농산물에서의 장출혈성대장균 위해성 및 안전관리 방안

Risk of Enterohemorrhagic *Escherichia coli* and the Risk Management in Fresh Produce

한아름, 이선영*

Areum Han, Sun-Young Lee*

중앙대학교 생명공학대학 식품영양학과

Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong 17546, Republic of Korea

이 선 영

Correspondence to

Sun-Young Lee
Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong 17546, Republic of Korea.
Tel: +82-31-670-4587
E-mail: nina6026@cau.ac.kr

서론

1980년부터 국민 소득 증대 및 건강에 대한 소비자 관심이 증가함에 따라 과일과 엽채류를 비롯한 신선 농산물에 대한 1인 소비량이 증가하고 있으며, 이와 더불어 유기농 또는 화학비료 및 농약을 최소한으로 사용한 친환경 농산물의 수요가 증가하고 있다. 미국의 경우에도 '2015-2020 미국인을 위한 식이 가이드라인'을 발간하여 미국의 남성과 여성에게 신선한 농산물 소비를 100% 이상 늘리도록 권장하고 있다(Iwu and Okoh, 2019). 그러나 신선 농산물 소비가 증가함에 따라 관련된 식품의 식중독 사고가 지속적으로 증가하는 경향을 보이면서 이에 대한 미생물학적 안전성 문제가 우려되고 있다(Carstens et al., 2019; Park et al., 2014). 2004년부터 2010년 기간 동안 미국에서 발생한 식품 관련 식중독 사고의 9.2%(CDC, 2017), 2010년 유럽의 식품 유래 식중독의 8.7%가 신선 농산물과 관련 있다고 보고되었다(EFSA, 2012). 국내의 경우, 질병관리본부(2010) 발표에 따르면 매년 4.2~8.0%의 비율로 곡류 및 채소류 관련 식중독 사고가 꾸준히 발생하고 있다. 농산물은 재배단계에서부터 가공, 유통의 전 단계에서 다양한 경로를 통해 오염될 수 있으며, 일반적으로 수확 전 오염 원인으로는 분변, 부적절하게 퇴비화 된 분뇨, 오염된 용수, 곤충, 가축 등이 있다. 수확 및 수확 후 단계에서는 수확 시 이용되는 장비, 가공 공장 시설, 현장 작업자, 세척 용수, 이동 컨테이너 등으로 인해 오염된다(Iwu and Okoh, 2019). 신선 농산물에 오염된 병원성미생물은 저장 기간 동안 농산물의 표면 및 상처 틈에서 증식할 뿐만 아니라 세척 과정에서 잘 제거되지 않아 식중독을 야기할 수 있으므로 주의가 요구된다. 더욱이 엽채류는 가열 처리와 같

은 별도의 미생물 사멸 공정 과정을 거치지 않고 그대로 섭취하는 경우가 대다수이므로 미생물 안전성이 특히 요구된다(Burnett and Beuchat, 2000). 농산물에서의 주요 식중독 원인균으로는 *Salmonella* spp, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* 등이 있으며, *E. coli*는 사람 및 동물의 분뇨, 퇴비 등에 오염도가 높아 농산물 안전성에 크게 영향을 준다. 현재까지 국내에서는 신선 농산물 관련 장출혈성대장균 식중독 사례는 보고된 바 없으나, 국외에서는 장출혈성대장균에 의한 식중독이 지속적으로 보고되고 있다. 1996년 일본 학교 급식에 사용된 무순으로 인한 식중독 사고의 원인균이 *E. coli* O157:H7으로 밝혀졌으며, 1996~2008년 기간 동안 미국 식중독의 34%가 잎이 많은 채소 섭취와 관련이 있으며 그 중 86%는 *E. coli* O157:H7가 원인병원체로 규명되었다(Soon et al., 2012). 우리나라에서도 소의 분변에서 병원성 *E. coli* O157:H7이 검출된 바 있다(Park et al., 2014). 하지만 식약처 고시에 의하면 신선편의식품에 대해서는 식중독균 검출 기준을 설정하여 관리하고 있으나, 일반 농산물은 세척 · 가열 · 조리를 한다는 이유로 별도의 기준을 두고 있지 않은 실정이다. 그러므로 본 원고에서는 농산물에서의 장출혈성대장균의 위해성을 살펴보고 농산물 재배 단계에서부터 수확, 가공, 유통에 이르는 전과정에 대해 이를 예방하기 위한 안전관리 방안에 대하여 소개하고자 한다.

