기후변화 민감 식품 위해인자 표적감시 및 모의관측

Simulation Studies and Targeting Surveillance of Food Safety Hazards linked to Climate Change

이희진, 김용수*

Hee-Jin Lee, Yong-Soo Kim*

한국보건산업진흥원

Korea Health Industry Development Institute

서 론

기후변화는 식품공급체계(Food supply chain)에 직·간접인 다양한 영향을 주고 있으며, 향후 그 영향은 광범위하게 나타날 것으로 예측되고 있다(그림 1, 박기환 외, 2014). 이 중 식품과 관련된 기존의 생물 및 화학적 위해인자의 변화, 식중독 병원체 오염 경로의 변화, 신종 또는 변종 위해인자 발생 등이 식품안전에 심각한 문제를 야기할 수 있다.

국외에서도 기후변화로 인한 *V. vulnificus*와 *V. parahaemolyticus*의 발생과, 살모넬라증(salmonellosis)과 캠필로박터증(campylobacteriosis)의 발병이 증가하는 것으로 나타났다. 기후변화 영향으로 특히, 향후 수 십년 간 캠필로박터증 발병이 3% 증가할 것이고, 2050년에 최대 143% 증가할 것으로 예측되었다. 영국에서는 기후변화에 따른 건조하고 낮은 기온으로 인한 유전적 변이가 일어난 노로바이러스가 출현되었다.

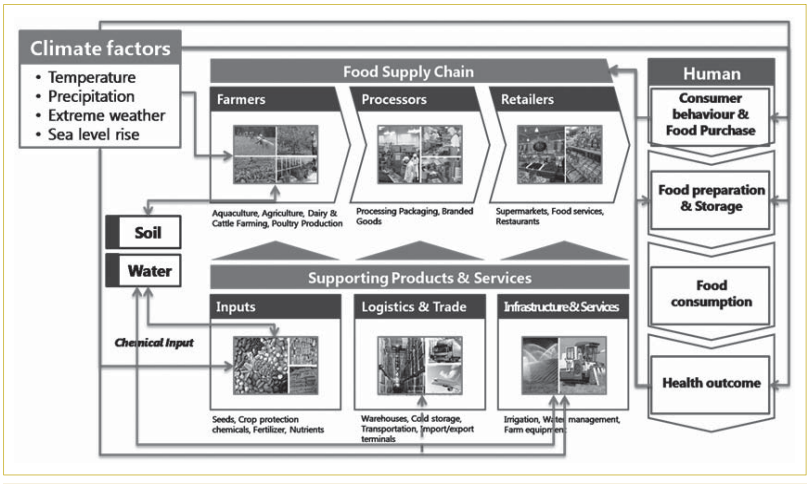

그림 1. 기후변화가 식품공급체계에 미치는 일반적인 영향

* Correspondence to: Yong-Soo Kim
Korea Health Industry Development Institute.
187, Osongsaengmyeong 2-ro, Osong-eup, Heungdeok-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea, 28159.
Tel: +82-43-713-8326 Fax: +82-713-8907 E-mail: kimys@khidi.or.kr

기후변화에 민감한 위해인자 중 하나인 곰팡이독소의 경우, 기후변화 따른 평균온도 상승으로 *Aspergillus* 속 관련 곰팡이독소가 증가하였다. 식품 저장 및 섭취에 있어 온 · 습도의 영향으로 곰팡이독소 생성 위험이 증가할 것이고, 축산업에 있어 사료 생산 시 습도가 높으면 사료에 곰팡이독소 오염 확률이 더 높아진다고 예측되고 있다. 또한 전 세계 해양에서 유해조류가 많이 발생하고 있으며 유해조류는 어류 또는 패류를 감염시켜 여러 질병을 일으키고, 기후변화에 따라 그 발생 패턴이 변화하고 있다.

그동안 국외에서 식품안전관리를 위한 기후변화의 영향에 대한 연구가 산발적으로 일부 수행되었지만, 종합적이고 체계적인 접근방법으로 진행된 연구는 전무한 실정이었다. 하지만 국내에서는 기후변화에 따른 식품안전 분야의 영향을 확인하고 이에 대응할 수 있는 식품안전관리 연구를 위하여 "기후변화대응 식품안전관리 연구 사업단(이하 "사업단"이라함)"이 발족되었고, 5년간(2010~2014)의 연구를 수행하였다.

사업단의 연구 중 기후변화에 민감한 위해인자를 대상으로 수행된 연구의 주요 핵심 결과는 다음과 같다. 기후변화에 따라 식품안전 위해인자의 위해수준이 증가하고, 이로 인해 미래 식중독 발생건수도 2090년대에는 최대 42%가 증가할 것이다. 기후변화로 인한 고온 다습한 기후가 길어질수록 기온 및 수온이 상승하여 기후변화와 밀접한 상관관계를 나타내는 식중독 원인균의 생육에 영향을 미칠 것이다. 현재수준 대비 *V. parahaemolyicus*의 환자 수가 가장 크게 증가(2100년 114.6%)할 것이며, 기후변화로 인한 식중독 발생의 취약 지역은 제주와 서해 호남, 취약 집단은 14세 미만 청소년과 65세 이상 고령자로 나타났다. 바이러스의 생존력은 온 · 습도와 상관관계가 있었고, 곰팡이독소는 평균온도 및 출수기 온도 변화에 따라 오염도가 변화한다고 예측되었다. 마비성패독은 검출지역이 북상하여 우리나라 전 해역에서 검출되고 발생시기가 빨라져 그 검출기간도 길어지는 것으로 나타났다.

