

Research Report

아스파라거스에서 1-MCP와 CEPA 처리에 따른 CO₂ 및 에틸렌 발생과 품질특성

이정수*

농촌진흥청 국립원예특작과학원

Quality Characteristics, Carbon Dioxide, and Ethylene Production of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Treated with 1-Methylcyclopropene and 2-Chloroethylphosphonic Acid during Storage

Jung-Soo Lee*

National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 565-852, Korea

Abstract: Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) needs proper post-harvest treatment to prolong its storage life. This study investigated the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the quality and storage life of asparagus. Fresh-harvested asparagus was treated with 1-MCP (1 mg·L⁻¹), CEPA (10 mg·L⁻¹), and 1-MCP (1 mg·L⁻¹) + CEPA (10 mg·L⁻¹) and compared with an untreated control. The carbon dioxide (CO₂) production, ethylene production, and morphological characteristics of the preserved asparagus were observed. The flow-system and the static-type measurement methods for ethylene and CO₂ production (respiration rate) were used. Weight loss, respiration rate, degree of freshness, and ethylene production were monitored during storage at 7°C. The results further showed that CEPA (2-chloroethylphosphonic acid) treatment had greater effects on CO₂ and ethylene production than using the 1-MCP process. The asparagus treated with CEPA or 1-MCP + CEPA had significantly increased the ethylene production rate compared to the control or using only 1-MCP during storage. There were no evident changes in the respiration rate of asparagus under 1-MCP treatment as compared with the control. Using the flow-system, slight differences in the rates of CO₂ and ethylene production were noted as compared to using the static type. Findings showed that in using the flow-system, asparagus manifested clearer results as compared with the static type. Weight loss in asparagus was significantly lower in control and 1-MCP treated samples than in those treated with CEPA. Likewise, the CO₂ and ethylene production of the CEPA treated samples significantly increased. The 1-MCP treatment reduced the effects of CEPA on weight loss, soluble solids content, and osmolality. The effect was not observed with exogenous ethylene as CEPA treatment had no visible effect as compared to the untreated group. Thus, 1-MCP treatment of asparagus could slightly reduce damage to the quality of asparagus during its distribution where ethylene gas is produced. Therefore, this study suggests that 1-MCP treatment can reduce the damage induced by ethylene gas on asparagus in poor distribution environments.

Additional key words: gas measurement method, growth regulator, morphological changes

서 언

아스파라거스에 대한 관심이 늘면서, 국내 유통환경에서의 품질 보존을 위한 기술 개발이 요구되고 있다.

아스파라거스(*Asparagus officinalis* L.)는 백합과에 속하는 다년생 속근성 식물로써 봄철에 맹아 되는 어린 순을 식용하는데, 서양에서는 이미 오래 전부터 고급 채소로 이용하고 있다(Lipton, 1990). 우리나라에서는 아직까지 생산과

*Corresponding author: ljs808@rda.go.kr

※ Received 31 August 2014; Revised 24 April 2015; Accepted 22 May 2015. 본 난을 통하여 연구를 도와주신 임병선 연구관님을 비롯하여, 이해은님, 박수형님, 소정예님에게 감사를 드립니다. 본 연구는 농촌진흥청과 국립원예특작과학원 공동연구 사업(과제번호: PJ01051103) 지원의 일부로써 이루어졌다.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

소비가 미비한 편이나 최근 건강 채소에 대한 관심이 증가되어 수요가 증가할 것으로 전망된다. 따라서 소득 작물로서 기대되어 국내에서 재배기술에 대한 연구가 진행되고 있으나(Seong et al., 2002), 수확 후에 나타나는 변화나 특성에 관한 연구는 많지 않다.

아스파라거스는 수확 후 품질변화가 크고 호흡률이 높은 작물로서, 호흡 정도에 따라 저장수명이 영향을 받으며(Brash et al., 1995; Bhowmik and Matsui, 2003) 에틸렌 발생이 매우 적으나 민감하게 반응하는 작물로 알려져 있다(Hennion et al., 1992). 아스파라거스의 수확 후 수분함량 변화, 생리대사 작용 및 줄기경화 등의 품질변화가 원인이며(Chen et al., 1980; Lill et al., 1990) 에틸렌 가스가 페놀화합물 생성과 목질화(lignification)를 촉진하는 것으로 알려져 있다(Rhodes et al., 1976). 따라서 외생 에틸렌에 의한 작용을 경감시킬 필요성이 있으나, 에틸렌의 영향을 줄이는 방법에 대한 고찰은 많지 않다. 국내환경에서의 아스파라거스 수확 후에 관한 연구는 많지 않는데, 국내 유통은 불량한 환경이 많아 원예작물에 크고 작은 손실이 나타나며(Choi et al., 2011; Park and Son, 2010) 이러한 불량한 환경 조건은 외생 에틸렌으로 인한 생물학적 손실을 촉발시킬 수 있다(Kader, 2005; Porat et al., 1999). 그러므로 아스파라거스에서 에틸렌 가스의 조우(遭遇)를 가정하여 영향을 억제할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

에틸렌은 종자 발아에서부터 과실 성숙 및 노화까지 다양하게 생리적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Yang and Hoffman, 1984; Saltveit, 1999). 에틸렌의 생합성은 S-adenosylmethionine(SAM)에서 에틸렌의 전구 물질인 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid(ACC)를 거쳐 에틸렌으로 생성되며 외생 에틸렌은 ACC의 합성과 에틸렌으로 전환 과정을 촉진하여(Riov and Yang, 1982), 내생 에틸렌과 호흡을 증가시키고 성숙과 노화를 촉진시킨다(McMurchie et al., 1972). 아스파라거스는 대기온도에서 저장수명이 3-5일 정도로 알려져 있으며(An et al., 2006) 상품성 연장을 위해 MAP나 저압저장 등의 연구가 보고되었다(Li et al., 2006; Villanueva et al., 2005). Controlled atmospheric storage(CAS) 환경하에서도 저장이 어려운 것은 Baxter and Waters(1991)와 Li et al.(2006)가 아스파라거스의 높은 대사 활성과 호흡으로 인한 O₂ 및 CO₂ 가스의 불균형, 유해가스 축적, 수분 증발 때문이라고 보고하였다. 따라서 아스파라거스의 효과적인 유통을 위해서는 내부 대사 기능을 억제하는 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다. Hennion and Hartmann(1990)은 아

스파라거스에 STS(silver thiosulfate) 전처리에 따른 에틸렌 가스 발생 및 호흡 억제를 연구 한 바 있으나, STS 처리에 따른 차이를 명확하게 구분하지 못하였다. An et al.(2006)은 6-BAP(6-benzylaminopurine) 전처리를 통해 호흡을 효과적으로 낮출 수 있다고 보고하였다. 1-MCP처리에 대해서 Choi and Huber(2009)와 Huber et al.(2010)이 아스파라거스에 1-MCP가 흡수되는 정도와 1-MCP처리의 효과가 미흡한 원인에 대해 보고 하였으나, 1-MCP 처리에 따른 호흡특성에 대해서는 고찰하지 않았다. 약제 사용과 관련해 STS는 절화에서 사용되고 있으나, 최근에는 환경오염물질로 분류되어 금지되고 있다(Byun et al., 2004). 국내 농약사용지침에서 6-BAP는 감귤·국화·콩나물에서 사용할 수 있는 성장조정제로 등록되어 있으나, 수확 후 품질보존 용도로는 고시되어 있지 않다(KCPA, 2014). 1-MCP는 사과 및 토마토 등에 수확 후 품질보존을 위해 등록되어 있어 아스파라거스에서 이용이 용이할 것으로 보인다. 1-MCP는 휘발성이 강력한 에틸렌 작용억제제로 에틸렌 receptor와 결합하고 에틸렌의 생성 및 작용을 억제하여 과일·채소 및 화훼 등 여러 가지 원예작물에서 저장수명을 연장시킬 수 있는데(Blankenship and Dole, 2003; Watkins, 2006), 에틸렌 binding factor와 결합 시 선택적이기 보다는 무작위적으로 비가역적인 것으로 알려져 있다(Sisler and Serek, 1997).

