

Research Report

콜라비의 수확 후 MA 포장에 따른 품질 유지 효과

박미희¹, 최지원¹, 김용범², 김명희¹, 원희연¹, 신선영¹, 김지강^{1*}¹국립원예특작과학원 저장유통연구팀²국립원예특작과학원 기술지원과

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Kohlrabi

Me-Hea Park¹, Ji-Weon Choi¹, Yong-Bum Kim², Myeong-Hae Kim¹, Hee-Yeon Won¹, Sun-Young Shin¹, and Ji-Gang Kim^{1*}¹Postharvest Research Team, National Institute of Horticultural & Herbal science, Suwon 440-706, Korea²Technology Services Division, National Institute of Horticultural & Herbal science, Suwon 440-706, Korea

Abstract: The effect of modified atmosphere packaging (MAP) on kohlrabi (*Brassica oleracea* L. *gongulodes* group)'s quality and antioxidant molecule during storage was examined to determine the optimal film package for maintaining freshness. To extend shelf life, MAP was tested using PE 50 μm and oriented polypropylene (OPP) films with oxygen transmission rate (OTR) at 3,000, 10,000, 15,000 mL/m²/day/atm. The OPP film packaging with modified oxygen transmission rate showed a delay in a weight loss and extended storage period. The package with OTR 3000 attained the desired gas composition of O₂ 3.2-6.7 kPa and CO₂ 13.1-19.8 kPa, in storage at room temperature. Kohlrabi stored in this package showed the lowest weight loss and the highest visual quality. Deterioration and off-odor were developed more rapidly in PE 50 μm towards the end of the storage at room temperature. However, there are no differences among OTR films in visual quality and off-odor until 60 days at cold storage. Vitamin C content of kohlrabi was reduced rapidly in OTR 15000 with high transmission rate and showed less loss in PE 50 μm and OTR 3000 in both room temperatures and cold storage. Results revealed that an OPP film with OTR 3000 extended the shelf life of kohlrabi in storage with maintained quality and vitamin C.

Additional key words: gas composition, oxygen transmission rate (OTR), shelf-life, vitamin C

서 언

콜라비(Kohlrabi, *Brassica oleracea* L. *gongulodes* group)는 배추과에 속하는 작물로서 주로 유럽에서 재배되어 왔다. 콜라비의 주산지인 북유럽에서는 파종한 다음 50-65일 정도에 수확하여 샐러드용으로 주로 이용되고 있다. 콜라비의 식용부위는 뿌리와 줄기 사이의 지상부에 비대된 줄기로써, 비타민 C와 섬유소가 풍부하여 웰빙채소로 선호되고 있다(Cha et al., 2013). 또한 항암성분으로 알려진 glucoraphanin은 무보다 콜라비에 더 많이 함유되어 무의 대체작목으로서 제시되고 있다(Choi et al., 2010; Park et al., 2012). 최근 들어 콜라비의 항암, 항산화 성분이 알려지면서 소비자들의

수요가 증가되고 있으며 국내에서는 제주도 지방을 중심으로 재배되고 있다(Choi et al., 2010). 콜라비는 가을 정식 후 이듬해 1월에서 2월 초에 수확이 대부분 완료되어 연중 유통이 어렵다. 따라서 콜라비의 장기 저장을 위한 선도 유지법 및 저장기간 동안 기능성 성분의 효과적인 보존을 위한 수확 후 관리 기술이 필요하다.

콜라비의 주요 품질저하의 요인은 중량감소와 미생물 증식에 의한 부패, 저온저장 기간 동안 단단해 지는 점이다(Escalona et al., 2006). 콜라비는 잎을 제거하고 0°C, 98% 습도 조건에서 저장하면 육질이 단단해지는 것을 막으면서 3개월까지 저장이 가능하며, 잎을 붙인 채 저장하면 0°C에서 2주 내에 부패가 발생하는 것으로 알려져 있다(Toivonen

*Corresponding author: kjg3@korea.kr

※ Received 8 February 2014; Revised 14 April 2014; Accepted 29 April 2014.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

et al., 2002). 또한 controlled atmosphere(CA) 저장의 경우, 저산소와 저온(-1°C)에서 콜라비의 호흡이 억제되고 미생물의 발생이 지연되었다(Saray, 1994). Cantwell(1997)에 의해 콜라비는 CA 저장의 경제적 효과가 없는 것으로 보고된 바 있으나, 일반적으로 콜라비의 잎을 붙인 채 CA 저장 시 3kPa O₂ + 5kPa CO₂, 0°C 조건에서 3주 동안 저장이 가능하며, 같은 조건에서 잎을 제거한 콜라비는 3-4개월간 저장이 가능한 것으로 알려져 있다(Institut International du Froid, 2000). 반면에 CA 저장은 설치비가 비싼 것이 단점으로 modified atmosphere packaging(MAP)이 콜라비의 저장성 연장을 위한 대안적 기술로 제시되고 있다(Kader et al., 1989). MAP는 포장재를 이용하여, 포장내의 적절한 공기조성을 형성시켜 작물의 호흡량과 에틸렌 발생량을 감소시키고, 습도를 유지시켜 저장 중의 품질을 유지시키는 방법이다(Rai and Shashi, 2007). 일반적으로 MA 포장효과를 위한 포장내의 저산소와 고이산화탄소 조건은 저장 온도와 포장 내 산물의 호흡율, 포장재의 산소투과율에 달려있다(Allende et al., 2004). 포장재의 불충분한 가스투과성은 포장 내 산물의 바람직하지 못한 발효작용을 야기시키기도 한다(Van der Steen et al., 2002). 즉 저산소 MA 포장(< 2kPa O₂)은 발효작용으로 에탄올과 아세트알데하이드의 형성과 이취를 발생시키기도 한다(Day, 2001). 고산소 MA 포장(> 70kPa O₂)은 미생물 발생, 갈변과 혐기성 발효작용을 억제하는데 효과적인 것으로 보고되었다(Day 1996, 2000, 2001). 따라서 작물과 저장조건에 맞는 적정 MA 포장재 설정이 중요하다. Escalona et al.(2006)의 연구에 의하면 콜라비의 잎을 붙인 채 4-5kPa O₂ + 10-15kPa CO₂ 조건에서 저온저장(0°C) 시, 2주 동안 대사작용과 미생물의 발생이 감소하였다. 또한 콜라비에 잎을 제거한 채 antimist-oriented polypropylene(OPP) 필름을 사용하여 저온(0°C)에서 저장하면, 포장 내 가스조성이 4.5-5.5kPa O₂ + 11-12kPa CO₂ 조건으로 높은 품질이 유지되었다고 보고된 바 있다(Escalona et al., 2007a). 신선편이 콜라비 스틱(stick)의 경우는 amide-polyethylene(PE) 필름 포장 내 가스조성이 7kPa O₂ + 9kPa CO₂로 유지되어 2주 동안 상품성이 유지되었다고 조사되었다(Escalona et al., 2007b).

