

고산소 환경기체조절 포장조건에 따른 설향 딸기의 저장 중 품질변화

이현희 · 홍석인* · 김동만
한국식품연구원

Storage Quality of *Sulhyang* Strawberries as Affected by High O₂ Atmosphere Packaging

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

Abstract The storage quality of fresh *Sulhyang* strawberries packaged under modified atmospheres was investigated to examine the effect of high O₂ on the fruit. Fresh strawberries were packed into PP trays and top-sealed with PET/PP film. Initial gas compositions inside the packages were varied with air, 40% O₂/60% N₂, 60% O₂/40% N₂, and 80% O₂/20% N₂. Sealed packages in PE film bags with air and perforated PP trays were also used as another treatment and control, respectively. Quality attributes and viable cell counts of pathogenic bacteria were assessed during storage at 5°C for 12 days. High O₂ concentration showed no significant effects on the physicochemical and microbial qualities of strawberries. Fruit packaged in PE film bags with 6-15% O₂ and 7-9% CO₂ during storage had the lowest viable cell counts of inherent microorganisms among the treatment samples. Growth of pathogenic bacteria was suppressed in perforated packages where molds occurred frequently. In an overall sensory aspect, the PE film packages exhibited higher scores than the others at the end of storage period. The experimental results suggested that gas-permeable film packaging with an appropriate combination of O₂ and CO₂ rather than gas-barrier tray packaging with an initially high O₂ concentration would be suitable for improving the storability of strawberries.

Keywords: modified atmosphere packaging, high O₂, PE film, strawberry, pathogenic bacteria

서 론

딸기는 과육이 연약하고 호흡률이 비교적 높은 과일로 수확후 품질연화와 미생물에 의한 부패가 빠르게 진행되고 수확, 선별 및 유통과정에서는 물리적인 손상이 빈번히 발생하여 유통기간이 짧은 편이다. 실제 관행적인 유통기간도 상온에서 1-2일에 불과하여, 수확후 소비자의 구매가 이루어지기 전까지 딸기의 초기 품질을 유지시키기 위한 다양한 전처리 방법이나 포장방법이 요구되고 있다(1). 이 중 환경기체조절 포장방법은 딸기류와 같이 호흡속도가 빠른 농산물의 생체호흡을 조절하는데 적합한 기술로 여겨져 10여년 전부터 꾸준히 연구되고 있다(2,3). 신선 과일류에 주로 적용되는 환경기체조절 조건은 낮은 O₂ 농도(1-5 kPa)와 높은 CO₂(5-10 kPa)로 혼합된 기체조성으로 농산물의 호흡속도를 조절하여 연화를 지연하고 부패를 억제하여 유통기한을 연장할 수 있는 효과를 나타낸다(4,5). 그러나 소포장 형태의 저산소/고이산화탄소 환경기체 조절방법은 농산물의 호흡작용과 필름의 기체투과성으로 인해 O₂가 쉽게 고갈되고 혐기적인 기체조성을 형성하게 되어 이취의 원인물질인 acetaldehyde가 생성되거나

외관품질이 저하되는 문제점이 발생할 수 있다(3). 근래 들어 저장 중 산소 고갈에 의한 부정적인 영향을 억제하기 위해 일반대기 중 산소농도(약 20%) 이상으로 주입하는 고산소 포장을 시도하기 시작하였다. 고산소 환경기체조절방법은 간접적으로 호흡률을 조절하여 다양한 농산물에서 과일의 숙성을 지연시키고 혐기적 발효대사를 방지하거나, 직접적으로 활성기 산소(ROS, O₂⁻, H₂O₂, OH⁻)에 의한 효소적 변색을 억제하고 미생물 증식과 부패율을 감소시키는 등 긍정적인 효과를 줄 수 있다(6). 딸기 또한 주로 저산소/고이산화탄소 조건의 환경기체조절(controlled atmosphere, CA) 저장방법으로 경도가 높아지거나 곱팡이 부패가 억제되는 효과를 얻을 수 있었으나, 소포장의 환경기체조절(modified atmosphere packaging, MAP) 처리에서는 혐기적인 조건에서 나타나는 폐해 즉, 이취, 흑변과 같은 현상을 피할 수 없기 때문에 이를 개선하기 위한 고산소 처리방법이 시도되고 있다(7-10). 예를 들어, 중국산 월계수 열매, 딸기, 블루베리를 각각 40% O₂, 60% O₂, 80% O₂, 100% O₂의 고산소 조건으로 CA 저장하거나, 80% 이상 O₂와 10% 이상 CO₂ 기체조건에서 CA 저장하였을 때, *Botrytis cinerea* 감염에 의한 딸기 부패가 효과적으로 억제되었고 딸기의 경도가 높아지는 것이 확인되었다(11,12). 그러나 소포장 형태의 고산소 MAP 효과에 대한 연구는 아직까지 부족하고 나라마다 품종 차이로 적절한 조건을 찾기가 어렵다(13,14).

국내산 딸기는 주로 소포장 플라스틱(polystyrene (PS), polyvinyl chloride (PVC)) 상자에 담겨져서 500 g, 800 g, 1 kg 단위로 유통, 판매되고 있으나 통기 상태이기 때문에 품질연화와 부패가 쉽게 일어나 유통기한이 매우 짧다(1). 국내산 딸기에 적용된 환경기

*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, hskifri@chollian.net
Received November 20, 2012; revised February 5, 2013;
accepted February 5, 2013

체조절방법도 저농도 O₂(3, 8%)와 고농도 CO₂(10, 15, 20%)를 혼합하여 CA 저장하거나, polyethylene (PE) 필름 두께를 달리한 소포장 형태의 MAP를 시도하는 등 주로 저산소/고이산화탄소 효과를 살펴보았을 뿐 고산소 처리효과에 대한 연구는 아직까지 미미하다(15,16).

이에 본 연구에서는 딸기의 고산소 기체충전 포장처리 관련 기초자료를 확보하여 상품 유통기간 연장에 효과적인 소비자용 포장방법을 모색하고자, 설향 품종의 딸기에 고산소 농도조건을 달리 적용하여 밀봉 포장한 후 저온저장하면서 품질변화를 살펴보았다.

