pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 36, No. 2, pp. 163~171 (2021)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.2.163

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

농약 허용물질목록관리제도(PLS) 도입에 따른 서울 강서지역 농산물 잔류농약 실태

김창규* · 이재규 · 오세아 · 김영은 · 권은영 · 양혜란 · 황래홍
서울특별시보건환경연구원 강남농수산물검사소

Monitoring of Pesticide Residues in Agricultural Products in Gangseo, Seoul, by Introduction of the Positive List System

Chang-Kyu Kim*, Jae-Kyoo Lee, Se-A Oh, Young-Eun Kim, Eun-Young Kwon, Hae-Ran Yang, Lae-Hong Hwang
Department of Kangnam Agrofishery, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Gwacheon, Korea

(Received March 22, 2021/Revised April 10, 2021/Accepted April 15, 2021)

ABSTRACT - This study was conducted to investigate concentrations of pesticide residues in commercial agricultural products collected in the Gangseo area of Seoul from 2018 to 2020. We evaluated the effectiveness of introducing the positive list system (PLS) to monitor pesticide residues exceeding the maximum residue limit (MRL). due to the introduction of the PLS (positive list system). The total number of samples was 8,081 for agricultural products and these were analyzed by multi-residue methods for 340 pesticides using GC-MS/MS, GC-MSD and HPLC-MS/MS. The violation rates of the samples over the MRLs of pesticide residues established by the Ministry of Food and Drug Safety in the surveys from 2018, 2019 and 2020 were 2.5%, 1.9% and 1.4%, respectively. Chi-square test analysis was performed to determine the relationship between the introduction of the PLS and the status of violation by year. The analysis result was χ^2=8.383, P=0.015. As the P level of P<0.05 was statistically significant, it was found that the violation rates decreased with the introduction of PLS.

Key words : Pesticide residue, Agricultural products, Positive List System, Maximum Residue Limit

2019년 1월 1일부터 전체 농산물을 대상으로 시행된 농약 허용물질목록관리제도(positive list system, PLS)는 농산물의 안전성을 강화하기 위해 잔류허용기준이 설정되지 않은 농약에 대해 일률적으로 0.01 ppm을 적용하여 관리하는 것을 말한다[1]. 즉 기존에 설정된 농약 잔류허용기준(maximum residue limit, MRL)은 동일하게 적용하되, 기준이 설정되지 않아 국제식품규격위원회(CODEX)나 유사 농산물의 최저기준 등을 적용하던 농약에 대해 0.01 ppm이라는 기준을 도입하는 제도이다. PLS 제도는 수입식품의 증가에 따라 국내에 등록되지 않은 농약 유입의 사전 차단이 필요하고, 국내에서 안전성의 문제로 금지했던 농약이 편법적으로 유입되는 것을 방지하기 위해 도입되었다[2]. 이에 안전사용기준이 설정되어 있지 않은 농약 사용 문제점을 방지하고[3,4], 현장에서 과도한 농약 살포를 사전 차단 함으로써 소비자들의 먹거리 안전을 보장할 수 있는 길이 열리게 되었다.

그러나 현장의 농업인들은 사용 가능한 농약의 감소, 비의도적인 농약의 잔류 문제, 농약 사용 이해도 등을 모두 고려해야 하기 때문에 PLS 제도 적응을 우려하고 있다[5]. 특히 등록된 농약이 부족한 1,000 ha 미만 소면적 작물은 농약 회사에서 농약 개발과 등록을 꺼려하고 있어 이에 대한 대책도 시급하다[6]. 게다가 토양에 잔류되어 있는 농약과 농약 살포시 비산하는 오염 문제, 무엇보다도 현장에서 허가된 농약을 허용된 사용량에 맞게 사용하는 절차 숙지는 PLS 제도 도입을 부담스럽게 하는 요인이다.