저장 중 발생하는 CO₂ 및 에틸렌 측정을 위해 여러 가지 방법이 사용된다(Lim et al., 2009). 측정은 과실부에서 직접 가스를 추출하는 방법(Saltveit, 1982)과 밀폐 된 통에 넣어 축적되는 가스를 일정 간격으로 조사하는 방법(Wang et al., 1972) 등이 있다. 밀폐 용기의 측정하는 방법도 일정 간격을 용기를 열고 닫으며 측정하는 비연속적인 측정(Static type)과 밀폐 후 연속적으로 공기를 순환시키는 측정 방법(flow-system)으로 구분할 수 있다(Lim et al., 2009). 본 연구에서는 1-MCP 처리에 따른 CO₂와 에틸렌 특성을 밀폐용기 내에서 비연속적 측정과 연속적 측정(flow-system) 방법을 이용하였다. 이는 아스파라거스와 같이 급격한 품질변화를 겪는 작물에서 보다 세세한 호흡특성을 보고자 flow-system을 이용하여 비연속적인 측정과 비교하였다.

실험에서 사용한 flow-system은 국립원예특작과학원에서 자체 제작한 공기 순환식 시스템으로 휘발성 물질의 축적을 피하면서도 발생량 변화를 자동으로 측정할 수 있는 특징을 가지고 있다(Lim et al., 2009).

본 실험은 아스파라거스 상품 보존을 위해 에틸렌 발생 억제제인 1-MCP 처리와 에틸렌 가스 조우를 가정하여 에틸

렌 발생제인 CEPA 영향을 동시에 보고자 CO₂ 및 에틸렌 발생 특성을 연속적 측정방법 등으로 관찰하여 기초적인 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 수확 후 처리

본 실험에 사용된 아스파라거스는 'Worldwelcome'(Sakada seed, Japan) 으로 강원도 홍천지역에서 재배한 5년생을 수확하여 이용하였다. 수확은 6월 12일에 하였으며 국립원예특작과학원으로 바로 이동하여 실험을 실시하였다. 실험재료는 길이 24cm에 두께 1.3-1.5cm 정도의 것으로 크기가 균일하고 상품성이 있는 것을 선별하였다. 수확 후 처리는 1-MCP(1-Methylcyclopropene), CEPA(2-Chloroethylphosphonic acid), 1-MCP와 CEPA 혼용처리, 무처리를 두었으며 처리 후 쇼케이식형 냉장고에 평균온도 7.1°C와 습도 73%로 보관하여 CO₂와 에틸렌 발생량 및 형태변화 등을 조사하였다.

1-MCP와 CEPA 처리

실험처리는 1-MCP가 아스파라거스에 대해 불량한 유통 환경에서 발생하는 에틸렌의 품질저하 억제 효과를 보고자 무처리인 대조구와 1mg·L⁻¹의 1-MCP 처리, 10mg·L⁻¹의 CEPA 처리, 1-MCP와 CEPA 혼용처리로 두었다. 1-MCP 처리는 국립원예특작과학원에서 자체 제작한 이중 잠금 장치가 있는 스테인레스 밀폐 용기(체적: 0.52m³)에 아스파라거스를 놓아 두고, 성분량은 1mg·L⁻¹으로 환산한 smart fresh commercial powder(3.3% AgroFresh Inc., Korea)을 중탕 형태의 용기에 넣고 따뜻한 증류수를 부어 가스 발생 후 16시간 동안 상온에서 처리했다. CEPA 처리는 농약사용지침서를 참고로 하여(KCPA, 2013), CEPA(ethephone(ethrel), Dongbu Hannong, Korea)를 10mg·L⁻¹으로 환산하여 만든 용액에 1분간 침지하여 처리하였다. 혼용처리는 아스파라거스를 1-MCP에 처리한 후에 외생 에틸렌 발생을 위해 CEPA에 동일한 방법으로 침지하였다. 아스파라거스의 신선도 및 품질변화에 따른 선도는 Lee et al.(2007)와 Yang et al.(1991)의 방법을 참고로 하여 실험재료를 상 등급에서 하 등급까지 5단계로 나누며 1일 간격으로 조사하였다(선도기준: 6 = 매우 신선·수확 당시와 비슷, 4.5 = 상품성 유지, 3.0 = 선도 약간 저하, 1.5 = 선도 저하 및 변색 시작, 0 = 상품성 상실·부패시작).

에틸렌 및 CO₂ 가스 발생량 측정

처리에 따른 CO₂ 및 에틸렌 발생 조사는 비연속적인 방법(static type)과 연속적인 방법(flow-system)으로 실시하였다. 비연속적인 방법은 Lee et al.(2007)의 방법을 따라 측정하였으며, 연속적인 방법은 Lim et al.(2009)의 flow-system을 이용하여 측정하였다.

비연속 측정은 아스파라거스 300g을 3.4L의 밀폐용기에 1시간동안 밀폐하여 얻은 가스 gas chromatograph(model 5890 series II, Hewlett Packard, USA)를 이용하여 2일 간격으로 4반복씩 조사하였다. 연속측정은 7°C의 챔버안에서 500g의 아스파라거스를 1L 밀폐용기에 넣고, 수확 후 1일 이후부터 분당 30mL의 공기를 연속으로 주입하면서 대상 작물에서 나오는 가스 시료를 TCD 및 FID를 장착한 GC에 매일 자동으로 3회씩 2반복으로 분석하였다. CO₂와 에틸렌(C₂H₄) 가스의 분석은 연속적인 방법과 비연속적인 방법 모두 분석기기가 동일한 기종으로 같은 조건으로 측정하였다. CO₂ 측정에 사용한 column은 active carbon을 충전한 stainless steel column과 detector는 TCD(150°C)를 사용하였으며, 에틸렌(C₂H₄) 가스 측정에 사용한 column은 supelco alumina F-1을 사용하였고 detector는 FID(200°C)를 이용하여 검출 온도는 250°C로 측정하였다. GC injector 온도는 110°C이며, column의 오븐온도는 70°C, carrier gas는 He(30mL/min)으로 하였다.

생체중 변화

생체중 변화(중량 감소율)는 입고 시 저장 중(온도 7.1°C, 습도 73%)의 중량에 대한 생체중의 감소 정도를 백분율로 표시하였으며 1일 간격으로 6일동안 조사하였다.

해부학적인 변화

세포의 조직변화를 관찰하기 위해 아스파라거스의 조직 절편을 채취하여 1차 고정액 2.5% glutaraldehyde에 넣어 90분간 1차 고정하고, 0.1M phosphate buffer(pH 7.2)로 15분간 4-5회 세척하였다. 2차 고정은 1%의 osmium tetroxide에 90분간 처리한 다음 위와 동일한 세척 과정 후 하룻밤을 침지시켰다. 고정 과정은 4°C에서 진행하였다. 탈수는 상온에서 40, 60, 80, 90 및 95% ethanol로 각각 5분씩, 100% ethanol로 5, 15, 15 및 30분간 처리하였으며 propylene oxide로 치환 후, 최종적으로 epon에 포매(embedding)하여 60°C의 오븐에서 4일간 중합시켰다. 중합된 epon block을 초미세절편기(Ultracut R, Leica Co., Germany)를 이용하여 1,500nm

의 두께로 시료를 절단하여 PAS 염색법으로 염색한 후 광학현미경(Axioskop 2, Carl Zeiss, Germany)으로 검경하였다(Chang, 1973).