재료 및 방법

딸기 시료

본 실험에 사용된 설향 품종의 딸기(*Fragaria ananassa* Duchesne cv. *Sulhyang*)는 3월 초에 충남 논산지역에서 수확된 것으로 가락동 농수산물 도매시장에서 실험 당일 구입하여 사용하였고 시료는 수확이나 운송 중 발생한 기계적 손상과 및 병해 증상을 제외하고 건전한 과실만을 선별하여 사용하였다.

포장 및 저장

딸기에 대한 고산소 포장처리효과를 살펴보기 위하여 polypropylene (PP) 트레이 용기(21.5×14.5×5 cm)에 약 380-400 g의 딸기 시료를 담은 후 O₂, CO₂, N₂의 조성 비율을 임의로 조절할 수 있는 기체혼합기(KM 100-3M, WITT Gasetechnik GmbH, Witten, Germany)와 자동기체충전포장기(Olympia Auto., Tecnovac S.R.L., Grassobbio, Italy)를 사용하여 40% O₂/60% N₂, 60% O₂/40% N₂, 80% O₂/20% N₂의 조건으로 혼합기체를 충전한 다음, 용기의 상부를 30 μm 두께의 polyethylene terephthalate (PET)/PP 적층필름으로 열접착하여 밀봉 포장하였다. 또한 기체투과성 필름 포장에 따른 품질차이를 평가하기 위하여 동일한 PP 트레이 용기에 담은 딸기 시료를 21% O₂/79% N₂의 일반 대기조건에서 약 50 μm 두께의 PE 필름(Ihshin Chem. Co., Ansan, Korea) (O₂ transfer rate=1277±159 mL/m²·day·atm @10°C) 봉투(27×21 cm)에 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 12일간 보관하면서 딸기의 다양한 품질특성을 3일 간격으로 측정하였다. 딸기의 품질분석에는 저장 중 각 처리구별로 2개의 포장구를 임의로 선정하여 총 800 g의 시료를 사용하였다.

호흡률 및 용기 내부 기체조성

딸기의 호흡률은 밀폐시스템 방법(17)에 따라, 격막이 장착된 1.9L 유리용기 내에 전체 체적의 1/3 정도 분량인 약 300 g의 시료를 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 덮개 필름을 통해 내부기체를 천천히 200 μL씩 채취한 다음 호흡률 측정과 동일한 조건에서 기체조성을 분석하였다.

pH, 산도, 기용성 고형분 함량, 생체중량, 경도, 표면색, 부패율 처리구당 2개의 포장구에서 각각 3-4알의 딸기를 무작위로 선택하여 꼭지를 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 증류수 10 mL과 혼합한 후 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.2까지 적정하여 소비된 용액 양을 citric acid %로 환산하여 표시하였다. 기용성 고형분 함량은 딸기 3알을 가압 착즙하여 6 겹의 거즈로 여과한 후 착즙액의 굴절률을 refractometer (N-1E, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하였고 3회 측정의 평균값과 표준편차를 °Bx 단위로 표시하였다.

생체중량 변화는 포장용기에서 꺼낸 시료의 중량만을 측정하여 그 감소량을 저장 전 초기 값에 대한 백분율(%)로 표시하였다. 과실 경도는 딸기 시료를 측정신반 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 나타내었으며, 처리구별로 2개의 포장구에서 8개 시료에 대해 반복 측정하여 평균값과 표준편차로 표시하였다. 과실 표면색은 딸기의 중심 부위를 색차계(CR-400, Konica Minolta Holdings, Inc., Tokyo, Japan)의 광조사 부분에 밀착시켜 측정 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 사용하였으며, 처리구별로 2개의 포장구에서 5개 시료를 반복 측정하여 평균값과 표준편차로 표시하였다.

부패율은 시험구별로 임의로 선정한 2개의 포장구에 대해 깃무름(soft rot) 현상과 곰팡이(mold) 발생 등으로 부패 과실을 구분하고 전체 딸기 시료 개체수에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

미생물 생균수

딸기에 존재하는 중온성 호기세균과 효모, 곰팡이의 생균수를 측정하기 위하여 각 포장처리구의 시료 약 130-140 g씩을 멸균봉투(Whirl Pak® B01195, Nasco Co., Fort Atkinson, WI, USA)에 무균적으로 채취한 후 0.85% 멸균 식염수 300 mL을 넣고 균질기(BagMixer® 400, Interscience, Bretteche, France)로 1분간 분쇄하였다. 이 후 희석 단계별로 균액을 1 mL씩 분주한 후 중온성 호기세균은 plate count agar (Merck, Darmstadt, Germany) 배지에, 효모 및 곰팡이는 10% tartaric acid를 사용하여 pH를 3.5로 조절된 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 임의 선정한 2개의 포장구에 대해 측정하여 얻은 값을 평균값과 표준편차로 나타내었다.

병원성 미생물 및 배지

시료에 접종할 표준 병원성 미생물 균주는 한국식품연구원 미생물 균주은행에서 분양받은 *Escherichia coli* O157:H7 (ATCC-43895), *Salmonella* Typhimurium (ATCC-14028), *Listeria monocytogenes* (ATCC-19111)를 사용하였으며, 개별 균주의 분리 및 배양을 위해 *E. coli* O157:H7는 sorbitol Macconkey agar (Difco Lab.), *S. Typhimurium*은 보조제가 0.46% 첨가된 XLT4 agar (Merck), *L. monocytogenes*는 보조제가 1% 첨가된 Oxford Listeria selective agar (Merck)를 사용하였다.

병원성 미생물 배양 및 접종

표준 미생물 균주는 tryptic soy broth (Difco Lab.) 배지 30 mL 에 slant 상태의 보관균주를 백금으로 1-2회 채취하여 접종하고, 24시간 간격으로 37°C에서 2회 연속 배양한 다음 이를 접종 모액으로 사용하였다. 개별 균주의 모액을 액상 영양배지에 일정량씩 접종한 후 30°C에서 16시간씩 배양하여 대수 증식기에 도달하도록 조절하였다. 접종 미생물 혼합액은 Lee 등(18)의 방법에 따라 위의 순수 배양시킨 표준 미생물 균주를 별도의 세척과정을 거치지 않고 10⁵-10⁶ CFU/mL 수준으로 서로 혼합한 후 딸기 시료의 접종 용액으로 사용하였다.

플라스틱 용기에 담은 약 380-400 g의 딸기 표면에 미리 준비한 균주 혼합액 1 mL을 10³-10⁴ CFU/mL 수준이 되도록 spotting 방법으로 접종한 후 상온에서 2시간 방치하였다. 이후 상기 포장처리조건과 동일한 방법으로 포장한 다음 5±2°C, 85-90% RH로 유지되는 저장고에 12일간 저장하면서 3일 간격으로 병원성 미생물의 생균수를 측정하였다.

