

저온성 표고버섯의 빙점하 저장 잠재력

황용수^{1*} · 서건식²

¹충남대학교 농업생명과학대학 원예학과, ²한국농수산대학 특용작물학과

Storage potential of low temperature adapted shiitake mushroom under freezing temperature

Yong Soo Hwang^{1*}, Geon Sik Seo²

¹Department of Horticultural Science, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Industrial Crops, Korea National College Agriculture and Fisheries, Hwasung, Kyunggi 445-760, Korea

Received on 4 April 2013, revised on 18 July 2013, accepted on 18 July 2013

Abstract : This study was aimed to find the storage potential of low temperature adapted shiitake mushroom under freezing temperature (-3°C). Fresh shiitake mushroom was harvested at late Feb. and cooled to target temperature, -3°C in the cooling room for 24 hr. Cooled mushroom were then placed in plastic boxes, wrapped with plastic film ($30\ \mu\text{m}$), and stored at -3°C for 2 months. Weight loss of mushroom was ranged from 2.1 to 3.2%. Dry weight per unit fresh weight, however, was slightly increased because of moisture loss. Firmness of fruit body increased from $0.95\ \text{kg}/\text{cm}^2$ (before storage) to $1.13\ \text{kg}/\text{cm}^2$ (after 2 month storage). About half amount of starch was lost during 2 month storage. The amount of total and reducing sugars remained relatively constant. After storage, freshness of mushroom was recovered by thawing treatment. When recovered mushroom were packaged with styrofoam tray and PVC wrapping, and exposed to ambient and 10°C , respectively, brown spot on the gill of fruit body was found and slight decay symptom was also found at ambient temperature only but not at 10°C . Results indicated that low temperature adapted shiitake mushroom has a storage potential under freezing temperature (-3°C). Freezing storage technology of fresh shiitake mushroom will contribute the increase of storability up to 2 months.

Key words : Electrolyte leakage, Firmness, Carbohydrate, Thawing, Browning

I. 서론

표고버섯은 송이균목 송이버섯과에 속하는 담자균의 일종으로 우리나라에서는 중요한 임산자원으로 간주되고 있으며 건강보조식품으로서의 가치가 널리 알려져 있어 (Thimmel and Kluthe, 1988; Mattila et al., 2000) 시장이 지속적으로 성장하고 있다.

버섯은 대체적으로 수확 후에도 대사작용이 왕성하여 장기보관이 어려운데 원목으로 생산하는 표고버섯은 다른 버섯과 달리 생산시기가 제한되어 년중 공급을 위하여 주로 수확한 버섯을 열풍건조하여 이용하고 있다. 그러나 열풍건조한 버섯은 조리하기가 불편하고 맛과 향이 신선버섯보

다 떨어지므로 아직도 신선 표고버섯을 선호하는 경향이 있어 이러한 수요를 충족하기 위하여 표고버섯의 저장력을 증진시키고자 하는 노력이 진행되어왔다. 이러한 시도에는 MA 및 CA저장(Tano et al., 1999), 식용코팅제처리(Kim et al., 2006) 등이 포함되며 저장온도는 대체적으로 0°C 를 기준으로 하고 있다.

버섯은 진균의 일종으로 호흡이 매우 높아 20°C 기준으로 $214\sim 316\ \text{mg}\ \text{CO}_2/\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ (Hardenburg et al., 1986)으로 그 중 표고버섯은 $395\sim 551\ \text{mg}\ \text{CO}_2/\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ (Lee et al., 1997)으로 다른 작물에 비하여 월등히 높아 호흡열을 적시에 제거하지 못하면 온도 상승에 따른 피해가 발생할 우려가 있다. 따라서 버섯의 저장성이 떨어지는 원인 중 하나는 수확한 버섯의 냉각을 신속하게 하지 못하여 포장열과 호흡열이 원활하게 제거되지 못하기 때문으로 판단

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5738

E-mail address: yshwang@cnu.ac.kr

되며 수확한 버섯의 신속한 냉각은 매우 적절한 수확후처리로 간주된다(Namgung et al., 1995). 이외에도 저장 중 변온 혹은 높은 온도에 노출될 경우 갈변 등의 장애가 빠르게 발생한다(Minamise et al., 1980; Aguirre et al., 2009).

