

기체충진 포장조건에 따른 신선편이 캠벨 포도의 저장 중 품질변화

이현희 · 홍석인* · 김동만
한국식품연구원

Storage Quality of Ready-to-Eat *Campbell* Table Grapes as Affected by Active Modified Atmosphere Packaging

Hyun-Hee Lee, Seok-In Hong*, and Dongman Kim
Korea Food Research Institute

Abstract The storage quality of ready-to-eat *Campbell* table grapes which were packaged under modified atmospheres was investigated in order to examine the effect of high O₂ and CO₂ on the fruit. Fresh table grapes with 10-15 berries were packed into polypropylene (PP) trays and were top-sealed with polyethylene terephthalate/PP film. The initial gas compositions inside the packages were air, 20% O₂/10% CO₂/70% N₂, and 40% O₂/60% N₂. Sealed packages with low density polyethylene film bags and perforated PP trays were also used as a further treatment and control, respectively. The quality attributes were assessed during storage at 5°C for 28 days. Fruit packaged in high CO₂ concentration showed the lowest viable cell counts of inherent microorganisms among all samples, although they suffered from severe off-flavors. High levels of O₂ significantly lowered flesh weight loss and maintained the flavor of grape. In an overall sensory aspect, the high O₂ and CO₂ packages exhibited greater scores than the air and control at the end of the storage period. Other quality attributes showed no significant differences among treatments. Results suggest that packaging with an appropriate combination of high O₂ and CO₂ can be used as an effective processing treatment for improvement of the storability of ready-to-eat table grapes.

Keywords: ready-to-eat, minimal processing, table grape, modified atmosphere packaging, superatmospheric oxygen

서 론

포도는 수확 후 호흡률이 감소하는 non-climacteric 과일로서 포도의 국내 생산현황은 2010년도 기준으로 재배면적이 17,572 ha로 전국 과수재배면적의 약 11%를 차지하며, 생산량은 305,524 톤으로 전체 과일의 약 12%에 이른다(1). 그러나 높은 재배율과 생산량에 비해 포도의 수확 후 품질관리기술은 아직까지 미미한 수준이다. 포도에서 발생하는 품질저하요인들은 포도 송이의 부패, 포도 알의 탈립, 줄기의 갈변, 해충에 의한 병해, *Botrytis cinerea*에 의한 회색곰팡이 감염 등이 있으며, 이는 소비자들의 구매 욕구에도 영향을 미친다(2-4). 이러한 품질저하를 방지하기 위하여 포도에 적용되는 수확 후 처리방법으로는 저온저장, 에탄올 침지, 또는 회색곰팡이병 방지를 위한 sulfur dioxide(SO₂) 훈증 등이 있으나, 지금까지의 처리방법은 장기저장 시 포도의 품질을 지속적으로 유지시키지 못하고, SO₂를 사용할 경우 곰팡이 포자나 균사체는 효과적으로 제거될 수 있으나 수분손실, 갈변과 같은 과실 손상을 일으키고 sulfite가 과일에 잔류되는 문제를 야기한다. 실제로 미국 FDA에서는 sulfite 잔류량이 최대 10 µL/L를

넘지 않도록 규정하고 있고, 유럽연합에서는 SO₂의 사용을 금지하고 있다(5). 따라서 포도의 수확 후 품질관리를 위한 새로운 처리방법은 계속 요구되고 있으며, 포도 알이 손실되거나 화학제의 잔류문제가 있을 수 있는 전처리보다는 주변의 공기조성을 변형하여 포장 또는 저장하는 환경기체조절방법이 더 많이 시도되고 있다(3,4,6,7).

과채류의 수확 후 품질유지를 위해 적용되는 방법 중 하나인 환경기체조절포장(modified atmosphere packaging, MAP)은 일반적으로 신선 과채류 처리공정의 최종단계에서 적용되며, 포장내부 공기조성을 일반 대기조성과 다르게 변형하여 원료의 호흡과 생리적 대사작용을 조절함으로써 저장유통 중 상품의 초기품질을 유지시키는 것으로 알려져 있다(8). 신선편이 농식품에 적용되는 MAP 방법은 주로 소포장 형태로 이용되며 밀봉 전에 변형된 기체조성을 주입하거나 포장재의 기체투과성을 이용하여 자연적으로 기체조성이 변화되도록 한다. 기체조성은 주로 고이산화탄소 저산소 조건으로 변형하며 과채류 원료에 따라 품질 유지효과가 매우 다양하게 나타난다. 현재까지 포도에 주로 적용된 환경기체조절방법은 주로 5-30% 범위의 고이산화탄소 조건에서 저장하는 것으로 포도 알의 탈립을 방지하거나, *Botrytis* 곰팡이 증식을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(3,6). 또한 포장필름의 기체투과성을 이용하여 형성된 15 kPa O₂+10 kPa CO₂의 저산소/고이산화탄소 조건은 SO₂ 사용을 대신할 수 있을 만큼 포도의 품질을 유지할 수 있는 것으로 보고되었다(5). 한편 고산소 또는 고산소/고이산화탄소 조건의 환경기체조절은 효소 반응으로 인한 변색이나 혐기적 발효대사, 그리고 호기성과 혐

*Corresponding author: Seok-In Hong, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 463-746, Korea
Tel: 82-31-780-9053
Fax: 82-31-709-9876
E-mail: sihong@kfri.re.kr, hsikfri@chollian.net
Received June 9, 2012; revised August 21, 2012;
accepted August 25, 2012

기성 미생물의 증식을 효과적으로 억제하는 것으로 알려져 있어 신선 과채류의 품질유지 및 부패미생물 제어를 위해 적용 및 시도되고 있고, 다양한 농산물에서 그 효과가 입증되고 있다(9,10). 포도에는 80% 고산소 조건, 또는 40% O₂+30% CO₂의 고산소/고이산화탄소 혼합조건의 환경기체조절저장(controlled atmosphere, CA) 방법을 적용한 바 있으나(11,12), 보다 경제적인 소포장 형태의 고산소 및 고이산화탄소 기체충진 MAP 처리효과에 대한 연구는 아직까지 미미하다.

이에 본 연구에서는 신선편이 포도의 고산소 및 고이산화탄소 기체충진 포장처리 관련 기초자료를 확보하여 상품 유통기간 연장에 효과적인 소비자용 포장방법을 모색하고자, 살균소독, 세척, 절단 과정을 거친 신선편이 캠벨 포도에 대해 여러 기체충진 조건을 적용하여 밀봉 포장한 후 저온저장하면서 품질변화를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

포도 시료

본 실험에 사용된 캠벨 포도(*Vitis labrusca* cv. Campbell's Early)는 8월 초에 충청북도 영동 지역에서 수확된 것으로 가락동 농수산물 도매시장에서 실험 당일 구입하여 사용하였다. 포도 시료는 중량이 약 350-400 g으로 수확이나 운송 중 발생한 기계적 손상과 및 병해 증상을 제외하고 건전한 과실만을 선별하여 사용하였다.

전처리

시료의 초기 오염미생물을 제거하기 위하여 선별된 포도 송이를 100 ppm 차아염소산염수 5 L에 5 송이씩 1분간 담근 후 수돗물에 30초 침지하고 다시 흐르는 물에 30초간 세척하였다. 살균소독 처리를 마친 포도 송이는 선풍기를 이용하여 1시간 동안 물기를 제거하였고, 이후 포도 알 10-15개가 달린 포도 줄기(약 50-60 g)를 전정가위로 잘라 실험 시료를 준비하였다.

