



유통 세척농산물 잔류농약 모니터링

조상훈* · 김명길 · 이예은 · 장미경 · 정아용 · 김아람 · 박예지 · 채경석 · 김지원 · 박명기

경기도보건환경연구원 수원농수산물검사소

Monitoring of Residual Pesticide Contamination in Washed, Distributed Agricultural Products

Sang-Hun Cho*, Myung-Gil Kim, Yea-Eun Lee, Mi-Kyung Jang, Ah-Yong Jeong, A-Ram Kim, Ye-ji Park, Kyung-Suk Chae, Ji-Won Kim, Myoung-Ki Park

Suwon Agricultural and Fishery Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Suwon 16561, Korea

(Received on August 7, 2024. Revised on October 23, 2024. Accepted on October 24, 2024)

Abstract This study was undertaken to investigate the extent of pesticide contamination in washed and distributed agricultural products. A total of 85 items sold in large retail stores and online from March to November 2023, including fruits (32), vegetables (47), potatoes (1), tree nuts and seeds (1), and processed foods (4), were analyzed for 471 types of pesticides. Although no agricultural products exceeded the maximum residue limit (MRL), a high detection rate (80.0%) of pesticide residues was observed in pome fruits, as well as berries and other small fruits. Among stalk and stem vegetables, residual pesticides were detected in 100% of Welsh onion products. Trace amounts of Fluopyram, a fungicide, and Dinotefuran, an insecticide, were detected in one processed food item categorized as fresh-cut. Although some products did not exceed the MRL, there are cases where multiple types of pesticides were detected in a single agricultural product (washed apple and frozen chili pepper). As such, a management plan for the detection of all pesticides is necessary.

Key words Washed agricultural products, Fresh-cut, Pesticide residue, GC-MS/MS, LC-MS/MS

서론

맞벌이 부부와 1인 가구 증가 등 사회·경제적 구조가 변화함에 따라 식품소비 트렌드는 편의성을 중시하는 방향으로 변하고 있다. 농산물은 전처리가 간편하고 섭취가 쉬운 과일과 채소류를 중심으로 수요가 증가하였다. 신선편이 과일·채소 시장의 규모는 2020년 1조 1,369억 원으로 이미 1조원 규모를 넘어섰다(KREI (2020)). 또한 농산물의 소비형태도 벌크형 소비에서 소포장으로, 바로 조리가 가능한 단순처리 농산물 위주로 바뀌고 있다(KREI (2009)).

세척농산물은 여러 가지 식품 분류체계에 광범위하게 분류하고 있어 명확한 분류가 어렵다. 비슷한 의미로 사용되

는 단순처리 농산물은 전처리 농산물, 신선편이 농산물, 신선편의 식품과 혼용해서 사용된다(KREI, 2019; Sung et al., 2020). 식품공전 및 국립농산물품질관리원 농산물 표준규격에 따라 분류하면 단순처리 농산물, 전처리 농산물, 신선편이 농산물 등은 농산물이고, 신선편의 식품이나 과채가공품은 가공식품에 속한다(MFDS, 2014; MFDS, 2023; NAQS, 2023). 따라서 세척농산물에는 일부 신선편의 식품이나 과채가공품이 포함되었다. 한국농촌경제연구원은 연구보고서를 통해 농산물은 농산물우수관리(GAP, Good Agricultural Practices) 인증으로, 가공식품은 식품안전관리인증기준(HACCP, Hazard Analysis Critical Control Point)을 각각 적용하여 관리하자고 제안하였다(MAFRA (2023)). 본 연구에서는 세척농산물을 ‘일부 가공식품을 포함하여 적당한 수준으로 손질된 농산물’로 규정하였다.

대표적인 세척농산물에는 세척사과, 세척당근, 냉동과일

*Corresponding author
E-mail: cshvg@gg.go.kr

류 및 채소류 등이 있다. 세척농산물은 보통 지역별 APC(산지유통센터, Agricultural products Processing Center)나 농가 세척시설에서 세척과정을 거치는데, 육질이 단단한 뿌리 채소류나 과실류 위주에서 딸기, 복숭아 등 육질이 물러서 세척 판매가 힘들다고 알려진 품목까지 점차 증가하고 있다.

최근 농림축산식품부에서 발표한 농산물 유통구조 선진화 방안(2023년)에 따르면 2027년까지 스마트 APC 100곳을 구축하고, 농산물도매시장의 기능을 온라인으로 전환하여, 기존 지역별 도매시장의 기능을 재정립하는 내용이 포함되었다. 스마트 APC는 입고부터 출하까지 전 과정을 자동화, 정보화해 최소 시간과 비용으로 고객 맞춤형 상품을 생산하는 시스템을 갖춘 시설이다(KREI (2014)). 스마트 APC의 준공과 함께 각 지방자치단체에서는 세척농산물 생산을 통한 농업분야 부가가치 창출을 위해 적극 지원하고 있다 (Asia Economy, 2023; Farmers' Newspaper, 2023; Korean Agriculture Affairs, 2023; Sinha libo, 2023; Wonye Monthly, 2023).

세척농산물 활성화를 위해 해결해야 할 문제가 3가지 있는데 첫 번째는 세척수에 대한 관리기준이 없다는 것이고, 두 번째는 세척농산물의 짧은 유통기한이다. 세척 및 유통 기한에 대한 문제는 포장, 저장, 미생물 제어 등 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다(Jo et al., 2011; Kim et al., 2016; Kang et al., 2011; Son et al., 2011). 마지막으로 해결해야 할 문제는 농산물에 잔류하는 농약이다. 정책적인 해결을 모색하고 있으나, 특별한 대책이 없는 상태이다. 현재 백화점 등 고급매장에서는 친환경 또는 GAP 농산물 등 인증 농산물을 중심으로 신선편이 농산물을 제공하고 있었다.

농림축산식품부에서는 2021년 10월 14일부터 안전사항 문구 표시의무화를 시행하여, 소비자들이 주의하여 사용하도록 하고 있다(NAQS (2023)).

소비자들은 미생물 제어를 위한 소독수 세척 등 과정에서 세척농산물의 잔류농약 문제가 해결될 것으로 인식하고 있으나 과학적 근거는 부족한 실정이다. 본 연구는 유통 중인 세척농산물을 대상으로 잔류농약 471종을 모니터링하여 잔류농약 안전성에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

분석 시료

경기도 내 유통 중인 세척농산물의 잔류농약 실태 조사를 위해 2023년 3월부터 11월까지 성남, 여주, 이천, 화성지역 대형유통매장(66건) 및 온라인 판매(19건)를 통해 총 85건을 수거하여 검사하였다. 세척농산물은 Table 1과 같이 유통 온도에 따라 실온 유통제품 5건, 냉장제품 32건, 냉동제품 48건이었다. 실온제품은 세척사과(2건), 손질대파(1건), 세척당근(1건), 스테비아대추방울토마토(1건)가 있었고, 대부분 소비기한 연장을 위해 냉장 및 냉동 상태로 유통되고 있었다. 온라인 판매 제품은 신선편의 식품인 파인애플 슬라이스 2건(냉장)을 제외한 모든 제품이 냉동제품이었다.

