

## 강제송풍식 냉동방식과 전자레인지 해동 조건에 따른 당근의 이화학적 특성 및 영양성분의 변화

정경훈<sup>1</sup> · 조연지<sup>1</sup> · 황인국<sup>2</sup> · 유선미<sup>2</sup> · 최미정<sup>3</sup> · 민상기<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 바이오산업공학과, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부, <sup>3</sup>건국대학교 생명자원식품공학과

### Effects of Air Blast Freezing and Microwave Thawing on Physicochemical and Nutritional Properties of Carrots

Kyung-Hun Jung<sup>1</sup>, Yeon-Ji Jo<sup>1</sup>, In-Guk Hwang<sup>2</sup>, Seon-Mi Yoo<sup>2</sup>, Mi-Jung Choi<sup>3</sup>, and Sang-Gi Min<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Bioindustrial Technologies, Konkuk University

<sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

<sup>3</sup>Department of Bioresource and Food Sciences, Konkuk University

#### Abstract

This study was carried out to observe the effects of various combinations of air blast freezing and microwave thawing on the physicochemical and nutritional properties of carrots. Carrots were cut into 0.5×0.5×5 cm cubes and then frozen at -40°C at various freezing rates (0.2, 0.4 or 1.6°C/min) until a -12°C central temperature in the carrot was reached by using an air blast freezer. Then, the frozen carrots were thawed by using natural air convection and microwaves at 200, 400, and 800 watts. After the thawing treatment, physicochemical properties of the carrots such as pH, thawing loss, hardness, color, morphological images and changes in nutritional compositions were also analyzed. In physicochemical characterization, thawing loss and hardness decreased with increasing the freezing rate. In morphological observation, ice crystal pore sizes in frozen carrots were 0.7, 0.3 and 0.1 mm at 0.2, 0.4 and 1.6°C/min, respectively. They significantly decreased as the freezing rate increased. For the nutritional characterizations, the vitamin C and organic acid contents did not differ depending on the freezing rate. The sucrose content was the highest at the 0.2°C/min freezing rate. Therefore, we suggest that a faster freezing rate is effective to maintain frozen food quality by minimizing tissue damage and changes in physical properties.

**Key words:** Individual quick freezing, Microwave thawing, Physicochemical, Nutritional

## 서 론

점차 서구화되고 다양해지는 식생활의 변화에 따라 고품질 즉석식품의 소비가 증가하고 있다. 이러한 소비문화의 변화와 더불어 한식의 세계화를 위한 상품개발과 다양한 야채류와 육류와 같은 부재료들의 저장 및 유통 방안의 개선에 대한 방안도 모색되고 있다. 또한 이러한 부재료들의 상품개발은 국내 농산품들의 수출을 촉진시킬 수 있을 것이라 전망된다(Lee et al., 2003). 한식에는 당근, 양파, 버섯 시금치 등의 다양한 채소류들이 이용되고 있으며, 이 중 당근은 황색을 띠는 근채류로 설탕과 포도당의 높은 함

량으로 인해 감미가 좋다. 또한 비타민 A 및 C와 기타 영양성분들의 함량이 높아 항산화 효과와 항암작용 등에 효과적이라고 알려져 꾸준한 수요가 이루어지고 있다(Lim & Jwa, 1996). 하지만 당근을 비롯한 대부분의 채소들은 짧은 유통기간과 가공을 통한 대용량 유통이 어려워 이에 대한 연구가 필요한 실정이며(Kim & Rhim, 1997), 이러한 유통기간과 가공의 문제점들을 보완하고자 가장 안전한 방법 중 하나로 냉동저장이 이용되고 있다(Jeong et al., 1996). 냉동저장에 있어서도 냉동 속도 및 저장 온도에 따른 drip 발생 및 세포 구조의 손상 등의 조직연화나 영양성분의 손실로 인해 상품성을 잃게 되는 문제점이 계속되고 있다고 보고되고 있다(Jeong et al., 2003). 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 동결과정에서 냉각 속도를 빠르게 하여 작은 빙결정이 생성되게 하는 많은 연구가 이루어졌으며, 이 중 하나의 방법으로 강제송풍식 냉동법이 연구되고 있다. 이 냉동방법은 저온의 공기를 냉동실에서 강제순환시키는 방법으로서 공기의 대류 속도를 조절하여 각각

\*Corresponding author: Sang-Gi Min, Department of Bioindustrial Technologies, College of Animal Bioscience, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea  
Tel: +82-2-450-3680; Fax: +82-2-455-1044  
E-mail: minsg@konkuk.ac.kr  
Received May 7, 2014; revised July 25, 2014; accepted August 18, 2014

