The Korean Journal of Mycology
© The Korean Society of Mycology
http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2012.40.4.215

한국균학회지
Kor. J. Mycol. 40(4) : 215-223 (2012)

모의 수출 조건에서 수확 후 CO_2와 부직포 패드 처리가 느타리버섯 품질에 미치는 영향

황용수[1*] · 이경민[1] · 김민경[2] · 서건식[2]

[1]충남대학교 농업생명과학대학 원예학과, [2]한국농수산대학 특용작물학과

Effect of Postharvest High CO_2 Treatment and Anti-moisture Pad on the Quality of Fresh Oyster Mushroom during Export Simulation

Yong-Soo Hwang[1*], Kyeung-Min Lee[1], Min-Kyung Kim[2] and Geon-Sik Seo[2]

[1]Dept. of Horticultural Science, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
[2]Dept. of Industrial Crops, Korea National College Agriculture and Fisheries, Hwasung, Kyounggi 445-760, Korea

(Received 6, November 2012., Revised 14, November 2012., Accepted 20, November 2012)

ABSTRACT : This study was aimed to find factors responsible for export potential of oyster mushroom through postharvest treatments including high pressure CO_2 and anti-moisture pad. Temperature fluctuation during export simulation induced the condensation of excess moisture resulting in the quality loss due to browning and decay. Anti-moisture pad was effective on inhibition of browning occurrence in part. High temperature exposure (15°C) as retail simulation greatly offset the positive effect of anti-moisture pad. Short term treatment of high pressure CO_2 delayed the surface color changes as hunter L, a, and b values. There was no consistent tendency in total sugar and phenolics between treatments. In general, the export potential of small size mushroom (export size) at harvest was higher than large ones (domestic size). The major factors associated with the quality decrease of oyster mushroom during export were moisture condensation in packages and temperature fluctuation. Further research is required to improve mushroom export procedures.

KEYWORDS : Browning, Firmness, Moisture condensation, Phenolics, Polyphenol oxidase

서 론

버섯은 수확 후에도 대사작용이 왕성하고 저장성도 낮아 유통에 많은 어려움을 겪는다(Aguirre *et al*., 2009). 우리나라에서 느타리버섯은 생산량이 팽이버섯 다음으로 많은 버섯으로 근래 수확 후 관리기술이 향상되어 미국, 호주 등지로 수출하고 있으나 국내 유통보다 선적기간이 길고 수출과정에서 저온유통체계가 단절되는 경우도 있어 종종 조직이 물러지거나 갈변 증상이 발생하는 경우가 흔히 발생한다.

갈변과 무름 증상은 노화된 버섯에서 흔히 관찰되는 장해(McCory and Kilara, 1983)로 작업과정에서 버섯이 눌리거나(Burton and Noble, 1993) 관리온도가 높을 때(Minamide *et al.*, 1980) 또는 포장내부 공기의 CO_2 농도가 높을 때(Nichols and Hammond, 1973; Briones *et al*., 1992) 빨리 갈변이 발생하고 특히 저온저장 후 높은 온도 환경에 노출되면(Burton *et al*., 1987) 심해진다. Burton *et al*. (1987)은 냉각 방식에 따른 갈변 발생에 차이가 있어 진공냉각은 무게감량은 크지만 저장 후 18°C 온도에 노출하였을 때 갈변은 감소한다고 보고 하였다.

버섯은 표피가 발달하지 않아 수확 후 수분상실에 의한 감모가 심하게 발생하므로 필름을 이용한 MA(modified atmosphere) 기술을 이용하는 것이 일반적이다. MA 포장에서 필름의 가스투과도와 관리온도는 포장내부 공기의 조성에 직접적인 영향을 미치는데 관리온도가 낮고 필름 투과도가 높으면 가스 조성비의 변화가 적다(Choi *et al*., 2011). 양송이의 경우 2.5%의 O_2는 갈변을 억제시키고 반면에 CO_2농도가 지나치면 조직 내외부의 갈변을 증가시키는 것으로 보고한 바 있다(Briones *et al*., 1992). 적절한 MA환경은 갓의 전개를 억제하는데 CO_2 농도가 2-6% 범위와 O_2 농도가 6%에서 갓의 생장이 억제되는 것으로 보고되어 있다(Briones *et al.,* 1992). 따라서 MA기술을 이용하여 버섯 유통기간을 연장하고자 노력하고 있다.

수출은 국내유통에 비하여 유통단계가 복잡하고 저온유통체계가 지속되지 않는 경우도 생기기도 하는데 냉각한 버섯이 변온환경에 노출될 때 부적절한 온도에 의한 스트레스를 받을 가능성이 높다(Cho *et al*., 2008). 수확한 버섯의 품질에 가장 중요하게 작용하는 요인은 온도(Escriche

*Corresponding author <E-mail : yshwang@cnu.ac.kr>

et al., 2001; Tano *et al*., 2007)로 약 10°C 수준의 변온이라도 포장 내부공기의 CO_2 농도를 급격히 증가시키고 O_2 농도를 낮춰 버섯의 전반적인 품질을 저하시키는 원인이 될 수 있다.

Roy 등(1995)은 재배 중 0.3% 칼슘을 공급하였을 때 버섯 표면의 수분이 증가하여 MA 포장효과를 떨어트리기 때문에 수확한 버섯은 품질 유지를 위해 포장 용기 내부의 습도 조절이 필요하다고 보고 하였다. 포장재 내부 공기의 습도 조절을 위하여 sorbitol과 NaCl 처리효과를 검토한 결과(Anantheswran *et al*., 1996), sorbitol 처리는 재배시 칼슘을 관주한 배지에서 발생한 버섯표면의 수분 응축을 다소 방지하지만 흡습제 처리 효과는 뚜렷하지 않았고 키토산 코팅처리는 갈변억제 효과가 있다고 보고 하였다(Kim *et al.*, 2006).

