

HACCP 원리에 기초하는 GAP모델 확립을 위한 딸기 농장의 수확단계에 대한 미생물학적 위해요소 조사

심원보¹ · 김경열² · 윤요한³ · 김장억⁴ · 심상인^{5,6} · 김윤식^{6,7} · 정덕화^{2,6*}

¹광주과학기술원 물리화학부, ²경상대학교 응용생명과학부(BK 21 program), ³숙명여자대학교 생활과학부 식품영양학과
⁴경북대학교 응용생명과학부, ⁵경상대학교 농학과, ⁶경상대학교 농업생명과학연구원, ⁷경상대학교 농업경제학과

Microbiological Hazard Analysis for Strawberry Farms at the Harvest Stage to Establish Good Agricultural Practices (GAP) Model Based on Principle of HACCP

Won-Bo Shim¹, Kyeong-Yeol Kim², Yo-Han Yoon³, Jang-Eok Kim⁴, Sang-In Shim^{5,6},
Yun-Shik Kim^{6,7}, and Duck-Hwa Chung^{2,6*}

¹School of Physics and Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology

²Division of Applied Life Science (BK 21 program), Graduate School, Gyeongsang National University

³Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University

⁴School of Applied Biosciences, Kyungpook National University

⁵Department of Agronomy, Gyeongsang National University

⁶Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

⁷Department of Agriculture Economics, Gyeongsang National University

Abstract This study assessed hazards at the harvest stage of strawberry farms which may cause risk to humans. A total of 216 samples were collected from 6 strawberry farms (soil culture farms: A, B, C; nutriculture farms: D, E, F) located in Western Gyeongnam. The collected samples were subjected for sanitary indicator bacteria (aerobic plate count, coliforms and *Escherichia coli*), major foodborne pathogens (*E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*), and fungi. The levels of APC and coliform in the soil culture farms were 1.0-6.9 and 0.4-4.6 log CFU/g (leaf, mL, hand or 100 cm²), respectively. The samples obtained from the nutriculture farms were contaminated with the levels of 0.8-4.9, and 0.2-2.6 log CFU/g (leaf, mL, hand or 100 cm²) of APC and coliform. However, *E. coli* was not detected in any samples. In major foodborne pathogens, *S. aureus* was detected at the level of ≤ 3.3 log CFU/hand in workers' hand samples and *B. cereus* was detected at the levels of 0.4-4.1 log CFU/g (hand or 100 cm²) in soil, plants and workers' hygiene. *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. were not detected. Fungi were detected at the levels of 1.0-5.2 and 0.2-4.4 log CFU/g (leaf, mL, hand or 100 cm²) in soil culture and nutriculture farms, respectively.

Keywords: good agricultural practices (GAP), strawberry, hazard analysis, harvest stage

서 론

딸기는 장미과(Rosaceae)에 속하는 다년초 과일로서 vitamin C의 함량이 다른 과일에 비하여 높고, 다양한 항산화물질이 함유되어 있으며, 심혈관질환의 예방에 효과적인 것으로 알려져 있는 대표적인 과채류이다(1). 국내산 딸기는 품종에 따라 차이는 있지만 수입산 딸기보다 과육이 단단하여 저장기간이 길고, 단맛과

신맛이 적절히 조화되어 있으며, 딸기 고유의 향을 느낄 수 있어 생산량의 약 90%가 생식용으로 이용되고 있다(2,3).

최근 국민의 생활수준 향상과 건강에 대한 관심의 증대로 과일 및 채소류의 소비가 증대되고 있으며, 이와 함께 과채류를 포함한 농산물과 관련된 식중독 사고도 빈번히 발생하고 있다. 딸기의 경우도 식중독을 일으키는 위해요소에 항상 노출되어 있어 재배, 수확 지역에서의 관리 문제로 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Salmonella* Newport, *Salmonella* thompson, *Hepatitis* A와 같은 병원성 미생물이 검출될 가능성이 높다. 실제 2011년 미국에서는 딸기에 *E. coli* O157:H7이 오염되어 10명의 사람에게 감염이 되고, 그 중 한 명이 사망하는 사고가 발생하였다(4). 이 외에도 오염된 물로 재배된 새싹채소, 당근, 방울토마토, 호박 등의 과채류에서 *Listeria monocytogenes*와 *Aeromonas* spp.가 분리되기도 하였고, 2005년 스페인에서 수입한 양상추에서는 하수를 관개용수로 사용한 것이 원인이 되어 *S. Typhimurium*

*Corresponding author: 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
Received July 11, 2012; revised October 19, 2012;
accepted October 21, 2012

균의 오염이 발생하기도 하였다(5).

이러한 사고들로 인해 안전한 농산물에 대한 국민들의 관심은 증대되고 있으며, 우리나라에서는 소비자들에게 안전한 농산물을 공급하기 위해 유기농산물 인증을 포함한 친환경농산물 인증(1993년), 지리적표시제(1997년), 농산물이력추적관리제(2005년) 등과 같은 정책(6,7)들을 시행하고 있다. 하지만 이들 정책은 식품안전 사고의 대부분을 차지하는 식중독 사고의 원인인 병원성 미생물과 같은 생물학적 위해요소 관리는 이루어지지 않아 과채류의 미생물 오염에 따른 식중독 사고의 발생 가능성이 여전히 존재하고 있다. McMaho 등(8)의 연구에 의하면 간단한 세척 후 즉시 섭취 가능한 유기농채소의 41%에서 *Aeromonas* spp.가 검출된 것으로 나타났고, Hamilton 등(9)은 소매상을 통해 판매되고 있는 유기농채소의 1.5%에서 대장균과 *Listeria* spp.가 검출되었다고 보고하고 있다. 따라서 안전한 농산물 생산을 위해서는 생물학적 위해요소를 포함한 다양한 위해요소를 사전에 관리하는 종합적인 안전관리시스템의 도입이 필수적이며, 그 대표적인 시스템이 농산물우수관리제도(Good Agricultural Practices; GAP)라 할 수 있다.

