

아질산염 및 육제품 소비가 건강에 미치는 영향

Effect of Dietary Sodium Nitrite and Meat Product on Human Health and Disease

이승연, 이다영, 허선진* (Seung Yun Lee, Da Young Lee, Sun Jin Hur*)

중앙대학교 생명자원공학부 동물생명공학과

Department of Animal Science and Technology, Chung-Ang University

서론

세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구기구(IARC, International Agency for Research on Cancer)는 적색육 및 가공육의 섭취가 대장암 발생에 영향을 줄 수 있다고 발표하였다. IARC working group 전문가들은 적색육의 소비가 체내 대장암을 발병한다는 불충분한 자료를 제시한 문헌들을 바탕으로 적색육을 “probably carcinogenic” (Group 2A)로 분류하였다. 또한, 가공육의 경우는 가공육의 소비가 대장암을 발병시킨다는 자료를 제시하여 “carcinogenic”(Group 1)으로 분류되었다(Turesky, 2018). 대장암 발병은 고기의 헴철, N-nitroso 화합물, heterocyclic amines 및 polycyclic aromatic hydrocarbon의 성분들이 genotoxicity 및 colon mucosa의 대사장애를 발생시킬 수 있기 때문에 이들의 함량과 관련이 있다고 알려져 있다(Bastide et al., 2011; Steinberg, 2019). 이전 연구들은 가공육 소비로 인한 대장암 발병은 고기 가공 중 아질산나트륨(sodium nitrite) 첨가와 밀접한 관련이 있다고 보고해왔다(Aykan, 2015; Cantwell and Elliott, 2017; Crowe et al., 2019). 아질산나트륨은 위장관에서 amines, amides 및 기타 질산화 반응과 관련된 전구체(nitrosation precursors)와 반응하여 강력한 발암물질인 N-nitroso 화합물을 형성한다(Kobayashi, 2018). 그러나, 아질산염/질산염 및 nitric oxides(NO)와 같은 관련 nitrogen species가 건강에 미치는 영향에 관한 과학적 논란이 점점 증가하고 있다(Karwowska and Kononiuk, 2020). 유럽식품안전청(EFSA, European Food Safety Authority)은 대부분의 질산염의 주요 식이 공급원은 채소와 과일이며, 이들은 영국과 프랑스에서 전체 식이 섭취량의 50%에서 75%를 차지한다고 보고했다(EFSA, 2008). 또한, 육류 소비와 대장암 발병률 간의 상관관계는 여러 문헌들(Hur et al., 2019; Luciano, 2009; Yang et al., 2016)에 의해 모순되는 경향이 있으므로 논란의 여지가 있다. 또한, 이전 자료에서 대장암의 발병률은 육류 소비보다 식습관, 알코올 섭취, 흡연, 스트레스, 운동, 건강 검진 빈도, 환경오염과 같은 다양한 요인들과 더 밀접한 관련이 있다고 나타났다(Hur et al., 2019). 따라서, 식품 내 아질산염의 대사작용을 확인하고, 아질산염과 육류 소비가 건강에 미치는 영향에 대해 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

*Corresponding author: Sun Jin Hur
Department of Animal Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong 17546, Korea
Tel: 031-670-4673
Homepage: <http://blog.naver.com/clahur>
Email: hursj@cau.ac.kr

국내·외 육제품 내 아질산염 함량

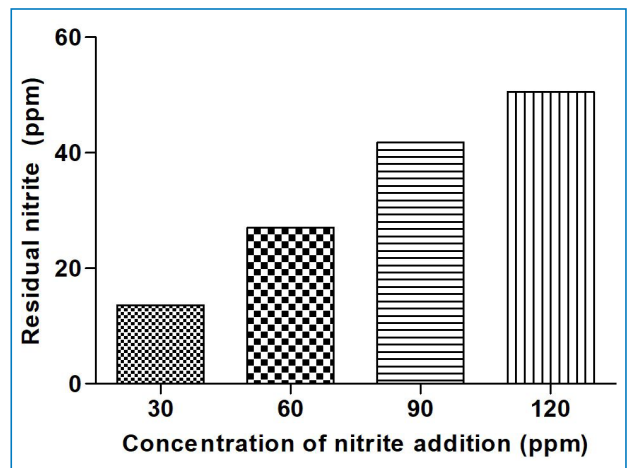
육제품에서 아질산염의 주요 역할은 색 고정, 향미 증진, 항산화 활성 및 항균(*Clostridium botulinum*) 작용이 있다(Flores and Toldrá, 2021; Govari and Pexara, 2015; Hur et al., 2015; Pegg and Shahidi, 2008; Sindelar and Houser, 2009). 아질산염은 여러 단계를 거쳐 NO로 분해될 수 있으며, 이러한 NO는 고기의 헴 색소(myoglobin)와 안정적으로 결합되어, 조리된 육제품에서 안정적인 분홍색을 유지할 수 있게 된다. 육색에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 myoglobin의 화학적 상태와 함량이다. 그러나, 아질산염에 의한 육류의 향과 맛이 개선되는 이유는 아직도 불분명하다(Sebranek and Bacus, 2007).

육제품의 아질산염 및 질산염 첨가기준은 국가별로 차이가 있으나, 육제품의 잔류량은 우리나라, 미국 및 유럽에서 동일한 기준으로 표기된다. 또한, 국제식품규격위원회(CODEX, Codex Alimentarius Commission)는 첨가량으로 식품 첨가기준을 표기한다. FAO/WHO의 공동식품 기준인 CODEX에 따르면, 가공육에서 아질산염 또는 질산염이 사용될 때, 아질산나트륨은 최종 제품에 kg당 200 mg 이상 첨가해서는 안된다(Codex Alimentarius; U.S. Food and Drug Administration). 육제품 내 합성 아질산염 잔량은 제품 가열 후 저장기간 중에 감소한다.