원목재배하는 저온성 표고버섯은 겨울철 기온이 올라가면 종종 발이되어 생장을 시작하는데 뒤이어 빙점이하의 혹한이 뒤이어도 동해를 입지 않고 다시 기온이 올라가면 생장을 회복하는 경우가 관찰된다(재배농가 대담). 버섯의 저온내성에 관한 연구에서 Raymond와 Jenech (2009)는 팽이버섯은 빙점하 온도에서도 얼음과 결합하는 단백질이 존재하여 피해를 줄일 수 있으며 표고버섯에서도 유사한 단백질이 확인되었다고 하였다. 따라서 저온성 표고버섯의 저온내성에 대한 보다 구체적인 검토가 필요한 것으로 판단되며 이러한 현상을 잘 활용할 경우 신선표고버섯의 저장성을 크게 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 표고버섯의 저온내성을 검토하기 위하여 빙점하 온도환경에서 조직의 구조적 변화와 생리적 특성을 조사하여 저온성 표고버섯의 저장기술 개발에 활용하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 버섯재료

충남 부여군 충화면 소재의 비가림 하우스에서 재배한 표고버섯(모리 290호)을 2010년 2월에 수확하여 동결실험에 이용하였고 Pilot저장은 동일포장에서 3월에 생산한 버섯을 선별하여 이용하였다.

2. 저온내성조사

선별한 버섯은 0, -3, -5, -10℃ 저온챔버를 준비하여 24시간 저장한 다음 꺼내어 10℃에서 1일간 해동시키고 해동된 버섯은 5×5×2 mm 크기로 잘라 시료를 준비한 다음 막투과성을 조사하였다. 막투과성은 준비한 시료 0.5 g 씩 취하여 25 ml DI을 가하여 전해질 누출량을 EC meter (CM=40V, TAO Science Ltd.)로 최대 4시간까지 조사하였으며 마지막 조사를 마친 조직은 마쇄하였고 마쇄물은 고압멸균한 다음(121℃, 10분) 실온으로 냉각, 전도도를 측

정하여 총량으로 삼아 각각의 조사 시점에 얻은 전도도를 백분율로 나타내었다.

주사전자현미경(SEM) 관찰을 위하여 해동한 버섯의 갓 표피 조직을 5×5×5 mm으로 절단하여 50 mM phosphate buffer (pH 7.0)로 2.5% glutaraldehyde 고정액을 만들어 4℃에서 2시간 고정하고 계속하여 상기한 phosphate buffer로 2분씩 3회 세척하였다. 세척을 마친 조직은 알코올시리즈(25, 50, 80, 90, 99%)에 각각 12시간씩 침지하여 탈수한 다음 마지막으로 무수알코올에 12시간씩 2회 침지하여 탈수하였다. 탈수를 마친 조직은 무수알코올로 희석한 50% isoamylacetate에 10분간, 그리고 100% isoamylacetate 5분간 침지하고 임계점 건조(Critical Point Dryer 030, Philips)를 실시하였다. 건조를 마친 조직은 Sputter coater (SCD 005, Philips)를 이용하여 금으로 증착하였고 주사전자현미경(XL 30 ESEM, Philips)을 이용하여 가속볼트 10.0 kv에서 관찰하였다.

