



Research Article

# The effect of aluminum coating to corrugated packaging on quality characteristics of *Enoki* mushrooms (*Flammulina velutipes*) during storage

## 골판지 포장지의 알루미늄 코팅이 팽이버섯의 저온저장 중 품질 특성에 미치는 영향

Ah-Na Kim<sup>1</sup>, Kyo-Yeon Lee<sup>2</sup>, Chae-Eun Park<sup>3</sup>, Se Ri Kim<sup>4</sup>, Song Yi Choi<sup>4</sup>, Injun Hwang<sup>4</sup>, Kyung Min Park<sup>4</sup>, Sung-Gil Choi<sup>2,3\*</sup>

김아나<sup>1</sup> · 이교연<sup>2</sup> · 박채은<sup>3</sup> · 김세리<sup>4</sup> · 최송이<sup>4</sup> · 황인준<sup>4</sup> · 박경민<sup>4</sup> · 최성길<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Digital Factory Project Group, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology (Institute of Agriculture and Life Sciences), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>3</sup>Division of Applied Life Science (BK21), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>4</sup>Microbial Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 54875, Korea

<sup>1</sup>한국식품연구원 디지털팩토리사업단, <sup>2</sup>경상국립대학교 식품공학과(농업생명과학연구원),

<sup>3</sup>경상국립대학교 응용생명과학부 응용생명과학전공(BK21), <sup>4</sup>농촌진흥청 유해생물과



OPEN ACCESS

**Citation:** Kim AN, Lee KY, Park CE, Kim SR, Choi SY, Hwang I, Park KM, Choi SG. The effect of aluminum coating to corrugated packaging on quality characteristics of *Enoki* mushrooms (*Flammulina velutipes*) during storage. Food Sci. Preserv., 31(4), 612-622 (2024)

**Received:** April 11, 2024

**Revised:** July 02, 2024

**Accepted:** July 03, 2024

**\*Corresponding author**

Sung-Gil Choi

Tel: +82-55-772-1906

E-mail: sgchoi@gnu.ac.kr

Copyright © 2024 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract** We examined the physicochemical properties and microbial safety of *Enoki* mushrooms during storage at 5°C for 9 weeks, with different packaging containers that are corrugated, Al-coated, and without packaging (control). The weight change of *Enoki* mushrooms in the different containers due to moisture loss was 1.9%, 0.9%, 0.6% for control, corrugated, and Al-coated packaging, respectively. The degree of browning rapidly increased as the storage period increased in the control sample. However, corrugated and Al-coated packaging suppressed the browning degree. The changes of color L-, a-, and b-values were minimal changes in Al-coated packaging. There was no significant difference in the total amino acids, polyphenol oxidase, and peroxidase in corrugated packaging and Al-coated packaging, regardless of the storage period. The microbial growth such as total aerobic bacteria, yeast, and mold of *Enoki* mushroom during the storage period, were significantly suppressed in Al-coated packaging samples as compared to the control and corrugated packaging. In conclusion, Al-coated packaging has beneficial effects such as preventing moisture loss, maintaining browning degree, inhibiting oxidative enzyme reaction, and ensuring microbial safety of *Enoki* mushrooms during the storage period. Al-coated packaging is considered effective for extending the shelf-life and improving the storage and distribution of mushrooms.

**Keywords** *Flammulina velutipes*, *Enoki* mushroom, Al-coated packaging, physicochemical property, storage

## 1. 서론

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 분류학적으로 담자균류(*Basidiomycetes*) 주름버섯목(*Agaricales*) 송이과(*Tricholomataceae*)에 속하는 버섯으로 목재를 썩게 하는 백색 부패균의 일종이다(Diaz-Goldinez 과 Téllez-Téllez, 2021). 자실체가 4-12°C의 저온, 11-4월경 겨울에 발생하므로 “winter mushroom”

또는 “golden mushroom”이라고도 불린다(Jhone 등, 2012a). 팽이버섯의 단백질 다당류인 flammutoxin은 혈압강화 작용 및 높은 혈전 용해능으로 인해 동맥경화 예방 및 담석 형성을 방지하며 타우린 함량이 다른 버섯에 비해 우수하다고 알려져 있다(Cai 등, 2013; Chen 등, 2019; Muszyńska 등, 2022). 또한, 높은 생리활성 효능과 함께 특유의 맛, 향 및 조직감으로 인해 우리나라와 일본을 비롯한 아시아 지역에서 인기가 높은 저온성 버섯이다(Jo 등, 2010).

일반적으로 버섯류는 호흡속도가 빨라 수확 후 품질저하가 급속하게 진행되는 진균류 작물로서(Guo 등, 2023) 특히, 팽이버섯은 수분 함량이 높고 호흡량이 많으며, 갈변 및 부패가 빠르게 진행되어 유통기간이 짧아 수확 직후 예냉처리, 저온 또는 동결저장 및 저온유통 등의 유통 및 저장 과정 중 온도 관리와 생리활성을 낮추기 위한 기체환경 조절 기술이 필수적으로 요구된다(Kim 등, 2006; Lee 등, 2004). 팽이버섯의 저장수명을 판단하는 요인으로 주로 갈변, 길이의 신장, 이취 발생 여부를 들 수 있는데(Lim 등, 2014), 호흡률을 조절하게 되면 저장수명의 연장이 가능할 수 있으나, 팽이버섯의 경우 수확 후 호흡작용이 왕성하여 변질 속도가 빨라 호흡률 예측이 어렵다. 또한, 팽이버섯의 선도유지와 저장기간 연장을 위한 기체 환경 조절 포장에 대한 연구가 다수 진행되고 있으나(Donglu 등, 2016; Guo 등, 2023; Lim 등, 2014), 팽이버섯의 유통 및 저장 중 품질저하를 줄이기 위한 포장용기에 관한 연구는 미미하다. 현재, 팽이버섯의 포장은 관행적으로 수행되고 있는 진공포장을 할 경우 10°C에서 9일 정도까지는 품질 유지가 가능한 것으로 보고되어 있다(Kang 등, 2001).

식품산업의 발달과 함께 농산물의 유통량이 지속적으로 증가됨에 따라 유통과정 중 농산물의 신선도를 유지하고, 수송에 따른 농산물의 보존과 충격을 완화하기 위하여 현재 농산물의 포장에 골판지 상자가 주로 사용되고 있다. 골판지 상자는 운반 과정에서 발생하는 외부 충격으로부터 내용물의 보호, 취급의 편의성, 포장 작업의 자동화, 자원의 재생 및 재이용 가능성 등의 장점을 가지고 있다(Kim 등, 2017). 반면에 이러한 골판지 상자는 유통과정 중 농산물의 호흡, 증산 작용 등으로 발생하는 수분이 골판지 원지에 흡수되어 포장재의 강도가 저하되어 물리적 충격으로부터의 보호성이 떨어지는 문제점이 발생되고 있으며, 포장산물의 신선도 및 상품성 저하도 불가피하다(Kim 등, 2022).

이와 같은 골판지 상자의 문제점을 보완하기 위해서 상자 내부에 polyamide(PA)(Cha 등, 2013), low density polyethylene(LDPE)(Park과 Kim, 2000)과 같은 소재의 기능성 필름을 코팅함으로써 골판지 상자를 개선하여 농산물 선도를 유지하는 연구가 진행되고 있다. 최근 국내 농산물 시장에서는 유통 과정에서의 농산물 품질 유지를 위한 기존의 골판지상자 포장의 문제점 보완이 요구되고 있는 실정이다. 여러 식품 포장재 중 알루미늄은 건조식품, 과자류, 냉동식품 등의 포장에서 무독, 무

미, 무취, 방습성, 내수성, 내기성 등의 우수한 장점을 가지고 있어 활용도가 넓으나(Escher, 2007; Lamberti와 Kim, 2017; Tyagi 등, 2021), 현재까지 농산물의 포장에는 적용되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 골판지상자 내부에 알루미늄을 코팅하여 기능성이 증가된 포장용 골판지상자를 개발하여 팽이버섯의 저온저장 중 이화학적 품질변화를 측정하여 알루미늄-코팅 골판지상자의 농산물 포장에 대한 효율성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 실험에 사용한 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 전남 나주에서 생산된 것을 진주시 농산물 도매시장에서 구매하여 사용하였다. 팽이버섯은 150 g씩 소포장 및 반진공(팽이버섯의 포장재: 0.03 mm, polypropylene bag)된 것을 구매하였다. 시료는 외상이 없고 외피색이 유사한 것을 선별하여 실험에 사용하였다. 연구에 사용된 시약 trichloroacetic acid, sodium citrate, polyvinylpyrrolidone, Triton X-100, sodium phosphate, *p*-phenylenediamin, hydrogen peroxide은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)사에서 구입하여 사용하였다.

