



예비동결 온도에 따른 숙지황 분말의 이화학적 특성

장귀영* · 박찬흠* · 최재훈* · 윤지혜* · 신유수* · 정현상** · 김동휘*†

*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부, **충북대학교 식품생명공학과

Physicochemical Characteristics of *Rehmanniae Radix Preparata* Powder by Milling with Pre-freezing Temperatures

Gwi Yeong Jang*, Chan Hum Park*, Jehun Choi*, Ji Hye Yoon*, Yu Su Shin*, Heon Sang Jeong** and Dong Hwi Kim*†

*Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

**Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea.

ABSTRACT

Background: *Rehmanniae radix preparata* (RRP) has been used as a traditional medicine and is one of the most important oriental herbal medicines. However, the physical characteristics of RRP are not suitable for use in industry. The present study was undertaken to determine the preparation method of RRP powder and the physicochemical characteristics of RRP powder by milling under different pre-freezing temperatures.

Methods and Results: Moisture content, powder yield, particle size, bulk density, compressive stress, extraction yield, and 5-HMF content of RRP powders by milling with pre-freezing temperatures (-20, -40, -60, and -80 °C) were analyzed, and correlation among these factors was determined. Powder yield increased and particle size decreased in a pre-freezing temperature-dependent manner from -20 to -60 °C. The Hausner ratio increased from 1.186 to 1.225 with decreasing temperature from -20 to -80 °C, whereas compressive stress showed the opposite trend. Extraction yield and 5-HMF content were not significantly different between RRP powder. Significant correlations were observed among pre-freezing temperature and physical characteristics (e.g., yield, particle size, Hausner ratio, and compressive stress).

Conclusions: These results suggest that the pre-freezing temperature is an important factor affecting the physical characteristics of RRP powder and applicable to the industrial production of RRP powder.

Key Words: *Rehmannia glutinosa* Liboschitz ex Steudel., Milling, Physicochemical Characteristics, Powder, Pre-freezing Temperature, *Rehmanniae Radix Preparata*

서 언

지황 (*Rehmannia glutinosa* Liboschitz ex Steudel.)은 현삼과에 속하는 약용작물로, 우리나라를 비롯하여 동아시아에 분포하는 다년생 식물이다 (Jeong *et al.*, 2004). 지황의 국내 생산량은 2016년 기준 1,337 톤 규모이며 매년 늘어나는 추세이다 (MAFRA, 2017). 지황의 뿌리는 다양한 생리활성 성분이 함유되어 있어 한약재와 식품의 원료로 이용되고 있으며, 주로 건지황과 숙지황으로 가공하여 사용한다 (Kim *et al.*,

2008; Lee *et al.*, 2017).

지황의 생리활성 성분으로 iridoid glycosides, sesquiterpene 및 phenol화합물 등이 보고되었으며 (Shih *et al.*, 1999), 지황의 가공품인 숙지황의 품질지표는 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde (5-HMF)를 기준으로 삼고 있다 (MFDS, 2012). 숙지황의 생리활성 연구로 항염증 (Han *et al.*, 2012), 항산화 활성 (Kim *et al.*, 2011; Oh *et al.*, 2011a), 조혈작용 (Ma *et al.*, 2000) 및 항당뇨 효과 (Jeong *et al.*, 2013)가 보고되었다.

†Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5750 (E-mail) kimodh@korea.kr

Received 2017 December 4 / 1st Revised 2017 December 19 / 2nd Revised 2018 January 9 / 3rd Revised 2018 January 15 / Accepted 2018 January 15

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.

숙지황의 가공 관련 연구로는 숙지황 페이스트의 품질 (Oh *et al.*, 2011a), 숙지황 동결건조 분말의 성분과 항산화 활성 (Oh *et al.*, 2013), 숙지황 첨가 국수의 품질 특성 (Min *et al.*, 2015), 숙지황 첨가 쿠키의 품질특성 (Shin *et al.*, 2015) 및 숙지황 첨가 초콜릿 (Kim *et al.*, 2012a)과 같이 다양한 가공식품에 활용하기 위한 연구가 지속적으로 이루어졌다.

