

건조비지분말의 물리적 특성에 대한 단백질과 지질 함량의 영향

김재현^{1,2} · 정진부³ · 김현석^{2*}

¹경기대학교 대학원 식품생물공학과, ²경기대학교 융합과학대학 바이오융합학부 식품생물공학전공,
³국립안동대학교 생약자원학과

Impact of Protein and Lipid Contents on the Physical Property of Dried Biji Powder

Jaehyun Kim^{1,2}, Jin Boo Jeong³, and Hyun-Seok Kim^{2*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Graduate School, Kyonggi University

²Major of Food Science and Biotechnology, Division of Bio-convergence, College of Convergence and Integrated Science, Kyonggi University

³Department of Medicinal Plant Resources, Andong National University

Abstract

The effects of chemical compositions (protein, lipid, and dietary fiber) on the physical properties of dried biji powders were investigated. The raw biji was freeze-dried (control) and hot-air dried (untreated). The untreated biji was further defatted and deproteinated. The prepared biji powders were analyzed for the proximate composition, total dietary fiber (TDF), water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), swelling power, solubility (including the quantification of soluble carbohydrate and protein fractions), and final viscosity (using a rapid visco analyzer). Control and untreated biji powders exhibited the similar chemical compositions. The defatted biji possessed higher TDF, although its protein content did not significantly differ for control and untreated ones. The deproteinated biji consisted mainly of TDF. WAI and swelling power increased in the order: deproteinated > defatted > control > untreated biji powders. WSI and solubility increased in the order: control > untreated > defatted > deproteinated biji powders. The similar patterns were observed for soluble carbohydrate and protein fractions. The deproteinated biji revealed the highest viscosity over applied temperatures, while the untreated one was lowest. Overall results suggested that the physical properties of the dried biji powder were reduced by protein and fat, but enhanced by dietary fiber.

Key words: dried biji powder, protein, lipid, dietary fiber, physical property.

서 론

비지(biji 또는 okara)는 대두를 이용하여 두부, 두유, 분리대두단백(soy protein isolate)이나 농축대두단백(soy protein concentrate)의 제조과정에서 배출되는 대두가공부산물이다(Chan & Ma, 1999; Lee & Lee, 2000; Pérez-López et al., 2016). 대두를 활용한 가공식품이나 식품소재의 제조공정에 따라 상이하지만 생비지는 두부 제조 시 대두 건조 중량의 약 120% 수율로(Pérez-López et al., 2016), 두유나 대두단백소재들의 생산 시 약 250% 수율로

배출된다(Li et al., 2012). 대두의 품종 및 가공 후 비지의 회수방법에 따라 많은 차이가 있으나 비지는 건량기준으로 약 24-30% 단백질, 약 13-15% 지방, 약 50-60% 탄수화물, 약 4-5% 회분을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Lee & Lee, 2000). 비지의 단백질은 함황아미노산과 리신(lysine)을 다량 함유하며 단백질 효율비(protein efficiency ratio)가 대두, 두유 및 두부 중 가장 높고(Lee & Lee, 2000; Lee, 2015), 탄수화물은 대부분 불용성 식이섬유(가용성 식이섬유는 비지 탄수화물의 약 5% 내외)로 구성되어 있다(Pérez-López et al., 2016). 그래서 비지는 식품의 단백질과 식이섬유를 강화할 수 있는 식품원료로 주목받고 있다. 또한 비지는 상당량의 생리활성성분들(isoflavones, lunasin 등) 때문에 체중조절, 혈중지질조성 개선, 콜레스테롤 저하, 당류의 체내흡수 지연 및 저해, 프리바이오틱로서 장기능 개선, 소화기관에 대한 항염증 및 항암 효능을 위한 기능성 식품원료로서 높은 잠재력을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다(Mateos-Aparicio et al., 2010; Lee et

*Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Major of Food Science and Biotechnology, Division of Bio-convergence, College of Convergence and Integrated Science, Kyonggi University, Suwon, Gyeonggi 16227, Korea

Tel.: +82-31-249-1319; Fax: +82-31-249-9604

E-mail: khstone@kyonggi.ac.kr

Received October 25, 2018; revised November 1, 2018; accepted November 1, 2018

al., 2013; Lu et al., 2013).

영양학적으로 우수한 비지는 대두가공과정에서 배출된 직후 약 80-85%의 높은 수분함량 뿐만 아니라 풍부한 단백질과 탄수화물 함량으로 인해 빠르게 부패되거나 상당한 지질함량으로 산패가 빠르게 진행되어 식품원료로 활용이 제한되기 때문에 사료나 비료로 일부 사용되는 이외에 전량 폐기되는 실정이다(Lee & Lee, 2000; Li et al., 2012; Lee, 2015). 식품소재의 원료나 식품원료로 사용할 목적의 생비지는 냉동저장하거나(Lee, 2015; Park et al., 2015) 건조와 분쇄 과정을 거쳐 건조비지분말로 제조되게 된다(Kim et al., 1996; Shin & Lee, 2002; Lee & Lim, 2006; Lee et al., 2014; Pérez-López et al., 2016). 특히 건조 시 투입되거나 건조된 비지의 분쇄 중 발생하는 과도한 열은 대두가공과정 중 이미 변성된 상태인 비지의 단백질 분자들 사이의 이황화결합(disulfide bond), 아미드화 반응(amidation), 소수성 결합을 촉진시켜 단백질을 불용화시킨다(Chan & Ma, 1999; Woo et al., 2001). 이로 인해 불용성 단백질과 식이섬유가 주 성분인 건조비지분말은 낮은 용해도와 물리적 기능성을 나타낸다(Kim et al., 2004; Lee et al., 2014). 그래서 식이섬유와 단백질 강화 목적으로 건조비지분말을 식품에 첨가하였을 때, 건조비지분말의 불용성에 의한 낮은 물리적 기능성은 식빵(Lee et al., 2014; Shin & Lee, 2002), 쿠키(Park et al., 2015), 설기떡(Lee & Lim, 2006) 등의 가공 적성과 최종 품질을 저하시키고 거친 식감(sandiness)을 부여하는 문제점들을 발생시키는 것으로 보고되고 있다. 이러한 건조비지분말의 식품 적용 시 문제점들을 개선하기 위해 비지에 대한 초고압균질처리(Lee et al., 2014), 고초균 발효(Ryu et al., 2007)와 기타 소재(전분, 대두분, 히드록시프로필메틸셀룰로오스) 혼합(Park et al., 2015) 등이 시도되었지만 유의미한 효과는 없었다. 게다가 기존 연구들은 건조비지분말의 물리적 기능성의 저하에 어떤 화학적 성분들이 주로 영향을 미치는지에 대해 조사하지 않았고, 이들의 고려없이 단순히 건조비지분말을 처리하여 식품에 적용하였다.