본론

1. 장출혈성대장균의 위해성

대장균(*E. coli*)은 그람 음성의 통성 혐기성 간균으로 인간과 동물의 장내 미생물총과 관련이 있으며, 최적 생장 온도는 37°C이나 몇몇 대장균은 7°C 이하의 낮은 온도 또는 46°C의 온도에서도 증식할 수 있다고 알려져 있다. 또한 6%의 염 농도, pH 5.4 이상에서도 생장 할 수 있다는 특징이 있다(Carstens et al., 2019). 대장균은 사람이나 동물의 분변으로부터 오염된 자연환경에 널리 존재하기 때문에 식품의 오염 또는 수질 오염의 지표로 사용되며, 병원성을 나타내는 대장균으로는 장병원성대장균(EPEC, enteropathogenic *E. coli*), 장독소성대장균(ETEC; enterotoxigenic *E. coli*), 장침습성대장균(EIEC; enteroinvasive *E. coli*), 장응집성대장균(EAEC; enteroaggregative *E. coli*), 장출혈성대장균(EHEC, enterohemorrhagic *E. coli*)이 있다(표 1).

장출혈성대장균은 주요 보균 동물인 소의 소화기 내에서는 독성을 나타내지 않지만 사람에게 전파되었을 때는 혈변, 복통, 설사 등을 일으키며, 경구 감염, 피부 접촉으로 인한 직접 감염, 식수를 통한 수인성 전파로 감염된다. 10~100 개체의 매우 낮은 양으로도 출혈성 대장염(HC, haemorrhagic colitis)과 용혈성요독증후군(HUS, hemolytic uremic syndrome)을 일으키며(Nguyen

표 1. *E. coli* in diarrheal disease (Selvasingam, 2014)

분류	선진국	개발도상국	증상	감염부위	독소
EPEC	Rare	Age 〈2 years	Watery diarrhea	Small intestine	Unknown
ETEC	Returning travelers	Age 〈5 years	Watery diarrhea	Small intestine	Heat-labile and heat-stable toxin
EIEC	Rare	All ages	Dysentery (bloody diarrhea, mucus, fever)	Large intestine 〉 small intestine	*Shigella*-like enterotoxin
EAEC	Rare	Children	Persistent watery diarrhea	Small intestine	Enteroaggretative heat-stable enterotoxin
EHEC	Children, elderly	Rare	Hemorrhagic colitis, hemolytic uremic syndrome	Large intestine	Shiga toxins (Stx1 and Stx2)

and Sperandio, 2012) 대표적인 혈청형은 O157:H7이다. 출혈성 대장염 환자의 3~7%가 용혈성요독증후군 또는 혈전성혈소판감소성자반증(TTP, thrombotic thrombocytopenia purpura)과 같은 합병증으로 발전되며, 용혈성요독증후군 환자는 3~17%가 사망하는 높은 치사율을 보인다(Welinder-Olsson and Kaijer, 2005). 1982년에서 2002년 기간 동안 *E. coli* O157:H7에 의한 350건의 식중독이 CDC에 보고되었으며 이 중 52%는 식품을 통해 감염되었다. 주요 원인식품은 비살균 우유, 충분히 조리되지 않은 소고기, 치즈 및 요거트와 같은 발효식품 등이지만 최근에는 상추, 시금치, 새싹채소와 같은 농산물에서 장출혈성대장균으로 인한 식중독 사고의 발생이 증가하고 있는 추세이다(Iwu and Okoh, 2019).