수출과정에서 저온유통체계가 단절되어 높은 온도에 노출되었다가 다시 낮은 온도로 낮출 경우 증산과 응축이 반복되어 버섯 표면에 결로가 발생할 수 있는데 응축수가 버섯과 접촉할 경우 접촉표면에 생리적 장해 또는 부패를 일으킬 가능성이 높지만 이에 대한 구체적인 연구는 진행된 바 없다.

한편 작물이 내성을 나타내는 범위에서의 고농도 CO_2 처리는 대사작용을 변화시키는데 아보카도에서는 호흡억제, ATP 합성 억제 등 에너지 대사의 변화(Lange and Kader, 1997; Wang *et al.*, 2003)가 관찰되고, 딸기에서는 해당작용, 발효, malate 대사작용에 영향을 주어(Ponce-Valadez *et al*., 2009) 조직 내 acetaldehyde, ethanol, ethylacetate 등을 증가시키며 이러한 물질 대사와 관련된 효소의 활성을 증가시켜 ethanol 및 ethylester 축적을 유도한다(Ke *et al*., 1994). 딸기의 경우 고농도의 CO_2 단시간 처리로도 딸기 과실의 경도를 높이거나 과색의 변화를 억제하는 등 품질을 유지시키는 효과가 있는 것으로 보고되었다(Hwang *et al*., 2012). 버섯 MA포장 조건에서 가스조성이 부적절할 경우 조직이 연화되고 스폰지화되기도 하지만(Briones *et al*., 1992) 단시간의 고농도 CO_2 처리는 딸기의 경우처럼 버섯에서도 갈변을 억제시킬 가능성도 배제할 수 없다.

따라서 본 연구는 보구력이 낮은 느타리버섯의 수출과정에서 발생할 수 있는 수출단계별 품질 저하의 원인을 밝히고 고농도 CO_2 처리 및 포장지 내부에 방습지를 처리하여 모의 수출과정에서 느타리버섯의 품질과 결로에 의한 장해를 억제할 수 있는 가능성을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

느타리버섯 수확 및 수확후 처리

느타리버섯은 대전광역시 유성구 소재 재배농장에서 수확한 버섯을 갓의 크기가 직경 20 mm 내외인 경우는 수출용으로, 25 mm 이상인 것은 국내 판매용으로 간주하였다. 선별한 버섯은 모두 4°C 저온실에 1일간 두어 냉각시켰다. 선별을 마친 버섯은 수출용 플라스틱 속포장 용기(330 g 들이)에 담아 대조구(무처리), 패드처리, CO_2 (100%, 2 hr)와 패드 혼합처리를 두었고 대조구는 관행수출과 동일한 조건을 부여하였다. 방습용 패드는 한 면이 비닐 코팅된 부직포(6.5 × 8 cm, 약 0.4 g) 2매를 버섯 포장용기 바닥에 깔아 응축수와 버섯 하단부가 접촉하지 않도록 하였다. CO_2처리는 용기에 담은 버섯을 1 × 1 × 1 m 크기의 플라스틱 용기에 넣고 가습장치를 통과한 CO_2를 2시간 공급하였다. CO_2는 처음 15분간 100ℓ·$^{-1}$min으로 공급하여 용기 내부 공기를 CO_2로 치환하고 그 이후에는 20ℓ·$^{-1}$min으로 1시간 45분간 공급하였다.

모의수출

수확 후 처리를 마친 버섯은 관행적인 수출과 최대한 유사한 조건을 부여하였다. 즉, 수확 후 처리와 포장을 마친 버섯은 선적(상온 3시간 노출), 선박수송(20일 저장, 1°C), 하역 및 검역(상온 3시간 노출), 수출 후 저장(1°C, 최대 20일), 소매단계(15°C, 2일)를 단계적으로 부여하여 모의수출과정을 부여한 것으로 간주하였다. 모의 수출단계에서 변온에 따른 응축수 산출은 psychrometric chart를 이용하였다.

품질조사

무게감량은 처리전 무게에서 각 단계별 처리 거친 다음 무게를 조사하여 그 차이를 원래 무게에 대한 백분율로 표시하였다. 경도는 15개의 버섯을 무작위로 선정하여 대와 자실체를 종단으로 잘라 약 0.5 cm 두께의 절편을 만든 후 3 mm flat-tipped probe를 장착한 Rheometer(CR-100D, sunsientific, Japan)로 파열 경도를 측정하였다. 색도 측정은 버섯의 갓, 줄기를 구분하여 색차계(CR-200b, Minota, Japan)를 이용 L*,a*,b* 값을 측정한 후 hue 값으로 환산하였다. 경도와 색도는 갓과 줄기(대)를 구분하여 조사하였다. 당과 페놀 분석을 위하여 5 g의 냉동조직을 취한 다음, 80% 에탄올 50 mℓ를 가하여 homogenizer (Brookfield Enginnering, USA)로 마쇄(2분)한 다음, 끓는 수조에서 10분간 2회 추출하여 원심분리하고(12,000 rpm, 10분) 상징액을 취하여 분석시료로 사용하였다. 총당은 phenol-sulfuric acid법(Dubois *et al*., 1956)으로 측정하여 무수 포도당 등량으로 나타내었다. 총 페놀 함량은 phenol reagent(Sigma, USA)를 이용하여 측정하였으며 검량선은 catechin(Sigma, USA)을 표준품으로 사용하였다. Polyphenol oxidase(PPO) 추출은 버섯 5 g을 잘게 썰어, 4% PVP(w/v)가 함유된 0.2M potassium phosphate buffer(pH 6.5)를 10 mℓ를 첨가하여 3분간 마쇄하고, 2°C, 7,500 × g로 10분간 원심 분리하여 상징액을 취한 다음 이를 조효소액으로 사용하였다. PPO의 활성은 먼저 70 mM

