

유통과정에서 생표고버섯에 대한 Active 마스터 포장 시스템의 적용 효과

안 덕 순

경남대학교 식품생명학과

Effect of Active Master Packaging System on Preservation of Fresh Shiitake Mushrooms in Supply Chain

Duck Soon An

Department of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University

ABSTRACT Master packaging system consists of an inner individual package and secondary outer package. During the stages of chilled transport and distribution, the combination of primary individual package and secondary package was used to maintain a modified atmosphere for shiitake mushrooms. During the retail stage at higher temperature (25°C), the primary individual package was exposed to display conditions after dismantling of the secondary packaging. The master packaging system was constructed to contain eight individual 30- μ m thick polypropylene film bags of 500 g shiitake mushrooms inside a 40- μ m low-density polyethylene bag. Carbon dioxide absorbent material [Ca(OH)₂] and/or moisture absorbent (superabsorbent polymer) were designed in their required amounts based on respiration characteristics and then applied to the outer secondary packaging in sachet form. Gas concentration of the packaging, temperature, and humidity were monitored throughout transport and storage. The quality of shiitake mushrooms was measured at the retail stage to determine the packaging effect. During the distribution stage of 108 h, O₂ and CO₂ concentrations in the master packaging system were maintained at 9~11% and 1~4% in the inner packaging, respectively, which are good for quality preservation. Compared to the control, the master packaging with CO₂ and/or moisture absorbents improved mushroom preservation and particularly reduced decay.

Key words: shiitake mushroom, modified atmosphere packaging, master packaging, CO₂/moister absorber, distribution

서 론

최근 소비자들은 신선 상태로 구입하여 섭취할 수 있는 농산물의 선호도가 높다. 표고버섯은 유통기간이 짧아 신선 상태로 유통하기보다는 주로 건조 제품으로 가공하여 시중에 판매되고 있어 소비자들의 요구도를 충족시킬 수 있는 신선한 형태의 생표고버섯 제품으로 유통될 필요가 있다. 또한 소비자의 기호도가 건조 제품보다는 신선한 상태로 섭취하기를 선호하여 생표고버섯의 생산량이 증가하고 있다 (1). 신선 농산물의 경우 농장에서 수확 후 신선한 상태로 유통하기 위해서는 품온을 떨어뜨리는 예냉과 예비 건조, 농산물의 표면 미생물 성장을 억제하기 위한 방사선 조사, 왁스 코팅, 선도유지제를 포함하는 여러 가지 방법 등이 있으나, 그중에서 변형기체포장(modified atmosphere packaging, MAP)은 포장 내 기체조성을 낮은 산소 농도와 높은 이산화탄소 농도로 제어하여 유통과정 중 좋은 품질을 유지

할 방법으로 알려졌다(2-4). 변형기체포장은 능동적(active) MAP와 수동적(passive) MAP 조건으로 구분할 수 있는데, 두 가지 모두 특정 온도, 농산물의 호흡속도와 기체투과도를 갖는 플라스틱 포장필름 간의 상호작용 때문에 포장 내 적절한 변형기체를 형성할 수 있다. 형성된 변형기체 농도는 일정한 온도에서 저장 시 변형기체(modified atmosphere, MA) 조건이 유지되며, 온도가 변하는 조건에서는 농산물의 호흡속도가 변하고 포장필름의 기체투과도가 달라져서 최적의 MA 조건을 유지하지 못하게 된다(5). 생표고버섯은 농장에서 수확과 동시에 포장되고, 중간집하장 및 물류센터에서 보관되었다가 배송 및 판매처로 유통이 이루어지는 동안 일정한 온도로 유지되지 않고 단계별로 다른 온도에 노출되어 변형기체포장 설계에 어려움이 있다. 따라서 대부분의 표고버섯 유통은 건조를 통한 건조제품의 유통이 대부분을 차지하고 있어, 생표고버섯의 유통을 개선하여 더욱 품질 좋은 소비를 확대할 필요가 있다.

유통 및 판매 단계에서 다른 온도 조건을 수용하는 목적으로 1차 개별 포장과 2차 포장을 결합한 마스터(master) 포장 시스템의 설계가 필요하다. 낮은 온도로 잘 유지되는 수송과 판매처 저장고에서는 1차 개별 포장과 2차 포장을 결합하여 2차 포장의 플라스틱 필름을 통한 기체 이동을 제한

함으로써 개별포장 내에 적정 MA를 형성시킬 수 있다. 저장 조건보다 상대적으로 온도가 높은 판매 단계에서는 2차 포장을 제거하고 1차 개별포장만으로 기체 이동을 조절함으로써 온도 상승에 따른 호흡량 증가로 포장 내 산소 농도 감소에 따른 혐기호흡을 방지할 수 있으며, 적절한 기체 농도를 형성시킬 수 있다. 또한 이런 마스터 포장시스템에 산소, 이산화탄소, 수분 등의 흡수제를 사용하기 때문에 보다 적극적으로 정교한 MA 형성을 얻을 가능성이 있다. 이러한 개념으로 실험실 단계에서 active 마스터 포장시스템의 유효성을 확인하고, 실제 유통시스템을 통한 현장 적용 가능성을 확인하고자 하였다. 생표고버섯의 적정 이산화탄소 농도가 2%로 보고되어 있어(6), 이산화탄소 농도에 대한 생리장해를 방지하기 위하여 이산화탄소 흡수제를 적정량 사용하고, 과습도로 인한 포장 내 수분응축을 완화하기 위하여 수분 흡수제를 함께 포장하여 품질보존 효과를 충분히 얻고자 한다.

