

연구노트

동결건조 쌀죽의 재수화 특성에 미치는 동결온도의 영향

고소미 · 임종환 · 김정목*
목포대학교 공과대학 식품공학과

Effect of Freezing Temperature on the Rehydration Properties of Freeze-Dried Rice Porridge

Somi Koh, Jong-Whan Rhim, and Jeong-Mok Kim*
Department of Food Engineering, Mokpo National University

Abstract To study the effect of freezing rate on the quality of freeze-dried rice porridge, freeze-dried rice porridge products were prepared with rice porridge pre-frozen at three different temperatures of -20, -40, and -70°C. The porridge properties such as microstructure, mechanical properties, textural properties, and rehydration rate were determined. Scanning electron microscopy images indicated that fewer air cells were obtained with a larger size of freeze-dried rice porridge frozen at -20°C compared with that frozen at -40 and -70°C. In contrast, quick frozen products at -70°C had more dense texture with higher mechanical strength, whereas slow frozen products exhibited higher rehydration rates than those of quick frozen products. In conclusion, the proper choice of pre-freezing temperature plays a decisive role when preparing freeze-dried rice porridge with optimum quality and convenience.

Keywords: Freeze-dried rice porridge, freezing temperature, freezing rate, rehydration rate, mechanical properties

서 론

최근 식품산업분야에서는 다양한 소비자의 요구에 부응하여 생산자 중심에서 소비자 중심으로 식품가공업이 변화되고 있으며 소비자 기호성을 충족시키는 다양한 가공식품이 등장하고 있다(1). 이에 따라 단순한 기호식품이나 영양을 중시한 식품에서 건강성, 기능성 및 간편성을 추구하는 제품의 개발이 이루어지고 있으며, 신선한 천연 무공해 식품인 자연식품, 유기식품, 건강증진식품, 미용식품, 저칼로리 식품의 수요가 늘고 있다. 또한 핵가족화와 노령화사회가 진행되면서 특정계층을 위한 식품 즉, 노인/청년/유아/여성용 식품, 우주식품, 레저용 식품, 비상식품 등의 개발도 시도되고 있다. 이와 같이 소비자 관점에서 고급화, 다양화, 저장성과 수송성을 향상시키기 위하여 식품제조기술의 발전과 함께 진공포장식품, 레토르트식품, 무균포장식품 등이 개발되었으며 식품고유의 품질을 유지하는 냉동식품과 진공동결건조식품 시장이 확대되고 있다(2).

우리의 전통 음식인 죽은 쌀, 보리, 조 등의 곡류에 다량의 물을 붓고 오래 끓여서 형태가 부서지고, 전분이 완전히 호화상태가 될 때까지 무르게 만든 유동상태의 식품이다. 죽은 먹기가 간편하고, 소화가 잘되기 때문에 별미식, 환자식, 노인식이나 아침

대용식으로 이용되고 있는데, 일반적으로 죽은 기호도는 높으나 이용이 낮은데 그 이유는 조리시간이 오래 걸리고, 재료준비가 번거롭기 때문이다(3,4). 최근에는 깨, 잣 등의 종실류와 호박 등 채소류 및 전복, 인삼, 녹차를 이용한 기능성을 강조한 분말제품과 액상 죽 형태로 개발되어 이용되고 있다(5). 그러나 이들 제품은 분말을 물에 넣고 다시 끓이거나, 유동상태로 전자레인지로 재가열을 해야 먹을 수 있는 레토르트 식품이 대부분이다.

동결건조식품은 식사 준비기간을 줄이기 위해 재료를 썰기, 깎기, 볶기 또는 액화시킨 후 조리 또는 가공한 후 동결건조를 통하여 수분을 제거했기 때문에 가볍고 실온에서도 오랜 저장이 가능하다. 진공포장 동결건조공정은 모든 정유와 풍미를 가지고 신선도를 유지할 수 있으며, 다공성의 조직을 갖기 때문에 물에 쉽게 재수화되어 원래의 색깔, 맛, 모양 및 조직감 등을 갖도록 복원이 가능하다(6). 그러나 조리된 죽의 예비동결온도에 따라 빙결정의 크기와 수가 변하며 이에 따라 동결건조 후에 제품의 조직과 다공성의 변화가 생기게 되고, 결과적으로 동결건조죽의 복원속도와 품질에 큰 영향을 미치게 된다. 특히 수화복원속도는 간편성을 추구하는 동결건조죽 제품의 가장 중요한 품질 요소 중의 하나이다.

