

포장 필름 종류에 따른 신선 꽃송이버섯의 상온 저장 중 품질 변화 및 상품성 유지 효과

최지원^{1*} · 권나영¹ · 허병수² · 장민선¹ · 조재한¹

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과

²전북특별자치도농업기술원

Effects of Packaging Films on Quality Changes and Marketability of Fresh *Sparassis Latifolia* During Ambient Storage

Ji Weon Choi^{1*}, Nayeong Kwon¹, Byong-Soo Heo², Min-Sun Chang¹, and Jae-Han Cho¹

¹Postharvest Technology Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

²Jeonbuk State Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Republic of Korea

Abstract This study evaluated the effects of different packaging films on quality changes and shelf life of fresh *Sparassis latifolia* during ambient storage. Mushrooms were packaged with PET, OPP, MPP5, and perforated OPP films and stored for 8 days under ambient conditions. Changes in package headspace gas composition (O₂ and CO₂), weight loss, physicochemical properties, and quality indices were analyzed. OPP and MPP5 films rapidly established O₂ concentrations close to 0% and high CO₂ (~16–17%) conditions, while perforated OPP maintained near-atmospheric conditions. These differences significantly affected quality changes. MPP5 showed the lowest weight loss and maintained overall quality, whereas perforated OPP exhibited rapid deterioration after 4 days. Browning and aroma were identified as key factors influencing overall quality ($r = -0.876$ and 0.866 , respectively), and overall quality was negatively correlated with O₂ and positively correlated with CO₂. These results indicate that MPP5 is the most effective packaging film for maintaining quality and extending the shelf life of *Sparassis latifolia* under ambient storage conditions.

Keywords *Sparassis latifolia*, packaging film, ambient storage, quality change, shelf life

서 론

꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)은 β -glucan을 비롯한 다양한 생리활성 물질을 고함량으로 함유한 기능성 식용버섯으로, 면역조절, 항산화 및 항암 효과 등으로 인해 고부가가치 농산물로 인식되고 있다. 최근에는 신선 상태로의 소비뿐만 아니라 가공 및 기능성 식품 소재로의 활용이 증가하면서 저장 및 유통 기술의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 그러나 꽃송이버섯은 높은 수분 함량과 연약한 조직 구조를 가지는 특성으로 인해 수확 후 저장 및 유통 과정에서

품질 저하가 빠르게 진행되는 한계를 가진다¹⁾.

신선 버섯류는 일반적으로 높은 호흡률과 활성 대사 작용을 나타내며, 저장 중 갈변(browning), 시들음(wilting), 조직 연화(softening), 수분 손실 및 이취(off-odor) 발생과 같은 품질 열화가 복합적으로 나타난다²⁾. 특히 품질 저하의 주요 원인인 갈변(browning)은 polyphenol oxidase 활성 증가와 세포막 손상에 따른 페놀 화합물의 산화 반응에 의해 발생하며, 이는 상품 가치를 결정짓는 외관 품질에 치명적인 영향을 미친다³⁾. 또한 버섯류는 수분 함량이 높아 저장 중 증산에 의한 수분 손실이 빠르게 진행되며, 이는 조직 위축과 시들음을 유발하여 상품성을 저하시킨다⁴⁾.

이러한 품질 저하를 억제하기 위한 방법으로 포장 기술이 널리 활용되고 있으며, 특히 포장 필름은 기체 투과도와 수분 투과 특성에 따라 포장 내부의 미세환경을 수동적으로 조절하는 modified atmosphere(MA) 시스템으로 작용한다⁴⁾. 필름의 기체 투과 특성에 의해 내부 산소(O₂) 및 이

*Corresponding Author: Ji Weon Choi
National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea
Tel: +82-63-238-6521
Fax: +82-63-238-6505
E-mail: jwcnpri@korea.kr

Table 1. Characteristics of passive modified atmosphere (MA) packaging films used in this study

Film	Material type	Thickness (μm)	Oxygen permeability ($\text{mL}/\text{m}^2\cdot\text{day}\cdot\text{atm}$)	Water vapor transmission rate ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{day}$)	Perforation characteristics
PET	Polyethylene terephthalate	380	10,930.264	8.546	None
OPP	Oriented polypropylene	30	1,386.490	4.469	None
MPP5	Modified polypropylene film	30	5680.231	4.935	None
Perforated OPP	Oriented polypropylene	30	> 31,585	120.594	Pinholes at 6mm intervals

산화탄소(CO_2) 농도가 변화하며, 이러한 기체 조성은 농산물의 호흡률 및 대사 활동에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다^{4,13,14}). 특히 저산소 및 고이산화탄소 조건은 호흡 억제 및 효소 활성 감소를 유도하여 저장 중 품질 유지에 중요한 역할을 한다¹).

신선 버섯류의 저장성 향상을 위하여 다양한 포장 기술이 적용되어 왔다. 양송이버섯(*Agaricus bisporus*)과 표고버섯(*Lentinula edodes*)에서는 미세천공 필름을 이용한 수동형 MA 포장(passive modified atmosphere packaging), 에틸렌 제어 기반 능동 포장(active packaging), 지능형 포장(intelligent packaging) 및 나노복합 포장(nanocomposite packaging) 등이 보고되어 있으며, 이러한 기술은 갈변 억제, 향기 유지, 수분 손실 감소 및 저장수명 연장에 효과적인 것으로 알려져 있다⁵⁻¹⁵). 특히 버섯류에서는 저산소 및 고이산화탄소 조건에서 polyphenol oxidase 활성 억제에 따른 갈변 지연 및 품질 유지 효과가 나타나는 것으로 보고되었으며^{6-9,15}), 반대로 기체 교환이 활발한 조건에서는 품질 저하가 빠르게 진행되는 경향이 확인되었다⁶⁻¹³).

