수분함량에 따른 저수분 및 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성 비교

최현우 · 류기형

공주대학교 식품공학과, 식품 및 사료 압출성형 연구센터

Comparison of the Physicochemical Properties of Low and High-Moisture Extruded Meat Analog with Varying Moisture Content

Hyun-Woo Choi and Gi-Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology and Food and Feed Extrusion Research Center,
Kongju National University

ABSTRACT The purpose of this study was to compare the physicochemical properties of low-moisture meat analog (LMMA) and high-moisture meat analog (HMMA) at varying moisture content levels. The low-moisture extrusion conditions were moisture content of 25, 30, or 35%, barrel temperature of 150°C, and screw speed of 250 rpm. The high-moisture extrusion conditions were moisture content of 55, 60, 65, or 70%, barrel temperature of 160°C, and screw speed of 150 rpm. The integrity index, chewiness, and cutting strength decreased and water holding capacity, nitrogen solubility index (NSI), springiness, and cohesiveness of LMMA increased with increasing moisture content. The degree of texturization of LMMA increased at 25~30% moisture content and decreased at 30~35% moisture content. The integrity index, springiness, cohesiveness, chewiness, and the degree of texturization of HMMA decreased and the NSI and cutting strength increased with increasing moisture content. HMMA had a higher integrity index, springiness, cohesiveness, chewiness, cutting strength, degree of texturization, and a lower NSI than LMMA. In conclusion, meat analog produced by the high-moisture extrusion process had a better fibrous structure compared to LMMA.

Key words: meat analog, low moisture extrusion, high moisture extrusion, extruded meat analog, physicochemical characteristics

서 론

식량농업기구(FAO)에서는 산업화가 이루어진 국가에서의 육류의 소비가 2030년에 1인당 연간 100 kg으로 증가할 것이라고 발표했으며(Bruinsma, 2017), 국내 육류 소비량 또한 1980년 1인당 11.3 kg에서 시작해 2021년 현재 1인당 51 kg까지 매년 증가하고 있다(Park, 2021). 소비자의 육류 수요 충족을 위한 가축 사육 등의 과정에서 이산화탄소나 메탄과 같은 온실가스가 다량으로 배출된다(Hamerschlag, 2011). 즉, 육류의 소비량 증가는 자원 사용량 증가와 함께 온실가스 배출 등으로 이어지며 환경적으로 큰 문제가 되는데, 최근 가축 사육으로 따라오는 환경 문제를 대처함과 동시에 육류를 대체하는 방안으로 식물성 단백질을 이용한 대체육이 주목받고 있다.

식물성 단백질의 조직화를 위한 다양한 방법 중 가장 대표

적인 것은 압출성형공정이다. 압출성형기를 이용한 식물성 단백질의 조직화는 단백질 분자를 고온, 고압으로 재구성하여 물리적으로 조직화하는 방법으로 육류 단백질의 공급 대체수단으로 발전하고 있다(Song 등, 1994). 압출성형공정은 혼합, 분쇄, 가열, 성형과 같은 여러 단위조작이 단시간에 일어나므로 다른 열처리 가공공정과 비교하여 효율적이고 경제적인 공정이다(Harper, 1989). 압출성형공정은 원료 사입량, 수분함량, 스크루 회전속도, 다이의 구조, 스크루 배열, 배열의 온도 등에 따라 제품의 특성을 목적에 맞게 조절할 수 있어 다양한 특성의 대체육을 생산한다는 장점이 있다(Meuser와 Wiedmann, 1989).

대체육을 제조하는 압출성형공정은 수분함량과 다이의 타입에 따라 크게 저수분과 고수분 압출성형으로 구분된다. 길이가 짧은 다이를 사용하고 수분함량이 50% 이하인 저수분 압출성형, 냉각 다이를 사용하고 수분함량이 50% 이상은

Received 24 September 2021; Revised 22 November 2021; Accepted 23 November 2021

Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, 54, Daehak-ro, Yesan-eup, Yesan-gun, Chungnam 32439, Korea, E-mail: ghryu@kongju.ac.kr

Author information: Hyun-Woo Choi (Graduate student), Gi-Hyung Ryu (Professor)

© 2022 The Korean Society of Food Science and Nutrition.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