포장 및 저장

신선편이 포도에 대한 고산소 및 고이산화탄소 기체충진 포장처리 효과를 살펴보기 위하여 플라스틱(PP, polypropylene) 트레이 용기(21.5×14.5×5 cm)에 약 330-350 g의 포도 시료를 담은 후 O₂, CO₂, N₂의 조성 비율을 임의로 조절할 수 있는 기체혼합기(KM 100-3M, WITT Gasetechnik GmbH, Witten, Germany)와 자동기체충진포장기(Olympia Auto., Tecnovac S.R.L., Grassobbio, Italy)를 사용하여 포장하였다. 포장 용기내의 혼합기체조성은 일반 대기조성인 20% O₂/80% N₂, 포도에 적용하고 있는 고이산화탄소 조건인 20% O₂/10% CO₂/70% N₂, 그리고 선행 연구(13)를 통해 포도의 품질유지에 적합한 조건으로 얻은 40% O₂/60% N₂의 조건으로 설정하여 충전한 다음, 용기의 상부를 30 μm 두께의 PET(polyethylene terephthalate)/PP 적층필름으로 열접착하여 밀봉 포장하였다. 또한 포장필름의 종류에 따른 품질차이를 평가하기 위하여 20% O₂/80% N₂의 일반 대기조건에서 약 50 μm 두께의 LDPE(low density polyethylene, Ihlshin Chem. Co., Ansan, Korea, O₂ transfer rate: 1277±159 mL/m²·day·atm @10°C) 필름봉투에 밀봉 포장하였으며, 대조구로는 PET/PP 필름 윗면에 12개의 천공(지름: 약 3 mm)이 있는 용기 포장구를 기준으로 하였다. 대조구를 포함한 모든 포장처리구는 5±2°C, 85-90% RH로 유지되는 저장고에 28일간 저장하면서 포도의 다양한 품질특성을 1주일 간격으로 측정하였다. 분석용 포도 시료로는 저장 중 각

처리구별로 2개의 포장구를 임의로 선정하여 총 700 g의 포도를 사용하였다.

호흡률 및 용기 내부 기체조성

포도의 호흡률은 밀폐시스템 방법(14)에 따라, 격막이 장착된 1.9 L 유리용기 내에 전체 체적의 1/3 정도 분량인 약 350 g의 포도 송이를 넣고 밀봉한 후 5°C에 보관하면서 경시적으로 gas-tight syringe(#1001, Hamilton Co., Reno, NY, USA)를 사용하여 용기 내부의 기체조성을 200 μL씩 채취한 다음 GC(GC-14A, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 분석하여 O₂ 감소 및 CO₂ 발생의 호흡속도를 계산하였다. 이때 GC의 분석조건은 detector: TCD, column: Alltech CTR I, column temp.: 35°C, injection temp.: 60°C, detector temp.: 60°C, carrier gas: 50 mL He/min이었다. 용기포장 내부의 기체조성은 gas-tight syringe를 사용하여 덮개필름을 통해 내부기체를 천천히 200 μL씩 채취한 다음 호흡률 측정과 동일한 조건에서 기체조성을 분석하였다.

생체중량, 경도, pH, 산도, 가용성 고형분 함량

생체중량 변화는 포장용기에서 꺼낸 시료의 중량만을 측정하여 그 감소량을 저장 전 초기 값에 대한 백분율(%)로 표시하였다. 과실의 경도는 줄기에 달려있는 포도 알을 측정선반 위에 놓은 다음 rheometer(CR-200D, Sun Scientific Co. Ltd., Tokyo, Japan)의 round flat형 탐침(지름: 20 mm)이 1.0 mm/s의 속도로 5 mm 이동하였을 때 시료가 받는 힘을 kg로 나타내었다.

처리구당 2개의 포장구에서 각각 5-6알의 포도 알을 무작위로 선택하여 껍질과 씨를 제거한 후 과육부만을 균질기(MR-430, Braun, Alcobendas, Spain)에 넣고 완전히 마쇄하였고, 12겹의 거즈로 착즙한 후 pH meter(model AR15, Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 과즙의 pH를 측정하였다. 적정 산도는 착즙액 10 mL를 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.2까지 적정하여 소비된 용액 양을 tartaric acid %로 환산하여 표시하였다. 가용성 고형분 함량은 껍질을 벗긴 포도 알 2개를 가압 착즙하여 6겹의 거즈로 여과한 후 즙액의 굴절률을 refractometer(N-1E, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하여 5회 측정의 평균값과 표준편차를 %Brix 단위로 표시하였다.

표면색

과피의 표면색은 포도 알의 중심 부위를 색차계(CR-400, Konica Minolta Holdings, Inc., Tokyo, Japan)의 광조사 부분에 밀착시켜 측정된 후 Hunter L, a, b 값으로 표시하였다. 이때 백색 표준판(L=97.75, a=-0.49, b=1.96)을 사용하여 색차계를 보정한 후 시료의 색 측정에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량 및 polyphenol oxidase 활성

포도의 총 폴리페놀 함량은 Poudel 등(15)의 방법을 변형하여 측정하였다. 이때, 폴리페놀 함량이 높은 것으로 알려져 있는 과피와 가식부위인 과육(씨 포함)을 구분하여 측정 비교하였다. 즉, 포도의 과피와 과육 각각 10 g을 1% HCl이 3:97 비율로 혼합된 methanol 용액 100 mL에 넣고 균질기에서 1분간 마쇄하였다. 이 혼합액을 얼음물에서 다시 1시간 동안 sonication하고, 이후 10,000×g, 4°C에서 30분간 원심분리하여 상층액을 얻었다. 포도의 총 폴리페놀 함량은 위 상층액 0.1 mL에 50%(1 N) Folin-ciocalteu phenol reagent 1 mL, 10% sodium bicarbonate 1 mL, 증류수 4 mL을 차례로 혼합한 후 암실에서 1시간 동안 방치한 후 spectrophotometer(V-530, JASCO Co., Tokyo, Japan)를 사용하여

여 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질은 gallic acid (Sigma-Aldrich Co., St Louis, MO, USA)를 사용하였고, mg GAE(gallic acid equivalent)/g fresh sample로 나타내었다.

포도 과피와 과육의 PPO(polyphenol oxidase) 활성은 Orak(16)의 방법에 따라 측정하였다. 포도 과피와 과육 각각 10 g을 PVPP(polyvinyl polypyrrolidone) 10 g이 포함된 추출용액(100 mmol/L sodium phosphate, pH 6.4) 20 mL과 혼합한 후 균질기에서 1분간 마쇄하였다. 이 혼합액을 원심분리(10,000×g, 4°C, 30 min)한 다음 상층액을 조효소액으로 사용하였다. 추출한 조효소액 0.2 mL을 기질(50 mM catechol) 2.8 mL과 혼합하고, 즉시 spectrophotometer(JASCO Co.)를 사용하여 420 nm 파장에서 180 초간 흡광도 변화를 측정하였다. PPO 효소활성의 단위는 unit/mg protein으로 나타내었으며, 1 unit은 420 nm에서 1분 동안 0.001의 흡광도가 변화되는 양을 의미한다. 포도 과피와 과육의 단백질 함량은 Lowry protein assay(17) 방법에 따라 측정하였다. 즉, 조효소액 0.2 mL을 modified Lowry reagent 1.0 mL과 혼합한 후 상온에서 10분간 방치하고, 여기에 1 N phenol reagent 0.1 mL을 첨가한 다음 상온에서 다시 30분간 방치하였다가 750 nm에서 흡광도를 측정하였다.

