알가공품의 미생물학적 안전성 평가 및 저감화 연구 현황: 살모넬라를 중심으로

Current Status of Microbiological Safety Evaluations and Research on Microbial Control of Egg Products: Focus on *Salmonella*

서지원[1] · 조태진[2] · 이민석[3] · 김선애[1*]

Ji Won Seo[1], Tae Jin Cho[2], Min Suk Rhee[3], Sun Ae Kim[1*]

[1]이화여자대학교 식품생명공학과, [2]고려대학교 식품생명공학과 / 고려대학교 식품규제과학과, [3]고려대학교 생명공학과

[1]Department of Food Science and Biotechnology, Ewha Womans University, Seoul, Korea
[2]Department of Food and Biotechnology, Korea University, Sejong, Korea / Department of Food Regulatory Science, Korea University, Sejong, Korea
[3]Department of Biotechnology, Korea University, Seoul, Korea

Sun Ae Kim

Correspondence to
Department of Food Science and Biotechnology, Ewha Womans University, Seoul, Korea
Tel: +82-2-3277-4032,
Fax: +82-2-3277-4213
E-mail: sunaekim@ewha.ac.kr

서론

식중독을 감소시키고자 하는 노력과 식품에 적용할 수 있는 미생물 제어 기술의 개발에도 불구하고 *Salmonella*에 의한 식중독 집단 발병은 2012년 9건(환자 수 147명)에서 2022년 44건(환자 수 1,235명)으로 증가하는 추세이다[1]. 지난 5년간(2018–2022년) 식중독 발병 건 및 환자 수 현황에 따르면 전체 7가지 식중독원인균 중 *Escherichia coli*에 이어 *Salmonella*가 두 번째로 높은 발병 건수와 환자 수를 보인다[1]. 닭고기와 계란 등의 가금산물은 *Salmonella* 감염의 주요 원인 식품으로, 계란과 알가공품의 소비가 증가함에 따라 환자 수가 증가한 것으로 추정된다[2]. 식품의약품안전처의 식품 및 식품첨가물 생산실적에 따르면 계란 및 알가공품의 섭취량은 2012년 일평균 섭취량 24.8 g에서 2022년 37.0 g으로 증가하였으며, 생산량 또한 30,507톤에서 145,490톤으로 증가하였다[3,4].

알가공품은 식용란을 주원료로 하여 가공한 알가공품 및 알함유가공품을 통틀어 의미한다[5]. 알의 가공 방식 및 함유량 등의 기준에 따라 액란류인 전란액, 난황액, 난백액과 분말란류인 전란분, 난황분, 난백분, 가열성형류인 알가열제품 및 피단까지 총 8가지 유형으로 분류된다[5]. 알가공품의 원료인 계란은 양질의 단백질을 다량 함유한 고영양 식품으로 수분 함량이 높아 미생물이 번식하기 좋은 환경을 제공하기 때문에 다른 식품에 비해 부패 및 변질에 취약하다[6–8]. 또한 가열조리 후 섭취되는 계란과는 달리 알가공품은 구매 후 별도의 조리 없

이 섭취되기에 미생물학적 오염 관리가 더욱 중요하다.

지난 2018년 학교의 급식으로 제공된 초콜릿 케이크에 의해 경남지역을 중심으로 57개교에서 2,975명의 *Salmonella* 감염자가 발생한 대규모 식중독 사건이 발생하였다[9]. 식중독 발생 원인은 케이크 제조에 사용된 난백액으로, 해당 난백액 생산 업체는 식품안전관리인증기준(Hazard Analysis Critical Control Point, HACCP)을 인증한 업체임에도 식중독이 발생하여 알가공품의 미생물학적 안전 관리에 대한 우려가 제기되었다[10]. 따라서 알가공품의 생산부터 유통의 전 단계에서 오염을 예방하는 *Salmonella*의 관리 및 효과적인 저감 기술에 대한 연구가 필요한 실정이다. 본 논문에서는 알가공품의 현행 관리 기준을 조사하고 *Salmonella* 오염 현황 및 검출 사례를 분석하여 미생물 안전관리 현황을 파악하고자 하였다. 또한 효율적인 안전관리 방안을 마련하기 위하여 국내외 *Salmonella* 저감화 연구 동향을 살펴보았다.

본론

1. 국내외 알가공품의 분류 및 제조 · 가공기준

1.1 국내 알가공품 분류

알가공품류는 국내의 식품의약품안전처에서 고시하는 「축산물 위생관리법」에 따라 분류된 축산물가공품의 일종으로, 식용란을 주원료로 하여 가공한 알가공품 및 알함유가공품을 통틀어 의미한다[5]. 이 중 알가공품은 식품의약

Table 1. Types and specifications of egg products (Korea Food code)

Type	Definition	Content of egg	Specification
Whole egg liquid	Whole egg liquid refers to whole egg contents; or such contents added with edible salt or saccharides, etc.; or those frozen	Over 80%	(1) Water (%) : Not more than 10.0 (applicable only to powder products) (2) Bacterial count ① For pasteurized products or products for those for direct consumption : n=5, c=1, m=10,000, M=50,000 ② Non-pasteurized products : n=5, c=1, m=500,000, M=1,000,000 (3) Coliforms ① Pasteurized products : n=5, c=1, m=10, M=100 ② Non-pasteurized products : n=5, c=1, m=100, M=1000 (However, n=5, c=0, m=0 for pidan) (4) *Salmonella* spp. : n=5, c=0, m=0/25 g (5) *Listeria monocytogenes* : n=5, c=0, m=0/25g (only applicable to pasteurized products or products for direct consumption)
Liquid egg yolk	Liquid egg yolk refers to egg yolks; or such yolks added with edible salt or saccharides, etc.; or those frozen	Over 80%	
Liquid egg white	Liquid egg white refers to egg whites; or such whites added with edible salt or saccharides, etc.; or those frozen.	Over 80%	
Whole egg powder	Whole egg powder refers to whole egg contents processed into powder form	Over 90%	
Egg yolk powder	Egg yolk powder refers to egg yolks processed into powder form	Over 90%	
Egg white powder	Egg white powder refers to egg whites processed into powder form	Over 90%	
Heated egg products	Heated eggs product refers to products made by heating eggs with or without the addition of food or food additives; or by boiling down or processing eggs, added with food or food additives with/without removing shells after boiling them in water	Over 30%	
Pidan	Pidan refers to products made by permeating seasonings, spices, etc. into eggs from outside the eggshells and aging it to give eggs a peculiar taste and hard texture	Over 90%	

품안전처 제2024-20호「식품별 기준 및 규격」에 따라 알 또는 알가공품을 원료로 하여 식품 또는 식품 첨가물을 가한 것 또는 이를 가공한 식품으로, 알의 가공방식 및 함유량의 기준을 따라 8가지 품목으로 다시 세분화된다(Table 1)[5]. 주원료에 따라 전란, 난황 및 난백을 나누며, 물성에 따라 액란류인 전란액, 난황액, 난백액, 분말란인 전란분, 난황분, 난백분과 고형란인 알가열제품 및 피단으로 구분된다. 전체 8가지 유형 중 알가열제품은 알 내용물 함량 기준이 30% 이상으로 80-90% 이상인 다른 유형에 비하여 낮으며 기타 첨가물을 이용한 가공이 가능하다. 또한 시중 판매 제품군이 다양하며 소비자의 기호도가 높아 다소비되는 유형이다[11].