따라서 본 연구는 열풍건조법에 의해 제조된 건조비지분말로부터 탈지비지, 탈단백비지를 제조하고, 이들의 물리적 기능성의 조사를 통해 건조비지분말의 물리적 기능성 저하에 영향을 미치는 화학적 성분(단백질, 지질, 식이섬유)을 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

생비지는 안동농협더햇식품사업소(Andong, Gyeongsangbuk, Korea)에서 국내산 청차콩을 이용하여 두부 제조 시 발생한 비지를 스크류 착즙기로 1차 탈수한 것을 공급받아 사용하였다. 공급받은 비지의 수분함량은 80.5% 이었다.

본 연구에서 사용된 시약 및 용매들은 ACS 등급의 것을 사용하였다.

비지의 건조

공급받은 생비지는 -45°C의 냉동고(WSM-1300UC, Woosung Co., Cheonan, Chungcheongnam, Korea)에서 48 h 동안 동결한 후 진공동결건조기(SFD-SM24, Samwon Industry, Seoul, Korea)를 이용하여 동결건조 비지를 제조하여 대조군으로 하였다. 또한 생비지는 농산물건조기(DY-110H, Daeyong E&B, Ansan, Korea)를 이용하여 80°C에서 24시간 열풍건조하였다(무처리군). 건조된 비지 소재들은 100 mesh 선별체망이 설치된 해머식 중형분쇄기(MHK Trading Co., Bucheon, Korea)를 이용하여 분쇄하여 PET 시료병에 넣어 4°C에서 보관하면서 사용하였다.

탈지비지 제조

열풍건조 비지분말(무처리군) 100 g(d.b)은 n-hexane 300 g과 혼합하여 상온에서 3 h 동안 교반하고 뷰크너칼때기를 이용하여 감압여과한 후 뷰크너칼때기 위의 비지에 새로운 n-hexane 100 g을 가하여 2차 감압여과하였다. 회수된 탈지비지의 n-hexane 잔류물을 제거하기 위하여 50°C에서 24시간 동안 진공건조기(OV-11, Jeio Tech Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 건조하고 해머식 중형분쇄기를 이용하여 분쇄하여 PET 시료병에 넣어 4°C에서 보관하면서 사용하였다.

탈단백비지 제조

열풍건조 비지분말(무처리군) 40 g(d.b)은 1.0%(w/v) NaOH 용액 550 g과 혼합하여 상온에서 기계식 교반기를 이용하여 교반한 후 400 mesh 표준체망(No. 400, Cheonggye Co., Seoul, Korea)에 부어 비지를 회수하였다. 체망 위의 비지는 흐르는 물로 5분간 세척하고 비이커로 옮겨 탈이온수를 가하여 분산시킨 후 1 N HCl을 가하여 pH 7.0으로 조정하였다. 중화된 비지 분산물을 원심분리(2,500×g, 20 min)하여 비지와 상등액을 분리하고 탈이온수로 3회 세척하고 무수에탄올로 탈수하여 감압여과한 후 50°C에서 건조하여 탈단백비지를 제조하였다. 건조된 탈단백비지는 해머식 중형분쇄기를 이용하여 분쇄하여 PET 시료병에 넣어 4°C에서 보관하면서 사용하였다.

일반성분 및 식이섬유

비지소재들의 수분함량은 적외선수분측정기(LP16, Mettler-Toledo AG, Greifensee, Switzerland)를 이용하여 130°C에서 정량하였다. 조단백질, 조지방, 조회분 함량은 AOAC법에 따라 각각 Kjeldahl법(질소계수 5.7), Soxhlet법과 건식회화법에 의해 정량하였다(AOAC, 2000). 탄수화물 함량은 건조시료 100 g 중 조단백질, 조지방 및 조회분 함량들을

차감하여 계산하였다. 총 식이섬유 함량은 AOAC법에 따라 총 식이섬유 분석 키트(total dietary fibre assay kit, Megazyme Int., Wicknow, Ireland)를 이용하여 분석하였다(AOAC, 2000).

수분흡수지수(water absorption index, WAI) 및 수분용해지수(water solubility index, WSI)

건조비지분말(0.5 g, d.b; S)을 50 mL 원심분리관 안에 직접 칭량한 후 증류수 25 mL를 가하고 wrist-action shaker (600 strokes/min; Ingenieurbüro CAT M. Zipperer GmbH, Wettelbrunner, Ballrechten-Dottingen, Germany)를 이용하여 상온(~24°C)에서 30분간 진탕하였다. 30분 후 비지 분산물은 항량을 측정된 fritted-glass filtered crucible (W_1) 위에서 감압여과하였고, 여액이 배출되지 않을 때부터 10분간 추가로 감압여과 조작을 수행한 후 무게(W_2)를 측정하였다. 수분용해지수를 위해 회수된 여액은 100 mL 정용플라스크로 옮기고 탈이온수를 가하여 정용한 후 10 mL를 취하여 항량을 측정할 수분측정용 알루미늄 디쉬에 넣고 105°C에서 항량에 도달할 때까지 건조하여 회석된 여액의 고형분의 무게(W_3)를 측정하였다. 수분흡수지수와 수분용해지수는 다음 식에 의해 계산되었다(Lee et al., 2014).

$$WAI \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{W_2 - W_1}{S - (W_3 \times 10)}$$

$$WSI (\%) = \frac{W_3 \times 10}{S} \times 100$$

여기서 10은 회석배수로서 회석된 여액 100 mL 내의 총 고형분의 무게를 계산하기 위해 사용되었다.

