

큰느타리버섯의 신선도 유지기간 연장을 위한 CO₂ 처리 효과

이지현 · 최지원* · 홍윤표 · 최현진 · 김지강

국립원예특작과학원 저장유통연구팀

The effects of CO₂ treatment for freshness extension of *Pleurotus eryngii*

Ji-Hyun Lee, Ji-Weon Choi*, Yoon-Pyo Hong, Hyun-Jin Choi and Ji-Gang Kim

Postharvest Research team, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

ABSTRACT: King oyster mushrooms(*Pleurotus eryngii*) are the second biggest mushroom for exporting in Korea but their browning and soft rot is the main factors of claim during long distance transportation. Fresh king oyster mushrooms were treated with CO₂ at 30, 50% for 3 hours at 5°C prior to storage at 20°C and 5°C. There was no difference on respiration rate after CO₂ treatment. However exposure to CO₂ for 3h prior to MA packing maintained the firmness and delayed color(hunter L and b value) change of mushrooms during storage. Especially an incubation in high CO₂ at 30% significantly reduced soft rot and browning symptoms resulting in one week extension of shelf-life during storage at 5°C compared to control and 50% CO₂ treatment.

KEYWORDS: Carbon dioxide treatment, King oyster mushroom, *Pleurotus eryngii*, Postharvest technology

서론

큰느타리버섯(새송이)은 버섯 중에서도 저장성이 우수하여 팽이버섯 다음으로 수출량이 많은 버섯이며 최근에는 점진적으로 수출량이 증가하고 있는 추세이다(KATI, 2013). 큰느타리버섯의 주요 수출국은 유럽, 캐나다와 미주지역으로 비교적 거리가 멀고 대부분 해상으로 운송하기 때문에 운송기간이 길게 소요된다. 특히 약 5주간의 운송기간이 소요되는 유럽의 경우 현지도착 후 유통판매까지 고려하였을 때 품질저하가 높아져 경비가 높은 항공 운송으로 대체되고 있는 실정이다.

버섯은 다른 원예작물에 비해 생리활성이 높아(Hardenburg *et al*, 1986) 수확후 저장성이 낮은 작목으로 장기간의 유통을 위해서는 온도 및 습도 등의 관리가 철저히 이루어져야 한다. 2000년 이후 큰느타리버섯의 재배기술이 확립되고 안정생산이 이루어지면서 신선도 유지기간 연장을 위한 수확후 품질관리의 연구가 진행되고 있다. 최근에는 예냉(Beik *et al*, 2009), 갈변억제제(Lee *et al*, 2013a) 및 1-Methylcyclopropene(Choi *et al*, 2012)와 같은 전처리의 효과에 대해 보고되었다. 그 외의 연구는 적절한 포장재와 유통온도에 관한 내용인데(Woo *et al*, 2013; Lee *et al*, 2013b) modified atmosphere packaging(MAP) 기술 연구에서는 포장재의 종류, 포장량 및 온도 등에 따라 유통 중 필름 내부의 기체조성이 달라지며 이를 통해 조성된 높은 농도의 CO₂ 환경이 경도, 유리당, 산함량 및 신선도와 같은 중요한 품질특성을 유지하고(Agar *et al*, 1990) 갈변을 억제한다고 하였다(Kader, 1986; Tian *et al*, 2005). Park and Jhune.(2010)은 큰느타리버섯의 CA조건 구멍에서 5% O₂ + 10% CO₂ 환경이 품질유지에 효과적이라고 보고한바 있다.

이와 같이, 유통 중 필름 내부의 적절한 CO₂ 농도는 버섯의 품질에 긍정적인 효과를 기대할 수 있는데, 일시적인 고농도 CO₂ 처리에 대한 연구는 구체적으로 진행된 것이 많지 않다. 고농도 CO₂ 처리는 여러 배리작물의 저

J. Mushrooms 2014 December, 12(4):280-286
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2014.12.4.280>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : jwcnpri@korea.or
 Tel : +82-31-240-3651, Fax : +82-31-240-3668

Received October 29, 2014
 Revised November 17, 2014
 Accepted November 30, 2014

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장성을 연장하기 위해 이용되고 있는데 (Agar et al, 1991; Robbins and Fellman, 1993), 특히 딸기에서는 조직의 경도를 높이거나 (Smith and Skog, 1992; Harker et al, 2000) 과색의 변화를 억제하는 등의 품질을 유지하는 효과가 있는 것으로 보고되었다 (Hwang et al, 2012). 버섯의 경우 Jamjumroon et al (2012, 2013)은 폴버섯 (straw mushroom)에서 40% CO₂ 단시간 처리가 PPO의 활성 억제와 함께 갈변이 지연되었다고 보고하였으며, Hwang et al (2012)은 느타리버섯에서 100% CO₂ 처리가 선택지연에 효과가 있다고 하였으나 딸기와 마찬가지로 경도에 대한 영향은 없다고 하였다. 또한 지나치게 높은 CO₂는 오히려 더 빠른 품질저하를 초래할 수 있다고 하였으므로 (Dangyang et al, 1993), 큰느타리버섯의 단시간 CO₂ 처리와 적절한 농도에 관한 품질유지 효과를 확인할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 큰느타리버섯을 장거리 해상운송 과정에서 예냉과 MAP의 기술이 적용됨에도 불구하고 저온 유통체계의 단절과 진동충격 등과 같은 지속적인 물리적 스트레스로 인해 조직이 갈변되고 연화되어 품질이 저하되는 것을 최소화함으로써 품질을 유지할 수 있도록 고농도 CO₂를 처리하여 경도증진과 갈변 억제 등 신선도 유지기간 연장의 가능성을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료