관능평가

각 처리구의 딸기 시료에 대한 관능검사는 신선 과실류의 품질평가에 경험이 많고 잘 훈련된 8-10명의 평가요원을 대상으로 5°C에서 12일간 저장한 딸기의 변색(discoloration), 시듦(wilting), 곰팡이 발생에 의한 부패(decay), 외관품질(visual quality) 항목에 대해 9점 척도를 사용하여 실시하였다. 이때 변색, 시듦, 부패 등의 항목은 평가점수가 클수록 그 정도가 강한 것을 의미하며, 외관품질 항목은 점수가 낮아질수록 품질이 저하된 것을 의미한다.

통계처리

실험 측정값과 관능평가 결과는 통계 프로그램(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

농도를 달리한 고산소 처리조건에서 딸기의 호흡률을 측정된 결과, O₂ 함량이 높을수록 처리구간에 유의성 있게 O₂ 소비율이 증가하였으나, CO₂ 생성율은 초기 O₂ 함량에 비례하여 증가하지 않았으며 처리구간에 유의적인 차이 또한 볼 수 없었다(Fig. 1). 구체적으로 5°C에서 측정된 O₂ 소비율은 대조구인 20% O₂/80% N₂ 처리구가 8.4±1.3 mL/kg/h였으나, 고산소 조건인 40% O₂/60% N₂, 60% O₂/40% N₂, 80% O₂/20% N₂ 처리구에서는 각각 11.8±0.4, 12.8±2.5, 15.9±3.1 mL/kg/h를 나타내었고, CO₂ 생성율은 각각 9.0±1.5, 9.8±1.8, 9.7±2.1, 11.1±2.0 mL/kg/h이었다. 호흡계수(respiratory quotient, RQ)는 일반 공기조성에서 1.07로 정상적인 호기호흡이 일어났으나, 고산소 조건에서는 0.83, 0.76, 0.70으로 비정상적인 호기호흡이 일어나는 것을 알 수 있었다. 딸기는 품종마다 현저한 차이가 있으나 일반적으로 0°C에서 6-10, 10°C에서 25-50 mL CO₂/kg/h의 다소 높은 호흡률을 가진 작물로 본 연구의 딸기 호흡률도 일반 공기상태에서는 유사한 결과를 얻을 수 있었지만 산소농도가 높아질수록 호흡속도에 변화가 일어나는 것을 알 수 있었다(19).

저온저장 중 포장용기 내부의 기체조성 변화는 고산소 밀폐포장구 중 40%와 60% O₂ 농도에서 저장 6일과 9일 무렵부터 모 든 O₂가 소비되었으나 80% O₂ 농도에서는 저장 9일까지 20% 이상의 O₂가 유지되었다(Fig. 2). 반면 기체투과성이 있는 PE 포장

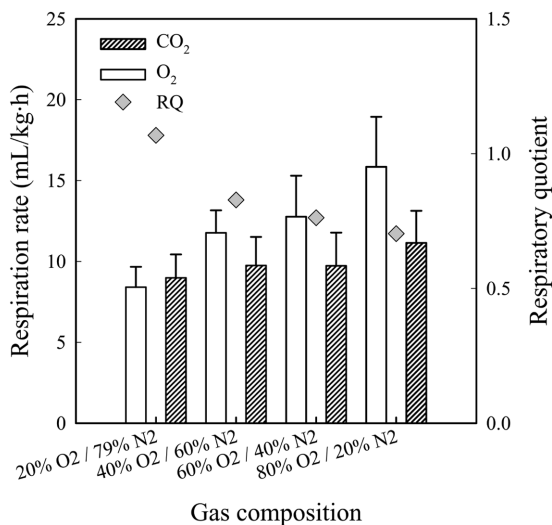


Fig. 1. Respiration rates and respiratory quotients of ‘Sulhyang’ strawberry measured under different initial gas compositions at 5°C before storage.

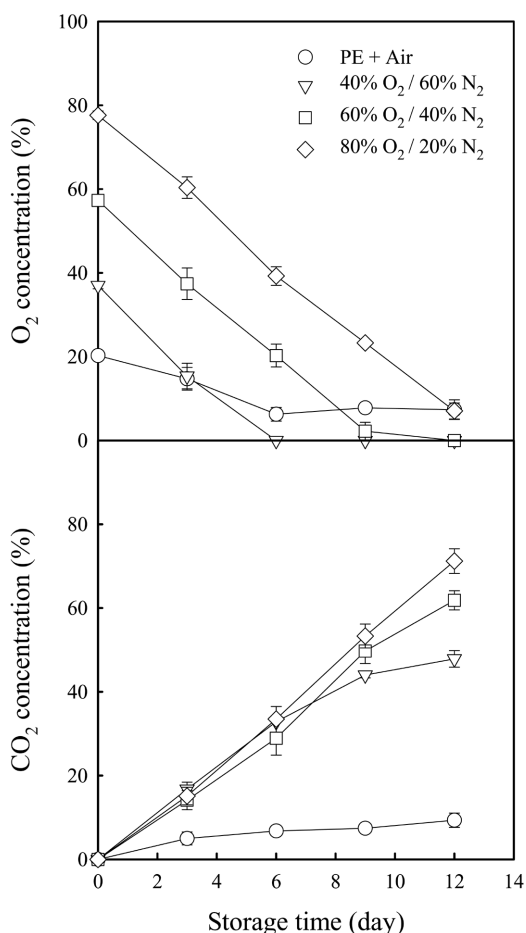


Fig. 2. Changes in O₂ and CO₂ concentrations inside the packages of ‘Sulhyang’ strawberry with different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

