

식물조직단백의 물리적 특성에 영향을 미치는 화학적 성분

정회원¹ · 최현우¹ · 김현석^{1,2*}

¹경기대학교 대학원 식품생물공학과, ²경기대학교 바이오융합학부 식품생물공학전공

Chemical Composition Affecting Physical Properties of Textured Vegetable Proteins

Hwi Won Jung¹, Hyun Woo Choi¹, and Hyun-Seok Kim^{1,2*}

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

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

Abstract

The objective of this study was to determine chemical compositions affecting the physical and thermal properties of the textured vegetable protein (TVP). The 14 commercial TVPs were pulverized, followed by analyzing their morphology, chemical composition, water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) (for the pulverized and original TVPs), solubility, swelling power, melting property, and hardness. All TVPs showed the rough surface with irregular cracks and pores and the porous structure with varied pore sizes. WAI was positively correlated to moisture and crude protein contents and negatively correlated to the total carbohydrate content. WSI and solubility were directly and reversely influenced by the crude ash and total carbohydrate contents and the crude protein and total starch contents, respectively. The swelling power and melting temperature of TVPs did not significantly affect chemical compositions. Melting enthalpies increased with crude ash content, while decreased with the total starch content. The hardness of the rehydrated TVPs was enhanced with their crude ash and total carbohydrate contents, whereas reduced with their crude protein and total starch contents. Overall, the yield and texture of the rehydrated TVP could be modulated with the crude protein and ash contents of TVP.

Key words: Textured vegetable protein, chemical composition, physical property, correlation

서 론

국내의 식품소비는 과거 곡물과 채소 등의 채식 위주의 식생활에서 사회 및 경제의 발달과 함께 1990년대 이후부터 식육과 식육가공품 등의 육식 위주의 식생활로 변화되었다(Yeo & Kim, 2016). 식육 및 식육가공품들은 필수아미노산과 단백질의 주요 공급원이며, 이들의 지질은 에너지와 필수지방산을 제공할 뿐만 아니라, 철과 미량의 비타민을 공급하는 중요한 식품이다(You et al., 2020). 국내 연간 육류 소비량은 2000년부터 2017년까지 소고기가 44.8%, 돼지고기가 63.2%와 닭고기가 112.8%로 증가하였고(Korea meat distribution export association, 2020), 이와 더불어 식육가공품들의 연도별 판매액도 품목에 따른 차이

가 있지만 지속적인 증가를 나타내고 있다(MFDA, 2019). 그럼에도 식육 및 식육가공품의 소비는 대사성 질환과 관련된 건강상 이슈, 종교적인 이유로 인한 식육 섭취 제한의 이슈 및 가축 사육에 따른 환경오염과 자연파괴에 대한 이슈들이 지속적으로 연계되어 있다(Lee & Cho, 2019; Yeo & Kim, 2016). 이런 이슈들과 함께 급격한 인구증가에 따른 미래 식량부족 문제의 해결을 위해, 식육 및 식육가공품을 대체할 수 있는 식품의 개발이 요구되고 있다(Lee & Cho, 2019; Yeo & Kim, 2016).

최근 식물성 단백질, 식용 곤충과 배양육(cultured meat)을 이용한 식육 및 식육가공품의 대체소재와 대체식품의 개발에 대한 연구가 진행되고 있다(Alexander et al., 2017; Lee & Cho, 2019). 식용 곤충은 식품소재로 활용하기 위해 안전성 확보, 관능적 특성 개선 및 소비자들의 곤충에 대한 혐오감 개선이 필요하며, 배양육은 현재 높은 생산단가와 관능적 특성의 개선이 요구되고 있어 상업적 활용이 제한되고 있다(Alexander et al., 2017; You et al., 2020). 이에 반해 식물성 단백질은 기술적 한계가 있음에도 식물조직단백(textured vegetable protein, TVP)으로

*Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Major of Food Science and Biotechnology, Division of Bio-convergence, College of Convergence and Integrated Science, Kyonggi University, Suwon 16227, Korea
Tel.: +82-31-249-1319; Fax: +82-31-249-9604
E-mail: khstone@kyonggi.ac.kr
Received October 31, 2020; revised November 6, 2020; accepted November 6, 2020

가공되어 식육의 조직감을 대체하기 위해 식물성 식육 대체식품에 활용되고 있다(Cho & Ryu, 2018; Lee & Cho, 2019). 식물성조직단백은 방사법(spinning process), 압출성형(extrusion process)과 증기법(steam texturization) 등으로 제조될 수 있다(Lee & Cho, 2019). 이중 압출성형공정은 다른 조직화 공정에 비해 공정이 단순하며, 조작이 간단하고, 경제적이며, 다양한 형태로 성형이 가능하여 상업적인 식물조직단백을 제조하는데 널리 활용되고 있다(Cho & Ryu, 2018). 압출성형에 의한 식물조직단백은 일반적으로 분리대두단백을 주원료로 사용하며, 이외에도 완두, 깨, 땅콩, 목화씨, 쌀 등에서 분리된 단백질소재들을 활용하기도 한다(Cho & Ryu, 2018; Lee & Cho, 2019). 또한 식물성 조직단백에 섬유상 결의 형성을 위해 밀 글루텐을, 조직 결합력을 향상시키기 위해 전분을 첨가하고 있다(Cho & Ryu, 2018). 이러한 원료들의 종류와 배합비율의 변화를 통해 압출성형된 식물조직단백의 특성을 평가하는 연구가 주로 수행되고 있고(Cheong et al., 2018; Hager, 1984; Han et al., 1989; Ma & Ryu, 2019; Park et al., 2017), 압출성형 공정변수들이 식물조직단백의 특성에 미치는 영향(Maung et al., 2020; Maurice & Stanley, 1978; Moon et al., 2020; Park et al., 2017; Song et al., 1994)과 식물조직단백의 식육 대체식품 적용가능성 평가(Cho & Ryu, 2017; Maung et al., 2020)에 대한 연구들 또한 수행되고 있다. 그러나 식물조직단백의 화학적 성분특성들이 이의 물리적 특성에 미치는 영향에 대한 연구는 찾아볼 수 없다.

따라서 본 연구는 현재 식물성 대체육가공품에 이용되고 있는 식물조직단백 소재들의 화학적 성분특성과 물리적 특성을 조사하고, 이들 사이의 상관성을 평가하여 식물조직단백의 물리적 특성에 영향을 미치는 화학적 성분을 탐색하고자 하였다. 이를 통해 맞춤형 물성을 보유한 식물조직단백소재의 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

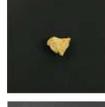
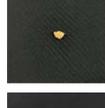
재료

식물조직단백 소재들은 국내(6종) 및 국외(스페인 생산 1종, 태국 생산 5종, 일본 생산 2종)에서 압출성형공정을 통해 생산되어 상업적으로 활용되고 있는 총 14종의 제품을 구입하여 사용하였다. 본 연구에 사용된 식물조직단백의 외관과 제조국가를 Table 1에 제시하였다. 식물조직단백의 특성분석에 사용된 시약과 용액들은 ACS 등급의 것을 사용하였다.