그러나 꽃송이버섯은 비교적 최근에 유통이 확대된 품목으로, 수확 후 저장 및 유통 과정에서의 품질 변화에 대한 연구뿐만 아니라 포장기술 적용에 관한 연구도 매우 제한적인 실정이다¹⁴). 특히 상온 유통 조건에서 포장재의 기체 투과 특성에 따른 내부 기체 조성 변화와 품질 간의 정량적 관계를 규명한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 다양한 포장 필름(PET, OPP, MPP5, perforated OPP)을 적용한 꽃송이버섯을 대상으로 상온 저장 중 품질 변화 및 기체 조성 변화를 분석하고, 총괄품질과 개별 품질 인자 간 상관관계를 규명함으로써 상품성 유지에 적합한 포장 조건을 도출하고자 하였다. 본 연구 결과는 꽃송이버섯의 상온 유통 및 저장 기술 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)은 2026

년 1월, 경기도 평택시 팽성읍에서 재배된 ‘바글’ 품종으로 신선 시료를 수확 직후 선별하여 사용하였다. 시료는 외관상 손상이 없고 균일한 크기와 형태를 가진 개체만을 선별하였다.

2. 포장 처리 및 저장 조건

포장 처리는 PET(JEILPACK, Ansung, Korea), OPP(RISEN P&M, Busan, Korea), MPP5(RISEN P&M, Busan, Korea) 및 perforated OPP(RISEN P&M, Busan, Korea) 필름을 이용하여 수행하였다(Table 1). 각 처리구는 한 송이씩 소포장한 후, 상온 저장을 실시하였으며, 저장 기간 중 온도는 $18.0 \pm 1.15^\circ\text{C}$, 상대습도는 $23.3 \pm 4.09\%$ 로 유지되었다. 저장 기간은 총 8일로 설정하였으며, 분석은 저장 0, 2, 4, 6 및 8일에 실시하였다.

3. 포장내부 공기조성 조사

포장 내부의 산소(O_2) 및 이산화탄소(CO_2) 농도는 저장 기간 동안 headspace gas analyzer (CheckMate 3, AMETEK MOCON, Denmark)를 이용하여 측정하였다. 각 처리구별 포장 내부의 기체는 밀폐된 상태에서 가스 샘플링을 통해 채취하였으며, 측정 시에는 포장재를 개봉하지 않고 주사침을 이용하여 내부 기체를 직접 분석하였다. 산소 및 이산화탄소 농도는 각각의 센서를 통해 동시에 측정하였으며, 결과는 부피 백분율(%)로 나타내었다. 측정은 저장 0, 2, 4, 6 및 8일에 수행하였으며, 각 처리구별로 3반복 측정 후 평균값으로 산출하였다.

4. 품질 특성 조사

꽃송이버섯의 저장 중 품질 특성은 표고버섯을 대상으로 수행된 Cho 등¹³)의 방법을 일부 수정하여 조사하였다. 중량감소율은 저장 초기 중량 대비 감소량을 백분율로 환산하여 산출하였다. 경도는 처리구별로 9반복을 texture analyzer(TA-XT2, Stable Micro Systems, Surrey, UK)를 이용하여 지름 2 mm probe를 3.0 mm/s의 속력으로 5 mm 관입시켜 최대 힘을 측정하였고, N으로 표시하였다. 가용성 고형물 함량은 처리구별로 3반복을 굴절당도계를 이용하여

측정하였다. 시료는 갓(pileus) 조직을 채취하여 전체를 착즙한 후 여과지로 불순물을 제거한 착즙액을 분석에 사용하였고, 결과는 °Bx로 표시하였다. 꽃송이버섯의 색도는 자실체를 갓(pileus)과 대(stipe)로 구분하여 측정하였다. 갓은 상부의 엽상 구조를, 대는 기부 조직을 의미한다. 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter L*, a*, b* 값을 측정하였으며, 측정 전 백판으로 영점을 보정하였다. 각 측정값은 평균값 $\pm$ 표준오차(standard error, SE)로 나타내었다.

외관품질 평가는 Choi 등¹³⁾의 방법을 이용하여, 저장 기간 동안의 색 변화, 갈변 정도, 시들음 정도, 이취 발생, 고유의 향 및 총괄품질을 종합적으로 고려하여 점수화하였다. 갈변은 갓 표면의 갈변 면적 비율에 따라 0(발생 없음), 1(10% 미만), 2(10-20%), 3(20-40%), 4(40% 이상)로 평가하였다. 시들음은 갓과 대의 탈수 및 조직 수축 정도를 기준으로 0(정상), 1(갓 선단부 0-2 cm 고사), 2(갓 선단부 2-4 cm 고사), 3(갓 선단부 5-10 cm 고사 및 대 10 cm 이상 고사)로 구분하여 평가하였다. 이취는 냄새의 강도를 기준으로 1(무취), 3(약함), 5(보통), 7(강함), 9(매우 강함)으로 평가하였다. 전반적 품질은 갈변, 시들음, 이취 및 외관 상태를 종합적으로 고려하여 1(매우 나쁨)에서 9(매우 우수)까지의 점수로 평가하였다. 모든 측정은 처리구별로 6반복으로 실시하였으며, 결과는 평균값으로 산출하였다.

5. 통계 분석

본 실험은 완전임의배치법(completely randomized design)에 따라 3반복으로, 저장기간 경과에 따른 품질 특성 변화는 조사항목에 따라 3반복, 6반복 또는 9반복으로 측정하였고, 측정값은 평균값 표준오차(standard error, SE)로 나타내었다.

처리구 간 유의성 검정은 통계분석 프로그램(IBM SPSS Statistics, ver. 30.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 실시한 후, Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 통해 평균 간 유의차를 검정하였다($p < 0.05$).

또한, 품질 인자 간 상관관계를 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 수행하였으며, 이를 기반으로 주요 품질 요인이 총괄품질에 미치는 영향을 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 포장 내부 기체 조성 변화

저장 기간 동안 꽃송이버섯 포장 내부의 산소(O_2) 및 이산화탄소(CO_2) 농도는 처리구 및 저장 기간에 따라 뚜렷한 차이를 나타내었다(Fig. 1).

산소(O_2) 농도는 저장 기간에 따라 처리구별로 상이한 변화를 보였다. 저장 2일째부터 처리구 간 유의적인 차이가 나타났으며($p < 0.05$), perforated OPP 처리구에서 가장 높은 값을 나타내었다. 해당 처리구는 저장 2일 이후 약 20% 이상의 높은 산소 농도를 지속적으로 유지하였다. 반면, OPP 및 MPP5 처리구에서는 저장 2일 이후 급격히 감소하여 거의 0%에 근접한 수준까지 낮아졌으며, 이후 저장 기간 동안 낮은 수준을 유지하였다. PET 처리구는 초기 감소 이후 저장 4일째 약 10% 수준으로 증가하였다가, 이후 다소 변동하는 경향을 나타내었다.