미생물 균수

포도에 존재하는 일반세균과 효모, 곰팡이의 균수를 측정하기 위하여 각 포장처리구의 시료 약 12-15 g씩을 멸균봉투(Whirl Pak® B01195, Nasco Co., Fort Atkinson, WI, USA)에 무균적으로 채취한 후 0.85% 멸균 식염수 50 mL을 넣고 균질기(BagMixer® 400, Interscience, Bretteche, France)로 1분간 분쇄하였다. 이후 희석 단계별로 균액을 1 mL씩 분주한 후 일반세균은 plate count agar (Merck, Darmstadt, Germany) 배지에, 효모 및 곰팡이는 10% tartaric acid를 사용하여 pH를 3.5로 조절한 potato dextrose agar (Merck) 배지에 도말한 다음, 35°C에서 48-72시간 동안 평판 배양하였다. 한 평판 당 20-200개의 집락을 갖는 페트리디시를 선택하여 계수한 후 CFU/g로 표시하였다. 실험결과는 처리구별로 임의의 선정된 2개의 포장구에 대해 측정하여 얻은 값을 평균값과 표준편차로 나타내었다.

관능평가

각 처리구의 포도 시료에 대한 관능평가는 신선한 과일, 채소에 대한 관능평가 경험이 풍부하며 20대 연령층의 여성으로 구성된 평가요원 10여명을 대상으로 매 측정 일에 5°C 저장한 신선편이 포도의 변색(discoloration), 시듦(wilting), 곰팡이 발생에 의한 부패(decay), 외관품질(visual quality), 포도향, 이취 항목에 대해 9점 척도의 차이식별 검사를 실시하였다. 이때 변색, 시듦, 부패, 포도향, 이취 등의 항목은 평가점수가 클수록 그 정도가 강한 것을 의미하며, 외관품질 항목은 점수가 낮아질수록 품질이 저하된 것을 의미한다.

통계처리

실험 측정값과 관능평가 결과는 통계프로그램(SAS Institute Inc., Ver. 9.1, Cary, NC, USA)의 ANOVA 분산분석으로 처리하여 평균값의 유의차(p<0.05)를 검증하였다.

결과 및 고찰

호흡특성 및 포장내 기체조성 변화

다양한 혼합기체 조건에서 신선편이 포도 시료의 초기 호흡률

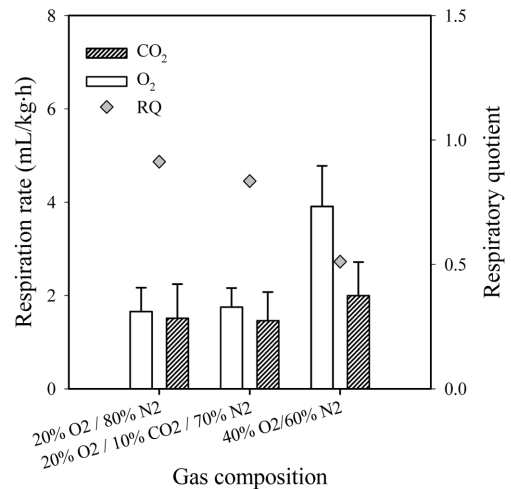


Fig. 1. Initial respiration rates and respiratory quotients of ‘Campbell’ table grapes measured under different initial gas compositions at 5°C before storage.

을 측정할 결과, O₂ 함량이 높을수록 O₂ 소비율과 CO₂ 생성률이 증가하였고, 10% CO₂ 고이산화탄소 조건에서 나타나는 호흡률 양상은 일반 공기조성에서의 호흡률과 크게 다르지 않았다(Fig. 1). 구체적으로 5°C의 O₂ 소비율이 20% O₂/80% N₂ 처리구에서 1.65±0.51 mL/kg·h, 20% O₂/10% CO₂/70% N₂ 처리구에서 1.75±0.41 mL/kg·h, 40% O₂/60% N₂ 처리구에서 3.91±0.87 mL/kg·h를 나타내었고, CO₂ 생성율은 각각 1.51±0.73, 1.46±0.61, 2.00±0.72 mL/kg·h이었다. 호흡계수(respiratory quotient, RQ)에서도 일반 공기조성과 고이산화탄소 조건에서 각각 0.91, 0.83으로 비슷하였으나, 고산소 조건에서는 0.51로 비정상적인 호기호흡이 일어나는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 포도는 0°C에서 1-2, 5°C에서 3-4 mL CO₂/kg·h의 다소 낮은 호흡률을 갖는 작물(18), 본 연구의 신선편이 포도는 약 330-350 g 단위로 포도 송이를 절단하였으므로 알맹이에 비해 호흡률이 약 15배 가량 높은 줄기 부위가 상대적으로 적어서 온전한 넝쿨 송이의 호흡률보다 더 낮은 수준을 나타내었다.

저온저장 중 포장용기 내부의 기체조성 변화는 기체투과성이 있는 PE 포장구에서만 저장 28일간 약 13% 이상의 O₂를 유지하였고, 다른 포장구에서는 저장 21일 무렵부터 모든 산소가 소비되었다(Fig. 2). 반대로 CO₂ 농도는 PE 포장구를 제외하고 나머지 포장구에서 초기 기체조성에 관계없이 증가하여 저장말기에 50%에 가까운 고농도의 이산화탄소가 측정되었다. 이러한 저장 21일 이후 형성된 산소 고갈 및 고농도 이산화탄소 조건에서는 통상적으로 신선 농산물의 혐기호흡을 유발하여 일부 외관품질 변화는 물론 현저한 이취 발생으로 인해 소포장 신선편이 농식품의 상품성을 떨어뜨릴 수 있다. Martínez-Romero 등(19)의 연구에서도 차단성 OPP 필름에 포도를 상압 포장하여 1°C에서 53일간 저장하였을 때, 저장 7일 만에 포장구내의 O₂ 농도는 5%까지 떨어졌고 CO₂ 농도는 4.5%까지 증가하여 저장 중 저산소/고이산화탄소 기체조성이 형성되었다.

