

큰느타리 버섯의 PE 포장 저장 중 선도에 미치는 예냉처리 효과

백경연 · 김재원 · 이예경 · 박인식¹ · 김순동[†]

대구가톨릭대학교 외식식품산업학부 식품가공학전공, ¹경북과학대학 포장과

Effects of Vacuum Precooling on Shelf Life of *Pleurotus eryngii* during PE Packaging Storage

Kyung-Yean Beik, Ye-Kyung Lee, Jae-Won Kim, In-Sik Park¹ and Soon-Dong Kim[†]

Department of Food Processing, Food Industrial Technology, Catholic University of Daegu, Kyungsan 712-702, Korea

¹Department of Packaging, Kyongbuk College of Science, Chilgok 718-851, Korea

Abstract

The effects of vacuum precooling(VP) on the shelf-life of polyethylene film(PE) packaged King oyster mushrooms (*Pleurotus eryngii*) during storage at -1°C were investigated. VP was conducted below 0°C in a -1°C cold chamber of 40 minutes, and mushrooms were stored for 30 days in batches of 1kg. The weight loss of the VP-treated mushroom was slightly lower than that of control. The O₂ concentrations of VP-treated mushrooms, within 4 days of storage, were 2.44-14.50 % / kg-package/hr, thus higher than control values (2.01-8.19%/kg-package/hr). CO₂ generation of VP-treated mushrooms, again within 4 days of storage, was 0.47% /kg-package/hr, thus lower than that of controls (0.58% /kg-package/hr). The CO₂/O₂ ratio peaked on day 4 of storage in the control group, but no such peak was observed in VP-treated mushrooms. In the VP-treated fungi, lightness was higher, and redness and yellowness lower, than in controls, at all storage times. In VP-treated mushrooms, strength, hardness and chewiness were significantly higher than in controls, but there were no significant differences in springiness or cohesiveness. Softening and breakdown of under-cap wrinkles were observed in control mushrooms stored for 30 days, but occurred to a lesser extent in VP-treated fungi. Stipe reticulum tissue vessels in the 30 day-stored VP-treated mushrooms were relatively well-defined and clear, but were softer and diffuse in the control fungi. The results thus confirmed that VP after harvest enhanced mushroom shelf-life and PE packaging prolonged storage time. The data will have industrial applications.

Key words : *Pleurotus eryngii*, vacuum pre-cooling, polyethylene film package, shelf-life.

서 론

버섯류를 포함한 원예작물의 저장수명은 수분함량, 온도, 공기조성 및 포장조건에 크게 의존된다. 작물을 수확하게 되면 영양공급이 중단되면서 세척, 선별, 포장 등의 인위적인 관리에 의한 스트레스성의 변화를 동반하고 호흡량은 더욱 커져 품질변화를 동반하게 된다. 이러한 변화들을 최소화 하는 데는 수확 후 가급적 빠른 시간에 품온을 저장적

온까지 떨어뜨리는 예냉처리가 효과적인 것으로 알려져 있다(1-3). 수확한 작물을 포장하여 저온실로 곧바로 옮기게 되면, 내부까지의 열전달이 되는 동안 체내 대사에 의해 호흡열과 대사수가 발생하여 포장내의 습도를 높게 되며, 이러한 수분은 유리수로 영하의 온도에서 동결하게 되어 냉해를 입히는 원인이 된다. 그러므로 수확 즉시 품온을 강제로 낮추어 호흡작용, 효소작용, 추열, 대사작용, 미생물의 번식 등을 억제하는 것이 필요하다(3,4). 특히 버섯은 타 작물에 비하여 조직이 연하고, 다양한 효소류의 활성이 높아 색상과 조직변화를 동반하기 쉬운 특성을 지니고 있다(5). 예냉은 냉기의 공급방식이 중요한 요소(6)로 강제송풍,

[†]Corresponding author. E-mail : kimsd@cu.ac.kr,
Phone : 82-53-850-3216, Fax : 82-53-850-3216

