ISSN(Print) : 1738-7248, ISSN(Online) : 2287-7428
Korean J. Food Preserv.
21(6), 767-775 (2014)
http://dx.doi.org/10.11002/kjfp.2014.21.6.767

사단법인 한국식품저장유통학회
The Korean Society of Food Preservation

Extension of shelf-life in golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*) according to pressure composition packaging using oriented polypropylene film

Sooyeon Lim[1], Yoon Pyo Hong[2], Eun Jin Lee[1], Jongkee Kim[3], Ji Hyun Lee[2], Ji Weon Choi[2]*
[1]*Department of Plant Science, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea*
[2]*Postharvest Research Team, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Suwon 440-706, Korea*
[3]*Department of Integrative Plant Science, School of Bioresouece and Bioscience, Chung-Ang University, Anseong 456-756, Korea*

연신 폴리프로필렌 필름으로 진공 포장된 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)의 저장성 향상

임수연[1] · 홍윤표[2] · 이은진[1] · 김종기[3] · 이지현[2] · 최지원[2]*
[1]서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부, [2]국립원예특작과학원 저장유통연구팀,
[3]중앙대학교 생명공학대학 생명자원공학부

Abstract

The shelf-life of fresh mushrooms is notably limited because their browning, texture change, and decay are too fast after immediately harvest. Especially, the best management for extending golden needle mushroom's shelf-life is modified atmosphere packaging under pressure vacuum at cold storage. In this study, three types of films, 20 μm polyethylene+polypropylene (PE+PP), oriented polypropylene (OPP), and low density polyethylene (LDPE) were tested to extend the shelf-life of golden needle mushrooms. Mushrooms were packed under pressure vacuum and stored at 10 °C for 2 weeks. The golden mushrooms in LDPE film as a commercial packaging, were highly perishable and immediately proceed deterioration as browning, elongation, fluctuation of respiratory quotient (RQ) and softening within 7 days after packaging. On the other hand, the mushrooms in OPP and PE+PP film shown that shelf-life were extend to 14 days from 7 days, causing delay breakup of vacuum and maintenance of color, length, and RQ during storage. The breakup of vacuum in PE+PP film was faster few days than OPP film packaging. This present study indicated that the golden needle mushrooms by OPP packaging under pressure vacuum treatment might be extended the shelf-life until approximately 14 days during cold storage.

Key words : golden needle mushroom, pressure vacuum packaging, postharvest technology, shelf-life, films

서 론

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 분류학적으로 담자균류의 주름버섯목 송이과에 속하며 golden needle mushroom, enoki mushroom, winter mushroom 이라고도 하며, 양송이와 느타리버섯과 다르게 갓이 매우 작고 자실체가 곧고 긴 형태의 특징을 가지고 있다. 팽이버섯의 생산과 소비는 1990년대 이후 일반농가에게 병 재배법이 보급되면서 생산량이 증대하고 점차적으로 기능성과 영양에 대한 인식이 좋아지면서 현대에 들어와 전 세계적으로 급증하고 있다(1).

하지만 신선한 버섯의 저장수명은 상온에서 1~3일, 4°C에서 4~7일 사이로 매우 짧다. 이렇게 저장수명이 짧은 것은 버섯의 구조 때문인데 버섯은 과실과 다르게 큐티클층이 형성되지 않고 외표피가 매우 얇아 수분증발이 쉽게 일어나도록 구성되어 있으며 전체적으로 다공성의 구조를 형성하고 있다. 이는 결과적으로 버섯 내 높은 대사활동, 호흡률과 탈수현상이 지속되면서 cell deterioration이 빠르게 진행되

*Corresponding author. E-mail : jwcnpri@korea.kr
Phone : 82-31-240-3651, Fax : 82-31-240-3668
Copyright Ⓒ Korean Journal of Food Preservation. All rights reserved.

는 원인이 된다(2). 이러한 급격한 상품성 저하의 문제가 있음에도 불구하고 이를 해결하기 위한 연구가 미흡했던 외부요인은 중국, 미국, 홍콩, 대만 등에 4대 품목(인삼, 버섯, 배, 유제품) 중 한 품목으로 대량 수출되고 있지만 수출국이 대한민국, 중국, 일본으로 국한되어 있어 생산량 증대에 치우쳐 팽이버섯의 재배에만 관심이 집중되어있고 수확후 생리 및 저장에 대한 연구는 많이 수행되지 않고 있기 때문이다(2-4).

팽이버섯의 shelf-life를 판단하는 인자는 주로 갈변, 신장 및 이취발생 여부인데, 수확후에도 팽이버섯은 줄기의 신장과 갓의 개열 현상이 지속적으로 발생하면서 배지로부터 분리된 상태에서 이용되는 자가영양원의 성분변화와 호흡률이 급변하게 된다. 이 때 호흡 기질로 사용되는 영양성분은 주로 trehalose와 mannitol이라고 알려져 있는데, 이 두 성분은 저장양분으로서의 역할 뿐만 아니라 외부 산화적 스트레스로부터 버섯 자실체를 보호하는 역할도 있다고 알려져 있다(3,5,6).

버섯은 다른 작물에 비해 매우 높고 다양한 호흡률을 나타낸다. 신선한 버섯은 종에 따라 적정 저장온도에서 이산화탄소의 함량이 약 10배 이상의 차이를 낸다고 보고되고 있다(4). 산소의 소비는 적정 저장온도 10℃에서 양송이 버섯의 경우 17.8%였던 반면에 0℃에서는 3.7%로 감소된 경향을 보였다. 또한 호흡률에 직접적인 관련을 보이는 산소와 이산화탄소는 기내의 조성이 각각 1~20 kPa과 0~10 kPa의 범위 내에서 조성된 기체 환경에서는 호흡률 변동에 큰 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있으나(7), 품종과 저장온도에 따라 크게 다를 수 있음이 시사 된 바 있다. 하지만 이중 버섯의 호흡대사는 낮은 산소압력에서 호기성을 띄는 성향이 분석되었으며 이산화탄소는 품종 및 저장조건에 따라 그 발생량이 10배 이상 차이가 나기 때문에 이산화탄소의 양만으로는 호흡률을 예측하기 어렵다고 알려져 있다(8).