고수분 압출성형으로 나눌 수 있다(Gu와 Ryu, 2017; Samard 등, 2019). 하지만 일반적으로 저수분 대체육은 수분 함량 25~40%, 고수분 대체육은 55~80%로 제조되며, 공정을 구분하는 수분함량의 경계는 명확히 구분하기 어렵다. 저수분 압출성형은 팽화된 구조의 대체육을 제조하며, 건조를 통해 보관하여 취급 및 유통기한이 길다는 특징을 가진다. 반면 고수분 압출성형은 냉각 다이(cooling die)를 사용하여 섬유질 구조의 대체육이 제조되는데, 외형과 식감이 조리된 육류와 가깝다는 장점이 있지만 수분함량이 높아 유통기한이 짧다는 단점이 있다(Samard 등, 2019).

저수분 압출성형 시 단백질의 조직화 메커니즘은 원료와 수분이 스크루를 따라 이동하면서 순간적으로 압축할 때 발생하는 열과 기계적 전단에 의해 시작된다. 단백질 사슬이 물리적인 작용으로 풀리고(unfolding) 재정렬되며(Samard 등, 2019), 고온고압 하의 용융물이 다이를 통해 압출되면서 급격한 압력 강하로 인해 팽화되는데, 이때 단백질 매트릭스의 형성과 층류의 흐름과 함께 조직화가 일어난다(Park 등, 2016). 반면, 고수분 압출성형공정은 배럴 내부의 단백질 사슬의 변화는 저수분 압출성형공정과 유사하나 사출 시 급격한 압력변화 없이 냉각 다이를 통과하여 팽화가 억제된 채 재배열과 조직화가 진행된다. 다이를 통과할 때 팽화의 유무로 저수분 대체육은 다공층의 구조, 고수분 대체육은 조밀한 구조와 함께 섬유상의 구조가 형성된다(Samard 등, 2019).

압출성형공정변수 중 대체육의 물성에 큰 영향을 미치는 요인은 스크루 회전속도와 원료의 수분함량이라 보고했다

(Frazier 등, 1983). Lin 등(2002)은 수분함량 30%에서 압출성형을 하면 팽화된 구조를 가지고, 수분함량 50% 이상에서 냉각 다이를 사용하여 압출성형을 하면 섬유질 및 팽창되지 않은 조직이 만들어진다고 했다. 이렇게 수분함량은 대체육의 물성 등에 직접적인 영향을 미치는 주요한 변수이다.

현재까지 저수분 압출성형공정으로 제조된 대체육의 연구는 다수 진행되어 있지만, 수분함량에 따른 저수분, 고수분 압출성형의 특성 차이에 관한 연구는 진행되지 않았다. 따라서 본 연구는 수분함량에 따른 저수분, 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교하기 위해 수분 흡수력, 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단 강도, 조직화도, 조직잔사지수, 수용성질소 지수를 살펴봤다.

재료 및 방법

재료

실험에는 분리대두단백(Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루텐(Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분(Samyang Ltd., Ulsan, Korea)을 50:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

압출성형공정

실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기(THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Fig. 1과

A Experimental setup for low moisture extrusion cooking

B Experimental setup for high moisture extrusion cooking

Fig. 1. Schematic diagram of low- (A) and high-moisture (B) extrusion cooking with details of the screw and die configuration.

같다(Samard 등, 2019). Fig. 1A는 저수분 압출성형 시스템으로 8 cm의 짧은 다이를 사용하여 팽화된 대체육을 제조했으며, Fig. 1B는 고수분 압출성형 시스템으로 Fig. 1A와 스크루 배열은 같으나 냉각 다이를 설치해 팽화가 억제된 대체육을 제조했다. 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.

저수분 대체육에서 수분함량의 영향을 살펴보고자 Gu와 Ryu(2017)의 연구를 참고하여 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴 온도 150°C로 고정했고, 수분함량을 25, 30, 35%로 조절했다. 제조한 대체육은 열풍건조기(FC-PO-250, Lab House, Pocheon, Korea)로 60°C에서 12시간 건조해 보관했다. 고수분 대체육에서 수분함량의 영향을 살펴보고자 Samard 등(2019)의 연구를 참고하여 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 150 rpm, 배럴 온도 160°C로 고정했고, 수분함량을 55, 60, 65, 70%로 조절했다. 제조한 대체육은 냉장고(R-B63AM, LG Electronics Inc., Seoul, Korea)로 -20°C에서 냉동 보관했다.

