

국내 유기상추의 생산환경 조사분석

남궁민 · 김범석 · 허성진¹ · 최용범¹ · 허장현² · 박덕환*강원대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, ¹강원대학교 친환경농산물안전성센터
²강원대학교 농업생명과학대학 바이오자원환경학과

Assessment of Pre-Harvest Environmental Factors in Domestic Production of Organic Lettuce

Min Namgung, Beom Seok Kim, Seong Jin Heo¹, Yong Beom Choi¹, Jang Hyun Hur² and Duck Hwan Park*

Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

¹Environment Friendly Agricultural Products Safety Center, Chuncheon 200-701, Korea²Department of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received on April 28, 2014. Revised on May 12, 2014. Accepted on June 9, 2014)

Abstract Among pre-harvest environmental factors, increasing attention has been paid to the effects of chemical and microbiological factors on fresh produce. The occurrence and prevalence of these factors have been usually studied with regard to the final products at the post-harvesting stage and/or when they are sold in the market. However, the origin and routes of transmission of both factors remain to be clarified. In the present study, we examined the contamination levels of food-borne pathogens and chemical factors such as pesticide residues and heavy metals in 83 and 43 samples, respectively, including various soil, water, and fertilizer samples, as well as post-harvested and processed samples. Among the organic farming samples, only one pesticide, dimethomorph, was detected in the soil sample, however no pesticides were observed from any other samples in organic farming system. Thus, it was thought that might be contaminated from conventional farm land in the vicinity. Whereas many pesticide residues were detected in conventional farming systems such as soil, fertilizer, water, and fresh produce as expected. Furthermore, heavy metals detected from all tested samples did not shown contamination levels higher than the standard limit. We comparatively assessed the levels of contamination by food-borne pathogens on the samples from organic and conventional farming systems, and found aerobic bacteria at approximately 7 log CFU/g, with no significant differences observed between the two systems. Coliforms were present at lower levels than aerobic bacteria. No human pathogens were present among the coliforms detected, indicating that these bacteria are saprophytes without the ability to cause food-borne illnesses. In contrast, among the high-risk food-borne pathogens, only sporadic cells of *Bacillus cereus* were found on samples of organic farming system. These data extend previous findings that the most prevalent food-borne pathogen is *B. cereus* and demonstrate that it spreads to whole living plants via soil.

Key words lettuce, organic products, pre-harvest, safety

*Corresponding author

Tel: +82-33-250-6432, Fax: +82-33-241-1721

E-mail: dhp@kangwon.ac.kr

서론

최근 소비자가 가장 선호하는 농산물은 안전농산물로, 유기농산물 생산량이 2001년 0.4%에서 2009년 12.2%로 증가한 것처럼 과거 다수확 및 고품질의 시대에서 패러다임의 변화가 급격하게 이루어지고 있다. 특히 신선편이 농산물이나 플래시컷처럼 손쉽게 먹을 수 있으며, 최소한의 과정만으로 처리된 신선농산물에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 이러한 신선농산물의 안전성을 위협하는 요소가 소비자의 관심과 검출기술의 발달로 인하여 점차 대두되고 있는 실정으로, 여기에는 잔류농약 및 중금속과 같은 화학적 요인과 식품 위해미생물과 같은 생물적 요인으로 대표될 수 있다.

화학적 요인의 경우, 국립농산물품질관리원에서는 1999년부터 농산물의 생산단계 및 유통판매단계에서의 잔류농약 검출을 실시하여, 각각 생산단계 농약잔류허용기준(Pre-Harvest Residue Limit) 및 유통판매단계 농약잔류허용기준(Maximum Residue Limit)을 적용하여 이를 초과한 농산물에 대해서는 폐기 또는 용도전환 등의 조치를 취함으로써 관리체계를 구축하고 있다(Lee et al., 2003; Lee et al., 2008; Lim et al., 2011; Cho et al., 2013). 또한 중금속의 경우도 농촌진흥청 및 식품의약품안전처 등의 관리 하에 토양, 관개수, 유기질비료 및 부산물비료 그리고 농작물에 대한 중금속의 위해성기준을 마련하여 오염여부에 대한 관리가 진행되고 있다. 그러나 이들 관리체계에도 불구하고 토양 및 관개수와 같은 재배환경 요인과 오염경로 파악에 대한 연구는 미비한 실정이다.

