

Faba bean 가루 및 녹말의 열역학적 특성과 물리화학적 특성

김희윤^{1, #} · 최요한^{1, #} · 조은정¹ · 백무열¹ · 최현욱^{2, *}

¹경희대학교 생명공학원 식품생명공학과, ²전주대학교 바이오기능성식품학과

Thermal and physiochemical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) flour and starch

Hui-Yun Kim^{1, #}, Yohan Choi^{1, #}, Eun-Jeong Jo¹, Moo-Yeol Baik¹, and Hyun-Wook Choi^{2, *}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Institute of life Science and Resources, Kyung Hee University

²Department of Functional Food and Biotechnology, Jeonju University

Abstract In this study, we conducted a physiochemical property analysis using commercial faba bean flour (CFBF), faba bean flour (FBF), and faba bean starch (FBS). We observed that the FBS granules were elliptical and cracked on the surface. Moreover, FBS showed significantly lower solubility and apparent viscosity than FBF and CFBF. With respect to the pasting properties, FBS exhibited a peak viscosity of 1349.3 cP at 94.8°C and a breakdown of 42.7 cP, whereas FBF and CFBF displayed no pasting properties. The FBS gelatinization enthalpy (12.9 J/g) was relatively high compared with the values obtained for FBF and CFBF (5.9 and 4.6 J/g, respectively). The FBS X-ray diffraction patterns showed a C-type pattern with peaks at diffraction angle (2θ) of 5.9°, 15.2°, 17.3°, and 23.1°, which were the same in FBF and CFBF with relatively low peak intensity. These results represent basic data for using faba bean as a food material.

Keywords: faba bean flour, faba bean starch, physiochemical property, pasting properties, gelatinization enthalpy

서 론

콩은 Fabaceae 또는 Leguminosae과에 속하는 식물의 총칭으로 콩과 식물은 18,000종 이상이 있으며, 그 중 사람이 이용하는 것은 극히 일부이다. Faba bean (Broad bean, *Vicia faba* L.)은 북아프리카가 원산지인 두류 작물로 전세계적으로 자생하지만 주로 중국과 이집트, 에티오피아와 중앙아시아 등지에서 재배되며 사료로 사용되거나 볶음이나 튀김, 고물로 만들어 먹는다. 또한 faba bean은 중앙아시아 등지에서 중요한 단백질 생산 원료로 사용되며 전세계 콩 생산량의 7.6%를 차지한다(FAO, 2001). 잠두중독증(Favism)은 사람에게 급성 용혈성 빈혈을 일으키는 유전에 따른 질병이며 주로 지중해 연안 지역과 북아프리카, 중앙아시아 등에서 보고되며, 우리나라를 포함한 동북아 지역에서는 많이 나타나지 않는다. 잠두중독증은 faba bean 내 구성성분인 비신(Vicine)으로 인해 발병할 수 있어 잠두중독증 환자에겐 faba bean의 섭취 제한이 요구된다(Lin 등, 1962). 또한 faba bean에 함유된 L-DOPA는 파킨슨병에 효능을 가진 물질로, Rabey 등(1993)에 따르면 faba bean의 섭취가 혈중 L-DOPA 농도를 높이는데 도움이

되며, 이는 경증 파킨슨병 환자들에게 효과가 있다고 하였다. Al-Masri (2015)에 따르면 발아한 faba bean은 비만 유도 쥐에게 항비만 효과를 가진다고 보고 하였다.

Faba bean 가루는 녹말과 단백질을 주요 구성성분으로 가지고 있으며 지질, 섬유질 등으로 이루어져 있다. Faba bean 녹말은 식품에서 당면과 녹말 겔을 만드는데 주로 사용된다. 녹말은 대부분 식물의 주요 구성원 중 하나로 식물의 탄수화물 저장원이며 식물 종류에 따라 고유의 특성과 모양을 가진 녹말 입자를 가진다. 녹말은 물과 섞어서 가열하면 점도가 증가하고 냉각하면 겔을 형성하는 특징을 가진 재료로써 식품에서 주로 분산안정제 및 증점제 등으로 사용된다. 녹말은 충분한 수분과 함께 가열되면 녹말 입자가 물을 흡수하고 팽윤되며, 호화온도 이상에서는 녹말 입자 내 아밀로오스가 녹말입자 외부로 용출되며 입자가 파괴되는데 이러한 일련의 과정을 호화라고 하며 호화 특성은 녹말의 원료, 첨가물 등에 따라 영향을 받는다. 단백질 추출 후 남은 콩의 부산물은 녹말의 함량이 높으며, 두류의 녹말은 60-90°C의 호화온도를 가진다. 또, 호화 중 증가한 점도가 냉각 후에도 유지되거나 더 증가하는 특성을 가지는 것으로 보고되었다(Gujjska 등 1994; Rabey 등 1993; Yanez-Farias 등 1997).