구에서는 저장 12일간 약 6-15%의 O₂ 농도를 유지하였다. 포장용기 내부의 CO₂ 농도는 PE 포장구에서 저장 12일 동안 약 7-

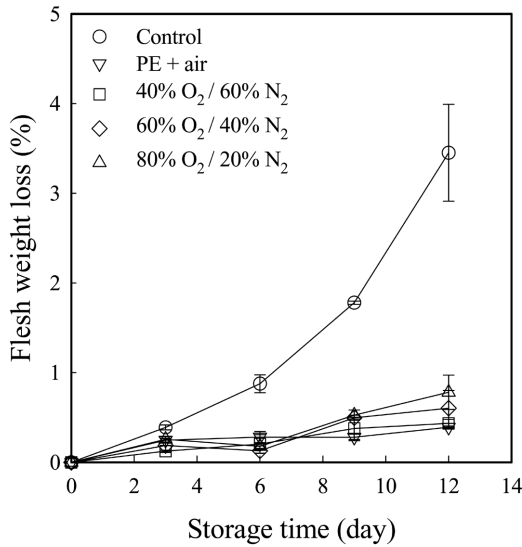


Fig. 3. Changes in flesh weight loss of ‘Sulhyang’ strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

9% 정도로 유지되었으나 나머지 고산소 밀폐포장구에서는 초기 기체조성에 관계없이 증가하여 저장말기에 50% 이상의 CO₂가 축적되었다. 일반적으로 플라스틱 필름 포장재의 기체투과율과 신선 농산물의 호흡작용으로 포장내부 기체조성이 10% 내외의 저산소와 고이산화탄소 상태로 변형되는 수동형 MAP는 농산물의 선도유지 포장방법으로 흔히 사용되고 있다(20). 딸기의 경우에도 기체투과성이 매우 높은 플라스틱 필름을 사용하여 밀봉포장하면 11-14% O₂와 9-12% CO₂의 포장내부 기체조성이 형성되어 저장 중 품질유지에 유리한 것으로 보고된 바 있다(10,21). 한편 밀폐포장구에서 저장 6일 이후 형성된 산소 고갈 및 고 이산화탄소 축적은 통상적으로 신선 농산물의 혐기호흡을 유발하여 일부 외관품질 변화는 물론, 현저한 이취 발생으로 인해 소포장 신선식품의 상품성을 떨어뜨릴 수 있다. Van der Steen 등(8)의 연구에서도 110 μm 두께의 차단성 필름봉투에 딸기를 95 kPa O₂/N₂ balance 조건으로 밀폐 포장하여 7°C에서 10일간 저장하였을 때, 저장 7일 만에 포장내 O₂ 농도는 22 kPa까지 떨어졌고 CO₂ 농도는 75.2 kPa까지 증가하여 고산소 포장시 저장 중 고이산화탄소가 축적되는 것을 보여주었다.

이화학적 품질변화

딸기의 이화학적인 품질특성을 측정한 결과(Fig. 3, 4, Table 1), 저장기간 중 딸기 시료의 생체중량 변화는 대조구인 통기 포장구에서 3.5%까지 증가하였으나 밀폐 포장구에서는 전체적으로 1.0% 이하를 나타내었다. 밀폐 포장구 중에서는 고산소 농도가 높을수록 중량 감소율이 높게 나타났는데 40% O₂/60% N₂ 처리구가 약 0.4%로 가장 낮았고, 80% O₂/20% N₂ 처리구가 약 0.8%로 가장 변화가 컸으나 유의적인 차이는 구분할 수 없었다. 기체투과성이 높은 PE 포장구의 중량 감소도 기체충전 밀폐 포장구와 유의적인 차이가 없었다. 이전의 다양한 딸기 포장실험에서도 통기포장구의 경우 약 5% 정도의 중량 감소율을 나타내었으며 기체투과율이 낮은 필름으로 포장한 경우 수분증발이나 호흡에 의한 중량 감소율이 현저히 낮아졌다(8,10). 그러나 중량감소와는 달리 딸기의 경도는 통기포장구와 밀폐포장구 또는 고산소 조건

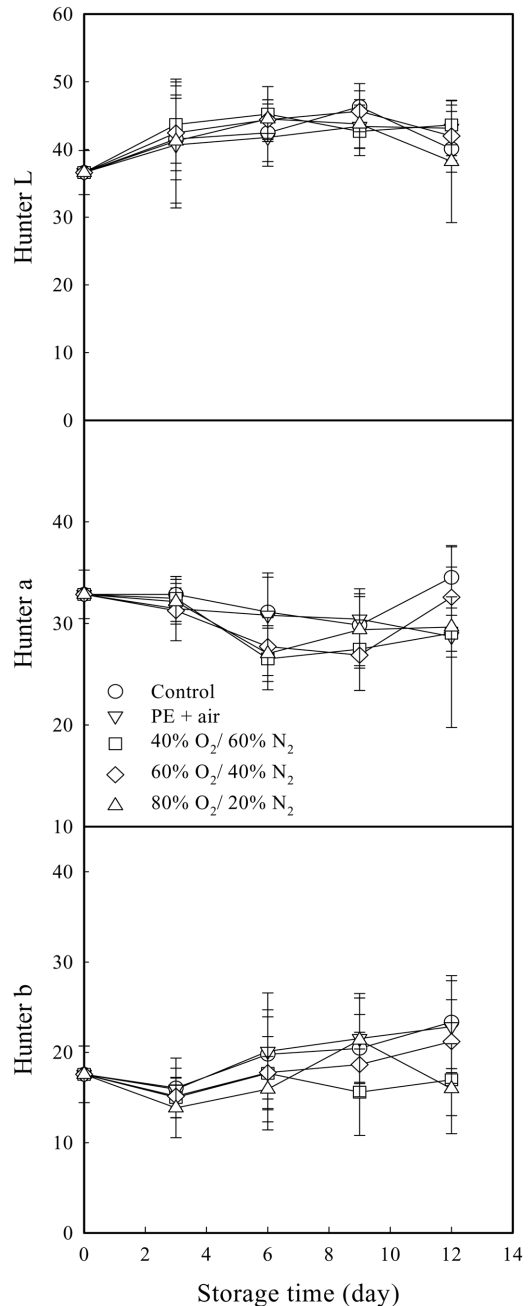


Fig. 4. Changes in surface color of ‘Sulhyang’ strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

별로 유의적인 차이 없이 저장 중 295.4-398.8 kg_r 수준을 유지하였다.

한편 딸기 시료의 pH는 처리구간의 유의적인 차이 없이 저장 중 pH 3.6에서 4.0으로 약간 증가하는 경향이였으며, 적정 산도의 경우에도 초기 0.82%에서 저장 중 0.42-0.52%까지 감소하였다. 가용성 고형분 함량도 저장기간 동안 포장처리구별로 유의적인 차이 없이 8.9-11.3°Bx 수준을 유지하였다.