저수분, 고수분 대체육은 열풍건조기로 60°C에서 12시간 건조하여 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말을 이용하여 수용성 질소 지수를 측정했다.

수분 흡수력

저수분 압출성형 대체육의 수분 보유 능력을 측정하기 위해 Gu와 Ryu(2017)의 방법을 응용하여 수분 흡수력(water holding capacity)을 측정했다. 1~1.5 cm로 절단한 대체육을 90°C의 항온수조에서 1시간 수화하고 15분간 물을 제거하여 그 무게를 측정했다. 수화 전 시료의 무게와 수화한 시료의 무게를 이용하여 식 (1)로 값을 산출했다.

$$\text{Water holding capacity (g/g)} = \frac{\text{Wet sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (1)$$

조직감

대체육의 조직감 분석은 Sun Rheometer(Compac-100 II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용했으며, 측정 probe와 그래프는 Gu와 Ryu(2019)의 그림을 사용했다. 시료는 약 1×1.5×1.5 cm의 크기로 절단하여 사용했다. 저수분 대체육의 경우는 항온수조에서 90°C, 1시간 동안 수화시킨 다음 15분간 물을 제거하여 측정했으며, 고수분 대체육은 해동하여 측정했다. 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 씹음성(chewiness)은 probe 1번(직경 2.5 cm), 최대응력 10 kg으로 측정했고, 절단 강도(cutting strength)는 cutting probe(7.5 mm×38.3 mm), 최대응력 2 kg으로 측정했다.

Trinh과 Glasgow(2012)가 제시한 식 (2), (3), (4)를 이용하여 탄력성, 응집성, 씹음성을 계산했고, 절단 강도는 식 (5)로 계산했다. 총 10회 측정하여 최댓값과 최솟값을 제외하고 평균값을 산출했다.

$$\text{Springiness (\%)} = \frac{D_2}{D_1} \times 100 \quad (2)$$

D_1 : Distance of first occurred maximum stress

D_2 : Distance of second occurred maximum stress

$$\text{Cohesiveness (\%)} = \frac{A_2}{A_1} \times 100 \quad (3)$$

A_1 : Area of first occurred maximum stress

A_2 : Area of second occurred maximum stress

$$\text{Chewiness (\%)} = \frac{\text{Springiness}}{100} \times \frac{\text{Cohesiveness}}{100} \times \text{Maximum stress} \quad (4)$$

$$\text{Cutting strength (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Maximum stress}}{\text{Cross sectional area}} \quad (5)$$

조직화도

대체육의 조직화도(texturization degree)는 Sun Rheometer(Compac-100 II, Sun Sci. Co.)를 사용하였으며, cutting probe(7.5 mm×38.3 mm), 최대응력 2 kg으로 측정했다.

Fang 등(2014)의 방법을 응용하여 수직 방향 절단 강도(F_T)와 흐름 방향 절단 강도(F_L)를 식 (6)으로 계산했다. 총 10회 측정하여 최댓값과 최솟값을 제외하고 평균값을 산출했다.

$$\text{Texturization degree} = \frac{F_T}{F_L} \quad (6)$$

F_T : Cutting strength of transversal direction

F_L : Cutting strength of longitudinal direction

조직잔사지수

대체육의 조직 형성의 정도를 평가하기 위해 Gu와 Ryu(2017), Samard 등(2019)의 방법을 변형하여 조직잔사지수(integrity index)를 측정했다.

저수분 대체육의 경우 건조된 시료 약 5 g을 채취하여 증류수 100 mL가 담긴 삼각플라스크에 넣고 90°C의 항온수조에서 1시간 동안 수화시킨 후 autoclave로 121°C에서 15분간 고압 가열했다. 고수분 대체육의 경우 해동한 시료를 약 5 g(dry basis) 채취하여 증류수 100 mL가 담긴 삼각플라스크에 넣고 autoclave로 121°C에서 30분간 고압 가열했다.