한편 최근에 건강에 있어서 항산화 성분의 역할에 대한 관심이 높아짐에 따라 농산물의 수확 후 품질관리에 있어서 과실과 채소의 항산화 성분을 측정하는 것과 작물육종, 재배, 수확 후 처리 및 가공을 통해 이 성분을 유지하고 증진시키는 방법에 관한 연구가 촉진되고 있다(Ayala-Zavala et al.,

2004). 항산화 성분 함량은 과실과 채소의 중요한 품질기준이 되어 가고 있으며, 농산물의 수확 후 저장기간 동안 항산화 성분의 함량변화를 측정하는 것은 매우 큰 관심사이다(Erkan et al., 2008). 특히 비타민 C는 대표적인 항산화 성분으로서 동맥경화증, 심혈관계질환, 암 형성의 위험을 감소시킨다고 보고되어, 작물에 있어서 매우 중요한 영양적 요소중의 하나이다(Harris, 1996; Lee and Kader, 2000). 원예작물의 비타민 C는 수확 후 저장온도와 저장기간에 영향을 가장 많이 받으며, 엽채류에서는 수분손실과 함께 비타민 C 함량의 감소가 빠르게 일어나는 것으로 알려져 있다. 또한 수확 후 저장기간 동안의 공기조성 또한 비타민 C 함량변화의 요인으로써, 고농도의 CO₂는 비타민 C의 손실을 가속화시킬 수 있으며, O₂ 농도를 감소 또는 CO₂ 농도를 10%까지 유지하는 것이 비타민 C 함량의 손실을 적게 하는 것으로 보고되었다(Agar et al., 1999). 이에 따른 연구결과로서, 포장 내 공기조성을 조절한 MA 포장이 비타민 C에 미치는 영향에 대하여 브로콜리, 고추, 상추, 토마토, 배 등에서 보고되었다(Barth et al., 1993; Fen et al., 2003; Howard and Hernandez-brenes, 1998; Odriozola-Serrano et al., 2008, 2009; Oms-Oliu et al., 2008). 예를 들어, 브로콜리, 시금치의 경우 무포장의 비해 MA 포장에 의해 ascorbic acid가 효과적으로 유지되었다(Barth et al., 1993; Gil et al., 1999). 콜라비의 경우 MA 포장의 선도유지 효과 연구는 보고되었지만 저장기간 중 항산화 성분 변화를 고려한 적정 MA 포장재에 대한 연구는 보고된 바 없다. 콜라비의 경우 대표적인 항산화 성분인 비타민 C에 대한 선호도로 인해 수요가 높아지고 있으나 수확 후 저장기간 동안의 성분변화에 대한 연구는 미흡하다. 따라서, 콜라비의 외관 품질뿐만 아니라 비타민 C 함량이 유지되는 수확 후 관리법의 연구가 필요하다. 또한 콜라비는 겨울철 수확시기에 즉시 상온 유통되는 경우와 장기 저온저장 후 봄에 유통하는 경우가 있어, 저온저장 후 상온 유통기간을 고려한 관리법이 요구된다. 본 연구는 상온과 저온 저장 그리고 저온저장 후 상온유통시의 콜라비의 선도도와 비타민 C 함량에 미치는 MA 포장재의 영향을 조사하여 저장성 연장을 위한 적정 포장재를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

식물 재료

콜라비(Kohlrabi, *Brassica oleracea* L. *gongylodes* group)의 MA 포장에 따른 품질과 비타민 C 함량을 조사하기 위해

서 2013년 2월 제주도에서 수확 한 500-600g의 자색 콜라비를 선별하여 사용하였다. 선별된 콜라비는 Escalona et al. (2007a)의 방법에 따라 5% NaOCl(pH 6.7)에 1분간 침지하여 살균한 다음 물기를 제거하여 사용하였다.

포장방법 및 저장온도

콜라비는 30 μ m OPP 필름을 기본으로 OTR(oxygen transmission rate)을 3000, 10000, 15000mL/m²/day/atm(Daeryung, Korea)으로 조성된 필름들과 50 μ m PE 필름을 사용하였다. 대조구로 일반적으로 농가에서 콜라비의 저장 시 사용중인 50 μ m PE 필름을 사용하였으며, OTR은 4500mL/m²/day/atm (Daeryung, Korea)로 나타났다. 각각의 포장재(20 × 21cm)에 콜라비를 한 개체씩 넣고 밀봉 포장하였다. 밀봉된 콜라비는 상온(18 ± 2°C)에서 28일, 저온(4 ± 1°C)에서는 30일과 60일 동안 저장하거나 저장한 후 상온유통기간을 예상하여 상온(18 ± 2°C)에서도 3일 동안 저장하였다. 그리고 저장기간 동안 포장 내 가스조성을 분석하고, 콜라비의 품질변화와 비타민 C 함량을 측정하였다.

중량감소율

중량감소율은 동일한 개체를 상온은 1주일 간격으로 저온 저장은 2주일 간격으로 측정하였으며 초기 중량에 대해 감소하는 중량을 백분율로 표시하였다.

당도와 경도

당도는 착즙 후 당도계(Digital Refractometer Pr 32a, Atago, Japan)로 측정하였다. 경도는 각 처리 별로 5개체를 선발하여 1.5cm 간격으로 자른 후 가운데 부분을 탐침기 5mm를 사용하여 속도는 2mm·s⁻¹로 하여 경도계(Lloyd Instruments Ltd., ENGLAND PO 15 STT, UK)로 측정하였다.

외관지수 및 이취

콜라비의 외관품질의 변화는 Jeong et al.(2010)의 방법을 변형하여 본 연구에서는 부패 등을 종합하여 4단계 점수(4 = 매우 신선, 수확 당시와 비슷, 3 = 보통, 2 = 신선도 저하, 이용한계, 1 = 부패, 식용불가)로 나누고, 점수 2을 상품성 한계로 간주하였다. 이취는 필름포장 개봉 직후와 개봉 후 10분 경과한 다음 관능 평가로(0, 개봉 직후 이취가 전혀 없음; 1, 개봉 직후 약한 이취가 있으나 10분 후 사라짐; 2, 개봉 직후 강한 이취와 함께 10분 후 약하게 남음; 3, 개봉 직후 강한 이취가 10분 후에도 강하게 존재; 4, 개봉 직후

강한 이취와 함께 물러짐 등의 부패구가 있음) 5단계로 구분하여 조사하였다.

포장 내 가스 측정

MA 포장 내 O₂ 및 CO₂ 측정은 O₂/CO₂ 가스분석기(PBI Dansasensor, CheckMate9900, DK-4100 Ringsted, Denmark)를 이용하여 측정하였다.

비타민 C 함량 분석

콜라비의 비타민 C 함량 분석은 Xiao et al.(2012)의 방법을 변형하여 수행하였다. 콜라비 생체 2g을 10mL의 5%의 META-Phosphoric acid(Sigma-Aldrich)에 넣어 균질기(ULTPA TURRAT T25 basic, IKA Germany)로 2초간 균질화하여 바로 원심분리(12000rpm, 10min)하였다. 상층액을 수거하여 0.2 μ m syringe filter로 여과한 후 비타민 C 분석에 사용하였다.