우리나라를 포함한 많은 아시아 국가에서는 가공육 내 아질산염 최대 잔류량은 70 ppm 이하가 되도록 엄격하게 규제되고 있다(Ministry of Food and Drug Safety, 2011). Ham 등(Ham et al., 2003)은 국내 육제품 450개의 아질산염 함량을 조사하였다. 그 결과, 평균적으로 헴 제품은 11 ppm(0-55 ppm), 소시지는 14 ppm(0-45 ppm), 베이컨은 11 ppm(0-89 ppm), 분쇄육은 5 ppm(0-40 ppm)의 아질산염을 함유하는 것으로 나타났다. 아질산염이 10 ppm 이상 포함된 샘플은 햄(45.9%), 소시지(62.5%), 베이컨(37.5%) 및 분쇄육(12.5%)으로 나타났다(RDA, 2015). 반면에, 30 ppm

이상 아질산염이 함유된 제품은 햄 14개, 소시지 5개, 베이컨 1개, 분쇄육 1개로 나타나, 가공육에서 아질산염의 사용이 매우 빈번하다는 것으로 나타났다. 한국보건산업진흥원은 햄, 베이컨, 소시지의 아질산염 이온 함량을 조사한 결과, 최소 1.2 ppm에서 최대 9.4 ppm으로 나타났으며, 반면에 검출 평균 아질산염 함량은 최소 1.8 ppm에서 최대 11.0 ppm으로 나타났다(Korea Health Industry Development Institute, 2004). 또한, 2012년에서 2014년까지 3년간 서울지역에서 가공육 시료 1,271개의 아질산염 이온 함량을 측정된 결과, 극히 소량에서 63 ppm까지 다양한 범위 수준을 나타냈다(Kim et al., 2014). 또한, 농촌진흥청은 유화형 소시지의 제조과정에서 아질산염은 30, 60, 90 및 120 ppm으로 첨가되었고, 75℃에서 40분간 가열시킨 후, 아질산염 잔류량을 측정하였다(RDA, 2015). 그 결과, 유화형 소시지의 아질산염 잔류량은 제시된 아질산염 첨가량에 따라 13.6, 27, 41.8 및 50.6 ppm으로 각각 나타났다(Fig. 1). 이 결과는 열처리 후에도 첨가된 아질산염의 약 45%가 변하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로, 유화형 소시지 내 아질산염 잔류량을 계산하였으며, 유화형 소시지 제조할 때 초기에 아질산염을 1 ppm 첨가하면 최종제품에 약 0.451 ppm 남을 것이라고 추정하였다. 또한, 아질산염을 첨가한 유화형 소

Fig 1. Concentration of residual nitrite (ppm). Adapted and modified from Rural Development Administration (2015).

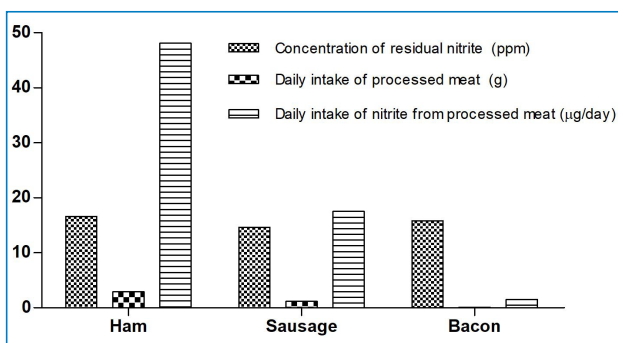


시지 내 아질산염 잔류량은 저장기간이 증가할수록 계속 감소하는 것으로 나타났다(RDA, 2015). 그러므로, 아질산염은 육제품의 취급 및 저장뿐만 아니라, 열처리 공정과 같은 가공 과정 중에도 아질산염이 지속적으로 감소된다. Fig. 2 자료에 의하면, 육제품에 의한 아질산염 섭취는 매우 낮으며, 햄은 48.1 µg, 소시지는 17.5 µg, 베이컨은 1.5 µg에 불과하다고 나타났다(Korea Food Safety Research Institute, 2011). 이 기준은 외국의 가공육제품 내 질산염의 잔류량 기준보다 훨씬 낮기 때문에 안전하다고 간주된다. 한국식품안전연구원은 육제품의 아질산염 함량은 햄에서 16.6 ppm, 소시지에서 14.6 ppm 및 베이컨 15.8 ppm으로 나타났으며, 이 가공육의 일일 섭취량은 각각 2.9 g, 1.2 g 및 0.1 g으로 각각 나타났다고 보고하였다. 또한, 국내 가공육과 같은 가공식품의 평균 소비량에 따라 아질산염의 일일 섭취량을 분석한 결과, 하루 평균 섭취량은 0.87 µg/체중 kg/일로, 이 수치는 일일 허용 섭취량의 1.25% 불과한 것으로 나타났다(Lee et al., 2006). 이 결과는 일반적인 우려와 달리, 가공식품을 통한 아질산염의 섭취는 낮은 것을 의미한다. 뿐만 아니라, 외국의 아질산염 섭취량 평균치를 비교하였을 때, 우리나라의 아질산염 일일 섭취량은 상대적으로 낮았으며, 영국의 3.6%, 일본의 14.7%의 수준인 것으로 나타났다.

