

토마토 농산물우수관리제도(GAP)모델 확립을 위한 재배단계 위해분석

박수희¹ · 권우현¹ · 허록원¹ · 김경열¹ · 심원보³ · 심상인^{2,3} · 정덕화^{1,3*}

¹경상대학교 응용생명과학부(BK 21 program), ²경상대학교 농학과, ³경상대학교 농업생명과학연구원

Hazard Analysis of Tomato Farms at the Growing Stage for the Establishment of the Good Agricultural Practices (GAP)

Su-Hee Park¹, Woo-Hyun Kwon¹, Rok-Won Heo¹, Kyeong-Yeol Kim¹,
Won-Bo Shim³, Sang-In Shim^{2,3}, and Duck-Hwa Chung^{1,3*}

¹Division of Applied Life Science(BK 21 program), Graduate School, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

²Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

³Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

(Received March 5, 2012/Revised April 6, 2012/Accepted May 30, 2012)

ABSTRACT - The objective of this study was to analyze hazards for the growing stage of 6 tomato farms (A, B, C; soli farms, D, E, F; Nutriculture farms) located in Gyeongsangnam-do to establish the good agricultural practices (GAP). A total of 144 samples for analyzing hazards collected from cultivation environments (irrigation water, soil, nutrient solution, and air) and personal hygiene (hands, gloves, and cloths) were assessed for biological (sanitary indications and major food borne pathogens) and chemical hazards (heavy metals). Total bacteria, coliform, and fungi were detected at levels of 0.2-7.2, 0.0-6.1, and 0.0-5.4 log CFU/g, mL, hand or 100 cm², respectively. *Escherichia coli* were only detected in the soil sample from B farm. In case of pathogens, *Bacillus cereus* was detected at levels of 0.0-4.4 log CFU/(g, mL, hand or 100 cm²), whereas *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157, and *Salmonella* spp. were not detected in all samples. Heavy metals as a chemical hazard were detected in soil and irrigation water, but levels of them were lower than the permit limit. In conclusion, chemical hazard levels complied with GAP criteria, but biological hazards at the growing stage of tomato farms were confirmed. Therefore a proper management to prevent microbial contamination is needed.

Key words: Good Agricultural Practices (GAP), tomato, analysis of hazard

서 론

토마토는 준만병통치약이라 할 정도로 많은 효능을 가지고 있으며, 현대인의 건강 유지에 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 각종 비타민의 지방 대사 작용 및 동맥경화의 억제, 모세혈관의 강화, 조혈기능 등의 생리 활성화와 피로 회복, 체내의 수분을 조절하여 과식 억제를 해주며, 소화를 도와 고혈압, 당뇨병, 신장병 등 만성질환을 개선해 주는 것으로도 알려져 있다. 특히 토마토의 붉은 색소인 lycopene 성분은 세포의 산화를 막아 노화를 억제하고 심혈관 질환

과 각종 암의 예방효과가 있다고 보고된 만큼 많은 연구가 이루어지고 있다^{1,2)}.

토마토의 경우 별도의 조리과정 없이 바로 섭취가 가능한 신선 농산물이기 때문에 식중독균과 같은 미생물에 오염되었을 경우, 식품의 안전에 심각한 위협이 될 수 있다^{3,4)}. 토마토와 같은 과채류에서 일반적으로 발견되는 미생물의 오염경로는 다양하여 수확 전에는 분변, 토양, 관개용수, 살충제, 먼지, 동물, 곤충, 관리자의 손 등이 오염 원인이나 매개체로 작용하고, 수확 후에는 수확 장비, 운송 수단, 열음, 물, 포장 과정, 저장 단계에서의 교차오염이 가능하다^{5,7)}.

농산물과 관련된 사건이 언론에 보도 됨에 따라 농산물 안전성에 대한 국민적 우려가 높아지고 있으며, 정부에서는 안전한 농산물을 국민에게 제공하기 위하여 원료 생산에서부터 포장 및 유통단계까지 농약, 중금속, 병원성 미생물 등 위해요소의 집중 관리를 통해 농산물의 위생 및

*Correspondence to: Duck-Hwa Chung, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea
Tel: 82-55-772-1903, Fax: 82-55-757-5485
E-mail: dhchung@gnu.ac.kr

안전성을 확보하기 위한 농산물 안전관리체도를 운영하고 있다. 주요 제도로는 농산물우수관리제도(GAP: good agricultural practices), 이력추적관리제도(traceability), 친환경인증제도, 유전자변형농산물(GMO: genetically modified organisms)표시제도, 안전성조사제도, 농산물안전안심서비스(SafeQ system) 등이 있다⁸⁾. 그 중 GAP란 농산물의 재배 환경이나 재배 과정 및 수확 후 과정에서 발생할 수 있는 각종 위해요소를 사전에 분석하고, 위해 발생가능성이 높은 재배환경이나 과정을 선택하여 이를 집중적으로 관리하여 소비자에게 안전한 농산물을 제공하기 위해 도입된 제도로서⁹⁾ 유럽연합(EU), 미주지역의 캐나다, 미국, 멕시코, 칠레, 아시아의 중국, 일본, 말레이시아 등 많은 국가에서도 자국 국민들의 식품안전성 확보와 수출경쟁력 강화를 위해 GAP제도를 활용하고 있으며 우리나라의 경우 2005년부터 도입하여 추진하고 있다¹⁰⁾. GAP 제도에 의해 관리되는 주요 농식품위해요소는 생물학적, 화학적 및 물리적 위해요소로 이들 위해요소는 부적절한 재배환경, 재배 작업과정, 작업자 개인위생 및 농기구 등으로부터 발생할 수 있으며, 그 중에서 농산물 생산에 필수 요소인 토양 및 농업용수 등에서는 생물학적 위해요소의 발생 가능성이 매우 높다¹¹⁻¹³⁾. 그러나 GAP시행초기 우리나라에서 운영되고 있는 GAP제도는 생물학적 위해요소 관리가 이루어지지 않고 있는 실정으로 토양과 관개용수와 같은 재배 환경 및 작업자 개인위생 등에서 발생 가능한 모든 잠재적인 위해요소들을 여러 방면으로 분석 및 평가하여 재배 과정 중 농산물에 오염을 일으킬 수 있는 원인을 감소 및 제거할 수 있는 GAP 모델에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 농산물우수관리제도(GAP) 모델 확립의 기초 자료를 제공하고자 토마토 생산 과정 중 재배단계에서 생물학적, 화학적(중금속) 위해요소를 조사 및 분석 하였다.