분석 농약 및 시약

분석 농약성분 총 471종 중 248종은 GC-MS/MS (TSQ 9000, Thermo scientific, Waltham, USA)로 분석하였고, 223종은 LC-MS/MS (QTRAP 4500, AB Sciex, Framingham,

Table 1. Classification and information of processed agricultural products

Main category	Sub-category	No.	Collection point		Distribution temperature (°C)		
			Market	Internet	15~25	0~10	-18 >
Fruits (32)	Pome fruits	5	5		2	2	1
	Stone fruits	1	1				1
	Berries and other small fruits	15	11	4			15
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	11	6	5		6	5
Vegetables (47)	Flowerhead brassicas	3		3			3
	Leafy vegetables	1	1				1
	Stalk and stem vegetables	14	11	3	1	6	7
	Root and tuber vegetables	19	17	2	1	14	4
	Fruiting vegetables, cucurbits	6	4	2		2	4
	Fruiting vegetables, other than cucurbits	4	4			1	3
Potatoes	-	1	1			1	
Tree nuts and Seeds	Peanut or Tree nuts	1	1			1	
Others	Processed food	4	4				4
Total		85	66	19	5	32	48

USA)로 분석하였다. 분석성분은 용도에 따라 살충제 189종, 살균제 125종, 제초제 141종, 살비제 6종과 성장촉진제 10종으로 구분되었다(Table 2). 분석 농약은 국내에서 혼합 조

제된 표준물질(Kemidas, Gyeonggi-do, Korea)을 사용하였다. 추출에 사용한 분석시약은 Acetonitrile (ACN) (LC-MS Grade) (Fisher Chemical, Geel, Belgium)이고, LC-MS/MS

Table 2. Classification of 471 pesticides for analysis

Classification	GC-MS/MS (248)	LC-MS/MS (223)
Insecticide (189)	(92) Aldrin&Dieldrin, Aramite, Aspon, BHC (α , β , δ), BHC (Lindane, γ), Bifenthrin, Bromophos-ethyl, Bromophos-methyl, Bromopropylate, Buprofezin, Cadusafos, Carbophenothion, Chlorbufam, Chlordane (cis, trans), Chlorethoxyfos, Chlorfenapyr, Chlornitrofen, Chlorobenzilate, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, Chlorthion, Coumaphos, Cyanophos, Deltamethrin (Tralomethrin), Dialifos (Dialifor), Diazinon, Dichlofenthion, Dicofof, Dicrotophos, Dimethylvinphos (E,Z), Dioxathion, Endosulfan (α , β , sulfate), Endrin, EPN, Ethion, Ethoprophos, Etoxazole, Fenchlorphos, Fenitrothion, Fenobucarb, Fenothiocarb, Fenpropathrin, Fenson, Fenthion, Fipronil, Fluacrypyrim, Flucythrinate (Iso1,2), Fluen-sulfone, Flumetralin, Fonofos, Formothion, Heptachlor, Heptenophos, Hexythiazox, Indoxacarb, Isazofos, Isofenphos, Isofenphos-methyl, Isoprocarb, Methidathion, Methoxychlor, Methyltrithion, MGK-264, Nonachlor (cis, trans), Parathion-ethyl, Parathion-methyl, Permethrin (cis, trans), Perthane, Phenthoate, Phosalone, Phosmet, Phosphamidon (E,Z), Piperonyl butoxide, Pirimicarb, Pirimiphos-ethyl, Pirimiphos-methyl, Profenofos, Propetamphos, Prothiofos, Pyraclofos, Pyridalyl, Quinalphos, Silafluofen, Spiromesifen, Tebufenpyrad, Tebupirimfos, Tefluthrin, Tetrachlorvinphos, Tetradifon, Thiometon, Thionazin, Triazophos	(97) 2,3,5-Trimethacarb, 3,4,5-Trimethacarb, Acephate, Acetamiprid, Aldicarb, Allethrin, Azamethiphos, Azinphos-methyl, Bendiocarb, Benzoximate, Bistrifluron, Butocarboxim, Carbaryl, Chlorantraniliprole, Chlorfenvinphos (E,Z), Chlorflua-zuron, Chlorobenzuron, Chloroxuron, Chromafe-nozide, Clofentezine, Clothianidin, Crotoxyphos, Crufomate, Cyantraniliprole, Cyclaniliprole, Cycloprothrin, Cyenopyrafen, Cyflumetofen, Demeton-S-(sulfone, sulfoxide), Disulfoton (sulfone, sulfoxide), Demeton-S-methyl, Demeton-S-methyl-sulfone, Dichlorvos, Diflubenzuron, Dimethoate, Dinotefuran, Emamectin benzoate (B1a), Ethiofencarb, Etofenprox, Etrifos, Fenamiphos, Fenazaquin, Fenoxycarb, Fenpyroximate, Fensulfothion, Flonicamid, Flubendiamide, Flufenoxuron, Flupyradifurone, Fluxametamide, Fosthiazate, Hexaflumuron, Imicyafos, Imidacloprid, Isoxathion, Lufenuron, Malaoxon, Malathion, Mecarbam, Mephosfolan, Metaflumizone (E,Z), Methamidophos, Methiocarb, Methoxyfeno-zide, Metolcarb, Mevinphos, Monocrotophos, Nitenpyram, Omethoate, Oxamyl, Oxydemeton-methyl, Phenothrin (cis, trans), Phorate (oxon, oxon-sulfone, oxonsulfoxide, sulfoxide), Phosfolan, Phoxim, Promecarb, Propoxur, Pyflubumide, Pyflubumide—NH, Pyridaben, Pyridaphenthion, Pyrifluquinazon, Pyrimidifen, Spinetoram, Spinosad (SpinosynA+SpinosynD), Spirodiclofen, Sulfoxaflor, Sulprofos, Tebufenozide, Teflubenzuron, Terbufos (oxon, oxon sulfone, oxonsulfoxide, sulfone, sulfoxide), Tetrailiprole, Thiachloprid, Thiamethoxam, Tolfenpyrad, Triazamate, Trichlorfon (Dichlorvos), Triflumuron, Vamidothion, XMC, Methomyl (thiodi-carb)
Fungicide (125)	(71) Azaconazole, Benodanil, Boscalid, Bupirimate, Carboxin, Chloroneb, Chlozolinat, Cyflufenamid, Cyprodinil, Diclobutrazol, Dicloran, Diethofencarb, Difenoconazole, Diniconazole, Diphenylamine, Epoxiconazole, Etaconazole, Etridiazole, Fenamido-ne, Fenarimol, Fenbuconazole, Fenfuram, Fenox-anil, Fenpropimorph, Fenpyrazamine, Fluopyram, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutianil, Fluxapy-roxad, Phthalide, Ipconazole, Iprobenfos, Isoprothio-lane, Isopyrazam, Isotianil, Kresoxim-methyl, Leptophos, Mepanipyrim, Mepronil, Metalaxyl, Myclobutanil, Nitrothal-isopropyl, Nuarimol, Oxa-dixyl, Penconazole, Penflufen, Pentachlorobenzoni-trile, Penthiopyrad, Picoxystrobin, Procymidone, Propiconazole, Pyracarbolid, Pyrazophos, Pyrifeno-x, Pyrimethanil, Quinoxifen, Quintozene, Sime-conazole, Spiroxamine, Tebuconazole, Tecnazene, Tetraconazole, Thifluzamide, Tolclofos-methyl, Tri-adimefon, Triadimenol, Trifloxystrobin, Triflumizole, Vinclozolin, Zoxamide	(54) Ametoctradin, Amisulbrom, Azoxystrobin, Benalaxyl, Benthialicarb-isopropyl (R,S), Bixafen, Carbendazim, Carpropamide, Cyazofamid, Cymox-anil, Cyproconazole, Dodine, Ethaboxam, Famoxa-done, Fenhexamid, Ferimzone (E,Z), Fluazinam, Fludioxonil, Fluopicolide, Flusulfamide, Flutolanil, Flutriafol, Hexaconazole, Imazalil, Imibenconazole, Iprovalicarb, Mandestrobin, Mandipropamid, Mefen-trifluconazole, Metconazole, Metominostrobin, Metrafenone, Ofurace, Oryastrobin, Oxathiapiprolin, Oxycarboxin, Pencycuron, Picarbutrazox (TZ-1E), Probenazole, Propamocarb, Proquinazid, Pydiflu-metofen, Pyraclostrobin, Pyraziflumid, Pyribencarb, K1E-9749, Pyriofenone, Pyroquilon, Sedaxane (cis, trans), Tebufloquin, Tebufloquin M1, Thiabendazole, Tiadinil, Tricyclazole, Triticonazole, Valifenalate