미국에서도, 최종제품 내 아질산나트륨은 200 ppm 미만, 질산나트륨은 500 ppm 미만으로 포함하도록 규

제하고 있다(U.S. Food and Drug Administration). 유럽에서는 아질산염이 NPS(nitrite pickling salt) 형태로 혼합 및 제공되어야 하며, 아질산염 잔류량은 멸균 식육가공품 kg당 100 mg 및 기타 육제품은 kg당 150 mg으로 제한한다. 또한, 질산염은 일반 육제품에서 kg당 150mg이지만, 일부 조리법은 햄과 베이컨에서 kg당 250-300 mg으로 제한한다(Publications Office of the European Union, 2011). 이와 같이 가공육제품에서 아질산 및 질산염 함량은 규제되고 있으며, 가공육제품의 아질산염 및 질산염의 함량이 각 나라에 따라 다른 것으로 나타났다. 호주의 경우, 햄과 후랑크 햄의 아질산염 함량이 가장 높았으나, 미국에서는 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 호주에서 육제품의 아질산염 함량은 호주와 뉴질랜드 식품 표준 당국에서 설정한 최대 허용도인 125 ppm보다는 낮은 수준이었다. Crow 등(2019)은 총 베이컨의 평균 아질산염 함량이 10.80 mg/kg으로 분석하였으며, 중간 부위 베이컨의 아질산염 함량은 back 베이컨(8.87 mg/kg)과 medallion 베이컨(4.47 mg/kg)에 비해 유의적으로 높은 26 mg/kg의 수치를 나타냈다. 그들은 영국에서 판매되는 베이컨의 아질산염 평균 잔존량은 큰 변동성이 있으며, 모든 수치는 현재 규제에 준하는 수준이라고 밝혔다. 따라서, 육제품에 사용된 질산염의 잔류량은 규제 기준보다 현저히 낮으며, 특히 국내 가공육과 같은 가공식품의 섭취량이 낮기 때문에 육제품의 적절한 섭취는 안전하며 무리가 없다고 판단된다.

Fig 2. Concentration of residual nitrite and daily intake of processed meats. Adapted and modified from Korea Food Safety Research Institute (2010).



육제품 내 사용되는 아질산염의 안정성 논란

육제품 소비의 안전성에 대한 논란은 1970년대 초에 시작됐으며, 아질산염이 첨가된 육제품이 아민과 반응하여 발암성 nitrosamine을 형성했다는 보고가 있는 후에 시작되었다(Hur et al., 2015). 이러한 논란에도 불구하고, 아질산염은 *Clostridium botulinum*의 성장을 억제할 수 있는 유일한 첨가제이기 때문에 아직까지 육제품에 흔히 사용되고 있다. 실제로 단백질 분해에 의해

생성된 amine이나 아질산염이 포함된 육제품이 고온에서 조리된 경우 발생한 nitrosamine이 발암물질이지, 아질산염 자체는 발암물질이라 할 수 없다(Bharucha et al., 1979; Hur et al., 2015). 이러한 사실에도 불구하고, 아질산염을 대체하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있으며, “natural curing”이라는 공정이 일부 육제품에 적용되어, 현재 “합성 아질산염 무첨가” 육제품을 만드는 데 사용되고 있다(Siekman et al., 2021). 이 기술은 염지 과정에서 기존에 사용된 합성 아질산염을 대체하는 데 사용되고 있으며, 채소 내 많이 함유된 질산염을 이용하고 있다(Hwang et al., 2017; Jeong et al., 2020; Rivera et al., 2019). 가공육 제조과정에서, 풍부한 질산염을 함유한 채소 추출물(파슬리, 셀러리, 양배추, 시금치, 비트, 상추, 무 등)과 발효균은 혼합되어 첨가된다. 이때, 질산염의 일부는 박테리아를 통해 아질산염으로 환원되는데, 그것은 염지 과정 중에 가공육을 제조하는 데 필요한 합성 아질산염을 대체할 수 있을 정도로 효과적이다(Krause, 2009; Sullivan, 2011). 육제품 내 아질산염을 대체하는 방법은 새롭게 시도되고 있으나, 질산염을 첨가하지 않은 육제품을 제조하는 방법이 기존의 방법이 아니라는 이유로 아질산염 대체제로서 어느 정도까지 실행이 가능한지에 대한 논란이 진행 중에 있다(Hur et al., 2015; Rivera et al., 2019). 그럼에도 불구하고 국내뿐만 아니라, 유럽과 미국에서는 판매되는 육제품에 채소 분말을 추가하여 아질산염을 대체하는 방법을 사용하여 시장에 진출하였으며, 이와 같은 지속적인 연구는 육제품의 안전성과 품질 안정성에 긍정적인 효과를 나타냈다(Sebranek and Bacus, 2007; Sindelar and Milkowski, 2011). 또한, 아질산염을 첨가한 기존 제조 방법에 비해, 가공육에 아질산염 이온 첨가량 및 잔량이 점차 감소하는 경향을 보아, 아질산염으로 인한 가공육 섭취 위험이 더욱 감소되는 것으로 사료된다(Hur et al., 2015). 이전 연구에 의하면, 미국 내 육제품의 아질산염 잔량은 핫도그, 베이컨 및 햄에서 7 ppm으로 나타났으며, 이 결과는 1980년대에 제조된 육제품의 아질산염 잔량에 비해 약 80% 감소한 수치이다.