재료 및 방법

재료

생표고버섯은 2014년 12월에 경남 밀양에 소재한 버섯 재배농가에서 생산 및 판매되는 버섯을 구입하여 사용하였다. 재배농가에 직접 방문하여 수확 후 예비건조과정을 거치지 않은 비예건 생표고버섯을 현장에서 바로 포장하여 본 실험의 시료로 사용하였다.

생표고버섯 호흡 측정과 이산화탄소 흡수제 및 수분 흡수제 양 예측

호흡에 관한 정보는 생표고버섯 포장에 적용할 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제의 양을 예측하여 포장과 저장조건 설정에 적용하는 데 필요하다. 생표고버섯의 호흡은 10°C와 20°C에서 초기 산소 농도를 20.9%와 10%로 치환된 1 L 밀폐병에 100 g(10°C 시료)과 60 g(20°C 시료)의 버섯을 담아서 밀폐계 방식으로 측정하였다(7,8). 초기 산소 농도 10%는 1기압 조건에서 질소로 치환하여 조절하였다. 산소 및 이산화탄소 농도를 측정하여 효소반응 속도로부터 유도된 수학적 호흡모델 식 1의 산소와 이산화탄소 농도의 함수로서 생표고버섯의 호흡속도를 계산할 수 있었다(9).

$$r = \frac{V_m [O_2]}{K_m + (1 + [CO_2]/K_i)[O_2]} \quad (1)$$

여기서 r 은 산소 소비와 이산화탄소 생산에 대한 호흡속도 ($\text{mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)이고, V_m ($\text{mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$), K_m (% O_2), K_i (% CO_2)는 상수이다.

시간에 따른 산소와 이산화탄소 농도는 CTR I column(Alltech Associates, Deerfield, IL, USA)과 TCD가 장착된 gas chromatography(CP3800, Varian, Palo Alto, CA, USA)를 이용하였으며, oven 온도 50°C, injector 온도 80°C, detector 온도 95°C의 조건에서 분석하였다. 통상적

인 예비실험을 통하여 유통저장 중 MA 조건이 산소 10%, 이산화탄소 2% 부근에 있을 것으로 추정하고, 이로부터 발생하는 이산화탄소 발생량과 수분증산량을 계산하여 이를 흡수할 수 있는 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제의 양을 얻어서 포장 설계에 도입하였다.

생표고버섯의 관행적인 포장과 active 마스터 포장

생표고버섯의 포장은 관행적인 포장방식과 active 마스터 포장방식으로 구분하고, 마스터 포장 시스템 내부에 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제를 함입하였다. Active 마스터 포장과의 비교를 위해 대조구로 사용된 관행적인 포장은 30 μm 두께의 연신폴리프로필렌(oriented polypropylene, OPP, 22.5×34.5 cm) 필름 백에 8 mm 크기의 천공 8개를 뚫고 생표고버섯 500 g을 넣어서 포장하였다. 폴리프로필렌 필름 백에 500 g 단위로 포장된 생표고버섯 8개의 포장 제품을 뚜껑이 없는 격자형 플라스틱 상자(55×36.5×28.5 cm)에 담아 유통되도록 하였다.

유통구조에서 생표고버섯의 품질을 향상할 수 있는 마스터 포장 시스템으로서 내부 1차 개별포장은 관행적인 포장 방식으로 천공 8개가 뚫어진 폴리프로필렌 필름 백을 사용하여 생표고버섯 500 g을 넣어서 포장하고, 외부 2차 포장은 40 μm 저밀도 폴리에틸렌(low density polyethylene, LDPE, 78×78 cm) 필름 백으로 만들어서 1차 개별포장 8개의 포장제품을 담도록 하였다. 2차 포장인 LDPE 백에는 2 mm 크기의 천공 10개를 뚫어서 내외부의 기체 이동이 이루어지도록 하였다. 생표고버섯의 이산화탄소 농도와 수분 조절을 위해 기체투과성이 좋은 Tyvek(10×10 cm, 1070D, Dupont Co., Edgemoor, DE, USA) 봉지에 이산화탄소 흡수제인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 25 g과 수분 흡수제인 고흡수성수지[super-absorbent polymer(SAP); Sodium Polyacrylate, Cross-linked, (주)LG 화학, 서울, 한국] 0.4 g을 넣었다. 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제가 담긴 Tyvek 4개를 500 g 단위로 1차 개별포장 된 생표고버섯 8개 포장제품(총 4 kg)과 함께 마스터 포장인 외부 2차 포장 안에 넣어 두었다. 이러한 방식으로 포장된 마스터 포장은 관행 유통에 쓰이는 플라스틱 박스(55×36.5×28.5 cm)에 담아서 대조구 포장과 함께 유통되도록 하였다. 마스터 시스템 포장의 경우 이산화탄소 흡수제만 넣은 active 마스터 포장과 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제를 함께 넣은 active 마스터 포장으로 구분하여 처리하였다. 실험에 사용한 active 마스터 포장시스템의 대체적인 개념은 Fig. 1에 보여주고 있다.

