Study Suggests Potential Utility of Bacteriophage as Supplemental Preharvest Agricultural Water Treatment

출처: Food Safety Magazine October 20, 2025

오염된 관개수는 식품매개 병원체가 농산물에 유입되는 주요 경로 중 하나로 알려져 있다. 최근 Journal of Food Protection에 게재된 연구에서는 관개수 처리제의 효능을 평가하였으며, 특히 *Salmonella* Infantis를 대상으로 한 SalmoFresh 박테리오파지의 효과를 조사하였다. 연구진은 pH 6.5 및 8.4, 12℃ 및 32℃의 온도 조건에서 4–100 NTU의 탁도를 갖는 시험 농업용수와 멸균 및 비멸균 상태의 자연 연못수를 사용하여 실험을 수행하였다. 각 샘플에는 4–6 log CFU/mL 수준의 *S.* Infantis가 접종되었으며, 7 또는 8 log PFU/mL 농도의 SalmoFresh가 5–30분간 처리되었다.

시험 농업용수 조건에서는 pH나 탁도와 무관하게, 8-log PFU/mL 농도의 파지를 5분 처리했을 때 일관된 1-log CFU/mL 감소가 관찰되었다. 반면, 연못수에서는 높은 농도의 파지(8-log PFU/mL) 처리에서만 유의한 감소가 나타났으며, 32℃에서 30분 처리 시 최대 1.7-log CFU/mL의 감소가 확인되었다. 더 낮은 온도에서는 저감화 폭이 다소 줄어들었는데, 이는 세균 대사활성 감소에 따른 파지 감염 효율 저하에 기인한 것으로 판단된다.

미국 환경보호청(U.S. Environmental Protection Agency, EPA) 및 식품의약국(U.S. Food and Drug Administration, FDA) 기준에 따르면, 항균제로 승인받기 위해서는 5분 이내에 3-log CFU/mL 이상의 감소를 달성해야 한다. 그러나 본 연구에서 SalmoFresh가 보여준 최대 감소폭은 이 기준에 미치지 못하였다. 유사한 조건에서 염소(chlorine)나 과초산(peracetic acid, PAA)과 같은 화학적 살균제는 3-log 이상 감소 효과를 입증한 바 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서 적용된 파지 처리는 높은 분변 유래 대장균의 존재 및 유기물 함량과 같은 다양한 수질 조건에서도 일관된 효능을 유지하였으며, 이는 파지가 보조적 처리제로서 활용될 잠재성을 시사한다. 이전 연구들 역시 박테리오파지와 화학적 살균제를 병용하여 살균 효과를 향상시키는 허들 접근법의 유효성을 보고한 바 있다. 본 연구는 수확 전 수처리를 위해 용해성(lytic) 파지 칵테일을 적용한 첫 사례로서, 다양한 수질 조건에서 *S.* Infantis를 완만하지만 일관되게 감소시키는 효과를 확인하였다. 비록 단독으로는 규제 기준을 충족하지 못했으나, 파지는 통합적 수질 안전 관리 전략에서 화학 살균제를 보완하는 역할을 수행할 가능성을 보여주었으며 적용 최적화 및 병원체 스펙트럼 확장을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/10805-study-suggests-potential-utility-of-bacteriophage-as-supplemental-preharvest-agricultural-water-treatment

Study Suggests that Processed Food Consumption May Influence PFAS Exposure

출처: Food Safety Magazine October 27, 2025

노스캐롤라이나 대학교에서 수행한 International Journal of Hygiene and Environmental Health에 게재된 최신 연구는 식이 선택이 과불화화합물(per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 노출에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대해 새로운 통찰을 제공하고 있다. PFAS는 인체나 환경에서 분해되지 않는 특성으로 인해 흔히 forever chemicals로 불리며 조리기구나 식품 포장재와 같은 소비재에 널리 사용되는 합성 화학물질군으로, 최근 그 유해성이 점점 더 강조되고 있다.

연구진은 2003 - 2018년 미국 질병통제예방센터(U.S. Centers for Disease Control and Prevention, CDC)의 국민건강영양조사 자료를 활용하여 12세 이상 1만1,000명 이상의 개인으로부터 채취한 혈액 샘플을 분석하였다. 또한 연구진은 참가자들의 24시간 식이 회상 자료를 평균하여 NOVA 시스템에 기반한 비가공/최소가공 식품, 가공 조리 재료, 가공식품, 초가공 식품의 상대적 섭취량을 산출하였다.

