

The Food and Life has published all type articles such as research articles, review articles, survey articles, research note, short communication or editorial since 2020. It covers the all scientific and technological aspects of food and life science.

<https://www.foodnlife.org>



다양한 종류의 식육을 판별하는 기술에 대한 고찰

송수민¹, 박준영¹, 청혜린¹, 두리신¹, 백재훈¹, 김갑돈^{1,2,*}

¹서울대학교 국제농업기술대학원

²서울대학교 그린바이오과학기술연구원

A review on the technology of discriminating different types of meat

Sumin Song¹, Junyoung Park¹, Huilin Cheng¹, Lixin Du¹, Jaehoon Baek¹, Gap-Don Kim^{1,2,*}

¹Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea

²Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea

Abstract

With the increasing meat consumption worldwide, some packers supply meat fraud deceiving the origin or shelf-life of the meat. Initially, visual inspection was the only usable option to detect such meat fraud. However, as the need for meat discrimination was increased, methods were developed such as using DNA or chromatography-based technology. These technologies are diversely applied to discriminate species, breed, quality and detect frozen/thawed, and spoilage of fresh or processed meat. Despite their advancement, the present methods have clear limits to apply in the field; short time but low accuracy, long time but high accuracy, or short time and high accuracy but affected by the environment. Also, those technologies need highly skilled personnel, expensive equipment, and often cause irreversible changes to meat. Consequently, only specific examination or analysis institutions can evaluate, and it is barely accessible to consumers. Thus, a believable environment is the prerequisite, then, quick, precise, and non-destructive discrimination methods for anyone, or a system to cut the supply of fraud in meat by an interaction between the field and supervising institution should be established.

Keywords: livestock species, meat type, frozen-thawed, spoiled

서론

식육 시장의 규모는 지속적으로 증가하고 있다(Godfray et al., 2018; Shahbandeh, 2023). 시장이 성장하면서 고기와 육제품에 대한 소비자의 관심이 높아지고, 원산지를 바꾸거나 유통기한을 위조하는 부정육에 대한 문제도 많이 발생된다(Abbas et al., 2018). 식육은 단백질뿐만 아니라 지질, 무기물, 탄수화물, 비타민 등 다양한 영양원을 함유하고 있는 식품으로 미생물에 의해 쉽게 변질되거나 부패된다(Ercolini et al., 2006; Oh et al., 2016). 따라서 부정육의 유통은 경제적 문제를 야기할 뿐만 아니라 소비자들의 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Abbas et al., 2018, Ballin, 2010). 그러므로 육류 및 육제품의 안정성을 확보하기 위해서 이러한 부정육의 유통을 근절해야 하는데, 유통과정에서 신속하고 정확하게 부정육을 판별하거나, 유통업체를 직접 단속하는 방법이 있다.

소비자들이 고기를 구매할 때, 고기의 색이나 향과 같은 관능적 특성에 의존하여 제품의 신선도 및 품질을 판단하는 것이 일반적이다(Torrico et al., 2018; Wachholz et al., 1978). 그러나 관능적인 특성에 의존한 판별은 정확성이 낮다. 또한, 다지거나 열처리 등의 공정을 거친 식육 및 육제품은 신선도 및 품질을 판단하기가 더욱 힘들다. 따라서 과학적인 방법으로 고기의 신선도와 품질을 평가하는 기술이 필요하며, 부정육이 소비자의 식탁에 오르기 전에 신속하게 유통을 차단하기 위해서는 현장에서 간편하게 적용할 수 있는, 그리고 신속하고 정확한 결과를 얻을 수 있는 기술이 요구된다.

현재까지 보고되거나 개발된 식육 판별 기술은 주로 축종, 품종, 품질, 해동육 및 부패육의 구별에 관한 것이다(Fig. 1). 판별에 사용되는 과학적 기술은 유전자 분석, 단백질 분석, 효소 활성 및 바이오 이미지 분석 기술을 기반으로 하고 있고, 이들

*Corresponding author : Gap-Don Kim. Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea. Tel: +82-33-339-5778, Fax: +82-33-339-5779, E-mail: gapdonkim@snu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

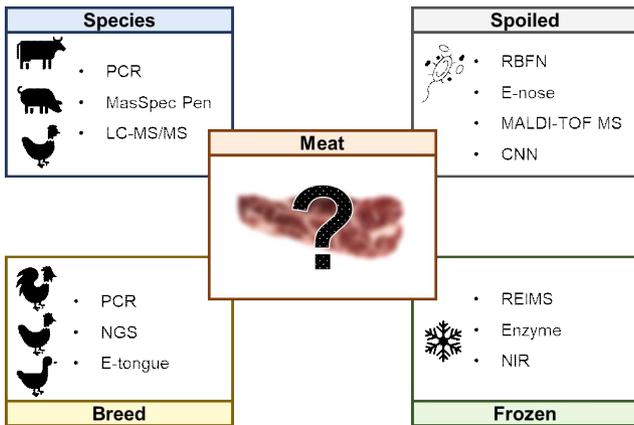


Fig. 1. Representative methods for discriminating the different types and species of meat. PCR, polymerase chain reaction; LC, liquid chromatography; RBFN, radial basis function neural network; E-nose, electronic nose; MALDI-TOF, matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight; CNN, convolutional neural network; MS, mass spectrometry; NGS, next-generation sequencing; E-tongue, electronic tongue; REIMS, rapid evaporative ionization mass spectrometry; NIR, near infrared.

대부분이 국내산과 수입산, 한우와 비한우, 신선육과 해동육, 신선육과 부패육 등을 구분하여 식육의 표시방법 등을 위반한 부정육을 판별하는데 활용될 수 있다(Gottesmann and Hamm, 1983; Kim et al., 2017; Park et al., 2021). 지금까지 다양한 식육 판별 기술이 개발되거나 보고되었음에도 불구하고, 유통 현장에서 필요로 하는 판별의 신속성과 정확성, 분석비용 절감, 분석절차의 간편성 등에서 기존 기술이 극복해야 하는 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 개발 또는 보고된 식육 판별 기술의 특징과 문제점을 살펴보고, 앞으로 현장에서 활용이 가능한 식육 판별기술의 요건 및 개선점에 대해 제언하고자 한다.

축종판별

소고기, 돼지고기, 닭고기는 사람들이 많이 소비하는 축종이다. 소비자들은 일반적으로 고기의 외향적인 요소인 육색, 조직감, 향기를 이용하여 고기를 판별한다. 그러나 이러한 방법은 고기의 부위, 절단상태, 가열상태 등의 영향을 쉽게 받으며, 이로 인해 외향적 요소로 축종을 판별하는 것은 한계가 있다.

신선육이나 육제품에서 원료의 축종을 판별을 위해 다양한 분석 기법들이 사용되고 있는데, 크로마토그래피(Lucarini et al., 2018), polymerase chain reaction(PCR; Hossain et al., 2019), near infrared(NIR), enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA) 등이 대표적인 기법이다(Table 1). 각각의 방법

은 고유의 장단점이 있으며, 기존 방법의 한계점을 극복하는 식별 기술 개발이 시도되어 왔다.

