



Research Article

Quality properties of texturized vegetable protein made from defatted soybean flour with different soybean seed coat contents

대두껍질 함량에 따른 탈지대두분말 식물조직단백의 품질 특성

Chan Soon Park^{1†*}, Mi Sook Seo^{1†}, Sun Young Jung¹, Seul Lee¹, Boram Park¹, Shin Young Park¹, Yong Suk Kim^{2*}

박찬순^{1†*} · 서미숙^{1†} · 정선영¹ · 이슬¹ · 박보람¹ · 박신영¹ · 김용석^{2*}

¹Fermented & Processed Food Science Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

²Department of Food Science and Technology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

¹국립농업과학원 발효가공식품과, ²전북대학교 식품공학과



Citation: Park CS, Seo MS, Jung SY, Lee S, Park B, Park SY, Kim YS. Quality properties of texturized vegetable protein made from defatted soybean flour with different soybean seed coat contents. Korean J Food Preserv, 30(5), 896-904 (2023)

Received: August 10, 2023
Revised: September 26, 2023
Accepted: October 04, 2023

[†]These authors contributed equally to this study.

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

Yong Suk Kim
 Tel: +82-63-270-2572
 E-mail: kimys08@jbnu.ac.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.

Abstract The texturization characteristics of textured vegetable protein (TVP) were investigated based on the extent of soybean decoating during the pretreatment of defatted soybean flour used for TVP. The raw materials for TVP consisted of 50% defatted soybean flour, 30% gluten, and 20% corn starch. The weight ratios of soybean seed coat to soybean flour were 9%, 6%, 3%, and zero. Extrusion was performed using an extruder equipped with a cooling die, maintaining a barrel temperature of 190°C and screw speed of 250 rpm, Water was injected at a rate of 9 rpm using a metering pump. Regarding the textures of the extruded TVPs produced from defatted soybean flour, an increase in the soybean seed coat content led to a decrease in the apparent fibrous structural layer and an increase in hardness. However, there were no significant changes in elasticity and cohesion. Moreover, as the soybean seed coat content increased, the pH of TVPs decreased. A higher soybean seed coat content also tended to lower the moisture content, increasing water absorption, solids elution, and turbidity. These results suggest that an increased seed coat content reduces the proportion of protein, and the fibers present in the seed coats prevent texturization.

Keywords TVP, extrusion, defatted soybean flour, soybean seed coat, texturization

1. 서론

세계 인구의 꾸준한 증가로 육류 공급 부족 현상이 전망되고, 온실가스 배출로 인한 기후변화 등 환경문제 심화, 채식주의 트렌드 확산 등으로 단백질 공급원인 육류 대체식품에 대한 시장의 수요가 증가하고 있다. 하지만 국내 육류 대체식품 산업은 대체식품의 소재가 되는 식물조직단백(texturized vegetable protein, TVP)과 대두단백 등과 같은 원료의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 이러한 소재와 원료의 수입 의존도를 개선하기 위해서는 국산 농산물을 이용한 소재화 기술개발이 필요하다(Park 등, 2023). 식물조직단백(TVP)의 품질은 사용원료

의 단백질의 종류와 함량, 압출성형기의 수분, 압력 및 온도 조건, 그리고 단백질, 전분, 글루텐 등 원료들간의 배합비, 물성과 풍미개선 첨가제 등에 의해 결정된다. 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. 식물조직단백(TVP)의 단백질 원료로는 대두단백, 밀단백, 완두단백 이외에도 카놀라, 해바라기 씨와 같은 씨앗류나 땅콩, 쌀이나 녹두 단백질 등이 있다(Cho와 Ryu, 2021; Samard와 Ryu, 2019). 그 중에 국내에서 가장 많이 사용하는 단백질 원료는 대두단백으로 분리대두단백, 농축대두단백, 탈지대두박 형태로 이용하고 있다. 단백질 함량이 70%인 농축대두단백과 단백질 함량이 90%인 분리대두단백은 콩을 탈지한 탈지대두박으로 만든다(Xing 등, 2018). 탈지대두분말은 분리, 정제 등 복잡한 과정을 거치지 않고 압착 탈지와 같은 상대적으로 용이하게 원료를 전처리할 수 있지만 낮은 단백질 함량으로 압출성형 공정에서 조직화가 잘 일어나지 않는 단점이 있다. Saio(1987)는 단백질의 농도가 클수록 제품을 단단하게 하고 탈지대두분말 대신에 농축단백이나 분리단백을 원료로 하면 조직화가 촉진된다고 하였으며, Choi와 Chin(2020)은 식물성 단백질의 종류와 함량은 최종식품의 이화학적, 기능적 품질에 영향을 미친다고 하였다. 탈지대두분말의 식물조직단백(TVP)의 원료로 이용하기 위해서는 대두의 탈지온도, 분말의 입도, 껍질의 탈피와 같은 전처리 방법과 조건 등이 중요하다. 대체식품에 사용하는 콩과류 및 콩류의 원료에서 단백질 함량을 높이기 위해서는 콩의 껍질을 벗긴 뒤 분쇄하여 사용한다고 하였다(Buhler 등, 2021). 그리고 식이섬유 첨가는 수분 보유 능력이 증대되어 글루텐의 불완전 수화를 일으켜 빵의 반죽 형성을 방해하고(Choi, 2005), 빵의 경도를 증가시킨다고 하였다(Kim 등, 2013; Kim 등, 2014). 효모를 첨가한 압출성형에서 섬유질의 증가가 단백질 분자 간의 상호작용을 방해하여 조직화를 감소시켰다고 하였다(Jeon 등, 2022). 이와 같이 대두의 단백질 함량과 섬유질은 물성에 영향을 주는 것으로 보고하고 있다. Kim 등(2005)은