지금까지 많은 연구들이 옥수수나 쌀, 밀, 타로(taro), 강두(cowpea) 등 다양한 식물 소재의 가루와 녹말의 이화학 성질에 대해 진행되었으나 faba bean 가루와 faba bean 녹말의 이화학 특성 차이에 대한 연구는 부족한 실정이다(Aboubakar 등 2008; Adebooye와 Singh 2008; Blazek과 Copeland 2008). 따라서 본 연구에서는 새로운 식품 소재로서 faba bean 가루와 녹말의 물리화학적 특성과 열역학적 특성을 비교 분석하여 식품산업에서 faba bean 가루와 녹말의 이용방법을 찾고자 하였다.

[#]Authors equally contributed to the current work.

*Corresponding author: Hyun-Wook Choi, Department of Functional Food and Biotechnology, Jeonju University, Jeonju, Jeonbuk 55069, Korea

Tel: +82-63-220-2381

Fax: +82-63-220-2054,

E-mail: hwchoi96@jj.ac.kr

Received June 8, 2020; revised July 14, 2020;

accepted July 24, 2020

재료 및 방법

재료

2018년 한국원자력연구원에서 재배 및 수확한 faba bean (Jeongeup, Korea)을 제공받아 실험에 사용하였다. Faba bean을 세척 후 blender (HC-BL5000, Happycall, Gimhae, Korea)로 곱게 갈아, 100 mesh체를 이용해 faba bean 가루(faba bean flour, FBF)로 사용했고, 알칼리 추출법을 이용해 FBF로부터 녹말을 추출하여 faba bean 녹말(faba bean starch, FBS)로 사용하였다. 대조군으로 시중에서 구입한 faba bean 가루(Commercial faba bean flour, CFBF, HOMECRAFT Pulse 3101 Flour, Ingredion Co., Westchester, IL, USA)를 사용하였다.

Faba bean 녹말의 분리

FBF로부터 FBS를 분리하기 위하여 알칼리 침지법을 이용하였다. 200 g의 FBF를 1 L의 0.2% NaOH 수용액에 24시간 동안 교반시킨 후 24시간 동안 침지시킨다. 상등액을 버린 후 동량의 증류수를 이용해 현탁하고 60 mesh와 170 mesh체를 이용해 차례로 체 거름한다. 이 후 적당량의 증류수에 현탁하고 3,200 rpm에서 10분간 원심 분리시켜 상등의 갈색층을 버리고 0.1 N HCl 용액을 이용해 pH 6.5로 조절해준 후 다시 적당량의 증류수를 이용해 현탁 후 같은 조건으로 원심 분리하여 상등의 갈색층을 버리는 과정을 갈색층이 나타나지 않을 때까지 반복하여 40°C에서 24 시간 동안 건조한 뒤 분쇄 후 100 mesh체에 통과시켜 상온에서 밀폐용기에 보관하였다.

일반성분 및 아밀로오스 함량 분석

CFBF, FBF, FBS의 chemical composition은 한국 식품 규격 Codex의 방법을 사용하여 측정하였다. 수분함량, 조단백, 조지방, 조회분 함량은 각각 105°C 건조오븐법, Kjeldahl 방법, Soxhlet 추출법, 건식 ashing 방법을 사용하여 분석하였다. 시료의 아밀로오스 함량은 Morison과 Kaignelet (1983)의 방법을 변형하여 측정하였다. Test tube에 100 mg의 시료와 10 mL의 UDMSO (6 M urea 수용액과 DMSO의 혼합액(1:9 (w/w)))를 넣은 후 끓는 물에서 15분간 잘 흔들며 가열한 후, 100°C 드라이 오븐에서 45분간 더 가열한다. 95 mL 증류수가 담긴 100 mL 매스 플라스크에 가열이 끝난 샘플 1 mL를 넣어 희석한 후, I₂KI 수용액(0.2 g I₂, 2 g KI/100 mL 증류수) 2 mL를 추가로 넣고, 증류수를 이용해 총 용량을 100 mL로 맞춘다. 15분의 반응시간 후 Spectrophotometer (UV-1200, Labentech, Incheon, Korea)를 이용해 635 nm에서 흡광도를 측정하여 아래와 같은 식을 이용해 Amylose 함량을 결정하였다.

$$\text{Amylose (\%)} = (28.414 \times \text{흡광도}) - 6.218$$

형태학적 특성

FBS 입자 관찰은 시료를 증류수에 분산시켜 광학현미경(BX40, Olympus Corporation, Tokyo, Japan)을 이용하여 편광렌즈를 사용해 녹말 입자의 복굴절성을 확인하였다. CFBF, FBF, FBS 입자의 표면 관찰은 주사전자현미경(SEM, 15 kV, Hitachi TM3000, Tokyo, Japan)을 이용하였고, 알루미늄 스테이브에 시료를 올리고 코팅 기계(MCM-200 Ion Sputter Coater, Suwon, Korea)를 이용해 금 분말 코팅 후 주사전자현미경으로 3 kV의 가속전압을 이용해 관찰하였다.