PCR은 DNA를 기반으로 한 기술로 축종 판별에 가장 많이 이용되는 방법이다. 축종별 고유 유전자를 활용하여 다양한 동물 종을 구별하는데 용이한 장점이 있다. 그리고 가공 및 열처리된 제품을 분석할 수 있고, 매우 적은 샘플 양으로도 검출 정확도가 높으며 안정적인 결과를 나타낸다. 소, 돼지, 양, 염소, 말, 그리고 사슴을 PCR 기법을 활용해 간단하게 분류하는 방법이 개발된 바 있다(Park et al., 2013). 그 밖에도, 닭, 오리, 개, 칠면조, 그리고 거위에서도 DNA에 존재하는 다양한 서열을 이용하여 분석이 가능하다는 선행연구가 있었다(Koh, 2010). 하지만, 분석 과정에 DNA 추출과 증폭 과정이 필요해 분석 시간이 다소 소요되며, 가열 후에는 추출 수율이 낮아지고 그로 인해 DNA 단편화를 유발하여 분석에 정확도가 낮아지는 단점이 있다(Murray et al., 2009; Sentandreu and Sentandreu, 2014). 현재 PCR 기법은 식품의약품안전처의 식품공정에 의거하여 대립유전자 다중분석법을 시행해 한우와 비한우 여부를 판단하고 있다.

ELISA 기술은 면역형광기법을 활용한 기술로써, 항체를 이용하여 특정 축종을 분류하는 기법이다. 분석 소요 시간이 짧고, 혼합물 내 10% 정도 이상 포함되어 있는 축종을 판별할 수 있다. 그러나 단백질이 변성될 경우 식별 정확도가 낮아지며, 특히 가열과 같은 가공 공정을 거친 경우 주의를 요한다(Perestam et al., 2017).

분광광도법을 활용한 NIR 분석 방법과 partial least square-discriminant analysis(PLS-DA) 통계 기법을 활용한 돼지고기, 소고기, 그리고 양고기의 판별이 연구되었고, 최근 닭고기를 판별한 결과 또한 보고된 바 있다(López-Maestresalas et al., 2019; Nolasco-Perez et al., 2019; Rady and Adedeji, 2018). NIR을 이용한 분광광도법은 분석 시료를 파괴시키지 않고 고체 물질을 온전히 분석할 수 있다는 장점이 있는 반면, 특이성이 부족하여 정확한 분석을 위해서는 광범위한 분석이 필요하다(Zia et al., 2020).

크로마토그래피 기반 기술 또한 활용도가 높는데, GC는 주로 휘발성/휘발성 분석에 이용되고 high-performance liquid chromatography(HPLC)는 아미노산, 탄수화물, 비타민, 그리고 페놀 화합물과 같은 물질을 검출하는데 주로 이용된다(Santos and Oliveira, 2017). 선행연구에서 GC를 이용해 C20:2 지방산을 분석하여 돼지고기를 판별한 바 있지만, 이는 정어리나 고등어와 같은 생선에서도 확인된 바가 있어 신뢰도가 낮다고 할 수 있다(Mahama et al., 2020; Marikkar et al., 2016). LC-MS(liquid chromatography-mass spectrometry)를 이용한 정성적 단백질 분석을 통해서도 판별이 가능하며, 더 나아가 LC-MS/MS를 이용하면 특정 펩타이드를 분석하여 축종을 구

분할 수도 있다(Chou et al., 2007; Kim et al., 2017; Sarah et al., 2016). 선행 연구들에서는 LC-MS/MS를 활용하여 닭, 돼지, 소, 양, 오리, 토끼 등 다양한 축종을 판별하는 높은 활용도를 보였지만, 소요 시간이 많을 뿐만 아니라, 운용 비용 또한 높으므로, 보다 빠르고 정확하며 저렴한 판별 기술이 필요하다(Claydon et al., 2015; Kim et al., 2017; Li et al., 2018; Stachniuk et al., 2021).

이전 기술의 단점들을 보완하고자 전자코(electronic nose, e-nose) 기술을 활용하였다. 이는 전자 센서를 이용하여 휘발성 물질을 식별하는 기술이다. 전자코 기술은 축종을 판별하는 크로마토그래피 기반 기술이나 유전자 기반 판별 기술에 비해 소요 시간이 적으나, 기준점을 LC-MS로 분석하지 않으면 사용이 어렵다는 한계점이 있다.

품종판별

국내 소고기 수입 시장이 개방되면서 한우보다 저렴한 소고기들이 수입되고 있는데, 이로 인해 수입산 소고기를 한우로 허위 판매하는 문제가 발생했다. 그리고 미국에서 광우병 발생 이후 수입 소고기에 대한 소비자들의 우려가 커졌다. 소뿐만 아니라, 우리나라 전체 육류 생산의 20% 이상을 차지하고 있는 가금류의 종자는 수입에 의존하고 있고, 돼지 또한 유사한 실정이다. 이러한 이유로 고기의 품종 판별 기술에 대한 요구가 증가하였고 현재 다양한 분석 방법을 이용해 종의 품종을 판별하고 있다(Table 1).

유전자 분석 기반 기술을 이용한 품종 구별을 하고 있는데, 소에서 DNA 마커를 이용하여 한우와 홀스테인을 구분한 바 있고(Cheong et al., 2013; Nam et al., 2006), NGS 기법을 통해서도 다양한 품종에서 한우를 판별한 바 있다(Cho et al., 2014; Han et al., 2018). 뿐만 아니라, Cha 등(2019)은 9개의 돼지 품종을 유전자 분석 기술을 이용하여 식별하였다. 돼지는 주로 잡종강세를 활용하여 육질 향상을 위해 이종교배를 하고 있다(Edwards et al., 2003). 우리나라에서는 한국재래돼지×랜드레이스×듀록을 교배하여 난축맛돈을 개량한 바 있는데 이러한 난축맛돈 유전자 내 품종 식별 및 등심 근육 성장과 발달에 관여하는 마커를 PCR 기술로 확인하고 식별해 내었다(Park et al., 2021). Lee 등(2019)의 선행연구에서는 유전자 기술인 SNP 마커를 이용하여 토종닭을 식별하였다. 축산물품질평가원에서는 DNA 동일성 검사를 통해 소와 돼지의 이력관리를 하고 있다.

품종 식별은 분자 기반으로 식별이 가능하다(Juárez et al., 2008). 닭은 불포화 지방산이 풍부하며, 이로 인해 지질 산화와 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds, VOC) 쉽게 발생한다(Mancinelli et al., 2021). 또한 지방구성은 닭의 품종에 따라 달라지며 이를 이용하여 LC-MS 기반으로 닭의 복부 지방의 지질분석을 통해 닭의 품종을 식별이 가능하다(Li et

al., 2022). 한국특허공개 제10-2012-0009974에서는 GC/MS를 이용하여 휘발성 화합물 프로파일링을 통해 토종닭과 수입닭을 판별하는 기술이 개시되었으며, 더 나아가 이 기술은 계육의 우육, 돈육, 오리육, 칠면조육, 염소육, 양육, 말육 또는 구육 등 식별에도 용이할 수 있다. 국내산 돼지일 경우 백신접종을 통해 돼지열병 항체를 보유하고 있기 때문에 면역크로마토그래피 기술을 통해 돼지열병의 항원을 이용하여 국내산과 수입산 돼지고기를 판별할 수 있다(Jung et al., 2021). 이 기술을 이용하여 국립농산물품질관리원에서는 국내산 돼지고기와 수입산 돼지고기를 유통 현장에서 신속하게 판별하고 있다.

대부분의 판별 기술은 분석 전 다양한 물리적, 이화학적 처리가 가해진다. 이에 반해, 분광법은 주로 샘플에 화학적 처리가 가해지지 않고 분석이 가능하다. 근적외선 분광법(NIR)은 별도의 시약이 필요하지 않으며 폐기물도 생성하지 않는 비파괴적인 기술로써, 스캔된 시료에서 분자결합과 미세구조를 파악한다(Downey and Hildrum, 2004). NIR를 통해 듀록과 이베리코 품종을 판별하였다(del Moral et al., 2009). 그 외에도, HRMAS-NMR은 고분해능 매직앵글스핀-핵자기공명을 활용한 기술의 이용으로, 소의 대사 프로파일링을 통하여 버팔로와 키아나나를 정확도 높게 식별하였지만, 홀스테인은 정확도 높게 식별하지 못하였다(Ritota et al., 2012). 분광법은 시료 분석을 비파괴적으로 진행하는 장점이 있으나, 판별 정확도가 품종에 따라 많이 다르며 고도의 데이터 분석이 별도로 필요하다는 어려움이 있다.