catechol을 포함한 0.05 M phosphate buffer(pH 6.5) 3 mℓ에 조효소액 100를 넣어 10분 동안 반응시킨 다음 420 nm에서 흡광도의 변화를 이용하여 효소 활성을 측정하였다(Luh and Phithakpol, 1972). 효소 활성은 Absorbance (A)·h^{-1}·g $protein^{-1}$으로 나타냈다. 갈변은 육안으로 버섯 외관을 살펴 갈변정도를 판단하였는데 0(없음), 1(반점면적 약 1~2%), 2(반점면적 3~4%), 3(반점면적 5% 이상)으로 구분하였다.

통계처리

모든 실험은 완전임의배치법 3반복으로 실시하였고 통계처리는 SAS software package(Statistical Analysis System, version 9.2, SAS Institute Inc.)를 이용하여 Tukey 다중검정과 ANOVA를 수행하였다.

결과 및 고찰

수출버섯 포장용기 내부 응축수 발생 예측

수출 과정에서 저온 유통체계가 지속적으로 유지되지 못할 경우 포장 용기 내부의 공기 수증압도 일정하게 유지되지 않아 수증기 증산과 응축이 반복적으로 발생할 가능성이 높다. 버섯은 여러 단계의 수출과정을 거치며 상온에 직접 노출되기도 하며 또한 관리온도가 일정하지 않은 것으로 조사되었다. 현재 느타리버섯 수출에 사용하는 용기는 300 g들이 용기를 주로 이용하는데 가상적인 온도편차를 고려하여 용기 내 응축수 최대 발생량을 계산한 결과는 Table 1과 같다. 대체적으로 저장실 온도는 1.5~3°C, 포장실은 18°C로 관리하고 있어 냉각한 버섯이 포장작업에서 18°C의 온도에 노출되므로 최대 응축수 생성량은 포장용기 당 14 μg이 발생할 수 있을 것으로 추정된다. 또한 냉각한 버섯을 컨테이너에 적재할 때 저온유통체계가 단절되기 때문에 여름과 봄, 가을 외기온을 각각 30°C, 20°C로 가정할 경우 적재과정에서 응축수 발생량은 각각 용기당 35 μg, 16 μg으로 산출된다.

Table 1. Estimated maximum amount of condensing water inside the packaging container during export simulation

Export simulation (Estimated temperature)	Max. amount of vapor condensation (ug/container[1)])
Preshipping storage (3°C) → Packing room (18°C)	14
Preshipping storage (3°C) →	
Loading (30°C, summer season)	35
Loading (20°C, spring, fall season)	16
Marine shipment (0°C) →	
Unloading and quarantine (30°C, summer)	37
Unloading and quarantine (20°C, spring and fall)	18

[1)]Oyster mushroom packaging container for export: 1.2 L for 300 g mushroom.

선박수송 온도가 0°C인 점을 고려할 때 하역과 검역과정에서 다시 상온에 노출되므로 유사한 계절별 기온을 가정하면 하역과정의 응축수 발생량이 여름철에는 용기당 37 μg, 봄, 가을에는 18 μg으로 추정할 수 있다. 소포장 상자는 버섯을 담은 다음 필름으로 랩핑하므로 필름을 통한 수증기 이동이 다소 있을지라도 대부분의 응축수는 버섯과 직접 접촉하거나 용기 하단에 쌓여 버섯과 직접 접촉할 가능성이 있다. 동일하게 포장한 버섯을 냉각한 다음 다시 선적과정과 유사한 30°C에 노출하였을 때 포장상자 내부 표면과 버섯 줄기 하단부, 갓 표면 등에 응축수가 고이는 현상이 관찰되는데 응축수가 버섯과 접촉하게 되면 품질을 저하시킬 우려가 있어(Cantwell and Kasmire, 2002) 이에 대한 대비가 필요하다.