일반적으로 산업적인 규모에서 가공원료로 사용하기 위해서는 분말화하여 사용하고 사용 목적에 따라 분말의 특성을 달리하는 것이 가공공정과 품질 표준화 측면에서 중요하다. 그러나 숙지황은 높은 당 함량으로 인하여 높은 점착성과 단단한 물성을 갖기 때문에 원료로서 사용이 용이하지 않고 분말화하기 위해서는 동결건조와 같은 고비용 공정의 장시간 적용이 요구되는 단점이 있어, 경제적으로 숙지황 분말을 제조하기 위한 연구가 필요하다. 그러나 숙지황 분말과 관련된 연구는 매우 미미한 실정이며, 특히 숙지황 분말의 제조방법과 물리적인 특성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 경제적으로 숙지황 분말을 제조하기 위하여 동결건조 후 분쇄 및 체별하는 공정이 아닌, 건조 시간의 단축과 경제성을 높이기 위하여 예비동결 후 분쇄하고 감압 건조하여 체별 공정을 제외시킨 숙지황 분말을 제조하였다. 또한 예비동결 온도를 달리함으로써 동결온도가 숙지황 분말의 물리적 특성에 어떠한 영향을 미치는지 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료 및 숙지황 분말의 제조

숙지황 분말의 제조에 사용한 원료 숙지황은 청용제약 (Imsil, Korea)으로부터 2017년 9월에 구입하여 사용하였으며, 숙지황 제조에 사용된 원료 지황 (*Rehmannia glutinosa* Liboschitz ex Steudel.) 은 중국산이었다. 분말의 제조 방법은 Fig. 1과 같이 온도를 -20 , -40 , -60 및 -80°C 로 달리하여 24 시간 동안 동결시킨 숙지황 (100 g)을 blade mill (HMF-3500TG, 7,460 rpm, 650 W, Hanil Electric, Wonju, Korea)로 동일한 조건에서 15 초간 분쇄 후 50°C 에서 3 시간 동안 감압 건조하여 분석용 시료로 사용하였다.

2. 숙지황 및 숙지황 분말의 수분함량

원료 숙지황 및 숙지황 분말의 수분함량은 AOAC 방법에 따라 105°C 상압가열건조법으로 측정하였다 (AOAC, 1995).

3. 분말 수율 및 입도분포

동결온도를 달리하여 제조한 숙지황 분말의 입도분포는 20, 25, 30, 40 및 100 mesh 표준망이 설치된 로타 시험기 (Seive shaker CKHG 210, Dae Yang ENG Co., Ltd., Busan, Korea)로 1 시간 동안 진동체별하여 $850\ \mu\text{m}$ 이상,

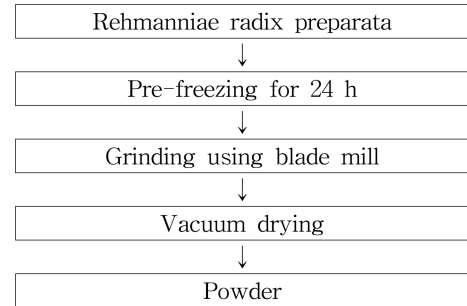


Fig. 1. Processing method for powder from *Rehmanniae radix preparata*.

710 , 600 , 425 , 150 및 $150\ \mu\text{m}$ 이하의 입자 크기별로 분리하여 $850\ \mu\text{m}$ 표준체를 통과한 분말의 총 중량으로부터 분말 수율을 계산하고, 각 입도별 중량으로부터 입도분포를 확인하였다 (Oh *et al.*, 2011b).

4. 밀도 및 압축특성

숙지황 분말의 밀도는 $100\ \text{ml}$ 메스실린더에 $60\ \text{g}$ 의 숙지황 분말을 별도의 힘을 가하지 않고 깔때기로 부어 넣은 밀도를 이완 걸보기 밀도 (g/cm^3)로, 메스실린더를 $5\ \text{cm}$ 높이에서 60 회 자연낙하 시킨 후의 밀도를 충격 걸보기 밀도 (g/cm^3)로 하였으며, 하우스너 비는 이완 걸보기 밀도와 충격 걸보기 밀도로부터 계산하였다 (Malave *et al.*, 1985).

압축특성으로 숙지황 분말의 부피를 5% 압축하는데 요구되는 힘 (g/cm^2)을 측정하였다. 측정은 texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro Systems, Surrey, England)를 이용하였다. 측정조건은 $25.5\ \text{mm}$ 의 원통형 용기와 $25\ \text{mm}$ cylindrical plunger probe를 사용하였으며 pre-test speed는 $0.5\ \text{mm}/\text{s}$, trigger force는 $10\ \text{g}$, test speed는 $2.0\ \text{mm}/\text{s}$, return speed는 $5.0\ \text{mm}/\text{s}$ 이었다.