본 론

기존에 수행한 사업단의 연구는 기후변화에 따른 식품안전에 대한 연구 기반을 마련하였다. 하지만 기후변화에 따른 식품안전과 관련된 생물학적 · 화학적 위해인자에 대한 영향 예측은 많은 불확실성을 가지고 있고, 신종 위해인자(newly emerging hazards)의 출현 가능성이 증가하고 있어 이를 지속적으로 감시할 수 있는 식품안전관리 체계가 필요하다. 또한 선진국에서는 기후변화로 인한 불확실성을 최소화하고 다양한 연계 연구에 활용될 수 있는 기반시설 및 모의관측 시스템을 구축하여 운영하고 있어, 국내에서도 기후변화를 모사할 수 있는 온도, 습도 등의 조절이 가능한 모의관측 기반시설을 활용한 연구가 필요하다.

이에 따라 기후변화 등 글로벌 국제 환경변화에 선제적인 대응을 하는 미래지향적 식품안전 관리체계를 구축하고 지속가능한 국민 행복 식생활 달성을 위한 "중장기 기후변화적응 식품안전관리 전략 기획과제"를 도출하였다.

기후변화(climate change)와 극단적 기상이변(extream weather events)로 인한 식품안전에 위험 및 위해를 확인하고 제도 · 정책적 적응 방안을 제시하는 것을 기획의 범위로 하였다. 기후변화로 인한 글로벌 차원의 식품 생산과 공급 체계의 혼란이 가중되고 있으며,식품안전 분야에도 다양한 악영향이 확인되고 있어 국내 식품안전에 미치는 영향을 정확하게 예측 · 확인하고 선제적 · 미래지향적 식품안전 정책개발과 제도개선이 필요할 것으로 보인다. 따라서 기후변화 등 글로벌 국제 환경변화에 선제적인 대응을 하는 미래지향적 식품안전 관리체계를 구축하여 지속가능한 국민 행복 식생활을 달성하는 것을 목표로 한다.

기획과제를 도출하기 위하여 사업단 연구결과에서의 사각지대를 분석하고, 지속적으로 연구가 필요한 과제와 신규과제를 조사하였다. 사업단 연구결과에 대해 빅데이터 분석을 하였고, 도출된 과제를 분류 · 목록화, 우선순위 결정, 세부 기획 등의 절차로 진행하였다.

표 1. 중장기 기후변화적응 식품안전관리 추진 전략 및 14개 중점과제

구분	추진 전략	중점 과제
1	기후변화 민감 위해인자 표적감시 및 모의관측	기후변화 민감 생물학적 위해인자의 표적감시 및 거동 특성 연구
		기후변화 민감 화학적 위해인자의 표적감시 및 동태학적 특성 연구
		기후변화 기인 신종 · 변종 위해인자 탐색 및 영향평가
		기후변화 모의관측 시스템 구축 및 활용 연구
2	기후변화 적응을 위한 미래지향적 식품안전관리 체계 구축	기후변화 적응 식품안전 분야 다부처 공동 모니터링 DB 활용 및 정책지원 연구
		기후변화 적응 식품안전 제도 분석 및 개선방안 연구
		기상이변 신속대응 식품안전 공조체계 구축
3	ICT 기반 기후변화적응 사전예방 경보체계 구축	기후변화 적응 식품안전관련 빅데이터 플랫폼 구축
		미래예측 통계기법 기반 기후변화적응 식품안전 조기 경보시스템 개발
		기후변화 민감 위해인자 예측모델 고도화 및 통합 영향평가
		기후변화 적응 식품안전관리 신속의사결정 체계 구축
4	기후변화적응 식품안전 교육 및 홍보 강화	기후변화적응 식품안전관리 교육프로그램 개발 및 보급
		기후변화적응 위해정보교류 체계 구축 및 연구회 운영
		기후변화적응 식품안전 홍보 콘텐츠 개발 및 보급

연구 사각지대 분석 결과 사업단 연구에서는 식품 제조, 가공 및 소비 단계 중심으로 연구가 이루어져 식품원재료 생산단계의 연구와 기후변화 관련 체계적 모니터링 및 다부처 정보 연계가 부족하였다. 또한 생물학적 위해인자의 챔버스터디 연구가 미흡하였고 화학적 위해인자의 돔시뮬레이션 연구는 전무한 실정이었다. 수입식품 안전관리 연구는 단년도 수행(2010)으로 정책적인 활용이 부족하였고 모델국가와 부처 간의 공동연구가 필요한 것으로 나타났다.

