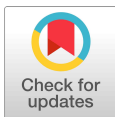


REVIEW

반려동물 사료의 살모넬라 오염과 공중보건 위험에 관한 종합 고찰

천정환^{1†} · 서건호^{2†} · 김현주³ · 정현아⁴ · 송광영^{4*}¹강원대학교 농업생명과학대학 식품생명공학과²건국대학교 수의과대학 및 원헬스연구소³부천대학교 반려동물과⁴대구한의대학교 반려동물보건학과 및 반려동물산업학과*Salmonella* Contamination in Pet Foods and Its Public Health Implications: A Comprehensive ReviewJung-Whan Chon^{1†}, Kun-Ho Seo^{2†}, Hyun-Ju Kim³, Hyeon A Jung⁴, Kwang-Young Song^{4*}¹Department of Food Science and Biotechnology, College of Biotechnology and Bioscience, Kangwon National University, Chuncheon, Korea²College of Veterinary Medicine and Center for One Health, Konkuk University, Seoul, Korea³Department of Companion Animal, Bucheon University, Bucheon, Korea⁴Department of Companion Animal Health and Department of Pet Industry, Daegu Haany University, Gyeongsan, Korea

Received: July 17, 2025

Revised: August 25, 2025

Accepted: September 2, 2025

[†]These authors contributed equally to this study.

*Corresponding author :
Kwang-Young Song
Department of Companion Animal
Health and Department of Pet Industry,
College of K-Bio Health, Daegu Haany
University, Gyeongsan, Korea
Tel : +82-53-819-1605
Fax : +82-53-819-1273
E-mail : drkysong@gmail.com

Copyright © 2025 Korean Society of
Dairy Science and Biotechnology.
This is an Open Access article distributed
under the terms of the Creative Commons
Attribution Non-Commercial License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
which permits unrestricted non-commercial
use, distribution, and reproduction in any
medium, provided the original work is
properly cited.

ORCID

Jung-Whan Chon
<https://orcid.org/0000-0003-0758-6115>
Kun-Ho Seo
<https://orcid.org/0000-0001-5720-0538>
Hyun-Ju Kim
<https://orcid.org/0009-0005-7784-6121>

Abstract

The growing humanization of pets and the increased demand for diverse pet food products have raised concerns about microbial contamination, particularly by *Salmonella* spp. This review examines the prevalence of *Salmonella* in various pet food types, including dry kibbles, treats, and raw-meat-based diets (RMBD). It outlines key contamination pathways during manufacturing, handling, and household interactions. Numerous outbreaks and recalls in North America have been linked to contaminated pet food, including multi-drug-resistant (MDR) strains that pose significant public health risks. We highlight the current mitigation strategies, such as high-pressure processing, irradiation, bacteriophage application, organic acids, and plant-derived antimicrobials. Regulatory frameworks from the U.S. and the EU were also reviewed, emphasizing the preventive approach under the Food Safety Modernization Act (FSMA). In South Korea, the pet food market is rapidly expanding; however, it remains governed by general feed regulations with limited microbiological safety standards. This regulatory gap increases the risk of zoonotic transmission, particularly among vulnerable populations. To ensure safety, the development of pet food-specific microbiological criteria, enhanced regulation and monitoring, and consumer education is urgently needed. Addressing pet food safety through the One Health lens is critical for minimizing zoonotic risks and supporting sustainable industrial growth.

Keywords

pet food, *Salmonella*, public health, reduction

서론

반려동물 사료는 식품 매개 병원성 미생물의 주요 전파 경로로 점차 인식되고 있으며, 이로 인한 인수공통감염의 가능성은 반려동물과 사람 간의 밀접한 접촉이 일반화되면서 더욱 주목받고 있다. 특히, 날것(raw) 또는 최소한으로 가공된 사료 급여가 증가함에 따라 병원균에 의한 오염 가능성과 그로 인한 인체 감염 위험도 함께 증가하고 있다[1].

Hyeon A Jung
<https://orcid.org/0000-0003-2386-3119>
Kwang-Young Song
<https://orcid.org/0000-0002-5619-8381>

반려동물 사료의 살모넬라균(*Salmonella* spp.) 오염은 원료의 취급, 제조 공정, 가공 환경, 그리고 최종 제품의 보관 및 사용 과정 등 여러 단계에서 발생할 수 있다[2]. 특히, 건사료 및 간식류의 경우 가공 후 병원균 제어를 위한 표준화된 처리 단계가 부족하며, 생사료는 유효성이 입증된 열처리 또는 화학적 멸균 과정을 거치지 않는 경우가 많아 병원균 오염의 위험성이 크다[1,2]. 이로 인해 살모넬라, 리스테리아 모노사이토제네스, 병원성 대장균과 같은 다양한 병원균의 존재가 보고되고 있다[3]. 살모넬라균에 오염된 반려동물은 무증상 보균 상태로 균을 배출하며, 이를 통해 사람에게 병원균이 전파될 수 있다. 실제로 1999년 이후 미국에서 살모넬라균 오염과 관련된 반려동물 사료 리콜 사례는 117건 이상 보고되었으며, 그중 최소 11건은 인체 감염과 직접적으로 연관되어 있었다[4]. 특히 이 중 5건은 다제내성 살모넬라균 감염 사례로 확인되어, 공중보건학적 위협을 더욱 심화시켰다[4].

이러한 위험성을 완화하기 위한 다양한 항균 처리 기술이 연구되어 왔으며, 현재까지 고압 처리(high-pressure processing, HPP), 오존 처리, 방사선 조사와 같은 물리적 방법, 유기산 및 산미료 처리와 같은 화학적 방법, 식물 유래 항균제 또는 박테리오파지 활용과 같은 생물학적 방법이 반려동물 사료 내 살모넬라균 저감에 효과적인 것으로 보고되었다[5].

본 총설은 반려동물 사료의 유형별 살모넬라균 유병률을 요약하고, 주요 오염원을 분석하며, 보고된 인체 감염 사례를 개괄적으로 살펴본다. 또한 반려동물 사료의 안전 관리를 위한 현재의 제도 및 규제 체계를 검토하고, 향후 안전성 강화를 위한 효과적인 관리 전략과 기술적 접근법을 제시하고자 한다. 이를 통해 반려동물 사료의 미생물학적 안전성을 확보하고, 반려동물과 사람 모두의 건강을 보호하는 데 기여하고자 한다.

본 론

1. 반려동물 사료와 식중독 병원균의 공중보건적 위험성

반려동물 양육의 보편화는 식품 안전 및 공중보건 영역에서 새로운 감염 경로의 등장을 의미한다. 2024년 현재, 한국의 반려동물 양육 가구는 약 591만 가구(전체 가구의 26.7%)에 달하며, 반려동물을 함께 생활하는 인구는 약 1,546만 명으로 전체 인구의 29.9%에 해당한다. 반려견은 약 546만 마리, 반려묘는 약 217만 마리로 파악되며, 특히 반려묘의 양육 비율은 지속적으로 증가하고 있다[6]. 이러한 반려동물 인구의 증가에 따라 한국의 펫푸드 산업 역시 빠르게 성장하고 있다. 2022년 기준 한국의 펫푸드 시장은 약 1조 7,610억 원 규모로 추산되며, 일부 보고서에서는 이를 2조 원 이상으로 평가한다[6]. 또한 한국 시장은 약 25억 달러(한화 약 3조 4천억 원)로 성장하였으며, 향후 연평균 3.9%의 성장이 예상된다[6].

반려동물의 선진국인 미국의 경우, 약 8,500만 가구(전체 가구의 약 66%)가 최소 1마리 이상의 반려동물을 양육하고 있다. 미국의 펫푸드 시장은 2021년 기준 약 500억 달러에 달한 것으로 보고되었으며, 전체 반려동물 관련 소비는 같은 해 1,000억 달러를 상회하였다[7].

반려동물 산업의 성장과 더불어 반려동물에 대한 ‘인간화(humanization)’ 및 ‘프리미엄화(premiumization)’ 현상이 뚜렷해지고 있다. 반려동물을 가족 구성원으로 인식하는 경향은 사료 선택에도 영향을 미쳐, 가공도가 낮은 생식(raw food)이나 자연식에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 경향은 반려동물 사료를 통한 식중독 병원균의 노출 가능성을 높이며, 실제로 살모넬라균, 리스테리아 모노사이토제네스, 시가독소생성 대장균(*Shiga toxin-producing Escherichia coli*, STEC) 등 주요 식중독 병원균이 건조 또는 습식 사료에서 검출된 바 있다[8].

특히 가정 내에서는 사료 취급 시 맨손 접촉, 조리 도구 및 표면의 오염, 보관 용기의 교차 사용 등으로 인해 병원균이 인체로 간접 전파될 수 있으며, 어린이가 사료를 오용하여 섭취한 사례도 보고되고 있다[9]. 현재 대부분의 반려동물 사료는 ‘인체 섭취용 아님(not for human consumption)’으

로 표시되어 있으며, 인체 식품에 적용되는 미생물학적 기준과는 차이가 있다.

사료 원료는 식품 산업의 부산물이나 렌더링 처리 부산물에서 유래한 경우가 많으며, 특히 생사료(raw diet)의 경우 병원균 저감화 단계를 거치지 않고 제조·유통되는 경우가 일반적이다. 반려동물 간식류 또한 소분 포장, 벌크 유통 등의 특성으로 인해 후가공 및 보관 단계에서 교차 오염에 취약하다. 이로 인해 생사료는 현재까지 살모넬라오염과 가장 밀접한 연관을 가진 사료 유형으로 분류되며, 미국 FDA(U.S. Food and Drug Administration)와 CDC(Centers for Disease Control and Prevention)는 반려동물에게 생사료 급여를 지양할 것을 공식적으로 권고하고 있다.