2. 농산물에서 국 · 내외 장출혈성 대장균에 의한 식중독 발생현황

신선한 농산물의 소비가 증가함에 따라 미국을 비롯한 유럽에서 농산물에 의한 식중독 사고가 증가하고 있다. 2006년 미국에서 *E. coli* O157:H7에 오염된 시금치로 인해 200여 명이 식중독에 걸리고 3명이 사망하였으며, 2011년 독일에서는 변종 장출혈성대장균에 오염된 유기농 채소로 인해 46명이 사망하는 식중독 사고가 발생하였다(Flank et al., 2011; Iwu and Okoh, 2019). 2010년에서 2017년 기간 동안 미국 농산물에서 병원성미생물에 의한 식중독 사고 중 27.4%가 병원성대장균에 의해 발생하였다고 보고되었다(Carstens et al., 2019). 그 중에서도 장출혈성대장균인 *E. coli* O157:H7에 의한 식중독 사례가 다수 보고 되었으며, 로메인 상추와 녹색 잎채소가 주요 원인식품인 것으로 나타났다(표 2).

국내의 경우 장출혈성대장균에 오염된 농산물 섭취로 인한 식중독 발생 사례는 보고된 바 없지만, 국내 학술 논문에 의하면 생산단계 및 판매단계의 농산물 시료에서 대장균 오염이 보고되었다. 2013년 중국산 김치에서 병원성대장균(Pathogenic *E. coli*)이 검출되어 식중독 사고가 발생한 바 있으며, 2006년 인천의 농산물 시장에서 판매되고 있던 비가열 잎채소 120여 건에 대하여 미생물 오염도를 조사한 결과 깻잎(35.0%), 상추(32.0%), 쑥갓(17.6%) 등에서 *E. coli*가 검출되었다(Jung et al., 2006). 또한 2013년 관행농 및 유기농 신선 농산물을 현지에서 채취하여 미생물 오염을 분석한 결과, 관행농 풋고추와 배, 유기농 상추에서 대장균이 검출되었으며 그 수준이 신선편이식품 기준인 10 CFU/g을 초과하였다고 보고하였다 (Park et al., 2014).

표 2. 병원성대장균에 의한 미국 농산물에서의 식중독 발생 (2010~2017년)

병원성대장균 혈청형	원인식품	유증상자 수	발생년도
O26	Spinach	8	2017
O157:H7	Leafy greens	25	2017
O157:H7	Leafy greens	68	2017
O157:H7	Lettuce	11	2016
O157:NM (H-)	Sprouts	11	2016
O145	Leafy greens	7	2015
O157:H7	Spinach	4	2014
O157:H7	Lettuce	11	2014
O111	Cabbage	16	2014
O121	Sprouts	19	2013
O157:H7	Leafy greens	14	2013
O26	Lettuce	26	2013
O157:H7	Romaine	33	2013
O157:NM	Spinach	10	2012
O145	Lettuce	16	2012
O157:H7	Lettuce	24	2012
O157:H7	Leafy greens	33	2012
O157:H7	Romaine	52	2012
O157:H7	Lettuce	26	2011
O26	Sprouts	29	2011
O157:H7	Romaine	60	2011
O145	Romaine	31	2010

출처: Carstens et al. (2019)

3. 농산물에서의 장출혈성대장균의 오염경로

농산물은 지하 또는 땅에서 재배되기 때문에 토양 및 물에 존재하는 장출혈성대장균에 지속적으로 노출된다. 또한, 신선 농산물은 일반적으로 세척, 소독, 포장과 같은 가공과정이 최소한으로 처리되고 가열 처리와 같은 추가 가공 단계가 없기 때문에 수확 전 단계를 포함한 다양한 과정에서 장출혈성대장균에 오염될 수 있다(Bhunia, 2018)(그림 1). 미국의 경우, 농산물 관련 식중독의 47%가 수확 전 단계의 오염과 관련이 있다(Soon et al., 2012)(그림 2). 이미 오염된 농산물은 병원체의 내재화, 식품 표면의 생물막 형성 등으로 인해 추후에 미생물을 제어하는 것이 어렵기 때문에 사전에 오염경로를 확인하여 이에 대한 미생물학적 안전성을 확보하는 것이 중요하다(Carstens et al., 2019; Iwu and Okoh, 2019).