생리학적으로는 팽이버섯의 호흡률을 조절하는 처리를 가하면 shelf-life를 연장시킬 수 있다고 판단되지만, 실제 shelf-life를 연장시키기 위한 연구는 수확 후 호흡작용이 왕성해 변질이 매우 빠른 특성 때문에 많은 적용이 이루어지지 못하고 있다(9).

주로 버섯의 저장방법으로 저온저장, controlled atmosphere (CA) 저장, modified atmosphere(MA) 저장 등이 있으나 대부분 양송이와 표고버섯에 관한 연구이다. 현재까지 팽이버섯은 관행적으로 필름 내부를 진공 처리한 MA 저장으로 다른 버섯에 비해 줄기가 곧고 길게 자라는 형태를 이용하여 가지런히 진열된 상태에서 유통하거나 판매되어 왔다. 일부 이산화탄소와 같은 호흡을 억제시키는 기체를 추가적으로 충진하거나 필름 포장이 되지 않은 상태에서 저장고에 CA저장 기술을 적용하는 방법을 선행적으로 수행한 연구들이 있다(10).

현재까지 팽이버섯은 랩+트레이에 포장하여 1℃에 저장하는 경우 15일 동안 선도가 유지된다고 하였고, 방담필름으로 포장하여 0~2℃ 저장 시 28일(11)까지 가능하다고 하였으나 실질적으로 대형마트 및 시장에 유통되는 저장온도는 10℃로 알려져 있어 실질적인 저장력이라고 판단하기는 어려운 부분이 있다. 관행적으로 하고 있는 진공포장은 10℃에서 9일간 품질보존이 가능한 것으로 보고되었다(12). 이 밖에도 팽이버섯을 위한 필름 포장법은 Park과 Lee(13) 그리고 Shin 등(14)에 의해 LDPE, 방담필름, 기체조성 등에 대한 연구가 이루어졌으며, 현장 적용을 고려하였을 때 결과적으로는 포장의 두께가 얇은 필름으로 진공 포장하여 유통하는 팽이버섯의 경우 진공도의 지속성에 의한 저장력이 좌우됨을 제시하고 있다. 선행연구에서는 호흡률을 조절하기 위한 기체투과가 용이한 필름을 대상으로 저장 연구를 진행하였으나, 현장에서는 향후 수출 및 유통기간 연장 등을 위한 수확후 처리 조건을 마련하는 것이 시급함에도 불구하고 팽이버섯의 진공포장을 위한 적합한 필름을 선발하는 선행 연구는 드물다.

따라서 본 실험은 팽이버섯이 일반적으로 LDPE 필름으로 진공 포장하여 유통할 수 있는 9일 보다 연장시킬 수 있는 방법을 찾고자 20 mm의 두께로 제조한 LDPE, OPP 그리고 PE+PP 필름으로 진공 포장 된 팽이버섯 중에서 유통기간이 2주까지 연장되는 필름을 선발하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

본 연구의 재료는 경기도 평택시 진위면 소재의 농장에서 병으로 재배된 팽이버섯을 2013년 10월 7일 수확하여 사용하였다. 수확 직후 크기와 외관의 표면이 갈변 되지 않은 시중에 유통되는 정상적인 것으로 선별하여 반 진공포장 처리를 즉시 수행하였다.

실험처리

포장단위는 200 g 내외로 하여 총 4개의 필름으로 진공포장 후 상온과 저온의 조건에서 품질을 평가하였다. 포장필름의 두께는 모두 20 μm로 통일하였으며 필름의 종류는 제조원료에 따라 PE+PP, OPP, LDPE 필름으로 구분하여 포장지를 가로와 세로를 각각 25×25 cm로 재단하여 반 진공 포장하였다. 저온 처리구는 실제 유통부터 판매까지 이루어지는 대형 마트 및 소매상의 저장환경과 유사하도록 조성하고자 10°C의 환경에 저장하면서 2주간 품질의 변화를 관찰하였다.

경도 측정

팽이버섯은 밀접하게 군락을 형성하여 생장하는 형태이

므로 경도의 측정은 색도를 측정하는 부위와 일치하도록 줄기 하단부위를 시료의 양면으로 총 10개 시료의 반복으로 수행하였다. 직경이 2 mm가 되는 원형 probe가 부착된 texture analyser(TA 1, LOYD Instrument, Ametek. Inc., West Sussex, UK)를 이용하여 투과속도 2 mm/s 및 10 mm strain 조건에서 조직의 저항값을 측정하였다.

포장 내 기체조성 측정

포장 내 기체 조성을 측정하기 위해 1 mL 주사기로 기체를 흡입하여 산소와 이산화탄소의 농도를 gas analyzer(PBI dansensor-check mate2, PBI Co., Denmark)를 사용하여 2일 간격으로 14일간 측정하였다. 반 진공 상태로 포장된 버섯은 측정시기마다 새로운 시료를 지정하여 호흡량을 측정하였으며 저장으로 인해 진공이 해체되는 버섯은 남은 수량과 대비하여 포함하였다. 진공 해체는 정확한 수치로 측정하지 않고 포장지내에 육안으로 진공이 풀려 내부호흡 혹은 부패로 인한 포장필름의 팽창이 발견된 시기로 지정하였다. RQ는 포장지내에 산소량에 대한 이산화탄소량의 비율을 나타낸 수치로 1.0 혹은 처음에 형성된 RQ값이 유지되는 것을 호흡이 유지되거나 유기호흡으로 판단하였고, 1.0 초과로 증가하거나 저장 기간 중 수치간의 차이가 큰 것을 발효 혹은 호흡의 급변으로 판단하였다(5,8,9).

색도 측정

색도는 chromameter(CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)를 사용하였으며, 버섯의 갓 하단부위와 배지를 제외한 줄기의 하단부위를 시료의 양면을 총 10개 시료의 반복으로 측정하였다. 측정값은 Hunter 색차계의 L, a, b값을 취하였다.

사진촬영 및 부패율 측정

팽이버섯의 외형의 변화(갓 개열, 줄기신장, 줄기 갈변 등)들을 육안으로 판별하기 적절한 시료이며 이러한 원물의 품질 변화를 측정하기 위한 실험적 방법으로써 개체간의 차이를 비교 할 수 있도록 사진 촬영을 저장 1주 및 2주차에 수행하였다. 일정한 밝기의 사진을 얻기 위해 Hunter L값이 100±5의 범위 내 제어가 가능한 환경에서 촬영하였다. 또한 1주 및 2주차에 갈변이 진행되어 부패된 버섯을 대상으로 부패율을 조사하였다.