식품 위해미생물과 같은 생물적 요인은 1996년 일본에서 장출혈성대장균(*Escherichia coli* O157:H7)이 오염된 무순의 집단급식 시 식중독 오염원으로 규명된 이래(Watanabe et al., 1999), 2011년 채소 장출혈성 대장균 출현(독일), 2011년과 2012년 머스크멜론 리스테리아 및 살모넬라 발생(미국), 2012년 절임배추 장출혈성대장균 발생(일본) 그리고 국내의 2012년 인천 걸절이 김치에서의 장독소형대장균의 오염사례는 언론에 보도된 주요 식품 위해미생물 발생사례로, 그 발생은 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 식품 위해미생물들의 가능한 오염경로는 첫 번째로 가축들이 생물적 위해미생물 감염 먹이를 섭취 후, 보균하고 배설물 등으로 위해미생물을 전파시키며, 둘째로는 강우와 하천 등의 표면수에 의한 전파와, 셋째는 유기농산물을 재배하는 토양자체로, 즉 토양 내에서 생물적 위해미생물들은 수년 동안 생존이 가능하며 새로운 기주에 감염이 가능하기 때문이다. 마지막으로 식물자체로, 생물적 위해미생물들은 식물을 2차적인 생장 및 전반 기주로 삼아 1차 기주로의 감염을 용이하게 한다(Barak and Schroeder, 2012). 따라서 식품 위해미생물의 오염원 및 감염경로를 파악하는 것이 식품안전사고를 줄

일 수 있는 가장 적절한 대안으로 사료된다. 그러나 국내의 경우 유기농산물 생산시스템에서의 식품 위해미생물에 대한 안전성 방안 또는 감염경로에 대한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구는 유기농산물 중, 우리나라 국민이 선호하는 쌈채류 채소이며 최근 20년간 식중독 발생이 가장 빈번하였던 상추를 대상으로, 재배환경 시료(토양, 관개수), 투입 자체 시료(퇴비 또는 유박), 및 수확 후 관리시료(수확 직 후 상추, 저온저장 상추, 상온저장 상추, 유통단계 상추)에 대한 잔류농약 및 중금속 등의 화학적 요인과 식품 위해미생물 등의 생물적 요인을 규명하여 생산환경 내에서의 위해요인을 규명하고 궁극적인 대책마련을 위한 기초연구 목적으로 수행하였다.

재료 및 방법

시료채취

유기 상추 재배지 3곳(A, B 및 C 지역)로부터 각각 2회에 걸쳐 총 7종류의 시료(재배환경 시료: 토양, 관개수; 투입 자체 시료: 퇴비 또는 유박; 수확 후 관리시료: 수확 직 후 상추, 저온저장 상추, 상온저장 상추, 유통단계 상추)를 채취하였다. 또한 관행재배지 상추와 그 특성을 비교하기 위하여 유기재배지와 가장 근접한 관행재배지로부터 2회에 걸쳐 동일한 시료를 채취하였다. 채취방법은 평균 지퍼백에 채취 후 실험실로 운반하여 당일 7종류 83개체 시료에 대한 생물적 위해요인을 분석하였으며, 4종류(토양, 관개수, 퇴비 또는 유박, 그리고 수확 직 후 상추) 43개체 시료에 대한 화학적 위해요인 분석은 시료 전처리 과정 후 수행하였다.

화학적 위해요인 분석

화학적 위해요인 분석은 잔류농약과 중금속을 대상으로 하였으며, 먼저 잔류농약 분석을 위해서, 시료 50 g (1 kg을 대형분쇄기에 넣고 분쇄)을 polyethylene bottle에 칭량하여 Acetonitrile 100 mL를 가하고 균질기(homogenizer)에서 5,000 rpm으로 3분간 마쇄하여 추출하였다. 이 후 Sodium chloride (20~30 g)을 첨가하여 shaker에서 30분간 진탕 후 3,000 rpm으로 원심분리하여 상등액 10 mL를 2개의 시험관 또는 부피플라스크에 취하여 농축하였다. GC 분석용 정제를 위해서 농축한 시험관 또는 부피플라스크에 acetone : n-hexane (2 : 8) 혼합액을 가하여 잔류물을 용해하여 SPE cartridge (Florisil, 1 g)에 n-hexane 5 mL, acetone : n-hexane (2 : 8) 5 mL를 순차적으로 유출하였다. 여기에 acetone:n-hexane (2 : 8) 6 mL로 용출한 후, 용출액을 농축하고 acetone 1 mL에 재용해하여 분석용기에 담고 기기 분석을(GC-ECD, GC-NPD)실시하였다. 또한 HPLC 분석용 정제는 농축한 시험관 또는 부피플라스크에 methylene chloride를 첨가하여 잔류물을 용해하고 SPE cartridge (amino-propyl, 1 g)에