재료 및 방법

토마토 재배농장 선정 및 시료채취

본 연구를 위하여 경남에 소재한 토마토 토경재배농장 3곳 (A, B, C)과 양액재배농장 3곳 (D, E, F) 총 6곳을 선정하여 작업환경 (토양, 관개용수, 양액 및 공기)과 개인위생 (손, 장갑 및 작업복)에 대하여 총 144개의 시료를 Table 1과 같이 수집하였다. 먼저 작업환경인 토양의 경우 토양오염공정시험법¹⁴⁾에 준하여 각 필지당 지그재그 형으로 5~10개 지점을 선정하여 표토층 (0~15 cm) 을 포함한 일정한 깊이 이하의 토양을 혼합한 후, 각 시료 당 약 3 kg 이 되도록 멸균된 시료채취용 팩에 채취하였다.

관개용수는 각 농장에서 사용하고 있는 강물 혹은 지하수를 양액은 양액 저장조에 보관중인 용액을 각각 멸균 채수병에 약 1 L씩 채취하였다. 작업자 개인위생과 관련된

장갑 및 작업복은 표면 검체의 형태에 따라 채취 가능한 면적 또는 10 × 10 cm의 면적대를 사용하여 Swab kit (3M e-swab, 3M China Ltd., Shanghai, China)로 swabbing하였고, 작업자 손은 멸균 시료팩에 50 mL의 멸균생리식염수를 붓고 손을 씻어서 검액을 채취하는 glove juice¹¹⁾법에 준하여 시료를 채취하였다.

생물학적 위해요소 분석을 위해 수집된 시료는 얼음을 채운 시료보관용 아이스박스에 담아 본 연구실로 냉장 운반하여 4시간 이내에 실험에 사용하였고, 토양과 관개용수에 대해서만 화학적 위해요소인 중금속 분석을 실시하였다.

생물학적 위해요소 분석

시료 전처리

재배단계에서 수집된 모든 시료를 대상으로 생물학적 위해요소 분석을 위생지표세균 (일반세균, 대장균군 및 *Escherichia coli*)과 병원성 미생물 (*E. coli* O157, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* 및 *Salmonella* spp.) 및 곰팡이를 대상으로 수행하였으며, 교차오염인자를 차단하기 위하여 Clean Bench에서 무균적으로 처리하였다. 먼저, 일반세균, 대장균군, *S. aureus* 및 *B. cereus* 의 정량 분석을 하기 위한 전처리 과정은 토양의 경우 stomacher pack에 시료 10 g과 멸균된 0.85% 생리식염수 90 mL을 혼합한 후 30초 동안 균질화 시켜 분석에 사용하였고, 관개용수, 양액, 작업종사자 손 및 swab법 등으로 수집된 시료는 별다른 전처리 과정 없이 30초 동안 강하게 혼합하여 실험에 사용하였다.

또한, *E. coli*, *E. coli* O157, *L. monocytogenes* 및 *Salmonella* spp.의 정성 분석을 하기 위한 전처리 과정은 토양 10 g 과 멸균된 0.1% 펩톤수 90 mL을 혼합하여 균질화하였으며, 관개용수, 양액, 작업종사자 손 및 swab법으로 채취한 시료는 1 mL씩 채취하여 멸균된 0.1% 펩톤수 9 mL와 혼합 및 균질화 하여 모든 시료는 37°C에서 24시간 1차 증균 배양을 하여 분석에 사용하였다.

위생지표 세균 및 곰팡이 분석

각 토마토 재배농장의 전반적인 위생 상태를 평가하기 위하여 일반세균, 대장균군, *E. coli* 및 곰팡이에 대하여 분석을 실시하였다. 먼저 일반세균수와 대장균군수의 측정은 앞서 설명한 전처리 된 시료 1 mL 취하여 일반세균수 측정은 plate count agar (Difco, Becton Dickinson and Company, Sparks, MD, USA), 대장균군수 측정은 desoxycholate lactose agar (Difco)를 15 mL 정도 각각 분주하고 시료와 배지를 잘 혼합하여 상온에서 균히 다음 37°C에서 48시간 배양한 후 배지 제조사의 메뉴얼에 따라 일반세균은 흰색 콜로니, 대장균군은 붉은색 콜로니를 계수하였다.