20개 콩 품종의 종실과 종피 특성 연구에서 20개 품종의 평균 단백질 함량은 약 40.1%이며 종피에 함유된 단백질은 8.8%로 종실 단백질 함량의 1/5 수준이며, 조섬유 함량은 종실은 5.32%, 종피는 32.7%로서 종실에 비해 약 6.1배 높다고 하였다. 또한, 대두의 20개 품종의 종피율은 5.71-9.66% 범위에 있으며 평균 종피율은 6.71%이고, 대원콩이 5.71%로 가장 낮고 소명콩이 9.66%로 가장 높았다고 하였다. 이와 같이 대두의 껍질(종자 껍질)은 단백질 함량이 낮고 섬유질을 많이 포함하고 있다. 이제까지 쌀과 분리대두 단백질 혼합에 따른 조직화 특성 연구(Han 등, 1989), 분리대두단백, 밀 글루텐, 분리녹두단백, 분리완두단백, 분리쌀 단백질 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. Kim 등(2023)은 콩 및 땅콩 단백질 혼합비율에 따른 이화학적 특성 연구에서는 단백질 종류와 상호작용 특성에 대해 보고하였다. 그리고 비지 첨가(Cheong, 2018), 버섯 첨가(Cho와 Ryu, 2020) 및 효모 첨가(Jeon 등, 2022)가 압출성형 대체육의 품질 특성에 미치는 영향 등에서 첨가물에 포함된 섬유질의 영향에 대한 분석이 있었다. 이와 같이 다양한 종류의 단백질과 첨가물의 섬유질 등이 압출성형물과 식품의 품질 특성에 미치는 영향은 비교하였으나, 압출성형 공정에서 국산 대두 활용을 위한 대두단백의 전처리 특성에 대한 연구는 부족한 면이 있다. 본 연구는 탈지대두분 식물조직단백(TVP) 제조시 사용하는 탈지대두분말 원료의 전처리 공정에서 대두의 껍질 제거 정도가 식물조직단백(TVP)의 조직화 특성에 어떤 영향을 미치는지 확인하고 국산 원료를 활용한 대체식품 제조 시 대두의 전처리 공정에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 실험에 사용된 탈지대두분말은 국산 대두(*Glycine max* (L.) Merrill) 품종 중 가장 재배량이 많은 대원콩을 국립종자원에서 구입하여 콩의 껍질을 벗기고 착유기를 이용하여 80℃ 저온에서 압착 탈지한 후 분말화하였다. 글루텐(Comida,

ADM BAZANCOURT, Bazancourt, France), 옥수수 전분(Samyang Ltd., Ulsan, Korea)은 시중에서 구매하여 사용하였다. 대두껍질은 대두를 상온에서 1시간 수침 후 벗겨낸 껍질(seed coat)을 건조한 후 가정용 믹서기(Shinil electric mixer SFM-656CS, Shinil Electronics Co., Ltd., Cheonan, Korea)로 분쇄하여 분말화하여 사용하였다.

2.2. 압출성형 공정

압출성형물 제조 시 원료 배합비는 탈지대두분말 50%, 글루텐 30%, 옥수수 전분 20%로 하였으며, 대두껍질은 탈지대두분말 중량 대비 0, 3, 6 및 9% 비율로 첨가하였다. 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°C, 스크루 회전 속도 250 rpm으로 하였으며, 수분은 정량펌프(BT101S Peristaltic Pump Drive, Lead Fluid Technology Co., Baoding, China) 9 rpm 속도로 주입하였으며, 원료 투입은 5 g/min으로 조절하였다.

2.3. 외관 관찰

식물조직단백(TVP)의 단면은 실체현미경(Nikon SMZ1270, Tokyo, Japan)으로 촬영하였으며, 표준 종합배율은 1×1 배율로 확대하고, 식물조직단백 중심을 잘라서 가른 단면의 특성을 관찰하였다.