Table 1. List of the 246 pesticides tested in this study

Category	Pesticides
GC-ECD1	Anilofos, Bromopropylate, Carbophenothion, Chlorfenvinphos, Chlorfluazuron, Chlorobenzilate, Cyflufenamid, Cyhalothrin (λ), Deltamethrin, Dicloran, Dicofol, Dimethenamid, Disulfoton, Etrimfos, Fenpropathrin, Fenvalerate, Flutolanil, Folpet, Halfenprox, Heptachlor, Lufenuron, Oxadiazon, Oxyfluorfen, Paclbutrazole, Parathion-methyl, Permethrin, Propiconazole, Triflumuron, Trifluralin
GC-ECD2	Aldrin, Azoxystrobin, Bifenthrin, Captan, Chlorfenapyr, Clofentezine, Dieldrin, Difenconazole, Endosulfan (α, β -sulfate), Flucythrinate, Imazalil, Indanofan, Metobromuron, Metribuzin, Mevinphos, Penconazole, Probenazole, Prochloraz, Procymidone, Prometryn, Simazine, Simeconazole, Tefluthrin, Tetraconazole, Tetradifon, Thifluzamide, Zoxamide
GC-ECD3	Acrinathrin, BHC (α, β, γ , and δ), Bromobutide, Butachlor, Cyfluthrin, Dichlofluanid, Dithiopyr, Ethion, Fenamidone, Fenoxanil, Fipronil, Fthalide, Indoxacarb, Iprodione, Isoprothiolane, Kresoxim-methyl, Mefenacet, Metolachlor, Nuarimol, Piperophos, Pyridalyl, Qintozene (Pentachloroaniline), Tolyfluanid, Triadimenol
GC-ECD4	Alachlor, Bifenox, Chinomethionat, Chlordane (cis, trans), Chlorothalonil, Cypermethrin, DDT, Diclofop-methyl, Endrin, Ethalfluralin, Etridiazole, Fenarimol, Flufenoxuron, Mecarbam, Methoxychlor, Methyl-pentachlorophenyl sulfide, Ofurace, Pirimiphos-ethyl, Propanil, Pyridaben, Pyridaphenthion, Pyrimidifen, Thiobencarb, Tralometrin, Triadimefon, Vinclozolin
GC-NPD1	Cyproconazole, Dichlorvos (DDVP), Edifenphos, Etoxazole, Furathiocarb, Hexaconazole, Iprobenfos, Malathion, Metalaxyl, Methabenzthiazuron, Myclobutanil, Parathion, Pendimethalin, Pyraclofos, Simetryn, Terbutylazine, , Terbutryn, , Triflumizole
GC-NPD2	Azinphos-methyl, Bitertanol, Buprofezin, Cadusafos, Chlorpropham, Diniconazole, Diphenamid, Fenamiphos, Fenitrothion (MEP), Iprovalicarb, Isofenphos, Methidathion, Molinate, Phosphamidon, Prothiofos, Tebufenpyrad, Terbufos, Thiazopyr
GC-NPD3	Chlorpyrifos-methyl, Diazinon, Dimepiperate, Diphenylamine, Fenbuconazole, Fenothiocarb, Fenthion (MPP), Flusilazole, Fosthiazate, Metconazole, Phorate, Phosalone, Pirimiphos-methyl, Profenofos, Pyriminobac-methyl (E and Z), Tebuconazole
GC-NPD4	Chlorpyrifos, Cyprodinil, Dimethoate, EPN, Esprocarb, Ethoprophos, Fenazaquin, Fludioxonil, Mepronil, Napropamide, Phenthoate, Pyrazophos, Tebupirimfos, Tolclofos-methyl, Triazophos
LC-UV1	Chromafenozide, Clothianidin, Cyhalofop-butyl, Dimethomorph, Dimethylvinphos (Z), Ferimzone, Flumioxazin, Hexaflumuron, Mepanipyrim, Metamifop, Novaluron, Pirimicarb, Pyributicarb, Pyriproxyfen, Quinoclamine, Tebufenozide, Thiabendazole, Thiacloprid, Trifloxystrobin
LC-UV2	Acetamiprid, Boscalid, Cyazofamid, Cymoxanil, Diethofencarb, Diflubenzuron, Diuron, Fenpyroximate, Fluacrypyrim, Forchlorfenuron, Imibenconazole, Imidacloprid, Pentoxazone, Pyraclostrobin, Pyribenzoxim, Pyrimethanil, Pyroquilon, Spirodiclofen, Teflubenzuron, Uniconazole
LC-UV3	Amisulbrom, Bendiocarb, Benthiaivalicarb-isopropyl, Benzoximate, Carbendazim, Chloraniliprole, Ethaboxam, Etofenprox, Flubendiamide, Flupicolide, Hexythiazox, Mandipropamid, Methoxyfenozide, Oxaziclomefon, Pencycuron, Silafluofen, Spiromesifen, Thiophanate-methyl, Tiadinil, Tricyclazole
LC-FLD1	Carbaryl, Carbofuran, Fluquinconazole, Isoprocarb, Methiocarb, Methomyl, Thiodicarb
LC-FLD2	Aldicarb, Ethiofencarb, Fenobucarb, Metolcarb, Oxamyl, Propoxur, Thiamethoxam