한편으로는 그동안 PLS 기준을 적용 받지 않았던 농약들이 본격적인 관리에 들어감에 따라 잔류농약 검사의 부적합률 증가가 예상된다. 이는 국내 농산물의 출하량과 공급량 감소에 영향을 미칠 것으로 판단되며, 실제로 PLS

*Correspondence to: Chang-Kyu Kim, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Gwacheon 13818, Korea
Tel: +82-2-2640-6600, Fax: +82-2-2640-6604
E-mail: ckkim0707@seoul.go.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

제도 도입으로 인해 국내 생산에 영향을 미칠 수 있는지 확인할 필요가 있다[2]. 따라서 농산물의 잔류농약 안전성 검사 활동을 통해 PLS 제도 시행의 정착 상태를 신속하게 파악함으로써, 농가 피해를 최소화하고 제도 시행이 안정화 될 수 있도록 노력해야 한다.

서울 강서농수산물도매시장은 전국에서 두 번째로 큰 공영도매시장으로 서울 강서지역의 농산물 유통을 관리하며, 2019년 기준 63만 톤 이상의 물동량과 1조 원 이상의 거래 실적을 기록하고 있다[7]. 본 연구는 서울 강서농수산물도매시장과 강서지역 대형유통매장에서 유통되는 농산물을 PLS 제도 도입 전 2018년, 도입 후 2019, 2020년으로 나누어 3년간의 잔류농약 검사 결과를 확인하였으며, PLS 제도 시행으로 나타난 유통 농산물의 잔류농약 실태를 살펴보았다. 이를 통해 PLS 제도 도입으로 인한 농업인들의 불안감을 안정시키고 정확한 정보를 제공함으로써 소비자들의 먹거리 안전에 기여하고자 하였다.