팽윤력, 용해도 및 가용성 탄수화물과 단백질

건조비지분말 0.5 g (d.b)를 50 mL 원심분리관 안에 직접 칭량하고 탈이온수 25 mL를 가하고 혼합하여 85°C의 항온 수욕조에서 5분 간격으로 vortexing 하면서 총 30분간 가열한 후 원심분리관을 찬물수욕조(약 12-15°C)로 옮겨 20분간 냉각하였다. 이를 원심분리(2,500×g, 20 min)하여 상등액은 100 mL 정용플라스크로 옮기고 침전물은 무게를 측정하였다. 회수된 상등액에 탈이온수를 가하여 100 mL로 정용한 후 10 mL를 취하여 항량을 측정할 알루미늄 디쉬에 넣고 105°C에서 항량에 도달할 때까지 건조하여 무게를 측정하고 다음의 계산식에 따라 건조비지분말의 용해도와 팽윤력을 계산하였다.

용해도(%)

$$= \frac{\text{회수된 상등액 내의 총 고형분의 중량(g)}}{\text{초기 건조비지분말의 중량(g)}} \times 100$$

팽윤력(g/g)

$$= \frac{\text{침전물의 중량(g)} \times 100}{\text{초기 건조비지분말의 건조 중량(g)}(100 - \text{용해도}(\%))}$$

회수된 상등액 내의 가용성 탄수화물과 단백질은 각각 황산-페놀법(Dubois et al., 1956)과 Lowry법(Lowry et al., 1951)에 의해 정량하여 초기 건조비지분말의 중량에 대한 가용성 탄수화물과 단백질의 백분비로 나타내었다.

점도

비지소재 분산물들의 점도는 신속점도분석기(RVA-3D, Newport Scientific, New South Wales, Australia)를 이용하여 조사하였다. 동결건조된 비지분말(대조군)과 탈단백비지분말의 경우 각각 2.25 g (d.b)을, 열풍건조된 비지분말과 탈지비지분말의 경우 각각 3.0 g (d.b)을 알루미늄 용기에 직접 칭량하고 총 30 g이 되도록 탈이온수를 가한 후 spatula와 플라스틱 회전축을 이용하여 비지분말을 완전히 분산시켜 비지소재 분산물의 점도 측정용 분석시료를 제조하였다. 신속점도분석기는 미리 결정된 온도(30, 45, 60, 75, 90°C)로 일정하게 유지하면서 플라스틱 회전축을 160 rpm으로 일정하게 15분 동안 회전시키면서 점도변화를 측정하였고, 최종점도를 비지소재 분산물의 점도로 하였다.

통계처리

처리된 건조비지분말들의 특성들은 3회 반복하여 분석하였고, 측정된 특성치들은 one-way ANOVA 분석을 수행하여 평균±표준편차로 나타내었다. 처리군들의 평균값들 사이의 통계적 유의성은 95% 신뢰수준에서 Tukey's HSD multiple range test를 이용하여 분석하였다. 모든 계산과 통계분석은 Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

일반성분과 식이섬유

진공동결건조에 의한 비지(대조군), 열풍건조에 의한 비지(무처리군), 열풍건조비지에 대해 각각 탈지와 탈단백 처리된 탈지비지와 탈단백비지의 일반성분과 총 식이섬유 함량들을 조사하여 Table 1에 나타내었다. 대조군과 무처리군들은 18.9-19.9% 조단백질, 10.4-10.7% 조지방, 3.7-3.9% 조회분과 65.8-66.8% 탄수화물 함량을 나타내었으며, 대조군과 무처리군들 사이에서 일반성분에 대한 유의적인 차이는 관찰되지 않았다(Table 1). 총 식이섬유 함량은 대조군(61.2%)이 무처리군(60.3%)보다 유의적으로 높은 수준이었으나 그 차이는 미미하였다(Table 1). 대조군과 무처리군들의 일반성분과 총 식이섬유 함량들은 선행된 연구들에서 보고된 두부 제조 시 배출된 비지의 것들과 유사한 수준이

Table 1. Mean¹⁾ values for proximate composition and total dietary fiber of control (freeze-dried), untreated (hot-air dried), defatted, and deproteinated biji powder

Biji powder	Proximate composition (% , d.b)				Total dietary fiber (% , d.b)
	Crude protein	Crude fat	Crude ash	Carbohydrate	
Control	19.9±1.0 ^a	10.7±0.0 ^a	3.7±0.0 ^b	65.8±1.0 ^c	61.2±0.5 ^c
Untreated	18.9±0.5 ^a	10.4±0.4 ^a	3.9±0.0 ^b	66.8±0.2 ^c	60.3±0.3 ^d
Defatted	17.8±0.7 ^{ab}	0.2±0.0 ^c	4.4±0.1 ^a	77.6±0.1 ^b	73.2±1.6 ^b
Deproteinated	0.9±0.0 ^c	0.6±0.1 ^b	3.8±0.1 ^b	94.7±0.1 ^a	93.8±0.6 ^a

¹⁾Mean values of three replicate measurements; Values sharing the same lowercase letters within columns are not significantly different at $p < 0.05$.

었다(Lee et al., 1992; Lee et al., 2014). 탈지비지는 17.8% 조단백질, 0.2% 조지방, 4.4% 조회분, 77.6% 탄수화물과 73.2% 총 식이섬유 함량을 보유하고, 조단백질 함량은 대조군과 무처리군들의 것과 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 1). 그러나 조회분, 탄수화물과 총 식이섬유 함량은 대조군과 무처리군들의 것보다 유의적으로 높았고, 이는 무처리군으로부터 지방 성분의 제거로 상대적으로 증가하였기 때문이다(Table 1). 탈단백비지는 0.9% 조단백질, 0.6% 조지방, 3.8% 조회분, 94.7% 탄수화물과 93.8% 총 식이섬유 함량들을 나타내었다(Table 1). 탈단백비지에 있어 탄수화물과 총 식이섬유 함량이 증가한 것은 조단백질과 조지방의 감소로 인한 상대적인 결과이다. 따라서 본 연구의 탈단백비지는 단백질과 지방질이 모두 제거되어 탄수화물 고분자가 주성분인 비지 식이섬유라 할 수 있다. 한편 NaOH 용액을 이용하여 비지의 단백질 성분을 제거하는 처리는 비지의 지방도 함께 제거하였는데(Table 1), 이는 단백질 추출용매인 NaOH와 비지의 지방 성분들(중성지질, 자유지방산 등) 사이에 탈에스테르화 반응과 비누화 반응(saponification)이 일어나 탈단백비지를 세척하는 동안 제거되었기 때문이다. 그럼에도 본 연구에

서 비지의 단백질을 제거하기 위해 NaOH 용액을 사용한 것은 식품첨가물 등급의 단백질분해효소를 최적 반응 조건에서 16시간 동안 비지를 처리한 경우 12.1%의 조단백질이 잔류하였고, 반응시간을 24시간까지 연장하여도 10% 이상의 조단백질 함량이 여전히 존재하여 건조비지분말의 물리적 특성에 대한 단백질의 영향을 명확히 조사할 수 없었기 때문이다.