비타민 C의 동정을 위해 UPLC(H-Class, Waters Co., USA)를 이용하였으며 Acquity UPLC HSS-T3 컬럼(2.1 × 50mm, 1.8 μ m, Waters Co., USA)으로 분리하였다. UPLC 조건은 이동상으로 용매는 증류수(in formic acid 0.1%, A)와 MeOH(in formic acid 0.1%, B)를 사용하였으며 유속은 0.3mL·min⁻¹, 검출파장은 254nm, 주입량은 10 μ L, 컬럼온도는 40°C를 유지하였다. Gradient 조건은 용매 B를 1.6분까지 1%를 유지시키고, 1.7분까지 용매 B를 98%까지 변화시킨 후 3분간 유지시킨 후, 다시 용매 B를 7분간 1%조건으로 변화시키고, 12분까지 유지하면서 분석하였다. 표준물질로 ascorbic acid(Sigma-Aldrich, USA)을 사용하였으며 콜라비 시료의 비타민 C 함량은 표준물질의 농도에 따른 피크의 면적을 이용하여 정량 분석하였다.

통계분석

콜라비의 품질 특성 중 중량감소율, 이취, 경도, 당도와 외관평가는 5반복씩 조사하여 평균값을 구한 후 표준오차(standard error, SE)로 나타내었다. 유의성 검정은 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA, version 21.0)를 이용하여 일원분산분석(one-way ANOVA test)분석을 수행하였고, 평균값의 통계적 유의성은 Tukey의 방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 검정하였다.

콜라비의 비타민 C 함량은 정량분석을 위하여 균질화된 시료를 이용하여 5반복으로 분석하였으며, 처리별 평균함량은 평균과 표준오차(SE)로 표시하였다. 처리간의 유의성 검정은

SAS 9.1 프로그램(SAS Inc, Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후, Duncan's multiple range test(DMRT)를 하여 5% 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

가스 조성 및 이취의 변화

MA 포장 내의 가스조성은 상온저장의 경우, 50 μ m PE은 O₂ 농도가 저장초기 1.8kPa로 크게 감소함으로써, 혐기성 호흡으로 전환되어 이취의 발생이 빠르게 진행되었다(Figs. 1A and 2A). OPP에 OTR을 변형한 포장재들은 상온 저장 20일 동안, OTR 3000은 3.7-6.2kPa O₂, 13.1-19.8kPa CO₂, OTR 10000은 8.5-11.9kPa O₂, 9.7-12.3kPa CO₂, OTR 15000은 11.0-12.8kPa O₂, 8.4-10.4kPa CO₂의 범위로 나타났다

(Fig. 1A). MA 포장 내의 가스조성은 작물의 호흡률과 포장재의 가스투과능에 의해 결정되며, 이 두 가지 요인은 온도와 공기 중의 산소와 이산화탄소 농도와 습도에 영향을 받는다(Kader et al., 1989). 이러한 환경이 일정하게 유지되면, MA 포장 내 공기조성은 밀봉 즉시 평형상태에 도달하여, 저장기간 동안 이상적인 공기조성을 유지한다(Forney et al., 1991). 일반적으로 혐기성대사를 제어하기 위한 작물의 MA 포장조건은 최소 O₂ 농도 1-3kPa를 유지하거나, 이와 더불어 최고 CO₂ 농도는 10-15kPa로 알려져 있다(Ke and Kader, 1992). 이러한 가스조성 범위는 본 실험에서는 콜라비를 상온에 저장할 경우 OTR 3000을 사용하였을 때 유사한 공기조성이 이루어졌다(Fig. 1A). MA 포장 후 상온저장 중 이취의 발생은 PE 필름에 비해 OTR 필름이 낮게 나타났으며, OTR 필름 처리간의 유의적인 차이는 없었다(Fig. 2A). 이는

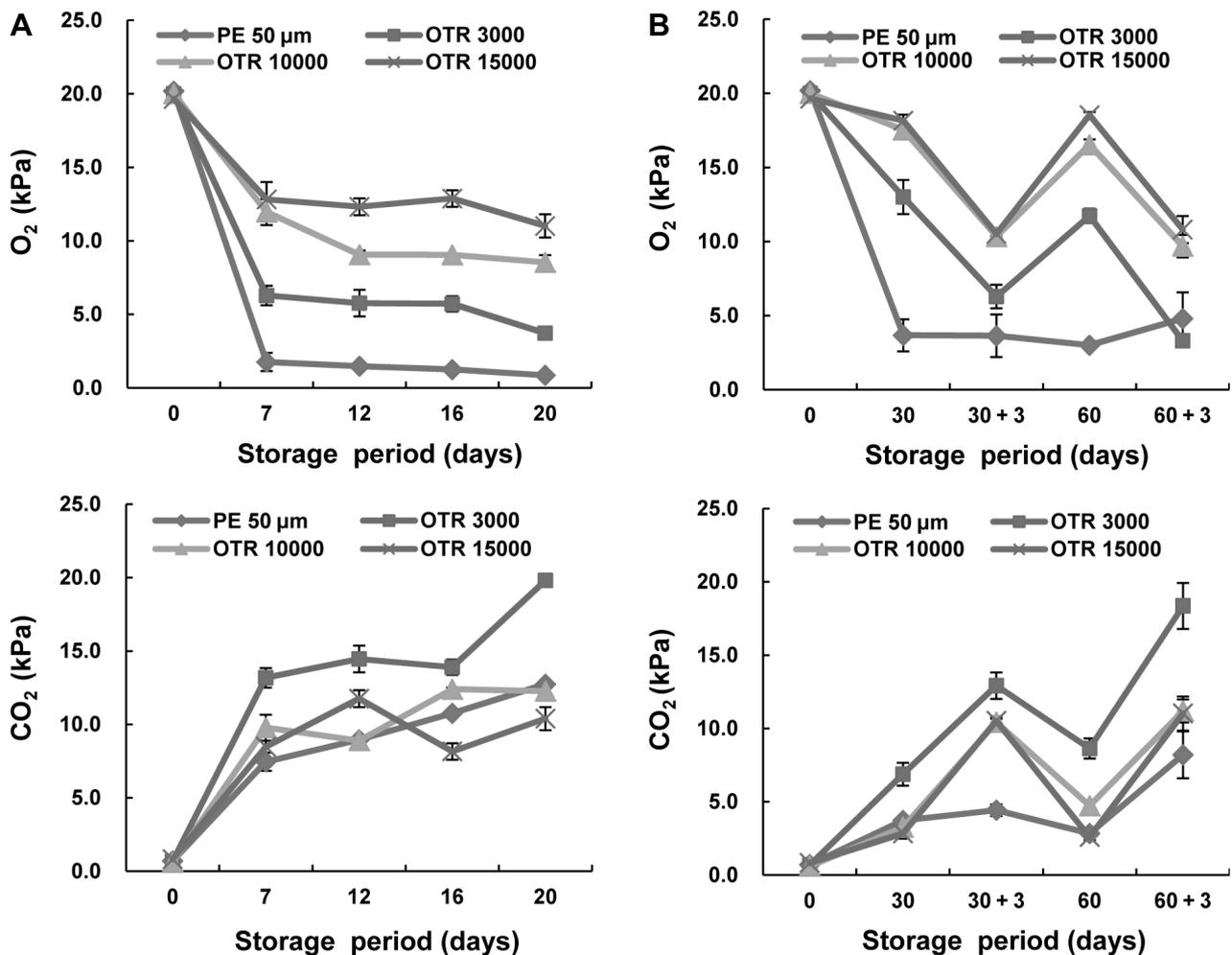


Fig. 1. Changes in gas composition O₂ and CO₂ in kohlrabi stems in MA packaging during 20 days at 18°C (A), 60 days at 4°C and/or followed 3 days at 18°C (B). Vertical lines represent standard error of the mean (n = 5).

