

## 열처리 방법과 냉동 저장 기간에 따른 표고의 이화학적 및 영양학적 특성 변화

서재희 · 김광일 · 황인국<sup>1</sup> · 유선미<sup>1</sup> · 조연지<sup>2</sup> · 민상기<sup>2</sup> · 최미정\*

건국대학교 생명자원식품공학과, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부, <sup>2</sup>건국대학교 바이오산업공학과

### Effects of Thermal Treatment and Freezing Storage Period on Physicochemical and Nutritional Characteristics of Shiitake Mushrooms

Jae-Hee Seo, Kwang-Il Kim, In-Guk Hwang<sup>1</sup>, Seon-Mi Yoo<sup>1</sup>, Yeon-Ji Jo<sup>2</sup>, Sang-Gi Min<sup>2</sup>, and Mi-Jung Choi\*

Department of Bioresources and Food Science, Konkuk University

<sup>1</sup>Department of Agro-food Resources, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

<sup>2</sup>Department of Bioindustrial Technologies, Konkuk University

**Abstract** Freezing is one of the main processes to extend the shelf life of foods. Before freezing, a thermal treatment is normally required to control the food quality. In this study, shiitake mushrooms were heated with boiling water and with superheated steam. After the thermal treatments, the samples were continuously frozen by an individual quick freezing (IQF) process, and put them into air-containing or vacuum packaging. Samples were stored at -12, -18 and -24°C for 24 weeks, and their physicochemical properties were determined. The lightness of the samples treated with boiling water and superheated steam was decreased by 12 and 15%, respectively, than that of the control. The hardness of all the samples rapidly increased after heat treatment. The contents of organic acids in the superheated steam treated samples were higher than those in the boiling water treated samples. Therefore, superheated steam treatment of samples may be a candidate thermal treatment to preserve frozen shiitake mushrooms.

**Keywords:** shiitake mushroom, heat treatment, individual quick freezing, freezing storage

## 서 론

우리나라는 소득 수준의 향상, 식생활 양식의 변화, 핵가족화 및 여성의 사회 참여 증가 등을 겪으며 가정 내에서도 완제품으로 조리된 식품을 구매하는 소비 행동이 증가하게 되었다(1). 가치관과 생활 방식의 변화 등에 맞추어 바쁜 현대인들은 편의식품이나 건강을 고려한 웰빙 식품과 건강기능식품, 유기농 식품, 다이어트 제품 등에 대해 관심을 가지게 되었고 식품을 구입할 때 식품의 칼로리, 편의성과 건강 지향성을 중요시 하고 있다(2-4). 또한 여성의 사회 진출로 인한 맞벌이 부부 및 독신주의의 증가와 함께 주 5일 근무제 도입에 따라서 여가시간을 활용하고자 하는 욕구가 증가되었다(5). 이러한 이유로 요리 과정의 편리성과 시간 절약을 위한 가정 편의식(home meal replacement, HMR)의 수요가 증가하고 있다(6). HMR은 가정식과 외식의 중간 영역으로, 조리와 반조리의 냉동식품, 레토르트 식품, 전자레인지 식품 외에도 복합조미료, 생과자, 유제품 등 간단한 조리 과정만을 거치거나 혹은 그대로 식사 할 수 있는 상품을 의미한다

(5). 그러나 현재 우리나라의 HMR 제품은 일반 가정식이나 한식 보다는 스테이크, 파스타, 햄버거와 같은 서양식 위주로 상품화가 제한되어 있다(7).

그 동안 정부의 추진 아래 한식 세계화가 진행되면서 한국의 음식재료나 냉동식품 등의 해외수출이 증가하고 있으며, 그 중에서도 한국의 대표적 음식재료인 표고(*Lentinula edodes*)가 중요한 부분을 차지하고 있다(8). 일반적으로 표고는 수확 후 호흡 속도가 매우 빠르게 증가하기 때문에 수확 후 관리가 부적절하게 되면 외관 및 물성의 변화로 상품 가치가 급격히 저하되는데, 이를 감소시키기 위하여 농가업체나 산업체에서는 건조 과정을 거친 후 장기 보관해 왔다(9-11). 건조 표고는 저장에 있어서는 효율적이지만 버섯의 품질에 많은 변화를 가져오고 조리하기가 불편하다는 단점이 있으며, 현대에 이르러서는 신선 표고에 대한 소비가 증가함에 따라 건조 표고의 거래량은 정체되고 있는 반면 생 버섯의 판매가 증가하고 있다(12). 신선 표고의 출하를 위해 일부 농가에서는 기존의 냉장 저장법 대신 냉동 저장법을 시도하고 있지만 표고의 대사과정에 대한 전문적 지식과 이해가 부족하거나 냉동 저장의 조건이 적절하지 못하여 저장 중 형태 및 색상의 변화, 반점 형성 등에 의해 상품 가치가 저하되거나 판매가 불가능하게 되는 경우도 흔하다(8,13).

버섯 뿐만 아니라 여러 식품에서 품질 보존과 가치 향상을 위하여 식품 산업에서는 다양한 가공 및 저장 조건을 설정하게 되는데, 대부분의 상업적 가공 식품 제조를 위한 공정에는 냉각, 냉동, 가온, 조리, 살균 등 열처리 공정을 한 가지 이상 포함하게

\*Corresponding author: Mi-Jung Choi, Department of Bioresources and Food Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea  
Tel: 82-2-450-3048  
Fax: 82-2-450-8043  
E-mail: choimj@konkuk.ac.kr  
Received February 6, 2015; revised March 27, 2015;  
accepted March 30, 2015

된다(14,15). 식품 공정 중 가장 보편적으로 사용되는 ‘열수 침지법(boiling water immersion treatment)’은 열전달 능력이 크고 농약 세척과 미생물과 병해충 살균에 효과적이며 편리하다는 장점이 있다(16). 열처리 가공의 또 다른 방법인 ‘과열 증기법(superheated steam treatment)’은 100-400°C의 수증기를 이용하여 식품을 열처리하는 것으로서, 단시간 내에 열을 전달하여 식품의 상품성 지표인 색과 맛, 조직감을 유지시켜주고 미생물 오염을 방지하는 효과를 가진다(17). 이러한 적절한 열처리는 이화학적 및 영양학적 특성과 풍미를 증진시킬 수 있지만 부적절한 처리는 세포 조직의 손상 및 표면 경화, 영양 성분 파괴, 상품으로서의 가치 저하를 초래할 수 있어 식재료의 특성에 따라 적절한 열처리 공정을 확립하는 것이 필요하다(14-17).

열처리 외에 식품의 장기 저장을 위한 또 다른 방법에는 냉동 과정이 있다. 식재료에 따라 냉동 조건이 적절하지 않으면 세포의 동결에 의해 세포벽이 파괴되어 식품 본래의 향미와 색, 조직감, 영양성분이 손실되어 상품성을 잃어버리게 된다(16). 완만 냉동에 비해 급속 냉동은 냉동 과정에서 발생하는 품질 저하를 감소시킨다는 장점이 있다. 그 중에서도 ‘개별 급속 냉동(individual quick freezing, IQF)’은 -35~-45°C의 냉매를 3-5 m/s의 속도로 방출하여 식품을 날개로 급속 냉동시키는 방법이며, 냉동 후 연속적으로 포장하기 때문에 시간을 절약할 수 있고 냉·해동 과정에서 식품 간의 발생하는 부정적인 영향을 최소화시킬 수 있다(18-20). 그렇기 때문에 IQF 냉동법은 다른 냉동법보다 훨씬 경제적이고 식품의 품질관리 측면에서 효율적이다.

현재까지 Lee 등(21)의 연구, Han 등(22)의 연구와 같이 표고의 유통기간을 연장시키기 위하여 포장기체를 조절하는 연구는 많이 있으나 열처리 방법과 저장 온도를 설정하는 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 서양식 위주로 발전하고 있는 HMR 시장 속에서 한식을 널리 보급하고 그 가치를 높이기 위하여 한식의 대표적 음식재료 중 하나인 표고를 시료로 선정하여 열처리 방법과 포장 방법, 냉동 저장 기간에 따른 이화학적 및 영양학적 특성을 분석함으로써 표고가 냉동 HMR 시장에 적극적으로 활용될 수 있는 이용 가능성을 모색해 보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 표고(*Lentinus edodes*)는 2014년 2월에 식용 가능한 생 버섯을 E사 대형 유통 마트(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 말산(malic acid), 석신산(succinic acid), 푸마르산(fumaric acid)의 표준물질은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였으며, 다른 시약은 분석용 등급 및 HPLC 등급을 사용하였다.