용해도와 팽윤력

시료 0.5 g을 30 mL의 증류수와 혼합하여 현탁액을 제조하고, 30, 60, 65, 90°C의 항온 수조에서 30분간 열을 가하고, 3000 rpm으로 30분 동안 원심 분리하였다. 상등액은 105°C에서 24시간 동안 건조시켜 가용성 성분의 무게를 측정하였고, 침전물은 그대로 무게를 측정하였다. 이 후 다음과 같은 식을 이용하여 용해도와 팽윤력을 계산하였다.

$$\text{용해도(\%)} = \frac{\text{건조된 가용성 성분 무게(g)} \times 100}{\text{시료 무게(g)}}$$

$$\text{팽윤력} = \frac{\text{침전물의 무게(g)} \times 100}{\text{시료 무게(g)} \times (100 - \text{용해도(\%)})}$$

겉보기 점도

시료의 겉보기 점도는 Brookfield viscometer (RVDV-II+PRO, Brookfield Engineering Laboratories, Middleboro, MA, USA)로 측정하였다. 10% (w/v) 증류수 현탁액 200 mL를 제조 후 No. 1 spindle을 이용해 상온에서 2분간 200 rpm의 조건으로 측정하였다.

Pasting 특성

시료의 pasting 특성을 알아보기 위해 Rapid visco analyzer (RVA-3D, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia)를 이용한 점도 분석을 실시하였다. 시료 2.5 g (건량 기준)과 증류수를 이용하여 총 무게를 28 g으로 맞춘 후, 플라스틱 회전 축을 이용해 교반하며 점도를 측정하였고, 측정 중 시료를 가열, 냉각시켰다. 시료를 50°C로 2분간 유지한 후, 95°C까지 분당 10°C의 속도로 시료를 가열하였고, 5분간 95°C를 유지하였다가 분당 9°C의 속도로 50°C까지 냉각시킨 후 2분간 유지하여 peak viscosity (PV), trough viscosity (TV), breakdown (BD), final viscosity (FV), setback (SB)를 측정하였다.

열적 특성

시료의 열역학적 특성을 알아보기 위해 시차주사열량기(DSC 4000, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA)분석을 실시하였다. 수분함량 75%로 제조한 시료 15-20 mg을 알루미늄 팬에 담아 밀봉한 후, 30°C에서 110°C까지 분당 10°C의 속도로 가열하여 분석하였다. Reference로 빈 알루미늄 팬을 사용하여 To (onset temperature), Tp (peak temperature), Tc (conclusion temperature), ΔH (gelatinization enthalpy)를 측정하였다.

X선 회절도

X선 회절도는 시료의 결정구조와 상대적 결정화도를 분석하기 위해 X-ray diffractometer (D8 Advance, Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany)에 의해 Cu-Kα를 X-ray원으로 하여 40 kV와 300 mA의 조건에서 0.02° 2θ 회절 간격으로 5-40° (2θ)까지 3°/min으로 X선 회절도를 조건으로 측정하였으며, Nara와 Komiya (1983)의 방법을 이용해 아래와 같이 상대결정화도를 계산하였다. Aa와 Ac는 각각 X-ray diffractogram의 amorphous area와 crystalline area의 면적을 나타낸다.

$$\text{Relative crystallinity (\%)} = \frac{A_c}{A_a + A_c} \times 100$$

통계 분석

통계분석은 ANOVA를 이용하여 분석을 하였다. 모든 실험은 최소 3회 이상 반복 측정된 다음 SAS (version 9.1.3, SAS Institute INC., Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 5% 유의 수준에서 Duncan's multiple range test로 평균 간의 다중 비교를 실시하였다.