이산화탄소(CO_2) 농도는 산소 농도와 반대되는 경향을 나타내었다. OPP 및 MPP5 처리구에서는 저장 2일째 약 16~17% 수준까지 증가한 후 저장 기간 동안 유사한 수준을 유지하였다. PET 처리구에서는 저장 2일째 약 20% 이상으로 가장 높은 값을 나타낸 후, 저장 4일째 감소하였다

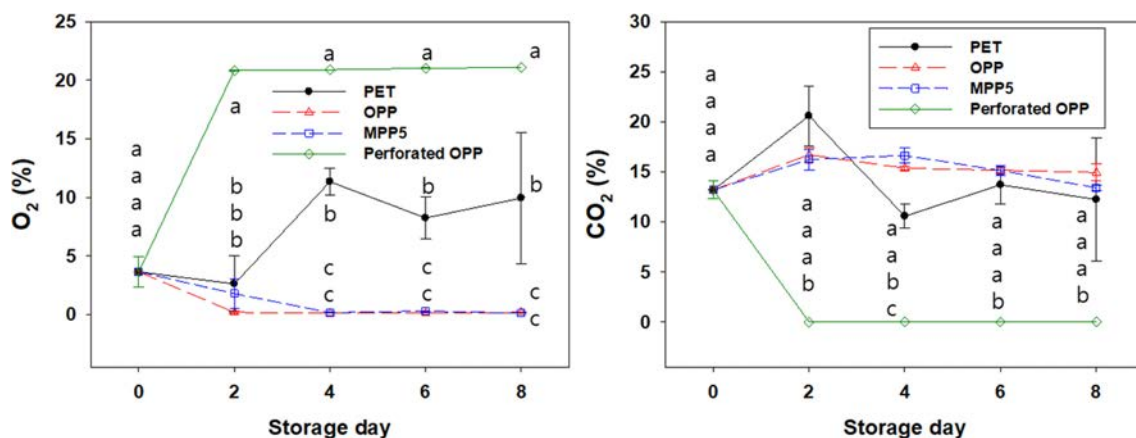


Fig. 1. Changes in package headspace O_2 and CO_2 concentrations of *Sparassia latifolia* under different packaging films during ambient storage. Values are expressed as mean $\pm$ standard error (SE). Different letters indicate significant differences among treatments at each storage day ($p < 0.05$), while the same letters indicate no significant difference.

가 이후 다시 증가하는 경향을 보였다. 반면, perforated OPP 처리구에서는 저장 2일째 이후 CO_2 농도가 급격히 감소하여 거의 0% 수준을 유지하였다.

저장 초기(0일)에는 모든 처리구에서 O_2 및 CO_2 농도에 유의적인 차이가 나타나지 않았으나(ns), 저장 2일 이후부터는 처리구 간 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 저장 기간 동안 이러한 경향이 지속되었다($p < 0.05$).

2. 중량감소율 변화

저장 기간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 중량감소율이 점진적으로 증가하였으며, 특히 포장재의 투과 특성에 따라 뚜렷한 차이를 나타내었다(Fig. 2). 가장 큰 변화를 보

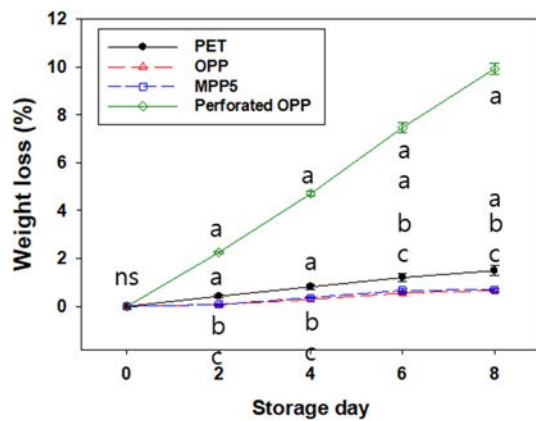


Fig. 2. Changes in weight loss of *Sparassis latifolia* under different packaging films during ambient storage. Values are expressed as mean $\pm$ standard error (SE). Different letters indicate significant differences among treatments at each storage day ($p < 0.05$), while the same letters indicate no significant difference.

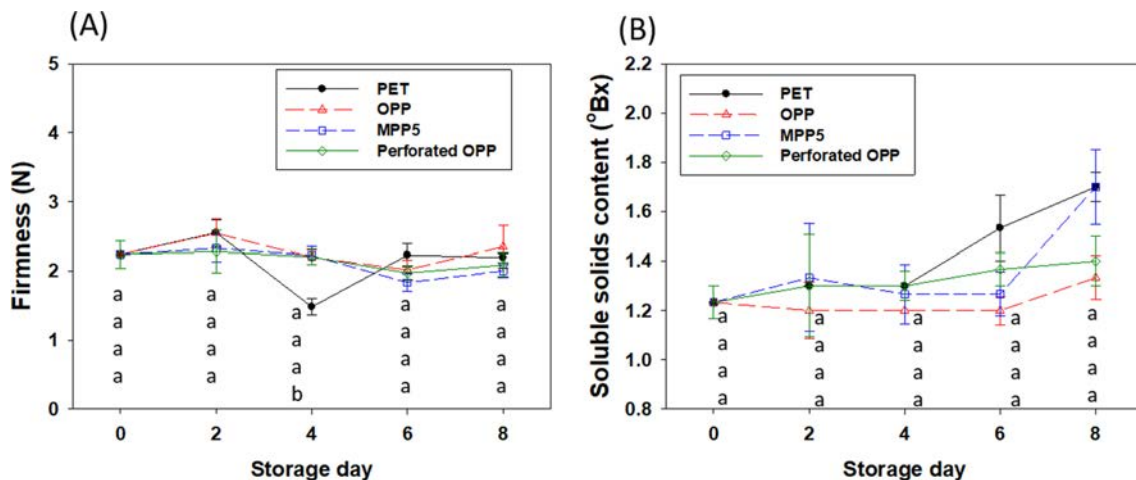


Fig. 3. Changes in firmness (A) and soluble solids content (B) of *Sparassis latifolia* under different packaging films during ambient storage. Values are expressed as mean $\pm$ standard error (SE). Different letters indicate significant differences among treatments at each storage day ($p < 0.05$), while the same letters indicate no significant difference.