연구진은 초가공 식품을 더 많이 섭취한 개인, 특히 청소년과 정상 체중 범주에 속한 사람들에게서 두 가지 PFAS 화합물(PFHxS 및 MeFOSAA)의 혈중 농도가 상승한다는 사실을 확인하였다. 구체적으로, 초가공 식품 섭취가 10% 증가할 때마다 PFHxS 농도가 유의하게 증가하였다. 반대로, 비가공/최소가공 식품 섭취가 10% 증가할 때마다 PFOA, PFNA, PFDA 및 PFUnDA의 농도는 더 낮게 나타났다.

이러한 연구 결과는 식품 포장재, 가공 과정에서 사용되는 식품 접촉 소재, 그리고 가공 공정 자체가 식품 내 PFAS의 주요 기여 요인이 될 수 있으며, 이로 인해 식이를 통한 PFAS 노출이 증가할 수 있음을 시사한다. 그러나 본 연구는 PFAS 노출이 가공식품에만 국한되지 않는다는 점도 밝혀냈다. 주로 비가공 식품을 섭취한 참여자들에서도 PFDA와 PFUnDA와 같은 다른 종류의 PFAS 화합물이 상승된 수준으로 나타났다. 이는 오염된 음용수나 토양, 그리고 어류 및 육류에서의 생물농축 등 추가적인 노출 경로가 존재함을 시사한다.

식이 조절이나 PFAS-비함유 조리기구 사용, 음용수 정수 등 개인적 선택이 노출 감소에 일부 도움을 줄 수는 있지만, 연구진은 이러한 개인 차원의 노력만으로는 충분한 해결책이 될 수 없다고 지적한다. 연구진은 더 강력한 식품 안전 규제와 환경 정화 노력을 포함한 체계적 개입이 필수적임을 강조하고 있다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/10825-study-suggests-that-processed-food-consumption-may-influence-pfas-exposure

FAO Report Highlights Needs for Responsible AI Adoption in Food Safety Fields

출처: Food Safety Magazine October 31, 2025

인공지능(AI)은 데이터 분석, 예측 모델링, 위험 기반 의사결정에서 새로운 역량을 제공함으로써 식품안전관리 체계를 급속도로 재편하고 있다. 최근 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)와 Wageningen 식품안전연구소가 공동으로 발간한 기술 보고서는 실험실 검사와 현장 조사에서부터 국경검역 및 규제 효율성 제고에 이르기까지, 식품안전 전 분야에서의 AI 활용 사례를 종합적으로 정리 분석하였다.

본 보고서는 141편의 학술논문과 실제 사례연구(저 · 중소득국 사례 포함)를 기반으로 AI 활용이 이루어지는 세 가지 핵심 분야(과학적 자문, 검사 및 국경 검역, 식품안전 관할 기관의 운영 활동)를 도출하였다. 활용 사례는 병원성 미생물 검출, 수입식품 샘플링 우선순위 설정부터 규제 데이터 처리에 언어 모델을 적용하는 사례까지 다양하게 나타났다. 보다 구체적으로, 보고서는 세 가지 핵심 분야 전반에서 AI가 식품안전 관리 및 규제 감독을 강화하는 방식에 대해 다음과 같이 제시하고 있다.

과학적 자문: AI는 실험실 검사 효율성과 비용 효율성을 향상시키는데 기여하고 있다. 또한 AI 기반 연구는 식품 오염 및 식중독 발생 요인을 규명하는 데까지 확장되어, 예방 전략 수립에 중요한 근거를 제공하고 있다.

검사 및 국경 검역: 예측 모델은 환경 데이터 및 과거 데이터를 바탕으로 모니터링 필요 지점을 보다 정밀하게 선정할 수 있도록 지원하며, AI 기반 도구는 국경 검역에서 식품의 검증 및 오염물질 검출의 정확성을 높이고 있다.