결과 및 고찰

일반성분 및 아밀로오스 함량

CFBF, FBF, FBS의 일반성분 및 아밀로오스 함량을 분석한 결과를 Table 1에 나타냈다. CFBF, FBF, FBS의 수분함량은 10.5, 7.6, 5.4%, 조지방함량은 2.0, 1.7, 3.0%, 조단백함량은 28.3, 25.6, 0.9%로 FBS의 경우 NaOH를 사용하여 알칼리 침지법으로 녹말을 분리하였기 때문에 매우 낮은 조단백함량을 보였다. 아밀로오스 함량의 경우 14.0, 13.6, 31.5%로 관찰되었다. FBS의 아밀로오스 함량도 조단백함량과 마찬가지로 FBF에서 녹말만 분리해내는 과정으로 인하여 가장 많은 비율의 아밀로오스 함량이 관찰되었다. FBS의 아밀로오스 함량은 Chung 등(2009)에서 관찰한 pea, lentil 녹말(35.4, 36.9%)과 비슷한 함량을 보였다. 또한, 콩 녹말의 아밀로오스 함량은 일반적으로 많이 사용되는 옥수수 녹말(24.6%)보다 높았으며, 콩 녹말의 아밀로오스 함량이 옥수수 녹말보다 높은 원인으로 amylose-lipid complex의 차이라고 설명하였다(Hoover와 Manuel, 1996a; Hoover와 Manuel, 1996b; Jayakody와 Hoover, 2002; Ratnayake 등, 2001).

형태학적 특성

편광렌즈를 사용한 광학현미경 및 주사전자현미경(SEM)으로

Table 1. Chemical composition and amylose content of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch)

	CFBF	FBF	FBS
moisture (%)	10.5±0.2 ^a	7.6±0.1 ^b	5.4±0.3 ^c
Crude protein (%)	28.3±1.0 ^a	25.6±0.1 ^b	0.9±0.6 ^c
Crude Lipid (%)	2.0±0.4 ^b	1.7±0.8 ^c	3.0±0.6 ^a
Crude Ash (%)	3.2±0.5 ^a	2.8±0.5 ^a	2.6±0.4 ^b
Amylose (%)	14.1±0.7 ^b	13.6±0.7 ^b	31.5±0.8 ^a

Values with the same letter in the same test are not significantly different at $p < 0.05$.

Values are presented as mean values±standard deviation

관찰한 FBS와 SEM으로 관찰한 CFBF, FBF를 Fig. 1에 나타냈다. FBS의 녹말 입자는 타원형에 표면에 갈라짐이 있으며, Ambigaipalan 등(2011)의 연구 결과에서 관찰한 faba bean 녹말의 입자와 동일한 형태를 보였다. 편광현미경으로 관찰하기 위하여 물에 팽윤시켰을 때에도 녹말의 입자를 그대로 유지하였으며 호화되지 않은 녹말에서 가장 흔하게 볼 수 있는 특징인 복굴절성을 보였다. CFBF와 FBF는 SEM을 통해 관찰하였는데 서로 비슷한 형태를 보였으며 일정하지 않은 크기의 입자를 보였다. 하지만 FBS와는 다르게 녹말 입자 주변에 많은 부스러기 및 이물질 같은 것들이 보이는 것을 확인하였다. 이는 CFBF와 FBF 모두 faba bean을 원물 그대로 분쇄하여 체에 거르기만 한 상태이고, FBS의 경우 NaOH 용액을 사용하여 단백질을 제거하고 증류수를 이용하여 수세를 하는 과정에서 녹말을 제외한 다른 이물질들은 많이 제거되기 때문에 CFBF와 FBF사진에서는 녹말이 아닌 다른 물질들이 많이 관찰된 것으로 판단되었다.