그러므로, 육제품에 의한 아질산염 섭취는 극히 적을 것으로 사료된다. 실제로, 가공육 소비에 의한 아질산염의 섭취는 매우 적다. FAO/WHO합동식품첨가물 전문가위원회(JECFA, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)에서 발표한 육제품의 아질산염 허용량인 체중(kg) 당 0.70 μg 에 비하면 한국인의 아질산염 일일 섭취량은 0.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었고, 이 수치는 1.25%에 해당하는 아주 미약한 수치이다. 또한, 국내 7종의 아질산염의 포함된 제품(햄, 베이컨, 소시지, 어류, 염장 어류, 케이크, 육포 및 가공육) 내 아질산염 평균 섭취량을 조사하였으며, 그 결과 제시된 7종의 식품을 모두 섭취하게 되면, 매일 약 체중 kg 당 0.7 μg 소비하는 것으로 나타났다. 벨기에에서 가공육의 아질산염 섭취량은 약 kg당 3 μg 으로(Bryant and Sanctorem, 2021), 국내 예상 섭취량보다는 높지만, 일일 허용량보다는 현저하게 낮은 수치이다. 이러한 결과는 우리나라의 우려와는 달리, 가공식품을 통해 섭취한 아질산염은 매우 낮은 것을 나타내고 있으며, 이는 가공식품에 의한 아질산염의 섭취가 인간의 건강에 많은 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다.

채소 및 기타 요인에 의한 아질산염의 섭취

Bryan 등(Bryan et al., 2005)은 아질산염 이온 및 nitroso 화합물은 식품으로부터 섭취된 아질산염에 의해 영향을 받는다고 보고하였다. WHO/IARC를 비롯한 여러 역학 연구에 따르면, 육제품의 섭취는 암 발생과 관련이 있다고 보고했지만, 체내로 유입되는 질산염 및 아질산염은 육제품뿐만 아니라, 채소, 곡류, 분유, 염장 어류 및 맥주 등을 통해 섭취될 수 있다고 보고하였다(Ferysiuk and Wójciak, 2020; Griesenbeck et al., 2009; Yurchenko and Mölder, 2006). 이전 연구 자료들을 통해서도, 채소와 과일이 재배되는 지역에 따라 천연식품의 질산염과 아질산염의 변이가 크게 나타났으며, 다양한 천연식품에서 아질산염과 아질산염의 농도가 높은 것으로 나타났다(Table 1). 또한, 채소 등의 식

Table 1. Concentration of nitrites and nitrates in foods

Foods	Nitrite (mg/kg)	Nitrate (mg/kg)
Cabbage	0.17-11.7	82.2-480
Carrot	4.3-12.6	2,422.4-2,610
Celery	61.7	1,754.90
Chicory	0.18-9.03	32-877
Cucumber	2.3-7.2	347-1,100
Egg plant	2.1-4.5	35.7-650
Garlic	1.1	382
Green onion	0.28-16	962-1,725
Lettuce	1.9-4.9	36-609
Onion	3.6-138.4	1,710-2,336.4
Parsley	0.5-5.6	54-376
Potato	15.7	357.7
Pumpkin	3.9	71.3
Sweet potato	0.82-5.5	6.4-175
Tomato	0.17-5.4	436-1,980
Apple	5.1	103
Banana	52	444
Cherries	4.2	212
Grapes	7.1	160
Kiwi	5.5	96.5
Melon	4.2-7.65	33.64-223
Orange	4.5	132
Pears	4.3	173
Tangerine	5.3	326
Watermelon	4.8-5.5	26.61-110

물성 섭취를 통해 섭취된 체내 질산 나트륨 함량은 전체 섭취량의 80~90% 달하는 것으로 나타났다(Cassens, 1997; Ma et al., 2018; Sindelar and Milkowski, 2012; Yong et al., 2021).

아질산염이 체내에 미치는 영향

고농도로 섭취된 아질산염은 혈액 속의 헤모글로빈과 결합하여 철을 산화시켜(Fe²⁺ 이온이 Fe³⁺

로 전환) methemoglobin을 형성한다고 알려져 있다(Chamandoost et al., 2016; Cvetković et al., 2019; De Mey et al., 2017). 즉, 헤모글로빈의 산소 운반 능력이 감소되어 청색증(methemoglobinemia)이나 빈혈저산소증을 일으킬 수 있다. 어린아이의 경우, nicotinamide adenine dinucleotide(NADH) cytochrome b5 reductase(NADH-methemoglobin reductase)의 환원된 효소 체계가 아질산 독성에 대해 보호하는 능력이 충분하지 않기 때문에 아질산염에 의한 청색 반응은 더 심각할 수도 있다(L'hirondel, 1999).

반면에, 식품 내 질산염은 아질산염과 NO으로 환원되며, 특히, 환원에 의해 생성된 체내에서 매우 중요한 신호물질인 NO는 체내의 모든 기관에서 다양한 역할을 한다(Esplugues, 2002; Oliver et al., 2021). NO는 시냅스 소포에 저장되지는 않지만, 요구에 따라 합성되어 주변 뉴런에 빠르게 확산된다(Martina et al., 2012). NO는 모든 장기들에 영향을 미치기도 하며, NO 생성과 신호 전달의 비정상적 반응은 다양한 증상과 질병을 일으킨다(Moncada and Higgs, 1991). 그러므로, NO는 적정 수준으로 유지되는 것은 건강과 질병 예방에 매우 중요하다. Nassem(2005)은 심혈관 질환 발생률과 사망률의 증가는 NO 생성 감소와 관련이 있다고 제안했다. 뿐만 아니라, 혈행 개선 및 타액 내 아질산염에 의해 증가된 위산의 항균활성을 나타냈고(Benjamin et al., 1994; Yoshida and Kasama, 1987), 혈장 내 아질산염 이온 농도는 심혈관 질환이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다(Kleinbongard et al., 2006). 이전 연구들도(Bryan and Loscalzo, 2017; Lundberg et al., 2009; Lundberg et al., 2008), 일부 질병은 식품에서 섭취된 아질산 이온과 NO에 의해 억제될 수 있다고 하였다. 아질산 이온은 체내에서 생성되고 순환될 때, 말초 조직에서 흡수되고, 세포에 저장될 수 있다(Ma et al., 2018; Martina et al., 2012). 또한, NO는 식욕 억제에도 관여하는데, 이는 NO 생성을 억제하는 물질을 반복 투여한 경우, 비만 동물의 식욕과 체중을 감소시키는 것으로 나타났다(Martina et al., 2012).