따라서 본 연구에서는 동결온도에 따른 동결건조 죽의 수화복원율과 이에 따른 동결건조 죽의 물성을 측정하여 동결건조죽 제조를 위한 최적 조건을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 쌀(멥쌀)은 전남 무안에 소재하는 지역 농협 마트에서 구입하여 냉장고에 보관하면서 사용하였다.

*Corresponding author: Jeong-Mok Kim, Department of Food Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeonnam 534-729, Korea
Tel: 82-61-450-2427
Fax: 82-61-454-1521
E-mail: jmkim@mokpo.ac.kr
Received April 25, 2011; revised May 31, 2011;
accepted June 14, 2011

흰쌀죽의 제조

쌀 100 g을 수세한 후 5배의 물을 첨가하여 105°C, 1 atm에서 호화시킨 후 약 30분간 뜸을 들인 후 실온에서 냉각하여 죽 시료로 사용하였다.

흰쌀죽의 동결 중 내부온도변화

쌀죽 100 g을 plastic tray(60×70×30 mm)에 담은 후, HOBO® U12 4-external channel outdoor/Industrial data logger(Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA)를 이용하여 내부온도변화를 측정하였다. Stainless steel probe를 용기의 온도 중심점 위치에 고정시키고 수분증발과 표면의 건조를 방지하기 위하여 용기의 주위를 밀봉하였다. 그 후 쌀죽을 -20, -40, -70°C의 냉동고에 넣어 동결시키면서 시료의 온도변화를 매 10초마다 24시간 동안 측정하여 동결곡선을 구하였다. 이때 동결속도는 시료의 온도가 최대 빙결점 형성 구간(본 실험의 경우 -1~ -5°C)을 통과하는 시간으로 결정하였다.

동결건조

흰쌀죽을 -20, -40, -70°C의 냉동고에 넣어 24시간 동안 시료를 동결한 후 진공 동결 건조기(Samwon, Seoul, Korea)를 이용하여 건조하였다. 냉동건조기 chamber 내의 진공도는 0.1-4 torr, trap의 온도는 -50°C였다. 건조가 끝난 시료는 적당량의 실리카 겔과 함께 이중의 폴리에틸렌 백을 사용하여 밀봉하여 보관하였다.

동결건조 쌀죽의 미세구조 관찰

동결온도 조건에 따른 동결건조한 쌀죽의 미세구조를 관찰하기 위하여 납/백금 코팅한 후 전자주사현미경(FE-SEM, Hitachi S-4800, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)을 사용하여 1.0 kV에서 200배율로 관찰하였다.

동결건조 쌀죽의 물성 및 재수화 동결건조 쌀죽의 조직감 측정

동결온도를 달리하여 제조한 Block 형(크기: 55×64×28 mm)의 동결건조 쌀죽의 물성(강도, 경도 및 항복응력)과 50°C의 물에서 60분간 수화복원시킨 동결건조 쌀죽의 조직특성(응집성, 탄력성 및 씹힘성)을 Rheometer(Compac-100, Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 10회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 실험 결과는 SPSS WIN 18.0 program을 이용하여 평균과 표준편차를 구하고 one way ANOVA-test 후, Duncan's multiple range test를 실시하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. Rheometer의 측정조건은 sample height는 23.0 mm, sample width는 42.0 mm, sample depth는 23.0 mm, critical diameter는 0.01 cm, load cell은 10.0 kg, table speed 60.0 mm/min로 하였다.

수화복원율

동결 온도 조건에 따라 동결된 흰죽을 동결건조하여 블록형태의 죽을 제조하였다. 동결건조 죽의 수화복원율은 죽의 취식에 적절한 온도인 50°C를 사용하였는데, 이를 위하여 블록형의 동결건조죽을 50°C, 100 mL 물에 침지하여 일정시간 재수화시킨 후 200 mesh 망을 이용하여 수분 제거 후 흡습한 죽의 무게를 측정하여 결정하였다. 즉, 일정시간 재수화 시킨 후의 시료 무게에서 건조 후 무게를 뺀 값을 g당 흡수량으로 환산하여 다음 식에 따라 백분율로 나타냈다.