### 전처리 공정

표고의 줄기가 제거된 것을 흐르는 물에 깨끗이 세척하고 5×5×0.5 cm로 채썰기 하였다. 열처리 방법은 두 가지를 이용하였다. 열수 침지법은 버섯을 100°C 끓는 물에 1:5 (w/v)의 비율로 넣어 1분 동안 침지시켜 처리하였고, 과열 증기법은 100°C 이상의 수증기로 2분 동안 처리하였다. 열처리 후 5°C의 냉각수를 이용하여 시료의 온도를 낮춘 후 1분간 탈수 처리하였다.

### 냉동 저장 및 해동

냉동 과정은 컨베이어 벨트 위에서 날개의 시료를 차례대로 냉동시키는 IQF 방식으로 (주)천일식품(Seoul, Korea)에서 진행하였

으며, 냉동 처리 후 연속적으로 포장 과정을 진행하였다. 포장 방법은 합기 포장과 진공 포장 두 가지 방법으로 이루어졌고 합기 포장은 폴리프로필렌(PP) 소재의 용기(15×10×5 cm)에, 진공 포장은 폴리에틸렌(PE) 소재의 진공 포장지(20×30 cm)에 버섯 250 g씩을 포장하였다. 포장 후 -12, -18, -24°C에서 24주 동안 냉동 저장하였다. 해동은 시료의 품질 저하를 최소화하기 위하여 급속 해동을 하였으며 data logger (MV104-2-21F, Yokogawa Electric Corporation, Tokyo, Japan)를 장착하여 버섯의 중심부가 4°C가 될 때까지 전자레인지(KR-S340TC, Daewoo, Seoul, Korea)를 이용해 해동하였고, 이때 전자레인지의 출력 세기는 400 W였다. 전자레인지를 이용해 해동을 시킨 이유는 가정에서 주로 해동에 많이 활용되는 방법이기 때문에 선택하였다.

### 색도 측정

색도는 색도계(CR-400, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 명도(lightness, CIE L\*-value), 적색도(redness, CIE a\*-value) 및 황색도(yellowness, CIE b\*-value)를 9회 이상 반복 측정하였다. 표준 백색판의 CIE 명도는 88.9, 적색도는 -0.1, 황색도는 8.9이었다. 시료 측정은 생 버섯, 열처리한 버섯, 열처리한 후 IQF한 버섯, 열처리와 IQF를 거쳐 냉동 저장한 버섯으로 구별되어 진행되었다. 저장 기간에 따른 표고의 전체 색차(total color difference, ΔE)는 열처리만 한 버섯의 색도와 비교하여 아래와 같은 공식에 대입하여 산출하였다. 이때 비교 기준이 된 열수 침지한 버섯의 명도, 적색도, 황색도는 각각 78.88, -0.48, 12.00을 나타내었고 과열 증기 처리한 버섯은 66.56, 1.75, 14.14를 나타내었다.

Total color difference (ΔE)

$$= \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2}$$

L\*<sub>1</sub>=열처리 한 버섯의 명도, L\*<sub>2</sub>=시료의 명도

a\*<sub>1</sub>=열처리 한 버섯의 적색도, a\*<sub>2</sub>=시료의 적색도

b\*<sub>1</sub>=열처리 한 버섯의 황색도, b\*<sub>2</sub>=시료의 황색도

### 경도 측정

경도(hardness)는 표고의 두께 0.5 cm를 절단하는데 필요한 힘을 경도로 나타내었으며 texture analyzer (CT3-1000, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하였다. 측정 조건은 compression type에서 target value는 5.0 mm, trigger load는 300 g, test speed는 2.5 mm/s의 속도로 설정하였다. 길이는 70 mm, 폭은 0.3 mm인 칼날 형태의 plain vee probe (Brookfield Engineering Laboratories Inc.)와 TA-SBA fixture (Brookfield Engineering Laboratories Inc.)를 사용하였고, 각 시료의 측정치는 5회 이상 반복 실험하여 평균값과 표준편차로 표시하였다.

### pH 측정

시료와 증류수를 1:9 (w/v)의 비율로 혼합하여 균질기(SMT pH91, Tokyo, Japan)로 12,000 rpm으로 2분 동안 균질화하였다. 균질 후 pH 미터(Orion 3-star, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)로 3회 이상 반복 측정하였다.

### 유기산 함량

증류수 50 mL와 각각의 처리구 1.00±0.05 g을 혼합하여 200 rpm에서 3시간 동안 진탕 추출하였고, Whatman No. 2 여과지(Whatman International Ltd., Maidstone, Kent, UK)로 여과하여

50 mL로 정용하였다. 0.20  $\mu\text{m}$  막거르개 (Millipore Corporation, Billerica, MA, USA)를 이용하여 추출물을 여과한 후 HPLC system (1200 Series, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)으로 분석하였는데 이 때 이용한 칼럼은 aminex HPX-87H ion exclusion column (7.8 $\times$ 300 mm, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)이며, 검출기는 UV detector (Agilent Technologies)로 215 nm에서 검출하였다. 이동상은 0.008 N 황산(sulfuric acid) 용액을 0.6 mL/min의 속도로 흘려주며 20  $\mu\text{L}$ 을 주입하여 분석하였다. 본 연구에서는 표준물질로 말산, 석신산 및 푸마르산을 사용하였다.

### 미생물 측정

각각의 시료에 대하여 식품공전에 따라 일반 세균 수 분석을 시행하였다. 시료 25 g과 멸균된 생리식염수 225 mL를 멸균 팩에 넣고 slap-type homogenizer (WS-400, Shanghai Zhisun Equipment Co., Shanghai, China)를 이용하여 1분 동안 균질화 하였다. 처리 후 시험용액을 희석법에 따라 10배, 100배로 희석한 후 각각의 희석액 0.1 mL을 평판계수우무(PCA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 배지에 무균적으로 도말하여 37°C에서 24시간 배양하였다. 집락의 수는 log CFU/g으로 나타내었고 평균 집락 수에 희석 배수를 곱하여 산출하였다.

### 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 통하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하였으며, 분산 분석을 이용하여  $p < 0.05$  수준에서 던킨 시험을 실시하여 각 처리구 간의 유의적인 차이를 검증하였다. 독립변수와 종

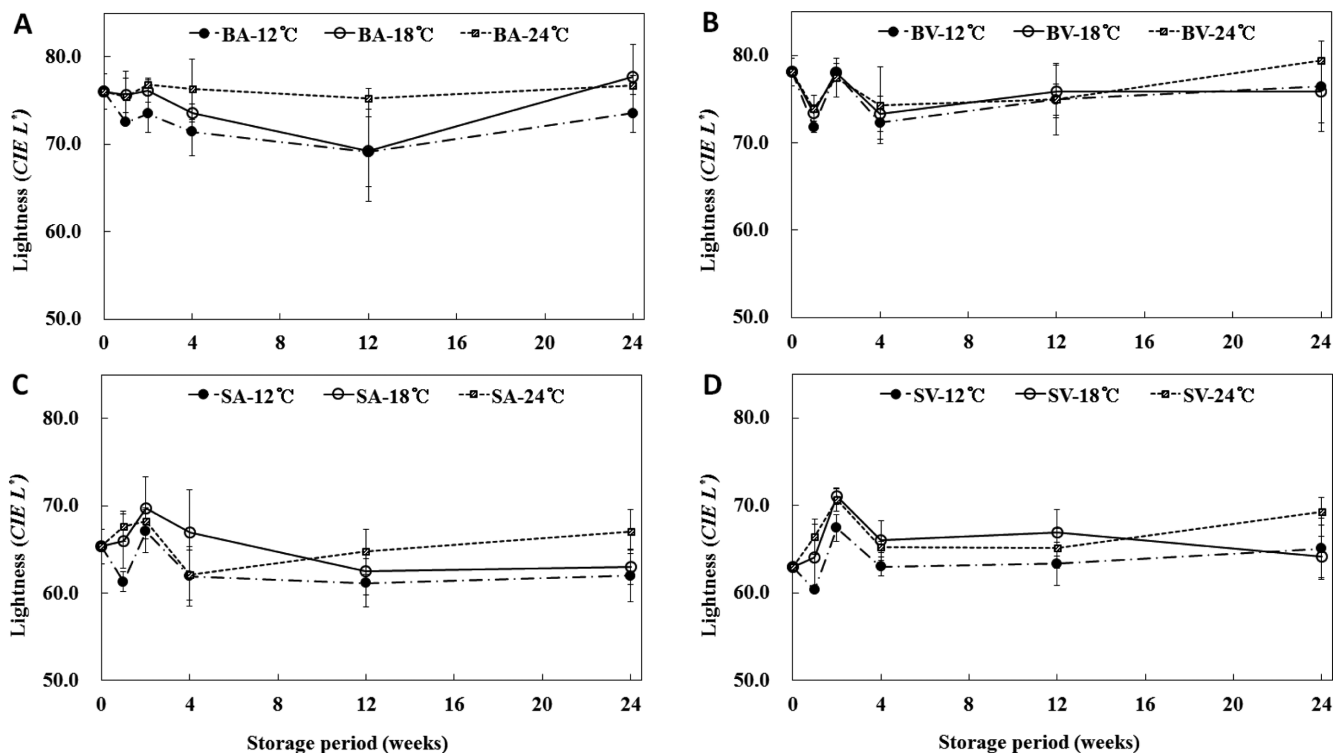
속변수간의 상관관계는 SAS program (Ver. 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 상관분석을 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 색도 변화