지속적으로 연구가 필요한 과제를 도출한 결과, 기후변화대응 식품안전에 대한 국가 DB 구축, 지식탐색 도구 고도화와 기후변화에 따른 생물학적 · 화학적 위해인자 예측, 영향평가로 나타났다. 또 기후변화대응 수입식품 안전관리와 식품안전 기술 개발 연구, 식품안전 risk communication 및 교육 · 홍보가 도출되었다. 이와 같은 결과로 4개의 전략과 14개의 세부과제를 기획하였으며, 자세한 내용은 표 1과 같다.

본고에서는 도출된 전략 중에서 가장 핵심적인 전략 1에 대해서 설명할 것이다. 전략 1은 "기후변화 민감 위해인자 표적감시 및 모의관측"으로 기후변화에 민감한 생물학적 · 화학적 위해인자와 기후변화에 따라 나타나는 신종 · 변종 위해인자에 초점을 맞추었고, 이들에 대한 모의관측 시스템을 구축하는 연구로 구성하였다(표 2).

1. 기후변화 민감 생물학적 · 화학적 위해인자의 표적감시 및 거동, 동태학적 특성 분석

2010년 사업단 연구에서 기후에 민감한 식품군을 선정하였다. 기후 민감 식품은 온도, 습도, 강수량 및 홍수, 가뭄 등 기후변화에 영향을 받기 쉬운 식품원료와 이를 주원료로 하여 제조 가공한 가공식품으로 생산, 제조가공, 포장, 운송, 보관 및 섭취 등 전 단계에 걸쳐 위생관리가 필요한 식품으로 새롭게 정의되었다. 기후변화에 가장 민감한 식품으로는 식육 또는 알제품이 선정되었으며, 자세한 내용은 표 3과 같다.

2010년~2014년 사업단 연구결과, 현재(2002~2012년) 연평균 237건 발생하던 식중독이 기후변화 시나리오(RCP4.5 및 RCP8.5)에 따라 2090년대에 연평균 337건 발생한다고 예측되었다. 또한 13종의 세균성 식중독균 중 *Salmonella* sp., pathogenic *E. coli* (EHEC), *Campylobacter* sp., *V. parahaemolyticus*가 기상인

표 2. 전략 1의 중점 과제 및 과제별 연구 목표

번호	세부과제명	연구목표
1	기후변화 민감 생물학적 위해인자의 표적감시 및 거동특성 분석	○ 기후변화 민감 생물학적 위해인자 동태학적 연구 기반 조성
		○ 기후변화 민감 생물학적 위해인자 표적감시 및 동태파악
		○ 기후변화 민감 생물학적 위해인자 위해수준 확인 및 안전관리 방안 제시
2	기후변화 민감 화학적 위해인자의 표적감시 및 동태학적 특성 연구	○ 기후변화 민감 화학적 위해인자 동태학적 연구 기반 조성
		○ 기후변화 민감 화학적 위해인자 표적감시 및 동태파악
		○ 기후변화 민감 화학적 위해인자 위해수준 확인 및 안전관리 방안 제시
3	기후변화 기인 신종 · 변종 위해인자 탐색 및 영향평가	○ 메타지노믹스(Meta-genomics) 기반 기후변화 및 기상이변 대응 신종 · 변종 위해인자 탐색 체계 구축 및 확인(identification), DB화
		○ 기후변화 및 기상이변 대응 신종 · 변종 위해인자 위해평가 및 위기대응 방안 제시
4	기후변화 모의관측 시스템 구축 및 활용연구	○ 기후변화를 모사할 수 있는 온도, 습도 등의 조절이 가능한 식품 위해인자의 모의 관측 기반시설 구축 및 운영
		○ 기후변화 시나리오에 따른 식품 위해인자의 생물학적, 화학적 위해인자의 모의관측 자료 축적 및 주요 기후변화 민감 위해인자 표적 동태 비교 검증

표 3. 선정된 기후 민감 식품군 목록

식품군 분류	식품 소분류
식육 또는 알가공품	식육 또는 알제품
식육 또는 알가공품	알가공품
어육가공품	어육살
어육가공품	연육
두부류 또는 묵류	두부
두부류 또는 묵류	유바
두부류 또는 묵류	가공두부
두부류 또는 묵류	묵류
기타식품류	즉석섭취식품
기타식품류	신선편의식품
식육 또는 알가공품	식육가공품
어육가공품	어육반제품
어육가공품	기타어육가공품
두부류 또는 묵류	전두부
빵 또는 떡류	만두류
어육가공품	어묵
어육가공품	어육소시지
빵 또는 떡류	떡류
특수용도식품	성장기용 조제식
건포류	조미건어포류
건포류	건어포류
기타식품류	즉석조리식품

자 중 특히 기온에 민감한 것으로 확인되었다. 특히 *V. parahaemolyticus*는 기후변화에 따라 양성비율과 북상범위 또한 증가하여 우리나라 모든 해안지역에서 발생하고, 평균 환자 수는 최대 114.6%, *Salmonella* 속의 경우 22.8% 증가하는 것으로 나타났다.