육질판별

육류 산업이 국내외로 증가함에 따라 소비자들의 육류 품질에 대한 관심도 증가하게 되었다. 소비자들의 만족도에 영향을 미치는 대표적인 요소는 맛, 조직감, 다즙성이다(Cheng and Sun, 2008; Maltin et al., 2003; Shahidi et al., 1986). 고기의 맛과 구성성분은 축종, 품종, 성별, 사료의 영향을 받는다(Uhřilova et al., 2017; Mushi et al., 2008; Melton, 1990). 근내 지방은 풍미, 육즙, 연도를 향상시키는 요인으로 육질에서 중요한 요소이다(Hocquette et al., 2010).

소비자들은 합리적인 가격과 고품질의 제품을 요구하게 되었고, 이를 충족시키기 위하여 식육의 품질 평가 기술은 육류 산업 내에서도 중요한 사항 중 하나이다. 일반적으로, 육질을 평가하는 항목으로는 pH, 육색, 연도, 보수력, 조지방 혹은 마블링 등이 이용된다. 특히, pH와 육질은 매우 밀접한 관계가 있다. pH가 높으면 육색이 어두워지며, 육즙 손실이 적어지게 된다. 이로 인해 육즙이나 고기의 부드러움에 영향을 미친다(Berri et al., 2019).

식육의 품질을 분석 시 각각 항목에 따라 다양한 이화학적 분석 기법과 관능분석이 사용된다. 관능분석은 고도로 훈련된

Table 1. Technologies for discriminating livestock species and type of meat

Species	Sorting type	Sorting methods	Targets	References
Bovine	Breed	PCR	Hanwoo, Holstein	Nam et al. (2004)
	Breed	NGS	Hanwoo, Holstein	Han et al. (2018)
	Breed	SNP, NGS	Hanwoo, Ankole, N'Dama, Ogaden, Boran, Kenya Boran, Holstein, Jersey, Angus	Cho et al. (2014)
	Meat quality	E-tongue	Angus, Buffalo, Hungarian Grey, Hungarian Spotted cattle, Hostein	Surányi et al. (2021)
	Age	SPR	Hanwoo	Jang et al. (2014)
	Meat cut	2D gel electrophoresis, MALDI-TOF MS/MS	Hanwoo	Lee et al. (2010)
	Meat grade	NIR machine learning (CNN)	Hanwoo	Seo et al. (2019)
	Spoiled	E-nose, ANN	Beef	Panigrahi et al. (2006)
	Frozen	REIMS	Beef	He et al. (2021)
	Frozen	Enzyme	Hanwoo	Han et al. (2005)
Porcine	Breed	SNP, PCR	Iberico (bellota, cebo de campo, cebo), Berkshire, Landrace, Yorkshire, Duroc, Korean native pig, Wild pig, Spanish pic, Jeju pig	Cha et al. (2019)
	Breed meat quality	PCR	Korean native pig × Landrace × Duroc	Park et al. (2021)
	Frozen	Enzyme	–	Toldrá et al. (1991)
Chicken	Breed	SNP	Korean native chicken, Broiler, laying hens	Lee et al. (2019)
	Spoiled	MALDI-TOF MS	Broiler	Höll et al. (2016)
	Spoiled	CNN	Broiler	Putra and Prakasa (2020)
	Frozen	NIR	Broiler	Liu et al. (2004)
Multiple	Species	PCR	Cattle, pig, sheep, goat, horse, deer	Park et al. (2012)
	Species	PCR	Cattle, pig, chicken, duck, sheep, goat, horse, dog, turkey, goose	Koh et al. (2010)
	Species	NIR	Cattle, pig, chicken	Nolasco-Perez et al. (2019)
	Species	MasSpec Pen	Cattle, pig, chicken, lamb, venison, cod, halibut, Atlantic salmon, sockeye slamon, steelhead trout	Gatmaitan et al. (2021)
	Species	LC-MS/MS	Cattle, pig, sheep	Buckley (2016)
	Species	LC-MS/MS	Cattle, pig, chicken, duck	Kim et al. (2017)
	Spoiled	E-nose Random forest algorithm	–	Hanif et al. (2022)

PCR, polymerase chain reaction; NGS, next-generation sequencing; SNP, single nucleotide polymorphism; E-tongue, electronic tongue; SPR, surface plasmon resonance; MALDI-TOF, matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight; NIR, near infrared; CNN, convolutional neural network; E-nose, electronic nose; ANN, artificial neural network; REIMS, rapid evaporative ionization mass spectrometry; LC, liquid chromatography; MS, mass spectrometry.

숙련자들에 의해 이뤄져야 하며, 결과는 다소 주관적이며 평가자들에 따라 달라지기 쉽다.

대사체학 혹은 지질체학과 같은 소분자를 측정하는 기술은 육류의 품질 특성을 측정하는데 활용이 된다. 단백질체학(proteomics)을 이용하여 단백질 바이오마커를 선별하여 고기의 품질 특성인 연도와 육색, 보수력, pH 예측을 시도하고 있다(Di Luca et al., 2016; Gagaoua et al., 2018; Gagaoua et al., 2021). 그러나 이와 같은 분석 기술들은 분석 절차가 복잡하고 비용이 많이 발생하며, 분석 시간이 또한 많이 소요된다. 이에 소비자들이 육류와 육제품을 구매하기 전에 가격이 합리적인지에 대한 신속한 판별 기술이 요해진다.

식육의 품질을 평가하는 기술로 분광학 기반 기술이 소개되었다(Monin, 1998). 분광학 기반 기술을 통하여 육류 내 화학물질을 측정하여 육질 특성 예측이 가능하다(Alomar et al., 2003). 근적외선분광법(near-infrared spectroscopy, NIRS)을 이용하여 소고기에서 육색을 측정하였지만 보수력과 pH는 직접적으로 측정하지 못하였다(Prieto et al., 2008). 반면에 Andrés 등(2008)은 분광학 기반 기술을 이용하여 소고기의 육색과 pH를 사후 24시간에 높은 수준으로 예측하였다.

최근에는, 분석 시간을 단축하는 기술로 전자 감각 센서를 활용한 기술이 소개되었다. 전자코(E-nose)는 생물학적 후각을 모방하여 화학센서를 통해 냄새를 감지하고 구별해 내는 기기로서, 분석 시 시간이 적게 소요되며 샘플을 비파괴적으로 분석이 가능하다(Jia et al., 2018; Loutfi et al., 2015). 전자혀(E-tongue)는 전자코와 비슷하게 감각 센서를 이용하여 품질을 분석하는 기술로, 5종류의 소 품종(앵거스, 버팔로, 헝가리 회색소, 헝가리 얼룩소, 홀스타인)에서 pH, 수분활성도, 건물 함량을 높은 정확도로 예측하였다(Surányi et al., 2021).

전자 감각 센서를 활용한 기술은 센서를 활용한 기술로 샘플을 비파괴적으로 분석가능하며 시간소요가 적게 발생한다. 하지만, 개발 시 기존에 이용되는 대사체학 혹은 지질체학과 같은 소분자 분석 결과와 대조가 필요하며 분석 시 외부환경에 영향을 많이 받아 주의가 필요하다.