큰느타리버섯은 충남 천안 소재의 재배농장에서 수확한 버섯 중 중량 110~120 g의 균일한 버섯을 선별하여 이용하였다. 수확된 버섯은 관행적으로 이용되는 필름인 30 μm 두께 OPP 필름에 3개씩 담아 윗부분을 개봉한 채로 골판지 종이상자에 10묶음씩 담은 후 5°C로 조절된 냉장탑차를 이용하여 수원소재의 실험실로 옮겨 실험에 사용하였다.

이산화탄소 처리 및 저장

이산화탄소 처리는 밀폐챔버를 이용하였으며 버섯 필름의 윗부분이 개봉된 상태로 플라스틱 박스에 조심히 옮겨 담아 서로 눌리지 않도록 챔버 안에 적재한 후 실시하였다. CO₂ 처리 농도는 30, 50%이고 밀폐챔버의 상부에 있는 구멍을 통해 100%농도의 CO₂ 가스를 공급하며 반대쪽 하부에 있는 구멍을 통해 실시간으로 농도를 확인하여 목표농도로 조절하였다. 목표농도에 도달하면 챔버를 완전히 밀폐하고 3시간동안 방치하였다. 처리가 끝난 후 챔버를 열어 30분간 환기시키고 버섯을 꺼내어 필름의 윗부분을 밀봉하였다. 모든 과정은 5°C로 온도가 유지되는 저온 저장고에서 수행하였다. 무처리구는 CO₂처리구가 처리될 동안 5°C에 방치한 후 필름을 밀봉하였다. 처리가 완료된 버섯은 다시 종이상자에 넣어 상온 (20°C)에서 6일간, 저온 (5°C)에서 4주간 품질변화를 분석하였다.

호흡량 분석 및 품질조사

이산화탄소 처리별 호흡량의 차이를 확인하기 위해 버섯을 처리 후 20°C에서 2일간 측정하였다. 부피 2650 mL의 밀폐용기에 버섯 1개를 넣고 1시간 보관 후 용기내부에 축적된 가스를 1 mL 주사기로 채취하여 gas chromatography (GC)에 주입하여 분석하였다. Detector는 thermal conductivity detector (TCD), column은 active carbon (60/80mesh)으로 충전된 packed column을 사용하였으며, 분석조건은 injector 110°C, oven 70°C, detector 200°C, 이동상 조건은 40 ml·min⁻¹이다.

버섯의 경도는 갓과 줄기를 분리하여 갓은 중앙부위를 측정하였고, 줄기는 세로로 반을 절단하여 한 면은 외부, 한 면은 내부를 측정하였다. 외부와 내부의 줄기 상단에서 약 2 cm 내려온 지점과 하단에서 약 3cm 올라간 지점을 표시하여 총 4부분에서 줄기경도 변화를 측정하였고 처리별 12송이씩 사용하였다. 경도측정은 Texture Analyzer (TA ST2, UK)를 이용하여 직경 3 mm의 probe가 2 mm/sec의 속도로 8 mm의 깊이까지 뚫고 들어갈 때의 힘을 Newton(N) 값으로 나타내었다. 버섯의 색도는 표준백판 (L=97.75, a=-0.43, b=0.29)으로 보정된 색차계 (CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 갓과 줄기의 Hunter L(명도) 값과 b(황청도) 값을 측정하였다.

관능평가

큰느타리버섯의 관능적 품질평가는 버섯 품질변화에 대해 이해도가 높은 연구원 4명이 참가하여 이취(이상한 냄새), 갈변도, 조직물러짐 정도 및 종합적인 상품성에 대해 평가하였다. 점수는 각 요인에 대한 강도 및 신선도에 따른 상품성을 5단계의 점수로 부여하여 나타내었다. 이취, 갈변도와 조직물러짐 정도의 점수기준은 1점=이취, 갈변, 조직 물러짐이 없는 수준, 3점=이취, 갈변, 조직 물러짐이 진행되었으나 판매가 가능한 수준, 5점=이취, 갈변, 조직 물러짐이 매우 심해 판매가 불가능한 수준으로 구분하였다. 종합적인 상품성은 1단계=수확한 날의 품질과 같이 매우 신선하며 구매지수가 높은 수준, 3단계=신선도가 약간 떨어졌으나 구매할 의사가 있는 수준, 5단계=신선도가 매우 떨어져 구매의사가 전혀 없는 수준으로 구분하였다.