### 2.2. 포장 용기

포장용기는 진주 디자인팩에서 제작한 것을 제공받아 사용하였다. 골판지상자는 A골로 제작하였고 라이너 인쇄종이 SC220, 골심지 K, 골심지 Ck, 골심지 K, 라이너 인쇄종이 백 라이너 순으로 구성되어 있으며, 외측과 내측의 크기는 각각 270×202×150 mm, 265×204×145 mm이며, 5 mm의 두께로 제조되었다. 골판지상자 내측에 알루미늄 증착필름을 접착한 후 유광 라미네이팅 처리한 것을 알루미늄(Al)-코팅 골판지상자, Al-코팅 처리가 없는 골판지상자를 일반 골판지상자로 구분하였다.

### 2.3. 포장방법 및 저장조건

반진공 포장된 팽이버섯을 일반 골판지상자 및 Al-코팅 골판지상자에 각각 8팩씩 포장하였으며, 이를 5±0.5°C의 배양기에서 9주 동안 저장하면서 품질변화를 측정하였다. 이때 골판지상자에 담지 않은 팽이버섯을 대조구로 하여 비교하였다.

### 2.4. 중량 변화를 측정

포장방법을 달리한 팽이버섯의 저장기간별 중량 변화율은 포장 직전 초기중량( $W_0$ )을 기준으로 저장 후 중량( $W_t$ )을 측정하여 얻은 중량 손실에 대한 백분율( $\Delta W$ )로 나타내었다.

$$\Delta W(\%) = W_t / W_0 \times 100$$

## 2.5. pH 측정

팽이버섯의 pH는 버섯 중량 대비 50%의 증류수를 첨가하여 30초간 마쇄 후 이를 여과한 여액을 pH meter(735P, Isteck, Seoul, Korea)로 측정하였다.

## 2.6. 경도 측정

팽이버섯의 경도측정은 Lim 등(2014)의 방법을 참고하여 측정하였다. 팽이버섯의 자루 부분을 2 cm 크기로 절단하여 texture analyzer(TA-XT Express, Micro Stable System, Surrey, UK)로 SMS-P/S probe를 장착하여 측정하였다. 측정 조건으로 trigger force는 5.0 g이었으며, pre-test, test, post test speed 모두 1.0 mm/s로 설정하였고, 조건당 30회 반복 측정값을 평균하여 나타내었다.

## 2.7. 갈변도 측정

팽이버섯의 갈변도는 버섯 중량 대비 2배의 증류수 및 2배의 10% trichloroacetic acid를 혼합하고 30초간 마쇄하였다. 이를 여과하여 분광광도계(UV-1800, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다(Roig 등, 1999).

## 2.8. 색도 측정

저장기간별 팽이버섯을 액체질소를 가하여 동결건조한 후 분쇄시켜 얻은 분말을 색도 측정에 사용하였다. 표준백색판으로 보정된 색차계(Minolta CT-310, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 L(lightness), a(redness) 및 b(yellowness)값을 5회 반복 측정하였다. 이때 표준백색판의 L값은 94.6, a값은 0.29, b값은 0.30이었다.

## 2.9. 구성아미노산 분석

팽이버섯 10 g을 마쇄한 후 0.5 g을 취하여 분해용 플라스크에 넣고 6 N HCl 3 mL를 가하여 잘 혼합한 후 7분간 질소가스를 충전시켜 밀봉한 다음 110°C heating block에서 24시간 분해시켰다. 이를 실온으로 냉각하여 여과·농축하고 pH 2.2의 sodium citrate 완충액으로 10 mL로 정용한 후 0.2 µm membrane filter, sep-pak C<sub>18</sub> cartridge에 차례로 통과시킨 후 아미노산 자동분석기(Amino acid analyzer 835, Hitachi, Tokyo, Japan)로 분석하였다.

## 2.10. 산화효소 활성 측정

팽이버섯의 산화효소 활성을 알아보기 위하여, 과채류의 주요 산화효소인 polyphenol oxidase(PPO)와 peroxidase(POD) 활성을 측정하였다. 효소의 추출은 Eshghi 등(2014)의 방법을 응용하였으며, 효소 활성은 Terefe 등(2009)의 방법을 참고하

여 측정하였다. 각 저장기간별 팽이버섯 시료는 액체질소를 이용하여 동결건조하여 분말화하여 사용하였다. PPO와 POD의 추출은 4% polyvinylpyrrolidone, 1% Triton X-100, 1 M NaCl이 용해된 0.2 M sodium phosphate 완충액(pH 6.5) 10 mL에 동결건조 시료 0.2 g을 혼합하여 10,000 ×g에서 30초간 균질화하였다. 이후 shaker를 이용하여 200 ×g로 4°C에서 2시간 동안 교반하면서 추출한 후 이를 여과하여 효소용액으로 사용하였다. PPO 활성 측정을 위한 기질용액은 0.05 M sodium phosphate 완충액(pH 6.5)에 0.07 M catechol을 용해하여 제조하였다. 효소용액 75 µL에 기질용액 3 mL를 첨가한 후 분광광도계의 kinetic mode를 이용하여 420 nm에서 10분 동안 흡광도의 변화를 측정하였다. POD 활성 측정을 위한 기질용액은 200 µL의 효소용액에 1.5 mL의 0.05 M sodium phosphate 완충액(pH 6.5), 200 µL의 1% *p*-phenylenediamin이 용해된 0.05 M sodium phosphate 완충액, 200 µL의 1.5% hydrogen peroxide가 용해된 0.05 M sodium phosphate 완충액을 혼합하여 분광광도계의 kinetic mode를 이용하여 482 nm에서 10분 동안 흡광도의 변화를 측정하였다. 모든 추출용액과 기질용액은 분석 직전에 제조하였으며, 산화효소 활성 1 unit은 효소 추출액의 1분당 0.001의 흡광도 변화인 U/g/min으로 나타내었다.

## 2.11. 미생물 수 측정

팽이버섯의 포장방법에 따른 저장기간별 미생물의 증식정도를 알아보기 위하여 일반세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이 수를 측정하였다. 팽이버섯 5 g을 멸균된 stomacher bag에 넣은 후 0.85% 멸균생리식염수로 10배 희석하여 stomacher로 2분간 균질화하였다. 이후 10배씩 단계별 희석하여 시료를 준비하였으며 희석한 시료 1 mL를 일반세균 Petrifilm™ aerobic count plate(3M Company, St. paul, MN, USA)에 접종하였다. 배지를 35°C에서 48시간 배양하여 30-300개 사이의 colony 수를 측정하였다. 대장균군은 상기의 방법과 동일하게 단계 희석하여 Petrifilm™ coliform count plate(3M Company)에 접종하였고 35°C에서 24시간 배양 후 기포를 가진 red colony만을 확인하였다. 효모 및 곰팡이는 상기의 방법과 동일하게 단계 희석하여 Petrifilm™ yeast & mold count plate(3M Company)에 접종하였고 25°C에서 5일간 배양 후 green, yellow, pink 등의 모든 colony를 측정하였다. 대장균군, 일반세균, 효모 및 곰팡이는 수분 함량을 보정한 시료 1 g dw(dry weight)당 colony-forming units(CFU)을 log 단위로 환산하여 나타내었다.