methylene chloride 6 mL를 넣어 유출시켜 methanol : methylene chloride (5 : 95) 6 mL로 용출한 용출액을 농축하고 acetonitrile 1 mL에 재용해하여 기기 분석을(LC-UVD, LC-FLD) 실시하였다. 기기분석은 Kim 등(2013)의 방법에 준하여 수행하였으며, 분석한 총 245종과 추가성분(uniconazole)을 포함한 농약성분명은 Table 1과 같다.

한편, 중금속 분석은 전처리 과정은 ICP-Inductively Coupled Plasma 방법에 따라 처리하였으며, 분석과정은 각각 재배환경 시료인 토양과 관개수에 대해서는 각각 환경부 토양오염공정시험방법과 환경부 수질오염공정시험방법에

준해 실시하였으며, 투입자재 시료(퇴비 또는 유박)는 농촌진흥청 비료품질검사방법 및 시료 채취 기준에 따라 수행되었고, 마지막으로 수확 후 관리시료(수확 직 후 상추)는 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법에 따라 분석하였다. 분석 장비는 OES iCAP-7000 series, Thermo 및 Direct Mercury Analyzer DMA-80, Mileston으로 분석하였다.

생물적 위해요인 분석

조사대상 미생물의 종류에 따라 각각의 선택배지에 도말하여 37°C 24시간 도말배양한 후 형성되는 균총의 CFU

(Colony Forming Unit)를 조사하였다. 이 때 수확 후 관리 시료는 10 g/10 mL로 washing하여 membrane filter (0.2 µm pore size)로 농축하여 도말하였다. 조사배지는 총균수 (호기성균)는 PCA-Plate Count Agar배지, 대장균군은 3M™ Petrifilm™ *E.coli*/Coliform Count Plate에서 확인하였다. 5종의 위해미생물 검출용 선택배지는 *Bacillus cereus* (MYP-Mannitol Egg Yolk Polymyxin), *Escherichia coli* O157:H7 (EMB-Eosin Methylene Blue), *Listeria monocytogenes* (Oxford Medium Base), *Staphylococcus aureus* (BPA-Baird Parker Agar), *Salmonella typhimurium* (XLD-Xylose Lysine Deoxycholate)를 활용하였다.

결과 및 고찰

잔류농약 분석

3지역의 유기재배지와 관행재배지의 재배시료, 투입자재 시료 및 농산물 자체에 대한 잔류농약 검출을 실시한 결과, 유기재배지는 한곳의 토양시료로부터 dimethomorph만이 검출되었다(Table 2). 이는 농림축산식품부 및 국립농산물품질관리원 고시 법률(친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률; 친환경농축산물 및 유기식품 등의

인증에 관한 세부실시요령)에 근거하여 볼 때, 모든 유기농 산물에 대한 불검출의 원칙에서 벗어난 경우였다. 그러나 이러한 원인을 규명하기 위해 역학조사를 실시한 결과, 주변 관행농가에서 처리한 dimethomorph가 비산하여 토양과 상추에 흡착된 경우로 판단되며 특히 유기농 퇴비와 관개수로부터는 검출되지 않았기에 이를 확신할 수 있었다. 한편 관행재배지는 토양으로부터 alachlor 외 16종, 투입자재인 퇴비 또는 유박으로부터는 bifenthrin 외 4종, 관개수에서는 dimethomorph, 그리고 수확 직 후 상추로부터는 dimethomorph와 imidacloprid가 검출되었다(Table 2). 즉 관행재배 시료로부터 검출된 농약수를 고려해 보면, 토양 내에서 가장 많은 농약성분들이 쉽게 흡착·유지되며 이를 통해 최종 산물인 상추까지 잔류농약의 오염이 이루어지는 주요 오염원 및 경로라고 사료된다. 그러나 토양, 관개수 및 퇴비 또는 유박으로부터의 잔류농약 허용기준이 설정되지 않아 그 위해성을 판단할 수는 없었다. 반면, 상추로부터 검출된 총 2종의 농약성분들 중에서, 식품의약품안전처 잔류허용기준 (<http://fse.foodnara.go.kr/residue/mrl/mrl.jsp>)에 근거한 결과 모두 잔류허용기준을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 2. Pesticide residues detected on environmental materials and harvested lettuce from organic and conventional farming systems