인 perforated OPP 처리구의 경우, 저장 2일째 2.25%에서 시작하여 8일째에는 9.92%까지 급격히 상승하며 다른 처리구 대비 압도적으로 높은 수분 손실을 기록하였다. 반면, MPP5 처리구는 저장 8일째에도 0.70% 미만의 매우 낮은 감소율을 유지하여 수분 보존 효과가 가장 우수하였고, OPP 처리구 역시 0.67% 수준으로 유사하게 낮은 수치를 나타내었다. PET 처리구는 저장 8일째 1.49%를 기록하며 MPP5 및 OPP보다는 높지만, perforated OPP보다는 현저히 낮은 수준을 보였다.

이러한 결과는 포장재의 구조적 차이에서 기인한다. 천공 구조를 가진 perforated OPP는 내부 수분이 외부로 빠르게 방출된 반면, 적절한 차단성을 가진 MPP5와 OPP 필름은 내부 습도를 효과적으로 유지한 것으로 판단된다. 따라서 상온 저장 시 수분 손실에 따른 상품성 저하를 막기 위해서는 과도한 기체 투과보다는 적정 수준의 차단력을 갖춘 필름 선택이 필수적이다.

3. 경도 및 가용성 고형물 함량 변화

저장 기간 동안 꽃송이버섯의 경도(firmness)는 모든 처리구에서 전반적으로 유사한 수준을 유지하였으며, 처리구 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Fig. 3). 경도 값은 저장 기간 동안 약 2.0~2.5 N 범위에서 유지되었으며, 필름 종류에 따른 뚜렷한 변화는 확인되지 않았다.

저장 4일째 PET 처리구에서 일시적으로 낮은 값을 나타내어 다른 처리구와 차이가 관찰되었으나($p < 0.05$), 이후 저장 6일 및 8일째에는 다시 유사한 수준을 나타내었다. 이러한 변화는 개체 간 변이에 따른 일시적 차이로 판단된다.

가용성 고형물(soluble solids content, SSC)은 저장 기간 동안 소폭 증가하는 경향을 나타내었으나, 전반적으로 처리구

간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 저장 초기 약 1.2°Bx 수준에서 시작하여 저장 후기에는 일부 처리구에서 1.6~1.7°Bx까지 증가하는 경향이 관찰되었으나, 처리구 간 일관된 차이는 확인되지 않았다.

4. 색도 변화

꽃송이버섯의 색도 변화는 갓(pileus)과 대(stipe) 부위별

로 상이한 경향을 나타내었다(Fig. 4).

4.1. 갓(pileus)의 색도 변화

갓의 명도(L*) 값은 저장 기간 동안 큰 변화 없이 비교적 일정한 수준을 유지하였으며, 처리구 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다(ns). 저장 기간 전반에 걸쳐 약 68~72 범위 내에서 유지되는 경향을 보였다.