GAP제도는 생산부터 포장단계까지 농약, 중금속, 미생물 등의 위해요소를 종합적으로 관리하는 제도로(7), 농산물 교역량이 증대되면서 식품안전성 확보차원에서 논의되기 시작하였다. Codex(국제식품규격위원회)에서는 신선식품인 과일·채소류의 안전성 확보를 위해 회원국간(FAO/WHO) GAP 적용 최종인준을 2003년부터 실시하고 있으며(10), 아시아 지역에서는 중국(2003년), 일본(2005년) 등에서 운영하고 있다.

우리나라에서도 2003년 약용작물 대상 시범사업을 출발점으로 다양한 작물에 대한 GAP기준이 고시되어 GAP제도가 시행되고 있으나 농약, 중금속, 미생물 등의 위해요소를 종합적으로 관리한다는 GAP제도의 정의와는 달리 생물학적 위해요소는 제외되어 운영되고 있는 실정으로, 생물학적 위해요소의 관리가 포함된 GAP시스템의 구축을 통해 안전한 농산물의 생산 및 농가에서도 쉽게 적용할 수 있는 실천 가능한 GAP모델의 제시가 필요하다.

따라서 본 연구는 딸기 수확단계에서 토양이나 주변 환경으로부터 딸기에 오염될 가능성이 높은 생물학적 위해요소의 조사를 통해 이들의 관리가 포함된 실천 가능한 딸기 GAP모델의 제시에 활용하고자 한다.

재료 및 방법

농가 선정 및 시료채취

경남 서부에 소재한 딸기 재배농가 중 토경재배 및 양액재배 농가 각각 3곳을 선정하여 2011년 3-5월 사이 재배환경(토양, 양액, 관개용수, 공기), 작물(딸기, 잎), 개인위생(손, 장갑, 작업복) 및 작업도구(수확용기) 등 4가지 항목에 대해 총 216점의 시료를 채취하였다. 재배환경 중 토양은 각 시료 당 약 1kg씩 멸균팩에 수집하였고, 양액과 관개용수는 멸균 채수병(Medi-land, Incheon, Korea)을 이용하여 약 1L씩 채수하였다. 딸기와 잎은 방사형 채취방법으로 중심부에서 동서남북으로 각각 5m 거리에 있는 지점에서 채취한 후 혼합하여 딸기는 100g, 잎은 20장씩 채취하였다. 작업자 개인위생 항목 중 장갑과 작업복, 작업도구인 운반박스는 채취 가능한 면적 또는 10×10 cm의 면적대를 사용하여 Swab kit(3M e-swab, 3M China Ltd., Shanghai, China)로 swabbing 하였으며, 작업자 손은 glove juice법에 준하여 시료를 채취하였다(11). 채취된 모든 시료는 얼음을 채운 시료보관용 아이스박스에 담아 실험실로 냉장 운반하여 4시간 이내에 실험을 실시하였다.

시료전처리

토양, 딸기, 잎 등의 고체 시료는 10g씩을 취하여 멸균된 0.85% 생리식염수 90 mL를 첨가·혼합한 후 균질화 시켜 분석에 사용하였고, 관개용수와 양액, glove juice법과 swab법으로 채취된 액체 시료는 별다른 전처리 과정 없이 30초 동안 강하게 혼탁하여 위생지표 세균 및 병원성미생물 분석에 사용하였다. 채취된 모든 시료는 교차오염을 방지하기 위해 clean bench 내에서 무균적으로 처리되었다.

위생지표세균 및 곰팡이 분석

일반세균, 대장균군, 대장균을 포함하는 위생지표세균과 곰팡이를 분석하여 딸기 수확단계에서의 전반적인 위생 상태를 조사하였다. 일반세균과 대장균군의 경우 전처리된 시료 1 mL를 9 mL의 멸균 생리식염수로 단계 희석한 후 각 희석농도에 대해 1 mL를 취하여 petridish에 분주하고, 일반세균의 분석을 위해 plate count agar(Difco, Becton Dickinson and Company, Sparks, MD, USA)를, 대장균군의 분석을 위해 deoxycholate lactose agar(Difco)를 각각 15-20 mL 정도 첨가하여 시료와 배지를 혼합 후 균화 다음 37°C에서 48시간 배양하여 계수하였다. 대장균은 전처리된 시료를 EC broth(Difco)에 접종하여 증균배양(37°C, 24시간)을 거친 후 가스를 생성한 양성 의심 시료를 선택배지인 eosin methylene blue agar(Difco)에 배양하였다. 배양된 시료 중 녹색 금속성 광택을 띄는 집락만을 tryptic soy agar(Difco)에서 재배양한 후 API 20E(bioMérieux®SA, Marcy l'Étoile, France)를 사용하여 최종 확인하였다. 그리고 곰팡이의 분석은 일반세균 및 대장균군 측정과 동일하게 시료를 단계 희석하여 0.1 및 1 mL씩 취해 rose bengal agar(Difco)에 도말한 후 28°C에서 72시간 배양한 다음 형성된 곰팡이 집락수를 계수하였다.