의 식품에 적합한 냉동 조건을 갖출 수 있다(Ku, 2009). 냉동 조건의 개선뿐만 아니라 최적의 냉해동 조건을 확립하게 되면 식품의 가공 과정중의 원료 손실이나 상품의 손실 등을 감소시키며 최적의 상품 또한 얻을 수 있을 것으로 기대되고 있다(Kwon et al., 2006). 본 연구에서는 강제송풍식 냉동고(air blast freezer)를 이용하여 동결 속도를 다르게 하고 전자레인지의 출력을 다양하게 조절하였다. 이에 따른 냉해동으로 인한 당근의 pH, 색도, 강도, 해동감량 및 조직관찰 등의 이화학적 특성 및 일반성분, 비타민 C, 유리당 및 유기산과 같은 영양성분의 변화를 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 시약

본 실험에서 사용한 당근은 대형 유통마트에서 구입하여 사용하였다. 구입한 당근은 즉시 흐르는 물에 깨끗하게 세척하여 물기를 없앤 다음, 두께 0.5 mm, 길이 50 mm의 크기로 세절하여 준비하였다. 세절된 당근(500 g)은 100°C 끓는 물(2.5 L)에서 1분간 데치기(blanching)한 후, 4°C 찬 물에서 냉각 및 탈수하여 냉동처리용 시료로 사용하였다. 영양성분 분석을 위한 시료는 동결건조 후 분쇄하여 -18°C에서 보관하면서 영양성분 분석용 시료로 사용하였다. Ascorbic acid, fructose, glucose, sucrose, oxalic acid, malic acid, succinic acid, fumaric acid 표준품은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, 그 밖의 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

### 냉동 및 해동

냉동기술은 강제송풍냉동기법을 이용하였으며, 급속강제 송풍식냉동고(Air blast freezer, SEOJIN, Korea)는 서진프리저에서 공급받아 송풍조절장치를 장착하여 특수 제작하였다. 냉동방식 및 냉동속도는 자연대류식, 저속 및 고속으로 나누어 진행하였으며, 시료 중심부에 온도센서를 장착하여 당근의 중심부 온도가 -12°C 가 될 때까지 냉동을 진행하였다. 자연대류식 냉동방식은 냉동고의 송풍조절장치를 OFF 상태로 둔 채 당근을 냉동하였으며, 저속 및 고속에 따른 냉동 방식은 냉동고의 송풍조절장치를 ON 상태를 유지한 채 송풍세기를 강과 약으로 조절하여 당근을 냉동하였다. 이 때, 당근의 중심온도가 -12°C 가 될 때까지의 속도를 분당 감소되는 온도(°C/min)로 표현하였다. 냉동된 시료는 250 g씩 일정 용기에 분배한 후 해동이 진행되었다. 해동은 전자레인지(KR-S340TC, DAEWOO, Korea)를 사용하였으며 실온 및 200, 400, 800 W 출력으로 해동하였다. 해동 시 시료의 중심부에 광센서(Fiber Optic Temperature Sensor, FISO Technologies Inc., Canada)를 장착하여 시료의 중심부 온도가 4°C가 될 때까지 해동하였다. 이화학적 특성의 비교시 대조구는 1 분 데친 시료이며, 영양학적분석은

생시료를 대조구로 설정하였다.

### pH 측정

당근 5 g을 증류수 45 mL에 넣고 호모믹서(Handy-blender, CNHR26, BSH Hisini aparati d.o.o., Nazarje, Slovenia)를 이용하여 2분간 갈아준 용액을 pH meter (S220 SevenCompact™ pH/Ion, METTLER TOLEDO, Switzerland)로 3 회 반복 측정하였다.

### 색도 측정

색도는 Chroma meter(CR-400, KONICA MINOLTA, Germany)를 사용하여 명도(lightness)를 나타내는 CIE L\*-값, 적색도(redness)를 나타내는 CIE a\*-값 및 황색도(yellowness)를 나타내는 CIE b\*-값을 3 회 반복 측정하였다. 이때 표준색은 CIE L\*-값이 94.49, CIE a\*-값이 -0.66, CIE b\*-값이 3.32인 calibration plate를 표준으로 사용하였다. 색도 변화는 냉동 전 당근과 냉해동 후 당근의 색도 차를 다음과 같은 공식에 대입하여 값을 산출하였다.

$$\text{Total color difference}(\Delta E) = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

### 해동감량 측정

해동감량을 측정하기 위하여 데치기한 당근의 무게(W<sub>1</sub>)를 측정하였고, 냉·해동 후 당근의 수분을 충분히 제거하여 무게(W<sub>2</sub>)를 측정하였다. 측정된 값을 다음과 같은 공식에 대입하여 값을 산출하였으며, 각 조건에 따른 시료는 3 회 반복 측정하였다.

$$\text{Thawing loss}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W<sub>1</sub> : 블랜칭한 당근무게(g)

W<sub>2</sub> : 냉해동 후 당근무게(g)

### 강도 측정

당근의 강도 변화는 Texture analyzer(CT3-1000, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., MA, USA)를 이용하여 측정하였다. Compression type에서 Target value는 5.0 mm이었으며, Trigger load는 50 g, Test speed는 2.5 mm/s로 설정하였다. Plain vee probe와 TA-SBA fixture를 사용하였다.