통계분석

호흡량은 처리당 5반복으로 분석하여 평균값과 표준편차 (standard deviation)로 나타내었고, 경도, 색도 및 관능평가 실험결과의 통계처리는 R프로그램 (version 3.1.0)을 사용하여 분산분석 (ANOVA)을 하였다. 처리간 유의차 검증은 Duncan's multiple range test (DMRT)로 5% 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

큰느타리버섯의 수확후 이산화탄소 처리농도별 호흡량

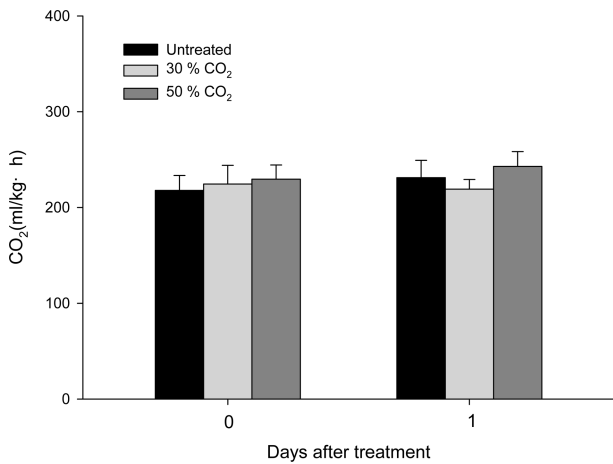


Fig. 1. Respiration rate of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 20°C. Values are means ± standard error(n=5).

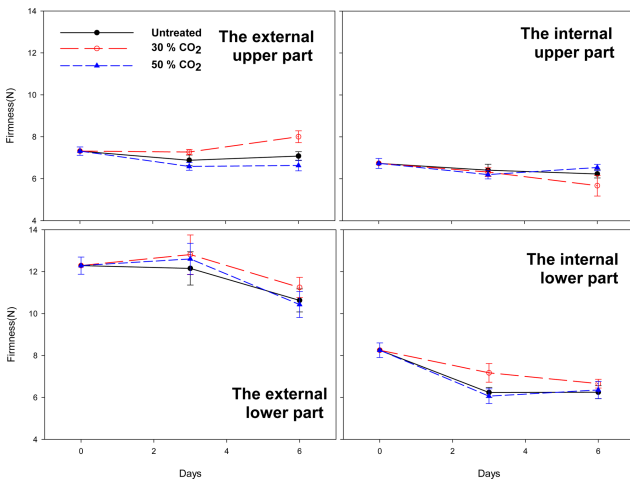


Fig. 2. Changes in stipe firmness of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 20°C. Values are means ± standard errors(n=12).

차이는 Fig. 1과 같다. 20°C에서 큰느타리버섯의 기본적인 호흡량은 약 220 mlkg⁻¹h⁻¹이었다. CO₂ 처리 후 2일간 호흡량을 분석한 결과 처리별로 호흡량은 거의 차이가 없었다. Lange and Kader(1997)는 아보카도 작목에서 고농도의 CO₂처리가 세포 내 환경을 조절하여 호흡과 관련된 효소의 활성에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였으나, 본 실험에서 고농도 CO₂처리 간 호흡량 차이는 관찰되지 않았다.

고농도 이산화탄소 처리의 정도 증진 효과는 주로 딸기에서 많이 연구되었지만(Smith and Skog, 1992) 버섯에 대한 연구보고는 국내외에서 찾기 어려워 본 실험에서는 큰느타리버섯의 부위 및 위치별로 정도의 변화를 정밀히 분석하고자 하였다. 상온에서 버섯 줄기의 정도 변화를 살펴보면, 외부 하단의 초기 정도가 약 12N으로 가장 단

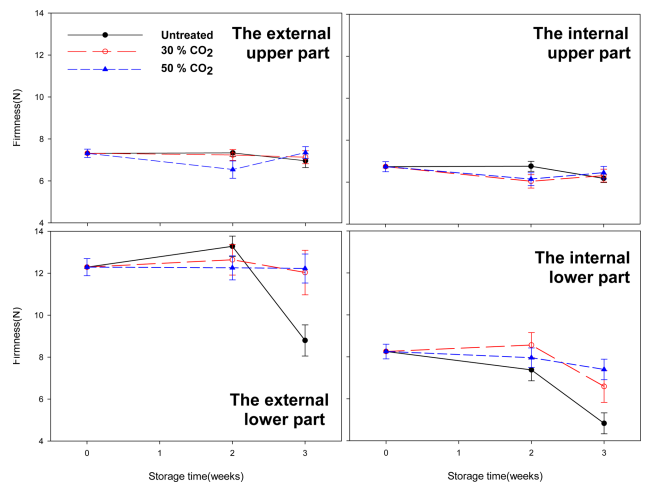


Fig. 3. Changes in stipe firmness of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 5°C. Values are means ± standard errors(n=12).