Table 2. Manufacturing and processing standards for egg products

Type	Korea[1]	Japan[2]	
Hairline-cracked eggs	Shall be processed within 24 hours of receiving them (except that, they shall be processed within 72 hours if stored at 10℃ or below).	Shall be processed within 24 hours of receiving them (except that, they shall be processed within 72 hours if stored at 8℃ or below).	
Dirty eggs			
Soft-shelled eggs			
Raw eggs	Shells shall be removed in a compartmented workplace in a sanitary manner to prevent contamination. After cracking, the unpasteurized egg contents shall be cooled to 5℃ or below, and they shall not be stored for more than 72 hours.	Shall be washed with clean water. Shall be cooled to 8℃ or below when stored for more than 72 hours. After cracking, the unpasteurized egg contents shall be cooled to 8℃ or below.	
Unwashed eggs	Shall be washed with clean water (containing 100~200 ppm sodium hypochlorite or other means with equivalent or better pasteurizing effect) at 30℃ or above and 5 ℃ above the eggs' temperature.	Shall be washed with clean water (containing over 150 ppm sodium hypochlorite or other means with equivalent or better pasteurizing effect).	
Pasteurized eggs	Shall be filtered, homogenized and pasteurized. For heat-pasteurization, heated egg product shall be heat-pasteurized for 20 minutes at 90℃; whole egg liquid, for 2 minutes and 30 seconds at 64℃; liquid egg yolks, for 3 minutes and 30 seconds at 60℃; liquid egg whites, for 9 minutes and 30 seconds at 55℃; or using other methods with equivalent or better effect. After pasteurized, it shall be quickly cooled down to 5℃ or below after pasteurization process in order to minimize microbial growth.	Continuous thermal sterilization	Heat-pasteurized for 3.5 minutes at 60℃; whole egg liquid, at 61℃; liquid egg yolks, at 56℃; liquid egg whites.
		Batch thermal sterilization	Heat-pasteurized for 10 minutes at 58℃; whole egg liquid, at 59℃; liquid egg yolks, at 54℃; liquid egg whites.
		Sugared/ Salted egg yolks thermal sterilization	Heat-pasteurized for 3.5 minutes at 63.5℃; 10% salted, at 63.0℃; 10% sugared, at 65.0℃; 20% sugared, at 68.0℃; sugared.
		After pasteurized, it shall be quickly cooled down to 8℃ or below after pasteurization process in order to minimize microbial growth.	
Non-pasteurized liquid egg	Shall be quickly cooled down to 5℃ or below after removing shells; and shall not be stored for more than 72 hours.	Shall be quickly cooled down to 8℃ or below after removing shells.	
Eggs for manufacturing and processing	Shall be stored in cool place (0~15℃), away from direct sunlight. When refrigerated, they shall be stored in separate areas from egg products.		

1) MFDS(Ministry of Food and Drug Safety). 2024. Food code, Notification, No. 2024-20.
2) MHLW(Ministry of Health, Labour and Welfare). 2010. Japan Standards for foods, food additives, etc, No. 1975-370.

1.2 국내 제조 및 가공기준

현행 식품공전에서 제시하는 알가공품의 원료는 일반세균수, 대장균군 및 식중독균인 *Salmonella* 및 *Listeria monocytogenes*에 대한 미생물 기준규격(3군법)을 공통적으로 보유하며, 특히 *Salmonella*와 *L. monocytogenes*에 대해 n=5, c=0, m=0/25 g의 규격을 제시하며 불검출될 것을 권고한다(Table 1). 또한 알가공품의 제조 및 가공기준은 각 공정 별 준수해야 하는 온도, 공정 처리시간 및 세척방법을 제시한다 (Table 2). 특히 원료란(실금란, 오염란, 연각란, 정상란 및 식용란)에 따른 차별적인 살균, 보관기준을 제시하며 원료란별 미생물학적 오염도에 차이가 있음을 드러냈다[12]. 즉, 실금이 가거나 오염이 된 원료란은 난각 내부로의 미생물 침투 및 증식 가능성이 높아 신속한 세척과 가공처리가 요구된다. 또한 액란류(전란액, 난황액 및 난백액)는 가공 중 가열을 통한 살균여부에 차이가 있어, 제품의 살균 및 비살균에 따라 다른 보관기준을 제시한다.

알가공품은 유형 및 보관방식에 따라, 보관의 기간인 유통기한이 상이하다[13-15]. 가공 단계에서 살균과 비살균으로 구별되는 액란류의 경우, 비살균 제품을 냉장보관 하였을 시 9일에서 살균 시 16일까지 유통기한이 증가한다[13,16]. 반면 분말란류의 경우 유형과 무관하게 120-150일 이상 실온 · 냉장 · 냉동보관이 가능하다[17, 18]. 식약처에서 제시한 알가열제품의 통합적 유통기한 및 소비기한의 참고값은 30일이나, 제품생산 업체에 따라 권장 보관방식은 상이하다[19,20]. 이러한 차이는 유형별 미생물 증식 영향요인의 차별성을 제시한다. 즉, 액란류의 유통기한은 대장균 군수에 가장 영향을 받으며, 이러한 균의 증식은 보관온도에 영향을 받는다[21]. 반면 분말란류의 유통기한은 수분활성도에 가장 영향을 받는 것으로 나타난다[22-24]. 이를 통해 알가공품의 유통기한 차이의 원인은 유형별 미생물 증식에 차이에 따른 것으로 특히 성분과 보관 온도가 영향요인임을 확인하였다.

1.3 국외 제조 및 가공기준

일본의 후생노동성(Ministry of Health, Labour and Welfare, MHLW)에서 제시하는 알가공품 가공 단계의 기준은 원료 분류 및 세부 조건에서 우리나라와 유사하다 (Table 2)[25]. 제품의 가열 · 살균 방식(연속식 또는 배치식)에 따른 온도조건, 액란의 소금과 당의 함량에 따른 온도 조건 등 제시하는 온도 · 시간에 차이가 있으나, 알가공품을 분류하는 방식과 가공 단계 중 관리기준을 제시하는 지점이 유사하다. 미국 식품안전검사국(Food Safety and Inspection Service, FSIS)의 알가공품 가공 기준은 우리나라에 비하여 원료를 세분화하여 제시하며, 살균 조건으로 특정한 온도가 아닌 넓은 범위의 온도에 대한 최소 가열 시간을 제시한다[26]. 즉 가공업체가 제조하고자 하는 액란의 함량, 소금 및 당의 함량에 따라 적절한 살균 방식을 적용할 수 있도록 가능한 전 범위의 가열 · 살균 및 보관 온도에 따른 처리시간을 제공하고 있다. 단일 기준을 제시하지 않으며 선택권을 부여하는 반면, 살균 등에서 요구되는 기준 자체는 적정 온도 · 시간에서의 가열을 통해 미생물을 관리하는 방식은 우리나라 방식과 동일하다. 유럽연합의 유럽식품안전청(European Food Safety Authority, EFSA)은 살균방식으로 저온살균 규격을 제시하며 미생물 감염에 대한 관리뿐만 아니라 외부물질, 화학물질까지 규제를 명시한다[27]. 특히 전체 단계에서 4°C 이하 보관 및 냉각에 초점을 두는 것이 드러난다. 미국, 일본 및 유럽을 대상으로 국내 규격과 비교하였을 때, 국가별 원료 분류의 대상에서 세부적인 차이는 있었으나, 미생물 관리에서는 공통적으로 온도 관리를 통한 예방에 초점을 두고 있음을 확인하였다.

