

식물성 대체육의 유사 육색 형성을 위한 기술 동향

Current Trends of the Technology to Form Meat-like Color of Plant-Based Meat Alternatives

함윤경¹, 최윤상², 김재현³, 양한술⁴, 김현욱^{3*}

(Youn-Kyung Ham¹, Yun-Sang Choi², Jae-Hyun Kim³, Han-Sul Yang⁴, Hyun-Wook Kim^{3*})

¹상지대학교 동물자원학과, ²한국식품연구원 식품가공기술연구센터,

³경상국립대학교 동물생명과학과, ⁴경상국립대학교 응용생명과학부

¹Department of Animal Science, Sangji University

²Food Processing Research Center, Korea Food Research Institute(KFRI)

³Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongsang National University

⁴Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University

서론

식육은 인류에게 건강한 삶과 미식의 즐거움을 제공하는 양질의 식품으로 지난 수천년 이상의 기간 동안 농장의 가축에서 생산되어 왔다. 그러나 생산성 향상을 위한 대규모 가축 사양은 환경오염, 천연자원 고갈 및 동물복지 훼손을 초래하였고, 지속가능성(sustainability)이라는 시대적 요구와 맞물려 기존 축산업의 문제점을 최소화할 수 있는 새로운 대체육 생산방식들이 제안되는 상황이다. 현재 대체육의 범주는 연구 및 산업 규모를 고려한다면 식용곤충(edible insect), 배양육(cultured-based meat), 식물성 대체육(plant-based meat alternative) 및 미생물 단백질(microbial protein)이 이를 대표한다. 특히 배양육과 식물성 대체육 생산기술 개발은 식육의 생산환경을 가축 농장에서 실험실과 식품공장으로 확대하였다. 사회적 관심이 높은 만큼 대체육 관련 산업은 빠르게 성장하고 있는데, 한국농촌경제연구원은 세계 대체식품 시장 규모가 2025년 기준 약 178억 달러에 이를 것으로 예측하였다(박미성 등, 2020).

과거 대체육은 가축에서 생산된 식육의 섭취가 어렵거나, 이를 꺼리는 소비자를 위한 대안적 개념이 강하였다. 최근 대체육의 필요성이 일반 식품의 범주까지 확대되었고, 핵심적인 개발목표는 동물성 육제품과 유사한 특성(외관, 풍미, 조직감 등)을 구현하는 것이다. 나아가 미래지향적 식량자원으로서 가치를 인정받기 위해서는 생산성 향상이나 유사 품질 구현을 위한 신개념 가공기술 및 식품첨가물의 안전성 확보가 필요하다. 결국 식물성 대체육 연구개발의 핵심은 유용 소재 발굴 및 가공기술 개발을 통해 동물성 식육보다 더 우수한 기호성과 안전성을 제공하는 것이다. 이러한 측

*Corresponding author: Hyun-Wook Kim

Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725,

Korea

Tel: +82-55-751-3261

Fax: +82-55-751-3267

Email: hwkim@gnitech.ac.kr

면에서 채식주의자를 위한 비건(vegan) 식품 가공기술을 발전시킨 식물성 대체육 생산기술은 다른 대체육 생산기술과 비교하여 안전성에 대한 소비자 신뢰도가 높은 편이다. 현재 식물성 대체육 제품은 기타 대체육 제품과 비교하여 우수한 생산효율 및 동물성 육제품과 가장 유사한 외관적 및 관능적 특성을 나타낸다고 평가받고 있다. 식물성 대체육 제품의 형태도 단순 분쇄육부터 비분쇄 형태 및 간편조리제품에 이르기까지 다양하고, 모사 대상으로 삼는 축종도 소고기뿐만 아니라 돼지고기와 닭고기까지 포함하고 있다.