Materials and Methods

시험재료 및 분석농약

2018년 1월부터 2020년 12월까지 3년간 서울 강서농수산물도매시장과 강서지역 대형유통매장에서 유통되고 있

Table 1. List of selected pesticides monitored in the study

Classification	Pesticide
Insecticide (108)	Acrinathrin, 2,3,5-Trimethacarb, Aldicarb, Aldrin, Aramite, Aspon, Azamethiphos, Azinphos-Ethyl, Bendiocarb, BHC, Bifenthrin, Bromophos-ethyl, Bromophos-methyl, Carbaryl, Carbophenothion, Chlorantraniliprole, Chlorbufam, Chlordane, .Chlorethoxyfos, Chlorfenapyr, Chlornitrofen, Chlorobenzuron, Chloroxuron, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, Coumaphos, Crufomate, Cyanophos, Cycloprothrin, DDT, Diazinon, Dichlofenthion, Dicrotophos, Dimethoate, Dioxathion, Endosulfan, EPN, Esprocarb, Ethiofencarb, Ethion, Ethoprophos, Etofenprox, Etrimfos, Fenchlorphos, Fenitrothion:MEP, Fenobucarb, Fenson, Fenthion, Fipronil, Flubendiamide, Flufenoxuron, Flumetralin, Flupyradifurone, Fonofos, Formothion, Heptachlor, Heptenophos, Hexaflumuron, Imidacloprid, Indoxacarb, Isazofos, Isofenphos, Isoprocarb, Lufenuron, Malaoxon, Malathion, Mecarbam, Mephosfolan, Methidathion, Methiocarb, Methomyl, Methoxychlor, Methoxyfenozide, Methyltrithion, Metolcarb, MGK-264, Nitenpyram, Novaluron, ParathionEthyl, ParathionMethyl, Permethrin, Perthane, Phenthoate, Phosalone, Phosfolan, Phosmet, Pirimiphos-ethyl, Pirimiphos-methyl, Promecarb, Propetamphos, Propoxur, Prothiofos, Pyridaben, Pyrimidifen, Pyriproxyfen, Quinalphos, Silafluofen, Sulprofos, Tebufenozide, Tebufenpyrad, Tebupirimfos, Teflubenzuron, Tefluthrin, Tetrachlorvinphos, Tetramethrin, Thiamethoxam, Thionazin, XMC
Fungicide (82)	Amisulbrom, Azaconazole, Azoxystrobin, Benalaxyl, Benodanil, Bixafen, Boscalid, Bupirimate, Chinomethionat, Chloroneb, Chlozolinate, Cymoxanil, Cyproconazole, Diclobutrazol, Dicloran, Diethofencarb, Diniconazole, Diphenylamine, Edifenphos, Epoxiconazole, Etaconazole, Ethaboxam, Etridiazole, Fenamidone, Fenfuram, Fenhexamid, Fludioxonil, Fluopyram, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutianil, Flutolanil, Flutriafol, Hexachlorobenzene, Imibenconazole, Ipconazole, Iprodione, Isoprothiolane, Kresoxim-methyl, Leptophos, Mepanipyrim, Mepronil, Metominostrobin, Metrafenone, Myclobutanil, Nitrapyrin, Nitrothal-isopropyl, Nuarimol, Ofurace, Oxadixyl, Penconazole, Penflufen, Pentachlorobenzonitrile, Penthiopyrad, Phthalide, Picoxystrobin, Probenazole, Procymidone, Proquinazid, Prothioconazole, Pyracarbolid, Pyraclostrobin, Pyrazophos, Pyrimethanil, Pyroquilon, Quinoxyfen, Quintozene, Simeconazole, Spiroxamine, Tetraconazole, Thifluzamide, Tiadinil, Tolclofos-methyl, Tolylfluanid, Triadimefon, Triadimenol, Tricyclazole, Trifloxystrobin, Triflumizole, Triticonazole, Vinclozolin, Zoxamide
Herbicide (125)	Alachlor, Allidochlor, Ametryn, Anilofos, Atrazine, Benoxacor, Bensulide, Benzoylprop-ethyl, Bromacil, Bromobutide, Butachlor, Butafenacil, Butralin, Butylate, Carbetamide, Chlorflurenol-methyl, Chlorimuronethyl, Chlorotoluron, Chlorthaldimethyl, Cinidon-ethyl, Cinmethylin, Clomazone, Clomeprop, Cyanazine, Cyazofamid, Cycloate, Cyhalofop-butyl, Cyprazine, Desmetryn, Diallate, Dichlormid, Diclofop-methyl, Diethatyl-ethyl, Diflufenican, Dimepiperate, Dimethachlor, Dimethametryn, Dimethenamid, Dinitramine, Diphenamid, Dithiopyr, EPTC, Ethalfluralin, Ethofumesate, Fenclorim, Flampropisopropyl, Fluazifop-butyl, Fluazinam, Fluchloralin, Flufenacet, Flufenpyr-ethyl, Flumiclorac-pentyl, Flumioxazine, Fluometuron, Fluorochloridone, Fluridone, Flurtamone, Fluthiacet-methyl, Hexazinone, Imazamox, Imazapic, Imazaquin, Imazethapyr, Indanofan, Isopropalin, Isoproturon, Isoxaben, Isoxadifen-ethyl, Lactofen, Lenacil, Mefenacet, Mefenpyr-diethyl, Metamitron, Metazachlor, Methabenzthiazuron, Methoprotryne, Metolachlor, Metribuzin, Molinate, Monolinuron, Napropamide, Neburon, Norea(Noruron), Norflurazon, Oxadiazon, Oxaziclomefone, Oxyfluorfen, Pebulate, Pentoxazone, Phenmedipham, Picolinafen, Pinoxaden, Pretilachlor, Profluralin, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propaquizafop, Propazine, Propisochlor, Propyzamide, Prosulfocarb, Pyraclonil, Pyraflufen-ethyl, Pyrazolate, Pyribenzoxim, Pyributicarb, Pyridate, Quinoclamine, Secbumeton, Simazine, Simetryn, Sulfentrazone, Tebuthiuron, Tepraloxydim, Terbumeton, Terbuthylazine, Terbutryn, Thenylchlor, Thiazopyr, Tri-allate, Tridiphane, Trifluralin, Vernolate
Miticide (18)	Acrinathrin, Bromopropylate, Chlorbenside, Chlorfenson, Chlorobenzilate, Chloropropylate, Chlorthiophos, Etoxazole, Fluacrypyrim, Halfenprox, Hexythiazox, Lindane, Spirodiclofen, Sulfotep, Tetradifon, Tetrasul, Thiometon, Tolfenpyrad, Triazophos
Growth regulator (7)	2,6-diisopropylnaphthalene, Chlorpropham, Forchlorfenuron, Paclobutrazol, Propham, Tribufos, Uniconazole

는 농산물 중 채소류 6,939건, 과일류 640건, 버섯류 236건, 향신식물 89건, 서류 169건, 기타 8건(전체 8,081건, 2018년 2,733건, 2019년 2,533건, 2020년 2,815건)에 대하여 식품공전 다종농약 다성분 분석법 제2법에 해당하는 항목 중 동시분석이 가능한 340종 잔류농약을 선정하여 분석하였다(Table 1).