### 전자현미경 관찰(Scanning electron microscope, SEM)

냉동과정 동안의 당근의 조직을 관찰하기 위하여, 각 냉동과정을 처리한 후 당근을 동결건조 한 후 gold coating한 후 Scanning electron microscope(SEM, S-3000N, HITACHI, Japan)을 이용하여 기공의 크기를 관찰하였다. 모든 처리구는 35 배 확대하여 8.0 kV의 전압에서 촬영하였다.

### 일반성분 분석

시료의 일반성분 분석은 AOAC법(AOAC, 1990)에 준하여 측정하였다. 수분함량은 105°C 상압가열법, 조단백질 함량은 semi-micro Kjeldahl법, 조지방 함량은 Soxhlet법, 조회분 함량은 550°C 직접 회화법을 사용하여 측정하였다.

### 비타민 C 함량 측정

비타민 C의 함량은 Hwang 등(2012)의 방법을 이용하여 측정하였다. 건조된 시료 1.00±0.05 g을 정확히 칭량하여 5% MPA용액 50 mL를 가하고 homogenizer(Polytron RT 2500 E, Kinematica AG, Luzern, Switzerland)로 2분간 균질화 시킨 후 Whatman No. 2 여과지(Whatman, Maidstone, UK)로 감압 여과하여 50 mL로 정용하였다. 추출물은 0.2 µm nylon syringe filter(Whatman, Clifton, NJ, USA)로 여과하여 Agilent Technologies 1200 series HPLC system (Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. HPLC 분석조건은 column으로 Mightysil RP-18 GP column(4.6×250 mm, 5 µm, Kanto Chemical, Tokyo, Japan)을 사용하였고, 유속은 0.6 mL/min 이었으며 이동상은 0.1% trifluoroacetic acid를 사용하였다. 시료의 주입량은 20 µL 이었으며, UV detector를 사용하여 254 nm에서 비타민 C를 분석하였다.

### 유리당 함량 측정

유리당 함량은 건조된 시료 1.00±0.05 g에 증류수 50 mL을 가하여 200 rpm, 3시간 진탕 추출한 후 Whatman No. 2 여과지로 감압 여과하여 50 mL로 정용하였다. 추출물은 0.2 µm nylon syringe filter로 여과하여 Agilent Technologies 1200 series HPLC system(Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. HPLC 분석조건은 column으로 Shodex Asahipak NH2P-5-4E(5 µm, 4.6×250 mm, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 검출기는 ELSD를 사용하였으며, 이동상은 70% acetonitrile를 1.2 mL/min 속도로 흘려주었고 10 µL을 주입하여 분석하였다(Hwang et al., 2011). 표준물질로는 fructose, glucose 및 sucrose를 사용하였다.

### 유기산 함량 측정

유기산 함량은 Kim 등(2012)의 방법을 변형하여 측정하였다. 건조된 시료 1.00±0.05 g에 증류수 50 mL을 가하여 200 rpm, 3시간 진탕 추출한 후 Whatman No. 2 여과지(Whatman, Maidstone, UK)로 여과하여 50 mL로 정용하였다. 추출물은 0.2 µm nylon syringe filter로 여과하여 Agilent Technologies 1200 series HPLC system(Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. 칼럼은 aminex HPX-87H ion exclusion column(7.8×300 mm; Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 사용하였고, 검출기는 UV detector(Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)로 215 nm에서 검출하였으며, 이동상은 0.008 N sulphuric acid 용액을 0.6 mL/min 유속으로 흘려주

었고 20 µL을 주입하여 분석하였다. 표준물질로 oxalic acid, malic acid, succinic acid 및 fumaric acid를 사용하였다.

### 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리간의 차이 유무를 one-way ANOVA(Analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여  $p < 0.05$  수준에서 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 냉해동 처리에 따른 이화학적 품질 특성

당근의 냉동 및 해동에 따른 온도변화 그래프는 Fig. 1과 같다. 당근은 자연대류식, 저속, 고속의 순서로 각 0.2°C/min, 0.4°C/min 및 1.6°C/min의 냉동속도를 측정하였으며, 자연냉동(0.2°C/min)의 경우에는 약 58분 정도 냉동시간이 소요되었으며, 이와 달리 고속(1.6°C/min)냉동의 경우에는 9분만에 급격히 냉동이 이루어졌다. 또한 자연냉동(0.2°C/min)은 물이 얼음으로 변하는 상변이 구간이 약 40분 정도 소요되었으며, 저속, 고속 냉동일수록 상변이 구간히 급격히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1A).