이렇게 마련된 포장을 수집, 배송, 저장의 실제 단계에 따르는 경로에 노출하면서 포장기체조성과 온습도를 측정하였다. 온도와 습도를 확인하기 위해서는 온습도 기록계(Thermo Recorder, TR-72U, T&D Corp., Nagano, Japan)를 마스터 포장 내부에 하나씩 넣고 온도와 습도를 측정 및 기록하고 저장하였다. Fig. 2에서는 포장 표고버섯의 실제 유통경로를 보여주고 있다. 그리고 유통, 저장, 진열의

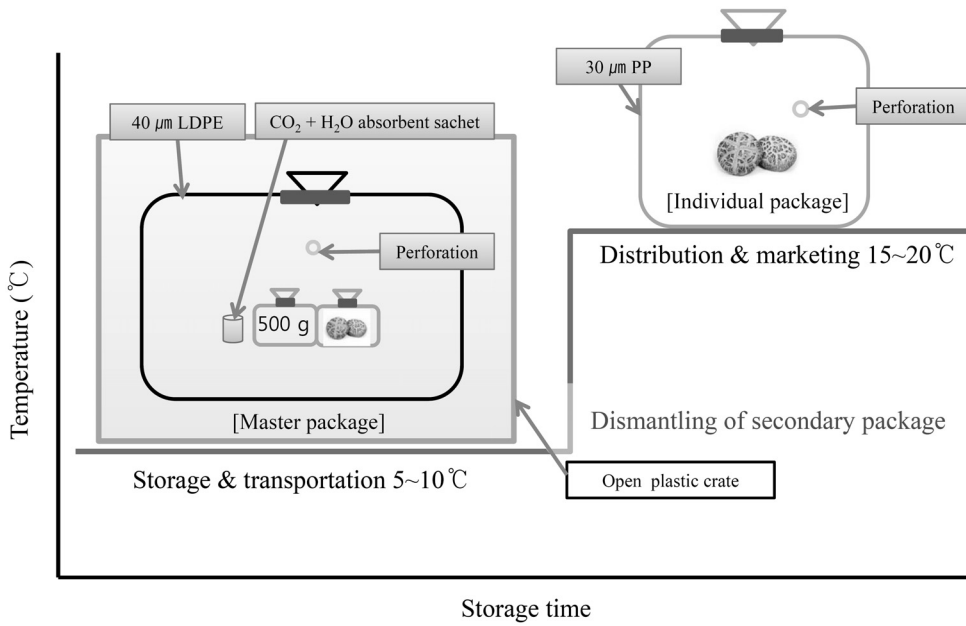


Fig. 1. Active master packaging system of fresh shiitake mushroom.

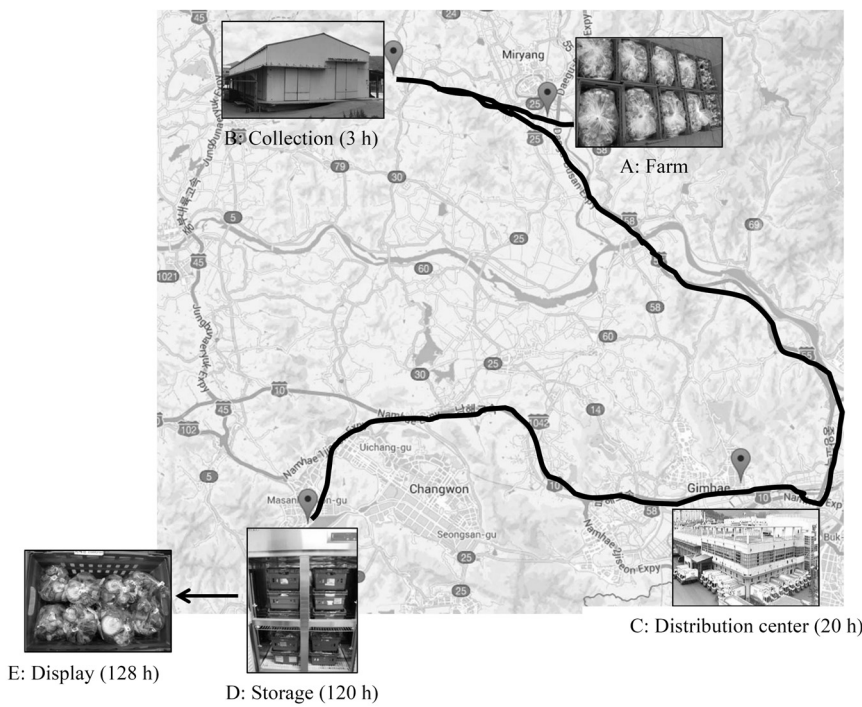


Fig. 2. Distribution flow chart of fresh shiitake mushroom packages.

마지막 단계에서 포장을 파괴하여 품질을 측정하였다.