Sample	Detected pesticide	Result (mg/kg)		MRL (mg/kg)
		Organic	Conventional	
Soil	Alachlor	-	0.034	NA ^a
	Azoxystrobin	-	0.028	NA
	Bifenthrin	-	0.122	NA
	Boscalid	-	0.126	NA
	Clothianidin	-	0.018	NA
	Cypermethrin	-	9.475	NA
	Dimethomorph	0.031	0.104	NA
	Diniconazole	-	0.025	NA
	Flufenoxuron	-	0.017	NA
	Flutolanil	-	0.184	NA
	Imidacloprid	-	0.043	NA
	Metalaxyl	-	0.033	NA
	Pendimethalin	-	0.064	NA
	Pyraclostrobin	-	0.546	NA
	Tebuconazole	-	0.01	NA
	Thiamethoxam	-	0.033	NA
Trifloxystrobin	-	0.011	NA	
Fertilizer	Bifenthrin	-	0.053	NA
	Dimethomorph	-	0.013	NA
	Ethiofencarb	-	0.042	NA
	Pentoxazone	-	0.058	NA
	Pyridaben	-	0.016	NA
Water	Dimethomorph	-	0.003	NA
Lettuce	Dimethomorph	-	0.021	20.0
	Imidacloprid	-	0.012	7.0

^a Not available MRL for soil, fertilizer, and water.

Table 3. Concentrations of heavy metals detected on environmental materials and harvested lettuce from organic and conventional farming systems

Sample	Heavy metal	Result (mg/kg)						Standard ^c (mg/kg)
		Organic			Conventional			
		A	B	C	A	B	C	
Soil	Cd	0.38 ± 0.07 ^a	0.29 ± 0.05	0.26 ± 0.07	0.71 ± 0.03	0.71 ± 0.03	0.32 ± 0.04	4.0
	Cr6+	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	5.0
	Cu	21.04 ± 0.75	7.79 ± 0.11	9.90 ± 0.43	31.90 ± 0.52	31.90 ± 0.52	35.98 ± 0.92	150.0
	Ni	8.32 ± 0.02	5.08 ± 0.35	4.85 ± 1.37	15.41 ± 0.23	15.41 ± 0.23	20.74 ± 1.22	100.0
	Pb	11.50 ± 0.42	4.78 ± 1.25	4.85 ± 0.08	9.61 ± 0.45	9.61 ± 0.45	9.85 ± 2.09	200.0
	Zn	117.33 ± 2.40	49.24 ± 1.49	75.15 ± 3.30	105.04 ± 3.25	105.04 ± 3.25	124.37 ± 5.49	300.0
	As	7.98 ± 0.33	13.06 ± 0.71	9.03 ± 0.27	6.90 ± 0.50	6.90 ± 0.50	5.67 ± 0.30	25.0
	Hg	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.01	4.0
Fertilizer	Cd	0.04 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.28 ± 0.06	0.28 ± 0.04	0.11 ± 0.00	5.0
	Cr	4.40 ± 0.17	8.70 ± 0.84	9.42 ± 3.42	5.98 ± 0.99	5.87 ± 1.61	8.55 ± 3.24	200.0
	Cu	13.91 ± 0.29	53.48 ± 3.12	23.33 ± 7.25	22.60 ± 4.11	19.85 ± 0.10	18.70 ± 5.71	360.0
	Ni	3.24 ± 0.13	8.21 ± 0.58	5.53 ± 0.41	6.06 ± 0.43	6.07 ± 0.64	5.39 ± 0.69	45.0
	Pb	0.51 ± 0.23	1.55 ± 0.13	11.42 ± 8.94	0.95 ± 0.10	1.02 ± 0.46	4.55 ± 4.42	130.0
	Zn	42.76 ± 0.74	402.31 ± 20.18	89.20 ± 9.50	91.87 ± 1.65	103.66 ± 20.67	74.70 ± 30.91	900.0
	As	1.99 ± 0.13	6.96 ± 0.58	4.28 ± 0.41	4.81 ± 0.43	4.82 ± 0.64	4.14 ± 0.69	45.0
	Hg	0.03 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.00	2.0
Water	Cd	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.005
	Cr6+	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.05
	Pb	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.05
	As	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.01 ± 0.00	0.12 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.05
	Hg	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.001
Lettuce	Cd	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.03	0.07 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.2
	Pb	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0.03	0.05 ± 0.01	0.03 ± 0.04	0.06 ± 0.03	0.09 ± 0.07	0.3