2. 알가공품의 미생물학적 위해 요인

알가공품은 단백질, 지방 및 비타민 등의 고영양 식품이며, 액체류인 전란액, 난황액 및 난백액은 수분을 70% 이상 함유하는 고수분 식품으로, 미생물이 존재할 경우 증식에 유리한 환경을 제공한다[6,7,8]. 특히 계란은 모체인 닭의 총배설강을 통해 산란되기 때문에 닭의 분변에 주로 서

식하는 *Salmonella*에 의해 계란 내부나 표면이 쉽게 오염된다[28,29]. 또한 계란의 껍질(이하 "난각")은 외부의 물리적 충격이나 오염물로부터 1차적으로 보호해주는 구조적 장치이지만, 쉽게 손상이 되기에 균열이 발생하고 미생물에 오염된다. 난각은 약 7,000–17,000개의 미세한 기공과 큐티클 층이 존재하여 내외부 수분과 이산화탄소 방출 및 외부 침투를 방어하는 능력이 있지만, 수분 증발로 인해 탄산가스의 배출이 발생할 경우 큐티클 층이 손상되어 미생물 침입이 일어난다[30–33]. 이는 산란 후 약 4일 이후에 발생하는 현상이므로 산란 후의 즉각적인 냉장 보관 및 가공 살균처리에 대한 현행 규격이 적절하며, 필수적인 단계임을 드러낸다.

알가공품은 제품의 가공 · 유통 단계에서 부적절한 가공 방식 및 보관에 의해 미생물에 오염될 수 있다[34]. 난각의 큐티클 층은 젤라틴으로 이루어져 있어 물과의 마찰에 취약하기 때문에 부적절한 세척으로 젤라틴의 박리와 큐티클 층의 분리가 발생하여 미생물 침투 방어 기능이 상실될 수 있다[35]. 이때 가열 · 살균 공정이 없거나 제대로 이루어지지 않은 경우, 가공 후에도 미생물 오염이 발생할 수 있다[36,37]. 제품 생산 이후 보관, 출고 후 소비자의 섭취까지 도 · 소매업체 또는 대형 유통업체를 통한 유통 단계를 거치는데, 이때 기준치 미만 혹은 초과의 부적절 온도로 보관할 경우 미생물 증식이 빠르게 발생한다[38,39]. 이는 *Salmonella*가 약5–47℃에서 성장하며 37℃에서 최적으로 증식이 가능하기 때문이다[40,41]. 따라서 알가공품은 가공의 초기단계에서 오염된 상태로 유통되는 경우가 많기에 원료란의 입고 후 적절한 세척 살균이 필수적이며, 가공 · 유통 · 보관의 전 단계에서 적합한 온도 관리를 통해 미생물 증식 예방이 중요하다.

3. 알가공품의 *Salmonella* 검출 사례 및 역학분석

3.1 *Salmonella* 검출 및 감염 사례

국내 알가공품의 미생물 오염 관리에도 불구하고 *Salmonella* 검출 및 감염으로 인한 리콜 및 감염 환자는 매년 발생하고 있다(Table 3). 국내 뿐만 아니라, 전세계

Table 3. *Salmonella* illness cases, bacteria detections, and recalls of egg and egg product: Domestic and International

Year	Location	Product	Number of infections	Number of patients	Reference
2014	USA	Whole egg powder	–	–	FSIS (2014)
2014	Taiwan	Liquid egg white	–	–	Tsai et al. (2018)
2014	Germany	Egg	–	–	EFSA (2014)
2016	USA	Egg product	8	2	CDC (2016)
2017	USA	Egg	81	20	CDC (2017)
2017	Czechia	Whole egg powder	325	69	Euro Surveill (2021)
2018	England	Liquid egg white	–	–	ECDC (2018)
2018	USA	Egg	45	11	Punchihewage et al. (2022)
2018	Korea	Liquid egg white	2,975	749	Kang et al. (2018)
2020	Korea	Heated egg product	–	–	MFDS (2020)
2021	Singapore	Egg	–	–	Graber (2021)
2021	Korea	Egg	489	79	MFDS (2021)
2021	Korea	Whole egg liquid	111	–	Eun et al. (2021)
2021	France	Egg, Egg product	216	–	ECDC (2022)
2021	Denmark	Egg	3	–	ECDC (2022)
2021	Netherlands	Egg	12	–	ECDC (2022)
2022	Korea	Egg	34	–	MFDS (2021)
2023	Korea	Liquid egg white	–	–	MFDS (2023)

적으로 계란과 알가공품에서 미생물 규격 초과로 인한 리콜 및 *Salmonella* 감염이 매년 발생한다[42]. 2014년 미국에서 전란분에 의한 리콜 사례가 발생하였으며, 2016 및 2017년에는 알가공품에 의한 *Salmonella* 식중독 사건으로 각각 2명, 20명의 입원환자를 발생시켰다. 미국 외에도, 유럽의 독일과 영국에서는 알가공품의 리콜 사례가 있었으며, 체코 및 프랑스에서는 알가공품에 의해 각각 325명(2017년), 216명(2021년)의 감염자가 발생하는 대규모 식중독 사건이 발생했다. 이는 단일 생산 및 가공업체에서 생산된 제품이 다국가로 판매되는 유럽의 유통 특성으로 인해, 단일 제품의 미생물 감염이 다국가적 발병을 초래함을 나타낸다. 또한 동아시아의 대만에서는 2014년, 싱가포르에서는 2021년 미생물 검출 기준 규격 초과로 인한 리콜이 발생한 것이 확인되었다.

*Salmonella*가 가장 많이 검출된 제품은 전란액이나 최다 감염자는 난백액에서 발생하고 있고, 이는 *Salmonella*의 검출과 감염은 다양한 알가공품에서 발생 가능함을 의미한다. 지난 5년간(2018-2022년) 국내에서 발생한 *Salmonella*에 의한 식중독은 131건이었으며 감염 환자 수는 7,400명이었다[43]. 지난 해(2023년)에는 알가공품 생산 및 유통 제품 228건의 미생물 검사에서 한 개의 난백액 제품에서 *Salmonella*가 검출되며 회수 및 폐기 처분되었다[44]. 해당 제품은 시판 전 제품으로, 섭취로 인한 식중독 발생은 없었으나 대규모 가공업체에서 미생물 검출 기준을 초과하는 제품이 발생했다는 점에서 현행 가열 · 살균 방식의 안전성에 대한 인식 재고가 필요함을 시사한다[45].