농약 표준품 및 시약

잔류농약 분석용 표준품(AccuStandard, New Haven, CT, USA)을 사용하였다. 추출 및 정제용매로 acetone, methanol, dichloromethane, hexane (Kanto, Tokyo, Japan)을 사용하였다. Acetonitrile (J.T. Baker, Phillipsburg, NJ, USA), 그리고 NaCl (Junsei, Tokyo, Japan)을 사용하였다. 정제카트리지는 가스크로마토그래피 분석을 위해 Florisil cartridge (Agilent technologies, Folsom, CA, USA) 6 mL, 1 g을, 액체크로마토그래피 분석을 위해 NH_2 cartridge (Agilent technologies, Folsom, CA, USA) 6 mL, 1 g을 사용하였다.

분석방법 및 기기

시료의 전처리 및 분석은 식품공전 식품 중 잔류농약 분석법 중 다종농약다성분 분석법 제2법에 따라 acetonitrile 추출법을 이용하여 정제·분석하였으며, 340종 농약성분에서 GC-MS/MS (gas chromatography–tandem mass spectrometry) 분석은 TSQ9000 triple quadrupole mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific Inc., Austin, TX, USA)와 Gas chromatograph/mass selective detector (7890A, Agilent

Table 2. Analytical conditions of GC/MSD

Instrument		Agilent 7890A
Column		HP-5MS 5% phenyl methyl siloxane (30 m×250 μm ID×0.25 μm film thickness)
Oven temp.		100°C (2 min) → 10°C/min → 200°C (2 min)→ 10°C/min →260°C (8 min)→ 10°C/min →270°C (0 min)
Injection temp.		250°C
Carrier gas		He (splitless, 1.0 mL/min)
MSD	Ionization method	Electron impact at 70 eV
	Ion source temp.	230°C
	Transfer line temp.	280°C
	Scan range	50~550 m/z (2.9 scan/sec)

Table 3. Analytical conditions of LC-MS/MS

Instrument		Agilent Technologies 6495 Triple Quad LC/MS	
Ionization mode		Electrospray ionization (AJS ESI, positive)	
Gas parameters		Sheath Gas(Arb) : 40.0 Aux Gas(Arb) : 15.0 Sweep Gas(Arb) : 1.0	
Scan mode		SRM (selected reaction monitoing)	
Column		Accucore aQ C18 (2.1×100 mm, 2.6 μm)	
Column oven		30°C	
Injection vol.		2 μL	
Flow rate		0.35 mL/min	
Mobile phase		A: 0.1% formic acid, 5 mM ammonium formate in water B: 0.1% formic acid, 5 mM ammonium formate in methanol	
Gradient program	Time (min)	A(%)	B(%)
	0.0	95	5
	5.0	45	55
	7.0	45	55
	9.0	5	95
	12.0	5	95
	11.1	95	5

Table 4. Analytical conditions of GC-MS/MS

Instrument	Thermo scientific Trace 1310
Column	TG-SQC, 15 m×0.25 mm, 0.25 μm film
Oven program	Initial 70°C, hold 3 min, then 15°C/min to 160°C, next 5°C/min to 300°C, and hold for 3 min
Injection volumn	2 μL (splitless)
Carrier gas	Helium (1 mL/min)
Total running time:	40 min
MS/MS system	Thermo Fisher Scientific TSQ9000
Ionization mode	EI mode
Transfer line temperature	280°C
Ion source temperature	300°C
Collision gases	Argon

technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였고, LC-MS/MS (liquid chromatography–tandem mass spectrometry) 분석은 TSQ Altis triple quadrupole mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific Inc., San Jose, CA, USA)를 이용하여 분석하였다. GC-MS/MS으로 분석하는 농약은 acetonitrile로 추출 후, Florisil SPE cartridge를 이용하여 정제(clean-up) 하였고, 20% acetone 함유 hexane에 녹여 시험용액으로 하였다. LC-MS/MS로 분석하는 농약은 acetonitrile로 추출 후, NH_2 SPE cartridge를 이용하여 정제(clean-up) 하였고, 1% methanol 함유 dichloromethane으로 용출과정을 거쳐 건조한 후 acetonitrile에 녹여 시험용액으로 하였다. 기기분석에 사용된 조건은 Table 2-4에 나타냈다. GC-MS/MS와 LC-MS/MS는 정성 및 정량분석을 동시에 진행하기 위해 모분자 이온(precursor ion)으로부터 생성되는 자분자 이온(product ion)을 농약별 각 2개씩 선정하였고, 농약 각각의 머무름 시간을 미리 지정하였다. 이를 통해 가장 강도가 높은 이온을 정량분석이온으로 설정하고, 다음으로 강도가 높은 이온을 정성분석 이온으로 설정하여 분석하였다[8].

통계적 분석

각 특성별 잔류농약 검출에 대한 빈도의 차이는 카이제곱 검정을 통해 확인하였고, 연도별 검사품목 선정오류를 확인하기 위해 일원배치 분산분석법을 사용하였다. 통계처리는 SPSS Statistics ver. 24 (IBM, Armonk, NY, USA)로 시행하였으며, 결과에 대한 통계적 유의 수준 5%에서 시료간 유의성 검정을 실시하였다.

Result and Discussion

농산물별 잔류농약 검출 및 부적합 현황

2018년 1월부터 2020년 12월까지 서울 강서지역에서 유통된 농산물 전체 8,081건(2018년 2,733, 2019년 2,533, 2020년 2,815)에 대하여 동시분석이 가능한 340종을 대상으로 잔류농약 실태를 조사하였다(Table 5). 전체 농산물 중 검출된 농산물은 2018년 213건(7.8%), 2019년 115건(4.5%), 2020년 129건(4.6%)으로 2018년 농산물에서 높게 나타났으며, 농약 잔류허용기준을 초과한 부적합 농산물은 2018년 67건(2.5%), 2019년 49건(1.9%), 2020년 39건(1.4%)이었다.

농산물 분류에 따른 잔류농약 검출현황은 식품공전에 따라 분류하였으며 내용은 Table 5와 같다[9]. 채소류는 2018년 2,346건 중 잔류농약 검출이 181건(7.7%), 부적합 61건(2.6%), 2019년 2,269건 중 검출 99건(4.4%), 부적합 38건(1.7%), 2020년 2,324건 중 검출 111(4.8%), 부적합 36건(1.5%)으로 나타났으며, 과일류의 농약 검출은 2018년 319건 중 25건(7.8%), 2019년 89건 중 5건(5.6%), 2020년 232건 중 14건(6.0%)으로 부적합은 없었다. 나머지는 미미한 수준으로 나타났으며, 주로 채소류, 과일류, 향신식물에서 3년간 전체 검출의 95% 이상을 차지했고, 채소류와 향신식물이 전체 부적합의 99% 이상을 차지했다.

3년간 가장 많은 검사 건수를 차지한 채소류의 검출 비율을 보면 엽채류 6.5%(308건), 엽경채류 5.7%(51건), 박과 이외 과채류 6.4%(20건), 박과 과채류 2.3%(9건) 순으로 검출률이 높았으며, 결구 엽채류와 근채류는 상대적으로 검출률이 낮았다. 부적합 비율에서도 엽채류 2.5%(118건), 엽경채류 1.4%(13건), 박과 이외 과채류 1.0%(3건), 박과 과채류 0.3%(1건) 순으로 부적합이 많았으며, 결구 엽채류와 근채류는 부적합이 없었다. 엽채류가 상대적으로 검출률과 부적합이 높은 이유는 중량에 비해 표면적이 넓어 농약 잔류 가능성이 높고, 시설재배로 인해 외부 환경요인에 인한 농약 분해요인이 감소하기 때문인 것으로 판단된다[10]. 과일류에서는 핵과류 13.1%(11건), 장과류 10.7%(17건), 감귤류 6.9%(9건), 인과류 4.5%(7건), 열대과일류 0.0%(0건) 순으로 검출률이 조사되었고 과일류 전체가 부적합은 없었다. 핵과류와 장과류 중 가장 검출률이