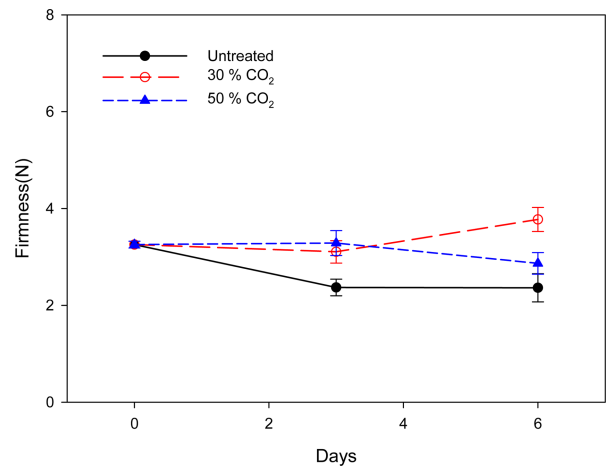


Fig. 4. Changes in cap firmness of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 20°C. Values are means ± standard errors(n=9).

단하였고 시간이 경과함에 따라 감소하였으며, 내부 하단의 정도 역시 초기에 8N 정도였으나 점차 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 그러나 버섯 갓의 바로 아랫부분에 위치한 줄기 상단의 정도는 내·외부의 차이도 없었고 시간경과에 따른 정도 감소 현상도 발견되지 않았다. CO₂ 처리별 정도의 차이는 크지 않았으나 30% 처리구가 줄기 상단의 외부와 하단의 내·외부에서 무처리와 50% 처리구에 비해 높은 경향을 나타내었다. 저온에서는 저장 2주까지 정도에서 큰 차이를 보이지 않았으나 3주에 이르렀을 때 무처리구 줄기의 하단부분 정도가 외부는 12N에서 8N으로 내부는 8N에서 5N으로 급격히 감소하여 CO₂ 처리구에 비해 약 30-38% 낮은 정도를 나타내었다(Fig. 3).

갓의 경우 초기에 약 3N으로 줄기에 비해 낮은 정도를 나타내었으며 줄기 하단과 같이 저장기간이 경과함에 따

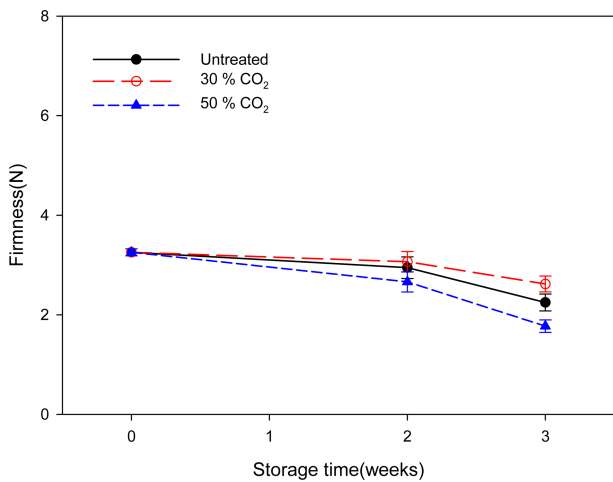


Fig. 5. Changes in cap firmness of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 5°C. Values are means ± standard errors (n=9).

라 감소하는 경향을 보였다. 상온에서는 3일이 경과하자 무처리구의 경도가 약 30% 감소하였고 갓에서 부패가 발생하기 시작하였다(Fig. 4). 반면 CO₂ 처리구는 경도가 유지되었으며 부패도 발견되지 않았다. 저온에서는 저장 2주까지 차이가 없었고 3주째에 경도가 감소하였으며 30% 처리구가 경도유지가 잘되는 경향이였다(Fig. 5).

경도 변화의 결과를 종합하면 큰느타리버섯의 줄기와 갓 모두에서 무처리보다 CO₂ 처리구에서 경도유지 효과가 뚜렷하게 나타났다. 기존의 연구보고에 의하면 대기조성이 변화되는 MA포장의 경우 느타리버섯은 10-20%의 CO₂를 유지하는 MA환경에서 대조구에 비해 조직감 유지에 효과적이라고 하였고(Choi and Kim, 2003), 35-40%의 CO₂ 환경에서 오히려 줄기의 경도가 낮아진다고 하였다(Lee et al, 2003). 또한 표고버섯은 9%이상의 CO₂ 조건에서 줄기 조직의 경도가 낮아진다고 보고된 바 있다(Ares et al, 2006). 단시간 일시적 처리에 대한 연구는 많이 진행되지 않았으나 느타리버섯에서 100% 농도의 CO₂

2시간 처리는 경도 증진 또는 유지효과가 뚜렷하지 않았다고 보고되어(Hwang et al, 2012) 버섯에서 CO₂의 경도 증진 효과는 품종 및 처리농도에 따라 변이가 있는 것으로 판단된다. 본 실험에서도 예비실험 단계에서 80% CO₂를 1시간 처리한 경우 경도 저하가 더욱 빠르게 나타난 것이 관찰되었고 50% CO₂ 3시간 처리 역시 무처리보다는 효과가 있었으나 저장후기에는 30% 처리보다 경도가 저하되었다. 따라서 큰느타리버섯은 30%의 낮은 CO₂ 처리에서는 경도유지의 효과가 있고, 50% 이상의 고농도 CO₂에서는 단시간이라 하더라도 경도 등의 품질에 긍정적 효과를 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