PE 필름과 OPP를 기본으로 한 OTR 필름간의 투과율의 차이에 기인한 것으로 보인다. PE 필름이 상온저장 직후부터 빠르게 저산소상태를 유지하는 것에 비해 OPP에 OTR을 변형한 포장재들은 상온저장 16일까지 5.7kPa 이상을 유지하였다. Escalona et al.(2007b)에 의하면 상업용 20 μ m OPP 포장과 40 μ m amide-PE 포장하여 신선편이 콜라비를 저장하여 품질을 비교하였을 때 포장 내 가스 투과율이 amide-PE에 비해 OPP가 높은 것으로 나타났으며, 에틸렌농도에는 차이가 없는 것으로 나타났다. MA 포장 시의 포장재의 불충분한 투과성에 의한 포장 내의 지속적인 저산소 상태(< 2kPa O₂와 > 20kPa CO₂)의 가스조성은 혐기적인 발효과정을 일으켜서 이취의 발생과 부패를 발생시킨다. 이러한 포장 내의 저산소 상태의 단점을 극복하는 방법으로, 고산소투과필름을 활용하여 고산소 MA 포장이 변색과 혐기적 발효를 억제하는 대안으로 제시된다(Day et al., 1998; Van der Steen et al., 2002). 딸기의 경우, 고산소조건(> 21kPa O₂)에서 저장 시 5일간 이취가 발생하는 혐기성 호흡이 줄어들었다(Van der Steen et al., 2002). 본 연구에서도 산소투과율이 높은 OTR 1500이 유의적인 차이는 나타나지 않지만, 상온저장기간 동안 이취발생이 가장 낮았다.

콜라비 저온저장 중 포장 내 공기조성은 50 μ m PE 포장은 O₂농도가 3.7-7.9kPa이며 OTR 포장재들은 O₂ 농도가 13.0-18.6kPa로 나타났(Fig. 1B). 저온저장 중 포장 내 CO₂농도는 60일 동안 OTR 3000이 3.9-8.9kPa로 가장 높게 나타났다. Escalona et al.(2006a)은 콜라비의 적정 CA 조건은 5kPa

O₂ + 15 kPa CO₂ 제시하였으며, 본 실험에서는 50 μ m PE가 유사한 가스조성을 보였지만, 장기저장을 할 경우에는 이취발생이 다른 포장재에 비하여 높게 나타났다(Fig. 2B). 이는 다른 OTR 포장재에 비하여 투과율이 낮은 것에 기인한 것으로 보인다. 저온저장 후 상온유통기간 3일 후의 포장 내의 O₂ 농도는 6.3-10.5kPa로 낮아졌으며, CO₂ 농도는 50 μ m PE 필름은 큰 폭의 변화는 없으나 OPP를 기본으로 한 OTR 3000, 10000, 15000 필름들은 상온에 노출됨과 동시에 CO₂ 농도가 큰 폭으로 증가하였다(Fig. 1B). 이러한 포장 내 공기 조성의 빠른 변화는 콜라비를 장기 저온저장 후 상온유통기간 중 이취의 발생을 줄이고, 외관 품질을 유지하는데 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다(Fig. 2B and Table 2).

중량 감소 및 품질변화

콜라비의 MA 포장처리에 따른 품질변화를 조사한 결과, 중량감소율은 상온저장 20일째에 50 μ m PE는 0.7%, OTR 3000 0.3%, OTR 10000 0.4%, OTR 15000 0.5%로 나타나, OTR 3000이 중량감소율이 가장 낮은 것으로 나타났다(Fig. 3A). MA 포장 시 중량감소율은 포장재의 투과율의 영향을 받아(Cho et al., 2009), 투과율이 높은 OTR 15000이 중량감소가 빠르게 일어났으며, OTR 3000은 포장 내 저산소와 고이산화탄소 조건이 형성되어 호흡에 의한 손실이 감소하여 중량감소율이 낮게 나타난 것으로 판단된다(Figs. 1 and 3). 50 μ m PE는 상온저장 7일부터 물러짐이 나타난 구가 발생하여, 중량감소율이 고산소투과필름포장에 비해 상대적으로

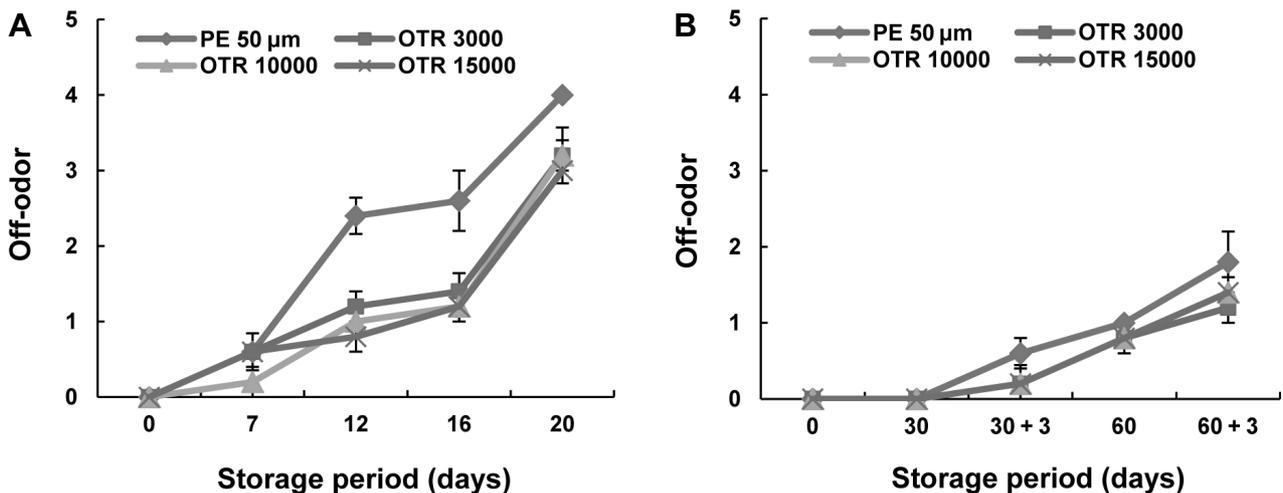


Fig. 2. Off-odors of kohlrabi stems during storage at 18°C in MA packaging (A) and after 30 and 60 days at 4°C followed by 3 days at 18°C in MA packaging (B). It was scored on 0-4 scale, 0: none; 1: slight; 2: moderate; 3: mid-severe and 4: severe with decomposition. Vertical lines represent standard error of the mean (n = 5).