차압송풍, 진공송풍, 수냉, 빙냉 등이 활용되고 있으며 예냉 후는 cold chain과 연계되지 않으면 그 효과를 기대하기 어렵다. Kim 등(7)은 양송이를 차압예냉한 연구에서 수확 후 2시간 이내에 예냉처리를 하고 0°C의 냉풍을 200 m³/min의 풍속으로 품온을 2°C가 되게 예냉함으로써 무처리에 비하여 저장수명을 3-4일간 연장시킬 수 있다고 보고한바 있다. Nahmgung 등(8)과 Kim 등(9,10)은 진공예냉법으로 표면온도 0.5°C까지 냉각하여 저장한 결과 선도유지에 현저한 효과가 있으며, 또한 예냉은 미생물학적 변화를 감소시킴으로써 저장기간을 연장시킨다는 보고도 있다(11,12). 큰느타리 버섯은 수출의 주류를 이루는 버섯이나 수확 후 선도유지를 위한 처리기술이 개발되지 않은 상태로 현재는 재배 후 상온에서 세척과 포장공정을 거친 후 -1°C의 저장실에서 보관하였다가 콘테이너(-1°C)에 적재하여 수출하는 것으로 알려져 있으며, 저장실로 옮겨질 때까지의 시간이 짧게는 1시간 길게는 8시간정도 소요되어 예냉처리의 필요성이 강조되고 있다.

기존 큰느타리 버섯의 수확후 관리에서는 예냉처리를 하지 않고 상온에서 비닐포장 후 -1°C의 수출용 저장창고에 일괄적으로 보관한 뒤 냉장 콘테이너 박스를 이용하여 유통하고 있다. 본 연구에서는 이러한 관행방법을 개선하고자 -1°C의 저장고를 이용하여 수확전 및 수확후 감압예냉처리가 큰느타리의 MA저장 중 선도에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과를 실제의 수출 큰느타리 버섯의 신선도 향상에 기여코자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 버섯은 경북 청도군 그린피스 농장에서 재배한 큰느타리 2호 (*Pleurotus eryngii*)를 사용하였다.

버섯의 수확, 예냉처리 및 저장

버섯의 예냉은 생산 현장의 상황을 고려하여 수확전과 수확후로 나누어 행하였다. 수확후의 예냉은 재배실에서 재배한 버섯을 10분 이내에 20~22°C의 작업실로 옮긴 후 수확하였으며 수확소요시간을 30분으로 조정된 후 즉시 예냉처리를 행하였다. 수확전의 예냉은 재배실에서 재배한 버섯을 -1°C의 저장실로 옮겨 즉시 예냉처리를 하였다. 예냉은 새송이 100 g씩을 넣은 Fig. 1의 스티로폼 상자 (1×1.5×0.5 m)로 만든 감압예냉장치를 -1°C로 조정된 cold chamber에 장치한 후 버섯중심부의 온도가 0°C가 될 때까지 40분간 감압예냉하였다. 대조군은 예냉 소요시간동안 20°C의 실온에 둔 것을 사용하였다. 예냉한 버섯은 즉시 0.02 mm의 polyethylene film bag(35×45 cm)에 10개(1 kg)씩 포장하여 -1°C의 저장실에서 30일간 두면서 예냉효과를 평

가하였다.

예냉방법별 버섯의 품온변화를 비교하기 위하여 감압예냉과 더불어 자연예냉과 송풍예냉 방법에 대해서도 조사하였으며, 이 때 포장방법으로서 polyethylene film 포장과 무포장으로 구분하였고 품온변화는 버섯 중심부에 온도계를 꽂아 측정하였다.

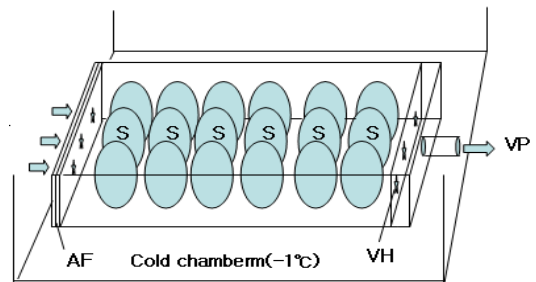


Fig. 1. Vacuum precooling apparatus for King oyster(*P. eryngii*).