모의 수출처리와 느타리버섯 품질 변화

단시간 고농도 CO_2 처리는 딸기와 같은 신선작물의 부패를 억제시키며 대사작용을 지연시켜 경도를 높게 유지시키는 등의 효과가 있는 것으로 보고되어 있어(Hwang *et al.*, 2012) 초기 버섯의 대사작용을 제어하고자 단시간 고농도의 CO_2 처리효과를 검토하였다. 고농도 CO_2 처리는 선적전 냉각 중 무게 감량을 억제시켰는데 이러한 결과는 수확할 때 성장이 더욱 진행된 내수용 버섯에서 더욱 뚜렷하였다(Table 2). 고농도 CO_2는 생체조직에 스트레스를 유도하여 호흡을 비롯한 대사작용을 억제시키므로(Lange and Kader, 1997; Wang *et al.*, 2003) 호흡속도가 높은 버섯의 무게감량 억제는 호흡대사를 억제하였을 가능성이 있다. 반면에 흡습지 처리는 유의차는 없으나 무게감량이 다소 증가하였는데 이는 흡습지 자체가 수분을 흡수하여 얻어진 결과로 보인다. 무게감량은 수출과정이 경과될수록 증가하였는데 수출단계별로는 선적전 처리과정에서 가장 심하여 무처리의 경우 2.88% 감량이 발생하였고 선적과정에서는 2.85%이었다. 선적전 처리과정에서 감량이 컸던 것은 포장을 하지 않은 상태에서 선적전 처리가 진행되었기 때문으로 20일간의 선적과정에서 발생한 감량보다 높았다. 하역 후 소매전 저장기간 동안의 변화는 크지 않아 처음 10일간에는 약 1.03%의 감량이 관찰되었고 다음 10일간은 변화가 크지 않았다. 그러나 모의소매단계를 부여한 다음에는 2일동안 약 1%의 감량이 발생한 것으로 나타났다. 따라서 버섯의 증산은 필름포장에 의하여 현저히 억제되지만 필름포장을 한 이후에는 시간과 온도에 비례하여 감량이 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉, 온도가 높을수록, 그리고 저장기간이 길수록 증가하여 모의소매조건을 부여한 다음에는 급격히 무게감량이 증가하였는데 이는 소매단계에서 판매대의 온도가 높아 버섯과 주위 환경사이의 수증기압차가 증가하기 때문

Table 2. Effect of pre-shipping treatment of high concentration CO_2 and moisture absorbent on weight loss of oyster mushroom during simulated export

Treatment[1)]	Before shipment	Days after shipment simulation[2)]				
		0	0 + 2	10	10 + 2	20
Export size				Weight loss (%)		
Untreated	2.88 b[3)]	5.73 b	7.24 ab	6.76 b	7.90 a	6.72 b
MP	2.94 b	4.36 a	7.47 a	6.40 ab	6.38 b	5.36 a
CO_2+MP	2.56 a	4.67 ab	6.77 b	6.22 b	8.33 a	6.73 b
Domestic size						
Untreated	2.59 b	5.14 b	8.23 b	4.87 b	8.95 a	5.90 a
MP	2.62 b	5.17 b	10.57 a	5.05 b	8.51 a	6.05 a
CO_2+MP	2.12 a	4.53 a	10.05 a	6.42 a	8.18 a	6.56 a
ANOVA						
Size (A)	*	*	**	**	*	*
Treatment (B)	*	*	**	*	NS	NS
A × B	NS	NS	NS	*	NS	NS

[1)]MP: moisture pad, CO_2 + MP: 100 kPa CO_2 flushing (2 hrs) before packaging + MP.
[2)]Shipment simulation: Mushrooms were stored at 1°C for 20 days after pre-shipment treatment and examined immediately after shipment simulation or after exposure to shelf temperature (15°C, 2 days).
[3)]Different letters within columns indicated significant difference by Tukey's multiple range test($p = 0.05$, $n = 3$).

Table 3. Effect of pre-shipping treatment of high concentration CO_2 and moisture pad on pelius firmness of oyster mushroom during export simulation

Treatment[1)]	Before shipment	Days after shipment simulation[2)]				
		0	0 + 2	10	10 + 2	20
Pelius						
Export size				Firmness (N)		
Untreted		0.47 a[3)]	0.31 ab	0.37 a	0.40 a	0.27 ab
MP	0.74	0.41 a	0.29 b	0.36 a	0.36 a	0.23 b
CO_2 + MP		0.45 a	0.37 a	0.43 a	0.42 a	0.32 a
Domestic size						
Untretde		0.41 a	0.41 a	0.43 ab	0.45 a	0.43 a
MP	1.02	0.45 a	0.37 a	0.37 b	0.39 a	0.46 a
CO_2+MP		0.43 a	0.47 a	0.48 a	0.42 a	0.41 a
ANOVA						
Size (A)		NS	***	NS	NS	***
Treatment (B)		NS	*	*	NS	NS
A × B		NS	NS	NS	NS	NS
Stipe						
Export size						
Untreted		0.44 a	0.35 b	0.56 a	0.44 a	0.41 a
MP	0.77	0.42 a	0.40 a	0.37 b	0.43 a	0.43 a
CO_2 + MP		0.46 a	0.38 ab	0.46 ab	0.30 b	0.40 a
Domestic size						
Untreted		0.39 b	0.30 a	0.36 a	0.30 a	0.28 a
MP	0.69	0.48 a	0.32 a	0.37 a	0.32 a	0.31 a
CO_2 + MP		0.49 a	0.29 a	0.36 a	0.40 b	0.29 a
ANOVA						
Size (A)		*	**	*	NS	NS
Treatment (B)		NS	*	*	*	NS
A × B		NS	NS	NS	NS	NS

Note) See Table 2.
[1)], [2)], [3)], legends are the same as that in Table 2.

으로 판단된다. 내수용과 수출용 규격의 버섯 사이에는 선적전 처리기간에만 차이를 보이고 그 이후에는 처리간, 버섯 크기간 차이가 명확하지 않았다.