1) 수확 전 단계에서의 오염경로

수확 전 단계의 오염원으로는 관개용수, 농업용 토양, 인간 및 동물의 대변, 퇴비 등이 포함된다. 농장에서 신선 농산물에 대한 미생물 오염 빈도와 오염경로는 재배 위치에 따라 다르다. 기후조건, 지형, 토지의 사용, 동물 사육장소와의 근접성과 같은 다양한 요인의 영향을 받지만, 일반적인 주요 원인은 인간과 동물의 대변이다. 분변 물질은 지표 유출, 폐수 배출 및 범람을 통해 퇴비 또는 관개용수에 오염되고 농업 토양에 직 · 간접적으로 유입되어 농산물 1차 생산 단계에서 농산물을 오염시킨다(Iwu and Okoh, 2019). 2006년 캘리포니아에서 *E. coli* O157:H7에 오염된 시금치로 인한 식중독이 발생하였고, 소의 배설물에서 분리된 균주가 발병 원인인 것으로 추정되었다(Jay et al., 2007). 두 번째 주요 원인은 오염된 관개용수의 사용으로 인한 장출혈성대장균의 오염이다. Solomon et al. (2003)에 의하면 *E. coli* O157:H7에 오염된 용수로 관개 재배된 상추(lettuce)에서 재배 후 최대 30일까지 *E. coli* O157:H7의 검출이 확인되었다. 또한, 식물 뿌리가 *E. coli* O157:H7에 오염된 관개용수 또는 분뇨에 노출되었을 경우, 식물 내에서 병원체가 내재화 될 수 있다. Solomon et al. (2002) 연구에 의하면 뿌리가 *E. coli* O157:H7에 노출된 상추 내부 조직에서 5일 후 *E. coli* O157:H7이 검출되었다.

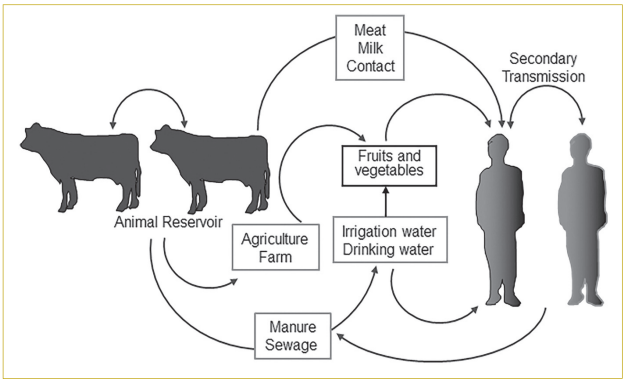

그림 1. The transmission of *E. coli* O157:H7 (Bhunia, 2018).

2) 수확 단계에서의 오염경로

신선 농산물은 수확 단계에서 작업자의 손 또는 장갑, 오염된 장비 및 운반 용기를 통해 장출혈성대장균에 오염될 수 있다. 병원성미생물에 의한 식중독 사고의 20%가 작업자에 의한 것으로 추정되며 2000년대 미국에서 발생한 647건의 식중독 사고는 작업자로 인한 것으로 보고되

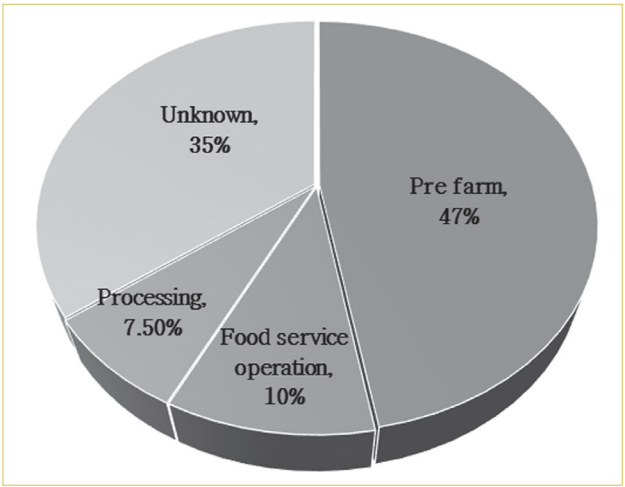

그림 2. Produce–associated outbreaks according to different stages in the food chain, USA (Soon et al., 2012).

