 1-MCP를 처리할 때 16시간 경과 후 용기내 축적된 에틸렌의 농도는 쓰가루 사과의 경우 처리구에 따라 30~60 ppm, 백향 복숭아에서는 5~10 ppm이었다. 사과의 경우 비록 1-MCP 처리 중에 노출된 에틸렌의 농도는 비교적 높았음에도 불구하고 1-MCP 처리 이후 지속적인 호흡의 감소와 에틸렌 생성의 억제 효과가 나타난 반면, 복숭아의 경우 1 ppm 이상의 1-MCP는 조직내 에틸렌 수용체와 결합하는데 충분한 농도인 것으로

추정됨에도 불구하고 사과와는 달리 1-MCP 처리 직후 감소하였던 호흡은 시간의 경과와 더불어 빠르게 회복되며 에틸렌 생성은 1-MCP의 처리의 영향을 크게 받지 않는 양상을 보였다. 이는, 백향 복숭아에서는 1-MCP 처리 직후 차단되었던 에틸렌의 작용성이 시간의 경과와 더불어 회복되기 때문으로 생각되는데, 쓰가루 사과의 경우에는 1-MCP가 에틸렌 수용체와 결합하여 에틸렌의 작용이 차단되면 새로운 수용체의 생성이 지연 또는 억제되는 반면 복숭아에서는 에틸렌의 작용이 일시적으로 차단되더라도 새로운 수용체가 지속적으로 합성되어 에틸렌에 대한 반응성이 유지되기 때문인 것으로 가정할 수 있다. 따라서 이러한 가정이 옳다면, 쓰가루 사과의 경우에는 수확 후 1회의 1-MCP 처리를 통하여 지속적으로 에틸렌의 작용이 차단되므로 충분한 성숙 지연의 효과를 얻을 수 있으나, 1-MCP의 에틸렌 억제 효과가 일시적인 백향 복숭아의 경우에는 연화 촉진 등의 에틸렌의 작용성을 지속적으로 차단하기 위하여는 반복적인 1-MCP의 처리가 요구되는 것을 의미한다. 그러나 백향 복숭아에서 1-MCP를 반복 처리할 경우 수확 직후 1회 처리에 비하여 에틸렌 생성은 오히려 증가하였는데, 이는 처리 과정에서 밀폐로 인해 과실이 에틸렌에 반복적으로 노출되기 때문이며 1-MCP의 처리 효과를 감소시키는 또 하나의 요인이 될 것으로 추측된다. 따라서 에틸렌에 민감하게 반응하는 과실의 경우 1-MCP의 처리 효과를 높이기 위해서는 처리 중 에틸렌의 제거 또는 생성을 억제하여 에틸렌의 축적을 회피하는 방법이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

쓰가루 사과 과실과 백향 복숭아 과실에서 1-MCP 처리에 대한 반응의 차이를 조사하였다. 쓰가루 사과는 수확 직후 1회의 1 또는 5 ppm의 1-MCP 처리에 의하여 2주간의 저장 기간 중 품질의 지표인 과육의 경도와 적정 산도의 저하가 크게 억제되었다. 또한 1-MCP의 처리는 지속적으로 과실의 호흡을 억제하였으며 에틸렌 생성의 개시 시점을 늦추는 효과를 나타내었다. 그러나 백향 복숭아에서는 수확 후 반복적인 1-MCP의 처리에 의해서만 약간의 연화 억제 효과를 관찰할 수 있었으며 호흡 또는 에틸렌 생성 억제 효과는 일시적이었다. 이는 백향 복숭아의 에틸렌에 대한 반응성이 1-MCP 처리 후 빠르게 회복되기 때문으로 생각된다. 백향 복숭아에서 1-MCP 처리에 의해 과실의 저장성을 향상하려면 반복적인 처리가 요구되며 처리 중에 에틸렌의 축적을 회피하기 위한 방법이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2005학년도 대구가톨릭대학교 일반연구비 지

원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. Watkins, C.B. (2002) Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control. In: Knee, M. (Ed.), *Fruit quality and its Biological Basis*. Sheffield Academic Press, U.K p.180-244
2. Sisler, E.C. and Yang, S.F. (1984) Anti-ethylene effects of cis-2-butene and cyclic olefins. *Phytochem.*, 23, 2765-2768
3. Sisler, E.C., Serek, M. and Dupille, E. (1996) Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonist in plants. *Plant Growth Regul.*, 18, 164-174
4. Sisler, E.C. and Serek, M. (1997) Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development. *Physiol. Plant.*, 100, 577-582
5. Blankenship, S.M. and Dole, J.M. (2003) 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.*, 28, 1-25
6. Ku, V.V.V., Wills, R.B.H. and Ben-Yehoshua, S. (1999) 1-Methylcyclopropene can differently affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. *Hort. Sci.*, 34, 119-120
7. Jiang, Y., Joyce, D.C. and Terry, L.A. (2001) 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biol. Technol.*, 23, 227-232
8. Palayo, C., Vilas-Boas, E.V.B., Benichou, M. and Kader, A.A. (2003) Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.*, 28, 75-85
9. Fan, X., Blankenship, S.M. and Mattheis, J.P. (1999) 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 124, 690-695
10. Mir, N.A., Curell, E., Khan, N., Whitaker, M. and Beaudry, R.M. (2001) Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 126, 618-624
11. Liguori, L., Weksler, A., Zutahi, Y., Lurie, S. and Kosto, I. (2004) Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of melting flesh peaches and nectarines. *Postharvest Biol. Technol.*, 31, 263-268
12. Fan, X., Argenta, L. and Mattheis, J.P. (2002) Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality. *HortScience*. 37, 134-138
13. Fan, X., Argenta, L. and Mattheis, J.P. (2000) Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biol. Technol.*, 20, 135-142

(접수 2005년 9월 23일, 채택 2005년 11월 29일)