

Good agricultural practices 모델 개발을 위한 양파 및 생산 환경에서의 위해요소 조사

최영동¹ · 이채원² · 김정숙² · 정덕화^{1,2} · 심원보^{3*}

경상대학교 응용생명과학부¹, 경상대학교 농업생명과학연구원², 광주과학기술원 물리화학부³

Investigation of Hazards from Onions and Their Cultivation Areas to Establish a Good Agricultural Practices (GAP) Model

Young-Dong Choi¹, Chae-Won Lee², Jeong-Sook Kim², Duck-Hwa Chung^{1,2}, and Won-Bo Shim^{3*}

¹Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University

²Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

³School of Physics and Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology

Abstract The purpose of this study was to investigate the hazards from onions and their cultivation areas. A total of 32 samples were collected from onion farms and tested for biological (sanitary indicators, and pathogenic bacteria and fungi) and chemical (heavy metals and pesticide residues) hazards. Aerobic bacteria and coliforms were detected at a level of 0.2-7.1 log CFU/g (or mL) in the soil and agricultural water, 1.6-3.6 log CFU/g on surface of the onion, 0.0-6.0 log CFU/hand (or cm²) on the workers' hands, clothes, and gloves, and 4.7 log CFU/cm² on the onion bags. Fungi were detected at a level of 0.0-5.0 log CFU/g (or mL, hand, or 100 cm²) in all the samples. *Staphylococcus aureus* was detected at a level of 1.2 log CFU/hand on the workers' hands, the detection level of *Bacillus cereus* was up to 4.8 log CFU/g in the soil. However, *Escherichia coli* (and in particular strain O157:H7), *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella* spp. were not detected. Although heavy metals were detected in the environment (in soil and agricultural water) and pesticide residues were detected in onion, the levels were lower than the regulation limits.

Keywords: good agricultural practices (GAP), onion, microbial contamination, pesticide residues, hazard

서 론

양파는 마늘, 파와 더불어 우리 식생활에서 식재료 및 향신 조미료로 많이 사용되고 있는 채소중의 하나로서 함유되어 있는 quercitrin, rutin 등의 flavonoid 및 그 배당체와 allyl propyl disulfide, diallyl disulfide 등의 황 화합물 작용으로 인해 혈액지질 저하효과, 항균 및 항산화 작용, 혈당저하 효과 등의 다양한 생리 기능을 지니고 있는 것으로 알려져 있어(1,2) 만성질환을 예방하기 위한 식품 소재로 관심을 받고 있다.

일반적으로 채소가 풍부한 식사는 혈당과 콜레스테롤 수치를 조절하여 당뇨병, 심장병 등의 성인병 발생률을 감소시키고 많은 종류의 암을 예방하는 것으로 인식되면서 신선 채소의 소비가 큰 폭으로 증가하고 있으며, 이와 함께 신선채소에 의한 식중독 발생도 증가하고 있다(3-5). 1998년부터 2008년 사이 미국에서 농산물이 원인이 되어 발생한 식중독은 전체의 46%를 차지하고 그 중 22%는 잎채소로 인한 식중독이었으며, 잎채소로 인한 식중독

은 입원 사례에서 2번째, 사망 사례에서 5번째 순위로 식중독 사고의 큰 원인인 것으로 확인되었다(6). 최근에는 시금치, 샐러, 토마토, 캔탈로프(멜론) 등 신선과일 및 채소 관련 고위험 식중독이 발생함에 따라(7) 농산물의 안전성에 대한 소비자의 염려는 높아지고 있다. 비록 신선 채소의 경우 잎채소에서의 식중독 발생이 대부분이기는 하나 양파의 경우도 가열조리하지 않고 생으로 섭취하는 경우가 많기 때문에 잎채소와 마찬가지로 안전성 관리에 관심을 가져야 할 필요가 있다.

농산물의 안전성에 영향을 미치는 위해요소로는 중금속, 잔류 농약 그리고 유해미생물 등이 있다. 이들은 재배, 수확, 수확 후 처리과정, 유통 등 생산부터 소비까지의 전 과정에서 비의도적으로 오염이 될 수 있으며, 그 원인으로는 농산물의 재배에 이용되는 토양이나 물, 농자재, 작업자의 개인위생, 수확 후 처리환경 등을 들 수 있다(8). 실제 오염된 물과 하수를 농업용수로 사용하여 재배된 당근, 새싹채소, 방울토마토, 호박 등에서 *Listeria monocytogenes*와 *Aeromonas* spp.가 분리되었고, 양배추에서는 *Salmonella* Typhimurium의 오염이 발생하였으며(9), 농산물의 생산과정 중 가축분뇨 및 오염된 토양에 의해서 *L. monocytogenes*와 *Salmonella* spp. 등의 병원성 미생물이 식물체로 이동 가능성이 보고되었다(10-12). 잔류 농약의 경우 국내 유통 농산물에서 대부분 미미한 수준으로 검출되기는 하나 잔류허용기준을 초과하여 검출되는 경우도 있다(13).