2.4. 조직감 분석

조직감 분석은 물성분석기(TAXTplus, Zwick Roell, Ulm, Germany)를 사용하였으며 압출성형 직후의 시료를 1.0×1.0 cm로 자르고 load cell은 직경 2.5 cm, 변형률 30%, 2 bite로 경도, 탄력성, 씹힘성, 응집성, 점성을 측정하였고, 절단강도는 레오미터(COMPAC-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 시료는 1.0×2.0×0.5 cm로 자르고 횡단면의 절단강도를 측정하였다.

2.5. pH 측정

시료 2 g을 증류수로 10% 현탁액을 만들어 교반하고 4,000 rpm에서 20분간 원심분리기(2236HR, GYROZEN,

Kimpo, Korea)를 이용하여 원심분리한 후 시료의 상등액을 pH meter(Orion Star A211, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)로 측정하였다.

2.6. 색도 측정

압출성형 직후의 시료를 35 mm 용기에 담고, 색차계(Color i7, X-Rite Inc., Grand Rapids, MI, USA)를 사용하여 표면을 측정하였다. 식물조직단백(TVP)의 색도 측정 시 표준백색판은 백색도(L*) 95.78, 적색도(a*) -0.25, 황색도(b*) 2.7이었다.

2.7. 수분함량 측정

식품공전상의 건조감량법(2.1.1.1)에 따라서 측정하였다. 제조한 식물조직단백(TVP)시료를 3 g씩 잘게 썰어 알루미늄 접시에 펼쳐놓고, 105°C에서 향량이 될 때까지의 시료의 무게를 측정한 후 백분율(%)로 나타내었다.

$$\text{수분(\%)} = \frac{b - c}{b - a} \times 100$$

a: 칭량접시의 질량(g)

b: 칭량접시와 검체의 질량(g)

c: 건조 후 향량이 되었을 때의 질량(g)

2.8. 수분흡수력 및 고형물 용출량 측정

시료의 수분흡수력 측정을 위해 압출성형기에서 토출되어 나온 시료를 가위로 잘라 10 g을 5배 중량의 끓는 물에서 3분간 가열 후 체에 받쳐서 2시간 실온에서 냉각 후 시료 표면의 물기를 제거하고 그 시료의 무게를 측정하여 아래의 식에 의해 수분흡수력을 구하였다(Kang 등, 2012). 고형물 용출량은 수분흡수력 측정 시 체에 받쳐서 수거된 액을 미리 무게를 달아 둔 알루미늄 용기에 부어 105°C에서 24시간 건조시킨 후 30분간 실온에서 냉각 후 용기에 무게를 측정하여 아래의 식에 의해 고형물 용출량을 구하였다. 각 실험은 시료당 3회 반복 측정하여 평균값을 나타내었다.

$$\text{수분흡수력(\%)} =$$

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

$$\text{고형물용출량(\%)} = \frac{\text{건조 후 용기무게(g)} - \text{건조 전 용기 무게(g)}}{\text{시료의 무게(g)}} \times 100$$

2.9. 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.

2.10. 통계처리

결과의 통계처리는 SPSS(version 23.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각 시료에 대한 평균과 표준편차로 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. 원료 콩과 콩껍질의 pH, 일반성분 및 식이섬유 함량

대두의 껍질 함량을 달리한 탈지대두분말 식물조직단백(TVP) 제조에 사용한 콩품종 대원콩의 껍질을 포함하고 있는 대두(whole seed)와 대두껍질(seed coat)의 pH, 일반성분 및 식이섬유의 측정 결과는 Table 1과 같다. pH는 대두가 대두껍질보다 높았으며, 단백질은 대두가 대두껍질의 3.40배, 지방은 대두가 대두껍질의 9.27배, 무기질은 대두가 대두껍질의 1.7배 높은 값을 보였다. 탄수화물은 대두보다 대두껍질이 1.93배 높고, 식이섬유는 대두보다 대두껍질이 3.5배 높은 값을 보였다. Kim 등(2005)은 대두를 포함한 20개 콩 품종의 평균 단백질 함량이 콩(whole seed)은 40.1%, 콩껍질(seed coat)는 8.8% 차지하여 콩(whole

seed)이 콩껍질(seed coat)보다 4.56배 높았으며, 조섬유 함량은 콩(whole seed)은 5.32%, 콩껍질(seed coat)은 32.7%라고 하여 콩껍질(seed coat)이 6.15배 높았다. 이는 콩의 품종별 껍질의 두께, 콩과 콩껍질의 비율 등이 차이에 따른 것으로 보여진다.