선적전에 조사한 결과에서는 전반적으로 갓의 경도가 줄기보다 다소 높았으며 수출용 버섯 경도가 내수용 버섯보다 높았다(Table 3). 20일간의 모의 선적과정을 경과한 다음의 경도는 수출용 버섯의 갓에서는 대조구 경도가 1.02N에서 0.41N으로 58.8% 감소하였고 MP와 CO_2+MP는 각각 0.45N, 0.43N으로 대조구보다 감소폭이 다소 낮았다. 그러나 수출지 도착 10일 이후에는 처리간 경향이 일정하지 않았다. 이러한 처리간 차이는 수확후 처리에 의한 결과이기보다 표본의 차이일 가능성이 있다. 내수용 규격에서도 유사한 결과이었는데 모의선적 직후에는 수출용 규격에 비하여 경도가 낮지 않았으나 수출지 도착 10일부터는 처리에 관계없이 경도가 수출용 규격보다 낮았고 특히 20일에는 대조구는 0.27N, MP는 0.23N, CO_2 + MP는 0.32N으로 선적전 경도보다 MP에서는 69%, 대조구는 63%, CO_2 + MP는 57% 감소하여 CO_2 처리가 경도의 저하를 다소 억제하였으나 관능적인 차이는 보이지 않았다. 대의 경도는 갓에 비하여 더 높게 유지되었는데 수출용 규격은 선적전 0.77N에서 CO_2 + MP의 0.40N, 대조구 0.41N, MP 0.43N으로 감소율이 44.1%에서 48.1%에 불과하였다. 그러나 내수용 규격의 버섯은 이보다 다소 낮은 0.28N~0.31N으로 수출용 규격보다 유의하게 낮았으며 선적전 처리의 효과는 갓에 비하여 명확하지 않았다. 따라서 버섯에서는 딸기에서 관찰된 바(Hwang *et al.*, 2012)와 같이 고농도 CO_2 처리에 의한 경도 증진 또는 유지효과는 뚜렷하지 않았다.

선적 이후 조직의 색택변화가 관찰되는데 수확당시의 버섯 크기에 관계없이 그리고 모든 처리에서 갓의 hue 값이 증가하여 전반적으로 황색조로 변하는 경향이었다(Table 4). 또한 전반적으로 색도가 탁해지는 느낌을 주었

Table 4. Effect of pre-shipping treatment of high concentration CO_2 and moisture pad on external color of oyster mushroom during export simulation

Treatment[1)]	Before shipment	Days after shipment simulation[2)]				
		0	0 + 2	10	10 + 2	20
Pieus						
Export size				***hue***		
untreated		74.31 a[3)]	70.52 a	74.91 a	71.57 b	73.62 a
MP	66.19	72.39 a	71.60 a	73.32 a	76.47 a	73.42 a
CO_2 + MP		74.86 a	71.44 a	74.62 a	74.73 a	72.94 a
Domestic size						
untreated		72.50 b	70.83 b	80.31 a	76.00 a	75.02 a
MP	63.13	72.83 b	71.80 ab	73.09 b	77.97 a	73.37 a
CO_2 + MP		76.60 a	72.92 a	78.84 a	77.74 a	74.46 a
ANOVA						
size (A)		NS	*	***	***	*
treatment (B)		**	**	***	**	NS
A × B		NS	NS	***	NS	NS
Stipe						
Export size						
untreated		82.26 a[3)]	82.47 a	83.13 a	71.57 b	80.09 a
MP	80.02	83.56 a	80.84 b	81.51 ab	81.40 a	80.72 a
CO_2 + MP		83.73 a	82.88 a	80.64 b	81.48 a	81.33 a
Domestic size						
untreated		81.07 a	82.54 a	82.99 a	81.60 a	80.33 ab
MP	78.06	81.64 a	82.27 a	82.25 a	82.66 a	79.55 b
CO_2 + MP		81.94 a	81.77 a	83.79 a	81.05 a	81.62 a
ANOVA						
Size (A)		***	NS	**	***	NS
Treatment (B)		NS	NS	NS	***	*
A × B		NS	*	*	***	NS

Note) See Table 2.
[1)], [2)], [3)], legends are the same as that in Table 2.

Table 5. Effect of pre-shipping treatment of high concentration CO_2 and moisture absorption on polyphenol oxidase of oyster mushroom during simulated export

Treatment[1)]	Before shipment	Days after shipment simulation[2)]				
		0	0 + 2	10	10 + 2	20
Export size		PPO (ABS·h^{-1}·mg^{-1} protein)				
Untreated		9.74 a[3)]	13.10 a	10.57 a	9.91 a	9.94 a
MP	7.15	9.77 a	8.71 b	9.49 ab	9.49 a	8.71 ab
CO_2 + MP		9.64 a	11.84 a	8.68 b	10.55 a	7.50 b
Domestic size						
Untreated		8.32 a	9.40 a	8.99 a	9.58 a	9.30 a
MP	6.00	8.53 a	7.16 b	6.32 b	7.81 b	6.85 ab
CO_2 + MP		8.82 a	9.98 a	9.95 a	9.03 ab	6.35 b
ANOVA						
Size (A)		**	***	**	**	*
Treatment (B)		NS	***	**	*	**
A × B		NS	*	**	NS	NS

Note) See Table 2.
[1)], [2)], [3)], legends are the same as that in Table 2.

고 L값도 감소하였다(미발표자료). 처리 간에는 소매과정을 부여하기 전까지는 CO_2 처리구에서 변화가 다소 적어 갈변을 지연하는 것으로 나타났으나 하역후 시간이 길어질수록 또 소매과정을 부여한 다음에는 그 차이가 뚜렷하지 않았다. 처리간의 차이는 현저하지 않았지만 버섯 크기에 따른 차이는 뚜렷하여 수출용보다 내수용 버섯에서 이러한 색의 변화가 더욱 컸다. 수확한 버섯의 갈변은 CO_2 농도(Nichols and Hammond, 1973; Briones *et al*., 1992), 온도(Minamide *et al*., 1980), 물리적 스트레스(Burton and Noble, 1993) 등의 영향을 받는데 수확당시의 성숙 정도도 갈변에 영향을 주는 것으로 보인다.