현재 식물성 대체육의 품질 확보에 있어 관심이 집중되는 연구 분야는 조직감 형성, 풍미 구현 및 육색 형성 등이 있다. 특히 육색(meat color)은 일반 소비자가 식육을 구매하는 데 중요한 외관적 특성이며, 축종 및 가공 형태(염지 및 가열 유무 등) 등에 따라 소비자가 기대하는 육색의 차이가 뚜렷하다. 육색소 단백질의 일종인 마이오글로빈(myoglobin)의 화학적 상태는 육색 형성에 지대한 영향을 미친다. 예를 들어, 가열에 의한 마이오글로빈의 열변성(heat denaturation)은 가열 전의 붉은 외관을 잃게 한다. 또한, 신선육을 장시간 공기 중에 노출하는 경우, 마이오글로빈 산화(myoglobin oxidation)에 의해 식육의 표면이 갈변(discoloration)된다. 즉, 식물성 대체육 제품이 일반 소비자에게 동물성 육제품과 동등하게 인식되기 위해서는 마이오글로빈의 특성을 이해하고, 가공 및 조리과정에서 이를 정확히 모사하는 것이 필요하다. 본 원고에서는 현재 식물성 대체육 제품에 사용되는 적색소 식품첨가물의 활용기술을 이해하고, 이를 바탕으로 향후 성공적인 식물성 대체육의 색 형성을 위한 연구 방향을 제안하고자 한다.

유사 육색 형성을 위한 착안점

식육은 마이오글로빈의 화학적 및 산화적 상태에 따라 그 색을 달리하며, 식육의 색 형성 및 변화에 관한 기작은 과학적 실험 접근을 통해 상당히 구체적으로 연구되어 왔다(Mancini and Hunt, 2005; Tomasevic 등,

2021). 마이오글로빈의 상태 변화에 따른 육색의 차이 또는 변화를 소비자가 인지할 수 있는 부분은 가열 조리 과정이 대표적이다. 가열 시 소비자가 인식할 수 있는 육색의 변화는 크게 3가지 형태로 구분할 수 있고, 식물성 대체육의 육색 형성에는 이 과정들의 모사가 고려되어야 한다. 첫째, 가열 조리 시 붉은 육색을 잃고 축종 및 가열온도에 따라 기대되는 적합한 가열 육색을 형성하는 것이다. 둘째, 가열과정에서 흘러나오는 육즙에도 마이오글로빈이 포함되어 있기 때문에 열변성 온도(약 60°C)를 기점으로 육즙의 색 변화가 나타나야 한다. 셋째, 가열 제품의 표면에서 마이야르 반응 및 카라멜화 반응에 의해 형성된 갈변 부위가 구현되어야 한다. 즉, 소비자가 비가열 식물성 대체육을 조리하는 과정에서 위의 3가지에 해당하는 색의 변화를 감지할 수 있다면 기존의 동물성 육제품과 가장 유사한 육색의 변화가 이루어질 것이라고 기대된다.

시판 중인 주요 식물성 대체육 제품

가장 일반적인 식물성 대체육 가공기술은 조직화 식물성 단백질(textured vegetable protein, TVP)과 색, 맛, 향 및 육즙의 구현과 향상을 위한 식품첨가물을 혼합하는 것이다. 이 과정에서 육색 모사를 위한 적색소 식품첨가물을 혼합하는 방법으로 유사 육색을 구현한다. 주로 인체에 무해하고 소비자 수용도가 우수한 천연 색소를 활용하는데, 천연 색소는 생체 색소와 광물 색소로 나뉘고, 다시 생체 색소는 식물성, 동물성 및 미생물성 색소로 구분한다. 세계적인 식물성 대체육 제품에 사용되는 적색소 식품첨가물을 살펴보면, 식물성 천연 색소를 포함하는 비트, 파프리카, 카라멜, 토마토 등의 추출물 및 과즙을 주로 사용하고 있다(Table 1). 특이적으로 Impossible Foods사는 식물성 헤모글로빈으로 알려진 레그헤모글로빈(leghemoglobin)을 사용한다. 식물성 천연 색소의 경우, 가열에 의해 색소 파괴가 이루어지면서 특유의 붉은 색을 잃는 원리로 조리과정 중 육색 변화의 구현이 가능하다. 반면, 레그헤모글로빈