반려동물 사료는 고단백질, 고지방 원료를 기반으로 제조되는 경우가 많아 영양적으로는 반려동물의 성장과 건강 유지에 필수적이지만, 동시에 이러한 조성은 세균, 곰팡이 등 미생물이 쉽게 증식할 수 있는 환경을 제공한다. 따라서 원료의 위생적 품질 관리와 제조 단계에서의 살균 공정만으로는 완전한 안전성을 보장하기 어렵고, 이후 저장 및 유통 과정에서의 환경 관리가 제품의 안전성을 좌우하는 핵심 요소로 작용한다. 실제로 연구자들은 사료가 고온 다습한 조건에 노출될 경우 미생물 증식과 함께 마이코톡신(mycotoxin) 생성 위험이 증가하며, 반대로 일정한 저온 환경을 유지하거나 상대 습도를 조절했을 때 병원성 미생물의 성장률이 현저히 감소하는 결과를 보고한 바 있다. 특히 밀폐 포장, 진공 포장, 질소치환포장 등 다양한 포장기술은 산화와 부패를 억제하고 외부로부터의 2차 오염 가능성을 낮추는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

더 나아가, 제조 및 후처리 단계에서 적용되는 병원균 저감 공정 또한 반려동물사료의 안전성 향상에 중요한 역할을 한다. 대표적인 예로 고온 열처리(열처리)는 살모넬라(*Salmonella*)나 대장균(*Escherichia coli*)과 같은 장내세균의 생존율을 크게 줄일 수 있으며, 고압처리(HPP)는 영양 성분의 손실을 최소화하면서도 리스테리아(*Listeria monocytogenes*)나 클로스트리디움(*Clostridium perfringens*)과 같은 내열성 세균의 사멸에 효과적인 것으로 보고되고 있다. 또한 방사선 조사(irradiation)는 포장 상태 그대로 적용할 수 있어 유통 중 재오염 위험을 줄일 수 있으며, 천연 항균제(예: 로즈마리 추출물, 오레가노 오일, 유기산 혼합물 등)를 첨가하는 방법도 사료 내 병원균의 증식을 억제하는 데 활용되고 있다.

이러한 유통 조건 관리와 병원균 저감 공정이 결합된 사료는 결과적으로 반려동물과 보호자 모두의 건강을 지키는 데 기여할 수 있다. 반려동물 사료는 단순히 반려동물만 섭취하는 것이 아니라, 보호자가 직접 취급하는 과정에서도 교차오염을 통해 인수공통감염병의 매개체로 작용할 수 있기 때문에, 미생물학적 안전성 확보는 공중보건 차원에서도 중요한 의미를 가진다. 따라서 최근의 연구들은 반려동물사료 산업에서 생산-저장-유통 전 과정에 걸친 통합 관리 시스템을 구축하고, 과학적으로 검증된 병원균 저감 기술을 적용하는 것이 안전하고 신뢰할 수 있는 제품을 공급하기 위한 필수 전략임을 강조하고 있다.

2. 반려동물 사료의 유형 및 제조 공정 특성

반려동물 사료는 수분 함량에 따라 다음과 같이 분류된다[10].

- 1) 건사료(dry food, 5%~12%)는 고온·고압 압출(extrusion) 공정으로 제조되며, 장기 보관에 적합하다.
- 2) 반습식 사료(semi-moist, 22%~35%)는 열처리와 함께 보습제(소르비톨, 글리세린 등)를 사용하여 유통기한을 연장한다.
- 3) 습식 사료(wet or canned, ≥65%)는 상업적 멸균(commercial sterilization) 및 밀봉을 거쳐 제조되며, FDA의 21 CFR Part 113 규정을 적용 받는다.
- 4) 생사료(raw food)는 살균 및 멸균 공정을 거치지 않으며, 병원균 오염에 가장 취약한 유형이다.

이 중 생사료는 병원성 세균에 대한 제어 단계 없이 공급되는 경우가 많아, 반려동물의 감염 위험

을 증가시킨다. 살모넬라균은 반려동물에서도 설사, 복통 등의 임상 증상을 유발할 수 있으며, 특히 면역이 약한 새끼 동물이나 노령 개체는 감염에 더욱 취약하다[11]. 감염된 반려동물은 임상 증상이 없어도 균을 배출할 수 있어, 사람과의 직접 접촉(예: 핥기, 안기) 또는 오염된 표면을 통한 간접 접촉 경로로 인간에게 병원균을 전파할 수 있다.

개와 고양이에서의 살모넬라 최소 감염량은 약 1,000 CFU로, 이는 일반적인 사람의 감염역치보다 높은 수준이다. 미국 내 다기관 조사 결과(2012-2014)에 따르면, 2.5%의 반려견이 살모넬라 양성으로 확인되었으며, 이 중 55%는 설사 증상을 동반하였으며, 또 다른 보고에 의하면 건강한 개체에서도 반려견은 1%-36%, 반려묘는 1%-18%의 살모넬라 보균율을 나타냈다[12,13].

3. 반려동물 사료 내 살모넬라균의 유병률과 공중보건적 의미

살모넬라의 사료 내 유병률은 제품 유형, 제조 환경, 보관 상태 등에 따라 상이하게 보고되고 있다. 미국에서 수행된 연구에 따르면 다음과 같다[14-16].

- 1) 건사료(dry food)는 0%-44%의 범위를 보이며, 44%는 특정 제조사에 국한된 결과로 해석되었다[14].
- 2) 반려동물 간식류(treats)는 12.5%-41% 수준으로 보고되었다[15].
- 3) 최근 자료에 의하면 240개의 건사료 샘플 중 1개(0.42%)에서만 살모넬라가 검출되었다[16].

오염된 사료를 섭취한 반려동물은 최대 7일간 대변 또는 침을 통해 균을 배출할 수 있으며, 이는 가정 내 환경 오염을 통해 사람에게 위험을 초래할 수 있다[17]. 이에 따라 미국 FDA는 반려동물 사료에 대해 '무관용(zero tolerance)' 원칙을 적용하고 있으며, 사료 내 살모넬라 검출 시 리콜 또는 판매중지 등의 조치를 취하고 있다.

반려동물 양육 인구의 증가와 상업용 사료의 소비 확대에도 불구하고, 국내외적으로 반려동물 사료의 병원균 오염 실태, 감염 경로, 그리고 위해 저감 전략에 대한 과학적 근거는 여전히 제한적이다. 이는 향후 식품 및 동물공중보건 분야에서 다학제적 접근이 필요한 주요 과제로 평가된다.

4. 반려동물 사료의 살모넬라 오염 유병률

반려동물용 사료 및 간식은 일반적인 동물 사료에 비해 살모넬라균의 유병률이 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있다(Table 1). 이는 반려동물 사료에 동물성 원료가 높은 비율로 포함되기 때문으로 해석된다. 일부 연구에 따르면, 동물성 성분이 반려동물 사료 구성의 약 60%(w/w)를 차지하는 반면, 가축용 완제품 사료에서는 약 2%(w/w)에 불과하다[18]. 미국 FDA 수의학센터의 초기 조사에서는 동물성 원료의 살모넬라 유병률이 82%로, 식물성 원료의 37%에 비해 현저히 높게 나타났다[19]. 이러한 경향은 이후 다양한 연구들에서도 일관되게 확인되었다.

1955년 건조 개 사료 샘플 중 26.5%에서 살모넬라균을 분리해, 반려동물 사료가 병원성 세균의 잠재적 오염원이 될 수 있음을 처음으로 경고하였다[20]. 이후 전 세계적으로 다양한 시기와 지역에서 수행된 수많은 연구들은 살모넬라 유병률이 사료의 종류, 제조 및 보관 조건, 국가별 규제 수준 등에 따라 0%에서 80%까지 크게 차이가 날 수 있음을 보여주었다.

1) 건사료(Kibble) 내 유병률

건조 반려동물 사료는 일반적으로 고온·고압의 압출 공정을 거쳐 제조되기 때문에 살모넬라 생존 가능성이 낮은 것으로 간주된다. 그러나 생산 후 공정(post-processing) 단계에서의 교차오염이 주요 오염 요인으로 지목되고 있다. 건사료 제품군에 병원균 통제를 위한 후가공 표준화 절차가 부족하다는 점을 지적하였으며, 이는 살모넬라 오염의 주요 원인으로 작용할 수 있다[20]. 또한, 살모넬라균

Table 1. Prevalence of *Salmonella* contamination in different types of pet foods reported in various studies

Pet food category	Reported prevalence	Key findings and interpretation
Overall trend	Animal-derived ingredients in pet food: ~60% (w/w) vs. ~2% (w/w) in livestock feed [18]. FDA survey: 82% positive in animal origin vs. 37% in plant origin [19].	High proportion of animal-derived raw materials is the major contamination source.
Dry food (kibble)	26.5% in early survey [20]. Poland: 0.97% (22/2,271) [16]. USA: 0.41% (1/240) [21]. Defective batch: 44% (11/25) [22]. Lebanon: 64% (42/66; culture only, no confirmation) [23].	Extrusion (high temp/pressure) reduces survival, but post-processing cross-contamination is critical. <i>Salmonella</i> can persist up to 19 months in kibble.
Semi-moist food	0% in 240 pouched samples and four commercial products [16,24].	Low prevalence; heat treatment and preservatives considered effective.
Wet food (canned)	Most studies: 0% (sterilized, hermetically sealed) [24]. Non-sterile/open packed: 26% (26/99) [23,25].	Safe when sterilized and sealed; non-sterile products remain at risk.
Treats and chews	Canadian pig ears: 51% [26]. U.S. treats: 41% [27]. Specific distributor: 28.4% [28]. Brazil: 0.93% (1/108) [29]. UK: 16% (13/84) [30]. Other: 0% (0/190) [16].	Dehydrated animal by-products often sold unpackaged without heat treatment → higher contamination risk.
Raw meat-based diets (RMBDs)	Range 0%–80% depending on study. Nemser et al.: 7.6% [16]. Joffe & Schlesinger: 80% [31]. Thailand: 53%; Japan: 12%; Chile: 26.2% [32]. Europe (Sweden, Switzerland, Italy): 3%–7% [32].	Considered high-risk products due to lack of heat treatment. Identical serotypes found in pets' feces, indicating possible zoonotic transmission. FDA advises against feeding raw diets. Mitigation: HPP, irradiation, bacteriophage preparations.

Values reported across studies differ by country, product type, and methodology. Some surveys relied on culture results only without confirmatory testing (e.g., Lebanon, wet food). Reported prevalence should therefore be interpreted with caution.