수분흡수지수와 수분용해지수

건조비지분말들의 수분흡수지수와 수분용해지수를 분석하여 Fig. 1에 나타내었다. 수분흡수지수는 대조군 8.1 g/g, 무처리군 5.6 g/g, 탈지비지 6.8 g/g, 탈단백비지 13.3 g/g이었고, 처리군들 사이에서 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 1A). 무처리군의 수분흡수지수는 Lee et al. (2014)이 보고한 건조비지분말의 것(3.9 g/g)보다 높은 수준을 나타내었고, 이러한 차이는 건조비지분말의 입도의 차이 때문인 것 같다. Guillon & Champ (2000)은 식물 유래 식이섬유의 입도가 작아질수록 수분흡수율이 증가한다고 보고하였다. 따라서 Lee et al. (2014)이 사용한 건조비지분말(<40 mesh)보다 작은 입도 분포를 가지는 본 연구의 무처리군

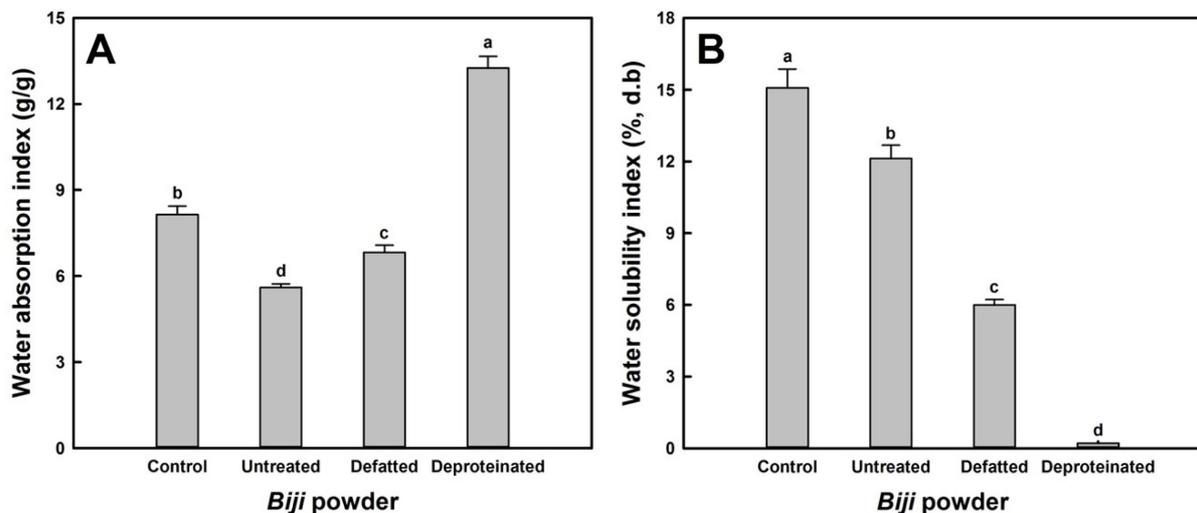


Fig. 1. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of control (freeze-dried), untreated (hot-air dried), defatted, and deproteinated biji powders. Bars sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

(<100 mesh)의 수분흡수지수가 높은 수준을 나타낸 것으로 생각된다. 한편 대조군과 무처리군은 일반성분들에 있어 유의적인 차이가 없으며 총 식이섬유 함량에 있어서도 미미한 차이가 있지만(Table 1), 수분흡수지수는 대조군에 비해 무처리군이 유의적으로 낮았다(Fig. 1A). 곡물, 두류, 채소류 가루들의 수분흡수력이나 수분보유력은 이들의 고분자 성분들(전분, 비전분성 탄수화물 고분자와 단백질 등)의 구조, 조성 및 함량 등에 영향을 받는다고 알려져 있다 (Guillon & Champ, 2000; Kweon et al., 2011; Ullah et al., 2018). 그래서 대조군과 무처리군 사이의 수분흡수지수 차이는 건조 중 투입된 열에 의한 이들 단백질의 구조적인 변화의 차이 때문인 것으로 생각된다. Hashizume & Watanabe (1979)는 대두단백질 용액에 대한 열처리 온도의 증가는 이황화결합(disulfide bond)의 형성을 용이하게 하여 대두단백질의 응집이 촉진된다고 보고하였고, 이는 60-70°C 범위에서 급격히 발생한다고 하였다. 따라서 본 연구에서 동결건조된 대조군에 비해 80°C에서 열풍건조된 무처리군은 높은 빈도로 형성된 이황화결합에 의해 가교된 단백질 매트릭스를 함유하기 때문에 수분을 흡수하여 보유하는 능력이 적은 것으로 생각된다. 또한 무처리군으로부터 제조된 탈지비지는 무처리군의 조단백질 함량과 유의적인 차이가 없으나(Table 1) 수분흡수지수는 유의적으로 높은 수준을 나타내었다(Fig. 1A). 이것은 비지 조직의 전반에 걸쳐 분포하는 지질 성분들(Preece et al., 2015)이 탈지 과정에 의해 비지에서 제거되어 수분의 흡수가 용이해졌을 뿐만 아니라 상대적으로 식이섬유 함량이 증가했기 때문으로 생각된다. Ullah et al. (2018)은 비지의 불용성 식이섬유 함량의 증가는 비지의 수분보유력과 팽윤력을 증가시킨다고 보고하였다. 그럼에도 대조군에 비해 탈지비지가 낮은 수분흡수지수를 보이는 것은 이황화결합에 의해 가교된 단백질 매트릭스를 탈지비지가 여전히 함유하고 있기 때문인 것 같다. 마지막으로 탈단백비지는 다른 비지 소재들에 비해 월등히 높은 수분흡수지수를 나타내었는데(Fig. 1A), 탈단백비지는 수분흡수지수를 낮추는 조단백질과 조지방을 거의 함유하지 않고 대부분 식이섬유로 구성되어 있기 때문이다(Ullah et al., 2018). 이상의 결과를 종합하면 비지의 단백질이 이황화결합에 의해 가교되는 정도가 낮을수록, 지질 성분이 적을수록 건조비지분말의 수분흡수지수가 향상되는 것 같다.

