

팽이버섯의 베트남 모의수출 중 진공포장방법 개선을 통한 품질 유지 효과

최지원^{1*} · 임수연¹ · 이지현¹ · 엄향란¹ · 이정수² · 박혜성³ · 임지훈³ · 도경란⁴

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 기술지원과

³농촌진흥청 국립원예특작과학원 버섯과

⁴농촌진흥청 국립원예특작과학원 기획조정과

Developed Vacuum Film Packaging Method Maintains Quality of Enoki Mushrooms (*Flammulina velutipes*) during Simulated Vessel Export to Vietnam

Ji Weon Choi^{1*}, Sooyeon Lim¹, Ji Hyun Lee¹, Hyang Lan Eum¹, Jung-Soo Lee², Hye Sung Park³, Ji-Hoon Im³, and Kyung Ran Do⁴

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

²Technology Services Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

³Mushroom Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Eumseong 27709, Korea

⁴Planning and Coordination Division, Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract Korean enoki mushrooms are exported to Southeast Asia and the United States, where there are complaints due to quality deterioration during the distribution process. In this study, we evaluated the efficacy of vacuum film packaging on quality maintenance in Korean enoki mushrooms during simulated vessel export to Vietnam using selected film, which was developed with vacuum packaging machine and oxygen absorber. We selected two MA film, one was 2-layered 30 µm CPP film (control) and the other was 3-layered 30 µm CPP film (treatment) which is optimized film of higher gas and moisture permeability. The Korean enoki mushrooms were packaged with these two films using PAC-2000 or PAC-3000 vacuum packaging machine which was improved vacuuming of higher speed. Packed mushrooms were stored at 1°C for 2 weeks and distributed at 20°C for 2 days or 8°C for 6 days. The efficiency of the film packaging was analyzed by vacuum maintaining index, and overall the quality characteristics such as off odor, color, cap cleavage, stem elongations and sensory evaluation were evaluated during storage and distribution. Results suggest that postharvest loss of fresh enoki mushroom could be reduced by packaging mushroom with 3-layered 30 µm CPP films packaged using PAC-3000 machine during simulated vessel export to Vietnam due to vacuum maintaining. Oxygen absorber promoted off-odor at 20°C distribution temperature, and did not affect storability at 1°C storage compared to treated group without oxygen absorber treatment.

Keywords Enoki mushrooms, Exporting, Quality, Vacuum packaging, Vacuum maintaining

서 론

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 담자균류의 주름버섯

목(Agaricales) 송이과(Tricholomataceae)에 속하며 winter mushroom 또는 golden mushroom, 일본에서는 에노키다케라고 불리우는 저온성 버섯이다¹⁾. 2021년도 KATI 농식품 수출정보 중 팽이버섯 생산동향 및 수출정보에 따르면 팽이버섯은 총버섯생산량 중 18%를 점유하고 있으며 이는 느타리버섯류의 33%에 이어 두 번째로 많은 생산량이고, 한국에서 생산된 팽이버섯의 30%가 수출되고 있다. 수출 단계에서는 평균 7~25일의 운송기간이 소요되며 수확 후 포장

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

시 소포장 진공방법 적용 기술에 따라 유통 중 신선도에 차이가 발생한다. 신선 버섯의 수출을 제한하는 요인 중 하나가 짧은 유통 수명이다. 신선 버섯의 품질은 주로 수분 손실, 갈변, 조직감 변화, 갖의 개열, 줄기 신장 및 이취 발생^{2,3)}이며, 팽이버섯의 경우 진공포장을 하는데 유통 중 진공 풀림에 따라 품질 저하가 가속화된다. 신선 버섯 수출을 위해서는 수출국에 따라 통관을 거칠 때 포장에 대한 요구 기준이 다르기 때문에 각 나라의 요구에 맞는 포장 시스템이 개발이 필요하다⁴⁾. 팽이버섯 소포장시 미국, 호주, 캐나다, EU는 '소프트 진공(반 진공)'포장이 표준이며, 동남아시아는 중국산의 '하드 진공(강 진공)'이 표준이다⁵⁾. 한국은 '반 진공'포장을 주로 이용하고 있는데, 하드 진공은 유통기간이 길어질 경우 이취와 신선 버섯이 부식짐이 발생할 수 있기 때문이다. 팽이 버섯 수출에 가장 영향을 미쳤던 사건으로 2014~2018년도 유럽, 미국, 캐나다 등에서 식중독을 유발하는 병원성 세균인 *Listeria monocytogenes* 검출되어 리콜조치로 인해 수출이 감소하였다⁶⁾. *Listeria monocytogenes*에 대한 EU의 안전관리 기준은 생산 및 포장단계에서는 음성/25 g, 유통 및 판매단계에서는 100 cfu/g이나⁷⁾ 우리나라에는 안전관리 기준이 설정되어 있지 않다.

버섯 수확 후 버섯이 함유하고 있는 85~95%의 높은 수분함량으로 인해 미생물생장이 용이하며 이로 인해 품질 저하가 빠르게 진행된다. 버섯의 pH, 높은 호흡율, 높은 효소활성, 미생물 및 버섯 표면에 보호 큐티클층이 없어 유통 중 품질 저하가 빠르게 일어나는 요인이다⁸⁾. 버섯은 보통

초기중량의 약 3~6% 이상의 수분 손실이 일어났을 때 상업적인 상품가치가 없다고 판단한다^{2,9)}. 저장 온도가 높을수록 저장 기간이 경과하면서 높은 호흡율로 인해 수분 손실 및 미생물에 의한 부패가 일어나고, 저장기간 동안 온도, 세균 감염 등의 외부환경에 의해 효소적, 비효소적 갈변이 일어나 자실체의 색채가 변화된다¹⁰⁾. 세포막의 파괴는 취급 시 부주의, 낮은 상대습도, 노화 및 미생물에 의해 발생할 수 있다. 세균 또는 외부 요인에 의해 키틴과 같은 세포벽 구성 물질이 분해되어 조직감이 낮아질 수 있다¹¹⁾. 저장온도가 낮을 때는 동해가 나타나는데 버섯의 동결온도는 $-0.1 \sim -0.9^{\circ}\text{C}$ 이므로 적정저장온도는 1°C 가 적합하다¹²⁾.