PPO 활성은 모의선적 이후 감소하는 경향이었는데 버섯 크기에 따른 PPO 활성 변화의 차이는 없었다(Table 5). 그러나 선박수송이후 저장일수가 길어질수록 다시 증가하였고 특히 모의소매 단계를 부여한 다음 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 처리 간에는 내수용 규격의 경우 MP 처리에서 증가폭이 컸지만 수출용 규격에서는 CO_2 + MP 처리에서 더욱 증가하여 일정한 경향을 보이지 않았다.

반면에 페놀함량은 수확후 일수가 길어질수록 증가하였

Table 6. Effect of pre-shipping treatment of high concentration CO_2 and moisture absorption on total phenolics of oyster mushroom during simulated export

Treatment[1)]	Before shipment	Days after shipment simulation[2)]				
		0	0+2	10	10+2	20
Export size		Phenolics(·g^{-1} FW)				
untreated		597.68 a[3)]	580.99 b	544.35 a	763.73 a	528.64 a
MP	368.8	540.09 ab	633.71 ab	540.06 a	606.07 c	526.87 a
CO_2 + MP		425.17 a	692.37 a	625.95 a	658.85 b	426.87 b
Domestic size						
untreated		543.42 a	597.72 b	782.36 a	636.92 a	568.57 a
MP	435.7	376.54 a	743.61 a	514.04 b	592.02 a	609.36 a
CO_2 + MP		575.97 a	703.32 ab	717.73 a	736.31 a	604.94 a
ANOVA						
Size (A)		NS	*	**	NS	***
Treatment (B)		NS	**	**	**	NS
A × B		*	NS	**	**	*

Note) See Table 2.
[1)], [2)], [3)], legends are the same as that in Table 2.

는데 증가폭은 내수용 규격에서 더욱 증가하였고(Table 6) 처리간에는 CO_2 + MP 처리에서 증가폭이 컸는데 이러한 결과는 PPO 활성과 일치하는 경향을 보이지 않아 더욱 세밀한 검토가 필요하다.

총당 함량은 모의 수출이후 급격히 증가해서 선적전보다 거의 2배 이상 증가하여(Table 7) 모의수송기간 중 저장탄수화물이 가용성 당으로 전환된 것으로 생각된다. 수출이후 기간이 길어질수록 당함량은 전반적으로 감소하였는데 버섯 규격에 따른 차이는 현저하지 않았고 MP 처리에서 수출 후 10일까지 전반적으로 낮았지만 20일에는 CO_2 + MP 처리에서 낮았다.

갈변은 수송직후까지는 CO_2 + MP 처리에서 우수하였으나 선적 후 저장 및 판매조건을 경과한 다음에는 MP처리에서 증가폭이 낮았다. 버섯의 색택 변화와 마찬가지로(Table 4) 선적전 처리의 효과는 저온수송조건에서만 유지되고 모의판매 조건을 부여한 다음에는 차이가 없어 관리온도의 변화가 처리효과를 상쇄하는 것으로 보인다. Escriche 등(2001)과 Tano 등(2007)은 버섯 품질에 가장 큰 영향을 주는 요인은 온도로 10°C 온도 상승은 버섯의 전반적인 품질을 저하시킬 수 있다고 하였는데 급격한 온도 상승으로 포장내부의 O_2는 감소하고 CO_2는 상승하여 갈변을 유도하였을 것으로 보인다. 갈변의 발생은 특정부위에 국한되지 않았지만 특히 줄기부분이 포장용기와 접촉하는 인근과 응축수가 맺힌 갓에서 심하여(Fig. 1) 포장용기와 접촉하여 조직이 눌리거나 물리적 손상을 받은 부위 혹은 응축수와 직접 접촉하는 부위에서 흔히 발생하는 것으로 판단된다. 갈변발생은 모의수송직후에는 버섯 크기에 따른 차이는 다소 관찰되었지만 처리간 차이가 크지 않았다. 그러나 모의판매 조건에서 크게 증가하였는데 개체간 차이도 있었다. 전반적으로 대조구

Table 7. Effect of pre-shipping treatment of high concentration CO_2 and moisture absorption on total soluble sugars of oyster mushroom during simulated export

Treatment[1)]	Before shipment	Days after shipment simulation[2)]				
		0	0+2	10	10+2	20
Export size		Total soluble sugar(mg·g^{-1} FW)				
untreated		10.25 a[3)]	9.94 a	8.10 a	8.42 a	6.54 b
MP	5.00	10.58 a	8.89 a	7.33 a	8.99 a	8.58 a
CO_2 + MP		5.08 b	8.93 a	9.23 a	7.45 b	5.86 b
Domestic size						
untreated		7.16 b	8.63 a	10.57 a	8.29 a	7.06 ab
MP	4.99	5.70 b	9.30 a	6.71 b	8.91 a	8.56 a
CO_2 + MP		10.82 a	9.20 a	9.53 a	8.61 a	6.77 b
ANOVA						
Size (A)		NS	NS	NS	NS	NS
Treatment (B)		NS	NS	**	NS	***
A × B		***	*	*	NS	NS

Note) See Table 2.
[1)], [2)], [3)], legends are the same as that in Table 2.