이러한 위해요소의 오염을 사전에 방지하여 농산물의 안전성을 확보하기 위해서는 생산부터 포장단계까지 농약, 중금속, 유

*Corresponding author: Won-Bo Shim, School of Physics and Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju 500-712, Korea

Tel : 82-62-715-2033

Fax : 82-62-715-2039

E-mail : wbsim75@gist.ac.kr

Received August 16, 2013; revised October 14, 2013;

accepted October 14, 2013

해미생물 등의 위해요소를 종합적으로 관리하는 GAP 제도의(14) 적용이 필요하며, 이를 위해서는 다양한 작물별 GAP 모델의 개발이 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 양파의 생산과정 중에서 발생할 수 있는 위해요소에 대해 조사하고 그 오염정도를 파악하여 양파 GAP 모델 개발을 위한 위해분석 기초 자료로 활용하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

시료채취

양파의 생산단계별 위해요소 조사를 위해 경남 지역의 양파 주 생산지인 창녕에 소재하는 양파 재배지를 선정하여 2013년 4월부터 7월 사이 재배환경(토양 4점, 농업용수 4점), 작물(양파 4점, 줄기 4점), 개인위생(손 4점, 장갑 4점, 작업복 4점), 포장재(양파 망 4점) 등 4가지 항목에 대해 총 32점의 시료를 채취하였다. 시료채취 횟수는 양파 생산단계를 재배단계와 수확포장단계로 구분하여 각각 1회씩 총 2회로 하였다. 토양의 경우 임의로 정한 지점에서부터 지그재그로 10개 지점의 토양을 취해 혼합하여 각 시료 당 약 1 kg씩 멸균된 시료채취용 팩에 수집하였고, 농업용수는 재배지에서 사용하고 있는 용수를 멸균 채수병에 약 1 L씩 채수하였다. 양파망과 장갑, 작업복은 작업에 사용 중인 것을 대상으로 채취 가능한 면적 또는 면적대(10 cm×10 cm)를 이용하여 Swab kit (3M e·swab, 3M China Ltd., Shanghai, China)로 문질러 채취하였으며, 작업자 손은 멸균팩에 50 mL의 0.85% 멸균 생리식염수를 붓고 손을 씻어서 시료액을 채취하는 glove juice법(15)으로 시료를 채취하였다. 그리고 작물은 다섯 뿌리를 채취하여 양파와 줄기 부분으로 구분하여 사용하였다.

위생지표세균 오염도 확인

일반세균과 위생지표세균(대장균군, 대장균)의 측정을 위해 토양, 양파 및 줄기는 10 g을 취해 각각 0.85% 멸균 생리식염수 90 mL를 첨가하여 균질화 하였고, 농업용수와 Swab kit를 이용하여 채취한 표면검체시료, glove juice법에 의해 채취된 작업자 손 시료는 강한 진탕을 통해 균질화하였다. 균질화된 시료는 0.85% 생리식염수를 이용하여 10진 희석법으로 단계 희석하여 시료를 준비하였고, 분석은 2반복 실험으로 식품공전(16)에 따라 아래와 같이 실시하였다.

일반세균은 각 희석농도별로 준비된 시료 1 mL을 petridish에 분주하고 plate count agar (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 15-20 mL 정도 첨가하여 혼합 후 균한 다음 37°C에서 48시간 배양하여 흰색 집락을 계수하였다.

대장균군은 시료 1 mL을 분주한 petridish에 대장균군 분석용 배지인 deoxycholate lactose agar (Difco)를 첨가하여 혼합 후 배양(37°C, 48시간)한 다음 붉은색 집락을 계수하였다.

대장균은 시료를 EC broth (Difco)에 증균배양(37°C, 24시간)하여 가스를 생성한 양성 의심 시료만 eosin methylene blue agar (Difco)에 재배양하였다. 이후 녹색의 금속성 광택을 띠는 집락에 한해 tryptic soy agar (Difco)에서 배양한 다음 다시 ChromID™ Coli agar (BioMérieux, Marcy-l'Étoile, France)에 배양하여 핑크색 집락생성을 확인하여 오염유무를 확인하였다.