엽록소(chlorophyll)함량, 가용성고형물(soluble solid condents), 삼투물 농도(osmolality)

엽록소(chlorophyll) 함량은 Park et al.(1996)의 방법을 참조로 하여 DMSO(dimethyl sulfoxide) 10mL에 신선한 잎 조직을 100mg 넣고 65°C 수조에 30분간 침출 후 spectrophotometer (DV 650, Beckman coulter, USA)를 이용하여 645nm와 663nm에서 흡광도($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)를 측정하여 산출하였다. 가용성고형물(SSC)는 굴절당도계(PR-32 α , Atago, Japan)로 측정하여 °Brix 농도로 나타내었고, 삼투물 농도는 Lee et al.(2008)의 실험 방법과 매뉴얼(Wescor, 1995)을 참고로 하여 신선 조직의 즙액을 짜서 vapor pressure osmometer(5520, Wescor, USA)을 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

에틸렌 발생

아스파라거스 보존 동안 에틸렌 가스발생은 전처리 방법에 따라 유의적으로 변화하였다(Fig. 1). 아스파라거스에서

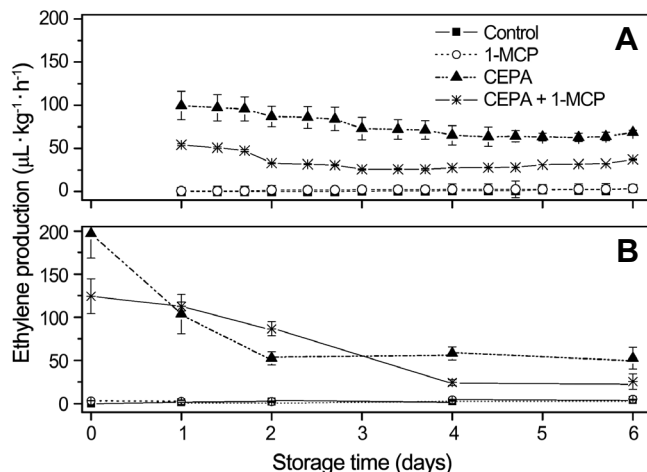


Fig. 1. Ethylene production measured by flow-system (A) and static type (B) methods from 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. Vertical bars represent standard errors of the means.

에틸렌 발생은 CEPA 처리가 촉발시키며, 1-MCP 처리에 의해 다소 억제되는 것으로 나타났다. 아스파라거스의 에틸렌 가스 발생 정도는 CEPA 처리, 1-MCP와 CEPA 혼용, 그리고 무처리와 1-MCP 단일처리 순이었다. 에틸렌가스 발생 패턴은 수확 후 보존이 진행될수록 점차 감소하는 양상이었으며, 측정방법 별 측정치는 유사한 것으로 나타났다. Fig. 1에서 에틸렌 가스는 대조구인 무처리에서는 거의 발생하지 않았으나, CEPA에 의한 외생 에틸렌 처리는 발생이 촉발되어 발생량이 많아지는 것으로 나타났고, 1-MCP 처리에 CEPA를 혼용하면 발생량을 감소시켰으나 완전히 억제하지는 못하였으며 단순 1-MCP 처리는 무처리와 같이 발생량이 적은 것으로 나타났다. Fig. 1의 flow-system을 이용한 보존 4일째 에틸렌 발생량을 보면, CEPA 단용처리가 $65.3\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 으로 가장 많은 발생량을 보였고, 1-MCP와 CEPA 혼용처리가 $27.53\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 순이었으며 1-MCP 처리 및 무처리는 2.6 과 $0.9\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 으로 적은 발생량을 보였다. 비연속적인 측정방법에서도 CEPA 처리가 에틸렌 발생을 촉진시키며, 1-MCP와의 혼용처리로 에틸렌 발생이 감소되는 것을 확인하였다. CEPA 처리가 $58.1\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 으로 많은 발생량을 보였고, 1-MCP와 CEPA 혼용처리가 $24.4\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이었으며, 1-MCP 처리 및 무처리는 4.4 와 $2.7\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 의 발생량을 보였다. 에틸렌 가스 발생 측정에 있어서 측정방법에 따라서는 기존의 측정방법이나 flow-system을 이용하는 방법의 측정치가 서로 유사하여 측정 방법 별 차이를 확인하기는 어려워 보인다.

1-MCP 처리가 에틸렌 발생을 억제시키는 것에 대한 선행적인 연구결과에 따르면 1-MCP가 에틸렌 수용체와 결합되어 자가 촉매적 에틸렌 생성을 억제시키는 것으로 보고되었다(Sisler et al., 1996). CEPA는 에틸렌 가스 발생을 위해 이용되는데, 식물체에 흡수되면 pH의 변화에 따라 분해되어 에틸렌을 생성하기 때문에 성장조정제로서 농업분야에서 많이 활용되고 있다(Yang, 1969). 다른 연구에서도 1-MCP가 처리에 따른 효과를 검증하고자 외생 에틸렌 발생을 위해 CEPA가 이용되고 있다(Lee et al., 2006).

1-MCP의 에틸렌 발생 억제와 관련하여 작물 별로 발생 양상이 다른데, 1-MCP가 딸기에서는 생성량을 낮추었으며(Jiang et al., 2001), 아보카도와 야자에서는 에틸렌 생성을 지연시켰다는 보고가 있다(Dong et al., 2002). 사과인 '후지', 'Red Delicious', 'Granny Smith'에서 에틸렌 생성이 감소되었다는 보고가 있으며(Fan and Mattheis, 1999), 화훼작물인 카네이션에서도 감소된다는 보고가 있다(In et al.,

2002). 많은 원예작물에서 1-MCP 처리로 대부분이 에틸렌 발생이 감소하지만 항상 억제되는 것은 아니고, 아보카도, 바나나, 포도, 딸기 등에서 품종과 숙도, 1-MCP 처리 농도 등에 따라 에틸렌 생성이 오히려 더 많아진다는 연구결과도 있다(Golding et al., 1998; Jeong et al., 2003; Roh et al., 2001; Tian et al., 2000). 아스파라거스는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 1-MCP 처리로 에틸렌 발생을 완전히 억제시키지는 못하고 다소 감소시키는 것으로 나타났는데, 이에 대해 Choi and Huber(2009)는 아스파라거스에 많이 함유된 리그닌이 1-MCP를 흡수하는 것으로 추정하였으나, Huber et al. (2010)은 아스파라거스의 왕성한 대사 활성으로 1-MCP가 소모되어 완전히 억제시키지 못하는 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 연구대상을 관찰한 일차적인 연구로 대사 작용까지 논하기는 어렵지만, 처리 별 에틸렌 발생 정도를 비교하여 유추해보면, 아스파라거스는 CEPA에 의한 외생 에틸렌이 가스발생을 촉발 시키며, 1-MCP 처리를 통해 에틸렌 발생을 감소시키는 것으로 나타나는데, 완전히 억제시키지 못한 것에 대해 아스파라거스의 왕성한 대사 활성으로 1-MCP가 에틸렌 수용체 결합보다는 다른 다양한 물질과 결합하여 에틸렌 억제 효과가 떨어진다는 Huber et al.(2010)의 견해와 같은 생각이다.

이상의 결과를 보면, 아스파라거스에서 1-MCP는 외생으로 발생하는 에틸렌의 영향을 상쇄시키는 것으로 나타났다.