생체중량, 경도, pH, 산도, 가용성 고형분 함량 변화

신선편이 캠벨 포도의 이화학적 품질특성을 측정할 결과, 저장기간 중 포도 시료의 생체중량 변화는 대조구인 통기 포장구에서 1.35%까지 증가하였으나 밀폐 포장구에서는 전체적으로 1.0% 이하를 나타내었다(Fig. 3). 밀폐 포장구 중에서는 20% O₂/

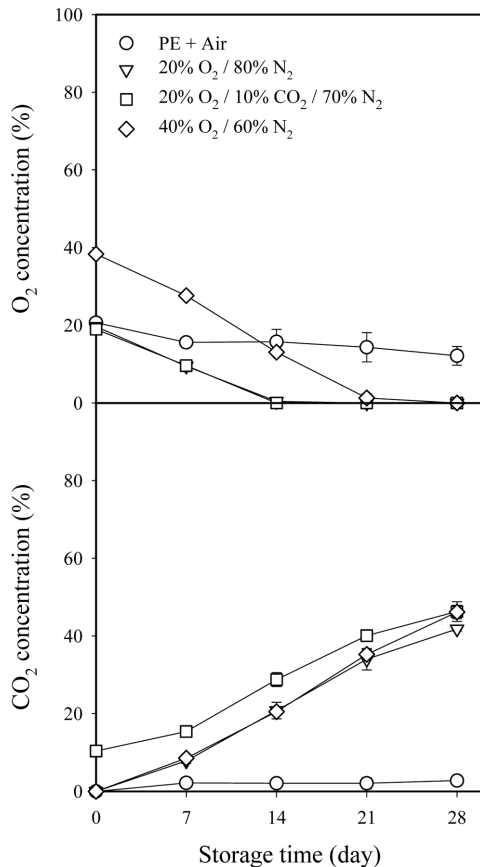


Fig. 2. Changes in O₂ and CO₂ concentrations inside the tray of 'Campbell' table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

80% N₂ 처리구가 약 0.82%로 가장 높았고, 40% O₂/60% N₂ 처리구가 약 0.45%로 가장 변화가 적었으나 유의적인 차이는 구분할 수 없었다. 기체투과성이 높은 PE 포장구의 중량 감소도 기체충진 밀폐 포장구와 유의적인 차이가 없었다. 과실의 경도는 중량 감소에 따라 전반적으로 초기 0.91±0.07 kg에서 저장 28일 후 0.66±0.10 kg까지 감소하였으며, 통기 포장구에서 가장 낮았고 기체충진 처리구간의 유의적인 차이는 볼 수 없었다. 본 연구에서 포장처리구의 매우 낮은 중량 감소율은 포도 시료를 밀봉 포장한 PP 트레이 용기와 PET/PP 닥셀필름의 고차단성에 기인하여 생체로부터 수분 증발이 방지되었기 때문이다. Valverde 등 (20)도 차단성 OPP 필름봉투에 포도를 밀봉한 결과, 5°C에서 저장 28일 동안 포도의 중량 감소는 1% 이하였으며 MAP 조건에 영향받지 않는 것을 확인하였다. 한편 포도 시료의 pH는 처리구간의 유의적인 차이 없이 저장기간 동안 pH 3.19-3.46 범위를 유지하였고, 적정 산도의 경우 저장 중 약간의 증감이 있었으나 대체로 0.54-0.79% 범위를 유지하였다(Fig. 4). 가용성 고형분 함량도 저장기간 동안 포장처리구별로 유의적인 차이를 나타내지 않고 12.2-14.2%Brix 범위 내에서 점차 감소하였다. 이와 같이 포도의 이화학적 품질특성은 다른 연구결과와 유사하게 저장 중 눈에 띄는 큰 변화를 확인할 수 없었다(5,11).

표면색 변화

신선편이 포도 시료의 표면색은 초기 기체조성과 관계없이 저

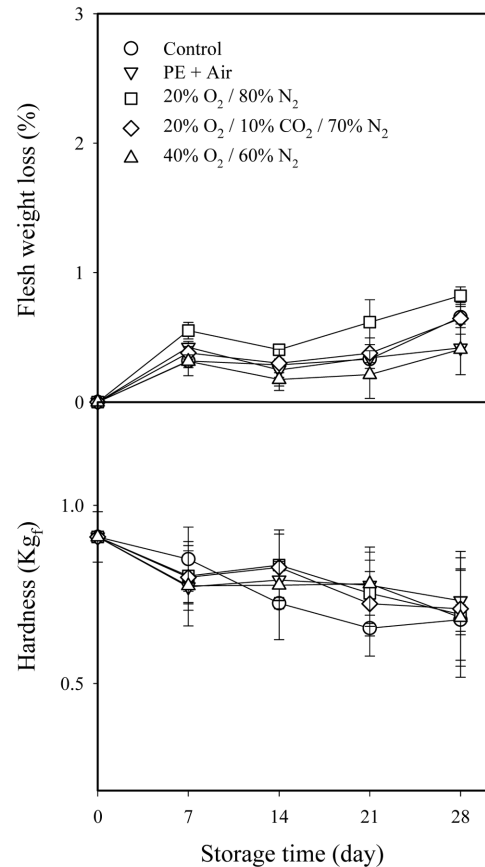


Fig. 3. Changes in flesh weight loss and hardness of 'Campbell' table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

장 중 거의 일정하게 유지되었는데, 전체 저장기간 동안 Hunter L, a, b 값이 각각 20.0-24.7, 2.8-4.3, -1.3-0.2 범위 내에서 유의적인 차이 없이 거의 일정하였다(Fig. 5). 포도의 표면색과 밀접한 상관성을 갖는 anthocyanin 색소 함량도 포장처리구간의 유의적인 차이 없이 초기 값, 1.05±0.17 mg ME/g을 그대로 유지하였다(데이터 생략). 그러나 육안으로 판단한 포도 줄기의 색은 통기 포장구와 PE 포장구를 제외하고 저장 중 포장용기 내에 CO₂ 함량이 50% 가까이 높아졌던 20% O₂/80% N₂, 20% O₂/10% CO₂/70% N₂, 40% O₂/60% N₂ 밀폐 포장구에서 모두 갈색으로 변색되었다. CA 저장 중 발생하는 포도 줄기의 갈변은 선행 연구 결과에서도 보고되었는데, Crisosto 등(3)은 'Red globe' 포도를 5, 10, 15, 20, 25 kPa CO₂와 3, 6, 12 kPa O₂ 조건으로 0°C에서 3개월 동안 CA 저장하였을 때, O₂ 농도와 상관없이 CO₂ 농도가 10 kPa 이상 증가하면 줄기에 갈변이 일어나는 것을 확인하였다. Deng 등(11)도 4% O₂+9% CO₂, 80% O₂의 CA 조건보다는 4% O₂+30% CO₂ 조건으로 CA 저장한 포도 줄기에서 갈변이 심하게 일어나는 것을 확인하였다. 식물조직의 갈변은 PPO의 촉매작용에 의해 페놀화합물이 산화되는 것과 관련이 있으나, 수분손실, 숙성, 부패, pH, 비타민 C 함량, 온도 등과 같은 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 그러나 주로 고이산화탄소 조건에서 포도 줄기가 갈변되는 것은 phenylalanine ammonia lyase의 독성 작용이거나(21), 혹은 이산화탄소에 의해 식물조직의 세포막이 손상되어 일어나는 것으로 보고 있다(11). 따라서 본 연구의 모든