병원성 미생물 분석

주요 식중독 세균인 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* 및 *Salmonella* spp.는 식품공전에 따라 증균 및 분리배양, 확인시험 과정을 거쳐 정성분석을 실시하였다(12).

먼저 *E. coli* O157:H7의 경우 전처리된 시료를 mEC broth(Difco)에 증균배양(37°C, 24시간)하여 가스를 생성한 양성 의심 시료에 대하여 macConkey sorbitol agar(Difco)에 재 배양한 다음 sorbitol을 분해하지 않는 무색집락을 선택하여 PCR로 확인하였다. *L. monocytogenes*는 전처리된 시료를 10 mL의 fraser broth에 접종하여 증균한 다음 진한 갈색을 나타내는 양성 의심 시료에 대하여 oxford agar(Oxoid, Basingstoke, Hampshire, UK)에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하였으며, 검은색 환으로 둘러싸인 집락에 대해 PCR로 확인하였다. *Salmonella* spp.는 전처리된 시료를 Rappaport-Vassiliadis broth 10 mL에 접종하여 증균한 후 배지가 혼탁해진 양성 의심 시료에 대하여 xylose lysine desoxycholate agar(Difco)에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하였으며, 검은색 콜로니를 대상으로 *E. coli* O157:H7 및 *L. monocytogenes*와 같이 PCR로 확인하였다. PCR을 통해 양성으로 확인된 시료에 대해서는 API 20E(bioMérieux®SA)를 이용하여 최종 확인하였다.

S. aureus 및 *B. cereus*는 정량분석을 실시하였으며, 먼저 전처리된 시료 1 mL를 취해 멸균된 생리식염수를 이용하여 10진 단계희석법으로 희석한 다음 각 희석검액 0.1 및 1 mL씩을 취해 baird-parker agar(Difco)와 mannitol-egg yolk polymyxin agar(Difco)에 각각 도말하여 37°C에서 48시간 동안 배양하였다. *S. aureus*의 경우 투명한 띠로 둘러싸인 광택이 있는 검정색 집락, *B. cereus*의 경

Table 1. Thermal condition for amplification of major foodborne pathogens

Steps	Major foodborne pathogens										Cycle
	<i>E. coli</i> O157:H7		<i>L. monocytogenes</i>		<i>Salmonella</i> spp.		<i>S. aureus</i>		<i>B. cereus</i>		
Pre-denaturation	94°C	5 min	94°C	5 min	94°C	5 min	94°C	5 min	94°C	5 min	1 cycle
Denaturation	94°C	30 sec	94°C	30 sec	94°C	30 sec	94°C	30 sec	94°C	1 min	
Annealing	60°C	30 sec	60°C	30 sec	60°C	30 sec	60°C	30 sec	55°C	2 min	30 cycle
Extension	72°C	30 sec	72°C	30 sec	72°C	30 sec	72°C	30 sec	72°C	1.5 min	
Final extension	72°C	5 min	72°C	5 min	72°C	5 min	72°C	7 min	72°C	7 min	1 cycle

우 혼탁한 환을 갖는 분홍색 집락을 선별하여 각각 계수하였다. 계수한 각 평판에서 5개의 전형적인 집락을 선별하여 tryptic soy agar (Difco)에 배양 후 PCR로 1차 확인을 하였고, 양성으로 의심되는 시료를 API Staph (bioMérieux®SA)와 API 50CHB (bioMérieux®SA)에 적용하여 최종 확인하였다.

각 병원성 미생물의 분석에 사용된 PCR 조건은 Table 1과 같다.

공중낙하균 측정

주변 공기에 존재하는 공중낙하균의 딸기에 교차오염 가능성 여부를 확인하고자 공기 중의 위생지표세균과 병원성 미생물, 곰팡이를 분석하였다. 수확단계의 딸기 재배 농장에 각 미생물에 대한 선택배지가 분주되어 있는 petridish를 15분간 방치하여 시료를 채취한 다음 뚜껑을 덮고 parafilm으로 밀봉 후 37°C에서 48시간(단, 곰팡이는 28°C에서 72시간) 배양하여 계수하였다. 대장균과 병원성 미생물에 한하여 앞서 설명한 병원성미생물 분석과 동일한 방법으로 재확인하였다.

결과 및 고찰

재배환경

딸기 재배농가의 수확단계에서 수집된 시료에 대한 위생지표세균의 분석결과는 Table 2와 같다. 먼저 토경재배 농장의 재배환경인 토양과 관개용수에서 일반세균은 6.9-7.0 log CFU/g 와

0.9-1.1 log CFU/mL, 대장균군은 4.3-5.0 log CFU/g와 0.4-0.5 log CFU/mL 수준으로 검출되었다. 양액재배 농장의 재배환경인 양액과 관개용수에서는 일반세균이 0-2.4와 1.1-1.3 log CFU/mL, 대장균군은 0.7와 0.3 log CFU/mL 수준으로 검출되었다. 대장균은 토경재배 농장과 양액재배 농장 모두 검출되지 않았다.

토경재배 농장의 토양에서 일반세균과 대장균군이 각각 평균 6.9와 4.6 log CFU/g 수준으로 다소 높게 검출되었으나, Kim 등(13)의 연구에서 토마토 재배농장의 토양에서 일반세균이 평균 6.45 log CFU/g, 대장균군이 평균 2.6 log CFU/g 수준으로 검출되었고(13), Kim 등(14)의 연구에서도 깻잎 재배농장의 토양에서 일반세균과 대장균군이 각각 평균 6.6 및 4.5 log CFU/g로 본 연구에서와 유사한 수준으로 검출되었다(14). 또한 일반적인 토양에서의 미생물 수가 6.0-8.0 log CFU/g로 보고되고 있는 점을 감안한다면(15) 딸기재배 농장 토양의 일반세균 및 대장균군 오염 정도는 양호한 것으로 판단된다.