FDA, Food and Drug Administration.

이 건사료에서 최대 19개월까지 생존 가능하다는 보고도 있어, 장기 보관 중에도 공중보건 위험이 지속될 수 있음을 시사한다.

일부 연구는 건사료에서 살모넬라가 검출되지 않았다고 보고하였으나, 폴란드에서는 2,271개 샘플 중 22개(0.97%)에서 양성을 확인하였고, 미국에서는 240개 중 1개(0.41%)에서 검출하였다 [16,21]. 반면, 25개 샘플 중 11개(44%)에서 살모넬라를 검출하였는데, 이는 특정 제조사의 불량 배치에서 비롯된 것으로 추정된다[22]. 최근 레바논에서 수행된 연구에서는 66개 건사료 중 64%(42개)에서 추정 살모넬라가 검출되었으나, 이 연구는 확인검사 없이 배양 결과만 보고하였다는 점에서 해석에 주의가 요구된다[23].

2) 반습식 사료의 유병률

반습식 사료는 수분 함량이 높아 병원균 증식에 유리한 환경을 제공할 수 있지만, 실제로는 낮은 유병률을 보이는 경향이 있다. 파우치 포장된 반습식 사료 240개 샘플에서 살모넬라를 검출하지 못하였고, 또한 상업용 반습식 사료 4종 모두에서 음성 결과를 보고하였다[16,24]. 이러한 결과는 열처리 및 보존제 사용과 같은 제조 공정상의 통제가 효과적으로 작용했기 때문으로 사료된다.

3) 습식(캔) 사료의 유병률

습식 사료는 멸균 및 밀봉된 상태로 제조되며, 일반적으로 고온 열처리를 통해 병원균이 사멸된다. 이에 따라 대부분의 연구에서 살모넬라가 검출되지 않았다[24]. 그러나 비멸균 상태이거나 개봉형

포장의 습식 제품에서는 비교적 높은 유병률이 보고되었다. 99개 중 26개(26%)에서 양성 반응을 확인하였지만, 다만 이들 연구 역시 확인검사를 생략한 한계가 있어 해석에 신중을 기해야 한다 [23,25].

4) 반려동물 간식 및 츄어블 제품의 유병률

탈수된 동물성 부산물로 제조되는 간식류는 가열 처리를 거치지 않은 채 날개로 유통되는 경우가 많아 오염 가능성이 높다. 캐나다산 돼지기 제품에서 51%, 미국산 간식에서 41%의 살모넬라 유병률을 보고하였다[26,27]. 28.4%의 유병률을 보고하였으며, 모든 양성 샘플이 동일한 유통업체에서 유래했다는 점에서 제조 단위의 위생 문제가 의심된다[28].

이에 반해 브라질에서는 108개 샘플 중 단 1개(0.93%)에서만 양성이 확인되었는데, 해당 제품이 수출용으로 엄격한 품질 관리를 거쳤기 때문으로 사료된다[29]. 또한 190개 간식 샘플에서 살모넬라를 검출하지 않았으며, 영국 시판 제품 84개 중 13개(16%)에서 양성을 확인하였다[16,30].

5) 생사료(raw meat-based diets, RMBD)의 유병률

생사료(raw meat-based diets, RMBD)는 열처리 없이 생고기, 뼈, 내장 등을 포함하고 있어 미생물학적 위험이 크다. 전 세계에서 수행된 다양한 연구들은 RMBD 제품의 살모넬라 유병률이 0%에서 80%까지 매우 다양함을 보고하고 있다[16,31]. Nemser et al.[16]은 7.6%의 유병률을 보고하였지만, Joffe and Schlesinger[31]은 80%라는 높은 수치를 보고하였다. 일부 연구에서는 반려동물의 분변에서 동일한 혈청형의 살모넬라가 검출되어, 사료를 매개로 한 식품-동물-인체 간 전파 가능성이 제기되고 있다.

아시아 지역인 태국과 일본의 유병률은 각각 53%와 12%를 보였으며, 남미지역인 칠레는 26.2%의 유병률을 보고하였지만, 유럽의 경우, 스웨덴·스위스·이탈리아의 다국적 연구에서는 평균 3%~7% 수준으로 낮은 유병률이 보고되었다[32].

이러한 이유로 생사료는 공중보건 측면에서 고위험 제품군으로 간주되며, 미국 FDA는 생사료 급여에 대한 소비자 자제를 권고하고 있다. 그러나 시장 수요가 꾸준히 증가하고 있는 현실을 감안할 때, 고압 처리(HPP), 방사선 조사, 박테리오파지 제제 등 병원균 저감 기술의 도입이 필요하다.

5. 반려동물 사료의 살모넬라 오염원

살모넬라균은 다양한 생산 단계 및 환경 요인을 통해 반려동물 사료로 유입될 수 있으며, 이는 제품의 미생물학적 안전성에 심각한 영향을 미친다. 살모넬라 오염은 크게 원재료, 가공 환경, 후가공 단계로 구분하여 발생할 수 있으며, 각 단계의 관리 미흡은 최종 제품 오염과 공중보건 위해로 이어질 수 있다.

1) 원재료로부터의 오염

반려동물 사료에 사용되는 원재료는 살모넬라균의 주요 유입 경로 중 하나로, 특히 열처리를 거치지 않는 생식 기반 사료(RMBD)의 경우 오염 위험이 가장 크다. 살모넬라는 먼지, 토양, 동물의 분변, 설치류, 곡물, 육류 등의 다양한 농축산 자원에서 유래할 수 있으며, 이러한 원재료는 사료 생산 전 단계에 걸쳐 오염을 초래할 수 있다.

반려동물 사료에는 일반적으로 가금류 및 육류 부산물, 식물성 재료, 효소, 비타민, 첨가제, 렌더링 지방 등이 포함된다. 특히 RMBD 제품은 도축 전처리 없이 공급되는 내장, 뼈, 연골, 지방 등을 포함하고 있어 살모넬라 오염에 매우 취약하다[33].

렌더링 처리된 동물성 단백질원은 고온에서 수분과 지방을 제거하는 과정을 거치지만, 여전히 오

염의 가능성이 존재한다. 미국 및 캐나다 전역의 8,783개 샘플 중 8.3%에서 살모넬라가 검출되었다고 보고하였다[34]. 미국 동북부 소매점에서 판매 중인 닭 간 샘플의 59.4%에서 살모넬라가 검출되었으며, 이집트, 태국, 에티오피아 등지의 보고에서도 내장류의 오염률이 6%-86%에 달하는 것으로 나타났다[35].

2) 가공 환경으로부터의 오염

사료 생산 시설의 비위생적 가공 환경은 또 다른 중대한 오염 경로로 작용한다. 특히 청소가 어려운 기계 표면, 틈새, 환기 시스템, 그리고 반복적으로 사용되는 장비는 살모넬라의 잔존 및 바이오필름 형성을 유발할 수 있으며, 이는 장기적인 오염원으로 작용할 수 있다.

2007년 미국에서는 *Salmonella enterica* serovar Schwarzengrund에 의한 감염 사례가 건사료를 통해 인체로 전파된 바 있으며, 이 과정에서 사료 생산 공장의 향료 및 코팅 구역이 주요 오염원으로 확인되었다[36]. 또한, 2012년에는 미국과 캐나다에서 발생한 *Salmonella enterica* serovar Infantis 감염이 특정 제조공장 제품과 직접 연관되었으며, 이에 따라 미국 FDA는 해당 제품에 대해 전국적 리콜 조치를 시행하였다.

이외에도 조류 분변 유입, 설치류 및 해충 침입, 불충분한 위생 교육 및 관리 부재 등도 오염에 기여하는 주요 요인으로 보고되며, 환경 온도 및 습도 역시 살모넬라의 증식에 영향을 미치는 중요한 변수로 작용한다[37].

3) 후가공 및 유통 단계의 오염

사료가 압출 또는 멸균 공정을 통해 병원균을 사멸하더라도, 이후 단계에서의 재오염 가능성은 여전히 존재한다. 특히 코팅제나 향료를 첨가하는 후가공 공정은 명확한 살균 기준 없이 수행되는 경우가 많아 주요 오염 경로로 지적되고 있다.

2008년부터 2012년 사이 발생한 *S. Schwarzengrund* 관련 식중독 사례에서도, 최종 제품 표면에 분사된 유지 코팅이나 향료가 오염원으로 의심되었다[38]. 이후 포장 및 유통 과정에서도 cGMP (current good manufacturing practice) 미준수, 취급 부주의, 현장 종사자의 위생 교육 부족 등으로 인해 오염 가능성이 증가하게 된다[37].

또한, 2017-2019년 사이 발생한 *S. Reading* 사례는 부적절한 냉장 보관과 비위생적 취급이 식중독의 직접적 원인이 되었음을 보여준다[39]. 특히 대용량 벌크 포장 형태로 유통되는 반려동물 간식류(예: 돼지귀)는 외부 환경에 쉽게 노출되며, 실제로 아일랜드, 캐나다 등에서 이러한 제품에서 살모넬라균이 검출된 사례가 보고되었다. 이에 따라 방사선 조사, 고압처리, 개별 포장 등의 후처리 기술 적용이 권장된다[38].

6. 가정 내 반려동물과의 상호작용을 통한 *Salmonella* 전파

최근 반려동물의 인간화(humanization)와 실내 사육의 증가로 인해, 반려동물과 보호자 간의 신체적 접촉 빈도는 과거보다 현저히 증가하였다. 반려동물은 식사 후 입, 턱, 혀, 수염 등에 사료 잔여물을 남기며, 보호자가 이를 정기적으로 세척하지 않는 경우가 많다. 이 상태에서 반려동물이 보호자를 핥거나, 얼굴에 접촉하거나, 침구에서 함께 수면을 취하는 행위는 살모넬라균을 포함한 병원성 미생물의 주요 전파 경로로 작용할 수 있다[2,20]. 이러한 노출은 특히 영유아, 고령자, 면역저하자 등 고위험군에게 더욱 치명적일 수 있다.

