

축산 부산물 활용을 위한 업사이클링 기술

Upcycling Technologies to Utilize Livestock By-Products

이선민, 정사무엘*(Seonmin Lee, Samooel Jung*)

충남대학교 동물자원과학부

Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University

1. 서론

전 세계적으로 식량 손실 증가가 식품 산업의 성장과 지속 가능성을 저해함에 공감하고 이를 해결하기 위해 산업과 학계 모두에서 다양한 기술과 혁신적인 솔루션을 제안하며 관련된 정책들이 수립되고 있다. 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)의 Food Loss Index에 따르면 2016년 식품 생산량의 13.8%가 폐기되었는데, 이러한 식량 손실은 환경 오염과 함께 약 1조 달러로 추산되는 경제적 가치 손실을 유발한다(FAO, 2019). 여러 식품군 중 전체 식량 손실의 12%를 차지하는 축산물의 경우 생산 시 많은 에너지와 단백질이 소모되기 때문에 다른 식품군에 비해 환경에 미치는 영향이 특히 크다. 축산물이 생산되는 농장에서 소비자의 식탁에 이르기까지 생산, 수확, 가공, 유통 및 구매의 모든 단계에서 식량 손실이 발생하며 그간 이를 감소하기 위해 주로 유통과 소비 단계에 집중해 왔다. 특히 한국의 경우 가정에서 음식물 쓰레기를 줄이고 재활용하는 정책이 주를 이루는데, 유통, 소비 단계의 음식 폐기물은 염분을 함유한 다양한 종류의 식재료가 혼합되어 있어 활용이 제한적이고 주로 미생물을 이용한 분해를 통해 비료로 제작된다(Kim, 2023). 한편 생산, 가공 단계의 축산 부산물(이하 부산물)은 낮은 상품 가치로 인해 폐기되지만, 높은 활용성을 나타내기 때문에 부가가치 증진을 통한 부산물의 활용이 주목받고 있다. 축산물 위생 관리법 제2조에 따르면 '식육'은 식용을 목적으로 하는 가축의 지육, 정육, 내장, 그 밖의 부분을 의미하며 내장(간, 폐, 심장, 위장, 췌장 등)과 다리, 꼬리, 뼈, 혈액 등 식용이 가능한 부분들이 부산물로 분류된다. 부산물은 도체의 60-70%를 차지하며 이는 다시 40%의 가식 부산물과 20%의 비가식 부산물로 나뉜다(Idrishi 등, 2022). 한국농촌경제연구원의 'OECD-FAO 농업전망 2021-2030 육류' 전망에 따르면 2030년 세계 육류 소비량은 2018-2020년 대비 14% 증가할 것으로 예상되며, 이와 더불어 향후 부산물 발생도 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 따라서 부산물의 처리를 위한 방안의 마련이 요구되며, 현재까지 부산물은 퇴비나 가축 사료로 가장 많이 이용되어 왔으나 지속 가능한 부산물 활용을 위해서는 단순히 원료를 재활용하는 것이 아닌 새로운 가치 창출을 위한 고부가가치 제품의 개발이 필요한 실정이다.

*Corresponding author: Samooel Jung
Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University,
99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea
Tel: +82-42-821-5774
Email: samooel@cnu.ac.kr

업사이클링(upcycling)이란 업그레이드(upgrade)와 리사이클링(recycling)의 합성어로, 상품 가치가 낮은 부산물 등의 자원에 새로운 아이디어와 기술을 투입하여 부가가치가 높은 제품으로 변환하는 작업을 의미한다. 식량 안보에 대한 문제가 대두되면서 식품 산업에서 업사이클링 기술에 대한 필요성이 높아지고 있으며, 부산물을 자원화하기 위하여 부산물의 지속 가능성과 부가가치를 재고하는 등의 인식 전환이 빠르게 나타나고 있다. 본 문헌은 부산물을 효과적으로 업사이클링하기 위한 기술들을 요약하고 소개하고자 한다.

2. 업사이클링(Upcycling)이란?

식품 생산과 가공 과정의 모든 단계에서는 어느 정도의 식품 손실 또는 폐기물이 발생하며, 업사이클링은 공급망의 모든 단계에서 식량 부족과 음식 폐기물 문제를 해결하는 좋은 방법이다. 활용도가 낮은 부분을 혁신적으로 업그레이드하고 재활용하는 것은 식품 분야에서 흥미롭게 주목하는 '지속 가능한' 기술이며 음식 폐기물의 영양소를 재활용하면 예상치 못한 식량 낭비와 환경에 미치는 부정적 영향을 최소화하면서 세계 식량 안보를 강화할 수 있다. 친환경 및 지속 가능성을 가진 제품에 대한 소비자의 관심이 증가하고 있기 때문에 식품 업사이클링 시장의 규모는 점차 확대될 것으로 예상된다. 현재 전 세계에서 식품 부산물을 토비와 비료, 가축의 사료, 연료, 가구, 화장품의 제작에 이용하거나 새로운 식품으로 개발하는 방법 등을 고안 및 실제 활용하고 있으며, 이를 위해서는 먼저 생산 및 유통의 흐름 내에서 효과적으로 가공할 수 있는 원료를 선별하고 업사이클링의 목적과 최종 제품의 특성에 맞는 기술의 선택이 필요하다.

3. 부산물의 업사이클링

축산 부산물의 부가 가치 증진을 위한 업사이클링은 폐기물로 간주하는 부산물을 원재료로 하여 추가 가공을 거쳐 소비자 기호도가 높은 식품 또는 경제적 수익성이 있

는 제품으로 전환하는 것을 의미한다. 이러한 부가 가치에는 저장 안정성, 기능적 특성, 관능적 품질 개선 등이 포함되며, 이 외에도 생리 활성 펩타이드를 생성하거나 항산화능을 향상하는 등의 전략이 있다.

3.1. 축종에 따른 부산물의 종류와 특징

부산물의 종류와 분류는 섭취 행태에 따라 국가별로 상이할 수 있으며, 국내 식육 부산물의 축종별 분류는 <표 1>과 같이 나타난다. 이 중 전통적으로 가열 및 조리하지 않고 섭취하는 부산물에는 소의 간, 비장, 천엽 등이 있다. 육류부산물 유통 실태 및 위생 안정성 제고에 따르면 소의 경우 1차 부산물은 머리, 내장, 간, 염통, 허파, 지라, 우낭, 족, 혈, 원피, 지방, 기타(뿔, 수구레살 등), 2차 부산물은 사골, 잡뼈, 꼬리, 지방, 콩팥, 기타(도가니 등)으로 구분되며 돼지의 경우 1차 부산물은 머리, 내장, 족, 꼬리, 돈피, 2차 부산물은 잡뼈, 지방, 콩팥, 족 등으로 구분할 수 있다. 각 부산물의 부위별 용도도 종류에 따라 상이한데, 식용뿐 아니라 공업용까지 다양하게 이용되고 있다. <표 1>에 기재된 부산물 이외에도 돈모와 닭의 깃털 역시 부산물 업사이클링의 원료로 활용된다.