곰팡이 오염도 확인

일반세균과 대장균군 측정의 경우와 동일하게 0.85% 멸균 생리식염수를 이용하여 시료를 단계 희석한 후 각 희석액 0.1 및 1 mL씩을 rose bengal agar (Difco)에 도말하여 28°C에서 72시간 배양한 다음 형성된 곰팡이 집락을 계수하였다.

병원성 미생물의 분리 및 동정

병원성 미생물은 *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* 및 *Bacillus cereus* 등 5종을 대상으로 분리동정하였다(16). 시료는 토양, 양파, 줄기 시료의 경우 10 g씩을 취해 멸균된 0.1% 펩톤수 90 mL을, 농업용수와 표면검체시료, 작업자 손의 glove juice 액은 각각 1 mL씩을 취해 0.1% 펩톤수 9 mL을 혼합하여 균질화한 후 37°C에서 24시간 1차 증균배양 하여 사용하였다.

Escherichia coli O157:H7는 1차 증균배양 시료를 mEC broth (Difco)에서 2차 증균시킨 후 가스를 생성한 양성 의심 시료에 한해서 macConkey sorbitol agar (Difco)에 도말하여 37°C에서 24시간 재배양하였으며, 생성된 집락 중 sorbitol을 분해하지 않는 무색 집락을 대상으로 PCR (GeneAmp 2400, Applied Biosystems, Seoul, Korea)을 실시하여 오염 유무를 최종 확인하였다.

*Listeria monocytogenes*는 1차 증균 시료를 10 mL의 fraser broth에 접종하여 2차 증균시킨 후 진한 갈색을 나타내는 양성 의심 시료에 한해서 oxford agar (Oxoid, Basingstoke, Hampshire, UK)에 도말하여 37°C에서 24시간 배양하였으며, 생성된 집락 중 검은색 환으로 둘러싸인 집락을 대상으로 PCR을 실시하여 오염 유무를 최종 확인하였다.

Salmonella spp.는 1차 증균 시료를 Rappaport-Vassiliadis broth (Difco) 10 mL에 접종하여 2차 증균시킨 다음 배지가 혼탁해진 양성 의심 시료를 xylose lysine desoxycholate agar (Difco)에 도말하여 37°C에서 24시간 배양하였으며, 생성된 집락 중 검은색 집락을 대상으로 PCR을 실시하여 오염 유무를 최종 확인하였다.

*Staphylococcus aureus*는 0.1% 펩톤수로 균질화한 시료를 10진 희석법으로 단계희석한 후 baird-parker agar (Difco)에 도말하여 37°C에서 48시간 배양한 다음 생성된 집락 중 투명한 띠로 둘러싸인 광택이 있는 검정색 집락을 계수하였다. 계수한 각 평판에서 5개의 전형적인 집락을 선별하여 tryptic soy agar (Difco)에 재배양 후 PCR을 실시하여 최종 확인하였다.

Bacillus cereus 또한 *S. aureus*와 마찬가지로 0.1% 펩톤수로 균질화하여 단계희석 한 시료를 mannitol-egg yolk polymyxin agar (Difco)에 도말하여 배양(37°C, 48시간)한 후 생성된 집락 중 혼탁한 환을 갖는 분홍색 집락을 선별하여 계수하였다. 계수한 평판에서 5개의 전형적인 집락을 선별하여 tryptic soy agar (Difco)에 재배양 후 PCR을 실시하여 최종 확인하였다.

이때 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* 및 *Salmonella* spp.의 PCR 반응은 predenaturation 5분(94°C), denaturation 30초(94°C), primer annealing 30초(60°C) 및 extension 30초(72°C)의 조건으로 30 cycle을 수행하고, final extension을 72°C에서 5분간 실시하였다. *B. cereus*와 *S. aureus*의 경우는 predenaturation 5분(94°C), denaturation 1분 또는 30초(94°C), primer annealing 2분 또는 30초(55°C) 및 extension 1.5분 또는 30초(72°C)의 조건으로 30 cycle을 수행하고, final extension을 72°C에서 7분간 실시하였다. PCR 반응을 통해 생성된 증폭물은 1.2% agarose gel 상에서 전기영동하여 확인하였다(17).