시료의 명도(CIE L\*), 적색도(CIE a\*), 황색도(CIE b\*) 및 전체 색차를 Table 1과 2에 나타내었다. 일반적으로 식재료의 색도는 소비자에게 구매의 지표로써 중요하게 여겨지며 품질을 측정하는데 가장 중요한 요소이다. 특히, 버섯에서는 명도와 황색도를 중요시하고 있으며 Gormley와 ÓSullivan(23)은 버섯의 상품성을 명도로 측정하였는데 명도가 93이상이면 '우수함', 90-93은 '매우 좋음', 86-89는 '중음'으로 제시하였다. 본 실험에서 생 버섯의 명도는 88.9로써 '중음'에 속하였지만, 열수 침지와 과열 증기 처리 후에 시료의 명도가 각각 78.9, 66.6로 감소하여 '나쁨'에 속하였다. 냉동 저장 24주차에 열수 침지한 버섯의 명도는 74-80인 반면에 과열 증기 처리한 버섯의 명도는 62-69로써 열수 침지법보다 과열 증기법이 버섯의 명도에 더욱 뚜렷한 변화를 일으켰다는 것을 알 수 있었다. 포장 방법에 따른 색도 변화를 비교해 보면 함기 포장보다 진공 포장한 버섯의 명도가 높았다. 또한, 열수 침지 처리 후 함기 포장 시료(BA)와 과열 증기 처리 후 함기 포장 시료(SA)에서는 저장 온도가 낮을수록 밝은 색을 유지한다는 것을 확인하였다.

적색도는 과열 증기 처리한 후에 증가한 반면 열수 침지한 후에는 감소하였으며 모든 시료에서 저장 기간과 포장 방법에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다( $p=0.067$ ). 열처리 한 후 시료의 황색도가 증가하였는데 변화의 폭이 과열 증기 처리한 시



**Fig. 1.** The lightness changes of shiitake mushrooms depending on the freezing storage period and storage temperature. A, Boiling water immersion treated and air-containing packaged mushrooms; B, Boiling water immersion treated and vacuum packaged mushrooms; C, Superheated steam treated air-containing packaged mushrooms; D, Superheated steam treated and vacuum packaged mushrooms; -12, -18 and -24°C were represented storage temperature. The lightness of raw mushrooms, 88.86 $\pm$ 3.90; Data were represented as the mean values ( $n > 5$ ).

**Table 1. The changes in the color value of boiling water treated shiitake mushrooms by thermal treatment depending on the freezing storage period**

Treatments <sup>1)</sup>	Storage temperature (°C)	Storage period (weeks)					
		1	2	4	12	24	
CIE a* <sup>2)</sup>	BA	-12	0.51±0.78 <sup>aA</sup>	-0.88±0.49 <sup>aA</sup>	-1.22±0.50 <sup>aA</sup>	-0.85±1.23 <sup>aA</sup>	0.05±1.01 <sup>aA</sup>
		-18	-0.44±0.73 <sup>aA</sup>	-0.46±1.02 <sup>aA</sup>	0.13±0.13 <sup>aA</sup>	-0.41±0.45 <sup>aA</sup>	-3.25±0.37 <sup>bB</sup>
		-24	-0.66±0.75 <sup>aA</sup>	-0.77±0.73 <sup>aA</sup>	-1.41±0.41 <sup>aA</sup>	-0.84±0.44 <sup>aA</sup>	0.60±0.36 <sup>aA</sup>
	BV	-12	0.07±0.27 <sup>aA</sup>	-1.34±0.78 <sup>aA</sup>	-0.56±0.05 <sup>aB</sup>	-1.19±0.76 <sup>aA</sup>	-1.17±1.44 <sup>aA</sup>
		-18	0.46±0.53 <sup>aA</sup>	-1.27±0.73 <sup>aA</sup>	0.07±0.40 <sup>aA</sup>	-1.30±0.86 <sup>aA</sup>	-1.37±0.82 <sup>aA</sup>
		-24	0.38±0.45 <sup>aA</sup>	-0.36±0.75 <sup>aA</sup>	-0.10±0.25 <sup>aB</sup>	-1.49±0.68 <sup>aA</sup>	-0.43±0.72 <sup>aA</sup>
CIE b*	BA	-12	11.90±0.33 <sup>aA</sup>	14.14±1.41 <sup>bA</sup>	14.65±1.08 <sup>bcA</sup>	14.95±0.94 <sup>bA</sup>	19.97±1.43 <sup>aA</sup>
		-18	12.12±0.56 <sup>aA</sup>	14.62±0.33 <sup>aA</sup>	13.69±0.42 <sup>aA</sup>	13.04±2.14 <sup>aA</sup>	17.94±1.46 <sup>aA</sup>
		-24	11.89±0.19 <sup>bA</sup>	13.43±2.03 <sup>abA</sup>	12.67±0.72 <sup>abA</sup>	13.32±2.20 <sup>abA</sup>	15.35±1.33 <sup>abB</sup>
	BV	-12	12.11±0.78 <sup>bA</sup>	15.36±0.33 <sup>abA</sup>	13.30±2.38 <sup>bA</sup>	12.66±1.45 <sup>bA</sup>	18.59±2.23 <sup>aA</sup>
		-18	12.60±1.19 <sup>bA</sup>	15.00±0.56 <sup>bA</sup>	13.60±0.94 <sup>bA</sup>	14.20±0.10 <sup>bA</sup>	19.30±1.55 <sup>aA</sup>
		-24	12.36±0.79 <sup>aA</sup>	14.30±0.19 <sup>aA</sup>	13.28±1.86 <sup>aA</sup>	14.66±1.99 <sup>aA</sup>	15.99±1.17 <sup>aA</sup>
Total color difference (ΔE)	BA	-12	6.47±0.19 <sup>aA</sup>	6.04±1.54 <sup>aA</sup>	7.61±7.45 <sup>aA</sup>	10.28±3.89 <sup>aA</sup>	9.84±0.97 <sup>aA</sup>
		-18	3.41±1.80 <sup>bA</sup>	3.95±1.05 <sup>abAB</sup>	5.61±5.89 <sup>abA</sup>	9.96±5.55 <sup>abA</sup>	7.49±0.56 <sup>abB</sup>
		-24	3.50±2.76 <sup>aA</sup>	2.99±1.04 <sup>aA</sup>	3.87±5.17 <sup>aA</sup>	4.13±1.91 <sup>aA</sup>	4.15±1.57 <sup>abC</sup>
	BV	-12	7.12±0.70 <sup>aA</sup>	4.01±1.48 <sup>aA</sup>	7.45±1.48 <sup>aA</sup>	4.68±3.29 <sup>aA</sup>	8.14±3.07 <sup>aA</sup>
		-18	5.66±2.13 <sup>abA</sup>	3.29±1.00 <sup>bA</sup>	5.89±2.04 <sup>abA</sup>	4.31±1.90 <sup>bA</sup>	8.43±2.00 <sup>aA</sup>
		-24	5.14±0.42 <sup>aA</sup>	3.07±1.80 <sup>abA</sup>	5.17±3.98 <sup>aA</sup>	5.33±0.64 <sup>aA</sup>	4.08±1.14 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>BA, Boiling water immersion treated and air-containing packaged mushrooms; BV, Boiling water immersion treated and vacuum packaged mushrooms

<sup>2)</sup>Raw mushrooms, CIE L\*, 90.38, CIE a\*, 0.33, CIE b\*, 9.82; Boiling water immersion treated mushrooms, CIE L\*, 78.88, CIE a\*, -0.48, CIE b\*, 12

<sup>a-c</sup>Means with the same letter in a row are significantly different ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup>Means with the same letter in a column are significantly different ( $p<0.05$ ).