MAP(Modified atmosphere packaging)에 의한 상품성 유지는 CA 조성 농도를 기반으로 적정 필름이 구명되는데, 고농도의 이산화탄소에 의해 세균 증식이나 곰팡이 성장을 억제하는 저장법이다^{13,14)}. 팽이버섯의 CA 조건은 산소 1.0~2.5% + 이산화탄소 10.5~11.5% 범위가 제시되어 있고¹⁵⁾, MA 포장 연구를 통해 밝혀진 팽이 버섯의 공기 조성은 1% 이하의 낮은 산소 농도 그리고 15~20%의 이산화탄소 농도이고 CPP 필름에 100 g씩 포장함으로써 조성이 가능하다고 하였다¹⁶⁾. Jeong 등¹⁷⁾은 양송이, 팽이버섯, 느타리를 10°C 에 보관하면서 호흡 및 품질변화를 측정하고 3일째까지 에틸렌과 이산화탄소 발생이 급격히 증가하다 이후 감소하였고, 특히 팽이버섯은 제일 급격한 호흡 상승을 보였으며 호흡 상승과 더불어 생장 증가가 뚜렷하였다고 하였다. Lim 등¹⁸⁾은 포장재로 20 μm 두께의 LDPE, OPP, PE+PP 필름을

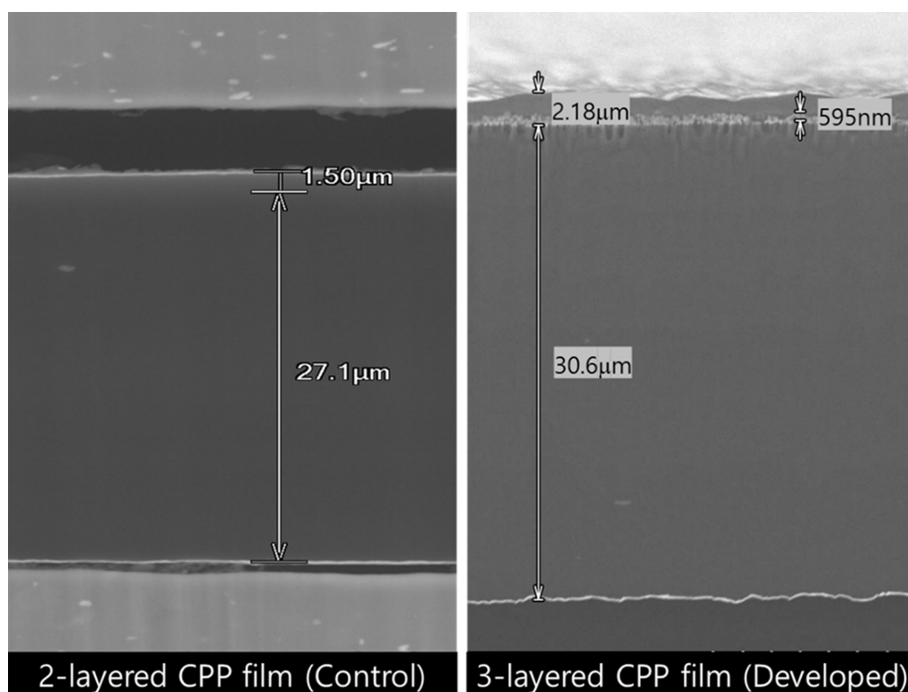


Fig. 1. Electron microscope images of used film, left; 2-layered 30 μm CPP film, right; 3-layered 30 μm CPP film.

이용하여 팽이버섯을 진공포장하여 저장시 LDPE, PE+PP, OPP 순으로 갈변으로 인한 품질변화가 빨랐는데, OPP필름이 진공이 가장 오래 유지되어 산화적 갈변이 지연되었기 때문으로 분석하고 있다.

산소흡수제는 토마토 MA 저장초기 포장 내부의 산소농도를 빠르게 떨어뜨리고 이산화탄소 peak를 떨어뜨려 저장기간을 연장시킬 수 있는 효과적인 방법으로 보고되어 있다¹⁹⁾.

본 실험에서는 팽이버섯의 베트남 수출시 수출 현장에서 실용적으로 적용가능한 최적의 포장 방법을 구명하고자 기선발된 포장필름으로 산소 투기도와 투습성이 증가된 CPP 필름을, 진공력을 높여 개량한 진공포장기계 사용 및 산소흡수제 투입 여부에 따른 선박 운송시 그리고 유통 온도에서 팽이버섯 품질 변화를 모의 수출조건으로 현장 실험하여 품질 유지에 가장 효과적인 포장 방법을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험 재료

2021년 12월 2일 호남버섯(전라남도 나주시 노안면)에서 생산한 팽이버섯을 시험 재료로 사용하여 베트남 수출시 포장재 및 포장기계에 따른 품질유지 효과를 확인하고자 하였다. 수확당시 재배사에서 팽이버섯의 온도는 6~6.2°C였으며, 포장실은 8.6~9°C에서 포장작업을 실시하였다. 처리별 포장작업 후 박스단위로 적재하였고 한 박스가 1반복이 되도록 하여 보관하였다.

Table 1. Specification of vacuum sealing machines PAC-2000 and PAC-3000

Specification	Control (PAC-2000)*	Developed (PAC-3000)*
Length (mm)	1,820	2,370(+550)
Packaging speed (ea/h)	1,200	1,800(X1.5)
Air consumption (L/min)	304	201(▽ 30%)
Possible packaging weight (g)	120~300	120~400
Sealing method	Ultrasonic waves	Heater roller
Power consumption	0.6 kW	1kW

*PAC-2000 and PAC-3000 : Manufactured by Famecs Co., Yangsan, South Korea.

2. MA 포장재 및 진공 포장 기계

팽이버섯 진공포장 필름으로 관행적으로 사용하였던 2-layered 30 µm CPP 필름을¹⁶⁾, 개선된 필름으로 3-layered 30 µm CPP 필름을 사용하였다(Fig. 1). 2-layered 30 µm CPP 필름은 산소투과도가 $3,500 \text{ cm}^3 \times \text{m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ atm}^{-1}$, 투습도는 $16.5 \text{ g} \times \text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이고, 3-layered 30 µm CPP 필름은 산소투과도가 $4,200 \text{ cm}^3 \times \text{m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ atm}^{-1}$, 투습도는 $17.9 \text{ g} \times \text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로 관행에 비해 산소투과도와 투습도가 높은 필름이다. 두 필름의 산소투과도는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 5\%$ 상대습도 조건에서, 투습도는 $38 \pm 2^\circ\text{C}$, 100% 상대습도 조건에서 측정된 값이다.