우리나라에서 오랜 시간 활용되어온 소와 돼지의 부산물 용도를 <표 2>, <표 3>에 나타내었다. 부산물은 현재 식품 자체 또는 원료로써 다양하게 이용되는데, 예를 들어 소와 돼지의 머리 고기의 경우 국밥과 편육, 내장은 구

표 1. 국내 기준 축산 부산물의 종류

소	돼지	닭
<ul style="list-style-type: none"> · 내장 - 위장 <ul style="list-style-type: none"> 1위(양, 반추위), 2위(별집위), 3위(천엽), 4위(홍창, 막창) - 소장(곱창) - 대장(대창) · 간, 심장, 폐, 비장, 콩팥 · 기타 부분 - 머리, 족(발), 꼬리, 혈액(선지) 	<ul style="list-style-type: none"> · 내장 - 소장, 대장(대창), 막창 · 간, 심장, 폐, 비장, 콩팥 · 기타 부분 - 머리, 족(발), 혈액(선지) 	<ul style="list-style-type: none"> · 근위 · 닭발 · 심장 · 내장

(출처: 농림축산식품부, 2014)

표 2. 우리나라 소 부산물의 사용 용도

부위	구분	용도
머리	식용	발골 머리고기: 소머리국밥, 소고기국, 설령탕, 곰탕, 육개장 등 통머리 : 잔치용, 고사용 등 눌린 머리고기(편육) : 술안주용, 제사용, 잔치용 등
		양 : 소고기국, 내장탕, 양곱창 전골 등 천엽 : 안주용, 내장탕 등 곰창 : 양곱창전골, 내장탕, 케이징(소시지, 피티) 기타 : 내장탕, 전골 등
내장	식용	전, 술안주(회 또는 삶은고기) 등
		의약제품(추출물)
염통, 허파, 지라	식용	내장탕, 찌개, 국밥, 술안주, 전 등
		술안주, 보신용 식품 등
우낭	식용	의약제품
		의약제품
족	식용	보신용 식품(산모나 노약자용) 음식점에서 곰탕이나 국밥의 국물 등
		선지국
혈액	식용	의약제품(헤모글로빈, 혈청)
		의약제품(헤모글로빈, 혈청)
수그레살	식용	술안주, 탕류 등
꼬리	식용	꼬리곰탕, 보신용 식품(산모나 노약자, 병약자) 등
사골, 잡뼈	식용	곰탕, 설령탕, 국밥 등 국류의 국물, 보신용 국물 등
도가니	식용	도가니탕, 술안주 등
지방	식용	육가공품 제작, 요리 등에 활용
		비누, 스테아린(양초), 광택제, 기계류의 윤활유 제조용 등
가죽	공업용	피혁제품(구두, 가방, 장갑, 혁대, 잠바 등), 산업용 벨트, 약기제조 등
		단추, 빗, 머리핀, 공예품 등
뿔	공업용	단추, 빗, 머리핀, 공예품 등
채장	약용	의약제품(알칼리액, 인슐린)
아킬레스건	공업용	아교, 젤라틴 등

(출처: (사)한국육류유통수출입협회, 2007)

표 3. 우리나라 돼지 부산물의 사용 용도

부위	구분	용도
머리	식용	삶은 머리고기 : 국밥, 탕류, 술안주 등 통머리 : 고사용 등 눌린 머리고기(편육) : 술안주, 잔치용 등 순대국
		순대국, 술안주, 곱창전골, 국밥, 소시지용 등
내장	식용	술안주, 산모 채우용 등
		만두속, 중국조리용, 식용유 등
지방	공업용	비누, 스테아린(양초), 광택제, 기계류의 윤활유 제조용 등
		머리고기 + 피(껍질) = 눌린 머리고기, 술안주 등
가죽	공업용	피혁제품
		곰국 등 국물
잡뼈	공업용	단추, 빗, 머리핀, 공예품 등
		펠트 제품, 솔 등
털	공업용	펠트 제품, 솔 등

(출처: (사)한국육류유통수출입협회, 2007)

이와 탕, 전골 등의 재료이다. 공업용의 경우 가죽은 피혁 제품, 비식용 지방은 비누나 윤활유 제조에 이용될 수 있다. 하지만 현재의 용도 이외에도 가공 제품 개발로 이용성을 확대하거나 기능성 물질을 획득하면 활용 가치를 높일 수 있다. 부산물 품질 특성에 대해서는 국립축산과학원의 Seong 등(2014a, b)의 연구에서 소와 돼지의 주된 부산물의 이화학적, 영양학적 성분을 분석 및 보고하였다. 해당 연구에서 제시한 바와 같이 대부분 부산물은 필수 영양소의 훌륭한 공급원이기 때문에 영양학적 가치의 강도가 부산물 소비를 촉진하고 육가공에 활용하는 데에 중요할 수 있다.

3.2. 부산물 업사이클링을 위한 기술

부산물에 혁신적 기술을 적용해 여러 분야에서 활용하기 위한 많은 방안들이 개발되고 있다. 비식용 지방을 이

용하여 바이오 디젤로 가공하거나 가공 중 발생하는 혈액, 내장, 콜라겐, 깃털, 돈모, 뼈 등을 가수분해하여 생리활성 펩타이드와 같이 건강 기능성을 가진 물질을 추출하고 면역 글로불린, 피브리노겐 등을 정제하여 식품 가공을 위한 첨가물로 전환할 수 있다. 부산물 소재를 활용한 국내외 업사이클링 연구의 사례를 <표 4>에 요약하였다.

3.2.1. 비식용 동물성 지방을 이용한 바이오 디젤 생산

바이오 디젤이란 동물성 또는 식물성 유지 내 지방산을 메탄올과의 화학 반응으로 전환한 대체 연료이다. Triglyceride를 전환 과정 없이 직접 사용할 경우, 기화가 원활하지 않고 점도가 높아 내연기관에 문제를 발생시킬 수 있기 때문에 triglyceride 기반의 유지를 trans-esterification 반응을 통해 바이오 디젤로 전환하여 이용할 수 있다. 국내 바이오 디젤 원료로 이용되었던 식물성 오일은 주로 수입되고 이용 시 생산 단가가 높기 때문에 부산물인 비식용 돈지 또는 우지를 이용하여 바이오 디젤을 제작할 수 있다.