고압 가열한 저수분, 고수분 대체육을 흐르는 물에 냉각시키고 100 mL의 증류수를 부어 17,450 rpm에서 1분간 균질화시켰다. 그 후 20 mesh 체에서 흐르는 물로 씻어낸 다음 105°C에서 6시간 건조시켰다. 건조시킨 잔여물의 무게와 시료의 무게를 식 (7)로 계산했다.

$$\text{Integrity index (\%)} = \frac{\text{Dry residue wt.}}{\text{sample wt.}} \times 100 \quad (7)$$

수용성 질소지수

대체육의 수용성 질소지수(nitrogen solubility index, NSI)는 Daun과 Kisilowsky(1999)의 방법을 변형하여 측정했다.

시료 0.1 g을 0.5% KOH 용액 5 mL에 넣고 30°C의 shaker(SI-300R, Jeiotech, Daejeon, Korea)에서 120 rpm으로 교반했다. 3,000 rpm에서 30분 동안 원심분리한 후 0.05 mL의 상등액을 최종적으로 취하여 Starcher(2001)의 방법으로 ninhydrin을 사용하여 수용성 질소 함량(soluble nitrogen content)을 측정했다.

시료 0.2 g을 6 N의 염산에 100°C, 24시간 동안 완전히 가수분해하여 10 mL의 증류수에 녹인 후 상등액 0.05 mL를 취하여 ninhydrin 방법으로 총 질소 함량(total nitrogen content)을 측정하고 식 (8)로 계산했다.

$$NSI (\%) = \frac{\text{Soluble nitrogen content}}{\text{Total nitrogen content}} \times 100 \quad (8)$$

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS(Statistical Package for the Social Science, ver. 26.0) 프로그램(IBM-SPSS, Thornwood, NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way

ANOVA)을 실시한 후 유의적 차이가 있는 항목에 대해서 $P < 0.05$ 수준에서 그 결과를 Duncan's multiple range test로 검정했다.

결과 및 고찰

외관

압출성형 타입과 수분함량에 따른 대체육의 수직 방향 단면과 흐름 방향의 단면은 Fig. 2에, 섬유상의 구조는 Fig. 3에 나타냈다.

저수분 대체육은 Fig. 2A, B, C와 같이 수직 방향 단면과 흐름 방향 단면은 압력 차이에 의한 수분의 상변화로 팽화가 발생하고 많은 공기층이 형성된 스펀지와 같은 구조가 나타났다. 수분함량이 증가할수록 대체육 내부의 공기층 크기는 커졌다. 또한, Fig. 3A, B, C와 같이 수분함량이 증가할수록 섬유상의 구조가 감소하는 것으로 나타났다. 반면 고수분 대체육은 Fig. 2D, E, F, G와 같이 팽화가 억제되어 공기층이 관찰되지 않았고, Fig. 3D, E, F, G와 같이 조밀한 섬유상의 구조가 나타났다. 수분함량이 증가할수록 섬유상의 구조가 증가했지만, 70% 수분함량에서는 섬유상의 구조가 감소한 것으로 나타났다.

Fig. 2. Cross section of extruded meat analog at different moisture and extrusion type. LMMA: low moisture meat analog, HMMA: high moisture meat analog. A: moisture content 25%, B: moisture content 30%, C: moisture content 35%, D: moisture content 55%, E: moisture content 60%, F: moisture content 65%, G: moisture content 70%.

Fig. 3. Fibrous structure of meat analog at different moisture and extrusion type. LMMA: low moisture meat analog, HMMA: high moisture meat analog. A: moisture content 25%, B: moisture content 30%, C: moisture content 35%, D: moisture content 55%, E: moisture content 60%, F: moisture content 65%, G: moisture content 70%.

Samard 등(2019)은 저수분 압출성형공정을 거친 대체육은 짧은 다이와 낮은 수분으로 다공성의 구조를 나타낸다고 했으며, 모든 저수분 대체육에서 크고 많은 공기층이 분포한다고 했다. 또한, 고수분 압출성형공정에서 긴 냉각 다이는 대체육의 팽화를 방지하는 역할을 하며, 이는 조밀하고 층이 있는 섬유상의 구조를 형성한다고 했다. 이는 제조된 대체육의 외관과 동일한 경향을 보였으며, 수분함량이 변화할 때는 저수분, 고수분 대체육 모두 조직이 유의적으로 변화했다는 결과를 얻었다.