주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)

식물조직단백 원료들의 표면과 단면은 SEM (SNE-3000MB, SEC Co. Ltd., Suwon, Korea)을 이용하여 관찰하였다. 식물조직단백을 종으로 절단한 후 카본 테이프에

Table 1. Appearance, sample code, and country of origin of textured vegetable proteins used in this study

Appearance	Sample code	Country of origin
	TVP-A	Thailand
	TVP-B	Thailand
	TVP-C	Thailand
	TVP-D	Thailand
	TVP-E	Thailand
	TVP-F	Spain
	TVP-G	Korea
	TVP-H	Korea
	TVP-I	Korea
	TVP-J	Korea
	TVP-K	Korea
	TVP-L	Korea
	TVP-M	Japan
	TVP-N	Japan

부착하고 gold 코팅하여 가속전압 15 kV에서 50배의 배율로 관찰하였다.

식물성 조직단백의 전처리

확보된 식물조직단백은 다양한 크기 및 모양을 가지고 있다(Table 1). 식물조직단백의 물리적 특성에 대한 형태학적 특성의 영향을 배제하기 위해 각 식물조직단백은 가정용 믹서기를 이용하여 분쇄한 후 40 mesh 표준체망(No. 40, Chunggye, Seoul, Korea)을 통과시켜 PET 시료병에 흡습제와 함께 밀봉하여 실온(~24°C)에서 저장하였다.

화학적 성분 분석

식물조직단백 분말의 수분 함량은 130°C에서 적외선수분 측정기(MA-150, Sartorius AG, Göttingen, Germany)를 이용하여 측정하였다. 조단백질 함량은 킬달법(%N×5.71)을, 조지방 함량은 속실헏법을, 조회분 함량은 건식회화법을 이용하여 분석하였으며, 총 탄수화물 함량은 조단백질, 조지방과 조회분의 건조중량의 총합을 100에서 차감하여 계산하였다(AOAC, 2000). 총 전분 함량은 AACC법 73-13에 따라 total starch assay kit (Megazyme Int., Wicknow, Ireland)을 이용하여 측정하였다(AACC, 2000).

수분흡수지수와 수분용해지수

식물조직단백 분말(2 g, dry base (d.b.))과 탈이온수(35 mL)를 50 mL conical tube에서 혼합하여 25°C에서 40분간 정치하면서 5분 간격으로 vortexing하였다. 10분 간격으로 채취한 시료는 원심분리(1,000×g, 15 min)한 후 상층액을 침전물로부터 분리하여 침전물의 무게를 측정하였다. 회수된 상층액은 알루미늄 접시에 옮겨 105°C에서 상층액 내 고형물의 함량을 구하였다. 한편 분쇄하지 않은 식물조직단백(2-5 g, d.b)과 탈이온수(35 mL)를 250 mL 원심분리관에 넣고 밀봉하여 진탕탕온수욕조(25°C)에서 100 stroke/min으로 30분과 60분간 진탕하였다. 진탕이 완료된 후 식물조직단백-탈이온수 혼합물은 fritted-glass filtered crucible 위에서 감압여과하여 잔류물의 무게를 측정하였고, 여액은 알루미늄 접시에 옮겨 105°C에서 상층액 내 고형물의 함량을 구하였다. 식물조직단백의 수분흡수지수와 수분용해지수는 다음의 계산식에 따라 결정되었다.

$$\text{수분흡수지수(g/g)} = \frac{\text{침전물(잔류물)의 무게(g, w.b)}}{\text{식물조직단백의 초기 건조중량(g, d.b)}}$$

$$\text{수분용해지수(\%)} = \frac{\text{상층액(여액) 내 고형물의 함량(g, w.b)}}{\text{식물조직단백의 초기 건조중량(g, d.b)}} \times 100$$

w.b: wet base
d.b: dry base

용해도 및 팽윤력

식물조직단백 분말(0.5 g, d.b)과 탈이온수(25 mL)를 50

mL conical tube에서 혼합하여 30분간 가열(75°C)한 후 냉수욕에서 20분간 냉각하여 원심분리(2,500×g, 20 min)하였다. 이후 침전물과 상층액을 분리하여 침전물의 무게를 측정하고 상층액은 알루미늄 접시로 옮겨 105°C에서 상층액 내의 고형물의 함량을 측정하였다. 식물조직단백의 용해도와 팽윤력은 아래의 계산식에 따라 결정되었다.

$$\text{용해도(\%,d.b)} = \frac{\text{상층액 내 고형물의 건조중량(g, d.b)}}{\text{식물조직단백의 초기 건조중량(g, d.b)}} \times 100$$

$$\text{팽윤력(g/g)} = \frac{\text{침전물의 무게(g, w.b)}}{\text{식물조직단백의 초기 건조중량(g, d.b)} \times \left(1 - \frac{\text{용해도(\%)}}{100}\right)}$$

시차주사열량계(differential scanning calorimetry, DSC)

식물조직단백의 용융(melting)특성은 DSC (DSC4000, PerkinElmer, Inc., Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 식물조직단백 분말(5 mg, d.b)을 스테인리스강 pan에 직접 칭량하고 탈이온수를 가하여 총 20 mg으로 한 후 기계적으로 밀봉하였다. 시료 pan은 상온에서 18시간 동안 방치한 후 25°C에서 150°C까지 5°C/min의 가열속도로 스캔하였으며, 대조군으로는 비어 있는 pan을 사용하였다. DSC thermogram으로부터 Pyris software (version 11.1.0.04.88, PerkinElmer Inc.)를 사용하여 호화온도와 호화엔탈피를 결정하였다.

경도(hardness)

식물조직단백 분말은 25°C의 탈이온수 안에서 30분간 수화시켜 2% (w/w) κ-carrageenan 수용액에 분산시킨 후 non-stick 스테인리스강 용기(지름 4 cm, 높이 2 cm)에 부어 상온에서 2시간 동안 방냉시켜 겔을 형성시켰다. κ-carrageenan-식물조직단백 혼합 겔(gel) 내의 식물조직단백 함량은 건조중량 기준으로 10%이었다. 혼합된 겔은 지름 2 cm, 높이 2 cm의 원통형으로 성형하여 물성측정기(Model Compac-100, Sun Scientific CO., Tokyo, Japan)를 이용하여 30%의 변형율로 압착하여 경도를 측정하였다. 경도 측정 시 지름 25 mm의 원통형 probe가 사용되었으며, table speed는 60 mm/min이었다.

