



Research Article

Effects of soy defatting on texturization of texturized vegetable proteins

대두 탈지 처리가 식물조직단백 조직화 특성에 미치는 영향

Chan Soon Park^{†*}, Mi Sook Seo[†], Sun Young Jung, Boram Park, Shin Young Park

박찬순^{†*} · 서미숙[†] · 정선영 · 박보람 · 박신영

Fermented & Processed Food Science Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

국립농업과학원 발효가공식품과

Abstract In this study, the quality characteristics of texturized vegetable proteins (TVP) produced from defatted soy flour (DSF) were analytically compared with those of texturized vegetable proteins produced with isolated soy protein (ISP) and non-defatted soy flour (SF). The base raw material formulation consisted of 50% soy proteins, 30% gluten, and 20% corn starch. A cooling die-equipped extruder was used with a barrel temperature set at 190°C and screw rotation speed of 250 rpm. With respect to the hardness of isolate soy proteins, that of soy flour and defatted soy flour was 22.4% and 68.8%, respectively, and gumminess was 17.6% and 44.3%, respectively. Defatting increased chewiness, shear strength, and springiness. Moisture content was higher in soy flour than in defatted soy flour, while there were no significant differences in terms of water absorption and turbidity. The pH was higher with soy flour than with defatted soy flour. Concerning color, the L and b values were higher with soy flour, while the a value was higher with defatted soy flour. These results suggest that defatting soybeans can improve the quality of plant-based proteins. Further research is needed to address the quality differences from those of isolated soy proteins.

Keywords texturized vegetable protein, extrusion, isolated soy protein, soy flour, defatted soy flour



OPEN ACCESS

Citation: Park CS, Seo MS, Jung SY, Park B, Park SY. Effects of soy defatting on texturization of texturized vegetable proteins. Korean J Food Preserv, 30(5), 875-884 (2023)

Received: July 10, 2023
Revised: September 15, 2023
Accepted: September 15, 2023

[†]These authors contributed equally to this study.

***Corresponding author**
 Chan Soon Park
 Tel: +82-63-238-3640
 E-mail: hipcs@korea.kr

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 글로벌 이슈 중의 하나는 온실가스 배출 증가 등으로 인한 기후변화의 심각성이다. 우리나라를 비롯한 주요국가에서는 탄소중립을 선언하고 온실가스 배출 감소를 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. The Guardian(2020)지에 따르면 식물성 대체식품(plant-based meat)의 온실가스 감축 효과는 친환경 건물의 7배, 전기자동차 등 온실가스를 배출하지 않는 차량의 11배 이상의 효과가 있다고 하였다. 기후변화로 인한 지속 가능성에 대한 우려는 식품 소비에도 영향을 주고 있다. 고기에서 섭취하는 단백질을 대두 등의 식물단백질, 미생물 단백질, 곤충

단백질 등 대체식품에서 섭취하고자 하는 수요가 늘어나고 있다. 또한, 채식이 건강에 좋다는 인식 확산과 동물복지에 대한 관심도 대체식품의 수요를 높이고 있다. 한국농수산식품유통공사에 따르면 국내 식물성 대체식품 시장 규모는 연평균 5.4%(2021-2025)씩 성장할 것으로 전망하고 있다. 대체식품은 대두단백, 전분 등의 원료를 혼합하여 압출성형한 식물조직단백(texturized vegetable protein, TVP)을 소재로 하여 제조하고 있다. 압출성형에서 이화학적 성질을 결정짓는 주요 요인은 배럴 온도, 스크루 회전속도, 수분함량, 원료 성분이다(Maurya와 Said, 2014). 압출성형은 수분함량에 따라 고수분과 저수분으로 구분하고 있다. Cho와 Ryu(2018)는 고수분 압출성형의 수분함량을 40-80%, 저수분 수분함량을 10-30% 정도라고 하였다. Kyriakorpoulou 등(2021)은 고수분 압출의 경우 압출 후 냉각 사출구를 통과하게 되면 이때 섬유화 조직이 정렬되어 층상구조(layered) 또는 섬유구조(fibrous structure)가 형성된다고 하였다. 대체식품에 사용되는 식물성 단백질로는 대두단백, 밀글루텐, 완두단백 이외에도 카놀라, 해바라기 씨와 같은 씨앗류나 땅콩, 쌀이나 녹두 단백질 등이 있다(Cho와 Ryu, 2021; Samard와 Ryu, 2019). 국내에서 식물성 대체식품에 가장 많이 사용하는 단백질 원료는 대두단백으로 분리대두단백, 농축대두단백, 탈지대두박 형태로 수입하여 사용하고 있다. 단백질 함량이 70%인 농축대두단백과 단백질 함량이 90%인 분리대두단백은 콩을 탈지한 탈지대두박으로 만든다(Xing 등, 2018). 단백질의 종류와 농도는 압출성형 공정을 이용한 조직화 단백질의 품질에 중요한 영향인자로 작용한다. Saio(1987)는 단백질의 농도가 클수록 제품을 단단하게 하고 탈지대두분 대신에 농축단백이나 분리단백을 원료로 하면 조직화가 촉진된다고 하였으며, Choi와 Chin(2020)은 식물성 단백질의 종류와 함량은 최종식품의 이화학적, 기능적 품질에 영향을 미친다고 하였다. 쌀과 분리대두단백 혼합에 따른 조직화 특성 연구(Han, 1989), 분리대두단백, 밀 글루텐, 분리녹두단백, 분리완두단백, 분리쌀단백 등과 같은 분리단백 종류별 대체육 품질 특성 비교(Cho와 Ryu, 2022), 대두분말, 7S protein, 11S protein 등 대두단백 종류에 따른 증편의 품질 특성 연구(Hong 등, 2007) 등에서 단백질 종류가 조직화에 미치는 영향을 보고하였다. 밀, 콩, 쌀, 완두단백의 기능성 비교(Zhao 등, 2020), 콩 및 땅