Fig. 1B는 당근의 해동과정을 나타낸 그래프이다. 본 연

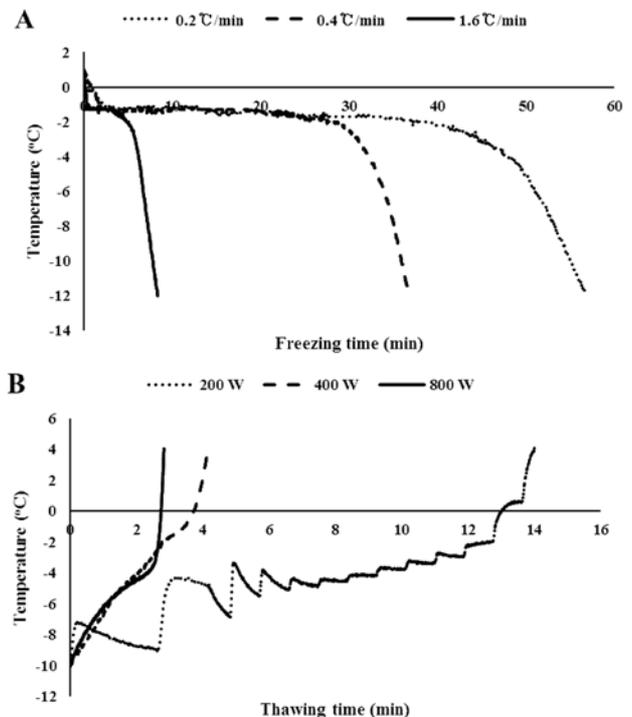
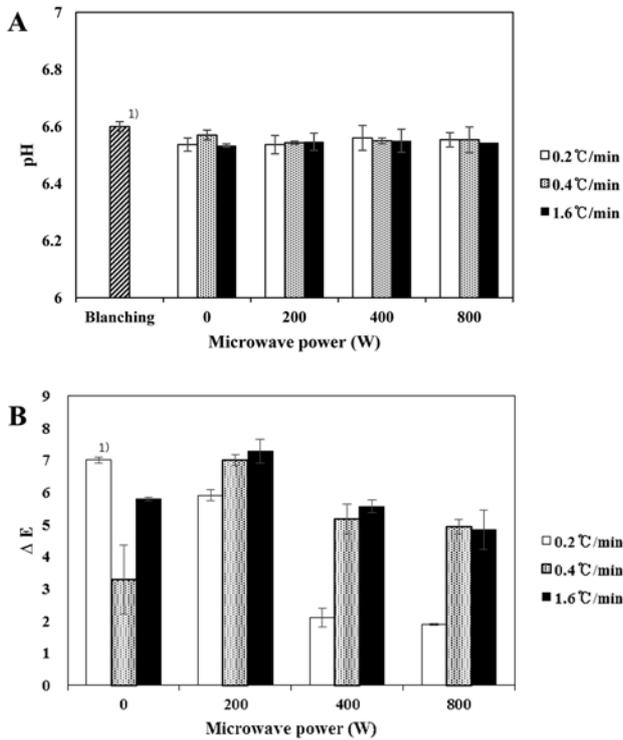


Fig. 1. Freezing (A) and thawing (B) curve according to freezing rates. Freezing was done to -12°C for all freezing condition. Thawing was done to 4°C for all thawing condition.



**Fig. 2.** Effect of air blast speed and microwave power on (A) pH and (B) total color difference ( $\Delta E$ ) of carrot. All samples were frozen until  $-12^{\circ}\text{C}$  and thawed until  $4^{\circ}\text{C}$ .

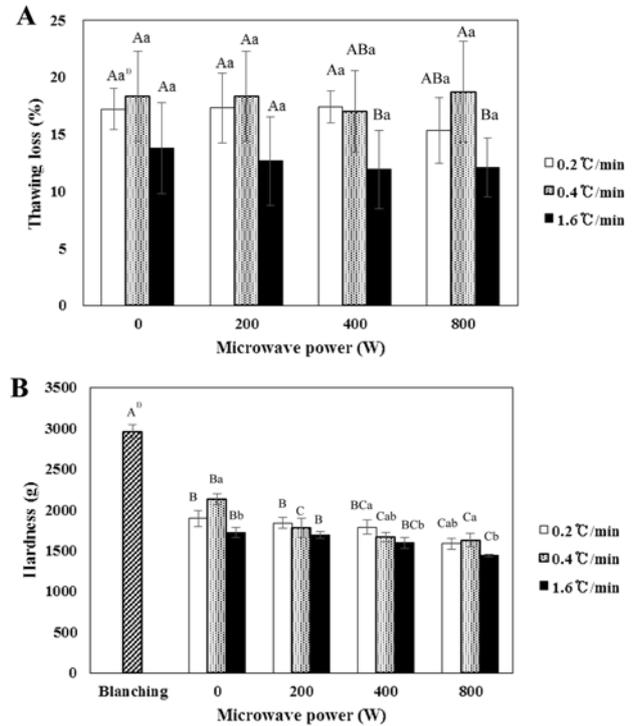
<sup>1)</sup> Each data was expressed as the mean $\pm$ SD of three separate experiments.

구에 사용된 해동기술은 앞서 말한 바와 같이 전자레인지 를 이용하였으며, 전자레인지의 출력세기는 200, 400, 800 W로 조절하여 사용하였다. 이 때, 당근은 고속(1.6°C/min)냉동조건에서 냉동된 당근을 이용해 측정한 결과이며, 당근의 해동은 전자레인지 출력속도가 증가할수록 빠르게 해동되는 경향을 볼 수 있었다. 전자레인지 출력속도가 200 W, 400, 800 W로 증가할수록 당근의 해동시간은 각 14 분, 3 분 50 초, 2 분 55 초로 나타났다. 또한,  $-10^{\circ}\text{C}$  부근 에서 시작된 해동은  $-4^{\circ}\text{C}$ 까지는 서서히 해동되었으나, 그 이상의 온도에서는 급격하게 과열되는 경향이 나타났다.