통계처리

식물조직단백의 성분특성 및 물리적 특성은 최소 3회 이상 반복하였고, 경도는 최소 4회 이상 반복하여 측정하였다. 측정된 특성치들은 one-way ANOVA 분석을 수행하여 평균±표준편차로 나타내었으며, 평균값들 사이의 통계적 유의성은 95% 신뢰수준에서 Tukey's HSD multiple range test를 이용하여 분석하였다. 또한 식물조직단백의 화학적

성분과 물리적 특성들 사이의 상관관계는 Pearson's correlation에 의해 평가되었다. 모든 통계적 계산과 분석은 Minitab 18 (Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하여 수행되었다.

결과 및 고찰

형태학적 특성

본 연구에 사용된 14종의 상업적 식물조직단백(TVP)의 표면과 단면 구조를 전자주사현미경을 이용하여 관찰하여 Fig. 1에 제시하였다. 표면이 상대적으로 매끈한 TVP-I을

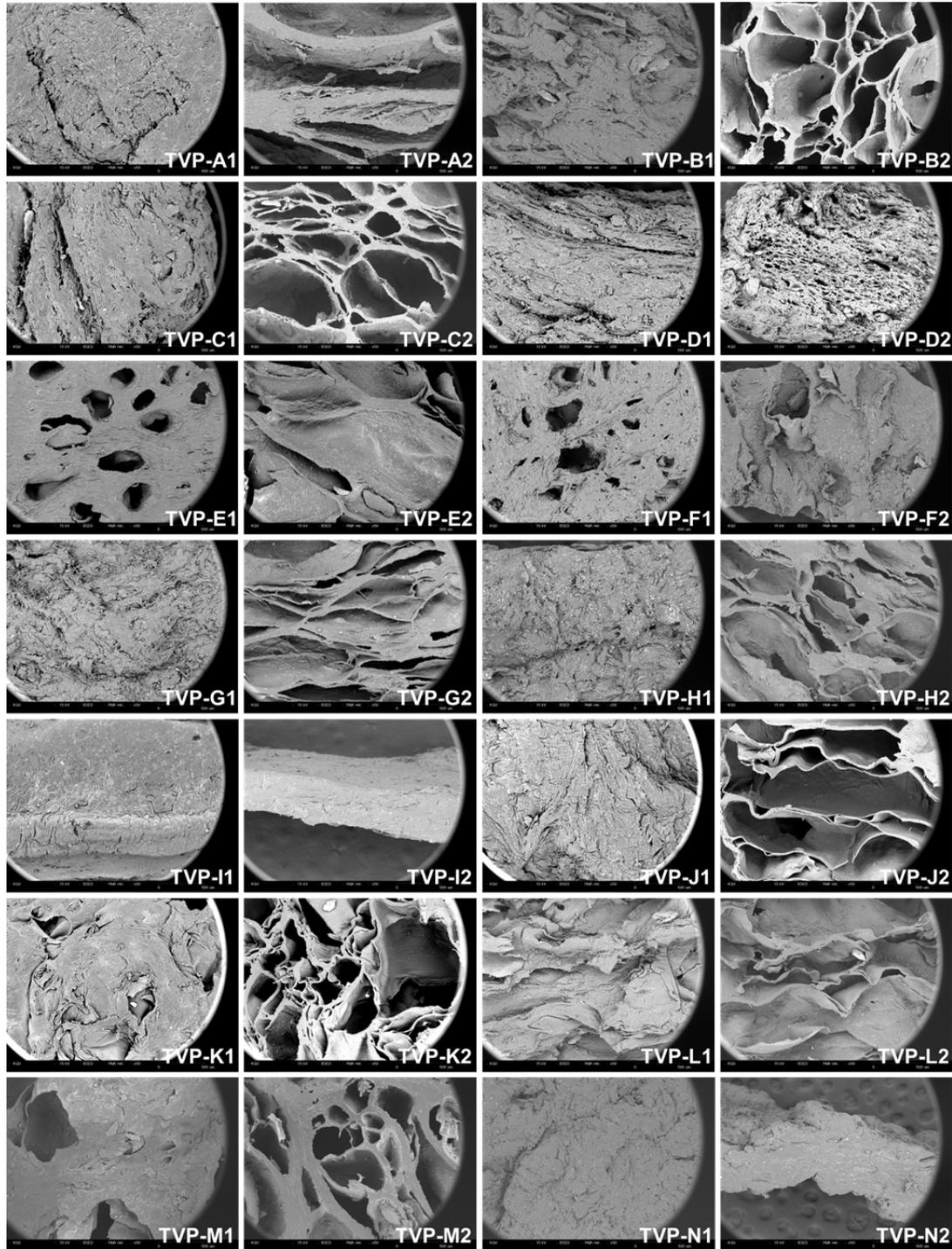


Fig. 1. SEM images of the surface and cross-section of commercial textured vegetable proteins. The suffixes of 1 and 2 in the denoted sample codes indicate the surface and cross-section images of the commercial textured vegetable proteins, respectively.

제외하고 모든 관찰된 식물조직단백들의 표면은 거칠고 울퉁불퉁하며 불규칙적으로 갈라진 금(crack)들이나 다양한 크기의 구멍(pore)을 나타내었다(Fig. 1 TVP-A1-TVP-N1). 특히 TVP-E, TVP-F, TVP-K과 TVP-M에서는 다양한 크기의 구멍들이 표면에 불균일하게 분포하고 있었다(Fig. 1). Guerrero et al. (2012)은 저 수분 환경에서 분리대두단백을 압출성형할 때 젤라틴과 당류의 첨가에 따라 조직단백의 표면구조가 치밀해지고 상대적으로 매끈해진다고 하였다. 따라서 본 연구에서 관찰된 결과는 식물조직단백의 제조 시 사용된 원료들의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 한편 식물조직단백의 단면구조를 관찰하였을 때, TVP-I과 TVP-N을 제외하고 다양한 크기의 구멍들이 불규칙적으로 분포된 다공성 구조를 나타내었으며(Fig. 1), 섬유상(fibrous)의 구조는 관찰되지 않았다. 식물조직단백에 있어 섬유상의 구조는 글루텐이 원료에 첨가되었거나 고 수분 환경(40% 이상)에서 압출성형한 경우에 주로 관찰된다(Maung et al., 2020; Moon et al., 2020). 따라서 본 연구에서 사용된 상업적 식물조직단백들은 주로 저 수분 환경에서 압출성형하여 제조된 것으로 판단된다. 게다가 다공성 구조를 보유하지 않은 TVP-L과 TVP-N은 탈지대두박이나 농축분리단백과 같이 섬유성분이 많은 원료를 사용하였기 때문으로 생각된다. Cheong et al. (2018)은 식이섬유 함량이 높은 비지를 조직대두단백 제조 시 첨가하였을 때, 비지 첨가량이 증가하면서 다공성 구조가 감소되는 것을 관찰하였다. 결과적으로 본 연구에 사용된 식물조직단백의 표면 및 내부 구조의 특성들이 상이하기 때문에, 본 연구에서는 식물조직단백의 물리적 특성에 대한 구조적 특성의 차이를 배제하기 위해 분쇄하여 일정크기 이하로 선별된 식물조직단백 분말을 시료로 사용하였다.