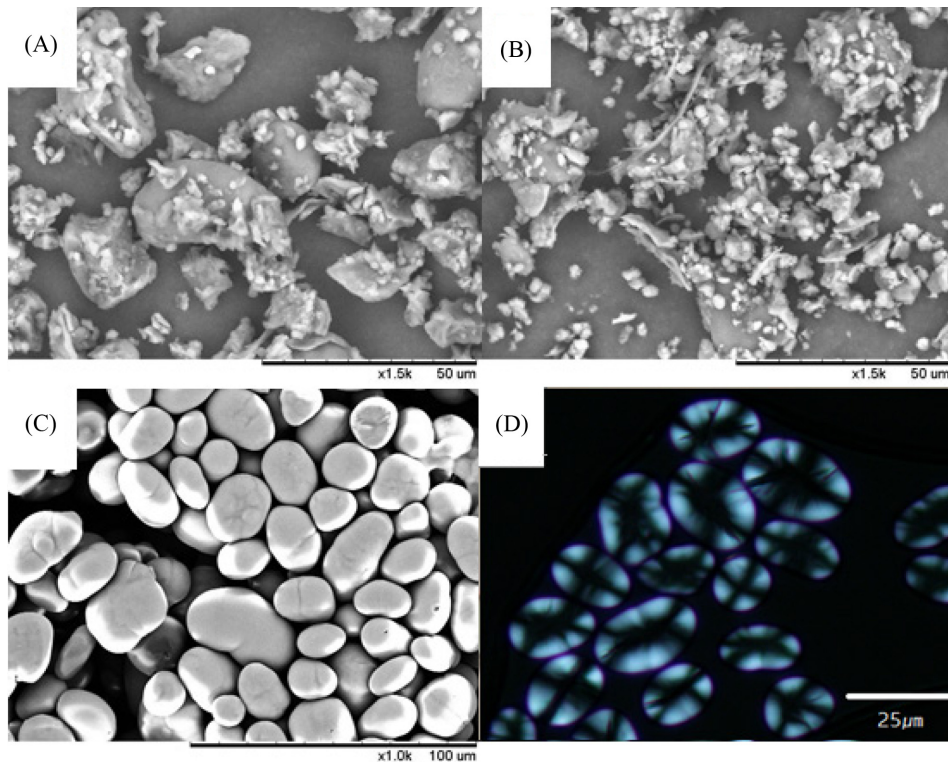


Fig. 1. Morphology of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch); CFBF (SEM ×1500) (A), FBF (SEM ×1500) (B), FBS (SEM ×1000) (C), FBS (PM ×400) (D)

Table 2. Solubility and swelling power of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch)

	Solubility (%)			Swelling power		
	CFBF	FBF	FBS	CFBF	FBF	FBS
30°C	37.5±0.3 ^{cd}	36.5±0.3 ^{de}	0.1±0.2 ^e	4.1±0.2 ^c	4.3±0.2 ^{de}	2.4±0.3 ^f
60°C	38.7±0.6 ^b	36.5±0.6 ^{de}	0.1±0.1 ^e	5.6±0.1 ^c	4.7±0.2 ^d	2.9±0.1 ^f
65°C	40.9±0.7 ^a	36.1±0.4 ^e	1.1±0.3 ^e	6.5±0.1 ^b	5.3±0.2 ^c	3.9±0.1 ^e
90°C	40.9±1.7 ^a	38.2±0.5 ^{bc}	4.2±0.3 ^f	11.9±0.9 ^a	11.6±0.2 ^a	11.9±0.5 ^a

Values with the same letter in the same test are not significantly different at $p < 0.05$.
Values are presented as mean values±standard deviation

Table 3. Pasting properties of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch)

	PV (cP)	TV (cP)	BD (cP)	FV (cP)	SB (cP)	P _{temp} (°C)
CFBF	196.50±20.50	-	-	195.50±19.00	-	-
FBF	178.00±4.24	-	-	176.50±6.36	-	-
FBS	1356.66±32.62	1304.33±60.92	75.00±5.65	2359.00±64.95	1054.66±39.46	94.86±0.14

PV, peak viscosity; TV, trough viscosity; BD, breakdown viscosity; FV, final viscosity; SB, setback viscosity; P_{temp}, pasting temperature.
Values are presented as mean values±standard deviation

Table 4. Thermal properties of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch)

	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	H (J/g)
CFBF	63.24±0.28 ^c	71.10±0.19 ^c	79.28±0.86 ^b	4.59±0.16 ^c
FBF	69.50±0.45 ^b	76.58±0 ^a	86.12±4.28 ^a	5.98±1.39 ^b
FBS	65.20±0.30 ^a	72.05±0.24 ^b	79.76±0.22 ^{ab}	12.87±0.22 ^a

To, onset temperature; Tp, peak temperature; Tc, conclusion temperature; H, gelatinization enthalpy
Values with the same letter in the same column are not significantly different at $p < 0.05$.
Values are presented as mean values±standard deviation

용해도 및 팽윤력

CFBF, FBF, FBS의 용해도와 팽윤력을 Table 2에 나타냈다. FBS는 모든 온도조건에서 다른 두 시료에 비해 현저히 낮은 용해도를 보였다. 팽윤력은 모든 시료에서 온도가 증가함에 따라 증가하였는데, 65°C에서의 팽윤력과 90°C에서의 팽윤력 간에 각 시료 별로 5.37% (CFBF), 6.27% (FBF), 8.08% (FBS)의 차이를 나타냈다. FBS가 다른 두 시료에 비해 상대적으로 큰 차이를 보이는 이유는 팽윤 온도가 FBS의 호화개시 온도 이상으로 올라감에 따라 FBS가 호화되며 빠르게 수화되고, 더 많은 물이 입자 내부로 침투되었기 때문이고 CFBF와 FBF도 온도가 증가함에 따라 구성성분 중 녹말 입자의 호화에 의해 팽윤력이 증가하지만 녹말의 함량이 FBS보다 적고, 온도가 올라감에 따라 구성성분 중 단백질의 변성 등으로 흡습력이 떨어져 증가율이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 보인다. 이는 콩가루의 단백질 함량이 높고 단백질이 녹말 입자를 감싸고 있는 구조로 되어있고, 단백질은 녹말 입자의 팽윤을 막고(Li와 Yeh, 2002) 높은 단백질 함량은 수분을 더 많이 갖을 수 있어서 녹말 입자로 수분이 가는 것을 막아 팽윤력을 저하시킨다는(Martin과 Fitzgerald, 2002) 결과와 일치하였다.