수분 흡수력

수분 흡수력은 대체육 내부의 공기층에 영향을 받으며, 수분함량과 배럴 온도는 수분 흡수력에서 중요한 요소로 작용한다. 그리고 대체육은 내부의 공기층이 크게 확장될수록 수화 시 수분을 더 많이 흡수하게 되면서 수분 흡수력이 높아졌다고 보고했다(Lin 등, 2000). 수분 흡수력은 저수분 대체육에 한해 측정했으며, 고수분 대체육의 경우 건조를 하지 않고 해동하여 즉시 사용할 수 있어 수분 흡수력을 측정하지 않았다. 저수분 대체육의 수분 흡수력은 Table 1에 나타냈다.

저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증

가하면서 대체육의 수분 흡수력은 2.33 ± 0.03 , 3.13 ± 0.04 , 4.67 ± 0.01 g/g으로 증가했다. 이는 Fig. 2A, B, C와 같이 수분함량이 높을수록 다이에서 증발하는 수분이 증가하여 큰 다공성의 구조를 형성하여 수분 흡수력이 높아진 것으로 판단된다. 이러한 결과는 45~55%로 수분함량이 증가하면서 수분 흡수력이 증가한 Park 등(2017)의 결과와 일치했다.

조직감

탄력성, 응집성, 씹음성은 압출성형을 거친 대체육의 조직감을 수치상으로 나타내어 평가하는 데이터이다. 탄력성은 시료에 변형력이 제거되고 나서 원상태로 돌아가는 비율, 응집성은 씹힘에 대한 저항성을 이용하여 조직 형성력, 씹음성은 단단한 음식을 씹는 데 필요한 힘(Trinh과 Glasgow, 2012), 절단 강도는 압출성형물의 섬유상 구조를 절단하는 데 필요한 면적당 힘으로 정의할 수 있다(Han과 Kim, 2003). 절단 강도는 대체육이 사출되는 방향으로 절단하는 흐름 방향(longitudinal direction)과 흐름 방향에 수직으로 절단하는 수직 방향(transversal direction)을 측정했다. 압출성형 타입과 수분함량에 따른 조직감과 절단 강도는 Table 2에 나타냈다.

저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 대체육의 탄력성은 88.12 ± 4.11 , 90.46 ± 1.55 , $90.69 \pm 2.49\%$, 응집성은 82.22 ± 4.70 , 86.90 ± 2.29 , $87.22 \pm 3.03\%$ 로 증가하였고, 씹음성은 655.37 ± 125.54 , 395.16 ± 216.69 , 272.81 ± 101.55 g로 감소했다. 이는 고온에서 수분함량이 증가할수록 다이를 통과할 때 증발하는 수분의 양이 많아 대체육 내부의 공기층이 커지고 스펀지와 같은 구조를 가지면서 나타난 결과이다. 또한, Gu와 Ryu(2017)도 조직 특성은 대체육 내부 공기층의 구조와 관련이 있다고 말했다. 절단 강도는 수직 방향으로 521.56 ± 64.96 , $400.97 \pm$

Table 1. Water holding capacity of extruded meat analog with different moisture content

Extrusion parameters		Water holding capacity (g/g)
Extrusion type	Moisture content (%)	
Low moisture extrusion	25	$2.33 \pm 0.03^{(1)}$
	30	3.13 ± 0.04^b
	35	4.67 ± 0.01^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 2. Texture profile analysis and cutting strength of extruded meat analog with different moisture content