Table 2. Continued

Classification	GC-MS/MS (248)	LC-MS/MS (223)
Herbicide (141)	(75) Alachlor, Allidochlor, Ametryn, Anilofos, Atrazine, Benfluralin, Benfuresate, Benzoylprop-ethyl, Bromobutide, Butachlor, Butafenacil, Butralin, Butylate, Chlorflurenol-methyl, Chlorpropham, Chlorthal-dimethyl, Cinnemethylin, Clomazone, Cyprazine, Desmetryn, Diallylate, Dichlobenil, Dichlormid, Dicl-ofop-methyl, Diethatyl-ethyl, Diflufenican, Dimepip-erate, Dimethachlor, Dimethametryn, Dimethenamid, Dinitramine, Diphenamid, Dithiopyr, EPTC, Ethal-fluralin, Ethofumesate, Fenclorim, Flamprop-isoprop-yl, Fluazifop-butyl, Fluchloralin, Flufenpyr-ethyl, Flumioxazin, Fluorochloridone, Indanofan, Iso-propalin, Isoxadifen-ethyl, Mefenpyr-diethyl, Metho-protryn, Metolachlor, Metribuzin, Monolinuron, Oxadiazon, Oxyfluorfen, Pendimethalin, Pentoxaz-one, Pretilachlor, Prodiamine, Profluralin, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propazine, Propiso-chlor, Propyzamide (Pronamide), Pyraflufen-ethyl, Pyrifitalid, Pyriminobac-methyl (E,Z), Simetryn, Ter-bacil, Terbumeton, Terbutryn, Tri-allate, Tridiphane, Trifluralin	(66) Bensulide, Benzobicyclon, Bromacil, Cafen-strole, Carbetamide, Chloridazon, Chlorotoluron, Clomeprop, Cyanazine, Cycloate, Diclosulam, Diuron, Dymron, Esprocarb, Fenoxaprop-ethyl, Fen-trazamide, Flufenacet, Fluometuron, Flupoxam, Flu-ridone, Fluthiacet-methyl, Fomesafen, Hexazinone, Ipfcencarbazone, Isoproturon, Isoxaben, Lenacil, Lin-uron, Mefenacet, Metamifop, Metamitron, Methabenzthiazuron, Metobromuron, Napropamide, Neburon, Norea (Noruron), Norflurazon, Oryzalin, Oxadiargyl, Oxaziclomefone, Pebulate, Penoxsulam, Phenmedipham, Picolinafen, Piperophos, Prosulfo-carb, Pyraclonil, Pyrazolate (= pyrazolynate), Pyra-zoxyfen, Pyribenzoxim, Pyributicarb, Pyrimisulfan, Quinoclamine, Saflufenacil, Secbumeton, Sethoxy-dim, Simazine, Sulfentrazone, Tebuthiuron, Tepral-oxymid, Terbutylazine, Thenylchlor, Thiazopyr, Thiobencarb, Triafamone, Vernolate
Acaricide (6)	(6) Chlorbenseide, Chlorfenson, Chloropropylate, Chlorthiophos, Halfenprox, Sulfotep	-
Growth regulator (10)	(4) Ethychlozate, Paclobutrazol, Prohydrojasmon, Propham	(6) Benzyladenine, 6-Benzyl aminopurine, Forchlor-fenuron, Inabenfide, Thidiazuron, Tribufos, Uniconazole

이동상 조제에는 Methanol, Water, Ammonium formate (LC-MS Grade, sigma-aldrich, St. Louis, MO, USA)와 Formic acid (LC-MS Grade, Thermo, Czech republic)을 사용하였다. 추출 및 정제에 QuEChERS Kit (CHROMATific, Heidenrod, Germany)를 사용하였다. 추출에 사용된 Kit에는 성분이 MgSO₄ 4 g, NaCl 1 g, Na₂Cit·1.5H₂O 0.5 g, Na₃Cit·2H₂O 1 g 비율로 혼합되었고, 정제용 Kit는 MgSO₄과 primary secondary amine (PSA)이 혼합된 제품을 사용하였다.

분석방법

식품공전 다중농약 다성분 분석법 제2법에 따라 분석 가능한 471종을 선정, 분석하였다(MFDS (2023)). 균질화 시료 10 g을 50 mL centrifuge tube에 정밀하게 측정하였다. Tube에 ACN 10 mL를 넣어 1분간 흔들어 섞고 추출용 Kit에 넣어 1분간 강하게 흔들어 혼합하였다. 혼합액은 4°C, 4,000 rpm에서 10분간 원심분리(LABOGENE 1580R, GYROZEN, Gyenggi-do, Korea)한 뒤 상층액 1 mL를 취하였다. 상층액을 정제용 Kit에 옮기고 1분간 강하게 흔들어 준 후 2,000 rpm에서 1분간 원심분리하였다. 분리액은 PTFE (Polytetrafluoroethylene) filter (Whatman, Dassel, Germany)로 여과하여 시험용액으로 사용하였다(Fig. 1). 시험용액은 각각 GC-MS/MS와 LG-MS/MS로 나누어 분석하였다. 분석결과는 회석배수를 적용하여 계산하였고, 식품의

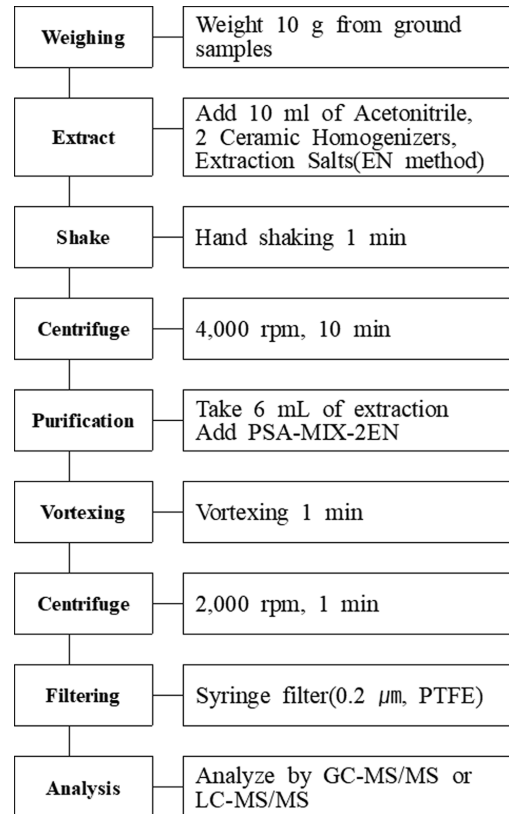


Fig. 1. Flow chart of QuEChERS method for pesticide residue analysis.

약품안전처 고시 「식품의 기준 및 규격」에 따라 각각의 농산물에 대한 잔류허용기준을 적용하였다. 별도로 잔류허용기준이 정해지지 않은 경우, 0.01 mg/kg 이하 기준을 일률 적용하여 적합 여부를 판정하였다.