^a Data represent the means and standard deviation of duplicates. The experiment was repeated two times with similar results.

^b Not detectable.

^c Standard derived from www.law.go.kr.

중금속 분석

중금속 분석의 경우, 재배환경 시료인 토양내의 8종(Cd, Cr6+, Cu, Ni, Pb, Zn, As, Hg) 중금속 함량은 유기재배지와 관행재배지 그리고 재배지역간과 무관하게 모두 토양환경보전법 시행규칙에서 정한 허용기준 이하로 검출되었다(Table 3). 또한 투입자재 시료인 퇴비 또는 유박의 중금속(전체 Cr기준, 7종은 토양과 동일) 검출은 농촌진흥청 고시 비료 공정규격설정 및 지정에 근거한 결과 모두 허용기준 이하로 나타났다. 그리고 관개수 및 수확직 후 상추에서도 각각 환경정책기본법(하천 및 호수)과 식품의약품안전처 고시 식품위생법 “식품의 기준 및 규격”에 준하였을 때, 각각 5종(Cd, Cr6+, Pb, As, Hg)과 2종(Cd, Pb) 모두 우려기준 이하로 나타났다(Table 3). 따라서 유기재배 상추의 재배환경, 투입자재 그리고 농산물 자체에서는 중금속 오염은 모든 시료에서 우려기준 이하로 검출되어 안전농산물로 인정할 수 있다고 판단되었다. 한편, 관행재배지와 비교하여 볼 때, 관행재배지와 유기재배지간의 중금속 함량의 차이는 유의성이 없는 것으로 사료되며, 지역간에도 차별성을 관찰할 수 없었다.

일반 세균수, 대장균군 및 대장균 오염도 분석

생물적 위해요인 평가를 위하여 동일한 지역으로부터 채취된 재배환경 시료(토양, 물), 투입자재 시료(퇴비 또는 유박), 그리고 수확 후 관리시료(수확직 후 상추, 저온저장 상추, 상온저장 상추, 유통단계 상추) 등 총 7종류의 시료에 대해 평가를 실시하였다. 먼저 총 일반세균수(호기성균)는 유기재배지와 관행재배지간의 차이는 없는 것으로 판단되며, 토양 및 수확 후 관리시료들에서 7 log CFU/g 이상으로 높게 나타난 반면, 퇴비 또는 유박과 관개수에서는 그보다 낮은 농도를 보여주었다(Table 4). 이는 이전 Jo 등(2011)이 보고한 유기농 상추의 일반 세균수 검출과 유사한 수준이었다. 그러나 유기 및 관행재배지 수확 후 관리시료들을 신선편이 샐러드 등과 같이 즉시 섭취식품으로 간주할 경우, Solberg 등(1990)이 제안한 5 log CFU/g 이상의 농도이므로 그 위해성 판단을 위하여 대장균군 및 대장균 오염도를 추가적으로 분석하였다.

대장균군의 오염도는 일반 총 세균수에 비해 모든 시료에서 낮은 농도이거나 검출되지 않는 것으로 조사되었다(Table 4). 또한 투입자재시료와 관개수 그리고 수확 후 관

Table 4. Relative numbers of total aerobic and coliform bacterial populations present on environmental materials and harvested lettuce from organic and conventional farming systems

Sample	Total aerobic bacteria (log ₁₀ CFU/g)		Coliforms (log ₁₀ CFU/g)	
	Organic	Conventional	Organic	Conventional
Soil	7.17 ± 0.45 ^b	7.55 ± 0.34	1.77 ± 0.79	0.83 ± 1.44
Fertilizer	5.38 ± 2.83	5.60 ± 2.20	0.33 ± 0.57	0.78 ± 0.68
Water	4.38 ± 2.40	1.19 ± 2.06	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00
Lettuce	7.63 ± 0.06	6.87 ± 0.91	0.52 ± 0.53	1.02 ± 1.07
Lettuce in room temperature storage	7.11 ± 0.87	7.40 ± 0.60	0.34 ± 0.59	ND
Lettuce in 4°C storage	7.43 ± 0.79	7.48 ± 0.35	ND ^a	0.32 ± 0.55
Lettuce in market	7.69 ± 0.37	7.69 ± 0.60	ND	0.77 ± 0.13

^a Not detectable (any bacteria did not grow on plate with undiluted sample).