중금속 오염도 측정

양파 재배지의 토양과 농업용수에 대한 중금속 오염도를 확인하기 위하여 (주)피켄코리아에 분석을 의뢰하였다. 분석은 토양 환경보전법 시행규칙 별표 3 토양오염우려기준과 환경정책기본법 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙의 농업용수 수질기준에서 제시하고 있는 카드뮴(Cd), 납(Pb), 구리(Cu), 크롬(Cr⁶⁺), 아연(Zn), 니켈(Ni), 수은(Hg) 및 비소(As) 등 8종의 중금속을 대상

Table 1. The operating condition of ICP Spectrometer

Parameter	Analysis conditions	
RF power	1,450 watts	
Plasma gas flow rate	15 mL/min	
Nebulizer gas flow rate	0.65 mL/min	
Auxiliary gas flow rate	0.2 mL/min	
Sample flow rate	1.0 mL/min	
	Wavelength	Element
	Cd	228.802
	Cu	327.393
	As	188.979
	Hg	253.652
	Pb	220.353
	Cr ⁶⁺	267.716
	Zn	206.200
	Ni	231.604

으로 실시하였다. 토양의 경우 균질화 시킨 후 105°C에서 4시간 건조하여 건조물 0.2 g을 vessel에 취하고, 여기에 6 mL의 HCl과 32 mL의 HNO₃를 첨가한 후 microwave digester를 이용하여 ramping (180°C, 5분), holding (180°C, 5분), cooling 과정을 거쳐 시료를 분해하였다. 분해한 시료는 25 mL로 양을 조절하여 시험 용액으로 만든 후 inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES, OPTIMA 7300DV, Perkin-Elmer, Massachusetts, MA, USA)로 측정하였다. 용수는 특별한 전처리과정 없이 시료 그대로를 측정하였으며, 원소별 측정과정과 분석 조건은 Table 1과 같다.

Table 2. HPLC condition for the analysis of pesticide residues detected in onion

Items	Analysis conditions			
HPLC	Waters e2695 system			
Detector	UVD			
Column	Phenomenex Gemini (25 cm, particle size 5 µm, C18)			
Injection volume	10 µL			
Mobile phase	Gradient (A: water, B: acetonitrile)			
	Time (min)	A (%)	B (%)	Flow (mL/min)
	0-5	75	25	1.0
	5-25	32	32	1.0
	25-30	32	32	1.0
	30-35	12	88	1.0
	35-40	10	90	1.0

Table 3. Microbial population of bacteria for soil and agricultural water samples collected from onion farm (Unit: log CFU/g or mL)

Stage	Samples (n=4)	Sanitary indication bacteria			Pathogenic bacteria			Fungi
		APC	Coliform	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>	Others ¹⁾	
Cultivation	Soil	7.1±0.0	1.8±1.9	ND ²⁾	ND	4.4±0.0	- ³⁾	3.6±0.1
	Agricultural water	2.3±0.1	0.2±0.3	ND	ND	0.2±0.2	-	0.8±1.1
Harvest	Soil	6.8±0.3	3.9±0.7	ND	ND	4.8±0.3	-	5.0±0.2
	Agricultural water	3.6±0.4	1.3±0.4	ND	ND	1.8±0.0	-	0.7±0.1

¹⁾Others: *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp.

²⁾ND: Not detected

³⁾-. Negative sample by PCR

잔류농약 분석

작물인 양파의 잔류농약을 확인하기 위해 (주)피켄코리아에 의뢰하여 acetamiprid, azoxystrobin, bifenthrin 등 총 102종의 농약성분에 대한 분석을 실시하였다. 양파 시료는 QuEChERS법(18)에 따라 추출정제하였다. 먼저 각 시료 10 g에 10 mL의 아세트니트릴과 표준물질을 첨가하여 혼합 후 MgSO₄ 4 g과 NaCl 1 g을 처리하여 30분간 진탕하고 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 상등액 1 mL을 취해 PSA 50 mg과 MgSO₄ 150 mg이 처리된 고체상으로 옮겨 정제한 후 이를 high performance liquid chromatography-ultra violet detector (HPLC-UVD, Waters, Milford, CA, USA)에 주입하여 나타난 크로마토그램상의 피크 넓이를 검량선에 대입하여 농약의 잔류농도를 확인하였으며, 분석 조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