Abbreviations: S; raw *Pleurotus eryngii*, VH; ventilation hole, VP; vacuum pump, AF; air filter.

예냉방법

가장 적절한 예냉방법을 확립하기 위해서 감압예냉과 자연예냉 및 송풍예냉 방법을 실시하였다.

중량감소율

중량 감소율은 초기중량과 일정기간 경과 후의 중량 차이를 초기중량에 대한 백분율로 나타내었다.

포장내 공기조성

호흡량은 저장중인 버섯포장내 head space의 공기를 취하여 호흡을 측정기(PAK12P, Abiss Co, Korea)를 이용하여 CO₂/O₂ 비율을 측정하였으며 % /kg-package/hr으로 나타내었다.

색상

큰느타리 버섯의 자루와 갓의 색상은 Chromameter (CR-200, Minolta Co, Japan)를 사용하여 줄기는 표면 중앙부, 갓은 상단 중앙부 표면의 L*, a*, b*값을 측정하였다.

텍스처

큰느타리 버섯의 텍스처는 자루의 중앙부분을 횡으로 절단하여 Rheometer(Compac-100, Sun Scientific Co., Japan)로 견고성(strength), 경도(hardness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness) 및 씹힘성(chewiness)을 측정하였다. 측정조건은 sample width, sample height 및 sample depth를 각각 8 mm, sample moves 10 mm, table speed 60 mm/min, plunger diameter 5 mm, 반복횟수는 3회로 하였다.

조직의 전자현미경 관찰

큰느타리의 자루를 3등분하여 횡단면 조직을 0.5 cm³ 크기로 잘라 -70℃에서 급속 동결한 후 건조하여 주사전자현미경(Oxford Model, JSM- 6335F, ×300)으로 관찰하였다.

통계처리

Data는 3회 반복으로 측정하여 평균치와 표준편차로 나타내었다. 유의성 검증은 SPSS (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software package program을 이용하여 Duncan's multiple range test 및 t-test를 행하였다.

결과 및 고찰

예냉방법에 따른 품온변화 및 저장중 중량손실율

큰느타리 버섯을 수확하여 26℃의 포장실로 옮긴 후 무포장과 1 kg 포장구로 구분하였다. 다음에 -1℃의 저온실로 옮겨 자연예냉(natural precooling), 송풍예냉(forced air precooling) 및 감압예냉(vacuum precooling)으로 구분하여 예냉하는 동안 버섯의 품온변화를 조사한 결과는 Fig. 2(left)와 같다. 큰느타리의 최적 저장온도로 평가되고 있는 0℃에 도달하는 시간은 포장한 채 예냉한 경우는 자연예냉과 송풍예냉 및 감압예냉의 차이가 거의 없이 80~90분이 소요되었다. 그러나 무포장으로 예냉한 경우는 자연예냉은 60분, 송풍예냉은 50분, 감압예냉은 40분이 소요되었다. Kim 등(9)은 표고버섯의 표면 온도 20.5℃를 진공예냉시 표면온도 0.5℃에

도달하는 시간은 30분정도라 보고하였다. 본 연구에서 품온저하가 가장 효과적이었던 감압예냉의 경우, 이들 연구자들의 결과보다는 목적온도에 도달하는 시간이 다소 느리나 40분이내 목적온도까지 도달케 함으로써 그 동안의 경험적 사실로 미루어 볼 때 충분한 예냉효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 예냉은 가급적 빠른 시간 내에 품온을 최적저장온도까지 떨어뜨림으로서 수확 후의 선도유지에 그 목적이 있으며, 현장접목에 큰 어려움이 없을 것으로 판단되는 진공예냉을 다소 변형한 감압예냉으로도 예냉의 목적을 달성할 수 있을 것으로 판단하여 이하의 실험에서는 Fig. 1과 같은 감압예냉처리를 행하였다.