정성 실험을 하기 위한 *E. coli*는 전 처리된 시료 1 mL

Table 1. Samples collected from 6 tomato farms for the microbial assessment

Farm	Samples	Sampling method	The number of samples		
Soil	A	Cultivation environment	soil	Sterilized sample bag	4
		Workers' hygiene and Utensils	Irrigation Water	Sterilized plastic bottle	4
			Hands	Glove juice	4
			Gloves	Swabbing	4
			Clothes	Swabbing	4
			Airborne	-	4
	B	Cultivation environment	soil	Sterilized sample bag	4
		Workers' hygiene and Utensils	Irrigation Water	Sterilized plastic bottle	4
			Hands	Glove juice	4
			Gloves	Swabbing	4
			Clothes	Swabbing	4
			Airborne	-	4
C	Cultivation environment	soil	Sterilized sample bag	4	
	Workers' hygiene and Utensils	Irrigation Water	Sterilized plastic bottle	4	
		Hands	Glove juice	4	
		Gloves	Swabbing	4	
		Clothes	Swabbing	4	
		Airborne	-	4	
Nutriculture	D	Cultivation environment	Nutrient solution	Sterilized plastic bottle	4
		Workers' hygiene and Utensils	Irrigation Water	Sterilized plastic bottle	4
			Hands	Glove juice	4
			Gloves	Swabbing	4
			Clothes	Swabbing	4
			Airborne	-	4
	E	Cultivation environment	Nutrient solution	Sterilized plastic bottle	4
		Workers' hygiene and Utensils	Irrigation Water	Sterilized plastic bottle	4
			Hands	Glove juice	4
			Gloves	Swabbing	4
			Clothes	Swabbing	4
			Airborne	-	4
	F	Cultivation environment	Nutrient solution	Sterilized plastic bottle	4
		Workers' hygiene and Utensils	Irrigation Water	Sterilized plastic bottle	4
			Hands	Glove juice	4
			Gloves	Swabbing	4
			Clothes	Swabbing	4
			Airborne	-	4
Total			144		

를 증균배지인 EC broth (Difco)에 접종하여 37°C에서 24시간 동안 배양한 후 발효관에 가스가 포집된 양성관에 한하여 선택배지인 eosin methylene blue agar (Difco)에 도말하여 37°C에서 24시간 배양하였다. 배양된 균 중 녹색의 금속성 광택을 띄는 집락만을 선택하여 trypticase soy agar (Difco)에서 배양시킨 후 다시 ChromID™ *Coli* agar (bioMérieux SA, Marcy l'Etoile, France)에 배양하여 핑크색 집락을 확인하였으며, 양성으로 의심되는 시료만을 선택적으로 API 20E (bioMérieux)을 사용하여 동정하였다.

곰팡이 분석을 위해서는 전처리 된 시료를 멸균생리식염수에 단계희석 한 후 rose bengal agar (Difco)에 도말하

여 27°C에서 72시간 배양한 후 colony를 계수하였으며 모든 결과는 Log CFU값으로 환산하여 나타내었다.

병원성 미생물 분석

토마토의 재배단계에서 병원성 미생물 분석은 주요 식중독균인 *E. coli* O157, *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp., *S. aureus* 및 *B. cereus*에 대해 식품공전법¹⁵⁾에 준하여 아래와 같이 실험을 수행하였고, 이 중 *S. aureus*와 *B. cereus*는 정량분석을 실시하였다.

먼저 *E. coli* O157은 전처리 된 시료를 증균 배지인 mEC broth (Difco) 10 mL에 가한 후 37°C에서 24시간동

안 증균배양 하였다. 증균배양액 중 양성으로 의심되는 시료를 대상으로 macConkey sorbitol agar (Difco)에 접종하여 37°C에서 24시간 동안 배양하였으며, sorbitol을 분해하지 않는 무색 집락을 대상으로 PowerCheck™ *E. coli* O157 (verotoxin 2) Detection Kit를 이용하여 PCR로 1차 확인을 거친 후, 양성으로 의심되는 시료만을 선택적으로 microgen *E. coli* O157 (Microgen Bioproduct Ltd., Camberecy, U.K.)을 이용하여 오염여부를 확인하였다.

L. monocytogenes 경우는 전 처리된 시료를 fraser broth (Difco) 10 mL에 접종하여 증균 한 후, 그 증균배양액 중 양성으로 의심되는 시료에 대하여 oxford agar (Oxoid)에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하였고, 의심 집락을 대상으로 PowerCheck™ *Listeria monocytogenes* Detection Kit를 이용하여 PCR로 1차 확인을 거친 후, 양성으로 의심되는 시료만을 선택적으로 API *Listeria* (bioMérieux)을 사용하여 동정하였다.

Salmonella spp.는 앞서 설명한 *E. coli* O157 및 *L. monocytogenes*와 같은 방법으로 전 처리된 시료를 Rappaport-Vassiliadis broth (Difco) 10 mL에 접종하여 증균한 후, 그 증균배양액 중 양성으로 의심되는 시료에 대하여 xylose lysine desoxycholate agar (Difco)에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하였고, 의심되는 집락을 대상으로 PowerCheck™ *Salmonella* spp. Detection Kit를 이용하여 PCR로 1차 확인을 거친 후, 양성으로 의심되는 시료만을 선택적으로 API 20E (bioMérieux)를 이용하여 검출하였다.

*B. cereus*는 전처리 된 시료 1 mL를 취하여 멸균된 생리식염수를 이용하여 10진 단계희석법으로 희석한 후 0.1 및 1 mL씩을 취하여 mannitol-egg yolk-polymyxin agar (Difco)에 각각 도말 한 뒤 37°C에서 24시간 동안 배양하였다. 혼탁한 환이 있는 분홍색 집락을 대상으로 계수를 하였으며, 계수한 집락 중 각 평판에서 5개의 집락을 trypticase soy agar (Difco)에 접종하여 37°C에서 24시간 동안 배양한 다음 PCR PreMix Kit (i-StarTaq)를 이용하여 PCR로 확인하였으며, 양성으로 의심되는 시료만을 선택적으로 API 50CHB (bioMérieux)를 이용하여 최종 확인하였다.