## 2.12. 통계 분석

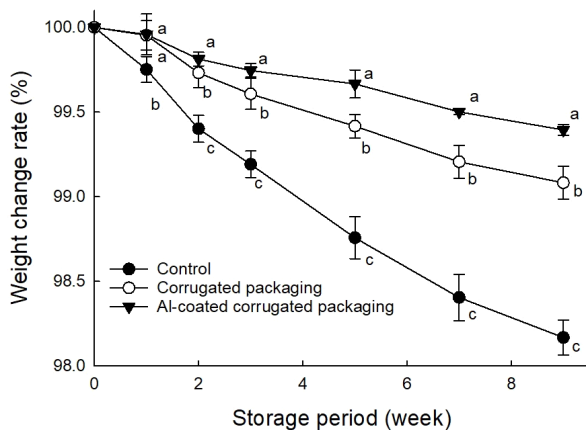
실험 결과는 반복 실험하여 얻어진 평균±표준편차로 나타내었고, 통계처리는 Window용 SAS 9.4 version(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 p<0.05 수준에서 분산분석

(analysis of variance)을 실시하였으며, Duncan의 다중범위 검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의성을 검증하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 중량 변화율

과채류 및 버섯류의 수분 증발 등 원인에 의해 일어나는 중량 손실은 조직변형 및 갈변현상을 초래하여 상품성 저하를 일으키는 주요 요소로 알려져 있다(Kim 등, 2009). 대조구와 일반 골판지상자 또는 AI-코팅 골판지상자에 팽이버섯을 저장하며 저장기간별 중량변화율을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 저장 0일 차 팽이버섯 시료를 중량 100%로 하였을 때, 저장기간이 경과됨에 따라 모든 실험구에서 중량변화율은 감소하였다. 저장 9주 차에서 대조구에서는 98.17%로 저장기간 동안 1.83%의 중량 감소를 보였다. 일반 골판지상자 및 AI-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯은 각각 99.08%, 99.39%의 수준으로 1% 미만의 중량감소를 보였다. 즉, 골판지상자의 포장 유무에 따른 팽이버섯의 중량변화는 현저하였으나, 골판지상자에 대한 AI-코팅 여부에 따른 차이는 미미하였다. 특히 식품의 유통 및 저장과정 중 중량 감소는 수분 증발에 의존적이며, 이는 조직 연화, 마름 현상 등에 의한 외형 변화를 일으키며 상품가치의 저하를 초래하는 주요 요인으로 작용한다(Kim과 Kim, 2009). 따라서 일반 골판지상자 또는 AI-코팅처리된 골판지상자의 사용은 저장 및 유통과정에서 팽이버섯의 수분 증발을 차단하여 중량 감소 억제에 도움이 될 것으로 판단된다.



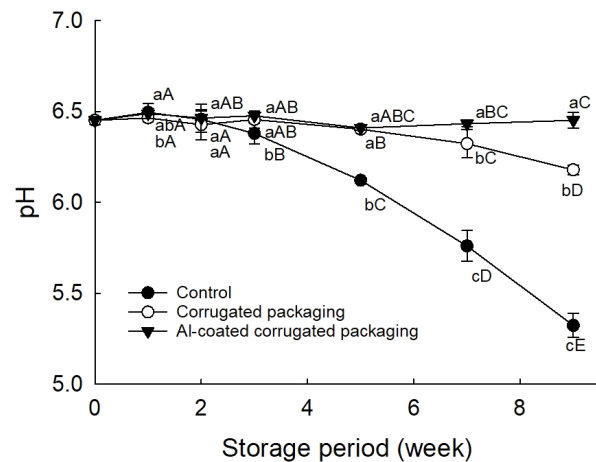
**Fig. 1.** Change in weight loss of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging (control), packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging. Different letters (<sup>a-c</sup>, for the samples at different packaging containers, and <sup>A-F</sup>, for the same samples at different storage periods) indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

#### 3.2. pH

포장하지 않은 대조구와 일반 골판지상자 및 AI-코팅 골판지상자에 각각 포장하여 저장한 팽이버섯의 저장기간별 pH 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 저장 0일 차에 팽이버섯의 pH는 6.45였으며, 저장기간이 길어짐에 따라 대조구의 pH는 점차적으로 감소되는 경향이였으며, 저장 7주 경과 후에는 pH 6 미만 값을 보였다. 골판지상자에 포장된 팽이버섯은 AI-코팅여부에 관계없이 저장 5주까지는 비슷한 수준이었다. 하지만 저장 7주 후에는 일반 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서 AI-코팅 골판지상자에 포장된 것보다 유의적으로 낮은 pH를 보였으며, AI-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서는 저장 전 기간동안 pH의 변화가 6.41-6.49의 범위로 거의 변화가 없었다. 식품의 저장과정에서 pH 변화는 품질 및 상품성과 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다(Wang, 1983). 특히 포장된 제품의 경우, 포장재질의 공기 투과성 차이에 의해 내부의 공기조성이 달라지며 이는 포장재 내부의 식품에 대해 pH, 색깔 및 조직감 등의 품질변화에 영향을 주는 것으로 보고되어 있다(Kim 등, 2009). 따라서 골판지상자에 AI-코팅처리하는 포장재의 내·외부 공기 투과를 차단함으로써 저장기간 중 팽이버섯의 pH 변화를 지연시켜 선도 유지에 효과적인 것으로 생각된다.

#### 3.3. 경도

포장하지 않은 대조구와 일반 골판지상자 및 AI-코팅 골판지상자에 각각 포장하여 저장한 팽이버섯의 저장기간별 경도 변화를 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다. 저장 0일 차에



**Fig. 2.** Change in pH of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging (control), packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging. Different letters (<sup>a-c</sup>, for the samples at different packaging containers, and <sup>A-E</sup>, for the same samples at different storage periods) indicate that means in the same storage period are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

**Table 1.** Changes in hardness of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging, packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging

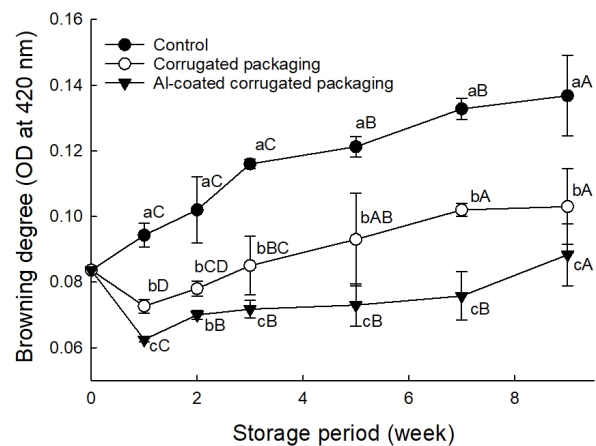
Packaging container	Storage period (week)							
	0	1	2	3	5	7	9	
Control	68.27±18.00 <sup>1)NS</sup>	65.62±18.86 <sup>NS</sup>	64.30±17.17 <sup>NS</sup>	63.24±19.18 <sup>NS</sup>	57.99±16.61 <sup>NS</sup>	55.59±13.32 <sup>NS</sup>	48.91±14.10 <sup>NS</sup>	
Corrugated packaging	68.31±17.94 <sup>NS</sup>	66.59±20.41 <sup>NS</sup>	67.80±19.18 <sup>NS</sup>	66.95±16.57 <sup>NS</sup>	64.89±18.00 <sup>NS</sup>	59.10±17.99 <sup>NS</sup>	54.95±16.69 <sup>NS</sup>	
Al coated-corrugated packaging	68.47±16.55 <sup>NS</sup>	66.20±13.78 <sup>NS</sup>	68.52±19.51 <sup>NS</sup>	68.04±18.01 <sup>NS</sup>	68.38±17.90 <sup>NS</sup>	68.47±16.52 <sup>NS</sup>	68.30±16.70 <sup>NS</sup>	

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=5). NS, not significant.