3. Pilot 저장

전술한 농가에서 생산한 버섯을 선별하여 저온실 예냉을 실시하여 품온을 0℃로 낮춘 다음 -3℃에서 2일간 냉각하였다. 품온을 확인한 다음 30×35×55 cm 플라스틱 상자에 담아 6상자씩 30 um 저밀도 플라스틱 필름으로 포장하여 파레트에 올려놓고 같은 온도에서 저장하였다. 저장을 마친 버섯은 10℃에서 해동시켰는데 해동 중 실내공기를 순환하여 주었고 마지막 단계에서 해동실을 가습하여 습도를 2시간 동안 포화상태로 유지시켜 주었다. 온습도 환경은 휴대용 온습도 측정기를 이용하였다. 해동을 마친 버섯은 모의 유통조건을 부여하기 위하여 3℃에 3일간 저장하고 소매환경을 부여하기 위하여 약 100g씩 스틸로폼접시(16×22 cm)에 담아 PVC 필름으로 포장하였다. 포장을 마친 버섯은 10℃ 혹은 상온에 2일간 노출시킨 다음 육안으로 관찰하여 갈변, 부패 발생여부를 조사하였다.

4. 품질조사

버섯 외관은 갓 이면의 갈변 발생, 부패 발생 여부를 조사하여 백분율을 구하였다. 건물중은 표본을 70℃ 열풍건조기에서 24시간 건조시킨 다음 처음 무게의 백분율로 나타내었다. 경도는 5 mm probe를 장착한 rheometer(COMPA-

Table 1. Properties of shiitake mushroom used in this experiment.

Dry matter (%)	Water content (%)	Firmness (kg/cm ²)	
		Pileus	Stipe
20.2±1.2	79.8	0.95±0.17 ¹⁾	1.82±0.61

¹⁾Mean±SD (n=3).

100, Sun Scientific Co., Ltd., Japan)를 이용하였다. 갓 부위 시료는 1.5×1.5 cm 블록을 만들어 조사하였고 대는 1 cm 두께로 잘라 각각 3 mm까지 침투시켰을 때의 최대하중을 조사하여 비교하였다. 당분석은 조직 5 g을 취하여 80% 에탄올 25 mL을 가한 다음 마쇄하였다(Fisher homogenizer, USA). 마쇄물은 끓는 수조에 넣고 10분간 용해성 물질을 추출한 다음 상온으로 식혀 원심분리(12,000 rpm, 10분)하여 상징액을 취해(2회반복) 분석시료로 삼았다. 얻어진 알코올 용해성물질은 총당, 환원당 및 페놀분석에 이용하였다. 총당은 phenol-sulfuric acid(Dubois et al., 1965)법으로 발색시킨 후 450 nm에서 분석하였고, 환원당은 2-cyanoacetamide법(Bach and Schollmeyer, 1992)으로 반응시킨 다음 276 nm에서 흡광도를 조사하였다. 표준물질로 총당과 환원당은 무수포도당(Sigma, USA)를 이용하여 검량선을 만들어 비교하였다. 전분은 조직 2 g에 DMSO 15 mL을 가하여 전술 것과 같이 마쇄하고 12시간 동안 상온에서 교반하여 주었다(Lee et al., 1997). 교반을 마친 마쇄물은 원심분리하여(12,000 rpm, 30분) 상징액을 취하였다(3회 반복). 회수한 상징액에 3배의 80% 에탄올을 가하여 전분을 침전시키고 원심분리한 후(12,000 rpm, 30분), 상징액은 버리고 잔사에 0.1 N NaOH를 가하여 용해시킨 다음 희석하고 전술한 바와 같이 총당함량을 구하여 전분함량으로 환산하였다.

III. 결과 및 고찰

저온성 표고버섯은 늦가을부터 이듬해 봄까지 생산되는데 겨울철 기온이 높은 해에는 1월부터 생장이 재개되어 2월 초순에 수확이 시작된다. 겨울철 혹한기에 발이된 버섯은 동해를 받아 말라죽기도 하지만 혹한이 계속되지 않을 경우 어린 자실체는 생장을 계속하기도 한다(재배농가 대답). 이러한 사실은 표고버섯의 저장 온도를 관행(0°C)보다 더욱 낮출 수 있는 가능성을 제시하는 것으로 보인다.