수확 전 및 수확 후로 나누어 예냉처리를 행하여 PE 포장 저장하는 동안 중량감소율을 측정하였다(Fig. 2, right). 수확 전 예냉(precooling before harvest: PBH)은 재배실에서 Fig.1의 감압예냉 장치를 이용하여 즉시 -1℃에서 예냉한 후 polyethylene film(PE)으로 포장한 것이며, 수확 후 예냉(precooling after harvest: PAH)은 재배실에서 수확한 버섯을 즉시 -1℃에서 감압예냉 한 후 PE 포장한 것이다. 대조구는 재배실에서 수확한 후 26℃의 포장실에 옮겨 포장한 후 예냉을 하지 않은 채 PE 포장한 것으로 모든 처리구는 -1℃에서 저장하였다. 30일간의 저장중 예냉처리를 한 것은 예냉처리를 하지 않은 것에 비하여 중량감소율이 다소 낮았으며 PBH와 PAH의 차이는 뚜렷하지 않았다. 이 같은 결과는 예냉처리가 호흡과 증산을 감소시킴으로써 나타나는 결과라 해석된다. 저장 중 수분의 증산과 호흡량의 증대는 버섯에 함유된 다양한 효소류의 작용을 촉진하여 저장 영양성분을 감소시키고 위조 (wilting)를 촉진시켜 조직의 연화

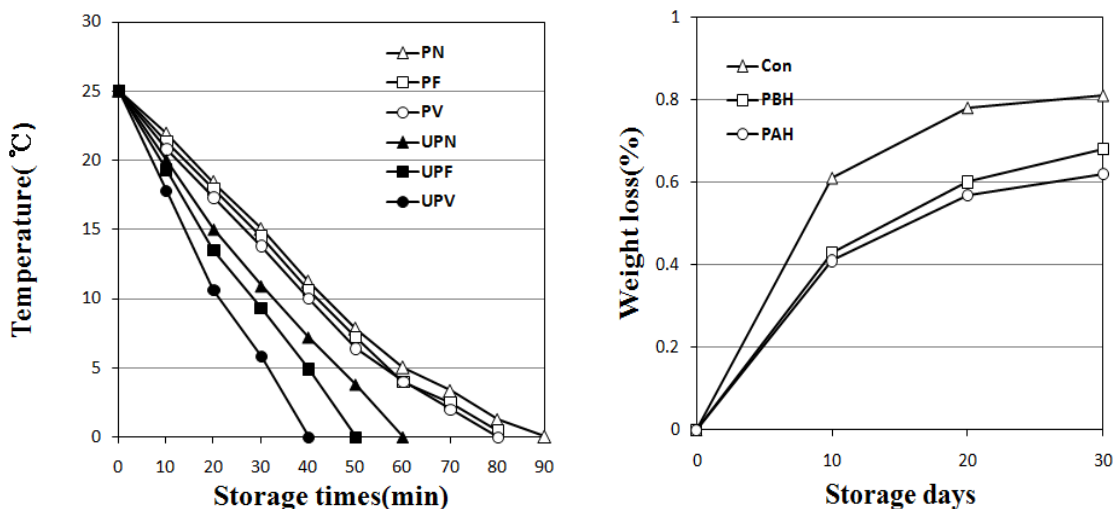


Fig. 2. Changes in internal temperature of King oyster(*P. eryngii*) in the -1℃ cold chamber by the different precooling methods(left figure), and effect of vacuum precooling before and post harvest on the weight loss of PE packaged King oyster(*P. eryngii*) during storage at -1℃.

Abbreviations: PN; natural precooling after package, PF; forced air precooling after package, PV; vacuum precooling after package, UPN; unpackage and natural precooling, UPF; unpackage and forced air precooling, UPV; unpackage and vacuum precooling, PBH; vacuum precooling before harvest, PAH; vacuum precooling after harvest. Values are mean of triplicate determinations. Values are mean of triplicate determinations.