토양과 용수의 미생물 오염도

양파 재배지의 토양과 용수의 위생관리 상태를 확인할 수 있는 미생물의 오염도를 작물 재배단계와 수확단계로 구분하여 2회에 걸쳐 확인하였다. 토양에서는 미생물이 일반세균 6.8-7.1 log CFU/g, 대장균군 1.8-3.9 log CFU/g, *B. cereus* 4.4-4.8 log CFU/g 및 곰팡이 3.6-5.0 log CFU/g 수준으로 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 농업용수에서는 일반세균 2.3-3.6 log CFU/mL, 대장균군 0.2-1.3 log CFU/mL, *B. cereus* 0.2-1.8 log CFU/mL 및 곰팡이 0.7-0.8 log CFU/mL 수준으로 분포하고 있는 것으로 확인되었다. *B. cereus*를 제외한 병원성 미생물은 토양과 농업용수에서 모두 불검출 되었다(Table 3).

전국 40개 지역 상추 및 오이 시설재배 토양의 미생물 다양성

Table 4. Microbial population of bacteria for crops samples collected from onion farm

(Unit: log CFU/g)

Stage	Samples (n=4)	Sanitary indication bacteria			Pathogenic bacteria			Fungi
		APC	Coliform	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>	Others ¹⁾	
Cultivation	Onion	3.1±0.7	1.6±1.1	ND ²⁾	ND	0.5±0.7	- ³⁾	ND
	Stem	3.4±0.3	2.4±0.2	ND	ND	ND	-	1.2±0.2
Harvest	Onion	3.6±0.3	2.1±0.2	ND	ND	1.4±0.1	-	2.9±0.2
	Stem	NS ⁴⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹⁾Others: *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp.²⁾ND: Not detected³⁾-: Negative sample by PCR⁴⁾NS: Not sampled**Table 5. Microbial population of bacteria for workers and packing material samples collected from onion farm**(Unit: log CFU/hand or 100 cm²)

Stage	Samples (n=4)	Sanitary indication bacteria			Pathogenic bacteria			Fungi
		APC	Coliform	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>	Others ¹⁾	
Cultivation	Hands	6.0±0.2	ND ²⁾	ND	ND	ND	- ³⁾	1.9±0.3
	Clothes	4.0±0.3	0.6±0.8	ND	ND	0.8±1.2	-	2.0±0.2
	Gloves	4.2±0.1	0.4±0.6	ND	ND	1.6±0.3	-	0.5±0.7
Harvest & Post harvest	Hands	5.3±0.5	1.2±1.7	ND	1.2±1.8	1.7±2.4	-	4.8±0.3
	Clothes	3.9±0.2	2.2±0.0	ND	ND	1.2±0.2	-	4.2±0.2
	Gloves	3.8±0.0	2.5±0.2	ND	ND	1.7±0.4	-	4.6±0.0
	Onion bag	4.7±0.7	2.7±0.0	ND	ND	1.2±1.7	-	4.5±0.2

¹⁾Others: *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp.²⁾ND: Not detected³⁾-: Negative sample by PCR

분석 연구에서 일반세균은 7.8 log CFU/g, 곰팡이는 5.9 log CFU/g 수준으로 검출되었고, 35.7 %에 해당하는 시료에서는 *B. cereus* 가 분리되었으며(19), 딸기 등 작물 재배지에서의 미생물학적 위해 요소를 조사한 연구에서는 토양에서 일반세균이 6.5-6.9 log CFU/g, 대장균군이 2.6-4.5 log CFU/g의 범위로 검출되는 것으로 보고하고 있어(14) 이들과 비교해 볼 때 양파 재배지의 토양은 일반적인 수준의 미생물을 포함하고 있는 것으로 확인되었다. 농업용수 또한 전반적으로 미생물 오염 수준이 낮아 양파의 안전성에는 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 하지만 농경지와 농업용수는 주변 환경에 노출되어 있는 만큼 환경 관리가 되지 않는다면 외부 오염원으로부터 미생물이 오염되어 작물에 영향을 미칠 가능성이 있으므로 재배지 주변의 청결 관리는 필요하다.