최근 알가공품에 의해 발생한 국내 집단 식중독은 2020년 대학교 및 회사 사내 집단급식소에서 계란 지단채에 오염된 *Salmonella* Livingstone에 의해 발생하였다[46]. 경기도 내 2개 시설에서 발생하였고 식품을 섭취한 777명 중 113명(감염률 14.5%)이 감염되어 복통을 동반한 설사를 호소하였다. 후향적 코호트 연구를 통해 감염자가 섭취한 식품의 정보를 파악하고, 인체 검체(유증상자, 조리종사자, 도시락 업체 종사자) 및 환경 검체(조리장 환경, 조리 식재료 등), 보존식 조사를 실시하였다. 조리종사자, 보존식 및 식재료에서 모두 동일한 *S.* Livingstone이 검출되었으며, 가공 단계 중 부적절한 살균 또는 교차오염 발생으로 인한 것으로 추정되었다. 그러나 지단채를 제조한 가공업체 환경 및 인체 검사 시에는 병원체가 검출되지 않았으며, 계란지단에 이용된 원료란을 수거할 수 없었기에 사용한 계란의 생산 일자, 오염 시기 및 오염경로 추정이 불가능하여, 역학적 연관성을 규명할 수 없었다[46].

3. 2 *Salmonella* 감염 역학적 요인

국가통계포털(Korean Statistical Information Service, KOSIS)에 따른 알가공품에 의한 식중독 감염 발생의 주요 시설은 2022년 기준 식품접객업소가 180건으로 전체의 57.8%를 차지하며 최다 발생 장소로 확인되었으나, 감염률은 집단급식소에서 우세하였다[47]. 학교 및 회사 구내식당과 같은 집단급식소는 1회 제공 인원수가 많아 단일 감염 건수 당 다수의 식중독 환자가 발생한다. 따라서 집단급식소에서는 다량의 식품을 신속하게 처리하는 등 미생물 감염 예방에 특별한 주의가 필요함을 시사한다.

동일 기간의 월별 감염 현황을 분석하였을 때, 여름철인 6-9월이 전체 발생의 51.1%(159건, 2,811명)로 최다 발생 계절임이 드러났으며, 특히 기온이 상승하는 5월부터 점차적으로 감염 환자 수가 급증하다가 기온이 하강하는 10월부터 발생이 감소하는 경향이 나타났다[48]. 이는 기온이 증가하는 여름철의 식중독 감염 주의의 필요성을 시사하며, 생산 시 보관의 전 단계에서 온도 관리의 중요성을 나타낸다.

최근 10년간(2012-2021년) 인천 보건환경연구원에 의뢰된 *Salmonella* 감염자 881명을 대상으로 감염자의 역학적 특성을 분석하였다[49]. 이때, 연령 별 감염 취약성을 확인하고자, 전체 환자를 10세 단위의 나이구간별로 구분하여 취약 연령층을 분석하였다. 감염환자는 9세 미만이 44.8%로 가장 많았고, 이후 10대, 20대에 감소하다가 30대부터 서서히 증가하여 70세 이상에서 두 번째로 많은 13.9%를 차지하는 경향이 나타났다. *Salmonella* 감염

역학 요인의 포괄적인 분석 결과, 9세 미만 아동 및 70 세 이상 노인을 대상으로 하는 집단급식소인 유치원 · 초등학교와 노인 급식소에서 *Salmonella*에 대한 각별한 주의와 여름철 온도 관리의 중요성을 시사한다.

4. 알가공품의 *Salmonella* 저감화 연구 동향 및 방안

현재 알가공품 살균 기준은 고온가열 방식으로, 55–90℃ 범위에서 권장 시간 동안의 가열 및 냉각보관으로 진행된다. 이때 원료인 계란은 260–380 g/kg의 단백질을 함유한 고단백 식품으로, ovalbumin(오브알부민), ovotransferrin(오보트랜스페린), collagen(콜라겐) 및 lysozyme(리소좀) 등의 단백질을 함유하여 각 84.0℃, 61.0℃, 55.1℃ 및 75.0℃에서 변성되는 성질을 갖는다[50–54]. 이로 인해 알가공품 기준에 따라 가열을 진행하는 살균 제품은 일부 품질 및 풍미 저하가 발생할 수 있다[54,55]. 따라서 식품 품질을 보전하면서도 효과적으로 미생물을 저감 시키는 기술 개발의 필요성이 제기된다.

Table 4에 알가공품에서 *Salmonella*를 저감화 하기 위한 최근 연구 현황을 정리하여 나타내었다. 국내외 알가공품의 *Salmonella*를 대상으로 한 저감화 기술은 물리적 열처리방식인 저온살균(Pasteurization), 고온살균(High–Temperature Short–Time, HTST)과 비열처리 방식인 고압처리(High–Pressure Processing, HPP), 자외선처리(UV treatment), 초음파처리(High intensity ultrasound)가 있다. 또한 화학적 처리방식에는 오존처리(Ozone treatment), 유기산처리(Organic acid treatment), 염소화합물 처리 (Chlorine compounds treatment), 효소(Enzymes treatment) 및 천연항균제 처리(Antimicrobial compounds treatment)와 생물학적 처리방식에는 박테리오파지(Bacteriophages) 방식이 있다. 또한 두 가지 이상의 저감화 기술을 동시에 처리하는 조합처리 방식도 최근 활발하게 연구되는 분야이다.

물리적 저감화 방식은 저감화 효능이 보장되지만, 식품에 변화를 유발할 수 있어 처리를 최소화하는 방안을 모색

Table 4. Current research on reducing *Salmonella* in egg products at processing stage

Treatment	Title	Sample	Target microorganisms	Reference
High–Temperature Short–Time	Thermal inactivation kinetics of three heat–resistant *Salmonella* strains in whole liquid egg	Whole egg liquid	*Salmonella* Enteritidis	Gurtler et al. (2019
High–Pressure Processing	Application of high–pressure processing for prevention of greenish–gray yolks and improvement of safety and shelf–life of hard–cooked peeled eggs	Egg	*Salmonella* Enteritidis	Shahbaz et al. (2018)
UV treatment	Inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella* in liquid egg white by pulsed UV light and its effects on quality	Liquid egg white	*Salmonella* Enteritidis	Ouyang at el. (2020)
High intensity ultrasound	High intensity ultrasound for *Salmonella* Enteritidis inactivation in culture and liquid whole eggs	Whole egg liquid	*Salmonella* Enteritidis	Techathuvanan et al. (2018)
Ozone treatment	Effect of ozone treatment for sanitation of egg	Egg shell	*Salmonella* Typhimurium	Choi et al. (2012)
Organic acid treatment	Organic acids in poultry industry: a review of nutritional advancements and health benefits	Egg shell	*Salmonella* Enteritidis	Du et al. (2023)
Chlorine compounds treatment	Effect of chlorine dioxide gas application to egg surface: Microbial reduction effect, quality of eggs, and hatchability	Egg shell	*Salmonella* spp.	Kim (2015)
Enzyme treatment	Efficacy of ficin and peroxyacetic acid against *Salmonella enterica* serovar Thompson biofilm on plastic, eggshell, and chicken skin	Egg shell	*Salmonella* Thompson	Nahar et al. (2022)