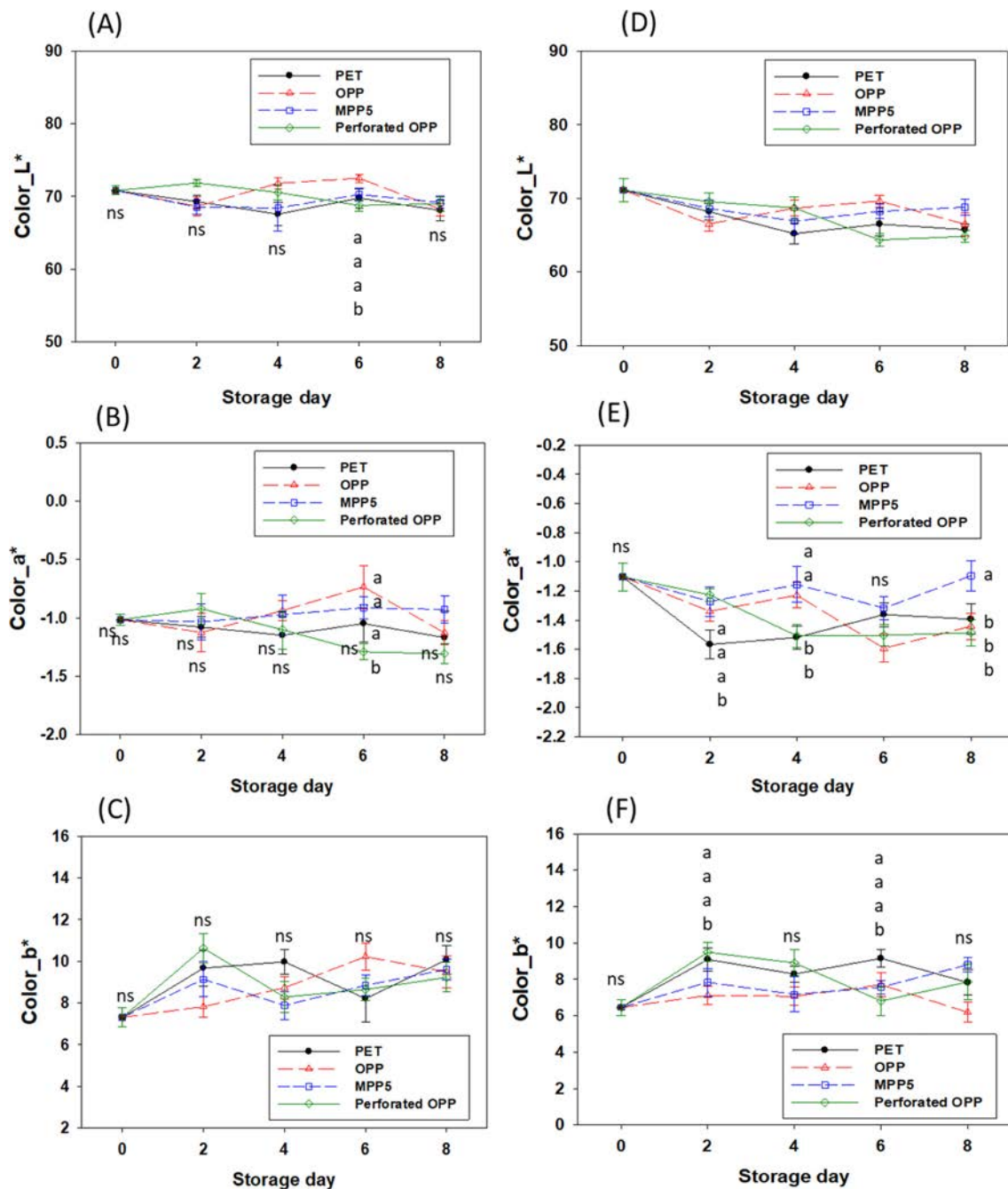


Fig. 4. Changes in color parameters (Hunter L*, a*, and b*) of pileus (A–C) and stipe (D–F) of *Sparassis latifolia* under different packaging films during ambient storage. Values are expressed as mean $\pm$ standard error (SE). Different letters indicate significant differences among treatments at each storage day ($p < 0.05$), while the same letters or ns indicate no significant difference.

a* 값은 저장 기간 동안 뚜렷한 변화 없이 유사한 수준을 나타내었으며, 대부분의 저장 기간에서 처리구 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다(ns). 다만 저장 6일째 perforated OPP 처리구에서 상대적으로 낮은 값을 나타내어 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.05$).

b* 값은 저장 기간 동안 소폭 증가하는 경향을 보였으나, 처리구 간 유의적인 차이는 대부분 나타나지 않았다(ns). 저장 2일째 perforated OPP 처리구에서 일시적으로 높은 값을 나타내었으나 이후 저장 기간 동안 처리구 간 차이는 감소하는 경향을 보였다.

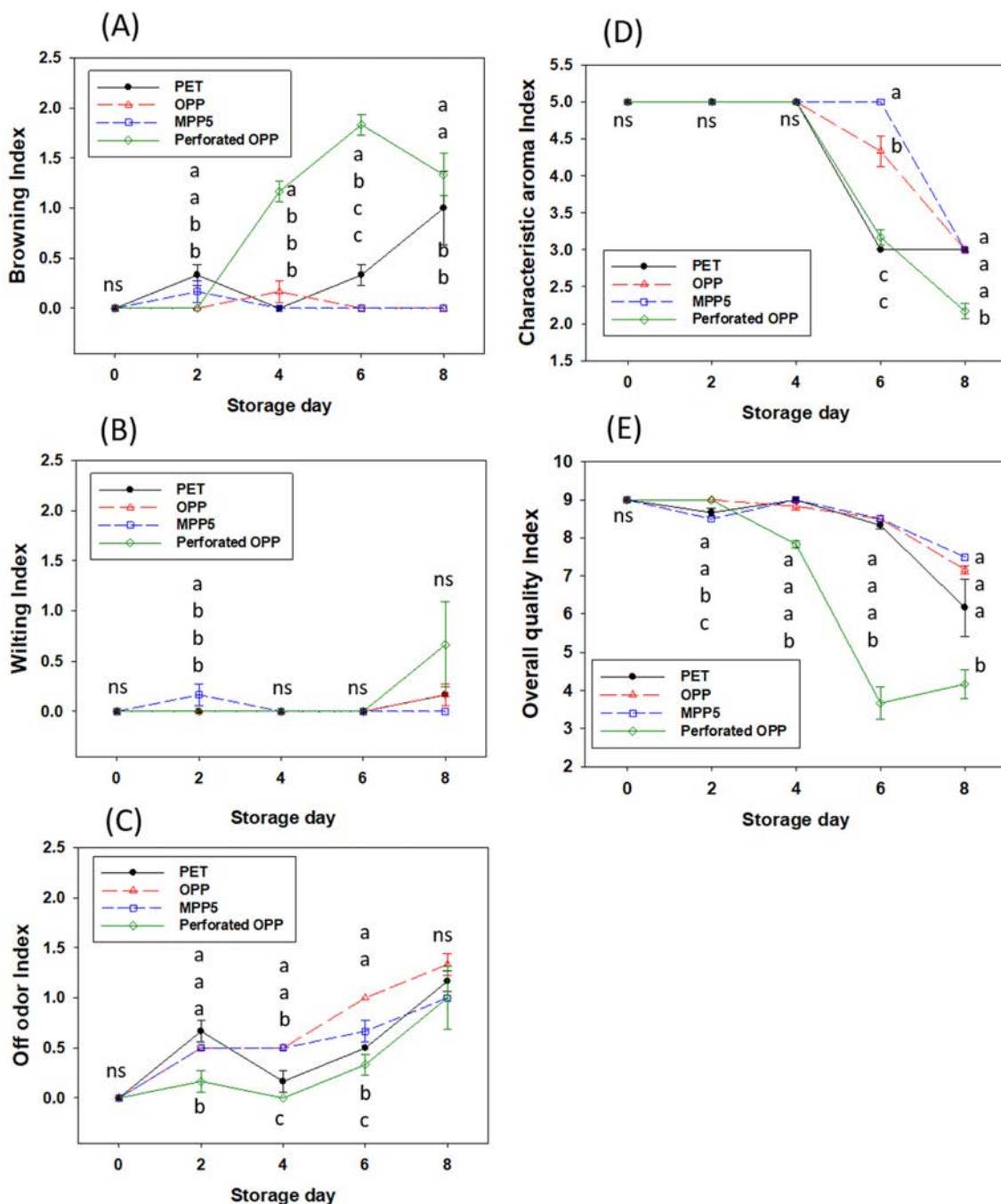


Fig. 5. Changes in browning index (A), wilting index (B), off-odor index (C), characteristic aroma index (D), and overall quality index (E) of *Sparassis latifolia* under different packaging films during ambient storage. Values are expressed as mean $\pm$ standard error (SE). Different letters indicate significant differences among treatments at each storage day ($p < 0.05$), while the same letters or ns indicate no significant difference.