5. 추출수율 및 5-HMF 함량

숙지황 및 숙지황 분말의 추출수율과 5-HMF 함량은 $0.5\ \text{g}$ 의 시료에 $15\ \text{ml}$ 의 증류수를 가하고 초음파추출기 (Ultrasonic cleaner SD-350H, Seong Dong Ultrasonic, Seoul, Korea)로 상온에서 1 시간 동안 추출 후 여과하여 분석용 시료로 사용하였다.

추출수율은 굴절당도계 (PAL-1, Atago, San Jose, CA, USA)를 이용하여 추출된 가용성 고형물 함량을 측정하였다.

5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde (5-HMF) 함량은 Lee 등 (2002)의 방법을 변형하여 분석하였다. 5-HMF의 정량은 HPLC-UV (1200 Series, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)를 사용하였으며, 분석조건은 C18 컬럼 (YMC-ODS-AM, $250 \times 4.6\ \text{mm}$, $5\ \mu\text{m}$, YMC Inc., Wilmington, NC, USA), 물 (A)과 acetonitrile (B) 기율기조건 (0-5 min:

2% B, 5-8 min: 2-5% B, 8-13 min: 5% B, 13-20 min: 5-8% B, 20-25 min: 8-10% B, 25-30 min: 10-100% B, 30-47 min: 100%), 유속 0.8 ml/min 및 검출과장 280 nm로 분석하였다. 표준품은 5-HMF (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

6. 통계분석

통계분석은 SPSS (Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각 시료군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리 간 차이 유무를 One-way ANOVA (analysis of variation)로 분석한 후 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)를 이용하여 검정하였다 ($p < 0.05$). 또한 요인간의 상관관계는 Pearson's correlation analysis를 통하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 숙지황 및 숙지황 분말의 수분함량

숙지황 및 숙지황 분말의 수분함량은 Table 1과 같다. 숙지황의 수분 함량은 14.75%이었으며, 동결온도를 -20, -40, -60 및 -80°C로 달리한 숙지황 분말의 수분함량은 각각 8.82, 8.16, 8.53 및 8.60%로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

분말형태의 원료에서 수분 함량은 분말의 특성에서 중요한 인자로, 특히 수분 함량이 높을수록 압축 후 이완 시 회복되

Table 1. Moisture content of Rehmanniae radix preparata powder by milling with different pre-freezing temperatures.

Samples ¹⁾	Raw	F-20	F-40	F-60	F-80
Moisture content (%)	14.75±3.02 ^a	8.82±0.18 ^b	8.16±0.16 ^b	8.53±0.08 ^b	8.60±0.34 ^b

*Means within a row by the same letter are not significant based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾Samples; Raw; Rehmanniae radix preparata, F-20; pre-freezing temperatures under -20 °C, F-40; pre-freezing temperatures under -40 °C, F-60; pre-freezing temperatures under -60°C, F-80; pre-freezing temperatures under -80°C.

Table 2. Yield of powder from Rehmanniae radix preparata by milling with different pre-freezing temperatures.

Samples ¹⁾	F-20	F-40	F-60	F-80
Yield for powder (%)	43.61±0.59 ^c	52.00±2.33 ^b	60.90±2.50 ^a	59.63±2.39 ^a

*Means within a row by the same letter are not significant based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾Samples; F-20; pre-freezing temperatures under -20 °C, F-40; pre-freezing temperatures under -40 °C, F-60; pre-freezing temperatures under -60 °C, F-80; pre-freezing temperatures under -80°C.

지 않는 특성이 커지며 밀도와 압축성에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되어있다 (Moreyra and Peleg, 1980). 본 연구에서 제조한 숙지황 분말에서 제조조건에 따른 수분 함량 차이가 크지 않기 때문에 중요 영향요인인 수분 함량에 의한 분말의 물성 차이는 크지 않을 것으로 판단된다.

2. 분말의 수율 및 입도분포

동결온도를 달리하여 제조한 숙지황 분말의 수율은 동결온도가 낮아짐에 따라 수율이 증가하였다 (Table 2). 분말의 수율은 입자의 크기가 850 μm 이하인 분말의 중량으로부터 계산하였을 때, -20, -40, -60 및 -80°C 처리구가 각각 43.61, 52.00, 60.90 및 59.63%의 수율을 나타내어 -20°C에서 -60°C까지 동결온도 변화에 따라 수율이 달라지는 것으로 확인되었다. 이는 분쇄과정에서 동결 온도가 낮을수록 높은 경도와 경도를 유지하는 시간이 길어짐에 따라 숙지황의 분쇄가 쉽게 이루어지는 것에 의한 것으로 추정된다.