딸기 시료의 표면색은 초기 기체조성과 관계없이 저장 중 거의 일정하게 유지되었는데, 전체 저장기간 동안 Hunter L, a, b 값은 각각 36.5-46.3, 32.9-34.5, 17.6-23.4 범위 내에서 유지되었고

Table 1. Changes¹⁾ in pH, titratable acidity, soluble solids content, and hardness of ‘Sulhyang’ strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days

Storage time (day)	Treatment	pH	Titratable acidity (%)	Soluble solids content (°Bx)	Hardness (kg _f)
0	Control	3.80±0.2	0.82±0.03	8.9±0.2	348.6±58.5
3	Control	3.7±0.0a	0.70±0.00a	10.1±0.7a	299.3±50.3b
	PE+air	3.6±0.1b	0.71±0.03a	9.8±0.8ab	370.6±52.8a
	40% O ₂ /60% N ₂	3.7±0.0a	0.63±0.00c	9.9±1.3a	365.1±61.0a
	60% O ₂ /40% N ₂	3.6±0.0ab	0.69±0.01ab	8.6±0.6c	337.7±93.2ab
	80% O ₂ /20% N ₂	3.6±0.1ab	0.67±0.02b	9.0±1.4bc	388.6±87.9a
	LSD	0.0967	0.0264	0.8417	50.266
6	Control	3.7±0.1b	0.69±0.00a	9.0±0.3bc	336.1±39.7bc
	PE+air	3.7±0.0ab	0.70±0.08a	8.8±0.2c	296.9±56.4c
	40% O ₂ /60% N ₂	3.9±0.1a	0.70±0.02a	10.2±0.5ab	349.4±70.6b
	60% O ₂ /40% N ₂	3.7±0.0b	0.72±0.01a	9.0±1.8bc	398.8±83.4a
	80% O ₂ /20% N ₂	3.8±0.1a	0.66±0.05a	10.7±1.0a	365.1±73.2ab
	LSD	0.1369	0.0608	1.1529	46.772
9	Control	3.7±0.2a	0.62±0.02abc	11.3±1.4a	356.5±68.8a
	PE+air	3.5±0.1b	0.64±0.01ab	9.1±0.6bc	329.1±64.5a
	40% O ₂ /60% N ₂	3.7±0.1a	0.58±0.04c	9.0±2.7bc	362.0±59.5a
	60% O ₂ /40% N ₂	3.6±0.1ab	0.64±0.02a	7.5±0.4c	333.8±128.6a
	80% O ₂ /20% N ₂	3.7±0.0a	0.60±0.01bc	10.0±0.4ab	308.7±73.5a
	LSD	0.149	0.0339	1.6698	58.383
12	Control	3.7±0.1b	0.62±0.04a	7.6±0.4c	302.4±70.7bc
	PE+air	3.9±0.2ab	0.50±0.09b	8.6±0.3b	393.3±67.7a
	40% O ₂ /60% N ₂	3.9±0.0ab	0.42±0.02b	9.6±0.7a	358.8±54.9ab
	60% O ₂ /40% N ₂	3.9±0.0ab	0.50±0.00b	8.8±0.2b	301.6±81.6bc
	80% O ₂ /20% N ₂	4.0±0.1a	0.49±0.02b	9.7±0.5a	295.4±90.5c
	LSD	0.1672	0.0699	0.5485	57.56

¹⁾Each value is the mean of at least three replicates with the standard deviation in two independent experiments. Means followed by the same letter within cells are not significantly different ($p < 0.05$, LSD and Duncan's multiple range tests).

고산소 밀폐포장구에 비해 통기 포장구와 PE 포장구의 변화가 비교적 크게 나타났다. 한편 저장 중 형성된 고이산화탄소로 인해 딸기에서 흔히 일어나는 흑변(tanning) 현상은 보이지 않았다. 이와 같이 딸기의 이화학적 품질특성은 다른 연구결과와 유사하게 저장 중 눈에 띄는 큰 변화를 확인할 수 없었다(8,11,12).

미생물 생균수 변화

딸기 시료의 중온성 호기세균은 초기 1.1×10^3 CFU/g에서 저장 기간 중 3.5×10^3 - 3.8×10^5 CFU/g 수준으로 증가하였고, 대조구인 통기 포장구의 생균수가 가장 높게 유지되었으며 PE 필름 포장구의 생균수가 가장 낮게 유지되었다(Fig. 5). 고산소처리구 중 80% O₂/20% N₂ 포장구에서는 저장 초기 1.3×10^2 CFU/g까지 감소한 후 증가하였고, 저장 딸기에는 가장 높은 생균수를 나타내었다. 효모 및 곰팡이 생균수는 초기 1.7×10^2 CFU/g에서 7.9×10^2 - 3.8×10^4 CFU/g 수준으로 증가하였고, 포장처리구별 차이는 중온성 호기세균과 유사하게 나타났다. 결과적으로 딸기의 표면 곰팡이는 호기적인 조건(일반 공기조성)에서 잘 증식하였으나 밀폐포장구내의 초기 고산소 조건과 저장 중 형성된 고산소/고이산화탄소, 또는 고이산화탄소 조건에서는 생육이 억제되는 것을 알 수 있었다. 딸기 시료에 집중된 3종의 병원성 미생물은 모두 저장기간 중 감소하거나 초기 생균수를 유지하였다(Fig. 6). 구체적으로 *E. coli* O157:H7의 경우, 통기 포장구에서 초기 1.6×10^4 CFU/g에서 저장 12일 후 3.7×10^0 CFU/g로 가장 많이 감소하였으며, 다른 포장 처리구에서는 1.9 - 4.4×10^2 CFU/g 수준으로 감소하였다.