*S. aureus*는 시료를 단계희석 한 후 baird-parker agar (Difco)에 도말하여 37°C에서 24시간동안 배양을 한 다음 불투명 환의 검은색 집락을 대상으로 계수하였으며, 이 중 5개의 집락을 선별하여 trypticase soy broth (Difco)에 배양한 후, 선택성이 높은 CHROMagar™ *Staph aureus* (bioMérieux) 상에서 재배양 하였다. 확인된 집락 중 전형적인 집락을 대상으로 TSA에 배양하여 PCR로 1차 확인 한 후 양성으로 의심되는 시료만을 선택적으로 API Staph (bioMérieux)를 이용하여 최종 확인하였다.

공중낙하균 측정

공기에 의한 미생물의 교차오염 가능성을 확인하기 위

해 일반세균, 대장균군 및 대장균, 병원성 미생물인 *E. coli* O157, *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp., *S. aureus*, *B. cereus* 그리고 곰팡이의 오염 정도를 확인하였다. 간략히 설명하면, 토마토 재배지에서 각 미생물에 대한 선택배지의 뚜껑을 열고 약 15분간 방치한 후 배지의 뚜껑을 닫고 parafilm으로 밀봉하여 곰팡이 (27°C에서 72시간)를 제외한 다른 미생물들은 37°C에서 48시간 배양하였다.

화학적 위해요소 (중금속) 분석

재배단계에 대한 화학적 위해요소 분석은 토양과 관개용수를 대상으로 중금속 분석을 실시하였다. 중금속은 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 수은(Hg), 납(Pb), 크롬(Cr), 아연(Zn) 및 니켈(Ni) 등 8종에 대하여 (주)피켄코리아에 의뢰하여 분석을 실시하였으며, 환경부의 오염공정시험법^{14,16}과 식약청의 유해금속시험법¹⁷에 준하여 실시하였다.

화학적 위해요소는 중금속 외에 잔류농약도 존재하나 잔류농약 분석은 수확단계의 작물을 대상으로 실시하는 것이 타당하다고 판단되어, 재배단계인 본 연구에서는 분석하지 않았다.

결과 및 고찰

생물학적 위해요소 분석

위생지표세균

토마토 재배농장의 재배단계에서 토양과 관개용수, 양액 그리고 개인위생 및 작업도구에 대한 위생지표세균을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 먼저 토경재배 농장의 토양에서 일반세균은 6.4-7.2 log CFU/g 수준으로 검출되었고, C농장(6.4 log CFU/g)은 두 농장에 비해 낮은 오염도를 나타내었다. 대장균군은 4.4-6.1 log CFU/g 수준으로 높은 오염도를 나타내었으며, 정성 분석된 *E. coli*는 B농장에서 양성으로 확인되었다.

일반적으로 토양 내 미생물의 수가 6.0-8.0 log CFU/g 수준으로 검출¹⁸⁾이 된다는 다른 연구의 결과와 비교해 보았을 때, 본 연구에서 검출된 토양의 미생물 오염수준과 큰 차이가 없는 것으로 비교적 양호한 것으로 판단된다. 그러나 Kim 과 Keneko 등^{19,20)}은 과채류의 미생물 오염은 주로 토양에 의해 오염이 발생한다는 보고하고 있어 안전한 농산물 생산을 위해서는 적절한 퇴비사용을 권장하고 토마토와 잎의 작물과 토양과의 접촉을 최소화해야 할 것이다. 양액재배농장의 경우 작물의 생육에 필요한 영양분을 공급하는 양액을 분석한 결과 일반세균은 0.2-1.4 log CFU/mL로 검출되었고, 대장균군과 *E. coli*는 모두 검출되지 않아, 미생물 오염도는 안전한 수준으로 나타났다. 하지만 양액은 작물의 생육을 촉진할 수 있는 영양원으로 작용할 뿐만 아니라 세균을 비롯한 미생물에게 영양원으로 작용할 수

Table 2. Microbial population of sanitary indication bacteria and fungi in samples collected from tomato farms at the growing stage (Unit : mean ± standard deviation; log CFU/g, mL, hand or 100 cm²)