동결온도별 숙지황 분말의 입도분포는 Fig. 2와 같이 온도를 달리하였을 때 입도분포의 차이를 나타내었다. 예비동결 온도가 -20°C에서 -60°C로 낮추었을 때 150-425 μm와 150 μm 이하의 입도를 가진 분말의 비율이 크게 증가하는 것으로 나타났다. -60°C와 -80°C 처리구는 큰 차이를 보이지 않았다. 150-425 μm의 입도를 가진 분말의 비율은 -20, -40, -60 및 -80°C 처리구에서 각각 32.42, 34.06, 41.22 및 40.97%이었으며, 150 μm 이하의 비율은 각각 4.29, 5.19, 10.56 및 9.68%로 분말 수율의 결과와 같이 온도가 낮아짐에 따라 더 미세한 분말이 증가하는 것으로 나타났다 (Table 2). 150-425 μm의 분말 비율과 달리 710-850 μm의 비율은 온도가 -20°C에서 -60°C로 낮아졌을 때 20.88%에서 12.40%로 감소

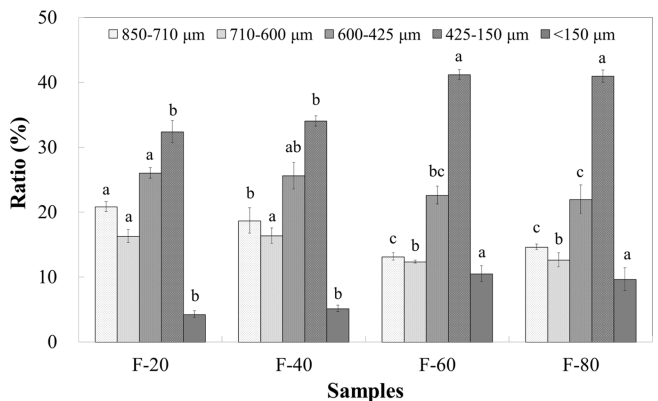


Fig. 2. Particle size distribution of Rehmanniae radix preparata powder by milling with pre-freezing temperatures.

*Means with different letter (a - c) within the same particle sizes of different samples are significant based on the DMRT ($p < 0.05$). Samples; F-20; pre-freezing temperatures under -20°C, F-40; pre-freezing temperatures under -40°C, F-60; pre-freezing temperatures under -60°C, F-80; pre-freezing temperatures under -80°C.