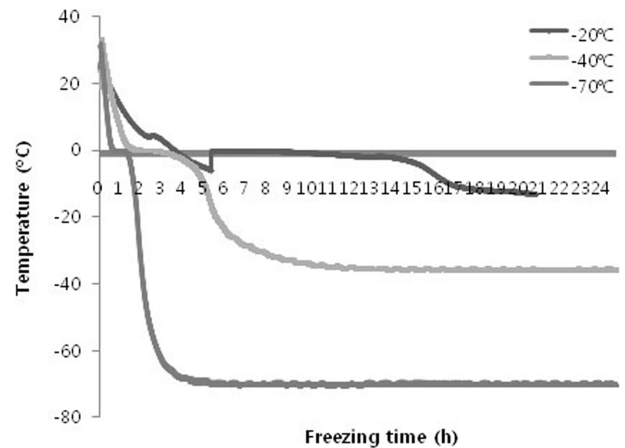


Fig. 1. Temperature change of rice porridge during freezing frozen at different temperatures.

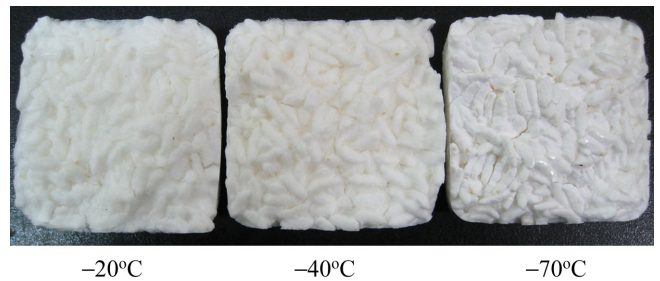


Fig. 2. Appearance of freeze dried rice porridge frozen at different temperatures.

$$\text{복원율(\%)} = \frac{(\text{복원 후 시료무게} - \text{복원 전 시료 무게})}{\text{복원 전 시료 무게}} \times 100$$

결과 및 고찰

동결 온도에 따른 흰쌀죽의 내부온도변화

동결은 식품으로부터 열을 제거하여 식품 내의 수분을 액체상태에서 고체상태로 상변화를 일으키는 단위조작으로 동결속도에 따라 빙결점의 크기, 조직특성 및 식품의 품질에 영향을 미치게 된다. 흰쌀죽을 동결하는데 있어서 동결온도에 따라 흰쌀죽의 동결속도를 조사하기 위하여 흰쌀죽을 -20, -40, -70°C에서 동결하면서 각 시료의 중심부의 온도변화를 측정하여 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 동결온도에 따라 흰쌀죽의 동결속도는 크게 영향을 받았는데, 동결온도가 낮을수록 동결속도가 증가하였다. 시료의 온도가 최초 빙결점에 도달한 후 최대 빙결점 형성 구간(-1~-5°C)을 통과하는데 걸리는 시간은 동결온도가 -20°C인 경우는 11시간, -40°C인 경우는 72분, -70°C인 경우는 10분이었었다. 일반적으로 식품의 동결과정 중 최대 빙결점 형성 구간을 30분 이내에 통과할 경우를 급속동결이라 하며, 그 이상은 완만동결이라고 하는데, 흰쌀죽의 동결은 -70°C에서 동결한 경우 급속동결이라 할 수 있고, -20°C와 -40°C의 경우는 완만동결임을 알 수 있다. 특히 -20°C에서 동결한 경우, 식품의 동결곡선의 특징을 뚜렷하게 보이고 있는데, 이는 동결이 시작된 후 5.5시간 후에 과