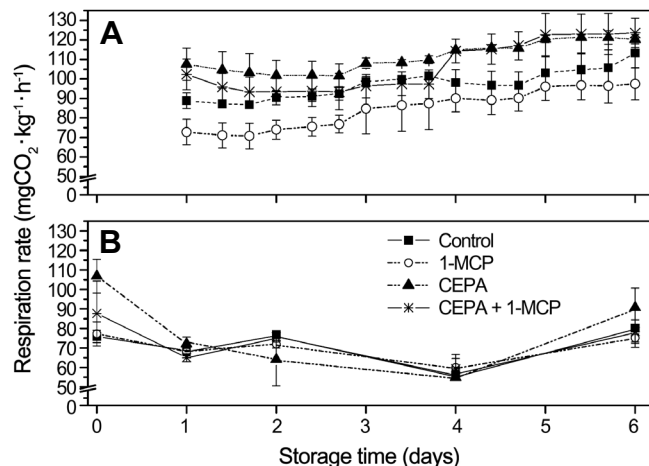


Fig. 2. Respiration rate measured using flow-system (A) and static-type (B) methods in 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. Vertical bars represent standard errors of the means.

Fig. 2에서 아스파라거스는 에틸렌을 발생시키지 않지만, CEPA 처리에 의한 외생 에틸렌에 의해 민감하게 반응하여 가스 발생이 촉발되는 것으로 나타났으며, 1-MCP와 혼용 처리에 의해 에틸렌 발생이 감소되는 효과를 확인하였다. 1-MCP 단순처리에는 큰 효과가 없었는데 아스파라거스에서 무처리가 에틸렌을 발생하지 않아 영향을 보이지 못하는 것으로 보인다.

CO₂ 발생

아스파라거스 보존기간 중 CO₂발생은 전처리에 따른 차이가 관찰되었다(Fig. 2). 또한 CO₂ 발생량이 단기보존 동안에 증가하는 경향을 보였으며 연속적 측정 방법에 의해 차이를 확인할 수 있었다. Fig. 2의 연속적 측정 방법(flow-system)에 따른 저장 4일째의 CO₂발생량은 CEPA 단일처리가 114.9mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹이고, 1-MCP와 CEPA의 혼용처리가 114.4mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹으로 많았으며 대조구인 무처리가 98.2mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹이고, 1-MCP의 단일처리는 90.0mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹이었다. 비연속적 측정에서 저장 4일째의 CO₂ 발생량은 CEPA 단일처리가 60.0mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹이고, 1-MCP와의 혼용처리가 59.3mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹인 것으로 나타났다, 대조구인 무처리가 56.1mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹이고, 1-MCP의 단일처리는 59.9mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹인 것으로 나타났다.

아스파라거스를 6일 보존 동안에 CO₂ 발생량이 늘어 호흡이 증가하는 경향을 보였는데, 전처리별 CO₂ 발생량은 CEPA 단일처리가 가장 높았으며, 1-MCP와 CEPA 혼용처리, 무처리 및 1-MCP 단일처리 순으로 나타났다. 변화 경향을 보면, CEPA 처리로 인해 CO₂ 발생량이 증가되며, 1-MCP와 혼용처리는 CO₂ 발생량에 큰 억제효과를 보이지 못하였으나 1-MCP 단일처리는 대조구에 비해 다소 CO₂ 발생량이 감소하는 것으로 나타났다.

측정방법에 따라, Fig. 2와 같이 밀폐된 flow-system에서 연속적인 측정 방법은 비연속적 측정 방법보다 처리 간 차이를 명확히 구별해 낼 수 있는 것으로 나타났다. 비연속적인 측정 방법은 동일 개체를 사용했음에도 불구하고 측정치의 최대·최소의 변이가 커서 CO₂ 발생이 일정치 않아 보였다. 비연속측정은 데이터 값의 등락이 커지면서 파편적으로 흩어지는 현상을 보이는데, 측정 시 매번 밀폐와 개봉을 반복하여 노이즈가 발생하는 것으로 보인다.

변화 경향을 보면, CEPA 처리가 CO₂의 발생량을 증가시키는 것으로 나타났으며, 1-MCP 혼용 처리로 CO₂ 발생량이 감소하지만 완전히 상쇄되지 않았으며, 1-MCP 단일처리

는 대조구에 비해 CO₂의 발생량이 다소 감소하지만, 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. Lim et al.(2009)의 flow-system을 이용한 연속적인 측정 방법은 Fig. 2의 결과와 같이 처리에 따른 CO₂ 발생 변화 경향이 뚜렷하게 구별되어 효율적인 측정 방법인 것으로 생각된다.

호흡을 통해 CO₂가 발생되는데 이는 기질이 산화되면서 에너지를 발생시키는 과정으로 Steensen(1996)은 에틸렌이 호흡을 증가시킨다고 보고하였다. 1-MCP 처리에 따른 영향에 대해 Moran and McManus(2005)는 1-MCP가 조직의 연화를 억제시키고 에틸렌 발생과 호흡을 현저히 저하시킨다고 하였으며, Rupasinghe et al.(2000)과 Toivonen and Lu(2005)도 1-MCP가 호흡기질 전환을 억제시키는 것으로 추정하였다.

작물에 따라 1-MCP 처리가 호흡에 미치는 효과가 달리 나타나는데, 아보카도에서는 1-MCP 처리가 무처리보다 호흡이 증가하는 것으로 보고 되었다(Jeong et al., 2003). 복숭아와 살구는 1-MCP에 의한 호흡억제 효과가 적은 것으로 보고 되었으며(Dong et al, 2002) 같은 작물이라도 수확 시기에 따라 달라서 딸기는 조기에 수확 된 과실은 호흡을 억제하지만, 늦게 수확한 과실은 효과가 적다고 보고되었다(Tian et al., 2000).

작물별로 1-MCP가 호흡에 미치는 영향이 다르지만, 아스파라거스에서는 다소 호흡량을 낮추는 효과가 있는 것으로 생각된다(Fig. 2).

Hennion and Hartmann(1990)은 아스파라거스에서 STS 등 전처리에 따른 처리 간의 호흡 차이를 조사하였으나 명확히 구분하지 못하였는데 이에 반해 Fig. 2에서 flow-system을 이용한 CO₂ 발생량 측정에서 6일 동안의 단기간 보존 시 처리간의 차이 비교적 명확히 구분하였을 뿐만 아니라 호흡이 증가하는 것으로 나타났다. Hennion and Hartmann(1990)은 아스파라거스 CO₂ 발생은 초기 1일에 급격히 증가하다가 이후 서서히 10일까지 감소하는 것으로 보고하였으나, 본 실험에서 아스파라거스는 단기간 보존 시 호흡이 증가하는 것으로 판단된다.

이는 Hennion and Hartmann(1990)의 결과와 다른데, 초기 0일의 측정은 충분히 저장온도에 조우하지 못하고 실험 전 품온으로 CO₂ 발생량이 높았던 것으로 추측되며, 이후 저장온도에 적응하면서 낮아지는 것으로 보인다. 본 실험의 비연속적 측정에서도 초기 0일째 CO₂ 발생 값이 높았으나 보존온도에 아스파라거스가 적응하면서 1일 이후에는 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 비연속적 측정은 경시적 변

화 관찰에서 데이터 값의 변화된 폭이 커져 전처리간의 차이를 판단할 수 없었으나, 연속적 측정(flow-system)에서 관찰해보면 아스파라거스의 CO₂ 발생량이 보존 6일 동안에 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 수확 후 호흡량이 일시적으로 증가하였기 때문으로 판단된다. Lee et al.(2006)은 애호박에서 CO₂ 발생이 보존 6일까지 증가하다가 감소하는 것으로 보고는 하였지만 원인에 대해서 언급을 못하였는데, 아스파라거스와 같이 대사작용이 활발한 작물은 노화 전까지 호흡이 증가하다가 감소하는 것으로 생각된다.