화학적 성분

식물조직단백의 일반성분과 총 전분 함량을 분석하여 Table 2에 제시하였다. 수분함량은 2.58-8.41%의 범위에 있었고, 이는 본 연구에 사용된 식물조직단백은 건식제품이라는 것을 나타낸다. 건량기준으로 조단백질 함량은 36.46-58.60%의 범위를, 조지방 함량은 0.16-7.21%의 범위를, 조회분 함량은 4.16-8.94%의 범위를, 총 탄수화물 함량은 36.97-50.33%의 범위를 나타내었다. 상업적인 식물조직단백과 유사한 원료와 배합비율을 적용한 Yu et al. (2013)은 본 연구에서 얻은 조단백질과 총 탄수화물 함량이 유사하였다. 그러나 식물조직단백의 원료로 분리대두단백, 밀 글루텐과 옥수수전분을 사용한 Ma and Ryu (2019)의 경우에는 조단백질, 조지방, 조회분과 총 탄수화물 함량이 본 연구의 결과와 상이하였다. 결과적으로 식물조직단백의 화학적 성분은 제조 시 사용된 원료에 따라 변화되는 것으로 생각된다. 한편 식물조직단백의 총 전분 함량은 0.33-17.76%의 범위를 나타내었으며, TVP-H가 5.13%, TVP-J가 10.92%, TVP-K가 17.76%로 유의적으로 높았으며, 나머지 식품조직단백들은 2% 미만이었다. 압출성형 시 단백질 성분들 사이의 결합력 향상과 다공성 구조 형성을 용이하게 할 목적으로 전분을 첨가하기도 한다(Cho & Ryu, 2018). 따라서 TVP-H, TVP-J와 TVP-K의 경우 전분을 인위적으로 식물조직단백의 원료로 사용한 것으로 보이며, 2% 미만의 전분 함량을 나타내는 식물조직단백들은 압출성형 시 형성된 고전단 및 고열에 의해 비전분성 탄수화물고분자들의 부분적인 가용화에 의한 것으로 생각된다.

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

식물조직단백의 분쇄물과 원물의 WAI와 WSI를 분석하

Table 2. Chemical compositions¹⁾ of commercial products of textured vegetable protein (TVP)

TVP	Moisture (%)	Crude protein (%, d.b)	Crude fat (%, d.b)	Crude ash (%, d.b)	Carbohydrate (%, d.b)	Total starch (%, d.b)
TVP-A	8.38±0.33 ^a	47.48±0.78 ^d	4.08±0.01 ^b	7.13±0.01 ^d	41.31±0.80 ^{fg}	1.08±0.08 ^{gh}
TVP-B	7.80±0.11 ^{ab}	52.84±0.37 ^b	0.30±0.01 ^e	6.69±0.01 ^g	40.16±0.37 ^{ghi}	1.92±0.00 ^d
TVP-C	5.99±0.27 ^c	52.56±0.01 ^b	0.52±0.00 ^{cd}	6.97±0.01 ^e	39.95±0.00 ^{hi}	0.52±0.02 ^{ij}
TVP-D	5.97±0.19 ^c	52.84±0.40 ^b	0.55±0.02 ^c	7.08±0.01 ^d	39.53±0.39 ⁱ	0.33±0.10 ^j
TVP-E	8.12±0.13 ^a	51.13±0.01 ^b	0.20±0.01 ^f	6.39±0.02 ^h	42.27±0.01 ^{def}	1.72±0.04 ^{de}
TVP-F	5.99±0.14 ^c	49.01±0.17 ^{cd}	0.48±0.01 ^d	6.84±0.01 ^f	43.67±0.15 ^{cd}	1.36±0.09 ^{fg}
TVP-G	8.41±0.08 ^a	49.07±0.01 ^{cd}	0.19±0.03 ^f	8.94±0.01 ^a	41.80±0.03 ^{efg}	1.24±0.01 ^{fg}
TVP-H	8.33±0.30 ^a	49.27±0.45 ^c	0.28±0.03 ^e	7.28±0.01 ^c	43.18±0.41 ^{cde}	5.13±0.04 ^c
TVP-I	5.58±0.04 ^c	36.46±0.75 ^f	7.21±0.00 ^a	5.99±0.02 ^j	50.33±0.73 ^a	1.47±0.13 ^{cf}
TVP-J	7.20±0.11 ^b	58.60±0.01 ^a	0.27±0.00 ^e	4.16±0.02 ^l	36.97±0.04 ^j	10.92±0.19 ^b
TVP-K	7.83±0.36 ^{ab}	58.51±0.00 ^a	0.16±0.01 ^f	4.30±0.03 ^k	37.03±0.02 ^j	17.76±0.07 ^a
TVP-L	7.09±0.02 ^b	48.49±0.21 ^{cd}	0.30±0.00 ^e	6.79±0.01 ^f	44.43±0.21 ^c	0.45±0.11 ^{ij}
TVP-M	2.58±0.15 ^d	51.52±0.37 ^b	0.47±0.00 ^d	6.18±0.00 ⁱ	41.82±0.36 ^{efg}	0.75±0.06 ^{hi}
TVP-N	3.34±0.12 ^d	44.76±0.89 ^e	0.57±0.01 ^c	7.49±0.01 ^b	47.18±0.88 ^b	0.67±0.07 ^{ij}

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

Table 3. Water absorption index (WAI)¹⁾ and water solubility index (WSI)¹⁾ of the pulverized and original products of the commercial textured vegetable protein (TVP)

TVP	WAI ²⁾ (g/g)	WSI ²⁾ (% , d.b)	WAI(O) ²⁾ (g/g)	WSI(O) ²⁾ (% , d.b)
TVP-A	5.12±0.02 ^a	26.22±0.29 ^c	4.29±0.26 ^{bcd}	6.17±0.47 ^e
TVP-B	4.03±0.00 ^e	20.35±0.00 ^g	4.96±0.19 ^{ab}	3.56±0.32 ^f
TVP-C	3.69±0.11 ^f	23.68±0.16 ^e	3.38±0.06 ^{efg}	6.52±0.05 ^e
TVP-D	4.19±0.01 ^{de}	23.96±0.08 ^e	2.93±0.06 ^{fgh}	13.39±0.29 ^e
TVP-E	4.49±0.01 ^{bc}	27.58±0.01 ^b	4.07±0.47 ^{cde}	14.38±0.91 ^e
TVP-F	4.36±0.01 ^{cd}	27.38±0.00 ^b	2.76±0.00 ^{fgh}	21.92±0.11 ^a
TVP-G	4.42±0.02 ^{bcd}	25.29±0.04 ^d	3.60±0.08 ^{def}	8.90±0.12 ^d
TVP-H	4.02±0.06 ^e	21.82±0.09 ^f	2.93±0.36 ^{fgh}	8.43±0.76 ^d
TVP-I	3.14±0.04 ^g	27.29±0.05 ^b	2.54±0.17 ^{gh}	19.89±0.48 ^b
TVP-J	4.65±0.02 ^b	11.10±0.12 ^h	5.59±0.10 ^a	2.34±0.25 ^{fg}
TVP-K	4.54±0.16 ^{bc}	7.07±0.10 ⁱ	4.71±0.35 ^{bc}	0.87±0.18 ^g
TVP-L	4.63±0.01 ^b	25.22±0.04 ^d	4.15±0.05 ^{bcd}	18.60±0.73 ^b
TVP-M	4.02±0.05 ^e	21.48±0.02 ^f	3.04±0.13 ^{fgh}	7.49±0.32 ^{de}
TVP-N	3.66±0.03 ^f	28.36±0.00 ^a	2.49±0.17 ^h	18.94±0.03 ^b

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

²⁾Both WAI and WSI are obtained from the pulverized textured vegetable proteins, and both WAI(O) and WSI(O) are obtained from the original (non-pulverized) textured vegetable proteins.