건조비지분말들의 수분용해지수는 Fig. 1B에 제시하였다. 수분용해지수는 대조군이 15.1%, 무처리군이 12.1%, 탈지비지가 6.0%, 탈단백비지가 0.2%를 나타내었으며, 처리군들 사이에 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 1B). 대두가공 부산물 및 대두 유래 소재(단백질과 식이섬유)들의 수분용해지수나 용해도는 이들이 함유하고 있는 가용성 탄수화물과 단백질의 함량에 영향을 받는다고 보고한 기존 연구들(Chan & Ma, 1999; Ma et al., 1997; Ullah et al., 2018)

에 따르면, 본 연구에서 제시된 수분용해지수는 건조비지분말들로부터 상온의 물에 용해되어 용출된 가용성 탄수화물(가용성 식이섬유 포함)과 단백질의 총량을 반영하는 것이라 할 수 있다. 그래서 본 연구와 유사한 비지를 사용한 Lee et al. (2014)이 보고한 총 식이섬유에 대한 가용성 식이섬유의 비율(약 3.8%)를 적용하고, 본 연구의 총 탄수화물과 총 식이섬유 함량의 차를 가용성 탄수화물로 가정하면, 대조군, 무처리군과 탈지비지의 가용성 탄수화물 함량은 각각 약 6.9, 8.8과 7.2%를 나타내고, 처리군들 사이에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 본 연구에서 관찰된 수분용해지수의 차이는 처리군들의 가용성 단백질 함량의 차이에 의해 주로 영향 받는 것으로 생각되며, 대조군, 무처리군과 탈지비지의 순서로 가용성 단백질 함량이 증가하는 것으로 예상된다. 이와 같이 예측된 현상은 대조군에 비해 무처리군은 80°C에서 건조되었고, 탈지비지는 80°C에서 건조된 무처리군으로부터 탈지 후 50°C에서 추가로 진공건조되었기 때문에 대조군, 무처리군, 탈지비지의 순서로 이황화결합에 의한 단백질 분자들 사이의 가교가 높은 빈도로 일어나 단백질의 가용성이 저하되었기 때문으로 생각된다. 탈단백비지의 경우 수분흡수지수가 거의 측정되지 않았는데 이는 수산화나트륨 용액을 이용하여 단백질을 제거하고 물로 세척하는 과정에서 가용성 성분들이 모두 제거되었기 때문이다.

팽윤력과 용해도

건조비지분말 소재들의 팽윤력과 용해도를 85°C에서 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 팽윤력은 대조군이 9.3 g/g, 무처리군이 6.5 g/g, 탈지비지가 7.0 g/g, 탈단백비지가 15.2 g/g이었으며, 처리군들 사이에서 유의적인 차이를 나타내었고(Fig. 2A), 수분흡수지수에서 관찰된 양상(Fig. 1A)과 동일 하였다. 따라서 이러한 현상은 수분흡수지수에서 설명한 것과 같이 건조비지분말들의 단백질 분자들이 이황화결합에 의해 가교된 단백질 매트릭스로 존재하기 때문인 것으로 생각된다(Hashizume & Watanabe, 1979). 한편 팽윤력은 85°C에서, 수분흡수지수는 상온(-24°C)에서 측정되었음에도 주어진 건조비지분말들에 있어 수분흡수지수와 팽윤력의 차이는 미미한 수준이었다. 이는 건조비지분말 내의 가교된 단백질 매트릭스가 비지가 수화되면서 부피가 증가되는 것을 제한한다는 것을 암시하는 것 같다. 또한 비지의 팽윤력이 증가하기 위해서는 흡수된 물을 보유할 수 있는 공간, 예를 들어 손상되지 않은 자엽(cotyledon) 세포층이 필요한데, 본 연구에서는 비지의 건조와 분쇄를 통해 분말로 제조하면서 자엽 세포층들이 파괴되어(Preece et al., 2015) 흡수된 물을 비지 조직 내에 보유할 수 없었기 때문일 수도 있다.

용해도는 대조군이 17.6%, 무처리군이 16.0%, 탈지비지가 8.9%, 탈단백비지가 0.4%이었으며(Fig. 2B), 수분용해

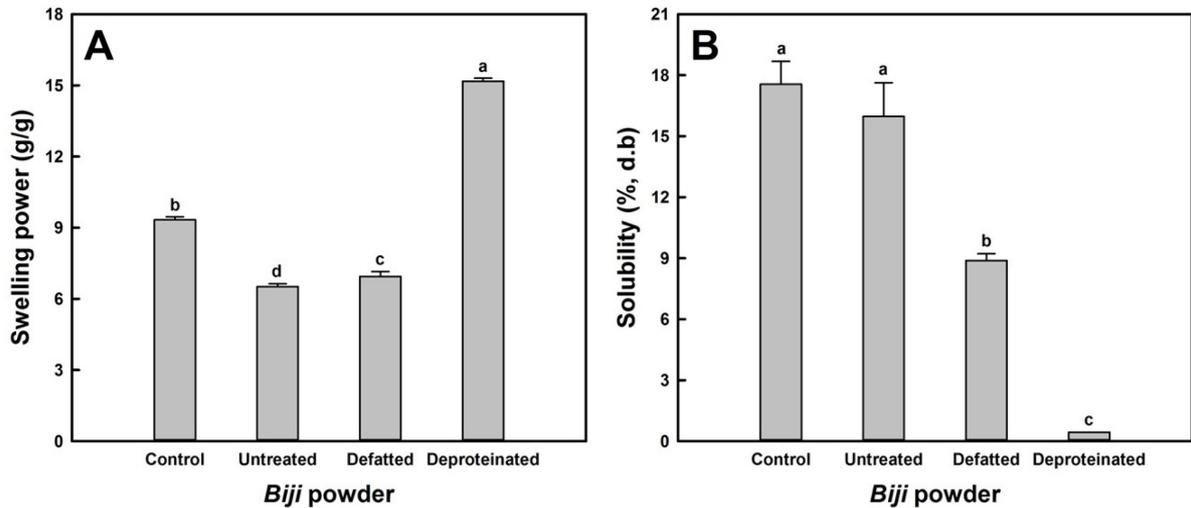


Fig. 2. Swelling power and solubility of control (freeze-dried), untreated (hot-air dried), defatted, and deproteinized biji powders. Bars sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