관할 기관의 운영 활동: 소셜미디어, 리콜 보고 등 다양한 데이터의 실시간 분석 및 텍스트 마이닝은 신규 위해 요인에 대한 대응 속도를 향상시킴으로서 규제 업무를 간소화하고 전통적인 실험실 검사에 대한 의존도를 감소시키고 있다.

한편 보고서에서는 AI 활용에 대한 관심이 증가하고 있음에도 불구하고 데이터의 부족, 용량의 제약, 견고한 거버넌스 필요성 등 지속적인 도전 과제가 존재한다고 강조하였다. 또한, 식품안전 규제기관을 위한 다음과 같은 사항을 권고하고 있다.

- 투명성, 책임성, 인권을 우선하는 AI 거버넌스 프레임워크 강화
- 데이터 과학 및 위해정보교류 등의 내용을 포함한 AI 관련 교육 시스템 구축
- 파트너십과 FAIR 데이터 원칙을 통한 데이터 시스템 개선
- 공공 · 민간 · 학계 등 이해관계자 협력 촉진
- 식품 가치사슬 전반에서 AI 통합을 위한 시스템 적용

본 「Artificial Intelligence for Food Safety: A Literature Synthesis, Real-World Applications, and Regulatory Frameworks」 보고서의 전체 내용은 아래

에서 확인할 수 있다.

https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2fb4e8fa-e872-4371-88d4-8bd22a77e8a5/content

출처:

https://www.food-safety.com/articles/10845-fao-report-highlights-needs-for-responsible-ai-adoption-in-food-safety-fields

First-of-its-Kind Study Shows How Listeria Strains Evolve Into Strong Biofilm Formers

출처: Food Safety Magazine November 4, 2025

최근 Microbiological Research 게재된 연구에서는 *Listeria monocytogenes*의 강한 생물막(biofilm) 형성을 가능하게 하는 유전적 · 표현형적 적응 메커니즘에 대한 새로운 통찰을 제시하였다. *L. monocytogenes*가 스테인리스 스틸, 플라스틱, 유리 등 다양한 표면에서 생물막을 형성하는 능력은 식품 생산 환경에서의 생존 및 오염 가능성을 높이는 주요 요인으로 잘 알려져 있다. 연구진은 실험적 진화 모델을 활용하여 두 가지 *L. monocytogenes* 배경 균주, 즉 기준 균주인 EGDe와 고돌연변이 식품 분리주인 FBR16으로부터 진화 변이주(evolved variant, EV)를 분리하였다. EV 균주 분리를 위해 원래의 EGDe 및 FBR16 균주에 대해 표면 부착, 생물막 형성, 분산, 재부착의 과정을 반복적으로 수행하였다. 그 결과 확보된 EV 균주들은 모균주 대비 최대 7배까지 증가된 생물막 생성 능력을 나타내었다.

표현형 분석 결과, EV 균주들에서는 세포 표면 소수성의 증가가 주요 특징으로 나타났으며, 이는 폴리스티렌 및 스테인리스 스틸과 같은 소수성 표면에 대한 부착력 향상과 높은 상관성을 보였다. 단백질체 분석에서는 Lmo1798 및 Lmo1799 단백질이 유의적으로 과발현되어 있음을 확인하였으며, 이들 단백질이 강화된 생물막 형성에 기여하는 주요 요인으로 제시되었다.

EGDe 유래 EV 균주에 대한 유전체 분석 결과, lmo1799 유전자 상류에서의 단일염기 삽입과 더불어 해당 유전자 내부의 42-염기 in-frame 결실이 확인되었다. 이러한 변이는 lmo1799의 발현 증가와 관련되어 있었으며, 이는 세포 표면 특성 및 생물막 형성 능력에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 lmo1799 결실 돌연변이주 또는 상류 삽입 변이가 제거된 변이주에서는 생물막 형성 감소와 소수성 저하가 관찰되어, 이러한 유전적 변화가 기능적으로 중요한 역할을 함을 뒷받침하였다.