실험에 이용한 버섯은 2월 하순에 수확하였으며 함수율

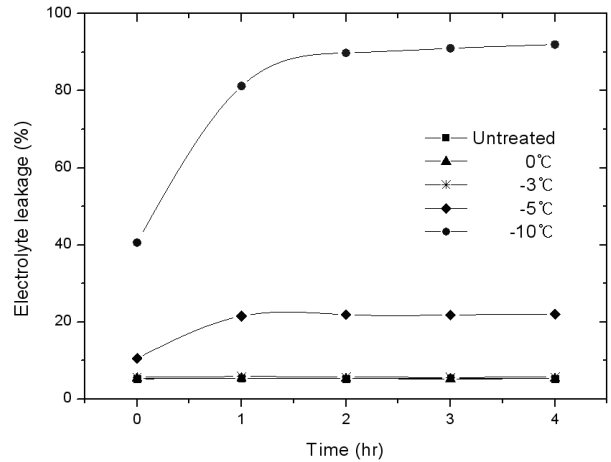


Fig. 1. Changes of electrolyte leakage of shiitake mushroom between different storage temperatures (Storage temperature, A: 0°C, B:-3°C, C:-5°C, D:-10°C).

은 79.8%, 건물중 20.2%이었으며 경도는 갓이 0.95 kg/cm⁻²으로 단단하고 갓 표면에는 균열이 발생한 화고이었다 (Table 1).

냉각 후 0, -3, -5, -10°C의 온도에 24시간 저장한 버섯은 -3°C 이하에서는 완전히 동결된 모습을 보여주었다. 해동조건을 부여한 다음 회복한 버섯은 -3°C까지는 거의 저장전 상태로 회복하였는데 해동온도를 15°C이상으로 높여 빠르게 해동시킬 경우 Lee 등(1997)이 보고한 바와 같이 갓 표면이 수침된 듯한 증상을 나타내어 해동은 낮은 온도에서 서서히 실시하는 것이 바람직하였다. 냉동온도에서의 피해여부를 판단하기 위하여 세포막투과성을 조사하였다 (Fig. 1). 저장하지 않은 버섯과 0°C, -3°C에 저장한 버섯의 막투과성 변화는 4시간 동안 5.2~5.8%에 불과하였으나 -5°C의 경우 초기 투과성이 10.5%이었고 4시간 후에는 22%까지 증가하였다. 따라서 저장하지 않은 대조구에 비하여 2~4배 높은 경향을 보여주었다. -10°C에 저장한 버섯은 예상한 바와 마찬가지로 초기 전도도가 40.6%로 다른 처리에 비하여 월등히 높았고 1시간 후 81.2%이었고 최대 92%까지 증가하여 거의 모든 조직이 붕괴되었음을 시사하고 있다.