생표고버섯의 품질 측정

이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제를 적용한 active 마스터 포장 시스템 내 생표고버섯의 품질보존 효과를 확인하기 위해 포장 내 가스 농도, 부패율, 경도, 색도, 총균수와 곰팡이를 측정하고, 판능검사를 하였다. 마스터 포장 내 산소와 이산화탄소 농도는 기체센서가 장착된 가스분석기(Model CheckMate 9900, PBI-Dansensor, Ringsted, Denmark)를 활용하여 측정하였다. 부패율은 생표고버섯의 표면에 자

란 곰팡이와 짓무른 개수를 세어서 포장 내 전체 표고버섯 대비 비율로 나타내었다. 생표고버섯의 경도는 버섯 갓 부분의 중앙에 대해 3 mm probe로 60 mm/min의 속도로 관입시킬 때 최대 힘을 Rheometer Compac-100(Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)에 의하여 측정하였다. 버섯의 표면색도는 갓 부분에 대해 색차계(Model JC 801, Colour Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하고 L값(lightness), a값(redness), b값(yellowness)으로 나타내었다. 총균수와 곰팡이를 측정하기 위하여 생표고버섯 10 g을 stomacher bag에 취하고 멸균된 0.05% 펄

톤수 90 mL를 더한 후 stomacher(Stomacher 400 circulator, Seward Ltd., London, UK)를 이용하여 200 rpm에서 2분 동안 균질화한 다음 시료 원액으로 사용하였다. 시료 원액 1 mL를 0.05% 펄프수에 10배씩 희석하여 총균수는 Plate Count Agar(PCA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 주입 평판하여 30°C에서 3일간 배양하고, 곰팡이 수는 Potato Dextrose Agar(PDA, Difco Laboratories)에 주입 평판하여 25°C에서 5일간 배양한 후 콜로니 개수(CFU/g, colony forming units per gram)를 계수하였다. 관능평가는 생표고버섯의 외관에 대해 7점 기호 척도법을 사용하여 10명의 관능요원에 의해 시행되었다. 품질특성에 대한 처리구 간의 유의차 검증은 유의수준 5%에서 분산분석 및 Duncan의 다중검증을 하였다.

결과 및 고찰

생표고버섯의 호흡 특성과 이로부터 얻은 이산화탄소 흡수제 및 수분 흡수제 양의 결정

10°C와 20°C에서 초기 산소 농도를 20.9%와 10%로 구분하고 two closed system 방식으로 생표고버섯의 호흡에 의한 산소와 이산화탄소 농도 변화를 측정된 후 식 1에 의하여 호흡모델 parameter V_m , K_m , K_i 를 구하였다(Table 1). 생표고버섯은 다른 버섯과 달리 9% 이상의 이산화탄소 농도 조건에서 품질 변화가 촉진되기 때문에 two closed system 방식으로 호흡측정을 수행하였다(10). 산소 농도 20.9%로 하여 one closed system 방식으로 측정 시 내부 이산화탄소 농도가 10% 이상 축적되어 이상 호흡이 일어날 수 있다. 최대 호흡속도인 V_m 값 기준으로 봤을 때 생표고버섯의 호흡은 온도가 10°C에서 20°C로 높아짐에 따라 호흡속도가 약 3배 가까이 증가하는 것으로 알 수 있으며, 온도 증가가 호흡 증가 및 품질 변화에 중요한 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

Table 1에 제시된 표고버섯의 호흡데이터를 이용하여 마스터 포장 내에 포함할 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제의 양을 계산하였다. 호흡량의 계산에서 표고버섯의 포장은 이산화탄소 흡수제의 작용 때문에 포장 산소 농도 10%, 이산화탄소 농도 2%로 유지되는 것으로 가정하였다. 먼저 이산화탄소 흡수제의 계산에서는 10°C 유통 저장의 120시간 동안에 호흡으로부터 생산되는 CO₂ 양에서 마스터 포장의 통기구와 필름을 통하여 배출되는 CO₂ 양을 차감하여 얻은 양을 흡수하는 CO₂의 양으로 얻었다(식 2). 우변의 첫 번째 항은 호흡으로부터 발생하는 이산화탄소 양이고, 두 번째

항은 통기구를 통한 이산화탄소 이동량, 세 번째 항은 플라스틱 필름을 통한 이산화탄소 이동량이다(11).

$$\Delta n_{CO_2} = \left\{ WR_{CO_2} - \frac{ND_{CO_2}A(p_{CO_2} - 0.00)}{L + \delta} \left(\frac{101325}{RT} \right) - \frac{\bar{P}_{CO_2}S(p_{CO_2} - 0.00)}{L} \right\} t \quad (2)$$

여기서 Δn_{CO_2} 는 시간 t (h) 동안 흡수해야 하는 CO₂ 기체의 mol 수, D_{CO_2} 는 각각 공기에서의 CO₂의 확산도(m² h⁻¹), p_{CO_2} 는 마스터 포장 내에서의 CO₂ 분압이고, N 은 단면적 A (m²)인 통기구의 수, δ 는 천공에서의 기체확산 저항에 대한 보정치(1.1×직경)(11), L 은 플라스틱 필름의 두께(m), S 는 플라스틱 포장의 표면적(m²), \bar{P}_{CO_2} 는 CO₂ 투과도(mol m m⁻² h⁻¹ atm⁻¹), W 는 버섯 무게(kg), R 은 기체상수(8.314 J K⁻¹ mol⁻¹), R_{CO_2} 는 CO₂ 발생의 호흡속도(mol kg⁻¹ h⁻¹), T 는 온도(K)이다. 위의 식 2를 적용하여 계산된 Δn_{CO_2} 는 1.41 mol의 이산화탄소가 얻어졌으며, 이를 흡수할 수 있는 Ca(OH)₂는 104 g으로 예측되어 이에 상당하는 무게로서 100 g의 Ca(OH)₂를 25 g씩 4봉지로 나누어 마스터 포장 내에 함입하였다.