여 Table 3에 나타내었다. 식물조직단백의 분쇄물에 있어서는 40분까지, 원물에 있어서는 30분과 60분에서 WAI와 WSI를 측정하였지만, 30분 처리시간까지 WAI와 WSI는 점진적으로 증가한 후 30분 이후에는 유의적인 증가를 나타내지 않았다(data not shown). 그래서 Table 3에서는 30분간 처리된 후 측정된 WAI와 WSI를 제시하였다. WAI는 식물조직단백 분쇄물과 원물의 각각에서 3.14-5.12 g/g과 2.49-5.59 g/g의 범위에 있었다. 식물조직단백 분쇄물이 원물보다 전반적으로 높은 WAI를 나타내었으나 몇몇 시료들(TVP-B, TVP-J, TVP-K)에 있어서는 원물이 분쇄물보다 높았다. 또한 분쇄물들 사이의 WAI 수준의 경향은 원물과 다른 경향을 나타내었다. 예를 들어, 분쇄물에 있어 TVP-A가 TVP-B보다 높은 WAI를 나타내었으나, 원물에 있어서는 반대의 경향을 보였다. 식물조직단백의 높은 팽창율과 공극(air cell)의 크기 증가와 균일한 분포는 WAI를 향상시킨다고 알려져 있다(Guerrero et al., 2012; Ma & Ryu, 2019; Yu et al., 2012, 2013). 본 연구에서 관찰된 식물조직단백의 WAI에 있어 분쇄물과 원물 사이의 수준 차이와 다른 패턴은 다양한 팽화율(또는 크기)과 다공성 구조를 가진 원물을 분쇄하여 일정 수준 이하의 입도분포를 가진 분말상으로 만들면서 분쇄물의 표면적을 유사하게 하였기 때문으로 생각된다. 그럼에도 식물조직단백의 WAI는 분쇄물과 원물 사이에서 양의 상관성($r=0.613$, $p<0.01$)을 보였다. 따라서 식물조직단백의 WAI에 대한 화학적 성분의 영향을 판단하는데 있어 분쇄물이 더욱 적합한 것으로 판단된다. 한편 식물조직단백의 WAI에 대한 화학적 성분의 영향을 보면(Table 6), 분쇄물의 WAI는 수분 함량($r=0.551$, $p<0.01$) 및 조단백질 함량($r=0.524$, $p<0.01$)과 양의 상관성을, 총 탄수화물 함량과 음의 상관성($r=-0.574$,

$p<0.01$)을 보였다. 식물조직단백 원물의 WAI는 수분($r=0.555$, $p<0.01$), 조단백질($r=0.654$, $p<0.01$)과 총 전분($r=0.540$, $p<0.01$) 함량들과 양의 상관성을, 조회분($r=-0.516$, $p<0.01$) 및 총 탄수화물($r=-0.678$, $p<0.01$) 함량들과 음의 상관성을 나타내었다. 식물조직단백의 조회분과 총 전분 함량들이 원물의 WAI에 영향을 미치는 것 이외에 분쇄물과 원물의 WAI에 영향을 미치는 화학적 성분은 수분, 조단백질과 총 탄수화물로 동일하였다. 본 연구의 결과를 선행연구들과 비교할 때, 식물조직단백의 WAI에 대한 수분 함량의 영향은 Yu et al. (2012, 2013)와 Park et al. (2017)이 보고한 것과 동일하였으나, 조단백질 함량의 영향은 상이하였다. 선행연구들은 단백질 함량의 증가는 압출성형에 의해 단백질 사이의 조직화가 빈번히 일어나 식물조직단백의 재수화율을 감소시킨다고 하였다(Park et al., 2017; Yu et al., 2012, 2013). 반면 Yu et al. (2012)은 상대적으로 낮은 배럴온도(140°C)에서 압출성형된 식물조직단백의 재수화율은 단백질 함량이 증가하면서 증가한다고 하였다. 따라서 본 연구에서 조단백질 함량 증가와 함께 WAI가 증가하는 것은 식물조직단백들이 선행연구들에 비해 상대적으로 낮은 온도에서 압출성형되었기 때문으로 추측된다.

식물조직단백 분쇄물과 원물의 WSI는 각각 7.07-28.36%와 0.87-21.92%의 범위에 있었다(Table 3). WAI에서 관찰되었던 경향과 달리, WSI는 주어진 식물조직단백에서 분쇄물이 원물보다 높았으며, WSI 수준 차이도 분쇄물과 원물이 유사한 경향을 나타내었다. 그 결과로서 분쇄물과 원물의 WSI 사이에 양의 상관성($r=0.754$, $p<0.01$)이 관찰되었다(Table 6). 이러한 결과는 식물조직단백의 원물을 분쇄함으로써 표면적이 넓어지고 조직이 붕괴되며 가용성 성분

들의 용출이 용이해졌기 때문으로 판단된다. 한편 식물조직단백의 WSI에 대한 화학적 성분의 영향을 보면(Table 6), 분쇄물의 WSI는 조단백질($r=-0.755, p<0.01$) 및 총 전분($r=-0.916, p<0.01$) 함량들과 음의 상관성을, 조회분($r=0.760, p<0.01$)과 총 탄수화물($r=0.722, p<0.01$) 함량과 양의 상관성을 나타내었다. 식물조직단백 원물의 WSI는 조단백질($r=-0.708, p<0.01$) 및 총 전분($r=-0.574, p<0.01$) 함량들과 음의 상관성을, 총 탄수화물 함량($r=0.801, p<0.01$)과 양의 상관성을 나타내었다. 식물조직단백의 WSI와 조회분, 총 탄수화물과 총 전분 함량 사이의 상관성은 선행연구들에서 보고되지 않았지만, 조단백질 함량의 증가는 식물조직단백의 WSI를 감소시킨다고 하였고(Gumming et al., 1973; Park et al., 2017), 본 연구의 결과와 유사하였다.