료에서 더욱 컸으며, 저장 기간에 따라 모든 시료의 황색도가 증가하였는데 합기 포장한 시료가 진공 포장한 시료보다 변화의 폭이 컸다. 상관분석 결과 냉동저장 24주차에 측정하였을 때 황색도는 저장온도가 높을수록 높았다( $r^2=0.77$ ,  $p<0.05$ ).

전체 색차를 나타내는 ΔE는 냉동 저장 24주차 때 열수 침지한 시료가 4.1-9.8, 과일 증기 처리한 시료가 4.5-7.0의 범위를 나타냄으로써 열수 침지한 버섯의 ΔE가 더 증가한 것을 확인하였다. 열처리 방법과 포장 방법에 따른 네 가지 처리군 모두 저장 온도가 낮을수록 ΔE가 작았다( $p<0.05$ ). BA는 저장 기간에 따라 ΔE가 증가하였고, 열수 침지 처리 후 진공 포장 시료(BV)의 ΔE는 저장 기간에 따른 변화 없이 열처리한 후의 상태가 유지되었으며 전체적으로 BV의 ΔE가 BA의 ΔE보다 작았다. SA와 과일 증기 처리 후 진공 포장 시료(SV) 사이에서 포장 방법에 따른 유의적인 차이는 발생하지 않았다( $p=0.106$ ).

Han 등(24)은 표고, 느타리버섯 등을 조리 후 -18°C 이하에서 냉동 저장하여 색도 변화를 관찰하였는데 저장 시 명도가 크게 감소하는 것과 저장 기간이 길어질수록 색이 어두워지는 것을 확인하였고, Jeong 등(25)은 아가리쿠스 버섯이 저장 기간에 따라 명도가 감소하고 황색도는 증가한다고 보고하였으며 본 연구의 결과와 비슷한 양상을 나타냈다. 냉동 후 저장 온도가 시료에 따라서 매우 중요한데, 본 실험에서 사용된 표고의 경우 열처리 방법에 무관하게 저장 온도가 낮을수록 색도 변화가 최소화되는 것을 알 수 있었다.

Burton 등(26)의 보고에 따르면 작물이 수확 후 변색되는 것은 효소와 페놀화합물이 세포 내에서 서로 다른 부분에 격리되어 존재하며 수확 후 노화현상이 발생함에 따라 세포내막이 붕괴되어

반응하게 됨으로써 발생한다고 하였다. 버섯 표면의 색도가 변화하는 원인은 크게 두 가지로 설명할 수 있는데 첫 번째는 폴리페놀산화효소(PPO) 효소가 관여하는 효소적 갈변, 두 번째는 버섯 표면의 성분들이 상호 간의 화학적 변화를 일으키는 비효소적 갈변이다(27). 버섯에서는 주로 갈변 효소에 의해 발생하며 이 효소는 온도에 따라 큰 영향을 받는다고 보고되고 있다(28). 본 실험에서는 과일 증기보다 열수 침지에서 PPO 효소의 불활성화가 많이 진행되어 저장 기간에 따른 색의 변화가 최소화 된 것으로 판단된다.

### 경도 변화

두 가지 열처리 방법을 진행한 후 진공 및 합기 포장한 버섯의 냉동 저장 기간 및 저장 온도에 따른 경도를 Fig. 1에 나타내었다. 생 버섯을 절단하는데 필요한 힘은 32.0 N으로 시료들 중에서 가장 높았으며 열수 침지 후 버섯의 경도는 22.8 N, 과일 증기 처리 한 버섯의 경도는 25.9 N으로 감소하였다. IQF와 해동과정을 거친 시료를 측정된 결과 BA의 경도는 22.8 N, BV의 경도는 21.1 N, SA의 경도는 18.4 N, SV의 경도는 19.6 N이었다. 0-12주 동안의 냉동 저장을 거치며 시료에 따라 각각의 경도 변화를 나타내었고 12-24주 동안에는 일정한 값을 유지하였다. 냉동 저장 24주차 때 BA의 경도는 19.6-25.6 N, BV는 18.6-19.6 N, SA는 17.6-20.6 N, SV는 19.6-22.5 N으로 감소하여 합기 포장한 시료에서는 열수 침지한 버섯의 경도 변화가 더 작았으며 진공 포장한 시료에서는 과일 증기 처리한 버섯의 경도 변화가 작은 것을 볼 수 있었다. 네 가지 처리군 모두 생 버섯과 24주 동안 냉동 저장한 시료를 비교하였을 때 경도가 감소하였지만 유

**Table 2. The changes in the color value of superheated steam treated shiitake mushrooms by heat treatment depending on the freezing storage period**

	Treatments <sup>1)</sup>	Storage temperature (°C)	Storage period (weeks)				
			1	2	4	12	24
CIE a* <sup>2)</sup>	SA	-12	2.11±0.31 <sup>aA</sup>	1.30±0.31 <sup>aB</sup>	1.54±1.31 <sup>aA</sup>	1.46±0.87 <sup>aA</sup>	1.60±0.65 <sup>aB</sup>
		-18	2.74±0.61 <sup>aA</sup>	1.19±0.61 <sup>bcB</sup>	0.56±0.36 <sup>cA</sup>	0.65±1.37 <sup>cA</sup>	2.35±0.49 <sup>abAB</sup>
		-24	1.45±0.80 <sup>aA</sup>	3.38±0.80 <sup>aA</sup>	1.94±2.13 <sup>aA</sup>	1.57±0.71 <sup>aA</sup>	2.89±0.67 <sup>aA</sup>
	SV	-12	1.93±0.88 <sup>aA</sup>	1.11±0.27 <sup>aA</sup>	0.80±0.99 <sup>aA</sup>	1.22±0.79 <sup>aA</sup>	2.02±0.57 <sup>aA</sup>
		-18	2.10±0.94 <sup>aA</sup>	0.12±0.79 <sup>aA</sup>	0.97±0.37 <sup>aA</sup>	1.55±0.35 <sup>aA</sup>	1.70±0.24 <sup>aA</sup>
		-24	1.41±0.08 <sup>aA</sup>	0.71±0.49 <sup>aA</sup>	1.22±0.39 <sup>aA</sup>	1.13±0.37 <sup>aA</sup>	1.97±0.14 <sup>aA</sup>
CIE b*	SA	-12	12.35±1.21 <sup>aB</sup>	15.92±1.21 <sup>aA</sup>	13.99±1.12 <sup>aA</sup>	14.56±1.14 <sup>aA</sup>	17.88±2.97 <sup>aA</sup>
		-18	15.20±1.77 <sup>bcA</sup>	16.72±1.77 <sup>abA</sup>	15.85±0.57 <sup>abcA</sup>	14.28±0.88 <sup>cA</sup>	17.65±0.70 <sup>aA</sup>
		-24	14.51±0.52 <sup>baB</sup>	17.07±0.52 <sup>aA</sup>	14.37±1.55 <sup>bA</sup>	14.64±0.16 <sup>bA</sup>	17.86±2.05 <sup>aA</sup>
	SV	-12	13.57±0.60 <sup>cA</sup>	15.52±0.75 <sup>bcA</sup>	15.40±2.60 <sup>bcA</sup>	17.59±1.55 <sup>abA</sup>	19.80±1.75 <sup>aA</sup>
		-18	14.21±2.35 <sup>aA</sup>	14.23±1.15 <sup>aA</sup>	14.11±1.69 <sup>aA</sup>	13.32±1.23 <sup>aB</sup>	17.16±2.13 <sup>aA</sup>
		-24	12.92±0.43 <sup>aA</sup>	16.64±0.71 <sup>aA</sup>	13.12±0.93 <sup>aA</sup>	13.86±0.82 <sup>aB</sup>	20.45±1.33 <sup>aA</sup>
Total color difference (ΔE)	SA	-12	5.68±0.84 <sup>aA</sup>	2.57±1.51 <sup>aB</sup>	4.94±3.16 <sup>aA</sup>	5.62±2.53 <sup>aA</sup>	6.43±2.97 <sup>aA</sup>
		-18	3.28±0.66 <sup>aB</sup>	5.12±1.02 <sup>aA</sup>	4.23±1.91 <sup>aA</sup>	4.75±1.62 <sup>aA</sup>	5.17±1.68 <sup>aA</sup>
		-24	1.74±1.25 <sup>bb</sup>	3.97±0.85 <sup>abAB</sup>	5.22±2.08 <sup>aA</sup>	2.61±1.46 <sup>abA</sup>	4.49±2.14 <sup>abA</sup>
	SV	-12	6.31±0.19 <sup>aA</sup>	2.81±1.45 <sup>aA</sup>	4.55±0.78 <sup>aA</sup>	4.89±2.73 <sup>aA</sup>	6.59±1.43 <sup>aA</sup>
		-18	3.65±3.22 <sup>aAB</sup>	5.03±1.09 <sup>aA</sup>	2.42±0.94 <sup>aB</sup>	2.45±1.00 <sup>aA</sup>	4.48±1.63 <sup>aA</sup>
		-24	2.08±0.55 <sup>bb</sup>	5.21±1.59 <sup>abA</sup>	1.83±1.01 <sup>bb</sup>	2.42±0.99 <sup>abA</sup>	7.03±1.11 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>SA, Superheated steam treated and air-containing packaged mushrooms; SV, Superheated steam treated and vacuum packaged mushrooms