원료식품 중 곰팡이독소 오염도를 조사한 결과, 쌀에서는 니발레놀과 제랄레논, 옥수수는 니발레놀, 고춧가루는 오크라톡신의 오염도가 높은 것으로 나타났다. 기후변화 시나리오에 따라 오크라톡신, 제랄레논, 니발레놀의 경우는 그 오염도가 증가한다고 예측되었다.

마비성패독을 모니터링 한 결과 2010년의 경우 6.9%, 2012년의 경우 39.8%로 증가하였다. 15년간(2000~2014년) 우리나라 전 해역에서 마비성패독의 출현시기 및 지역변동 추이를 조사한 결과 향후 검출지역이 점차 북상하여 우리나라 전 해역에서 검출될 것이고, 발생시기가 한달 앞으로 당겨져 그 검출기간도 길어질 것으로 확인되었다.

이렇게 기후변화에 따른 민감 식품 및 식중독 등 위해인자 발생에 대한 예측은 제시되었지만, 많은 불확실성을 가지고 있어 선택과 집중이 된 감시체계가 필요하며 적절한 대응방안을 마련해야 한다. 기후변화는 식품 생산에서부터 소비에 이르기까지 식품공급에 영향을 미치므로 이를

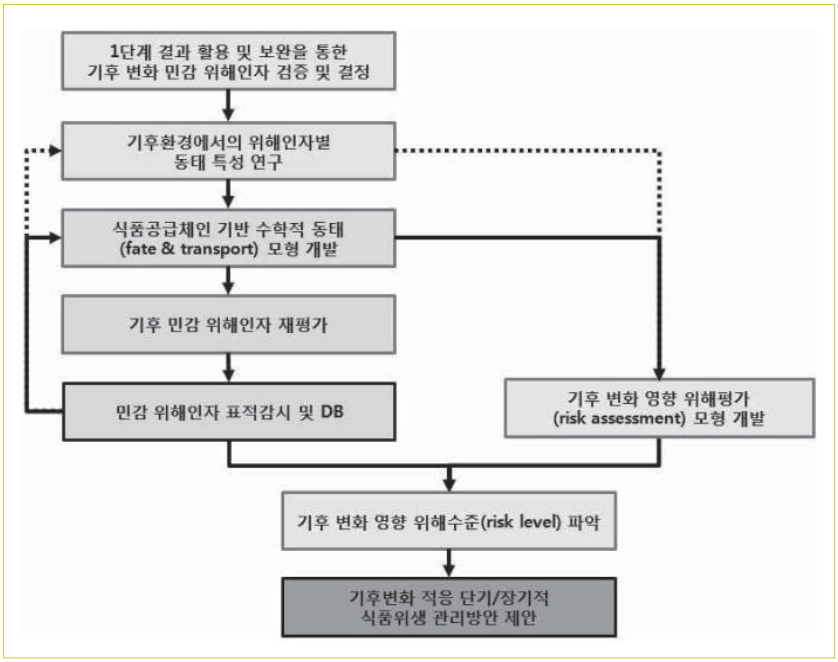

그림 2. 기후변화 민감 생물학적 · 화학적 위해인자의 표적감시 및 거동, 동태학적 특성 분석 연구내용

해결하기 위한 과학적 근거 기반의 연구가 필요하다. 또한 기후변화로 인해 발생수준이 변화하는 위해인자를 지속적으로 감시하고 기후와의 인과관계를 규명하기 위한 동태(fate & transport) 연구와 위해수준 확인 및 안전관리 방안 제시 등의 연구가 수행되어야 한다.

따라서 기후변화에 민감한 생물학적 · 화학적 위해인자를 선정하고, 생물학적 위해인자와 기후요인 관련 식품공급체인 기반 동태연구 및 화학적 위해인자의 동태연구를 위한 수학적 평가모델을 확립한다. 선정된 위해인자별 표적감시를 실시하여 그 결과로 DB를 구축하고 대기, 해양, 토양 및 물에서의 위해인자별 오염 동태 특성 연구 및 기후 민감 위해인자의 기후 영향 재평가를 실시한다. 재평가된 기후변화 영향을 고려한 통합 위해성 평가 기법을 개발하고 위해인자의 위해수준을 파악하여 장 · 단기적인 관리방안을 제시한다(그림 2).

이 연구를 통해 기후변화에 따른 생물학적 · 화학적 위해인자 오염 감시체계 구축과 사전 대응방안 마련이 가능해질 것이다. 또한 미래 기후변화 대비 기후 민감 생물학적 · 화학적 위해인자 관리를 위한 정책수립의 과학적 근거자료로 활용하고 위해인자의 적응, 저감화 기술 개발에 활용할 예정이다.