분석장비 및 조건

분석에 사용한 GC-MS/MS system은 GC (Trace 1310, Thermo scientific, Waltham, USA)와 detector (Triple Quadrupole Mass Spectrometer)로 구성되어 있다. 분석대상

Table 3. Analysis conditions of GC-MS/MS for 248 types of pesticide residues

GC	Instrument	Trace 1310			
	Column	TG-5SilMS (0.25 μ m, 30 m \times 0.25 mm)			
	Inlet	300°C, splitless mode			
	Carrier gas	Helium, 1.2 mL/min			
	Injection vol.	1 μ L			
		Temp. (°C)	Rate (°C/min)	Hold (min)	Total (min)
	Oven	60	0	0	6
		180	20.0	0	30
		300	5.0	5	35
Detector (MS/MS)	Instrument	TSQ 9000			
	Ionization mode	Electron impact (EI)			
	Transfer line temp.	280°C			
	EI source temp.	300°C			
	Scan type	SRM (Selected Reaction Monitoring)			
	Solvent delay	0 min			
	Ion ratio tolerance (%)	20 (> 50), 25 (> 20, \leq 50), 30 (> 10, \leq 20)			

Table 4. Analysis conditions of LC-MS/MS for 223 types of pesticide residues

LC	Instrument	NANOSPACE		
	Column	CAPCELL CoRE C ₁₈ (2.7 μ m, 2.1 \times 150 mm)		
	Column oven	35°C		
	Mobile phase	A: 0.1% Formic acid 5 mM ammonium formate in water B: 0.1% Formic acid 5 mM ammonium formate in methanol		
	Flow rate	0.3 mL/min		
	Injection volume	2 μ L		
		min	A (%)	B (%)
		0	95	5
Gradient		1	95	5
		1.5	70	30
		12	2	98
		16	2	98
		16.1	95	5
		20	95	5
Detector (MS/MS)	Instrument	QTRAP 4500		
	Mode	Electrospray ionization (ESI)		
	Ion spray voltage	4.5 kV		
	Heater temp.	500°C		
	Nebulizer gas (GS1)	50		
	Heating gas (GS2)	50		
	Scan type	MRM (Multiple Reaction Monitoring)		
	Ion ratio tolerance (%)	20 (> 50), 25 (> 20, \leq 50), 30 (> 10, \leq 20)		

물질은 TG-5SilMS (Thermo, scientific, Waltham, USA) 컬럼으로 분리하여 각각 SRM (Selected Reaction Monitoring) 조건으로 분석하였다(Table 3).

LC-MS/MS system은 LC (Nanospace, OSAKA SODA, Osaka, Japan)와 detector로 QTRAP 4500을 사용하였다. 분석컬럼은 CAPCELL CoRE C₁₈ (OSAKA SODA, Osaka, Japan)를 사용하였고, 이동상 용매는 ACN과 증류수(0.1% formic acid, 10 mM ammonium formate 첨가)를 사용하였고 유속 0.3 mL/min으로 20분 동안 gradient 조건으로 분석하였다. 각 성분의 분석조건은 MRM (Multiple Reaction Monitoring)을 이용하였다(Table 4).

유효성 검증

분석결과에 대한 신뢰성을 확인하고자 ‘식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인(NIFDS (2016))을 참고하여 직선성, 검출한계(limit of detection; LOD), 정량한계(limit of quantification; LOQ)를 확인하였다. 직선성은 0.005~2 µg/mL 범위에서 5개 농도의 혼합 표준용액을 5회 반복 분석하였다. 결정계수(Coefficient of determination, R²), y절편, 회기직선의 기울기 및 잔차 제곱의 합을 확인하였다. 검출한계와 정량한계는 검량선의 기울기(S) 및 표준편차(δ)를 이용하여 다음 식으로 산출하였다.

$$LOD = 3.3 \times \delta / S$$

$$LOQ = 10 \times \delta / S$$

δ: The standard deviation of the response

S: The slope of the calibration curve

직선성, 검출한계와 정량한계에 대한 결과를 정량분석 결과에 함께 표시하였다(Table 6). 검량선의 직선성은 5회 반복 측정결과를 사용하였고, R² 값이 0.9882~0.9999로 나타났다. AOAC 기준 R² 값 0.99 이상이었다(AOAC (2013)). 검출한계는 0.002~0.024 µg/mL로 나타났고 정량한계는 0.007~0.074 µg/mL로 나타났다.

원료농산물 잔류농약 검사자료 활용

원료농산물 검사자료는 2023년 1월부터 10월까지 경기도 보건환경연구원 농수산물검사소 4곳(수원, 구리, 안양, 안산)에서 검사한 농산물 총 7,743건 중 세척농산물과 동일한 종류 6,876건의 검사결과를 추출하였다. 대상제품은 과일류 543건(인과류 174건, 핵과류 86건, 장과류 173건, 열대과일류 110건), 채소류 5,973건(결구엽채류 450건, 엽채류 2,790건, 엽경채류 602건, 근채류 370건, 박과 과채류 1,069건, 박과 이외 과채류 692건), 서류 316건, 견과 종실류 39건, 과채가공품 5건이었다. 원료농산물은 도매시장 경매전 검사 시료 및 대형유통매장, 로컬푸드매장 등에서 수거한 제품으

로 본 연구와 동일한 시험법(다중농약 다성분 분석법 제2법)에 따라 진행하였으며, 세척농산물과 원료농산물의 잔류농약 검출 양상을 비교하기 위한 목적으로 사용하였다(GIHE (2024)).

결과 및 고찰

세척농산물 잔류농약 검출결과

세척농산물 총 85건(과일류 32건, 채소류 47건 서류 1건, 견과종실류 1건, 기타 가공식품 4건) 중 잔류농약이 검출된 농산물은 과일류 총 32건 중 16건(인과류 4건, 장과류 12건)이었고, 검출률은 50.0%이다. 채소류는 총 47건 중 12건(엽경채류 6건, 근채류 2건, 박과 과채류 1건, 박과이외 과채류 3건)으로 검출률은 25.5%이다. 서류, 견과류, 기타 가공식품에서는 검출된 농약이 없었다. 전체 검사건수 85건 중 총 28건(32.9%)에서 잔류농약이 검출되었다. 배 등(2023)이 2021년 2월부터 10월까지 전국에서 유통되는 다소비 농산물 15품목을 대상으로 잔류농약 실태조사를 실시한 결과 농산물 535건 중 288건에서 잔류농약이 검출되었다. 검출률을 비교하면 과일류에서 86.1%, 채소류 54.3%, 곡류에서 39.6%가 검출되었고, 버섯류, 서류, 두류에서는 5% 미만으로 나타나 과일류와 채소류에서 잔류농약 검출률이 높았다.

세척농산물의 잔류농약 검출결과는 Table 5, 6과 같았다. 사과류 중 세척사과 4건에서 모두 잔류농약이 검출되었다. 이 등(2019)의 연구에서도 검출빈도가 가장 높은 과일은 사과(21회)로 나타났다. 2018년 2월부터 12월까지 충청남도 15개 시·군에서 유통되는 과일류 13품목 150건을 검사한 결과 잔류농약 검출률은 감귤류(55.2%), 사과류(41.3%), 장과류(38.7%), 핵과류(36.0%) 순으로 나타났다. 농림축산식품부에서 2021년 10월 14일부터 시행된 안전사항 문구 표시 의무화에 따라 제품 포장지에 “세척 후 드세요”라는 문구가 있으나, “깨끗이 씻은 GAP 사과”, “껍질째 먹는 안심사과” 등으로 제품명을 사용하고 있다(MFDS (2014)). 소비자들은 세척사과를 세척과정 없이 바로 섭취할 가능성이 높아 안전사항 문구 확인이 필요하다. 세척사과에서 검출된 주요 농약성분은 살균제 성분인 테부코나졸(Tebuconazole)과 살충제 성분인 에토펜프록스(Etofenprox)가 4건에서 모두 검출되었고, 살충제 성분인 디노테푸란(Dinotefuran) 성분은 3건에서 검출되었다. 검출량은 미량이지만 4~10가지로 여러 가지 농약성분이 검출되었다.