콩 단백질 혼합비율에 따른 이화학적 특성(Kim 등, 2022) 연구에서는 단백질 종류와 상호작용 특성에 대해 보고하였다. 이와 같이 다양한 종류의 단백질이 식품의 품질 특성에 미치는 영향은 비교하였으나, 대체식품 원료로 가장 많이 이용하고 있는 대두단백의 단백질 함량이 식물조직단백에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한, 국산 콩 품종을 원료로 이용한 식물조직단백 연구도 부족한 면이 있다. 농촌진흥청에서는 약 140여 종의 콩 품종을 개발하였으며, 재배량이 많은 품종은 대원콩, 선풍, 대찬 등이다(Lee 등, 2018). 우리나라 주요 대두 품종의 단백질 함량은 37.7-46.0%, 지질함량은 15.2-20.9%로 보고하고 있다(Sim 등, 2022). 본 연구는 대체식품, 원료로 국산 원료 이용을 높이기 위한 일환으로 추진하였으며, 단순한 원료 전처리로 얻을 수 있는 탈지대두분의 이용성을 확인하고자 하였다. 이에 따라 국내 재배량이 가장 많은 대원콩을 탈지 처리한 후 압출성형하여, 탈지와 단백질 함량이 식물조직단백 제조에 미치는 영향을 살펴보고 이에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 원료 정보 및 혼합분 제조

본 실험에 사용된 대두 단백질 원료는 시중에서 구입한 분리대두단백[isolated soy protein(ISP), Shandong Yuxin Biotech Co., Ltd., Beijing, China], 껍질을 벗긴 대두를 믹서기로 분쇄한 대두분말[soy flour(SF), 대원콩, Korea], 80℃ 저온에서 압착 탈지한 후 분말화한 탈지대두분말[soy defatted flour(DSF), 대원콩, Korea]을 사용하였으며, 글루텐(활성밀글루텐, Comida, ADM BAZANCOURT, Bazancourt, France), 옥수수 전분(Samyang Ltd., Ulsan, Korea)은 시중에서 구매하여 사용하였다. 혼합분은 대두 단백질 50%, 글루텐 30%, 옥수수 전분 20%로 섞은 것을 기본배합으로 하여 20 mesh 체에서 3회 통과시켜 분말을 사용하였다.

2.2. 일반성분 분석

시료의 일반성분은 AOAC 표준분석법에 준하여 수분 함량은 105℃ 상압가열건조법, 회분 함량은 550℃에서 직접 회화법을 이용하여 분석하였다. 조단백질 함량은 micro-

Kjeldahl법을 이용한 단백질 자동분석기(Kjeltec protein analyzer, Tecator Co., Hoeganaes, Sweden)로, 조지방 함량은 Soxhlet법으로 분석하였다. 총당질 함량은 위의 측정치를 합한 값을 100에서 뺀 값으로 산출하였다.

2.3. 원료의 수분흡수력 및 유지흡수력 측정

시료의 수분흡수력 측정을 위해 시료 2 g에 증류수 20 mL를 혼합한 후, 30초 동안 voltex mixer(G560E, Scientific Industries, INC, Bohemia, NY, USA)를 이용하여 교반하고 10분간 정치시키는 과정을 5번 반복한 후 4,000 rpm에서 20분간 원심분리기(2236HR, GYROZEN, Kimpo, Korea)를 이용하여 원심분리하였다. 최종적으로 상층액을 따라낸 상태에서 10분간 정치시킨 침전물의 중량을 측정하였다. 또한, 카놀라유를 사용한 동일한 방법으로 침전물의 무게에서 시료의 무게를 나누어 수분흡수력 및 유지흡수력 값을 아래의 식과 같이 계산하여 평균값을 측정하였으며, 모든 실험의 횟수는 총 3회로 하였다.

$$\text{수분흡수력(\%)} = \frac{\text{수분 흡수 후 시료의 무게(g)} - \text{시료의 무게(g)}}{\text{시료의 무게(g)}} \times 100$$

$$\text{유지흡수력(\%)} = \frac{\text{유지 흡수 후 시료의 무게(g)} - \text{시료의 무게(g)}}{\text{시료의 무게(g)}} \times 100$$

2.4. 압출성형 공정

본 실험에 사용된 압출성형기는 Intermeshing twin-screw extruder(Process-11, Thermo Fisher Scientific, Inc., Dreieich, Germany)로 배럴 끝에는 냉각 다이(die)를 연결하였다. 압출성형 조건은 배럴온도 190℃, 스크루 회전 속도 250 rpm, 수분함량 50%, 원료 투입량은 5 g/min으로 조절하였다.

2.5. 조직감 분석

조직감 분석은 물성분석기(TAXTplus, Zwick Roell, Ulm, Germany)를 사용하여 시료는 가로×세로를 1.0×

1.0 cm로 자르고 Load cell은 직경 2.5 cm, 변형률 30%, 2 bite로 경도, 탄력성, 씹힘성, 응집성, 검성을 측정하였고, 절단강도는 레오미터(COMPAC-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 시료는 1.0×2.0×0.5 cm로 자르고 횡단면의 절단강도를 측정하였다. 식물조직단백의 단면은 실체현미경(Nikon SMZ1270, Tokyo, Japan)으로 촬영하였으며, 표준 종합배율은 1×1 배율로 확대하고, 식물 조직단백 중심을 잘라서 가른 단면의 특성을 관찰하였다.