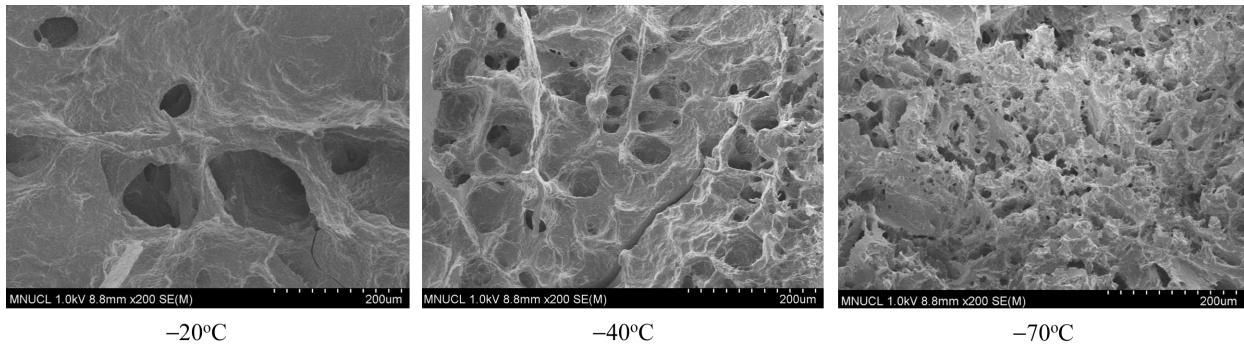


Fig 3. Scanning electron microscope images of rice porridge frozen at different temperatures (magnification: ×200).

냉각점에 도달하면서 얼음의 결정화가 시작되었으며, 이 때 발생하는 열에 의해 온도가 상승하여 0°C보다 약간 낮은 최초빙결점에 도달 한 후 동결이 진행됨에 따라 서서히 온도가 내려가면서 동결시작 17시간 후에 품온이 -20°C에 도달하였다.

동결건조 흰쌀죽의 미세구조

동결 온도에 따라 동결건조 흰쌀죽의 외관은 Fig. 2에 보인 바와 같이 완전동결인 -20°C에서 동결하여 제조한 동결건조죽의 외관이 부드럽고 균일한 데에 비해 동결온도가 낮은 -40°C와 -70°C의 경우는 외관이 거칠고 쌀알의 윤곽이 뚜렷하게 나타났으며, 이러한 경향은 동결온도가 낮아질수록 더욱 뚜렷하게 나타났다.

동결건조 쌀죽의 미세구조를 전자주사현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 동결건조 쌀죽의 입자의 크기와 공극률은 동결온도조건에 따라 큰 차이를 보였다. 동결온도가 낮을수록 공극의 크기가 작고 치밀한 조직을 갖는데, 이는 동결속도가 커질수록 빙결정의 크기가 작아지고 빙결정의 수가 증가하기 때문인데, 급속동결의 경우(-70°C) 빙결정의 크기는 비교적 적은 291-333 µm 수준이었으며, 동결속도가 느린 -20°C에서는 빙결정의 크기가 1333-2000 µm 수준으로 나타났다. 식품 내부의 얼음 형성을 위한 동결의 상태는 건조 특성, 건조물의 품질 등에 영향을 미치게 되는데, 급속동결을 하면 빙결정 형성대를 빠르게 지나가기 때문에 보다 작은 크기의 수많은 얼음입자가 생성되는데 비해 완전동결의 경우는 크고 소수의 얼음입자를 생성한다(7). 따라서 -20°C에서 동결하여 동결건조한 쌀죽의 빙결정이 커지고, 동결 건조 시 커진 빙결정들이 승화되어 입자와 입자사이의 공극이 크게 나타났다.

동결건조 쌀죽 및 수화복원된 동결건조 쌀죽의 물성

동결온도에 따른 동결건조 쌀죽 block의 물성을 레오메터를 사용하여 측정한 결과는 Table 1과 같다. 동결건조 쌀죽의 강도와 경도 및 항복응력은 -20°C에서 동결한 제품이 가장 낮았으며, 동결온도가 낮아질수록, 즉 동결속도가 증가할수록 증가하였다. 이는 SEM을 통한 미세구조의 결과에서 살펴본 바와 같이 동결속도가 빨라질수록 공극의 크기가 작아지고 조직이 치밀해지기 때문이다. 이러한 결과로부터 쌀죽을 -20°C에서 동결하여 만든 동결건조 block 제품의 보관, 유통 중에 충격에 의해 부서지는 현상을 방지하기 위해서는 가스충진에 의한 완충포장과 같은 적절한 포장방법의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

동결건조 쌀죽을 50°C의 물에 60분 동안 복원한 후에 레오메터를 사용하여 각 제품의 조직감을 측정할 결과는 Table 2와 같았다. -20°C에 동결하여 제조한 죽은 탄력성, 응집성, 씹힘성이

Table 1. Mechanical properties of freeze-dried rice porridge block frozen at different temperatures

Freezing temp.	Mechanical properties		
	Strength (g _f /cm ²)	Hardness (g _f /cm ²)	Yield (g _f /cm ²)
-20°C	9492.0±3003.4 ^{bc1)}	38706.7±11782.6 ^c	1870.0±892.9 ^b
-40°C	9610.1±1581.1 ^b	55826.3±10374.2 ^b	1168.9±1003.4 ^c
-70°C	11772.4±1208.3 ^a	61816.1±13845.3 ^a	1942.0±1344.9 ^a

¹⁾Each value is the mean of ten replicates with the standard deviation. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly (*p*>0.05) different by Duncan's multiple range tests.