냉장육 또는 해동육 판별

고기를 냉동시 고기 내에 수많은 얼음 결정이 생기게 되며 이로 인해 조직의 미세구조 파괴되고 구조가 변한다. 얼음 결정은 동결 속도, 압력, 동결 시간에 따라 달라진다(Martino and Zaritzky, 1988). 느리게 동결하면 큰 얼음 결정이 생기는 반면에 빠르게 동결하면 작은 얼음결정들이 고기 조직에 생긴다(Behnke et al., 1973; Martino et al., 1998; Sanz et al., 1999). 얼음 결정의 크기는 고기내 구조 파괴의 정도와 연관이 있다.

냉동하지 않은 돼지고기와 냉동한 돼지고기를 비교하였을 때 냉동 시 근섬유 다발 파괴가 크게 일어난다(Martino et al.,

1998; Molina-García et al., 2004; Zhu et al., 2004). 이는 소고기에서도 동결시에 조직 파괴가 증가한다고 보고된 바 있고, 미세 구조에서도 확인된 바 있다(Martino and Zaritzky, 1988).

냉장육과 냉해동육을 판별하는 주요 기술은 효소분석법이다. 대표적으로 미토콘드리아에 존재하는 β -hydroxyacyl-CoA-dehydrogenase method(HADH)를 측정하는 방법이 있다(Gottesmann and Hamm, 1983). 고기를 동결-해동할 경우 미토콘드리아와 리소좀의 파괴로 인해 효소를 분비한다. 하지만, 미토콘드리아 파괴는 고기를 다질 경우에도 발생한다. 또한, 효소는 시간이 지남에 따라 고기내의 단백질 분해 효소로 인해 영향을 받는다. 그렇기 때문에 효소분석법 외에도 동결육 판별 기술이 필요하다.

동결로 인한 파괴는 미토콘드리아 외에도 단백질 파괴 및 변성에 영향을 미쳐 마이오글로빈 결합 형태에도 영향을 준다(Jeong et al., 2011; Wagner and Añon, 1985). 육색은 마이오글로빈의 상태에 의해 변화한다. NIR 및 NMR은 분광분석법의 일종으로 냉장육과 냉해동육을 판별하는데 이용하는 기술로 사용이 가능하다. 닭고기를 4°C, 0°C, -3°C, -12°C, -18°C 보관 후 냉동-해동하였을 때, two-dimensional visible은 445, 475, 560 mm 파장에서 deoxymyoglobin, metmyoglobin, oxymyoglobin과 연관이 있게 나타났다(Liu and Chen, 2000; Liu et al., 2004).

육색 외에도 동결로 인한 구조의 파괴는 고기의 보수력이 나빠지게 한다. 냉장육보다 냉해동육이 소고기, 돼지고기에서 높은 육즙감량이 발생한다(Hansen et al., 2003; Ramsbottom and Koonz, 1939).

DNA는 사후에 엔도뉴클레아제, 엑소뉴클레아제, 가수분해, 산화, 알킬화에 의해 분해된다. 고기를 동결할 경우 DNA 파괴가 증가한다. Neutral sucrose gradient centrifugation assay 방법을 이용하여 DNA 파괴를 측정하였을 때, -16°C에서 12개월 동안 동결보관 시 *Escherichia coli*는 dsDNA의 파괴가 증가하였다(Grecz et al., 1980). 냉장 소고기와 냉동 소고기 DNA 손상을 comet assay를 이용하여 비교하였을 때 동결할 경우 DNA가 파괴되는 정도와 양의 상관관계를 가지고 있다(Park et al., 2000). 하지만 활용되고 있는 방법은 대부분 불특정한 시료를 분석할 때, 비교를 위한 대조군이 필요하다.

부패육 판별

육류는 단백질 및 기타 필수 영양소 공급원으로 이용되는 대표적인 식품이다. 하지만, 부패성 미생물과 병원성 미생물의 성장에도 좋은 공급원으로 이용될 수 있다. 식육의 부패는 미생물의 성장과 효소 활동을 통하여 분해 및 대사산물 형성하는 것으로, 이취, 악취, 변색, 가스발생, 물리적 혹은 화학적 형태 변화가 발생한다(Katiyo et al., 2020).

주요 부패 미생물로는 슈도모나스(*Pseudomonas*) 속의 호기

성 저장 육류의 부패균인 *Moraxella* spp., *Ancinetobacter* spp. 가 알려져 있다(Casaburi et al., 2015; Ercolini et al., 2010; Labadie, 1999). 육류의 미생물은 가공방법, 운송, 보관방법에 의하여 달라지며 이는 초기 고기 미생물의 종류에 따라 우점 미생물에 영향을 주기 때문이다(Nychas et al., 2008). 우리나라에서는 식품의약품안전처고시 제2018-2호에 의해 소고기, 양고기, 돼지고기, 닭고기 오리고기는 미생물 검사 결과 일반세균수가 5×10^6 (CFU/g, CFU/cm²) 이하여야 하며, 대장균수는 1×10^3 (CFU/g, CFU/cm²) 이하로 기준을 정하고 있다. 부패육 검사는 검역원고시에 따라 평판법양법이나 건조필름법을 이용하여 세균수를 측정하는 방법이 사용된다.

식품의 부패를 식별하기 위해서는 부패를 시키고 있는 미생물군을 식별하는 방법을 사용할 수 있다. 미생물 식별에 가장 널리 알려진 기술은 16S rRNA 유전자 앰플리콘 시퀀싱을 이용하여 식별하는 방법이다(Polka et al., 2015). 하지만 이는 미생물의 과 혹은 속만 식별이 되며 하위 단계의 식별에는 제한적이다. MALDI-TOF MS는 저분자량 하위 프로테오음으로 박테리아를 식별할 수 있으며, 신속하게 분석이 가능하다(Holland et al., 1996; Seng et al., 2009). 또한 생물형이나 계통 수준에서 구별이 가능하다. 하지만 미생물 식별 기술은 고가의 장비가 필요하여 많은 비용이 발생한다. 이 외에도 육류의 부패를 측정하기 위한 이화학적 방법과 미생물학적 방법뿐만 아니라 크로마토그래피, 분광광도법, E-nose, 인공지능 기술을 통한 검출 방법이 있다.

생체아민(biogenic amine)은 고기와 같이 단백질 함량인 높은 식품에서 많이 생성되며, 주로 미생물 효소 활동으로 인하여 특정 아미노산이 탈카르복실화 결과로 형성된다(Halász et al., 1994). 크로마토그래피 기술을 통해 생체아민을 측정하여 식육의 부패를 판별하였다. 아민 생성은 미생물 활동으로 생성될 뿐만 아니라, 식육내 효소작용으로 인하여 생성된다. 그리고 적색육과 백색육에 따라 생성정도가 달라진다(Vinci and Antonelli, 2002). 액체크로마토그래피(HPLC)를 통하여 높은 정확도로 아민을 부패지표로 식별하였다(Vinci and Antonelli, 2002). 그러나 크로마토그래피 식별 방법들은 식육의 품질 및 유통기한을 예측하기 위한 지표를 정량화 하기는 좋으나 고가의 장비가 필요하며 분석시간이 많이 소요된다. 따라서 식품 가공기술의 발전 및 다양화에 대한 식육의 품질 및 유통기한을 예측하기 위한 신속한 분석법이 필요하다.

분광법 분석은 비파괴적이며 샘플 전처리가 비교적 최소한으로 필요하며 특정 소모품이나 시약이 필요하지 않은 장점이 있다. 푸리에변환적외선분광법(Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR)을 이용하여 돼지고기 부패와 미생물 그룹간의 상관관계가 관찰되었다(Papadopoulou et al., 2011). 다중 스펙트럼 이미징 시스템(multispectral imaging system)을 이용하여 돼지고기

의 부패를 76.13%의 정확도로 식별해 내었다(Dissing et al., 2013). 분광법 기반 기술은 분석 시간이 적은 장점이 있으나 정확도가 크로마토그래피 기반 기술에 비해 낮으며 미생물 종류에 따른 분석 결과가 달라질 수 있다.