Extrusion parameters		Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
Extrusion type	Moisture content (%)				Transversal direction	Longitudinal direction
Low moisture extrusion	25	88.12±4.11 ^{d1)}	82.22±4.70 ^b	655.37±125.54 ^c	521.56±64.96 ^d	437.29±91.88 ^d
	30	90.46±1.55 ^c	86.90±2.29 ^a	395.16±216.69 ^c	400.97±88.55 ^e	269.88±53.61 ^e
	35	90.69±2.49 ^c	87.22±3.03 ^a	272.81±101.55 ^c	319.45±20.06 ^c	241.49±23.42 ^e
High moisture extrusion	55	93.63±0.18 ^a	85.05±0.79 ^a	6,432.24±642.54 ^a	689.96±36.39 ^c	667.74±54.72 ^c
	60	94.19±1.25 ^a	87.04±2.30 ^a	6,255.20±415.94 ^a	1,014.20±138.25 ^{ab}	858.04±86.58 ^a
	65	93.04±0.85 ^{ab}	81.30±0.76 ^b	6,165.41±336.18 ^a	1,089.96±168.77 ^a	765.18±130.13 ^b
	70	91.26±0.99 ^{bc}	81.13±1.46 ^b	3,740.74±487.19 ^b	924.05±87.26 ^b	469.90±41.35 ^d

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

88.55, 319.45±20.06 g/cm², 흐름 방향으로 437.29±91.88, 269.88±53.61, 241.49±23.42 g/cm²로 감소했다. 이는 수분함량이 증가할수록 대체육 내부의 빈 공기층이 커지면서 절단에 필요한 힘이 감소하면서 나타난 결과라고 생각된다.

고수분 압출성형공정에서 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 대체육의 탄력성은 93.63±0.18, 94.19±1.25, 93.04±0.85, 91.26±0.99%로 수분함량 70%를 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았고, 응집성은 85.05±0.79, 87.04±2.30, 81.30±0.76, 81.13±1.46%로 감소했다. 씹음성도 6,432.24±642.54, 6,255.20±415.94, 6,165.41±336.18, 3,740.74±487.19 g로 감소했다. 이는 수분함량이 증가할수록 단단한 조직에서 부드러운 조직으로 변화하여 나타난 결과라고 생각된다. 절단 강도는 수직 방향으로 689.96±36.39, 1,014.20±138.25, 1,089.96±168.77, 924.05±87.26 g/cm², 흐름 방향으로 667.74±54.72, 858.04±86.58, 765.18±130.13, 469.90±41.35 g/cm²로 수분함량이 증가할수록 증가하는 추세를 보인다 감소했다. 이는 수분함량이 증가할수록 많은 섬유상의 구조를 형성하다가 70%의 수분함량부터 오히려 조직의 형성을 감소시켜 나타난 결과라고 생각된다.

고수분 압출성형 대체육은 저수분 대체육과 비교하여 탄력성과 응집성은 유의적 차이가 크지 않았고, 씹음성과 절단 강도는 높은 값을 나타냈다. 이는 고수분 압출성형 대체육이 팽화를 막아 공기층이 없고, 조밀한 섬유상의 구조로 강하게 결합하고 있어 나타난 결과라고 판단된다.

조직화도

조직화도는 Fig. 4에 나타냈다. 저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 대체육의 조직화도는 1.21±0.13, 1.50±0.21, 1.33±0.09로 변화했으며, 수분함량 30%에서 가장 높았다. 저수분 압출성형공정에서 25, 35% 대체육의 경우 수분함량 30% 대체육에 비해 조직화도가 감소한 것으로 나타났는데, 수분함량이 30%보다 낮거나 높으면 오히려 단백질 배열과 조직 형성을 감소시키며 수분함량 30%가 가장 좋은 조직화도를 나타낸다고 판단된다.

반면에 고수분 압출성형공정에서는 수분함량이 55, 60,

Fig. 4. Changes in texturization degree of extruded meat analog by different moisture content. Bar values followed by the same letter (a-f) are not significantly different ($P<0.05$). LMMA: low moisture meat analog, HMMA: high moisture meat analog.

65, 70%로 증가하면서 1.97±0.08, 1.43±0.11, 1.18±0.12, 1.04±0.03으로 변화했으며, 수분함량 55%에서 가장 높았다. 수분함량이 낮을수록 조직화도가 높아졌는데, 고수분 압출성형공정에서는 수분함량이 낮을수록 점도가 높아져 용융물 내부의 단백질이 재배열과 조직의 형성을 유지했다고 판단된다.