진공 포장은 PAC-2000 (Vacuum packing machine, Famecs Co., YangSan, Korea)의 모델을 관행으로, 개선된 PAC-3000(Vacuum packing machine, Famecs Co., YangSan, Korea) 모델을 처리구로 두어 150 g 단위로 진공포장을 실시하였는데, PAC-3000은 기존 초음파 방식의 실링에서 열접착 방식으로 바꾸어 진공력을 높였고 포장속도를 1.5배 높여 작업 효율성을 높였다. PAC-3000은 필름 종류별로 포장작업이 가능하고 접착시 압력 및 온도조절이 가능하도록 개발되어 진공상태가 오래 지속되는 장점을 가진 모델로 개발되었다. 관행 진공포장기(PAC-2000)과 개선된 진공포장기(PAC-3000)의 차이점을 Table 1에 나타내었다.

수확한 팽이버섯을 포장재별, 포장 기계별 그리고 산소흡수제 투입 여부에 따라 4가지 처리구를 두었으며, 약어를 Table 2와 같이 표시하였다.

3. 저장 처리 및 유통 온도

포장한 팽이버섯을 동남아 선박수출시 운송기간을 최대 2주로 산출하여, 적정 버섯 저장온도¹²⁾인 1°C에 2주간 보관하였고, 14일 보관 후 꺼내어 이후 유통을 고려하여 8°C에서 6일간, 그리고 20°C 상온에서 2일간 보관한 후 이화학적 품질 및 관능품질 평가를 실시하였다.

4. 기체조성 및 품질 분석

팽이버섯 진공 포장 내부 공기조성, 진공폴립 정도, 저장 및 유통 온도에서 외관품질, 갖의 지름, 대의 길이, 대의 정도, 색도(CIE L*, a*, b*), 경도를 측정하였고, 관능평가로 무름 정도, 이취, 갈변지수 및 종합 신선도를 측정하였다.

저장 및 유통 기간 중 포장 내 기체조성(O₂ 및 CO₂)은

Table 2. Abbreviation of treatment of Korean enoki mushrooms according to sealing machine, films and/or oxygen absorber for exporting to Vietnam

Treatment No.	Sealing machine	Film	Oxygen absorber	Abbreviation
1	PAC-3000	2-layerd 30 µm CPP	-	PAC3-CF
2	PAC-3000	2-layerd 30 µm CPP	Using	PAC3+CF+OA
3	PAC-3000	3-layered 30 µm CPP	-	PAC3+TF
4	PAC-2000	2-layerd 30 µm CPP	-	PAC2+CF

Table 3. Sensory evaluation score that determines the marketability of Korean enoki mushrooms

Quality characteristics	Available Index for sale	Impossible Index for sale
Off odor	0~1	2~4
Discoloration of Cap	Original color (5)	Brown spot development (3~1)
Discoloration of Stalk	Original color (5)	Brown spot development (3~1)
Decay	No symptoms (0)	Initial period-spread (1~2)
Total freshness	9~5	4~1

포장 필름 표면에 septum을 부착한 뒤 헤드스페이스 가스 분석기(CheckMate 9900, PBI Dansensor Co, Ringsted, Denmark)를 이용하여 측정하였다. 포장 내부 기체 조성 및 관련된 이취 평가를 Lim 등¹⁸⁾의 방법을 응용하여 5점 척도로 평가하였는데, 처리별 포장봉지 개봉시마다 5점 척도(0: 발생 없음, 1: 약간 발생, 2: 이취 느낄 수 있으며 상품화 곤란, 3: 발생 심함, 4: 매우 심함)로 점수를 부여하였다.

진공풀림 정도는 0~4점 척도로 구분하였는데, 척도 0은 진공풀림이 전혀없이 상부 봉지의 밀착이 잘 유지되고 갓과 대부위가 단단하게 모여 있는 상태, 척도 1은 진공이 살짝 풀린 상태로 상부 봉지를 누르면 공기가 약간 들어가 있고 갓부위도 살짝 느슨해져 있으나 대 부분은 단단함을 유지한 상태, 척도 2는 상부 봉지와 갓 부위가 퍼져있거나 갓 부위가 모여 있어도 대 부분의 단단함이 없는 상태, 척도 3은 상부봉지와 갓 부위가 풀려 퍼져있고 중간 부위를 누르면 폭신폭신푼다는 상태, 척도 4는 상부봉지와 갓 부위가 완전히 풀려있고 대 부위도 풀려있는 상태를 기준으로 하였다.

갈변지수는 대의 변색을 5점 척도(5: 본래의 색, 3: 일부 갈변, 1: 갈변 부위 다수)로 조사하였다.

버섯의 경도는 대 부분을 나누어 측정하는데, 대와 배지의 경계면에서부터 윗쪽으로 2 cm 부분을 측정하였다. 지름 2 mm 탐침을 이용하여 물성측정기(Texture Analyzer TA.XT2, SMS, Godalming, UK로 투과속도 2 mm/sec로 변형 깊이 10 mm 깊이까지 뚫고 들어갈 때의 투과력을 측정한 후 단위는 Newton(N)으로 표현하였다.

팽이버섯 표면 색도는 표준백판 (L^* 97.75, a^* -0.43, b^* 0.29)으로 보정된 색차계(CR-400, Konica Minolta Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 CIE L^* (lightness) a^* (red-green)와 b^* (yellow-blue)값을 측정하였다.

버섯의 품질은 객관적인 수치로 비교가 가능하지만 실제 유통과정에서는 객관적 품질 분석을 통한 품질 비교가 어려우므로 주로 관능적 특징에 의하여 품질을 평가하게 된다¹⁸⁾. 따라서 본 실험에서도 Lim 등의 방법¹⁸⁾을 이용하여 최종적으로 무름정도, 이취, 갈변 등 모든 품질 평가 요소를 총괄하여 처리별 포장팩을 개봉시마다 종합선도를 9점 척도(9: 매우 좋음, 7: 좋음, 5: 괜찮음, 상품화 가능, 3: 나쁨, 열화 심각, 1: 매우 나쁨)로 부여하였다. 이취, 갈변, 부패, 종합선도를 관능평가한 결과를 토대로 소비자가 상품

성이 있다고 판단할 기준선을 고려하여 각 품질 요소별 상품 가능한 기준을 설정하였다(Table 3). 처리별 관능평가 결과에 대해 상품성 한계일을 해당 그래프에 빨간색 선으로 표시하였다.