NO는 테스토스테론 생성, 발기, 정자 운동성을 조절하는 것으로 보고되었으며, Constatine 등(2021)은 NO가 phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate 재합성과 Kisspeptin 활성으로부터 성샘자극 방출 호르몬 회복을 촉진하는 기전을 보고하여 불임치료의 새로운 길을 제공할 것이라고 제안했다.

아질산염 치료는 심장 및 신경기능을 향상시키고, mitochondrial complex I의 억제를 통한 심장마비 환자의 생존을 증진시키는 것으로 확인되었다(Dezfulian et al., 2009). 또한, 아질산염은 겸상적혈구 환자들의 혈행 개선(Mack et al., 2008), NOS 억제로 인한 고혈압 개선(Tsuchiya et al., 2005), 심근허혈 손상 방지(Bryan et al., 2007), 혈관 염증 보호, 고지방 식이로부터 발생하는 C-반응 단백질(C-reactive proteins)의 수준 감소(Stokes et al., 2009)에 두드러진 효능을 나타냈다. 그러므로 아질산 이온의 식이 조절은 체내 NO 부족에 의해 발생할 수 있는 많은 질환을 예방할 수 있고, 식품으로부터 아질산 나트륨 섭취를 억제하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다.

육류 섭취가 건강에 미치는 유익한 효과

전 세계적으로, 육류 섭취량은 총 에너지 섭취량의 약 8%, 단백질 섭취의 18%, 지방 섭취의 23%를 차지한다(Marmot et al., 2007). 고기와 육제품은 영양측면에서 매우 뛰어나고, 다양한 영양소의 중요 공급원이기 때문에, 식단에 필히 포함되어야 한다. 또한, 고기 단백질은 다른 식품에 비해 필수 아미노산을 포함하는 매우 뛰어난 아미노산을 함유하기 있기 때문에 체내의 중요한 영양소원이다. 쌀과 밀과 같은 대부분의 곡류와 강낭콩에는 lysine 결핍과 methionine의 함량이 낮기 때문에, 고기 섭취를 통해 필수아미노산 섭취가 가능하다고 할 수 있다. 한편, WHO와 다른 국제 기구들은 지난 10년간 식사 가이드라인을 통해 고기와 육제품의 포화지방산이 심혈관 질환을 유발할 수 있다고 보고하여, 고기와 같은 동물성 식품의 지방 섭취가 현저하게 감소하였다

(Krauss et al., 2000). 그러나 적당한 지방의 섭취는 건강한 몸을 유지하는 데 필수적이다. 체내에서 합성되지 않은 linoleic acid, linolenic acid, arachidonic acid 및 기타 필수 지방산은 고기로 섭취되어야 한다. 그 중에서도, 근육 수축 및 이완과 관련된 prostaglandin의 전구체인 arachidonic acid는 돼지고기에 풍부하다(Li et al., 1998). 필수 콜레스테롤은 동물 세포막의 구성 성분이며(Abbott et al., 2012), 체내 성 호르몬, 담즙산 및 비타민 D의 생성에 필수적이다. 고기는 다양한 비타민과 뛰어난 미네랄을 함유하고 있으며, 특히 thiamine, niacin, riboflavin, pantothenic acid, vitamin B₆ 및 vitamin B₁₂와 같은 vitamin B군이 많이 함유되어 있다. Vitamin B는 체내에서 식품의 에너지 기전과 신경계 활동에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. United States Department of Agriculture(USDA)에 따르면, 적색육은 100 g 당 20-25 g, 조리된 경우 28-36 g의 단백질을 함유하며, riboflavin, niacin, vitamin B₆ 및 pantothenic acid 권장 섭취량의 약 25%를 공급하는 것으로 알려져 있으며, 특히 비타민 B₁₂의 권장 섭취량의 2/3을 공급한다(Williams, 2007). 뿐만 아니라, 적색육은 내인성 항산화제와 타우린, 카르니틴, 카노신, 유비퀴논, 글루타치온 및 크레아틴과 같은 생리활성 물질을 함유하여 인체 건강에 도움을 주고 있다(Williams, 2007).

고기와 육제품은 철분의 일일 필요량의 18%를 제공하여 균형잡힌 식사를 제공하므로, 체내 철분 결핍을 예방하는 데 중요한 역할을 한다(Geissler and Singh, 2011). 철분 결핍은 여러 질병을 초래하고, 어린이 성장 뿐만 아니라 많은 생리학적 측면으로 문제를 일으킨다. 특히, 철 결핍성 빈혈은 주로 어린이와 임신부에서 많이 발생하고, 선진국에서도 철 결핍 질환이 많이 나타난다고 보고됐다(Marmot et al., 2007). 철은 다양한 식품에 존재하며, 헴과 비헴철의 두가지 형태로 존재한다. 헴철은 myoglobin과 hemoglobin에 철이 결합된 형태로, 고기와 육제품과 같은 동물성 식품에만 존재한다. 반면에, 비헴철은 주로 콩과 채소와 같은 식품