2.6. 수분흡수력 측정

시료 10 g을 5배 중량의 끓는 물에서 3분간 가열 후 체에 받쳐서 2시간 실온에서 냉각 후 시료 표면의 물기를 제거하고 그 시료의 무게를 측정하여 수분 흡수율을 구하였다(Kang 등, 2012).

2.7. 탁도 측정

시료 10 g을 5배 중량의 끓는 물에서 3분간 가열 후 체에 받쳐서 수거된 액을 spectrophotometer(Cary 3500 Multicell Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 OD 600 nm에서 흡광도를 측정하였다.

2.8. pH 측정

시료 2 g을 증류수로 10% 현탁액을 만들어 교반하고 4,000 rpm에서 20분간 원심분리기(2236HR, GYROZEN)를 이용하여 원심분리한 후 시료의 상등액을 pH meter(ORION STAR A211, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)로 측정하였다.

2.9. 색도 측정

시료를 35 mm 용기에 담고, 색차계(Color i7, X-Rite Inc., Grand Rapids, MI, USA)를 사용하여 측정하였다. 분말과 식물조직단백의 색도 측정 시 표준백색판은 각각 백색도(L*) 95.77, 적색도(a*) -0.22, 황색도(b*) 2.70과 백색도(L*) 95.79, 적색도(a*) -0.21, 황색도(b*) 2.75이었다.

2.10. 통계처리

결과의 통계처리는 SPSS(version 23.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각 시료에 대한 평균과 표

준편차로 나타내었다. 시료 간의 차이 분석은 일원배치 분산 분석(one-way ANOVA)을 사용하고, Duncan's multiple range test를 이용하여 유의적 차이(p<0.05)를 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원료의 일반성분

대두단백을 이용한 압출성형 식물조직단백 제조에 사용한 원료인 분리대두단백(ISP), 대두분말(SF), 탈지대두분말(DSF)의 조단백, 수분, 무기질, 조지방, 탄수화물의 함량은 Table 1과 같다. 조단백 함량은 분리대두단백이 84.31%, 대두분말이 38.42%, 탈지대두분말이 43.53%로 나타나 분리대두단백 대비 대두분말은 0.46배, 탈지대두분말은 0.52 배 수준의 단백질을 함유하고 있었다. 이는 대두 단백질을 분리·정제한 분리대두단백은 단백질 함량이 대두분의 2배 정도로 동량 사용할 때 2배의 단백질 강화 효과를 낼 수 있다(Lee, 1997)는 보고와 유사한 단백질 함량 차이를 나타냈다. 수분함량은 분리대두단백이 6.90%, 대두분말이 6.38%, 탈지대두분말이 6.75%였다. 무기질 함량은 탈지대두분말이 5.73%로 가장 높았으며 다음이 대두분말이 4.78%, 분리대두단백 4.56% 순으로 나타났다. 조지방 함량은 대두분말이 21.07%로 가장 많은 지방을 함유하였으며, 탈지대두분말이 9.90%, 분리대두단백이 0.12% 순으로 조지방을 함유하고 있었다. 탄수화물 함량은 탈지대두분말이 34.09%, 대두분말이 29.35%, 분리대두단백이 4.11%로 나타났다. 대두의 열변성을 고려하여 80℃에서 압착 탈지하여 얻어진 탈지대두분말의 일반성분 조성비의 변화를 살펴보면 대두 분말보다 조단백은 5.11%, 무기질 0.95%, 탄수화물 4.94% 높아졌으며, 조지방은 11.17% 낮아졌다. 압출성형 공정 단계는 혼합 및 수화 단계, 열과 기계 처리 및 냉각 단계로

지방은 원료들의 혼합과 수화단계에서 수화를 방해하게 된다. 그리고 농축대두단백, 분리대두단백과 같은 탈지 원료를 사용하는 것은 압출기 안에서 원료로부터 지방이 분리되어 발생할 수 있는 미끄러짐 현상과 전단력 감소를 방지하기 때문이다(Crowe와 Johnson, 2001). 대두 단백질을 압출 성형공정에 위해 조직화시킬 때 단백질의 함량을 증가시키면 압출조직에 높은 전단력을 부여하고(Maurice와 Stanley, 1978), 조직이 치밀하고 단단해진다(Hager, 1984). 이에 따라 압출성형 식물조직단백 제조 시 대두를 탈지하여 사용할 경우 조단백이 증가하고 조지방이 감소하여 식물조직단백의 조직화에 긍정적으로 작용할 것으로 보여진다.

3.2. 원료의 수분흡수력 및 유지흡수력

대두단백을 이용한 압출성형 식물조직단백 제조에 사용한 원료인 분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말의 수분흡수력, 유지흡수력, pH, 색도의 측정 결과는 Table 2와 같다. 수분흡수력은 분리대두단백이 469.62%로 가장 높은 값을 나타내었고, 대두분말은 161.12%로 분리대두단백의 0.34배 수준이며, 탈지대두분말은 200.89%로 분리대두단백의 0.43배 수준이다. 대두를 압착 탈지한 탈지대두분말은

Table 2. WAC and OAC of soy proteins used in texturized vegetable protein

Sample ¹⁾	Water absorption capacity (%) ³⁾	Oil absorption capacity (%)
ISP	469.62±3.67 ^{a2)}	128.94±2.83 ^a
SF	161.12±6.74 ^c	126.58±3.07 ^a
DSF	200.89±14.34 ^b	115.53±5.13 ^b

¹⁾ISP, isolated soybean protein; SF, soy flour; DSF, defatted soy flour.
²⁾Mean±SD (n=3) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).
³⁾WAC, water absorption capacity; OAC, oil absorption capacity.