Classification	Samples	Microorganism	Soil Farms			Nutriculture Farms		
			A	B	C	D	E	F
Cultivation environment	Soil	APC ¹⁾	7.0 ± 0.4	7.2 ± 1.0	6.4 ± 0.0	NS	NS	NS
		Coliform	6.1 ± 1.4	5.4 ± 1.4	4.4 ± 0.0	NS	NS	NS
		<i>E. coli</i>	- ²⁾	+ ³⁾	-	NS	NS	NS
		Fungi	4.7 ± 0.0	4.4 ± 0.0	4.4 ± 0.1	NS	NS	NS
	Nutrient solution	APC	NS ⁴⁾	NS	NS	0.8 ± 0.1	0.2 ± 0.0	1.4 ± 0.1
		Coliform	NS	NS	NS	ND	ND	ND
		<i>E. coli</i>	NS	NS	NS	-	-	-
	Irrigation Water	Fungi	NS	NS	NS	0.2 ± 0.2	ND	0.0 ± 0.2
		APC	1.4 ± 0.5	1.3 ± 0.1	1.7 ± 1.0	1.2 ± 0.0	1.8 ± 0.0	0.2 ± 0.2
		Coliform	0.1 ± 0.2	ND ⁵⁾	ND	ND	ND	ND
		<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-	-
			Fungi	ND	ND	0.7 ± 0.1	ND	ND
Personnel hygiene	Hands	APC	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	4.6 ± 0.5	4.7 ± 0.8	4.0 ± 1.0	4.8 ± 0.0
		Coliform	ND	0.4 ± 0.6	1.1 ± 1.5	2.0 ± 0.4	2.0 ± 0.0	1.0 ± 1.4
		<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-	-
		Fungi	2.6 ± 0.3	4.8 ± 0.0	2.6 ± 0.1	2.1 ± 2.1	4.3 ± 1.3	3.3 ± 0.0
	Gloves	APC	3.9 ± 0.4	2.9 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.9 ± 0.2	4.0 ± 0.4	5.4 ± 0.3
		Coliform	1.7 ± 0.4	ND	3.3 ± 0.4	2.2 ± 1.8	2.6 ± 0.3	3.8 ± 0.5
		<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-	-
	Clothes	Fungi	3.3 ± 0.2	1.2 ± 0.2	3.6 ± 0.2	0.4 ± 0.4	4.3 ± 0.3	4.8 ± 1.1
		APC	3.4 ± 0.1	3.1 ± 0.0	3.3 ± 0.2	3.1 ± 0.5	3.9 ± 0.2	3.7 ± 0.2
		Coliform	1.1 ± 0.5	0.5 ± 0.8	1.7 ± 1.5	2.3 ± 0.5	2.3 ± 0.4	2.9 ± 0.1
		<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-	-
			Fungi	2.6 ± 0.2	2.2 ± 0.2	3.6 ± 0.7	ND	5.4 ± 0.1

¹⁾APC : Aerobic Plate Count

²⁾- : Positive samples by cultural method but not by PCR and API kit

³⁾+ : Positive samples by cultural method by PCR and API kit

⁴⁾NS : No sampling

⁵⁾ND : Not detected

있기 때문에 유해미생물로부터의 안전성을 확보하기 위해서는 용수와 함께 양액을 보관하는 양액저장고 등의 철저한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

관개용수의 경우 토경재배농장에서 일반세균은 1.3-1.7 log CFU/mL, 대장균군은 A농장에서만 0.1 log CFU/mL 수준으로 검출되었고, 양액재배농장에서는 일반세균만 0.2-1.8 log CFU/mL 수준으로 검출되었으며, *E. coli*는 6농장 모든 시료에서 검출되지 않았다. 6농장의 관개용수는 환경부령 먹는 물 수질기준 검사²¹⁾ 등에 관한 규칙 (일반세균: 2.0 log CFU/mL; 대장균군 및 *E. coli*: 불검출)에 비해 낮은 수준으로 검출되어 안전하다고 판단되지만, 보통 농업용수의 경우 하천수나 지하수를 사용하므로 오염된 용수에 의해 토마토로 유해 미생물의 교차오염의 가능성을 배제할 수 없으므로 수원에 동물 침입을 막고 동물의 분변에 의한 오염을 차단하며, 주기적인 수질 검사가 이루어져야 할 것으로 판단된다²²⁾.

개인위생 중 작업자 손에서 일반세균은 토경재배농장

(4.0-4.6 log CFU/hand)과 양액재배농장(4.0-4.8 log CFU/hand) 모두 비슷한 수준으로 검출되었으며, 대장균군은 두 종류의 재배농장에서 최대 2.0 log CFU/hand으로 검출되었다. 또한 장갑의 일반세균수는 토경재배농장에서 2.9-4.2 log CFU/100 cm², 양액재배농장에서 3.9-5.4 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었고, 대장균군은 최대 3.8 log CFU/hand으로 검출되었다. 작업복은 두 종류의 재배농장에서 일반세균이 3.1-3.9 log CFU/100 cm²의 수준이었으며, 대장균군은 0.5-2.9 log CFU/100 cm² 검출되었고, *E. coli*는 모든 농장의 작업자로부터 검출되지 않았다. Cho 와 Bae 등^{23,24)}이 단체급식의 조리종사원의 손 위생을 대상으로 한 기존 연구에서 일반세균수는 약 2-7 log CFU/hand, 대장균수는 불검출에서부터 최대 약 5-6 log CFU/hand까지 검출되었다고 보고한 것에 비해 비교적 낮은 수준으로 검출되었지만, 작업자에 의한 잠재적인 교차오염의 가능성이 있으므로 작업자는 항상 작업 전 후 비누로 깨끗이 손을 씻고 소독하여야 하며, 작업복과 장갑은 사용 뒤 청결히 보관 하여한다

는 내용을 작업자에게 주기적으로 인식시켜야 할 것이다. 아울러 농장 주변에 손을 씻는 시설과 화장실 그리고 탈의실과 같은 위생시설을 설치함으로써 교차오염을 방지할 수 있도록 노력해야 하며, 각종 기구들에 대한 위생적인 관리가 우선되어야 할 것으로 판단된다.

곰팡이

수집된 모든 시료에 대해 곰팡이를 분석한 결과 재배환경의 경우 토경재배농장의 재배 환경인 토양과 관개용수(0.0-4.7 log CFU/g or mL)에서 양액재배농장의 재배환경인 양액과 관개용수(0.0-0.3 log CFU/mL) 보다 높은 수준으로 검출되었다. 특히 토양의 경우 다양한 종류의 미생물이 존재하기 때문에 위생지표 세균과 마찬가지로 다른 시료에서 보다 높은 수준으로 검출되기는 하였으나 우려할 수준

으로 아닌 것으로 판단된다. 하지만 토양과 식용부인 토마토의 직접적인 접촉을 최소화하여 토양으로부터의 곰팡이 교차오염을 방지하여 안전성을 확보 할 수 있도록 관리하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

작업자의 개인위생인 손, 장갑 및 작업복 또한 전체적으로 토경재배농장에서는 1.2-4.8 log CFU/hand or 100 cm², 양액재배농장에서는 0.0-4.8 log CFU/hand or 100 cm²의 수준으로 검출되어 재배환경과 마찬가지로 개인위생에 의한 토마토에 교차오염을 방지할 수 있도록 관리해야 할 것이다(Table 2).