팽이버섯의 경도는 68.27 g이었으나, 저장기간이 경과됨에 따라 대조구 및 일반 골판지상자에 포장된 팽이버섯의 경도는 점차 감소되는 경향이었으나, Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서는 66.20-68.52 g의 범위로 저장 전 기간동안 통계적인 유의차는 없었다. 저장 5주 이후, 대조구의 경도는 골판지상자로 포장된 팽이버섯에 비해 다소간 낮았으나, 통계적인 유의차는 아니었다. Lim 등(2014)에 의하면, 팽이버섯을 필름의 종류를 달리하여 진공포장하여 10°C에 저장하였을 때 필름의 종류에 따라 진공도의 해지 정도가 상이하였으며, 진공 상태가 오래 지속되는 필름으로 포장된 팽이버섯에서 품질 열화가 낮았다고 보고하였다. 팽이버섯을 무포장 또는 한지포장으로 구분하여 10°C에서 저장한 실험에서, 한지로 포장된 팽이버섯은 포장되지 않은 것에 비해 연화현상이 적었으며, 조직감이 단단하고 신선하게 유지되었다(Lee 등, 2004b). 과채류는 저장 및 유통과정 중에 계속되는 호흡작용에 의해 식물 세포벽의 구성성분이 변화되어 경도가 낮아지는 결과를 초래한다(Hobson, 1981). Al-코팅처리된 골판지상자에 포장된 파프리카는 25°C에서 20일간 저장되는 동안 일반 골판지상자에 포장된 것보다 높은 경도를 유지하였다는 보고가 있으며(Kim 등, 2017), 본 실험에서도 Al-코팅처리된 골판지 상자에서 팽이버섯의 경도가 잘 유지되었다. Al-코팅처리는 포장재의 기체 투과도를 감소시킴으로써 내부에 저장된 식물체의 호흡작용을 지연시켜 식물 세포벽을 보호하는 효과를 가지는 것으로 판단된다.

### 3.4. 갈변도 및 색도

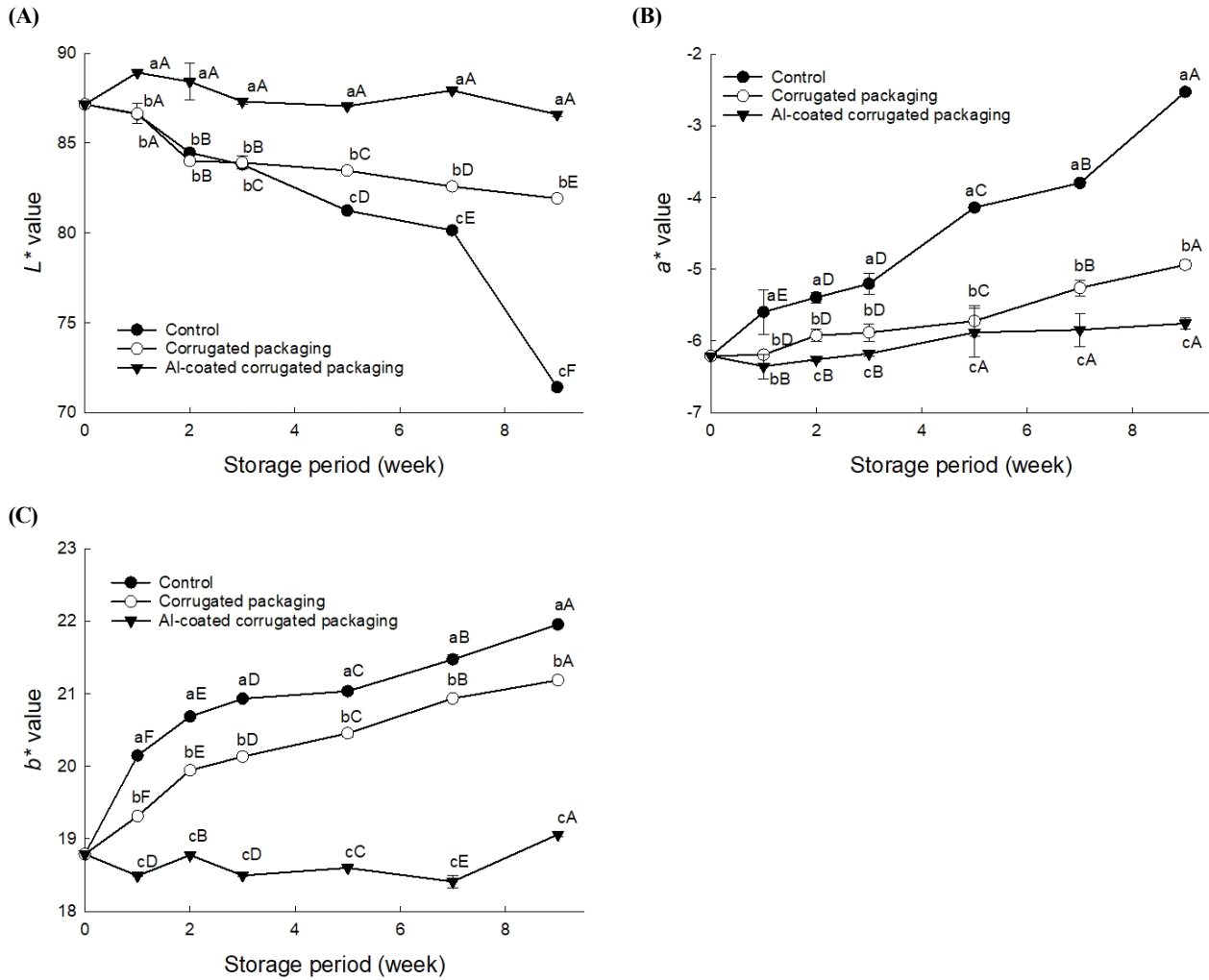
포장하지 않은 대조구와 일반 골판지상자 및 Al-코팅 골판지상자에 각각 포장하여 저장한 팽이버섯의 저장 기간별 갈변도 및 색도 변화를 측정된 결과는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 팽이버섯의 갈변도(Fig. 3)는 저장 0일 차에서 0.08이었으며, 포장 방법에 관계없이 저장기간이 길어짐에 따라 점차적으로 증가되는 경향으로 나타났다. 특히 포장상자에 담지 않는 대조구에서는 모든 저장기간 동안 유의적으로 높은 갈변도값을 나타내었으며, 저장 9주 경과 후에 대조구에서 갈변도는 0.14,



**Fig. 3.** Change in browning degree of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging, packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging. Different letters (<sup>a-c</sup>, for the samples at different packaging containers, and <sup>A-C</sup>, for the same samples at different storage periods) indicate that means in the same storage period are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

일반 골판지상자에 포장된 것은 0.10, Al-코팅 골판지상자에 포장된 것은 0.09의 값을 보였다. 특히 Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯은 저장 0일 차 및 9주 차에서 갈변도의 변화가 미미한 것으로 나타났다.

팽이버섯의 색도를 측정된 결과(Fig. 4), 저장 0일 차에 팽이버섯의 L값은 87.16이었으나 저장기간이 길어짐에 따라 점차 낮아지는 경향이였다. 일반 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서는 저장 3주까지 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 저장 5주 이후에는 대조구에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다. 반면에 Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯의 L값은 대조구 및 일반 골판지상자에 포장된 것보다 유의적으로 높았으며, 이는 저장 9주 동안 86.60-88.93의 범위로 저장기간의 경과에 따른 변화도 미미하였다. a값은 모든 실험구에서 (-)의 값이었으며, 저장 0일 차에 -6.21이었으나, 저장기간이 길어짐에 따



**Fig. 4.** Changes in color values of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging, packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging. Different letters (<sup>a-c</sup>, for the samples at different packaging containers, and <sup>A-F</sup>, for the same samples at different storage periods) indicate that means in the same storage period are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