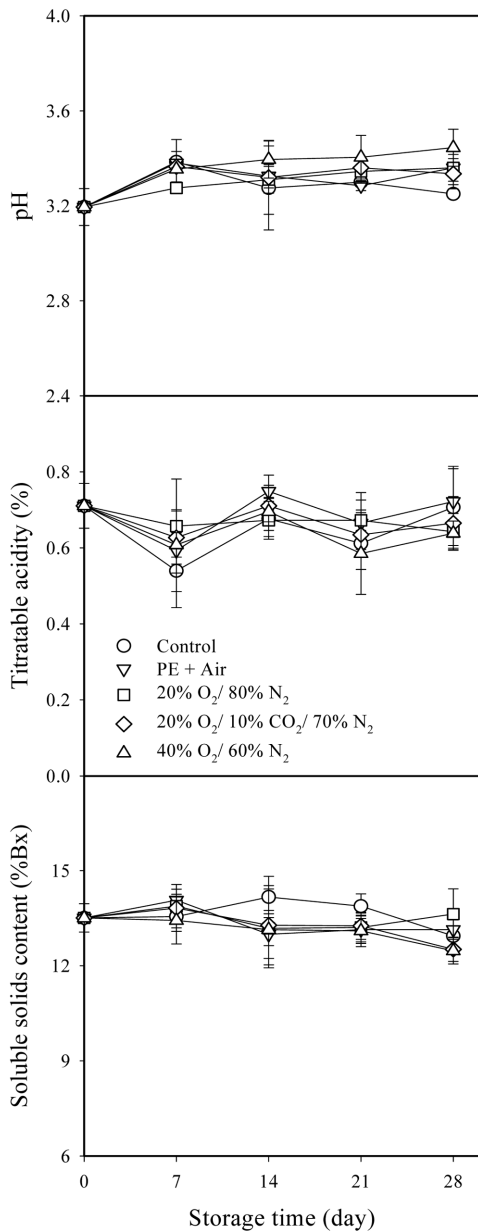


Fig. 4. Changes in pH, titratable acidity, and soluble solids content of ‘Campbell’ table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

포장처리구에서 일어난 포도 줄기의 갈변은 포장용기 내에 축적된 고농도 CO₂에 기인한 것으로 밀폐용기에 포도를 저장하는 경우 심각한 줄기 변색을 초래할 것으로 판단된다.

폴리페놀 함량 및 polyphenol oxidase 활성 변화

기체조성을 달리하여 포장한 포도 시료의 폴리페놀 함량은 과피의 경우 초기 6.65±1.52 mg GAE/g이었고, 밀봉포장 후 저장 7일에는 기체조성의 영향을 받아 고이산화탄소, 고산소, 일반 대기, PE 포장구 순으로 통기 포장구에 비해 약 0.8-2.1 mg GAE/g 정도 낮아졌다(Fig. 6). 그러나 이후 저장기간 중에는 포장처리구간의 유의적인 차이 없이 4.4-5.3 mg GAE/g까지 감소하였고, 그 가운데 고산소 포장구의 폴리페놀 변화폭이 상대적으로 적어 비

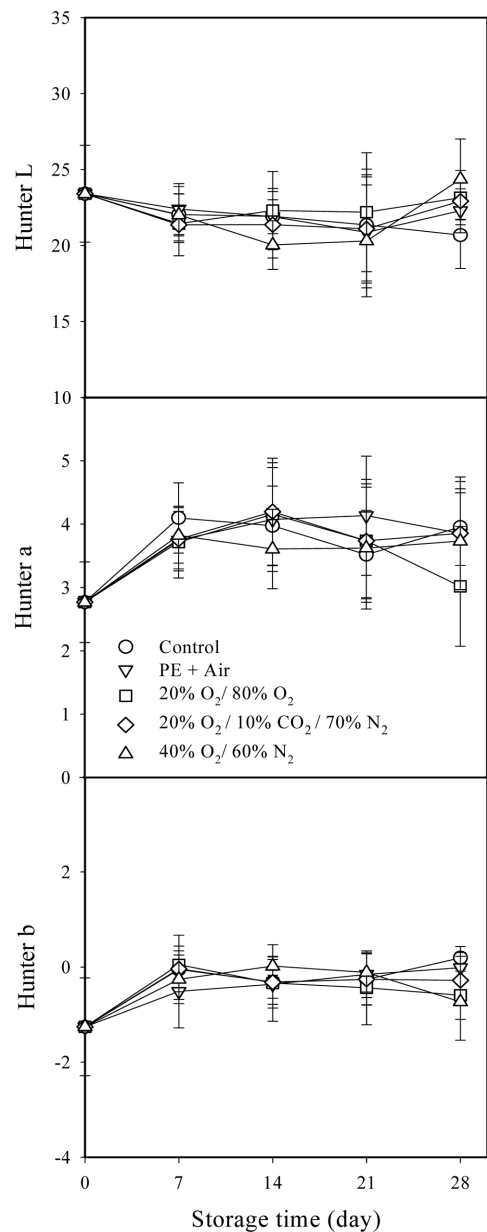


Fig. 5. Changes in peel color of ‘Campbell’ table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

교적 일정하게 유지되었다. 포도 과육의 폴리페놀 함량은 1.3±0.4 mg GAE/g으로 과피에 비해 약 5배 정도 낮았으며, 5에서 28일 저장하는 동안 포장처리구간의 유의적인 차이 없이 약 0.4 mg GAE/g까지 감소하였다. 한편 PPO 활성은 과피의 경우 초기 0.72±0.02 unit을 유지하다가 저장 21일 이후부터는 1.42-1.66 unit까지 그 활성이 급격히 상승하였으며, 이와는 반대로 과육의 경우 초기 1.43±0.09 unit이 저장 중 0.2±0.11 unit까지 감소하였다(Fig. 7). 포도 과피와 과육에서 측정된 PPO 활성은 모두 포장처리구간의 차이를 구분할 수 없었다. 이러한 결과와 달리 Deng 등(11)의 연구에서는 ‘Kyoho’ 포도를 4% O₂+9% CO₂, 4% O₂+30% CO₂, 80% O₂+0% CO₂ 조건으로 CA 저장하였을 때, 고이산화탄소(4% O₂+30% CO₂) 조건에서 PPO 활성이 가장 낮게 나타났다.

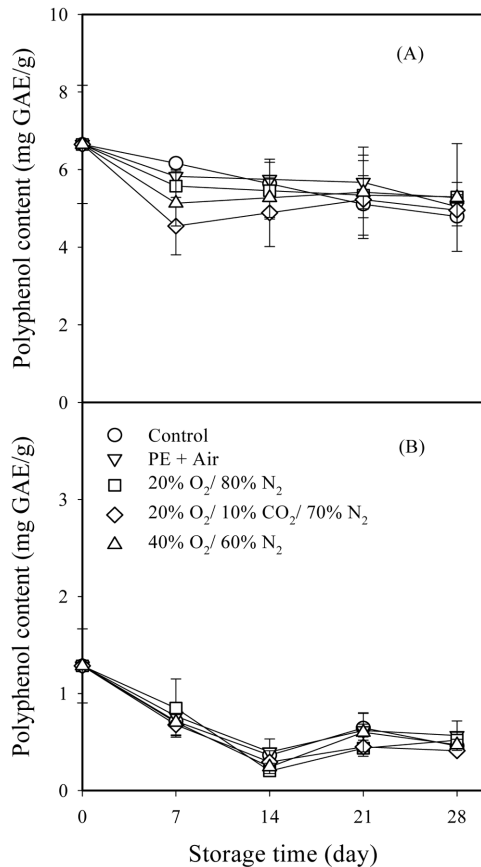


Fig. 6. Changes in total polyphenol content of 'Campbell' table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. (A) peel of grape, (B) flesh of grape. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

이산화탄소 또는 산소에 영향을 받는 PPO는 그 활성이 다양하게 나타나지만, 대부분 이산화탄소는 경쟁적 억제제로 작용하고 산소는 PPO 반응의 기질 억제나 무색의 quinines을 높은 농도로 만들어 내어 반응생성물을 억제하는 피드백 대사를 유도한다(9, 11). 그러나 본 연구에서는 포장용기에 충전한 고산소 또는 고이산화탄소에 의한 PPO 활성 변화를 찾아볼 수 없었고, 단지 저장 기간 중 식물체의 노화(senescence)로 인하여 효소활성이 증가하는 것으로 판단되었다.