아스파라거스도 측정 기간이 길어 진다면 CO₂ 발생량이 감소할 것으로 예상된다. 향후에는 생리대사 활성과 호흡변화 패턴에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

생체중 변화

아스파라거스 보존 동안에 전처리에 따라 생체중 변화에 차이를 보였다(Fig. 3). 원예작물은 저장·유통 중의 생체중 감소로 인해 직접적인 품질 저하를 초래하여, 상품성 감소에 큰 영향을 미친다(Lee et al., 2007). 아스파라거스 유통 중에 불량한 환경을 전제로 하여 에틸렌 가스에 의한 생체중 감소는 1-MCP처리로 영향을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. Fig. 3을 보면 처리별 아스파라거스의 생체중 감소 정도는 보존 4일째 CEPA 처리가 19.8%로 가장 높았으며, 1-MCP와 CEPA 혼용처리가 16.8%였으며, 1-MCP 단독처리가 12.5%이고, 무처리가 12.1%이었다. 따라서 아스파라

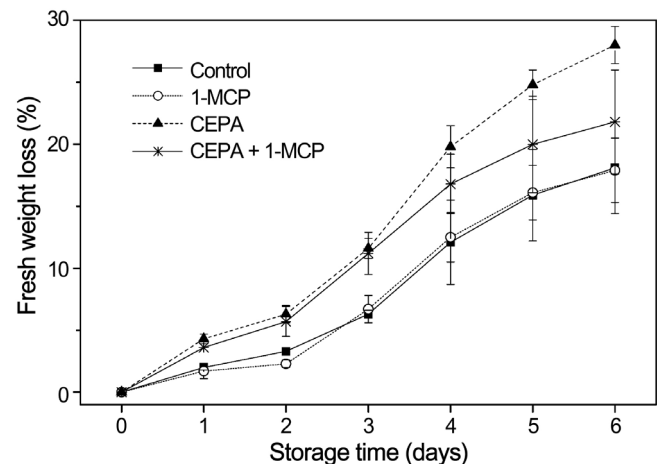


Fig. 3. Fresh weight loss from 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. Vertical bars represent standard errors of the means.

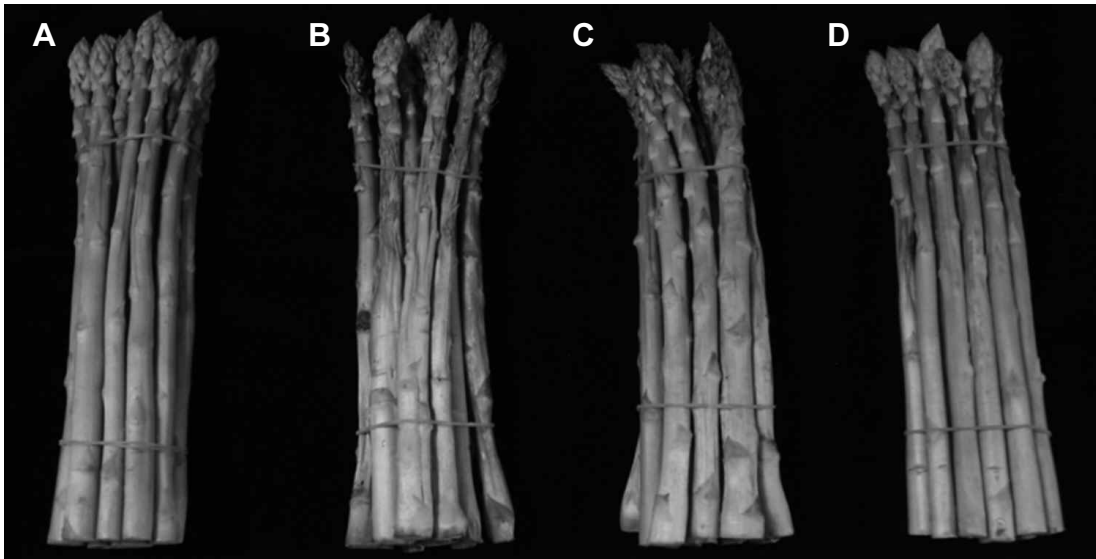


Fig. 4. Appearance of 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. A, control; B, CEPA; C, 1-MCP; D, CEPA+1-MCP.

거스는 CEPA 처리에 의한 외생 에틸렌 발생으로 생체중의 감소가 촉진되며, 1-MCP 처리는 외생 에틸렌가스 존재 하에서 제한적인 효과를 확인할 수 있었으며, 1-MCP 단독 처리는 생체중 감소 정도에 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다.

Park et al.(1989)는 호흡량 증가가 원예작물의 생체중 감소에 영향을 준다고 하였는데, 원예 작물의 중량감소는 저장 중 수분 함량, 온도 및 습도 등에 영향을 받으며, 호흡에 관여하는 효소들이 기질소모로 인해 호흡량 증가와 밀접한 관계가 있다고 하였다.

전처리에 따른 아스파라거스는 외생 에틸렌 처리에 의한 CEPA 처리에서 호흡 정도가 높아지고 생체중 감소 정도가 높은 것으로 나타났으며, 호흡이 낮았던 무처리나 1-MCP 단독처리의 생체중 감소는 낮은 것으로 나타났다.

유럽이나 미국 등 해외 사례를 보면, 아스파라거스는 저온뿐만 아니라 습도를 조절하여 저장·유통 하고 있다(Paull, 1999). 또한 Chen et al.(2007)은 진공포장과 저장 환경의 적극적인 조절을 통하여 상품성 보존 방법을 개발하였다. 그러나 국내의 유통현장이나 매장에서 해외 선진 유통과 같이 적극적인 환경 조절이 어려울 수 있으므로, 1-MCP 처리로 불량한 환경하에서 외생 에틸렌이 존재할 경우에 외관변화로 인한 상품성 저하를 다소 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

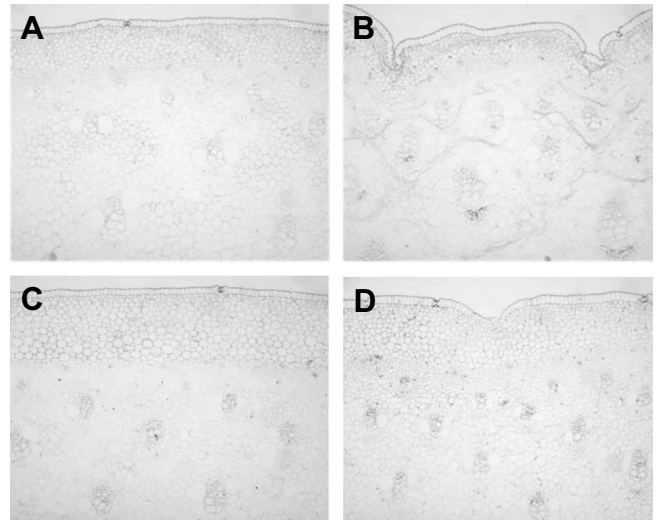


Fig. 5. Micrographs of cross-sections from 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. A, control; B, CEPA; C 1-MCP; D, CEPA+1-MCP.

해부학적인 변화

아스파라거스 보존 전의 전처리가 표면 조직의 변화에 영향을 미치는 것으로 보인다(Fig. 5). 다만 아스파라거스에서 1-MCP 처리는 외생 에틸렌이 존재할 경우에 효과를 보이는 것으로 나타났다. Fig. 4와 Fig. 5의 아스파라거스 보존 동안

에 형태 및 조직 변화에서 1-MCP 처리는 CEPA에 의한 심한 변화를 상쇄시키는 것으로 나타났다.