3.2. 외관

대두의 껍질 함량을 달리한 탈지대두분말 식물조직단백에 대한 시각적인 비교는 Fig. 1과 같다. Kyriakopoulou 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. 압출성형 직후 촬영한 식물조직단백 사진 (A)에서는 껍질이 함유되지 않은 처리구에서 섬유상 구조층을 확인할 수 있었으며, 껍질 함량에 따른 색상의 차이는 구분되지 않았다. (A)의 시료에 대한 실체 현미경 사진 (B)에서는 시료의 절단면에서 층을 보여 주는 갈라진 선이 껍질이 첨가되지 않은 0% 처리구에서 가장 많이 나타나 선명한 섬유상 구조층을 확인할 수 있었으며그 다음이 3% 처리구에서 섬유상 구조층을 많이 확인할 수 있었다. 껍질함량이 6, 9%로 증가함에 따라 섬유상 조직의 선명도는 감소하여 9% 처리구에서는 거의 나타나지 않았다. 이에 따라 탈피한 대두분말 대비 3%를 초과하여 껍질이 함유될 경우 섬유화 조직감을 저해하는 것으로 확인하였다. 본 연구에 사용된 시료를 기준으로 하였을 때는 사용 시료(대원콩)는 종피 함량이 전체 종실 대비 5.38%이므로 첨가된 껍질 3%는 종실에 붙어있는 전체 껍질 중량의 55.76% 해당되는 양이다. 이상의 결과에서 껍질이 함유되지 않도록 탈피하여 사용하는 것이 섬유상 구조화와 잘 일어나는 조건으로 보여지며, 본 연구에 사용한 품종을 기준으로 50% 이상의 껍질을 함유하지 않도록 탈피하여 사용하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

Table 1. pH, proximate composition, and fiber of whole soybean seed and seed coat used in texturized vegetable protein

	pH	Proximate composition					Fiber (%)
		Protein (%)	Moisture (%)	Ash (%)	Fat (%)	Carbohydrate (%)	
Whole seed	6.68±0.04 ¹⁾	33.04±0.18	5.30±0.01	5.54±0.01	15.48±0.19	40.65±0.34	10.19±0.01
Seed coat	6.34±0.02	9.71±0.03	6.88±0.03	3.26±0.03	1.67±0.02	78.49±0.04	35.64±0.36

¹⁾All values are mean±SD (n=3).