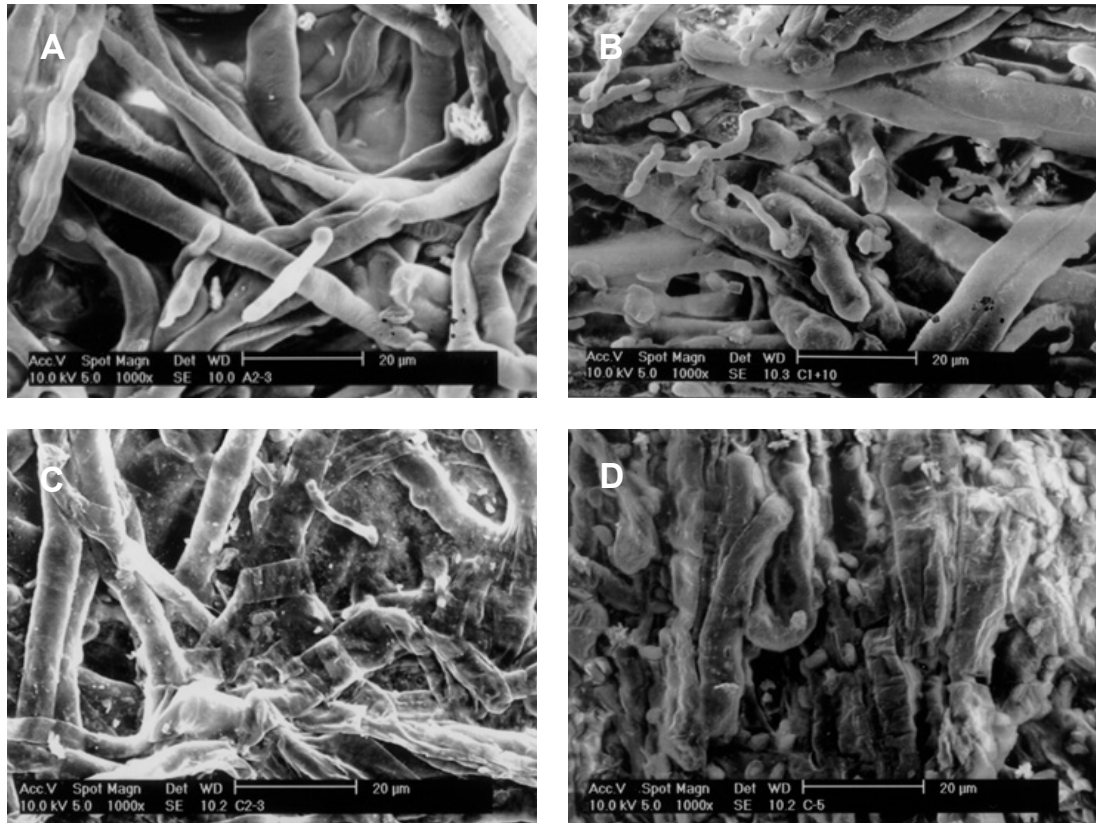


Fig. 2. SEM image (1,000 X) of shiitake mushroom stored under different temperatures (Storage temperature, A: 0°C, B: -3°C, C: -5°C, D: -10°C).

주사전자현미경으로 관찰한 조직의 성상은 그림 2에서와 같이 0°C 저장한 버섯(Fig. 2A)은 거의 모든 세포가 건전한 상태를 유지하였고 -3°C 저장한 버섯(Fig. 2B)은 다소 세포가 파괴된 부분이 관찰되었으나 대부분 건전한 상태이었다. 반면에 -5°C에 저장한 버섯(Fig. 2C)의 세포는 대부분 파괴되어 건전한 상태의 세포는 제한적으로 관찰되었다. 또한 -10°C 저장한 버섯(Fig. 2D)의 경우 건전한 세포가 전혀 관찰되지 않았다. 이러한 해부학적 결과는 막투과성 결과(Fig. 1)와 일치하여 적절한 동결온도(-3°C)에서는 막투과성이 유지되며 그 이하의 저온에서 막투과성이 상실된 것은 조직 동결에 의한 세포막의 물리적 손상에 의한 것으로 판단된다. 본 연구 결과로 미루어볼 때 저온성 표고버섯의 관행적인 저장온도는 0°C이지만 이보다 낮은 -3°C의 빙점하에서의 저장 가능성을 보여주었다(Lee et al., 1997). 비록 -3°C 저장한 버섯이 해동 전에는 완전히 얼어있는 모습을 보여주지만 버섯 자체는 균사가 느슨하게 배열되고 세포간극이 넓은 스폰지 구조를 지니고 있기 때문에 빙점하에서 얼음이 형성되더라도 세포에 물리적 스트

레스를 가하지 않는 것으로 추정된다. 따라서 세포내 결빙이 발생하지 않고 또한 얼음조각이 지나치게 발달하지 않으면 세포간극에 만들어지는 얼음조각은 세포를 파괴하지 않을 것으로 판단된다. 또한 얼음과 결합하는 단백질이 존재하여(Raymond and Jenech, 2009) 이들 단백질이 조직을 동결로부터 보호할 가능성도 있다.