Table 4. Current research on reducing *Salmonella* in egg products at processing stage (continue)

Treatment	Title	Sample	Target microorganisms	Reference
Antimicrobial compounds treatment	The effect of essential oils and cinnamaldehyde on the inactivation of *Salmonella* Enteritidis in liquid egg products: comparison to synthetic additives	Whole egg liquid	*Salmonella* Enteritidis	Valverde et al. (2014)
Bacteriophage treatment	Inactivation of *Salmonella* Enteritidis in liquid egg yolk and egg white using bacteriophage cocktails	Liquid egg yolk, Liquid egg white	*Salmonella* Enteritidis	He et al. (2024)
Radiofrequency and thermal treatment	A microbial challenge study for validating continuous radio-frequency assisted thermal processing pasteurization of egg white powder	Egg white powder	*Salmonella* Enteritidis	Wei et al. (2020)
Lysozyme and high intensity ultrasound	Effects of combination treatments of lysozyme and high-power ultrasound on the *Salmonella* Typhimurium inactivation and quality of liquid whole egg	Whole egg liquid	*Salmonella* Typhimurium	Bi et al. (2020)
Thermal and ozone treatment	Heating rate during shell egg thermal treatment elicits stress tesponses and alters virulence of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis; Implications for shell egg pasteurization	Egg	*Salmonella* Enteritidis	Xu et al. (2022)
X-ray irradiation and chemical treatment	Synergistic effects of combined X-ray and aqueous chlorine dioxide treatments against *Salmonella* Typhimurium biofilm on quail egg shells	Egg shell	*Salmonella* Typhimurium	Park et al. (2018)

할 필요가 있다[56-59]. 화학적 방식은 빠른 저감화 효과를 얻을 수 있으나 처리한 화학물질의 식품 잔류 위험이 있어 안정성 측면에서 지양된다[60]. 생물학적 저감화 방식은 식품 친화적이고 안전한 방식이나, 일부 미생물에만 효과가 있기에 식품 별 적합성을 고려해야 한다[61,62]. 반면, 조합처리방식은 단일처리 방식에 비해 요구되는 처리의 강도 및 농도가 낮으며 효율이 높아 식품에 안정적인 효과를 낼 수 있다[63].

최적 저감화 방안 도출 연구는 특정 방식의 처리조건 중 식품에 영향을 주지 않는 적절한 살균 지점을 모색하며 진행된다. Shahbaz 등[64]에 따르면 물리적 처리방식인 고압처리를 이용하여 완숙란에 접종된 *S.* Enteritidis를 사멸시키는 최소 압력을 확인할 때, 미생물 사멸만을 고려할 경우 고압(600 MPa)으로 처리할수록 효과적이지만, 노른자에 녹색 회변을 일으키지 않는 관능적인 특성까지 고려하면 550 MPa에서 5분간의 처리가 가장 최적의 조건임이 드러났다. 또한, 고압처리된 알가공식품의 냉장 유통기한이 증가되며 가공 최종 단계에서 적용가능한 비열살균 공정으로서의 가능성을 시사하였다. Valverde 등[65]은 화학적 처리방안 중 천연 에센셜 오일(타임, 로즈마리, 계피껍질) 및 합성 에센셜 오일 통해 액란에 접종된 *S.* Enteritidis을 효과적으로 항균 가능한 농도를 확인하였다. 이때 7,000 ppm 농도로 처리된 경우 합성 에센셜 오일보다 천연 에센셜 오일에서 항균활성이 높다는 결과가 드러내며, 화학물질 처리로 발생하는 잔류 문제가 천연 물질 사용으로써 해결 가능함을 제시하였다. He 등[66]은 관개수, 하수 및 배설물 등에서 분리한 박테리오파지를 *S.* Enteritidis를 접종한 흰자와 노른자에 처리하여 항균능을 확인하였다. 점성 있는 액체인 흰자와 고체인 노른자 모두에서의 미생물 저감 효과를 통해 물성과 무관하게 액

체 및 고체 유형에 모두 적용가능한 기술임을 드러내었다. Bi 등[67]은 전란액에 초음파와 리소좀을 조합 처리하여 *S.* Typhimurium의 살균 정도를 확인하였다. 초음파와 리소좀을 단독 처리하였을 때 보다 조합 처리하였을 때 높은 효능을 보였으며, 이는 권장 기준에 따른 열처리 결과와 유사한 수준의 살균효과임이 나타났다. 나아가 시각적 감각평가를 진행하여, 처리 후 전란액이 더 노란빛의 난황을 띄며 감각적으로 우수한 결과를 나타낸다는 부수적인 효과도 확인하였다. 즉 초음파와 리소좀의 조합처리는 열처리 시 발생하는 품질저하 현상을 해결할 수 있는 저온살균 처리방안임이 나타났다. 이를 통해 조합적 처리는 효과적인 살균과 더불어 풍미유지가 가능한 새로운 처리 방식을 제시할 수 있음을 드러내며, 다양한 조합처리에 대한 연구의 필요성을 제시하였다.

알가공품에 적절한 규격의 가열살균 처리에도 불구하고 꾸준히 발생하는 *Salmonella* 감염을 예방하기 위해 여러 국가들과 발맞추어 국내에서도 안전관리를 위한 효과적인 저감화 연구 및 식품, 가공유통 단계별 적용이 필요할 것으로 사료된다.

국문요약

최근 *Salmonella*에 오염된 난백액이나 계란 지단과 같은 알가공품 의해 대규모 식중독 사건이 발생함에 따라 알가공품의 미생물학적 안전 관리에 대한 우려가 제기되고 있다. 본 논문에서는 알가공품의 미생물학적 안전관리 현황을 파악하고 향후 전략을 도출하고자 국내 알가공품의 관리 및 제조가공 기준, *Salmonella* 검출 현황, 최신 *Salmonella* 저감화 연구 동향을 조사하였다. 국내외 알가공품의 제조 및 가공 기준을 비교한 결과 보관 시의 온도 관리 중요성을 강조하고 있었으며, 업체에서는 미생물 저감을 위한 살균 방안으로 가열살균 및 저온살균을 주로 활용하고 있었다. 최근 알가공품의 리콜 및 식중독 사례 분석을 통해 알가공품의 원료인 계란 특성에 의한 위해요인과 제조 및 가공 단계에서 발생 가능한 위해요인을 파악하였다. 국내외 알가공품의 *Salmonella*를 대상으로 한 저감화 연구 현황을 분석한 결과, 다양한 물리적 처리 기술(저온살균, 고온살균, 고압처리, 자외선처리), 화학적 처리 기술(오존, 유기산, 염소화합물, 효소, 천연항균제) 및 생물학적 처리 기술(박테리오파지)이 개발되고 있었다. 이러한 연구는 알가공품의 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 방안을 제공할 수 있으며, 향후 미생물학적으로 안정한 알가공품의 생산을 위해 더욱 효과적인 전략을 모색하는 노력이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 2024년도 식품의약품안전처의 연구개발비(24192미생식022)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Ji Won Seo 0009-0001-6978-5753