Table 1. Proximate compositions of soy proteins used in texturized vegetable protein

Sample ¹⁾	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)
ISP	6.90±0.03 ^{a2)}	84.31±0.03 ^a	0.12±0.03 ^c	4.56±0.02 ^c	4.11±0.06 ^c
SF	6.38±0.00 ^c	38.42±0.03 ^c	21.07±0.25 ^a	4.78±0.02 ^b	29.35±0.21 ^b
DSF	6.75±0.03 ^b	43.53±0.06 ^b	9.90±0.03 ^b	5.73±0.02 ^a	34.09±0.04 ^a

¹⁾ISP, isolated soy protein; SF, soy flour; DSF, defatted soy flour.

²⁾Mean±SD (n=3) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

탈지를 통해 수분흡수력이 9% 증가하였다. Park 등(2005)은 분리대두단백은 대두로부터 단백질만을 분리하여 탄수화물과 지방이 제거된 식물성 단백질원으로 우수한 수화력이 있다고 하였다. 유지흡수력은 분리대두단백이 128.94%로 가장 높은 값을 나타냈으며 대두분말과는 유의적인 차이는 없었다. 탈지대두분말은 115.53%로 가장 낮은 결과를 나타내었는데 이는 최대 유지흡수력을 가진 농축대두단백이 최소 수분흡수력을 보였고, 최대 수분흡수력을 가진 농축완두단백이 비교적 낮은 유지흡수력을 나타내었다(Cha 등, 2020)는 결과와는 상이한 결과를 보였다.

3.3. 원료의 pH 및 색도

대두단백을 이용한 압출성형 식물조직단백 제조에 사용한 원료인 분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말의 pH와 색도의 측정 결과는 Table 3과 같다. pH는 분리대두단백이 7.16으로 가장 높았으며, 다음은 대두분말이었으나 탈지대두분말과의 사이에는 유의적인 차이가 없었다. Adiamo 등(2016)은 kariya seed에서 단백질 추출 시 pH 4.0 부근으로 낮춘 후 얻은 침전물을 다시 pH 7.0으로 조절한 경우, kariya seed 농축단백과 분리단백의 pH가 각각 6.65, 6.15로 증가하였다고 보고한 결과와는 다소 유사한 결과였

지만, Cha 등(2020)의 연구에서 농축콩단백의 pH가 4.41을 보인 결과와는 차이가 있었다. 색도는 명도값을 나타내는 L값은 대두분말이 89.69로 가장 높았으며 다음으로 분리대두단백 83.36, 탈지대두분말 78.85 순으로 높았다. a 값은 분리대두단백 1.07, 탈지대두분말 0.71, 대두분말 -0.45 순으로 높은 값을 보였다. 황색도 b값은 탈지대두분말 27.41, 분리대두단백 19.76, 대두분말 18.40 순으로 높은 값을 보였다. 탈지대두분말이 L값이 낮고 b값이 높은 것은 압착 탈지 과정에서 가열에 의한 maillard 반응으로 갈변하여 어두워지고 황색도가 높아진 것으로 보인다(Joung 등, 1997).

3.4. 식물조직단백(TVP)의 조직감

분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말을 이용하여 압출성형한 식물조직단백의 조직감을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 경도는 탈지하지 않은 대두분말 처리구가 475.44 g으로 분리대두단백의 22.4% 수준이며, 탈지대두분말은 1,461.88 g으로 분리대두단백 대비 68.8% 수준이다. 대두를 탈지하여 압출성형할 경우 탈지하지 않은 대두분말을 사용할 때보다 경도가 3.07배 증가하는 것을 확인하였다. 탄력성은 분리대두단백 대비 대두분말은 80.5%, 탈지대두분

Table 3. pH and Hunter's color value of soy proteins used in texturized vegetable protein

Sample ¹⁾	pH	Hunter's color value		
		L*	a*	b*
ISP	7.16±0.07 ^{a2)}	83.36±0.06 ^b	1.07±0.03 ^a	19.76±0.29 ^b
SF	6.68±0.04 ^b	89.69±0.21 ^a	-0.45±0.04 ^c	18.40±0.15 ^c
DSF	6.61±0.03 ^b	78.85±0.06 ^c	0.71±0.07 ^b	29.41±0.25 ^a

¹⁾ISP, isolated soy protein; SF, soy flour; DSF, defatted soy flour.

²⁾Mean±SD (pH, n=3; Hunter's color value, n=9) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

Table 4. Texture profile analysis and cutting strength of texturized vegetable proteins produced with soy proteins

Sample ¹⁾	Hardness (g)	Springiness	Gumminess (N)	Chewiness	Cohesiveness (N)	Cutting strength (g/cm ²)
TISP	2,123.75±125.51 ^{a2)}	0.82±0.00 ^a	16.33±1.42 ^a	13.36±1.13 ^a	0.78±0.02 ^a	1,816.40±134.33 ^a
TSF	475.44±69.92 ^c	0.66±0.02 ^b	2.87±0.50 ^c	1.90±0.39 ^c	0.61±0.01 ^b	905.60±83.14 ^c
TDSF	1,461.88±214.78 ^b	0.67±0.01 ^b	7.72±0.51 ^b	5.16±0.25 ^b	0.54±0.04 ^c	1,218.80±109.42 ^b

¹⁾TISP, texturized vegetable protein using isolated soy protein; TSF, texturized vegetable protein using soy flour; TDSF, texturized vegetable protein using defatted soy flour at 80°C.