관능평가

각 저장 버섯에 대한 관능적 평가는 갓 개열정도, 줄기신장, 줄기 갈변, 이취, 구매 의사 등의 총 5가지 항목을 5점 척도로 평가하였으며, 전반적인 구매의사의 3점까지를 상품성의 한계로 설정하여 10명으로 구성된 관능평가요원에 의해 평가를 진행하였다.

당알콜 분석

팽이버섯을 갓과 줄기부분으로 나누어 각각 액체질소에 동결시킨 뒤 동결 건조하였다. 건조된 시료 0.5 g을 평량하여 80% ethanol을 10 mL씩 첨가하여 75°C의 항온수조에서 30분간 온침 추출하였다. 추출된 당알콜 용액을 원심분리를 통하여 잔사와 분리하였고, 농축후 다시 5 mL로 용해시켜 silica gel이 충진 된 sep-pak cartridge(2 g)에 통과시켜 재농축 후 HPLC급 물 1 mL로 용해한 뒤 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과하여 300×6.5 mm 규격의 Sugar-pak column (Waters, Miliford, MA, USA)이 장착된 HPLC(Ultimate 3000, Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)에 주입하였다. 표준물질은 mannitol, arabitol, xylitol, sorbitol 등을 사용하여 retention time을 확인하였다.

결과 및 고찰

필름 재질에 따른 팽이버섯의 초기 진공포장 후 조직감 및 호흡률 변화

호흡인자의 경우 다른 품질인자보다 급변하는 성향이 있어 1, 2일 간격으로 측정하였고, 이를 제외한 색도 및 경도의 경우는 호흡의 급변이 발견되는 날로부터 3, 4일이 경과한 뒤 갈변 혹은 물러짐이 발생되었다. 따라서 호흡측정과 같은 민감하게 변화되는 요인은 1, 2일 간격으로, 상대적으로 호흡의 영향을 받아 변화되는 색도와 경도는 주단위로 측정하였다. Fig. 1과 같이 포장 직후 팽이버섯의 줄기부분의 조직감은 3.1±0.2 N/2 mm ϕ으로 측정되었으며, 10°C에서 2주간 저장하면서 필름에 따른 줄기 조직감의 차이가 발생되는 것을 확인하였다. 먼저 LDPE 필름으로 진공포장된 팽이버섯의 경우, 저장 1주차 버섯의 조직감은 초기값보다 약 30% 경감된 2.2±0.1 N/2 mm ϕ로 측정되어 팽이버섯

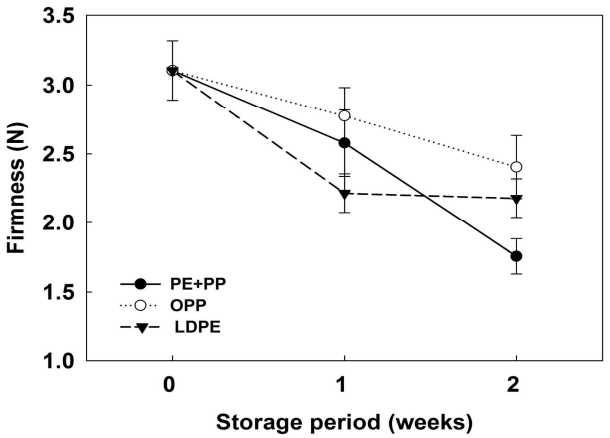

Fig. 1. Changes in firmness of film-packaged golden needle mushroom in 20 μm PE+PP, OPP, and LDPE film bags during 2 weeks influenced by initial vacuum packaging.

의 조직이 많이 연화되었음을 확인하였다. 저장 2주차에는 조직감이 다소 유지되는 값이 측정되었으나, 이는 2주차에 부패가 급속하게 진행되면서 세포의 dehydration에 의한 필름 내 결로 현상이 버섯 줄기의 마름증상으로부터 이어진 것이 원인으로 보였다. 이러한 증상은 버섯의 일반적인 호흡 증가에 의한 세포변질로부터 야기되는 버섯의 수분증발 현상이며, 고등식물과 상이하게 외표피가 얇고 다공성인 구조를 띄며 큐티클층이 결여된 형태로 구성되어 있어 쉽게 dehydration이 발생되어 품질 손상을 야기하는 것으로 보고되고 있다(15). PE+PP 필름으로 포장한 팽이버섯은 저장 2주차까지 현저하게 경도가 감소하여 1.8±0.1 N/2 mm ϕ까지 감소되었다. 심각한 갈변이나 dehydration이 발생되지 않았지만 역시 진공상태가 저장1주 이내에 풀려 버섯의 호흡생리를 조절하지 못한 것으로 사료된다.

반면에 OPP로 초기 진공포장 된 팽이버섯이 저장 2주차까지 조직감이 유지되었는데 1주와 2주차에 각각 2.8과 2.4 N/2 mm ϕ 로 나타났다. OPP 필름 포장군의 경우 진공이

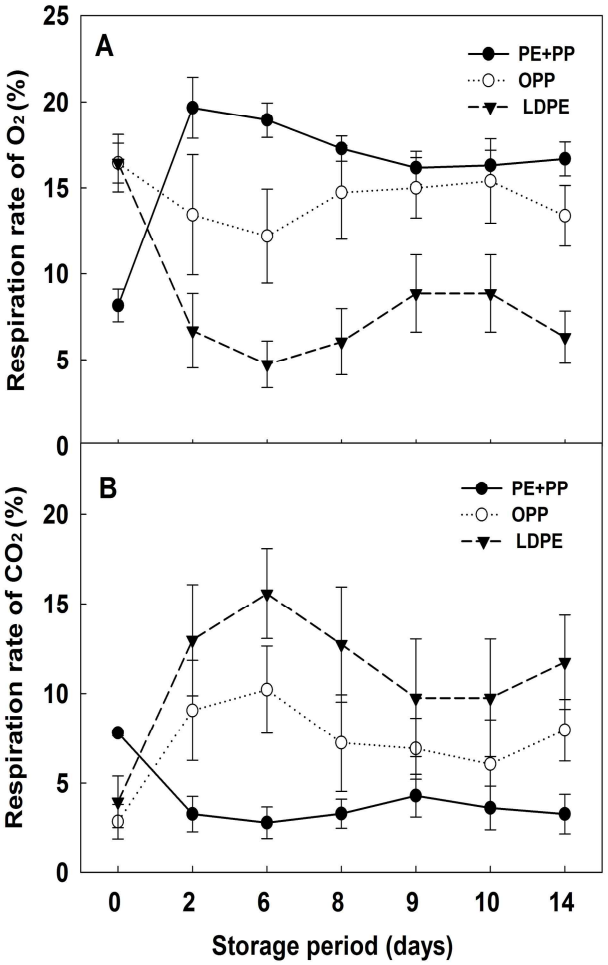

Fig. 2. Changes of respiration rate in golden needle mushroom packed in different films during low temperature storage influenced by initial vacuum packaging.