현장에서 빠르게 이용될 수 있는 기술로 전자코가 활용 가능성을 보였다. 전자코를 활용하여 식품의 부패 시 발생하는 대사산물(휘발성 유기 화합물)을 감지하여 고기에서 부패를 측정하였다(Andre et al., 2022; Panigrahi et al., 2006; Wojnowski et al., 2017). 전자코를 통한 결과신호는 복잡하므로 주성분분석(principal component analysis, PCA), 부분최소제곱분석(partial least squares, PLS)와 같은 고도의 분석과정이 필요하다. 그리고 탐지 기능을 확인하기 위해서는 독립적으로 식육의 부패에 대한 연구가 요구된다. 최근에는, 인간의 신경망을 모방한 인공신경망 기술(artificial neural network, ANN)을 활용하여 전자코 분석 결과를 통해 부패된 소고기를 식별해 내었다(Panigrahi et al., 2006). Hanif 등(2022)은 Random Forest 알고리즘과 전자코 결과를 이용하여 미생물 개체수 예측하였다. 하지만 센서 기반 기술은 환경에 영향을 받기 쉬우며 정량 분석에 한계가 있다.

연구동향

최근에는 기존의 기술과 첨단 분석 기술을 접목하여 좀더 정확하고 신속하게 분석하는 방법이 연구되고 있다. 식육을 분석하기 위해 PCR(Hossain et al., 2019; Park et al., 2013), ELISA(Perestam et al., 2017), 분광법(del Moral et al., 2009; Monin, 1998), 크로마토그래피(Lucarini et al., 2018) 등 다양한 기술들이 이용된다. 그중 분광법은 식육을 판별할 때 신속하고 비파괴적으로 식별할 수 있는 장점이 있다. 이 기술은 육질 평가, 구성성분 분석, 부위, 변질 및 부패 여부를 판단하는 데 이용되고 있다(Bai et al., 2024; Prieto et al., 2009; Zhu et al., 2021). 그러나 분광법으로만 판별 시 정확도가 다소 낮은 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 방법으로 기존의 분광법 기술인 근적외선 분광법(NIRS)과 초분광 이미징(hyper-spectral imaging, HIS)을 융합하는 기술이 보고되었는데, 신선도 판별의 경우 92.6%의 높은 정확도가 확인된 바가 있다(Zhu et al., 2021).

최근에는 인공지능 기술(artificial intelligence, AI)을 활용한 식육 판별법이 보고되었다(Zhang et al., 2022). 즉, VIS/NIR 분광 데이터와 인공 신경망(ANN)과 같은 인공지능 기술을 이용하여 돼지고기의 품질 특성을 기존의 기술보다 더 높은 정확도로 예측하였다(Tang et al., 2023).

한편, 센서를 이용한 전자코 및 전자혀를 활용한 연구도 많이 이뤄지고 있다. 식육이 변질 또는 부패되는 과정에서 생성되는 다양한 휘발성 물질들을 정성 분석하여 신선도를 판별하

는 기술이 보고되었다(Andre et al., 2022; Zaytsev et al., 2024). 그러나, 센서를 이용할 경우 주위 환경에 영향을 받을 수 있으며, 정량 분석이 어려운 단점이 있다. 식육의 신선도 측정에 멀티센서를 이용하여 단일 센서의 오류를 최소화하고 딥러닝(심층신경망) 기술을 적용하여 판별 정확도를 90%으로 높일 수 있다고 보고되기도 했다(Jang et al., 2020). 이와 같이 최근 연구 동향은 기존의 분석 및 판별 기술을 보다 정확하고 신속하게 분석해낼 수 있는 방안에 대하여 연구되고 있다.

결론

식육 시장이 지속적인 성장에 따라 다양한 기술들이 육류를 식별하는데 이용되고 있다. 부정육은 육류 산업의 경제적 손해 외에도 소비자의 건강과 인식에도 영향을 미친다. 이에 식육 판별 기술은 중요하다. 기존의 기술들은 노동 집약적이거나 고가의 장비가 필요한 기술들이 대부분이다.

분석 시간소요를 단축시키기 위한 다양한 기술들이 활용되고 있으며 대표적으로 분광학 기반 기술이나 감각센서를 활용한 기술이 활용되고 있다. 하지만 이러한 분석기술 또한 대부분 현장에서 이용만 가능하고 소비자들이 쉽게 접근하기 어렵다.

본 연구에서는 현재 육류 식품에 활용되고 있는 축종, 품종, 육질, 그리고 부패의 부정육 판별 기술의 현황과 문제점을 파악하였다. 이를 종합해보면, 현재의 판별 기술들은 정확하지만 파괴적이고 소요 시간이 길고, 혹은 빠르고 편리하지만 정확도가 떨어지는 한계가 있다. 그리고 이들은 업계에서의 판별에 주로 활용되고 있으나, 이용자는 시험 기관이나 감독 기관으로 극히 한정적이다.

현장에서는 국내산 돼지고기와 수입산 돼지고기를 식별하기 위해 면역크로마토그래피 기술을 기반으로 한 키트를 제작하여 신속하게 판별하고 있다. 이와 같이 식육의 축종, 품종, 품질 및 각종 특성을 신속하게 구별해낼 수 있는 마커들을 발굴하여 신속하고 정확도 높은 판별 또는 검사 키트를 개발하는 것이 필요하다. 또한 육류 시장에서 소비단계에서도 소비자들이 직접 식육을 판별하는 기술 개발도 필요할 것이다.

Conflicts of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

Acknowledgments

National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by Korea government (MSIT) (2022R1A2C400236013).

Ethics Approval

This article does not require IRB/IACUC approval because

there are no human and animal participants.

Author Contributions

Conceptualization: Kim GD.

Data curation: Song S, Park J, Cheng H, Du L, Kim GD.

Writing - original draft: Song S, Park J.

Writing - review & editing: Song S, Park J, Cheng H, Du L, Baek J, Kim GD.

Author Information

Sumin Song (Ph.D. Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0001-7115-2253>

Junyoung Park (Ph.D. Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0003-2569-6422>

Huilin Cheng (Ph.D. Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0003-0628-3358>

Lixin Du (Master's Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0002-3287-5018>

Jaehoon Baek (Master's Student, Seoul National University)

<https://orcid.org/0009-0008-0143-0295>

Gap-Don Kim (Associate Professor, Seoul National University)

<https://orcid.org/0000-0001-5870-8990>

References

- Abbas O, Zadavec M, Baeten V, Mikuš T, Lešić T, Vulić A, Prpić J, Jemeršić L, Pleadin J. 2018. Analytical methods used for the authentication of food of animal origin. *Food Chem* 246:6-17.
- Alomar D, Gallo C, Castañeda M, Fuchslocher R. 2003. Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Meat Sci* 63:441-450.
- Andre RS, Facure MHM, Mercante LA, Correa DS. 2022. Electronic nose based on hybrid free-standing nanofibrous mats for meat spoilage monitoring. *Sens Actuators B Chem* 353:131114.
- Andrés S, Silva A, Soares-Pereira AL, Martins C, Bruno-Soares AM, Murray I. 2008. The use of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict beef *M. longissimus thoracis et lumborum* quality attributes. *Meat Sci* 78: 217-224.
- Bai J, Zang M, Shi Y, Xu C, Hao J, Li J, Wang S, Zhao Y. 2024. Identification and quantification of adulteration in