²⁾Mean±SD (texture profile analysis, n=16; cutting strength, n=5) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

말은 81.7%로 나타났으며 대두분말과 탈지대두분말 처리 구간에는 유의적인 차이가 없었다. 점성은 분리대두단백 대비 대두분말은 17.6%, 탈지대두분말은 44.3% 수준으로 대두를 탈지하여 사용할 경우 2.7배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 씹힘성은 분리대두단백 대비 대두분말이 14.2%이고 탈지대두분말이 38.6%로 나타났다. 응집성은 분리대두단백 대비 대두분말이 78.2%, 탈지대두분말이 69% 수준으로 나타났다. 절단강도는 분리대두단백 대비 대두분말이 49.9%, 탈지대두분말이 67.1%로 나타났다. 대두를 압착 탈지하여 압출성형 식물조직단백 제조 시 조직감에 미치는 영향을 살펴본 결과 응집성을 제외한 측정 항목 모두가 증가하는 것으로 나타났으며, 증가 정도는 경도가 가장 큰 증가 폭을 보였으며 다음은 점성, 씹힘성, 절단강도, 탄력성 순으로 나타났다. 또한, 원료분말의 수분흡수력과 식물조직단백의 조직감과의 상관관계를 비교하면 수분흡수력이 높을 때 식물조직단백의 조직감도 높아지는 것을 확인할 수 있었다. Saio(1987)의 탈지대두분 대신에 농축 또는 분리단백을 원료로 하면 조직화가 촉진된다는 결과와는 유사한 결과이며, Hong 등(2008)의 연구에서 증편 제조 시 대두분말과 분리대두단백 첨가 시 첨가균 간 경도, 탄력성, 응집성

에 유의적인 차이가 없었다는 결과와는 상이한 결과를 나타내었다. 본 연구에서 대두분말 대비 탈지대두분말의 식물조직단백 조직감이 개선된 것은 탈지를 통하여 단백질 함량이 증가되고 지방의 함량이 감소되어 식물조직단백 조직감 개선에 영향을 준 것으로 보인다. 대두 단백질을 압출성형공정에 위해 조직화시킬 때 단백질의 함량을 증가시키면 압출 조직에 높은 전단력을 부여하고(Maurice와 Stanley, 1978), 조직이 치밀하고 단단해지게 된다(Hager, 1984). 그리고 대두를 탈지하여 지방이 감소되면 압출기 안에서 원료로부터 지방이 분리되어 발생할 수 있는 미끄러짐 현상과 전단력 감소를 방지한다(Crowe와 Johnson, 2001). 또한, 압출성형 공정 단계에서 원료와 물이 혼합되어 반죽 과정에서 지방의 감소로 수화가 잘 일어나기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말을 이용하여 압출성형한 식물조직단백의 조직화와 색상에 대한 시각적인 비교는 Fig. 1과 같다. 압출성형 직후 촬영한 사진(A)에서는 분리대두단백 처리구가 치밀하고 강도 있는 조직감과 진한 색감을 보였으며, 대두분말 처리구는 섬유상 구조층이 희미하였으며 연한 색감을 나타냈다. 탈지대두분말 처리구는 섬유상 구조층이 대두분말 처리구보다 분명하였