겉보기 점도

가열을 통한 온도의 변화 없이 상온에서 현탁액의 점도를 측정, 비교하기 위해 겉보기 점도를 측정하였다. CFBF, FBF, FBS의 겉보기 점도는 각각 22.50±0.10, 26.47±0.47, 17.53±0.06 cP로 나타났다. FBS는 faba bean 가루인 CFBF와 FBF보다 낮은 점도를 가졌는데, 이는 상온의 물에 대한 용해도와 녹말입자의 팽윤

력이 현저히 낮기 때문으로 생각된다. 같은 faba bean 가루지만 FBF가 CFBF보다 높은 겉보기 점도를 보이는 것은 FBF가 같은 전단속도에서 더 높은 전단 용력을 가지는 것으로, 서로 다른 지역에서 재배된 faba bean로부터 제조된 시료이므로 서로 상이한 구성성분을 가져 나타나는 현상으로 보인다.

Pasting 특성

RVA를 사용하여 측정된 시료의 pasting 특성을 Table 3에 나타내었다. FBS는 94°C 이상에서 최고 점도인 1349.3 cP를 보였고, 42.7 cP의 낮은 breakdown을 보이며 95°C로 유지되는 동안 일정 수준의 점도를 유지하였다. 작은 breakdown 값은 녹말 입자가 가열과 전단에도 쉽게 붕괴되지 않아 지속적으로 점도를 유지하는 것을 의미하며 비교적 높은 최종 점도(2359 cP)와 큰 setback 값은 아밀로오스의 재배열이 쉽게 일어나는 것을 의미한다. 이는 faba bean을 포함한 몇 가지 두류 녹말의 특징으로 보고된 바 있으며, 녹말 내 아밀로오스의 함량이 높을 경우 일어나는 현상이다(Ambigaipalan 등, 2011). CFBF와 FBF는 pasting 특성을 보이지 않았고, Peak viscosity와 유사한 final viscosity 값(195.50 cP, CFBF; 176.50 cP, FBF)을 보였다. 이는 온도가 상승하며 단백질의 응고와 녹말의 호화 등을 통해 점도가 일부 상승하기는 하지만 섬유질이나 기타 성분들에 의해 pasting 특성을 나타내지 못하여 FBS에 비해 전반적으로 낮은 점도를 나타낸 것으로 생각된다(Tan과 Corke, 2002). 단백질 함량은 pasting 점도와 음의 상관관계가 있으며, 단백질 제거는 호화된 녹말 입자의 팽윤력을 높여주므로 peak 점도가 더 크게 증가한다는 결과(Han과 Hamaker, 2002; Lim 등, 1999)와 일치하였다.

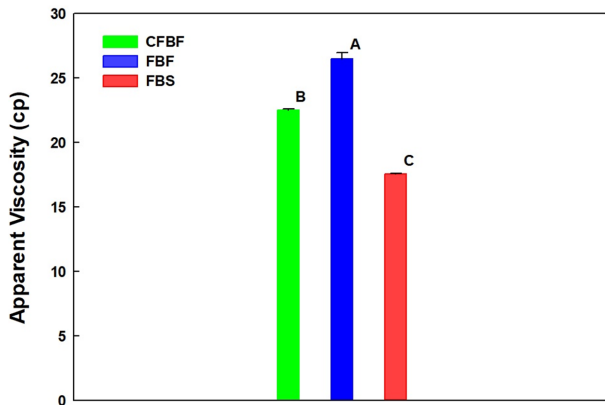


Fig. 2. Apparent viscosity of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch). Values with the same letter in the same test are not significantly different at $p < 0.05$. Values are presented as mean values \pm standard deviation