- frozen-thawed meat of different breeds by NIR spectroscopy and chemometrics. *J Food Compos Anal* 130:106192.
- Ballin NZ. 2010. Authentication of meat and meat products. *Meat Sci* 86:577-587.
- Behnke JR, Fennema O, Cassens RG. 1973. Rates of postmortem metabolism in frozen animal tissues. *J Agric Food Chem* 21:5-11.
- Berri C, Picard B, Lebret B, Andueza D, Lefèvre F, le Bihan-Duval E, Beauclercq S, Chartrin P, Vautier A, Legrand I, Hocquette JF. 2019. Predicting the quality of meat: Myth or reality? *Foods* 8:436.
- Buckley M. 2016. Species identification of bovine, ovine and porcine type 1 collagen; Comparing peptide mass fingerprinting and LC-based proteomics methods. *Int J Mol Sci* 17:445.
- Casaburi A, Piombino P, Nychas GJ, Villani F, Ercolini D. 2015. Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage. *Food Microbiol* 45:83-102.
- Cha JH, Choi BH, Park WC 2019. SNP marker set for Iberian pig breed identification. KOR Patent 10-2019-0160925.
- Cheng Q, Sun DW. 2008. Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances. *Crit Rev Food Sci Nutr* 48:137-159.
- Cheong HS, Kim LH, Namgoong S, Shin HD. 2013. Development of discrimination SNP markers for Hanwoo (Korean native cattle). *Meat Sci* 94:355-359.
- Cho SA, Kim HB, Kwak WR, Park YJ, Kim JN. 2014. Specific SNP composition in Hanwoo using NGS and identification method by suing the same. KOR Patent 10-2014-0149090.
- Chou CC, Lin SP, Lee KM, Hsu CT, Vickroy TW, Zen JM. 2007. Fast differentiation of meats from fifteen animal species by liquid chromatography with electrochemical detection using copper nanoparticle plated electrodes. *J Chromatogr B* 846:230-239.
- Claydon AJ, Grundy HH, Charlton AJ, Romero MR. 2015. Identification of novel peptides for horse meat speciation in highly processed foodstuffs. *Food Addit Contam A* 32:1718-1729.
- del Moral FG, Guillén A, del Moral LG, O'Valle F, Martínez L, del Moral RG. 2009. Duroc and Iberian pork neural network classification by visible and near infrared reflectance spectroscopy. *J Food Eng* 90:540-547.
- Di Luca A, Hamill RM, Mullen AM, Slavov N, Elia G. 2016. Comparative proteomic profiling of divergent phenotypes for water holding capacity across the post mortem ageing period in porcine muscle exudate. *PLOS ONE* 11: e0150605.
- Dissing BS, Papadopoulou OS, Tassou C, Ersbøll BK, Carstensen JM, Panagou EZ, Nychas GJ. 2013. Using multispectral imaging for spoilage detection of pork meat. *Food Bioprocess Technol* 6:2268-2279.
- Downey G, Hildrum KI. 2004. Analysis of meats. In *Near-infrared spectroscopy in agriculture*. Craig AR, Workman J Jr, Reeves JB (ed). American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp 599-632.
- Edwards DB, Bates RO, Osburn WN. 2003. Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for carcass and meat quality measures. *J Anim Sci* 81:1895-1899.
- Ercolini D, Casaburi A, Nasi A, Ferrocino I, Di Monaco R, Ferranti P, Mauriello G, Villani F. 2010. Different molecular types of *Pseudomonas fragi* have the same overall behaviour as meat spoilers. *Int J Food Microbiol* 142:120-131.
- Ercolini D, Russo F, Torrieri E, Masi P, Villani F. 2006. Changes in the spoilage-related microbiota of beef during refrigerated storage under different packaging conditions. *Appl Environ Microbiol* 72:4663-4671.
- Gagaoua M, Bonnet M, de Koning L, Picard B. 2018. Reverse phase protein array for the quantification and validation of protein biomarkers of beef qualities: The case of meat color from Charolais breed. *Meat Sci* 145:308-319.
- Gagaoua M, Terlouw EMC, Mullen AM, Franco D, Warner RD, Lorenzo JM, Purslow PP, Gerrard D, Hopkins DL, Troy D, Picard B. 2021. Molecular signatures of beef tenderness: Underlying mechanisms based on integromics of protein biomarkers from multi-platform proteomics studies. *Meat Sci* 172:108311.
- Gatmaitan AN, Lin JQ, Zhang J, Eberlin LS. 2021. Rapid analysis and authentication of meat using the MasSpec Pen technology. *J Agric Food Chem* 69:3527-3536.
- Godfray HCJ, Aveyard P, Garnett T, Hall JW, Key TJ, Lorimer J, Pierrehumbert RT, Scarborough P, Springmann M, Jebb SA. 2018. Meat consumption, health, and the environment. *Science* 361:eaam5324.
- Gottesmann P, Hamm R. 1983. New biochemical methods of differentiating between fresh meat and thawed, frozen

- meat. *Fleischwirtschaft* 63:219-221.
- Grecz N, Hammer TL, Robnett CJ, Long MD. 1980. Freeze-thaw injury: Evidence for double strand breaks in *Escherichia coli* DNA. *Biochem Biophys Res Commun* 93:1110-1113.
- Halász A, Baráth Á, Simon-Sarkadi L, Holzapfel W. 1994. Biogenic amines and their production by microorganisms in food. *Trends Food Sci Technol* 5:42-49.
- Han KD, Park JH, Mun SY, Shin WS, Oh DY. 2018. Molecular biomarker composition for identification of Korean native cattle and Holstein breeds through comparative genomics. KOR Patent 10-2018-0096852.
- Han KH, Kim NK, Lee SK, Cho JK, Choi KD, Jeon YJ, Lee CH. 2005. The development of differentiating method between fresh and frozen beef by using the mitochondrial malate dehydrogenase activity. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:1599-1605.
- Hanif S, Wijaya DR, Aji P. 2022. Random forest algorithm for meat classification and microbial population prediction. 2022 5th International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Yogyakarta, Indonesia. pp 337-342.
- Hansen E, Trinderup RA, Hviid M, Darré M, Skibsted LH. 2003. Thaw drip loss and protein characterization of drip from air-frozen, cryogen-frozen, and pressure-shift-frozen pork longissimus dorsi in relation to ice crystal size. *Eur Food Res Technol* 218:2-6.
- He Q, Yang M, Chen X, Yan X, Li Y, He M, Liu T, Chen F, Zhang F. 2021. Differentiation between fresh and frozen-thawed meat using rapid evaporative ionization mass spectrometry: The case of beef muscle. *J Agric Food Chem* 69:5709-5724.
- Hocquette JF, Gondret F, Baéza E, Médale F, Jurie C, Pethick DW. 2010. Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal* 4:303-319.
- Höll L, Behr J, Vogel RF. 2016. Identification and growth dynamics of meat spoilage microorganisms in modified atmosphere packaged poultry meat by MALDI-TOF MS. *Food Microbiol* 60:84-91.
- Holland RD, Wilkes JG, Rafii F, Sutherland JB, Persons CC, Voorhees KJ, Lay JO Jr. 1996. Rapid identification of intact whole bacteria based on spectral patterns using matrix-assisted laser desorption/ionization with time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom* 10:1227-1232.
- Hossain MAM, Uddin SMK, Sultana S, Bonny SQ, Khan MF, Chowdhury ZZ, Johan MR, Ali ME. 2019. Heptaplex polymerase chain reaction assay for the simultaneous detection of beef, buffalo, chicken, cat, dog, pork, and fish in raw and heat-treated food products. *J Agric Food Chem* 67:8268-8278.
- Jang A, Kim HJ, Kim M. 2020. Deep learning-based analysis of meat freshness measurement. *J Broadcast Eng* 25: 418-427.
- Jang IS, Choi JS, Yang KE, Lee DG, Park HK, Ham CH. 2014. SPR kit for discriminating cow-meat specific age and method for discriminating cow-meat specific age. KOR Patent 10-2011-0123858.
- Jeong JY, Kim GD, Yang HS, Joo ST. 2011. Effect of freeze-thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle. *Food Res Int* 44:3222-3228.
- Jia W, Liang G, Wang Y, Wang J. 2018. Electronic noses as a powerful tool for assessing meat quality: A mini review. *Food Anal Methods* 11:2916-2924.
- Juárez M, Alcalde MJ, Horcada A, Molina A. 2008. Southern Spain lamb types discrimination by using visible spectroscopy and basic physicochemical traits. *Meat Sci* 80:1249-1253.
- Jung KC, Kim MJ, Kim JW, Chae YJ, Kim BY, Lee SH. 2021. Pork origin identification kit and pork origin identification method using the same. KOR Patent 10-2021-0015895.
- Katiyo W, de Kock HL, Coorey R, Buys EM. 2020. Sensory implications of chicken meat spoilage in relation to microbial and physicochemical characteristics during refrigerated storage. *LWT-Food Sci Technol* 128:109468.
- Kim GD, Seo JK, Yum HW, Jeong JY, Yang HS. 2017. Protein markers for discrimination of meat species in raw beef, pork and poultry and their mixtures. *Food Chem* 217:163-170.
- Koh B. 2010. PCR or real-time PCR primers for identification of animal species, the kit comprising the primers, and the method for identifying animal species using the primers or kits. KOR Patent 10-2010-0098977.
- Labadie J. 1999. Consequences of packaging on bacterial growth. Meat is an ecological niche. *Meat Sci* 52:299-305.