고수분 압출성형 대체육은 저수분 대체육과 비교하여 수분함량 70%를 제외하고 조직화도가 높은 값을 나타냈다. 이는 고수분 압출성형 대체육은 팽화가 억제되고 조밀하게 결합한 구조가 형성되기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

조직잔사지수

압출성형을 통해 제조한 대체육 조직화 정도는 관능평가로 평가하지만, 섬유상의 구조를 가진 대체육의 조직 보존력을 수치상으로 나타내기는 어렵다(Park 등, 2017). 따라서 섬유상의 구조를 가진 대체육의 조직 보존력을 수치상으로 표현하기 위해 Gu와 Ryu(2017)의 방법을 응용하여 조직잔사지수를 측정했다. 압출성형 타입과 수분함량에 따른 조직잔사지수는 Table 3에 나타냈다.

저수분 압출성형공정에서는 수분함량이 25, 30, 35%로

Table 3. Integrity index and nitrogen solubility index of extruded meat analog with different moisture content

Extrusion parameters		Integrity index (%)	NSI (%)
Extrusion type	Moisture content (%)		
Low moisture extrusion	25	70.39±0.63 ^{c1)}	59.87±2.42 ^c
	30	69.86±1.71 ^c	61.00±0.32 ^{bc}
	35	66.62±3.44 ^d	70.30±2.72 ^a
High moisture extrusion	55	93.01±0.68 ^a	45.58±1.66 ^c
	60	82.10±1.19 ^b	50.59±4.13 ^d
	65	81.56±1.15 ^b	64.24±0.89 ^b
	70	66.39±1.65 ^d	64.17±0.95 ^b

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

증가하면서 조직잔사지수가 70.39±0.63, 69.86±1.71, 66.62±3.44%로 감소했다. 사출되는 수분량이 증가하면서 공기층의 크기가 커지고, 생성된 공기층은 조직의 결합을 방해하기 때문에 판단된다. 이는 분리대두단백을 압출성형 했을 때 수분함량이 증가할수록 조직잔사지수가 감소한다는 Han 등(1989)의 연구와 일치했다.

고수분 압출성형 공정에서는 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 조직잔사지수가 93.01±0.68, 82.10±1.19, 81.56±1.15, 66.39±1.65%로 감소했다. 수분함량이 55%에서는 적은 섬유상 구조를 가졌지만 단단한 조직을 형성하여 높은 조직잔사지수가 나타났고, 수분함량이 증가할수록 많은 섬유상의 구조를 가졌다. 하지만 수분함량 70%에서는 조직잔사지수가 크게 감소했는데, 높은 수분이 오히려 조직의 형성을 감소시켰다고 판단된다.

고수분 압출성형 대체육은 저수분 압출성형 대체육과 비교하여 조직잔사지수가 더 높은 값을 나타냈다. 이는 고수분 압출성형공정을 통해 제조한 대체육이 더 강한 결합을 하며, 조직을 더 잘 유지한다고 판단할 수 있다.

수용성 질소지수

수용성 질소지수는 단백질이 조직화되면서 변성 정도를 수치화한 지표이며(Park 등, 2017), 조직잔사지수와 음의 상관관계를 가져 조직화 정도를 판단할 수 있다(Gu와 Ryu, 2017). 압출성형 타입과 수분함량에 따른 수용성 질소지수는 Table 3에 나타났다.

저수분 압출성형 공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 수용성 질소 지수는 59.87±2.42, 61.00±0.32, 70.30±2.72%로 증가했고, 고수분 압출성형 공정에서 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 수용성 질소 지수는 45.58±1.66, 50.59±4.13, 64.24±0.89, 64.17±0.95%로 증가했다. 이는 수분함량이 높을수록 용출물의 점도가 감소하여 전단력이 감소하고 단백질 변성이 감소한 것으로 판단되며, 수분함량이 높을수록 수용성 질소 지수가 증가한 Gu와 Ryu(2019)의 결과와 일치했다.

고수분 압출성형 대체육은 저수분 대체육과 비교하여 수

용성 질소 지수가 더 낮은 값으로 나타났다. 이는 고수분 압출성형공정을 통해 제조한 대체육의 단백질 변성이 더 많이 이루어졌다고 판단된다.