흥미롭게도, FBR16 유래 EV 균주에서도 EGDe EV 균주에서와 유사한 상류 삽입 변이가 확인되어, 해당 변이가 lmo1798-lmo1799 오페론의 조절에서 중요한 역할을 수행함을 더욱 강하게 시사하였다. 또한 본 연구는 lmo1799의 생물막 형성에 대한 영향이 단순한 존재 여부가 아니라 과발현(overexpression)에 의해 매개된다는 점을 강조하였다. 이는 lmo1799 단독 결실만으로는 생물막 형성 능력에 큰 변화가 나타나지 않는다는 기존 보고와도 일치하는 결과이다. Lmo1799 단백질은 *L. monocytogenes*의 표면 전하를 변화시켜 표면 부착력을 강화하는 데 기여할 가능성이 있다. 또한 이 단백질은 기존에 보고된 생물막 관련 단백질들과 구조적 유사성을 나타내어, 생물막 구조 형성 및 지속성 유지에 관여하는 역할을 수행할 것으로 판단된다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/10853-first-of-its-kind-study-shows-how-listeria-strains-evolve-into-strong-biofilm-formers

WGS Finds High Genetic Diversity, AMR Among E. coli on UK Foods at Retail

출처: Food Safety Magazine November 7, 2025

영국 소매 식품에서 분리된 *Escherichia coli*를 대상으로 한 새로운 연구에서, 유전자적 다양성과 항생제 내성이 상당한 수준으로 존재한다는 사실이 밝혀졌다. 이러한 결과는 다중 분리주 전장유전체분석(WGS) 접근법을 적용함으로써 가능했으며, 본 연구는 Microbial Genomics에 게재되었다.

영국의 식품 안전 관리 프로그램에서는 *E. coli*와 같은 지표균의 존재 확인을 통해 식품의 분변 오염 여부를 정기적으로 모니터링하고 있다. 시가독소 생성 *E. coli*와 같은 병원성 계통은 영국의 감시 프로그램에서 별도로 중점적으로 다루어지고 있지만, 대부분의 *E. coli*는 공생균이거나 기회감염성 병원체로서 혈류 감염 또는 요로감염을 유발할 수 있다. 그러나 이러한 감시는 주로 계수 기반의 전통적 방법에 의존하기 때문에, 각 계통이 지닌 유전적 다양성과 잠재적 건강 위험성을 충분히 반영하지 못한다.

이러한 배경에서, 연구진은 영국 노퍽(Norfolk) 지역의 소매점에서 생닭, 돼지고기, 연어, 조리 및 비조리 새우, 잎채소를 포함한 총 401건의 식품 시료를 수집하였다. 전장유전체분석 결과, 총 1,067개의 *E. coli* 분리주가 확인되었다. 분리주의 경우 기존에 보고된 238개와 신규 54개를 포함한 총 292개의 시퀀스 타입(ST)으로 분류되었고 8개 계통군(phylogroup)으로 구분되었다. 세부적으로는 전체 시료의 48.1%에서 두 개 이상의 ST가 확인되었으며, 14%의 시료에서는 세 개 이상의 ST가 검출되었다. 특히 17개 시료에서는 네 가지의 서로 다른 ST가 동정되어, 단일 식품 항목 내에서도 *E. coli* 집단이 상당히 다양함을 보여주었다.

항생제 내성 관련하여서는 전체 유전체의 42%에서 항생제 내성 결정인자가 확인되었으며, 시료의 33.4%에서는 잠재적인 다제내성 *E. coli*가 검출되었다. 시료 유형별로는 닭고기(60.3%)에서 다제내성 분리주의 비율이 가장 높았고, 그 뒤로 돼지고기(35.7%), 새우(22.7%), 연어(6.06%), 잎채소(5.77%) 순이었다. 확인된 내성 유전자는 총 13개 약물 계열에 걸쳐 분포하고 있었으며, 이 중 8개는 임상적으로 특히 중요하게 취급되는 약물 계열(베타-락탐 등)이었고, 나머지는 5개의 고중요도 약물 계열에 해당하였다. 병원성 측면에서는 전형적인 장내병원성 *E. coli*의 표지자는 검출되지 않았다. 그러나 전체 유전체 중 26개는 잠재적 장외 병원성 *E. coli*로 분류되었으며, 이들 대부분은 닭고기와 돼지고기에서 유래한 것이었다. 장외 병원성 *E. coli*는 요로감염 및 혈류감염과 연관된 계통으로 알려져 있다.