4.2. 대(stipe)의 색도 변화

대의 명도(L*) 값은 저장 기간 동안 감소하는 경향을 나타내었으나, 대부분의 저장 기간에서 처리구 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다(ns). 저장 후기에는 일부 처리구에서 낮은 값을 나타내는 경향이 관찰되었다.

a* 값은 저장 기간 동안 감소하는 경향을 보였으며, 처리구 간 차이가 일부 구간에서 나타났다. 특히 저장 2일 및 4일째 PET 및 perforated OPP 처리구에서 상대적으로 낮은 값을 나타내었으며($p < 0.05$), 이후 저장 후기에는 처리구 간 차이가 감소하는 경향을 보였다.

b* 값은 저장 기간 동안 증가하는 경향을 나타내었으며, 저장 2일째 처리구 간 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.05$). Perforated OPP 처리구에서 상대적으로 높은 값을 나타내었으며, 이후 저장 기간 동안 처리구 간 차이는 점차 감소하였다.

5. 이취, 고유 향기, 갈변, 시들음 및 총괄품질 변화

이취(off-odor index)는 저장 기간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 5). 저장 초기에는 처리구 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 저장 2일 이후부터 처리구 간 차이가 발생하였다. 저장 8일째에는 OPP 처리구에서 가장 높은 값을 나타내었으며, MPP5 및 PET 처리구는 상대적으로 낮은 수준을 유지하였다. Perforated OPP 처리구는 저장 초기에는 낮은 값을 보였으나 저장 후기에는 증가하는 경향을 나타내었다($p < 0.05$).

향기(characteristic aroma index)는 저장 기간 동안 감소하는 경향을 나타내었다. 저장 4일까지는 처리구 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 저장 6일 이후부터 차이가

발생하였다. 특히 perforated OPP 처리구에서 감소 폭이 크게 나타나 저장 8일째 가장 낮은 값을 보였으며, MPP5 처리구는 상대적으로 높은 값을 유지하였다($p < 0.05$).

갈변지수(browning index)는 저장 기간 증가에 따라 처리구별로 상이한 변화를 나타내었다. Perforated OPP 처리구에서 저장 6일 이후 급격한 증가가 나타났으며, 저장 8일째에도 높은 값을 유지하였다. 반면, MPP5 처리구는 전 저장 기간 동안 낮은 수준을 유지하였다. OPP 및 PET 처리구는 중간 수준의 값을 나타내었으며, 저장 후기에는 처리구 간 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.05$).

시들음지수(wilting index)는 저장 후기에서 처리구 간 차이가 나타났다. 저장 6일까지는 처리구 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 저장 8일째 perforated OPP 처리구에서 급격한 증가가 확인되었으며, 다른 처리구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다($p < 0.05$).

총괄품질은 저장 기간 동안 감소하는 경향을 나타내었다. 저장 4일까지는 처리구 간 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 저장 6일 이후부터 차이가 발생하였다. Perforated OPP 처리구에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, MPP5 처리구는 저장 기간 동안 가장 높은 값을 유지하였다. OPP 및 PET 처리구는 그 사이의 값을 나타내었다($p < 0.05$).

6. 품질 인자와 총괄품질 간 상관관계 분석

꽃송이버섯의 저장 중 품질 인자와 총괄품질 간의 상관관계를 분석한 결과, 주요 품질 인자 간 뚜렷한 상관성이 확인되었다(Table 2).

갈변지수(browning index)는 총괄품질과 매우 강한 음의 상관관계($r = -0.876$)를 나타내어, 갈변이 진행될수록 총괄품질

Table 2. Pearson's correlation coefficients between overall quality and quality factors of *Sparassis latifolia* during ambient storage

Quality factor	r value	Interpretation
Browning	-0.876	Very strong negative correlation
Aroma	0.866	Very strong positive correlation
Storage day	-0.772	Quality decreases over time
O ₂	-0.768	Lower O ₂ associated with better quality
CO ₂	0.747	Higher CO ₂ associated with better quality
Off-odor	-0.671	Increase in off-odor leads to quality deterioration
Wilting	-0.614	Increase in wilting leads to quality deterioration
b* (stipe)	-0.535	Moderate correlation
b* (pileus)	-0.435	Moderate correlation
SSC	-0.399	Weak to moderate correlation
L* (stipe)	0.272	Weak correlation
a* (stipe)	0.216	Weak correlation
L* (pileus)	0.197	Weak correlation
a* (pileus)	0.159	Weak correlation
Firmness	0.087	Negligible correlation

질이 크게 저하되는 것으로 확인되었다. 반면, 향기(aroma)는 총괄품질과 매우 강한 정의 상관관계($r=0.866$)를 나타내어, 향기 유지가 품질 유지에 중요한 요소로 작용함을 확인하였다.

저장 기간(storage day)은 총괄품질과 음의 상관관계($r=-0.772$)를 나타내어 저장 기간이 경과함에 따라 품질이 감소하는 경향을 보였다. 또한 산소(O_2) 농도는 총괄품질과 음의 상관관계($r=-0.768$)를 나타낸 반면, 이산화탄소(CO_2) 농도는 정의 상관관계($r=0.747$)를 나타내어, 저산소 및 고이산화탄소 조건이 품질 유지에 유리한 환경임을 시사하였다.

이취(off-odor)와 시들음(wilting) 또한 각각 총괄품질과 음의 상관관계($r=-0.671$, -0.614)를 나타내어, 관능적 품질 저하 요인으로 작용하는 것으로 확인되었다.

색도 관련 인자에서는 b^* 값이 총괄품질과 중간 수준의 음의 상관관계를 나타내었으며(b_{stipe} : $r=-0.535$, b_{pileus} : $r=-0.435$), 명도(L^*)와 적색도(a^*)는 상대적으로 낮은 상관관계를 나타내었다.

반면, 가용성 고형물(SSC)과 경도(firmness)는 총괄품질과 낮거나 거의 무관한 상관관계를 나타내어($r=-0.399$, 0.087), 본 연구 조건에서는 주요 품질 결정 요인으로 작용하지 않는 것으로 확인되었다.

7. 품질 인자 간 상관관계 분석

상온 저장 조건에서 꽃송이버섯의 품질 인자 간 상관관계를 분석한 결과, 각 인자 간 뚜렷한 상관 구조가 확인되었다(Fig. 6).