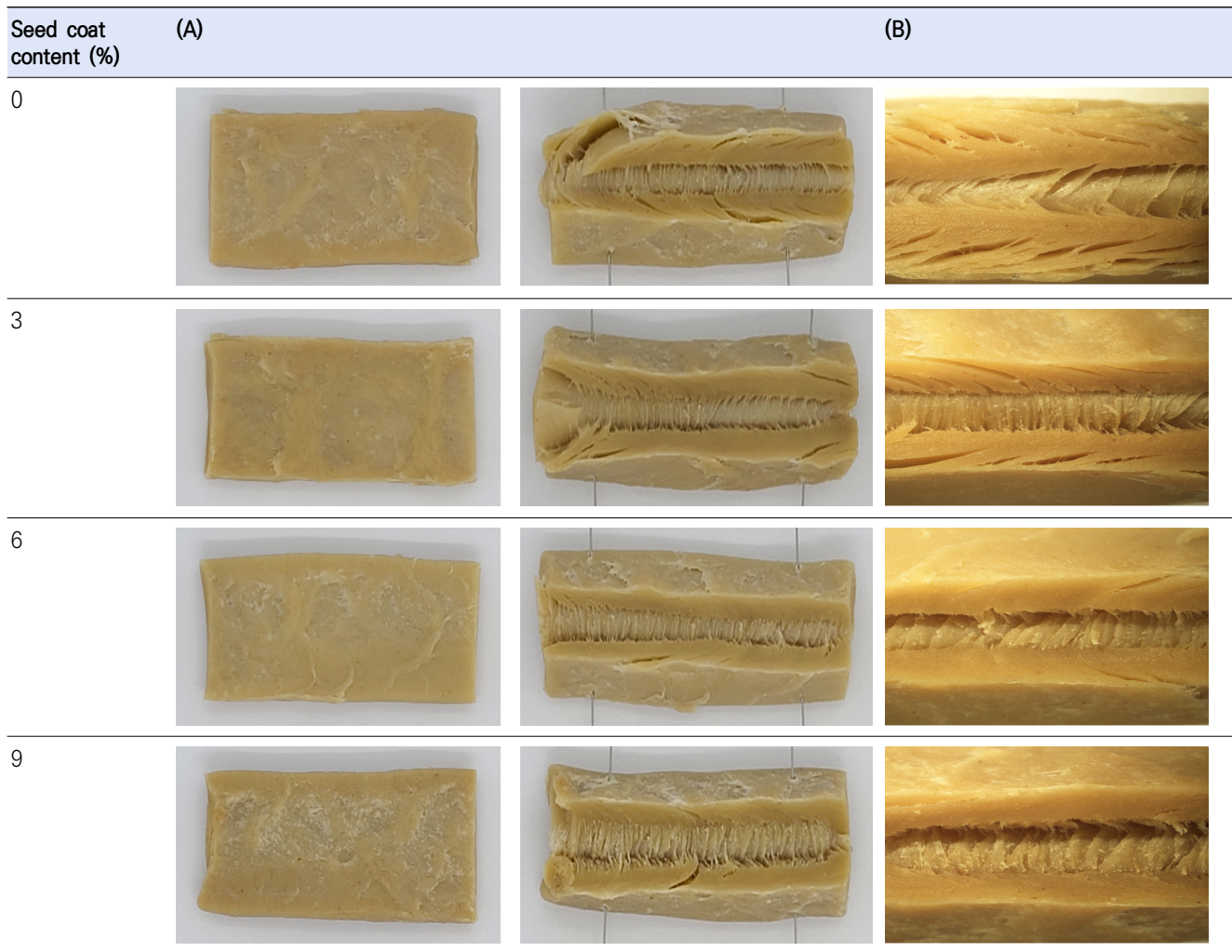


Fig. 1. Appearance of texturized vegetable protein with different soybean seed coat content. (A) Photograph of TVP, (B) Dissection micrographs of TVP.

3.3. 조직감

대두 껍질 함량을 달리한 탈지대두분말 식물조직단백의 조직감을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 경도는 껍질 0% 처리구가 1,712.50 g으로 가장 낮았으며, 껍질 9% 처리구가 2,384.17 g으로 가장 높았다. 껍질 함량이 증가할수록 경도는 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 탄력성은 껍질 3% 처리구가 0.67로 가장 낮은 값을 보였고, 9% 처리구가 가장 높은 값을 나타내었으며 껍질 함량의 증가에 따라 값이 증가하였으나, 껍질 함량에 따른 유의차가 없었다($p > 0.05$). 겹침성은 껍질이 첨가되지 않은 0% 처리구가 가장 낮았으며, 껍질 첨가량 3-9%로 증가함에 따라 경도값이 유의적으로 증가하였다($p > 0.05$). 씹힘성은 껍질 0% 처리구가 가장 낮

은 값을 보였으며, 3-9% 껍질 함량이 증가함에 따라 값이 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 응집성은 껍질 첨가구에서 높은 값을 보였으며 껍질 0% 첨가구가 0.54 N으로 가장 낮은 값을 보였고, 6% 첨가구에서 0.58 N으로 가장 높은 값을 보였으나 3-9% 첨가구 간에 유의적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 절단강도는 껍질 0, 6% 처리구에서 1,098.00 g/cm²로 가장 낮은 값을 보였으며 9% 처리구가 1,187.00 g/cm²로 가장 높게 나타났으며, 3-9% 처리구간에 일정한 경향은 없으나 껍질 첨가로 절단강도가 증가하는 것으로 보여진다. 이와 같이 껍질 0% 처리구와 비교하여 9% 처리구에서 경도는 39%, 절단강도는 8%까지 증가하였으나 탄력성과 응집성은 껍질 함량에 따른 유의미한 변화는 없었다

Table 2. Texture profile analysis and cutting strength of texturized vegetable protein with different soybean seed coat content

Seed coat content (%)	Hardness (g)	Springiness	Gumminess (N)	Chewiness	Cohesiveness (N)	Cutting strength (g/cm ²)
0	1,712.50±182.51 ^(c1)	0.68±0.03 ^a	9.02±1.01 ^c	6.15±0.67 ^c	0.54±0.03 ^b	1,098.00±38.10 ^c
3	1,867.50±143.66 ^{bc}	0.67±0.04 ^a	10.08±1.43 ^c	6.79±1.25 ^c	0.55±0.05 ^{ab}	1,147.67±42.74 ^b
6	2,044.17±157.22 ^b	0.69±0.02 ^a	11.59±0.71 ^b	7.98±0.59 ^b	0.58±0.03 ^a	1,098.00±57.13 ^c
9	2,384.17±475.37 ^a	0.70±0.04 ^a	13.24±2.92 ^a	9.27±2.24 ^a	0.57±0.04 ^{ab}	1,187.00±45.58 ^a

¹⁾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).