병원균은 직접 접촉뿐 아니라 간접 접촉을 통해서도 가정 내에서 전파될 수 있다. 오염된 사료 그릇, 장난감, 손질 도구, 배설물 등이 병원균의 매개체가 될 수 있으며, 위생 관리가 미흡할 경우 살모넬라는 장기간 생존이 가능하다. 5 log 수준으로 *S. Copenhagen*에 오염된 생육을 담았던 그릇

을 다양한 세척법으로 처리하였음에도 불구하고, 스테인리스 그릇의 33%, 플라스틱 그릇의 50%에서 살모넬라가 검출되었다[40]. 이는 일반 가정에서 사용되는 세척 방식만으로는 병원균 제거가 불완전할 수 있음을 시사한다.

특히 RMBD 급여는 반려동물이 살모넬라를 섭취하고 일시적 보균자가 되어 대변을 통해 균을 배출할 위험을 높인다. 살모넬라가 오염된 RMBD를 급여받은 반려견은 일정 기간 동안 균을 배출하는 것으로 나타났다[41]. 오염된 RMBD를 급여받은 16마리 중 7마리(43.8%)에서 1-7일간 균 배출이 관찰된 반면, 비오염 사료를 급여한 대조군에서는 배출이 확인되지 않았다[42]. 이 결과는 RMBD 급여가 반려동물의 살모넬라 보균 가능성을 높이는 주요 요인임을 뒷받침한다.

이러한 동물 보균으로부터 사람에게의 전파 사례도 다수 보고되고 있다. 일본에서 발생한 생후 4개월 영아의 설사 환자에서 *S. Virchow*를 분리하였고, 감염원은 동일 혈청형을 보유한 반려견으로 확인되었다[43]. 낱겉의 칠면조 기반 반려동물 사료를 통해 두 명의 어린이가 *S. Reading*에 감염된 사례를 보고하였다[39].

고위험군 인구에서의 감염 위험은 더욱 심각하게 평가되어야 한다. 살모넬라는 면역 저하자에게서 침습성 감염을 유발할 수 있으며, 특히 영유아는 병원체에 대한 면역 방어력이 미흡하여 심각한 결과를 초래할 수 있다. 실제로 2023년 텍사스에서 발생한 건사로 오염 관련 집단 감염 사례에서 감염자의 86%는 생후 1세 이하의 영아였으며, 대부분이 반려동물 사료 및 사료기구와의 간접 접촉에 노출된 것으로 추정되었다.

이와 관련하여 CDC는 반려동물 사료, 간식, 보충제를 취급한 후 최소 20초 이상 손을 씻을 것과, 5세 미만의 아동이 사료를 직접 만지지 않도록 지도할 것을 권고하고 있다. 그러나 이러한 지침이 실제 보호자들 사이에서 어느 정도로 이행되고 있는지에 대한 실증적 자료는 부족하다. 또한, FDA 및 CDC는 RMBD의 급여를 권장하지 않으며, 부득이하게 RMBD를 선택할 경우 식중독 예방을 위한 철저한 위생 관리가 반드시 병행되어야 함을 강조하고 있다.

7. 반려동물 사료 리콜 및 살모넬라 발생 사례

살모넬라균은 환경 스트레스에 강하며, 건조한 조건에서도 장기간 생존할 수 있는 특성을 지니 반려동물 사료 내에서 안정적으로 존재할 수 있다[44]. 반려동물 사료의 오염이 반드시 인체 감염으로 직결되지는 않지만, 미국 식품의약국(FDA)은 질병통제예방센터(CDC) 및 각 주의 농무부와 협력하여 오염 사례를 조사하고 있으며, 오염이 확인되거나 의심될 경우 대부분의 제조업체는 자발적 리콜을 실시한다(Table 2).

2003년부터 2022년까지 보고된 반려동물 사료 관련 살모넬라 리콜 건수는 총 859건으로, 전체 사료 리콜 중 24%, 세균성 병원체에 의한 리콜 중 85%를 차지하였다[45]. 이 수치는 사료 제품뿐 아니라 원재료와 성분까지 포함된 것으로, 오염 확산 및 인체 감염 위험을 최소화하기 위한 선제적 조치로 해석된다.

1) 인체 감염 사례와 사료의 연관성

1999년 캐나다에서 돼지 귀 간식에 의한 *S. Infantis* 감염이 보고된 이후, 반려동물 사료를 매개로 한 인체 감염 사례가 꾸준히 보고되고 있다[27]. 2002년에는 텍사스에서 수입 쇠고기 간식과 관련된 *S. Newport* 감염이 발생했으며, 생후 1개월 영아도 포함되었다[46]. 2005년에는 냉동 생소고기 및 연어가 함유된 간식으로 인해 미국과 캐나다에서 *S. Thompson* 감염이 9건 보고되었으며[42], 2007-2008년에는 펜실베이니아의 건사로 제조시설에서 생산된 제품이 21개 주에서 79건의 *S. Schwarzengrund* 감염을 유발했다[47].

2012년 사우스캐롤라이나주의 공장에서 제조된 건사료는 미국과 캐나다에서 49건의 인체 감염을

Table 2. *Salmonella*-related recalls and human outbreaks associated with pet foods (1999–2024)

Aspect	Key findings
General overview	<i>Salmonella</i> can persist under dry conditions, enabling long-term survival in pet food products [44]. FDA, CDC, and state authorities investigate contamination events, and most recalls are voluntary. Between 2003 and 2022, 859 pet food recalls were reported, accounting for 24% of all recalls and 85% of recalls due to bacterial pathogens [45].
Human outbreaks linked to pet food	• 1999 (Canada): Pig ear treats, <i>Salmonella enterica</i> serovar Infants [27]. • 2002 (Texas, USA): Imported beef treats, <i>S. Newport</i>, including a 1-month-old infant [46]. • 2005 (USA/Canada): Frozen beef and salmon treats, <i>S. Thompson</i>, 9 cases [42]. • 2007–2008 (USA): Kibble from Pennsylvania facility, <i>S. Schwarzengrund</i>, 79 cases across 21 states [47]. • 2012 (South Carolina, USA): Dry pet food, 49 cases in USA/Canada. • 2013 (New Hampshire, USA): Treat facility, 43 cases and 16 hospitalizations; outbreak strain detected in 78% of environmental samples [48]. • 2017–2019: <i>S. Reading</i> outbreak, 358 cases in 42 states, 1 fatality, 64% MDR strains; identical strain found in raw turkey, raw pet food, and human isolates. • Additional outbreaks: <i>S. Reading</i> (2018), pig ear treats (2019), <i>S. Kiambu</i> in infants (2023).
Distribution of recalls by product type (1999–2024, n=859)	Treats: 33.3%; Dry food: 29.1%; Raw meat-based diets (RMBD): 30%; Supplements: 4.2%; Wet food: 1.7%.
Distribution of human outbreaks by product type	Treats: 45.5%; RMBD: 27.3%; Dry food: 27.3%. Among all outbreaks, 45.5% were associated with MDR serovars, and one case involved an extensively drug-resistant (XDR) strain.
Recent situation (2021–Jun 2024, USA)	A total of 21 <i>Salmonella</i> -related recalls were reported, of which 8 involved RMBD. Human cases were disproportionately observed among infants and elderly individuals, underscoring the need for enhanced hygiene education and protective measures for vulnerable groups.

Data include both finished products and raw materials implicated in recalls. Reported prevalence and case numbers vary by country, product type, and study methodology. Some surveys lacked confirmatory testing, which may affect the accuracy of prevalence estimates. FDA, Food and Drug Administration; CDC, Centers for Disease Control and Prevention; MDR, multidrug-resistant; XDR, extensively drug-resistant.

유발하였고, 2013년 뉴햄프셔의 간식 제조시설에서는 43건의 감염과 16건의 입원이 보고되었으며, 환경 시료의 78%에서 발병 균주가 분리되었다[48]. 이후에도 2018년 *S. Reading*, 2019년 돼지 귀 간식, 그리고 2023년 *S. Kiambu*에 의한 유아 감염이 보고되었으며, 상당수 사례에서 고령자 및 영유아와 같은 고위험군이 다수 포함되었다.

특히 2017–2019년에 보고된 *S. Reading* 유행은 현재까지 가장 대규모로 기록된 사건으로, 42개 주에서 358명이 감염되고 1명이 사망하였다. 감염자의 64%에서 MDR(multidrug-resistant) 균주가 확인되었고, 동일 균주가 생 칠면조, 생사료, 인간 검체에서 동시에 분리되었다.

2) 제품 유형별 리콜 및 발병 분포

1999년부터 2024년 6월까지의 살모넬라 관련 리콜 사례를 유형별로 분류한 결과, 간식류가 33.3%, 건사료가 29.1%, 생식 기반 사료(RMBD)가 30%, 보충제가 4.2%, 습식 사료가 1.7%를 차지하였다. 특히 2015년 이후로만 한정하면 RMBD가 전체 리콜의 54%를 차지하며, 이는 해당 제품의 소비 증가와 직접적인 관련이 있을 가능성이 높다.

인체 감염과 연관된 제품 유형을 분석한 결과, 전체 발병 사례의 45.5%가 간식, 27.3%가 RMBD, 나머지 27.3%가 건사료와 관련되어 있었다. 이 중 45.5%는 다제내성(MDR) 세로바와 관련되어 있었으며, 1건은 광범위 약물내성(extensively drug-resistant, XDR) 균주가 포함되었다.

2021년부터 2024년 6월까지의 미국 내 살모넬라 관련 리콜은 총 21건으로, 이 중 8건은 생사료에 해당하였다. 감염자 중 영유아 및 고령자의 비중이 높게 나타났으며, 이는 향후 위생관리 및 교육, 위험군 보호 대책 수립에 있어 중요한 고려사항으로 작용할 수 있다.

8. 반려동물 사료에서의 다제내성(multidrug-resistant) 살모넬라 보고 사례

다수의 유병률 조사 및 리콜 보고에서, 반려동물 사료 및 간식은 MDR 살모넬라의 주요 분리원으로 확인되고 있다. 반려동물용 장난감에서 분리된 *S. London*과 *S. Infantis*가 각각 암피실린·젠타마이신, 날리딕산·스트렙토마이신에 내성을 보였다고 보고하였다[49]. 또한 캐나다 내 RMBD 제품에서 분리된 살모넬라 균주들이 1-5종의 임상 항생제에 내성을 갖고 있었다고 밝혔다.