지수와 유사한 양상(Fig. 1B)을 나타내었다. 팽윤력과 마찬가지로 용해도도 수분용해지수보다 높은 수준을 나타내었고, 이는 비지 조직들이 팽윤되면서 비지 조직 내에 갇혀 있던 가용성 성분들이 용출되었기 때문으로 생각된다. 그럼에도 수분용해지수에 비해 용해도는 약 0.2-4.0% 포인트 정도 증가하였고, 이와 같은 현상은 수분용해지수에서 설명한 바와 같이 이황화결합에 의한 단백질 분자들의 가교로 단백질이 불용화되었기 때문으로 생각된다(Hashizume & Watanabe, 1979).

가용성 탄수화물과 단백질 함량

건조비지분말들의 팽윤력 분석 시 회수된 상층액 내에 함유된 가용성 탄수화물과 단백질 함량을 분석하여 Fig. 3

에 제시하였다. 가용성 탄수화물은 대조군이 6.9%, 무처리군이 6.2%, 탈지비지가 3.5%, 탈단백비지가 0.3%이었고, 처리군들 사이에서 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 3A). 가용성 단백질은 대조군이 6.0%, 무처리군이 4.8%, 탈지비지가 2.0%, 탈단백비지가 0.02%이었고, 처리군들 사이에서 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 3B). 가용성 탄수화물과 단백질 함량의 합계는 대조군이 12.9%, 무처리군이 11.0%, 탈지비지가 5.5%, 탈단백비지가 0.32%로, 이들 각각의 용해도보다 낮은 수준이었다. 그럼에도 계산된 가용성 탄수화물과 단백질 함량의 합은 용해도의 약 73-80%를 차지하고 있었고, 이는 수분용해지수에서 제안한 바와 같이 비지의 수분용해지수나 용해도는 비지의 가용성 탄수화물과 단백질들의 함량의 합계를 반영한 것이라는 점을 설명하는

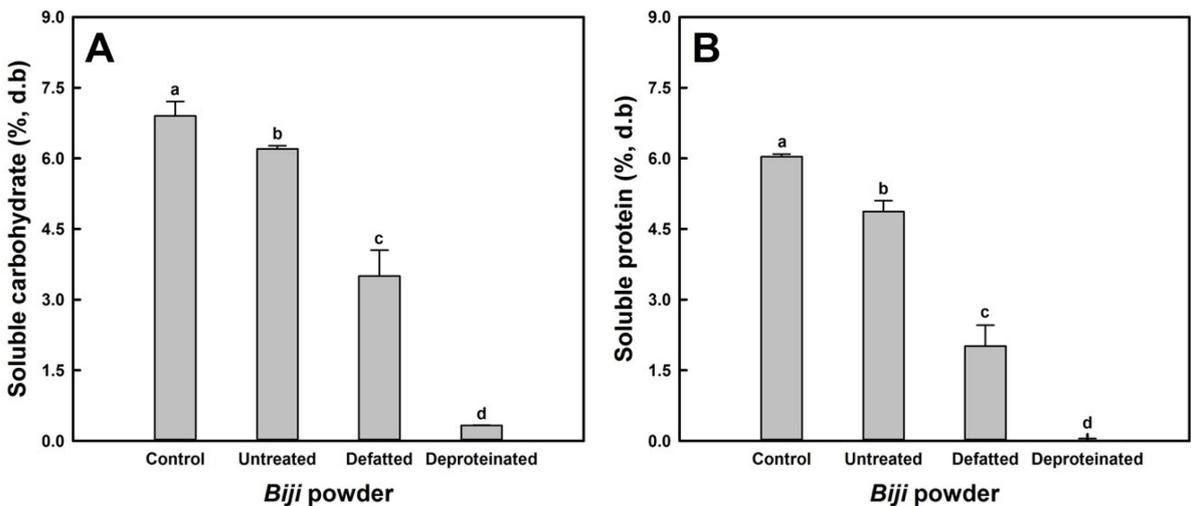


Fig. 3. Soluble carbohydrate and protein contents of control (freeze-dried), untreated (hot-air dried), defatted, and deproteinized biji powders. Bars sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