1주차까지도 80%이상 초기 처리상태의 조건을 유지되었던 요인이 조직 내 호흡률을 조절하고 세포의 부패와 변질을 지연시킨 것으로 판단된다. LDPE 필름 20 μm 두께로 포장하여 10°C에 저장한 경우 상품성 한계일수를 9일 이내로 판단하는 선행연구와 비교하면(14,16), 본 연구에서 팽이버섯을 OPP 필름으로 진공 포장하여 유통온도 10°C에 저장한 팽이버섯의 유통기한을 최대 14일까지 연장시킬 수 있는 가능성을 가져왔다고 판단된다.

필름에 따른 팽이버섯의 호흡률을 파악하고자 14일간 포장 내에 형성된 이산화탄소와 산소를 측정한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. LDPE 필름으로 포장된 팽이버섯은 진공 포장 직후에 이산화탄소가 16.4±1.2%, 산소가 13.0±3.1% 로 두 기체의 구성비가 가장 높은 편이었다. 그러나 저장 2일차가 되면서 이산화탄소는 급감되고 산소는 급증하여 각각 6.7±2.2% 와 13.0±3.1% 로 검출되었고, 저장 4일차에 가장 많은 폭으로 변화한 뒤 저장 14일까지 서서히 감소되는 경향을 보였다. OPP 필름으로 포장 된 팽이버섯은 초기 기체 조성은 LDPE 필름과 유사하였지만 저장 14일차까지 이산화탄소는 초기 16.4%로부터 13.4%까지만 소폭 감소하였고, 또한 산소도 2.9%에서 6.1%까지 소폭 증가하였다. PE+PP 필름의 경우 초기 값부터 다른 두 종류의 필름과 상이하게 이산화탄소 8.2±0.9%, 산소 7.8±0.2%로 측정된 값은 저장 2일차에 이산화탄소가 급증하고 산소는 감소하는 경향으로 저장14일차까지 유지되었다. 본 실험에서는 각 처리군마다의 호흡률이 다르게 나타남을 관찰하였는데 진공 포장 후 포장재질에 따른 기체투과율이 다르기 때문인 것으로 판단되지만 특히 그러한 특성 때문에 밀폐직후 버섯의 호흡률로 용기 내 대기는 지속적으로 버섯의 호흡률에 의해 변형 될 것이다.

그래서 용기 내 기체 조성은 일정기간별로 측정한 버섯의 호흡률을 저장기간 동안의 이산화탄소와 산소의 비율로 판단하기 위해 생성된 이산화탄소와 소비된 산소의 비율로 정의한 RQ로 표기하기도 하는데 호기성 호흡은 한 경우 RQ 값이 1.0에 가까우며, 혐기성 호흡은 1.0보다 훨씬 더 높은 수치가 형성된다고 알려져 있다(8,9).

본 실험에서 획득한 포장지 내에 형성된 이산화탄소와 산소의 비율을 RQ 값으로 환산하여 Fig. 3에 나타내어 간접적으로 호흡률을 비교하였다. PE+PP와 OPP 필름으로 포장된 팽이버섯은 저장 14일 동안 비율이 1.0 이하의 수준에서 소폭 변화하는 경향을 나타내어 호흡률이 비교적 안정된 수준으로 저장기간 동안 유지된 반면에 LDPE 필름군의 경우 그 비율이 급변하고 저장 6일차에는 RQ 값이 3.3까지 도달하다가 급감하는 변동성이 큰 호흡패턴을 나타냈다. 이러한 현상은 일정한 수준으로 호흡을 하는 팽이버섯보다 비율이 높아 혐기적 호흡을 했을 경우와 호흡률이 높아 부패가 다른 처리군에 비해 더 빠르게 진행되었을 것으로 유추할 수 있었다.

일반적으로 버섯의 수확후 호흡률 감소는 산화적 갈변 현상을 지연시키기 때문에 shelf-life를 연장시킬 수 있는데 주로 필름포장을 통하여 용기 내 가스의 조성을 낮은 산소와 높은 이산화탄소로 유지하는 처리가 중요한 요인이 된다고 알려져 있다(5,10,17). 따라서 선행연구와 비교하여 Fig. 2에서 LDPE 필름은 포장 후 높은 산소와 낮은 이산화탄소로 유지되면서 버섯의 산화와 호흡으로 인한 이취발생 등이 심하게 일어날 수 있으며, 반면에 PE+PP와 OPP 필름은 낮은 산소와 높은 이산화탄소의 비율을 유지하여 변질과 부패를 지연시킬 수 있음을 시사하는 결과였다.

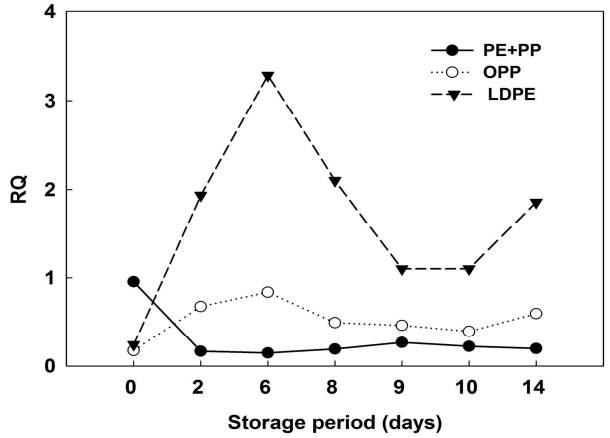

Fig. 3. Patterns of RQ in golden needle mushroom depending film type during low temperature storage influenced by initial vacuum packaging.