냉동 장과류는 농산물 특성 상 과육이 물러 소비자들이 가정에서 따로 세척과정을 거치지 않고 먹는 경우가 많다. 잔류농약이 검출된 장과류는 냉동 블루베리 3건, 복분자 2건, 오디 2건, 산딸기 1건, 딸기 3건, 포도 1건으로 총 12건이었다. 복분자 2건에서 살균제 성분인 아зок시스트로빈(Azoxystrobin)이 검출되었고, 오디 2건에서 살균제 성분인

Table 5. Comparison of pesticide residue results between washed agricultural products and raw materials

Main category	Sub-category	Washed agricultural		Raw material ^{a)}		
		Sample No.	No. of detected (%)	Sample No.	No. of detected (%)	No. of violated (%)
Fruits	Pome fruits	5	4 (80.0)	174	135 (77.6)	0
	Stone fruits	1	0	86	66 (76.7)	2 (1.1)
	Berries and other small fruits	15	12 (80.0)	173	121 (69.9)	0
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	11	0	110	25 (22.7)	0
Vegetables	Flowerhead brassicas	3	0	450	70 (15.6)	1 (0.2)
	Leafy vegetables	1	0	2,790	1,367 (49.0)	51 (1.8)
	Stalk and stem vegetables	14	6 (42.9)	602	184 (30.6)	11 (1.8)
	Root and tuber vegetables	19	2 (10.5)	370	41 (11.1)	2 (0.5)
	Fruiting vegetables, cucurbits	6	1 (16.7)	1,069	501 (46.9)	1 (0.1)
	Fruiting vegetables, other than cucurbits	4	3 (75.0)	692	411 (59.4)	4 (0.6)
	Potatoes	-	1	0	316	4 (1.3)
Tree nuts and Seeds	Peanut or Tree nuts	1	0	39	0	0
Others	Processed food	4	0	5	0	0
Total		85	28 (32.9)	6,876	2,925 (42.5)	72 (1.0)

^{a)}For raw agricultural products, data from a total of 6,876 pesticide residue tests conducted by four Agricultural and Fishery Products Inspection Centers of the Gyenggi-do Institute of Health and Environment from January 2023 to October 2023.

카벤다짐(Carbendazim)이 공통으로 검출되었다. 김 등(2022)의 연구에 따르면 국내산 및 수입산 냉동 베리류의 잔류농약 검출률은 동일하게 28.6%로 나타났고 기준을 초과하는 농약성분은 없었지만, 냉동 장과류에서 다양한 농약성분이 검출되었다.

엽경채류 중 잔류농약이 검출된 제품은 6건 모두 대파로 다양한 농약종류가 검출되었다. 근채류에서는 연근채에서 제초제 성분인 리누론(Linuron)이 0.2980 mg/kg 검출되었고, 과채가공품인 스낵당근에서 살균제 성분인 플루오피람(Fluopyram)이 0.0147 mg/kg 검출되었다. 박과 과채류에서는 조각멜론 1건에서 살균제인 플루오피람(Fluopyram)과 살충제 성분인 디노테퓨란(Dinotefuran)이 검출되었다. 조각멜론은 구입 후 바로 먹을 수 있는 신선편의 식품이라 관리가 필요하다. 박과 이외 과채류 4건 중 스테비아대추방울토마토를 제외한 3건 모두 냉동 청양고추 제품에서 다양한 농약이 검출되었다. 한가지 농산물에서 11가지 농약성분이 검출되어 가장 많은 종류의 농약이 검출되었다. 세척사과나 청양고추 같은 특정한 농산물에는 잔류농약 개별기준 이외에 총량기준에 대한 검토가 필요한 실정이다. 세척사과 1개에서 검출된 10 종류의 농약성분을 합하면 농도가 0.75 mg/kg이었다.

냉동제품들은 유통되는 동안 낮은 온도와 밀폐환경에서 농약성분들이 장시간 유지될 가능성이 높아 냉동제품에 대한 허용기준 관리가 필요한 실정이다. 냉동제품으로 장과류인 블루베리, 복분자, 오디, 딸기, 샤인머스켓 등에서 검출이

많았고, 엽경채류 중에는 냉동대파나 파채 등 전처리 농산물에서 검출이 많았다. 박 등(2020)이 인천지역에서 조사한 엽경채류 농산물 14품목 320건의 잔류농약 검사결과에서도 파는 검출률이 12.6%로 부추(21.0%) 다음으로 높았다.

잔류농약이 검출된 세척농산물을 유형별로 분류하면 농산물 17건, 과채가공품 8건, 신선편의 식품 1건, 천연향신료 1건, 소스류 1건 총 28건이었다. 청양고추 1건과 다진 마늘 1건이 천연향신료로 분류되었다. 파채 1건과 양파채 1건은 양념소스와 같이 포장되어 식품유형이 소스류로 분류되었다. 2건 중 파채에서 살충제 성분인 플루사메타마이드(Fluxametamide)가 0.0419 mg/kg 검출되었다. 가공식품과 함께 포장되어 유통되는 농산물에 대해서도 잔류농약 검사가 필요할 것으로 보인다.

세척농산물과 원료농산물의 비교분석

대형유통매장과 온라인을 통해 2023년 3월부터 11월까지 수거한 세척농산물 총 85건에 대한 잔류농약 471종을 분석하였다. 수거제품은 과일류 32건(인과류 5건, 핵과류 1건, 장과류 15건, 열대과일류 11건), 채소류 47건(결구엽채류 3건, 엽채류 1건, 엽경채류 14건, 근채류 19건, 박과 과채류 6건, 박과 이외 과채류 4건), 서류 1건, 견과 종실류 1건, 과채가공품 4건이었다. 농약성분이 검출된 농산물은 28건으로 검출률은 32.9%이고 기준을 초과한 농산물은 없었다. 세척농산물을 세척 전 원료농산물과 비교하기 위해 2023년 1월부터 10월까지 경기도보건환경연구원 농수산물검사소 4개

Table 6. Detected pesticides in washed agricultural products

Sub-category	Commodity	Pesticide	Concentration (mg/kg)	MRL ^{a)} (mg/kg)	MRM or SRM				System suitability		
					Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)	Collision energy (V)	CE (V)	LOD ^{a)} (mg/kg)	LOQ ^{a)} (mg/kg)	Determination coefficient (R^2)
Pome fruits	Washed apple1	Acetamiprid	0.0158	0.3	223.0	126.0		30	0.006	0.017	0.9957
		Tebuconazole	0.0202	1.0	250.0	125.0	20		0.013	0.039	0.9999
		Etofenprox	0.0535	1.0	394.3	177.2		25	0.002	0.007	0.9988
		Dinotefuran	0.0385	0.5	203.1	113.0		15	0.019	0.059	0.9989
	Washed apple2	Bifenthrin	0.0145	0.5	181.0	165.9	10		0.011	0.034	0.9998
		Tebuconazole	0.0295	1.0	250.0	125.0	20		0.013	0.039	0.9999
		Carbendazim	0.0492	3.0	192.0	160.1		25	0.005	0.016	0.9967
		Chlorantraniliprole	0.0181	2.0	484.0	452.8		25	0.013	0.041	0.9984
		Diflubenzuron	0.0529	2.0	311.0	158.1		25	0.015	0.045	0.9882
		Etofenprox	0.0835	1.0	394.3	177.2		25	0.002	0.007	0.9988
		Flutriafol	0.0465	1.0	302.0	70.0		55	0.016	0.048	0.9992
	Washed apple3	Pyraclostrobin	0.0181	0.3	388.1	163.1		35	0.016	0.048	0.9975
		Bifenthrin	0.0107	0.5	181.0	165.9	10		0.011	0.034	0.9998
		Tebuconazole	0.0408	1.0	250.0	125.0	20		0.013	0.039	0.9999
		Carbendazim	0.1103	3.0	192.0	160.1		25	0.005	0.016	0.9967
		Diflubenzuron	0.0607	2.0	311.0	158.1		25	0.015	0.045	0.9882
		Dinotefuran	0.0150	0.5	203.1	113.0		15	0.019	0.059	0.9989
		Etofenprox	0.1329	1.0	394.3	177.2		25	0.002	0.007	0.9988
		Flutriafol	0.0416	1.0	302.0	70.0		55	0.016	0.048	0.9992
	Washed apple4	Bistrifluron	0.0106	1.0	444.9	261.8		-30	0.010	0.032	0.9998
Difenoconazole		0.0295	1.0	323.0	265.0	14		0.015	0.045	0.9999	
Propiconazole		0.0282	1.0	172.9	145.0	14		0.009	0.028	0.9997	
Boscalid		0.0236	1.0	139.9	112.0	10		0.013	0.038	0.9998	
Pyridalyl		0.0246	1.0	163.8	146.1	12		0.013	0.040	0.9999	
Trifloxystrobin		0.0276	0.7	116.1	89.0	14		0.011	0.032	0.9999	
Tebuconazole		0.0832	1.0	250.0	125.0	20		0.013	0.039	0.9999	
Pome fruits	Washed apple4	Dinotefuran	0.0243	0.5	203.1	113.0		15	0.019	0.059	0.9989
		Pyraclostrobin	0.0285	0.3	388.1	163.1		35	0.016	0.048	0.9975
		Spirodiclofen	0.0144	2.0	411.0	393.0		15	0.005	0.015	0.9998
		Etofenprox	0.4147	1.0	394.3	177.2		25	0.002	0.007	0.9988