와 갈변을 일으키는 원인이 된다(13). 또 상기의 결과에서 PBH와 PAH 간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않음에 따라, 버섯 생산 공장의 일반적 공정인 재배 → 수확 → 예냉 → 포장 → 저장의 공정이 가능할 것으로 판단되며, 포장 후에 예냉하여 저장하는 것은 빠른 품온저하가 어렵기 때문에 바람직하지 않은 것으로 생각된다. 또, 우리나라 일부의 큰느타리 생산공장에서는 수확한 버섯을 수출용 저온저장고까지 운송하는데 길게는 8시간 이상이 소요되고 있어 예냉 후의 cold chain system 확립이 요망된다.

호흡량

수확하여 감압예냉한 후 PE 포장하여 -1°C에서 저장하면서 포장내의 산소 및 탄산가스 농도와 CO₂/O₂의 비를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 산소의 농도는 저장 1일째는 대조구가 8.19 % /kg-package/hr를 나타낸 반면 예냉구는 14.50 % /kg-package/hr로 예냉구에서 호흡기질로 사용되는 산소

의 양이 현저하게 적음을 알 수 있으며, 이러한 현상은 양적 차이는 있으나 저장 4일까지 나타났다. 그러나 4일 이후 30일까지는 1.62-1.69 % /kg-package/hr범위로 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이산화탄소의 농도 역시 저장 4일째까지는 대조구에서 높은 수준을 유지하였으며 그 이후는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 특이한 현상은 무예냉 4일째에 CO₂의 peak이 일시적으로 나타났다. 즉 대조구에서는 CO₂/O₂ 비가 저장 4일째까지 줄곧 증가하여 peak을 나타내었다가 다시 감소하여 전 저장기간 동안 0.13-0.14를 유지하는 반면 예냉구에서는 일시적으로 증가하는 peak 현상이 보이지 않았다. 이러한 결과는 예냉처리가 저장초기에 호흡율을 감소시킴으로써 선도유지에 기여함을 나타낸다. Kim 등(7)은 양송이 저장 시 예냉처리가 무처리에 비하여 호흡량을 감소시킨다고 보고하였으며 그 감소정도는 25~60 mg/kg/hr라 하였으나 큰느타리의 경우는 저장 4일째까지는 CO₂ 양으로 평균 110 %/kg-package/hr가 감소되었다.

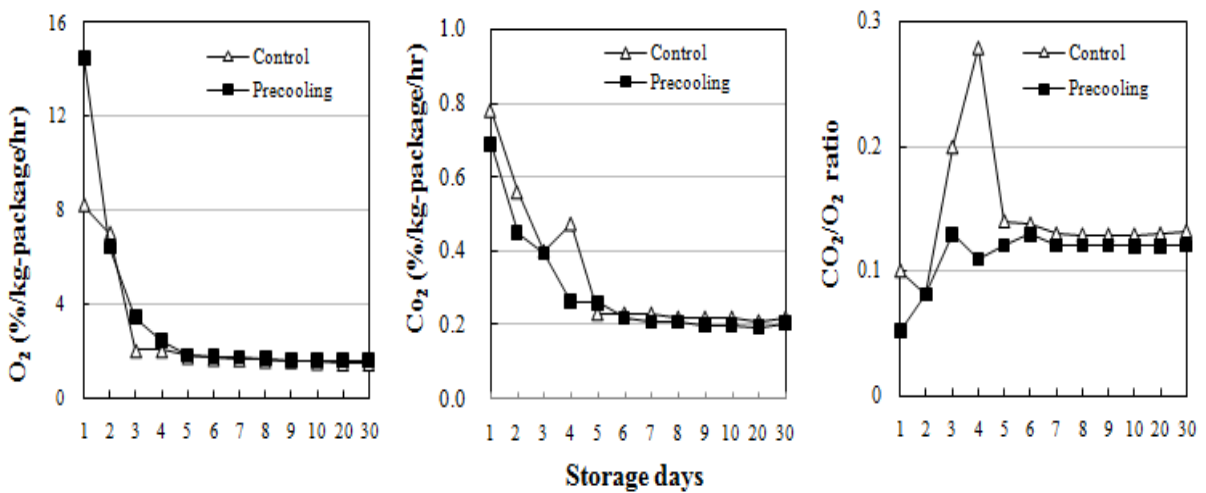


Fig. 3. Effect of vacuum precooling after harvest on the changes in CO₂/O₂ rate of PE packaged King oyster (*P. eryngii*) during storage at -1°C.