<sup>2)</sup>Raw mushrooms, CIE L\*, 90.38, CIE a\*, 0.33, CIE b\*, 9.82; Superheated steam treated mushrooms, CIE L\*, 66.56, CIE a\*, 1.75, CIE b\*, 14.14

<sup>a-c</sup>Means with the same letter in a row are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-C</sup>Means with the same letter in a column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

의적인 차이는 없었으며( $0.053 < p < 0.384$ ) 저장 온도에 따른 유의적인 차이 또한 없었다( $p = 0.079$ ).

Jeong 등(25)은 아가리쿠스 버섯을 예냉한 후 저장하였을 때 버섯의 경도가 저장 기간에 따라 감소하였다고 보고하였고, Lee 등(29)의 연구에서는 취나물, 열갈이배추 및 대파를 열처리한 후 급속 냉동 과정을 거쳐  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 저장하였는데 열처리 온도가 높을수록, 데치기 처리 시간이 증가할수록 시료의 경도가 감소했다고 보고 하였다. 본 연구에서는 열처리와 IQF 과정, 저장 1-12 주에서 경도의 감소를 관찰할 수 있었으며, 이것은 식물 미세구조 파괴에 의한 세포 조직 및 밀도 등의 변화, 포장지 내 이산화탄소 증가와 상대습도 증가로 인해 버섯의 경도가 감소한다고 보고한 많은 연구의 결과와 일치한다(30-32). 반면, 저장 12-24 주에서 경도가 증가한 원인은 장기간 동안 저온 저장을 하였기 때문에 버섯의 조직이 치밀해짐으로써 일어난 현상으로 생각된다(33). 본 실험에서는 열처리 과정과 냉·해동 과정에서 버섯 경도가 감소하였는데 열처리 과정에서는 과열 증기보다 열수 침지법이 더 큰 변화를 일으켰고 냉·해동 과정에서는 열수 침지법이 더 큰 변화를 일으켰다. 저장 기간에 따른 경도 변화는 SA가 BA보다, BV가 SV보다 뚜렷하게 나타났으며, 저장 온도에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

### pH 변화

열처리 방법 및 냉동 저장 기간에 따른 표고의 pH를 Fig. 2에 나타내었다. 생 버섯의 pH는 5.8이었고 열수 침지와 과열 증기 처리 후 각각 6.41, 6.35로 증가하였다. 이런 결과가 나타난 것은 Fig. 3, 4에서 볼 수 있듯이 열처리 과정을 통해 유기산 함량이 감소하였기 때문으로 고려된다. 냉동 저장 0-12주까지 모든 시료

의 pH는 감소하였고 12-24주 동안에는 다시 증가하였다. 냉동 저장 12주차 때 BA, BV, SA 및 SV의 pH는 평균 5.8, 5.9, 6.2, 6.1이었으며 24주차 때 BA와 BV의 pH는 평균 6.2, SA와 SV의 pH는 평균 6.5이었다. 모든 기간 동안 과열 증기 처리한 시료의 pH가 열수 침지한 시료의 pH보다 높았으며, 냉동 저장 12주 동안에 BA를 제외한 모든 시료에서는 저장 온도가 낮을수록 pH가 낮았다. 저장 기간에 따른 pH를 보면 BA에서는 저장 온도가 낮을수록 pH가 안정적이고, 그 외의 시료에서는 저장 온도가 높을수록 pH 변화가 적은 것을 확인할 수 있다.

Jeong 등(25)은 아가리쿠스(*Agaricus blazei* Murill) 버섯을 저온 처리한 후 전해 산화수에 1분간 침지시키고 개별 포장하여 저장 기간에 따라 pH를 측정하였는데 저장 기간이 경과함에 따라 pH가 증가하였다가 감소하고 다시 증가하는 경향을 보이며 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. Ono와 Nakabayashi(34)은 수확 후 작물의 비효소적 갈변반응에서 생성되는 카보닐화합물의 대사 작용과 저장 및 숙성기간 중 성분이 변화함에 따라 생성되는 유기산에 의하여 pH 저하가 발생하는 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서 냉동 저장 중 pH가 감소한 이유는 갈변반응에 관여하는 물질의 작용에 의해 생성된 유기산 때문으로 고려되는 반면, pH가 증가하는 현상은 과체류의 경우 호흡 작용에 의한 유기산 감소가 주된 원인이다(35). 특히, 버섯은 유리 아미노산의 함량 변화가 크기 때문에 저장 중 pH의 변화가 큰 것이라고 생각된다(36).

### 유기산 함량

열수 침지한 버섯의 유기산 함량은 Fig. 3, 과열 증기 처리한 버섯의 유기산 함량은 Fig. 4에 나타냈다. 생 버섯의 말산 함량

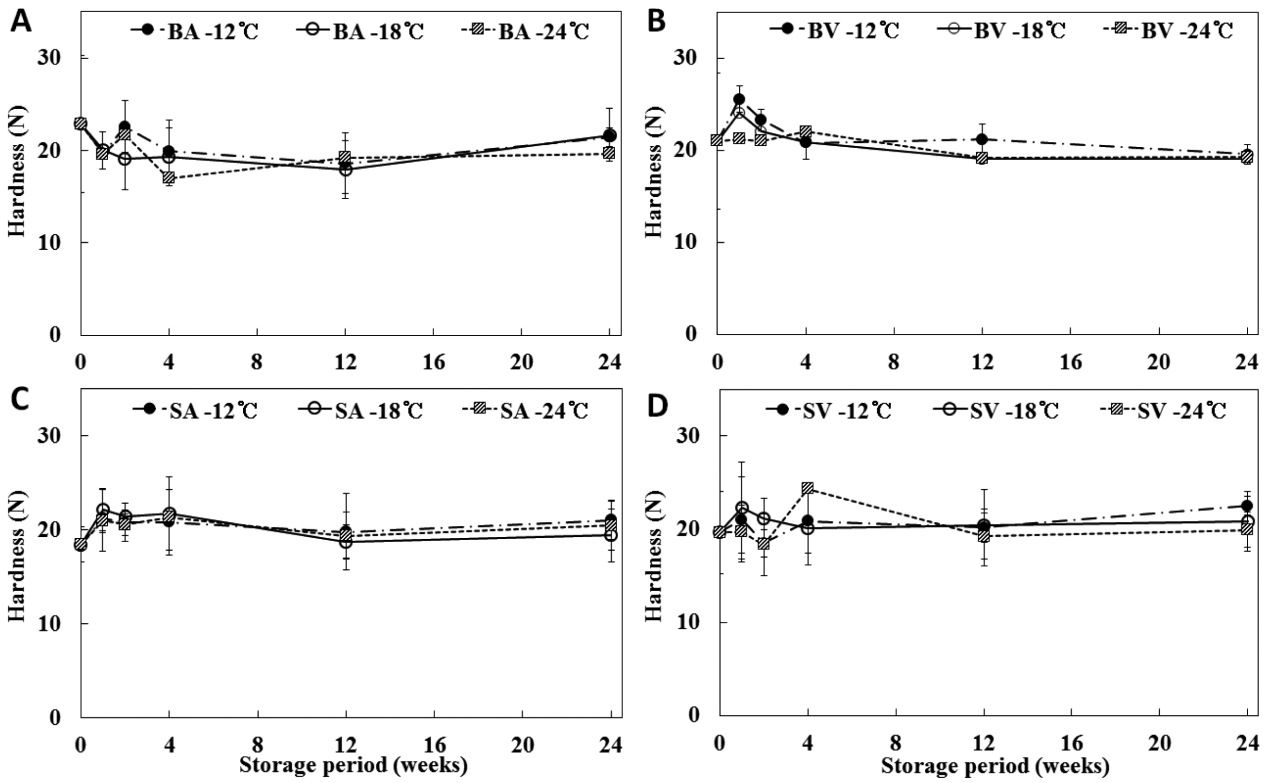


Fig. 2. The hardness changes of shiitake mushrooms depending on the freezing storage period and storage temperature. A, Boiling water immersion treated and air-containing packaged mushrooms; B, Boiling water immersion treated and vacuum packaged mushrooms; C, Superheated steam treated air-containing packaged mushrooms; D, Superheated steam treated and vacuum packaged mushrooms; -12, -18 and -24°C were represented storage temperature. The hardness of raw mushrooms,  $32.1 \pm 4.6$  N; Data were represented as the mean values ( $n > 5$ ).