에 주로 함유되어 있다. 고기는 헴철의 가장 좋은 공급원이며(Turhan et al., 2004), 동물성 식품으로부터의 헴철은 생체이용률이 매우 높고, 장으로 쉽게 흡수된다. 그러나, 비헴철은 2%–20%의 낮은 생체 이용률을 가지며, 체내 쉽게 흡수되지 않는다(Turhan et al., 2004). 철분 함량은 각 품종마다 다르며, 소고기가 가장 많은 헴철을 가지며, 돼지고기는 중간, 닭과 같은 백색육은 상대적으로 낮은 것으로 보고되었다(Pereira and Vicente, 2013). 소고기 100 g은 각 영양소의 일일 필요량을 기준으로, 셀레늄은 약 37%, 아연은 26%, 칼륨의 20% 수준으로 포함하고 있다(Raw, 2012). World Cancer Research Fund(WCRF) / American Institute for Cancer Research(AICR)에서 제시한 가이드라인에 따르면, 적색육 섭취는 개인별로 한 주당 300 g(일당 43 g)을 초과해서는 안되며, 육제품은 매우 적게 소비되어야 한다고 권고하고 있다(Marmot et al., 2007). 한국 영양학회의 식이 지침에 따르면, 성인은 하루에 고기 섭취를 60 g 권고하고 있다. 그러나 19–29세를 제외한 다른 연령들은 모두 고기 섭취량이 60 g 이하인 것으로 나타났다. 최근 Dobersek 등(Dobersek et al., 2021)은 고기를 섭취하지 않은 사람들은 우울증, 불안 및 자해

행동의 위험성이 매우 높았다고 보고하여, 사람들의 정신 건강 상태를 향상시키기 위한 전략으로서 육류 섭취를 지향하였다. 또한, 역학조사나 연관성 조사 측면에서 한계가 있다고 인정하였지만, 채소 위주의 식단을 지향하는 사람들은 우울증, 불안, 섭식장애, 비타민 B₁₂ 결핍 관련 질환 등을 유발할 수 있다고 제안하였고, 채소 위주의 식단 외에 가능한 해결책으로서 배양육 생산을 제시하였다(Meesters and Meesters, 2020). 결국은 지나치게 고기를 섭취하거나, 지나치게 섭취하지 않은 것은 건강에 해를 끼칠 것이며, 적정 수준의 섭취는 인체 건강에 있어 필수적이라 할 수 있다. 그러므로, 질산나트륨 섭취량 측면에서 육류나 가공육 섭취는 대장암이나 다른 질병의 주요 원인이 아닐 수 있다. 따라서, 우리는 다양한 질병을 예방하기 위해 육류 섭취를 지나치게 억제하는 것보다 고기를 포함하는 균형 잡힌 식단을 갖는 것이 건강을 유지하는 데 긍정적인 영향을 미친다고 생각해야 할 필요가 있다. 또한, 단일 식이 요인에만 초점을 맞추는 것이 아니라, 다양한 식이 요인이 사람들의 건강에 미치는 영향을 연구함으로써 다양한 질병의 위험 요인을 분석할 필요가 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Abbott SK, Else PL, Atkins TA, Hulbert AJ. 2012. Fatty acid composition of membrane bilayers: Importance of diet polyunsaturated fat balance. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 1818:1309-1317.
2. Aykan NF. 2015. Red meat and colorectal cancer. *Oncology Reviews* 9.
3. Bastide NM, Pierre FHF, Corpet DE. 2011. Heme iron from meat and risk of colorectal cancer: A meta-analysis and a review of the mechanisms involved. *Cancer Prevention Research* 4:177-184.
4. Benjamin N, O'driscoll F, Dougall H, Duncan C, Smith L, Golden M, Mckenzie H. 1994. Stomach no synthesis. *Nature* 368:502-502.
5. Bharucha KR, Cross CK, Rubin LJ. 1979. Mechanism of n-nitrosopyrrolidine formation in bacon. *Journal of agricultural and Food Chemistry* 27:63-69.

6. Bryan NS, Calvert JW, Elrod JW, Gundewar S, Ji SY, Lefer DJ. 2007. Dietary nitrite supplementation protects against myocardial ischemia-reperfusion injury. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:19144-19149.
7. Bryan NS, Fernandez BO, Bauer SM, Garcia-Saura MF, Milsom AB, Rassaf T, Maloney RE, Bharti A, Rodriguez J, Feelisch M. 2005. Nitrite is a signaling molecule and regulator of gene expression in mammalian tissues. *Nature Chemical Biology* 1:290-297.
8. Bryan NS, Loscalzo J. 2017. Nitrite and nitrate in human health and disease. Springer.
9. Bryant C, Sanctorem H. 2021. Alternative proteins, evolving attitudes: Comparing consumer attitudes to plant-based and cultured meat in Belgium in two consecutive years. *Appetite* 161:105161.
10. Cantwell M, Elliott C. 2017. Nitrates, nitrites and nitrosamines from processed meat intake and colorectal cancer risk. *J. Clin. Nutr. Diet* 3:27.
11. Cassens RG. 1997. Residual nitrite in cured meat. *Food Technology (Chicago)* 51:53-55.
12. Chamandoost S, Fateh Moradi M, Hosseini M-J. 2016. A review of nitrate and nitrite toxicity in foods. *Journal of Human Environment and Health Promotion* 1:80-86.
13. Codex Alimentarius. Discussion paper on the use of nitrates (ins 251, 252) and nitrites (ins 249, 250) - ccfa 49.
14. Constantin S, Reynolds D, Oh A, Pizano K, Wray S. 2021. Nitric oxide resets kisspeptin-excited gnRH neurons via pip2 replenishment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118.
15. Crowe W, Elliott CT, Green BD. 2019. A review of the *in vivo* evidence investigating the role of nitrite exposure from processed meat consumption in the development of colorectal cancer. *Nutrients* 11:2673.
16. Cvetković D, Živković V, Lukić V, Nikolić S. 2019. Sodium nitrite food poisoning in one family. *Forensic Science, Medicine and Pathology* 15:102-105.
17. De Mey E, De Maere H, Paelinck H, Fraeye I. 2017. Volatile n-nitrosamines in meat products: Potential precursors, influence of processing, and mitigation strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57:2909-2923.
18. Dezfulian C, Shiva S, Alekseyenko A, Pendyal A, Beiser DG, Munasinghe JP, Anderson SA, Chesley CF, Hoek TLV, Gladwin MT. 2009. Nitrite therapy after cardiac arrest reduces reactive oxygen species generation, improves cardiac and neurological function, and enhances survival via reversible inhibition of mitochondrial complex i. *Circulation* 120:897-905.
19. Dobersek U, Wy G, Adkins J, Altmeyer S, Krout K, Lavie CJ, Archer E. 2021. Meat and mental health: A systematic review of meat abstinence and depression, anxiety, and related phenomena. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61:622-635.
20. Efsa. 2008. Nitrate in vegetables - scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *EFSA Journal* 6:689.
21. Esplugues JV. 2002. NO as a signalling molecule in the nervous system. *British Journal of Pharmacology* 135:1079-1095.
22. Ferysiuk K, Wójciak KM. 2020. Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients. *Antioxidants* 9:711.