었다. 잎이 많은 채소는 field-core 기술을 통해 수확되는데 이 기술은 스테인리스 칼날과 shaft, 원통형 코어 링으로 구성된 휴대용 장치를 사용하여 양상추 또는 상추의 머리를 분리하고 중심부를 제거하는 방법으로, 코어 링 장치의 칼날이 오염된 토양과 접촉하여 교차오염이 발생 할 수 있다(Taormina et al. 2009). 관련 농산물에 대한 E. coli O157:H7의 교차오염을 조사한 결과, 양상추(iceburg lettuce)와 상추(lettuce)에서 coring 기계의 날에 의한 *E. coli* O157:H7의 교차오염이 확인된 바 있다(Carstens et al., 2019).

3) 수확 후 가공 및 유통 단계에서의 오염경로

수확 후 농산물의 오염은 운송, 보관, 및 가공 단계에서 발생할 수 있으며, 일반적으로 밭에서 수확된 농산물은 유통기한을 늘리고 손상을 최소화하기 위해 냉장 보관되어 운반 및 저장된다. 따라서 냉각기, 얼음, 운반 트레일러, 운송 차량 등을 통해 오염될 가능성이 높으며, 적절하지 않은 농산물 보관 온도는 장출혈성대장균의 증식을 유도한다(Carstens et al., 2019). 일반적으로 신선 농산물은 세척, 파쇄 및 절단, 건조, 포장을 포함하는 가공 단계를 최소한으로 처리함에도 불구하고 다수의 연구에서 가공 중 농산물의 교차 오염이 보고되었다. 텍사스 멜론 공장에서 세척과 포장 후 멜론의 52, 25.7%에서 *E. coli*가 검출되었으며(Castillo et al., 2004), Smolinski et al. (2018) 연구에 의하면 수로에서 세척한 시금치, 고수, 로메인 상추에서 *E. coli* O157:H7의 교차오염이 확인된 바 있다.

4. 농산물 안전관리 방안

1998년 FDA와 USDA는 '신선한 과일 및 채소에 대한 미생물학적 식품 안전 위험을 최소화하기 위한 지침'을 발표하였고(FDA, 1998), 2002년 유럽연합 식품 과학위원회는 농산물 안전을 확보하기 위해 우수농산물관리제도(GAP, Good Agricultural Practice)를 권장하고 있다(EU Scientific Committee on Food, 2002) (그림 3). 우수농산물관리제도는 농산물의 생산, 수확 후 관리(저장, 세척, 건조, 선별, 절단, 조제, 포장 등) 및 유통단계에서의 위해요소를 체계적으로 관리하는 제도로 국내에서는 2006년부터 시행되고 있으며 이러한 제도를 통해 보다 안전한 농산물 생산 및 유통을 실현하고 있다.

재배 단계에서의 1차적 오염을 방지하기 위해서는 토양 개량을 최소화하고 농장 주변 울타리 설치가 권장된다. '90-120일 규칙'은 식용 부분이 토양에 닿는 농산물의 경우 최소 재배 120일, 그 이외의 농산물은 최소 재배 90일까지만 분뇨를 살포하도록 권장함으로서 토양으로부터 장출혈성대장균 오염을 최소화할 수 있다(Xu et al., 2016). 또한, 음용수를 이용한 분무 관개 또는 표면 관개는 장출혈성대장균의 수인성 전파 위험을 줄일 수 있으며, 농산물을 수확하기 최소 2~7일 전에는 관개를 중단하는 것이 권장된다(Solomon et al., 2002). 이외에도 각 단계에서 시행할 수 있는 안전관리 방안으로는 저장 용수 관리, 축산 또는 폐기물 관리, 표준 생산 및 재배법 준수, 작업자의 개인위생 관리 및 위생교육, 작업 전 후 작업 도구와 기계의