라 점차 증가되는 경향이였다. 일반 및 Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯의 a값은 대조구에 비해 유의적으로 낮았으며, Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서는 저장 전 기간동안 -5.76~6.36의 범위로 a값의 변화가 미미한 것으로 나타났다. b값은 저장 0일 차에 18.79였으며, 저장기간이 길어짐에 따라 증가되는 경향이였으나, Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서는 18.41-19.06의 범위로 저장 전 기간동안 차이가 적었다. 또한 대조구 및 일반 골판지상자에 저장된 것에 비해 유의적으로 낮은 b값을 보여 황색도의 변화도 미미한 것으로 나타났다. 버섯류와 같은 백색의 식물체에서 신선도 평가나 상품성 차이를 비교하는 지표로서 갈변도 및 색도 비교가 주로 이용되고 있다. 버섯은 호흡률이 상승하게 되면 줄기의 신장, 저장된 영양분의 소모로 갈변 현상이 초래되어 신선도, 저장성,

조직감 및 상품성이 낮아지는 것으로 알려져 있다(Austin 등, 1992). 팽이버섯을 필름의 종류를 달리하여 진공포장하여 저장하였을 때 포장 필름의 재질에 따라 호흡률에 차이를 보였으며, 호흡률의 변화가 적었던 포장에서 버섯의 색깔 변화도 적었다고 보고되어 있다(Lim 등, 2014). 버섯의 수확 후 저장기간동안 호흡률의 조절은 산화적 갈변현상을 지연시킬 수 있으며, 이에 따른 저장수명 연장효과를 얻을 수 있는데, 팽이버섯의 경우 주로 필름 포장으로 가스 조성을 조절 할 수 있으며, 이를 통해 산화적 갈변을 억제할 수 있다(Wang 등, 2011). 따라서 필름 포장과 Al-코팅 골판지상자 포장의 병행은 저장과정 중 원재료의 기체투과도 조절에 따른 갈변화 방지에 도움이 될 것으로 사료된다. 또한, 양송이 버섯의 상품성 한계치로써 L값이 69 이하라는 보고(Jolivet 등, 1998)로 볼 때 일반 골판지상자 및

Al-코팅 골판지상자로 포장할 경우 유통시장에서 상품성의 유지에 효과적일 것으로 생각된다.

### 3.5. 구성아미노산

대조구와 일반 골판지상자 및 Al-코팅 골판지상자에 각각 포장하여 5°C에서 저장하는 동안 2주 차 및 9주 차가 경과되었을 때 구성아미노산 함량을 측정된 결과는 Table 2에 나타내었다. 아미노산 분석 결과, 필수아미노산 9종을 포함한 총 17종의 아미노산이 검출되었다. 필수아미노산 중 valine, isoleucine 및 lysine의 함량이 높게 나타났다. 저장 0일 차에 팽이버섯의 아미노산 총량은 15.14 g/100 g dw이었으며, 저장 2주에 비해 저장 9주 경과 후 아미노산의 함량은 다소 증가된 경향이었다.

대조구에서는 저장 2주에 11.49 g/100 g dw이었으나 저장 9주 후 23.99 g/100 g dw로 증가폭이 컸으나, 골판지상자에 포장된 팽이버섯에서는 저장 2-9주 동안 아미노산의 총량에 변화없이 유지되는 것으로 보였다. 팽이버섯에서 아미노산은 glutamic acid의 함량이 가장 많았다는 보고(Kim 등, 2014), cystein, lysine의 함량이 많았다는 보고(Nho 등, 2008) 등과 같이 연구자들간에 상이한 결과를 보였는데, 버섯의 품종이나 재배조건, 저장 온도 및 저장기간에 따른 차이인 것으로 알려져 있다 (Jhune 등, 2012b). 일반 골판지상자 및 Al-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯은 저장과정 중 수분의 손실이 적어 저장 9주 동안 아미노산의 함량에 변화가 적었던 것으로 사료된다. 또한, 대조구는 저장과정 중 수분의 손실이 많아 상대적으로 아미노

**Table 2.** Amino acid contents of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging, packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging (g/100 g, dw)

Storage period (week)	0	2			9		
Packaging container	Before packaging	Control	Corrugated packaging	Al coated-corrugated packaging	Control	Corrugated packaging	Al coated-corrugated packaging
Total essential amino acids	10.41±1.01 <sup>d1)</sup>	7.38±0.72 <sup>c</sup>	12.82±2.25 <sup>bc</sup>	11.73±0.63 <sup>bc</sup>	15.60±0.63 <sup>a</sup>	13.24±0.90 <sup>b</sup>	13.37±0.08 <sup>b</sup>
Threonine	0.64±0.02 <sup>c</sup>	0.42±0.00 <sup>e</sup>	0.64±0.07 <sup>c</sup>	0.73±0.09 <sup>b</sup>	0.55±0.04 <sup>d</sup>	0.66±0.02 <sup>c</sup>	0.83±0.01 <sup>a</sup>
Valine	1.87±0.16 <sup>c</sup>	1.55±0.08 <sup>f</sup>	2.23±0.19 <sup>cd</sup>	2.15±0.06 <sup>d</sup>	2.96±0.08 <sup>a</sup>	2.58±0.18 <sup>b</sup>	2.31±0.08 <sup>c</sup>
Methionine	0.10±0.04 <sup>b</sup>	0.21±0.05 <sup>a</sup>	0.12±0.04 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>b</sup>	0.13±0.05 <sup>b</sup>	0.12±0.03 <sup>b</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>
Isoleucine	1.58±0.12 <sup>c</sup>	1.34±0.08 <sup>f</sup>	1.89±0.13 <sup>c</sup>	1.76±0.04 <sup>d</sup>	2.39±0.04 <sup>a</sup>	2.14±0.12 <sup>b</sup>	1.90±0.07 <sup>c</sup>
Leucine	1.03±0.14 <sup>c</sup>	0.77±0.02 <sup>f</sup>	1.33±0.24 <sup>cd</sup>	1.21±0.11 <sup>d</sup>	2.22±0.11 <sup>a</sup>	1.60±0.19 <sup>b</sup>	1.43±0.01 <sup>c</sup>
Phenylalanine	1.40±0.15 <sup>c</sup>	1.06±0.08 <sup>d</sup>	1.44±0.45 <sup>c</sup>	1.55±0.09 <sup>bc</sup>	2.09±0.11 <sup>a</sup>	1.63±0.01 <sup>bc</sup>	1.76±0.00 <sup>b</sup>
Histidine	0.84±0.10 <sup>cd</sup>	0.61±0.05 <sup>d</sup>	0.96±0.36 <sup>cd</sup>	0.84±0.14 <sup>cd</sup>	1.22±0.32 <sup>a</sup>	1.09±0.26 <sup>ab</sup>	1.10±0.06 <sup>ab</sup>
Lysine	1.38±0.28 <sup>a</sup>	0.77±0.03 <sup>b</sup>	1.74±0.93 <sup>a</sup>	1.54±0.15 <sup>a</sup>	1.75±0.06 <sup>a</sup>	1.32±0.03 <sup>ab</sup>	1.90±0.23 <sup>a</sup>
Arginine	0.73±0.11 <sup>d</sup>	0.69±0.05 <sup>d</sup>	1.33±0.12 <sup>a</sup>	0.88±0.02 <sup>c</sup>	1.09±0.21 <sup>b</sup>	0.95±0.02 <sup>c</sup>	0.96±0.05 <sup>c</sup>
Total nonessential amino acids	5.58±0.48 <sup>f</sup>	4.77±0.20 <sup>e</sup>	6.35±0.50 <sup>c</sup>	8.45±0.18 <sup>c</sup>	9.51±0.13 <sup>b</sup>	7.70±0.76 <sup>d</sup>	9.98±0.18 <sup>a</sup>
Aspartic acid	0.34±0.06 <sup>c</sup>	0.22±0.01 <sup>d</sup>	0.21±0.07 <sup>d</sup>	0.43±0.08 <sup>b</sup>	0.54±0.01 <sup>a</sup>	0.45±0.09 <sup>b</sup>	0.51±0.04 <sup>a</sup>
Serine	0.18±0.04 <sup>b</sup>	0.18±0.11 <sup>b</sup>	0.17±0.12 <sup>b</sup>	0.20±0.10 <sup>b</sup>	0.06±0.01 <sup>c</sup>	0.16±0.04 <sup>b</sup>	0.29±0.04 <sup>a</sup>
Glutamic acid	0.08±0.03 <sup>c</sup>	0.05±0.02 <sup>c</sup>	0.07±0.00 <sup>c</sup>	0.08±0.00 <sup>c</sup>	0.22±0.02 <sup>ab</sup>	0.17±0.09 <sup>b</sup>	0.23±0.02 <sup>a</sup>
Proline	0.42±0.06 <sup>d</sup>	0.34±0.03 <sup>c</sup>	0.31±0.06 <sup>c</sup>	0.50±0.01 <sup>c</sup>	0.92±0.06 <sup>a</sup>	0.68±0.02 <sup>b</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>
Glycine	0.20±0.04 <sup>d</sup>	0.10±0.00 <sup>e</sup>	0.14±0.00 <sup>c</sup>	0.25±0.04 <sup>cd</sup>	0.47±0.08 <sup>a</sup>	0.28±0.08 <sup>bc</sup>	0.33±0.04 <sup>b</sup>
Alanine	1.21±0.15 <sup>c</sup>	0.95±0.06 <sup>f</sup>	1.65±0.19 <sup>c</sup>	1.41±0.05 <sup>d</sup>	2.57±0.08 <sup>a</sup>	1.95±0.19 <sup>b</sup>	1.70±0.02 <sup>c</sup>
Cysteine	0.32±0.04 <sup>e</sup>	0.29±0.00 <sup>e</sup>	0.41±0.01 <sup>c</sup>	2.67±0.11 <sup>b</sup>	1.29±0.18 <sup>c</sup>	0.60±0.08 <sup>d</sup>	2.91±0.24 <sup>a</sup>
Tyrosine	0.85±0.09 <sup>d</sup>	0.66±0.02 <sup>c</sup>	1.15±0.14 <sup>a</sup>	0.96±0.05 <sup>c</sup>	1.12±0.04 <sup>ab</sup>	1.14±0.11 <sup>a</sup>	1.04±0.03 <sup>bc</sup>
Total amino acids	15.14±1.39 <sup>c</sup>	11.49±0.75 <sup>f</sup>	18.03±2.63 <sup>d</sup>	19.22±0.76 <sup>cd</sup>	23.99±0.54 <sup>a</sup>	19.79±1.54 <sup>c</sup>	22.31±0.07 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=5). Different superscript letters (<sup>a-e</sup>) in the same row indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