수분 흡수제의 함입 요구량의 계산에서는 호기적 호흡으로 인한 수분 생성(C₆H₁₂O₆+6O₂→6CO₂+6H₂O)의 mol 수로부터(식 3) 외부로 확산 및 투과되는 수분 손실을 차감하여 흡수할 수분량으로 얻었다(식 4).

$$R_{H_2O} = \left(\frac{R_{O_2} + R_{CO_2}}{2} \right) \quad (3)$$

$$\Delta n_{H_2O} = \left\{ WR_{H_2O} - \frac{ND_{H_2O}A(1.00 - 0.70)}{L + \delta} \left(\frac{P_{ws}}{RT} \right) - \frac{\bar{P}_{H_2O}S(1.00 - 0.70)P_{ws}}{L} \right\} t \quad (4)$$

여기서 Δn_{H_2O} 는 시간 t (h) 동안 흡수해야 하는 수분의 mol 수, D_{H_2O} 는 공기에서의 수증기의 확산도(m² h⁻¹), \bar{P}_{H_2O} 는 수증기투과도(mol m m⁻² h⁻¹ Pa⁻¹), R_{O_2} 는 O₂ 소비의 호흡속도(mol kg⁻¹ h⁻¹), P_{ws} 는 포화수증기압(Pa)이다.

외부 습도를 70%로 가정한 위의 식 4를 적용하여 계산된 Δn_{H_2O} 는 1.63 mol의 수분이 얻어졌으며, 이는 29.3 g에 해당하는 양으로써 구매된 고흡수성 고분자의 수분흡수능력(약 20 g/g)을 고려하여 1.6 g으로 추정하여서 이를 Ca(OH)₂를 담은 4봉지에 0.4 g씩 나누어 담아서 마스터 포장 내에 함입하였다.

Table 1. Respiration model parameter obtained from two closed system at 10 and 20°C

Respiration expression	10°C			20°C		
	V_m (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	K_m (%)	K_i (%)	V_m (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	K_m (%)	K_i (%)
r_{O_2}	108.05	0.06	14.54	358.75	2.78	15.04
r_{CO_2}	80.83	0.003	17.48	233.51	0.06	13.63

생표고버섯의 유통 과정 중 온습도 변화

농장에서 수확된 생표고버섯을 현장에서 즉시 포장한 후 간이 집하장에서 3시간 기다렸다가 17시간 동안 물류센터로 이동 및 보관되었다. 그리고 슈퍼마켓에 도착 후 실험실 저장고로 옮겨서 100시간 저장해두었다. 100시간 이후에 실험실 실온에 8시간 진열하였다가 품질 측정을 하였다. 유통 흐름 과정에서의 온도와 습도 변화는 Table 2에 보여주고 있다. 유통 과정 중 온습도 변화는 실험 시기에 따른 영향이 큰 것으로 생각된다. An 등(12)의 연구는 하절기인 7월에 실험을 진행하였으며, 농가에서 수확된 생표고버섯이 유통 과정 중에 냉장조건으로 유지되지 않아서 20~27°C에 노출된 것으로 나타났고, 판매처의 저장고에 입고되면서 온도가 떨어지는 것으로 보고되었다. 본 실험은 동절기인 12월에 실험이 진행됨으로 인해 일부 외기 노출이 있는 유통 과정 전 단계에서 평균 10°C로 유지되었다. 포장 후 간이 집하장까지는 수분 흡수제가 초기 수분을 흡수하여 습도가 약 80~86%로 유지되는 것으로 확인할 수 있었으며, 수집 이후 대부분의 유통과정에서 마스터 포장 내부의 습도는 92~97% 부근으로 유지되어 수분응축이 심하게 발생하지 않았다. 유통의 초기 단계에서 수분 흡수제를 넣은 처리구에서 약간 낮은 습도가 유지되었으나, 대부분의 단계에서 수분 흡수제 사용 여부가 습도조건에 미치는 영향은 거의 없었다. Ca(OH)₂가 갖는 일부의 수분 흡수 효과가 있고, 고흡수성 고분자가 수분을 흡수하더라도 평형관계에 의하여 포장 내부의 응축 없이 고습도 조건을 유지하는 역할을 한 것으로 추정된다. 예견되지 않은 생표고버섯을 수확 후 바로 포장할 때는 수분 흡수제가 초기 수분을 흡수하여 수분에 의한 부패를 지연시킬 수 있을 것으로 기대된다. 수분 흡수제의 습도 제어 효과에 대해서는 보다 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