버섯의 저온저장 중 색도의 변화는 Table 1에서 보는 바와 같다. 버섯 줄기의 밝기를 나타내는 Hunter L(명도) 값은 초기에 약 86 이었으나 저장 중 점차 감소하여 저온저장 4주차에 80 이하의 수치로 떨어지며 전반적으로 어두운 경향을 나타내었다. Hunter b(채도b) 값은 수치가 높을수록 황색 빛을 띠게 되는데 초기에 약 10 이었으나 저장 중 점차 증가하였다. 그러나 30% CO₂ 처리구에서는 품질이 급격히 변화되는 저온저장 3주차에 Hunter L과 b 값이 변화 없이 유지되었고 4주차에도 가장 변화가 적어 갈변과 관련된 외관 품질의 유지에 뚜렷한 효과를 나타내었다. 50% 처리구의 경우 저온저장 3주에는 30% 처리구와 비슷한 경향을 보였으나, 저장 4주차에 급격히 색도가 변하며 무처리와 비슷한 수준을 나타내었다. 버섯 갓 역시 저온저장 3주에 무처리구의 Hunter b값이 CO₂ 처리구에 비해 유의하게 증가하며 전반적으로 황색 빛을 띠는 것이 관찰되었다. 버섯에서의 색변화는 주로 polyphenol oxidase(PPO)가 관여하며, PPO는 페놀물질의 산화를 촉진하여 o-quinones을 생성하고 결국 갈변물질을 생성한다(Chang and Quimio, 1984). 고농도의 CO₂처리는 세포의 pH를 낮추고 pH 7.0에서 높은 활성을 갖는 PPO의 활성을 억제할 가능성이 있다고 보고된 바 있다(Murr and Morris, 1974; Espin et al, 1998). Jamjunroon et al(2012)은 수확 후 빠르게 품질저하가 일어나는 straw mushroom을 이용

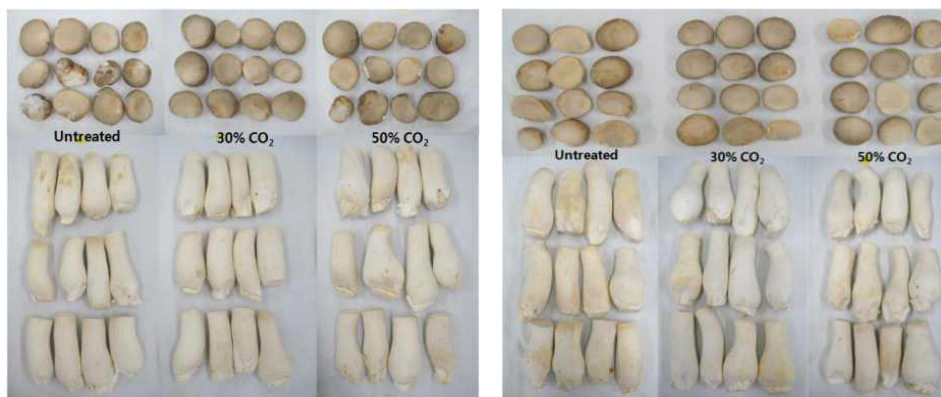


Fig. 6. Appearance of king oyster mushrooms after 6 days storage at 20°C(left) and 3 weeks storage at 5°C(right) dependent on different CO₂ treatment.

Table 1. Changes in cap and stipe color of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 5°C

CO ₂ concentration (%)	2 weeks		3 weeks		4 weeks	
	Hunter L	Hunter b	Hunter L	Hunter b	Hunter L	Hunter b
<i>Cap</i>						
Untreated	55.9 a ^a	13.5 a	61.4 a	15.6 a	54.8 a	16.0 a
30	54.6 a	13.0 a	57.3 ab	13.3 b	51.2 a	13.8 a
50	54.3 a	12.9 a	54.4 b	14.1 ab	52.3 a	15.7 a
<i>Stipe</i>						
Untreated	86.0 a	10.3 a	83.2 a	12.5 a	77.5 b	16.0 a
30	86.4 a	10.6 a	85.7 a	10.5 b	82.5 a	13.3 b
50	86.4 a	11.1 a	84.8 a	11.0 b	78.6 ab	15.9 a

^aMean separation within columns by Duncan's multiple range test at p = 0.05.