빙점하 저장환경에서는 저장고 공기가 매우 건조한 상태이므로 지나치게 건조할 가능성, 즉 냉동소가 발생할 가능성이 있는데 필름 포장을 하지 않은 경우 2개월 저장 중 무게감량이 20%를 상회하였다(Data not shown). 반면 필름 포장을 한 경우 무게감량은 3% 내외에 불과하여(Table 2) 수분손실에 의한 품질의 저하는 발생하지 않았다. 저장전 버섯의 함수율이 79.8%에서 저장 1개월 후 76.7%, 2개월 후 77.7%으로 저장 2개월까지도 함수율 감소가 크지 않았다.

빙점하 저장 중 버섯의 탄수화물 변화를 조사한 결과(Table 3), 총당은 저장전 8.3 mg/g⁻¹FW에서 11.7 mg/g⁻¹FW로 약 41% 증가하였으며 환원당은 25% 감소하였다. 또한 전분 함량은 저장전 30.4 mg/g⁻¹FW에서 15.5 mg/g⁻¹FW

Table 2. Changes of dry matter, water content, and cap firmness of shiitake mushroom during storage at -3°C.

Storage duration (month)	Dry matter (%)	Water content (%)	Firmness (kg/cm ²)
0	20.2±1.2 ¹⁾	79.8	0.95±0.17
1	23.3±1.0	76.7	1.02±0.21
2	22.4±0.9	77.7	1.13±0.12

¹⁾Mean±SD (n=3).**Table 3.** Changes of quality parameters of shiitake mushroom during storage at -3°C.

Carbohydrate (mg/g ⁻¹ FW)	Storage duration (Month)		
	0	1	2
Total sugar	8.3±0.3 ¹⁾	10.1±0.1	11.7±1.3
Reducing sugar	4.8±0.1	3.8±0.1	3.6±0.4
Starch	30.4±2.1	17.6±0.4	15.5±0.3

¹⁾Mean±SD (n=3).**Table 4.** Occurrence of decay and browning disorder in shiitake mushroom after 2 month storage at -3°C and, then, exposure to retail simulation.

Simulated retail condition ¹⁾	Decay(%)	Browning(%)	Sound (%)
10°C, 2 days	0.2	5.6	94.4
Ambient, 2 days	10.5	5.2	84.3

¹⁾After storage under freezing temperature, mushrooms were thawed at 10°C, packaged with styrofoam tray (6 mushrooms/tray) and exposed to 10°C or ambient temperature for 2 days.²⁾Data were obtained from pooled samples of 10 packages.

으로 절반 가까이 감소한 것으로 나타났다. 따라서 빙점하에서도 버섯의 대사작용은 유지되며 저장 탄수화물이 호흡 등에 의하여 지속적으로 소모되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 전술한 Lee 등(1997)와 결과와 차이를 보였는데 본 연구에서는 pilot급 저장을 실시하므로 환경관리가 Lee 등(1997)의 경우와 차이를 보였기 때문인 것으로 추정된다.

2개월 저장을 마친 버섯을 해동한 다음 소포장하고 이를 모의 소매조건과 유사한 10°C 및 상온(14~25°C)에 2일간 노출시킨 다음 버섯의 외관을 살펴보았다. 많은 버섯에서 갈변이 관찰되었는데 주로 갓 이면의 주름조직에서 작은 갈색 반점이 약하게 관찰되었다. 갈변 반점은 10°C에서는 매우 미약한 상태이었으나 상온에 둔 경우는 이보다 진한 반점이 형성되었다. 발생비율은 온도조건에 관계없이 5.2~5.6% 수준이었다. 버섯 조직의 갈변은 저장온도가 일정하지 않을 때 혹은 저장 후 높은 온도조건에 노출할 때 크게 증가하는 것으로 알려져 있다(Minamide et al., 1980; Tano et al., 1999; Aguirre et al., 2009). 또한 상온에 노출

시킨 버섯은 2일 후 약한 부패증상이 관찰되었는데 주로 갈변된 조직이 붕괴되거나 갓 표면에 곰팡이 흔적이 나타났다. 따라서 장해를 일으키지 않은 건전한 버섯의 비율은 84.3%로 10°C에 노출시킨 버섯의 94.4%에 비하여 다소 낮았다.