Table 4. Solubility¹⁾ and swelling power¹⁾ of commercial products of textured vegetable protein (TVP)

TVP	Solubility (% ,d.b)	Swelling power (g/g)
TVP-A	33.60±0.05 ^c	13.64±0.09 ^a
TVP-B	26.03±0.04 ^e	8.00±0.02 ^f
TVP-C	29.06±0.06 ^f	8.18±0.01 ^f
TVP-D	30.84±0.14 ^d	9.22±0.05 ^d
TVP-E	34.08±0.15 ^b	10.10±0.23 ^c
TVP-F	35.00±0.03 ^a	10.88±0.01 ^b
TVP-G	34.97±0.04 ^a	10.85±0.05 ^b
TVP-H	29.80±0.32 ^e	8.19±0.10 ^f
TVP-I	33.96±0.04 ^{bc}	6.82±0.20 ^g
TVP-J	20.21±0.02 ^h	8.91±0.16 ^{de}
TVP-K	14.95±0.06 ⁱ	8.24±0.02 ^f
TVP-L	33.78±0.07 ^{bc}	10.03±0.05 ^c
TVP-M	28.68±0.04 ^f	8.69±0.00 ^e
TVP-N	35.08±0.06 ^a	8.74±0.05 ^e

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

용해도와 팽윤력

식물조직단백의 용해도와 팽윤력은 75°C에서 측정하여 Table 4에 제시하였다. 식물조직단백의 용해도는 14.95-35.08%의 범위에 있었으며, 식물조직단백 분쇄물의 WSI와 높은 양의 상관성($r=0.981, p<0.05$)을 나타내었다(Table 6). 화학적 성분과의 상관성을 보면, 용해도는 조단백질($r=-0.749, p<0.01$) 및 총 전분($r=-0.882, p<0.01$) 함량들과 음의 상관성을, 조회분($r=0.785, p<0.01$)과 총 탄수화물($r=0.719, p<0.01$)과 양의 상관성을 나타내었다. 이와 같은 상관성은 식물조직단백 분쇄물의 WSI와 화학적 성분들 사이의 관계와 동일하였다. 결과적으로 압출성형 후 단백질과 전분성 성분들은 식물조직단백의 조직 형성 및 결합에 관여함으로써 불용화되는 것으로 생각된다. 한편 식물조직단백의 팽윤력은 6.82-13.64 g/g의 범위에 있었으며, 식물조직단백 분쇄물의 WAI ($r=0.777, p<0.01$) 및 용해도($r=0.386, p<0.01$)와 양의 상관성을 나타내었다. 그러나 식물조직단백의 팽윤력과 상관성을 보이는 화학적 성분은 존재하지 않았다. 이는 팽윤력에 있어서는 식물조직단백의 화학적 성분보다는 수분을 흡수하여 보유할 수 있는 구조적인 특성이 더욱 중요하다는 것을 암시한다.

열 특성

식물조직단백의 용융특성(melting property)을 시차주사 열량계(DSC)를 이용하여 조사하여 Table 5에 제시하였다. 모든 식물조직단백은 넓은 온도범위의 endothermic peak를 나타내었다(endothermic thermogram not shown). 구체적으로 식물조직단백의 용융개시온도(melting onset temperature)는 71.76-75.23°C의 범위를, 용융최고온도(melting peak temperature)는 105.82-122.73°C의 범위를, 용융종결온도(melting completion temperature)는 143.77-144.83°C의 범위를 나타내었다. 넓은 용융온도 범위의 결

Table 5. Melting temperature¹⁾ and enthalpy¹⁾ of commercial products of textured vegetable protein (TVP)

TVP	Melting temperature (°C)			Melting enthalpy (J/g)
	Onset	Peak	End	
TVP-A	73.96±0.93 ^a	113.96±0.65 ^b	144.78±0.04 ^a	17.29±0.69 ^{ab}
TVP-B	74.61±0.00 ^a	114.74±0.00 ^b	144.83±0.00 ^a	25.85±0.00 ^a
TVP-C	74.50±0.37 ^a	115.75±2.48 ^{ab}	144.82±0.08 ^a	20.02±0.77 ^{ab}
TVP-D	74.77±1.29 ^a	114.58±1.32 ^b	144.62±0.21 ^a	18.80±4.20 ^{ab}
TVP-E	74.57±0.86 ^a	115.82±0.59 ^{ab}	144.83±0.01 ^a	18.89±4.74 ^{ab}
TVP-F	72.55±3.50 ^a	117.40±2.83 ^{ab}	144.82±0.01 ^a	18.61±5.29 ^{ab}
TVP-G	72.24±3.13 ^a	114.83±0.68 ^b	144.79±0.03 ^a	15.69±2.46 ^{ab}
TVP-H	71.76±1.78 ^a	111.00±4.12 ^{bc}	144.75±0.01 ^a	21.34±3.25 ^{ab}
TVP-I	73.48±0.00 ^a	114.15±0.00 ^b	144.83±0.00 ^a	24.78±0.00 ^a
TVP-J	72.42±0.00 ^a	110.89±0.00 ^{bc}	144.82±0.00 ^a	20.76±0.00 ^{ab}
TVP-K	72.18±0.00 ^a	110.32±0.00 ^{bc}	143.77±0.00 ^b	24.13±0.00 ^a
TVP-L	74.93±0.96 ^a	112.10±4.30 ^{bc}	144.68±0.18 ^a	17.24±7.29 ^{ab}
TVP-M	74.28±0.00 ^a	122.73±0.00 ^a	144.83±0.00 ^a	17.60±0.00 ^{ab}
TVP-N	75.23±0.00 ^a	105.82±0.00 ^c	144.82±0.00 ^a	11.47±0.00 ^b

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

Table 6. Pearson's correlation coefficients among chemical composition, physical property, thermal property, and hardness of commercial products of textured vegetable proteins

	Water	Protein	Lipid	Ash	Carb ¹⁾	Starch	WAI ¹⁾	WSI ¹⁾	WAI(O) ¹⁾	WSI(O) ¹⁾	Sol ¹⁾	SP ¹⁾	MO ¹⁾	MP ¹⁾	MC ¹⁾	ME ¹⁾
Protein	0.262															
Lipid	-0.063	-0.736**														
Ash	0.023	-0.456*	-0.048													
Carb	-0.371	-0.955**	0.577**	0.382*												
Starch	0.312	0.595**	-0.189	-0.753**	-0.545**											
WAI	0.551**	0.524**	-0.328	-0.115	-0.574**	0.275										
WSI	-0.221	-0.755**	0.304	0.760**	0.722**	-0.916**	-0.271									
WAI(O)	0.555**	0.654**	-0.253	-0.516**	-0.678**	0.540**	0.613**	-0.650**								
WSI(O)	-0.360	-0.708**	0.272	0.364	0.801**	-0.574**	-0.333	0.754**	-0.669**							
Sol	-0.166	-0.749**	0.279	0.785**	0.719**	-0.882**	-0.177	0.981**	-0.627**	0.768**						
SP	0.335	0.025	-0.029	0.358	-0.142	-0.242	0.777**	0.307	0.154	0.055	0.386*					
MO	-0.338	-0.157	0.018	0.154	0.176	-0.447*	-0.134	0.350	-0.096	0.234	0.275	-0.006				
MP	-0.189	0.030	0.030	0.090	-0.092	-0.357	-0.003	0.184	-0.123	-0.020	0.158	0.115	0.152			
MC	-0.224	-0.435*	0.164	0.470*	0.411*	-0.767**	-0.239	0.668**	-0.270	0.354	0.661**	0.134	0.240	0.292		
ME	0.311	0.145	0.220	-0.457*	-0.188	0.375*	-0.158	-0.422*	0.319	-0.338	-0.484**	-0.427*	-0.455*	0.089	-0.241	
Hard ¹⁾	-0.294	-0.567**	0.083	0.802**	0.545**	-0.890**	-0.393*	0.871**	-0.605**	0.569**	0.808**	0.128	0.449*	0.139	0.548**	-0.368