일본에서는 반려동물 간식 및 고양이 배설물에서 분리된 *S. Typhimurium*, *S. Infantis*, *S. Schwarzengrund* 등이 다양한 항생제에 고도의 내성을 나타낸다고 보고하였다[50]. 고양이 배설물에서 분리된 16개 균주 모두가 세팔로스포린계 항생제(세파졸린, 세페핀, 세프트리악손 등)에 내성을 보였으며, 트리메토프림/설파메톡사졸(68.8%), 암피실린(62.5%), 젠타마이신(56.3%)에 대한 내성도 광범위하게 확인되었다[50]. 일본 시판 RMBD 제품에서 분리된 *S. Infantis*가 스트렙토마이신, 테트라사이클린, 트리메토프림에, *S. Typhimurium*은 날리딕산, 시프로플록사신, 클로람페니콜에, *S. Schwarzengrund*는 테트라사이클린에 내성을 보였다고 보고하였다[51]. 이들 균주는 인체 감염 시 치료 선택지를 제한할 수 있는 항생제 내성 프로파일을 갖고 있다.

실제 인체 감염 사례에서도 MDR 살모넬라의 빈번한 검출이 보고되었다. 2019년 미국에서 돼지 귀 간식과 관련된 감염자 154명 중 164개 균주(77%)가 MDR 특성을 보였으며, 이들은 암피실린(53%), 테트라사이클린(58%), 시프로플록사신(50%)에 내성을 나타냈다. 같은 해 발생한 *S. Reading* 유행에서도 487개 균주 중 314개(64%)가 주요 항생제에 내성을 지니고 있었으며, 감염원으로는 생 칠면조 및 반려동물 생사료가 지목되었다.

가장 최근인 2024년 캐나다에서는 생사료 및 가축 접촉과 관련된 *S. I 4, [5], 12: i*- 감염 사례가 보고되었으며, 감염된 44명의 환자 중 상당수가 광범위 약물내성(XDR)을 가진 균주에 감염된 것으로 확인되었다[52]. 해당 균주는 세프트리악손, 아지트로마이신, 트리메토프림/설파메톡사졸, 시프로플록사신 등 일반적 치료제에 대한 고내성을 보였다.

사람-반려동물 간 내성균의 상호 전파 가능성도 제기되고 있다. 독일 사례-대조군 연구에서는 동일한 MDR 살모넬라균주가 보호자와 반려동물 모두에서 검출되었으며, 이는 공동 생활환경에서의 내성균 확산 가능성을 시사한다[53]. 이러한 사례들은 반려동물 사료 내 MDR 살모넬라의 존재가 단순한 식품 안전 문제를 넘어 인수공통 감염 및 항생제 내성 확산이라는 공중보건 위협으로 연결될 수 있음을 강하게 시사한다.

9. 반려동물 사료 산업의 살모넬라 위험 완화 전략

반려동물 사료에서의 살모넬라 오염을 완화하기 위한 전략은 사료 생산 전 과정에 걸쳐 다단계 개입 방식을 기반으로 설계된다. 전통적인 열처리 외에도, 최근에는 물리적, 화학적, 생물학적 방법이 병행적으로 사용되며, 각 기술은 사료 유형의 특성과 산업 수요에 따라 선택적으로 적용된다.

1) 생물학적 개입 전략

박테리오파지(Bacteriophage)는 특정 병원균에 특이적으로 작용하는 바이러스로, 생식 사료(RMBD) 및 건사료 모두에서 살모넬라 제어 수단으로 활용이 가능하다. 일부 연구에서는 박테리오파지 처리를 통해 2 log 이상 살모넬라 저감 효과가 확인되었으며, 일부 상업용 RMBD 제품에는 실제 적용되고 있다[54].

2) 물리적 개입 전략

물리적 개입은 열을 사용하지 않거나 최소화하여 병원균을 불활성화하는 방식으로, 총 네 가지 기술이 이용되고 있다[55-58].

- (1) 방사선 조사(radiation treatment): 2001년부터 미국 FDA에 의해 승인된 기술로, 감마선, 전자선, X선을 이용하여 병원균을 비열적으로 억제한다[55]. 5 log 이상의 살모넬라 저감 효과와 더불어 유통기한 연장 효과도 관찰되었지만, 일부 소비자들 사이에서 안전성에 대한 인식 문제가 존재한다[55].
- (2) 저온 플라즈마(cold plasma): 이 기술은 이온화된 기체에서 생성되는 반응성 산소종(ROS)과 자외선을 활용해 미생물을 제어하며, 포장 내부에서도 처리가 가능하다는 장점이 있다[56]. 살모넬라를 4.5 log 이상 감소시킨 바 있으나, 반려동물 사료 산업에의 상업적 도입 사례는 없다[56].
- (3) 펄스 자외선 및 UV-LED: UV-A(395 nm) 등 특정 파장의 자외선을 고출력 펄스 형태로 조사하여 사료 표면의 병원균을 저감시키는 기술이다[57]. LED, 진동, 열풍을 병용할 경우 최대 2.26 log의 감소 효과가 보고되었으나, 산업 적용성은 아직 낮고 소비자 수용성 또한 제한적이다[57].
- (4) 고압가공(high pressure processing): HPP는 100-750 MPa의 등방성 압력을 가해 병원균을 사멸시키는 비열 살균 기술로, 포장된 상태에서 처리되기 때문에 후오염을 방지할 수 있다[58]. 살모넬라에 대해 최대 9 log 수준의 저감 효과가 보고되었으나, 반려동물 사료 분야에서의 적용 사례는 아직 제한적이다[58].

3) 화학적 개입 전략

화학적 개입으로는 아래와 같은 방법 등이 이용되고 있다[59-62].

- (1) 유기산 및 산미료(organic acids): 젖산, 구연산, 과초산(peracetic acid, PAA), HMB 등은 사료의 pH를 낮추어 병원균 증식을 억제하며, GRAS(generally recognized as safe)로 분류되어 안전성이 확보되어 있다[59]. 살모넬라가 최대 5 log까지 억제되었으나, 사료의 산도 및 냄새에 영향을 줄 수 있다는 한계가 있다[59].
- (2) 지방산(fatty acids): 중쇄지방산(medium chain fatty acid, MCFA)과 어유(PUFA)는 항균 효과가 입증되었으며, 특히 MCFA 혼합 사용 시 상승 효과가 보고되었다[60]. 다만 일부 제품에서는 반려동물의 기호성 저하가 발생할 수 있으며, 어유는 온도에 따라 항균력이 달라지는 특성이 있다[60].
- (3) 액상 훈연액(liquid smoke): 항균 효과와 향미 부여 기능을 동시에 갖는 이 물질은 특히 곰팡이 억제 효과가 뛰어나며, MIC 0.5%-1% 수준에서 살모넬라에 대한 저감 효과도 보고되었다[61].
- (4) 식물 유래 항균제(plant-derived antimicrobials, PDA): 트랜스-신남알데히드, 타임 오일, 유제놀 등은 다양한 작용기전을 가지며, 저비용 · 고효율 항균소재로 활용 가능성이 크다[62]. 그러나 향미로 인해 반려동물의 기호성을 저해할 수 있어, 이를 보완하기 위한 캡슐화 또는 서방형 제형 개발이 병행되고 있다[62].

10. 미국의 반려동물 사료에 대한 규제 현황

미국을 중심으로 반려동물 사료는 연방 및 주 단위의 규제 체계를 통해 엄격히 관리되고 있으며, 주요 관리 기관은 AAFCO(Association of American Feed Control Officials), FDA, 주 농무부, USDA 등이다.

1) 규제 기관의 역할

AAFCO는 반려동물 사료의 표시, 성분 기준, 제조 관련 지침을 제공하지만, 직접적인 검사 · 인증

권한은 없다[63]. FDA는 FDCA(Federal Food, Drug, and Cosmetic Act)에 따라 사료의 성분, 제조 공정, 라벨링 등을 규제하며, 수의학센터(Center for Veterinary Medicine, CVM)를 통해 동물 사료의 안전성 및 유효성을 관장한다[64]. 리콜, 불만 조사, 현장 점검 등을 통해 안전성을 확보한다. 주 농무부(State Departments of Agriculture)는 각 주의 자체 법령에 따라 사료 등록, 라벨링 요건, 미생물 안전성 검사 등을 관리하며, 연방법과 연계된 역할을 수행한다.

2) FSMA(Food Safety Modernization Act)와 제조업체의 의무

2011년 제정된 식품안전현대화법(FSMA)에 따라, 대부분의 반려동물 사료 제조업체는 생물학적, 화학적, 물리적 위해요소를 분석하고 식품안전계획을 수립해야 하며, 21 CFR 507에 따라 현행 우수 제조기준(current Good Manufacturing Practice, cGMP)을 준수해야 한다. FDA는 반려동물 사료 내 살모넬라의 존재를 허용하지 않으며, 검출 시 해당 제품은 CPG Sec. 690.800에 따라 '불량품(adulterated)'으로 간주된다. 유럽연합(European Union, EU) 또한 유사한 기준을 채택하고 있으나, 캐나다는 살모넬라 존재에 대한 명시적 기준이 없어 국가 간 규제 차이가 존재한다.

3) 검사 및 리콜 관리

FDA는 고위험 시설에 대해 3년에 1회, 비고위험 시설에 대해 5년에 1회 정기 점검을 시행하며, 사료 소비 패턴, 발병 사례, 제조사 이력 등을 고려해 대상 시설을 선정한다. 또한 대부분의 주에서는 사료 제조업체에 대해 연 1회 등록을 요구하며, 일부 주에서는 라벨링 검토 및 소비자 불만 조사를 수행한다[65].

4) 문제 사례

2017년 FDA는 Evanger's Dog & Cat Food Company의 캔 사료 제품에 대해 리콜 조치를 시행하였다[66]. 이 제품은 'USDA 승인' 표시가 있었으나, 실질적으로는 "사람이 섭취할 수 없는, 반려동물 사료 전용으로도 부적합한" 원재료를 사용한 것으로 확인되었다. 해당 사례는 사료 제조에 사용되는 육류의 출처 및 안전성 관리가 사람 식품 대비 미흡할 수 있음을 보여준다.