5. 통계 분석

처리별로 조사일마다 3개의 박스(3반복)에서 각각 5개의 포장된 팽이버섯을 꺼내어 품질요인을 조사하였다. 반복당 5개씩 조사한 데이터의 평균을 구하여 1반복 평균값으로 사용하였고, 3반복에 대한 데이터의 평균값을 구한 후 표준오차(SigmaPlot 10.0, standard error, SE)로 나타내었다. 단, 중량감소를, 포장재 내 산소와 이산화탄소 농도는 고정시료를 이용하여 저장기간 동안 3반복으로 조사를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 처리별 포장내부 산소와 이산화탄소 농도 조성 및 진공풀림

포장기계 및 포장지별 처리 직후 포장 내부의 산소와 이산화탄소 농도는 모든 처리구에서 각각 0%와 25%로 나타나 포장 직후 호흡이 왕성하며 포장재의 진공상태가 잘 유지됨을 알 수 있었다(Fig. 2). 처리 후 1°C에 저장 2주째 기준 포장기계 PAC-2000으로 관행필름으로 밀봉한 팽이 포장재 내부의 산소는 약 6%로 높아지고 이산화탄소 농도는 약 13%로 낮아졌는데, 이는 진공풀림 현상이 발생한 것을 의미한다(Fig. 3). PAC-3000으로 포장한 처리구는 1°C 저장 2주째까지 진공풀림 현상이 발생하지 않았고, 20°C 보관 2일째에도 진공풀림 지수가 가장 낮았고, 8°C 보관 6일째에도 관행 포장기로 포장처리구와 비교시 낮게 유지되었다(Fig. 3). 1°C에서 2주간 보관한 후 유통수명을 추정하기 위해 20°C에서 2일 그리고 8°C에서 6일 보관한 결과 20°C에서 2일 보관한 팽이포장재 내부의 산소와 이산화탄소 농도는 저장기간과는 다르게 급격히 올라간 온도로 인해 호흡이 상승하여 산소농도는 0%에 근접하였고 이산화탄소 농도는 모든 처리구에서 약 17~23%로 상승하였으며, 8°C에서 6일 보관한 팽이포장재 내부의 산소는 약 0%에 근접하였고 이산화탄소 농도는 PAC-3000으로 밀봉한 세 처리구들은 20°C 유

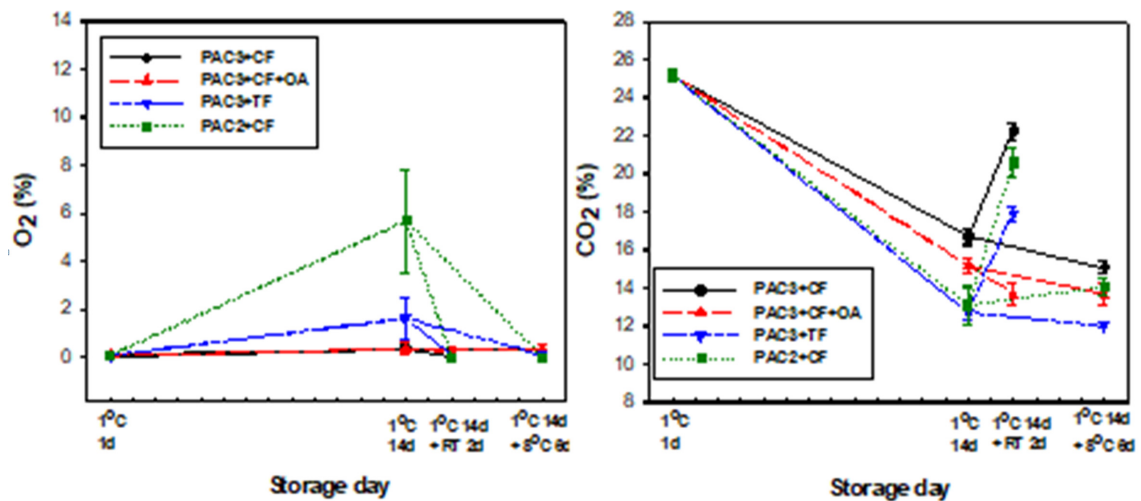


Fig. 2. Concentration of O_2 and CO_2 in headspace of different packages of *Flammulina velutipes* submitted to 14 day storage at $1^\circ C$ followed by 2 days at room temperature or 6 days at $8^\circ C$. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error ($n=3$).

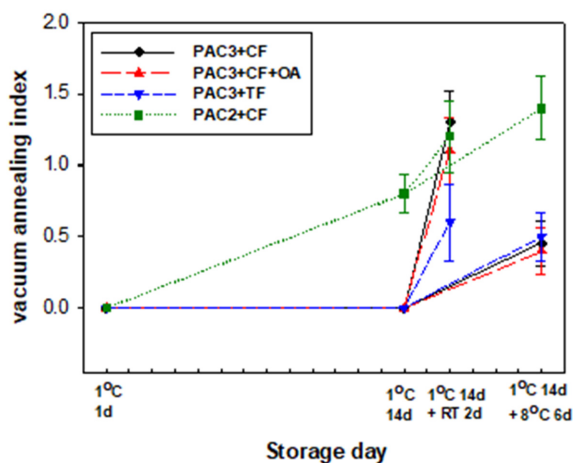


Fig. 3. Vacuum release of different *Flammulina velutipes* packages submitted to 14 day storage at $1^\circ C$ followed by 2 days at room temperature or 6 days at $8^\circ C$. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error ($n=3$).

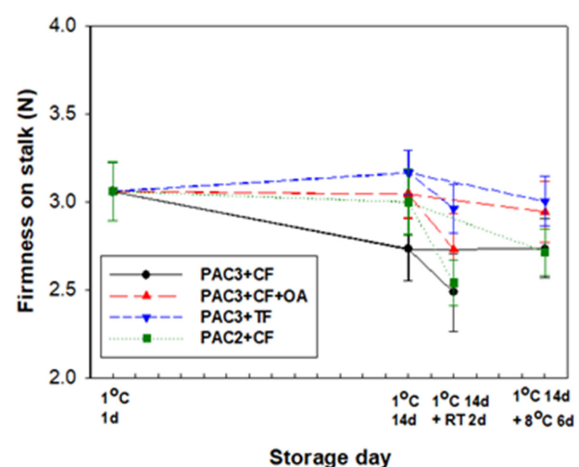


Fig. 4. Firmness of *Flammulina velutipes* stalk in different packages submitted to 14 day storage at $1^\circ C$ followed by 2 days at room temperature or 6 days at $8^\circ C$. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error ($n=3$).

통온도처리구와는 다르게 $1^\circ C$ 2주간 저장했을 때의 이산화탄소 농도보다 낮아졌으나 PAC-2000으로 밀봉시에는 다소 높아졌다.

2. 처리별 팽이버섯의 경도 변화

팽이의 대의 경도는 PAC-3000포장기 + 유상필름 처리구에서 저온저장 기간 및 유통 기간에도 가장 높게 유지되었고 이어 PAC-3000포장기 + 관행필름 + 산소흡수제 처리구가 높았다. PAC-3000포장기+관행필름 처리구의 경도는 네 처리구들 중 가장 낮았으나 식감에는 크게 영향을 주지 않아 상품성에는 크게 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 4).