이상의 결과와 같이 저온성 표고버섯은 빙점하 저장의 잠재성을 지니고 있으며 관행 20일정도의 저장기간을 3배 정도 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. 수확한 버섯은 함수율 등의 생리적 상태가 중요한데 건물중이 높고 단단하게 자란 버섯은 저온내성이 높아 -3°C에서 2개월간 저장이 가능하였다. 그러나 빙점하 환경에서는 저장고 공기 습도가 유지되기 어려워 저장 중 건조 피해를 방지하기 위한 moisture barrier를 함께 적용하는 것이 필요하다.

IV. 결론

원목재배한 저온성 표고버섯의 빙점하 저장가능성을 검토하기 위하여 저온기인 2월 하순에 수확하여 버섯 품종을

저장목표 온도인 -3°C 까지 냉각한 다음 플라스틱필름($30\ \mu\text{m}$)으로 랩핑한 다음 2개월까지 저장하였다. 저장 중 무게 감량은 2.1~3.2%에 불과하였다. 자실체 경도는 $0.95\ \text{kg}/\text{cm}^{-2}$ 에서 $1.13\ \text{kg}/\text{cm}^{-2}$ 로 증가하였으나 전분 함량은 절반 정도로 감소하였다. 저장 후 해동한 버섯을 소포장하여 상온($14\sim 25^{\circ}\text{C}$)과 10°C 에 2일 간 노출시켰을 때 갈변반점이 갓 이면 주름조직에서 발생하였지만 발생 정도는 10°C 조건에서 현저히 낮았다. 상온에서 모의 유통조건을 경과시킨 경우 자실체 표면 또는 갈변부위에서 부패증상도 관찰되었다. 본 연구 결과 저온성 표고버섯은 -3°C 의 빙점하 저장잠재력(2개월)이 있으며 저장을 마치고 판매할 때는 저온환경이 유리하였다.

참고 문헌

- Aguirre L, Frias JM, Barry-Ryan C, Grogan H. 2009. Modelling browning and brown spotting of mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in controlled environmental conditions using image analysis. *Journal of Food Engineering* 91:280-286.
- Bach E, Schollmeyer E. 1992. An ultraviolet-spectrophotometric method with 2-cyanoacetamide for the determination of the enzymatic degradation of reducing polysaccharides. *Analytical Biochemistry* 203:335-339.
- Dubois M, Gills KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28:350-356.
- Hardenburg RE, Watada AE, Yang CY. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agricultural Handbook No. 66*. USDA. USA
- Kim KM, Ko JA, Lee JS, Park HJ, Hanna MA. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology* 39:364-371.
- Lee KS, Lee JC, Han KH, Hwang YS, Song J. 1997. Optimum conditions for keeping the fresh quality of shiitake (*Lentinus edodes*) by low-temperature and frozen storage. *Korean Journal of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products*. 4:115-122. [in Korean]
- Mattila P, Suonp K, Pironen V. 2000. Functional properties of edible mushrooms. *Nutrition* 16:694-696.
- Minamide T, Habu T, Ogata K. 1980. Effect of storage temperature on keeping freshness of mushrooms after harvest. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology* 27:281-287.
- Nahmgung B, Kim BS, Kim OW, Chung JW, Kim DC. 1995. Influence of vacuum cooling on browning, PPO activity and free amino acid of Shiitake mushroom. *Agricultural Chemistry and Biotechnology* 38:345-352. [in Korean]
- Raymond A, Janech. MG. 2009. Ice-binding proteins from enoki and shiitake mushrooms. *Cryobiology* 58:151-156.
- Tano K, Arul J, Doyon G, Castaigne F. 1999. Atmospheric composition and quality of fresh mushrooms in modified atmosphere packages as affected by storage temperature abuse. *Journal of Food Science* 64:1073-1077.
- Thimmel R, Kluthe R. 1988. A nutritional database for edible mushrooms (Abstract). *Ernahrung* 22:63-65.