11. 유럽의 반려동물 사료에 대한 규제 현황

유럽의 반려동물 사료 규제 현황에 대해 아래와 같다.

1) 전체 체계: 연합 규제와 주체

유럽연합(EU)은 반려동물 사료를 인간용 식품과 동일한 수준으로 엄격하게 규제하며, 이를 통해 위생·안전·품질 관리가 전 과정에서 보장되도록 하고 있다. 실제로 1970년대부터 다양한 지침과 규제가 도입되어 반려동물 사료의 생산, 가공, 유통 단계 전반에 걸쳐 적용되고 있으며, 현재까지도 정기적으로 개정·보완되고 있다. 반려동물 사료는 별도의 독립적인 법률이 존재하는 것은 아니지만, 가축 사료(animal feed) 규제 프레임워크 안에서 관리되며, 여기에는 사료 위생 관리, 사료 첨가물 승인 절차, 그리고 시장 유통 규정 등이 포함된다. 아울러 일반 식품법(Regulation 178/2002)은 안전성 확보와 위험 분석, 그리고 식품·사료 공급망 전반의 책임을 규정하고 있으며, 사료 위생법(Regulation 183/2005)은 제조·보관·운송 과정에서의 위생 관리와 함께 공급망 내 제품의 추적성(traceability)을 의무화함으로써 문제가 발생했을 때 신속히 원인을 규명하고 리콜할 수 있는 체계를 마련하고 있다. 이와 같이 EU의 규제 체계는 법적 강제성과 과학적 근거를 기반으로 반려동물 사료의 안전성을 제도적으로 보장하고 있다.

2) 주요 규정과 입법 근거

유럽연합의 반려동물 사료 규제는 다층적인 법령 체계에 의해 관리되며, 그 중에서도 몇몇 규정은 핵심적인 역할을 담당한다. 먼저 Regulation(EC) No 767/2009는 사료 원료와 복합 사료, 즉 반려동물 사료를 포함한 모든 사료 제품의 시장 유통과 사용을 규제하는 기본 법령으로, 라벨링에 반드시 포함되어야 할 정보, 유통 및 판매를 위한 요건, 사용상의 제한 사항 등을 구체적으로 명시하고 있다. 여기에 더해 Regulation(EC) No 1831/2003은 사료용 첨가물에 대한 승인 절차를 다루며, 새로운 첨가물이 사용되기 위해서는 과학적 평가와 승인 과정을 반드시 거치도록 규정하고 있다. 또한 Regulation(EC) No 2017/625는 이러한 사료 관련 법령들이 실제로 효과적으로 집행될 수 있도록 하기 위한 공식 검사(official controls) 체계를 마련하여, 회원국 당국이 감독과 검증을 수행할 수 있는 법적 기반을 제공한다.

특히 동물 유래 재료에 대해서는 Regulation(EC) No 1069/2009가 별도의 세부 기준을 정하고 있는데, 이는 반려동물 사료 원료로 사용되는 동물 부산물이 가축 질병 확산의 매개체가 되지 않도록 엄격한 검역 및 위생 조건을 포함한다. 이 규정은 원료의 수집, 처리, 가공, 운송 단계에서 지켜야 할 기준을 구체적으로 명시하여 동물 질병의 확산을 예방하고, 동시에 최종 제품의 안전성을 확보하는 역할을 한다. 이러한 일련의 규정들은 상호 보완적으로 작용하며, EU 내에서 생산·유통되는 반려동물 사료의 품질과 안전성을 보장하는 제도적 장치로 기능하고 있다.

3) 라벨링 및 구성 정보 요건

유럽연합의 Regulation(EC) No 767/2009는 반려동물 사료의 시장 유통과 소비자 정보 제공을 위해 매우 구체적인 라벨링 요건을 규정하고 있다. 이에 따르면 모든 반려동물 사료는 제품이 완전 사료(complete feed)인지, 혹은 특정 영양소를 보충하는 보충 사료(complementary feed)인지 여부를 명확히 표시해야 하며, 제조·유통의 책임 주체를 확인할 수 있도록 사업자명과 제작 시설의 허가번호 또는 주소를 반드시 기재해야 한다. 또한 생산 이력과 품질 관리 차원에서 배치번호(batch number)를 표기하고, 제품의 순중량이나 용량을 정확히 표시해야 한다. 소비자 안전과 품질 보증을 위해 최소 보관 수명(유통기한)을 명시하는 것도 필수적이며, 제품이 어느 반려동물 종이나 생애 단계(예: 성묘, 자묘, 성견 등)를 대상으로 하는지 구체적으로 밝혀야 한다. 더불어 제품의 올바른 사용을 보장하기 위해 사용 지침 및 보관 방법을 제공하고, 원료의 투명성을 확보하기 위해 성분 목록과 분석 성분 정보를 상세히 제시해야 한다.

아울러, 반려동물 사료는 사람의 식품과 혼동될 가능성을 차단하기 위해 반드시 “Not for human consumption(사람이 섭취할 수 없음)”이라는 문구를 포함해야 하며, 멜라민과 같이 과거에 심각한 식품·사료 안전 문제를 일으킨 바 있는 특정 오염물질의 최대 허용 기준치를 엄격히 설정하여 관리하고 있다. 이러한 규정들은 소비자가 제품을 안전하게 선택하고 사용할 수 있도록 보장할 뿐 아니라, 사료 제조업체가 유럽 내 시장에 진입하기 위해 반드시 준수해야 하는 핵심 요건으로 기능하고 있다.

4) 산업 자율 규제 — FEDIAF의 역할

FEDIAF(European Pet Food Industry Federation)는 유럽 내 반려동물 사료 산업을 대표하는 기관으로서, EU 당국과 긴밀히 협력하여 사료 제조와 유통의 안전성과 품질을 보장하기 위한 다양한 지침을 제시하고 있다. FEDIAF는 업계가 따를 수 있는 표준화된 지침으로 Guide to Good Practice와 Code of Good Labelling Practice 등을 제공하며, 이는 단순한 업계 권고 수준을 넘어 법적 규제와 결합된 일종의 공동 규제(co-regulation) 체계로 기능한다. 이러한 자율 규제와 법적 규제의 병행은 EU 차원에서 산업의 규제 준수도를 높이고, 동시에 실무적으로 적용 가능한 관리 기준을 마련하는 데 기여하고 있다. 특히 FEDIAF의 지침은 HACCP(hazard analysis and critical

control point) 원칙을 기반으로 한 제조 공정 설계, 생산 시설의 위생 관리, 원료의 안전한 취급과 보관, 사료의 장기적인 품질 유지를 위한 보존 방법 등 광범위한 영역을 포괄한다. 이를 통해 유럽 내 제조업체들이 과학적이고 체계적인 안전 관리 시스템을 구축할 수 있도록 지원하며, 궁극적으로는 반려동물 사료의 품질 보증과 소비자 신뢰 확보에 중요한 역할을 하고 있다.

5) 최근 동향 — 입법 최신 상황

2025년 6월 현재 유럽연합(EU)에서 반려동물 사료와 관련하여 적용되는 법과 규정은 무려 31가지에 달하며, 그 범위는 제조 공정과 라벨링 요건, 수입 절차, 사료 첨가물의 사용 기준, 광고 규제, 그리고 특수 목적을 가진 식이 제품에 이르기까지 매우 다양하다. 이러한 규제들은 단순히 안전성 확보에 그치지 않고, 소비자 정보 제공, 시장 질서 유지, 그리고 공중보건적 위험 예방까지 포괄하는 종합적 성격을 지닌다. 아울러 EU는 과학적 근거와 기술적 변화에 대응하기 위해 이러한 법령과 규정을 주기적으로 개정·보완하며, 최신 연구 결과와 산업 동향을 적극적으로 반영하고 있다.

특히 최근에는 곤충 단백질과 같이 기존 사료 원료와 차별화되는 신소재(novel ingredients)의 사용이 확대되고 있는데, 이는 반려동물 영양학적 다양성 확보뿐만 아니라 지속 가능한 단백질 공급원 확보라는 측면에서도 주목받고 있다. 그러나 EU는 이러한 새로운 원료가 시장에 도입되기 전에 반드시 엄격한 과학적 평가 절차를 거치도록 규정하고 있으며, 안전성, 영양학적 적합성, 환경적 영향 등을 종합적으로 검토한 뒤 승인 여부를 결정한다. 이러한 접근은 혁신적 원료 도입을 장려하는 동시에, 소비자와 반려동물의 안전을 최우선으로 고려하는 EU의 규제 철학을 잘 보여주는 사례라 할 수 있다.

12. 한국 반려동물 사료 시장의 동향 및 규제 현황

한국의 반려동물 사료 시장은 도시화, 1인 가구 증가, 고령화 사회 진입 등의 사회적 변화와 더불어 급격한 성장세를 보이고 있다. 특히 반려동물을 가족 구성원으로 인식하는 ‘펫팸족(pet+family)’ 문화가 확산되면서, 반려동물 관련 소비가 고급화·개인화되는 경향을 보이고 있다. 이에 따라 기능성, 유기농, 휴먼그레이드(human-grade), 생식 기반 사료(RMBD) 등 다양한 제품군에 대한 소비자의 수요가 증가하고 있으며, 이러한 흐름은 미국·유럽 등 선진국 시장과 유사한 양상을 보인다[3,6].

그러나 시장 확대에 비해, 한국의 반려동물 사료 규제 체계는 여전히 미비한 수준에 머물러 있다. 현재 반려동물 사료는 「사료관리법」에 따라 가축용 사료와 동일한 규제를 적용받고 있으며, 병원성 미생물에 대한 독립적인 법적 기준은 마련되어 있지 않다. 반면 미국에서는 식품의약국(FDA), 수의약품센터(CVM), 미국사료관리협회(AAFCO) 등 다양한 기관이 사료의 성분, 라벨링, 제조 공정, 미생물 안전성에 이르기까지 포괄적인 안전 규제를 수행하고 있으며, 2011년 식품안전현대화법(FSMA) 도입 이후 예방 중심의 안전관리 체계(HARPC, GMP 등)가 정착되어 있다[64].