Table 6. Continued

Sub-category	Commodity	Pesticide	Concentration (mg/kg)	MRL ^{a)} (mg/kg)	MRM or SRM				System suitability			
					Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)	Collision energy (V)	CE (V)	LOD ^{a)} (mg/kg)	LOQ ^{a)} (mg/kg)	Determination coefficient (R^2)	
Berries and other small fruits	Frozen blueberrys1	Bifenthrin	0.0788	1.8	181.0	165.9	10		0.011	0.034	0.9998	
		Boscalid	0.0737	10	139.9	112.0	10		0.013	0.038	0.9998	
		Azoxystrobin	0.0612	7.0	404.1	372.1		25	0.015	0.044	0.9987	
		Cyantraniliprole	0.0147	4.0	475.0	285.9		25	0.020	0.061	0.9996	
	Frozen blueberrys2	Phosmet	0.0523	10	160.0	76.9	22		0.009	0.027	0.9962	
		Fenhexamide	0.0215	5.0	302.0	96.9		30	0.016	0.047	0.9880	
	Frozen blueberrys3	Cyprodinil	0.0251	4.0	224.1	208.0	18		0.009	0.028	0.9999	
		Fenpropathrin	0.0627	3.0	265.1	210.1	10		0.008	0.026	0.9996	
	Frozen korean black raspberry1	Azoxystrobin	0.0681	3.0	404.1	372.1		25	0.015	0.044	0.9987	
		Flonicamid	0.0250	0.7	230.1	203.1		25	0.004	0.013	0.9986	
		Sulfoxaflor	0.0355	0.5	278.1	174.1		15	0.023	0.070	0.9916	
	Frozen korean black raspberry2	Azoxystrobin	1.6663	3.0	404.1	372.1		25	0.015	0.044	0.9987	
	Frozen mulberry1	Triflumizole	0.0594	0.3	388.1	163.1	14		0.010	0.031	0.9999	
		Deltamethrin	0.0211	2.0	206.0	179.0	22		0.005	0.015	0.9987	
		Lufenuron	0.1844	0.5	181.0	152.0		-15	0.013	0.040	0.9999	
		Acetamiprid	0.3663	1.5	509.0	338.9		30	0.006	0.017	0.9957	
		Azoxystrobin	0.6921	0.6	223.0	126.0		25	0.015	0.044	0.9987	
		Carbendazim	1.7267	4.0	404.1	372.1		25	0.005	0.016	0.9967	
		Frozen mulberry2	Carbendazim	0.9963	5.0	192.0	160.1		25	0.005	0.016	0.9967
		Frozen strawberry1	Procymidone	0.0162	10.0	95.9	67.1	16		0.009	0.028	0.9997
			Flonicamid	0.0199	1.0	230.1	203.1		25	0.004	0.013	0.9986
		Frozen strawberry2	Tetraconazole	0.0223	1.0	336.0	204.0	28		0.010	0.031	0.9998
		Frozen strawberry3	Difenoconazole	0.0258	0.5	323.0	265.0	14		0.015	0.045	0.9999
Imidacloprid	0.0573		0.4	256.0	209.0		25	0.007	0.022	0.9981		
Azoxystrobin	0.0390		1.0	404.1	372.1		25	0.015	0.044	0.9987		
Frozen wild berry	Fludioxonil	0.0192	2.0	266.1	229.0		25	0.014	0.044	0.9920		
Frozen shine muscat	Dinotefuran	0.0141	5.0	203.1	113.0		15	0.019	0.059	0.9989		
	Tetraniliprole	0.0219	1.5	542.9	136.9		25	0.022	0.067	0.9966		
Stalk and stem vegetables	Welsh onion1	Clothianidin	0.0124	0.3	250.0	132.0		25	0.004	0.011	0.9993	
		Thiamethoxam	0.0298	2.0	292.0	211.0		20	0.012	0.037	0.9935	

Table 6. Continued

Sub-category	Commodity	Pesticide	Concentration (mg/kg)	MRL ^{a)} (mg/kg)	MRM or SRM				System suitability			
					Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)	Collision energy (V)	CE (V)	LOD ^{a)} (mg/kg)	LOQ ^{a)} (mg/kg)	Determination coefficient (R^2)	
Stalk and stem vegetables	Welsh onion2	Fluxametamide	0.0419	3.0	474.0	399.9		25	0.014	0.042	0.9993	
	Welsh onion3	Ethaboxam	0.0321	2.0	321.0	183.0		30	0.019	0.058	0.9863	
		Fludioxonil	0.0127	7.0	266.1	229.0		25	0.014	0.044	0.9920	
	Welsh onion4	Pyraclostrobin	0.0360	4.0	388.1	163.1		35	0.016	0.048	0.9975	
	Welsh onion5	Fluquinconazole	0.0383	0.3	340.0	285.9	24		0.004	0.012	0.9978	
	Welsh onion6	Pyrimethanil	0.0223	3.0	198.1	117.9	30		0.004	0.015	0.9997	
		Diethofencarb	0.0525	10.0	168.0	96.1	12		0.006	0.019	0.9962	
		Carbendazim	0.1237	5.0	192.0	160.1		25	0.005	0.016	0.9967	
Root and tuber vegetables	Snack carrots	Fluopyram	0.0147	0.07	173.0	145.0	14		0.010	0.030	0.9999	
		Pendimethalin	0.0177	0.2	252.1	162.0	8		0.010	0.029	0.9998	
	Julienned lotus root	Linuron	0.0298	0.05	249.0	160.0		25	0.005	0.015	0.9980	
Fruiting vegetables, cucurbits	Sliced melon	Fluopyram	0.0338	0.6	173.0	145.0	14		0.010	0.030	0.9999	
		Dinotefuran	0.0268	1.0	203.1	113.0		25	0.019	0.059	0.9989	
Fruiting vegetables, other than cucurbits	Frozen chili pepper1	Boscalid	0.0321	3.0	139.9	112.0	10		0.013	0.038	0.9998	
		Buprofezin	0.0449	3.0	175.1	132.0	12		0.010	0.029	0.9998	
		Trifloxystrobin	0.0403	2.0	116.1	89.0	14		0.011	0.032	0.9999	
		Fluopyram	0.0814	3.0	173.0	145.0	14		0.010	0.030	0.9999	
		Metconazole	0.0265	1.0	320.2	70.0		40	0.011	0.034	0.9883	
		Metrafenone	0.0190	2.0	409.0	209.1		20	0.024	0.074	0.9958	
		Pyraclostrobin	0.0145	1.0	388.1	163.1		35	0.016	0.048	0.9975	
		Pyridaben	0.0721	5.0	365.0	147.0		35	0.003	0.010	0.9989	
		Sulfoxaflor	0.0321	0.5	278.1	174.1		15	0.023	0.070	0.9916	
		Thiamethoxam	0.0243	1.5	292.0	211.0		20	0.012	0.037	0.9935	
		Flupyradifurone	0.1283	1.5	280.0	126.0		25	0.008	0.025	0.9904	
		Frozen chili pepper2	Procymidone	0.0387	5.0	95.9	67.1	16		0.009	0.028	0.9997
			Chlorfenapyr	0.0203	1.0	136.9	102.0	12		0.010	0.030	0.9999
			Acetamiprid	0.0197	2.0	223.1	126.0		30	0.006	0.017	0.9957
			Cyantraniliprole	0.0135	1.0	474.9	285.9		25	0.020	0.061	0.9996
Flonicamid	0.0274		2.0	230.1	203.1		25	0.004	0.013	0.9986		
Spirodiclofen	0.0416		5.0	411.0	393.0		15	0.005	0.015	0.9998		
Frozen chili pepper3	Tebuconazole	0.0149	3.0	250.0	125.0	20		0.013	0.039	0.9999		

^{a)}MRL: Maximum residue limit

소에서 검사한 총 6,876건의 농산물 잔류농약 검사자료를 사용하였다(Table 5).