냉해동 후 당근의 pH는 Fig. 2(A)의 결과와 같으며, 데 치기 후 당근의 pH는 6.6을 나타내었으며 냉동속도 및 전 자레인지 출력에 따라 6.53-6.57 범위의 pH를 나타내었으 나 유의적인 차이는 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ).

데치기한 시료와 냉해동 후 시료의 색도를 total color difference의 지표로 나타내었다. 또한, 강제송풍 속도와 전 자레인지 출력세기를 조절하여 Fig. 2(B)에 나타내었다. 모 든 처리구에서 3-7 사이의 값을 가져 데치기 후 당근과의 색도차는 보였으나 처리구 간의 유의적인 차는 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ).

식품을 냉동 처리 시 생성되는 빙결정은 세포의 파괴, 세 포 내용물의 누출, 세포 보수력의 감소 등을 야기하여 해동



**Fig. 3.** Effect of air blast speed and microwave power on hardness of carrot. All samples were frozen until  $-12^{\circ}\text{C}$  and thawed until  $4^{\circ}\text{C}$ .

<sup>1)</sup> Each data was expressed as the mean $\pm$ SD of three separate experiments. Values with different superscripts in a column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test. <sup>A-C</sup> Means difference with freezing rates. <sup>a-b</sup> Mean difference with microwave power.

시 해동감량이 발생하게 된다. 해동감량은 식품의 물성과 관능적 특성에 부정적인 영향을 줄뿐만 아니라 수용성 영양성분의 함량을 감소시켜 냉동식품의 품질 평가 지표로 사용된다(Park et al., 2012; Xu et al., 2014). 당근의 해동 감량은 전자레인지 출력속도에 따른 유의적인 차이를 보이 지 않았다. 그러나 0.2 및 0.4°C/min의 속도로 냉동할 경우 약 17%, 1.6°C/min의 속도로 냉동할 경우 약 12%의 해동 감량을 나타내어 냉동속도가 빠를수록 감소하는 경향을 나 타내었다( $p < 0.05$ )(Fig. 3A). 이는 냉동속도가 빠를수록 당 근 내 생성되는 빙결정의 크기가 작고(Fig. 4), 세포의 손 상이 적어 해동감량이 감소하는 것으로 판단된다.

당근의 강도 측정 결과(Fig. 3B), 데치기 후 당근의 강도 는 약 2,958 g이며 냉해동 후 강도는 모든 처리구에서 데치 기 후 당근에 비해 약 1,000 g 이상 감소하는 결과를 나타 내었으며, 그 범위는 1,438~2,128 g이었다. 당근의 강도는 전자레인지 출력세기가 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며( $p < 0.05$ ), 특히 200, 400 W 해동 시에는 냉동속도가 빠를수록 강도가 감소하였지만 자연해동과 800 W 해동 시 저속냉동일 경우 가장 높은 강도를 나타내 었다.

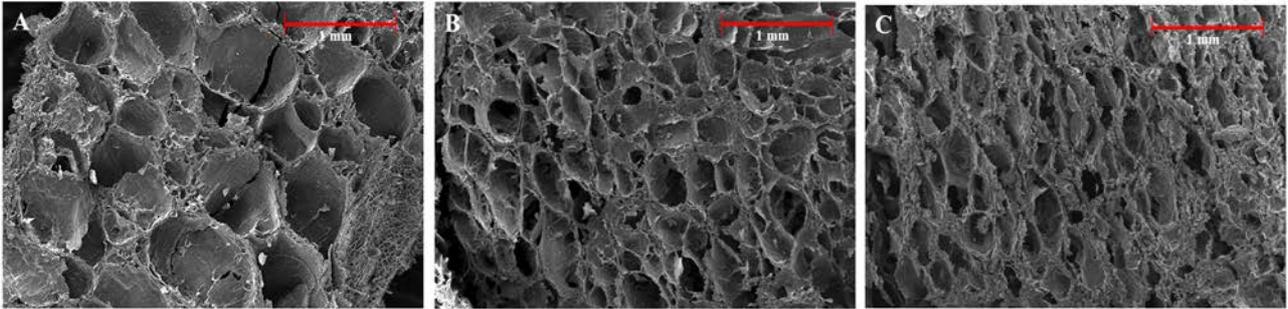


Fig. 4. Effect of air blast speed (A) 0.2°C/min, (B) 0.4°C/min and (C) 1.6°C/min on size of ice-crystal of frozen carrot by SEM. Images were magnified by a factor of 50. All samples were frozen until -12°C and thawed until 4°C and samples were thawed at 400 W.