^b Data represent the means and standard deviation of duplicates. The experiment was repeated two times with similar results.

Table 5. Numbers of detectable food-borne pathogenic bacterial populations on environmental materials and harvested lettuce from organic and conventional farming system

Sample	Food-borne pathogenic bacteria (log ₁₀ CFU/g)									
	Organic					Conventional				
	<i>B. c</i> ^a	<i>E. c</i> O157:H7	<i>L. m</i>	<i>S. t</i>	<i>S. a</i>	<i>B. c</i>	<i>E. c</i> O157:H7	<i>L. m</i>	<i>S. t</i>	<i>S. a</i>
Soil	4.65 ± 0.41	ND ^b	ND	ND	ND	3.37 ± 1.17	ND	ND	ND	ND
Fertilizer	1.97 ± 0.94	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Water	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lettuce	2.19 ± 0.78	ND	ND	ND	ND	2.01 ± 0.98	ND	ND	ND	ND
Lettuce in room temperature storage	2.79 ± 0.46	ND	ND	ND	ND	1.36 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
Lettuce in 4°C storage	2.69 ± 1.23	ND	ND	ND	ND	0.51 ± 0.88	ND	ND	ND	ND
Lettuce in market	2.20 ± 1.91	ND	ND	ND	ND	1.36 ± 2.36	ND	ND	ND	ND

^a *B. c*, *Bacillus cereus*; *E. c*, *Escherichia coli*; *L. m*, *Listeria monocytogenes*; *S. t*, *Salmonella typhimurium*; *S. a*, *Staphylococcus aureus*.

^b Not detectable (any bacteria did not grow on plate with undiluted sample).

리시료들에 비해 토양에서 높은 농도로 대장균군이 검출되는 경향이었으며, 이는 오염원이 토양으로부터 기인할 수 있다고 사료되었다. 수확 후 관리시료의 대장균군 검출농도에 따르면, 유기재배지 상추는 저온저장을 할 경우 대장균군이 나타나지 않는 반면, 관행재배지의 상추는 저온저장에서도 계속 유지되는 경향이 관찰되어 유기 및 관행재배지 간의 서로 다른 미생물에 의한 분포양상을 보인다고 사료되었다. 한편 농작물에서는 대장균군에 대한 규제가 없으나, 식품공전에 준할 경우 신선편의 식품에서의 대장균군은 음성으로 규제하고 있으므로(Jo et al., 2011), 섭취 시 세척 등 각별한 주의가 요구되는 것으로 판단되었다.

대장균군의 분포는 병원성 미생물의 존재 가능성과 깊은 관계가 있기에 동일 시료에 대한 주요 5종 위해미생물을 분석하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 유기 및 관행재배지 7종의 모든 시료로부터 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus* 그리고 *S. typhimurium*은 검출되지 않았다. 반면

*B. cereus*만이 토양 및 수확 후 관리시료들인 상추에서 검출되었다. 특히 토양에서 유기 및 관행재배 모두 가장 높은 농도로 검출되었으며 수확 후 관리시료에서는 이보다 낮은 농도로 검출되어 *B. cereus* 오염원은 토양으로 사료되며, 토양으로부터 강우 시 빗방울 등에 의해 상추로 전파되는 감염 경로를 가지고 있는 것으로 판단되었다. 유기재배의 경우, 퇴비에서도 *B. cereus*가 검출되었는데, 이는 유기재배의 특성상 자가 발효퇴비를 생산·활용하는 농가가 다수이며 발효과정에서 토양 등에 존재하던 세균들이 오염되어 유기재배농가의 자가 퇴비에서 이 세균이 검출된 원인으로 사료되었다. 따라서 자가활용 퇴비를 생산하는 농가에서는 오염원의 차단 및 오염원에 대한 길항미생물을 동시에 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 한편 신선편의 식품의 경우 *B. cereus*의 검출한계가 3 log CFU/g 이하로 규정되어있으므로, 수확 후 관리시료들의 농도가 이보다 낮은 수준이기는 하나, 저장온도 및 기간에 따라서 검출한계를 초과할 경

우도 있다고 판단되나, 섭취 전 세척 등의 관리에 의해 제거 될 수 있기에 문제가 되지 않는 것으로 사료되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00982903)의 지원에 의해 이루어진 결과이며 연구비 지원에 감사드립니다.