Table 1. 세계적으로 판매 중인 식물성 대체육 제품들

회사명	제품명	사진	유사 육색 형성을 위한 식품첨가물	사진 출처
Beyond Meat	Beyond Burger		비트 과즙 추출물	https://www.beyondmeat.com/products/the-beyond-burger/
Impossible Foods	Impossible Burger Patties		레그헤모글로빈	https://impossiblefoods.com/burger/8-oz-patty-pack
Gardein	Ultimate Plant-based Burger		비트 과즙 추출물	https://www.gardein.com/beefless-and-porkless/classics/ultimate-plant-based-burger
Naturli	Minced, Pea Based		비트 과즙 추출물	https://www.naturli-foods.com/products/minced-3-0/
Lightlife food	Plant-based Burger		비트 분말	https://lightlife.com/product/plant-based-burger/#close
The Vegetarian Butcher	Unbelievabull Burger		카라멜	https://www.thevegetarianbutcher.co.uk/products/retail/unbelievabull-burger.html
Quorn food	Quorn Vegan Meatless Spicy Patties		파프리카 추출물	https://www.quorn.us/products/quorn-meatless-spicy-vegan-patties
Field roast	Hand-Formed Fieldburger		토마토 고형물, 당근	https://fieldroast.com/product/fieldburger/
Tofurky	Plant-based Burger		비트, 카라멜	https://tofurky.com/what-we-make/burger/

은 헤모글로빈과 유사한 헴(heme) 단백질의 일종으로 가열 과정에서 마이오글로빈과 유사한 색 변화를 기대할 수 있다.

식물성 대체육의 색 형성에 활용되는 식품첨가물

비트 추출물(Beet Extract)

비트는 가공식품에 적색 부여를 위해 추출물, 농축물 및 분무건조 분말 형태로 30년 이상 사용되어 온 대표적인 천연 색소이다(Herbach 등, 2004). 붉은색을 나타내는 주요 성분은 베타시아닌(beta-cyanins) 계열의 베타닌(beta-nin)으로 알려져 있다. 특히 식육가공품에서 적색 형성 효과가 뛰어난데, 이는 비트 추출물 자체의 적색과 더불어 비트에 함유된 질산염의 작용인 것으로 이해된다(Choi 등, 2017). 이러한 특성으로 비트 추출물은 식육가공품에 색소고정제로 사용되는 합성아질산염 대체 연구에도 활용되었고, 첨가 형태는 균질물(Jeong 등, 2010), 동결건조 분말(Jin 등, 2014) 및 발효 추출물(Choi 등, 2017) 등이다. 앞서 살펴본 바와 같이 비트 추출물은 비가열 및 가열 형태 모두의 식물성 대체육 제품에서 소고기와 유사한 붉은 육색 형성을 위해 가장 널리 사용되고 있다. 제품 소개 및 포장재 표기 사항만으로 첨가 형태 및 농도를 구체적으로 파악하기 어려운 경우도 있으나, 제품의 관능적 특성에 영향을 주지 않는 최소 첨가량만으로 강한 적색을 형성하기 위해서는 베타닌이 농축된 비트 과즙 추출물 혹은 농축물을 사용할 것으로 예상된다. 또한, 비트 추출물은 85°C에서 8시간의 열처리 과정에서 적색소의 일부가 파괴되고, 황색의 네오베타닌(neobetanin)이 형성된다고 보고되어(Herbach 등, 2004), 식물성 대체육에서 조리과정 중 유사 육색 형성을 위해 활용하기에 우수하다고 평가된다.

파프리카 색소(Paprika Pigment)

파프리카의 색은 적색, 황색 및 주황색 등으로 다양

하며, 적색은 적색 카로티노이드 계열의 칸타크산틴(canthaxantin)과 캡소루빈(capsorubin)에 의해 나타난다(Rymbai 등, 2011). 비트와 마찬가지로 파프리카도 이전의 많은 연구들에서 식육가공품의 색 강화(합성아질산염 대체), 풍미 증진 및 항산화 효과를 위한 천연 소재로 평가된 바 있다(Aguirrezábal 등, 2000; Kim and Chin, 2021; Revilla and Quintana, 2005). 첨가 형태는 분쇄물, 건조 분말 및 올레오레진(oleoresin) 등이 있다. Seyedrazi 등(2011)에 의하면 수중유탁형(oil-in-water) 유화물을 이용한 칸타크산틴의 안정성 실험에서 pH 4 이하에서 급격한 색소 파괴가 관찰되었다. Gómez 등(2008)은 식육가공품에 적색 형성을 위해 첨가하는 파프리카 분말에서 미생물 오염이 발생할 경우 변색이 더 촉진됨을 발견하였고, 이를 개선하기 위해 저온살균한 파프리카 분말을 항산화제와 함께 첨가하면 보다 안정적으로 적색을 유지할 수 있다고 하였다.