Values are mean of triplicate determinations.

Table 1. Effect of vacuum precooling after harvest on the changes in the surface color of PE packaged King oyster (*P. eryngii*) during storage at -1°C

Color	Treatments	Storage days			
		0	10	20	30
L*	Control	85.60±1.37 ^{a1,NS2)}	84.73±1.02 ^{a,NS}	84.23±1.38 ^{a,NS}	83.75±1.86 ^{a,NS}
	Precooling	85.69±1.06 ^{a,1)}	85.63±1.15 ^a	84.44±1.01 ^a	85.49±1.10 ^a
a*	Control	-0.52±0.02 ^{d,NS}	-0.36±0.01 ^{c,A}	-0.22±0.01 ^{b,A}	-0.13±0.01 ^{a,A}
	Precooling	-0.53±0.02 ^b	-0.42±0.03 ^{a,B}	-0.43±0.01 ^{a,B}	-0.44±0.02 ^{a,B}
b*	Control	11.67±0.20 ^{b,NS}	13.45±0.16 ^{ab,A}	14.28±0.19 ^{a,A}	15.40±0.17 ^{a,A}
	Precooling	11.48±0.22 ^a	12.33±0.19 ^{a,B}	13.17±0.22 ^{a,B}	12.34±0.19 ^{a,B}

¹⁾Values are mean ± standard deviations of triplicate determinations, different superscripts within a same row^(a-d) and a same column^(A-B) are significant differences at p<0.05.

²⁾NS: not significant.

색 상

수확 후 예냉처리한 PE 포장 큰느타리 버섯의 저장 중 색상의 변화를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 저장 중 밝기를 나타내는 L*값은 대체적으로 감소하는 반면 적색도와 황색도를 나타내는 a*값과 b*값은 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 예냉처리한 경우는 대조구에 비하여 변화의 폭이 낮았다. 즉, 예냉 처리한 경우는 백색도가 높고 적색 및 황색도가 낮았다. 이 같은 버섯표면의 변색은 버섯에서

비교적 쉽게 나타나(13), 버섯의 품질을 평가하는 중요한 지표(9)가 되고 있다. 저장 중 냉해나 위조 또는 대사의 진행으로 조직이 손상되면 세포조직에 존재하는 polyphenol oxidase가 유리되어 작용함으로서 변색이 나타난다(14). 본 연구의 대조구에서는 상기에서 언급한 조직의 손상 등에 의한 뚜렷한 변색은 발견되지 않았으나 예냉구에 비하여는 변색정도가 높음이 인정되었다.

Table 2. Effect of vacuum precooling after harvest on the texture of PE packaged and 30 days-stored King oyster(*P. eryngii*) at -1°C

Treatments ¹⁾	Strength (g/cm ²)	Hardness(g/cm ²)	Springiness(%)	Cohesiveness(%)	Chewiness(g)
Control	153.11±28.54 ^{B1)}	262.10±48.90 ^B	85.67±26.53 ^A	84.30±18.60 ^A	100.29±20.51 ^B
Precooling	481.60±59.65 ^A	768.85±98.03 ^A	81.85±21.85 ^A	74.73±20.45 ^A	284.33±39.55 ^A

¹⁾Values are mean ± standard deviations of triplicate determinations, different superscripts within a same row^(A-B) are significant differences at p<0.05.



Fig. 4. Photographs of vacuum precooling treated after harvest and 30 days-stored King oyster(*P. eryngii*) at -1°C.

Left: control(non-precooling), right: vacuum precooling after harvest.