로 높게 나타났다(Fig. 3A). 콜라비의 중량감소율은 저온저장기 저장 동안(60일) 모든 처리구가 0.4% 이내로 상품성에 영향을 미치지 않는 범위로 나타났다. 또한 저온저장 후 상온 저장기간 추가적인 중량감소가 발생했지만 0.1% 내외로서

상품성에 영향을 미치지 않는 범위였다(Fig. 3B).

콜라비의 경도는 상온저장 16일째에 증가하였는데, 이는 수분손실에 의한 것으로 보이며, 20일째에는 부패로 인한 물러짐으로 경도가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 당도도

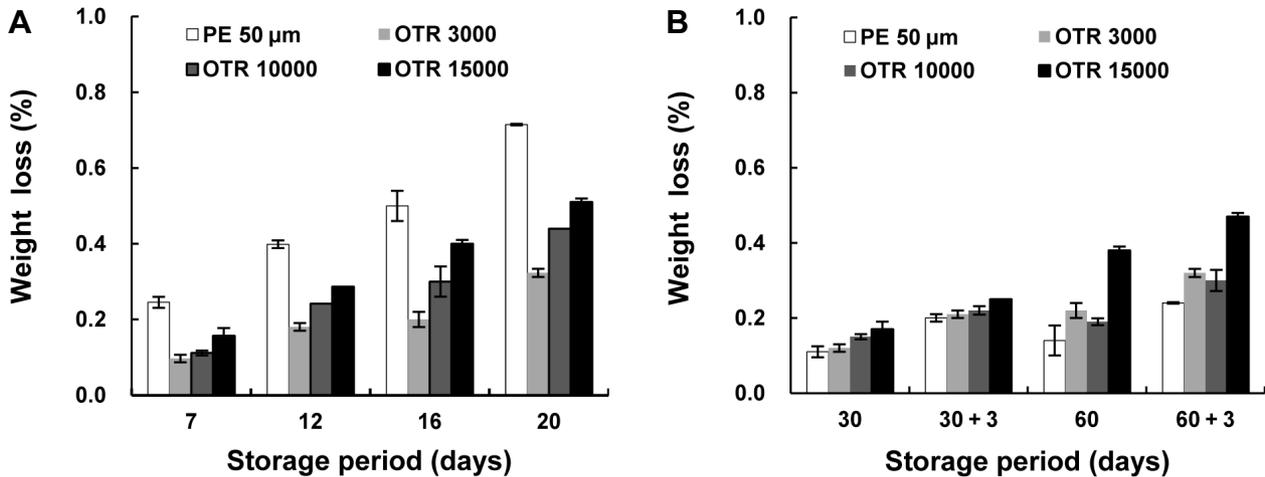


Fig. 3. Changes in weight loss of kohlrabi stems in MA packaging during 20 days at 18°C (A), 60 days at 4°C and/or followed 3 days at 18°C (B). Vertical lines represent standard error of the mean ($n = 5$).

Table 1. Changes in firmness, soluble solids content (SSC) and visual quality of kohlrabi stems during storage at 18°C in MA packaging.

Storage period (days)	Films	Firmness (N)	SSC (°Brix)	Visual quality ^z
Initial ^y		63.28 ± 1.55 ^x	13.52 ± 0.19	4.00 ± 0.19
7	PE 50 µm	66.05 ± 1.18 a ^w	13.98 ± 0.34 a	4.00 ± 0.00 a
	OTR 3000	65.36 ± 1.00 a	13.98 ± 0.17 a	4.00 ± 0.00 a
	OTR 10000	66.14 ± 0.83 a	14.32 ± 0.12 a	3.80 ± 0.20 a
	OTR 15000	68.41 ± 1.12 a	13.96 ± 0.10 a	3.80 ± 0.20 a
12	PE 50 µm	63.30 ± 0.78 a	13.64 ± 0.14 a	2.00 ± 0.00 b
	OTR 3000	64.25 ± 0.88 a	14.08 ± 0.09 a	3.20 ± 0.20 a
	OTR 10000	65.97 ± 0.89 a	14.00 ± 0.16 a	3.20 ± 0.20 a
	OTR 15000	66.52 ± 0.85 a	13.46 ± 0.26 a	3.40 ± 0.24 a
16	PE 50 µm	77.62 ± 1.26 a	14.20 ± 0.11 a	1.60 ± 0.24 b
	OTR 3000	71.71 ± 1.40 a	14.20 ± 0.11 a	3.00 ± 0.00 a
	OTR 10000	74.82 ± 1.26 a	14.34 ± 0.09 a	3.40 ± 0.24 a
	OTR 15000	72.84 ± 1.60 a	13.94 ± 0.15 a	3.00 ± 0.31 a
20	PE 50 µm	63.33 ± 1.18 a	13.74 ± 0.38 a	1.00 ± 0.00 a
	OTR 3000	67.21 ± 1.09 a	13.56 ± 0.13 a	2.00 ± 0.00 a
	OTR 10000	66.32 ± 1.41 a	12.86 ± 0.10 a	2.00 ± 0.00 a
	OTR 15000	71.17 ± 1.67 a	13.08 ± 0.22 a	2.00 ± 0.00 a

^zVisual quality, 4 = excellent, 3 = good, 2 = poor, 1 = very poor.

^yInitial are means Kohlarbi without package at first day after harvest.

^xValues are means ± standard errors of five replicates.

^wMean separation within columns by Tukey's multiple range test, $p = 0.05$.

상온저장 16일 이후부터 부패와 썩의 발생에 의해 감소되었으며, 포장재간의 차이는 없었다(Table 1 and Fig. 4A). 외관 지수는 50 μ m PE로 포장하여 저장한 콜라비가 상온저장 12

일째부터 포장 내 습기로 인해 부패가 심하게 발생하여 가장 낮게 나타났다(Table 1 and Fig. 4A). OTR 10000과 OTR 15000은 상온저장 16일째부터 썩이 발생하였다(Table 1 and Fig. 4A). 다시 말해, 콜라비를 OTR 3000(O₂ 3.2-6.7kPa and CO₂ 13.1-19.8kPa)으로 포장하여 저장하는 것이 상온저장 16일까지 상품성이 유지되므로 대조구인 50 μ m PE에 포장하여 저장하는 것에 비해 저장성 연장의 효과가 있는 것으로 보인다.