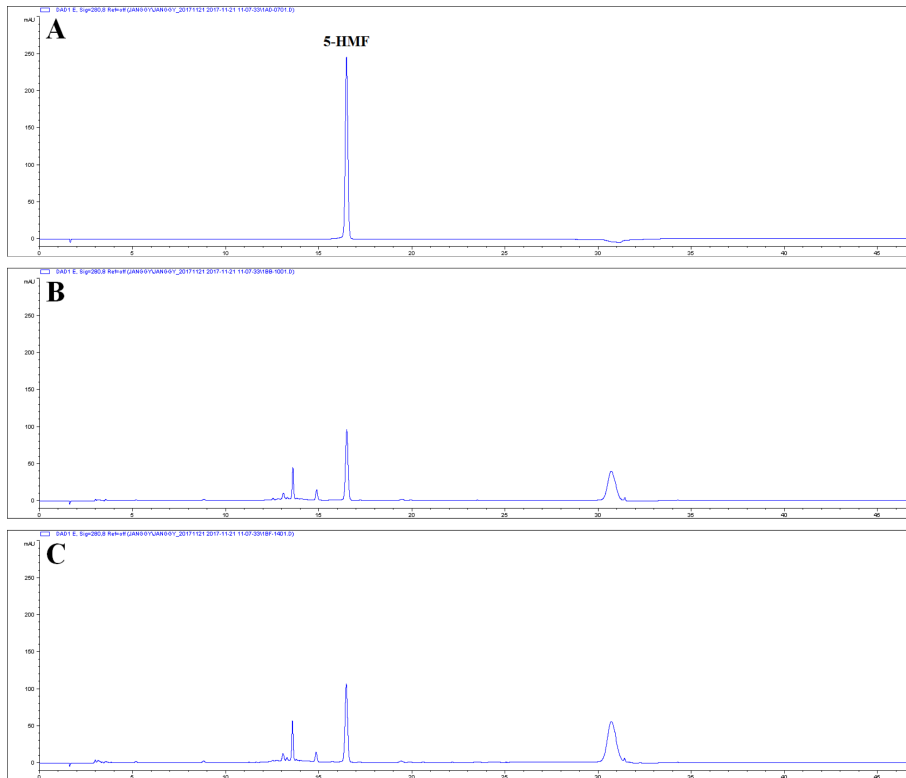


Fig. 3. Chromatograms of *Rehmanniae radix preparata* powder by milling with pre-freezing temperatures. Samples; A; 5-HMF standard, B; *Rehmanniae radix preparata*, C; *Rehmanniae radix preparata* powder.

하는 경향을 나타내었다.

Kim 등 (2012b)의 일반 분쇄와 저온 분쇄에 따른 수수가루의 이화학적 특성 연구에서도 -20°C 에서 분쇄하였을 때 더 작은 평균 입도를 나타내었다. 동결온도에 따른 어육의 동결마쇄 특성에 대한 연구에서도 상온에서 마쇄가 어려운 어육을 -80 - -20°C 에서 냉동 후 마쇄하였을 때 정어리 어육에서 온도가 낮아질수록 작은 입자의 비율이 높아지는 것으로 보고되어 본 연구의 결과와 유사하였으며, 어육의 종류에 따라 입도와 입자의 형태가 달라지는 것으로 확인되어 분쇄 결과물의 특성은 분쇄 대상의 조직학적 특성에 기인하는 것으로 보고되었다 (Hong *et al.*, 1996).

3. 밀도 및 압축특성

동결온도를 달리하여 제조한 숙지황 분말의 밀도 및 압축 특성에 대한 결과는 Table 3과 같다.

분말의 입도, 수분함량 및 형태에 따라 크게 달라지는 밀도 특성은 온도에 따라 이완 겉보기 밀도는 0.582 - 0.610 g/cm^3 으로 큰 차이를 보이지 않았으며 -60°C 에서 0.610 g/cm^3 으로 가장 높은 밀도를 나타내었다. 다진 후의 밀도를 나타내는 충격 겉보기 밀도는 이완 겉보기 밀도보다 온도에 따라 더 많은 차

이를 보였으며, -20 , -40 , -60 및 -80°C 처리구에서 각각 0.707 , 0.692 , 0.758 및 0.726 g/cm^3 로 이완 겉보기 밀도와 같이 -60°C 에서 가장 높은 밀도를 나타내었다 ($p < 0.05$).

다짐성을 나타내는 하우스너 비는 값이 커질수록 잘 다져지는 것을 뜻하며 -20 , -40 , -60 및 -80°C 에서 각각 1.186 , 1.190 , 1.243 및 1.225 를 나타내어 -60°C 와 -80°C 처리구가 가장 쉽게 다져지는 것으로 확인되었다 ($p < 0.05$).

분말을 일정한 수준까지 압축하였을 때 내부에서 저항하는 힘을 의미하는 압축응력을 측정된 결과, -20 , -40 , -60 및 -80°C 처리구에서 각각 586.01 , 382.70 , 237.33 및 211.99 g/cm^2 로 -60°C 와 -80°C 처리구가 가장 쉽게 압축되는 것으로 나타났다. 온도가 낮아질수록 압축응력은 감소하였다 ($p < 0.05$).

일반적으로 압축성은 유동성과 밀접한 관계에 있어 압축성이 클수록 유동성은 작아지는 것으로 알려져 있으며 (Peleg *et al.*, 1973; Scoville and Yeleg, 1981), 분말이 쉽게 압축된다는 의미는 외부 충격이나 기계적인 힘에 의해 압축되는 비율이 높아 유동장애를 일으키기 쉽기 때문에 가공공정에서 취급 시 고려해야하는 중요한 요인이다 (Kang *et al.*, 2012). 본 연구에서 분말 제조 시 동결온도를 -60 과 -80°C 로 냉동하

예비동결 온도에 따른 숙지황 분말 특성

Table 3. Loosed bulk density, tapped bulk density, Hausner ratio, and compressive stress of *Rehmanniae radix preparata* powder by milling with pre-freezing temperatures.