포장 내 기체조성 변화

Table 3에서는 유통 단계에서 형성된 개별포장 내의 기체조성을 보여주고 있다. 관행적 대조구 포장에서는 많이 뚫린 통기구의 영향 때문에 공기조성(21% 산소)과 같은 기체조성이 얻어졌다. 수확 후 23시간까지는 16% 이상의 높은 O₂ 농도가 형성되어 active 마스터 포장 내의 개별포장에 충분한 MA 형성이 이루어지지 않고, 이러한 영향과 함께 이산화탄소 흡수제의 효과로 인하여 농도도 1% 이하의 낮은 수준을 형성하였다. 저장 단계의 수확 후 49시간 이후부터는 O₂ 농도가 9% 부근으로 낮아졌지만, CO₂ 농도는 2% 이하를 유지하여 이산화탄소 흡수제의 흡수 효과가 지속되고 있음을 보여주었다. 그 이후의 저장에서는 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제를 함께 넣은 포장에서 약간 증가한 O₂ 농도를 보여주었지만, CO₂ 농도에서는 약간 증가하지만 두 마스터 포장 처리구 사이에 차이는 없었다. Parentelli 등(6)과 Ares 등(10)은 9.0% 이상의 이산화탄소 농도에 노출된 생표고버섯이 일반 공기조성의 생표고버섯보다 경도와 관능적인 특성 면에서 좋지 못한 것으로 보고하였다. 생표고버섯의 저장을 위한 적정산소 농도는 2%, 이산화탄소 농도 범위는 2% 혹은 40%의 범위로 문헌마다 큰 차이를 보이고 있다(13-15). 본 연구의 이산화탄소 농도 1.2~4.0%의 기체조성은 Kim 등(15)이 제시한 적정농도 2% 범위에 있음을 확인할 수 있었다. 수분 흡수제의 존재가 약간의 O₂ 농도 증가를 보인 점에 대해서는 충분한 설명을 할 수 없지만, 표고버섯의 호흡 활성에서 약간의 감소 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상된다. Parentelli 등(6)과 Kim 등(15)에 의하면 5% 이상의 CO₂ 농도에 노출된 생표고버섯은 이취 발생 등의 생리장해를 보이는 것으로 보고되고 있어서 마스터 포장에 의한 저산소 농도 조건에서 낮은 CO₂ 농도의 유지는 품질보존에 긍정적 역할을 할 것으로 추정된다. 개별포장과 마스터 포장에서 이산화탄소 흡수제만 사용한 경우보다

Table 2. Temperature and humidity history of the shiitake mushroom packaging during distribution process

Distribution flow (time span)	Master packaging with CO ₂ absorber		Master packaging with CO ₂ +H ₂ O absorbers	
	Temperature (°C)	Humidity (%)	Temperature (°C)	Humidity (%)
Collection (0~3 h)	9.1±0.8	86.4±6.9	9.7±0.4	79.9±5.9
Distribution center (3~20 h)	9.6±1.0	93.6±4.1	8.7±0.8	92.3±4.3
Receiving at retail store (20~23 h)	6.6±0.1	95.6±2.7	6.8±0.2	96.0±3.3
Storage (23~120 h)	10.2±0.8	95.5±3.6	10.4±0.6	97.0±1.9
Display (120~128 h)	14.0±1.3	58.1±11.4	14.0±1.1	50.8±13.1

Table 3. Gas concentration of fresh shiitake mushroom packages (individual package)

Distribution flow (time after harvest)	Control		Master active packaging			
	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO ₂ absorber		CO ₂ +H ₂ O absorbers	
			O ₂ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
Receiving at retail store (23 h)	20.5	0.1	17.1±0.6	0.7±0.2	16.2±0.4	0.7±0.3
Storage (49 h)	20.1	0.4	9.4±0.3	1.3±0.2	9.4±0.9	1.2±0.3
Storage (76 h)	20.0	0.4	9.2±0.5	1.3±0.1	10.0±1.4	1.6±0.0
Storage (101 h)	20.1	0.4	9.7±0.3	2.4±0.6	11.3±0.8	2.0±0.1
Storage (120 h)	20.1	0.5	8.8±0.8	4.0±1.4	10.3±1.0	3.3±0.3

이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제를 함께 사용한 포장 처리구에서 이산화탄소 농도를 조금 더 낮게 유지하는 것으로 알 수 있다. 본 실험에 사용한 이산화탄소 흡수제는 수분이 있는 조건에서 이산화탄소 흡수 능력을 상승시킨다. 두 흡수제가 동시 사용된 같은 sachet에서 수분 흡수제가 수분을 흡수하여 습도가 높은 조건에서 이산화탄소 흡수 능력이 향상됨으로 인해 포장 내 이산화탄소 농도가 약간 낮게 유지된 것으로 이해된다. 수분 흡수제와 이산화탄소 흡수제를 병행하여 사용한 부분에 대해서는 아직 여러 문헌에서 연구가 진행되지 않았으며, 수분 흡수제만을 사용한 연구와 이산화탄소 흡수제만을 사용한 포장에 관해서는 일부 연구가 진행되었다(16,17).

개별포장 주위의 마스터 포장에서의 기체조성은 Table 3의 개별포장 내의 기체조성과 0.5% 이내의 차이를 보였으며(구체적인 데이터 생략), 이는 개별포장에 비교적 큰 통기구가 여러 개(8 mm 크기의 8개)가 있어서 큰 차이가 없었던 것으로 생각된다. 120시간 이후 마스터 포장에서 분리된 후 8시간 전시되는 동안 포장 내부의 기체조성은 공기 조성과 같았다. 개별포장에 8 mm 크기의 통기구 8개가 뚫어져 있어서 포장 내부와 주위환경과의 가스교환으로 공기조성과 같은 농도로 유지되었다.