- Lee HJ, Park MR, Hwang BJ, Kim DU, Hong SK, Yoon DH, Lee BS. 2010. Biomarker protein for detecting Hanwoo eye of round. KOR Patent 10-2010-0056574.
- Lee J, Lee S, Seo D, Kim H. 2019. SNP marker set for discriminating genetic background and cultivar of Korean native chicken and uses thereof. KOR Patent 10-2019-0161201.
- Li J, Li Z, Ran J, Yang C, Lin Z, Liu Y. 2022. LC/MS-based lipidomics to characterize breed-specific and tissue-specific lipid composition of chicken meat and abdominal fat. *LWT-Food Sci Technol* 163:113611.
- Li Y, Zhang Y, Li H, Zhao W, Guo W, Wang S. 2018. Simultaneous determination of heat stable peptides for eight animal and plant species in meat products using UPLC-MS/MS method. *Food Chem* 245:125-131.
- Liu Y, Barton FE, Lyon BG, Windham WR, Lyon CE. 2004. Two-dimensional correlation analysis of visible/near-infrared spectral intensity variations of chicken breasts with various chilled and frozen storages. *J Agric Food Chem* 52:505-510.
- Liu Y, Chen YR. 2000. Two-dimensional correlation spectroscopy study of visible and near-infrared spectral variations of chicken meats in cold storage. *Appl Spectrosc* 54:1458-1470.
- López-Maestresalas A, Insausti K, Jarén C, Pérez-Roncal C, Urrutia O, Beriain MJ, Arazuri S. 2019. Detection of minced lamb and beef fraud using NIR spectroscopy. *Food Control* 98:465-473.
- Loutfi A, Coradeschi S, Mani GK, Shankar P, Rayappan JBB. 2015. Electronic noses for food quality: A review. *J Food Eng* 144:103-111.
- Lucarini M, Durazzo A, Sánchez del Pulgar J, Gabrielli P, Lombardi-Boccia G. 2018. Determination of fatty acid content in meat and meat products: The FTIR-ATR approach. *Food Chem* 267:223-230.
- Mahama S, Waloh N, Chayutsatid C, Sirikwanpong S, Ayukhen A, Marnpae M, Nungarlee U, Petchareon P, Munaowaroh W, Khemtham M, Ngamukote S, Noppornpunth V, Dahlan W. 2020. Postmarket laboratory surveillance for forbidden substances in Halal-certified foods in Thailand. *J Food Prot* 83:147-154.
- Maltin C, Balcerzak D, Tilley R, Delday M. 2003. Determinants of meat quality: Tenderness. *Proc Nutr Soc* 62:337-347.
- Mancinelli AC, Silletti E, Mattioli S, Dal Bosco A, Sebastiani B, Menchetti L, Koot A, van Ruth S, Castellini C. 2021. Fatty acid profile, oxidative status, and content of volatile organic compounds in raw and cooked meat of different chicken strains. *Poult Sci* 100:1273-1282.
- Marikkar JMN, Mirghani MES, Jaswir I. 2016. Application of chromatographic and infra-red spectroscopic techniques for detection of adulteration in food lipids: A review. *J Food Chem Nanotechnol* 2:32-41.
- Martino MN, Otero L, Sanz PD, Zaritzky NE. 1998. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. *Meat Sci* 50:303-313.
- Martino MN, Zaritzky NE. 1988. Ice crystal size modifications during frozen beef storage. *J Food Sci* 53:1631-1637.
- Melton SL. 1990. Effects of feeds on flavor of red meat: a review. *J Anim Sci* 68:4421-4435.
- Molina-García AD, Otero L, Martino MN, Zaritzky NE, Arabas J, Szczepek J, Sanz PD. 2004. Ice VI freezing of meat: Supercooling and ultrastructural studies. *Meat Sci* 66:709-718.
- Monin G. 1998. Recent methods for predicting quality of whole meat. *Meat Sci* 49:S231-S243.
- Mushi DE, Eik LO, SØrheim O, Ådnøy T, Haugen JE. 2008. Effect of animal sex and time of slaughter on sensory quality of meat from Norwegian lamb. *Acta Agriculturae Scand Section A* 58:31-36.
- Murray SR, Butler RC, Timmerman-Vaughan GM. 2009. Quantitative real-time PCR assays to detect DNA degradation in soy-based food products. *J Sci Food Agric* 89:1137-1144.
- Nam JO, Nam BR, Park JM, Choi JH, Kim CJ, Kim JM. 2006. Identification of Hanwoo (Korean native cattle) beef by real-time PCR in South Korea. 52nd International Congress of Meat Science and Technology, Dublin, Ireland. pp 87-88.
- Nam YS, Kim SB, Baik MA, Koo KH, Hong KW. 2004. Probe for detecting Hanwoo and method of detecting Hanwoo using the same. KOR Patent 10-2004-0041266.
- Nolasco-Perez IM, Rocco LACM, Cruz-Tirado JP, Pollonio MAR, Barbon S Jr, Barbon APAC, Barbin DF. 2019. Comparison of rapid techniques for classification of ground meat. *Biosyst Eng* 183:151-159.
- Nychas GJE, Skandamis PN, Tassou CC, Koutsoumanis KP.