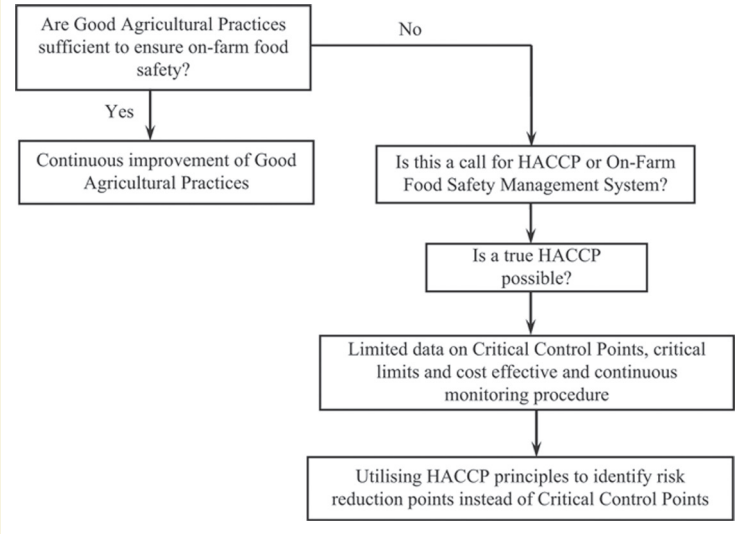

그림 3. The procedures of HACCP/GAP on farms (Soon et al., 2012).

청결 유지, 운반 시스템 관리 등이 있다(Iwu and Okoh, 2019). 그럼에도 불구하고 모든 직 · 간접적 오염 경로를 완벽히 제어할 수 없으므로 각 단계에 대한 중요관리점(CCP, Critical Control Point)을 설정하고 모니터링을 통해 체계적으로 관리하여야 하며 물리적, 화학적 안전관리 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론

건강에 대한 관심 증대로 인해 채소 및 과일을 비롯한 농산물에 대한 국내외적 소비가 증가하고 있는 데 반해, 별도의 가공 및 조리 과정을 거치지 않기 때문에 관련 식중독이 증가하고 있다. 특히, 토양 및 분변 오염도가 높은 장출혈성대장균의 오염은 용혈성요독증후군과 같은 심각한 증상을 나타내기 때문에 이에 대한 안전관리가 더욱 요구된다. 미국을 비롯한 여러 국가에서 신선 농산물 관련 장출혈성대장균의 오염이 지속적으로 확인되고 있지만 국내의 경우 이에 대한 별도의 기준이 설정되어 있지 않아 신선 농산물에 대한 미생물학적 위험성이 대두되고 있다. 위생적이고 안전한 농산물 재배 및 공급을 위하여 우수농산물관리제도를 시행하여 관리하고 있으나 농산물의 특성상 각 단계에서 적용할 수 있는 안전관리 기술이 제한적이며 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 농산물에서의 장출혈성대장균에 대한 안전성 확보를 위한 각 단계별 제어 기술의 개발 및 안전관리 방안 연구는 농산물 안전성을 확보하고 소비자들의 국내 농산물에 대한 신뢰도 향상에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ015726)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

참고 문헌

1. Ahmed SA and Karanis P. (2018). An overview of methods/techniques for the detection of *Cryptosporidium* in food samples. Parasitology research, 117(3), 629-653.

2. Bhunia AK. (2018). Foodborne Microbial Pathogens: Mechanisms and Pathogenesis. Springer, West Lafayette, IN.

3. Selvasingam RR. (2014). Enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC) as the Cause of Traveler's Diarrhea. American Journal of Medicine and Medical Sciences, 4(5), 154-160.

4. Burnett SL and Beuchat LR. (2000). Human pathogens associated with raw produce and unpasteurized juices, and difficulties in decontamination. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 25(6), 281-287.

5. Carstens CK, Salazar JK, and Darkoh C. (2019). Multistate outbreaks of foodborne illness in the United States associated with fresh produce from 2010 to 2017. Frontiers in Microbiology, 10, 2667.