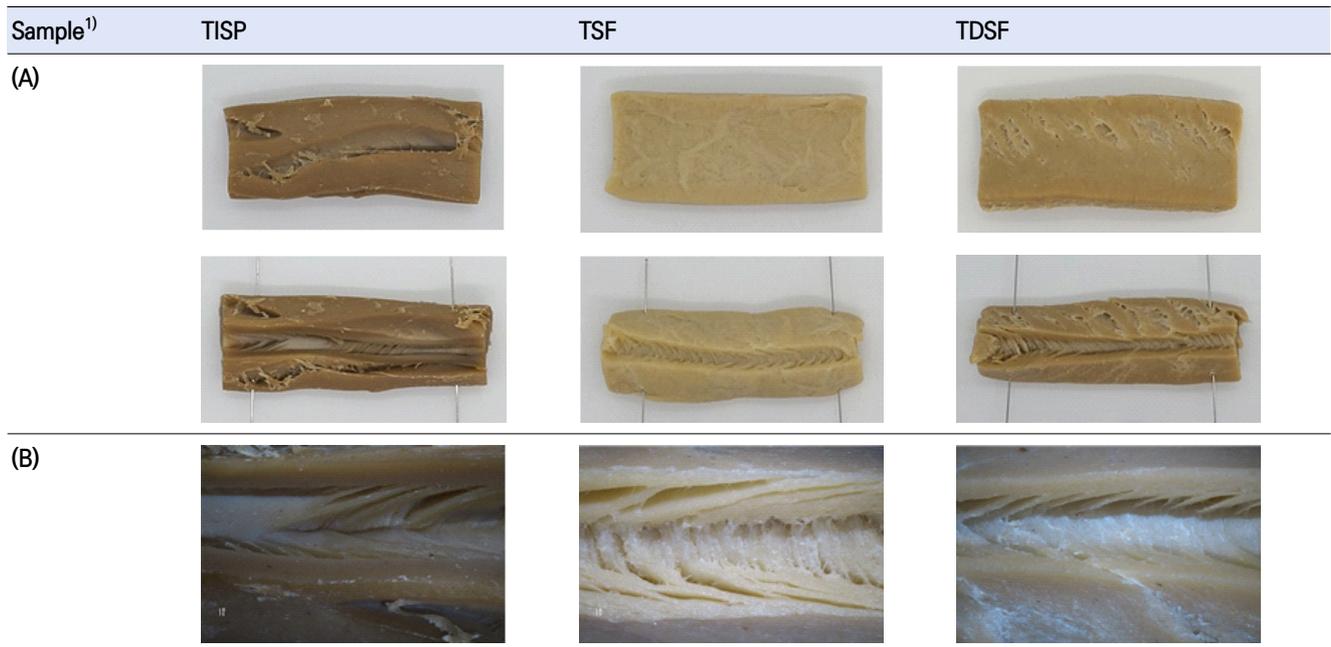


Fig. 1. Appearance of texturized vegetable proteins produced with soy proteins. (A), Photographs of texturized vegetable proteins; (B), dissection micrographs of texturized vegetable proteins. ¹⁾TISP, texturized vegetable protein using isolated soy protein; TSF, texturized vegetable protein using soy flour; TDSF, texturized vegetable protein using defatted soy flour at 80°C.

으며 짙은 색감을 보였다. (A)의 시료에 대한 실제 현미경 사진 (B)에서는 탈지대두분말 처리구가 대두분말 처리구보다 섬유상 구조층이 선명하고 층간의 간격이 조밀한 것이 (A)에서 보다 확실하게 확인할 수 있었다. 대두를 탈지하여 사용할 경우 외관으로도 조직감이 개선됨을 확인하였다. 이와 같은 결과를 종합하면 대두를 압출성형 식물조직단백 원료로 사용 시 탈지를 통하여 단백질 함량을 높이고 지방 함량을 감소시키는 전처리가 필요할 것으로 사료된다.

3.5. 식물조직단백의 pH 및 색도

분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말을 이용하여 압출성형한 식물조직단백의 pH와 색도를 측정하는 결과는 Table 5와 같다. pH는 분리대두단백이 7.01로 가장 높고 다음이 대두분말 6.82, 탈지대두분말 6.75 순으로 높게 나타났다. 이는 실험에 사용한 압출성형 식물조직단백의 원료인 분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말 각각의 pH인 7.16, 6.68, 6.61과 유사한 경향을 나타내고 있어 원료분말의 pH의 영향에 따른 결과로 판단된다. 색도는 밝은 정도를 나타내는 L값은 대두분말이 61.48, 탈지대두분말이 56.90, 분리대두단백 52.86 순으로, 단백질 함량이 높을수록 어두워지는 경향을 보였다. 적색도를 나타내는 a값은 탈지대두분말 6.13,

분리대두단백 5.48, 대두분말이 3.68 순으로 높은 값을 보였다. 황색도를 나타내는 b값은 대두분말 21.63, 탈지대두분말 20.13, 분리대두단백 17.00 순으로 값이 높았다. 이는 Hong 등(2007)의 연구에서 증편 제조 시 대두분말 첨가군이 분리대두단백 첨가군보다 명도값 L값이 낮은 값을 보였다는 결과와는 상이하였으며, 황색도 b값은 대두분말이 분리대두단백보다 높은 값을 보였다는 결과와는 유사하였다. 대두 단백질을 압출성형공정을 통해 조직화시킬 때 단백질의 함량을 증가시키면 조직이 치밀하고 단단해지며(Hager, 1984), 압출성형물의 수분함량이 감소할 때 명도가 감소한다(Park 등, 2017). 이에 따라 단백질 함량에 따른 조직의 밀도와 압출성형물의 수분함량 차이가 명도값에 영향을 준 것으로 보인다. 또한, 마이야르 반응은 반응 온도와 반응물의 농도가 영향 인자로 분리대두단백의 질소화합물의 농도가 마이야르 반응에 영향을 주어 압출성형물의 색이 짙어진 것으로 사료된다.

3.6. 식물조직단백의 수분함량, 수분흡수력 및 탁도

분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말을 이용하여 압출성형한 식물조직단백의 수분함량, 수분흡수력, 탁도를 측정하는 결과는 Table 6과 같다. 수분함량은 탈지하지 않은 대두

Table 5. pH and Hunter's color value of texturized vegetable proteins produced with soy proteins

Sample ¹⁾	pH	Hunter's color value		
		L*	a*	b*
TISP	7.10±0.06 ^{a2)}	52.86±0.57 ^c	5.48±0.14 ^b	17.00±1.10 ^c
TSF	6.82±0.00 ^b	61.48±0.84 ^a	3.68±0.07 ^c	21.66±0.24 ^a
TDSF	6.75±0.02 ^c	56.90±0.83 ^b	6.13±0.62 ^a	20.13±0.13 ^b

¹⁾TISP, texturized vegetable protein using isolated soy protein; TSF, texturized vegetable protein using soy flour; TDSF, texturized vegetable protein using defatted soy flour at 80°C.

²⁾Mean±SD (pH, n=3; Hunter's color value, n=9) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

Table 6. MC, WAC and turbidity of texturized vegetable proteins produced with soy proteins

Sample ¹⁾	Moisture content (%)	Water absorption capacity (%)	Turbidity (%)
TISP	47.80±0.36 ^{b2)}	13.85±0.68 ^a	0.100±0.013 ^b
TSF	51.21±2.58 ^a	4.67±0.44 ^b	0.352±0.018 ^a
TDSF	50.24±0.70 ^{ab}	5.23±0.63 ^b	0.285±0.064 ^a

¹⁾TISP, texturized vegetable protein using isolated soy protein; TSF, texturized vegetable protein using soy flour; TDSF, texturized vegetable protein using defatted soy flour at 80°C.