작물

작물의 경우 토경재배 되고 있는 딸기에서 1.1-1.3 log CFU/g와 앞에서 3.6-4.3 log CFU/leaf으로 일반세균이 검출되었고, 대장균군은 앞에서만 2.4-2.8 log CFU/leaf 수준으로 검출되었다. 양액재배 되고 있는 딸기와 잎의 경우 일반세균은 각각 1.1-1.2 log CFU/g와 2.9-3.3 log CFU/leaf으로 검출되었고, 대장균군은 토경재배와 마찬가지로 앞에서만 1.0-2.0 log CFU/leaf 수준으로 검출

Table 2. Levels of bacteria for cultivation environments and plants collected from strawberry farms at the harvest stage (unit: mean±SD)

Samples	Bacteria	Soil culture farms				Average	Nutriculture farms			Average
		A	B	C	D		E	F		
Cultivation environments	Soil (Log CFU/g)	APC	6.9±0.4	6.9±0.3	7.0±0.5	6.9±0.1	NS ¹⁾	NS	NS	NS
		Coliform	4.6±0.2	5.0±0.6	4.3±0.6	4.6±0.4	NS	NS	NS	NS
		Fungi	5.2±0.7	5.0±0.8	5.0±0.9	5.1±0.1	NS	NS	NS	NS
	Nutrient Solution (Log CFU/mL)	APC	NS	NS	NS	NS	2.4±0.0	ND ²⁾	ND	0.8±1.4
		Coliform	NS	NS	NS	NS	0.7±0.1	ND	ND	0.2±0.4
		Fungi	NS	NS	NS	NS	0.2±0.3	ND	ND	0.1±0.1
	Irrigation Water (Log CFU/mL)	APC	1.1±0.5	1.0±0.2	0.9±1.3	1.0±0.1	1.2±0.4	1.1±0.3	1.3±0.1	1.2±0.1
		Coliform	0.4±0.4	0.4±0.5	0.5±0.7	0.4±0.1	0.3±0.5	ND	0.3±0.1	0.2±0.2
		Fungi	1.4±1.1	1.3±1.0	0.3±0.4	1.0±0.6	0.5±0.7	1.4±0.3	0.7±1.0	1.1±0.5
Plants	Strawberry (Log CFU/g)	APC	1.1±0.4	1.3±0.6	1.1±0.7	1.2±0.1	1.2±0.4	1.1±0.6	1.1±0.1	1.1±0.0
		Coliform	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Fungi	3.8±0.7	3.6±0.8	3.2±1.3	3.5±0.3	3.9±0.3	3.5±0.1	3.4±0.0	3.5±0.1
	Leaf (Log CFU/g)	APC	3.7±0.9	4.3±0.1	3.6±0.0	3.9±0.4	2.9±0.2	3.1±0.2	3.3±0.3	3.2±0.1
		Coliform	2.8±1.0	2.7±0.2	2.4±0.2	2.6±0.2	1.0±0.2	1.5±0.4	2.0±0.8	1.8±0.4
		Fungi	3.5±2.3	4.2±1.0	4.2±0.9	4.0±0.4	3.8±0.8	4.3±0.2	3.7±0.5	4.0±0.4

¹⁾NS: Not sampled

²⁾ND: Not detected

Table 3. Levels of bacteria for workers' hygiene and utensil collected from strawberry farms at the harvest stage (unit: mean±SD)

Samples	Bacteria	Soil culture farms				Average	Nutriculture farms			Average
		A	B	C	D		E	F		
Workers' hygiene	Hands (Log CFU/ hand)	APC	5.9±1.2	4.4±0.5	3.9±2.3	4.7±1.0	4.2±1.6	6.2±1.0	4.3±3.3	4.9±1.1
		Coliform	3.0±0.4	1.5±2.2	1.3±0.4	1.9±0.9	3.6±1.0	1.8±1.6	2.5±3.5	2.6±0.9
		Fungi	4.7±0.4	3.7±1.1	3.3±0.9	3.9±0.7	3.9±1.2	4.0±0.3	3.9±0.7	3.9±0.1
	Gloves (Log CFU/ 100 cm ²)	APC	3.1±0.1	3.2±1.5	2.3±1.0	2.9±0.5	2.6±0.1	2.3±0.5	3.6±1.5	2.8±0.7
		Coliform	2.3±0.4	1.9±2.2	1.7±0.6	2.0±0.3	1.6±0.6	1.4±0.6	2.0±2.9	1.7±0.3
		Fungi	4.3±0.2	3.4±1.5	1.6±2.3	3.1±1.4	3.7±0.8	3.3±0.9	3.7±1.1	3.6±0.2
	Clothes (Log CFU/ 100 cm ²)	APC	3.1±0.1	3.2±1.0	2.9±0.6	3.1±0.2	2.9±0.4	2.5±0.0	3.7±1.5	3.0±0.6
		Coliform	2.2±1.4	2.8±0.5	0.1±0.2	1.7±1.4	ND ¹⁾	1.9±0.5	2.1±2.0	1.3±1.2
		Fungi	4.2±1.2	3.8±0.8	3.5±0.1	3.8±0.4	3.8±0.4	3.9±0.1	4.4±0.2	4.0±0.3
Utensil	Basket (Log CFU/ 100 cm ²)	APC	3.7±0.1	4.1±0.9	3.4±0.3	3.7±0.4	3.2±0.5	3.1±1.2	2.9±0.8	3.1±0.2
		Coliform	2.7±0.1	2.3±2.1	1.9±0.7	2.3±0.4	ND	1.8±1.2	1.8±1.3	1.2±1.0
		Fungi	4.0±0.3	4.9±0.7	4.9±0.5	4.6±0.5	4.0±0.3	4.8±0.3	4.5±0.2	4.4±0.4