콜라비를 단기간 저온저장(30일)할 경우, 외관지수는 OTR 3000이 가장 높게 나타났으며, 이는 저온저장 후 3일 상온 보관 후에도 동일하게 품질이 유지되었다. 장기간 저온저장(60일)할 경우, 콜라비의 당도가 OTR1500에서 유의적으로 낮게 나타났다. Escalona et al.(2003)은 콜라비 조각을 0°C에서 14일간 저장 시 당도가 감소하였는데 이는 호흡량의 증가에 의한 것으로 판단했다. 즉, 저온저장 후 상온 유통 시 산소투과율이 높은 포장재가 빠른 공기치환에 따른 호흡 소모가 큰 것에 기인하여 그 기질로 사용된 당 함량이 감소했을 가능성이 있다. 또한 중량감소는 세포 내 당 함량의

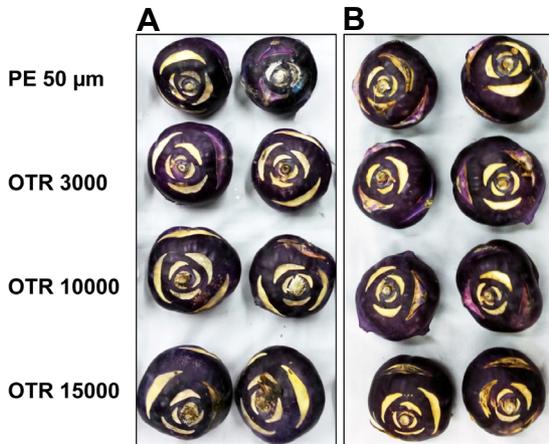


Fig. 4. Effect of MA packaging on visual quality of kohlrabi stems during the storage. Pictures were taken kohlrabi stem stored for 16 days at 18°C (A) and 60 days at 4°C (B) in MA packaging.

Table 2. Changes in firmness, soluble solids content (SSC) and visual quality of kohlrabi stems after 30 and 60 days at 4°C and/or followed by 3 days at 18°C in MA packaging.

Storage period (days)	Flims	Firmness (N)	SSC (°Brix)	Visual quality ^z
Initial ^y		63.28 ± 1.55 ^x	13.52 ± 0.19	4.00 ± 0.19
30	PE 50 μ m	64.62 ± 0.77 a ^w	13.88 ± 0.13 a	3.60 ± 0.24 a
	OTR 3000	64.07 ± 0.68 a	13.94 ± 0.28 a	4.00 ± 0.00 a
	OTR 10000	65.92 ± 1.07 a	14.14 ± 0.28 a	3.80 ± 0.20 a
	OTR 15000	64.14 ± 0.72 a	13.98 ± 0.07 a	3.80 ± 0.20 a
30 + 3 (18°C)	PE 50 μ m	67.19 ± 0.95 a	14.38 ± 0.31 a	3.20 ± 0.20 a
	OTR 3000	65.96 ± 1.25 a	13.54 ± 0.13 a	3.80 ± 0.20 a
	OTR 10000	66.03 ± 0.97 a	13.88 ± 0.24 a	3.80 ± 0.20 a
	OTR 15000	66.12 ± 0.94 a	13.68 ± 0.13 a	3.60 ± 0.24 a
60	PE 50 μ m	61.57 ± 1.13 a	14.30 ± 0.20 a	3.00 ± 0.00 a
	OTR 3000	63.97 ± 0.93 a	14.60 ± 0.32 a	3.20 ± 0.20 a
	OTR 10000	64.17 ± 0.97 a	14.33 ± 0.08 a	3.20 ± 0.20 a
	OTR 15000	62.48 ± 1.01 a	13.80 ± 0.17 b	3.20 ± 0.20 a
60 + 3 (18°C)	PE 50 μ m	68.45 ± 1.13 a	14.10 ± 0.05 a	3.00 ± 0.00 a
	OTR 3000	70.69 ± 2.00 a	13.96 ± 0.47 ab	3.20 ± 0.00 a
	OTR 10000	69.65 ± 1.35 a	13.26 ± 0.35 c	3.00 ± 0.00 a
	OTR 15000	69.70 ± 1.38 a	13.36 ± 0.06 bc	3.00 ± 0.00 a

^zVisual quality, 4 = excellent, 3 = good, 2 = poor, 1 = very poor.

^yInitial are means Kohlrabi without package at first day after harvest.

^xValues are means ± standard errors of five replicates.

^wMean separation within columns by Tukey's multiple range test, $p = 0.05$.

감소될 수 있을 것이다(Escalona et al., 2003; Jeong et al., 2010; Villanueva et al., 2005). PE 포장에서의 저온저장기간 동안의 당도의 변화가 없는 것은 고습도의 조건에서의 낮은 생리활성과 관련이 있는 것으로 보인다(Escalona et al., 2007b). 반면에 저온저장 60일 동안 경도, 외관지수에 있어서 포장 재간의 유의적인 차이가 없었으며, 저온저장 후 3일간 상온 유통 기간에서도 포장재간의 차이가 없이 상품성이 유지되었다(Table 2 and Fig. 4B).

이상의 결과로부터 콜라비를 상온저장할 경우 OPP필름에 OTR을 조정한 MA 포장을 하는 것이 중량감소와 부패를 지연시켜 저장성 연장에 효과적일 것으로 판단된다. 특히 OPP필름에 OTR 3000(O₂ 3.2-6.7kPa and CO₂ 13.1-19.8kPa)으로 조정된 포장재를 사용하는 것이 중량보존 및 상품성 유지에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 또한 콜라비를 저온저장 할 경우 MA 포장에 의한 상품성 유지효과가 상온유통기간(3일) 동안 지속되는 것으로 나타났다.

비타민 C 함량의 변화

비타민 C는 대표적인 수용성 비타민으로 질병예방, 건강 유지를 위해 다량 섭취를 권장하는 항산화 물질이다(Choi et al., 2005; Xiao et al., 2012). 배추과작물의 비타민 C 함량은 배추 42.3mg·100g⁻¹ FW, 브로콜리 89.0mg·100g⁻¹ FW, 자색콜라비 62.9mg·100g⁻¹ FW로 보고되었다(Lee and Kader, 2000; Xiao et al., 2012). 수확 후 저장온도는 과일과 채소의 비타민 C 함량 보존에 가장 중요한 요인으로써 높은 온도와 저장기간이 길수록 비타민 C 함량의 손실이 증가된다(Lee and Kader, 2000). MA 포장이 무포장보다 L-ascorbic acid에서 dehydroascorbic로 전환을 지연시켜 무포장에 비하여 ascorbic acid 함량을 유지시켜 주는 것으로 알려졌다(Howard and Hernandez-brenes, 1998). 콜라비의 수확 후 초기 비타민

C 함량은 43.69mg·100g⁻¹ FW이며, MA 포장하여 저장기간 동안의 비타민 C 함량 변화는 Table 3과 같다. MA 포장에 따른 콜라비의 비타민 C의 함량은 상온저장 시 7일째 46.53-48.46mg·100g⁻¹ FW 에서 20일째 28.96-39.98mg·100g⁻¹ FW 로 저장기간이 지남에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 또한 콜라비의 비타민 C의 함량은 포장 내의 O₂ 농도에 크게 영향을 받았다. Soliva-Forney et al.(2002)은 비타민 C의 감소의 상당부분이 포장 내의 O₂ 농도와 연관이 있으며, 포장 내의 O₂ 농도가 높을수록, 비타민 C 함량의 감소도 크다고 보고하였다. 본 연구에서도 콜라비 저장기간 중 MA 포장 내 상대적으로 O₂ 농도가 높은 OTR 1000(8.5-11.9kPa O₂)과 OTR 15000(11.0-12.8kPa O₂)에서 비타민 C 함량의 감소가 크게 나타났다. 콜라비의 수확 후 초기의 비타민 C 함량은 MA 포장 내 공기조성이 1.8-3.7kPa O₂ + 7.5-13.9kPa CO₂의 조건에서 16일간 유지할 수 있는 것으로 나타났다(Fig. 1 and Table 3). 즉, 상온에서 부패가 일어나기 전인 16일째에 저장한 콜라비의 비타민 C 함량은 산소투과율이 낮은 50μm PE와 OTR 3000으로 밀봉 포장한 것에서 유의하게 높게 나타났다(Table 3). 파인애플의 경우, 비타민 C의 함량이 고산소 MA 포장(38% O₂)에서 저산소 MA 포장(12% O₂)보다 낮게 나타났다(Montero-Calderón et al., 2010). 신선편이 토마토의 경우는 초기 2.5kPa O₂ + 5kPa CO₂ 조건에서 초기의 비타민 C 함량이 21일간 유지된다고 보고되었다(Odrizola-Serrano et al., 2008, 2009).