미생물 균수 변화

포도 시료의 일반세균은 100 ppm 염소수처리 직후 전혀 검출되지 않았으나, 저장기간 중 증가하여 40% O₂/60% N₂ 고산소 처리구에서 약 10³-10⁴ CFU/g로 가장 높은 균수를, 20% O₂/10% CO₂/70% N₂ 고이산화탄소 처리구에서는 약 10¹-10² CFU/g로 가장 낮은 균수를 나타내었다(Fig. 8). 효모 및 곰팡이 생균수는 염소수처리 직후 약 10³ CFU/g 수준이었고, 저장 7일째에는 고산소 처리구를 제외한 나머지 모든 처리구에서 약 1 log 정도 감소하였다. 그러나 이후 포장내부 기체조성의 영향을 받아 통기 포장구와 약 13% 이상의 O₂ 농도를 유지하였던 PE 포장구에서는 저장기간 동안 효모와 곰팡이가 점차 증식하여 28일째에 약 10⁴ CFU/g로 가장 높은 균수를 나타내었다. 밀폐 포장구에서는 중온성 호기세균과 마찬가지로 고산소 처리구에서 약 10³ CFU/g로 상대적으로 높은 균수를, 고이산화탄소 처리구에서 약 10¹

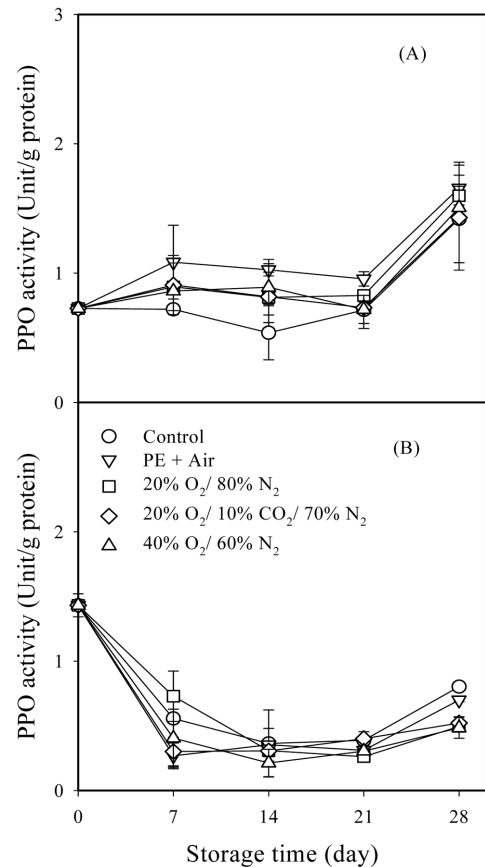


Fig. 7. Changes in polyphenol oxidase activity of 'Campbell' table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. (A) peel of grape, (B) flesh of grape. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

CFU/g로 더 낮은 균수를 유지하였다. 결과적으로 신선편이 포도의 일반세균, 효모 및 곰팡이는 고이산화탄소 조건에서 생육이 억제되는 반면, 통기 포장구와 고산소 조건에서는 증식하거나 균수가 일정하게 유지되는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 원료 포도의 살균소독제로 사용한 100 ppm 염소수처리는 일반세균을 효과적으로 제거하였으나, 효모와 곰팡이의 경우 완전히 제거되지 않고 약 10³ CFU/g 수준으로 존재하였다. Del Nobile 등(22)도 포도를 50% ethanol에 5분, 20 mL/L 염소수에 15분, 그리고 55°C 열수에 5분간 침지한 후 미생물 균수를 확인한 결과, 모든 살균소독 처리구에서 부패균의 증식이 효과적으로 억제되었으나 염소수처리에서는 곰팡이의 증식억제가 다소 미약한 것으로 보고하였다. 기체충진 포장처리 가운데 고이산화탄소 조건에서는 타 연구결과와 유사하게 신선편이 포도 시료의 미생물 증식이 분명히 억제되는 것을 알 수 있었다. 대체로 포도의 *Botrytis* 곰팡이는 10-15% 이상 CO₂ 조건에서 증식 억제되는 것으로 알려져 있고(3,23), *Aspergillus carbonarius*와 *A. niger*도 1% O₂+15% CO₂의 고이산화탄소 조건에서 균사체 증식이 가장 크게 억제되었으나 5% O₂+95% N₂ 조건에서는 오히려 균사체가 증식하는 것으로 확인되었다(24). 고이산화탄소 조건에서 일어나는 미생물 억제는 혐기호흡 대사산물이자 이취의 주성분인 acetaldehyde가 *Rizopus stolonifer*, *B. cinerea* 등의 곰팡이 세포막을 파괴하고 세포내 전해질, 당, 단백질 등을 유실시켜 사멸을 유도하기 때문으로 알려져 있다(25,26). 또한 고산소 또는 고산소와 고이산화탄소

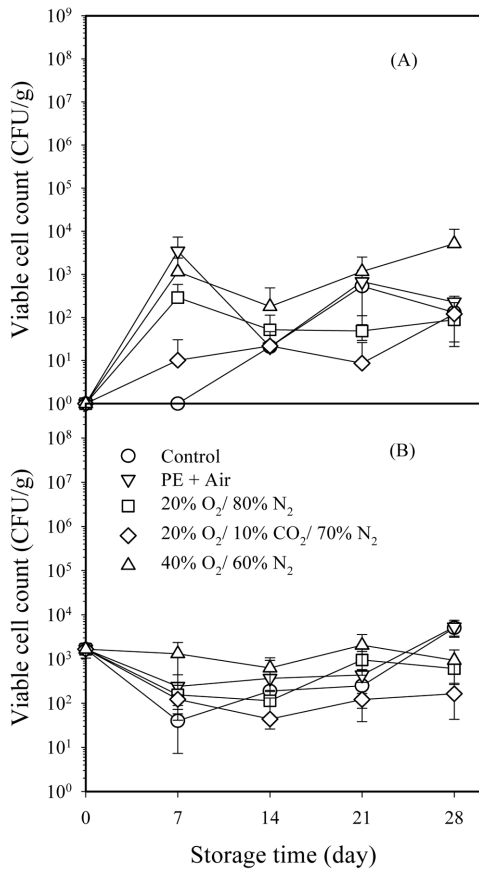


Fig. 8. Changes in viable cell counts of mesophilic aerobes (A) and yeasts and molds (B) of ‘Campbell’ table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

혼합기체는 대부분의 과일, 채소류에 존재하는 부패미생물, 특히 곰팡이와 과일 연화를 일으키는 미생물을 직접 억제하는 것으로 알려져 있으나(9), 본 연구에서 적용한 40% O₂/60% N₂ 고산소 충전 포장처리는 캠벨 포도의 증온성 호기세균, 효모 및 곰팡이의 증식을 억제하지 못했고, 오히려 다른 포장처리구보다 더 많은 균수를 유지하여 포도의 미생물 생육억제에 효과적이지 못하였다. 고산소의 미생물 증식 억제효과는 미생물 세포내에 고산소 상태에서 발생하는 활성산소(ROS, O₂⁻, H₂O₂, OH⁻)를 제거할 수 있는 산소분해효소, 예를 들어 catalase, peroxidase, superoxide dismutase 등이나 glutathione과 같은 활성기 제거제(radical scavengers)의 존재 유무에 따라 다르게 나타나는데, 이러한 방어시스템을 가지고 있는 미생물은 고산소에 의한 스트레스를 이겨낼 수 있게 된다(27). Hoogerwerf 등(28)의 연구에서 80% O₂+20% N₂ 고산소 보다는 20% O₂+20% CO₂+60% N₂ 고이산화탄소 조건에서 *R. stolonifer*, *B. cinerea*, *Penicillium discolor*의 증식이 더 강하게 억제되는 것을 보고하였다. 특히 *B. cinerea*의 peroxidase 활성이 고산소 조건에서는 높아지고 고이산화탄소 조건에서는 낮아지는 현상이 일어나 고산소 하에서 곰팡이의 증식이 일어날 수 있는 가능성을 제시하였다. 본 연구결과에서도 고이산화탄소 조건보다는 고산소 조건에서 미생물 균수가 더 높게 유지되어 고산소에 의한 미생물 증식억제 효과를 얻기 어려운 것으로 생각되었다.