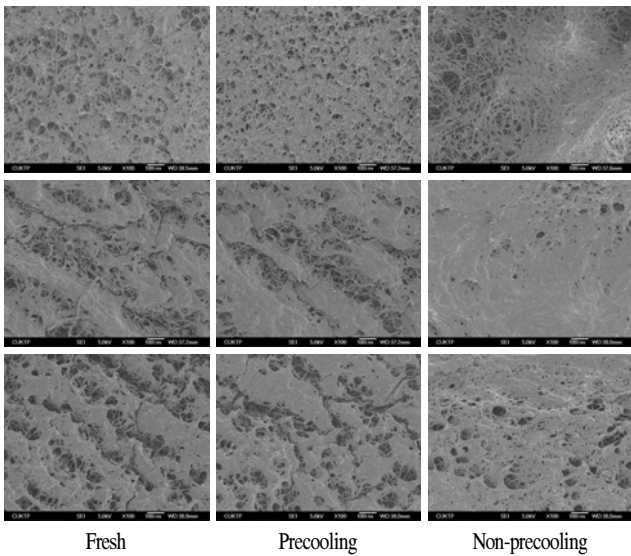


Fig. 5. Electron microscopic photographs(horizontal section, × 300) of 30 days-stored King oyster(*P. eryngii*) stem tissue at -1°C.

Top: the upper part of the stipe, Middle: the middle part of the stipe, Bottom: the lower part of stipe.

텍스처

수확 후 무처리와 예냉처리하여 PE 포장한 큰느타리 버섯을 -1°C에서 30일 동안 저장하였을 때의 텍스처를 비교한 결과는 Table 2와 같다. 예냉처리한 버섯은 무처리에 비하여 견고성(strength), 경도(hardness) 및 씹힘성(chewiness)은 유의적으로 증가하였으나 탄력성(springness)과 점착력(cohesiveness)은 비슷한 경향을 보였다. 이 같은 결과는 예냉처리가 큰느타리 버섯의 선도유지에 효과가 있음을 나타내는 것으로 수확 후 초기의 호흡 및 증산을 억제함으로써 나타난 효과라 사료된다.

외관 및 조직상태

수확 후 예냉처리하여 PE 포장한 큰느타리 버섯을 -1°C에서 30일 동안 저장하였을 때의 외관(Fig. 4)과 자루의 단면조직(Fig. 5)을 전자현미경으로 관찰한 결과, 대조구 갖 상단부의 색상은 예냉구에 비하여 황갈색의 색상이 진했다. 또 대조구에서는 주름부위가 연화되는 현상이 나타났으나 예냉처리구에서는 이러한 현상들이 현저하게 적었다. 또, 큰느타리 버섯 자루를 3등분하여 단면조직을 관찰한 결과, 막 수확한 신선버섯의 경우는 망상으로 구성된 도관이 선명하게 관찰되었으며 예냉처리한 경우도 신선버섯과 유사한 구조를 나타내었다. 그러나 예냉처리를 하지 않은 경우에는 자루의 하단부 및 중단부는 도관이 연화 또는 붕괴되어 형태가 뚜렷하지 않는 곳이 많이 나타났으며 상단부 즉 갖에 인접한 부위는 도관의 망상조직이 허물어진 상태를 나타내었다.