한 실험에서 40% CO₂에 4-6시간 노출한 경우 갈변이 감소하였으며 이때 처리구 버섯의 pH는 대조구에 비해 낮아졌다고 보고하였다. 그러나 40-60% CO₂에서 12시간 처리한 버섯은 갈변증상이 증가하였다고 하였다. 처리시간을 3시간으로 고정하고 농도만 조절하여 분석한 본 실험에서도 30% CO₂ 처리에서 갈변억제의 효과를 확인하였고, 50% 처리구는 저장후기에 품질저하가 30% 처리구보다 빠른 경향이었고 예비실험으로 수행된 80% 1시간 처리구는 저장초기에 무처리보다도 갈변이 심화되어 위의 연구보고와 비슷한 경향을 나타내었다. 버섯 품종 고유의 페놀물질 및 PPOs의 종류와 함량에 따라 각 품종별로 CO₂의 처리 농도와 시간에 따른 반응에 조금씩 차이가 있을 것으로 판단된다.

농작물의 수확후 높은 농도의 CO₂환경은 호흡대사를 억제하거나 이로 인해 수반된 주요 성분변화의 억제 등을 통해 신선도가 연장되기도 한다(Kader, 1986). 본 실험에서의 큰느타리버섯의 경우 일시적인 고농도 CO₂ 처리는 호흡대사에는 영향을 미치지 않았으나 조직의 경도와 색도 유지에 효과를 나타내었다. Jamjunroon *et al*(2013)은 CO₂ 처리로 인해 세포내의 PPO 활성이 낮아질 뿐 아니라 지방산화의 산물인 malondialdehyde(MDA)의 함량이 시간이 경과함에 따라 증가하는 대조구에 비해 유지되어 membrane lipid를 보호해주는 역할을 한다고 보고하였는데 이로써 버섯 조직의 경도와 색도가 유지되었을 가능성을 제시하였다. 딸기에서의 경도증진 효과에 대해서 Haker *et al*(2000)은 CO₂ 처리가 세포간극의 pH를 낮춰 이로 인해 수용성 펙틴의 침전을 유도하며 결국 세포간 결합을 증진시키는 것으로 그 메커니즘을 설명하였는데, 큰느타리버섯의 단시간 CO₂ 처리후 신선도 유지 효과의 원인에 대해서는 좀 더 깊은 연구가 필요하다.

소비자의 관점에서 측정된 관능평가 결과는 Table 2, 3과 같다. 이취현상은 버섯의 저장 및 유통 중 부적절한 MA 환경이 조성되면서 혐기성 호흡으로 인한 에탄올과 아세트알데히드 축적에 의한 것으로 보고되어 있다

Table 2. Changes in sensory evaluation of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 20°C

Quality	CO ₂ Concentration(%)	Storage time(days)		
		0	3	6
Off-odor ^a	Untreated	1.0 a ^c	3.3 a	3.8 a
	30	1.0 a	3.0 a	3.0 b
	50	1.0 a	3.0 a	3.3 b
Soft rot ^b	Untreated	1.0 a	1.0 a	1.8 a
	30	1.0 a	1.0 a	1.3 a
	50	1.0 a	1.0 a	1.8 a
Browning ^c	Untreated	1.0 a	2.3 a	3.8 a
	30	1.0 a	2.0 a	3.0 b
	50	1.0 a	2.3 a	3.5 ab
Marketability ^d	Untreated	1.0 a	2.2 a	4.0 b
	30	1.0 a	2.5 a	3.0 a
	50	1.0 a	2.5 a	3.2 a

^aOff-odor: 1=none; 3=detectable, but still acceptable for consumption; 5=very severe and non-salable.

^bBrowning: 1=none; 3=slight browning, but still acceptable for sale; 5=very severe and non-salable.

^cSoft rot: 1=none; 3=slight softening, but still acceptable for sale; 5=very severe and non-salable.

^dMarketability: 1=excellent; 3=moderate, acceptable for sale; 5=very poor and non-salable.

^eMean separation within columns by Duncan's multiple range test at p = 0.05.

(Matteis and Fellman, 2000; Woo *et al*, 2013). 본 실험에서는 상온저장 3일 만에 이취가 급격히 증가하였고 6일 차에 무처리구에서 유의하게 높은 경향을 나타내었다. 상온저장 중 3일차까지는 조직물리질과 갈변정도에서 처리구별로 유의적인 차이를 보이지 않았으며 모두 판매가 가능한 수준의 품질을 유지하였다. 그러나 20°C 6일차에 갈변증상이 드러나기 시작하여, 이취와 갈변정도에서 무처리구가 CO₂ 처리구에 비해 유의하게 높아져 종합적인 상

Table 3. Changes in sensory evaluation of king oyster mushroom treated with different CO₂ during storage at 5°C

Quality	CO ₂ Concentration(%)	Storage time(weeks)		
		2	3	4
Off-odor ^a	Untreated	2.0 a ^c	1.8 b	3.3 a
	30	2.5 a	3.0 a	3.0 a
	50	2.3 a	3.0 a	3.0 a
Soft rot ^b	Untreated	1.0 a	4.3 a	5.0 a
	30	1.0 a	2.3 b	3.3 a
	50	1.0 a	2.3 b	4.0 a
Browning ^c	Untreated	1.5 a	3.8 a	5.0 a
	30	1.8 a	2.3 b	4.0 a
	50	2.3 a	2.8 ab	4.0 a
Marketability ^d	Untreated	2.5 a	4.5 b	5.0 a
	30	2.2 a	2.7 a	3.5 a
	50	2.5 a	3.2 ab	4.0 a

^aOff-odor: 1=none; 3=detectable, but still acceptable for consumption; 5=very severe and non-salable.