식용 카라멜(Food Caramel)

식용 카라멜은 색 형성 이외에도 가공식품의 조직감과 향미 개선을 위해서 사용되며, 일부 연구에서 항산화 효과를 나타낸다고 보고되어 있다(Sengar and Sharma, 2012). 국제식품규격위원회(CODEX)는 카라멜 색을 4종(caramel color I-IV)으로 구분하며, 식물성 대체육 제품의 경우 주로 가열 제품에서 마이야르 반응 및 카라멜화 반응에 의해 형성된 표면 갈색을 모사하기 위해 사용한다. 비록 식용 카라멜은 식물성 대체육뿐만 아니라, 전 세계적으로 식품에 사용하도록 널리 승인되어 있지만, 카라멜 성분은 제조방법에 따라 안전성 문제가 있다. 유엔합동식품첨가물전문가위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)는 면역계에 독성을 나타낼 수 있는 2-acetyl-4(5)-tetrahydroxybutylimidazole이 포함된 카라멜 색 III의 일일 섭취 허용량을 200 mg/kg으로 규정하고 있다(MacKenzie 등, 1992).

레그헤모글로빈(Leghemoglobin)

레그헤모글로빈은 콩과 식물에서 질소 고정이 일어나는 뿌리혹에서 발견되는 단백질로, 콩과 식물을 의미하는 'legume'과 'hemoglobin'의 합성어이다. 식물은 광합성 과정에서 산소를 방출하는데, 레그헤모글로빈은 1939년 Kubo가 산소와 결합이 가능한 붉은색의 헤모 단백질을 콩과 식물의 뿌리에서 발견하면서 알려지기 시작하였다(Davies 등, 1998). 레그헤모글로빈은 수용액 상에서 25°C 이상일 때 열변성이 시작된다(Tzoneva and Mishonova-Alexova, 1998). Impossible Foods사는 레그헤모글로빈을 식물성 대체육의 색과 풍미를 형성하는 핵심 소재로 활용하고 있다(US patent 14/797,006). 현재 Impossible Foods사가 사용하는 레그헤모글로빈은 자연적으로 생성된 식물체로부터 추출하는 것이 아니라, 레그헤모글로빈 c2 유전자를 효모에 삽입하여 미생물 유래 레그헤모글로빈을 대량으로 생산하며, 순도는 65% 이상으로 알려져 있다(Jin 등, 2018). 미국 식품의약국(FDA)은 대두 레그헤모글로빈 생산 방법 및 이를 0.8% 이내로 활용하여 식물성 대체육(분쇄육)의 가열 풍미 형성을 위한 제조 방법에 대한

안전성을 확인한 바 있다(FDA, 2020).

결론

식육 생산방식의 다변화라는 시대적 흐름 속에 식물성 대체육은 우수한 생산효율과 안전성에 대한 소비자 신뢰를 바탕으로 타 대체육보다 빠르게 시장점유율을 높여가고 있다. 일반 식품시장에서 판매가 이루어지는 만큼 관련 기술에 대한 완성도도 점차 높아지고 있다. 그러나 앞서 살펴본 바와 같이 현재 식물성 대체육 제품의 유사 육색 형성은 주로 적색을 띠는 천연 색소 및 식품첨가물에 크게 의존적이다. 결국 식물성 대체육 제품의 주원료에는 나타나지 않는 색 특성을 부여하기 위해 추가적인 소재의 활용이 불가피하다. 활용 소재의 경제성과 안전성에 대한 신중한 평가가 필요하며, 현재까지 단일 소재의 특성 연구가 주를 이루었다면 식물성 대체육 활용 소재 전반에 대한 상호작용도 고려되어야 할 것이다. 또한, 대부분의 식물성 대체육 가공기술이 해외 연구진이나 식품기업 주도로 이뤄진다는 점에서 국내 기술과의 격차 극복을 위한 정책적 지원도 필요할 것이다.