Table 2. Textural properties of rehydrated freeze-dried rice porridge frozen at different temperatures

Freezing temp.	Textural properties		
	Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g _f)
-20°C	117.3±13.7 ^{a1)}	115.3±15.2 ^a	120.4±53.5 ^a
-40°C	90.1±3.6 ^b	76.7±11.1 ^b	107.4±58.8 ^{ab}
-70°C	73.4±12.7 ^c	65.5±24.4 ^{bc}	70.7±55.6 ^{bc}

¹⁾Each value is the mean of ten replicates with the standard deviation. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly (*p*>0.05) different by Duncan's multiple range tests.

-40, -70°C에서 동결하여 제조한 죽보다 높은 값을 나타내었다. 이는 -20°C에 동결하여 제조한 죽이 -40, -70°C에서 동결하여 제조한 죽보다 높은 복원력을 나타냄에 따라 죽의 탄력성, 응집성, 씹힘성이 높게 나타난 것으로 생각된다.

흰쌀죽의 수화복원력

-20, -40, -70°C의 온도에 각각 동결한 후 동결건조한 흰쌀죽을 50°C의 물에 침지 후 일정 시간 꺼내어 표면의 물기만을 제거한 후 무게 증가량을 측정하여 결정된 수화복원력은 Fig. 4의 결과와 같았다. 50°C의 온도에서 3분 동안 수화시킨 후 흰쌀죽의 복원력은 동결온도에 따라 -20°C는 636%, -40°C는 324%, -70°C는 208%로 나타났으며, 15분 동안 수화시킨 후에는 -20, -40, -70°C에서 동결한 동결건조 흰쌀죽의 복원력은 각각 887, 714, 387%로 나타났다. 이는 전체적으로 흰쌀죽의 수화복원력은 -20°C로 동결하는 것이 -40°C나 -70°C에서 동결한 것 보다 복원력이 우수함을 알 수 있었다. 또한 장시간 수화시켰을 때에는 -20°C가 -40°C보다 수화속도는 느리지만 최종 복원력은 더 높게 나타나는 것을 확인하였다. 일반적으로 동결건조식품들은 동결과

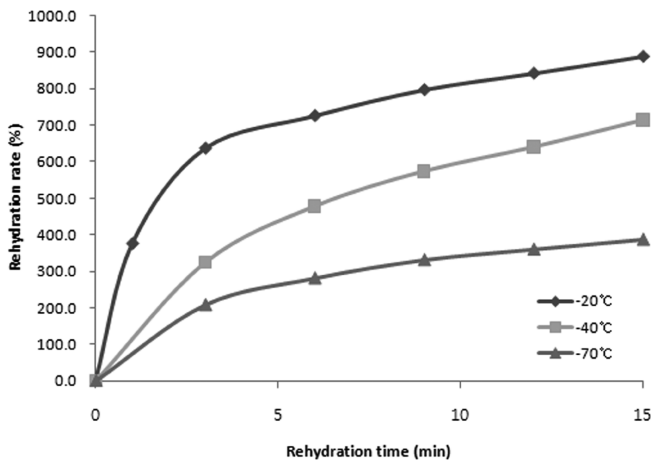


Fig. 4. Effect of freezing temperature on rehydration rate of rice porridge frozen at different temperatures (Rehydration water temperature: 50°C).