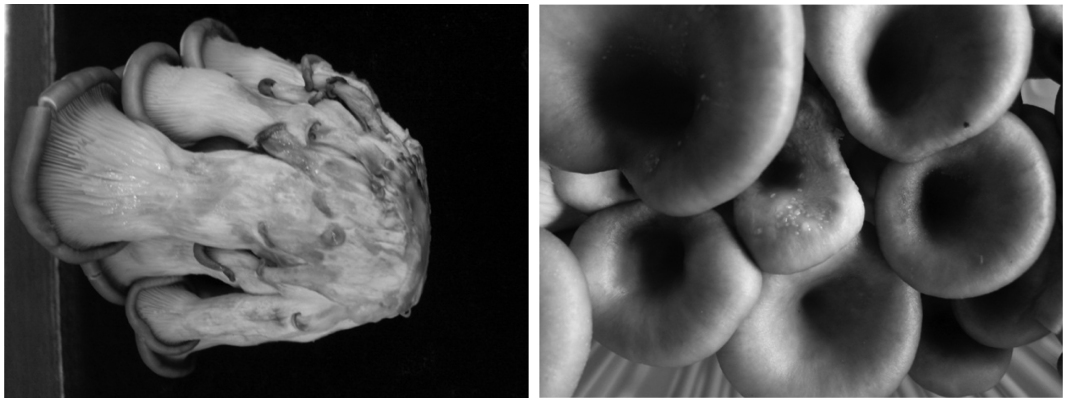

Fig. 1. Browning disorder occurred on stipe and pileus of oyster mushroom. Photos were taken after export simulation (20 days after shipment) and exposure to 15, 2 days.

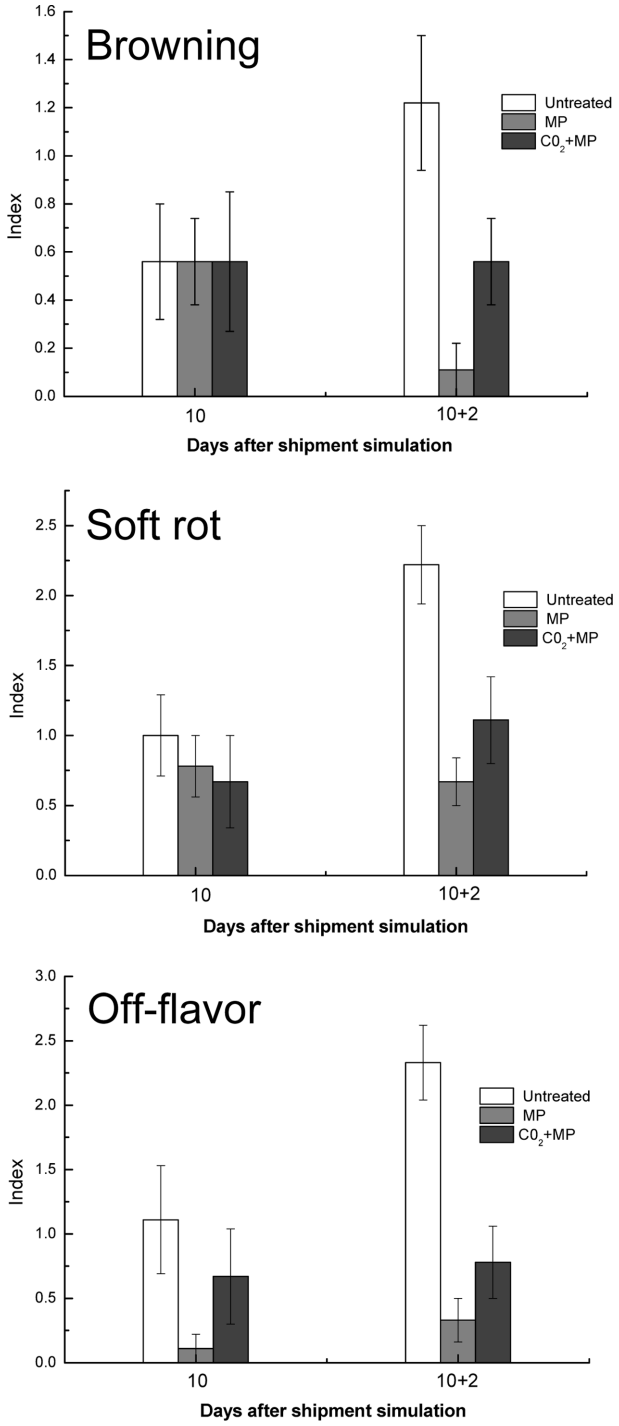

Fig. 2. Effect of pre-shipment treatments of high pCO_2 and moisture pad on physiological disorders of oyster mushroom during simulated export (10 days after shipment and 2 days at 15, respectively.

보다는 처리구가 유리하였으나 특히 흡습지 처리에서 다소 낮은 경향이었다. 이러한 경향은 무름증상과 이취 발생에서도 유사한 결과를 보여주었다(Fig. 2). 전반적으로 생리적 장해는 모의선적 완료 후 20일에는 처리간 차이가 없었다.

이상의 결론을 살펴 볼 때 갓이 작은 수출 규격의 버섯은 내수용 버섯보다 저장 포텐셜이 높은 것으로 판단된다. 느타리버섯 수출력 증진을 위해서는 수출과정에서 발생하는 온도변화로 포장용기 내부에서 결로가 발생하여 응축수와 버섯이 접촉하는 것을 방지할 수 있는 방안이 요구되며 이를 위해서는 본 연구에서 검토한 흡습지 이외에 흡습과 보습을 해결할 수 있는 소재를 탐색할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 단기 CO_2 처리는 모의 선박수송 10일 후(수확 후 30일)까지는 긍정적지만 그 이후에는 뚜렷한 선도유지 효과를 나타내지 못하여 모의 판매조건의 고온에서의 변화를 억제하는 효과는 제한적이었다.