2. 기후변화 기인 신종 · 변종 위해인자 탐색 및 영향평가

여러 문헌에서 보면 기후변화에 따른 새로운 식품안전 위험이 발생할 것이고, 수온 · 기온 변화, 극한 기상이변은 식품안전 위해인자에 다양한 영향을 미칠 것이라고 예측되었다. 기온과 강수패턴 변화는 식중독 발생과 관련된 세균, 바이러스, 곰팡이 등의 발생 패턴에 영향을 미칠 것이고, 해수온도 상승은 플랑크톤이나 조류 발생에 영향을 미쳐 새로운 식품안전 위해인자 및 질병 발생이 일어날 것으로 예측되었다. 전문가들 또한 기후변화가 작물성장, 생산 시스템 등에 영향을 미쳐 새로운 식품안전 위험이 발생할 것이라고 하였다.

이러한 신종 · 변종 식품 위해인자에 대응하기 위하여 오믹스(Omics)를 활용하고 있으며, 식품안전에 적용할 수 있는 오믹스 기술은 표 4와 같다.

식품안전에서 오믹스는 식중독 위해인자가 다른 위해인자 또는 식품 매트릭스에 어떻게 작용하는지 등 식품안전의 개선 문제에 대한 답을 제시할 수 있다(그림 3).

또한 메타지노믹스(metagenomics)와 차세대 염기서열분석(Next generation sequencing, NGS)을 함께 사용하면 복잡하고 다양한 미생물 및 바이러스에 대해 파악이 가능하며 식중독 병원균 및 그 잠재적 오염 가능성을 판단할 수 있다.

따라서 본 세부과제는 메타지노믹스 기반 기후변화

표 4. 오믹스 기술과 식품안전 적용 사례(Bergholz et al., 2014)

기술	식품안전 적용 사례
Genomics (Genome sequencing)	신종 · 변종 위해인자의 확인, 감염경로 파악
Transcriptomics	외부환경 변화에 대한 위해인자의 반응 확인
Proteomics	외부환경 변화에 대한 위해인자의 반응 확인, 위해인자와 숙주의 반응 확인
Metabolomics	외부환경 변화에 대한 위해인자의 반응 확인, 위해인자와 숙주의 반응 확인
Metagenomics	위해인자 분리, 감염경로 파악, 배양이 불가능한 신종 위해인자 확인, 식품공급체인의 미생물 다양성 및 위해인자 존재 여부 파악
Synthetic biology	검출 및 타당성 연구를 위한 위해인자 제어 설정

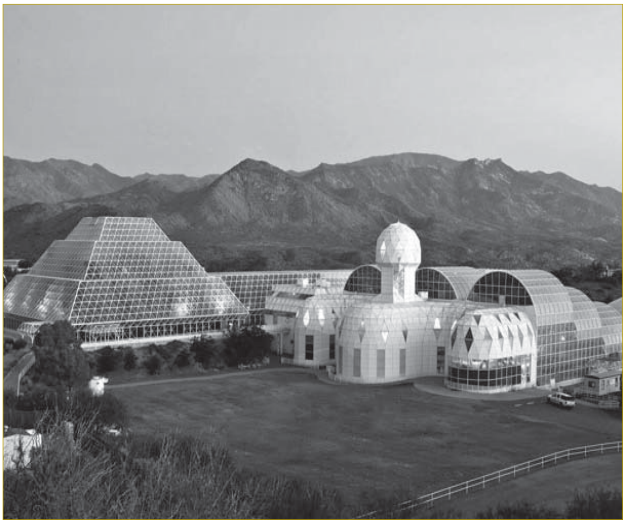

그림 4. 기후변화 연구를 위한 bioshpere (출처:http://biospher2.org)

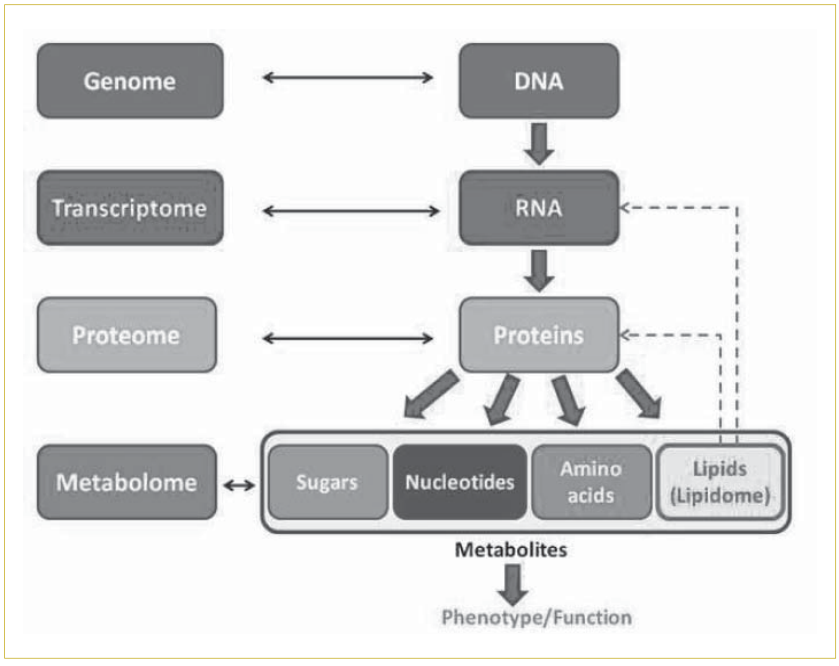

그림 3. 오믹스(Omics)