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

¹⁾Carb: total carbohydrate, WAI: water absorption index, WSI: water solubility index, WAI(O): water absorption index of the original textured vegetable protein, WSI(O): water solubility index of the original textured vegetable index, Sol: solubility, SP: swelling power, MO: melting onset temperature, MP: melting peak temperature, MC: melting completion temperature, ME: melting enthalpy, Hard: hardness.

과로서 식물조직단백의 용융엔탈피는 11.47-25.85 J/g의 범위를 나타내었다. 이와 같은 현상은 분리대두단백을 압출성형에 의해 제조된 식물조직단백이 60-150°C의 넓은 용융 온도 범위를 보였다라는 보고(Guerrero et al., 2012)와 동일하였다. 이와 같은 현상은 식물조직단백 제조를 위해 첨가된 분리대두단백의 유의적인 양이 압출성형에 의해 변성되지 않고 원래의 구형 구조(globular structure)를 유지하고 있기 때문이라 설명하였다(Guerrero et al., 2012). 따라서 본 연구에서 사용된 식물조직단백들의 단백질성분들 모두가 압출성형에 의해 변성되지 않고 native conformation을 유지하고 있는 것으로 생각된다. 한편 식물조직단백의 용융 특성에 대한 화학적 성분의 영향을 보면(Table 6), 용융개시온도는 총 전분 함량과 음의 상관성($r = -0.447$, $p < 0.05$)을 가지고 있었다. 이는 압출성형에 의해 호화된 후 노화된 전분의 용융개시온도가 40-50°C의 범위로 낮아지기는 현상에 의한 것이다(Kang et al., 2020). 그러나 본 연구에서 사용된 식물조직단백의 대부분은 총 전분 함량이 2% 미만이며(Table 2), 식물조직단백의 용융개시온도의 범위가 너무 좁기 때문에 도출된 상관성은 유의미하지 않은 것 같다. 식물조직단백의 용융최고온도는 화학적 성분들과의 상관성이 존재하지 않았고, 용융종결온도는 조단백질, 조회분, 총 탄수화물과 총 전분 함량들과 상관성을 나타내었으나, 조사된 용융종결온도들 사이의 범위(0.19°C)가 너무 적어(Table 5) 유의미하지 않았다. 식물조직단백의 용융엔탈피는 조회분 함량과 음의 상관성($r = -0.457$, $p < 0.05$)을, 전분과 양의 상관성($r = 0.375$, $p < 0.05$)을 보였다. 식물조직단백에 있

어 전분은 미량 성분으로 제외하고, 양이온들은 단백질과 비특이적으로 결합하여 단백질의 구조를 안정화시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Maltais et al., 2005). 그래서 식물조직단백 내 조회분 함량의 증가는 단백질의 구조를 안정화시켜 열에 의한 용융을 제한하기 때문에 용융엔탈피와 조회분 사이의 음의 상관성이 관찰된 것으로 생각된다.

경도(hardness)

식물조직단백의 경도를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다.

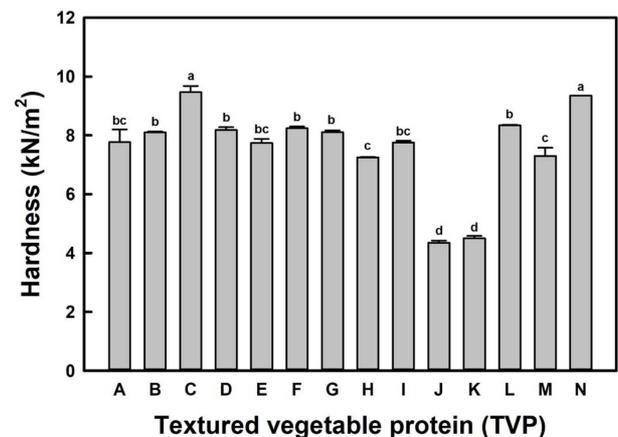


Fig. 2. Hardness of commercial products of textured vegetable protein. Bars sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

선행연구들에서는 통제된 조건하에서 식물조직단백을 제조하였기에 이것 자체의 수화 전후 경도를 측정하여 직접적으로 비교하였다(Moon et al., 2020; Park et al., 2017). 그러나 본 연구에 사용된 식물조직단백은 다양한 크기와 모양 뿐만 아니라 다양한 크기의 공극이 불균일하게 분포된 내부구조를 보유하고 있어(Table 1 & Fig. 1), 식물조직단백 원물의 경도는 시료들 사이에 직접적인 비교가 불가능하다. 그래서 식물조직단백 분쇄물을 수화시킨 후 겔화제로 κ -carrageenan을 이용하여 원통형으로 성형한 후 경도를 측정하였다. 식물조직단백의 경도는 4.35-9.47 kN/m²의 범위로 시료들 사이의 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 2). 식물조직단백의 경도에 대한 화학적 성분의 영향을 보면(Table 6), 조단백질($r=-0.567$, $p<0.01$)과 총 전분($r=-0.890$, $p<0.01$) 함량은 음의 상관성을, 조회분($r=0.802$, $p<0.01$)과 총 탄수화물($r=0.545$, $p<0.01$) 함량들은 양의 상관성을 보였다. 미량 성분인 총 전분 함량에 대한 영향과 조단백질과 조회분의 함량을 결과로서 결정되는 총 탄수화물의 영향은 제외하고, 조단백질의 함량 증가는 식물조직단백의 경도를 낮추었다. 이는 글루텐 함량을 증가시켜 제조한 식물조직단백의 springiness가 감소한다고 보고한 Park et al.(2017)의 연구와 일치한다. 또한 조회분 함량의 증가는 식물조직단백의 경도를 증가시키는데, 이는 조회분을 구성하는 양이온들의 단백질 구조의 안정화 및 단백질 겔 형성에 관여하기 때문인 것으로 생각된다(Maltais et al., 2005).