Lee et al.(2006)은 농산물에서 1-MCP의 흡수 능력은 작물 조직 특성에 따라 다르게 나타난다고 하였는데, 광학 현미경을 이용한 아스파라거스 내부의 조직 변화를 보면 외생 에틸렌인 CEPA 처리에 의해 표피 세포벽과 내부 세포의 붕괴가 많이 이루어진 반면에, 1-MCP와 CEPA의 혼용처리로 인해 변화가 덜해지는 것으로 나타났으며 1-MCP 단순처리는 무처리와 유사한 형태를 유지하는 것으로 나타났다(Fig. 5). Fig. 4와 같이 CEPA 처리에 의해 표피에 변형을 일으켜, 아스파라거스 스펜(spear)의 정단부에서 향기적 방향은 심하게 표피가 안쪽으로 우묵하게 들어가고 주름이 많이 지고 쭈그러진 모양이었으며, 표피 내부를 보면 Fig. 5에서 줄기의 표면 층이 이리저리 굽어 굴곡이 생기고, 내부세포벽의 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. Fig. 5와 같이 1-MCP 처리 후 CEPA 처리에 의해 표피가 다소 변형 되어 굴곡이 발생되나, 외생 에틸렌 처리보다 손상 정도가 덜한 것으로 보였다.

Lee et al.(2006)은 1-MCP가 저장 중의 형태변화를 지연시키는 효과를 가진다고 하였으나, 아스파라거스에서 1-MCP 단순처리를 통해서 작물의 형태 유지 또는 변화에 영향을 미친다고 보기는 어려웠다. 에틸렌 발생에 의해 아스파라거스도 다른 작물에서와 같이 급격한 노화로 인한 손상이 발생하는 것으로 보이지만, 1-MCP 단순처리는 무처리와 비교하여 세포조직이나 형태 변화에 큰 차이가 없었다. CEPA와의 혼용처리에서 1-MCP가 에틸렌에 의한 형태변화 메커니즘을 저해하여 급격한 형태 변화를 지연시키는 것으로 보인다.

Kim et al.(2006)은 국내 과실에서 발생하는 장해는 저장고의 불량한 환경조건에서 에틸렌가스가 원인이며, 에틸렌가스 제거기 설치로 저장성을 향상시킬 수 있다고 하였다. 아스파라거스도 에틸렌이 발생하는 불량한 환경에서는 상품성 저하가 예상됨으로, 이를 극복하기 위해 1-MCP 처리하여 상품성 저하를 억제하고 품질보존 개선효과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다. 형태변화에서 CEPA 처리는 다른 처리보다 표피 변형이 심하였는데(Fig. 5) 이는 발생하는 외생 에틸렌의 영향으로 생각되며(Fig. 1), 1-MCP와의 혼용처리로 인해 에틸렌의 발생이 감소되었기 극심한 변형도 약화시키는 것으로 보인다. 그러나 에틸렌의 발생이 거의 없는 대조구나 1-MCP처리는 영향이 없어, 변화를 관찰할 수 없었다. 아스파라거스에서는 1-MCP를 통한 작물 형태의 유지

또는 변화에 영향을 미친다고 보기는 어려웠으며, CEPA 처리에 의한 에틸렌발생이 변화를 촉진시키지만, 1-MCP와의 혼용이 약화시키는 것으로 판단된다.

외관 품질

아스파라거스 보존 중 3일 이후 전처리에 따라 외관 품질의 차이를 보였다(Fig. 6). 아스파라거스는 보존 3일까지 비슷한 외관으로 상품성을 유지하다가 이후에 차이를 보였는데, 실험이 종료하는 보존 6일째 1-MCP 처리의 평가지수가 2.7이었으며 대조구인 무처리가 2.3, 1-MCP와 CEPA 혼용처리가 1.3, CEPA 처리가 0.7이었다.

Lee et al.(2006)은 애호박에서 21일 동안 1-MCP 처리로 저장초기와 비슷한 형태와 품질이 유지 된다고 하였으나, Fig. 4에서와 같이 1-MCP처리는 아스파라거스의 외부 형태적 차이에서 무처리와 거의 유사한 외형과 색상을 유지하여 품질개선을 기대하기 어려웠다. 반면에 CEPA에 의한 외생 에틸렌처리는 줄기선단의 spear와 표피부분이 마르면서 심하게 쪼그라드는 형태를 보였고, 1-MCP와 혼용처리에 의해 다소 손상 정도가 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통해 아스파라거스에서 1-MCP 단순처리로 인한 상품성 보존 효과는 기대하기 어려워 보이나, 불량한 수확 후 환경에서 외생적으로 발생하는 에틸렌의 영향을

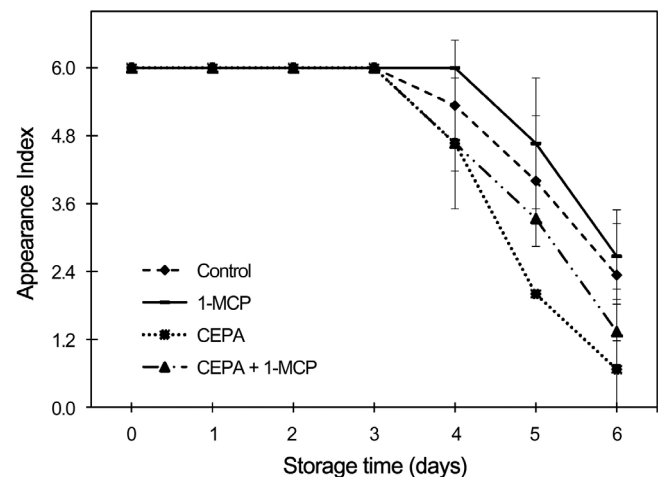


Fig. 6. Appearance index of 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. Vertical bars represent standard errors of the means. Appearance index: 6 = excellent, 4.5 = good, 3.0 = moderate, 1.5 = poor, and 0 = inferior.

감쇄할 수 있는 효과가 있는 것으로 관찰되었다.

엽록소(chlorophyll)함량, 가용성고형물(SSC), 삼투물 농도(osmolality)

아스파라거스에 외생 에틸렌처리는 삼투물 농도 등을 감소시키나, 1-MCP와의 혼용처리로 에틸렌을 억제하는 것으로 나타났다(Fig. 7). 1-MCP 처리는 엽록소(chlorophyll) 함량, 가용성고형물(soluble solids content), 삼투물 농도(osmolality)에서 대조구인 무처리와 비교해 큰 차이를 보이지 않았으나, 외생 에틸렌 처리는 대조구에 비해 이들 함량을 감소시키는 것으로 보였으며, 1-MCP와의 혼용 처리는 에틸렌의 영향을 억제하는 것으로 나타났다.

아스파라거스 보존 6일째 chlorophyll 함량은 1-MCP 처리가 $44.4\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 이고, 대조구인 무처리가 $42.7\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 1-MCP와 CEPA의 혼용처리가 $41.2\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, CEPA가 $41.5\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 이었다. 가용성고형물 함량에서는 1-MCP와 무처리가 3.4°Brix , 1-MCP와 CEPA 혼용처리가 3.0°Brix , CEPA처리가 2.5°Brix 이었다. 삼투물 농도는 무처리가 $223.3\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 1-MCP와 CEPA 혼용이 $189.0\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, CEPA가 $166.0\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 이었다. 삼투물 농도는 의료분야에서 체내 삼투압에 영향을 줄 수 있는 Na⁺, 당, 요소 등을 혈액이나 의약품에서의 증감 상태를 확인하기 위해 이용하고 있으며, 식물 분야에서는 생육 환경에 따른 삼투압 변화를 측정하기 위한 목적으로 사용되고 있다(Lee et al., 2008). 삼투물 농도(osmolality)에 있어서 CEPA 처리가 낮았다. 이는 외관 변화(Fig. 4)에서 심하게 마르고 중량감소가 큰 것처럼(Fig. 3), 에틸렌 가스에

의한 호흡 등의 증가로 삼투물질을 소모하여 낮아지는 것으로 생각된다.