¹⁾ND: Not detected

되었다. 대장균은 토경재배와 양액재배 모두 검출되지 않아 작물에 대한 위생지표세균 오염은 비교적 안전한 수준으로 판단되며, 재배방식에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 2). 그러나 토경재배 딸기 잎의 경우 딸기 자체에 비해 토양과 직접적으로 접촉할 경우가 많기 때문에 상대적으로 높게 나타난 것으로 확인되었고, 양액재배의 경우는 토양에 의한 교차오염이 없기 때문에 상대적으로 낮게 위생지표세균이 오염된 것으로 판단된다. 실제 유통중인 신선채소류에서 일반세균 및 대장균군의 오염 정도를 분석한 결과 오이, 깻잎, 상추 순으로 높은 오염도를 보였고, 대체적으로 가식부가 토양과 가까운 작물일수록 오염도가 높은 것으로 나타나(16,17) 일반세균 및 대장균군은 토양과 가까울수록 오염수준이 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 딸기 잎의 경우 가식부는 아니지만 딸기와 직접적으로 닿아있는 만큼 주의 기울여야 할 것으로 판단된다.

개인위생 및 작업도구

토경재배 농장의 작업자 손, 장갑 및 작업복에서 일반세균이 각각 3.9-5.9 log CFU/hand, 2.3-3.2 및 2.9-3.1 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었으며, 수확 시 사용되는 수확용기에서 3.4-4.1 log CFU/100 cm² 수준으로 확인되었다. 대장균군은 작업자 손, 장갑 및 작업복에서 각각 1.3-3.0 log CFU/hand, 1.7-2.3 및 0.1-2.8 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었고, 수확용기에서도 1.9-2.7 log CFU/100 cm² 수준으로 확인되었다. 양액재배 농장의 작업자 손, 장갑 및 작업복에서는 일반세균이 4.2-6.2 log CFU/hand, 2.3-3.6 및 2.5-3.7 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었으며, 수확 시 사용되는 수확용기에서 2.9-3.2 log CFU/100 cm² 수준으로 확인되었다. 대장균군은 작업자 손, 장갑 및 작업복에서 1.8-3.6 log CFU/hand, 1.4-2.0 및 2.5-3.7 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었고, 수확 시 사용되는 수확용기에서는 최대 1.8 log CFU/100 cm² 수준이었다(Table 3).

작업자의 손에서 검출된 일반세균은 토경재배와 양액재배 각각 3.9-5.9 log CFU/hand와 4.2-6.2 log CFU/hand으로, 딸기와 마찬가지로 수확작업 시 대부분 손으로 이루어지는 깻잎 재배농장의 작업자 손에서 검출된 3.7-7.3 log CFU/hand와 비슷한 수준이었다(14). 그러나 Harrigan과 McCance(18)가 설정한 작업자 손의 일반세균 기준인 3.4 log CFU/hand에 비해서는 높은 수준이므로 손 세척시설 설치 등의 조치를 통해 손 위생을 개선하는 것이 필

요할 것으로 판단된다. 수확용기의 경우 최종 포장용기는 아니지만 딸기의 특성상 수확직후 다른 처리과정 없이 바로 포장용기로 옮겨져 유통되는 경우가 대부분으로 교차오염의 가능성을 배제할 수 없다. 또한 미국 FDA(Food and Drug Administration)에서 병원성 미생물이 수확용기와 작업도구에 의해 쉽게 농산물로 교차오염 될 수 있다고 보고하고 있으므로(19) 수확용기의 청결함을 유지할 수 있도록 관리해야 할 것이다.

전체적으로 위생지표세균은 토양을 제외한 토경재배 농장의 모든 시료에서 평균 0.4-4.7 Log CFU/g(mL, leaf or 100 cm²), 양액을 제외한 양액재배 농장의 모든 시료에서 평균 0.2-4.9 Log CFU/g(mL, leaf or 100 cm²) 수준으로 검출되어 재배방식에 따른 오염도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 비교적 안전한 수준이기는 하나 일부 시료에서는 높게 검출되어 재배 농장의 상황에 맞는 적절한 위생관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

곰팡이의 오염도

곰팡이는 토경재배의 경우 재배환경에서 0.3-5.2 log CFU/g or mL, 작물에서 3.2-4.2 log CFU/g or leaf, 작업자 개인위생에서 1.6-4.7 log CFU/hand or 100 cm², 그리고 작업도구에서 4.0-4.9 log CFU/100 cm² 수준으로 각각 검출되었다. 양액재배의 경우 재배환경에서 0.2-1.4 log CFU/g or mL, 작물에서 3.4-4.3 log CFU/g or leaf, 작업자 개인위생에서 3.3-4.4 log CFU/hand or 100 cm², 그리고 작업도구에서 4.0-4.8 log CFU/100 cm² 수준으로 검출되었다(Table 2와 3). 이는 Nam 등(20)이 보고한 파프리카 재배단계에서의 곰팡이 검출율(0.0-4.4 log CFU/g (mL, leaf, hand or 100 cm²))과 비슷한 수준으로, 딸기의 안전성에 심각한 영향을 미치는 수준은 아니지만 딸기의 안전성 확보와 함께 유해 곰팡이에 의한 작물병 방지를 위해 비교적 높은 수준으로 검출된 작업자의 개인위생과 작업도구에 대해서는 위생관리가 필요한 것으로 생각된다.