<그림 1>에 동물성 지방을 이용한 바이오 디젤 생산의 주된 과정을 나타내었다. 동물성 지방에는 많은 유리

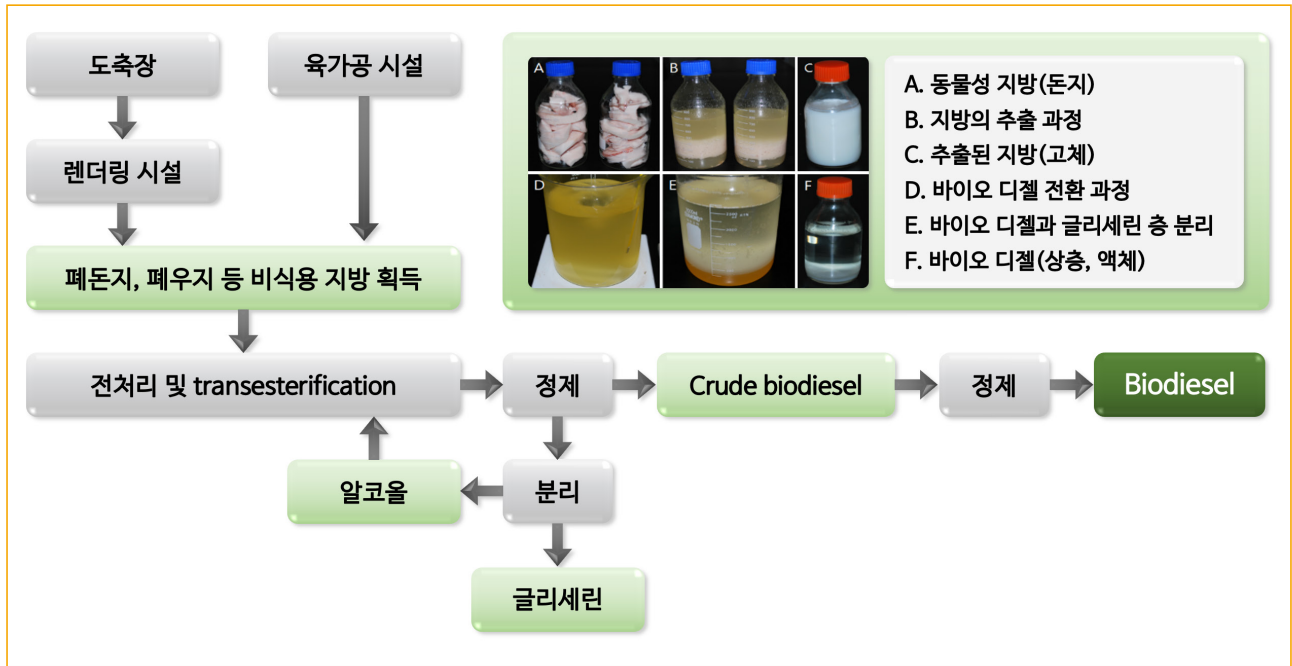
지방산과 물이 함유되어 있기 때문에 전처리가 필요하다. 전처리 후 촉매(알칼리, 산, 효소 등)를 첨가하여 지방과 단쇄 알코올(메탄올, 에탄올, 프로판올, 부탄올 등)의 trans-esterification 반응이 진행되며, 혼합물을 일정 시간 정치한 후 상 분리가 발생하면 상층액을 자동차 등의 연료인 바이오 디젤로 활용한다(Kang & Kim, 2005). 이러한 과정을 거쳐 약 100 kg의 동물성 지방이 촉매 존재 상태에서 단쇄 알코올(일반적으로 메탄올) 10 kg과 반응하여 100 kg의 바이오 디젤과 10 kg의 글리세린을 생성한다(Toldrá-Reig 등, 2020).

바이오 디젤 제작 과정을 거친 동물성 지방은 유동성이 증가하지만, 그럼에도 포화지방산 함량이 높아 융점이 높은 돈지(포화지방산 36%, 융점 36-45℃)와 우지(포화지방산 50%, 융점 45-50℃)의 특성으로 인해 저온 유동성은 식물성 바이오 디젤에 비해 낮게 나타나는 편이다. 이를 개선하기 위한 국내 연구 중 Lee 등(2014)에 따르면 동물성 지방 기반 바이오 디젤은 저온 필터 막힘점이 7-8℃로 국내 동절기 품질 기준인 0℃ 이하를 충족하지 못하며, 열악한 저온 특성의 개선이 필요하다. 따라서 저온 유동성 개선을 위해 해당 연구에서는 요소를 첨가하거나 식물성 바이오 디젤과의 혼합을 이용하여 동물성 지방

표 4. 축산 부산물을 이용한 업사이클링 기술의 예시

분야	소재	연구 내용	참고문헌
바이오 디젤	· 동물성 지방 주로 소, 돼지, 닭 유래	· 바이오 디젤 생산 시 최적화 조건의 확보 촉매, 첨가제, 온도, 교반 속도, 반응 시간 등 저온 유동성, 저온 필터 막힘점, 산화 안정성 등의 개선 · 지방 소재의 전처리 조건 확보 습식 또는 건식 렌더링 유무에 따른 수율	Adewale 등(2015); Toldrá-Reig 등(2020)
기능성 물질	· 혈액 주로 소, 돼지, 닭 유래	· 전혈의 분획화 혈분(사료 첨가제), 혈장 분말(식품 첨가제), 헤모글로빈(발색제, 향신료, 성장 촉진제), 글로빈(사료 및 의약품 첨가제), 펩타이드(의약품 첨가제)	Toldrá 등(2012)
	· 깃털, 돈모 주로 돼지, 닭 유래	· 케라틴 가수분해물 제작 효소, 산, 염기, 유기 용매 등 이용 가수분해 조건 확립 가수분해물 제작 후 가축 사료, 생물 비료, 미생물 배지, 바이오 가스 등의 생산에 적용	Akpor 등(2018); Hassan 등(2020)
	· 발, 깍뎂기 주로 소, 돼지, 닭 유래	· 젤라틴 추출 및 기능적 특성 부산물(가죽, 뼈, 발 등)에서 젤라틴의 추출을 위한 최적화 조건 확보 젤라틴의 생물학적 보호 필름, 겔화제, 바이오 폴리머, 바이오 필터 등으로써의 역할	Alipal 등(2021)

그림 1. 동물성 지방을 이용한 바이오 디젤 생산의 과정



(출처: 농촌진흥청, 2014; Toldrá-Reig 등, 2020)