Tae Jin Cho 0000-0002-6563-2514

Min Suk Rhee 0000-0003-0412-1910

Sun Ae Kim 0000-0003-2463-3198

참고 문헌

1. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), (2024, May 22). Food poisoning statistics by causative agent[Press release]. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/healthyfoodlife/foodPoisoningStat.do?menu_no=4425&menu_grp=MENU_NEW02

2. Guard-Petter, J., The chicken, the egg and *Salmonella* Enteritidis. *Environ. Microb.*, 3, 421-430 (2001).

3. KOSIS (Korean Statistical Information Service), (2024, May 22). Trends in daily intake by food group (Adjusted): Ages 1 and above. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=177&tblId=DT_11702_N021&conn_path=I3

4. Cardoso, M.J., Nicolau, A.I., Borda, D., Nielsen, L., Maia, R.L., Møretrø, T., Ferreira, V., Knøchel, S., Langsrud, S., Teixeira, P., *Salmonella* in eggs: From shopping to consumption - A review providing an evidence-based analysis of risk factors. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 20(3), 2716-2741 (2021).

5. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2024. Food code, Notification No. 2024-20, MFDS, Chungcheongbuk-do, Korea.

6. Sperber, W.H., Influence of 7vity on foodborne bacteria - A review. *J. Food Prot.*, 46, 142-150 (1983).

7. Tapia, M.S., Alzamora, M.S., Chirife, J., 2020. Effects of water activity on microbial stability as a hurdle in food preservation. second ed, WILEY Blackwell, Chicago, IL, USA, pp. 323-356.

8. Jeon, M.S., Hong, S.H., Identification of microorganisms from eggs in hypermarket in the northern gyeonggi area. *Korean J. Food Nutr.*, 22(3), 396-401 (2009).

9. Eun, Y.D., Jeong, H.S., Kim, S.J., Park, W.S., Ahn, B.S., Kim, D.K., Kim, E.H., Park, E.H., Park, S.H., Hwang, I.Y., Son, H.J, A large outbreak of *Salmonella enterica* serovar Thompson infections associated with chocolate cake in Busan, Korea. *Epidemiol. Health*, 41 (2019).

10. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety)., The 'Urimeal Choco Blossom Cake' has been confirmed to cause *Salmonella* food poisoning [Reported news]. Retrieved from https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156293967&call_from=rsslink

11. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022. 2022 Food production performance. Ministry of Food and Drug Safety, Chungcheongbuk-do, Korea.

12. Kraus, A., Zita, L., Krunt, O., Chodová, D., Okrouhlá, M., Krawczyk, J., Do the differences in egg contamination, penetration, and resistance against microorganisms among the hen genotypes exist?. *Ann. Anim. Sci.*, 22, 561-574 (2022).

13. Kim, Y.J., Moon, H.J., Song, B.R., Lim, J.S., Heo, E.J., Park, H.J., Wee, S.H., Moon, J.S., Evaluation of shelf life of non-pasteurized egg yolks, egg whites, and whole egg liquid products in korea. *J. Food Hyg. Saf.*, 34, 94-99 (2019).

14. An, J.H., Park, J.M., Gu, J.G., Yoon, S.J., Le,e J.S., Kim, J.M., Kim, S.H., Kim, R.J., Park, J.W., Song, S.O., Wee, S.H., Kim, J.M., A study of establishment and exploitation of bio-markers for determination of shelf-life of eggs and egg products, *Korean J. Food Sci. An.*, 32, 354-363, (2012).

15. Kim, Y.J., Moon, H.J., Lee, S.K., Song, B.R., Lim, J.S., Heo, E.J., Park, H.J., Wee, S.H., Moon, J.S., Development and validation of predictive model for *Salmonella* growth in unpasteurized liquid eggs. *Korean J. Food Sci. An.*, 38, 442-450, (2018).

16. Wang, J., Gu, L., Su, Y., Chang, C., Xu, L., Yang, Y. and Li, J., Changes in microbial, physiochemical, and functional properties of pasteurized liquid whole egg during refrigerated storage. *J. Sci. Food Agric.*, 100, 2873-2879 (2020).

17. Ratu, R.N., Usturoi1, M.G., Albu, A., Quality of powder egg stored in different conditions, BA thesis, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Iasi, Romania (2015).

18. Katekhong, W., Charoenrein, S., Color and gelling properties of dried egg white: Effect of drying methods and storage conditions. *Int. J. Food Prop.*, 20(9), 2157-2168 (2017).

19. Kim, J.W., Kim, H.C., Huh, J.W., Quality changes of egg products during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 30(6), 1480-1483 (1998).

20. Akter, Y., Kasim, A., Omar, H., Sazili, A.Q., Effect of storage time and temperature on the quality characteristics of chicken eggs. *J. Food Agric. Environ.*, 1212, 87-92 (2014).

21. Guo, D., Pan, Q., Huang, Q., Yi, Y., Wang, H., Xu, W., The quality analysis and deterioration mechanism of liquid egg white during storage. *Appl. Sci.*, 12, 2500 (2022).

22. Hedegaard, R.V., Skibsted, L.H., 2013. Handbook of Food Powders. Woodhead, Sawston, UK, pp. 409–434.

23. Hong, J. W., Dong, S. L., 2019. Packaging and the shelf life of milk powder products, Elsevier Inc, Amsterdam, Netherlands.

24. Kang, G.H., Cho, S.H., Seong, P.N., Park, B.Y., Ham, J.S., Jeong, S.K., Kim, D.H., Chae, H.S., Microbial and physicochemical properties of liquid egg during cold storage. *Korean J. Food Sci. An.*, 31, 557–562 (2011).

25. MHLW (Ministry of Health, Labour and Welfare). 2010. Japan Standards for Foods, Food Additives, etc., No. 1975–370, MHLW, Tokyo, Japan.

26. FSIS (The Food Safety and Inspection Service). 2020. Food Safety Guideline for Egg Products, FSIS, Alameda, CA, USA.

27. EUR–Lex. 2023. Regulation (EC) No 853/2004 of the European parliament and of the council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin. EUR–Lex, UK, pp. 139.

28. De Reu, K., Grijspeerdt, K., Messens, W., Heyndrickx, M., Uyttendaele, M., Debevere, J., Herman, L., Eggshell factors influencing eggshell penetration and whole egg contamination by different bacteria, including *Salmonella* Enteritidis. *Int. J. Food Microbiol.*, 112(3), 253–260 (2006).

29. Buck, J.D., Pasmans, F., Van Immerseel, F., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., Tubular glands of the isthmus are the predominant colonization site of *Salmonella* Enteritidis in the upper oviduct of laying hens. *Poultry Science*., 83, 352–358 (2004).