***E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* 및 *Salmonella* spp.의 오염도**

주요한 병원성 미생물 중 정성분석 한 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* 및 *Salmonella* spp.는 수집된 모든 시료에서 불검출 되었다. 본 연구에서는 검출되지 않았지만 식품의약품안전청의 원인물질별 식중독 통계에 따르면 2002년부터 2011년 사이

Table 4. Incidence of *S. aureus* and *B. cereus* in samples collected from strawberry farms at the harvest stage (unit: mean±SD)

Bacteria	Samples	Soil culture farms				Nutriculture farms				
		A	B	C	Average	D	E	F	Average	
<i>S. aureus</i>	Cultivation environments	Soil (Log CFU/g)	ND ¹⁾	ND	ND	ND	NS ²⁾	NS	NS	NS
		Nutrient Solution (Log CFU/mL)	NS	NS	NS	NS	ND	ND	ND	ND
		Irrigation water (Log CFU/mL)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Plant	Strawberry (Log CFU/g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Leaf (Log CFU/g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Workers' hygiene	Hands (Log CFU/hand)	3.3±1.7	2.4±0.6	1.6±0.2	2.4±0.9	ND	1.1±1.6	2.5±3.5	1.2±1.3
		Gloves (Log CFU/100 cm ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Clothes (Log CFU/100 cm ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Utensil	Basket (Log CFU/100 cm ²)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>B. cereus</i>	Cultivation environments	Soil (Log CFU/g)	3.6±1.4	4.5±0.6	4.3±0.1	4.1±0.5	NS	NS	NS
Nutrient Solution (Log CFU/mL)			NS	NS	NS	NS	ND	ND	ND	ND
Irrigation water (Log CFU/mL)			ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plant		Strawberry (Log CFU/g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Leaf (Log CFU/g)	1.0±0.3	1.1±0.2	1.9±0.7	1.3±0.5	1.2±0.1	ND	ND	0.4±0.7
Workers' hygiene		Hands (Log CFU/hand)	0.4±0.6	0.7±0.9	1.9±0.8	1.0±0.8	2.5±1.8	1.9±0.2	1.5±2.1	2.0±0.5
		Gloves (Log CFU/100 cm ²)	1.6±0.1	1.2±0.0	1.3±0.7	1.4±0.2	1.2±0.8	1.0±0.5	2.0±0.5	1.4±0.5
		Clothes (Log CFU/100 cm ²)	1.6±0.2	1.0±0.7	ND	0.9±0.8	ND	ND	1.4±1.2	0.5±0.8
Utensil		Basket (Log CFU/100 cm ²)	1.5±1.2	2.6±0.4	2.1±0.3	2.1±0.6	1.0±0.7	ND	ND	0.3±0.6

¹⁾ND: Not detected²⁾NS: Not sampled

우리나라에서 발생한 식중독 사고의 원인균이 노로바이러스 339건, *E. coli* O157:H7 253건, *Salmonella* spp. 223건, *Vibrio parahaemolyticus* 177건, *S. aureus* 171건 순이었으며, *E. coli* O157:H7과 *Salmonella* spp. 등에 의한 식중독 또한 지속적으로 발생하고 있는 것으로 나타났다(21). 미국에서도 2004년에는 5개 주에서 300명 이상이, 2008년에는 34개 주에서 750여명이 토마토를 통해 *Salmonella* spp.에 감염된 식중독 사고가 발생하였고(22), 2011년에는 *L. monocytogenes*에 오염된 메론이 원인이 되어 96명이 감염되고, 18명이 사망한 사고가 발생하기도 하였다(23). 이와 같이 병원성 미생물에 의한 농산물의 오염 및 식중독 사고는 지속적으로 발생하고 있고, 발생가능성도 항상 존재하므로 작업자의 의식전환을 통해 주변 환경 및 개인위생에 대한 중요성을 인지할 수 있도록 유도해야 할 필요성이 있다. 또한 농산물의 안전성 확보를 위해 현장에서 실천 가능한 방안을 마련하는 것이 병원성 미생물에 의한 식중독 사고의 발생을 예방하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

B. cereus 및 *S. aureus*의 오염도

정량분석을 실시한 *S. aureus*는 토경재배와 양액재배 모두 작업자의 손에서만 3.3 log CFU/hand 이하로 검출 되었고, *B. cereus*의 경우는 양액, 관개용수 및 딸기를 제외한 모든 시료에서 0.4-4.5 log CFU/g(mL, 100 cm² or hand) 범위로 검출되었다(Table 4). Kim 등(24)의 연구에서는 딸기주스 상점의 원료 딸기와 딸기주스에서 *S. aureus*가 빈번히 검출되었고, Yu 등(25)의 연구에서는 PCR 분석결과 유통중인 딸기에서 *S. aureus*가 1건 검출된 것으로 보고하고 있다. 또한 Jo 등(26)의 연구에서는 식중독을 일으킬 수준은 아니지만 새싹채소 샐러드와 혼합채소 샐러드, 그리고 유기농 채소 중 깻잎과 상추에서 *S. aureus*가 최대 1.9 log CFU/g 검출되었고, 특히 새싹채소 샐러드의 37.5%(6/16)에서

규격기준(<3.0 log CFU/g)을 초과한 수준의 *B. cereus*가 검출되는 등 신선편의식품에서의 *S. aureus*와 *B. cereus*의 검출은 빈번히 일어나고 있다. 특히 *S. aureus*의 경우 개인위생과 밀접한 관계가 있는 병원성 미생물로 건강한 사람도 40%는 비강에 이 균을 보유하고 있어(27) 작업자의 비위생적인 행동을 통해 교차오염이 일어날 수 있다. 본 연구에서도 비교적 낮은 수준이기는 하나 작업자의 손에서 검출된 것으로 보아 딸기로의 교차오염을 방지하기 위해 작업자 개인위생에 대한 관리와 교육이 필요할 것으로 판단된다.