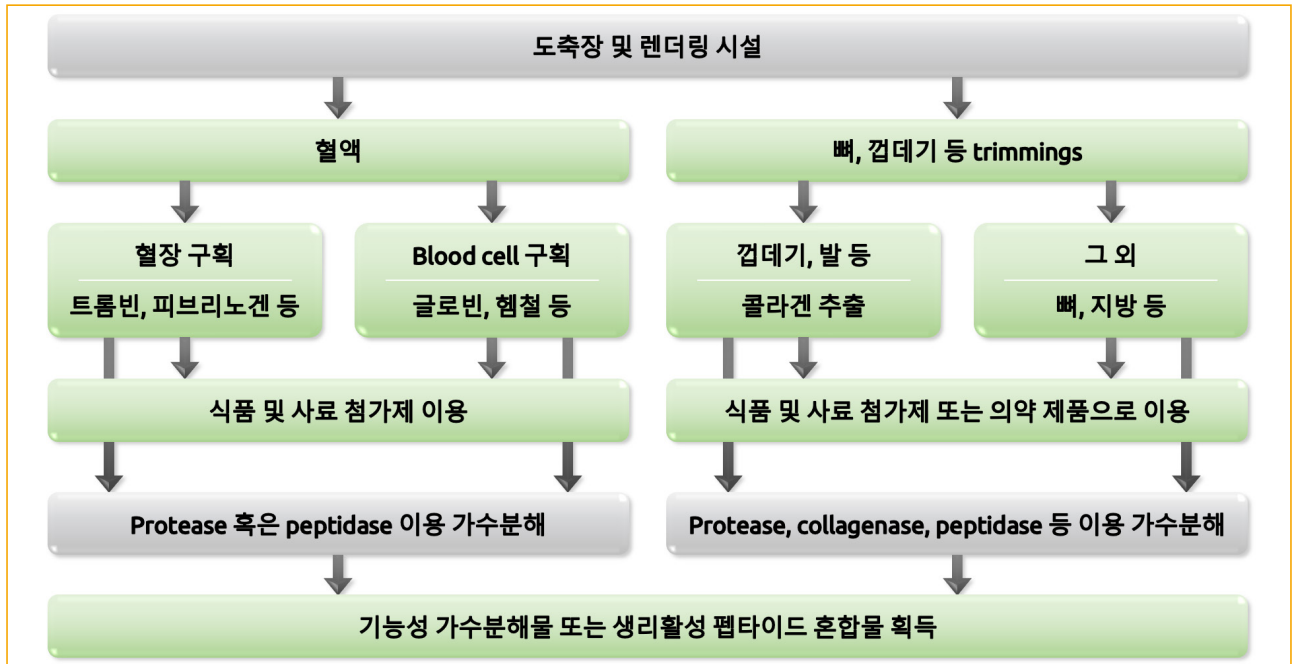
이오 디젤의 저온 유동성 개선 효과를 확인했다. Mata 등 (2011)의 국외 연구에서는 동물성 바이오 디젤을 다른 연료와 혼합하거나 첨가제를 이용하지 않고 활용하기 어려우며 석유 디젤과의 혼합으로 20%(v/v)의 농도로 사용해야 한다고 보고했다. <표 4>에 정리된 바와 같이 동물성 지방 이용 바이오 디젤 제작 시 높은 수율과 품질을 나타내는 제품을 제작하기 위한 공정 최적화와 첨가제 종류, 조건에 대한 연구들이 다방면 진행되고 있다. 동물성 지방을 이용해 제작한 바이오 디젤은 탄소 발생이 화학 연료보다 80% 낮으며, 다환 방향족 탄화수소의 배출 역시 기존 디젤보다 75-90% 낮다. 국제 에너지 기구는 바이오 연료 이용이 2050년에 전 세계 도로 운송 기관 연료의 30%에 도달할 것으로 추산된다고 보고하였다 (Gielen 등, 2019). 운송 기관 연료 이외에도 동물성 유지 20만 톤을 바이오 디젤 원료로 사용할 경우 수입 에너지 대체 효과가 1년 1,260억 원이 될 것으로 전망되며 농업 현장에서 난방용 온풍기 또는 농기계에 적용함으로써 농가 소득 향상에도 기여할 수 있다(농촌진흥청, 2014).

3.2.2. 기능성 물질 추출

부산물에서 기능성 물질을 분리하기 위해 다양한 기술이 이용될 수 있다. 기능성 물질 추출을 위한 대표적 기술인 가수분해 과정을 <그림 2>에 나타내었다. 분해/발효 기술은 부산물로부터 기능성 물질을 획득하기 위해 가장 많이 이용되고 있는 기술 중 하나이다. 부산물은 단백질, 지방을 포함한 여러 생체 분자의 복합체이기 때문에 가수분해 시 아미노산, 지방산, 글리세롤과 같은 간단한 분자로 분해된다. 효소를 통한 분해 공정은 생체 분자를 원하는 부분으로 표적화하여 분해할 수 있기 때문에 선호되며, 산을 이용한 가수분해 시 관능적으로 불량한 부산물이 생산될 수 있다.

미생물 또는 비 미생물 유래의 효소는 화학 반응을 향상하는 촉매로 이용되며, 단백질 분해 효소(protease), 지방 분해 효소(lipase), 탄수화물 분해 효소(amylase)로 크게 분류할 수 있다(Difonzo 등, 2022). 단백질 분해 효소를 통해 부산물의 단백질을 분해 및 용해하여 영양가가

그림 2. 축산 부산물을 이용한 기능성 가수분해물 획득 과정



(출처: Mora 등, 2014)

높은 고체/액체의 가수분해물을 제작할 수 있으며, 닭의 깃털, 돈모, 내장, 콜라겐 등 다양한 부산물의 가수분해에 이용된다. 지방 분해 효소는 에스테르 교환 반응을 비롯한 특정 반응을 촉매하는 효소로, 소와 돼지의 비식용 지방을 가수분해하여 바이오 디젤 등을 생산하는 데에 적용될 수 있다. 부산물의 경우 주로 단백질과 지방으로 가수분해되기 때문에 탄수화물 분해 효소의 활용은 생략한다.

효소적 가수분해 이외에도 물리적으로 기능성 물질을 분리하는 기술도 이용되고 있다. 물리적 분리 기술에는 밀도 차이에 따라 입자를 분리하기 위해 원심력을 이용하는 원심 분리(centrifugation), 비중차로 침전물을 분리하는 침강(sedimentation), 특정 물리화학적 조건 내 결정화(crystallization)의 유도 등이 그 예이다. 막을 이용한 분리에는 삼투압에 대항하여 압력을 가해 용질 농도가 높은 영역에서 반투과성 막을 통해 농도가 낮은 용액으로 용매를 이동하는 역삼투(reverse-osmosis)와 압력을 기반으로 하는 미세여과(microfiltration) 기술이 존재한다 (Idrishi 등, 2022).