양파의 미생물 오염도

양파의 미생물 오염도 또한 토양과 용수와 마찬가지로 재배단계와 수확단계로 구분하여 확인하였다. 식용부인 양파 뿌리 외에도 연결되어 있는 줄기에 미생물이 오염되어 있으면 뿌리로의 이동 가능성이 있기 때문에 재배단계에서는 양파 줄기 부분에 대한 미생물 분석도 함께 하였다. 분석결과 양파에서는 일반세균이 3.1-3.6 log CFU/g, 대장균군이 1.6-2.1 log CFU/g, *B. cereus*가 0.5-1.4 log CFU/g, 곰팡이가 0.0-2.9 log CFU/g으로 대체로 낮은 수준의 미생물 오염도를 확인하였다. 줄기에서도 뿌리와 비슷한 수준인 일반세균 3.4 log CFU/g, 대장균군 2.4 log CFU/g, 곰팡이 1.2 log CFU/g으로 오염되어 있는 것을 확인하였다(Table 4). 신선편이 양파 가공작업장 내의 미생물 오염실태 연구결과 양파에 일반세균은 3-4 log CFU/g, 대장균군은 1-4 log CFU/g 수준으로 검출되었고 다른 병원성 미생물은 불검출 되었으며(20), 학교 급식에 공급되는 채소류의 미생물 평가에서는 총세균수가 3-

9 log CFU/g 수준으로 오염되어 있는 것으로 확인되었다(21). 본 연구에서도 이들과 유사하거나 낮은 수준으로 검출되어 수확한 양파의 미생물 오염도는 양호한 것으로 확인되었고, 토양에 직접 접촉하여 재배되는 작물이지만 토양이나 농업용수에서의 미생물 검출 수준과 비교해 보면 토양과 용수로부터의 미생물 교차오염은 크게 일어나지 않음을 짐작할 수 있다.

작업자 개인위생 및 포장재의 미생물 오염도

양파는 작물의 특성상 수확하면 재배지 현장에서 바로 양파망에 담아 출하되는 것이 일반적이므로 수확과 수확 후 작업이 동시에 이루어진다. 따라서 수확 후 단계에서의 개인위생과 포장재의 미생물 오염도는 수확단계에 포함하여 재배단계와 수확(후)단계로 구분하여 미생물 오염도를 확인하였다.

양파 재배지에서 작업을 하는 사람들의 손에는 일반세균 5.3-6.0 log CFU/hand, 대장균군 0.0-1.2 log CFU/hand, *S. aureus*와 *B. cereus* 0.0-1.7 log CFU/hand, 곰팡이가 1.9-4.8 log CFU/hand 수준으로 오염되어 있었고, 옷에는 일반세균 3.9-4.0 log CFU/100 cm², 대장균군 0.6-2.2 log CFU/100 cm², *B. cereus* 0.8-1.2 log CFU/100 cm², 곰팡이가 2.0-4.2 log CFU/100 cm² 수준으로 오염되어 있었다. 또한 작업에 사용하는 장갑에서는 일반세균 3.8-4.2 log CFU/100 cm², 대장균군 0.4-2.5 log CFU/100 cm², *B. cereus* 1.6-1.7 log CFU/100 cm², 곰팡이 0.5-4.6 log CFU/100 cm²의 오염도를 나타내었다. 양파 수확 후 포장에 사용되는 양파망의 경우 일반세균 4.7 log CFU/100 cm², 대장균군 2.7 log CFU/100 cm², *B. cereus* 1.2 log CFU/100 cm², 곰팡이 4.5 log CFU/100 cm²의 오염도를 나타내었다(Table 5).

수확 시 토양과의 접촉이 거의 없는 깃털 재배지의 작업자 개인위생 확인 결과를 보면 손에서 일반세균이 5.7 log CFU/hand,

Table 6. Concentration of heavy metals in soil and agricultural water collected from onion farm
(Unit: mg/kg or L)

Element	Soil (n=4)		Agricultural water (n=4)	
	Detected level	MRL ¹⁾	Detected level	MRL
Cd	ND ²⁾	4	ND	0.005
Cu	20.78	150	ND	- ³⁾
As	ND	25	ND	0.05
Hg	0.015	4	ND	0
Pb	14.28	200	ND	0.05
Cr ⁶⁺	ND	5	ND	0.05
Zn	62.24	300	ND	-
Ni	14.46	100	ND	-

¹⁾MRL: Maximum Residue Limit

²⁾ND: Not detected

³⁾-: None of acceptable standards

손과 옷에서 대장균군이 2.49 log CFU/ hand or 100 cm² 이상 검출되었고, *S. aureus*가 옷에서 최고 3.93 log CFU/100 cm²까지 검출되었다(22). 이와 비교할 때 토양과 직접 접촉이 있는 양파 재배지의 작업자에서 확인된 미생물 오염도는 양호한 수준이었다. 양파밭의 경우도 위생 상태는 양호하였으나 수확용기와 작업 도구가 미생물의 농산물 교차오염 원인이 될 가능성이 있다고 알려져 있으므로(23), 최종 수확물이 포장되어 소비자에게 전달되는데 이용되는 만큼 청결한 곳에 보관하여 깨끗한 상태가 유지될 수 있도록 관리하는 것이 필요하다.