^bBrowning: 1=none; 3=slight browning, but still acceptable for sale; 5=very severe and non-salable.

^cSoft rot: 1=none; 3=slight softening, but still acceptable for sale; 5=very severe and non-salable.

^dMarketability: 1=excellent; 3=moderate, acceptable for sale; 5=very poor and non-salable.

^eMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

품성에서 판매가 불가능한 상태의 품질로 변질하였다.

저온저장에서의 관능평가 결과를 살펴보면, 이취는 3주차에 무처리구보다 CO₂ 처리구에서 혐기적인 호흡에 의한 발효취 냄새가 심한 경향이었으나 모두 3점 이하로 판매가 가능한 수준이었다. 조직 물러짐은 저온저장 2주차까지 발견되지 않다가 3주차에 드러나기 시작하였는데, 무처리구의 대부분의 샘플에서 판매가 불가능할 정도의 조직 물러짐이 발생하였고 CO₂ 처리구에서는 유의하게 낮아 CO₂ 처리의 신선도유지 효과를 확인하였다. 저온저장 4주차에는 버섯의 품질이 급격히 나빠져 모든 처리구의 버섯이 판매 불가능한 수준이 되었으나 물러짐의 정도는 30% 처리구에서 가장 낮은 경향을 보였다. 조직의 물러짐 정도를 관능적으로 평가한 결과는 객관적인 데이터인 조직의 경도와 매우 유사한 경향을 보였다.

버섯의 갈변지수는 저온저장 2주차에 나타나기 시작하였고 CO₂ 처리구에서 높은 경향이었으나 무처리구와 유의적인 차이는 없었다. 저온저장 3주차에는 2주차와는 반대로 무처리구 > 50% > 30% 처리구 순으로 갈변지수 점수가 높았으며 유의적인 차이를 나타내었다. 이는 저온저장 3주에 이르러 조직의 물성이 급격히 변하면서 무처리구에서 상대적으로 빨리 조직이 붕괴되어 갈변이 가속화된 것으로 판단된다. 이취와 외관의 상태를 근거로 판단

하여 나타낸 종합적인 상품성은 5°C 저장에서 3주에 품질 차이를 나타내며 30% > 50% > 무처리구 순으로 신선도가 좋았다.

결론적으로 큰느타리버섯의 수확후 30% CO₂ 처리는 유통 중 조직의 경도를 유지하고 갈변을 억제하여 5°C에서 약 1주일, 20°C에서 약 3일의 신선도 기간을 연장할 수 있었다. 온도변화에 의해 환경이 일정하지 않고, 지속적인 진동충격 등의 물리적인 스트레스가 수반되는 수출 과정에서 큰느타리버섯의 수확후 CO₂ 처리는 품질유지에 도움이 될 것으로 생각된다.

적 요

큰느타리버섯은 장거리 해상운송 후 갈변 및 조직 물러짐에 의한 품질저하가 클레임의 원인이 되는데, 수출 중 신선도 유지를 위한 전처리 기술을 개발하고자 CO₂ 처리의 효과를 검증하였다. 버섯의 수확후 5°C에서 30, 50% 농도의 CO₂를 3시간 처리하고 관행적인 방법으로 필름 포장한 다음 20°C와 5°C에 저장하며 무처리와의 품질을 비교분석하였다. CO₂ 처리구는 무처리에 비해 저장 중 조직 경도와 색도(Hunter 'L', 'b')를 유지하였고, 관능평가에서도 품질이 급격히 저하되는 저온저장 3주차에 조직 물러짐 정도와 갈변지수가 낮아 신선도 유지에 효과가 있었다. CO₂ 처리 농도 중 30% 처리구가 50%에 비해 상품성이 높았으며 무처리에 비해서는 5°C에서 약 1주일간 신선도 유지기간이 연장되었다. 따라서 큰느타리버섯의 장거리 해상운송 중 품질유지를 위한 전처리 방법으로 CO₂ 처리가 효과가 있는 것으로 판단되며 현장적용을 위해 효과적인 CO₂ 처리농도의 범위 및 장해를 유발하는 한계농도의 설정과 처리시간 등 추가적인 실험이 요구된다.

감사의 말씀

이 연구는 2014년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원(과제번호: PJ010198)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Agar L. T., Garcia J. M., Miedtke U., Streit J. 1990. Effects of high CO₂ and low O₂ concentrations on the growth of *Botrytis cinerea* at different temperatures. *Gartenbauwissenschaft*. 55:219-222.
- Agar L. T., Streif J., Bangerth F. 1991. Changes in some quality characteristics of red and black currants stored under CA and high CO₂ conditions. *Gartenbauwissenschaft*. 56:141-148.
- Ares G., Parentelli C., Gambaro A., Lareo C., Lema P. 2006. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biol. Technol.* 41:191-197.