(p>0.05). Cheong 등(2018)은 비지를 첨가한 압출성형 조직화 분리대두단백의 조직화 특성 연구에서 비지의 함량이 감소할수록 탄력성과 응집력을 증가시키고, 비지 첨가가 단백질의 조직화를 감소시키고 비지의 첨가량이 단백질의 양에 영향을 주었다고 하였다. Buhler 등(2021)은 대체육에 사용하는 콩과류 및 콩류의 원료에서 단백질 함량을 높이기 위해서는 첫 번째 단계로 콩의 껍질을 벗긴 뒤 분쇄하는 것이라고 하였으며, Kim 등(2005)은 콩 20품종에 대한 종피 특성 연구에서 20품종의 단백질 함량은 약 40.1%였으며 종피에 함유된 단백질은 8.8%로서 종실 단백질 함량의 1/5 수준이라고 보고하였다. 또한, Jeon 등(2022)의 연구에서는 효모 첨가 40% 이상부터 효모 함량에 따른 섬유질의 증가로 압출성형 과정 중 단백질 분자 간의 상호작용을 방해하여 조직화를 감소시켰다고 하였다. 빵의 경도는 수분함량과 밀접한 관련이 있으며 식이섬유 함량이 높은 분말을 첨가하게 되면 글루텐 형성을 억제하여 빵의 경도를 증가시킨다고 하였다(Kim 등, 2013; Kim 등, 2014). 이는 식이섬유 첨가는 수분 보유 능력이 증대되어 글루텐의 불완전 수화를 일으키며 반죽 형성을 방해하기 때문이다(Choi, 2005). Baek 등(2021)은 미성숙 찰쌀보리 분말 첨가 식빵 제조 시 찰쌀보리 분말 첨가량이 증가할수록 경도가 증가하고 탄력성과 응집성은 첨가량이 증가함에 따라 감소하였다고 하였다. 미성숙 찰쌀보리는 수용성 식이섬유인 β -glucan을 많이 함유하고 있어 식빵 제조 시 첨가하게 되면 수분흡착력이 큰 β -glucan으로 인해 전분과 결합할 수분이 부족하게 된다고 하였다(Ju 등, 2007; Jun 등, 2019). 이상의 결과에서 대두 껍질의 첨가는 단백질의 양에 영향을 주었으며 대두껍질의 섬유질로 인하여 조직화를 감소시켰을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 식물조직단백 제조 시 대두껍질의

함량 증가로 높은 경도와 절단강도를 보였으나 상대적으로 탄력성과 응집성은 껍질 증가에 따른 값의 증가가 미미하여 조직이 조밀하지 않고 탄력이 떨어짐에 따라 푸석푸석한 조직감으로 대두껍질이 함유될 경우 식물조직단백의 조직화 품질을 저해하는 것으로 판단된다.

3.4. pH 및 색도 측정

대두의 껍질 함량을 달리한 탈지대두분말 식물조직단백의 pH를 측정한 결과는 Table 3과 같다. pH는 껍질 첨가량이 증가할수록 낮아졌으며 0% 대조구가 6.90으로 가장 높았으며, 9% 첨가구가 6.87로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 본 연구에 이용한 대두 껍질의 pH는 6.34로 낮아 껍질 함량의 증가가 식물조직단백의 pH에 영향을 준 것으로 보여진다. 색도는 밝은 정도를 나타내는 L값은 껍질함량 0-6% 처리구 간에는 유의차가 없었으며(p>0.05), 9% 첨가구가 가장 낮은 값을 보였다. 적색도를 나타내는 a값은 껍질 함량이 증가할수록 높아져 9%가 4.80으로 가장 높았으나 3-9% 처리구에 유의차는 없었다(p>0.05). Han 등(2020)의 탈피대두로 만든 두부가 탈피하지 않은 대두로 만든 두부보다 적색도 a값이 높게 나타났다는 결과와는 차이가 있었다. 황색도를 나타내는 b값은 껍질 첨가에 따른 일정한 경향을 보이지 않았다. Cheong 등(2018)은 비지 첨가량이 증가할수록 압출성형 분리대두 조직화 단백질의 색도 a값이 증가하였으며, 압출성형에서 수분함량이 낮을수록 갈변으로 인해 L값이 감소하고 a값과 b값은 증가하는 경향이 있다고 하였다. 미성숙 찰쌀보리의 수용성 식이섬유는 수분흡착력이 커서 전분과 결합할 수분이 부족하게 된다고 하였다(Ju 등, 2007; Jun 등, 2019). 이에 따라 식이섬유를 많이 함유하고 있는 대두 껍질 함량 증가가 압출성형물의 수분을

Table 3. pH and Hunter's color value of texturized vegetable protein with different soybean seed coat content

Seed coat content (%)	pH	Hunter's color value		
		L*	a*	b*
0	6.90±0.01 ^{a1)}	58.83±1.41 ^a	4.28±0.25 ^b	21.83±2.29 ^a
3	6.90±0.01 ^{ab}	59.63±1.92 ^a	4.43±0.58 ^{ab}	21.51±1.59 ^{ab}
6	6.89±0.01 ^{bc}	58.96±0.85 ^a	4.53±0.42 ^{ab}	20.18±0.52 ^b
9	6.87±0.01 ^c	57.21±1.23 ^b	4.80±0.32 ^a	22.07±0.43 ^a

¹⁾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).