Table 5. Results of pesticide residue monitoring in agricultural commodities in 2018-2020

Crop	Group	Commodity	No. of sample			No. of sample violated /No. of sample detected (%)					
			2018	2019	2020	2018		2019		2020	
Vegetable	Total		2,733	2,533	2,815	67/213	(2.5/7.8)	49/115	(1.9/4.5)	39/129	(1.4/4.6)
	Leafy vegetable	Lettuce (leaf)	308	207	177	2/16	(0.6/5.2)	2/6	(1.0/2.9)	2/9	(1.1/5.1)
		Spinach	296	236	186	3/22	(1.0/7.4)	5/22	(2.1/9.3)	2/12	(1.1/6.5)
		Ssam cabbage	206	181	175	3/18	(1.5/8.7)	1/9	(0.6/5.0)	1/9	(0.6/5.1)
		Perilla leaves	100	76	75	4/9	(4.0/9.0)	1/6	(1.3/7.9)	3	(1.3)
		Radish leaves	184	159	128	8	(4.3)	1/1	(0.6)	3	(2.3)
		Crown daisy	198	108	116	2/4	(3.1/6.2)	4/4	(3.7/3.7)	12/15	(10.3/12.9)
		Chicory	130	84	54	4/8	(0.1/0.3)	2/2	(2.4/2.4)		
		Kale	3	7	12	3/3	(100.0/100.0)				
		Pak-cho	44	45	67	2/2	(4.5/4.5)	1/1	(2.2/2.2)		
		Chamnamul	24	13	19	9/12	(37.5/50.0)	4/6	(30.8/46.2)	4	(21.1)
		Curled mallow	176	119	121	4/9	(2.3/5.1)	2/3	(1.7/2.5)	1/2	(0.8/1.7)
		Pumpkin (leaves)	16	6	2	1/1	(6.3/6.3)				
		Chwinamul	5	8	8	1	(20.0)			2	(5.0)
		Mustard leaf	33	16	12	3	(9.1)	1/4	(6.3/25.0)		
		Bi-reum	23	19	6	6/12	(26.1/52.2)	1	(5.3)	4/4	(66.7/66.7)
		Chard	125	97	118	5/15	(4.0/12.0)	4/5	(4.1/5.2)	3/5	(2.5/4.2)
		Others	48	59	71	4/7	(8.3/14.6)	4/7	(6.8/11.9)	9/15	(12.8/18.3)
		Subtotal	1,923	1,442	1,340	52/150	(2.7/7.8)	32/77	(2.2/5.3)	34/81	(2.5/6.0)
	Stalk and stem vegetable	Welsh onion	40	86	107	2/6	(5.0/15.0)	2	(2.3)	3	(2.8)
		Leek	68	84	86	1/12	(1.5/17.6)	1/3	(1.2/3.6)	6	(7.0)
		Water dropwort	45	44	46	1/3	(2.2/6.7)				
		Celery	2	4	6	1/1	(50.0/50.0)	1/2	(25.0/50.0)	1/2	(14.3/28.6)
		Green garlic	4	6	5			1	(16.7)		
		Wild garlic	4	1	6						
		Others	24	125	104	2/3	(8.3/12.5)	3/5	(2.4/4.0)	2	(1.9)
		Subtotal	187	350	360	7/25	(3.7/13.4)	5/13	(1.4/3.7)	1/13	(0.3/3.6)
	Root and tuber vegetable	Carrot	4	50	55					1	(1.8)
		Radish (root)	12	41	62			1	(2.4)	1	(1.6)
		Onion	8	49	66						
		Garlic	6	12	18						
		Others	6	13	19						
		Subtotal	36	165	221			1	(0.6)	2	(0.9)
	Fruiting vegetable and cucurbits	Cucumber	45	45	51	1	(2.2)	2	(4.4)	3	(5.9)
		Squash	28	69	79					1/1	(1.3/1.3)
		Korean melon	9	8	13					1	(7.7)
		Others	5	7	33					1	(3.0)
		Subtotal	87	129	176	1	(1.1)	2	(1.6)	1/6	(0.6/3.4)
	Fruiting vegetable without cucurbits	Chili pepper	15	20	19	2/4	(13.3/26.7)	1/3	(5.5/15.0)	4	(21.1)
		Sweet pepper	11	20	30			1	(5.0)	3	(10.0)
		Eggplant	14	36	25	1	(7.1)	2	(5.6)	1	(4.0)
		Tomato	34	25	62					1	(1.6)
		Subtotal	74	101	136	2/5	(2.7/6.8)	1/6	(1.0/5.9)	9	(6.6)
	Flowerhead brassicas	Broccoli	11	15	18						
		Kimchi cabbage	18	17	15					1	(6.7)
		Others	10	50	58						
		Subtotal	39	82	91					1	(1.1)
	Subtotal		2,346	2,269	2,324	61/181	(2.6/7.7)	38/99	(1.7/4.4)	36/111	(1.5/4.8)