중금속 오염도

토양과 농업용수의 경우 다량의 중금속에 오염되어 있을 경우 농작물의 생육을 저해하거나 농작물에 축적되어 이를 섭취한 사람에게 영향을 미칠 수 있어 중금속에 대한 관리가 필요하다. 또한 현재 GAP인증을 위해서는 토양은 토양환경보전법 시행규칙 별표3 토양오염우려기준 “1” 지역의 중금속 기준을 초과하지 않아야 하며, 농업용수의 경우 환경정책기본법 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙의 “농업용수 수질기준”에 적합하여야 한다(24). 따라서 양파 재배지의 토양과 농업용수에 대해 중금속 분석을 실시한 결과 농업용수에서는 모든 중금속이 불검출되었고, 토양에서는 Zn>Cu>Ni>Pb>Hg 순으로 검출되었다. 그 농도는 Zn이 최대 62.24 mg/kg(기준치: 300 mg/kg)으로 검출되었고 나머지 중금속도 토양오염우려기준 이하의 수준으로 검출되었다(Table 6). 이는 인삼, 콩, 딸기 재배지의 토양 등 일반적으로 농경지에서의 검출되는 중금속 오염 농도 수준으로(25-27), 양파 재배지의 토양과 농업용수는 중금속에 대해 안전한 수준을 유지하고 있는 것으로 확인되었다.

농약 잔류량

양파 재배 시 사용된 농약의 잔류여부를 확인하기 위해 수확한 양파를 대상으로 잔류농약 검사항목 102 성분에 대한 분석을 실시한 결과 metalaxy 성분만 0.006 mg/kg(기준치: 0.2 mg/kg) 검출되었다(Data not shown). 양파의 잔류농약 모니터링 결과를 살펴보면 Do 등(28)은 불검출로 보고하고 있고, Noh 등(29)은 양파에 대한 기준이 설정되어 있지 않은 penconazole이 검출된 것으로 보고하고 있다. 또한 Kim 등(30)의 연구에서는 procymidone이, Ahn 등(13)의 연구에서는 terbufos와 etoxazole이 잔류허용기준 이하로 검출된 것으로 보고하고 있으나 본 연구에서는 모두

불검출 되었다. 이러한 결과들로 볼 때 양파재배 시 사용되는 농약은 농약안전사용관리기준에 따라 안전하게 사용되고 있어 양파의 잔류농약에 의한 위해수준은 매우 낮은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ009216)의 지원에 의해 이루어졌음.