적 요

느타리버섯 수출력 증진방안을 모색하기 위하여 선적전 고농도 CO_2 및 흡습지 처리가 모의 수출과정에서 버섯의 품질에 미치는 영향을 조사하였다. 수출과정의 온도 변화는 표장용기 내부에 응축수를 만들어 품질을 떨어뜨리는 원인이 되며 흡습지는 경도 유지, 갈변 예방 등에서 효과적이었다. 그러나 모의소매과정에서의 고온(15°C) 노출은 그 효과를 크게 감소시켰다. 선적전 고농도의 CO_2 처리는 경도에 대한 영향은 뚜렷하지 않았지만 버섯의 색택변화를 지연시켰다. 총당, 페놀 등 내적성분은 처리간 일정한 경향을 보이지 않았다. 전반적 수출잠재력은 현행 수출용 규격인 작은 버섯에서 높았다. 수출용 버섯의 품질저하는 포장용기내 응축수 발생과 온도변화의 영향을 크게 받아 이를 개선하기 위한 노력이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청과 경기도 농업기술원 2012년도 연구비 지원에 의하여 수행된 결과의 일부임.

참고문헌

Aguirre, L., Frias, J. M., Barry-Ryan, C. and Grogan, H. 2009. Modelling browning and brown spotting of mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in controlled environmental conditions using image analysis. *J. Food Engineering* 91:280-286.

Anantheswran, R. C., Beelman, R. B. and Roy, S. 1996. Modified atmosphere and modified humidity packaging of fresh mushrooms. *J. Food Sci.* 61:391-397.

Briones, G. L., Varoquaux, P., Chambroy, Y., Bouquant, J., Bureau, G. and Pascat, B. 1992. Storage of common mushroom under controlled atmospheres. *International Journal of Food Science & Technology* 27:493-505.

Burton, K. S. and Noble, R. 1993. The influence of flush number, bruising and storage temperature on mushroom

quality. *Postharvest Biology and Technology* 3:39-47.

Burton, K. S., Frost, C. E. and Atkey, P. T. 1987. Effect of vacuum cooling on mushroom browning. *International Journal of Food Science & Technology* 22:599-606.

Cantwell, M. I. and Kasmire, R. E. 2002. Postharvest handling systems: flower, leafy, and stem vegetables. p.423-433. (In) Postharvest technology of horticultural crops, 3rd Edition. (Technical editor A.A. Kader). Agriculture and Natural Resources. Pub. 3311. University of California.

Cho, S. D., Lee, S. K. and Kim, G. H. 2008. Quality maintenance of oak mushroom during modified atmosphere storage as affected by packaging materials under various temperatures. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 26:393-399. (in Korea).

Choi, J. W., Cho, M. A., Kim, W. B., Kim, J. G. and Jhune, C. S. 2011. Effect of storage temperature and packaging material on the shelf-life and postharvest quality of king oyster mushroom. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29 (SUPPL II). 131. (in Korea)

Dubois, M., Gills, K. A., Hamilton, J. K. Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356.

Escriche, I., Serra, J. A., Gómez, M. and Galotto, M. J. 2001. Effect of ozone treatment and storage temperature on physico-chemical properties of mushrooms(*Agaris bisporus*). *Food Science and Technology International* 7:251-258.

Hwang, Y. S., Min, J. H., Kim, D. Y., Kim, J. G. and Huber, D. J. 2012. Potential mechanisms associated with strawberry fruit firmness increases mediated by elevated pCO_2. *Hort. Environ. Biotechnol.* 53:52-59.

Ke, D., Zhou, L. and Kader, A. A. 1994. Mode of oxygen and carbon dioxide action on strawberry ester biosynthesis. *J. Amer. Sco. Hort. Sci.* 119:971-975.

Kim, K. M., Ko, J. A., Lee, J. S., Park, H. J. and Hanna, M. A. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT* 39:364-71.

Lange, D. L. and Kader, A. A. 1997. Elevated carbon dioxide exposure alters intracellular pH and energy charge in avocado fruit tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:253-257.

Luh, B. S. and Phithakpol, B. 1972. Characteristics of polyphenol oxidase related to browning in cling peach. *J. Food Sci.* 37:264-268.

McCory, J. D. and Kilara, A. 1983. Control of enzymatic browning in processed mushrooms (*Agaricus bisporus*). *J. Food Sci.* 48:1479-1484.

Minamide, T., Habu, T. and Ogata, K. 1980. Effect of storage temperature on keeping freshness of mushrooms after harvest. *J. Japan. Soc. Food Sci. Technol.* 27:281-287.

Nichols, R. and Hammond, J. B. W. 1973. Storage of mushrooms in pre-packs: The effect of changes in carbon dioxide and oxygen on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24:1371-1381.

Ponce-Valadez, M., Fellman, S. M., Giovannoni, J., Gan, S. S. and Watkins, C. B. 2009. Differential fruit gene expression in two strawberry cultivars in response to elevated CO_2 during storage revealed by a heterologous fruit microarray approach. *Postharvest Biology and Technology* 51:131-140.

Roy, S., Anantheswran, R. C. and Beelman, R. B. 1995. Fresh mushroom quality as affected by modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 60:334-340.

Tano, K., Oul´e, M. K., Doyon, G., Lencki, R. W. and Arul, J. 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 46:212-21.

Wang, S. Y., Bunce, J. and Maas, J. L. 2003. Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in field-grown strawberries. *J. Agric. Food Chem.* 4325-4320.