고산소 포장구 중에서는 80% O₂/20% N₂ 처리구의 생균수가 저장기간 중 가장 높게 유지되었고, 60% O₂/40% N₂ 처리구가 가장 낮게 유지되었다. *S. Typhimurium*의 경우에도, 통기 포장구의 미생물 생균수가 초기 2.2×10^4 CFU/g에서 4.9×10^1 CFU/g로 가장 많이 감소하였으며, 다른 포장처리구에서는 1.2 - 8.2×10^2 CFU/g 수준으로 감소하였다. 포장처리구별로는 PE 포장처리구의 생균수가 저장기간 중 가장 높게 유지되었고, 80% O₂/20% N₂ 처리구의 생균수가 가장 낮게 유지되었다. 한편 *L. monocytogenes*의 경우 초기 생균수(2.4×10^4 CFU/g)가 저장기간 중에도 유지되었으며, 포장처리구별로는 대조구인 통기 포장구의 생균수가 가장 낮았고 밀폐 포장구간에는 유의적인 차이를 볼 수 없었다. 딸기에 집중된 3종의 병원성균들은 일반적으로 고산소 또는 고산소/고이산화탄소 조건에서 생육이 저하된다(18,22). 그러나 본 연구에서는 초기 고산소나 저장 중 고산소/고이산화탄소 조건에 의한 병원균의 생육억제를 확인할 수 없었고 오히려 통기성 포장구에서 가장 낮은 생균수를 나타내었는데, 이는 통기성 포장구에서 균체량이 가장 높았던 중온성 호기균과 곰팡이에 의해 접종 병원균의 증식이 억제된 것으로 판단된다. 또한 *L. monocytogenes*를 제외한 *E. coli* O157:H7와 *S. Typhimurium*의 생균수가 저장 중 전반적으로 감소하는 것은 딸기 시료의 낮은 pH에 영향을 받은 것으로 판단되었다.

부패율

고산소 농도를 달리하여 포장한 딸기의 부패증상 가운데 짓무

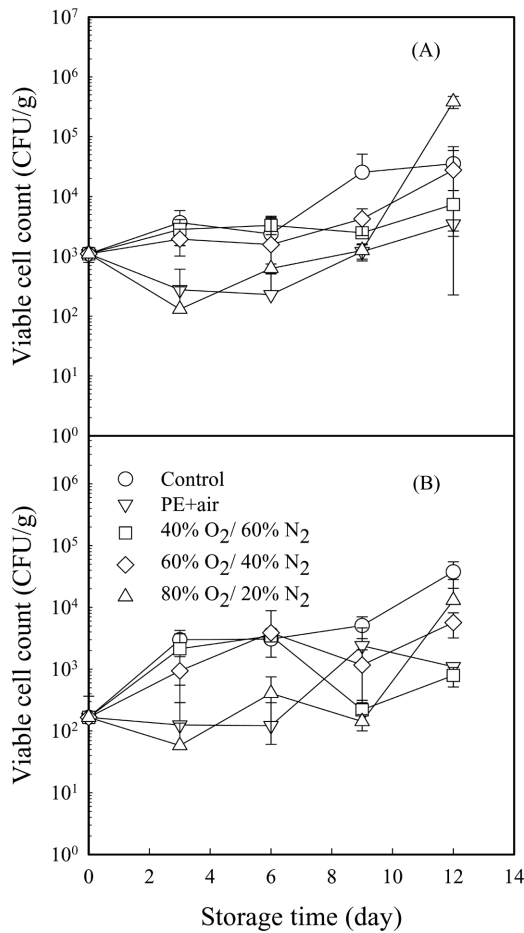


Fig. 5. Changes in viable cell counts of mesophilic aerobes (A) and yeasts and molds (B) of ‘Sulhyang’ strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

름 현상은 저장 3일 만에 전체 시료의 60-80% 수준으로 발생하였으며, 포장처리구별로 유의적인 차이는 없었으나 밀폐 포장구의 짓무름 현상이 통기 포장구에 비해 상대적으로 높았다(Fig. 7). 밀폐 포장구에서 짓무름 현상이 다소 높게 나타나는 것은 호흡과 증산에 의해 밀폐포장구내 수분함량이 증가하여 세균 증식에 유리한 환경이 만들어졌기 때문으로 생각된다. 딸기 표면의 곰팡이는 대조구인 통기 포장구에서 가장 빠르게 발생하여 저장 3일째부터 시료 표면에서 자실체를 확인할 수 있었고 저장 말기에는 곰팡이 발생률이 70%에 이르렀다. 반면에 밀폐 포장구에서는 산소농도에 상관없이 저장 9일 이후부터 갑자기 증식하여 저장 말기 약 40% 정도의 발생률을 나타내었으나 시료 표면에서 자실체의 크기는 현저하게 작았다. 본 연구결과에서는 포장처리구 중 초기 고산소 또는 저장 중 고산소/고이산화탄소 조건에서 곰팡이 증식억제에 따른 부패율 감소를 확인할 수 없었지만, 일반적으로 딸기에 고산소 처리를 적용하였을 때 *Botrytis*나 다른 종류의 곰팡이 증식이 억제되는 것으로 알려져 있다(7,8). 예를 들어 딸기를 40, 60, 80, 100% O₂/N₂ balance 조건으로 CA 저장하였을 때 60% O₂ 이상에서부터 부패율이 대조구에 비해 50% 정도 낮아졌으며 O₂ 농도가 높아질수록 더 많이 감소되는 것으로 보고되었다(11). 또한 고산소(80-90% O₂)/고이산화탄소(10-20%