당근의 냉동 속도에 따른 조직관찰은 Fig. 4와 같이 다공성 구조가 관찰되었으며, 식품 내 생성된 빙결정의 크기를 알 수 있었다. 당근의 기공 크기는 자연대류식 냉동(1.6°C/min), 저속 냉동(0.4°C/min), 고속 냉동(0.2°C/min) 순서로 확인하였으며, 기공의 크기는 각각 0.7 mm, 0.3 mm, 0.1 mm으로 측정되었다. 냉동속도에 따른 기공의 크기 변화는 냉동과정 동안 형성된 얼음결정이 승화하여 나타나는 것으로 판단되며, 빙결정은 빙점 형성대를 통과하는 속도가 빠를수록 작은 크기의 결정체가 형성된다고 알려져 있다(Haiyaing et al., 2007). 특히, 빙결정의 크기는 냉동속도 및 냉해동 반복횟수가 낮을수록 작은 것으로 보고되고 있으며(Haiyaing et al., 2007), 빙결정의 크기가 작을수록 형성된 기공을 통한 영양학적 손실이 최소화 될 것이라 판단된다. 본 연구에서도 대류속도에 따라 자연대류식 시료의 기공이 고속과 저속 대류 시료에 비해 현저히 큰 기공을 형성하였음을 확인하였다.

#### 냉동속도에 따른 영양학적 함량 변화

데치기 후 당근의 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량은 각각 93.97, 0.71, 0.11 및 0.28%이었다. 냉해동 처리 후 당근의 수분 함량은 90.80~91.03%범위로 감소하고, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량은 각각 0.93~1.04, 0.13~0.16 및 0.33~0.36%범위로 증가하였으며, 냉동속도에 따른 큰 차이를 보이지 않았다(Table 1). 냉해동 처리 후 일반성분 함량의 증가는 해동감량 발생 시 수분 함량이 영양성분의 감

소량에 비해 상대적으로 많아 나타난 결과로 생각된다.

비타민 C는 과일 및 채소류에 다량 함유된 대표적인 수용성 항산화 성분으로 식품을 조리, 가공 및 저장 시 빛, 산소, 열 등에 의해 쉽게 파괴되어 영양성분 손실의 지표 성분으로 이용되고 있다(Kim et al., 2012). 당근의 비타민 C 함량은 품종, 재배환경 등에 따라 차이를 보이지만 약 6.6~8.7 mg% (fresh weigh) 범위 수준인 것으로 보고되어 있다(Kim et al., 2012; Jin et al., 2006). 냉동속도에 따른 당근의 비타민 C 함량을 분석한 결과는 Fig. 5A과 같다. 데치기 후 당근의 비타민 C 함량은 3.09 mg%이었고, 냉해동 처리 후 2.98~3.35 mg% 범위로 냉동속도가 빠를수록 비타민 C 함량은 높았으나 유의적인 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). Hwang 등(2012)은 홍고추를 -20~-70°C 범위에서 냉동 처리 시 냉동속도가 빠를수록 비타민 C 함량은 높은 경향을 보였지만 큰 차이는 없는 것으로 보고하였다. 또한 Sahari 등(2003)의 연구에서는 딸기의 비타민 C 함량은 냉동속도에 따른 유의적인 차이는 없었고, -18°C이상의 온도에서 저장 시 비타민 C 함량은 저장기간이 길어질수록 감소량이 큰 것으로 나타나 냉동식품의 비타민 C 함량 변화는 냉동속도보다 저장 중 변화가 클 것으로 판단된다. 추후 다양한 냉동식품을 대상으로 저장방법, 포장방법, 해동방법 등에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다(Sahari et al., 2003; Kwon et al., 2006; Sung et al., 2010; Holzwarth et al., 2012).

냉동속도에 따른 당근의 유리당 함량을 분석한 결과는

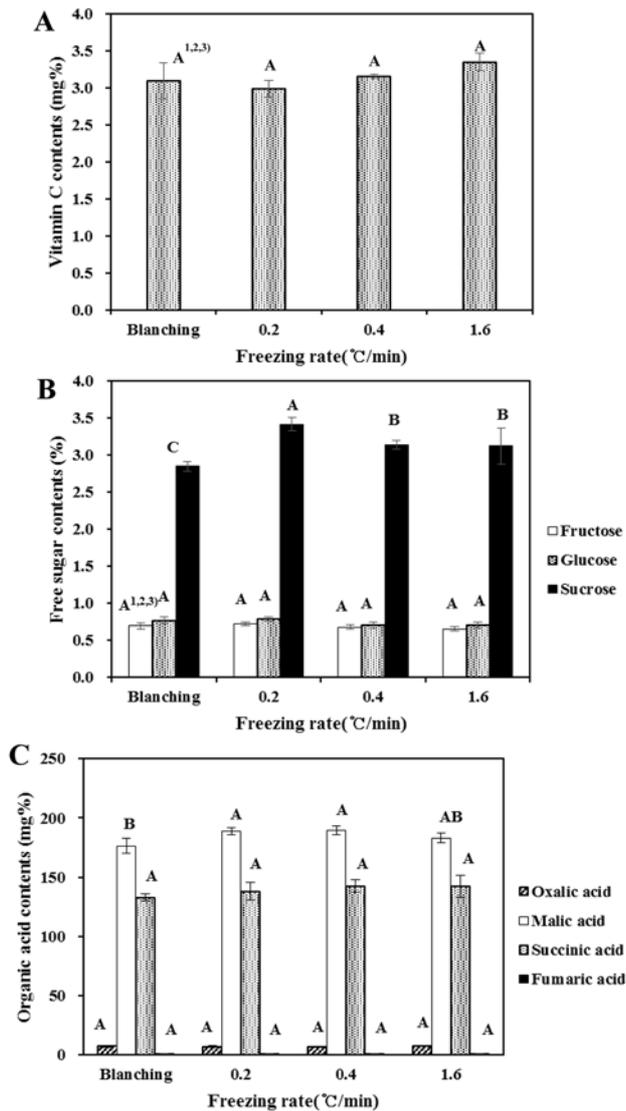
Table 1. Quantitative changes in general compositions according to freezing rates.<sup>1)</sup>