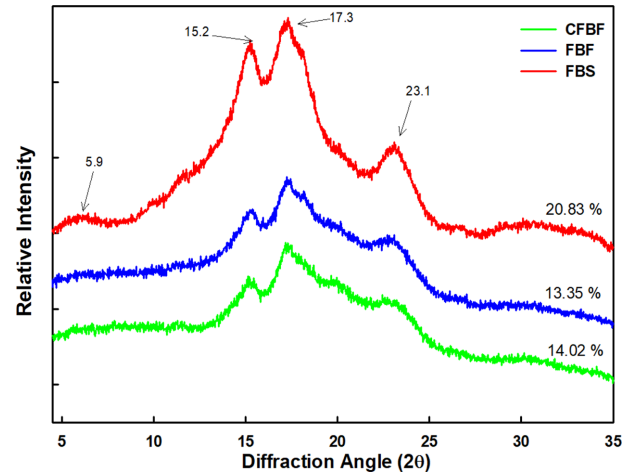


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of CFBF (Commercial faba bean flour), FBF (faba bean flour) and FBS (faba bean starch)

Thermal 특성

DSC를 사용하여 측정된 시료의 thermal 특성을 Table 4에 나타내었다. CFBF, FBF, FBS 각각의 T_0 값은 63.24, 69.50, 65.20°C이고, T_p 값은 71.10, 76.58, 72.05°C이며 T_c 값은 79.28, 86.12, 79.76°C이었고 ΔH 값은 4.59, 5.98, 12.87 J/g이었다. CFBF와 FBS는 비슷한 T_0 , T_p 와 T_c 값을 나타내었고, FBF는 상대적으로 높은 T_0 , T_p 와 T_c 값을 나타내었다. 반면 ΔH 값은 FBS가 다른 두 시료에 비해 2배 이상 높은값을 나타내었다. CFBF에 비해 FBF가 높은 T_0 를 보이는 것은 각 시료 간의 구성 성분의 차이로, FBF 내의 기타 성분들이 녹말의 호화 등을 억제한 것으로 보이며, FBS의 높은 호화 enthalpy는 FBS가 CFBF와 FBF보다 상대적으로 많은 비율의 녹말을 함유하고 있고 단백질을 제거한 상태이기 때문에 녹말을 완전히 호화하기 위해 더 많은 열에너지가 필요한 것을 의미한다. 또한 CFBF가 FBF보다 낮은 호화 enthalpy를 보이는 것은 단백질 함량의 차이에 기인한 것으로 생각되는데, 녹말에 콩 단백질을 첨가했을 때 녹말의 호화 enthalpy가 감소한다는 연구 결과와 마찬가지로 CFBF ($28.3 \pm 1.0\%$)가 FBF (25.6 ± 0.1)보다 상대적으로 높은 조단백질 함량을 가지는 것을 원인으로 생각할 수 있다(Iturriaga 등, 2004).

X-ray 회절도

모든 시료의 X-ray 회절도는 일반적인 두류 녹말에서 나타나는 5.9°, 15.2°, 17.3°, 23.1°에서 peak가 관찰되는 C-type crystal pattern을 나타내었다(Fig. 2). FBF와 CFBF의 peak 형태는 FBS와 유사하지만 상대적으로 낮은 peak intensity를 나타냈는데, 이는 FBS경우 알칼리법을 이용하여 녹말만 분리한 상태이고 FBF와 CFBF는 원물 그대로 분쇄한 가루이기 때문에 서로 다른 녹말의 함량 차이에 기인한 것으로 판단된다.

또한 상대적 결정화도는 14.02% (CFBF), 13.35% (FBF), 20.83% (FBS)로 FBS에서 상대적으로 더 높게 증가한 값을 나타냈다. FBS의 결정화도는 알칼리법으로 녹말을 분리하는 과정에서 증가한 것으로 Israkarn 등(2014)에 따르면 녹말을 분리하기 위한 알칼리 처리 후 중화 및 수세 과정에서 아밀로오스의 급격한 감소가 일어나고 40°C에서 열풍 건조하는 동안 아밀로펙틴 double-helix가 재배열이 되어 native 녹말보다 알칼리법으로 단백질을 제거한 녹말의 상대결정화도가 증가한다고 보고하였다.