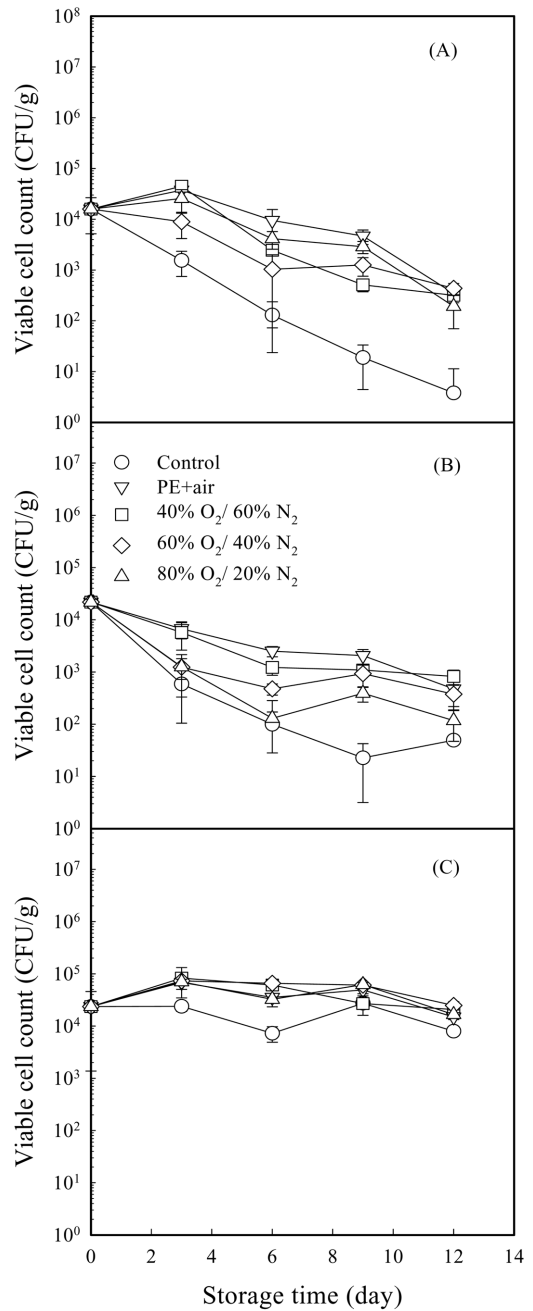


Fig. 6. Changes in viable cell counts of inoculated *E. coli* O157:H7 (A), *S. Typhimurium* (B), and *L. monocytogenes* (C) of ‘Sulhyang’ strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

CO₂) 병용조건에서 CA 저장했을 때에도 대조구보다 7일, 고이산화탄소(5% O₂/20% CO₂) 조건보다 2일 더 지연된 저장 9일 동안 딸기 표면에서 곰팡이가 전혀 증식하지 않는 것이 확인되었다(12). 그러나 초기 기체조성이 지속적으로 유지되는 CA 저장과 달리 소포장 MAP의 경우 작물의 호흡과 포장필름의 기체투과성에 의해 포장내 기체조성은 변화될 수밖에 없기 때문에 CA 효과와 다른 결과가 나올 수 있다. 본 연구결과와 유사하게 Van der Steen 등(8)의 연구에서는 기체투과성이 다른 필름포장에 딸

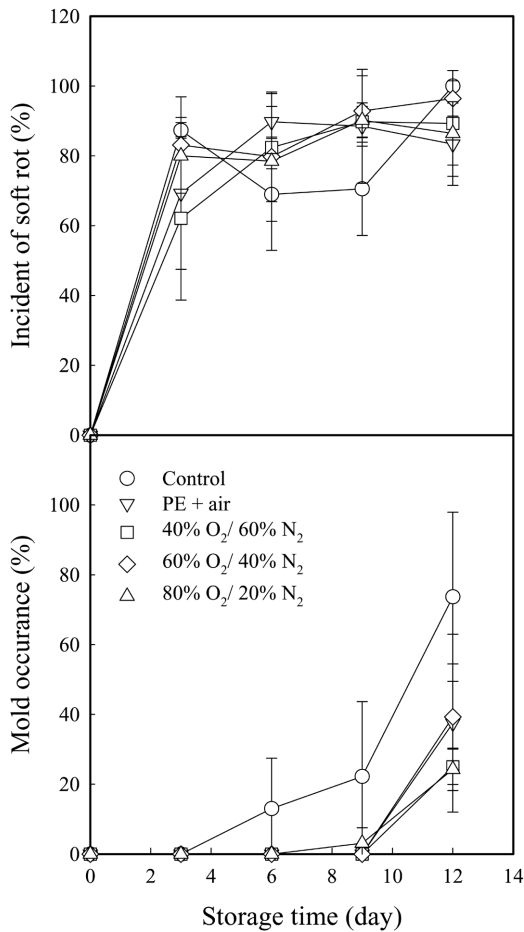


Fig. 7. Incidence of soft rot and mold growth of 'Sulhyang' strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5°C for 12 days. Each data point presents the average and standard deviation values. Error bars show the standard deviations.

기를 담고 70% 이상의 고산소로 포장하였을 때 50% 이상의 고이산화탄소가 축적된 차단성 포장구보다 9-16 kPa O₂와 4-6 kPa CO₂ 조성이 지속적으로 유지된 기체투과성 포장구에서 곰팡이의 증식이 억제되었고 딸기의 품질이 잘 유지되는 것을 보고하였다. 이로부터 소포장 딸기의 상품포장을 위해서는 적정 O₂와 CO₂ 농도가 유지되어야 함을 확인할 수 있었다.

관능특성 변화

다양한 고산소 포장조건을 적용한 딸기의 고유 외관변화를 평가한 결과, 고산소 포장처리구에서는 저장 6일까지 40% O₂/60% N₂, 60% O₂/40% N₂ 포장구가 변색, 시듦, 부패, 종합적 외관 항목에서 비교적 높은 점수를 얻었으나, 이후에는 오히려 PE 밀봉포장구보다 낮은 평가를 받았다. 이는 밀폐상태에서 고산소 포장을 하는 경우 저장 중 형성되는 40% 이상의 고이산화탄소가 딸기 외관품질에 악영향을 주는 것으로 생각된다. 반면에 통상적인 수동형 MAP 효과에 의해 6-15% O₂와 7-9% CO₂가 유지되었던 PE 필름포장구는 저장 중 전반적으로 높은 점수를 얻어 딸기의 품질유지에 유리한 조건임을 확인할 수 있었다(Table 2). Nielsen 등(10)의 연구에서도 투과성이 다른 PP 필름봉투를 사용하여 딸기를 MAP 포장하였을 때, 11-14% O₂와 9-12% CO₂ 상태가 유지되었던 포장조건에서 딸기의 품질이 가장 잘 유지되었음을 보

고하였다. 또한 고차단성 필름을 사용하여 밀폐 포장을 한 경우, 포장구내에 산소가 고갈되고 과도하게 CO₂가 축적되면서 혐기적 발효대사가 진행되어 이취, 이미 발생과 같은 관능적 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다(8).