주변 공기의 공중낙하균

수확단계의 딸기 재배 하우스에 대해 위생지표세균, 병원성 미생물 및 곰팡이를 대상으로 한 공중낙하균을 분석한 결과 토경재배 농장의 경우 일반세균은 0.8-2.1 log CFU/plate, 대장균군은 0.0-1.0 log CFU/plate 그리고 곰팡이는 2.4-2.6 log CFU/plate 범위로 검출되었다. 양액재배 농장의 경우도 토경재배 농장과 비슷한 수준으로 일반세균 1.0-1.7 log CFU/plate, 대장균군 0.2-0.9 log CFU/plate 및 곰팡이가 2.2-2.5 log CFU/plate 범위로 검출되었으며, 병원성 미생물은 전체적으로 *B. cereus*와 *S. aureus*가 0.5 log CFU/plate 이하로 검출되었다(Table 5). 작물의 재배농장을 대상으로 공중낙하균을 분석한 연구결과에 따르면 Kim 등(28)은 콩 재배지를 대상으로 공중낙하균을 분석한 결과 일반세균만 0.6-1.3 log CFU/plate 범위로 검출되었고, Nam 등(20)은 파프리카 재배 농장 하우스에서 일반세균이 1.2-1.4 log CFU/plate, 곰팡이가 0.9-1.0 log CFU/plate로 검출된 것으로 보고하고 있다. 이는 본 연구에서 검출된 일반세균 및 곰팡이의 경우와 유사한 수준으로, 특히 외부에 노출되어 있는 콩 재배지와 유사한 수준으로 검출된 것을 미루어 볼 때 딸기 재배 하우스 내의 공기정화가 잘 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 환기 등을 통한 공기 정화를 지속

Table 5. Microbial population of airborne bacteria from strawberry farms at the harvest stage (unit: mean±SD; log CFU/plate)

Microorganisms	Soil culture farms			Average	Nutriculture farms			Average
	A	B	C		D	E	F	
APC	2.1±0.3	0.8±1.2	1.2±1.7	1.4±0.7	1.5±0.3	1.0±1.4	1.7±0.1	1.4±0.4
Coliform	ND ¹⁾	ND	1.0±1.5	0.3±0.6	0.9±1.3	0.4±0.5	0.2±0.3	0.5±0.4
<i>E. coli</i>	- ²⁾	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i> O157	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>B. cereus</i>	0.5±0.6	0.4±0.5	0.5±0.7	0.5±0.1	ND	0.1±0.1	ND	0.0±0.1
<i>S. aureus</i>	ND	0.3±0.4	ND	0.1±0.2	ND	ND	ND	ND
Fungi	2.6±0.4	2.4±0.7	2.4±0.3	2.5±0.1	2.2±0.6	2.5±0.5	2.2±0.2	2.3±0.2

¹⁾ND: Not detected

²⁾ -: Positive sample by culture methods but not by PCR and API kit

적으로 실시하여 위생적인 상태를 유지할 수 있도록 해야 할 것이다.

요 약

본 연구에서는 딸기의 수확단계에서의 생물학적 위해요소를 조사하고 그 결과를 딸기 GAP 모델의 개발을 위한 기초자료로 제공하기 위해 수행하였다. 경남 서부에 소재한 딸기 농장 6곳(토경재배 3곳, 양액재배 3곳)에서 총 216점의 시료를 수집하여 위생지표세균, 병원성 미생물, 그리고 곰팡이에 대해 분석하였다. 일반세균과 대장균군의 경우 토경재배 농장에서는 각각 1.0-6.9와 0.4-4.6 log CFU/g(leaf, mL, hand or 100 cm²) 수준으로, 양액재배 농장에서는 각각 0.8-4.9 log와 0.2-2.6 log CFU/g(leaf, mL, hand or 100 cm²) 수준으로 검출되었고 대장균은 모든 시료에서 검출되지 않았다. 병원성미생물은 *S. aureus*가 작업자의 손에서 최대 3.3 log CFU/hand 수준으로 검출되었고, *B. cereus*가 토양과 작물, 개인위생에서 0.4-4.1 log CFU/g(hand or 100 cm²) 범위로 검출되었으며, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 및 *Salmonella* spp.는 검출되지 않았다. 곰팡이는 토경재배 농장과 양액재배 농장 각각 1.0-5.2와 0.2-4.4 log CFU/g(leaf, mL, hand or 100 cm²) 수준으로 검출되었다.