30. Hincke, M.T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez–Navarro, A.B., McKee, M.D., The eggshell: structure, composition and mineralization. *Front. Biosci.(Landmark Ed.)*, 17, 1266–1280 (2012).

31. Techer C., F, Baron., S, Jan., Microbial spoilage of eggs and egg products. *Worlds Poult. Sci. J.*, 69, 15–19 (2013).

32. Korean Poultry, (2024, May 24), The science of egg quality [Website]. Retrieved from https://koreanpoultry.co.kr/Library3/?q=YToyOntzOjEyOiJrZXl3b3JkX3R5cGUiO3M6MzoiYWxsIjtzOjQ6InBhZ2UiO2k6Mzt9&bmode=view&idx=6114944&t=board&category=27686PF02K

33. Messens, W., Grijspeerdt, K., Herman, K., Eggshell penetration by *Salmonella*: A review. *Worlds Poult. Sci. J.*, 61, 71–86 (2005).

34. De Reu, K., Grijspeerdt, K., Heyndrickx, M., Uyttendaele, M., Debevere, J., Hermann, L., Bacterial shell contamination in the egg collection chains of different housing systems for laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 47, 163–172 (2006).

35. Hatta, H., Kubo, N. 2023. Handbook of Egg Science and Technology, first edition, CRC press, Boca Raton, FL, USA.

36. Regmi, P., Jones, D.R., Gast, R.K., Guard, J.Y., Karcher, D.M., Egg carton and eggshell: is there a possibility of *Salmonella* cross–contamination?, *J. Appl. Poult. Res.*, 30 (2021).

37. Woo, Y.G., The microbiological hygiene status of commercial meat and eggs in the Gyeonggi–do. *Korean J. Microbiol.*, 41(1), 38–46 (2005).

38. Gast, R.K., Holt, P.S., Influence of the level and location of contamination on the multiplication of *Salmonella* Enteritidis at different storage temperatures in experimentally inoculated eggs. *Poult. Sci.*, 79, 559–563 (2000).

39. Lublin, A., Sela, S., The impact of temperature during the storage of table eggs on the viability of *Salmonella enterica* serovars Enteritidis and Virchow in the eggs. *Poult. Sci.*, 87, 2208–2214 (2008).

40. Smadi, H., Sargeant, J.M., Shannon, H.S., & Raina, P., Growth and inactivation of *Salmonella* at low refrigerated storage temperatures and thermal inactivation on raw chicken meat and laboratory media: mixed effect meta–analysis. *J. Epidemiol. Glob. Health.*, 2(4), 165–179 (2012).

41. Matches, J.R., Liston, J., Low temperature growth of *Salmonella*. *J. Food Sci.*, 33(6), 641–645 (1968).

42. Whiley, H., Ross, K., *Salmonella* and eggs: from production to plate. International journal of environmental research and public health, 12(3), 2543–2556 (2015).

43. Food Safety Korea, (2024, May 22). Food poisoning statistics [Press release]. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/healthyfoodlife/foodPoisoningStat.do?menu_no=4425&menu_grp=MENU_NEW02

44. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), (2024, June 11). During the holiday season, inspections of egg processing companies were conducted, resulting in the discovery of violations at four facilities [Press release]. Retrieved from https://impfood.mfds.go.kr/CFBBB02F02/getCntntsDetail?cntntsSn=514601

45. Bae, U.K., Park, J.Y., Non-thermal processing of plant foods and a minimal process. *Food Ind. Nut.*, 8(1), 15-27 (2003).

46. Gyeonggi-do, Epidemiological investigation report on waterborne and foodborne infectious disease outbreaks: Best practices collection in Gyeonggi-do. Gyeonggi-do, 150-165 (2022).

47. KOSIS (Korean Statistical Information Service), (2024, May 22). Number of food poisoning cases and patient status by province and facility [Press release]. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=177&tblId=DT_11702_N021&conn_path=I3

48. KOSIS (Korean Statistical Information Service), (2024, May 22). Number of food poisoning cases and patient status by month and location [Press release]. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=177&tblId=DT_11702_N021&conn_path=I3

49. KCDC (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2023. Epidemiological investigation report on infectious diseases for the year 2022. KCDC, Chungcheongbuk-do, Korea.

50. Chang, C., Lahti, T., Tanaka, T., Nickerson, M. T., Egg proteins: fractionation, bioactive peptides and allergenicity. *J. Sci. Food Agric.*, 98(15), 5547-5558 (2018).

51. Rossi, M., Schiraldi, A., Thermal denaturation and aggregation of egg proteins. *Thermochim. Acta*, 199, 115-123 (1992).

52. Razi, S.M., Fahim, H., Amirabadi, S., Rashidinejad, A., An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocoll.*, 135 (2023).

53. Zhao, Y.H., Chi, Y.J., Characterization of collagen from eggshell membrane. *Biotechnol.*, 8, 254-258 (2009).

54. Chang, J.Y., Li, L., The unfolding mechanism and the disulfide structures of denatured lysozyme. *FEBS Lett.*, 511, 73-78 (2002).

55. Bermudez-Aguirre, D., Niemira, B.A., A review on egg pasteurization and disinfection: traditional and novel processing technologies. *Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf.*, 22(2), 756-784 (2023).

56. Kang, G.H., Cho, S.H., Seong, P.N., Park, B.Y., Ham, J.S., Jeong, S.K., Kim, D.H., Chae, H.S., Microbial and physicochemical properties of liquid egg during cold storage. *Korean J. Food Sci. An.*, 31, 557-562 (2011).

57. Gurtler, J.B., Ryu, J.H., Reducing *Salmonella* in processed egg products. *Food Res. Int.*, 44(5), 1375-1386 (2011).

58. ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods), 2005. Microorganisms in Foods 6: Microbial Ecology of Food Commodities. ICMSF, second ed, pp. 597-642.

59. Davidson, M.P., Harrison, M.A., Antimicrobial treatments in food processing. *Food Technol.*, 56(10), 64-69. (2002).

60. Zhang, L., Jia, Q., Liao, G., Qian, Y., Qiu, J., Multi-residue determination of 244 chemical contaminants in chicken eggs by liquid chromatography-tandem mass spectrometry after effective lipid clean-up. *Agriculture*, 12(6), 869 (2022).

61. Lee, S.G., Yuk H.G., Application of bacteriophage for microbiological food safety. *J. Biotechnol. Bioind.*, 8, 1-5 (2022).

62. Kim, M.J., Keon, H.M., Seong, S.W., The characteristics of *Salmonella* Gallinarum bacteriophage. *Korean J. Poult. Sci.*, 44(3), 181-187 (2017).

63. Wei, X., Lau, S.K., Reddy, B.S., Subbiah, J.A microbial challenge study for validating continuous radio-frequency assisted thermal processing pasteurization of egg white powder. *Food Microbiol.*, 85, 103306 (2020).

64. Shahbaz, H.M., Jeong, B., Kim, J.U., Ha, N., Lee, H., Ha, S.-D., Park J., Application of high pressure processing for prevention of greenish-gray yolks and improvement of safety and shelf-life of hard-cooked peeled eggs. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 45, 10-17 (2018).