23. Flores M, Toldrá F. 2021. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products - invited review. *Meat Science* 171:108272.
24. Geissler C, Singh M. 2011. Iron, meat and health. *Nutrients* 3:283-316.
25. Govari M, Pexara A. 2015. Nitrates and nitrites in meat products. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* 66:127-140.
26. Griesenbeck JS, Steck MD, Huber JC, Sharkey JR, Rene AA, Brender JD. 2009. Development of estimates of dietary nitrates, nitrites, and nitrosamines for use with the short willet food frequency questionnaire. *Nutrition Journal* 8:16.
27. Ham H, Yang Y, Yun E. 2003. Nitrites contents survey on ham, sausage and bacon in market. *Journal of Food Hygiene and Safety*.
28. Hur SJ, Jang A, Jeong JY, Jo C, Chin KB, Lee KT. 2015. Misunderstanding and truths for controversy of carcinogenic substances in meat products. *축산식품과학과 산업* 4:7-22.
29. Hur SJ, Yoon Y, Jo C, Jeong JY, Lee KT. 2019. Effect of dietary red meat on colorectal cancer risk—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18:1812-1824.
30. Hwang KE, Kim TK, Kim HW, Oh NS, Kim YB, Jeon KH, Choi YS. 2017. Effect of fermented red beet extracts on the shelf stability of low-salt frankfurters. *Food Science and Biotechnology* 26:929-936.
31. Jeong JY, Bae SM, Yoon J, Jeong DH, Gwak SH. 2020. Effect of using vegetable powders as nitrite/nitrate sources on the physicochemical characteristics of cooked pork products. *Food Science of Animal Resources* 40:831-843.
32. Karwowska M, Kononiuk A. 2020. Nitrates/nitrites in food—risk for nitrosative stress and benefits. *Antioxidants* 9:241.
33. Kim Y, Han H, Kim J, Kim Y, Lee J. 2014. A survey of nitrite content in meat products in seoul (2012~2014). *Seoul Research Institute of Public Health and Environment Reports* 50:131-137.
34. Kleinbongard P, Dejam A, Lauer T, Jax T, Kerber S, Gharini P, Balzer J, Zotz RB, Scharf RE, Willers R. 2006. Plasma nitrite concentrations reflect the degree of endothelial dysfunction in humans. *Free Radical Biology and Medicine* 40:295-302.
35. Kobayashi J. 2018. Effect of diet and gut environment on the gastrointestinal formation of n-nitroso compounds: A review. *Nitric Oxide* 73:66-73.
36. Korea Food Safety Research Institute. 2011. Korea food additives code.
37. Korea Health Industry Development Institute. 2004. Daily dietary intake of food additive by Korean population-bleaching and color retention agent.
38. Krause BL. 2009. Incubation of curing brines for the production of ready-to-eat uncured ham. Iowa State University.
39. Krauss RM, Eckel RH, Howard B, Appel LJ, Daniels SR, Deckelbaum RJ, Erdman Jr JW, Kris-Etherton P, Goldberg IJ, Kotchen TA. 2000. Aha dietary guidelines: Revision 2000: A statement for healthcare professionals from the nutrition committee of the american heart association. *Circulation* 102:2284-2299.
40. L'hirondel JL. 1999. Are dietary nitrates a threat to human health. *Fearing Food*. Butterworth-Henemann, Oxford:38-47.
41. Lee CH, Cho YH, Park KH. 2006. Assessment of estimated daily intake of nitrite by average consumption of