- Beik KY, Lee YK, Kim JW, Park IS, Kim SD. 2009. Effects of Vacuum Precooling on Shelf Life of *Pleurotus eryngii* during PE Packaging Storage. *Korean J. Food Preserv.* 16(2):166-171.
- Chang S. T., Quimio T. H. 1984. Tropical Mushroom Biological Nature and cultivation Method. The Chinese University Press, Hong Kong. p493.
- Choi JW, Jhune CS, Hong YP, Cho MA, Kim JK. 2012. Effects of 1-methylcyclopropene and microperforated film packaging on postharvest quality of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Journal of Mushroom Science and Production.* 10(4):191-197.
- Choi MH, Kim GH. 2003. Quality changes in oyster mushrooms during modified atmosphere storage as affected by temperatures and packaging materials. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35:1079-1085.
- Dangyang K., Mateos M., Siriphanich J., Kader A. A. 1993. Carbon dioxide action on metabolism of organic and amino acids in crisphead lettuce. *Posthar. Biol. Tech.* 3:235-247.
- Espin J. C., Garcia-Ruiz P. A., Tudela J., Garcia-Canovas F. 1998. Study of stereospecificity in mushroom tyrosinase. *Biochem. J.* 331:547-551.
- Hardenburg R. E., Watada A. E., Wang C. Y. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Handbook No.66. USDA, Beltsville, USA p41-42.
- Harker F. R., Elgar H. J., Watkins C. B., Jackson P. J., Hallett I. C. 2000. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biology and Technology.* 19(2000):139-146.
- Hwang YS, Lee KM, Kim MK, Seo GS. 2012. Effect of Postharvest High CO₂ Treatment and Anti-moisture Pad on the Quality of Fresh Oyster Mushroom during Export Simulation. *Kor. J. Mycol.* 40(4):215-223.
- Hwang YS, Min JH, Kim DY, Kim JG, Huber D. J. 2012. Potential mechanisms associated with strawberry fruits firmness increases mediated by elevated CO₂. *Hort. Environ. Biotechnol.* 53:52-59.
- Jamjumroon S., Wongs-Aree C., McGlasson W.B., Srilaong V., Chalermklin P., Kanlayanarat S. 2012. Extending the shelf-life of straw mushroom with high carbon dioxide treatment. *Journal of Food, Agriculture & Environment.* 10:78-84.
- Jamjumroon S., Wongs-Aree C., McGlasson W.B., Srilaong V., Chermklin P., Kanlayanarat S. 2013. Alleviation of cap browning of 1-MCP/High CO₂- treated straw mushroom buttons under MAP. *International Food Research Journal.* 20(2): 581-585.
- Kader A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruit and vegetables. *Food Tech.* 40:117-121.
- KATI. 2013. www.kati.net
- Lange D. L., 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.
- Lee HD, Yoon HS, Lee WO, Jeong H, Cho KH, Park WK. 2003. Estimated gas concentrations of MA (modified atmosphere) and changes of quality characteristics during the MA storage on the oyster mushroom. *Korean J. Food Preserv.* 10:16-22.
- Lee YH, Jeoung YK, Baek IS, Lee HB, Chi JH, Jhune CS. 2013a. Changes in postharvest quality of *Pleurotus eryngii* treated with different shelf temperature and browning inhibitors. *J. Mushroom Sci. Prod.* 11(4):297-302.
- Lee YH, Jeoung YK, Baek IS, Lee HB, Chi JH, Jhune CS. 2013b. Changes of freshness in *Pleurotus eryngii* according to oxygen permeability of packaging film and net weight. *J. Mushroom Sci. Prod.* 11(4):292-296.
- Mattheis J. and Fellman J.K. 2000. Impact of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities. *HortTechnology.* 10:507-510.
- Murr D. P. and Morris L. 1974. Influence of O₂ and CO₂ on o-diphenol oxidase activity in mushroom. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99:155-158.
- Park YM and Jhune CS. 2010. Quality Changes of King Oyster Mushroom as Influenced by Controlled Atmosphere during Storage and Shelf Temperature Conditions. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(1):70-76.
- Robbins J.A. and Fellman J.K. 1993. Postharvest physiology, storage and handling of red raspberry. *Posthar. News Inf.* 4:53-59.
- Smith R.B. and Skog L.J. 1992. Postharvest Carbon Dioxide Treatment Enhances Firmness of Several Cultivars of Strawberry. *Hortscience.* 27(5):420-421.
- Tian S.P., Li B.Q., Xu Y. 2005. Effects of O₂ and CO₂ concentrations on physiology and quality of litchi fruits in storage. *Food Chem.* 91:659-663.
- Woo SM, Park YM, Park SW. 2013. Comparative Quality Evaluation of King Oyster Mushroom as Affected by Unit Packaging Method during Simulated Export Shipment. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31(2):186-193.