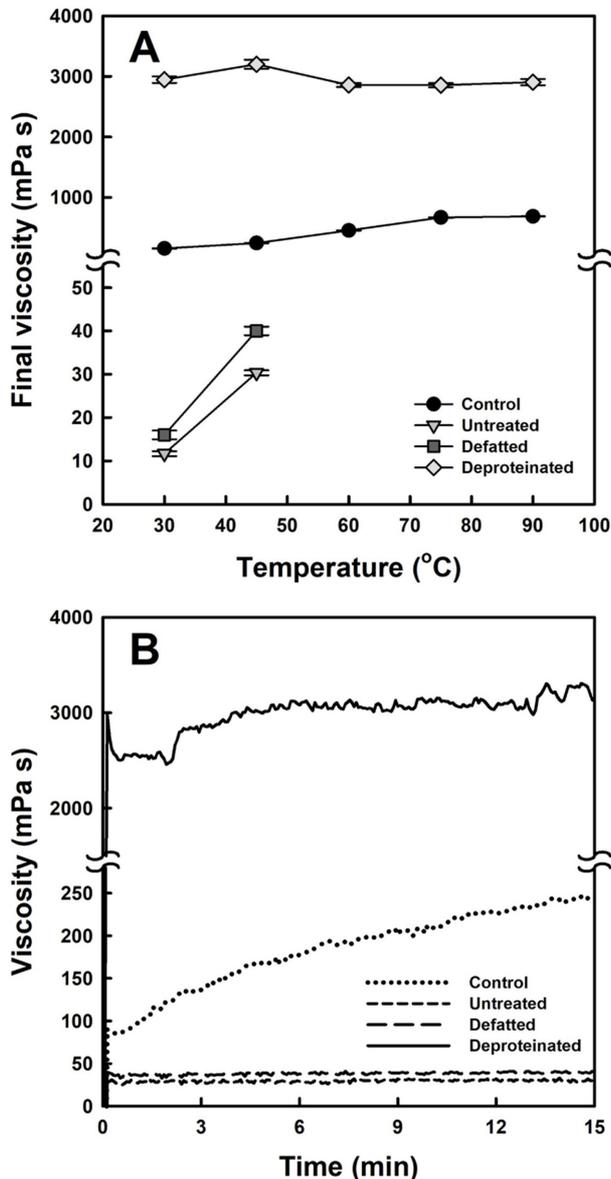


Fig. 4. Final viscosity (A) and viscosity profile (B; analyzed at 45°C) of aqueous dispersions from control (freeze-dried), untreated (hot-air dried), defatted, and deproteinated biji powders depending on temperatures.

것 같다. 한편 용해도와 가용성 탄수화물과 단백질의 총량의 차이는 건조비지분말-물 분산물을 85°C에서 가열 시 건조비지분말의 염 성분들이 용해되었거나 지질성분들이 녹아 상층액에 포함되었기 때문으로 생각된다.

건조비지분말의 점도

건조비지분말들의 점도는 건조비지분말-물 분산물을 제조하여 신속점도분석기를 이용하여 분석하고 주어진 온도에서의 최종점도로 나타내었다(Fig. 4). 건조비지분말 소재들의 최종점도를 분석하기 위해 모든 시료들을 고형분 함량 7.5% (30 g 건조비지분말-물 분산물 내에 2.25 g 건조비

지분말)의 RVA 분석용 시료를 제조하여 분석하였을 때, 대조군과 탈단백비지분말은 유의적인 수준의 점도를 발달시켰으나, 무처리군과 탈지비지는 점도를 발달시키지 못하였다. 그래서 무처리군과 탈지비지는 이들 물 분산물의 점도를 측정할 수 있는 최소농도(10%, 30 g 건조비지분말-물 분산물 내에 3.0 g 무처리군 또는 탈지비지)에서 분석하였다. 대조군은 30°C에서 90°C로 증가하면서 점도가 155.8 mPa·s에서 686.0 mPa·s로 유의적으로 증가하였고(Fig. 4A), 주어진 온도에서 분석하는 동안 점도는 점진적으로 증가하다 14분경부터는 일정한 수준을 유지하였다(Fig. 4B). 이러한 점도의 증가 양상은 대조군이 물을 흡수하여 팽윤되면서 비지분말 입자가 팽윤하였기 때문이다. 반면에 무처리군과 탈지비지는 30°C와 40°C에서만 점도가 발달하였고, 이상의 온도에서는 점도가 측정되지 않았으며, 대조군과 탈단백비지에 비해 극히 낮은 점도 수준을 나타내었다(Fig. 4A). 또한 주어진 온도에서 점도를 측정하는 동안 일정한 수준의 점도를 유지하여(Fig. 4B), 무처리군과 탈지비지는 점도를 측정하는 동안 팽윤이 일어나지 않은 것으로 판단된다. 게다가 탈지비지가 무처리군보다 주어진 온도에서 유의적으로 높은 점도를 나타내었고(Fig. 4A), 이들의 수분흡수지수(Fig. 1A)와 팽윤력(Fig. 2A)의 양상과 동일하였다. 따라서 대조군보다 무처리군과 탈지비지가 낮은 점도를 나타내는 것은 수분흡수와 팽윤을 억제하는 이황화결합에 의해 가교된 단백질의 존재와 가교된 정도의 차이 때문인 것으로 생각된다(Hashizume & Watanabe, 1979). 한편 수분흡수지수(Fig. 1A)와 팽윤력(Fig. 2A)에서 가장 높은 수준을 보인 탈단백비지는 조사된 비지 소재들 중에서 가장 높은 점도를 나타내었고, 온도에 따른 점도의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다(Fig. 4A). 이는 수분흡수를 억제하거나 지연시켜 팽윤을 제한할 수 있는 가교된 단백질과 지질 성분이 각각 1.0% 미만으로 존재하기(Table 1) 때문으로 생각된다. 또한 주어진 온도에서 탈단백비지의 점도는 시간에 따라 대체로 증가하는 양상을 보였으나 대조군에서 관찰된 양상과 같이 명확하지 않았다. 탈단백비지에서 관찰된 양상은 주어진 모든 온도에서 유사하게 관찰되었으며, 온도가 상승할수록 점도의 증가율은 감소하였다(data not shown). Ullah et al. (2018)은 비지로부터 제조된 식이섬유에 있어 불용성 분획이 많을수록 전단속도에 대한 비지 식이섬유의 점도 변화가 적어진다고 하였다. 그래서 탈단백비지의 점도가 온도에 따라 큰 차이를 보이지 않으며, 주어진 온도에서 시간에 따라 점도의 증가율이 적은 것은 탈단백비지의 식이섬유가 대부분 불용성 식이섬유로 구성되어 있기 때문인 것 같다.