총괄품질(overall quality)은 갈변(browning), 이취(off-odor), 시들음(wilting) 및 중량감소(weight loss)와 음의 상관관계를 나타낸 반면, 향기(aroma) 및 이산화탄소(CO_2)와는 정의 상관관계를 나타내었다. 특히 갈변과 향기는 총괄품질과 높은 상관성을 보이는 주요 인자로 확인되었다.

기체 조성 인자에서는 산소(O_2)와 이산화탄소(CO_2)가 상호 반대 경향을 나타내었으며, O_2 는 갈변, 이취 및 중량감소와 정의 상관관계를 보인 반면, CO_2 는 이들 인자와 반대되는 경향을 나타내었다.

관능적 품질 인자 간에도 뚜렷한 상관성이 확인되었다. 갈변, 시들음 및 이취는 서로 정의 상관관계를 나타내었으며, 향기는 이들 인자와 음의 상관관계를 나타내었다.

색도 인자(L^* , a^* , b^*)는 상대적으로 낮은 상관성을 나타내었으며, 갓(pileus)과 대(stipe)의 색도 변수 간에는 정의 상관관계가 확인되었으나 총괄품질과의 직접적인 연관성은 제한적으로 나타났다. 또한 경도(firmness)와 가용성 고형물(SSC)은 다른 품질 인자와의 상관성이 낮게 나타났다.

8. 포장 필름에 따른 품질 유지 기작 및 저장성 평가

본 연구에서 포장 필름의 종류는 저장 중 꽃송이버섯의 품질 변화를 결정짓는 핵심 요인으로 작용하였다. 차단성이 높은 OPP 및 MPP5 처리구에서는 포장 내부의 산소(O_2) 농도가 거의 0%에 근접한 수준으로 급격히 감소하고 이산화탄소(CO_2) 농도가 빠르게 상승하여 변조대기(MA) 환경이 형성되었다. 이러한 가스 조성의 변화는 선행 연구^{1,17)}에서 보고된 바와 같이, 버섯의 호흡률을 억제하고 대사 활

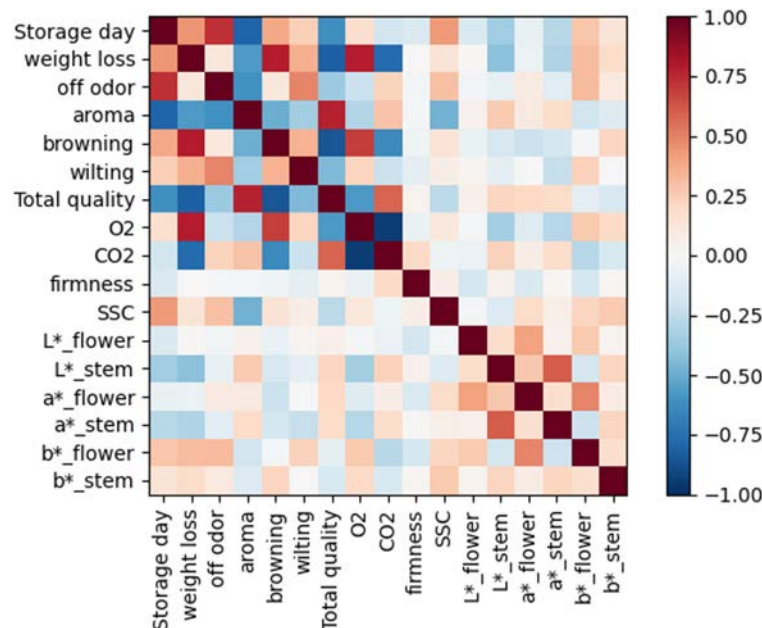


Fig. 6. Correlation matrix of quality attributes of *Sparassia latifolia* under ambient storage conditions. Red and blue colors indicate positive and negative correlations, respectively.

동을 둔화시킴으로써 가용성 고형물의 소모를 줄이고 조직 연화를 지연시키는 핵심 기작으로 작용하였다. 특히 적정 수준의 CO₂ 농도 유지는 수확 후 산물의 생리적 열화를 방지하는 데 필수적이며¹⁸⁾, 이는 꽃송이버섯의 영양성분 보존에도 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다⁶⁾.

반면, 천공 구조를 가진 perforated OPP 처리구는 대기 농도와 유사한 가스 환경을 유지하였으나, 이로 인해 높은 호흡 활성이 지속되면서 중량 감소가 가속화되고 갈변이 빠르게 진행되었다. 이는 포장재의 높은 기체 투과성이 오히려 수분 손실을 유도하여 품질 열화를 앞당길 수 있다는 결과¹³⁾와 일치하며, 버섯류의 증산 작용과 온도 및 습도 간의 상관관계^{6,9)}를 고려할 때 상온 저장 시 천공 포장의 한계를 보여준다.

품질 지표 간의 상관관계 분석 결과, 전체적인 상품성은 갈변도 및 이취 발생과 매우 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났으며^{4,18)}, 이는 신선 버섯의 저장 수명을 결정짓는 주요 변수임을 시사한다. 결론적으로, 신선 꽃송이버섯의 상온 저장 시 상품성을 유지하기 위해서는 단순한 통기성 확보보다는 대상 작물의 생리적 특성에 최적화된 가스 투과도를 가진 필름을 선택하여 내부 대사 환경을 정밀하게 제어하는 것이 필수적이다¹⁴⁾.