필름의 재질에 따른 팽이버섯의 갈변 현상 발생의 차이

호흡률과 RQ값에서 도출된 호흡률에 따라 팽이버섯의 신선도의 차이를 판단하기 위해 팽이버섯에서 상품성을 대표하는 가장 큰 요인 중 하나인 줄기의 갈변 발생 정도를 Hunter L 값을 측정하여 비교하였다(Fig. 4). 팽이버섯보다 갓의 면적이 크고 줄기가 굵은 양송이 버섯의 경우 신선함을 판단하기 위한 색도의 기준을 명시한 문헌에서 살펴보면, 상품성의 한계수치가 Hunter L 값의 수치로 69이하의 범위라고 언급 된 바 있다(17). 하지만 현재까지 팽이버섯의 상품성 한계를 나타내는 색도의 지표가 없어 본 연구에서 얻어진 결과 Fig. 4의 결과해석은 팽이버섯과 색이 유사한 백색 버섯 중 하나인 양송이 버섯의 기준을 참고로 하여 신선도를 예측하였다. 먼저 필름포장 직후의 팽이버섯의 밝기는 84.7±1.05의 수준으로 보통의 신선한 팽이버섯의 수준으로 측정되었다. 하지만 저장 후 1주차에서는 LDPE 필름으로 포장한 팽이버섯의 밝기가 급격하게 감소되어 69.7±2.30의 값을 보였고, 그 다음으로 PE+PP 필름 포장군이 79.4±1.55로 두 번째로 어두웠다. 가장 갈변 진행이 지연되어 신선한 팽이버섯은 OPP 필름 포장군이었으며, 초기에 관측된 Hunter L값에서 거의 감소되지 않는 수치인 83.3±0.59이 저장 1주차에 측정되었다. 이러한 결과는 저장 후 2주차 일 때도 유사한 경향을 보였다. 저장 2주차에서는 OPP 필름으로 포장하여 진공 처리된 팽이버섯이 가장 밝은 수치인 76.3으로 나타났다. 따라서 본 갈변의 진행수준을 관찰한 실험에서69이하의 값을 저장 7일 이내에 보였던 LDPE 필름 포장군과 비교하였을 때, OPP 필름으로 포장한 버섯이 7일 이상 줄기 갈변을 지연시킬 수 있다고 판단하였다.

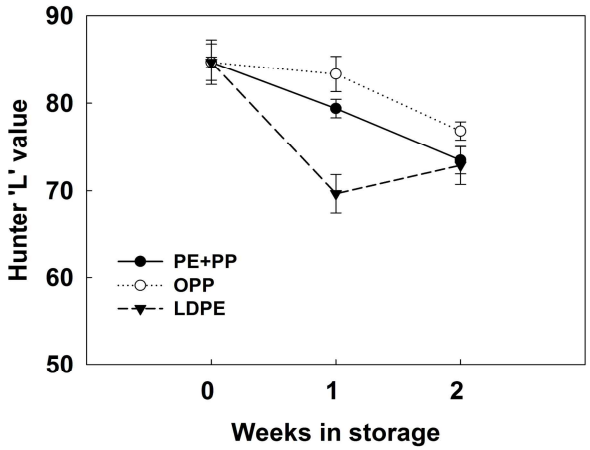

Fig. 4. Changes in Hunter 'L' value of outer section in golden needle mushroom packed in 20 μm PE+PP, OPP, and LDPE film bags during low temperature storage influenced by initial vacuum packaging.

Vertical bars and dots were represented mean and standard error (n=10).

또한 이러한 갈변현상의 차이를 색도의 기기측정의 수치만으로 판단하는 것보다 전체적인 시료의 외관의 변화를 저장 7일과 14일차 촬영사진으로 관찰하였다(Fig. 5,6). Fig. 5는 저장 1주차에 촬영한 팽이버섯의 사진인데 이미 OPP 필름군을 제외하고 두 종류의 필름군은 진공이 해체된 것을 확인할 수 있었으며, 상품성으로 판단하는 인자인 갓의 개열, 줄기의 신장, 그리고 줄기 하단부분의 갈변이 진행됐음이 관찰되었다. LDPE 필름으로 포장한 팽이버섯에서 갓의 개열과 줄기의 신장이 가장 빠르게 진행되어 전체 길이는 6 cm가 신장하였고 줄기하단부위는 수분손실과 갈변현상이 진행됨을 유추할 수 있는 외관이 관찰되었다. 그밖에 PE+PP와 OPP 필름에서는 갓의 개열 및 줄기의 신장에서는 큰 변화는 없었으나, PE+PP 필름군이 줄기의 갈변이 더욱 진행된 것을 관찰할 수 있었다. 저장 2주차의 팽이버섯에서도 1주차의 경향과 유사한 외관이 관찰되었으며 관련 사진은 Fig. 6과 같다. 결과에 따르면, LDPE필름군이 줄기 갈변, 수분손실, 갓의 개열 그리고 줄기 신장이 가장 많이 진행된 외관을 보였으며, PE+PP와 OPP 필름군은 줄기의 갈변이 PE+PP 필름이 더 진행되었음을 확인 할 수 있었다.