위와 같은 분리 방법을 통해 부산물로부터 기능성 물질을 획득하는 방법을 <표 4>에 요약하였다.

3.2.2.1. 혈액

혈액은 소와 돼지로부터 주로 획득되는 부산물로, 최근에는 오리 혈액을 활용하고자 하는 연구들도 진행되어왔다(Kim 등, 2022a, b). Choi 등(2013)에 따르면 국내 소와 돼지 혈액 생산량은 연간 합계 5만 톤으로 추정할 수 있으며 활용 가능한 혈액의 양은 이 중 70% 정도로 예측되고 나머지는 폐수 처리장으로 방류 및 수집하여 비료화하는 과정을 거친다.

혈액 활용의 대표적 예로는 유럽과 아시아에서 오랜 시간 동안 소시지, 수프, 푸딩과 같은 제품으로의 제작이 있다. 혈액이 식품 가공에 활용될 때 제품의 단백질 함량 증가, 수분 결합 및 유향능 향상과 같은 여러 기능적 특성을 가지지만 현재 일부 국가에서는 부산물로 여겨진다. 따라서 혈액은 일반적으로 전혈을 이용하는 것이 아닌 원심

분리 등의 분획화를 거쳐 이용된다. 혈액은 세포 구획(적혈구, 백혈구 등)과 혈장 구획으로 나뉜다. 이 중 혈장이 63%로, 알부민(3.5%)과 글로불린 및 피브리노겐(4.0%)로 구성된다. 혈액 단백질은 가공 시 여러 기능적 특성을 가져 식품 산업의 첨가제 분야에서 주목받아왔다. 예를 들어 면역 글로불린, 피브리노겐, 혈청 알부민과 같은 혈장 단백질은 겔 형성 및 유화능을 나타내어 식품이나 사료의 첨가제로 이용될 수 있으며 피브리노겐과 효소 중 트롬빈은 육류 가공용 결합제로써 활용이 가능하다. 트롬빈과 피브리노겐을 혼합 시 트롬빈 효소가 용해성 피브리노겐을 불용성 피브린 중합체로 변환하며 3차원 네트워크를 형성하여 육제품의 경도와 탄성을 증가할 수 있다(Toldrá 등, 2016).

한편 헤모글로빈의 경우 exopeptidase를 통한 가수분해로 헴철이 풍부한 가수분해물을 형성할 수 있다. 적혈구가 풍부한 세포 구획의 경우 제품의 색과 풍미에 부정적 영향을 나타낼 수 있으며 혈액의 미생물 오염이 상대적으로 높을 수 있으므로 살균을 위한 방안이 필요하다(Toldrá 등, 2012).

3.2.2.2. 깃털

깃털은 케라틴이 풍부한 도축 부산물로, 미국 농무부에 따르면 2020년 기준 약 1억 50만 톤의 가금육 생산 중 470만 톤 이상의 깃털이 배출되었다고 보고했다(Qiu 등, 2020). 깃털 폐기 시 질산염의 지하수 침출과 인의 유출에 의해 수로와 호수에서 병원균이 증식될 수 있기 때문에 관리 비용 증가와 환경 오염 예방을 위한 처리 방안이 필요하다. 따라서 소각, 매립, 연소, 퇴비화 등이 처리를 위해 이용될 수 있으나, 이러한 방법들은 높은 에너지 소비에 따른 고비용과 생물 자원 손실로 인해 사용이 제한된다. 케라틴 단백질은 동물 사료 보충제 또는 비료로 사용할 수 있는 아미노산, 펩타이드, 미네랄이며 케라틴의 느린 자연적 분해는 전처리와 가수분해를 필요로 한다(Bhari 등, 2021). 케라틴의 가수분해는 용매(산성, 염기성, 유기)를 이용한 화학적, 효소를 이용한 생물

학적 가수분해로 나눌 수 있다. 화학적 가수분해 시 강산과 강염기가 펩타이드와 이황화 결합을 분해하여 단쇄 펩타이드와 아미노산을 방출한다. 생물학적 가수분해의 경우 disulfide reductase와 keratinase를 이용하며 반응조 내 2-5일 이내 케라틴을 분해한다(Hassan 등, 2020). 효소 이외에도 곰팡이 균사나 미생물을 통해서도 케라틴을 분해할 수 있으나, 케라틴의 난소화성 특성으로 인해 반응조 내 분해 시 2-30일까지의 시간이 소요될 수 있다. 깃털과 돈모 가수분해물의 경우 류신, 라이신, 이소류신, 메티오닌, 트레오닌, 페닐알라닌, 발린, 트립토판과 같은 필수 아미노산뿐 아니라 인, 칼슘, 마그네슘, 망간 등 미네랄의 공급원으로 화장품에 첨가되거나 애완동물/가축/양어 사료, 생물 비료에 이용될 수 있다(Bhari 등, 2021).

3.2.2.3. 닭발 및 소/돼지 껍데기

우리나라의 경우 닭발과 소/돼지의 껍데기를 식용으로 소비하지만, 서구 문화에서는 부산물로 간주하며, 낮은 가치로 인해 해당 부산물로부터 기능성 물질 추출 시 부가가치를 크게 향상할 수 있다. 천연자원에서 추출한 젤라틴과 콜라겐은 식품 첨가물로 제약, 의료, 식품 산업 등 여러 분야에서 활용된다. 가장 흔한 상용 제품은 소와 돼지의 껍데기로부터 추출한 젤라틴이며, 최근에는 닭/오리의 발, 생선, 가금류 등으로부터 추출한 콜라겐/젤라틴에 대한 관심도 증가하고 있다(Santana 등, 2020).

젤라틴은 콜라겐에서 단백질 가수분해로 만들어진 천연 고분자이며 고단백 및 저에너지로 지방과 콜레스테롤을 함유하지 않는다. 따라서 식품 생산에서는 겔 형성능 또는 유화능과 같은 단백질 기반 제품의 기능적 특성을 향상하거나 동물성 지방을 일부 대체하기 위해 이용된다. 젤라틴은 콜라겐 전처리에 따라 A형/B형 젤라틴으로 나뉘며, A형은 산성 처리 젤라틴으로 돼지 껍데기에서 공유 결합이 적은 콜라겐에서 주로 형성된다. B형은 염기성 처리 젤라틴으로 소 가죽의 가교도가 더 높은 콜라겐에서 생성된다. 젤라틴 추출 초기 단계에서 부산물은 액체 젤라틴과 불용성 콜라겐의 혼합 상태이다. 젤라틴 분해를

위해 전처리된 부산물들을 45℃ 이상 온도에서 끓인 후 산성 또는 염기성 용매를 첨가하여 비공유 결합을 절단하고 용해도를 향상하며, 추가적인 열처리를 통해 triple-helix 구조의 불안정화를 유도하여 가용성 젤라틴을 생산할 수 있다(Tang 등, 2022).