포장 내 생표고버섯의 품질

농가에서 포장 처리하고 유통 및 저장 후 120시간 이후 포장을 해체하고 8시간 진열한 생표고버섯의 부패율, 경도, 표면색도 변화, 총균수, 곰팡이와 효모에 대해 측정된 결과를 Table 4에 제시하였다. 부패율은 대조구에서 12.7%이고 이산화탄소 흡수제 처리구와 이산화탄소 및 수분 흡수제 처리구인 active 마스터 포장은 2% 이내로 유의하게 낮았다.

총균수에서는 처리구 간에 유의한 차이가 없었지만, 곰팡이와 효모군에서는 active 마스터 포장처리구에서 유의하게 낮았다. MA 조건의 형성이 부패억제에 효과적일 수 있음을 보여주었다. 경도와 표면색도의 경우 개체 간의 변이가 심했지만 포장처리구에 따른 유의한 차이를 볼 수 없었다. 다만 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제를 함께 함유한 마스터 처리구에서 다른 처리구에 비해 경도가 높고 초기값과 비교 시에도 높았다. 수분의 흡수로 내부 수분응축 역제가 생표고버섯의 조직을 단단하게 유지하는 데 도움을 준 것으로 생각된다. 표면색도에서 밝은 정도를 나타내는 L값은 대조구 38.4, 이산화탄소 흡수제 처리구 38.7, 이산화탄소와 수분 흡수제 처리구 40으로 측정되었으며(구체적인 데이터 생략), 이는 저장 중에 갈변화가 큰 차이는 아니지만 조금 억제된다는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 3의 외관 사진에서 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제 처리구의 갓 표면색이 밝게 유지됨을 확인할 수 있다.

갓모양, 갓색깔, 자루색깔, 냄새의 관능적 품질에서는 유의한 차이가 없었지만(구체적 데이터는 생략), 육안적 품질에서 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제가 함께 함유된 active 마스터 포장 시스템에서 저장된 버섯이 밝은 색택을 유지하는 경향을 보여주었다(Fig. 3). Minamide 등(13)은 수확 후 저장 동안 생표고버섯의 갈변화로 어두운 색으로 변하면서 품질이 나빠진다고 보고하였다. 본 실험에서 표고버섯의 표면이 밝게 유지된다는 것은 갈변화가 느리게 진행되어 품질보존을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

과거 재배방식의 한계로 인해 특정기간 많은 물량이 생산되고 저장 및 보관의 문제로 건조된 표고버섯 제품으로 주로 생산 및 유통되었지만, 최근 재배기술이 향상되어 연중 생산이 가능하며 이는 생표고버섯에 대한 MAP 적용의 가능성을

Table 4. Quality changes of fresh shiitake mushroom at end of the supply chain

Package treatment	Decay (%)	Hardness (g)	Surface color change (ΔE)	Aerobic bacteria (log CFU/g)	Molds and yeast (log CFU/g)
Control	12.7 ^a	768±126 ^a	5.7±2.7 ^a	4.3±1.1 ^a	4.0±0.4 ^a
Master packaging with CO ₂ absorber	1.4 ^b	775±119 ^a	5.1±2.0 ^a	4.5±1.4 ^a	3.2±0.4 ^b
Master packaging with CO ₂ +H ₂ O absorbers	1.9 ^b	810±102 ^a	6.1±2.7 ^a	4.4±0.3 ^a	3.4±0.3 ^b

Initial values-hardness: 748±143 g_f, aerobic bacteria: 4.5±0.0 log CFU/g, molds and yeast: 4.1±0.2 log CFU/g. Values are given in mean±standard deviation. Any values in the same column followed by the same letter are not significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

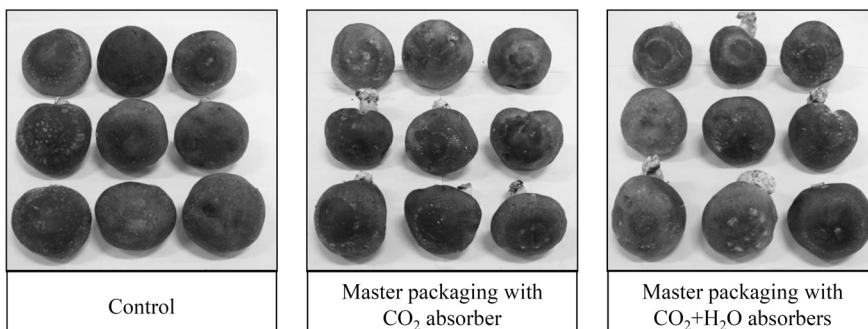


Fig. 3. Visual quality of packaged shiitake mushroom at end of supply chain.

제시할 수 있다.