3. 처리별 팽이버섯의 색도 및 갈변지수 변화

팽이 포장기계 및 포장방법별로 저온 저장 및 유통 중 색도 변화를 계측하였고 (Fig. 5), 색변화에 대해 관능평가한 결과 (Fig. 6) 팽이버섯에서는 갈변이 다발생하는데, 이는 명도 감소, a^* 값 감소, b^* 값의 증가로 인해 나타난다. $1^\circ C$ 저장 14일째, 그리고 이후 $20^\circ C$ 보관 2일째에는 처리간 큰 유의차는 없었으나 관행기계+관행필름 처리구에서 다른 처리구들에 비해 갈변지수가 약간 높았으며, $8^\circ C$ 유통 6일째에는 관행포장기+관행필름 처리구에서 갈변지수가 가장 높았고, PAC-3000포장기 + 관행필름 처리구의 갈변지수가 가장 낮았다. Shin 등¹³⁾은 팽이버섯의 저장기간이 경과함에 따라 색도변화로 명도는 감소하고 b^* 값은 증가하는 경향이며, a^* 값

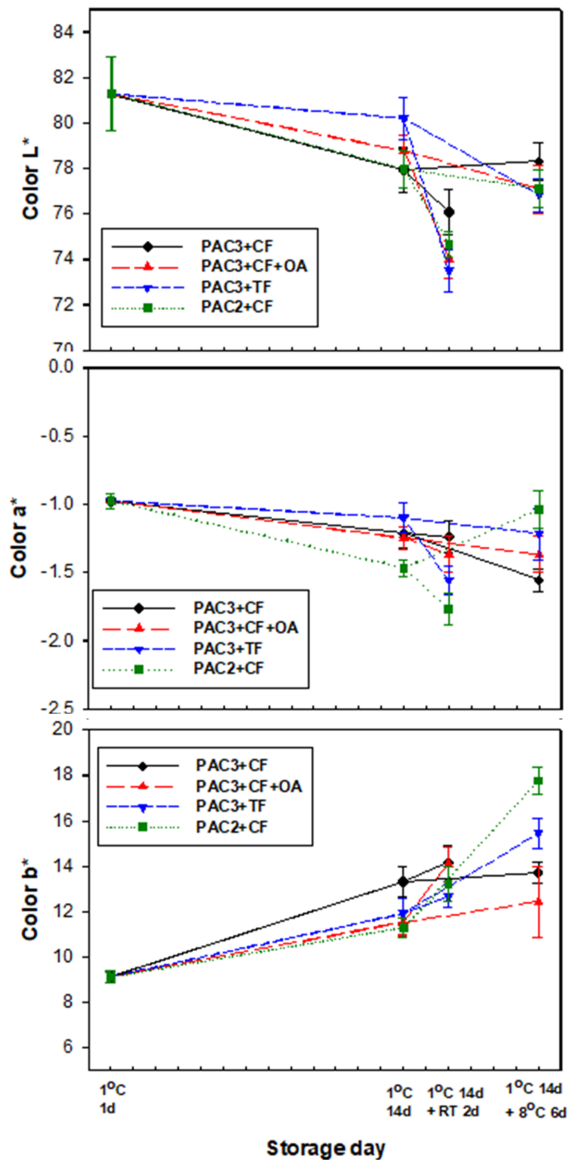


Fig. 5. Color change of *Flammulina velutipes* in different packages submitted to 14 day storage at 1°C followed by 2 days at room temperature or 6 days at 8°C. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error ($n = 3$).

은 포장방법에 따라 차이가 있는데 passive MA로 산소와 이산화탄소를 25:20 퍼센트로 충전한 포장시에는 증가하였고, 진공포장 및 그 외 공기조성 저장에서는 감소한다고 하였으며 포장재 내부의 산소 농도 조절로 표면 색변화를 억제할 수 있다고 하였는데¹³⁾, 본 실험에서 사용한 2-layered 와 3-layered CPP 필름 포장시에는 a^* 값이 전반적으로 감소하였다. 포장의 진공포장은 갈변발생¹⁸⁾과 밀접한 연관이 있는데, 본 실험에서 관행 진공포장기인 PAC-2000으로 밀봉한 팽이버섯에서 갈변이 빠르게 진행하였다(Fig. 6).

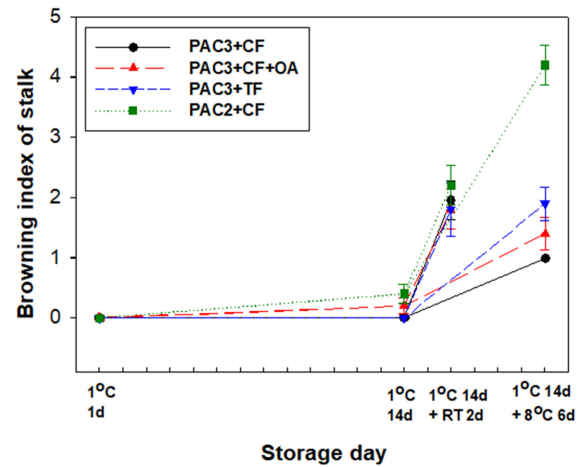


Fig. 6. Browning index of *Flammulina velutipes* stalk in different packages submitted to 14 day storage at 1°C followed by 2 days at room temperature or 6 days at 8°C. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error ($n = 3$).

4. 처리별 팽이버섯의 갓 개열 및 대의 신장

포장기계 및 포장방법별 팽이 진공포장 후 1°C 저온저장 갓의 개열과 대의 신장을 조사한 결과(Fig. 7) 갓은 신장 및 개열이 일어나지 않고 품질이 잘 유지되었다가, 1°C저장 14일째 꺼내어 20°C 유통 2일째에는 대 신장과 갓 개 열이 진행되었는데 관행포장기+관행필름 처리구에서 약간 빠른 경향을 보였다. 1°C 저장 14 일째 꺼내어 8°C에서 6일 보관시에는 PAC-3000포장기+유상필름 처리구에서 대 신장과 갓 개열 지수가 가장 높게 나타났고, 관행필름이용 관행 진공포장기로 밀봉한 처리구에서는 1°C 2주 저장 후 꺼내어 8°C 유통온도에서 6일 경과시 대의 신장이 가장 뚜렷하게 나타났다. 느타리버섯에서 저장 온도가 낮아지고 상대습도가 높아졌을 때 신장이 촉진된다는 보고²⁰⁾와 시중에 유통중인 팽이버섯 포장필름 중 대의 신장이 낮은 필름은 외부 상대습도 유입이 차단되는 조건일수 있다는 보고²¹⁾와 비교하면, 본 실험에서 사용한 포장 조건으로 먼저 진공력을 높인 PAC-3000 모델로 포장한 처리구가 저장기간 중 진공유지가 잘되어 외부 공기유입 차단에 좋은 조건이었으며(Fig. 3), 관행 2-layered 필름보다 개선된 3-layered 필름이 산소투기성은 16.7%, 투습성은 7.8%로 높아 1°C 저장 중 갓 개열과 대 신장이 약간 높은 것으로 나타나는 것으로 해석할 수 있다(Fig. 7).