요 약

큰느타리 버섯의 polyethylene film(PE) 포장 저장성에

미치는 감압예냉(VP) 효과를 조사하였다. VP는 -1℃에서 품온이 0℃가 될 때까지 40분간 행하였으며, 1 kg씩 PE포장하여 -1℃에서 30일간 저장하였다. 저장 중 증량감소율은 예냉처리구에서 다소 낮았다. 저장 4일째까지의 예냉구 포장내 O₂ 농도는 2.44-14.50 % /kg-package/hr로 대조구의 2.01- 8.19 %/kg-package/hr보다 현저하게 높았으며 저장 4일째까지의 평균 CO₂ 농도는 대조구 0.58 %/ kg-package/hr, 예냉구 0.47 g/kg/hr로 예냉구에서는 저장초기에 호흡율이 크게 억제되었다. 대조구에서는 저장 4일째 CO₂/O₂값의 peak을 나타낸 반면 예냉구에서는 이러한 현상이 보이지 않았다. 저장중 예냉구는 대조구에 비하여 백색도가 높고 적색 및 황색도가 낮았다. 예냉구는 대조구에 비하여 견고성, 경도 및 씹힘성은 유의적으로 높았으나 탄력성과 점착력은 비슷하였다. 30일간 저장한 경우 대조구에서는 주름 부위가 연화되는 현상이 나타났으나 예냉처리구에서는 이러한 현상들이 현저하게 적었다. 또, 버섯자루의 단면조직을 관찰한 결과 예냉구는 망상으로 된 도관이 선명하게 관찰되었으나 대조구에서는 도관이 연화 또는 붕괴되어 형태가 뚜렷하지 않는 곳이 많았다. 이상의 결과 새송이의 수확 후 감압예냉은 저장중 선도유지에 효과가 있으며 산업적 활용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업 수출용버섯의 선도 유지 포장재 및 포장기술 개발 사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Sadashive, G.B., Narashimhan, G.S.V.L. and Krishnamurthy, M.V. (1996) Forced air precooling of spherical food products in bulk-a parametric study. *Int. J. Heat Fluid*, 18, 613-624
- Gaffney, J.J., Baird, C.D., and Chau, K.V. (1985) Methods for calculating heat and mass transfer in fruits and vegetables individually and in bulk. *ASHRAE Transactions*, 91, 333-352
- Ansari, F.A. and Afaq, A. (1986) Pre-cooling of cylindrical food products. *Int. J. Refrigeration*, 9, 161-163
- Fikiin, A.G. (1983) Investigating the factors of intensifying fruits and vegetable cooling. *Int. J. Refrigeration*, 6, 176-181
- Dincer, I. and Dost, S. (1996) New correlations for heat transfer coefficients during direct cooling of products. *Int. J. Energy Res.*, 20, 587-594
- Fikiin, A.G. (1986) Investigating the factors of intensifying fruits and vegetable cooling. *Int. J. Refrigeration*, 6, 176-181
- Kim, B.S., Park, S.Y., Jang, M.S. and Kwon, A.S. (2007) Effect of prolongation by precooling treatment and improved packing of mushroom(*Agaricus bisporus*). *Korean J. Food Preserv.*, 14, 109-112
- Nahmgung, B., Kim, B.S., Kim, O.W., Chung, J.W. and Kim, D.C. (1995) Influence of vacuum cooling on browning, PPO activity and free amino acid of Shiitake mushroom. *Agric. Chem. Biotechnol.*, 38, 345-352
- Kim, B.S., Nahmgung, B., Kim, O.W., Chung, J.W., and Kim, D.C. (1995) Freshness keeping of Shiitake mushroom by vacuum cooling. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 27, 852-859
- Kim, B.S., Kim, D.C., Lee, S.E., Nahmgung, B., Choi, M.J. and Jeong, M.C. (1995) Freshness prolongation of Crisphead Lettuce by vacuum cooling. *Agric. Chem. Biotechnol.*, 38, 238-247
- Dincer, I. (1992) Methodology to determine temperature distributions in cylindrical products exposed to hydrocooling. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 19, 359-371
- Dincer, I. and Akaryildiz, E. (1993) Transient temperature distributions within spherical products with internal heat generation and transpiration: experimental and analytical results. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 36, 1998-2003
- Murr, D.P. and Morris L.L. (1975) Effect of storage temperature on postharvest changes in mushrooms. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 100, 16-19
- Yang, H.C., Hong, J.S., Lee, T.K. and Sohn, H.S. (1983) Studies on polyphenol oxidase of *Tricholoman matsutake*(S. Ito et Imai) Sing. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, 26, 41-46

(접수 2008년 12월 9일, 채택 2009년 3월 6일)