References

- Jang JR, Lim SY. Effects of onion flesh and peel on chemical components, antioxidant and anticancer activities. *J. Life Sci.* 19: 1598-1604 (2009)
- Jung KA, Park CS. Antioxidative and antimicrobial activities of juice from garlic, ginger, and onion. *Korean J. Food Preserv.* 20: 134-139 (2013)
- Kim DJ. Cancer chemoprevention by the components of fruits and vegetables. *J. Korean Assoc. Cancer Prev.* 8: 245-250 (2003)
- Cho HS, Kim MH, Choi MK. A study on vegetable intakes and dietary habits of middle school students in chungnam. *Korean J. Community Nutr.* 15: 525-535 (2010)
- Gould LH, Walsh KA, Vieira AR, Herman K, Williams IT, Hall AJ, DVM DC. Surveillance for foodborne disease outbreaks-United States, 1998-2008. *MMWR Surveillance Summaries* 62: 1-34 (2013)
- Painter JA, Hoekstra RM, Ayers T, Tauxe RV, Braden CR, Angulo FJ, Griffin PM. Attribution of foodborne illnesses, hospitalizations, and deaths to food commodities by using outbreak data, United States, 1998 - 2008. *Emerg. Infect. Dis.* 19: 407-415 (2013)
- DeWaal CS, Glassman M. A review of foodborne illness in America: outbreak alert! 2001-2010. Center for Science in the Public Interest. Washington, USA (2013)
- Beuchat LR, Farbar JM, Garrett EH, Harris LJ, Parish ME, Susslow TV, Busta FF. Standardization of a method to determine the efficacy of sanitizers in inactivating human pathogenic microorganisms on row fruits and vegetables. *J. Food Prot.* 64: 1079-1084 (2001)
- 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)
- Weis J, Seeliger HPR. Incidence of *Listeria monocytogenes* in nature. *Appl. Microbiol.* 30: 29-32 (1975)
- Barak JD, Liang AS. Role of soil, crop debris, and a plant pathogen in salmonella enterica contamination of tomato plants. *PLoS One* 3: e1657 (2008)
- Park KH, Kim BS, Lee JJ, Yun HJ, Kim SR, Kim WI, Yun JC, Ryu KY. Biological hazard analysis of *Angelica gigas* Nakai on production and marketing steps. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45: 1216-1221 (2012)
- Ahn JW, Jeon YH, Hwang JI, Kim HY, Kim JH, Chung DH, Kim JE. Monitoring of pesticide residues and risk assessment for fruit vegetables and root vegetables of environment-friendly certified and general agricultural products. *Korean J. Environ. Agric.* 31: 164-169 (2012)
- Shim WB, Kim KY, Yoon YH, Kim JE, Shim SI, Kim YS, Chung DH. Microbiological hazard analysis for strawberry farms at the harvest stage to establish good agricultural practices (GAP) model based on principle of HACCP. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 104-110 (2013)
- Anonymous. Guidelines for effectiveness testing of surgical hand scrub (glove juice test). *Fed. Regist.* 43: 1242-1243 (1978)
- MFDS. Korean Foods Code. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongwon, Korea (2013)
- Kwon WH, Lee WG, Song JE, Kim KY, Shim WB, Yoon YH, Kim YS, Chung DH. Microbiological hazard analysis on perilla leaf farms at the harvesting stage for the application of the good agricultural practices(GAP). *J. Fd. Hyg. Safety* 27: 295-300

- (2012)
18. Lehotay SJ. Determination of pesticide residues in foods by acetonitrile extraction and partitioning with magnesium sulfate: collaborative study. *J. AOAC Int.* 90: 485-520 (2007)
 19. Kim BY, Weon HY, Park IC, Lee SY, Kim WG, Song Jk. Microbial diversity and community analysis in lettuce or cucumber. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44: 1169-1175 (2011)
 20. Kim YH, Jun SY, Ryu K, Lee YK. Microbiological quality and safety during delivery of food ingredients supplied to elementary schools: vegetables and processed food. *Korean J. Food Preserv.* 17: 586-594 (2010)
 21. Lee HO, Kim JY, Yoon DH, Cha HS, Kim GH, Kim BS. Microbial contamination in a fresh-cut onion processing facility. *Korean J. Food Preserv.* 16: 567-572 (2009)
 22. 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)
 23. FDA. Guidance for industry: Guide to minimize microbial food safety hazard for fresh fruits and vegetables. Food and Drug Administration, Washington, DC, USA (1998)
 24. RDA. Textbook for training GAP inspector. Rural Development Administration, Suwon, Korea. pp. 59-64 (2012)
 25. Yu YM, Oh SC, Sung BJ, Kim HH, Lee YH, Youn YN. Analysis of good agricultural practices (GAP) in panax ginseng C.A. mayer. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 15: 220-226 (2007)
 26. 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. *J. Agri. Life Sci.* 44: 121-132 (2010)
 27. Lee CY, Lee WG, Song JE, Kim KY, Shim WB, Yoon YH, Kim YS, Chung DH. Hazard analysis for the cultivation stage of strawberry farms for securing preliminary data to establish the good agricultural practices. *J. Agri. Life Sci.* 46: 97-108 (2012)
 28. Do JA, Lee HJ, Shin YW, Choe WJ, Chae KR, Soon KC, Kim WS. Monitoring of pesticide residues in domestic agricultural products. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 902-908 (2010)
 29. Noh HH, Kang KW, Park YS, Park HK, Lee KH, Lee JY, Yeop KW, Lee EY, Jin YD, Kyung KS. Monitoring and risk assessment of pesticide residues in agricultural products collected from wholesale and traditional markets in cheongju. *Korean J. Pestic. Sci.* 14: 1-9 (2010)
 30. Kim MR, Na MA, Jung WY, Kim CS, Sun NK, Seo EC, Lee EM, Park YG, Byun JA, Eom JH, Jung RS, Lee JH. Monitoring of Pesticide Residues in Special Products. *Korean J. Pestic. Sci.* 12: 323-334 (2008)