²⁾Mean±SD (n=3) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

분말 처리구가 51.21%로 가장 높은 값을 보였으며, 분리대두단백이 47.80으로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 Hong 등(2007)의 연구에서 증편 제조 시 분리대두단백 첨가군과 대두분말 첨가군 사이에 수분함량에는 유의차가 없었다는 결과와는 차이가 있었다. 수분흡수력은 분리대두단백 식물조직단백이 13.85%로 가장 높은 값을 보였으며, 대두분말과 탈지대두분말 식물조직단백 사이에는 유의차가 없었다. 이는 증편 제조 시 분리대두단백 첨가군과 대두단백 첨가군 사이에 수분흡수력에서 유의차가 없었다(Hong 등, 2007)는 연구결과와는 차이가 있었다. Han과 Hwang(1992), Bae와 Rhee(1998)는 분리대두단백질은 면의 식감에 기여하며 수분흡수력에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며 식품에서 단백질의 이용도에 큰 영향을 준다고 하였다. 탁도는 분리대두단백 식물조직단백이 0.100%로 가장 낮았으며 대두분말과 탈지대두분말 식물조직단백 사이에는 유의차가 없었다. 이에 따라 대두분말과 탈지처리한 탈지대두분말 식물조직단백 처리구간에는 수분함량, 수분흡수력, 탁도에는 유의차가 없음을 확인하였다. 탈지대두분말 식물조직단백의 품질 특성을 분리대두단백 식물조직단백과 비교하면 수분함량은 유의차가 없었으며, 수분흡수력은 분리대두단백의 0.38배, 탁도는 2.85배 수준으로 탈지대두분말을 식물조직단백 재료로 이용 시 이에 대한 개선이 필요할 것으로 생각된다.

3.7. 식물조직단백의 일반성분

분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말을 이용하여 압출성형한 식물조직단백의 일반성분을 분석한 결과는 Table 7과 같다. 조단백 함량은 분리대두단백 처리구가 68.32%로 가장 높았으며 대두분말 처리구가 44.35%로 가장 낮은 값을 보였다. 수분함량은 분리대두단백 처리구가 5.75%로 가

장 높았으며 다음이 탈지대두분말 처리구 3.60%, 대두분말 처리구 3.69%로 순으로 나타났다. 조지방 함량은 탈지대두분말 첨가구가 3.32%로 가장 높게 나타났으며 다음이 대두분말, 분리대두단백 첨가구 순으로 나타났다. 조지방 함량은 대두분말 첨가구가 9.77%로 가장 높고, 다음이 탈지대두분말, 분리대두단백 순이다. 탄수화물 함량은 탈지대두분말, 대두분말, 분리대두단백 순으로 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 식물조직단백 제조에 사용된 원료인 분리대두단백, 대두분말, 탈지대두분말 3개의 시료 간에 조단백질, 무기질, 조지방, 탄수화물의 함량 차이와 유사한 경향으로 사용한 원료가 식물조직단백의 일반성분에 영향을 준 것으로 보여진다.

4. 요약

본 연구에서는 탈지대두분말로 제조한 식물조직단백(texturized vegetable protein)과 분리대두단백, 탈지하지 않은 대두분말로 제조한 식물조직단백의 품질 특성을 비교 분석하였다. 원료의 배합은 대두단백 50%, 글루텐 30%, 옥수수전분 20%를 기본배합으로 하였다. 냉각 다이가 장착된 압출성형기를 이용하여 배럴온도 190°C, 스크루 회전속도 250 rpm으로 하였다. 분리대두단백 대비 경도는 대두분말이 22.4%, 탈지대두분말이 68.8% 수준이며, 검성은 대두분말이 17.6%, 탈지대두분말이 44.3% 수준으로 나타났다. 탈지를 통하여 씹힘성, 절단강도, 탄력성이 증가하였다. 대두분말과 탈지대두분말의 수분함량은 대두분말 처리구가 높았으며, 수분흡수력과 탁도는 유의적인 차이가 없었다. pH는 대두분말 처리구가 탈지대두분말보다 높았으며 색도는 L값과 b값은 대두분말 처리구가, a값은 탈지대두분말 처리구가 높게 나타났다. 이상의 결과에서 대두를 탈지

Table 7. Proximate compositions of texturized vegetable proteins produced with soy proteins

Sample ¹⁾	Protein (%)	Moisture (%)	Ash (%)	Fat (%)	Carbohydrate (%)
TISP	68.32±0.12 ²⁾	5.75±0.01 ^a	2.67±0.01 ^c	0.00±0.00 ^c	23.26±0.13 ^c
TSF	44.35±0.21 ^c	3.69±0.01 ^b	2.95±0.02 ^b	9.77±0.06 ^a	39.25±0.22 ^b
TDSF	47.44±0.03 ^b	3.60±0.01 ^c	3.32±0.01 ^a	5.03±0.17 ^b	40.62±0.13 ^a

¹⁾TISP, texturized vegetable protein using isolated soy protein; TSF, texturized vegetable protein using soy flour; TDSF, texturized vegetable protein using defatted soy flour at 80°C.