요 약

건조비지분말의 물리적 특성에 대한 비지 소재의 화학적

성분들(조단백질, 조지방, 식이섬유)의 영향을 조사하였다. 동결건조된 비지(대조군)와 열풍건조된 비지(무처리군)의 일반성분과 식이섬유 함량들은 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 탈지비지의 조단백질 함량은 대조군 및 무처리군과 유의적인 차이가 없었으나 조지방 함량이 감소한 만큼 상대적으로 탄수화물 및 총 식이섬유 함량이 증가하였다. 탈단백비지는 조단백질과 조지방이 1% 미만이었으며 대부분 식이섬유로 구성되어 있었다. 수분흡수지수는 탈단백비지, 대조군, 탈지비지, 무처리군의 순서로 높았으며, 수분용해지수는 대조군, 무처리군, 탈지비지, 탈단백비지의 순서로 높았다. 팽윤력과 용해도는 건조비지분말의 각각의 수분흡수지수와 수분용해지수보다 높은 값을 나타내었고, 수분흡수지수와 수분용해지수에서 관찰된 양상과 동일하였다. 85°C에서의 가용성 탄수화물과 단백질 함량은 용해도에서 관찰된 양상과 동일하였으며, 건조비지분말로부터 용해된 가용성 성분들의 대부분은 가용성 탄수화물과 단백질로 구성되어 있었다. 건조비지분말-물 분산물의 점도는 탈단백비지, 대조군, 탈지비지, 무처리군의 순서로 증가하였으나, 무처리군과 대조군의 경우 45°C까지만 점도를 발달시켰다. 또한 탈단백비지는 조사된 온도 범위에서 점도가 유의적으로 다르지 않았으나, 대조군은 온도가 증가하면서 점도가 증가하였다. 이상의 결과를 종합할 때, 이황화결합에 의해 가교된 단백질, 불용성 단백질의 존재와 함량은 건조비지분말의 물리적 특성을 저하시켰으며, 지질 성분에 의한 물리적 특성의 저하는 미미한 수준이었다. 또한 건조비지분말의 식이섬유 함량의 증가는 물리적 특성을 향상시키는 효과를 나타내었다. 따라서 대두가공과정 중 배출된 비지를 식품원료로 사용하기 위해서는 단백질 함량이 적은 비지를 선택하여 가능한 낮은 온도에서 건조하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발사업(과제번호 115042-3)에 의해 이루어진 것의 일부이며 이에 감사 드립니다. 또한 본 연구는 2018년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- AOAC. 2000. Official method of analysis. 17th ed: AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28: 350-356.
- Chan WM, Ma CY. 1999. Acid modification of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res. Int.* 32: 119-127.
- Guillon F, Champ M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Res. Int.* 33: 233-245.
- Hashizume K, Watanabe T. 1979. Influence of heating temperature on conformational changes of soybean proteins. *Agr. Biol. Chem. Tokyo* 43: 683-690.
- Kim SY, Jeon MG, Lee SY. 2004. Isolation of the tofu-residue solubilization microorganism and optimization for solubilization of tofu-residue. *Food Eng. Prog.* 8: 189-195.
- Kim DS, Seol MH, Kim HD. 1996. Changes in quality of soybean curd residue as affected by different drying methods. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 25: 453-459.
- Kweon M, Slade L, Levine H. 2011. Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding-A review. *Cereal Chem.* 88: 537-552.
- Lee SM, Baik MY, Kim HS, Min SC, Kim BY. 2014. Effect of high pressure homogenization on *Biji* paste and optimization of bread fortified with dietary fiber. *Food Eng. Prog.* 18: 95-101.
- Lee WJ, Choi MR, Sosulski FW. 1992. Separation of Tofu-residue (*biji*) into dietary fiber and protein fractions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 24: 97-100.
- Lee SH, Lee MS. 2000. Utilization of the *Tofu*-residue for production of the bacteriocin I. Cultural conditions of *Bacillus* sp. for amylase. *J. Fd. Hyg. Safety* 15: 271-276.
- Lee SH. 2015. Antioxidant capacity and nutritive components from *biji* sub-micron suspension by ultra-high pressure homogenization process. *Korean J. Food Preserv.* 22: 714-720.
- Lee SI, Lee YK, Kim SD, Lee JE, Choi J, Bak JP, Lim JH, Suh JW, Lee IA. 2013. Effect of fermented soybean curd residue (FSCR; SCR-meju) by *Aspergillus oryzae* on the anti-obesity and lipids improvement. *J. Nutr. Health* 46: 493-502.
- Lee GJ, Lim SM. 2006. Quality characteristics of Sulgidduk with added soybean curd residue powder. *Korean J. Food Cookery Sci.* 23: 583-590.
- Li H, Long D, Peng J, Ming J, Zhao G. 2012. A novel in-situ enhanced blasting extrusion technique-Extrudate analysis and optimization of processing conditions with okara. *Innov. Food Sci. Emerg.* 16: 80-88.
- Lu F, Liu Y, Li B. 2013. Okara dietary fiber and hypoglycemic effect of okara foods. *Bioact. Carbohydr. Dietary Fibre* 2: 126-132.
- Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 365-375.
- Ma CY, Liu WS, Kwok KC, Kwok F. 1997. Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res. Int.* 29: 799-805.
- Mateos-Aparicio I, Mateos-Peinado C, Rupérez P. 2010. High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean. *Innov. Food Sci. Emerg.* 11: 445-450.
- Park J, Choi I, Kim Y. 2015. Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose have high quality and nutritional value. *LWT-Food Sci. Technol.* 63: 660-666.
- Pérez-López E, Mateos-Aparicio I, Rupérez P. 2016. Okara treated with high hydrostatic pressure assisted by Ultraflo® L: Effect on

- solubility of dietary fibre. *Innov. Food Sci. Emerg.* 33: 32-37.
- Preece KE, Drost E, Hooshyar N, Krijgsman A, Cox PW, Zuidam NJ. 2015. Confocal imaging to reveal the microstructure of soybean processing materials. *J. Food Eng.* 147: 8-13.
- Ryu MJ, Kim HI, Lee SP. 2007. Quality characteristics of cookies fortified with soymilk cake fermented by *Bacillus subtilis* GT-D. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 36: 1070-1076.
- Shin DH, Lee YW. 2002. Quality attributes of bread with soybean milk residue-wheat flour. *Korean J. Food Nutr.* 15: 314-320.
- Ullah I, Yin T, Xiong S, Huang Q, Din ZU, Zhang J, Javaid AB. 2018. Effects of thermal pre-treatment on physicochemical properties of nano-sized okara (soybean residue) insoluble dietary fiber prepared by wet media milling. *J. Food Eng.* 237: 18-26.
- Woo EY, Lee KA, Lee OH, Kim KS. 2001. Composition of okara produced from soymilk processing. *Korean J. Food Nutr.* 14: 562-567.