병원성 미생물

토마토 재배 단계에서 수집된 시료를 대상으로 병원성 미생물을 분석한 결과 *B. cereus*를 제외한 *E. coli* O157,

Table 3. Microbial population of pathogenic bacteria in samples collected from tomato farms at the growing stage of soil and nutriculture farms during growing stage

(Unit : mean ± standard deviation; log CFU/g, mL, hand or 100 cm²)

Classification	Samples	Microorganism	Soil Farms			Nutriculture Farms		
			A	B	C	D	E	F
Cultivation environment	Soil	<i>B. cereus</i>	4.3 ± 0.3	4.3 ± 0.2	4.4 ± 0.1	NS ¹⁾	NS	NS
		<i>S. aureus</i>	ND ²⁾	ND	ND	NS	NS	NS
		<i>E. coli</i> O157	- ³⁾	-	-	NS	NS	NS
		<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	NS	NS	NS
		<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	NS	NS	NS
	Nutrient solution	<i>B. cereus</i>	NS	NS	NS	ND	ND	ND
		<i>S. aureus</i>	NS	NS	NS	ND	ND	ND
		<i>E. coli</i> O157	NS	NS	NS	-	-	-
		<i>L. monocytogenes</i>	NS	NS	NS	-	-	-
		<i>Salmonella</i> spp.	NS	NS	NS	-	-	-
	Irrigation Water	<i>B. cereus</i>	0.5 ± 0.7	ND	ND	ND	ND	ND
		<i>S. aureus</i>	ND	ND	ND	ND	-	ND
		<i>E. coli</i> O157	-	-	-	-	-	-
		<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-
		<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-
Personnel hygiene	Hands	<i>B. cereus</i>	2.9 ± 0.2	2.0 ± 0.9	2.6 ± 0.3	2.8 ± 0.0	2.1 ± 0.1	1.1 ± 1.5
		<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	ND	-
		<i>E. coli</i> O157	-	-	-	-	-	-
		<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-
		<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-
	Gloves	<i>B. cereus</i>	2.3 ± 0.0	2.0 ± 1.3	1.7 ± 0.1	2.6 ± 0.5	2.2 ± 0.1	1.9 ± 0.0
		<i>S. aureus</i>	-	ND	ND	ND	ND	-
		<i>E. coli</i> O157	-	-	-	-	-	-
		<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-
		<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-
	Clothes	<i>B. cereus</i>	1.3 ± 0.0	1.0 ± 1.3	1.2 ± 0.2	1.3 ± 0.4	1.1 ± 1.5	0.5 ± 0.7
		<i>S. aureus</i>	-	ND	-	ND	ND	ND
		<i>E. coli</i> O157	-	-	-	-	-	-
		<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-
		<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-

¹⁾NS: No sampling

²⁾ND : Not detected

³⁾- : Positive samples by cultural method but not by PCR and API kit

Salmonella spp., *L. monocytogenes* 및 *S. aureus*는 6 농장에서 채취된 시료 모두 불검출이거나 정성분석결과 음성으로 나타났다(Table 3).

E. coli O157, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes* 및 *S. aureus*는 불검출이거나 정성분석결과 음성으로 나타났지만, 박 등⁴⁾의 연구에 의하면 1998년부터 2000년 사이 우리나라에서 발생한 식중독 원인으로 *Salmonella* spp.가 전체 발생 건수의 25.4%, 환자의 32.3%에 해당되었고, *S. aureus*가 전체 발생 건수의 9.6%, 환자의 15.4%를 차지하였다. 특히 *S. aureus*는 건강한 사람이라도 40%는 비강을 통해 옮겨 질 수 있기 때문에 개인위생과 관련된 교차오염 가능성이 높은 것으로 판단되어, 이를 방지하기 위하여 작업자에 대한 철저한 위생적인 관리와 교육이 필요할 것으로 사료된다^{25,26)}.

*B. cereus*는 토경재배농장에서 토양은 4.3-4.4 log CFU/g로 검출되었고, 관개용수의 경우 A농장에서만 0.5 log CFU/mL 검출되었으며, 양액재배농장에서는 양액과 관개용수에서 모두 불검출 되었다. 개인위생의 경우 토경재배농장에

서 손은 2.0-2.9 log CFU/hand, 장갑은 1.7-2.3 log CFU/100 cm², 작업복은 1.0-1.3 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었으며, 양액재배농장의 손에서는 1.1-2.8 log CFU/hand, 장갑에서는 1.9-2.6 log CFU/100 cm², 작업복에서는 0.5-1.3 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되어 토경재배농장과 비슷한 수준으로 검출되었다. *B. cereus*는 주로 토양에서 분리가 되며, *S. aureus*와 유사하게 세균이 오염된 식품을 섭취한 후 *B. cereus*가 체내에서 생성한 독소에 의해 식중독이 발생하기 때문에 이에 대한 적절한 관리가 이루어져야 할 것이다.