젤라틴은 다양한 분야에서 응용될 수 있다. 부산물로부터 생산한 젤라틴은 육류 제품의 보수력과 결합력 향상, 유제품 등의 식용 필름이나 코팅을 위해 이용될 수 있으며 약학 산업에서는 하이드로겔과 기능성 화합물 캡슐화 소재로 활용된다. 뿐만 아니라 의료 산업에서는 상처를 외부의 환경으로부터 분리하고 혈액의 응고를 도와 지혈을 위한 소재로도 이용될 수 있다. 이외에도 껌화제, 코

팅제 등으로의 잠재적 활용 가능성을 가져 여러 분야에서 응용될 수 있을 것으로 기대된다(Alipal 등, 2021).

3.2.3. 육가공품 제작

앞서 언급한 방법들처럼 부산물로부터 기능성 물질을 분리 및 추출해서 식품 원료 등에 이용하기 위한 다양한 기술들이 존재하지만, 부산물 자체를 식품으로 제조하면 그 활용 가치를 높일 수 있다. 최근 10년간 부산물을 가공품 제작에 활용하고자 한 국내의 연구 예시를 <표 5>에 요약하였다.

연구들은 대부분 돼지, 닭, 오리 부산물의 활용에 편중

표 5. 최근 10년간 진행된 축산 부산물을 이용한 육가공품 개발 국내 연구의 예시

소재	제품 타입 및 연구 내용	참고문헌
오리 발 젤라틴	· 오리육 젤리 오리 발 젤라틴 5% 첨가 시 조직감과 관능적 특성이 우수한 오리육 젤리 제작	Kim 등(2014)
닭 기계발골육	· 반건조 육포 닭 기계 발골육 10% 이용 시 가공 수율과 관능적 특성이 우수한 반건조 닭고기 육포 제작	Song 등(2014)
닭발 젤라틴	· 재구성 닭고기 육포 닭발 젤라틴 첨가구에서 건조 수율 증가 및 전단력 감소가 관찰되었으며 대조구와 관능적 품질에 차이 없음	Kim 등(2015)
돼지 혈액	· 혈액 소시지 혈액을 20% 이하 첨가 시 품질과 관능적 특성이 우수한 혈액 소시지 제작	Choi 등(2015)
돼지 껍데기 젤라틴	· 소시지 소시지 제작 시 지방 대체를 위해 껍데기 젤라틴 분말 0.5% 첨가 시 보수력 및 조직감이 개선된 소시지 제작	Lee 등(2016)
돼지 머리고기	· 햄버거 패티 내 원료육 일부 대체 돼지 머리 고기를 10% 이하로 첨가 시 대조구와 유사한 관능적 및 영양적 특성을 나타내는 패티 제작	Choi 등(2016a)
닭 껍데기	· 반건조 육포 닭 껍데기 5% 첨가 시 이화학적 특성과 조직감을 개선한 반건조 재구성 육포 제작	Choi 등(2016b)
돼지 간	· 햄버거 패티 내 원료육 일부 대체 돼지 간을 5% 이하로 첨가 시 대조구와 유사한 관능적 및 영양적 특성을 나타내는 패티 제작	Choi 등(2017)
오리 껍데기	· 압착형 오리 햄 오리 껍데기를 30% 및 40% 첨가할 시 가공 및 관능적 특성이 우수한 압착형 오리 햄 제작	Kim 등(2017)
닭발	· 삼계탕 육수 내 추출액 첨가 열풍 건조한 닭발 추출액(1시간 추출) 이용 시 삼계탕의 풍미와 종합적 기호도가 향상된 삼계탕 제작	Kim 등(2019)
오리 껍데기 젤라틴	· 반건조 육포 오리 껍데기 젤라틴 1% 첨가 시 가공 수율과 관능적 품질이 우수한 반건조 육포 제작	Kim 등(2020)
돼지, 오리 껍데기 젤라틴 가수분해물	· 소시지 돼지와 오리 껍데기 젤라틴 가수분해물(1%) 첨가 시 응집성과 씹힘성이 향상된 소시지 제작 후속 연구에서 가수분해물의 산화 안정성 평가 필요	Ham 등(2020)
오리 껍데기 및 간	· 스프레더블 소시지 단백질 가수분해 효소와 초고압 가공을 병행하여 오리 껍데기와 간이 첨가 시 소화율이 향상된 고령 친화식품용 소시지 제작	Ku 등(2022)

되었으며, 특히 껍데기 또는 발로부터 젤라틴을 추출하여 육가공품의 품질 특성을 개선하고자 하는 노력들이 주를 이루었다(표 5). 재구성육 또는 유화형 육제품에서 젤라틴은 보수력과 조직감 개선을 위해 흔히 이용되며, 이는 젤라틴의 수화 특성과 겔 형성능에서 비롯된다. 현재 상업용 젤라틴은 대부분 소와 돼지의 껍데기에서 유래되었지만, 전염병 위험과 종교적 이유 등에 의해 최근 가금류로부터 추출된 젤라틴 활용도 주목받고 있다(Tümerkan 등, 2019). Kim 등(2014, 2015, 2017)의 연구에서 닭과 오리로부터 추출한 젤라틴의 첨가가 육가공품의 가공 및 관능적 특성을 향상하였음을 보고했으나, Ham 등(2020)의 연구에서 관찰한 바와 같이 젤라틴 가수분해물을 활용 시 지질 산화가 가속화되는 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 산화 안정성 등 저장 중 품질의 변화 관찰이 필요하다. 또한 젤라틴은 지방의 일부 대체를 위해서도 활용되었는데(Lee 등, 2016), 보수력과 조직감이 개선될 수 있었지만, 함량 증가 시 낮은 품질을 나타내는 등의 문제점이 보고되었다. 이외에도 돼지와 오리의 간을 이용해서 소시지를 제작하고자 하였으며(Choi 등, 2017; Ku 등, 2022), 특히 Ku 등(2022)의 연구에서는 스프레더블 소시지를 제작하여 단백질의 소화율과 부드러운 조직감을 강화한 고령친화식품을 개발할 수 있었다.

부산물 소비 특성은 국가/개인별 식문화 및 기호도의 차이로 상이할 수 있으나 <표 5>에 나타난 것처럼 현재 국내 연구 중인 부산물의 활용 방안들이 햄, 소시지, 육포 등 세계적으로 흔히 소비되는 육가공품 제작에 집중하고 있기 때문에 업사이클링을 위한 다양한 식품과 육제품 개발에 참고할 수 있을 것이다.