참고문헌

1. 박미성, 박시형, 이용성. 2020. 대체식품 현황과 대응과제. KREI 농정포커스 제190호. 한국농촌경제연구원.
2. Aguirrezábal MM, Mateo J, Domínguez MC, Zumalacárregui JM. 2000. The effect of paprika, garlic and salt on rancidity in dry sausages. *Meat Science* 54:77-81.
3. Choi YS, Kim TK, Jeon KH, Park JD, Kim HW, Hwang KE, Kim YB. 2017. Effects of pre-converted nitrite from red beet and ascorbic acid on quality characteristics in meat emulsions. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 37(2):288-296.
4. Codex Food Chemicals. 1996. 4th ed. Food and Nutrition FCC IV/Monograph Specification for caramel color. National Academy Press, Washington DC.

5. Davies MJ, Mathieu C, Puppo A. 1998. Leghemoglobin: Properties and reactions. *Advances in Inorganic Chemistry*, 46:495-542.
6. FDA. 2020. GRAS Notice No. GRN 000737.
7. Gómez R, Alvarez-Orti M, Pardo JE. 2008. Influence of the paprika type on redness loss in red line meat products. *Meat Science* 80(3):823-828.
8. Herbach KM, Stintzing FC, Carle R. 2004. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparation. *Journal of Food Science* 69(6):C491-C498.
9. Jeong HJ, Lee HC, Chin KB. 2010. Effect of red beet on quality and color stability of low-fat sausages during refrigerated storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 34(4):472-481.
10. Jin SK, Choi JS, Moon SS, Jeong JY, Kim GD. 2014. The assessment of red beet as a natural colorant, and evaluation of quality properties of emulsified pork sausage containing red beef powder during cold storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 34(4):472-481.
11. Jin Y, He X, Andoh-Kumi K, Fraser R, Lu M, Goodman RE. 2018. Evaluating potential risks of food allergy and toxicity of soy leghemoglobin expressed in *Pichia pastoris*. *Molecular Nutrition & Food Research* 62:1700297.
12. Kim GH, Chin KB. 2021. Characteristics of low-nitrite pork emulsified-sausages with paprika oleoresin solution during refrigerated storage. *Journal of Animal Science and Technology* 63(2):394-404.
13. MacKenzie KM, Boysen BG, Field WE, Petsel SRW, Chappel CI, Emerson JL, Stanley J. 1992. Toxicity studies of caramel color III and 2-acetyl-4(5)-tetrahydroxybutylimidazole in F344 rats. *Food and Chemical Toxicology* 30(5):417-425.
14. Mancini RA, Hunt MC. 2005. Current research in meat color. *Meat Science* 71(1):100-121.
15. Revilla I, Quintana AMV. 2005. The effect of different paprika types on the ripening process and quality of dry sausages. *International Journal of Food Science and Technology* 40:411-417.
16. Rymbai H, Sharma RR, Srivastav M. 2011. Biocolorants and its implications in health and food industry – A review. *International Journal of PharmTech Research* 3(4):2228-2244.
17. Sengar G, Sharma HK. 2012. Food caramels: A review. *Journal of Food Science and Technology* 51(9):1686-1696.
18. Seyedrazi N, Razavi SH, Emam-Djomeh Z. 2011. Effect of different pH on canthaxanthin degradation. *International Journal of Nutrition and Food Engineering* 5(11):653-657.
19. Tomasevic I, Djekic I, Font-i-Furnols M, Terjung N, Lorenzo JM. 2021. Recent advances in meat color research. *Current Opinion in Food Science* 41:81-87.
20. Tzoneva RD, Mishonova-Alexova EI. 1998. A calorimetric study of pH-dependent thermal unfolding of leghemoglobin from a soybean. *Biochemica et Biophysica Acta* 1364:420-424.