정 중 동결온도에 따른 동결속도 및 빙결정의 형성, 건조과정에서의 수분이 승화되어 생긴 공극의 구조에 의해 복원하는 정도가 다르게 나타난다고 한다(8). Yoo 등(9)은 아가리쿠스의 건조과정 중 고온 건조시 공극의 크기가 매우 커지면서 자연 건조하는 것보다 짧은 시간안에 빠른 수화복원력을 나타내었지만 지속적으로 복원시켰을 때는 자연 건조하는 것이 더 좋은 복원력을 나타내었다. 또한 Kim 등(10)은 즉석쌀밥의 경우 90°C의 열풍온도에서 건조한 것이 -50°C에서 급속 동결시킨 후 동결건조한 밥에 비하여 전반적으로 높은 복원율을 나타내었다. Song 등(11)의 결과에서는 주사전자현미경으로 관찰한 결과 열풍건조한 라면은 작은 공극으로 이루어진 반면 동결건조한 라면은 수많은 큰 공극을 가지고 있어 짧은 시간 내에 빠르게 복원하는 것을 확인하였다. 결론적으로 흰쌀죽은 동결온도가 낮을수록 빙결정 생성속도가 빠르고 빙결정이 작아져, 동결건조 후 흰쌀죽의 내부의 공극의 크기가 작아졌다. 이로 인해 식품 내부의 공극이 작아지면서 물이 식품 내로 침투 및 흡수되는 속도가 느려져 -40, -70°C에서 동결하여 제조한 동결건조 쌀죽의 수화복원력이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 빠른 수화복원력을 위해서는 동결속도가 낮은 온도(-20°C)에서 동결한 후 동결건조를 행하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

요 약

동결건조 쌀죽의 품질특성에 미치는 동결속도의 영향을 조사

하기 위하여 쌀죽을 -20, -40, -70°C의 동결 온도에서 동결시킨 후 동결건조시킨 제품을 제조하여 이들 제품의 미세구조, 물리적 강도, 조직감 및 재수화율을 조사하였다. 전자주사현미경을 통한 이들 제품의 미세구조를 관찰한 결과 완전동결(-20°C)시킨 것이 급속동결(-70°C)에 비해 공극의 크기가 크고 그 수가 적었다. 반면에 급속동결시킨 제품은 보다 조직이 치밀하고 물리적인 강도가 유의적($p < 0.05$)으로 큰 값을 나타냈다. 수화복원율은 -20°C에서 동결시킨 제품이 -40, -70°C에서 동결시킨 제품보다 높았다. 따라서 품질이 우수하고 사용이 간편한 동결건조 쌀죽을 제조하기 위해서는 최적의 동결 온도의 선택이 필수적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2008년 산학협력실 지원 사업에 의하여 연구 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

문 헌

- Seorans J, Ibez E, Clifuentes A. New trends in food processing. Crit. Rev. Food Sci. 43: 507-526 (2003)
- Hong SS. The drying characteristics of food stuff (beet) by freeze drying. J. Ind. Sci. Tech. Inst. 14: 49-58 (2000)
- June JH, Yoon JY, Kim HS. Perception of 'jook' by the individual characteristics of Korean. Korean J. Soc. Food Sci. 15: 11-24 (1999)
- June JH, Yoon JY, Kim HS. A study on the preference of Korean Traditional 'Jook'. Korean J. Dietary Culture 13: 497-507 (1998)
- Kwon SJ. Development of rice-based prepared meals. Korean J. Community Nutr. 6: 877-987 (2001)
- Kim SS, Kim IH, Kim KS, Yang JW, Park JH. Current status and prospects of the space food development. Food Sci. Ind. 4: 63-82 (2008)
- Yang CY. Fundamentals and application of food freezing. Sejinosa, Seoul, Korea. pp. 230-239 (1997)
- Ha, YS, Park WP, Lee JH. Physical characteristics of mushroom (*Agaricus bisporus*) as influenced by different drying methods. Korean J. Food Sci. Technol. 33: 245-251 (2001)
- Yoo BY, Jang MS, Eun JB. Physicochemical characteristics and optimal drying temperature condition of *Agaricus (Agaricus blazei)* mushroom. Korean J. Food Prot. 10: 476-481 (2003)
- Kim DK, Kim MH, Kim BY. Effects of dehydration methods on physical properties of reconstituted instant rice. J. Korean Soc. Food Nutr. 22: 443-447 (1993)
- Song BS, Park JG, Park JN, Han IJ, Choi JI, Kim JH, Byun MW, Kang SW, Choi GH, Lee JH. High-dose processing and application to Korean space foods. Radiat. Phys. Chem. 78: 671-674 (2009)