요 약

생표고버섯 생산 농가에서 일반 판매처까지 보관 및 유통 단계를 거치면서 변화하는 온도 조건에 노출된 제품의 품질을 향상하기 위해 1차 개별포장과 2차 포장을 결합한 active 마스터 포장 시스템을 적용하였다. 외부 2차 포장에는 이산화탄소 흡수제인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 수분 흡수제인 고흡수성 고분자를 sachet 형태로 만들어 포장에 적용했다. 낮은 온도로 유지되는 저장단계에서는 1차 개별포장과 2차 포장의 결합한 형태로 수송 및 유통되고, 높은 온도에 노출되는 판매단계에서는 2차 포장을 해체한 후 판매가 진행되도록 하였다. 판매단계에서 2차 포장을 해체하면 온도 상승으로 인한 호흡 증가로 포장 내 산소 고갈과 높은 농도의 이산화탄소 축적을 막을 수 있으며, 급격한 생리장해를 억제할 수 있다. 수송 및 저장 단계에서 포장 내 기체조성과 온습도를 측정하고, 판매단계에서 포장을 개봉하여 생표고버섯의 품질을 측정하였다. 관행적인 방법인 통기성 천공 포장을 대조구로 하여 같은 조건으로 수송 및 유통, 판매를 통해 처리구 포장의 품질과 비교하였다. 이산화탄소 흡수제인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 수분 흡수제인 고흡수성 고분자를 봉지 형태로 만들어 함입시킨 active 마스터 포장 시스템은 유통 저장 단계에서 포장의 기체 이동과 이산화탄소 흡수제의 효과로 인하여 개별 포장 내에 산소 농도가 9~11%, 이산화탄소 농도가 1~4% 범위를 얻을 수 있어서 품질보존에 도움이 되는 변형기체가 형성되었다. 처리구 간에 따른 경도와 표면색택, 호기성 세균수 등의 품질 변화에 대해서는 유의적인 차이를 확인할 수 없었으나, 대조구에 비해 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제의 처리구가 부패율 감소와 곰팡이/효모수의 성장억제 효과를 얻을 수 있었다. 농가에서 포장 전 예건처리를 할 수 없는 상황이기 때문에 계절적인 요인에 따라 이산화탄소 흡수제와 수분 흡수제의 양을 조절한다면 active 마스터 포장 시스템의 효과를 볼 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 융복합연구센터지원사업에 의하여 이루어졌음(Project #710003).

REFERENCES

1. Min KT, Song SH, Park JE. 2013. Current status and future prospects in supply and demand of shiitake mushroom and bracken. Research Report of Korea Rural Economic Institute, Seoul, Korea. p 473-494.
2. Jiang T, Feng L, Wang Y. 2013. Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage. *Food Chem* 141: 954-960.
3. Jiang T, Luo S, Chen Q, Shen L, Ying T. 2010. Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Chem* 122: 761-767.
4. Jiang T, Feng L, Li J. 2012. Changes in microbial and post-harvest quality of shiitake mushroom (*Lentines edodes*) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage. *Food Chem* 131: 780-786.
5. Kim HK, An DS, Lee SJ, Lee DS. 2012. Dependence of individual primary package atmosphere on retail display temperature and micro-perforations in a master packaging system for chestnuts. *J Food Agric Environ* 10: 168-172.
6. Parentelli C, Ares G, Corona M, Lareo C, Gambaro A, Soubes M, Lema P. 2007. Sensory and microbiological quality of shiitake mushrooms in modified atmosphere packages. *J Sci Food Agric* 87: 1645-1652.
7. Lee DS, Lee KS, Park IS, Yam KL. 1994. Analysis of respiration characteristics of low CO_2 tolerance produce for designing modified atmosphere package. *Food Biotechnol* 3: 99-103.
8. Yam KL, Hagggar PE, Lee DS. 1993. Modeling respiration of low CO_2 tolerance produce using a closed system experiment. *Food Biotechnol* 2: 22-25.
9. Lee DS, Hagggar PE, Lee J, Yam KL. 1991. Model for fresh produce respiration in modified atmosphere based on principles of enzyme kinetics. *J Food Sci* 56: 1580-1585.
10. Ares G, Parentelli C, Gambaro A, Lareo C, Lema P. 2006. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biol Technol* 41: 191-197.
11. Lee DS, Renault P. 1998. Using pinholes as tools to attain optimum modified atmospheres in packages of fresh produce. *Packag Technol Sci* 2: 119-130.
12. An DS, Lee JH, Lee HL, Lee DS. 2014. Application of master packaging system to fresh shiitake mushroom supply chain on semi-commercial scale. *Korean J Soc Packaging Sci Technol* 20: 71-76.
13. Minamide T, Nishikawa T, Ogata K. 1980. Influences of CO_2 and O_2 on the keeping freshness of shiitake (*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.) after harvest. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 27: 505-510.
14. Minamide T, Tsuruta M, Ogata K. 1980. Studies on keeping freshness of shiitake (*Lentinus edodes* (Berk) Sing.) after harvest. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 27: 498-504.
15. Kim DM, Baek HH, Yoon HH, Kim KH. 1989. Effect of CO_2 concentration in CA conditions on the quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during storage. *Korean J Food Sci Technol* 21: 461-467.
16. Anantheswaran RC, Beelman RB, Roy S. 1996. Modified atmosphere and modified humidity packaging of fresh mushrooms. *J Food Sci* 61: 391-397.
17. Charles F, Sanchez J, Gontard N. 2006. Absorption kinetics of oxygen and carbon dioxide scavengers as part of active modified atmosphere packaging. *J Food Eng* 72: 1-7.