본 연구 결과는 실제 산업 현장에서 꽃송이버섯의 상온 유통 시 ‘골든 타임’을 설정하고 재고 관리를 효율화하는 데 중요한 근거를 제공한다. 실험 데이터에 따르면, perforated OPP는 저장 4일 이후 품질이 급격히 저하되어 단거리 유통이나 즉시 소진용으로 제한적 사용이 권장되는 반면, MPP5 및 OPP 포장재는 상온에서도 6~8일까지 상품성을 안정적으로 유지하여 중거리 유통 및 전략적 재고 관리가 가능함을 확인하였다. 따라서 저온 물류 시스템(cold-chain)이 완벽하지 않은 환경에서는 포장재별로 차별화된 최대 유통 가능 기간(shelf-life)을 설정함으로써 유통 중 발생하는 손실률을 최소화하고 상품 가치를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

본 연구는 상온 저장 중 포장 필름 종류에 따른 꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)의 품질 변화 및 저장성에 미치는 영향을 평가하기 위해 수행하였다. 꽃송이버섯을 PET, OPP, MPP5 및 미세천공 OPP 필름으로 포장한 후 상온에서 8일간 저장하며 포장 내부 기체 조성(O₂ 및 CO₂), 중량감소, 이화학적 특성 및 품질 지표의 변화를 분석하였다. OPP 및 MPP5 필름은 저장 초기 저산소(0%에 근접) 및 고이산화탄소(약 16-17%) 환경을 빠르게 형성한 반면, 미세천공 OPP는 대기와 유사한 조건을 유지하였다. 이러한 기체 조성 차이는 품질 변화에 유의한 영향을 미쳤으며,

MPP5 처리구는 중량감소가 가장 적고 전반적인 품질을 안정적으로 유지하였다. 반면, 미세천공 OPP 처리구는 저장 4일 이후 급격한 품질 저하를 나타내었다. 갈변($r = -0.876$)과 향기($r = 0.866$)는 총괄품질에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 나타났으며, 총괄품질은 산소 농도와 음의 상관, 이산화탄소 농도와 정의 상관을 나타내었다. 이상의 결과로부터 MPP5 필름은 상온 저장 조건에서 꽃송이버섯의 품질 유지 및 저장 기간 연장에 가장 효과적인 포장재로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01733402)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Kader, A.A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. 3rd ed. Univ. Calif. Agric. Nat. Resour., Davis, CA, USA, pp. 532-534.
- Innocent, K. and Matenda, R. 2018. Postharvest technology and value addition of watermelons (*Citrullus lanatus*): An overview. J. Postharvest Technol. 6:75-83.
- Mao, L., Karakurt, Y. and Huber, D.J. 2004. Incidence of water-soaking and phospholipid catabolism in ripe watermelon fruit: induction by ethylene and prophylactic effects of 1-methylcyclopropene. Postharvest Biol. Technol. 33:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.12.007>
- Linke, M. and Geyer, M. 2013. Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables. J. Food Eng. 116:144-154. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.11.025>
- Choi, J.W., Kwon, N., Cho, J.H., Heo, B.S., An, G.H., Chang, M.S. and Lim, J.G. 2025. A comprehensive review of quality preservation and processing utilization techniques for fresh *Sparassis latifolia* during storage and distribution. J. Korea Soc. Packag. Sci. Technol. 31(2):141-155. <https://doi.org/10.20909/kopast.2025.31.2.141>
- Lei, M., Guo, L., Zhang, Y., Yan, X., Jiang, F. and Sun, B. 2024. Effectiveness of anaerobic treatment combined with microperforated film packaging in reducing *Agaricus bisporus* postharvest browning. Postharvest Biol. Technol. 211:112833. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112833>
- Cheng, Y., Wei, Y., Zhang, M. and Wang, H. 2022. Effect of micro-perforated film packing on physicochemical quality and volatile profile of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest shelf-life. J. Food Process. Preserv. 46:e16648. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16648>
- Zhang, P., Fang, D., Pei, F., Wang, C., Jiang, W. and Hu, Q. 2022. Nanocomposite packaging materials delay the browning of *Agaricus bisporus* by modulating the melanin pathway. Postharvest Biol. Technol. 192:112014. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112014>
- Wang, B., Yun, J., Ye, C., Xu, S., Guo, W. and Zhao, F.

2024. A novel polyethylene nanopackaging combined with ozone fumigation delayed the browning and softening of *Agaricus bisporus* during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 210:112771. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112771>
10. Ni, X., Yu, J., Shao, P., Yu, J., Chen, H. and Gao, H. 2021. Preservation of *Agaricus bisporus* freshness with innovative ethylene-manipulating active packaging paper. *Food Chem.* 345:128757. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128757>
 11. Wu, W., Ni, X., Shao, P. and Gao, H. 2021. Novel packaging film for humidity-controlled manipulating of ethylene for shelf-life extension of *Agaricus bisporus*. *LWT* 145:111331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111331>
 12. Wu, W., Wu, Y., Lin, Y. and Shao, P. 2022. Facile fabrication of multifunctional citrus pectin aerogel fortified with cellulose nanofiber as controlled packaging of edible fungi. *Food Chem.* 374:131763. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131763>
 13. Cho, M.A., Choi, J.W., Lee, C.M. and Park, J.C. 2025. Changes in quality characteristics of shiitake mushrooms after UV-C treatment and the inhibitory effect of their ethanol extract on lung cancer cell proliferation. *Food Sci. Preserv.* 32(4):733-744. <https://doi.org/10.11002/fsp.2025.32.4.733>
 14. Kader, A.A. 2013. Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities. In: *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd ed. Kader, A.A. (ed.), Univ. Calif. Agric. Nat. Resour., Davis, CA, USA, pp. 135-170.
 15. Mahajan, P.V., Oliveira, F.A.R. and Macedo, I. 2008. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of mushrooms. *Postharvest Biol. Technol.* 48:219-225. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.019>
 16. Roy, S., Anantheswaran, R.C. and Beelman, R.B. 1996. Fresh mushroom quality affected by modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 61:391-396. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14188.x>
 17. Mahajan, P.V., Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B. and Geyer, M. 2014. Postharvest treatments of fresh produce. *Philos. Trans. R. Soc. A* 372:20130309. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>
 18. An, D.S., Lee, J.H., Lee, H.L. and Lee, D.S. 2014. Application of master packaging system to fresh shiitake mushroom supply chain on semi-commercial scale. *J. Korea Soc. Packag. Sci. Technol.* 20(3):71-76.
 19. Choi, J.W., Kim, S.H., Hong, S.I., Jeong, M.C., Park, H.W. and Kim, D.M. 2022. Development of improved vacuum packaging film and machine for extending the shelf life of enoki mushroom (*Flammulina velutipes*). *J. Korea Soc. Packag. Sci. Technol.* 28(1):1-10. <https://doi.org/10.20909/kopast.2022.28.1.1>

투고: 2026.04.21 / 심사완료: 2026.07.15 / 게재확정: 2026.07.30