세척농산물인 과일류 중 인과류에서는 냉동홍시와 세척사과 4건을 분석하였다. 그 중 세척사과 4건 전부 잔류농약이 미량(0.0106~0.4147 mg/kg) 검출되었으나, 잔류농약 허용기준(MRL, Maximum residue limit)을 초과한 제품은 없었다. 검출된 농약의 종류는 4~10개까지 다양하게 나타났다. 원료농산물에서도 인과류에서 부적합 제품은 없었으나, 검출률은 80.0%로 매우 높았다. 문 등(2022)의 연구에 따르면 인과류 총 36건 중 16종의 농약이 74회 검출되었고 검출범위는 0.0025~0.1188 mg/kg이었다. 핵과류는 농산물 특성상 중심에 씨앗을 제거하면 과육이 허물져서 가공이 용이하지 않은 과일류이다. 단, 복숭아의 경우, 핵과류 중 과육이 단단한 과일로 통조림이나 냉동제품으로 가공·유통되고 있었다. 원료농산물 중 핵과류는 총 86건 검사하였고, 그 중 오미자 2건이 부적합으로 판정되었다. 문 등²⁵⁾의 연구에서는 핵과류 9건 중 잔류농약 12종이 18회 검출되었고, 검출범위는 0.0035~0.1188 mg/kg이었다. 장과류도 과육이 물러 대부분 세척 후 냉동제품으로 유통되고 있었다. 검사결과 15건 중 12건에서 농약성분이 검출되어 검출률은 80.0%로 높았다. 원료농산물 분석결과에서도 장과류에서 부적합은 없었으나, 검출률이 69.95%로 높았다. 열대과일류는 시료 11건 중 신선편의 식품인 컵과인애플 6건 모두 냉장상태로 유통되고 있었고, 아보카도, 망고, 애플망고는 냉동으로 유통되고 있었다. 열대과일류의 경우 대부분 신선편의 식품이나 과채가공품 형태로 유통되고 있으며, 박피된 제품이 많아 잔류농약이 검출된 시료는 없었다. 원료농산물의 경우 110건 중 부적합 제품은 없었으며, 잔류농약이 검출된 시료 25건으로 검출률은 22.7%이었다. 농약성분이 검출된 열대과일류는 각각 바나나 8건, 키위 15건, 망고 2건이었다.

세척농산물인 채소류 중 결구엽채류는 콜리플라워 1건과 브로콜리 2건으로 모두 냉동상태로 유통되고 있었고, 검출된 농약성분은 없었다. 원료농산물 중 결구엽채류의 부적합은 브로콜리 1건으로 살균제 성분인 플루아지남(Fluazinam)이 0.30 mg/kg 검출되어 잔류허용 기준인 0.05 mg/kg을 초과하였다. 엽채류는 대부분 소분포장 형태로 대형유통매장을 통해 유통되고 있었고 소비자 선호도나 짧은 유통기한, 비용면에서 아직 세척 유통은 어려운 실정이었다. 밀키트 같은 간편조리세트에는 엽채류가 일부 포함되어 유통되는 것을 확인하였다. 세척농산물 중 엽채류는 울릉도 데친 부지깅이 1건이며 검출된 농약은 없었다. 특정 수요를 가진 나물류는 주로 데친 냉동식품 형태로 유통되고 있었다. 원료농산물 중 엽채류의 검사건수는 2,790건으로 가장 많았고 검출률은 49.0%(1,367건)이었다.

채소류 중에서는 엽채류나 근채류가 세척농산물 형태로 많이 유통되고 있었다. 주요 농산물로는 엽경채류의 경우

냉동대파나 파채제품이 많았고, 그 밖에 삶은 토란대, 아스파라거스 등이 유통되고 있었다. 근채류는 조직이 단단한 특성이 있어 오래전부터 세척당근, 양파, 우엉, 마늘, 도라지, 더덕 등 다양한 제품이 유통되고 있었다. 세척농산물인 엽경채류 14건 중 간대파 1건, 냉동대파 2건, 파채 3건 총 6건에서 농약성분이 검출되어 검출률은 42.9%이었다. 원료농산물인 근채류의 분석결과는 총 370건 중 무와 생강에서 기준을 초과하는 농약성분이 검출되었다. 세척농산물인 박과과채류에는 농산물인 냉동단호박 1건과 얼린수박 1건이 있었고, 신선편의 식품으로 조각수박 1건과 조각멜론 1건이 있었다. 과채가공품으로는 냉동애호박 1건과 얼린수박이 1건 있었다. 신선편의 식품 중 조각멜론 제품에서 잔류농약이 검출되었다. 세척농산물인 박과 이외 과채류는 냉동청양고추 3건과 스테비아대추방울토마토 1건으로 총 4건이었다. 그중 냉동청양고추 3건에서 여러종류의 농약이 검출되었다. 원료농산물에서도 건고추 등 고추 3건과 가지 1건에서 잔류농약 허용기준을 초과한 것으로 나타났다.

세척농산물 중 서류인 간감자 1건과 견과류에 속하는 간밤 1건은 조직이 단단하여 박피된 상태로 많은 제품이 유통되고 있었다. 원료농산물인 서류와 견과류에서는 검출 이력이 없어 세척농산물에서는 추가 검사를 진행하지 않았다. 이 등(2023)의 연구에서는 유통 견과종실류 총 131건 중 8건(6.1%)에서 잔류농약이 검출되었다. 검출된 8건 중 7건이 중국산 호박씨 제품으로 동일하여, 이 제품을 제외하면 견과종실류는 낮은 검출률을 보였다. 세척농산물인 기타 과채가공품은 냉동야채믹스 4건으로 검출된 농약은 없었다. 이 제품들은 여러 가지 야채가 세척 후 박피나 비가식부 제거뿐 아니라 먹기 좋은 크기로 절단, 혼합되어 있어 가공단계가 복잡한 제품이었다.

농산물은 점차 부가가치가 높은 가공식품 형태로 변해갈 것으로 예상되지만, 가공식품에 대한 잔류농약 허용기준이 명확하지 않았다. 식품공전에 따르면 가공식품의 농약 잔류허용기준은 “원료의 함량에 따라 원료 농산물의 기준을 적용하고, 건조 등의 과정으로 인하여 수분 함량이 변화된 경우는 수분 함량을 고려하여 적용한다”라고 되어 있다(MFDS (2023)). 이 기준은 같은 유형의 제품이라도 가공의 정도에 따라 가공계수와 첨가제 및 원료 농산물 등의 성분 및 배합 비율에 따라 기준이 달라져서 동일한 기준을 적용하는데 어려움이 있다.

본 연구는 가공식품을 포함한 세척농산물에 대한 모니터링을 통해 잔류농약 실태를 파악하였다. 향후 잔류농약 관리정책을 정비하는데 중요한 자료가 될 것으로 생각한다.