4. 결론과 축산 부산물 업사이클링의 시사점

2030년 세계 육류 생산량이 3억 7,300만 톤으로 전망되는 가운데, 축산물 생산 증가는 온실가스 배출뿐 아니라 잉여 부산물 처리로 인한 환경 오염과도 밀접하게 연관되기 때문에 폐기되는 부산물을 효과적으로 활용할 수 있는 혁신적인 업사이클링 기술의 도입이 필요하다. 대부

분 부산물은 퇴비나 가축 사료로 활용되어 왔으나 현대의 과학 기술 발전에 따라 고부가가치 제품으로 업사이클링이 가능하다. 본 문헌에서 검토한 바에 따르면 도축장 또는 가공장의 부산물들은 업사이클링을 통해 크게 1) 바이오 연료 생산, 2) 기능성 물질 추출, 3) 새로운 육제품 개발에 이용될 수 있다.

부산물 업사이클링 제품 개발 시 부산물 활용에 대한 소비자들의 수용도와 기호도도 함께 고려해야 한다. 현대 소비자들은 음식 폐기물 저감과 환경 보호에 관심을 가지며 부산물을 사용함에 호의적이고 지불 의향도 향상될 수 있음이 보고되었다. 따라서 축산 부산물 업사이클링 제품을 홍보 시 축산 또는 식품 산업의 지속 가능성 등 제품이 지향하는 바를 정확히 강조해야 한다. 특히 Aschemann-Witzel과 Stangherlin(2021)의 연구에서 소비자들은 제품 카테고리나 원산지, 가공 여부를 중요하게 여긴다고 응답한 바와 같이 원료 소재와 부산물 가공 정도 역시 수용성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 안전에 대한 문제와 식품 가공에 대한 소비자의 심리적 장벽과 불신 등을 이해하여 부산물 가공과 활용에 대한 인식을 개선하고자 하는 노력이 필요하다.

무엇보다도 부산물을 가공하여 제품을 제작할 때도 ‘안전한’ 먹거리의 생산이 필요하다. 부산물을 효율적으로 활용하기 위해서는 물리 화학적/미생물학적 위해 요소가 검출되지 않아야 하며 기본적으로 농식품 부산물의 저장 기간과 조건에 따른 품질 변화에 대한 이해가 필요하다. 특히 보관 기간의 경우 미생물학적 시험을 바탕으로 안전성을 평가해야 한다. 축산 부산물의 경우 수분과 단백질, 지방 등 부패와 산화에 취약한 성분들을 다량 함유한다는 특징이 있다. 따라서 부산물의 위생적 품질이 미생물 또는 효소에 의해 빠르게 변질될 수 있다. 뿐만 아니라 도체 렌더링과 생산, 저장, 유통의 과정에서 감염과 질병에 대한 규정을 제대로 준수하지 않으면 병원체, 바이러스, 프리온 단백질 등이 불완전하게 파괴될 수 있다. 이처럼 축산 부산물의 부적절한 생산과 활용 시 전염병을 전파하거나 식중독을 발생하는 등 사람의 건강을 위협할 수 있다. 따라서 축산 부산물 가공 시 축산물의 특성부터 생산 시

시스템에 대한 전반적인 과정의 이해가 필요하며 생산 체인 내 효과적으로 업사이클링할 수 있는 부산물들을 선별할 필요가 있다. 또한 부산물을 콜드 체인 내에서 유통하고 건조 또는 멸균하여 보관할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 특히 HACCP 인증 가공 시설의 경우 위생 관리가 강화되어 원재료의 안정성을 증가하고, 소비자의 긍정적 인식을 강화할 수 있다. 바이러스 전파, 기후 변화와 같은 환경의 변화에 따라 수입 원료의 안전성이 보장되지 않을

수 있는 만큼 위생적인 가공 시설에서 원료를 생산하고 이를 검증하기 위한 절차가 마련될 경우 부산물 업사이클링 제품의 경쟁력 또한 높아질 것으로 보인다.

참고문헌

1. Adewale P, Dumont MJ, Ngadi M. 2015. Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renew Sustain Energy Rev* 45: 574–588.
2. Akpor OB, Odesola DE, Thomas RE, Oluba OM. 2018. Chicken feather hydrolysate as alternative peptone source for microbial cultivation. *F1000Research* 7: 1918.
3. Alipal J, Pu'Ad NM, Lee TC, Nayan NHM, Sahari N, Basri H, Idris MI, Abdullah HZ. 2021. A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation. *Mater Today: Proc* 42: 240–250.
4. Aschemann-Witzel J, Stangherlin IDC. 2021. Upcycled by-product use in agri-food systems from a consumer perspective: A review of what we know, and what is missing. *Technol Forecast Soc Change* 168: 120749.
5. Bhari R, Kaur M, Sarup Singh R. 2021. Chicken feather waste hydrolysate as a superior biofertilizer in agroindustry. *Curr Microbiol* 78(6): 2212–2230.
6. Choi JP. 2013. Animal byproduct (blood) current status & usage. *Food Sci Anim Resour Ind* 2(2): 2–7.
7. Choi YS, Sung JM, Jeon KH, Choi HW, Seo DH, Kim CJ, Kim HW, Hwang KE, Kim YB. 2015. Quality characteristics on adding blood levels to blood sausage. *Korean J Food Cook Sci* 31(6): 741–748.
8. Choi YS, Jeon KH, Ku SK, Sung JM, Choi HW, Seo DH, Kim CJ, Kim, YB. 2016a. Quality characteristics of replacing pork hind leg with pork head meat for hamburger patties. *Korean J Food Cook Sci* 32(1): 58–64.
9. Choi YS, Han DJ, Choi JH, Hwang KE, Song DH, Kim HW, Kim YB, Kim CJ, 2016b. Effect of chicken skin on the quality characteristics of semi-dried restructured jerky. *Poult Sci* 95(5): 1198–1204.
10. Choi YS, Ku SK, Lee HJ, Park JD, Sung JM, Jeon KH, Oh NS, Kim YB. (2017). Effects of pork liver levels on the quality characteristics on hamburger patties. *Korean J Food Cook Sci* 33(1): 20–27.
11. Difonzo G, Grassi S, Paciulli M. 2022. Upcycling of agro-food chain by-products to obtain high-value-added foods. *Foods* 11(14): 2043.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. 2–13.