6. Castillo A, Mercado I, Lucia LM, Martínez-Ruiz Y, de León JP, Murano EA, and Acuff GR. (2004). *Salmonella* Contamination during Production of Cantaloupe: A Binational Study. Journal of Food Protection, 67(4), 713-720.

7. CDC. (2017). National outbreak reporting system (NORS).

8. EFSA. (2012). The european union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2010. EFSA Journal, 10(3), 1-442.

9. EU Scientific Committee on Food. (2002). Risk profile on the microbiological contamination of fruits and vegetables eaten raw.

10. FDA. (1998). Guide to minimize microbial food safety hazards for fresh fruits and vegetables. Food and Drug Administration, US Department of Agriculture, Centers for Disease Control and Prevention, Silver Spring, MD.

11. Flank C, Werber D, Cramer JP, Askar M, Faver M, Heiden M, Bernard H, Fruth A, Prager R, Spode A, Wald M, Zoufaly A, Jordan S, Kemper MJ, Follin P, Muller L, King LA, Rosner B, Buchholz U, Stark K,

and Krause G. (2011). Epidemic profile of shiga-toxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 outbreaks in Germany. The New England Journal of Medicine, 365, 1771-1780.

12. Iwu CD and Okoh AI. (2019). Preharvest transmission route of fresh produce associated bacterial pathogens with outbreak potentials: A review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, 4407.

13. Jay MT, Cooley M, Carychao D, Wiscomb GW, Sweitzer R, Crawford-Miksza L, Farrar JA, Lau DK, O'Connell J, Millington A, Asmundson RV, Atwill ER, and Mandrell RE. (2007). *Escherichia coli* O157:H7 in Feral Swine near Spinach Fields and Cattle, Central California Coast. Emerging Infectious Diseases, 13(12), 1908-1911.

14. Nguyen Y and Sperandio V. (2012). Enterohemorrhagic E. coli (EHEC) pathogenesis. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 2, 90.

15. Jung S, Hur MJ, Ju JH, Kim KA, Oh SS, Go JM, Kim YH, and Im J. (2006). Microbiological evaluation of raw vegetables. Journal of Food Hygiene and Safety, 21(4), 250-257.

16. Park WJ, Ryu HY, Lim GY, Lee YD, and Par JH. (2014). Microbial prevalence and quality of organic farm produce from various production sites. Korean Journal of Food Science and Technology, 46(2), 262-267.

17. Smolinski HS, Wang S, Ren L, Chen Y, Kowalcyk B, Thomas E, Doren JV, and Ryser ET. (2018). Transfer and redistribution of *Salmonella* Typhimurium LT2 and *Escherichia coli* O157:H7 during pilot-scale processing of baby spinach, cilantro, and romaine lettuce. Journal of Food Protection, 81, 953-962.

18. Solomon EB, Pang HJ, and Matthews KR. (2003). Persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on Lettuce Plants following Spray Irrigation with Contaminated Water. Journal of Food Protection, 66(12), 2198-2202.

19. Solomon EB, Potenski CJ, and Matthews KR. (2002). Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. Journal of Food Protection, 65(4), 673-676.

20. Taormina PJ, Beuchat LR, Erickson MC, Ma L, Zhang G, and Doyle MP. (2009). Transfer of Escherichia coli O157:H7 to iceberg lettuce via simulated field coring. Journal of Food Protection, 72(3), 465-472.

21. Soon JM, Manning L, Davies, WP, and Baines R. (2012). Fresh produce-associated outbreaks: a call for HACCP on farms?. British Food Journal, 114(4), 553-597.

22. Welinder-Olsson C and Kaijser B. (2005). Enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC). Scandinavian Journal of Infectious Disease, 37, 405-416.

23. Xu C, Wang D, Huber A, Weese SJ, and Warriner K. (2016). Persistence of *Clostridium difficile* in wastewater treatment-derived biosolids during land application or windrow composting. Journal of Applied Microbiology, 120, 312-320.

24. 질병관리본부. (2010). 제 5기 1차년도 국민건강영양조사.