감소시키며, 감소된 수분으로 색도 L값을 감소시키고 a값 증가에 영향을 준 것으로 보여진다.

3.5. 수분함량, 수분흡수력, 고형물용출량 및 탁도

대두의 껍질 함량을 달리한 탈지대두분말 식물조직단백의 수분함량, 수분흡수력, 고형물용출량 및 탁도를 측정 한 결과는 Table 4와 같다. 수분함량은 껍질 함량 0-9% 처리구에서 44.84-48.54% 사이를 나타내었다. Cho와 Ryu(2018)는 고수분 압출성형의 수분함량을 40-80% 범위라고 하였다. 껍질 함량이 증가할수록 수분함량이 감소하였으며, 껍질이 함유되지 않은 0% 처리구가 가장 높았으며 9% 처리구가 가장 낮은 값을 보였다. Jenon과 Yoo(2014)는 유색보리 분말을 첨가한 식빵의 품질 특성 분석에서 유색보리에 함유되어 있는 식이섬유가 반죽 내 수분을 흡착하는 작용으로 인하여 수분흡착력이 커진다고 하였으며, 수용성 식이섬유인 β -glucan을 많이 함유하고 있는 미성숙 찰쌀보리 분말을 식빵 제조 시 첨가하게 되면 수분흡착력이 큰 β -glucan으로 전분과 결합할 수분이 부족하게 되어 빵의 부피가 감소한다고 하였다(Ju 등, 2007; Jun 등, 2019). 이에 따라 대두 껍질 함유가 수분함량을 감소시키는 것은 껍질의

식이섬유가 수분을 흡착하는 작용으로 수분흡착력이 커져 압출성형기 스크류 내에서 탈지대두분, 글루텐, 전분을 혼합한 반죽의 수분을 감소시켜 압출성형물의 수분함량에 영향을 준 것으로 보인다. 수분흡수력은 껍질 0% 처리구가 가장 낮은 값을 보였으며, 9% 처리구가 가장 높은 값을 보였다. 껍질 함량이 증가함에 따라 수분흡수력은 증가하였으나 3-9% 처리구 간에 유의차는 없었다(p>0.05). 고형물용출량과 탁도는 껍질 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 9% 처리구가 가장 높은 값을 나타내었다. 고형물용출량과 탁도는 압출성형물의 단백질, 전분, 유리지방 등의 용출에 의한 것으로 판단된다. 수분흡수율, 고형물용출량 및 탁도는 압출성형물 조직이 견고하지 않고 결합력이 낮으면 잘 풀어지게 되고 고형물의 용출이 많아지게 된다. 본 연구에서 껍질 함량이 증가함에 따라 경도가 증가하였으나 수분흡수력, 고형물용출량 및 탁도의 증가로 식물조직단백의 품질에는 부정적인 영향을 주는 것으로 보여진다.

4. 요약

본 연구에서는 탈지대두분말 식물조직단백(TVP) 제조 시

Table 4. Moisture content, water absorption capacity, solid dissolution, and turbidity of texturized vegetable protein with different soybean seed coat content

Seed coat content (%)	Moisture content (%)	Water absorption capacity (%)	Solid dissolution (%)	Turbidity (%)
0	48.54±0.49 ^{a1)}	7.06±0.87 ^b	1.11±0.03 ^b	0.19±0.00 ^b
3	46.98±1.26 ^{ab}	7.74±3.22 ^{ab}	1.18±0.13 ^{ab}	0.19±0.02 ^b
6	45.45±1.19 ^{bc}	10.66±1.34 ^{ab}	1.24±0.09 ^{ab}	0.21±0.01 ^b
9	44.84±0.53 ^c	11.38±1.93 ^a	1.34±0.13 ^a	0.28±0.02 ^a

¹⁾Mean±SD (n=3) within each column followed by different superscript letters are significantly different (p<0.05).

사용하는 탈지대두분말 원료의 전처리 공정에서 대두의 껍질 제거 정도가 식물조직단백(TVP)의 조직화 특성에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다. 식물조직단백 원료의 배합은 탈지대두분말 50%, 글루텐 30%, 옥수수전분 20%를 기본 배합으로 하였다. 대두껍질은 탈지대두분말 중량 대비 0, 3, 6 및 9% 비율로 첨가하였다. 압출성형은 냉각 다이(die)가 장착된 압출성형기를 이용하여 배럴온도 190℃, 스크루 회전속도 250 rpm, 수분은 정량펌프 9 rpm 속도로 주입하였다. 압출성형 탈지대두분말 식물조직단백의 조직감은 껍질 함량이 증가함에 따라 외관으로는 섬유화 구조층이 감소하고, 물성은 경도는 증가하였으나 탄력성과 응집성은 큰 차이가 없었다. pH는 껍질 함량이 증가함에 따라 낮아졌다. 수분함량은 껍질 함량이 증가함에 따라 감소하였으며 수분 흡수력, 고형분용출량 및 탁도는 껍질 함량이 증가함에 따라 값이 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 껍질 함량의 증가로 단백질의 비중이 감소하고 껍질의 섬유소가 조직화를 저해하기 때문으로 판단된다.