Golding et al.(1998)과 Lee et al.(2006)은 1-MCP 처리에 의해 가용성고형물 또는 당성분이 영향을 받지 않는다고 보고 하였고, 아스파라거스도 일치하는 결과를 보여주었다. 아스파라거스에서 1-MCP 처리는 가용성고형물과 chlorophyll 함량, 삼투물 농도 변화에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. Kader(1985)는 에틸렌이 원예작물의 노화를 촉진할 뿐만 아니라, 엽록소 감소를 촉진한다고 보고하였다. 아스파라거스에서 외생 에틸렌이 chlorophyll 함량뿐만 아니라 가용성고형물 함량, 삼투물 농도도 낮추는 것으로 나타났다. 아스파라거스는 에틸렌을 발생시키지는 않지만 에틸렌과의 조우로 인해 삼투물 농도가 낮았는데, 이는 높은 호흡으로 인해 낮아지는 것으로 보인다. 1-MCP 혼용처리는 가용성고형물과 삼투물 농도에서는 외생 에틸렌의 영향을 상쇄시키는 것을 보여주었으나, chlorophyll 함량은 CEPA 처리와 큰 차이가 없었다. 1-MCP처리가 측정항목에 따라 효과가 달리 나타나기는 하였지만, 외생 에틸렌의 영향을 억제하는 효과가 있어, 국내에서 아스파라거스 유통을 위한 완벽한 시스템을 갖추기 전까지 예방적 차원에서 1-MCP 처리가 필요할 것으로 생각된다.

초 록

아스파라거스는 수확 후 품질변화가 심하여, 보존 전에 1-MCP 등의 전처리를 통하여 상품성 유지효과를 검정하고

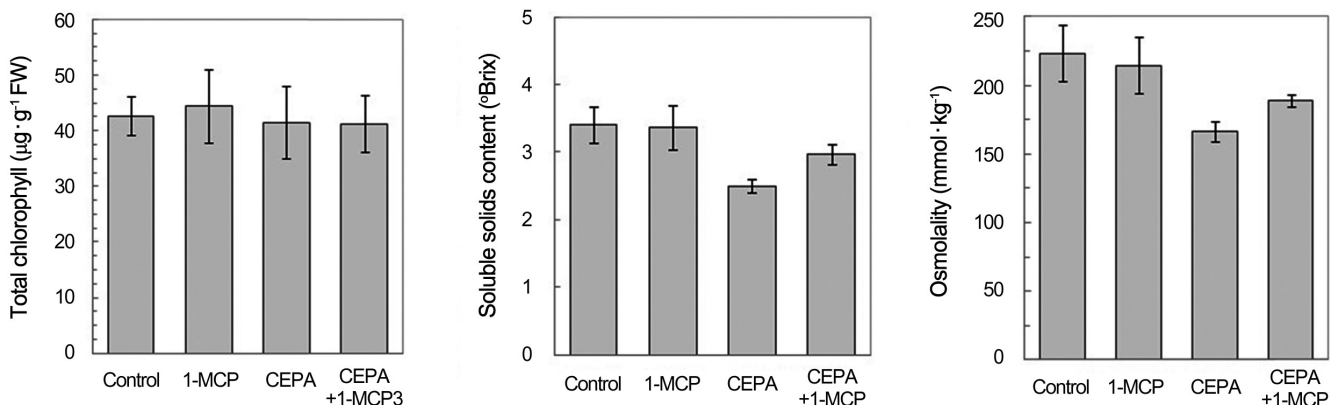


Fig. 7. Total chlorophyll, soluble solids content, and osmolality from 5-year old sprouts of asparagus 'Worldwelcome' cultivar grown in open fields at Hongcheon in Gangwon Province, harvested on 12th June 2010, and then treated with 1-MCP and CEPA (chloroethylphosphonic acid) 3-4 hours after harvest and stored at 7°C. Vertical bars represent standard errors of the means.

자 하였다. 아스파라거스를 1-MCP 및 CEPA 처리 후 7°C에 저장하면서 에틸렌과 CO₂ 발생 등을 관찰하였다. 또한 저장 전 처리에 따라 발생하는 에틸렌 및 CO₂ 발생량을 측정방법에 따라 연속적인 방법과 비연속적인 방법으로 측정하였다. 아스파라거스 유통 중 불량환경을 가정한 CEPA 처리에 의해 에틸렌 가스 발생 및 호흡 특성이 달라지는데 1-MCP와의 혼용처리로 에틸렌의 영향을 상쇄시키는 것으로 나타났다. CEPA 처리는 에틸렌 및 CO₂ 가스 발생이 증가하며, 1-MCP 혼용처리로 인해 발생량이 감소하였고 1-MCP 단독처리는 무처리에 비해 에틸렌 발생에 큰 차이가 없었으나, CO₂ 발생량을 다소 감소시키는 것으로 나타났다. CO₂ 발생에서 연속측정(flow-system)이 비연속적 측정보다 변화 경향이나 처리간의 차이가 명확히 나타났다. 형태적이나 생체중량, 가용성고형물, 삼투몰 농도에 있어서 1-MCP는 CEPA에 의한 영향을 경감시키는 효과는 있었으나, CEPA 처리와 같이 외생적인 에틸렌과 조우하지 않는다면 무처리에 비해서는 큰 효과를 보이지 못하였다. 아스파라거스에서 1-MCP 처리는 불량 환경조건에서 발생하는 외생 에틸렌의 영향을 상쇄시킬 수 있을 것으로 보였으며, 전처리를 통한 상품성 유지가 기대된다.