저온저장의 경우는 저장 30일까지 MA 포장재간의 비타민 C 함량의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 저온에 민감한 작물의 경우 저온장해에 의해 비타민 C 함량이 감소되는 경우가 있으나, 콜라비는 저온장해에 민감하지 않은 것으로 보고되고 있다(Deveci et al., 2010). 저온저장 60일째는 OTR 15000이 비타민 C 함량이 34.25mg·100g⁻¹ FW으

Table 3. Changes in vitamin C content (mg·100 mg⁻¹ FW) of kohlrabi stems during the storage at 18°C in MA packaging.

Treatment	Initial ^z	Storage period (days)			
		7	12	16	20
PE 50 μm		48.46 ± 0.62 a ^x	43.88 ± 2.11 a	42.47 ± 2.03 a	39.98 ± 0.59 a
OTR 3000	43.69 ± 1.70 ^y	47.81 ± 0.94 a	40.92 ± 1.53 a	42.31 ± 1.03 a	36.15 ± 0.57 ab
OTR 10000		46.17 ± 1.63 a	38.30 ± 1.59 a	40.15 ± 0.41 ab	28.96 ± 0.02 c
OTR 15000		46.53 ± 0.72 a	40.09 ± 3.41 a	36.16 ± 0.87 b	30.74 ± 6.95 b

^zInitial are means kohlrabi without package at first day after harvest.

^yValues are means ± standard errors of five replicates.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test, *p* = 0.05.

Table 4. Changes in vitamin C content ($\text{mg} \cdot 100 \text{ mg}^{-1}$ FW) of kohlrabi stems after 30 and 60 days at 4°C and/or followed by 3 days at 18°C in MA packaging.

Treatment	Initial ^z	Storage period (days)			
		30	30 + 3	60	60 + 3
PE 50 μm		41.41 \pm 5.98 a ^x	40.57 \pm 3.22 a	40.19 \pm 0.48 a	39.65 \pm 1.44 a
OTR 3000	43.69 \pm 1.70 ^y	42.36 \pm 0.62 a	38.27 \pm 0.46 a	39.30 \pm 2.99 a	37.05 \pm 2.07 a
OTR 10000		43.97 \pm 5.30 a	40.60 \pm 3.09 a	39.02 \pm 0.66 a	38.14 \pm 0.88 a
OTR 15000		41.99 \pm 1.96 a	39.80 \pm 2.43 a	34.25 \pm 2.26 b	34.81 \pm 1.79 a

^zInitial are means kohlrabi without package at first day after harvest.

^yValues are means \pm standard errors of five replicates.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test, $p = 0.05$.

로 가장 낮게 나타났다. 비슷한 결과로 신선편이 배를 MA 포장 후 저온저장(4°C)한 경우는 2.5kPa O_2 + 5 kPa CO_2 에 비해 70kPa O_2 에서 높은 비타민 C 함량의 감소가 야기되었다(Oms-Oliu et al., 2008). 한편, Day et al.(2001)은 고산소 MA 포장이 상추의 비타민 C 함량을 우선적으로 감소시키지 않는다는 보고도 있다. Tudela et al.(2002)은 고이산화탄소가 산화적 반응을 촉매하는 ascorbate peroxidase 촉진시키면서 비타민 C 함량의 손실을 증가시킨다고 보고하였다.

장기저장 후 상온유통기간 3일 동안 MA 포장재간의 비타민 C 함량의 유의한 차이는 없었다(Table 4). 콜라비를 무포장으로 상온에서 저장할 경우 초기값에 비해 저장기간이 지남에 따라 비타민 C 함량이 급격히 감소하는 데 비해 50 μm PE의 경우 초기값을 유지하는 것으로 나타났다(자료 미제시). 이는 필름포장에 의해 콜라비의 수분 손실이 방지되어 비타민 C 함량이 보존된 것으로 판단된다. 딸기의 경우 무포장 시 8일간 20-30%의 비타민 C 함량이 감소되었지만 polyvinyl chloride(PVC) 필름으로 포장한 딸기의 비타민 C는 거의 변화가 없었으며, 이는 포장내의 O_2 와 CO_2 수준의 변화에 기인한 것이 아니라 포장으로 인한 수분 손실의 감소가 비타민 C 함량의 감소를 방지한 것으로 보고되었다(Nunes et al., 1998). 본 연구에서는 콜라비의 MA 포장에 의한 비타민 C 함량의 변화를 조사한 결과 OTR이 낮은 필름이 비타민 C 함량의 보존 효과가 우수하였다. 또한 상온저장 시 비타민 C 함량 변화와 품질 변화와의 밀접한 상관관계가 나타나, 수확 후 기능성 성분의 변화가 작물의 저장수명 구명을 위한 품질 지표로서 검토될 수 있을 것으로 판단된다.

초 록

콜라비의 선도유지를 위한 적정 MA 포장재를 구명하기

위해 품질과 비타민 C 함량에 있어서의 MA 포장의 영향을 조사하였다. 콜라비의 저장수명을 연장하기 위한 MA 포장재는 50 μm PE와 OPP에 산소투과율(OTR) 3,000, 10,000, 15,000 $\text{mL}/\text{m}^2/\text{day}/\text{atm}$ 으로 조성된 필름을 사용하였다. 산소투과율을 조정된 포장재들이 콜라비의 중량 손실과 부패를 지연하고 저장 기간을 연장하는 효과가 있었다. 특히, OTR 3000 포장은 상온저장기간 동안 이상적인 가스 조성인 3.2-6.7kPa O_2 + 13.1-19.8kPa CO_2 을 유지했으며, 이 포장재로 저장된 콜라비가 가장 낮은 중량감소율과 높은 외관지수를 보였다. 50 μm PE 포장은 부패와 이취가 저장말기로 갈수록 급속히 발생하였다. 콜라비를 저온저장 할 경우에는 MA 포장간의 외관 품질에서의 유의적 차이는 나타나지 않았다. 콜라비의 비타민 C 함량은 상온 및 저온저장기간 동안 높은 투기율을 가진 OTR 15000 포장이 손실이 가장 컸고, 50 μm PE와 OTR 3000 포장이 손실이 낮았다. 본 연구결과, OPP 필름에 OTR 3000으로 조성된 포장재를 사용하는 것이 콜라비의 품질과 비타민 C 함량 유지를 수반한 저장 수명 연장에 가장 효과적인 것으로 밝혀졌다.