Literature Cited

- Barak, J. D. and B. K. Schroeder (2012) Interrelationships of food safety and plant pathology: The life cycle of human pathogens on plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50:241-266.
- Cho, K. W., J. H. Park, J. W. Kim, J. Y. Yoon, H. R. Moon and K. S. Lee (2013) Establishment of pre-harvest residue limit (PHRL) of methoxyfenozide and novaluron on peaches. *Korean J. Pestic. Sci.* 17(1):6-12.
- Jo, M. J., A. R. Jeong, H. J. Kim, N. Lee, S. W. Oh, Y. J. Kim, H. S. Chun and M. S. Koo (2011) Microbiological quality of fresh-cut produce and organic vegetables. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43(1):91-97.
- Kim, K. J., D. S. Kim, S. J. Heo, H. J. Ham and J. H. Hur (2013) Establishment of pre-harvest residue limit (PHRL) of emamectin benzoate during cultivation of amaranth. *Korean J. Pestic. Sci.* 17(2):77-83.
- Lee, J. H., H. W. Park, Y. S. Keum, C. H. Kwon, Y. D. Lee and J. H. Kim (2008) Dissipation pattern of boscalid in cucumber under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 12(1):67-73.
- Lee, Y. J., K. Y. Kwang, D. J. Won, G. H. Gil and K. S. Lee (2003) Residue pattern of procymidone, chlorpyrifos and cypermethrin in peaches during cultivation and storage period. *Korean J. Environ. Agric.* 22(3):200-226.
- Lim, J. S., J. H. Hong, C. R. Lee, K. T. Han, Y. R. Lee and K. S. Lee (2011) Establishment of pre-harvest residue limit (PHRL) of insecticide chlorfenapyr and fungicide fenarimol during cultivation on chwinamul (*Aster scaber*). *Korean J. Environ. Agric.* 30(1):52-59.
- Solberg, M., J. J. Buchalew, C. M. Chen, D. W. Schaffner, K. O'Neill, J. McDowell, L. S. Post and M. Boderck (1990) Microbial safety assurance system for foodservice facilities. *Food Technol.* 44:68-72.
- Watanabe, Y., K. Ozasa, J. H. Mermin, P. M. Griffin, K. Masuda, S. Imashuku and T. Sawada (1999) Factory outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infection in Japan. *Emerg. Infect. Dis.* 5(3):424-428.

국내 유기상추의 생산환경 조사분석

남궁민 · 김범석 · 허성진¹ · 최용범¹ · 허장현² · 박덕환*

강원대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, ¹강원대학교 친환경농산물안전성센터

²강원대학교 농업생명과학대학 바이오자원환경학과

요약 현재까지 신선 농산물의 안전성을 위협하는 화학적 및 생물적 위해요인에 대한 연구는 주로 수확 후 또는 판매 농산물에 국한되었다. 그러나 최근 위해요인의 오염원 및 전염경로로 수확 전 생산환경 시료들이 주목되면서 생산환경 시료에 대한 위해요인 조사분석이 필요하였다. 본 연구에서는 토양, 관개수 및 퇴비 등의 수확 전 생산환경 시료와 수확 후 관리시료 등에 대한 화학적(잔류농약, 중금속) 및 생물적(호기성 미생물, 대장균군, 식품 위해미생물) 위해요인을 조사분석하였다. 조사시료수는 각각 화학적 위해요인 43 시료 그리고 생물적 위해요인 83 시료를 분석하였다. 유개재배지 시료 중에는 토양시료 1점에서 dimethomorph만이 미량으로 검출되었으나 관행재배지 살포농약의 오염에 의한 것으로 판단되었다. 반면 관행재배지 시료에서는 시료간 동일검출 항목을 제외한 총 20 종류의 잔류농약이 검출되었다. 또한 중금속의 검출은 유기 및 관행재배지 각 시료에서 나타났으나, 모두 우려기준 이하로 조사되었다. 한편 호기성 미생물은 7 log CFU/g으로 조사되었으며, 대장균군은 이보다 매우 낮은 농도를 보여주었다. 특히 5종의 식품 위해미생물 중에서는 *Bacillus cereus*만이 검출되었으나, 신선편의 식품의 검출한계보다 낮은 농도로 조사되었다.

색인어 상추, 유기농산물, 수확 전, 안전성