결 론

유통 중인 세척농산물의 잔류농약 오염실태를 조사하기

위해 2023년 3월부터 11월까지 대형유통매장 및 온라인에서 판매되는 세척농산물 총 85건(과일류 32건, 채소류 47건 서류 1건, 견과종실류 1건, 기타 가공식품 4건)에 대해 잔류농약 471종을 분석했다. 분석결과 잔류농약 기준을 초과하는 농산물은 없었지만 인과류와 장과류에서는 잔류농약 검출률이 80.0%로 높게 나타났다. 엽경채류에서는 모든 대과에서 잔류농약이 검출되었다. 가공식품인 신선편의 식품에서 살균제 성분인 Fluopyram과 살충제 성분인 Dinotefuran이 미량 검출되었다. 또한 일부 제품(세척사과, 냉동청량고추)에서는 잔류농약 기준을 초과하지 않았으나 한 가지 농산물에 여러 종류의 농약이 검출되었다. 농산물 유통형태는 소분판매 형태에서 단순처리 농산물이나 가공식품 형태로 변화할 것으로 예상되고 있어 세척농산물 등 가공식품에 대한 잔류농약 안전성 확보가 필요하다.

Author Information and Contributions

Sang Hun Cho, Suwon Agricultural and Fishery Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Research official for health. ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0491-1464>

Research design; Kim MG, and Park MK, Investigation; Lee YE, Jang MK, Jeong AY, Kim AR, Park YJ, Chae KS, and Kim JW.

Kim MG, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-5411-8130>

Park MK, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9056-5499>

Lee YE, ORCID <http://orcid.org/0000-0003-4544-9533>

Jang MK, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-3566-7791>

Jeong AY, ORCID <http://orcid.org/0000-0003-3565-3514>

Kim AR, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2868-2096>

Park YJ, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2429-8687>

Chae KS, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8001-9574>

Kim JW, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-8768-2152>

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2013.

- Guidelines for Single Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals, pp. 1-38.
- Bae JY, Yun DY, Kang NS, Choe WJ, Jeong YH, et al., 2023. Investigation on pesticide residues in agricultural products in domestic markets using LC-MS/MS and GC-MS/MS. *J. Food Hyg. Saf.* 38(3):131-139. (In Koeran)
- Cho SD, Park JY, Kim EJ, Kim DM, Kim GH, 2007. Quality evaluation of fresh-cut products in the market. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 36(5):622-628. (In Koeran)
- Establishing 'Smart APC'-Clicking for Digital Distribution Innovation, *Farmers' Newspaper*, 2023.9.24., Retrieved from <https://www.nongmin.com/article/20230922500380>. (Accessed Nov. 21. 2023)
- Geochang County selected by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs for a project in the agricultural distribution sector, *Asia Economy*, 2023.11.20., Retrieved from <https://view.asiae.co.kr/article/2023111919404262688>. (Accessed Nov. 21. 2023)
- GIHE (Gyeonggi do Institute of Health and Environment), 2024. 2023 Pesticide Residue Statistical Yearbook in Korea. Innovation in distribution, increased income, and the shortcut to revitalizing local economies, *Wonye Monthly*, 2023.12.1., Retrieved from <http://www.hortitimes.com/news/article/View.html?idxno=31475>. (Accessed Dec. 21. 2023)
- Kang TM, Cho SK, Park JY, Song KB, Chung MS, et al., 2011. Analysis of microbial contamination of sprouts and fresh-cut salads in a market. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43(4): 490-494. (In Koeran)
- Kim AR, Kim KC, Moon SA, Kim HT, Lee CH, et al., 2022. Analysis of pesticide residues in frozen fruits and vegetables. *J. Food Hyg. Saf.* 37(2):69-79. (In Koeran)
- Kim JA, Lee SD, Hwang KH, Song MO, Park JE, et al., 2016. Bacterial contamination reduction of minimally processed agricultural products using antibacterial foods and molecular biological analysis. *J. Food Hyg. Saf.* 31(1):8-14. (In Koeran)
- KREI (Korea Rural Economic Institute), 2009. Current Status of Fresh-Cut Produce Market in Korea and Stimulus Measures, KREI reprot 602 in Korea.
- KREI (Korea Rural Economic Institute), 2014. A Study on Efficient Management for Quality and Safety of Simple processed Agricultural Products, KREI reprot 199 in Korea.
- KREI (Korea Rural Economic Institute), 2019. Reserch on Fresh-cut Fruits and Vegetables, KREI reprot 880 in Korea.
- KREI (Korea Rural Economic Institute), 2020. In 2020, the fresh produce sector surpassed 1 trillion won in the fruit and vegetable market, necessitating a stable supply system, Press report in Korea.
- Lee KB, Kim NW, Song NS, Lee JH, Jung SM, et al., 2019. A safety survey of pesticide residues in fruit products cicultured in Chungcheongnam-do province, Korea. *J. Food Hyg. Saf.* 34(5):421-430. (In Koeran)
- Lee YN, Moon SK, Lee JH, Kim AR, Moon KE, et al., 2023. Monitoring pesticide residues in nuts and seeds in

- Gyeonggi-do. J. Food Hyg. Saf. 38(3):152-157. (In Koeran)
- MAFRA (Ministry of Agriculture Food and Rual Affairs), 2023. Promotion of a 6% reduction in distribution costs through digital transformation of agricultural product distribution, Press report in Korea.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), 2014. Guidelines for classifying processed foods, Ministry of Food and Drug Safety, Osong, Korea.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), 2023. Korean Food Code, Osong, Korea.
- Moon KE, Park MK, Bae HJ, Lee JH, Lee YN, et al., 2022. Comparison of pesticide residus in fruits by part. J. Food Hyg. Saf. 37(4):260-270. (In Koeran)
- NIFDS (National Institute of Food and Drug Safety Evaluation), 2016. Guidelines on standard procedures for preparing analysis method.
- North Jeolla Province Takes Initiative in Activating Agricultural Pre-processing Industry and Exploring Markets, Korean Agriculture Affairs, 2023.8.24., Retrieved from <https://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=61254> (Accessed Nov. 21. 2023)
- Notification No. 2023-12 of NAQS, Standard specifications for agricultural produce.
- Ongjin County to provide 14 agricultural produce washers to farming households, Sinha libo, 2023.4.17., Retrieved from <https://www.shinailbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=1689794> (Accessed Nov. 21. 2023)
- Park BK, Jung SH, Kwon SH, Ye EY, Lee HJ, et al., 2020. Monitoring and risk assessment of pesticide residues on stalk and stem vegetables marketed in Incheon Metropolitan Area. J. Food Hyg. Saf. 35(4):365-374. (In Koeran)
- Son SH, Kim SJ, Kim KC, Kim HR, Yun KS, 2011. Changes in quality characteristics of fresh-cut produce during refrigerated storage. Korean J. Food Sci. Technol. 43(4):495-503. (In Koeran)
- Sung GH, Hwang IY, Park SH, Park SH, Kim BJ, et al., 2017. Study on microbiological safety of simple processed agricultural products. Korean J. Food Sci. Technol. 49(6):599-604. (In Koeran)

유통 세척농산물 잔류농약 모니터링

조상훈* · 김명길 · 이예은 · 장미경 · 정아용 · 김아람 · 박예지 · 채경석 · 김지원 · 박명기
경기도보건환경연구원 수원농수산물검사소

요 약 유통 중인 세척농산물의 잔류농약 실태를 조사하기 위해 2023년 3월부터 11월까지 대형유통매장 및 온라인에서 판매되는 세척농산물 총 85건(과일류 32건, 채소류 47건 서류 1건, 견과종실류 1건, 기타 가공식품 4건)에 대해 잔류농약 471종을 분석하였다. 분석결과 잔류농약 기준을 초과하는 농산물은 없었지만, 인과류와 장과류에서는 잔류농약 검출률이 80.0%로 높게 나타났다. 엽경채류에서는 모든 대파에서 잔류농약이 검출되었다. 가공식품인 신선편의 식품에서 살균제 성분인 Fluopyram과 살충제 성분인 Dinotefuran이 미량 검출되었다. 또한 일부 제품(세척사과, 냉동청량고추)에서는 잔류농약 기준을 초과하지 않았으나 한 가지 농산물에 여러 종류의 농약이 검출되는 경우가 있어 해당 제품에 대한 관리방안이 필요하다.

색인어 세척농산물, 신선편의 농산물, 잔류농약, GC-MS/MS, LC-MS/MS