13. Gielen D, Gorini R, Wagner N, Leme R, Gutierrez L, Prakash G, Asmelash E, Janeiro L, Gallina G, Vale G, Sani L, Garcia Casals X, Ferroukhi R, Parajuli B, Feng J, Alexandri E, Chewpreecha U, Goldman M, Heald S, Stenning J, Pollitt H, Garcia-Banos C, Renner, M. 2019. Global energy transformation: A roadmap to 2050.
14. Ham YK, Song DH, Noh SW, Gu TW, Lee JH, Kim TK, Choi YS, Kim HW. 2020. Effects of gelatin hydrolysates addition on technological properties and lipid oxidation of cooked sausage. *Food Sci Anim Resour* 40(6): 1033.
15. Hassan MA, Abol-Fotouh D, Omer AM, Tamer TM, Abbas E. 2020. Comprehensive insights into microbial keratinases and their implication in various biotechnological and industrial sectors: A review. *Int J Biol Macromol* 154: 567–583.
16. Idrishi R, Aggarwal D, Sharma V. 2022. Upcycling technologies in the food industry. In *Smart and Sustainable Food Technologies* (pp. 367–392). Singapore: Springer Nature Singapore.
17. Kang MG, Kim JH. 2005. Biodiesel. *J Korean Soc Automot Eng* 27(2): 12–20.
18. Kim HW, Park JH, Yeo EJ, Hwang KE, Song DH, Kim YJ, Ham YK, Jeong TJ, Choi YS, Kim CJ. 2014. Effect of duck feet gelatin concentration on physicochemical, textural, and sensory properties of duck meat jellies. *Korean J Food Sci Anim Resour* 34(3): 387.
19. Kim HY, Lee JW, Kim JH, Kim GW. 2015. Effects of chicken feet gelatin on physicochemical and sensory properties of restructured chicken jerky. *Korean J Poult Sci* 42(4): 327–333.
20. Kim DH, Kim TK, Kim YB, Sung JM, Jang Y, Shim JY, ... Choi YS. 2017. Effect of the duck skin on quality characteristics of duck hams. *Korean J Food Sci Anim Resour* 37(3): 360.
21. Kim J, Utama DT, Jeong HS, Heidar BF, Jang A, Pak JI, Kim YJ, Lee SK. 2019. Development of samgyetang broth from air-dried and oven-roasted chicken feet. *Korean J Poult Sci* 46(3): 137–154.
22. Kim SM, Kim TK, Ku SK, Kim MJ, Jung S, Yong HI, Choi YS. 2020. Quality characteristics of semi-dried restructured jerky: Combined effects of duck skin gelatin and carrageenan. *J Anim Sci Technol* 62(4): 553.
23. Kim J, Kim TK, Cha JY, Ku SK, Jung S, Choi YS. 2022a. Effect of drying methods on physicochemical characteristics and functional properties of duck blood gel. *Food Sci Anim Resour* 42(5): 861–873.
24. Kim J, Lee MH, Yong HI, Ku SK, Kim TK, Choi YS. 2022b. Study on the quality characteristics of emulsion based on the added levels of duck blood. *Korean J Food Cook Sci* 38(2): 82–90.
25. Ku SK, Kim J, Kim SM, Yong HI, Kim BK, Choi YS. 2022. Combined effects of pressure cooking and enzyme treatment to enhance the digestibility and physicochemical properties of spreadable liver sausage. *Food Sci Anim Resour* 42(3): 441.
26. Kim SO. 2023. Review of food upcycling in South Korea: regulation, limitation, and prospects. *Food Sci Biotechnol* 32(1): 1–10.
27. Lee YH, Kim KS, Jang YS, Shin JA, Lee KT, Choi IH. 2014. Improvement of low-temperature fluidity of biodiesel from vegetable oils and animal fats using urea for reduction of total saturated FAME. *J Korean Appl Sci Technol* 31(1): 113–119.
28. Lee CH, Chin KB. 2016. Effects of pork gelatin levels on the physicochemical and textural properties of model sausages at different fat levels. *LWT* 74: 325–330.

29. Mata TM, Cardoso N, Ornelas M, Neves S, Caetano NS. 2011. Evaluation of two purification methods of biodiesel from beef tallow, pork lard, and chicken fat. *Energ Fuel* 25(10): 4756–4762.
30. Mora L, Reig M, Toldrá F. 2014. Bioactive peptides generated from meat industry by-products. *Food Res Int* 65: 344–349.
31. Santana JC, Gardim RB, Almeida PF, Borini GB, Quispe AP, Llanos SA, Heredia JA, Zamuner S, Camarra FMC, Farias TMB, Ho LL, Berssaneti FT. 2020. Valorization of chicken feet by-product of the poultry industry: High qualities of gelatin and biofilm from extraction of collagen. *Polymers* 12(3): 529.
32. Seong PN, Kang GH, Park KM, Cho SH, Kang SM, Park BY, Moon SS, Ba HV. (2014a). Characterization of Hanwoo bovine by-products by means of yield, physicochemical and nutritional compositions. *Korean J Food Sci Anim Resour* 34(4), 434.
33. Seong PN, Park KM, Cho SH, Kang SM, Kang GH, Park BY, Moon SS, Ba HV. (2014b). Characterization of edible pork by-products by means of yield and nutritional composition. *Korean J Food Sci Anim Resour* 34(3), 297.
34. Song DH, Choi JH, Choi YS, Kim HW, Hwang KE, Kim YJ, Ham YK, Kim CJ. 2014. Effects of mechanically deboned chicken meat (MDCM) and collagen on the quality characteristics of semi-dried chicken jerky. *Korean J Food Sci Anim Resour* 34(6), 727.
35. Tang C, Zhou K, Zhu Y, Zhang W, Xie Y, Wang Z, Zhou H, Yang T, Zhang Q, Xu B. 2022. Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocoll* 107748.
36. Toldrá F, Aristoy MC, Mora L, Reig M. 2012. Innovations in value-addition of edible meat by-products. *Meat Sci* 92(3): 290–296.
37. Toldrá F, Mora L, Reig M. 2016. New insights into meat by-product utilization. *Meat Sci* 120: 54–59.
38. Toldrá-Reig F, Mora L, Toldrá F. 2020. Trends in biodiesel production from animal fat waste. *Appl Sci* 10(10): 3644.
39. Tümerkan ETA, Cansu Ü, Boran G, Mac Regenstein J, Özoğul F. 2019. Physicochemical and functional properties of gelatin obtained from tuna, frog and chicken skins. *Food Chem* 287: 273–279.
40. Qiu J, Wilkens C, Barrett K, Meyer AS. 2020. Microbial enzymes catalyzing keratin degradation: Classification, structure, function. *Biotechnol Adv* 44: 107607.
41. 농림축산식품부. 농림축산검역본부. 2014. 도축장 식육부산물 위생관리매뉴얼.
42. 농촌진흥청. 2014. 동물성 유지 이용한 바이오디젤 생산연구 및 결과.
43. (사)한국육류유통수출협회. 2007. 육류 부산물 유통 실태 및 위생 안전성 제고.
44. 신기석. 2021. OECD-FAO 농업전망 2021-2030: 육류. *세계농업* 244: 3–19.