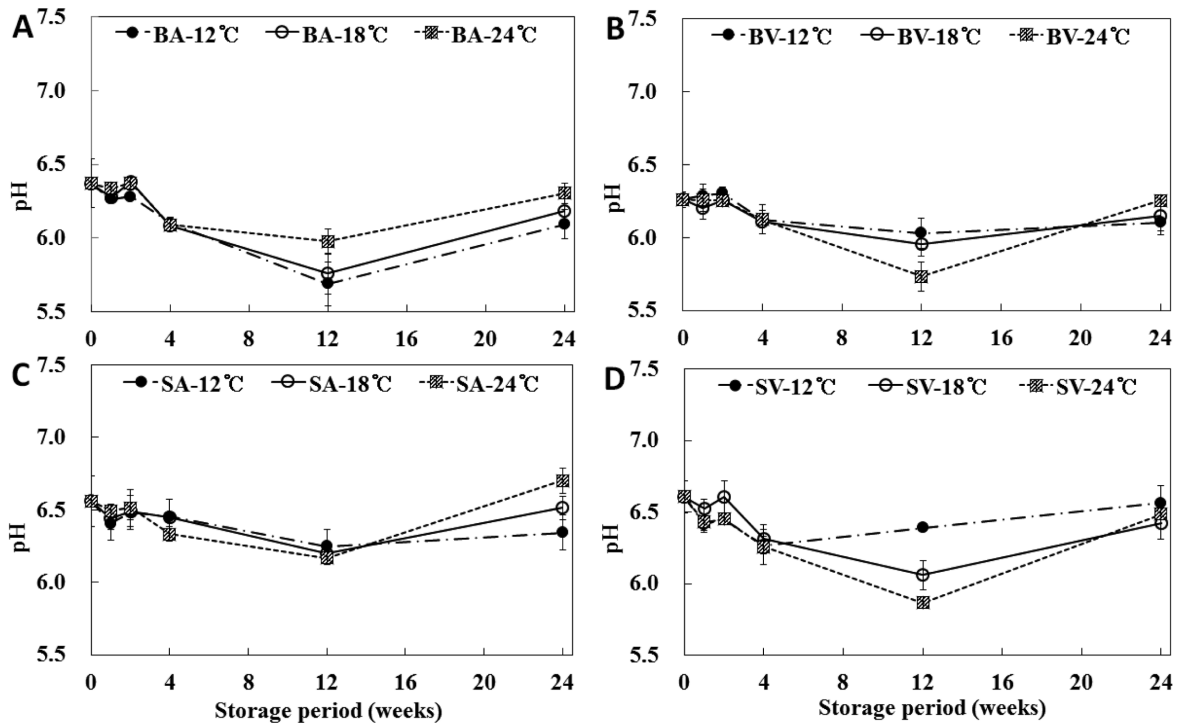
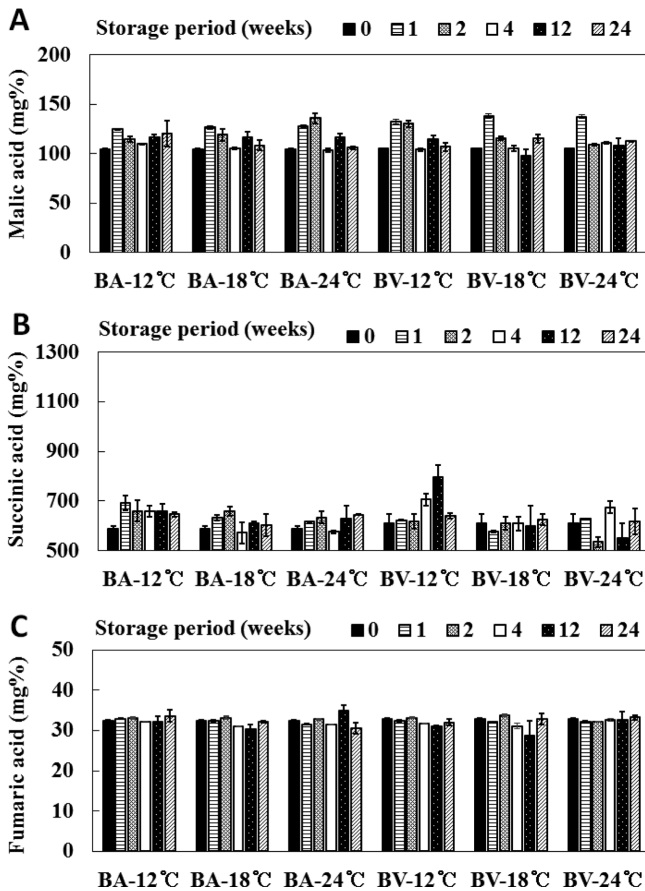


Fig. 3. The pH changes of shiitake mushrooms depending on the freezing storage period and storage temperature. A, Boiling water immersion treated and air-containing packaged mushrooms; B, Boiling water immersion treated and vacuum packaged mushrooms; C, Superheated steam treated air-containing packaged mushrooms; D, Superheated steam treated and vacuum packaged mushrooms; -12, -18 and -24°C were represented storage temperature. The pH of raw mushrooms, 5.80; Data were represented as the mean values ( $n > 5$ ).

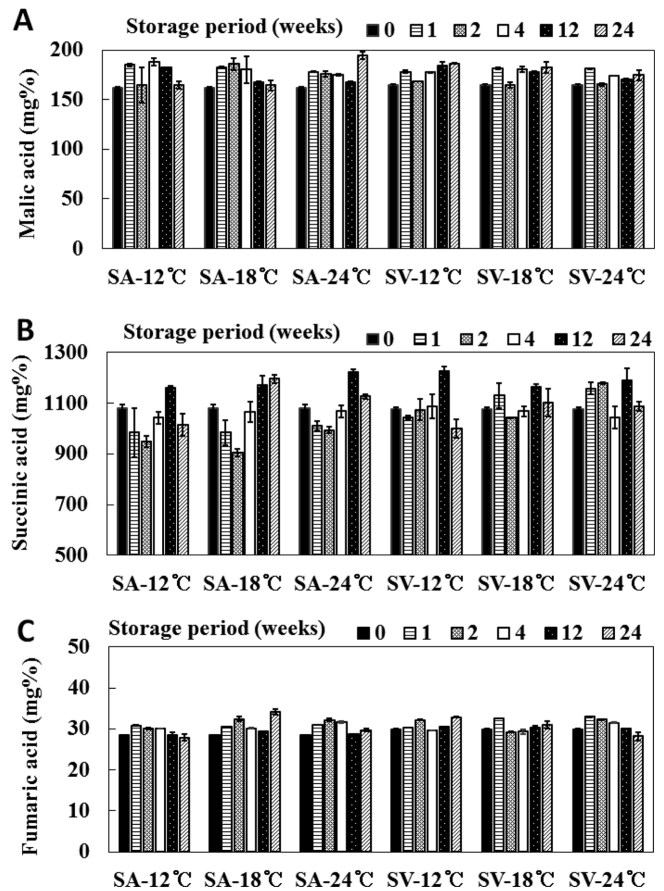


**Fig. 4.** The changes in the organic acids contents of the boiling water treated shiitake mushroom depending on the freezing storage period and storage temperature. A, Malic acid contents; B, Malic acid contents; C, Succinic acid contents; -12, -18 and -24°C were represented storage temperature. Malic acid contents of raw mushrooms, 169 mg%; succinic acid contents of raw mushrooms, 1,175 mg%; Fumaric acid contents of raw mushrooms, 169 mg%; Data were represented as the mean values ( $n>5$ ).