5. 처리별 팽이버섯의 이취 발생

포장지 산소농도가 감소할 때 발생하는 이취(Fig. 8)는 1°C저장 2주째까지는 상품성 이내로 이취가 나지 않거나 매우 약하게 발생하여 밀봉포장한 팽이의 1°C 저장시 이취는 2주동안 상품성에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 그

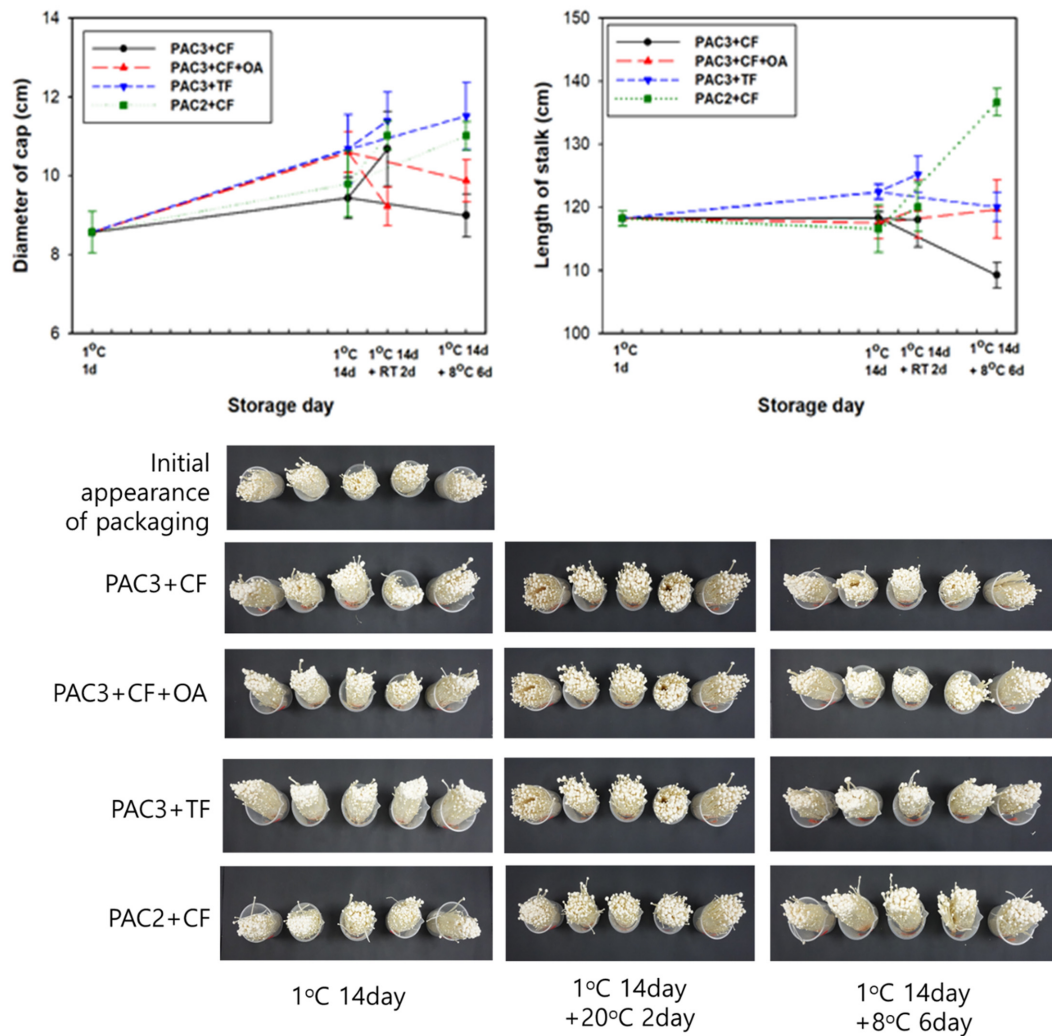


Fig. 7. Cap diameter, stalk length and appearance of *Flammulina velutipes* in different packages submitted to 14 day storage at 1°C followed by 2 days at room temperature or 6 days at 8°C. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error (n = 3).

러나 PAC-3000을 이용하여 관행필름에 산소흡수제를 투입하여 밀봉한 처리구는 20°C 2일째, 그리고 관행포장기+관행필름처리구는 8°C에서 6일째 이취지수가 2에 근접하여 상품성을 잃는 것으로 나타났다. 포장방법별 조사일별 이취를 비교시, 1°C에서 2주 보관시 관행기계+관행필름으로 밀봉한 팽이버섯의 이취지수가 가장 높았고, 이어 PAC-3000포장기+관행필름+산소흡수제를 투입한 처리구의 이취가 높아 산소흡수제는 상온유통 중 이취를 억제할 수 없는 것으로 파악되었다. Cho 등¹⁶⁾은 팽이버섯의 적정 기체조성이 산소 1%, 이산화탄소 15%로 산소 농도 1% 이하에서는 포장내 혐기적 조건을 유발시킬 수 있다고 하였고, 신선 농산물은 혐기적 조건에 처해졌을 때 이취발생으로 상품성이 하락한다¹⁶⁾. 이 조건과는 별개로 팽이버섯의 유통 중 포장의 진공포장은 갈변발생¹⁶⁾ 및 이취발생을 가속화할 수 있는데, 본 실험에

서 진공포장시 산소 농도가 약 6%로 나타나고 있어 혐기적 조건이라고 볼 수는 없으나, 팽이버섯 진공포장 후 1°C 저장 중 관행기계로 밀봉한 처리구에서 진공포장과 이취발생이 동시에 높아지고 있어 이취발생의 원인이 포장내부 저산소보다는 진공포장과 연관이 있음을 알 수 있다. 팽이버섯의 진공포장시 갈변과 이취가 발생하는 원인으로서는 진공포장시 포장 내부의 팽이버섯에 눌림이나 흔들림 등으로 인한 기계적 손상이 일어난 때문으로 생각해 볼 수 있으나 향후 자세한 구명이 필요하다.