Samples ¹⁾	F-20	F-40	F-60	F-80
Loosed bulk density (g/cm ³)	0.596±0.011 ^{ab}	0.582±0.012 ^b	0.610±0.003 ^a	0.592±0.011 ^{ab}
Tapped bulk density (g/cm ³)	0.707±0.015 ^{bc}	0.692±0.005 ^c	0.758±0.007 ^a	0.726±0.008 ^b
Hausner ratio	1.186±0.015 ^b	1.190±0.029 ^b	1.243±0.009 ^a	1.225±0.014 ^a
Compressive stress (g/cm ²)	586.010±61.130 ^a	382.700±54.190 ^b	237.330±86.920 ^c	211.990±83.110 ^c

*Means within a row by the same letter are not significant based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾Samples; F-20; pre-freezing temperatures under -20°C, F-40; pre-freezing temperatures under -40°C, F-60; pre-freezing temperatures under -60°C, F-80; pre-freezing temperatures under -80°C.

Table 4. Extraction yield and 5-HMF content of *Rehmanniae radix preparata* powder by milling with pre-freezing temperatures.

Samples ¹⁾	Raw	F-20	F-40	F-60	F-80
Extraction yield (% d.b.)	85.75±2.72 ^{nd2)}	89.77±5.11	89.32±3.04	90.29±1.50	91.55±0.34
5-HMF content (µg/g d.b.)	786.94±50.78 nd	777.08±10.20	778.33±28.72	796.21±44.85	799.33±19.07

*Means within a row by the same letter are not significant based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾Samples; Raw; *Rehmanniae radix preparata*, F-20; pre-freezing temperatures under -20°C, F-40; pre-freezing temperatures under -40°C, F-60; pre-freezing temperatures under -60°C, F-80; pre-freezing temperatures under -80°C.

Table 5. Correlation among pre-freezing temperature and physicochemical characteristics of *Rehmanniae radix preparata* powder.

Factors ¹⁾	Temp.	PY	PS	LBD	TBD	HR	CS	EY	HC
Temp.	1.000	-0.894**	0.888**	-0.135	-0.552	-0.714**	0.863**	-0.268	-
PY		1.000	-0.932**	0.337	0.706*	0.751**	-0.905**	0.221	0.411
PS			1.000	-0.420	-0.818**	-0.833**	0.877**	-0.146	-0.386
LBD				1.000	0.686*	0.156	-0.207	0.291	0.345
TBD					1.000	0.812**	-0.610*	0.302	0.337
HR						1.000	-0.762**	0.171	0.176
CS							1.000	-0.130	-0.314
EY								1.000	0.441
HC									1.000

¹⁾Factors; Temp; pre-freezing temperature, PY; yield for powder, PS; Particle size, LBD; Loosed bulk density, TBD; Tapped bulk density, HR; Hausner ratio, CS; Compressive stress, EY; Extraction yield, HC; 5-HMF content. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

였을 때 입도가 작아짐에 따라 압축성이 큰 것으로 나타나 분말의 유동성이 낮을 것으로 생각된다.

4. 추출수율 및 5-HMF 함량

동결온도를 달리한 숙지황 분말의 추출수율을 확인한 결과는 Table 4와 같이 동결온도가 낮아짐에 따라 -20, -40, -60 및 -80°C에서 각각 89.77, 89.32, 90.29 및 91.55%를 나타내었으며, 원료 숙지황은 85.75%의 수율을 나타내어 분말로 제조하였을 때 추출수율이 증가하였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다 ($p < 0.05$). 5-HMF 함량도 원료 숙지황, -20, -40, -60 및 -80°C 처리구에서 각각 786.94, 777.08, 778.33, 796.21 및 799.33 µg/g이었으며, 시료 간에 유의적인 차이는 보이지

않았다 ($p < 0.05$).

홍삼의 입자크기에 따른 추출 특성에 대한 연구에서도 입자 크기에 따라 추출수율이 달라졌으며 입자의 크기가 작을수록 추출수율이 증가하였다. 입자의 크기가 작을수록 추출수율이 증가하는 이유는 표면적의 증가에 의해 성분의 확산을 촉진하기 때문이며, 입자의 크기가 작을 경우 추출수율은 증가하지만 너무 미세한 분말은 오히려 높은 보수력에 의해 분말의 뭉침 현상이 나타나 추출에 방해가 되는 것으로 보고하였다 (Ryu *et al.*, 1979; Cho *et al.*, 2008). 따라서 숙지황 분말의 제조 시 사용 목적에 따라 입자의 크기를 적절한 수준으로 조절해야 할 것으로 사료된다.