Samples	Thawing loss (%) <sup>2)</sup>	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude ash (%)
Blanching	-	93.97±0.05 <sup>A</sup>	0.71±0.01 <sup>C</sup>	0.11±0.01 <sup>D</sup>	0.28±0.00 <sup>D</sup>
0.2°C/min	17.40±1.41 <sup>A3)</sup>	90.46±0.01 <sup>D</sup>	1.04±0.01 <sup>A</sup>	0.14±0.01 <sup>B</sup>	0.36±0.00 <sup>A</sup>
0.4°C/min	17.02±3.57 <sup>AB</sup>	91.03±0.01 <sup>B</sup>	0.93±0.05 <sup>B</sup>	0.13±0.01 <sup>C</sup>	0.33±0.01 <sup>C</sup>
1.6°C/min	11.91±3.42 <sup>B</sup>	90.80±0.00 <sup>C</sup>	0.97±0.02 <sup>B</sup>	0.16±0.01 <sup>A</sup>	0.35±0.00 <sup>B</sup>

<sup>1)</sup>All samples were frozen until -12°C and thawed until 4°C.

<sup>2)</sup>Thawing loss of thawed at 400 W carrot.

<sup>3)</sup>Values with different superscripts in a column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.



**Fig. 5.** Changes in the vitamin C, free sugar, and organic acid contents according to freezing rates. All samples were frozen until  $-12^{\circ}\text{C}$  and thawed until  $4^{\circ}\text{C}$ .

<sup>1)</sup>Each data was expressed as the mean $\pm$ SD of three separate experiments. Values with different superscripts on the bar indicate significant difference ( $P < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

Fig. 5B와 같다. 데치기 후 당근의 fructose, glucose 및 sucrose 함량은 각각 0.69, 0.77 및 2.85%으로 sucrose가 주된 유리당이였으며, Xu 등(2014)과 Zude 등(2007)의 연구 결과와 유사하였다. 냉해동 처리 후 fructose, glucose 및 sucrose 함량은 각각 0.65~0.72, 0.70~0.78 및 3.12~3.42% 범위로 나타났다. Fructose와 glucose 함량의 경우 냉동속도에 따른 유의적인 차이가 없었지만( $p > 0.05$ ), sucrose 함량은 0.2°C/min의 속도로 냉동 처리 시 가장 높은 함량을 보였다. 냉동속도가 느릴수록 sucrose 함량이 높은 경향을 보이는 것은 냉동속도가 느릴수록 생성되는 빙결정의 크기가 크고(Fig. 4) 이로 인해 파열된 세포의 수가 많아 추출효율

이 높아졌기 때문인 것으로 생각된다.

냉동속도에 따른 당근의 유기산 함량을 분석한 결과는 Fig. 5C과 같이 oxalic acid, malic acid, succinic acid 및 fumaric acid가 검출되었다. 데치기 후 당근의 oxalic acid, malic acid, succinic acid 및 fumaric acid 함량은 각각 7.27, 176.25, 132.71 및 1.27 mg%이었다. 냉동방법에 따라 oxalic acid, malic acid, succinic acid 및 fumaric acid 함량은 각각 6.68~7.23, 183.12~189.36, 138.03~151.49 및 1.27~1.39 mg% 범위로 나타났으며, oxalic acid, malic acid 및 fumaric acid 함량은 냉동방법에 따른 차이는 보이지 않았다( $p > 0.05$ ).