2008. Meat spoilage during distribution. *Meat Sci* 78:77-89.
- Oh M, Kim EK, Jeon BT, Tang Y, Kim MS, Seong HJ, Moon SH. 2016. Chemical compositions, free amino acid contents and antioxidant activities of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) beef by cut. *Meat Sci* 119:16-21.
- Panigrahi S, Balasubramanian S, Gu H, Logue C, Marchello M. 2006. Neural-network-integrated electronic nose system for identification of spoiled beef. *LWT-Food Sci Technol* 39:135-145.
- Papadopoulou O, Panagou EZ, Tassou CC, Nychas GJE. 2011. Contribution of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy data on the quantitative determination of minced pork meat spoilage. *Food Res Int* 44:3264-3271.
- Park JH, Hyun CK, Jeong SK, Yi MA, Ji ST, Shin HK. 2000. Use of the single cell gel electrophoresis assay (comet assay) as a technique for monitoring low-temperature treated and irradiated muscle tissues. *Int J Food Sci Technol* 35:555-561.
- Park W, Lim D, Choi BH, Park JE, Shin MC, Cho IC, Chai HH, Lim YJ. 2021. Composition for discriminating Nanchukmacdon pork meat and use thereof. KOR Patent 10-2021-0066802.
- Park YC, Lee HJ, Kim KH, Lee JH, Cho TY, Han SB, Lee KH, Yoon HS. 2012. Development of PCR primers for species identification of meat. KOR Patent 10-2012-0059414.
- Park YH, Uzzaman MR, Park JW, Kim SW, Lee JH, Kim KS. 2013. Detection of meat origin (species) using polymerase chain reaction. *Korean J Food Sci Anim Resour* 33: 696-700.
- Perestam AT, Fujisaki KK, Nava O, Hellberg RS. 2017. Comparison of real-time PCR and ELISA-based methods for the detection of beef and pork in processed meat products. *Food Control* 71:346-352.
- Połka J, Rebecchi A, Pisacane V, Morelli L, Puglisi E. 2015. Bacterial diversity in typical Italian salami at different ripening stages as revealed by high-throughput sequencing of 16S rRNA amplicons. *Food Microbiol* 46:342-356.
- Prieto N, Andrés S, Giráldez FJ, Mantecón AR, Lavín P. 2008. Ability of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to estimate physical parameters of adult steers (oxen) and young cattle meat samples. *Meat Sci* 79:692-699.
- Prieto N, Roche R, Lavín P, Batten G, Andrés S. 2009. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *Meat Sci* 83:175-186.
- Putra GB, Prakasa E. 2020. Classification of chicken meat freshness using convolutional neural network algorithms. 2020 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing and Technologies (3ICT), Sakheer, Bahrain. pp 1-6.
- Rady A, Adedeji A. 2018. Assessing different processed meats for adulterants using visible-near-infrared spectroscopy. *Meat Sci* 136:59-67.
- Ramsbottom JM, Koonz CH. 1939. Freezing temperature as related to drip of frozen-defrosted beef. *J Food Sci* 4:425-431.
- Ritota M, Casciani L, Failla S, Valentini M. 2012. HRMAS-NMR spectroscopy and multivariate analysis meat characterisation. *Meat Sci* 92:754-761.
- Santos J, Oliveira MBPP. 2017. Chromatography: Introduction to chromatography – techniques. In *Food authentication: Management, analysis and regulation*. Georgiou CA, Danezis GP (ed). pp 199-232. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- Sanz PD, de Elvira C, Martino M, Zaritzky N, Otero L, Carrasco JA. 1999. Freezing rate simulation as an aid to reducing crystallization damage in foods. *Meat Sci* 52:275-278.
- Sarah SA, Faradalila WN, Salwani MS, Amin I, Karsani SA, Sazili AQ. 2016. LC-QTOF-MS identification of porcine-specific peptide in heat treated pork identifies candidate markers for meat species determination. *Food Chem* 199:157-164.
- Seng P, Drancourt M, Gouriet F, La Scola B, Fournier PE, Rolain JM, Raoult D. 2009. Ongoing revolution in bacteriology: Routine identification of bacteria by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. *Clin Infect Dis* 49:543-551.
- Sentandreu MÁ, Sentandreu E. 2014. Authenticity of meat products: Tools against fraud. *Food Res Int* 60:19-29.
- Seo YW, Kim GY, Lee AY, Cho SH. 2019. Apparatus and method for determining beef grade. KOR Patent 10-2019-0166148.
- Shahbandeh M. 2023. Meat industry value worldwide in 2021 and forecast for 2022 and 2027 (in billion U.S. dollars). Available from: <https://www.statista.com/statistics/502286/>

- global-meat-and-seafood-market-value/. Accessed at Jul 9, 2024.
- Shahidi F, Rubin LJ, D'Souza LA, Teranishi R, Buttery RG. 1986. Meat flavor volatiles: A review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation. *Crit Rev Food Sci Nutr* 24:141-243.
- Stachniuk A, Sumara A, Montowska M, Fornal E. 2021. Peptide markers for distinguishing guinea fowl meat from that of other species using liquid chromatography–mass spectrometry. *Food Chem* 345:128810.
- Surányi J, Zaukuu JLZ, Friedrich L, Kovacs Z, Horváth F, Németh C, Kókai Z. 2021. Electronic tongue as a correlative technique for modeling cattle meat quality and classification of breeds. *Foods* 10:2283.
- Tang X, Rao L, Xie L, Yan M, Chen Z, Liu S, Chen L, Xiao S, Ding N, Zhang Z, Huang L. 2023. Quantification and visualization of meat quality traits in pork using hyperspectral imaging. *Meat Sci* 196:109052.
- Toldrá F, Torrero Y, Flores J. 1991. Simple test for differentiation between fresh pork and frozen/thawed pork. *Meat Sci* 29:177-181.
- Torrico DD, Hutchings SC, Ha M, Bittner EP, Fuentes S, Warner RD, Dunshea FR. 2018. Novel techniques to understand consumer responses towards food products: A review with a focus on meat. *Meat Sci* 144:30-42.
- Uhlířová L, Tůmová E, Chodová D, Vlčková J, Ketta M, Volek Z, Skřivanová V. 2017. The effect of age, genotype and sex on carcass traits, meat quality and sensory attributes of geese. *Asian-Australas J Anim Sci* 31:421.
- Vinci G, Antonelli ML. 2002. Biogenic amines: Quality index of freshness in red and white meat. *Food Control* 13:519-524.
- Wachholz D, Kauffman RG, Henderson D, Lochner JV. 1978. Consumer discrimination of pork color at the market place. *J Food Sci* 43:1150-1152.
- Wagner JR, Añon MC. 1985. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. *Int J Food Sci Technol* 20:735-744.
- Wojnowski W, Majchrzak T, Dymerski T, Gębicki J, Namieśnik J. 2017. Electronic noses: Powerful tools in meat quality assessment. *Meat Sci* 131:119-131.
- Zaytsev V, Tutukina MN, Chetyrkina MR, Shelyakin PV, Ovchinnikov G, Satybaldina D, Kondrashov VA, Bandurist MS, Seilov S, Gorin DA, Fedorov FS, Gelfand MS, Nasibulin AG. 2024. Monitoring of meat quality and change-point detection by a sensor array and profiling of bacterial communities. *Anal Chim Acta* 1320:343022.
- Zhang Y, Zheng M, Zhu R, Ma R. 2022. Adulteration discrimination and analysis of fresh and frozen-thawed minced adulterated mutton using hyperspectral images combined with recurrence plot and convolutional neural network. *Meat Sci* 192:108900.
- Zhu R, Bai Z, Qiu Y, Zheng M, Gu J, Yao X. 2021. Comparison of mutton freshness grade discrimination based on hyperspectral imaging, near infrared spectroscopy and their fusion information. *J Food Process Eng* 44: e13642.
- Zhu S, le Bail A, Ramaswamy HS, Chapleau N. 2004. Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. *J Food Sci* 69:FEP190-FEP197.
- Zia Q, Alawami M, Mokhtar NFK, Nhari RMHR, Hanish I. 2020. Current analytical methods for porcine identification in meat and meat products. *Food Chem* 324:126664.

© Copyright. Korean Society for Food Science of Animal Resources.

Date Received Jul. 9, 2024

Date Revised Jul. 9, 2024

Date Accepted Aug. 10, 2024