- processed foods in Korea. *Food Control* 17:950-956.
42. Li D, Ng A, Mann NJ, Sinclair AJ. 1998. Contribution of meat fat to dietary arachidonic acid. *Lipids* 33:437-440.
 43. Luciano F. 2009. The impacts of lean red meat consumption on human health: A review. *CyTA—Journal of Food* 7:143-151.
 44. Lundberg JO, Gladwin MT, Ahluwalia A, Benjamin N, Bryan NS, Butler A, Cabrales P, Fago A, Feelisch M, Ford PC. 2009. Nitrate and nitrite in biology, nutrition and therapeutics. *Nature Chemical Biology* 5:865-869.
 45. Lundberg JO, Weitzberg E, Gladwin MT. 2008. The nitrate–nitrite–nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery* 7:156-167.
 46. Ma L, Hu L, Feng X, Wang S. 2018. Nitrate and nitrite in health and disease. *Aging Dis.* 9(5):938-945.
 47. Mack AK, MCGowan Li VR, Tremonti CK, Ackah D, Barnett C, Machado RF, Gladwin MT, Kato GJ. 2008. Sodium nitrite promotes regional blood flow in patients with sickle cell disease: A phase i/ii study. *British Journal of Haematology* 142:971-978.
 48. Marmot M, Atinmo T, Byers T, Chen J, Hirohata T, Jackson A, James W, Kolonel L, Kumanyika S, Leitzmann C. 2007. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: A global perspective.
 49. Martina A, Jana P, Anna S, Tomas B. 2012. Nitric oxide—important messenger in human body. *Open Journal of Molecular and Integrative Physiology* 2012.
 50. Meesters AN, Meesters Y. 2020. Vegetarian or vegan diet: Stimulating or at risk to mental health? In *Veganism-a fashion trend or food as a medicine*. IntechOpen.
 51. Ministry of Food and Drug Safety. 2011. Korea food additives code.
 52. Moncada S, Higgs E. 1991. Endogenous nitric oxide: Physiology, pathology and clinical relevance. *European Journal of Clinical Investigation* 21:361-374.
 53. Naseem KM. 2005. The role of nitric oxide in cardiovascular diseases. *Molecular Aspects of Medicine* 26:33-65.
 54. Oliver S, Pham TTP, Li Y, Xu FJ, Boyer C. 2021. More than skin deep: Using polymers to facilitate topical delivery of nitric oxide. *Biomaterials Science* 9:391-405.
 55. Pegg RB, Shahidi F. 2008. Nitrite curing of meat: The n-nitrosamine problem and nitrite alternatives. John Wiley & Sons.
 56. Pereira PMDCC, Vicente AFDRB. 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science* 93:586-592.
 57. Publications Office of the European Union. 2011. Commission regulation (eu) no 1129/2011 of 11 november 2011 amending annex ii to regulation (ec) no 1333/2008 of the european parliament and of the council by establishing a union list of food additives (text with eea relevance). Publications Office of the European Union.
 58. Raw P. 2012. Composition of foods raw, processed, prepared usda national nutrient database for standard reference, release 25. United States Department of Agriculture (USDA).
 59. Rda RDA. 2015. Development of microbial predictive growth models and establishment of safety guideline on low sodium meat products. Rural Development Administration.
 60. Rivera N, Bunning M, Martin J. 2019. Uncured-labeled meat products produced using plant-derived nitrates and

- nitrites: Chemistry, safety, and regulatory considerations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67:8074-8084.
61. Sebranek JG, Bacus JN. 2007. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: What are the issues? *Meat Science* 77:136-147.
62. Siekmann L, Plötz M, Krschek C. 2021. Alternative curing methods. *Current Clinical Microbiology Reports* 8:40-48.
63. Sindelar JJ, Houser TA. 2009. Alternative curing systems. In *Ingredients in meat products*. Springer.
64. Sindelar JJ, Milkowski AL. 2011. Sodium nitrite in processed meat and poultry meats: A review of curing and examining the risk/benefit of its use. *American Meat Science Association White Paper Series* 3:1-14.
65. Sindelar JJ, Milkowski AL. 2012. Human safety controversies surrounding nitrate and nitrite in the diet. *Nitric Oxide* 26:259-266.
66. Steinberg P. 2019. Red meat-derived nitroso compounds, lipid peroxidation products and colorectal cancer. *Foods (Basel, Switzerland)* 8:252.
67. Stokes KY, Dugas TR, Tang Y, Garg H, Guidry E, Bryan NS. 2009. Dietary nitrite prevents hypercholesterolemic microvascular inflammation and reverses endothelial dysfunction. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 296:H1281-H1288.
68. Sullivan GA. 2011. *Naturally cured meats: Quality, safety, and chemistry*. Iowa State University.
69. Tsuchiya K, Kanematsu Y, Yoshizumi M, Ohnishi H, Kirima K, Izawa Y, Shikishima M, Ishida T, Kondo S, Kagami S, Takiguchi Y, Tamaki T. 2005. Nitrite is an alternative source of NO *in vivo*. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 288:H2163-H2170.
70. Turesky RJ. 2018. Mechanistic evidence for red meat and processed meat intake and cancer risk: A follow-up on the international agency for research on cancer evaluation of 2015. *CHIMIA International Journal for Chemistry* 72:718-724.
71. Turhan S, Altunkaynak TB, Yazici F. 2004. A note on the total and heme iron contents of ready-to-eat doner kebabs. *Meat Science* 67:191-194.
72. U.S. Food and Drug Administration. Cfr - code of federal regulations title 21.
73. Williams P. 2007. Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics* 64:S113-S119.
74. Yang SY, Kim YS, Lee JE, Seol J, Song JH, Chung GE, Yim JY, Lim SH, Kim JS. 2016. Dietary protein and fat intake in relation to risk of colorectal adenoma in Korean. *Medicine* 95:e5453-e5453.
75. Yong HI, Kim T-K, Choi H-D, Jang HW, Jung S, Choi Y-S. 2021. Clean label meat technology: Pre-converted nitrite as a natural curing. *Food Science of Animal Resources* 41:173.
76. Yoshida K, Kasama K. 1987. Biotransformation of nitric oxide. *Environmental Health Perspectives* 73:201-205.
77. Yurchenko S, Mölder U. 2006. Volatile n-nitrosamines in various fish products. *Food Chemistry* 96:325-333.