종합적으로, 본 연구는 단일 분리주 분석 또는 전통적 계수 기반 방법에 의존할 경우 식품 내 *E. coli*의 다양성과 위해성을 크게 과소평가할 수 있음을 명확히 보여주었다. 본 연구는 다중 분리주 전장유전체분석 접근법이 소매 식품에서 분리된 *E. coli*의 유전적 다양성, 독력 가능성, 항생제 내성 프

로파일에 대한 중요한 통찰을 제공할 수 있다는 점을 보여주었다. 연구진은 글로벌 식품 공급망이 확장됨에 따라 전장유전체분석을 일상적인 모니터링 프로그램에 통합하는 것이 필수적이며, 미생물 오염의 복잡한 동태를 이해하고 관리하기 위해 One Health 접근법이 필요하다고 강조하였다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/10863-wgs-finds-high-genetic-diversity-amr-among-e-coli-on-uk-foods-at-retail

Canadian Survey Finds BPA in One-Third of Canned, Jarred Food Samples

출처: Food Safety Magazine November 25

캐나다 식품검사청(Canadian Food Inspection Agency, CFIA)은 최근 소매 식품을 대상으로 Bisphenol A(BPA) 및 미표시 알레르겐의 존재 여부를 확인하기 위한 표적 샘플링 실험 결과를 발표하였다. BPA와 BPA diglycidyl ether(BADGE)는 식품 캔 내부 코팅에 일반적으로 사용되는 물질이다. 그러나 BPA의 인체 유해성에 대한 과학적 근거가 증가함에 따라, 제조업체들은 이를 Bisphenol F(BPF), Bisphenol S(BPS)와 같은 유사 화학물질 및 기타 비스페놀류로 대체하려는 움직임을 보이고 있다. 하지만 캔 및 병 제품에서 BPA 대체물의 사용 현황에 대한 자료는 매우 제한적이다. 이러한 정보 부족을 해소하기 위해, CFIA는 이번 표적 조사에서 BPA뿐 아니라 BPF와 BPS에 대한 분석도 함께 진행하였다.

CFIA는 2023년 4월부터 2024년 3월까지 캐나다 전역 11개 도시의 소매점에서 캔 및 병 제품 353건을 수거하였다. 수거된 샘플에는 코코넛 밀크, 영유아용 조제분유, 즉석 섭취(RTE) 카레 제품, 육류, 파스타, 수프, 병 제품 영유아식 등이 포함되었다. BPA는 전체 샘플의 33%, 기타 BPA 유사 화학물질은 8%에서 각각 검출되었으며, BPS는 어떤 시료에서도 검출되지 않았다. BPA의 평균 및 최대 검출농도는 캔 제품에서 가장 높게 나타났으며 영유아용 식품에서 가장 낮게 나타났다.

BPA, BPF, BPS, BADGE에 대한 최대 허용 기준치가 공식적으로 설정되어 있지 않기 때문에, 캐나다 보건부(Health Canada)는 최신 과학적 자료를 기반으로 각 시료별로 개별적인 인체 위해성 평가를 실시하였다. 평가 결과, 어떤 시료도 인체 건강에 대해 용납 불가능한 수준의 위해성을 나타내지 않는 것으로 판단되었으며, 이에 따라 이번 조사와 관련된 리콜 조치는 이루어지지 않았다.

또한, CFIA는 2022년 4월부터 2023년 3월까지 닭고기 제품 내 미표시 알레르겐 및 글루텐 존재 여부에 대한 기초 정보를 확보하기 위한 두 건의 표적 조사를 실시하였다. 첫 번째 조사에서는 259개의 샘플을 검사했으며, 이 중 20개 시료에서 미표시 글루텐과 대두, 참깨, 계란, 우유 단백질(β-락토글로불린, 카세인) 등 알레르겐이 검출되었다. 두 번째 조사에서는 345개 샘플을 분석하였고, 이 중 29개 시료에서 글루텐 및 알레르겐이 확인되었다. 검출된 모든 양성 시료에 대해 해당 검출 수준이 소비자에게 건강 위해를 초래할 수 있는지 평가가 이루어졌으며 그 결과를 바탕으로 총 5개 제품에 대한 리콜 조치가 시행되었다.

출처:
https://www.food-safety.com/articles/10902-canadian-survey-finds-bpa-in-one-third-of-canned-jarred-food-samples