공중낙하균

토마토 재배단계에서 공중낙하균을 분석한 결과, 다음 Table 4에서 보는 바와 같이 위생지표세균인 일반세균과 대장균군은 각각 1.4-2.8과 0.0-0.4 log CFU/plate로 검출되었으며, 병원성 미생물은 *B. cereus*만이 C와 F농장에서 0.7과 0.2 log CFU/plate로 각각 검출되었다. 곰팡이의 경우 1.1-1.8 log CFU/plate로 검출되어 공기 중 존재하는 미생물

Table 4. Microbial population of air-borne bacteria from tomato farms at the growing stage (Unit : mean ± standard deviation; log CFU/plate)

Microorganism	Soil Farms			Nutriculture Farms		
	A	B	C	D	E	F
APC ¹⁾	2.8 ± 0.0	2.8 ± 0.1	2.6 ± 0.4	1.4 ± 0.2	1.7 ± 0.5	1.6 ± 0.4
Coliform	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	ND ²⁾	0.4 ± 0.6	0.4 ± 0.6	0.3 ± 0.4
<i>E. coli</i>	- ³⁾	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i> O157	-	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-
<i>B. cereus</i>	ND	-	0.7 ± 0.1	ND	-	0.2 ± 0.3
<i>S. aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fungi	1.8 ± 0.1	1.4 ± 0.1	1.7 ± 0.1	1.4 ± 0.0	1.1 ± 0.2	1.3 ± 0.2

¹⁾APC : Aerobic Plate Count

²⁾ND : Not detected

³⁾- : Positive samples by cultural method but not by PCR and API kit

Table 5. Concentrations of heavy metals in soil and irrigation water collected from tomato farms at the growing stage (Unit : mg/kg or L)

Elements	Soil			Irrigation Water					
	Soil Farms			Soil Farms			Nutriculture Farms		
	A	B	C	A	B	C	D	E	F
Cd	ND ¹⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	23.68	17.29	18.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	9.25	9.42	10.60	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	86.89	89.84	78.56	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	16.35	15.20	14.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾ND : Not detected

에 의한 토마토의 미생물 오염 가능성은 낮은 것으로 나타났다. 하지만 공중낙하균으로 인한 교차오염의 위험성을 줄이기 위해 비닐하우스 내 공기정화 장치를 설치하여 환기나 환풍을 적절히 해주어 시설 내 공기의 오염을 방지해야 할 것이다.

화학적 위해요소(중금속) 분석

토경재배농장의 토양과 관개용수 그리고 양액재배농장의 관개용수에 대하여 카드뮴, 납, 수은, 구리, 크롬, 아연, 니켈 및 비소 등 8종의 중금속을 분석하였다. 그 결과 토양은 카드뮴을 비롯한 8종의 중금속이 불검출 또는 허용기준치 이하의 수준으로 나타나 토양환경보전법 시행규칙 “토양오염우려기준”과 비교하여 허용기준에 적합한 것으로 확인되었다²⁷⁾.

수질분석 역시 한계기준이 설정되어 있는 카드뮴 (기준치: 0.005 mg/L), 비소 (기준치: 0.05 mg/L) 및 수은 (기준치: 불검출)을 포함한 8종의 중금속에 대하여 모두 불검출로 나타나 환경정책기본법 “농업용수의 수질기준”과 비교하여 허용기준에 적합한 것으로 확인되었다(Table 5)²⁸⁾.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 : PJ007392)의 지원에 의해 이루어졌으며, 권우현, 허록원, 김경열은 교육과학기술부 BK21 프로그램의 장학금을 수혜 받았다.

요 약

본 연구에서는 경남에 소재한 토마토 토경재배농장 3곳 (A, B, C)과 양액재배농장 3곳 (D, E, F)을 대상으로 토마토 재배단계의 재배환경과 개인위생에 대하여 생물학적 및 화학적 (중금속) 위해요소를 분석하였다.

생물학적 위해요소를 분석한 결과 재배환경에서 위생지표세균의 경우 토경재배농장의 토양에서 일반세균과 대장균군이 최대 7.2 및 6.1 log CFU/g 검출되었고, 관개용수에서는 1.7 log CFU/mL 이하로 검출되었으며, *E. coli*의 경우 B농장의 토양에서만 1건 검출되었다. 양액재배농장의 양액과 관개용수에서는 일반세균만 최대 1.4 및 1.8 log CFU/mL 수준으로 검출되었다. 개인위생의 경우 일반세균과 대장균군이 토경재배농장에서는 0.4-4.6 log CFU/hand, 100 cm² 수준으로, 양액재배농장에서는 0.4-5.4 log CFU/hand, 100 cm² 수준으로 검출되었다. 병원성 미생물은 *B. cereus*만 토경재배농장의 토양에서 최대 4.4 log CFU/g, 관개용수에서 0.5 log CFU/mL, 개인위생에서 1.0-2.9 log CFU/hand, 100 cm² 검출되었고, 양액재배농장의 개인위생에서 0.5-2.8 log CFU/hand, 100 cm² 수준으로 검출되었다.