와 기상이변에 따라 발생하는 신종 · 변종 위해인자의 탐색 체계를 구축 및 확인하여 이를 DB화하고, 위해평가 및 위기대응 방안을 제시하는 것을 연구목표로 한다. 이를 위해 환경변화에 따른 식품안전관련 신종 · 변종 위해인자의 메타분석(meta-analysis) 및 파이로시퀀싱(pyrosequencing)을 실시한다. 신종 · 변종 생물학적 및 화학적 위해인자의 모니터링과 그 리스트를 작성하여 위해인자를 DB화하는 연구가 필요하다. 또 식품생산 新위생관리 지침서 개발과 장 · 단기적 관리방안 제시 등의 연구내용이 수행되어야 한다.

이를 통해 기후변화 및 기상이변 관련 국내 발생가능 신종 · 변종 위해인자에 대한 사전 대응이 가능해지고 신종 위해인자 및 식품(안전)생산에 대한 대응능력이 강화될 것이다. 또한 기후변화 대응 신종 · 변종 위해인자 관리지침서, 식품(안전)생산을 위한 신공장위생프로그램 작성과 식품생산자 기후변화 대응 적응능력 강화 홍보 교육에 활용할 수 있을 것이다.

3. 기후변화 모의관측 시스템 구축 및 활용 연구

선진국에서는 다양한 연계 연구에 활용할 수 있는 biosphere를 대규모 시설로 구축하여 운영하고 있으며,

표 5. 국내 및 국외의 시뮬레이션 연구

구분	논문명	내용
국내	기후변화대응 취약생태계 적응 현상분석 및 보전방안 연구	대기 중의 CO_2 농도 증가에 따른 애기장대의 생리 · 생태적 반응 확인을 통해 생물의 적응 현상 연구
	온도상승에 따른 병해충 및 잡초 영향평가 및 적응대책 연구	기후변화에 따른 주요 원예작물의 병해충 피해 변동 및 논 잡초 발생 변동 문제, 고추 탄저병 및 역병의 변화 관찰
	식품 저장 중 온도 및 상대습도가 식중독바이러스 생존에 미치는 영향	식중독을 일으키는 노로바이러스 및 A형간염바이러스의 생존을 관찰하여 식품안전에 적절한 정보를 제공
국외	Effect of [CO_2] on maize defence against mycotoxigenic *Fusarium verticilioides*	CO_2 상승은 곰팡이독소의 수준을 변화시키지 않고 옥수수에서 *Fusarium verticilioides* 증식에 영향을 끼침
	Drought responses of foliar metabolites in three maize hybrids differing in water stress tolerance	옥수수(*Zea mays* L.) 잡종의 가뭄 내성 테스트
	Climate change reduce nectar secretion in two common Mediterranean plant	기후변화로 인한 지중해 식물의 꿀 분비량이 감소하여, 챔버 내에서 *Ballota acetabulosa*와 *Teucrium divaricatum* 두 품종의 온도상승에 따른 꿀 분비를 관찰
	Effect of fully open-air [CO_2] elevation on leaf photosynthesis and ultrastructure of *Isatis indigotica* fort	중국 약초인 *Isatis indigotica*를 이용하여 CO_2 증가에 따른 잎의 광합성, 엽록소, 미세구조 및 세포수율 변화 관찰
	Experimental test for adaptative differentiation of ginseng population reveals complex response to temperature	미국 인삼(*Panax quinquefolius*)을 온도 통제가 가능한 성장 챔버 환경에 이식하여 온도에 대한 적응 테스트
	Temperature impacts the development and survival of common cutworm (*Spodoptera litura*): simulation and visualization of potential population growth in India under warmer temperatures through life cycle modeling and spatial mapping	기후변화로 인한 적합 서식지 증가로 인도 전역에 걸쳐 대두의 주요 해충인 담배거세미나방이 특정지역에서 심각한 해충이 될 가능성이 있어, 온도기반의 담배거세미나방 생물계절학적 모델을 구축
	Amino acid-mediated impacts of elevated carbon dioxide and simulated root herbivory on aphids are neutralized by increased air temperature	상승된 온도와 이산화탄소 농도에서 완두콩 진딧물에 영향을 미치는 시뮬레이션 방법을 기계적으로 조사
	Day and night heat stress trigger different transcriptomic responses in green and ripening grapevine(*Vitis vinifera*) fruit	포도의 열 스트레스에 대한 밤과 낮의 온도 반응을 탐구

다양한 연구도 진행되고 있다.

이러한 연구들은 기후변화로 인한 생물학적 위해인자의 변화나 옥수수와 쌀, 포도 등과 같은 농작물의 변화 등에 대한 연구가 이루어졌다. 우리나라에서도 기후변화 시뮬레이션 연구를 일부 진행하였으며 연구 내용은 표 5와 같다.