관능특성 변화

기체충진 포장조건을 달리한 신선편이 캠벨 포도의 고유 외관, 향기 변화를 평가한 결과, 20% O₂/10% CO₂/70% N₂ 포장구는 전반적으로 외관항목 중 변색, 부패 항목에서 가장 낮은 점수를 받았으나 알코올성 이취가 가장 강하게 느껴졌다(Table 1). 반면에 40% O₂/60% N₂ 포장구에서는 이취가 적고 고유의 포도향이 유지되면서 외관검사 평가점수도 상대적으로 높게 유지되었다. 신선 과일류에서 발생하는 이취의 주성분은 혐기호흡 대사산물인 acetaldehyde, ethanol, ethyl acetate 등으로서 일반적으로 고이산화탄소 조건에서는 식물조직의 succinic dehydrogenase 활성이 억제되어 혐기적 대사가 이루어지고 glycolysis를 거쳐 최종적으로 acetaldehyde와 ethanol 등이 생성된다(29). Deng 등(11)은 4% O₂+9% CO₂, 4% O₂+30% CO₂, 80% O₂+0% CO₂의 CA 조건 중 고이산화탄소(4% O₂+30% CO₂) 처리구에서 ethanol 함량이 가장 높았고 알코올취 또한 가장 강하게 느껴졌다고 보고하였다. 반대로 고산소 조건에서는 혐기적 호흡이 일어나기 어렵기 때문에 이취 생성이 제한된다. Kader 등(9)의 연구에서도 포도를 80 kPa O₂ 조건에 노출시켰을 때 15 kPa CO₂의 유무와 상관없이 저장 2주가 지난 후 ethyl acetate의 농도가 더 낮은 것이 확인되었다. 한편 본 연구에서는 이취가 현저하게 발생하였던 고이산화탄소(20% O₂/10% CO₂/70% N₂) 조건에서 부패 평가점수가 낮게 나온 것을 알 수 있었는데, 이는 혐기호흡 대사산물인 휘발성 화합물이 이취를 유발하지만 동시에 고농도 이산화탄소와 함께 미생물에 의한 부패를 감소시키기 때문이다. 이취의 주성분인 acetaldehyde는 곰팡이 균사체의 세포막을 파괴하여 세포내 물질을 유실시킴으로서 결국 미생물 사멸을 유도하는 것으로 알려져 있다(25,26). Deng 등(11)의 연구에서도 4% O₂+30% CO₂ 조건에서 포도를 저장하였을 때 부패는 가장 적었으나 줄기의 갈변과 이취가 가장 심하였다고 보고되었다.

요 약

신선편이 포도 상품의 유통, 판매 중 부패억제 및 품질유지를 위한 환경기체조절포장기법의 활용 가능성을 확인하고자 살균소독, 세척, 절단 과정을 거친 캠벨 포도 시료에 대해 다양한 기체충진 조건을 적용하여 플라스틱 포장용기에 밀봉한 후 5°C에 저장하면서 품질변화를 살펴보았다. 고이산화탄소 조건에서 포도의 호흡률은 일반 대기조성에서의 호흡률과 크게 다르지 않았으나, 고산소 조건에서는 산소 소모율이 2배 정도 증가하는 비정상적인 호기호흡이 일어났다. 저온저장 중 포장 내부의 기체조성은 초기 기체충진 조건에 관계없이 O₂가 모두 소비되고 고농도의 CO₂가 축적되었으나, PE 포장구에서는 약 13% 이상의 O₂가 유지되었다. 포도의 품질인자 가운데 생체중량은 대조구인 통기 포장구에서만 1.0% 이상 감소하였고 고산소 처리구에서 가장 낮은 중량감소를 나타내었으며, 과육의 pH, 산도, 가용성 고형분 함량 및 경도, 파괴 표면색, 폴리페놀 함량, PPO 활성에서는 기체충진 조건에 의한 유의적 차이를 구분할 수 없었다. 한편 고이산화탄소 처리구에서는 약 10¹-10² CFU/g 수준의 가장 낮은 미생물 균수를 나타내었으나 저장말기에 이취가 강하게 발생하였고, 고산소 처리구에서는 상대적으로 이취가 적고, 고유의 포도향이 유지되면서 관능검사 평가점수가 다소 높게 나타났다. 결론적으로 적정 농도의 고이산화탄소와 고산소를 병용한 환경기체조절포장은 신선편이 포도의 저장유통 중 품질유지에 효과적임을 확인할 수 있었지만, 최적의 포장조건을 찾기 위해서는 향후 추가적인 연구

Table 1. Changes in sensory characteristics¹⁾ of 'Campbell' table grapes packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 28 days

Storage time (day)	Treatment	Discoloration	Wilting	Decay	Grape flavor	Off-flavor	Overall quality
7	Control	1.3 ^a	2.6 ^a	1.0 ^b	6.4 ^a	1.9 ^b	6.7 ^a
	PE+air	2.1 ^a	2.3 ^a	1.3 ^a	5.3 ^b	3.9 ^a	6.9 ^a
	20% O ₂ /80% N ₂	1.9 ^a	2.0 ^a	1.0 ^b	6.6 ^a	3.4 ^{ab}	7.0 ^a
	20% O ₂ /10% CO ₂ /70% N ₂	1.3 ^a	1.7 ^a	1.0 ^b	6.1 ^{ab}	3.4 ^{ab}	7.0 ^a
	40% O ₂ /60% N ₂	1.1 ^a	1.7 ^a	1.0 ^b	6.5 ^a	2.4 ^{ab}	8.0 ^a
14	Control	3.1 ^a	4.3 ^a	4.3 ^a	4.8 ^a	3.0 ^a	3.4 ^b
	PE+air	2.3 ^a	2.6 ^{ab}	3.0 ^{ab}	5.9 ^a	3.5 ^a	4.3 ^{ab}
	20% O ₂ /80% N ₂	2.0 ^a	2.3 ^b	2.7 ^{ab}	5.3 ^a	3.8 ^a	4.7 ^{ab}
	20% O ₂ /10% CO ₂ /70% N ₂	3.4 ^a	2.4 ^b	1.7 ^b	5.1 ^a	4.0 ^a	5.1 ^a
	40% O ₂ /60% N ₂	3.3 ^a	2.1 ^b	2.3 ^b	5.6 ^a	3.0 ^a	5.3 ^a
21	Control	4.2 ^a	3.7 ^a	6.2 ^a	4.5 ^a	3.5 ^a	3.5 ^a
	PE+air	4.0 ^a	3.7 ^a	5.7 ^{ab}	4.5 ^a	3.8 ^a	4.2 ^a
	20% O ₂ /80% N ₂	3.8 ^a	3.3 ^a	3.8 ^{bc}	3.8 ^a	4.5 ^a	4.2 ^a
	20% O ₂ /10% CO ₂ /70% N ₂	3.2 ^a	3.7 ^a	2.5 ^c	3.7 ^a	4.8 ^a	4.8 ^a
	40% O ₂ /60% N ₂	4.3 ^a	4.0 ^a	4.0 ^{bc}	4.7 ^a	4.2 ^a	4.7 ^a
28	Control	4.8 ^a	4.0 ^a	6.7 ^a	3.9 ^a	3.9 ^b	2.3 ^b
	PE+air	4.3 ^a	4.2 ^a	5.8 ^a	4.0 ^a	4.1 ^b	3.5 ^a
	20% O ₂ /80% N ₂	4.2 ^a	4.2 ^a	3.8 ^b	3.3 ^a	5.0 ^{ab}	3.7 ^a
	20% O ₂ /10% CO ₂ /70% N ₂	4.6 ^a	4.9 ^a	3.3 ^b	3.0 ^a	5.8 ^a	4.0 ^a
	40% O ₂ /60% N ₂	4.5 ^a	4.7 ^a	4.6 ^b	4.0 ^a	4.2 ^b	4.2 ^a