요 약

식물조직단백의 상업적인 제품 14종을 이용하여 식물조직단백의 물리적 및 열적 특성에 대한 화학적 성분의 영향을 조사하였다. 사용된 식물조직단백들은 다양한 크기의 공극(air cell)들이 다양하게 분포하고 있는 다공성 구조를 보유하고 있었고, 일반성분(수분, 조단백질, 조지방, 조회분과 총 탄수화물)과 총 전분 함량은 상이하였다. 수분흡수 지수는 수분 및 조단백질 함량들과 양의 상관성을, 총 탄수화물 함량과 음의 상관성을 나타내었으며, 수분용해지수는 조단백질 및 총 전분 함량들과 음의 상관성을, 조회분 및 총 탄수화물 함량들과 양의 상관성을 나타내었다. 용해도는 조단백질 및 총 전분 함량들과 음의 상관성을, 조회분 및 총 탄수화물 함량들과 양의 상관성을 보였다. 팽윤력은 식물조직단백의 화학적 성분들과 유의적인 상관성을 보이지 않았다. 식물조직단백의 열 특성은 용융개시온도에서 총 전분 함량과 음의 상관성을 보였으나, 식물조직단백에서 전분은 미량 성분일 수 있어 중요한 인자는 아닌 것으로 보인다. 또한 용융최고온도는 화학적 성분들과 상관성이 관찰되지 않았으며, 용융종결온도는 수분과 조지방을 제외한 화학적 성분들과 상관성이 관찰되었으나 용융종결온도의 범위가 너무 좁아 유의미하지 않았다. 식물조직단

백의 경도는 조단백질 및 총 전분 함량들과 음의 상관성을, 조회분과 총 탄수화물 함량들과 양의 상관성을 나타내었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 수분 및 단백질 함량이 높은 식물조직단백은 높은 수분흡수율에 의해 재수화 식물조직단백의 수율을 높일 수 있을 것으로 생각된다. 또한 부드러운 조직감을 보유한 식물조직단백을 위해서는 높은 단백질 함량을 보유하며 조회분 함량이 적은 것을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 게다가 식물조직단백의 원료들은 가능한 적은 회분 함량을 보유한 것을 사용하는 것이 식물조직단백의 조직감을 조절하는데 용이할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 한국식품산업클러스터진흥원에서 주관하는 2019년 중기기술지원 최신 트렌드 기술개발 사업으로 진행되어진 연구의 일부이며 이에 감사드립니다. 또한 본 연구는 2020년 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- AACC. 2000. Approved methods of the AACC (Method 73-13). 10th ed: American Association of Cereal Chemist, St. Paul, MN, USA.
- AOAC. 2000. Official method of analysis. 17th ed: AOAC International, Gaithersburg, MD, USA
- Alexander P, Brown C, Arneith A, Dias C, Finnigan J, Moran D, Rounsevell MD. 2017. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Glob. Food Sec.* 15: 22-32.
- Cheong SH, Kwon KT, Ryu GH. 2018. Effect of Biji addition on quality of extruded isolated soy protein. *Food Eng. Prog.* 22: 137-144.
- Cho SY, Ryu GH. 2017. Effects on quality characteristics of extruded meat analog by addition of tuna sawdust. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 465-472.
- Cho SY, Ryu GH. 2018. Quality characteristics and manufacturing process of extruded texturized vegetable protein. *Food Ind. Nutr.* 23: 25-32.
- Guerrero P, Beatty E, Kerry JP, de la Caba K. 2012. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. *J. Food Eng.* 110: 53-59.
- Gumming DB, Stanley DW, DeMan JM. 1973. Fate of water soluble soy protein during thermoplastic extrusion. *J. Food Sci.* 38: 320-323.
- Hager DF. 1984. Effects of extrusion upon soy concentrate solubility. *J. Agric. Food Chem.* 32: 293-296.
- Han O, Park YH, Lee SH, Lee HY, Min BL. 1989. The texturization properties of textured extrudate made by a mixture of rice flour and isolated soybean protein. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 780-787.
- Kang EJ, Bae JE, Hong JS, Choi HD, Choi HW, Lee JK, Kim

- HS, Park J. 2020. Characteristics of wheat starch-pectin hydrolysate complexes by dry heat treatment. *Food Sci. Biotechnol.* 29: 1389-1399.
- Korea meat distribution export association. Annual domestic consumption of meat. Available from: http://www.kmta.or.kr/kr/data/stats_spend.php. Accessed September 21, 2020.
- Lee HJ, Cho CH. 2019. Trend in development of worldwide meat analog. *World Agriculture* 223: 1-17.
- Ma X, Ryu G. 2019. Effects of green tea contents on the quality and antioxidant properties of textured vegetable protein by extrusion-cooking. *Food Sci. Biotechnol.* 28: 67-74.
- Maltais A, Remondetto GE, Gonzalez R, Subirade M. 2005. Formation of soy protein isolate cold-set gels: Protein and salt effects. *J. Food Sci.* 70: C67-C73.
- Maung TT, Gu BY, Kim MH, Ryu GH. 2020. Fermentation of texturized vegetable proteins extruded at different moisture contents: effect on physicochemical, structural, and microbial properties. *Food Sci. Biotechnol.* 29: 897-907.
- Maurice TJ, Stanley DW. 1978. Texture-structure relationships in texturized soy protein IV. influence of process variables on extrusion texturization. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 11: 1-6.
- MFDA. 2019 Food & Drug Statistical Yearbook. https://www.mfds.go.kr/brd/m_371/view.do?seq=30718&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1. Accessed September 21, 2020.
- Moon DG, Kim MH, Ryu GH. 2020. Effects of barrel temperature and moisture content on the physicochemical properties of texturized vegetable protein. *Food Eng. Prog.* 24: 141-146.
- Park JH, Chatpaisam A, Ryu GH. 2017. Effects of gluten and moisture contents on texturization of extruded soy protein isolate. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 473-480.
- Song DB, Koh HK, Kim YH. 1994. Analysis of the TPP (texturization of plant protein) production process using twin screw extruder. *J. Korean Soc. Agric. Mac.* 19: 42-49.
- Yeo MJ, Kim YP. 2016. Trend and estimation of the ecological footprint from the consumption of bovine meat in Korea. *Korea Environ. Impact Assess.* 25: 280-295.
- You GY, Yong HI, Yu MH, Jeon KH. 2020. Development of meat analogues using vegetable protein: A review. *Korean J. Food Sci. Technol.* 52: 167-171.
- Yu L, Ramaswamy HS, Boye J. 2012. Twin-screw extrusion of corn flour and soy protein isolate (SPI) blends: a response surface analysis. *Food Bioprocess Technol.* 5: 485-497.
- Yu L, Ramaswamy HS, Boye J. 2013. Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. *LWT-Food Sci. Technol.* 50: 279-289.

Author Information

정휘원: 경기대학교 대학원생(석사과정)
 최현우: 경기대학교 대학원생(석사과정)
 김현석: 경기대학교 식품생물공학과 부교수