국내에서 수행한 시뮬레이션 연구들은 연구 범위가 한정적이고 기후변화 민감 위해인자에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 기후변화를 모사할 수 있으며 온 · 습도 조절이 가능한 식품위해인자의 모의관측 기반시설을 구축 및 운영하여 생물학적 · 화학적 위해인자를 모의관측 하여 자료를 축적하고, 위해인자의 표적 동태 비교 검증해야한다.

따라서 기후변화 전문가의 자문을 통해 모사 시스템 적용 인자를 설정하고, 기후변화에 따른 식품위해 모의관측 시스템을 구축한다. 온 · 습도 등의 변화를 적용한 모의관측 시스템의 운영을 통해 시스템 운영의 안정화를 하고, 온 · 습도, 대기조성 변화를 적용한 모의관측 시스템의 운

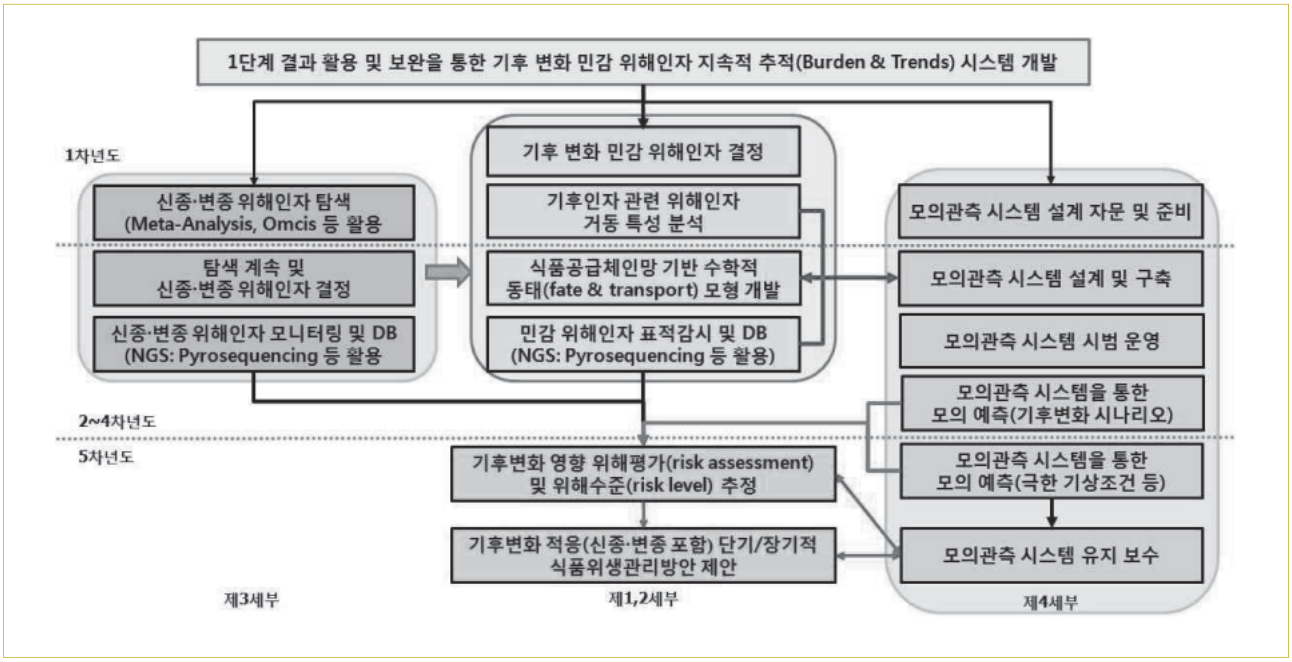

그림 5. 기후변화 민감 위해인자 표적감시 및 모의관측 연구 (RFP 중심)

영을 고도화한다. 기후변화 시나리오를 적용한 생물학적 · 화학적 위해인자의 모의 예측 자료를 확보하여 모의관측 시스템에서 극한 기상조건을 모사하는 연구를 고도화한다. 또한 극한 기상조건에서의 신종 · 변종 위해인자의 동태 모의 예측을 하고 식품위해 모의관측 시스템의 유지 보수 및 연계 연구를 지원하여야 한다.

이를 통해 국제수준의 기후변화대응 식품안전관리 기반 연구시설의 확보가 가능해지고, 기후변화적응 식품안전관리 기술 도출을 위한 모의실험 능력을 배양 할 수 있을 것이다. 식품위해 모의관측 시스템을 활용한 식품안전관리와 예측력을 강화하고 기후변화 조건을 모사한 식품안전 모사 연구를 선도하여 노하우를 전파할 계획이다. 또 기후변화 민감 위해인자의 저감화 기술 개발을 위한 식품위해 모의관측 시스템을 활용할 것이다. 세부과제의 전체적인 연구 추진전략은 그림 5에 나타내었다.