추가 주요어 : 가스조성, 산소투과율, 저장 수명, 비타민 C

인용문헌

- Agar, I.T., R. Massantini, B. Hess-Pierce, and A.A. Kader. 1999. Postharvest CO_2 and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *J. Food Sci.* 64:433-440.
- Allende, A., Y. Luo, J.L. McEvoy, F. Artés, and C.Y. Wang. 2004. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 33:51-59.

- Ayala-Zavala, J.F., S.Y. Wang, C.Y. Wang, and G.A. González-Aguilar. 2004. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT-Food Sci. Technol.* 37:687-695.
- Barth, M.M., E.L. Kerbel, A.K. Perry, and S.J. Schmidt. 1993. Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli. *J. Food Sci.* 58: 140-143.
- Cantwell, M. 1997. Properties and recommended conditions for storage of fresh fruits and vegetables. University of California, Davis, CA. URL (<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/index.html>).
- Cha, S.S., M.Y. Lee, and J.J. Lee. 2013. Comparison of physicochemical composition of kohlrabi flesh and peel. *Kor. J. Food Preserv.* 20:88-96.
- Cho, M.A., Y.P. Hong, J.W. Choi, Y.B. Won, and D.H. Bae. 2009. Effect of packaging film and storage temperature on quality maintenance of broccoli. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:128-139.
- Choi, S.H., D.K. Ryu, S.H. Park, K.G. Ahn, Y.P. Lim, and G.H. An. 2010. Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) and radish (*Raphanus sativus*). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:469-475.
- Day, B.P.F. 1996. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. *Postharvest News Inf.* 7:31-34.
- Day, B.P.F. 1998. Novel MAP: A brand new approach. *Food Manuf.* 73(11):22-24.
- Day, B.P.F. 2000. Novel MAP for freshly prepared fruit and vegetable products. *Postharvest News Inf.* 11(3):27-31.
- Day, B.P.F. 2001. Modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables-an overview. *Acta Hort.* 553:585-590.
- Deveci, M., L. Arin, and S. Polat. 2010. Cold resistance of kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). *J. Environ. Protect. Ecol.* 11:147-158.
- Erkan, M., S.Y. Wang, and C.Y. Wang. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 48:163-171.
- Escalona, V.H., E. Aguayo, and F. Artés. 2003. Quality and physiological changes of fresh-cut kohlrabi. *HortScience* 38: 1148-1152.
- Escalona, V.H., E. Aguayo, and F. Artés. 2006. Metabolic activity and quality changes of whole and fresh-cut kohlrabi (*Brassica oleracea* L. *gongylodes* group) stored under controlled atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 41:181-190.
- Escalona, V.H., E. Aguayo, and F. Artés. 2007a. Extending the shelf life of kohlrabi stems by modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 4:308-313.
- Escalona, V.H., E. Aguayo, and F. Artés. 2007b. Quality changes of fresh-cut kohlrabi sticks under modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 5:303-307.
- Forney, C.F. and R.E. Rij. 1991. Temperature of broccoli florets at time of packaging influences package atmosphere and quality. *HortScience* 26:1301-1303.
- Gil, M.I., F. Ferreres, and F.A. Tomás-Barberán. 1999. Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *J. Agric. Food Chem.* 47:2213-2217.
- Harris, J.R. 1996. Subcellular biochemistry. Ascorbic acid: biochemistry and biomedical cell biology, Vol. 25. Springer, New York, US
- Howard, L.R. and C. Hernandez-brenes. 1998. Antioxidant content and market quality of jalapeno pepper rings as affected by minimal processing and modified atmosphere packaging. *J. Food Qual.* 21:317-327.
- Institut International du Froid. 2000. Fruits and vegetables, p. 77-123. In: Recommendations for chilled storage of perishable produce. International Institute of Refrigeration, Paris.
- Jeong, C.S and G.J. Um. 2010. Effects of active MA mini-packaging on shelf-life maintenance during marketing of perilla leaves. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:980-984.
- Kader, A.A., D. Zagory, E.L. Kerbel, and C.Y. Wang. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 28:1-30.
- Ke, D. and A.A. Kader, 1992. External and internal factors influence fruits tolerance to low-oxygen atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:913-918.
- Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20:207-200.
- Montero-Calderón, M., M.A. Rojas-Graü, I. Aguilo-Aguayo, R. Soliva-Fortuny, and O. Martín-Belloso. 2010. Influence of modified atmosphere packaging on volatile compounds and physicochemical and antioxidant attributes of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *J. Agric. Food Chem.* 58:5042-5049.
- Nunes, M.C.N., J.K. Brecht, A.M.M.B. Morais, and S.A. Sargent. 1998. Controlling temperature and water loss to maintain ascorbic acid in strawberries during postharvest handling. *J. Food Sci.* 63:1033-1036.
- Odrizola-Serrano, I., R. Soliva-Fortuny, and O. Martín-Belloso. 2008. Antioxidant properties and shelf-life extension of fresh-cut tomatoes stored at different temperatures. *J. Sci. Food*

- Agric. 88:2606-2614.
- Odrizola-Serrano, I., G. Oms-Oliu, R. Soliva-Fortuny, and O. Martín-Belloso. 2009. Effect of high-oxygen atmospheres on the antioxidant potential of fresh-cut tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* 57:6603-6610.
- Oms-Oliu, G., I. Odrizola-Serrano, R. Soliva-Fortuny, and O. Martín-Belloso. 2008. Antioxidant content of fresh-cut pears stored in high-O₂ active packages compared with conventional low-O₂ active and passive modified atmosphere packaging. *J. Agric. Food Chem.* 56:932-940.
- Park, W.T., J.K. Kim, S. Park, S.W. Lee, X. Li, Y.B. Kim, M.R. Uddin, N.I. Park, S.J. Kim, and S.U. Park. 2012. Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). *J. Agric. Food Chem.* 60:8111-8116.
- Rai, D.R. and P. Shashi. 2007. Packaging requirements of highly respiring produce under modified atmosphere: a review. *J. Food Sci. Technol.* 44:10-15.
- Saray, T. 1994. Controlled atmosphere storage of vegetables: The possibilities. *Food Technol. Intl. Eur.* p. 69-73.
- Soliva-Fortuny, R.C., G. Oms-Oliu, and O. Martín-Belloso. 2002. Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *J. Food Sci.* 67:1958-1963.
- Toivonen, P.M.A. and C. Forney. 2002. Kohlrabi. In: K.C. Gross, C.Y. Wang, M.A. Saltveit (eds.). *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*, USDA Handbook No. 66. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Beltsville.
- Tudela, J.A., J.C. Espín, and M.I. Gil. 2002. Vitamin C retention in fresh-cut potatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 26:75-84.
- Van der Steen, C., L. Jacxsens, F. Devlieghere, and J. Debevere. 2002. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries. *Postharvest Biol. Technol.* 26:49-58.
- 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.
- Xiao, Z., G.E. Lester, Y. Luo, and Q. Wang. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. *J. Agric. Food Chem.* 60:7644-7651.