은 169 mg%이었으며 열수 침지 및 과열 증기 처리한 버섯의 말산 함량은 각각 108, 148 mg%였다. 냉동 저장 1주차에서 BA와 BV의 말산 평균 함량은 각각 126, 136 mg%으로 저장 기간 중 가장 높았으며 그 이후에 점차적으로 감소하였다. 냉동 저장 24주차에서 BA와 BV의 함량은 112 mg%, SA와 SV의 함량은 174, 181 mg%를 나타냄으로써 과열 증기 처리한 버섯의 말산 함량이 열수 침지한 버섯보다 60 mg% 이상 높았다. 또한, 냉·해동을 거친 시료의 말산 함량보다 열처리 과정만 거친 시료의 말산 함량이 작았다.

생 버섯의 석신산 함량은 1,175 mg%이었으며 열수 침지한 버섯과 과열 증기 처리한 버섯의 석신산 함량은 각각 562, 1058 mg%였다. 냉동 저장 24주차에서 BA와 BV의 석신산 함량은 626와 625 mg%였고 SA와 SV의 함량은 각각 1,063, 1,102 mg%를 나타냄으로써 과열 증기 처리한 버섯의 석신산 함량이 열수 침지한 버섯의 석신산 함량보다 500 mg% 정도 높았다. 말산과 석신산의 함량은 포장 방법과 저장 기간에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

푸마르산의 함량을 분석한 결과 생 버섯의 함량이 35 mg%이었으나 다양한 처리구 간의 유의적인 함량 차이가 나타나지 않았다( $p=0.062$ ).

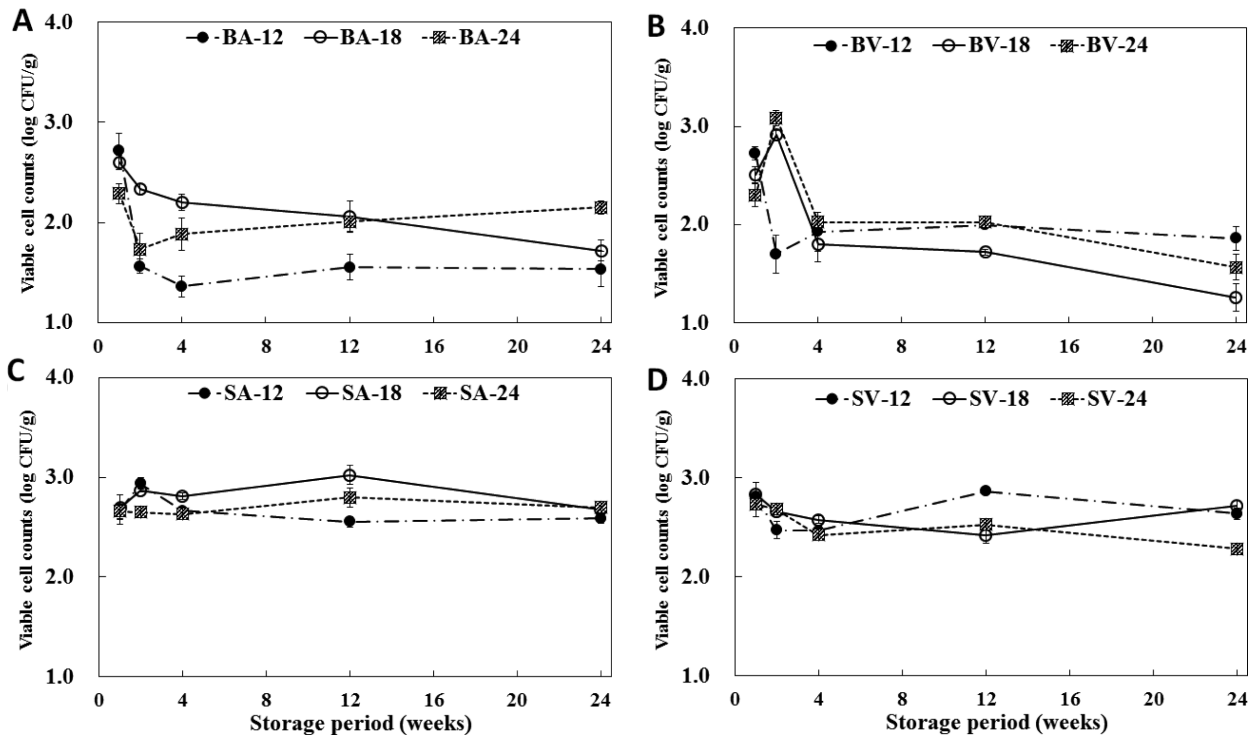


**Fig. 5.** The changes in the organic acid contents of the superheated steam treated shiitake mushroom depending on the freezing storage period and storage temperature. A, Malic acid contents; B, Malic acid contents; C, Succinic acid contents; -12, -18 and -24°C were represented storage temperature. Malic acid contents of raw mushrooms, 169 mg%; succinic acid contents of raw mushrooms, 1,175 mg%; Fumaric acid contents of raw mushrooms, 169 mg%; Data were represented as the mean values ( $n>5$ ).

Jang 등(16)의 연구에서는 양파를 열수 침지시킨 후 IQF 과정을 거쳐 냉동 저장 기간에 따라 경도를 측정 하였는데 열수 침지 후 유기산의 함량은 유의적으로 감소했다고 보고 하였으며 본 연구와 같은 결과를 나타내었다. 여러 연구에서 데치기 과정 중에 유기산이 휘발되거나 용출되어 함량이 감소한다고 보고하고 있으며 본 연구에서 열수 침지한 시료의 유기산 함량이 적은 이유도 같은 현상때문으로 판단된다(37,38). 한편, 본 연구에서 냉·해동 후 유기산의 함량이 증가한 원인은 시료를 냉·해동 과정에서 수분의 감소가 발생하기 때문에 상대적으로 유기산 함량이 증가하는 것이라고 생각된다(16). 그리고 말산과 석신산의 함량이 과열 증기 처리한 버섯에서 더 높은 원인은 과열 증기 처리법이 열수 침지법보다 유기산의 휘발과 용출이 적고 냉·해동시 수분의 감소가 크기 때문인 것으로 판단된다.

**미생물 측정**

각 처리구의 미생물학적 변화를 측정한 결과(Fig. 4) 생 버섯의 일반 세균 수는 4.5 log CFU/g이었고 열수 침지와 과열 증기 처리를 한 후 각각 1.4, 2.1 log CFU/g으로 감소하였다. 과열 증기 처리한 버섯은 냉동 저장 기간 동안 2.4-3.0 log CFU/g 수준을 유지한 반면, 열수 침지한 버섯의 일반 세균 수는 냉동 저장



**Fig. 6.** The microbial changes of shiitake mushrooms depending on the freezing storage period and storage temperature. A, Boiling water immersion treated and air-containing packaged mushrooms; B, Boiling water immersion treated and vacuum packaged mushrooms; C, Superheated steam treated air-containing packaged mushrooms; D, Superheated steam treated and vacuum packaged mushrooms; -12, -18 and -24°C were represented storage temperature. Total aerobic bacteria of raw mushrooms, 4.50 log CFU/g. Data were represented as the mean values ( $n>5$ ).

기간 14주 동안 급격히 감소하였으며 4-24주 동안에는 점차적으로 감소하였다. 냉동 저장 1주차 때 BA, BV, SA, SV의 일반 세균 수는 각각 2.5, 2.5, 2.7, 2.8 log CFU/g이었으며 24주차 때에는 각각 1.8, 1.6, 2.7, 2.6 log CFU/g이었다. 냉동 저장 0-1주 기간을 제외하면 과열 증기 처리한 시료의 일반 세균 수가 열수 침지한 시료보다 많았다. 또한, 4주 이상 냉동 저장한 버섯의 일반 세균 수는 점차 감소하였으며 이러한 현상의 원인은 버섯을 -12°C 이하에서 저장하였기 때문에 일반세균이 증식할 수 없었던 것이라 생각된다. 4-24주 저장 기간에서 함기 포장한 시료의 일반 세균 수가 진공 포장한 시료의 일반 세균 수보다 많았으나 저장 온도에 따른 일정한 경향성은 나타나지 않았다.

일반적으로 비가열 조리 음식의 일반 세균 수 적정 기준은 6 log CFU/g 이하이며, 식품에서 일반 세균 수가 6-7 log CFU/g일 때부터 초기 부패가 시작된다고 알려져 있다(39). Ragaert 등(40)의 연구에서는 대부분의 신선 식품들이 7-8 log CFU/g 이상일 때 상품 가치가 크게 하락하고, 소비자 기호도에서도 크게 떨어진다고 보고하였다. 본 연구에서 모든 처리구의 일반 세균 수가 4 log CFU/g 미만이었으므로 안전하다고 할 수 있으나 냉동 저장 과정에서 호냉성 균이 증식했을 가능성이 있기 때문에 식품 안전성 측면에서 진공 포장이 함기 포장보다 안전적이라 생각된다.