결 론

기후변화가 식품안전에 미치는 영향이 다양하고 광범위한 만큼 불확실성도 매우 크다. 이러한 불확실성으로 인해 기후변화와 식품안전에 대한 대부분의 연구에서 도출된 성과가 명확하지 않은 것도 사실이다. 따라서 향후 기후변화와 식품안전에 관한 과학적 근거기반의 결과를 도출하기 위해서는 선택과 집중이 필요하며, 이를 위하여 기후변화에 민감한 식품과 위해인자를 대상으로 모니터링을 집중하고 기후변화, 식품 및 위해인자 간의 관계성을 명확하게 확인해야 한다. 또한 기후변화에 따른 환경변화를 모사할 수 있는 챔버스터디와 돔시뮬레이션 같은 모의관측 시스템을 구축함으로써, 기후변화와 식품안전에 대한 예측이 보다 정확하고, 그에 따른 적절한 적응 · 대응 방안을 마련할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 식품의약품안전처의 연구개발비(15162식품안063)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 박기환, 신일식, 장판식, (2014) 기후변화대응 식품안전관리 연구사업단 최종보고서. 식품의약품안전평가원

2. 차명화, 양지혜, 오세욱, 이화정, 김동술, 정명섭, 류경 (2010) 기후변화에 따른 식품위기관리 대응시스템 구축 방안. 한국식품위생안전성학회지, 5(3), 19-26

3. Kim Y.S., Park K.H., Chun H.S., Choi C.S., Bahk G.J. (2015) Correlations between climatic conditions and foodborne disease. Food Research International, 68, 24-30

4. Baker-Austin C., Stockley L., Rangdale R., Martinez-Urtaza J. (2010) Environmental occurrence and clinical impact of *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus*: a European perspective. Environmental Microbiology Reports, 2, 7-18

5. D' Souza R.M., Becker N.G., Hall G., Moodie K.B.A. (2004) Does ambient temperature affect foodborne disease? Epidemiol. 15, 120-144

6. Kovats R.S., Edwards S.J., Charron D., Cowden J., D' Souza R.M., Ebi K.L., Gauci C., Gerner-Smidt P., Hagit S., Hernandez P.G., Kriz B., Kutsar K., McKeown P., Mellou K., Meene B., O'Brien S., van Pelt W., Schmid H. (2005) Climate variability and *Campylobacter* infection: an international study. Int. J. Bioneteorol. 49, 207-214

7. Cullen, E. (2009) The impact of climate change on the future incidence of specified foodborne diseases in Ireland. In Conference of the international society of environmental epidemiologists, Dublin, Ireland. Epidemiology, 20(6), S227-S228

8. Zhang Y., Bi P., Hiller J.E. (2012) Projected burden of disease for *Salmonella* infection due to increased temperature in Australian temperate and subtropical regions. Environment International, 44, 26-30

9. Tirado M.C., Clarke R., Jaykus L.A., McQuatters-Gollop A., Frank J.M. (2010) Climate change and food safety: A review. Food Research International, 43(7), 1745-1765

10. FAO(Food and Agriculture Organization) (2008), Climate Change: Implication for food safety

11. Van der Spiegel M., Van der Fels-Klerx H.J., Marvin H.J.P. (2012) Effects of climate change on food safety hazards in the dairy production chain, Food Research International, 46, 201-208

12. Moore S.K., Trainer V.L., Mantua N.J., Parker M.S., Laws E.A., Barker L.C., Fleming L.E. (2008) Impacts of climate variability and future climate change on hamful algal blooms and human health. Environmental Health, 7(2), S4

13. Lee, J.S., Bae, Y.M., Yoon, J.H., Yoo, J.H., Hyun, J.E., Jung, S.Y., Cha, M.H., Ryu K., Park. K.H., Lee, S.Y.. (2014) Evaluation of Food Safety Performance and Food Storage Condition in Restaurants against Climate Change, J. Fd Hyg. Safety, 29(3), 195-201

14. Takkis K., Tscheulin T., Tsalkatis P., Petanidou T. (2015) Climate change reduces nectar sectretion in two common Mediterranean plants. AoB PLANTS, 7, plv111

15. Marvin H.J.P., Kleter G.A., Van der Fels-Klerx H.J.(Ine), Noordam M.Y., Franz E., Willems D.J.M., Boxall A.. (2013) Proactive systems for early warning of potential impacts of natural disasters on food safety: Climate-change-induced extreme events as case in point, Food Control, 34, 444-456

16. Bergholz T.M., Switt A.I.M., Wiedmann M. (2014) Omics approaches in food safety: fulfilling the promise? Trends in Microbiology, 22(5), 275-281

17. Stasiewicz M.J., den Bakker H.C., Wiedmann M. (2015) Genomics tools in microbial food safety. Food Science, 4, 105-110

18. Aw T.G., Wengert S., Rose J.B. (2016) Metagenomic analysis of viruses associated with field-grown and retail lettuce identifies human and animal viruses. International Journal of Food Microbiology, 223, 50-56