한국에서는 살모넬라, 리스테리아, 대장균 O157:H7 등 인수공통병원체에 대한 검사 의무가 사료 유형별로 구체화되어 있지 않으며, 사료의 형태나 제조 방식에 따른 미생물학적 기준도 법제화되어 있지 않다. 이에 따라 생식 제품, 간식류 등 일부 제품에서 병원성 미생물이 반복적으로 검출되고 있으나, 이를 체계적으로 관리·감시할 수 있는 제도적 장치는 부족한 실정이다.

이러한 제도적 공백은 반려동물뿐 아니라 보호자와 그 가족, 특히 어린이, 노약자와 같은 면역 취약계층의 건강에 직접적인 위협이 될 수 있다. 이에 따라 다음과 같은 다층적 개선이 요구된다.

첫째, 반려동물 사료 전용 안전관리법 제정을 통해 제품의 정의, 분류, 병원성 미생물 기준 등을 명확히 설정할 필요가 있다.

둘째, 사료 유형(건사료, 간식, 생사료 등)에 따른 병원균 허용 기준 및 검사항목을 명시하고, 정기적 검사 체계를 법제화해야 한다.

셋째, 생사료 및 간식류에 적용 가능한 위해 저감 기술(열처리, 방사선, 박테리오파지 등)의 도입과 규제 허가 기준을 마련해야 한다.

넷째, 소비자와 보호자 대상의 식중독 예방 교육 및 정보 제공을 강화하고, 특히 감염 취약계층이 있는 가정에는 예방 수칙 고지를 의무화할 필요가 있다.

다섯째, 식약처, 농식품부, 질병관리청 등 관련 부처 간의 협력 체계를 강화하여 원헬스(one health) 관점에서 반려동물 사료의 공중보건적 영향을 종합적으로 관리해야 한다.

반려동물 사료에 대한 소비가 지속적으로 증가하는 현 상황에서 규제 체계의 미비는 공중보건 위협으로 직접 연결될 수 있다. 선진국형 예방 중심 규제 도입과 소비자 교육의 병행은 한국 반려동물 산업의 신뢰성과 지속 가능성을 확보하는 핵심 전략이 될 것이다.

결론

반려동물 양육 인구의 확대와 함께 반려동물 사료 시장 역시 빠르게 성장하고 있으며, 소비자 인식의 변화는 사료 제품의 고급화 및 기능성 중심으로의 전환을 가속화하고 있다. 이와 같은 ‘인간화(humanization)’ 및 ‘프리미엄화(premiumization)’ 경향은 반려동물 사료의 형태, 성분, 가공 방식에 이르기까지 전반적인 제품 개발 방향에 영향을 미치고 있다. 그러나 사료의 발전은 반려동물의 건강과 더불어 인간의 건강까지 고려하는 통합적 시각에서 이루어져야 한다. 최근 보고된 다수의 살모넬라 오염 사례 및 인체 감염 사고는 단순한 식품 안전 문제를 넘어, 반려동물과 사람 간의 상호감염 가능성과 공중보건 위협을 동반하는 중대한 사안임을 보여준다. 이러한 위험을 완화하기 위해, 산업계·학계·정부·소비자 등 다양한 이해관계자 간의 협력과 예방 중심의 통합 대응이 필수적이다. 물리적(고압가공, 방사선 등), 생물학적(박테리오파지), 화학적(산미료, 식물성 항균제 등) 기술을 활용한 살모넬라 저감 전략은 각 사료 유형에 따라 선택적으로 적용 가능하며, 이를 통한 오염 저감은 실현 가능한 목표로 간주된다. 동시에, 사료 제조업체는 cGMP, HACCP 등의 식품안전 시스템을 기반으로 위생 관리 체계를 정립하고, 리콜 및 감염 사고의 발생 가능성을 최소화해야 한다. 소비자 역시 올바른 보관·급여·위생 관리를 통해 2차 감염을 예방하는 데 중요한 역할을 수행할 수 있다. 결론적으로, 반려동물 사료 내 병원성 미생물 오염 문제는 식품 안전, 공중보건, 반려동물 복지, 사람-동물 간 전염병 관리라는 다차원적 관점에서 접근되어야 하며, 이를 위한 학술적 연구, 정책 개발, 산업 규제의 통합적 강화가 요구된다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술정보진흥원(TIPA, Korea)이 지원하는 산학연 콜라보 R&D 사업(과제번호: RS-2025-02316930)의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 본 연구는 2025년도 강원대학교 대학회계 학술연구구성비로 수행되었습니다.

References

1. Davies RH, Lawes JR, Wales AD. Raw diets for dogs and cats: a review, with particular reference to microbiological hazards. *J Small Anim Pract.* 2019;60:329-

- 339.
2. Lambertini E, Buchanan RL, Narrod C, Pradhan AK. Transmission of bacterial zoonotic pathogens between pets and humans: the role of pet food. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2016;56:364-418.
 3. Dhakal J, Cancio LPM, Deliephan A, Chaves BD, Tubene S. Salmonella presence and risk mitigation in pet foods: a growing challenge with implications for human health. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2024;23:e70060.
 4. Domesle KJ, Young SR, Ge B. Rapid screening for Salmonella in raw pet food by loop-mediated isothermal amplification. *J Food Prot*. 2021;84:399-407.
 5. Soffer N, Abuladze T, Woolston J, Li M, Hanna LF, et al. Bacteriophages safely reduce Salmonella contamination in pet food and raw pet food ingredients. *Bacteriophage*. 2016;6:e1220347.
 6. Chu GM, Song KY. Utilization and application strategies of dairy products in the pet food industry: a review. *J Dairy Sci Biotechnol*. 2025;43:84-93.
 7. Thiel K. "We love our pets, and our spending proves it," beyond the numbers: prices and spending. U.S. Bureau of Labor Statistics [Internet]. 2023 [cited 2025 Jul 2]. Available from: <https://www.bls.gov/opub/btn/volume-12/we-love-our-pets-and-our-spending-proves-it-1.htm>
 8. Ehuwa O, Jaiswal AK, Jaiswal S. Salmonella, food safety and food handling practices. *Foods*. 2021;10:907.
 9. Balachandran P, Friberg M, Vanlandingham V, Kozak K, Manolis A, Brevnov M, et al. Rapid detection of Salmonella in pet food: design and evaluation of integrated methods based on real-time PCR detection. *J Food Prot*. 2012;75:347-352.
 10. Hu M. Oxidative stability and shelf life of low-moisture foods. In: Hu M, Jacobsen C, editors. *Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats*. Champaign, IL: AOCS Press; 2016. p. 313-371.
 11. Sanchez S, Hofacre CL, Lee MD, Maurer JJ, Doyle MP. Animal sources of salmonellosis in humans. *J Am Vet Med Assoc*. 2002;221:492-497.
 12. Reimschuessel R, Grabenstein M, Guag J, Nemser SM, Song K, Qiu J, et al. Multilaboratory survey to evaluate Salmonella prevalence in diarrheic and nondiarrheic dogs and cats in the United States between 2012 and 2014. *J Clin Microbiol*. 2017;55:1350-1368.
 13. Ellis A, Sanchez S. Issues associated with Salmonella in pet foods [Internet]. College of Veterinary Medicine, University of Georgia; 2013 [cited 2024 Jul 2]. Available from: <https://vet.uga.edu/issues-associated-with-Salmonella-in-pet-foods/>
 14. Jones JL, Wang L, Ceric O, Nemser SM, Rotstein DS, Jurkovic DA, et al. Whole genome sequencing confirms source of pathogens associated with bacterial foodborne illness in pets fed raw pet food. *J Vet Diagn Invest*. 2019;31:235-240.
 15. Li X, Bethune LA, Jia Y, Lovell RA, Proescholdt TA, Benz SA, et al. Surveillance of Salmonella prevalence in animal feeds and characterization of the Salmonella isolates by serotyping and antimicrobial susceptibility. *Foodborne Pathog Dis*. 2012;9:692-698.

16. Nemser SM, Doran T, Grabenstein M, McConnell T, McGrath T, Pamboukian R, et al. Investigation of *Listeria*, *Salmonella*, and toxigenic *Escherichia coli* in various pet foods. *Foodborne Pathog Dis*. 2014;11:706-709.
17. Groat EF, Williams NJ, Pinchbeck G, Warner B, Simpson A, Schmidt VM. UK dogs eating raw meat diets have higher risk of *Salmonella* and antimicrobial-resistant *Escherichia coli* faecal carriage. *J Small Anim Pract*. 2022;63:435-441.
18. Hendriks WH, Emmens MMA, Trass B, Pluske JR. Heat processing changes the protein quality of canned cat foods as measured with a rat bioassay. *J Anim Sci*. 1999;77:669-676.
19. McChesney DG. FDA survey determines *Salmonella* contamination. *Feedstuffs*. 1995; 67:20-23.
20. Lambertini E, Buchanan RL, Narrod C, Ford RM, Baker RC, Pradhan AK. Quantitative assessment of human and pet exposure to *Salmonella* associated with dry pet foods. *Int J Food Microbiol*. 2016;216:79-90.
21. Wojdat E, Kwiatek K, Zasadny R. Microbiological quality of petfood in Poland. *Pol J Vet Sci*. 2004;7:207-209.
22. Pace PJ, Silver KJ, Wisniewski HJ. *Salmonella* in commercially produced dried dog food: possible relationship to a human infection caused by *Salmonella enteritidis* serotype Havana. *J Food Prot*. 1977;40:317-321.
23. Serhan M, Hadid M, Dimassi H, Deghel M, Hassan HF. Microbiological safety of commercial canned and dry pet food products in Lebanon. *Front Vet Sci*. 2022; 9:995184.
24. Ribeiro-Almeida M, Mourão J, Magalhães M, Freitas AR, Novais C, Peixe L, et al. Raw meat-based diet for pets: a neglected source of human exposure to *Salmonella* and pathogenic *Escherichia coli* clones carrying *mcr*, Portugal, September 2019 to January 2020. *Eurosurveillance*. 2024;29:2300561.
25. Barrell RAE. Isolations of *Salmonellas* from human, food and environmental sources in the Manchester area: 1976-1980. *Epidemiol Infect*. 1982;88:403-411.
26. Clark C, Cunningham J, Ahmed R, Woodward D, Fonseca K, Isaacs S, et al. Characterization of *Salmonella* associated with pig ear dog treats in Canada. *J Clin Microbiol*. 2001;39:3962-3968.
27. White DG, Datta A, McDermott P, Friedman S, Qaiyumi S, Ayers S, et al. Antimicrobial susceptibility and genetic relatedness of *Salmonella* serovars isolated from animal-derived dog treats in the USA. *J Antimicrob Chemother*. 2003;52:860-863.
28. Adley C, Dillon C, Morris CP, Delappe N, Cormican M. Prevalence of *Salmonella* in pig ear pet treats. *Food Res Int*. 2011;44:193-197.
29. Galvão JA, Yamatogi RS, Souza Junior LCT, Joaquim JF, Rodrigues MV, Baldini ED, et al. Quality and safety of pet treats: assessment of the microbial safety and quality of pet treats. *J Food Process Preserv*. 2015;39:1201-1205.
30. Morgan G, Saal M, Corr A, Jenkins C, Chattaway MA, Pinchbeck G, et al. Isolation of *Salmonella* species of public health concern from commonly fed dried meat dog treats. *Vet Rec*. 2023;192:e2642.