산의 함량이 증가된 것으로 추정된다. 따라서 시장 유통과정에서 저장기간이 더 길어질 경우 AI-코팅 골판지상자의 사용은 농산물의 영양성분 안정화에도 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대된다.

### 3.6. 산화효소 활성

버섯의 경우 산소와 산화효소에 의한 페놀 물질의 산화에 의한 갈변이 버섯의 품질 열화와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되어 있다 (Murr과 Morris, 1975). 대조구와 일반 골판지상자 및 AI-코팅 골판지상자에 각각 포장하여 저장한 팽이버섯의 저장기간별 polyphenol oxidase(PPO) 및 peroxidase(POD) 활성을 측정하였으며, 그 결과는 Table 3에 나타내었다. 팽이버섯의 저장기간 및 포장에 따른 PPO 및 POD 활성은 유사한 경향을 나타내었다. PPO 및 POD 활성 모두 대조구에서는 저장 7주 차부터 유의적으로 감소하는 경향을 보였으나, 일반 골판지상자 및 AI-코팅 골판지상자에서의 산화효소는 저장 9주 차까지 유의적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 대조구의 경우 저장 중 수분함량의 감소 및 산소에 의한 폴리페놀 화합물의 감소로 인해 효소활성이 감소한 것으로 판단된다. 또한, 저장기간 7주 차 이후부터는 활성이 감소하는 경향을 보였는데 이는 충분한 PPO 활성이 이루어진 후 활성이 감소하는 것으로 판단된다. 효소 활성은 기질로 작용하는 폴리페놀 화합물 함량에 의존하며 폴리페놀성 화합물 함량의 감소는 PPO의 감소로 이어진다(Golan-Goldhirsh 등, 1984). 또한, Fevrier 등(2017)은 효소

활성은 충분한 산화반응이 이루어진 이후에는 활성이 감소하는 경향을 보인다고 보고하였다. 따라서, 팽이버섯 저장기간에 따른 산화효소 활성은 대조구에서는 저장기간 동안 증감의 폭이 컸으나, 골판지상자 또는 AI-코팅 골판지상자는 0-9주 차 저장기간 동안 유의적으로 일정한 수준으로 유지되어 색도 및 갈변도에 큰 영향을 주지 않은 것으로 사료된다.

### 3.7. 미생물 수

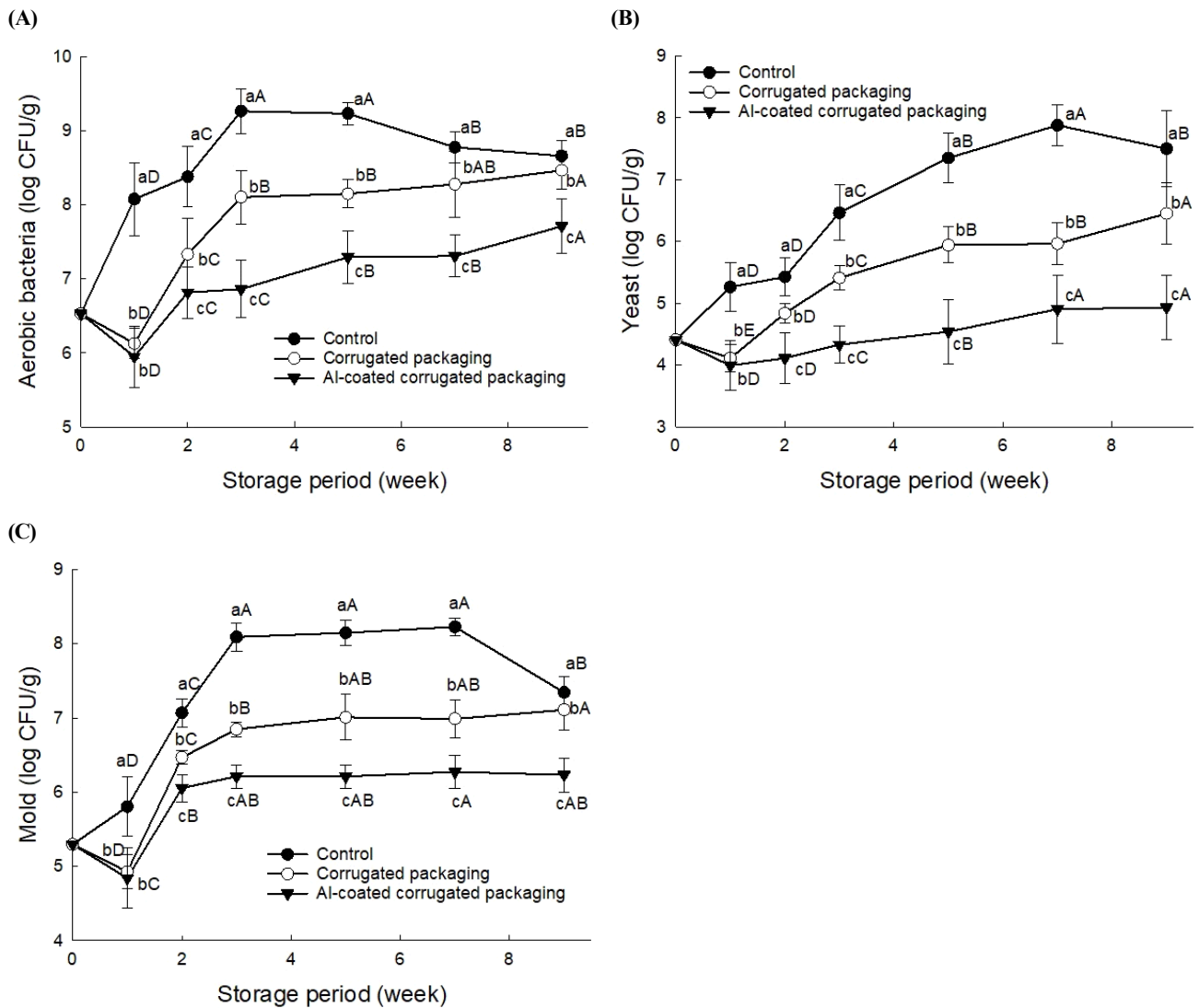
포장하지 않은 대조구와 일반 골판지상자 및 AI-코팅 골판지상자에 각각 포장하여 저장한 팽이버섯의 저장기간별 미생물 수를 측정한 결과는 Fig. 5와 같다. 미생물은 대장균군, 일반세균, 효모 및 곰팡이를 대상으로 측정하였으며, 대장균군은 모든 시료에서 검출되지 않았다. 포장상자에 담지 않은 대조구의 경우 일반세균, 효모 및 곰팡이 수는 저장 1-2주 이후 급격한 증가 경향을 보이는 지수기(exponential phase)와 저장 7주까지 정지기(stationary phase)를 거친 후, 저장 9주 차에는 미생물의 수가 감소되는 사멸기(death phase)의 경향을 보여 미생물 성장곡선의 전형적인 시그모이드(sigmoid) 곡선의 형태를 나타내었다(Shin 등, 2013). 반면에 일반 골판지상자와 AI-코팅 골판지상자에 포장된 팽이버섯은 저장 1주 경과 후에 미생물의 수가 다소 감소되었다가 그 이후 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 저장 3주 이후에는 완만 증가되는 경향이었다. 더욱이 골판지상자로 포장된 팽이버섯은 대조구에 비해 미생물의 증식정도가 유의적으로 낮았으며, AI-코팅처리된 일반 골판지