Table 5. (Continued) Results of pesticide residue monitoring in agricultural commodities in 2018-2020

Crop	Group	Commodity	No. of sample			No. of sample violated /No. of sample detected (%)					
			2018	2019	2020	2018		2019		2020	
Fruit	Stone fruit	Jujube	2	1	2	1	(50.0)				
		Peach	13	3	16	1	(7.7)			1	(6.3)
		Cherry	10	2	3	5	(50.0)				
		Others	12	6	14					3	(21.4)
		Subtotal	37	12	35	7	(18.9)			4	(11.4)
	Pome fruit	Apple	24	15	29	1	(4.2)	1	(6.7)	5	(17.2)
		Persimon	12	8	15						
		Others	15	10	27						
		Subtotal	51	33	71	1	(2.0)	1	(3.0)	5	(7.0)
	Citrus fruit	Mandarin	38	16	33	2	(5.3)	1	(6.3)	4	(12.1)
		Orange	11	1	6						
		Lemon	8		1						
		Grapefruit	8	2	5	2	(25.0)				
		Subtotal	66	19	45	4	(6.1)	1	(5.3)	4	(8.9)
	Berries and other small fruit	Grape	38	8	24	9	(23.7)	3	(37.5)	1	(4.2)
		Strawberry	22	9	14	2	(9.1)				
		Others	34	4	6	2	(5.9)				
		Subtotal	94	21	44	13	(13.8)	3	(14.3)	1	(2.3)
	Assorted tropical and sub-tropical fruit	Kiwifruit	24	1	13						
		Banana	7	1	16						
		Mango	14	1	5						
		Others	26	1	3						
		Subtotal	71	4	37						
	Subtotal		319	89	232	25	(7.8)	5	(5.6)	14	(6.0)
Mushroom		Oyster mushroom	1	20	45						
		Enoke	6	18	24						
		Others	9	38	75						
	Subtotal		16	76	144						
Potatos		Potato	4	43	62						
		Sweet potato	1	26	32						
		Others			1						
	Subtotal		5	69	95						
Herbs & Spices		Coriander leave	46	26	17	6/7	(13.0/15.2)	11/11	(42.3/42.3)	3/4	(17.6/23.5)
	Subtotal		46	26	17	6/7	(13.0/15.2)	11/11	(42.3/42.3)	3/4	(17.6/23.5)
Beans		Kidney bean	1	1							
		Others			1						
	Subtotal		1	1	1						
Cereal grain		Maiz		3	2						
		Others									
	Subtotal			3	2						