숙지황의 지표성분인 5-HMF의 열안정성과 관련한 연구에

서 일반적인 가공과정에서 적용되는 온도보다 높은 250°C 이상에서 분해가 이루어진다고 보고되었다 (Chuntanapum *et al.*, 2008). 본 연구에서도 분말 제조 시 5-HMF의 손실이 발생하지 않은 이유로 높은 온도의 가열이 이루어지지 않기 때문에 함량 변화를 보이지 않은 것으로 판단된다.

5. 동결온도와 분말특성 간의 상관관계

숙지황 분말의 물리적 특성과 동결온도 간의 상관성을 확인한 결과는 Table 5와 같다. 동결온도는 분말 수율 (-0.894)과 하우스너 비 (-0.714)에 대하여 음의 상관관계를 나타내어 온도가 낮아질수록 분말 수율과 다짐성이 증가하는 것으로 나타났다. 분말의 입자크기 (0.888)와 압축응력 (0.863)에 대하여 양의 상관관계를 나타내어 온도가 낮아질수록 입자의 크기도 같이 작아지고 압축은 쉽게 이루어지는 것으로 확인되었다 ($p < 0.01$). 분말의 입자크기는 충격겉보기 밀도 (-0.818), 하우스너 비 (-0.833) 및 압축특성 (0.877)에 대하여 유의적인 상관관계를 나타내었으며 입자의 크기가 작아질수록 쉽게 다져지고 압축되는 것으로 나타났다 ($p < 0.01$).

이러한 결과는 온도를 달리하여 분쇄한 수수가루에서 온도가 낮았을 때 입도가 작아졌다는 결과와 유사하였다 (Kim *et al.*, 2012b). Kang 등 (2012)의 품종과 건조방법에 따른 고춧가루의 집단 특성에 대한 연구에서도 겉보기 밀도, 압축성 및 하우스너 비 간에 밀접한 관계를 나타내어 충격 겉보기 밀도가 큰 시료에서 하우스너 비가 높은 것으로 나타났다. 또한 Oh 등 (2011b)의 연구에서 다짐성과 압축성이 분말 입자 사이의 공극과 관련성이 높은 것으로 보고한 것과 같이 본 연구에서도 다짐성을 뜻하는 충격 겉보기 밀도와 입자 간의 공극과 높은 관련성을 갖는 입도와의 관계에서 높은 상관성을 나타내었다.

본 연구 결과, 동결온도를 달리함으로써 별도의 체별 과정 없이 숙지황 분말의 입도와 물리적인 특성을 조절할 수 있으며, 추출수율과 숙지황의 지표성분인 5-HMF 함량이 분말화하였을 때 감소되지 않는 것을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서 제안한 분말화 방법과 분말 특성에 대한 결과는 숙지황의 가공 및 산업적 활용에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 원예특작시험연구사업의 지원에 의해 수행된 연구과제(과제번호: PJ012690)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Association of Official Analytical Chemists(AOAC). (1995).