일반적으로 버섯의 호흡률이 증가하면 줄기의 신장, 저장양분의 소모로 발생되는 갈변과 티로시네이즈 활성에

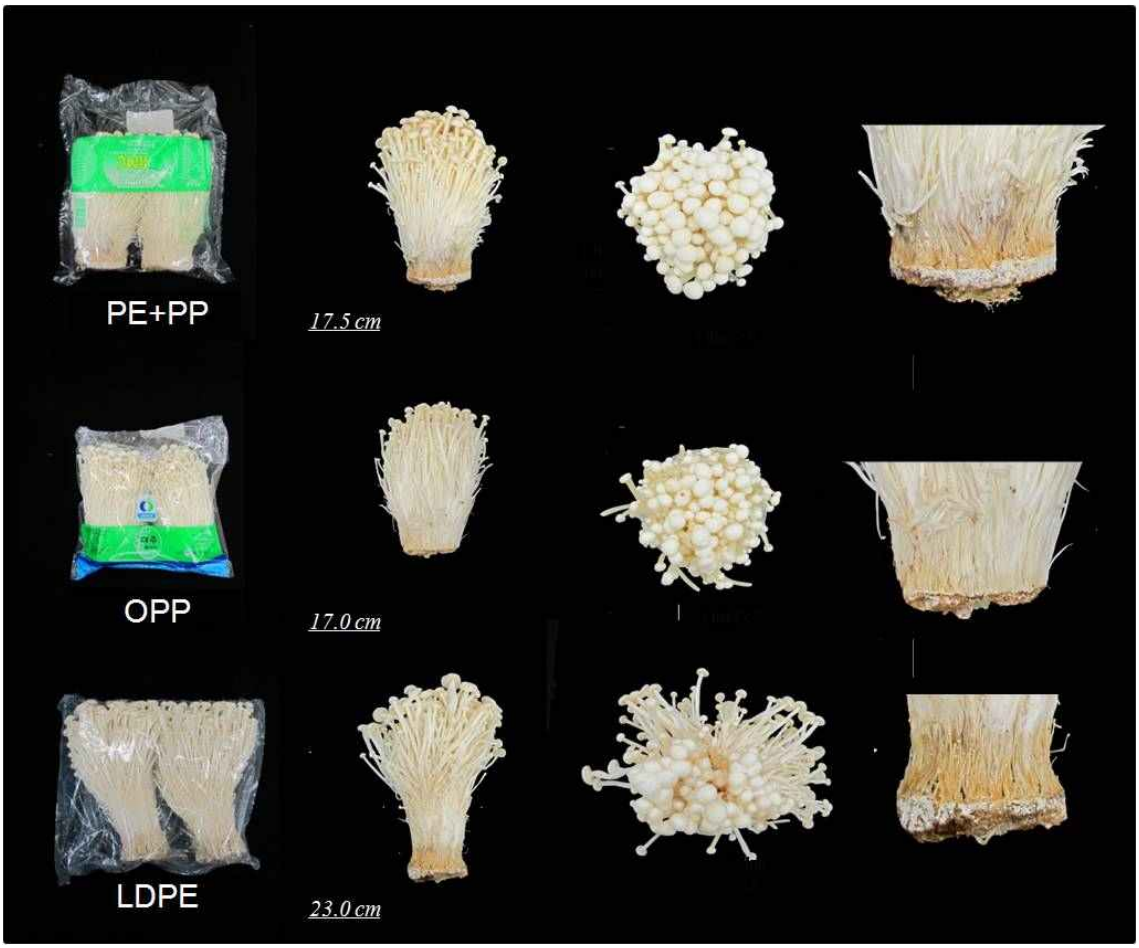

Fig. 5. Appearance of golden needle mushroom after 1 weeks of storage packed with the three different packing films influenced by initial vacuum packaging.

의한 갈변이 동시에 진행되어 저장력과 상품성을 상실하게 된다고 알려져 있다(18). 본 연구결과도 호흡률이 급변한 LDPE 필름 포장군이 줄기의 갈변현상이 가장 심하고 빠르게 진행되었고 RQ값이 가장 적은 폭으로 변화했던 OPP 필름 포장군이 색도가 가장 밝았던 것을 종합하면 선행 연구와도 부합되는 결과를 얻었다(18).

초기 진공처리 된 팽이버섯의 필름에 따른 부패율 발생 및 상품성 평가

줄기의 갈변 및 부패로 인한 물러짐이 발생되는 시기를 부패하였다고 정의하고 버섯의 부패진행도를 갓의 개열, 줄기시장 및 갈변, 이취 등의 요인을 평가하여 각 항목별로 5점 척도로 하여 부패와 비상품화가 높은 버섯일수록 높은 점수가 부여되었으며 그 결과는 Fig. 7과 같다. 저장 7일차의 팽이버섯을 대상으로 실시하였으며, 전체적으로 가장 부패가 적고 상품의 변질이 적은 처리군은 OPP 필름으로 포장한 처리군이었다. 먼저 갓의 개열이 60% 이상 진행된 필름재질은 LDPE 필름이었고 줄기의 갈변에 관련된 평가는 세 필름 모두 유사한 점수를 받았다. 이취발생에 대해서는 OPP 필름이 가장 적게 발생하였으며, 전체적인 상품성에 대해서도 OPP 필름으로 포장한 팽이버섯이 가장 우수하였다.

또한 추가적으로 실시한 부패율 조사에서(Table 1) 총 저장기간 동안 가장 많은 부패율을 보인 처리군은 LDPE 필름 포장군으로 저장 후 7일과 14일차에 각각 30%와 65%의 부패율을 보였다. 반면에 PE+PP필름군은 7일차에서는 5%의 부패율을 보이다가 14일차에는 30%의 부패율을 보였으며, OPP 필름 포장군에서는 7일차에 5%, 14일차에 25%의 부패율을 보여 가장 부패율 발생이 가장 오래 지연

Table 1. Difference of decay in golden needle mushroom by different types of films for package influenced by initial vacuum packaging

Storage period (weeks)	Decay (%)[1)]		
	PE+PP	OPP	LDPE
7	5	5	30
14	30	25	65

[1)]Decay in mushrooms was defined that browning portion was more than a half.