1°C저장 14일째 꺼내어 20°C에 2일 보관한 팽이버섯에서는 PAC-3000포장기 + 관행필름 + 산소흡수제 처리구의 이취지수가 가장 높았고 나머지 세 처리구는 저온저장때보다는 이취지수가 높아졌고 이취지수에는 유의차가 없었다.

1°C 저장 14일째 꺼내어 8°C에서 6일간 보관한 팽이버

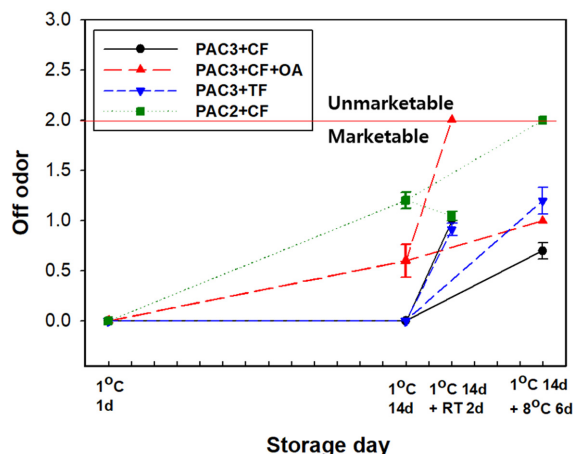


Fig. 8. Off odor development of *Flammulina velutipes* in different packages submitted to 14 day storage at 1°C followed by 2 days at room temperature or 6 days at 8°C. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error (n = 3).

서는 관행포장기계+관행필름에서 이취지수가 가장 높았고, 이어 PAC-3000포장기+유상필름 처리구, PAC-3000포장기 + 관행필름 + 산소흡수제 처리구 순으로 높았고, PAC-3000+ 관행필름 처리구가 가장 낮은 이취지수를 보였으나 관행포장기계사용 처리구를 제외한 처리구는 이취지수가 2 이하로 상품성에 영향을 미치지지는 않았다.

산소흡수제를 투입한 처리구에서는 1°C에서 2주 보관 후 20°C에서 2일 경과시 이취가 다른 처리구에 비해 급속도로 빠르게 발생하였는데, 이는 20°C의 유통온도에서 버섯의 호흡율이 상승하여 포장내부 산소농도가 빠르게 감소하는데 더하여 산소흡수제가 포장내부 산소농도를 더 빠르게 떨어뜨려 이취발생이 가속화한 것으로 보인다. 동남아 현지 유통시장에서 저온유통이 일반화되지 않았을 경우 팽이버섯 진공포장시에는 산소흡수제는 사용하지 않는 것이 바람직한 것으로 보인다.

6. 처리별 팽이버섯의 무름증상 발생

밀봉포장한 팽이의 1°C 저온저장기간 동안에는 무름증상이 발생하지 않았다. 20°C 2일 보관시에는 관행포장기+관행필름 처리구에서 무름증상이 발생하였고 다른 3처리구에서는 발생하지 않았다. 8°C 보관 6일째에는 관행포장기+관행필름 처리구의 무름증상이 상품성 한계를 벗어나 상품성을 잃었으며, 이어 PAC-3000포장기 + 유상필름에서 무름이 살짝 발생하였고 PAC-3000포장기 + 관행필름 처리구와 PAC-3000포장기+관행필름+산소흡수제 처리구에서는 무름이 발생하지 않았으나 세 처리구 모두 상품성 한계 이내의 범위였다(Fig. 9).

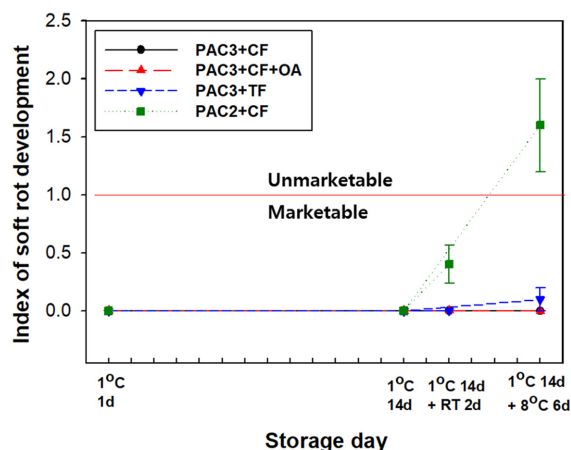


Fig. 9. Soft rot development of *Flammulina velutipes* in different packages submitted to 14 day storage at 1°C followed by 2 days at room temperature or 6 days at 8°C. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error (n = 3).

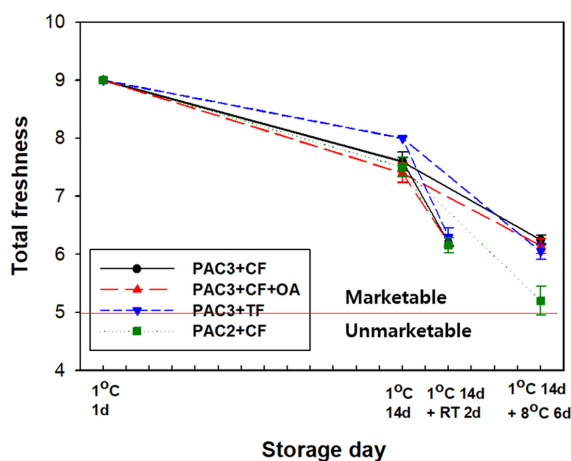


Fig. 10. Total freshness of *Flammulina velutipes* in different packages submitted to 14 day storage at 1°C followed by 2 days at room temperature or 6 days at 8°C. For the treatments, refer to Table 2. Data are expressed as means $\pm$ standard error (n = 3).

7. 처리별 팽이버섯의 종합선도지수

팽이 밀봉포장 처리구별 종합선도 지수를 분석한 결과 (Fig. 10), 저온저장 2주째까지는 PAC-3000포장기+유상필름 처리구의 선도가 다른 처리구에 비해 약간 높게 나타났다.

20°C 보관 2일째 종합선도는 처리구별로 유의차는 없었고 모든 처리구에서 상품성 이내의 선도를 보였다. 8°C 보관 6일째에는 PAC-3000포장기로 밀봉처리한 세 처리구가 유사한 종합선도지수로 관행포장기+관행필름 처리구의 종합선도지수보다 높았다.