## 요 약

본 연구는 표고의 열처리 방법과 냉동 저장 기간에 따른 이화학적 및 영양학적 특성을 분석하였다. 열수 침지 및 과열 증기로 열처리된 시료를 IQF 처리한 후 함기 및 진공 포장으로 24주 동안 서로 다른 온도에서 냉동 저장하면서 시간에 따른 이화학적

특성을 분석하였다. 색도 분석에서는 열수 침지법이 색변화를 감소시켰고, 함기 포장한 시료와 낮은 온도에서 저장한 시료일수록 밝은 색을 유지하였다. 경도와 pH 측정에서는 과열 증기법이 열수 침지법보다 버섯 특성의 변화가 적게 발생하였으며, 영양학적 측면에서도 과열 증기법이 효율적인 방법이라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청의 연구비 지원(과제번호 PJ009440)에 의해 수행되었으며, 연구 과정에 도움을 주신 (주)다손과 (주)천일식품에 감사드립니다.

## References

- Kim HY, Oh SW, Chung SY, Choi SH, Lee JW, Yang JY, Seo EC, Kim YH, Park HO, Yang CY, Ha SC, Shin IS. An investigation of microbial contamination of ready-to-eat products in Seoul, Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 39-44 (2011)
- Hwang TY, Moon KD. Technical trend & prospect of minimal processing fruits & vegetables industry. *Food Sci. Ind.* 38: 120-130 (2005)
- Kim HY, Ryu SH. Changes of physical and sensory quality in home-delivered meals for elderly as affected by packaging methods and storage conditions 3. *Korean J. Food Cook. Sci.* 19: 347-389 (2003)
- Chung LN, Lee HY, Yang IS. What's the consideration attribute on purchasing the HMR? *J. Korean Soc. Food Cult.* 22: 315-322 (2007)
- Kim YG, Yoo JL. The change and challenge of foodservice industry in the age of 5-day work. *J. Foodserv. Manag. Soc. Korea* 7: 175-192 (2004)



6. Kwon TS, Lee YN, Choi W. HMR selection motive and behaviorism by lifestyle type. *J. Hotel Resort* 4: 395-408 (2005)
7. Na JK, Kim GA. A study on the classification of home meal replacement. *Int. J. Tour. Res. Hosp. Rea.* 26: 233-248 (2012)
8. Hwang YS. Postharvest management technology of shiitake mushroom. *Korean J. Hortic. Sci.* 7: 53-60 (2001)
9. Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem.* 99: 381-387 (2006)
10. Jeong SS. Effect of UV-B irradiation on the quality and antioxidative activity of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). MS thesis, Sangmyung University, Seoul, Korea (2008)
11. Kim MJ, Chu WM, Park EJ. Antioxidant and antigenotoxic effects of shiitake mushrooms affected by different drying methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1041-1048 (2012)
12. Bak WC, Park YA, Lee BH, Ka KH. Characteristics of newly bred *Lentinula edodes* strain 'Soohyangko'. *J. Mushroom Sci. Prod.* 11: 9-14 (2013)
13. Lee KS, Lee JC, Han KH, Hwang YS, Song J. Optimum conditions for keeping the fresh quality of shiitake (*Lentinus edodes*) by low-temperature and frozed storage. *Korean J. Food Preserv.* 4: 115-122 (1997)
14. Lee SH, Hwang IG, Lee YR, Joung EM, Jeong HS, Lee HB. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of heated radish (*Raphanus sativus* L.) extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 490-495 (2009)
15. Yun HS. Changes in nutritional composition of *Flammulina velutipes* during storage. MS thesis, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea (2011)
16. Jang MY, Jo YJ, Hwang IG, Yoo SM, Choi MJ, Min SG. Physicochemical characterization and changes in nutritional composition of onions depending on type of freezing process. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1055-1061 (2014)
17. Cheigh CI, Lee JH, Chung MS. Quality characteristics of vegetables by different steam treatments. *Korean J. Food Nutr.* 24: 464-470 (2011)
18. Park HJ, Kim KY, Jeon HS. Quality changes of jujube wine by hydrostatic pressure and freezing treatment during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 89-97 (2009)
19. Kim YH, Yang SY, Lee MH. The effect of freezing rates on the physico-chemical changes of chicken meat during frozen storage at -20°C. *Korean J. Poult. Sci.* 14: 145-151 (1987)
20. Ko KB. Effect of magnetic fields freezing on pork quality traits. MS Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea (2011)
21. Lee SE, Kim DM, Kim KH. Changes in quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during modified atmosphere (MA) storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 20: 133-138 (1991)
22. Han DS, Ahn BH, Shin HK. Modified atmosphere storage for extending shelf life of oyster mushroom and shiitake. *Korean J. Food Sci. Technol.* 24: 376-381 (1992)
23. Gormley TR, ÓSullivan L. Use of a simple reflectometer to test mushroom quality. *Food Eng.* 34: 344-346 (1975)
24. Han YS, Park JY. The microbiological and sensorial properties of frozen *bibimbap namul* during storage. *Korean J. Food Cook. Sci.* 17: 149-155 (2001)
25. Jeong JW, Park KJ, Kim JH, Lee HJ. Quality changes of mushroom (*Agaricus blazei* Murill) during storage by cooled electrolyzed acid-water. *Korean J. Food Preserv.* 7: 403-408 (2008)
26. Burton KS, Love ME, Smith JF. Biochemical changes associated with mushroom quality in *Agaricus* spp. *Enzyme Microb. Tech.* 15: 736-741 (1993)
27. Martinez MV, Whitaker JR. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends Food Sci. Tech.* 6: 195-200 (1995)
28. Cho SH, Lee DS, Lee SD, Kim NG, Ryu JS. Modified atmosphere Packaging for keeping freshness of enoki mushroom (*Flammulina velutipes*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 27: 1137-1142 (1998)
29. Lee HO, Lee YJ, Kim JY, Kwon KH, Kim BS. Changes in the quality of frozen vegetables during storage. *Korean J. Food Preserv.* 20: 296-303 (2013)
30. Choi MH, Kim GH. Quality changes in oyster mushrooms during modified atmosphere storage as affected by temperatures and packaging materials. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 1079-1085 (2003)
31. Xing Z, Wang Y, Feng Z, Tan Q. Effect of different packaging films on postharvest quality and selected enzyme activities of *Hypsizygus marmoreus* mushrooms. *J. Agr. Food Chem.* 56: 11838-11844 (2008)
32. Cliffe-Byrnes V, O' Beirne D. Effects of gas atmosphere and temperature on the respiration rates of whole and sliced mushrooms (*Agaricus bisporus*)-implications for film permeability in modified atmosphere packages. *J. Food Sci.* 72: E197-E204 (2007)
33. Jun JH, Ko BS, Kim JH, Nam SP, Um YR, Hong SM, Hwang HS, Park SM. The comparison of growth and quality characteristics during the storage of *Pleurotus ostreatus* cultivated in the remnants of medicinal herb extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 211-216 (2009)
34. Ono T, Nakabayashi T. Effect of neocarzinostatin on the nucleus, kinetoplast and microtubules of *Trypanosoma gambiense* and *Trypanosoma evansi*. *Biken J.* 21: 161-172 (1978)
35. Park MH, Kim KC, Kim JS. Changes in the physicochemical properties of ginseng by roasting. *J. Ginseng Res.* 17: 228-231 (1993)
36. Nahm GB, Kim BS, Kim OW, Jeong JW, Kim DC. Influence of vacuum cooling on browning, PPO activity and free amino acid of shiitake mushroom. *J. Korean Soc. Appl. Bi.* 38: 345-352 (1995)
37. Sun SH, Kim SJ, Kim GC, Kim HR, Yoon KS. Changes in quality characteristics of fresh-cut produce during refrigerated storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 495-503 (2011)
38. Kim MH, Jang HL, Yoon KY. Changes in physicochemical properties of *Haetsum* vegetables by blanching. *J. Korean Soc. Food Sic. Nutr.* 41: 647-654 (2012)
39. Solberg M, Buckalew JJ, Chen CM, Schaffner DW, O'Neil K, McDowell J, Post LS, Boderck M. Microbiological safety assurance system for food service facilities. *Food Technol.* 44: 68-73 (1990)
40. Ragaert P, Devlieghere F, Debevere J. Role of microbiological and physiological spoilage mechanisms during storage of minimally processed vegetables. *Postharvst Biol. Tec.* 44: 185-194 (2007)