65. Valverde, M.T., Cava-Roda, R., Calvo, L. et al., The

effect of essential oils and cinnamaldehyde on the inactivation of *Salmonella* Enteritidis in liquid egg products: comparison to synthetic additives. *Eur. Food Res. Technol.*, 240, 961–968 (2015).

66. He, J., Wong, C.W.Y., Schultze, D.M., Wang, S., Inactivation of *Salmonella* Enteritidis in liquid egg yolk and egg white using bacteriophage cocktails. *Curr. Res. Food Sci.*, 8, 100703 (2024).

67. Bi, X., Wang, X., Chen, Y., Chen, L., Xing, Y., Che, Z., Effects of combination treatments of lysozyme and high power ultrasound on the *Salmonella* Typhimurium inactivation and quality of liquid whole egg. *Ultrason. Sonochem.*, 60, 104763 (2020).

68. FSIS (Food Safety and Inspection Service), (2024, June 9). Washington firm recalls dried egg products due to possible *Salmonella* contamination [Press release]. Retrieved from https://www.fsis.usda.gov/recalls-alerts/washington-firm-recalls-dried-egg-products-due-possible-*Salmonella*-contamination-0

69. Tsai, Y.C., Chen, W.C., Liao, Y.S., Chiou, C.S., Chen, P.C., Chien, Y.C., Kuo, H.W., Outbreak of *Salmonella* Enteritidis infection linked to tiramisu cakes contaminated by liquid eggs in Taiwan, 2014. *Taiwan E. B.*, 34, 9 (2018).

70. CDC (Centers for Disease Control and Prevention), (2024, June 9). 2016 *Salmonella* linked to good earth egg company shell eggs [Press release]. Retrieved from https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/Salmonella/oranienburg-10-16/index.html

71. CDC (Centers for Disease Control and Prevention), 2019. Surveillance for Foodborne Disease Outbreaks United States, 2017: Annual Report. U.S department of health and Human services, Washington, D. C., USA, pp. 10-12.

72. Labská, K., Špačková, M.., Daniel, O., Včelák, J., Vlasáková, V., Černý, T., Gelbíčová, T., Florianová, M., Karpíšková, R., Gavačová, D., Štefkovičová, M., Orlíková, H., A cross-border outbreak of *Salmonella* Bareilly cases confirmed by whole genome sequencing, Czech Republic and Slovakia, 2017 to 2018. *Euro surveillance*, 26(14), 2000131 (2021).

73. ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2020. Multi-country outbreak of *Salmonella* Enteritidis infections linked to eggs, third update, European Food Safety Authority, Parama, Italy, pp. 6-8.

74. Punchihewage-Don, A.J., Hawkins, J., Adnan, A.M., Hashem, F., Parveen, S., The outbreaks and prevalence of antimicrobial resistant *Salmonella* in poultry in the United States: An overview. *Heliyon*, 8, 11 (2022).

75. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), Epidemiological investigation of infectious diseases in Korea annual report 2018, *MFDS*, 11-1460736-000033-10, 107-123 (2018).

76. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), (2024, May 30). Recall notice for 'egg heating products' detected with *Salmonella* [Press release]. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=44071&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1

77. Graber, R., (2024, June 10). Singapore Food Agency recalls eggs from Ukraine [Press release], Retrieved from https://www.wattagnet.com/broilers-turkeys/food-safety/article/15544038/singapore-food-agency-recalls-eggs-from-ukraine

78. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), Epidemiological investigation of infectious diseases in Korea annual report 2019-2021, *MFDS*, 11-1790387-000422-10 (2022).

79. Eun, J.S., Han, J., Lim, J.H, Shin, E., Kim, E., Kim, J., Ko, D.J., Yoo,J., Kim,S., K, J.S., Park, J.S., Park, J.H., Salmonellosis outbreaks linked to eggs at 2 gimbap restaurants in the Republic of Korea. *Epidemiol. Health*, 2024036 (2024).

80. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), (2024, May 22). Inspection results of egg processing facilities, including baked eggs [Press release]. Retrieved from https://impfood.mfds.go.kr/CFBBB02F02/getCntntsDetail?cntntsSn=378904

81. ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), EFSA (European Food Safety Authority), Multi-country outbreak of *Salmonella* Enteritidis sequence type (ST)11 infections linked to eggs and egg products. *EFSA Support. Publ.*, 19(2), 7180E (2022).

82. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), (2024, May 22). Four egg processing facilities caught during outing season inspections [Press release]. Retrieved from https://impfood.mfds.go.kr/CFBBB02F02/getCntntsDetail?cntntsSn=514601

83. ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), EFSA (European Food Safety Authority), Multi-country outbreak of *Salmonella* Enteritidis infections associated with consumption of eggs from Germany. *EFSA Support. Publ.*, 11(8), 646E (2014).

84. Gurtler, J.B, Juneja, V.K., Jones, D.R., Purohit, A., Thermal inactivation kinetics of three heat-resistant *Salmonella* strains in whole liquid egg, *J. Food Prot.*, 82(9), 1465-1471 (2019).

85. Ouyang, B., Demirci, A., Patterson, P.H., Inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella* in liquid egg white by pulsed UV light and its effects on quality. *J. Food Process. Eng.*, 43, e13243 (2020).

86. Techathuvanan, C., D'Souza, D.H. High intensity ultrasound for *Salmonella* Enteritidis inactivation in culture and liquid whole eggs. *J. Food Sci.*, 83(6), 1733-1739 (2018).

87. Choi, G.H., Lee, K.H., Effect of ozone treatment for sanitation of egg. *Korean J. Food Sci. An.*, 32 (2012).

88. Du, H., Sarwar, I., Ahmad, S., Suheryani, I., Anjum, S., Andlib, S., Arain, M.A. Organic acids in poultry industry: a review of nutritional advancements and health benefits. World's Poultry Science Journal, 80(1), 133-153 (2023).

89. Chung, H., Kim, H., Myeong, D., Kim, S., Choe, N.H. Effect of chlorine dioxide gas application to egg surface: microbial reduction effect, quality of eggs, and hatchability. *Korean J. Food Sci. An.*,38(3), 487-497 (2018).

90. Nahar, S., Jeong, H.L., Cho, A.J., Park, J.H., Han, S., Kim, Y., Efficacy of ficin and peroxyacetic acid against *Salmonella enterica* serovar Thompson biofilm on plastic, eggshell, and chicken skin. *Food Microbiol.*, 104 , 103997 (2022).

91. Xu, Y., Abdelhamid, A.G., Sabag-Daigle, A., Ahmer, B.M.M., Yousef, A.E. Heating rate during shell egg thermal treatment elicits stress tesponses and alters virulence of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis; implications for shell egg pasteurization. *Appl. Environ. Microbiol.*, 88(20), e0114022 (2022).

92. Park, S.Y., Jung S.J., Ha, S.D., Synergistic effects of combined X-ray and aqueous chlorine dioxide treatments against *Salmonella* Typhimurium biofilm on quail egg shells, LWT , 92 , 54-60 (2018).