이상의 결과를 요약하면 투기성을 높은 선발 필름과 진

공력을 높인 포장기로 팽이버섯을 포장하여 모의 선박 운송하며 팽이의 이취, 색도, 무름증, 갓 개열 및 줄기 신장 등 이화학적 품질 평가와 관능평가를 종합하여 종합선도지수를 평가한 결과 1°C 저온저장 2주째까지는 PAC-3000포장기+개선팔름 처리구의 선도가 다른 처리구에 비해 높게 나타났고, 1°C 보관한 팽이를 2주째 꺼내어 20°C 유통온도로 2일 경과시 종합선도는 처리구별로 유의차는 없었으며 모든 처리구에서 상품성 이내의 선도를 보인 반면, 1°C 보관한 팽이를 2주째 꺼내어 8°C 유통온도로 6일 경과시에는 PAC-3000포장기로 밀봉처리한 세 처리구들의 종합선도지수가 관행포장기+관행팔름 처리구의 종합선도지수에 비해 유사하게 높은 값을 보였다. 특히 PAC-3000포장기를 이용하여 개선팔름으로 팽이버섯을 진공포장한 처리구의 진공풀림이 저온저장 기간 중 그리고 상온 보관중에도 가장 낮아 밀봉이 잘 유지되었고, 8°C 보관 6일째에도 관행포장기 보다 낮은 진공풀림현상을 보였다. 결과적으로 3-layered 30 mm CPP 필름포장재로 PAC-3000 진공포장할 때 팽이버섯의 유통 중 손실을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 “농업과학기술 연구개발사업 (과제번호 PJ01660902)” 및 농림축산식품부 (MAFRA), 농림식품기술기획평가원 (IPET)의 “수출촉진기술개발사업 연구사업 (과제번호 617067-05-5-SB410)”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Chang, S.T. and Miles, P.G. 1989. Edible mushrooms and their cultivation. CRC press, pp. 335.
- Choi, J.W., Kim, S.Y., Choi, M.H., Lim, S.Y., Yang, H.J., Shin, I.S. and Hong, Y.P. 2020. Patent trend analysis for postharvest technology of fresh mushrooms. J. mushrooms. 3: 280-285.
- Sasaki, H., Sugahara, T. and Imai, T. 1999. The effect of storage conditions, especially the storage temperture on Maintaining the Freshness of the cultivated mushrooms of *Tricholomataceae*. J. Integ. Study Dietary Habits. 10(3): 26-31.
- Yoon, M.J. 2011. Measures to expand Korean mushrooms exports. Mushroom, The Korean Society of Mushroom Science, pp. 13-14.
- Kong, W.S. 2017. Supplement to pre-planning study for composition of mushroom export research group R&D Report. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, pp. 24.
- Kim, S.R., Kim, W.I., Yoon, J.H., Jeong, D-Y., Choi, S.Y., Hwang I. and Rajalingam N. 2020. Growth survival of *Listeria monocytogenes* in enoki mushroom (*Flammulina velutipes*) at different temperatures and antilisterial effect of organic acids. J. food hyg. Saf. 35(6): 630-636.
- Farber, J.M., Zwietering, M., Wiedmann, M., Schaffner, D., Hedberg, C.W., Harrison, M.A., Hartnett, E., Chapman, B., Donnelly, C.W., Goodburn, K.E. and Gummalla, S. 2021. Alternative approaches to the risk management of *Listeria monocytogenes* in low risk foods. Food Control. 123: 1-26.
- Marçal, S., Sousa, A.S., Taofiq, O., Antunes, F., Morais, A.M.M.B., Freitas, A.C., Barros, L., Ferreira, I.C.F.R. and Pintado, M. 2021. Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. Trends Food Sci. Technl. 110: 418-431.
- Jiang, T., Feng, L. and Zheng, X. 2012. Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). J. Agric. Food Chem. 188-196.
- Minamide, T., Habu, T. and Ogata, K. 1980. Effect of storage temperature on keeping freshness of mushrooms after harvest. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 6: 281-287.
- Donglu, F., Wenjian, Y., Kimatu, B.M., Xinxin, A., Qiuhui, H. and Liyan, Z. 2016. Effect of nanocomposite packaging on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of mushrooms (*Flammulina velutipes*). Postharvest Biol. Tec. 119: 49-57.
- Park, Y.M. 2009. Postharvest management technology for mushroom export. J. Mushroom Sci. Prod. 7(2): 83.
- Shin, S.H., Jung, J.Y., Choi, J.H., Kim, D.M. and Jeong, M.C. 2009. Effect of packaging methods on enoki mushroom qualities. Korean J. Food Preserv. 16(2): 179-185.
- Malizio, C.J. and Johnson, E.A. 1991. Evaluation of the botulism hazard from vacuum-packaged enoki mushrooms (*Flammulina velutipes*). J. Food Prot. 54(1): 20-21.
- Park, Y.M., Park, S.W. and Hong, S.J. 2003. Effects of vacuum packaging and shelf temperature on the quality changes of golden mushroom (*Flammulina velutipes*) during simulated shipment and marketing. Hortic. Sci. Technol. 21(4): 294-299.
- Cho, S.H., Lee, D.S., Lee, S.D., Kim, N.G. and Ryu, J.S. 1998. Modified atmosphere packaging for keeping freshness of enoki mushroom (*Flammulina velutipes*). Korean J. Food & Nutr. 27(6): 1137-1142.
- Jeong, H.K., Choi, J.W., Lee, J.H. and Hong, Y.P. 2016. Postharvest respiratory physiology and quality characteristics of several mushroom cultivar. Mushroom, The Korean Society of Mushroom Science, pp. 205.
- Lim, S.Y., Hong, Y.P., Lee, E.J., Kim, J.K., Lee, J.H. and Choi, J.W. 2014. Extension of shelf-life in golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*) according to pressure composition packaging using oriented polypropylene film. Korean J. Food Preserv. 21(6): 767-775.
- Charles, F., Sanchez, J. and Gontard, N. 2003. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: Modeling with tomatoes and oxygen absorber. J. Food Sci. 68(5): 1736-1742.

20. Lee, Y.H., Lee, H.B. and Ju, Y.C. 2011. Changes of quality in *Pleurotus ostreatus* during low-temperature storage as affected by cultivation temperature and relative humidity. J. Mushrooms. 9(1): 34-38.
21. Kim, K.J., Jin, S.W., Choi, B.S., Kim, J.K., Koh, Y.W., Kim, A.R.Ch. and Seo, K.S. 2015. Organic acid and quality change in *Flammulina velutipes* fruit body by various storage temperature treatments and packaging films application. J. Mushrooms. 13(2): 119-124.

투고: 2022.07.29 / 심사완료: 2022.08.19 / 게재확정: 2022.08.23