31. Joffe DJ, Schlesinger DP. Preliminary assessment of the risk of Salmonella infection in dogs fed raw chicken diets. *Can Vet J.* 2002;43:441-442.
32. Morelli G, Catellani P, Miotti Scapin R, Bastianello S, Conficoni D, Contiero B, et al. Evaluation of microbial contamination and effects of storage in raw meat-based dog foods purchased online. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2019;104:690-697.
33. Fredriksson-Ahomaa M, Heikkilä T, Pernu N, Kovanen S, Hielm-Björkman A, Kivistö R. Raw meat-based diets in dogs and cats. *Vet Sci.* 2017;4:33.
34. Jiang X. Prevalence and characterization of Salmonella in animal meals collected from rendering operations. *J Food Prot.* 2016;79:1026-1031.
35. Jung Y, Porto-Fett ACS, Shoyer BA, Henry E, Shane LE, Osoria M, et al. Prevalence, levels, and viability of Salmonella in and on raw chicken livers. *J Food Prot.* 2019; 82:834-843.
36. Behravesh CB, Ferraro A, Deasy M 3rd, Dato V, Moll M, Sandt C, et al. Human Salmonella infections linked to contaminated dry dog and cat food, 2006-2008. *Pediatrics.* 2010;126:477-483.
37. Leiva A, Molina A, Redondo-Solano M, Artavia G, Rojas-Bogantes L, Granados-Chinchilla F. Pet food quality assurance and safety and quality assurance survey within the Costa Rican pet food industry. *Animals.* 2019;9:980.
38. KuKanich KS. Update on Salmonella spp contamination of pet food, treats, and nutritional products and safe feeding recommendations. *J Am Vet Med Assoc.* 2011;238:1430-1434.
39. Hassan R, Buuck S, Noveroske D, Medus C, Sorenson A, Laurent J, et al. Multistate outbreak of Salmonella infections linked to raw turkey products — United States, 2017-2019. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2019;68:1045-1049.
40. Weese JS, Rousseau J, Arroyo L. Bacteriological evaluation of commercial canine and feline raw diets. *Can Vet J.* 2005;46:513-516.
41. Kaindama L, Jenkins C, Aird H, Jorgensen F, Stoker K, Byrne L. A cluster of Shiga toxin-producing Escherichia coli O157:H7 highlights raw pet food as an emerging potential source of infection in humans. *Epidemiol Infect.* 2021;149:e124.
42. Finley R, Reid-Smith R, Weese JS, Angulo FJ. Human health implications of Salmonella-contaminated natural pet treats and raw pet food. *Clin Infect Dis.* 2006;42:686-691.
43. Sato Y, Mori T, Koyama T, Nagase H. Salmonella Virchow infection in an infant transmitted by household dogs. *J Vet Med Sci.* 2000;62:767-769.
44. Finn S, Condell O, McClure P, Amézquita A, Fanning S. Mechanisms of survival, responses, and sources of Salmonella in low-moisture environments. *Front Microbiol.* 2013;4:331.
45. DeBeer J, Finke M, Maxfield A, Osgood AM, Baumgartel DM, Blickem ER. A review of pet food recalls from 2003 through 2022. *J Food Prot.* 2023;87:100199.
46. Pitout JDD, Reisbig MD, Mulvey M, Chui L, Louie M, Crowe L, et al. Association between handling of pet treats and infection with Salmonella enterica serotype Newport expressing the AmpC β -lactamase, CMY-2. *J Clin Microbiol.* 2003;41:

- 4578-4582.
47. Deasy M, Moll M, Urdaneta V, Ostroff S, Villamil E, Smith P, et al. Update: recall of dry dog and cat food products associated with human *Salmonella* Schwarzengrund infections -- United States, 2008. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2008;57:1200.
 48. Cavallo SJ, Daly ER, Seiferth J, Nadeau AM, Mahoney J, Finnigan J, et al. Human outbreak of *Salmonella* typhimurium associated with exposure to locally made chicken jerky pet treats, New Hampshire, 2013. *Foodborne Pathog Dis.* 2015;12:441-446.
 49. Wong TL, Thom K, Nicol C, Heffernan H, MacDiarmid S. *Salmonella* serotypes isolated from pet chews in New Zealand. *J Appl Microbiol.* 2007;103:803-810.
 50. Dégi J, Imre K, Herman V, Bucur I, Radulov I, Petrec OC, et al. Antimicrobial drug-resistant *Salmonella* in urban cats: is there an actual risk to public health? *Antibiotics.* 2021;10:1404.
 51. Yukawa S, Uchida I, Takemitsu H, Okamoto A, Yukawa M, Ohshima S, et al. Anti-microbial resistance of *Salmonella* isolates from raw meat-based dog food in Japan. *Vet Med Sci.* 2022;8:982-989.
 52. Public Health Agency of Canada. Public health notice: outbreak of extensively drug-resistant *Salmonella* infections linked to raw pet food and contact with cattle [Internet]. Government of Canada; 2024 [cited 2025 Jul 1]. Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/public-health-notices/2023/outbreak-salmonella-infections-under-investigation.html>
 53. Hackmann C, Genath A, Gruhl D, Weber A, Maechler F, Kola A, et al. The transmission risk of multidrug-resistant organisms between hospital patients and their pets: a case-control study, Germany, 2019 to 2022. *Eurosurveillance.* 2024;29:2300714.
 54. López-Cuevas O, Medrano-Félix JA, Castro-Del Campo N, Chaidez C. Bacteriophage applications for fresh produce food safety. *Int J Environ Health Res.* 2021;31:687-702.
 55. Sethukali A, Lee HJ, Park D, Kim HJ, Yim DG, Jo C. Effect of electron beam and X-ray irradiation on bacterial pathogens and physiochemical properties in semi-moist pet foods. In: 55th KOFSA International Symposium and Annual Meeting; 2023; Gwangju, Korea. p. 91.
 56. Yadav B, Roopesh MS. In-package atmospheric cold plasma inactivation of *Salmonella* in freeze-dried pet foods: effect of inoculum population, water activity, and storage. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2020;66:102543.
 57. Subedi S, Roopesh MS. Simultaneous drying of pet food pellets and *Salmonella* inactivation by 395 nm light pulses in an LED reactor. *J Food Eng.* 2020;286:110110.
 58. Lee A, Maks-Warren N, Aguilar V, Piszczor K, Swicegood B, Ye M, et al. Inactivation of *Salmonella*, Shiga toxin-producing *E. coli*, and *Listeria monocytogenes* in raw diet pet foods using high-pressure processing. *J Food Prot.* 2023;86:100124.
 59. Nakimera E, Cancio LPM, Sullivan GA, Sadat R, Chaves BD. Antimicrobial efficacy of a citric acid/hydrochloric acid blend, peroxyacetic acid, and sulfuric acid against

- Salmonella and background microbiota on chicken hearts and livers. *J Food Sci.* 2024;89:2933-2942.
60. Dhakal J, Aldrich CG. Temperature-dependent antimicrobial activity of menhaden fish oil in vitro and on pet food kibbles against *Salmonella*. *J Food Prot.* 2022;85:478-483.
61. Deliephan A, Dhakal J, Subramanyam B, Aldrich CG. Use of organic acid mixtures containing 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMTBa) to mitigate *Salmonella enterica*, Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and *Aspergillus flavus* in pet food kibbles. *Animals.* 2023;13:877.
62. Kiprotich SS, Aldrich CG. A review of food additives to control the proliferation and transmission of pathogenic microorganisms with emphasis on applications to raw meat-based diets for companion animals. *Front Vet Sci.* 2022;9:1049731.
63. The Association of American Feed Control Officials. Starting a pet food business [Internet]. AAFCO; 2024 [cited 2025 Jul 1]. Available from: <https://www.aafco.org/resources/startups/#:~:text=AAFCO%20does%20not%20regulate%2C%20test,to%20the%20appropriate%20AAFCO%20standard>
64. Food and Drug Administration (FDA). Pet food [Internet]. U.S. Food & Drug Administration; 2024 [cited 2025 Jul 2]. Available from: <https://www.fda.gov/animal-veterinary/animal-food-feeds/pet-food>
65. American Pet Products Association. Pet product labeling requirements [Internet]. APPA; 2024 [cited 2025 Jul 2]. Available from: <https://www.americanpetproducts.org/regulatory/law-library-topics/pet-product-labeling-requirements>
66. Food and Drug Administration (FDA). WARNING LETTER, Evanger's Dog & Cat Food Co, MARCS-CMS 518544 — June 29, 2017 [Internet]. U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION; 2017 [cited 2025 Jul 1]. Available from: <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/warning-letters/evangers-dog-cat-food-co-518544-06292017>