요 약

본 연구는 수분함량을 달리하여 제조한 저수분, 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교했다. 저수분 대체육은 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴 온도 150°C로 고정하고, 수분함량을 25, 30, 35%로 조절하여 제조했다. 고수분 대체육은 스크루 회전속도 150 rpm, 배럴 온도 160°C로 고정하고, 수분함량 55, 60, 65, 70%로 조절하여 제조했다. 저수분 대체육은 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 수분 흡수력, 탄력성, 응집성은 증가했고, 씹음성, 수직 방향과 흐름 방향 절단 강도는 감소했다. 조직화도는 30%까지 증가하다가 35%에서 감소했다. 고수분 대체육은 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 탄력성은 수분함량 70%를 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았고 응집성, 씹음성은 감소했다. 절단 강도는 수직, 흐름 방향 모두 증가하는 추세를 보이다 감소했다. 조직화도는 55%의 수분함량에서 가장 높은 수치를 나타냈고 수분함량이 증가할수록 감소했다. 또한 저수분과 고수분 대체육은 수분함량이 증가하면서 조직잔사지수가 감소하였고, 수용성 질소지수는 증가했다. 고수분 대체육과 저수분 대체육을 비교했을 때 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단 강도, 조직잔사지수는 증가했고 수용성 질소 지수는 감소했다. 결론적으로 수분함량은 대체육의 조직화에 큰 영향을 미치며, 고수분 대체육이 저수분 대체육과 비교하여 많은 섬유상의 구조를 형성하여 고수분 대체육이 육류 대체 식품 소재로 활용도가 더 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321021031HD020).

REFERENCES

- Bruinsma J. World agriculture: towards 2015/2030: An FAO study. Routledge, London, UK. 2017. p 1-22.
- Daun J, Kisilowsky M. Nitrogen solubility index (NSI) of canola seed and meal produced at Canadian and Japanese crushing plants. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia. 1999. 5:222.
- Fang Y, Zhang B, Wei Y. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. J Food Eng. 2014. 121:32-38.
- Frazier PJ, Crawshaw A, Daniels NWR, Eggitt PWR. Optimization of process variables in extrusion texturing of soya. J Food Eng. 1983. 2:79-103.
- Gu BY, Ryu GH. Effects of extrusion variables and die config-

- uration on physicochemical characteristics of texturized soy protein isolate. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2019. 48:1405-1411.
- Gu BY, Ryu GH. Effects of moisture content and screw speed on physical properties of extruded soy protein isolate. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2017. 46:751-758.
- Hamerschlag K. Meat eater's guide to climate change + health: What you eat matters. Report of Environmental Working Group. Washington, DC, USA. 2011. p 1-25.
- Han GH, Kim BY. Optimization of the extrusion processing conditions of soymilk residue and corn grits mixture. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2003. 32:1270-1277.
- Han O, Lee SH, Lee HY, Oh SL, Lee CH. The effects of screw speeds and moisture contents on soy protein under texturization using a single-screw extruder. *Korean J Food Sci Technol.* 1989. 21:772-779.
- Harper JM. Food extruders and their applications. In: Mercier C, Linko P, Harper JM, editors. *Extrusion Cooking*. AACC, St. Paul, MN, USA. 1989. p 1-18.
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *J Food Sci.* 2002. 67:1066-1072.
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *J Food Sci.* 2000. 65:264-269.
- Meuser F, Wiedmann W. Extrusion plant design. In: Mercier C, Linko P, Harper JM, editors. *Extrusion Cooking*. AACC, St. Paul, MN, USA, 1989. p 91-155.
- 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.* 2017. 46:473-480.
- Park JH, Kang DI, Ryu GH. Effects of screw speed, moisture content, and die temperature on texturization of extruded soy protein isolate. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2016. 45:1170-1176.
- Park S. Current status of technologies for producing protein alternative foods. *Food Sci Anim Resour Ind.* 2021. 10:4-15.
- Samard S, Gu BY, Ryu GH. Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *J Sci Food Agric.* 2019. 99:4922-4931.
- Song DB, Koh HK, Kim YH. Analysis of the TPP (texturization of plant protein) production process using twin screw extruder. *J Biosyst Eng.* 1994. 19:42-49.
- Starcher B. A ninhydrin-based assay to quantitate the total protein content of tissue samples. *Anal Biochem.* 2001. 292:125-129.
- Trinh KT, Glasgow S. On the texture profile analysis test. *Qual Life Chem Eng.* 2012. 23:749-760.