**Table 3.** Changes in polyphenol oxidase and peroxidase activities of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging, packed corrugated packaging or AI-coated corrugated packaging (u/g/min, dw)

Oxidative enzyme	Packaging container	Storage period (week)						
		0	1	2	3	5	7	9
PPO activity	Control	84.14 ±14.16 <sup>bcA</sup>	101.36 ±36.51 <sup>abA</sup>	115.11 ±36.39 <sup>aA</sup>	73.58 ±31.15 <sup>cdA</sup>	53.85 ±32.28 <sup>dB</sup>	31.16 ±12.46 <sup>cb</sup>	29.91 ±12.11 <sup>cc</sup>
	Corrugated packaging	84.28 ±14.02 <sup>ca</sup>	83.36 ±11.15 <sup>ca</sup>	94.95 ±22.14 <sup>bcA</sup>	95.13 ±24.21 <sup>bcA</sup>	99.72 ±20.44 <sup>abA</sup>	99.82 ±6.32 <sup>abA</sup>	108.13 ±21.30 <sup>aA</sup>
	AI coated-corrugated packaging	84.10 ±14.20 <sup>ba</sup>	86.72 ±11.24 <sup>abA</sup>	90.48 ±4.65 <sup>abA</sup>	91.27 ±12.34 <sup>abA</sup>	91.52 ±16.98 <sup>abA</sup>	92.48 ±11.23 <sup>aA</sup>	92.24 ±15.66 <sup>ab</sup>
POD activity	Control	443.38 ±197.04 <sup>ba</sup>	536.89 ±192.92 <sup>aA</sup>	552.93 ±141.72 <sup>aA</sup>	498.74 ±144.88 <sup>abA</sup>	457.54 ±201.85 <sup>ba</sup>	309.45 ±101.83 <sup>cb</sup>	147.67 ±60.50 <sup>db</sup>
	Corrugated packaging	432.14 ±208.28 <sup>ba</sup>	459.87 ±104.26 <sup>ba</sup>	500.03 ±191.90 <sup>abA</sup>	534.59 ±123.86 <sup>aA</sup>	538.75 ±112.19 <sup>aA</sup>	545.22 ±152.17 <sup>aA</sup>	550.20 ±145.16 <sup>aA</sup>
	AI coated-corrugated packaging	441.58 ±198.84 <sup>aA</sup>	436.47 ±107.57 <sup>aA</sup>	447.44 ±98.69 <sup>aA</sup>	438.33 ±121.30 <sup>aA</sup>	440.55 ±75.86 <sup>aA</sup>	455.73 ±60.90 <sup>aA</sup>	468.55 ±175.76 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=5). Different superscript letters (<sup>a-c</sup>, for the same samples at different storage periods, and <sup>A-C</sup>, for the samples at different packaging containers) indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test. PPO, polyphenol oxidase; POD, peroxidase.





**Fig. 5.** Changes in the number of (A) aerobic bacteria, (B) yeast, and (C) mold of *F. velutipes* during storage at 5°C, without packaging, packed corrugated packaging or Al-coated corrugated packaging. Different letters (<sup>a-c</sup>, for the samples at different packaging containers, and <sup>A-D</sup>, for the same samples at different storage periods) indicate that means are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

상자에 포장된 경우에 비해 미생물의 증식이 유의적으로 낮은 것으로 확인되었다. 일반적으로 식물체는 저장 과정에서 수분의 손실이 발생되며, 조직 중의 효소류가 유리되므로써 조직의 연화, 갈변 등을 초래하고 연쇄적으로 형성된 저분자 물질이 새로운 영양원으로 작용하여 미생물의 증식에 이용되는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2004a).

#### 4. 요약

팽이버섯은 다양한 영양성분이 함유되어 있어 우수한 식품 소재로 알려져 있지만, 높은 수분함량 및 높은 호흡량으로 인해

심한 갈변과 부패로 유통기간이 짧아 저장유통 중 품질보존을 위한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 농산물 유통 시 주로 사용되는 골판지상자의 내부에 알루미늄을 코팅하여 기능성을 부여한 포장용기를 개발하였으며, 이를 이용하여 팽이버섯을 포장하여 저장 중 선도 유지 및 품질특성에 미치는 영향을 조사하였다. 골판지상자 내부에 알루미늄을 코팅함으로써 증량변화율 및 경도의 감소를 방지하였으며, pH의 변화를 억제하는 것으로 나타났다. 또한, 산화효소 활성을 억제함으로써 저장기간 중 팽이버섯의 갈변을 저해하였고, 미생물의 증식을 억제하는데 효과적인 것으로 나타났다. 향후 관능적 품질, 포장지 내부의 기체 조성 및 향기 성분 등에 대한 추가연구를 통하

여 Shelf-life 연장효과를 종합적으로 규명하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

### Funding

본 논문은 농촌진흥청 농업정책지원기술개발사업(R&D)의 지원에 의해 수행된 연구과제(RS-2023-00230820)입니다. 또한, 교육부의 재원으로 한국 기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터(2022R1A6C101B724)의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. 이에 감사드립니다.

### Acknowledgements

None.

### Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

### Author contributions

Conceptualization: Choi SG. Methodology: Kim AN, Park CE, Kim SR. Formal analysis: Kim AN, Choi SY, Hwang I, Park KM. Validation: Kim AN, Lee KY. Writing - original draft: Kim AN, Lee KY. Writing - review & editing: Lee KY, Choi SG.

### Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

### ORCID

Ah-Na Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-8390-0041>

Kyo-Yeon Lee

<https://orcid.org/0000-0002-0671-4253>

Chae-Eun Park

<https://orcid.org/0009-0001-1647-7263>

Se Ri Kim

<https://orcid.org/0000-0001-6857-8317>

Song Yi Choi

<https://orcid.org/0000-0002-5343-2945>

Injun Hwang

<https://orcid.org/0000-0001-8960-9354>

Kyung Min Park

<https://orcid.org/0000-0003-3858-9773>

Sung-Gil Choi (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-2593-972X>

## References

- Austin JW, Dodds KL, Blanchfield B, Farber JM. Growth and toxin production by *Clostridium botulinum* on inoculated fresh-cut packaged vegetables. *J Food Prot*, 61, 324-328 (1998)
- Cai H, Liu X, Chen Z, Liao S, Zou Y. Isolation, purification and identification of nine chemical compounds from *Flammulina velutipes* fruiting bodies. *Food Chem*, 141, 2873-2879 (2013)
- Cha HS, Lee SA, Kwon KH, Kim BS, Choi DJ, Youn AR. Effects of the initial storage temperature of a PA film-packaged muskmelon (*Cucumis melo* L.) during its storage. *Korean J Food Preserv*, 20, 14-22 (2013)
- Chem X, Fang D, Zhao R, Gao J, Kimatu BM, Hu Q, Chen G, Zhao L. Effects of ultrasound-assisted extraction on antioxidant activity and bidirectional immunomodulatory activity of *Flammulina velutipes* polysaccharide. *Int J Biol Macromol*, 140, 505-514 (2019)
- Díaz-Godínez DG, Téllez-Téllez M. Mushrooms as Edible Foods. *Fungi Sustain Food Prod*, Berlin, p 143-164 (2021)
- Donglu F, Wenjian Y, Kimatu BM, Mariga AM, Liyan Z, Xinxin A, Qiuhui H. Effect of nanocomposite-based packaging on storage stability of mushrooms (*Flammulina velutipes*). *Innovative Food Sci Emerging Technol*, 33, 489-497 (2016)
- Eshghi S, Hashemi M, Mohammadi A, Badii F, Mohammadhoseini Z, Ahmadi K. Effect of nanochitosan-based coating with and without copper loaded on physicochemical and bioactive components of fresh strawberry fruit (*Fragaria × ananassa* Duchesne) during storage. *Food Bioprocess Technol*, 7, 2397-2409 (2014)
- Guo W, Tang X, Cui S, Zhang Q, Zhao J, Mao B, Zhang H. Recent advance in quality preservation of non-thermal preservation technology of fresh mushroom: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1-17 (2023)
- Guo Y, Chen X, Gong P, Deng Z, Qi Z, Wang R, Long H, Wang J, Yao W, Yang W, Chen, F. Recent advances in quality preservation of postharvest golden needle mushroom (*Flammulina velutiper*). *J Sci Food Agric*, 103, 5647-5658 (2023)
- Hobson GE. Enzymes and texture change during ripening. In: *Recent Advances in the Biochemistry of Fruit and Vegetables*, Academic Press, London, p 123-132 (1981)
- Jhune CS, Yun HS, Leem HT, Kong WS, Lee KH, Lee CJ, Sung GH, Cho JH. The change on organic acid of fruiting body of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) by storage period. *J Mushroom Sci Production*, 10, 83-92 (2012a)
- Jhune CS, Yun HS, Leem HT, Kong WS, Sung GH, Yoo

- KH, Park KM. The change of amino acid content in fruit-body of winter mushroom according to the storage period and strains. *J Mushroom Sci Production*, 10, 224-235 (2012b)
- Jo SH, Jin GE, Yang Y, Choi JS, Yun HS, Yu YB, Park KM. Physiological activity of *Flammulina velutipes* sp. ethanol extract. *J Mushroom Sci Production*, 8, 150-156 (2010)
- Jolivet S, Aprin N, Wichers HJ, Pellon G. *Agaricus bisporus* browning: A review. *Mycol Res*, 102, 1459-1483 (1998)
- Kang JS, Park WP, Lee DS. Quality of enoki mushrooms as affected by packaging conditions. *J Sci Food Agric*, 81, 109-114 (2001)
- Kim AN, Ha MH, Lee KY, Rahman MS, Kim NS, Choi SG. The effect of aluminum coating to corrugated packaging on quality characteristics of paprika during storage. *Korean J Food Preserv*, 24, 934-941 (2017)
- Kim JT, Kim MJ, Jhune CS, Shin PG, Oh YL, Yoo YB, Suh JS, Kong WS. 2014. Comparison of amino acid and free amino acid contents between cap and stipe in *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus*. *J Mushrooms*, 12, 341-349 (2014)
- Kim KM, Ko JA, Lee JS, Park HJ, Hanna MA. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT Food Sci Technol*, 39, 365-372 (2006)
- Kim MH, Lee MH, Boonsiriwit A, Lee YS. A study of the usage of corrugated fiberboard cartons for domestic fresh produce and their physical properties: Focused on a Gyeongsan City, North Gyeongsan Province. *Korean J Packaging Sci Technol*, 28, 55-66 (2022)
- Kim SM, Kim EJ. Studies on storage characteristics of *Perilla perfrutescens* var. *acuta*, *Mentha arvensis* L. var. *piperascens* malinvaud according to packaging method. *Korea J Herbology*, 24, 9-14 (2009)
- Kim YW, Jung JK, Cho YJ, Lee SJ, Kim SH, Park KY, Kang SA. Quality changes in brined baechu cabbage using different types of polyethylene film, and salt content during storage. *Korean J Food Preserv*, 16, 605-611 (2009)
- Lamberti M, Escher F. Aluminium foil as a food packaging material in comparison with other materials. *Food Rev Int*, 23, 407-433 (2007)
- Lee SH, Lee MS, Sun NK, Song KB. Effect of storage condition on the quality and microbiological change of strawberry “Minyubong” during storage. *Kor J Food Preserv*, 11, 7-11 (2004a)
- Lee YK, Shin KO, Jung YK, Park BH, Kim SD. Packaging effect of Korean paper containing mica powder on shelf-life of golden mushroom (*Flammulina velutipes*). *J East Asian Soc Dietary Life*, 14, 513-518 (2004b)
- Lim SY, Hong YP, Lee EJ, Kim JK, Lee JH, Choi JW. Extension of shelf-life in golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*) according to pressure composition packaging using oriented polypropylene film. *Korean J Food Preserv*, 21, 767-775 (2014)
- Marsh K, Bugusu B. Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *J Food Sci*, 72, R39-R55 (2007)
- Murr DP, Morris LL. Effect of storage temperature on postharvest changes in mushrooms. *J Am Soc Hort Sci*, 100, 16-19 (1975)
- Muszyńska B, Krakowska A, Sułkowska-Ziaja K. Medicinal mushrooms as a source of therapeutic biopolymers. In: *Fungal Biotechnology*, CRC Press, Florida, USA, p 54-83 (2022)
- Noh HJ, Jang SS, Kong WS, Yoo YB, Lee SY, Weon HY, Jhune CS, Jang KY, Seok SJ. Analysis of amino acids in mushroom *Flammulina velutipes* “Paengi”, “Baengro”, “Garlmoe”. *KSM Newsletter*, 20, 45-45 (2008)
- Park HW, Kim DM. Effect of functional MA packaging film on freshness extension of ‘Fuji’ apples. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 29, 80-84 (2000)
- Roig MG, Bello JF, Rivera ZS, Kennedy JF. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. *Food Res Int*, 32, 609-619 (1999)
- Shin YK, Oh NS, Lee HA, Nam MS. Enzyme activity of isolated psychrotrophic bacteria from raw milk of different regions on season. *Korean J Food Sci An*, 33, 772-780 (2013)
- Terefe NS, Matthies K, Simons L, Versteeg C. Combined high pressure-mild temperature processing for optimal retention of physical and nutritional quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*). *Innovative Food Sci Emerging Technol*, 10, 297-307 (2009)
- Tyagi P, Salem KS, Hubbe MA, Pal L. Advances in barrier coatings and film technologies for achieving sustainable packaging of food products: A review. *Trends Food Sci Technol*, 115, 461-485 (2021)
- Wang CY. Postharvest responses of Chinese cabbage to high CO<sub>2</sub> treatment or low O<sub>2</sub> storage. *Am Soc Hort*, 108, 125-129 (1983)
- Wang CT, Wang CT, Cao YP, Nout MJR, Sun BG, Liu L. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) with low and superatmospheric oxygen on the quality and antioxidant enzyme system of golden needle mushrooms (*Flammulina velutipes*) during postharvest storage. *Eur Food Res Technol*, 232, 851-860 (2011)