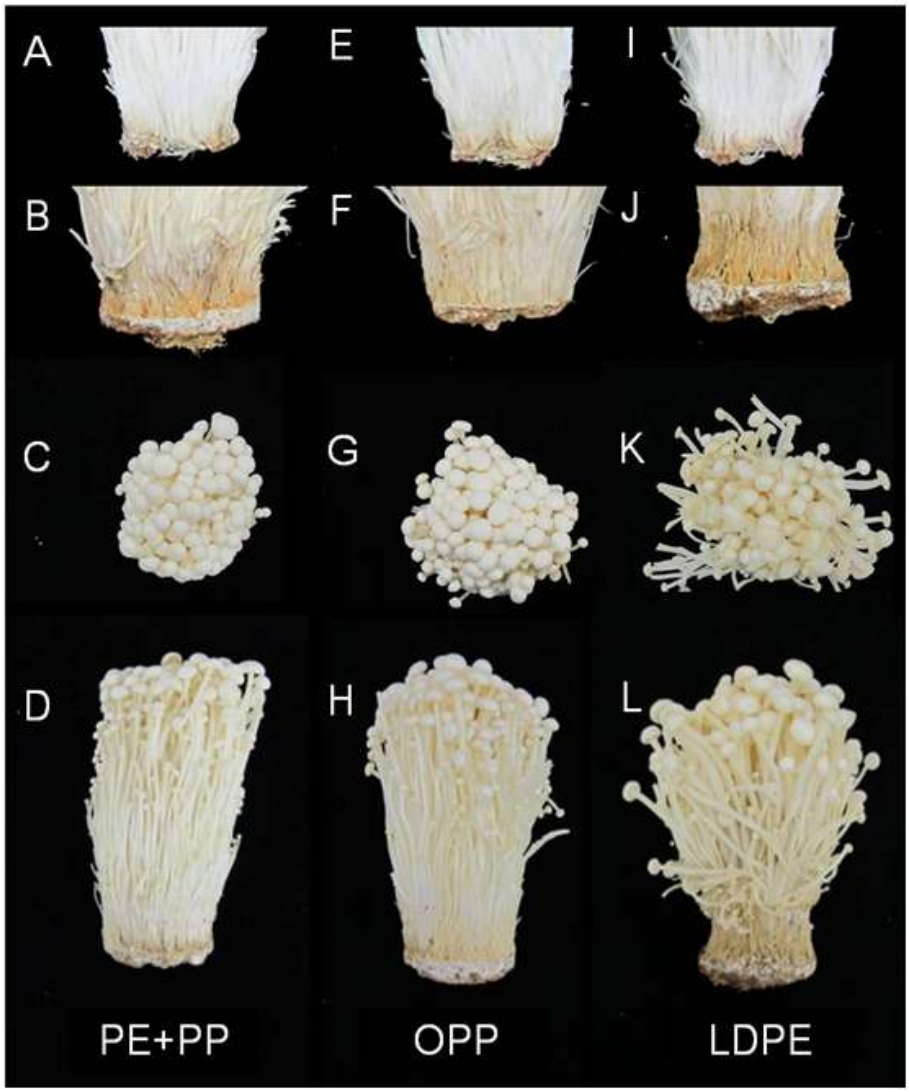

Fig. 6. Appearance of golden needle mushroom after 2 weeks of storage packed with the three different packing films influenced by initial vacuum packaging.

The color and feature changes of mushrooms after 2 weeks in package by PE+PP film. (A to D; A, inner section of stipe; B, outer section of stipe; C, cap; D, whole body), OPP film (E to H; E, inner section of stipe; F, outer section of stipe; G, cap; H, whole body), and LDPE film (I to L; I, inner section of stipe; J, outer section of stipe; K, cap; L, whole body)

되었음을 확인할 수 있었다. 필름에 따른 버섯의 물러짐, 부패 및 갈변의 진행 차이는 가스의 조성과 수분의 증발에 따라 다르게 나타나며 필름의 재질 및 두께에 따라 매우 가변적인 것으로 알려져 있어(19,20), 본 연구에서는 필름 재질에 따른 부패진행 속도가 다르고 팽이버섯을 진공 포장하여 부패율을 최소화하기 위해 OPP 필름이 적합하다고 사료되었다.

세 가지 필름에 따른 진공처리 된 팽이버섯의 저장 중 당알콜 성분의 변화

팽이버섯을 포함한 버섯류는 주요 저장원은 trehalose, glycerol, arabitol, mannitol 등으로 품종마다 주요 함량이 다르다고 알려져 있다(21). 본 연구에서는 팽이버섯의 주요 당알콜 성분으로 arabitol과 mannitol이 검출되었으며 저장 중 변화하는 두 종의 당알콜 성분을 Table 2에 나타냈다.

필름 종류에 따른 팽이버섯에서 함량변화가 있던 당알콜류는 갓과 줄기부위 모두 arabitol 였다. PE+PP와 OPP 필름 처리군에서는 저장 7일차에 갓에서는 각각 162.9±52.63과 139.4±44.26 mg/g DW로 검출되다가 저장 14일차에는 감소된 함량인 55.5±14.83 mg/g DW과 34.9±17.59 mg/g DW로 검출되었으며 이러한 경향은 줄기에서도 유사하게 검출되었다. 반면에 줄기신장, 갓의 개열, 이취 및 부패가 빠르게 진행되었던 LDPE 필름군에서는 갓에서 7일과 14일차에 각각 100.4±3.66 mg/g DW 과 159.0±6.00 mg/g DW로 검출되어 약 1.5배 증가하였고, 줄기에서도 유의성은 적지만 1.5배의 증가된 함량을 보였다. 주로 버섯의 저장양분으로

Table 2. Contents of sugar-alcohol in stored golden needle mushroom depending different film types

Portion	Storage period (days)	Film type-content (mg/g DW)					
		PE+PP		OPP		LDPE	
		Mannitol	Arabitol	Mannitol	Arabitol	Mannitol	Arabitol
Cap	7	2.9 ± 0.17	162.9 ± 52.63	1.1 ± 0.66	139.4 ± 44.26	1.7 ± 0.77	100.4 ± 3.66
	14	2.7 ± 0.54	55.5 ± 14.83	2.2 ± 0.77	34.9 ± 17.59	1.3 ± 0.20	159.0 ± 6.00
Stipe	7	2.0 ± 0.82	218.3 ± 59.70	1.0 ± 0.62	78.4 ± 18.79	2.4 ± 0.86	35.4 ± 23.53
	14	2.2 ± 0.65	61.1 ± 26.36	3.2 ± 1.30	42.5 ± 19.42	2.6 ± 0.40	54.3 ± 6.56

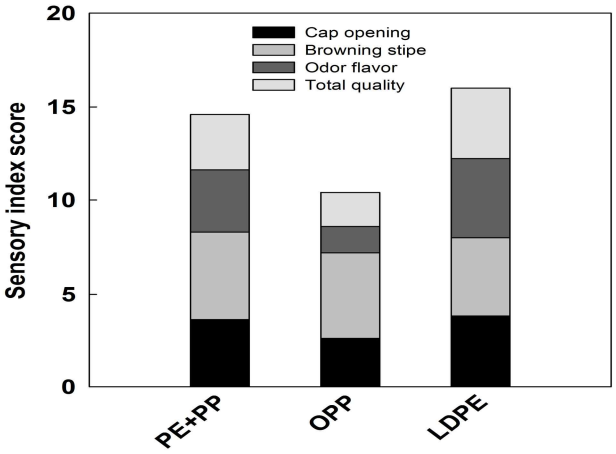

Fig. 7. Intensity of sensory index, as evaluated by panel, for golden needle mushroom stored inside modified atmosphere packages by three types (PE+PP, OPP and LDPE) of films at 10℃ after 1 weeks of storage.