요 약

시중에 분쇄된 상태로 판매되는 CFBF와 faba bean 원물을 직접 분쇄하여 제조한 FBF, 그리고 분쇄한 faba bean 가루에서 알칼리 추출법으로 추출한 FBS의 물리화학적 특성을 확인하였다. FBS의 녹말 입자는 타원형에 표면에 갈라짐이 있으며 CFBF와 FBF는 일정하지 않은 크기의 입자를 보였다. FBS는 상대적으로 낮은 용해도와 겔보기 점도를 보여주었다. CFBF와 FBF는 호화 특성을 나타내지 못한 반면 FBS는 비교적 낮은 trough와 높은 setback값의 호화특성을 보여주어 차이를 나타냈다. FBS의 호화 엔탈피는 12.9 J/g으로 CFBF와 FBF 보다 높은 값을 나타내었다. 상대결정화도에서도 역시 FBS가 CFBF와 FBF와 비교하여 상대적으로 높은 값을 나타내었다. CFBF와 FBF는 여러 실험들의 결과에서 서로 크게 차이 나지 않고 비슷한 경향의 특성을 확인하였으나 FBS는 CFBF, FBF와는 크게 다른 물리화학적 특징들을 보였다. 이는 서로 다른 단백질 함량 때문이라 판단된다. FBS는 녹말 추출을 위하여 NaOH 용액을 이용하여 단백질을 제거하여 단백질 함량이 CFBF, FBF와 비교했을 때 상당히 낮고 단백질을 제거하기 위한 공정 중 녹말의 변화가 있으며 CFBF와 FBF의 단백질은 녹말과 수분의 반응에 관여하여 물리화학적 특성에 영향을 끼쳤다고 판단되었다. 한국에서는 faba bean 가루와 녹말을 다양하게 사용하고 있지 않는데 이 연구의 결과는 식품산업에 faba bean을 적용하기 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 맞춤형 혁신식품 및 천연 안심소재 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 319044-3).

References

- Aboubakar YN, Njintang JS, Mbofung CMF. Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. J. Food Eng. 86: 294-305 (2008)
- Adebooye OC, Singh V. Physico-chemical properties of the flours

- and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Innov. Food Sci. Emerg.* 9: 92-100 (2008).
- Al-Masri SA. Effect of cooked and germinated bean (*Vicia Faba*) on obesity in rats. *J. Anim. Plant Sci.* 25: 977-983 (2015)
- Ambigaipalan P, Hoover R, Donner E, Liu Q, Jaiswal S, Chibbar R, Nantanga KKM, Seetharaman K. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Res. Int.* 44: 2962-2974 (2011)
- Blazek J, Copeland L. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydr. Polym.* 71: 380-387 (2008)
- Chung HJ, Liu Q, Hoover R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydr. Polym.* 75: 436-447 (2009)
- FAO Statistical. Food and agriculture organization (FAO) of the United Nations. (2001). <http://www.fao.org>
- Gujska E, Reinhard WD, Khan K. Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches. *J. Food Sci.* 59: 634-636 (1994)
- Han XZ, Hamaker BR. Location of starch granule-associated proteins revealed by confocal laser scanning microscopy. *J. Cereal Sci.* 35: 109-116 (2002)
- Hoover R, Manuel H. The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylomaize V starches. *J. Cereal Sci.* 23: 153-162 (1996a)
- Hoover R, Manuel H. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. *Int. Food Res. J.* 29: 731-750 (1996b)
- Israkarn K, Nakompanom N, Hongsprabhasa P. Physicochemical properties of starches and proteins in alkali-treated mungbean and cassava starch granules. *Carbohydr. Polym.* 105: 34-40 (2014)
- Iturriaga L, Lopez B, Aon M. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. *Food Res. Int.* 37: 439-447 (2004)
- Jayakody L, Hoover R. The effect of lintnerization on cereal starch granules. *Int. Food Res. J.* 35: 665-680 (2002)
- Li JY, Yeh AI. Functions of starch in formation of starch/meat composite during heating. *J. Texture Stud.* 33: 341-366 (2002)
- Lin JY, Ling KH. Studies on favism. I. Isolation of an active principle from faba beans (*Vicia faba*). *J. Formos. Med. Assoc.* 61: 484-9 (1962)
- Lim ST, Lee JH, Shin DH, Lim HS. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch-Stärke.* 51: 120-125 (1999)
- Martin M, Fitzgerald MA. Proteins in rice grains influence cooking properties. *J. Cereal Sci.* 36: 285-294 (2002)
- Morrison W. R., Laignelet, B. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *J. Cereal Sci.* 1: 9-20 (1983)
- Nara S, Komiya T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch-Stärke* 35: 407-410 (1983)
- Rabey JM, Vered Y, Shabtai H, Graff E, Harsat A, Korczyn AD. Broad bean (*Vicia faba*) consumption and Parkinson's disease. *Adv. Neurobiol.* 60: 681-684 (1993)
- Tan Y, Corke H. Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties. *J. Sci. Food Agr.* 82: 745-752 (2002)
- Yanez-Farias GA, Moreno-Valencia JG, Falcon-Villa MR, Barron-Hoyos JM. Isolation and partial characterization of starches from dry beans (*Phaseolus vulgaris*) and chickpeas (*Cicer arietinum*), grown in Sonora, Mexico. *Starch-Stärke* 49: 341-345 (1997)