감사의 글

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

문 헌

1. Cho JI, Ha SD, Kim KS. Inhibitory effects of temperature, pH, and potassium sorbate against natural microflora in strawberry paste during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 355-360 (2004)
2. Jeong EJ, Kim MH, Kim YS. Effect of pectinase treatment on extraction yield of the juice of fragaria ananassa duch and the quality characteristics of strawberry wine during ethanolic fermentation. *Korean J. Food Preserv.* 17: 72-78 (2010)
3. Park KH, Kim SH. A comparative study of consumer preference for strawberries in korea and singapore. *Korean J. Agric. Manag. Policy* 38: 321-340 (2011)

4. FDA. Fresh strawberries from washington county farm implicated in *E. coli* O157 outbreak in NW Oregon. Available from: <http://www.fda.gov/Safety/Recalls/ucm267667.htm>. Accessed Aug. 16, 2011.
5. Heaton JC, Jones K. Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: A review. *J. Appl. Microbiol.* 104: 613-626 (2008)
6. Kim YS, Nam KS. Marketing strategy of agricultural products through combining several certification systems. *Agri. Life Sci.* 43: 73-82 (2009)
7. Ha SD. Trend analysis of policies and managerial systems for food safety. *Food Sci. Ind.* 44: 29-37 (2011)
8. McMahon MAS, Wilson IG. The occurrence of enteric pathogens and *Aeromonas* species in organic vegetables. *Int. J. Food Microbiol.* 70: 155-162 (2001)
9. Hamilton JMT, Saroj S. Identity and antibiotic susceptibility of enterobacterial flora of salad vegetables. *Int. J. Antimicrob. Ag.* 18: 81-83 (2001)
10. Kim SY. Implementation of GAP and its implications for food labeling and certification policies. *Agri. Life Sci.* 38: 21-32 (2004)
11. Anonymous. Guidelines for effectiveness testing of surgical hand scrub (glove juice test). *Fed. Regist.* 43:1242-1243 (1978)
12. KFDA. Korean Foods Code. Korea Food & Drug Administration, Cheongwon, Korea (2011)
13. Kim JS, Shim WB, Kim JH, Kim SR, Chung DH. Sanitary microbial distribution at the tomato farms in western gyeongnam. *Korean J. Environ. Health* 32: 77-88 (2006)
14. Kim SR, Lee JY, Lee SH, Ko HS, Yoon YH, Kwon SH, Ryu KY, Yun HJ, Kim WI, Yun JC, Kim DH, Chung DH. Distribution of microorganisms in perilla leaf and cultivation area. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 243-248 (2011)
15. Kim SR. Assessment of microbiological hazard for the construction of HACCP in non-pasteurized strawberry juice. MS thesis, Gyeongsang National University, Jinju, Korea (2005)
16. Chio JW, Park SY, Yeon JH, Lee MJ, Chung DH, Lee KH, Kim MG, Lee DH, Kim KS, Ha SD. Microbial contamination levels of fresh vegetable distributed in markets. *J. Fd. Hyg. Safety* 20: 43-47 (2005)
17. Bae YM, Hong YJ, Kang DH, Heu SK, Lee SY. Microbial and pathogenic contamination of ready-to-eat fresh vegetables in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 161-168 (2011)
18. Harrigan W, McCance ME. *Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology.* Academic Press Inc., Ltd., New York, NY, USA. pp. 231-236 (1976)
19. FDA. Guidance for industry, guide to minimize microbial food safety hazard for fresh fruits and vegetables (October 26, 1998). Available at: <http://www.foodsafety.gov/~dms/prodguid.html>. Accessed Oct 21, 2008.
20. Nam MJ, Chung DY, Shim WB, Chung DH. Hazard analysis for the application of good agricultural practices(GAP) on paprika

- during cultivation. *J. Fd. Hyg. Safety* 26: 273-282 (2011)
21. KFDA. Statistics system on Foodborne Disease, Statistics of cause bacteria. Available at: <http://www.kfda.go.kr/e-stat/index.do?nMenuCode=33>. Accessed on Apr. 11, 2012.
 22. Seo KY, Lee MJ, Yeon JH, Kim IJ, Ha JH, Ha SD. Microbiological contamination levels of in salad and side dishes distributed in markets. *J. Fd. Hyg. Safety* 21: 263-268 (2006)
 23. FDA. Fruit Fresh Up, Inc. Recalls fresh cut cantaloupe and cut mixed fruit containing cantaloupe distributed in new york state because of possible health risk. Available from: <http://www.fda.gov/Safety/Recalls/ucm274835.htm>. Accessed Oct. 07, 2011.
 24. Kim SR, Shim WB, Park SJ, Ha KS, Yoon HS, Ha SD, Kim KS, Lee KH, Kim MG, Kim KY, Lim CH, Chung DH. Investigation of the level of microbial contamination in the environment for juice production. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 287-293 (2005)
 25. Yu YM, Youn YN, Quan Juan Hua, Gha GH, Lee YH. Biological hazard analysis of paprikas, strawberries, and tomatoes in the markets. *J. Fd Hyg. Safety* 24: 174-181 (2009)
 26. Jo MJ, Jeong AR, Kim HJ, Lee NR, Oh SW, Kim YJ, Chun HS, Koo MS. Microbiological quality of fresh-cut produce and organic vegetables. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 91-97 (2011)
 27. Chung JK, Kim MJ, Kee HY, Choi MH, Seo JJ, Kim SH, Park JT, Kim MG, Kim ES. Prevalence of food poisoning bacteria on hands in various age groups. *J. Fd Hyg. Safety* 23: 40-50 (2008)
 28. Kim KY, Song JE, Heo RW, Lee WG, Nam MJ, Kim JS, Shim WB, Gil JG, Jung CS, Park KY, Chung DH. Investigation and analysis of hazards for cultivation environment to establish the good agricultural practices (GAP) of soybean. *Agri. Life Sci.* 44: 121-132 (2010)