²⁾Mean±SD (n=3) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

하여 사용할 경우 식물조직단백 품질의 개선 정도를 확인하였으며, 분리대두단백과의 품질 차이를 개선할 수 있는 다양한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Acknowledgements

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ017288)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Park CS. Methodology: Park CS. Formal analysis: Park CS, Seo MS, Jung SY. Validation: Park CS, Seo MS, Park B, Park SY. Writing - original draft: Park CS. Writing - review & editing: Park CS, Seo MS.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Chan Soon Park (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-8826-2635>

Mi Sook Seo (First author)

<https://orcid.org/0009-0002-4844-7437>

Sun Young Jung

<https://orcid.org/0000-0001-6150-4964>

Boram Park

<https://orcid.org/0000-0001-5675-802X>

Shin Young Park

<https://orcid.org/0000-0002-2527-9218>

References

Adiamo OQ, Gnadamasi OS, Abiose SH. Functional properties and protein digestibility of protein concentrates and isolates produced from kariya

(*Hildergadia bateri*) seed. J Food Process Preserv, 40, 979-989 (2016)

AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA, p 788 (1990)

Bea SH, Rhee C. Effect of soybean protein isolate on the baking qualities of bread. Korean J Food Sci, 30, 1295-1300 (1998)

Buhler JM, Schlangen M, Moller AC, Bruins ME, van der Goot AJ. Starch in plant-based meat analogues: A new approach to using endogenous starch from cereals and legumes. Starch, 74, 2100157 (2022)

Cha SH, Shin KO, Han KS. Studies on characteristics of concentrated soy protein. Korean J Food Sci Technol, 52, 459-466 (2020)

Cho SY, Ryu GH. Quality characteristics and manufacturing process of extruded texturized vegetable protein. Food Ind Nutr, 23, 25-32 (2018)

Cho SY, Ryu GH. Perspective and manufacturing characteristics of meat analog using extrusion cooking process. Food Sci Anim Resour Ind, 10, 22-30 (2021)

Cho SY, Ryu GH. Quality characteristics of plant-based protein used in meat analog. J Korean Soc Food Sci Nutr, 51, 375-380 (2022)

Choi J, Chin KB. Evaluation of rheological properties of pork myofibrillar protein gel and quality characteristics of low-fat model sausages with pea protein concentrate and transglutaminase. J Korean Soc Food Sci Nutr, 49, 617-624 (2020)

Crowe TW, Johnson LA. Twin-screw extrusion texturization of extruded-extruded soybean flour. J Am Oil Chem Soc, 78, 781-786 (2001)

Hager DF. Effects of extrusion upon soy concentrate solubility. J Agric Food Chem, 32, 293-296 (1984)

Han JS, Hwang IK. Effect of functional properties of soy protein isolate and qualities of soybean curd upon proteolytic hydrolysis. Korean J Food Sci, 24, 294-299 (1992)

Hong GJ, Kim MH, Kim KS. A study on the quality

- properties of Jeung-pyun added SPI (soybean protein isolate). *Korean J Food Cook Sci*, 23, 810-817 (2007)
- Hong GJ, Kim MH, Kim KS. The effect of SPI (soybean protein isolate) on retrogradation in Jeung-pyun. *Korean J Food Cook Sci*, 24, 304-311 (2008)
- Joung SE, Cho SH, Lee HG. A study on effects of processing method on the quality of soybean *Da-sik*. *Korean J Soc Food Sci*, 13, 356-361 (1997)
- Kim HJ, Han NH, Lee JY, Lee YY, Kim MH, Kang MS. Physicochemical characteristics by mixing ratio of soybean and peanut protein. *Food Eng Prog*, 27, 55-59 (2022)
- Kyriakopoulou KE, Keppler JK, van der Goot AJ, Boom RM. Alternatives to meat and dairy. *Annu Rev Food Sci Technol*, 12, 29-50 (2021)
- Lee JH, Lee YY, Son Y, Yeum KJ, Lee YM, Lee BW, Woo KS, Kim HJ, Han S, Lee BK. Correlation of quality characteristics of soybeans cultivars and whole soymilk palatability. *Korean J Crop Sci*, 63, 322-330 (2018)
- Lee KA. Effect of isolated soy protein on sponge cake quality. *Korean J Food Sci*, 13, 299-303 (1997)
- Maurice TJ, Stanley DW. Texture-structure relationships in texturized soy protein IV. Influence of process variables on extrusion texturization. *Can Inst Food Sci Technol J*, 11, 1-6 (1978)
- Maurya P, Said PP. Extrusion processing on physical and chemical properties of protein rich products an overview. *J Bioresour Eng Technol*, 2, 61-67 (2014)
- Park HK, Lee HG. Characteristics and development of rice noodle added with isolate soybean protein. *Korean J Food Cookery Sci*, 21, 326-338 (2005)
- Park JH, Chatpaisarn A, Ryu GH. Effects of gluten and moisture contents on texturization of extruded soy protein isolate. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 46, 473-480 (2017)
- Saio K. Expansion and texturization mechanisms of soybean proteins relating to the microstructures. *Mippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 34, 407 (1987)
- Samard S, Ryu GH. Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs. *J Food Process Preserv*, 43, e14123 (2019)
- Sim EY, Lee YY, Park HY, Choi HY, Kwak J, Kim M, Kim HS, Kim JS. Quality characteristics of tofu made from various soybeans. *Korean J Food Nutr*, 33, 710-720 (2020)
- Woo KS, Kim MJ, Sim EY, Kim HJ, Lee CK, Jeon YH. Quality characteristics of commercially soybean and mung-bean flours in Korea. *Korean J Food Nutr*, 30, 1119-1126 (2017)
- Xing Q, de Wit M, Kyriakopoulou K, Boom RM, Schutyser MAI. Protein enrichment of defatted soybean flour by fine milling and electrostatic separation. *IFSET*, 10, 42-49 (2018)
- Zhao H, Shen C, Wu Z, Zhang Z, Xu C. Comparison of wheat, soybean, rice, and pea protein properties for effective applications in food products. *J Food Biochem*, 44, e13157 (2020)