¹⁾The values are means of eight replicates at least. Means followed by the same letter within cells are not significantly different ($p < 0.05$, Duncan's multiple range test). As the value increases from 1 to 9, the intensity of sensory characteristics increases.

가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국식품연구원의 주요연구사업 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

문헌

1. Statistics Korea. Statistics Related to Agricultural Industry/Crop Production, Available from: <http://kostat.go.kr>. Accessed on May 26, 2012.
2. Carvajal-Millán E, Cavallo T, Orozco JA, Martínez MA, Tapia I, Guerrero VM, Rascón-Chu A, Llamas J, Gardea AA. Polyphenol oxidase activity, color changes, and dehydration in table grape rachis during development and storage as affected by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea. *J. Agr. Food Chem.* 49: 946-951 (2001)
3. Crisosto CH, Garner D, Crisosto G. Carbon dioxide-enriched atmospheres during cold storage limit losses from *Botrytis* but accelerate rachis browning of 'Red globe' table grapes. *Postharvest Biol. Tec.* 26: 181-189 (2002)
4. Costa C, Lucera A, Conte A, Mastromatteo M, Speranza B, Antonacci A, Del Nobile MA. Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape. *J. Food Eng.* 102: 115-121 (2011)
5. Artés-Hernández F, Aguayo E, Artés F. Alternative atmosphere treatments for keeping quality of 'Autumn seedless' table grape during long-term cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 31: 59-67 (2004)
6. Deng Y, Wu Y, Li Y. Effect of high CO₂ and low O₂ atmospheres on the berry drop of 'Kyoho' grapes. *Food Control* 100: 768-773 (2007)
7. Del Nobile MA, Conte A, Scrocco C, Brescia L, Speranza B, Sinigaglia M, Perriola R, Antonacci D. A study on quality loss of minimally processed grapes as affected by film packaging. *Postharvest Biol. Tec.* 51: 21-26 (2009)
8. Beaudry RM. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Biol. Tec.* 15: 293-303 (1999)
9. Kader AA, Ben-Yehoshua S. Effect of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Tec.* 20: 1-13 (2000)
10. Wszelaki AL, Mitcham EJ. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. *Postharvest Biol. Tec.* 20: 125-133 (2000)
11. Deng Y, Wu Y, Li Y. Physiological responses and quality attributes of 'Kyoho' grapes to controlled atmosphere storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 39: 584-590 (2006)
12. Wu Y, Deng Y, Li Y. Changes in enzyme activities in abscission zone and berry drop of 'Kyoho' grapes under high O₂ or CO₂ atmospheric storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 41: 175-179 (2008)
13. KFRI. Technology development for maintaining quality and safety of fresh agricultural produce. pp. 130-136. In: Development of Quality Assessment and Postharvest Technology on Agricultural Produce (E080200-08074). Korea Food Research Institute, Seongnam, Korea (2008)
14. Hong SI, Kim DM. Influence of oxygen concentration and temperature on respiratory characteristics of fresh-cut green onion. *Int. J. Food Sci. Tech.* 36: 283-290 (2001)
15. Poudel PR, Tamura H, Kataoka I, Mochioka R. Phenolic compounds and antioxidant activities of skins and seeds of five wild grape and two hybrids natives to Japan. *J. Food Com. Anal.* 21: 622-625 (2008)
16. Orak HH. Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenol oxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *Sci. Hortic.-Amsterdam* 111: 235-241 (2007)
17. Lowry OH, Rosenbrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275 (1951)
18. Mitcham EJ, Crisosto CH, Kader AA. Grape: recommendations for maintaining postharvest quality. Available from: <http://postharvest.ucdavis.edu/PFFruits/Grape>. Accessed on May 10, 2012.
19. Martínez-Romero D, Guillén F, Castillo S, Valero D, Serrano M. Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. *J. Food Sci.* 68: 1838-1843 (2003)

20. Valverde JM, Guillén F, Martínez-Romero D, Castillo S, Serrano M, Valero D. Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol, or thymol. *J. Agr. Food Chem.* 53: 7458-7464 (2005)
21. Siriphanich JT, Kader AA. Effects of CO₂ on total phenolics, phenylalanine ammonia lyase, and polyphenol oxidase in lettuce tissue. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110: 249-253 (1985)
22. Del Nobile MA, Sinigaglia M, Conte A, Speranza B, Scrocco C, Brescia L, Bevilacqua A, Laverse J, La Notte E, Antonacci D. Influence of postharvest treatments and film permeability on quality decay kinetics of minimally processed grapes. *Postharvest Biol. Tec.* 47: 389-396 (2008)
23. Retamales J, Defilippi BG, Arias M, Castillo P, Manríquez D. High-CO₂ controlled atmospheres reduce decay incidence in Thompson Seedless and Red Globe table grape. *Postharvest Biol. Tec.* 29: 177-182 (2003)
24. Valero A, Begum M, Hocking AD, Marín S, Ramos AJ, Sanchis V. Mycelial growth and ochratoxin A production by *Aspergillus* section *Nigri* on simulated grape medium in modified atmospheres. *J. Appl. Microbiol.* 105: 372-379 (2008)
25. Avissar I, Drobey S, Pesis E. Characterization of acetaldehyde effects on *Rhizopus stolonifer* and *Botrytis cinerea*. *Ann. Appl. Biol.* 116: 213-220 (1990)
26. Pesis E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biol. Tec.* 37: 1-19 (2005)
27. Amanatidou A, Smid EJ, Gorris LGM. Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated micro organisms. *J. Appl. Microbiol.* 86: 429-438 (1999)
28. Hoogerwerf SW, Kets EPW, Dijksterhuis J. High-oxygen and high-carbon dioxide containing atmospheres inhibit growth of food associated moulds. *Lett. Appl. Microbiol.* 35: 419-422 (2002)
29. Mathooko FM. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. *Postharvest Biol. Tec.* 9: 247-264 (1996)