추가 주요어 : 가스 측정 방법, 성장조절제, 형태적 변화

인용문헌

- An, J., M. Jhang, Q. Lu, and Z. Zhang. 2006. Effect of a prestorage treatment with 6-benzylaminopurine and modified atmosphere packaging storage on the respiration and quality of green asparagus spears. *J. Food Eng.* 77:951-957.
- Baxter, L. and L. Waters, Jr. 1991. Quality changes in asparagus spears stored in a flow-through CA system or in consumer packages. *HortScience* 26:399-402.
- Bhowmik, P.K. and T. Matsui. 2003. Postharvest physiology, storage and keeping quality of green asparagus: a review. *Asian J. Plant Sci.* 2:941-943.
- Blankenship, S.M. and J.M. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28:1-25.
- Brash, D.W., C.M. Charles, S. Wright, and B.L. Bycroft. 1995. Shelf-life of stored asparagus is strongly related to postharvest respiratory activity. *Postharvest Biol. Technol.* 5:77-81.
- Byun, M.S., I.J. Han, and K.W. Kim. 2004. Prolongation vase life in cut *Lilium longiflorum* 'Georgia' by ethylene inhibitors and plant growth regulators. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:236-241.
- Chang, S.C. 1973. Compounding of Luft's epon embedding medium for use in electron microscopy with reference to anhydride: epoxide ratio adjustment. *Mikroskopie* 29:337-342.
- Chen, H., H. Gao, J. Mao, W. Shi, Y. Zhou, and W. Chen. 2007. Effects of pre-cooling mode and MAP storage on postharvest physiological change of asparagus. *J. Chinese Inst. Food Sci. Technol.* 4:85-90.
- Chen, S.C., C.H. Lin, and J.C. Hsue. 1980. On the study of postharvest lignifications of white asparagus stalks. *Natl. Sci. Counc. Mon Roc.* 8:627-634.
- Choi, M.S., J.A. Choi, M. Kim, and G.J. Bahk. 2011. The comparison and distribution of temperatures established in display stands and food surfaces for cold and frozen foods in large discount stores in Korea. *J. Food Hyg. Safety* 26: 308-314.
- Choi, S.T. and D.J. Huber. 2009. Differential sorption of 1-methylcyclopropene to fruit and vegetable tissues, storage and cell wall polysaccharides, oils, and lignins. *Postharvest Biol. Technol.* 52:62-70.
- Dong, L., S. Lurie, and H.W. Zhou. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. *Postharvest Biol. Technol.* 24:135-145.
- 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.
- Golding, J.B., D. Shearer, S.G. Wyllie, and W.B. McGlasson. 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 14:87-98.
- Hennion, S. and C. Hartmann. 1990. Respiration and ethylene in harvested asparagus spears during aging at 20°C. *Sci. Hortic.* 43:189-195.
- Hennion, S., C.H.A. Little, and C. Hartmann. 1992. Activities of enzymes involved in lignification during the postharvest storage of etiolated asparagus spears. *Physiol. Plant.* 86:474-478.
- Huber, D.J., B.M. Hurr, J.S. Lee, and J.H. Lee. 2010. 1-Methylcyclopropene sorption by tissues and cell-free extracts from fruits and vegetables: evidence for enzymic 1-MCP metabolism. *Postharvest Biol. Technol.* 56:123-130.
- In, B.C., K.C. Son, and S.E. Oh. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on the retardation of senescence of cut carnation flower. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:359-363.
- Jeong, J., D.J. Huber, and S.A. Sargent. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 28:247-257.

- Jiang, Y., D.C. Joyce, and L.A. Terry. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biol. Technol.* 23:227-232.
- Kader, A.A. 1985. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. *HortScience* 20:54-57.
- Kader, A.A. 2005. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *Acta Hort.* 682:2169-2175.
- Kim, H.C., K.S. Bae, J.H. Bae, K.S. Jeon, and J.U. Hong. 2006. Effect of ethylene removal on fruit quality of oriental pear during storage. *J. Bio-Environ. Cont.* 15:61-66.
- Korea Crop Protection Association (KCPA). 2013. Guidelines for agrochemical use. KCPA, Seoul, Korea. p. 47-1224.
- Lee, H.E., S.T. Choi, J.W. Lee, and K.R. Do. 2006. Effects of 1-methylcyclopropene on the postharvest life and fruit quality of squash (*Cucurbita* spp). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24: 471-475.
- Lee, J.S., D.S. Chung, J.U. Lee, B.S. Lim, Y.S. Lee, and C.H. Chun. 2007. Effects of cultivars and storage temperatures on shelf-life of leaf lettuces. *Korean J. Food Preserv.* 14:345-350.
- Lee, J.S., S.H. Park, Y.S. Lee, B.S. Lim, S.C. Yim, and C.H. Chun. 2008. Characteristics of growth and salting of Chinese cabbage after spring culture analyzed by cultivar and cultivation method. *Kor. J. Food Preserv.* 15:43-48.
- Li, W., M. Zhang, and Y. Han-qing. 2006. Study on hypobaric storage of green asparagus. *J. Food Eng.* 73:225-230.
- Lill, R.E., G.A. King, and E.M. O'Donoghue. 1990. Physiological changes in asparagus spears immediately after harvest. *Sci. Hortic.* 44:191-199.
- Lim, B.S., Y.M. Park, Y.S. Hwang, G.R. Do, and K.H. Kim. 2009. Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of 'Hongro' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:607-611.
- Lipton, W.J. 1990. Postharvest biology of fresh asparagus. *Hortic. Rev.* 12:69-155.
- McMurchie, E.J., W.B. McGlasson, and I.L. Eaks. 1972. Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene. *Nature* 237:235-236.
- Moran, R.E. and P. McManus. 2005. Firmness retention, and prevention of coreline browning and senescence in 'Macoun' apples with 1-methylcyclopropene. *HortScience* 40:161-163.
- Park, B.C. and J.H. Son. 2010. Some engineering issues for improvement in distribution of agricultural products in Korea. Through a case study on distribution environments of grapes produced in Yeongcheon region. *Kor. Assoc. Reg. Stud.* 18:181-199.
- Park, J.K., J.K. Chun, S.K. Lee, and K.H. Kim. 1989. Automatic measurement of respiration rate and weight loss during storage of citrus fruits. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21:387-390.
- Park, J.M., H.M. Ro, Y.M. Kim, and K.C. Seong. 1996. Chlorophyll determination in horticultural crops using dimethylsulfoxid. *RDA. J. Agric. Sci.* 38:552-557.
- Paull, R.E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 263-277.
- Porat, R., B. Weiss, L. Cohen, A. Daus, R. Goren, and S. Droby. 1999. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. *Postharvest Biol. Technol.* 15:155-163.
- Rhodes, M.J.C., A.C.R. Hill, and L.S.C. Wooltorton. 1976. Activity of enzymes involved in lignin biosynthesis in swede root disks. *Phytochemistry* 15:707-710.
- Riov, J. and S.F. Yang. 1982. Effects of exogenous ethylene on ethylene production in citrus leaf tissue. *Plant Physiol.* 70:136-141.
- Roh, K.A., K.C. Son, Y.H. Lim, S.E. Oh, B.C. In, and E.C. Sisler. 2001. Effect of 1-MCP and its derivatives on ethylene binding in banana ripening. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:458-461.
- Rupasinghe, H.P.V., D.P. Murr, G. Paliyath, and L. Skog. 2000. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75:271-276.
- Saltveit, M.E. 1982. Procedures for extracting and analyzing internal gas samples from plant tissues by gas chromatography. *HortScience* 17:878-881.
- Saltveit, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15:279-292.
- Seong, K.C., J.S. Lee, H.D. Seo, B.C. Yoo, J.W. Lee, and H.M. Kwon. 2002. Effect of low temperature period on the dormancy breaking of asparagus (*Asparagus officinalis*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:699-702.
- Sisler, E.C., E. Dupille, and M. Serek. 1996. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropane 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.
- Steensen, J.K. 1996. Root injuries in sugar beets as affected step wise by lifting, dumping, and cleaning. 59th Intl. Inst. Beet Res. Congr. 59:525-532.
- Tian, M.S., S. Prakash, H.J. Elgar, H. Young, D.M. Burmeister,

- and G.S. Ross. 2000. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Growth Regul.* 32:83-90.
- Toivonen, P.M.A. and C. Lu. 2005. Studies on elevated temperature, short-term storage of 'Sunrise' summer apples using 1-MCP to maintain quality. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 80:439-446.
- Villanueva, M.J., M.D. Tenorio, M. Sagardoy, A. Redondo, and M.D. Saco. 2005. Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) stored in modified atmosphere packaging. *Food Chem.* 91:609-619.
- Wang, C.Y., W.M. Mellenthin, and E. Hansen. 1972. Maturation of 'Anjou' pears in relation to chemical composition and reaction to ethylene. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 97:9-12.
- Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.* 24:389-409.
- Wescor. 1995. Vapor pressure osmometer user's manual. Wescor Inc., Utah, USA.
- Yang, S.F. 1969. Ethylene evolution from 2-chloroethylphosphonic acid. *Plant Physiol.* 44:1203-1204.
- Yang, S.F. and N.E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35:155-189.
- Yang, Y.J., K.W. Park, and J.C. Jeong. 1991. The influence of pre- and post harvest factors on the shelf-life and quality of leaf lettuce. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23:133-140.