요 약

신선한 딸기 상품의 유통, 판매 중 부패억제 및 품질유지를 위한 고산소 환경기체조절 포장기법의 활용 가능성을 확인하고자 국내산 설향 품종의 딸기를 대상으로 다양한 산소농도 조건을 적용하여 플라스틱 포장용기에 밀봉한 후 5°C에 저장하면서 품질변화와 미생물 생균수를 살펴보았다. 고산소 조건에서 딸기의 호흡률은 O₂ 함량이 높을수록 O₂ 소비율은 증가하지만 CO₂ 생성율은 크게 다르지 않은 비정상적인 호기호흡이 일어났다. 저온저장 중 포장 내부의 기체조성은 O₂의 경우 초기 O₂ 농도가 높을수록 저장 중 높게 유지되었으나 CO₂는 O₂ 농도에 상관없이 고농도로 축적되었다. 딸기의 품질인자 가운데 생체중량은 대조구인 통기 포장구에서만 3.0% 이상 감소하였고 기체조성에 상관없이 밀폐 포장구에서는 1% 이하로 유지되었다. 과육의 pH, 산도, 가용성 고형분 함량 및 경도, 과피 표면색 변화에서도 산소농도 조건에 따른 유의적 차이를 구분할 수 없었다. 한편, 통기 포장구에서는 곰팡이 발생률이 높았던 반면 병원성 미생물의 생균수가 가장 낮았고, 짓무름 현상이 많았던 밀폐 포장구에서는 통기 포장구와 상반된 미생물 동태 양상을 나타내었다. 딸기의 외관 변화는 저장 6일까지 40%, 60% O₂의 고산소 조건에서 비교적 높은 점수를 얻었으나 이후에는 오히려 PE 밀봉포장구보다 낮은 평가를 받았고, 전반적으로는 저장 중 6-15% 저산소와 7-9% 고이산화탄소의 MA 조건이 형성된 PE 필름포장구가 가장 높은 점수를 얻어 고산소 조건의 차단성포장보다는 딸기의 품질유지에 효과적인 조건임을 확인할 수 있었다.

감사의 글

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

문 헌

1. Shin JW, Whang YS. Study on cultivation and distribution of strawberry. Proceedings of the Agriculture and Life Science, Chungnam University, Deajeon, Korea. pp. 257-262 (2001)
2. Hertog MLATM, Boerrigter HAM, Van den Boogaard GJPM, Tijskens LMM, Van Schaik ACR. Predicting keeping quality of strawberries (cv. 'Elsanta') packed under modified atmospheres: an integrated model approach. Postharvest Biol. Tec. 15: 1-12 (1999)
3. Rico D, Martin-Diana AB, Barat JM, Barry-Ryan C. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. Trends Food Sci. Tech. 18: 373-386 (2007)
4. Harker FR, Elgar HJ, Watkins CB, Jackson PJ, Hallett IC. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. Postharvest Biol. Tec. 19: 139-146 (2000)
5. Saltveit ME. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? Postharvest Biol. Tec. 27: 3-13 (2003)
6. 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)
7. Wszelaki AL, Mitcham EJ. Effect of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. Postharvest Biol. Tec. 20: 125-133 (2000)

Table 2. Changes in sensory characteristics¹⁾ of ‘Sulhyang’ strawberry packaged under different initial gas compositions during storage at 5 for 12 days

Storage time (day)	Treatment	Discoloration	Wilting	Decay	Overall quality
3	Control	2.1c	1.9b	1.8b	8.2a
	PE+air	3.2ab	2.8b	2.8b	6.8b
	40% O ₂ /60% N ₂	2.7bc	2.5b	2.1b	7.1ab
	60% O ₂ /40% N ₂	2.8bc	2.7b	2.4b	6.5b
	80% O ₂ /20% N ₂	3.9a	4.0a	4.0a	5.2c
6	Control	4.3a	3.2b	3.7b	5.9a
	PE+air	4.4a	4.0ab	3.3b	5.7a
	40% O ₂ /60% N ₂	3.6a	4.3ab	3.7b	6.2a
	60% O ₂ /40% N ₂	4.1a	3.8b	3.4b	6.6a
	80% O ₂ /20% N ₂	4.7a	5.2a	5.1a	4.1b
9	Control	4.4a	3.9c	4.3b	4.9b
	PE+air	4.5a	4.2c	3.9b	5.6a
	40% O ₂ /60% N ₂	4.7a	4.8bc	5.2a	4.9b
	60% O ₂ /40% N ₂	5.7a	5.9ab	5.4a	3.9bc
	80% O ₂ /20% N ₂	5.4a	6.8a	6.3a	3.0c
12	Control	6.8a	7.0a	8.3a	1.4d
	PE+air	4.5b	4.4c	3.9d	5.3a
	40% O ₂ /60% N ₂	5.1ab	5.1bc	5.8c	4.9b
	60% O ₂ /40% N ₂	5.7ab	5.7abc	5.6c	3.9bc
	80% O ₂ /20% N ₂	5.9ab	6.9a	6.7b	2.6c

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.

- Van der Steen C, Jacxsens L, Devlieghere F, Debevere J. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries. *Postharvest Biol. Tec.* 26: 49-58 (2002)
- Shin Y, Ryu JA, Liu RH, Nock JF, Polar-Cabrera K, Watkins CB. Fruit quality, antioxidant contents and activity, and antiproliferative activity of strawberry fruit stored in elevated CO₂ atmospheres. *J. Food Sci.* 73: S339-S344 (2008)
- Nielsen T, Leufvén A. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. *Food Chem.* 107: 1053-1063 (2008)
- Zheng Y, Yang Z, Chen X. Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in Chinese bayberries, strawberries and blueberries. *Food Control* 19: 470-474 (2008)
- Pérez A, Sanz C. Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *J. Agr. Food Chem.* 49: 2370-2375 (2001)
- Watkins CB, Manzano-Mendez JE, Nock JF, Zhang JZ, Maloney KE. Cultivar variation in response of strawberry fruit to high carbon dioxide treatments. *J. Sci. Food Agr.* 79: 886-890 (1999)
- Pelayo C, Ebeler SE, Kader AA. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air+20 kPa CO₂. *Postharvest Biol. Tec.* 27: 171-183 (2003)
- Kim JG, Hong SS, Jeong ST, Kim YB, Jang HS. Quality change of “Yeobong” strawberry with CA storage conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 871-876 (1998)
- Kim JK, Moon KD, Sohn TH. Effect of PE film thickness on MA (modified atmosphere) storage of strawberry. *Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 22: 78-84 (1993)
- 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)
- Lee HH, Hong SI, Kim DM. Microbiological and visual quality of fresh-cut cabbage as affected by packaging treatments. *Food Sci. Biotechnol.* 20: 229-235 (2011)
- Mitcham EJ, Crisosto CH, Kader AA. Strawberry: recommendations for maintaining postharvest quality. Available from: <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Strawberry/>. Accessed on Nov. 11, 2012.
- Kader AA, Zagory D, Kerbel EL. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 28: 1-30 (1989)
- Sanz C, Pérez AG, Olias R, Olias JM. Quality of strawberries packed with perforated polypropylene. *J. Food Sci.* 64: 748-752 (1999)
- 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)