## 요 약

본 연구는 최적의 냉해동 조건을 확립하고 설정된 조건에 따라 냉해동이 당근에 미치는 이화학적 분석 및 영양성분의 분석을 진행하였다. 본 실험에서는 강제송풍방식을 이용하였으며, 자연대류식(0.2°C/min), 저속(0.4°C/min) 및 고속(1.6°C/min)으로 냉동속도를 조절하여  $-12^{\circ}\text{C}$ 까지 냉동하였다. 해동조건은 전자레인지로 이용하여 0, 200, 400, 800 W의 세기로 출력을 조절하여 시료의 중심부 온도가  $4^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 해동하여 분석에 사용하였다. 당근의 강도는 냉해동 후 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며, 특히 200, 400 W 해동 시 냉동 속도가 빠를수록 감소하였다. 해동감량의 경우 해동방법에 따른 유의적인 차이는 없었지만 냉동속도가 높을수록 감소하는 경향을 보였다. pH 및 색도의 데치기 후 당근과 처리구간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 전자 현미경 관찰 결과, 냉동속도가 빨라질수록 기공의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있었으며 이는 빠른 냉동속도가 식품 조직의 손상을 막는데 영향을 미친다는 것으로 보인다. 비타민 C 및 유기산(oxalic acid, malic acid 및 fumaric acid) 함량의 경우 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 유리당 함량의 경우에는 sucrose 함량은 자연대류 냉동 시 가장 높았고, fructose 및 glucose의 함량은 유의적인 차이가 없었다. 본 연구 결과 냉해동 방법에 따른 영양학적 변화는 대부분 데치기 후 당근과 유사하였으나, 당근을 고속으로 냉동할 시 물리적 변화 및 조직 손상을 최소화 하였으므로 당근의 품질을 유지하는데 효과적인 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ009440)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15<sup>th</sup> ed, Association of

- Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 8-35.
- Haiyang W, Shaozhi Z, Guangming C. 2007. Experimental study on the freezing characteristics of four kinds of vegetables. *LWT*. 20: 1112-1116.
- Holzwarth M, Korhummel S, Carle R, Kammerer DR. 2012. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria ananassa* Duch). *Food Res. Int.* 48: 241-248.
- Hwang IG, Kim HY, Lee J, Kim HR, Cho MC, Ko IB, Yoo SM. 2011. Quality characteristics of Cheongyang pepper (*Capsicum annuum* L.) according to cultivation region. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 1340-1346.
- Hwang IG, Shin YJ, Lee S, Lee J, Yoo SM. 2012. Effect of different cooking methods on the antioxidant properties of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Prev. Nutr. Food Sci.* 17: 286-292.
- Hwang IG, Jeong HS, Lee J, Kim HY, Yoo SM. 2012. Influences of freezing and thawing temperature on the quality characteristics of mashed red pepper. *Korean J. Food & Nutr.* 25: 691-696.
- Jeong JW, Kim BS, Kim OW, Nahmgung B, Lee SH. 1996. Changes in quality of carrot during storage by hydrocooling. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 841-849.
- Jeong JW, Jeong SW, Park KJ. 2003. Changes in internal pressure of frozen fruits by freezing methods. *Korean J. Food Preserv.* 10: 459-465.
- Jin TY, Oh DH, Eun JB. 2006. Change of physicochemical characteristics and functional components in the raw materials of Saengsik, uncooked and food by drying methods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 188-196.
- Kim BC, Hwang JY, Wu HJ, Lee SM, Cho HY, Yoo YM, Shin HH, Cho EK. 2012. Quality changes of vegetables by different cooking methods. *Korean J. Culinary Res.* 18: 40-53.
- Kim MH, Jang HL, Yoon KY. 2012. Changes in physicochemical properties of haetsum vegetables by blanching. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 647-654.
- Ku KH. 2009. Recent technology of refrigeration and thawing method in food industry. *Bull. Food Technol.* 22: 731-741.
- Kwon DJ, Kim MH, Lee NH, Kwon OJ, Son DH, Choi UK. 2006. Quality characteristics of frozen Maesil(*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) according to thawing method. *Korean J. Food Culture* 21: 426-432.
- Lee KS, Park KH, Lee SH, Choe EO, Lee SH. 2003. The quality properties of dried carrot as affected by blanching and drying methods during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 1086-1092.
- Lim SB, Jwa MK. 1996. Effect of blanching condition on the quality of carrot juice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 22: 680-686.
- Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. 2008. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *J. Agr. Food Chem.* 56: 139-147.
- Park MH, Kwon JE, Kim SR, Won JH, Ji JY, Hwang IK, Kim MR. 2012. Physicochemical and microbiological properties of pork by various thawing methods. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 22: 298-304.
- Sahari MA, Boostani FM, Hamidi EZ. 2004. Effect of low temperature on the ascorbic acid content and quality characteristics of frozen strawberry. *Food Chem.* 86: 357-363.
- Sung JM, Han YS, Jeong JW. 2010. Quality characteristics of semi-dried red pepper during frozen storage. *Korean J. Food Preserv.* 17: 1-8.
- Xu Z, Guo Y, Ding S, An K, Wang Z. 2014. Freezing by immersion in liquid CO<sub>2</sub> at variable pressure response surface analysis of the application to carrot slices freezing. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 22:167-174.
- Zude M, Birlouez I, Paschold PJ, Rutledge DN. 2007. Non-invasive spectrophotometric sensing of carrot quality from harvest to consumption. *Postharvest Biol. Technol.* 45: 30-37.