- Official methods of analysis. (16th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p.31.
- Cho CW, Kim SW, Rho JH, Rhee YK and Kim KT. (2008). Extraction characteristics of saponin and acidic polysaccharide based on the red ginseng particle size. *Journal of Ginseng Research*. 32:179-186.
- Chuntanapum A, Yong TLK, Miyake S and Matsumura Y. (2008). Behavior of 5-HMF in subcritical and supercritical water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 47: 2956-2962.
- Han YK, Jung HW, Lee JY, Kim JS, Kang SS, Kim YS and Park YK. (2012). 2,5-Dihydroxyacetophenone isolated from *Rehmanniae* radix preparata inhibits inflammatory responses in lipopolysaccharide-stimulated RAW264.7 macrophages. *Journal of Medicinal Food*. 15:505-510.
- Hong SP, Yang SY, Lee NH and Kim DS. (1996). Cryo-grinding characteristics of frozen fish meat at different temperature. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 29:578-585.
- Jeong HJ, Kim JS, Hyun TK, Yang J, Kang HH, Cho JC, Yeom HM and Kim MJ. (2013). *In vitro* antioxidant and antidiabetic activities of *Rehmannia glutinosa* tuberous root extracts. *ScienceAsia*. 39:605-609.
- Jeong JH, Yu KW, Kim SJ, Choi YE and Paek KY. (2004). Plant regeneration from adventitious roots of *Rehmannia glutinosa* liboschitz and bioreactor culture. *Korean Journal of Plant Biotechnology*. 31:55-60.
- Kang YR, Lee SH, Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Hwang Y, Yoo SM, Kim HR, Kim HY, Lee JS and Jeong HS. (2012). Bulk properties of red pepper powder by drying method and variety. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 41:1320-1325.
- Kim CR, Park HJ, Oh HL, Na YG, Doh ES, Yoon JH, Shim EK and Kim MR. (2012a). Quality characteristics and antioxidant activity of chocolate added with *Rehmannia* radix preparata concentrate. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*. 22:535-542.
- Kim DH, Park CH, Park HW, Park CG, Sung JS, Yu HS, Kim GS, Seong NS, Kim JC, Kim MS, Bae SG and Chung BJ. (2008). A new high-quality, disease resistance and high-yielding *Rehmannia glutinosa* cultivar, "Kokang". *Korean Journal of Breeding Science*. 40:84-87.
- Kim HJ, Lee JY, You BR, Doh ES and Kim MR. (2011). Antioxidant activities of *Rehmannia glutinosa* by traditional methods. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 19:341-346.
- Kim HY, Seo HI, Ko JY, Kim JI, Lee JS, Song SB, Jung TW, Kim KY, Kwak DY, Oh IS, Jeong HS and Woo KS. (2012b). Physicochemical characteristics of the sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) powder following low temperature-microparticulation. *Korean Journal of Food and Nutrition*. 25: 656-663.
- Lee JH, Koh JA, Hwang EY and Hong SP. (2002). Quantitative determination of 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde from *Rehmanniae* radix preparata according to various processings. *The Korea Journal of Herbology*. 17:145-149.
- Lee SH, Yoon JS, Kim JK, Park CG, Kim SC, Jung CS, Chang JK and Kim YB. (2017). Aucubin, catalpol, and GABA contents in different plant parts of *Rehmannia glutinosa* cultivars. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 25:16-21.

- Ma JY, Ha CS, Sung HJ and Zee OP.** (2000). Hemopoietic effects of *Rhizoma rehmanniae* preparata on cyclophosphamide-induced pernicious anemia in rats. *Korean Journal of Pharmacognosy*. 31:325-334.
- Malave J, Barbosa-canovas GV and Peleg M.** (1985). Comparison of the compaction characteristics of selected food powders by vibration, tapping and mechanical compression. *Journal of Food Science*. 50:1473-1476.
- Min AY, Son AY, Kim HJ, Shin SK and Kim MR.** (2015). Quality characteristics and antioxidant activities of noodles added with *Rehmanniae radix* preparata powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 44:386-392.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA).** (2017). 2016 an actual output of crop for a special purpose. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.88-91.
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS).** (2012). Korean pharmacopoeia. (10th ed.). Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju, Korea. p.1353-1354.
- Moreyra R and Yeleg M.** (1980). Compressive deformation patterns of selected food powders. *Journal of Food Science*. 45:866-868.
- Oh HL, Kim CR, Kim NY, Jeon HL, Doh ES and Kim MR.** (2013). Characteristics and antioxidant activities of *Rehmanniae radix* powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 42:62-67.
- Oh HL, You BR, Kim HJ, Lee JY, Kim NY, Song ES and Kim MR.** (2011a). Quality characteristics and antioxidant activities of *Rehmanniae radix* paste. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 40:1518-1524.
- Oh SH, Hwang IG, Kim HY, Hwang CR, Park SM, Hwang Y, Yoo SM, Kim HR, Kim HY, Lee JS and Jeong HS.** (2011b). Quality characteristics by particle size of red pepper powders for pepper paste and Kimchi. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 40:725-730.
- Peleg M, Mannheim CH and Passy N.** (1973). Flow properties of some food powders. *Journal of Food Science*. 38:959-964.
- Ryu SK, Kim WS and Yu JH.** (1979). Studies on the extraction of Korean ginseng component: Part 3. extraction mechanism of ginseng components by measuring the diffusivity. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 11:118-121.
- Scoville E and Peleg M.** (1981). Evaluation of the effects of liquid bridges on the bulk properties of model powders. *Journal of Food Science*. 46:174-177.
- Shih CK, Son YJ and Lee YJ.** (1999). Changes in the carbohydrate contents of *Rehmanniae radix* during processing. *The Korea Journal of Herbology*. 14:1-11.
- Shin SK, Min AY, Kim HJ, Lee SJ, Sim EK, Lee KJ, Lee BD and Kim MR.** (2015). Quality characteristics and antioxidative activities of rice cookies with *Rehmannia glutinosa* preparata. *Korean Journal of Food and Cookery Science*. 31:136-143.