이상의 결과에서 압출성형에 위한 탈지대두분말 식물조직단백 제조 시 원료 대두의 껍질 함량은 대두 종실의 중량 대비 50% 이상이 되지 않도록 하는 것이 적합하다고 사료된다.

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, Kim YS. Methodology: Park CS. Formal analysis: Park CS, Seo MS, Jung SY, Lee S. 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>

Seul Lee

<https://orcid.org/0009-0002-0295-8418>

Boram Park

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

Shin Young Park

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

Yong Suk Kim (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-1331-4175>

References

- Baek CW, Lee AY, Lee HL. Quality evaluation of pan bread supplemented with immature Chalsalbori powder. *J Korean Soc Nutr*, 50, 1108-1116 (2021)
- 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*, 2100157 (2021)
- Cheong SH, Kwon KT, Ryu GH. Effect of Biji addition on quality of extruded isolated soy protein. *Food Eng Prog*, 22, 137-144 (2018)
- 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. Effects of mushroom composition on the quality characteristics of extruded meat analog. *Korean J Food Sci Technol*, 52, 357-362 (2020)
- 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)
- Choi UK. Effects of barley bran flour addition on the quality of bread. *Korean J Food Sci Technol*, 37, 745-750 (2005)
- Han IB, Cha SH, Jung UH, Huun TK, Kim SW, Kim SH, Ha JS, Jang KI. Quality and functional characteristics of Tofu prepared with dehulled soybeans (*Glycine max L. Merrill*). *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 49, 1227-1235 (2020)
- Han O, Park YH, Lee SH, Lee HY, Min BL. The texturization properties of rice flour and isolated soybean protein. *Korean J Food Sci Technol*, 21, 780-787 (1989)
- Hong GJ, Kim MH, Kim KS. A study on the quality properties of Jeung-pyun added SPI (soybean protein isolate). *Korean J Food Cookery Sci*, 23, 810-817 (2007)
- Jeon YH, Gu BJ, Ryu GH. Effects of yeast content on the physicochemical properties of low-moisture extruded meat analog. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 51, 271-277 (2022)
- Jeong HC, Yoo SS. Quality characteristics of pan bread added with color barley. *Korean J Culi Res*, 20, 127-143 (2014)
- Ju JI, Lee KS, Min HI, Lee BJ, Kwon BG, Gu JH, Oh MJ. Changes in physicochemical characteristics of green barley according to days after heading. *Korean J Crop Sci*, 52, 36-44 (2007)
- Jun HI, Yoo SH, Song GS, Kim YS. Bread-making properties of rice bread added with naked oat flours. *Korean J Food Preserv*, 26, 68-73 (2019)
- Kang HJ, Park JD, Lee HY, Kum JS. Quality characteristics of Topokkidduk added with soybean flour. *Korean J Food Preserv*, 19, 688-695 (2012)
- 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 (2023)
- Kim JY, Lee JH, Chung KC, Lee SK. Effects of trehalose on quality characteristics of white pan bread. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 43, 712-719 (2014)
- Kim JY, Lee KT, Lee JH. Quality characteristics of bakery products with whole green wheat powder. *Korean J Food Cook Sci*, 29, 137-146 (2013)
- Kim SI, Chi HY, Son JR, Park NK, Ryu SN. Physicochemical characteristics of soybean seed coat and their relationship to seed lustre. *Korean J Crop Sci*, 50, 123-131 (2005)
- Kyriakopoulou KE, Keppler JK, van der Goot AJ, Boom RM. Alternatives to meat and dairy. *Annu Rev Food Sci Technol*, 12, 29-50 (2021)
- Park CS, Seo MS, Jung SY. Effects of aronia powder on the quality characteristics of texturized vegetable protein using defatted soy flour. *Korean J Food Sci Technol*, 55, 252-257 (2023)
- Saio K. Expansion and texturization mechanisms of soybean rotein relating to the microstructures. *Mippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 34, 407-416 (1987)
- Samard S, Ryu GH. Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs. *J Food Process Preserv*, 43, e14123 (2019)
- Xing Q, De Wit M, Kyriakopoulou K, Boom RM, Schutyser MAI. Protein enrichment of defatted soybean flour by fine milling and electrostatic separation. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 50, 42-49 (2018)