화학적 위해요소인 중금속(Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr, Zn

및 Ni)은 분석 결과 모두 허용기준치 이하 또는 불검출로 나타났다. 따라서 토마토의 재배단계에서 미생물의 오염으로 인한 위해를 확인할 수 있었으며, 안전성을 확보하기 위해서는 최종산물로까지 발생할 수 있는 모든 위해요소를 파악하고 이를 효율적으로 차단시키기 위한 체계적인 관리방안이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Kim, J. H., Gu, J. R., Kim, G. H., Choi, S. R. and Yang, J. Y.: Effect of Storage Temperature on the Quality of Tomato. *Korean J. Food & Nutr.* **23(3)**, 428-433 (2010).
- Rao, A. V.: Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. *Exp. Biol. Med.*, **227**, 908-913 (2002).
- Kang, H. J., Chae, Y. S. and Jang, J. S.: Effect of Growth Regulators on the Fruit Characters and Quality of Tomato. *J. Agric. Tech. Res. Inst (Jinju Nat. Univ.)*, **20**, 107-116 (2007).
- Park, H. O., Kim, C. M., Woo, G. J., Park, S. H., Lee, D. H., Chang, E. J. and Park, K. H.: Monitoring and trend analysis of food poisoning outbreaks occurred in recent years in Korea. *J. Fd Hyg. Safety*, **16**, 280-294 (2001).
- Beuchat, L. R. and Ryu, J. H.: Produce Handling and Processing Practices. *Emerg. Infect. Dis.* **3**, 459-465 (1997).
- Janisiewicz, W. J., Conway, W. S., Brown, M. W., Sapers, G. M., Fratamico, P. and Buchanan, R. L.: Fate of *Escherichia coli* O157:H7 on Fresh-Cut Apple Tissue and Its Potential for Transmission by Fruit Flies. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**, 1-5 (1999).
- Yu, K., Newman, M. C., Archbold, D. D. and Hamilton-Kemp, T. R.: Survival of *Escherichia coli* O157:H7 on Strawberry Fruit and Reduction of the Pathogen Population by Chemical Agents. *J. Food Prot.* **64**, 1334-1340 (2001).
- 김성훈, 이계임, 한혜성. 농산물 안전관리 제도의 적용실태와 개선방안: GAP를 중심으로. 한국농촌경제연구원 연구보고서 (2008).
- Kim, S. H.: Microbial Assessment for Agricultural Products Processing Center of Strawberry to Apply the GAP System. Master course. Thesis, Gyeongsang National University. Korea (2009).
- Qing, L. L., Rhee, Z. W. and Kim, T. K.: Effect of the GAP Certification on Taiwanese Consumers' Preferences. *Korean J. Agricultural Management & Policy*, **38(2)**, 239-254 (2011).
- Yu, Y. M., Oh, S. C., Sung, B. J., Kim, H. H., Lee, Y. H. and Youn, Y. N.: Analysis of Good Agricultural Practices (GAP) in Panax ginseng C.A. Mayer. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* **15(3)**, 220-226 (2007).
- Han, K. W., Cho, J. Y. and Kim, S. J.: Effects of farming on soil contamination and water quality in Keum river districts. *Korea J. Envir. Agri.* **16**, 19-24 (1997).
- Kim, K. Y., Nam, M. J., Lee, W. G., Shim, W. B., Yoon, Y. H., Kim, S. R., Kim, D. H., Ryu, J. G., Hong, M. K., You, O. J. and Chung, D. H.: Microbiological safety assessment of a perilla leaf postharvest facility for application of a good agricultural practices (GAP) system. *Korean J. Food Sci. Tech-*

- no.* **41**, 392-398 (2009).
14. 환경부.: 토양오염공정시험법. 고시 2009-333 (2009).
 15. KFDA.: Korea Food and Drug Administration. Food Code, Seoul (2010).
 16. 환경부.: 수질오염공정시험법. 고시 2011-110 (2011).
 17. 식품의약품안전청.: 유해금속시험법.
 18. Kim S. R., Shim, W. B., Kim, J. H., Hwang, S. J., Park, S. J., Ha, S. D., Kim, K. S., Lee, K. H., Kim, M. G., Kim, K. Y., Kim, C. H. and Chung, D. H.: Screening of *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcal Enterotoxin a, b, c* gene in Strains Isolated from Strawberry Farms in Western Gyeongnam. *J. Food Sci. Technol.* **37**, 321-327 (2005).
 19. Kim, J. S., Shim, W. B., Kim, J. H., Kim, S. R. and Chung, D. H.: Sanitary Microbial Distribution at the Tomato Farms in Western Gyeongnam. *Kor. J. Env. Hlth.* **32(1)**, 77-88 (2005).
 20. Kaneko, K. I., Hideki, H., Yoshimitsu, O., Junko, K., Masahiko, K., Koki, T., Yasuo, S. and Masuo, O.: Bacterial contamination of ready-to-eat foods and fresh products in retail shops and food factories. *J. Food Prot.* **62**, 644-649 (1999).
 21. 환경부.: 먹는 물의 수질기준 (2009).
 22. Ansuya, R., Elizabeth, A. B., Robert, R. G., Donna, L. S. and Marvin, P. P.: Food Safety Begins on the Farm; Good Agricultural Practice for Fresh fruits and vegetables (2001).
 23. Cho, H. O.: Microbiological evaluation of employ's hands hygiene based on sanitation training in food service organization. MS thesis. Sookmyung Women's University Seoul Korea (2001).
 24. Bae, H. J.: Survey on sanitation practice and the analysis of improvement by implementing HACCP system in food service operations. PhD Dissertation, Sookmyung Women's University Seoul Korea (2001).
 25. Park, K. J., Cheon, S. J., Park, G. H., Hong, J. H. and Kim, J. W.: Survey on the Foodborne Illness Experience and Awareness of Food Safety Practice Among Korean Consumers. *J. Fd Hyg. Safety.* **18**, 139-145 (2003).
 26. Chung, J. K., Kim, M. J., Kee, H. Y. Choi, M. H., Seo, J. J., Kim, S. H., Park, J. T., Kim, M. G. and Kim, E. S.: Prevalence of Food Poisoning Bacteria on Hands in Various Age Groups. *J. Fd Hyg. Safety.* **23**, 40-50 (2008).
 27. 환경부.: 토양오염의 우려기준. 토양환경보전법 (2010).
 28. 환경부.: 농업용수의 수질기준. 환경정책기본법 (2011).