알려진 trehalose와 당알콜류는 저장기간이 경과하면서 호흡 대사에 의해 노화가 진행되면서 호흡기질로 사용하여 감소하는 경향이 나타난다고 보고되고 있다(17). 본 연구에서는 저장성이 좋았던 OPP와 PE+PP 필름에서 오히려 arabitol의 함량이 감소하고 상대적으로 저장성이 약했던 LDPE 필름군에서 그 함량이 갓에서만 경미하게 증가하고 줄기는 유의적인 증감이 없는 경향이 확인되었는데 이는 OPP와 PE+PP 필름은 정상적인 호흡대사를 진행하여 생긴 감소인데 반해 저장 7일차부터 arabitol의 함량이 다른 필름군보다 적었던 LDPE 필름은 급격한 세포의 변질로 발효와 부패가 동시에 진행되어 저장 후 7일 이전에 이미 상당부분의 호흡대사로 기질이 쓰여 더 이상 소비하지 않았던 것으로 유추하였다.

따라서 본 연구에서 사용한 3종(PE+PP, OPP 및 LDPE)의 필름 중 진공처리가 가장 오래 지속되고 저장 중 안정된 호흡률과 외부색도, 부패 및 신장억제 현상이 LDPE 필름 포장군의 부패속도보다 7일 더 지연된 OPP 필름이 저장 및 유통기간에 팽이버섯의 신선도를 지속시키기 위해 가장 적절하다고 판단하였다.

요 약

팽이버섯은 타 작물에 비해 수확 후 호흡률이 높아 갈변, 경도감소, 부패 등이 수확 즉시 진행되는 작물이다. 이러한 팽이버섯을 장기간 유통하기 위해 가장 많이 적용되는 방법은 진공 포장하여 저온 저장하는 것이다. 본 연구에서는 팽이버섯의 포장 후 유통기간을 연장에 더욱 적합한 진공필름을 선발하기 위해 20 μm두께의 PE+PP, OPP 및 LDPE 필름으로 진공 포장하여 유통온도인 10℃의 저온에서 2주간 저장하였다. 일반적으로 많이 적용되는 LDPE 필름이 갈변, 줄기신장, 호흡률 급변, 조직 연화와 같은 변질이 포장 후 7일 이내로 가장 빠르게 진행되었다. 또한 OPP 필름보다 PE+PP가 수일 더 일찍 해체되기 시작하여 갈변 현상이 먼저 발생하였다. 최종적으로 OPP 필름이 안정된 호흡률과 외부색도, 신장억제 현상이 유지되어 LDPE 필름 포장군의 저장 7일차에 발생된 부패율보다 7일이 지연된 저장 14일차에 나타났다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ009840)의 지원에 의해 이루어진 수행 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

References

1. Seo GS (2012) The present and development plan of mushroom exports. Korean J Hort Sci Technol, 30, 35
2. Dicer I, Dost S (1996) New correlations for heat transfer coefficients during direct cooling of products. Int J Energy Res, 20, 587–594
3. Villaescusa R, Gil MI (2003) Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. Postharvest Biol Tec, 28, 169–

179

4. Ares G, Parentelli C, Gambaro, A, Lareo C, Lema P (2006) Sensory shelf-life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. Postharvest Biol Tec, 41, 191–197
5. Ares G, Lareo C, Lema P (2007) Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms: a review. Fresh Prod, 1, 32-40
6. Kataoka H, Haohnishi N (1986) Occurrence of taurine in plants. Agaric Biol Chem, 50, 1887-1888
7. Fonseca SC, Oliveira FAR, Brecht JK (2002) Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. J Food Eng, 52, 99–119
8. Varoquaux P, Gouble B, Barron C, Yildiz F (1999) Respiratory parameters and sugar catabolism of mushroom (*Agaricus bisporus* Lange). Postharvest Biol Technol, 16, 51–61
9. Farber JM (1991) Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology: a review. J Food Prot, 54, 58–70
10. Wang CT, Wang CT, Cao YP, Nout MJR, Sun BG, Liu L (2011) 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. European Food Res Technol, 232, 851-860
11. Hammond JBW, Nichols R (1975) Changes in respiration and soluble carbohydrates during post-harvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*). J Sci Food Agric, 26, 835-842
12. Hwang SB (1995) Effect of storage temperature on physicochemical properties of enoki mushroom (*Flammulina velutipes*), Sook-Myung J Science Better Living, 11, 167–184
13. Park YM, Lee JH (2001) Effects of film materials, vacuum packaging and shelf temperature on the quality of peeled lance Asia bell roots. Food Sci Biotechnol, 10, 331–334
14. Shin SH, Jung JY, Choi JH, Kim DM, Jeong MC (2009) Effect of packaging methods on enoki mushroom qualities. Korean J Food Preserv, 16, 179–185
15. Austin JW, Dodds KL, Blanchfield B, Farber JM (1992) Growth and toxin production by *Clostrdium botulinum* on inoculated fresh-cut packaged vegetables. J Food Protect, 61, 324–328
16. Gormley TR (1975) Vacuum cooling and mushroom whiteness. J Mushroom, 27, 84–86
17. Jolivet S, Aprin N, Wichers HJ, Pellon G (1998) *Agaricus bisporus* browning: a review. Mycol Res, 102, 1459–1483
18. Austin JW, Dodds KL, Blanchfield B, Farber JM (1992) Growth and toxin production by *Clostrdium botulinum* on inoculated fresh-cut packaged vegetables. J Food Protect, 61, 324–328
19. Farber JN, Harris LJ, Parish ME, Beuchat LR, Suslow TV, Gorney JR, Garrett EH, Busta FF (2003) Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. CRFSFS, 2, 142–160
20. Hammond JBW, Nichols R (1975) Changes in respiration and soluble carbohydrates during post-harvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*). J Sci Food Agric, 26, 835
21. Lee K, Lee JC, Han KH, Song J, Oh MJ (1998) Changes of free sugar and free sugar alcohols in *Lentinus edodes* during storage. Korean J Postharvest Sci Technol, 5, 156-161

(Received June 17. 2014; Revised August 21. 2014; Accepted October 30. 2014)