높은 체리와 포도는 수입개방, 소비패턴의 변화 등으로 소비수요가 증가하고 있는 과일로서 수돗물에 깨끗하게 세척한 후 섭취해야 잔류농약이 상당 부분 제거되는 것으로 알려졌다[11]. 감귤류와 인과류에서는 감귤과 사과가 검출률이 높았는데 이는 단위면적당 농약 살포량이 많고, 특히 감귤은 품질관리와 부패방지를 위해 저장과 유통과정에서 novaluron, chlorfenapyr 등과 같은 다량의 농약을 사용하는 것이 영향을 준 것으로 보인다. 사과 역시 긴 재배기간 동안 반복적으로 농약을 살포하고 있어 농약 잔류 가능성이 높다[12]. 감귤과 사과는 껍질을 제거하여 안전하게 섭취할 수 있지만, 제거하면서 손이나 칼에 잔류농약이 묻어날 수 있기 때문에 주의해야 한다[13]. 향신식물에서는 고

Table 6. Result of the chi-square test at the level of violation due to the Positive List System

	2018	2019	2020		2018	2019	2020
No. of violation (%)	67 (2.5)	49 (1.9)	39 (1.4)	No. of detection (%)	213 (7.8)	115 (4.5)	129(4.6)
Total	2,733	2,533	2,815	Total	2,733	2,533	2,815
$\chi^2(p)$	8.383(0.015)*				35.398(0.000)***		

$p^*<0.05$, $p^{**}<0.01$, $p^{***}<0.001$

수의 농약 검출률이 24.7%(22건)로 나타났고 부적합도 22.5%(20건)으로 높게 나타났다. 이러한 현상은 향신식물에 대한 농약 항목 기준이 부족하고 그룹 기준이 엽채류와 엽경채류에 편중되어 있기 때문이라고 판단된다. 검사 건수가 많지 않아 검사량을 늘려야 정확한 결과를 볼 수 있겠지만 현대인들이 즐기는 기호식품으로 각광받고 있어 지속적인 모니터링이 필요하다.

연도별로 품목별 검출현황을 비교하기 일원배치 분산분석을 이용하여 유의확률이 P=0.965임을 확인하였다. 동시에 Levene 통계량에서도 유의확률이 P=0.828로서 등분산으로 나타났다. 즉 연도별 검사품목 표본추출에 있어 통계적 오류가 없음을 확인하였다.

PLS 제도 도입에 따른 부적합 영향 조사

PLS 제도 도입과 연도별 부적합 현황의 연관성을 알아보기 위해 카이제곱 검정을 실시하였다. 분석 결과, χ^2=8.383, P=0.015으로 나타났으며, 유의수준 P(P<0.05) 기준에서 통계적으로 유의하게 나타남에 따라 PLS 제도 도입과 부적합 발생 간 연관성이 있다는 것을 알 수 있었다. 검출 현황도 χ^2=35.398, P=0.000으로 유의함에 따라 검출 발생 간에도 연관성이 있음을 알 수 있었다. 다만 2018년과 2019년간 부적합률 차이는 P=0.202로 유의한 차이가 없었다. 즉 PLS 제도 도입 전 2018년에는 2.5%였던 부적합률이 2019년에 도입 후에 1.9%를 거쳐 2020년에는 1.4%로 감소했으며, 검출률도 2018년 도입 전보다 2019, 2020년에 감소하였다. 따라서 PLS 제도 도입 전 2018년보다 도입 후 2020년까지 부적합률이 유의하게 감소했음을 확인하였다(Table 6).

2020년 11월, 농림축산식품부와 식품의약품안전처에서 발표한 '농약 허용물질목록관리제도 전면시행 결과'에서도 유통단계의 전국 농산물 부적합 현황이 2018년보다 2019년이 낮아지는 현상을 보였다[14]. 그러나 생산, 유통, 수입 단계 모두를 합쳤을 경우 전국 부적합률은 2018년과 2019년도가 동일하게 1.3%를 나타냈다.

PLS 제도 적용으로 부적합된 사례를 살펴보면 Table 7과 같이 농약 12종이 2019년에는 25건, 2020년에 18건으로 나타나 전체 부적합의 각각 51.0%와 46.2%를 차지했다. 그러나 전체 부적합률은 하향추세를 보였다. 반면 PLS 제도 적용으로 인해 부적합을 면한 사례를 살펴보면 Table 8과 같이 2020년에만 농약 3종이 7건으로 나타나 2020년 전체 부적합의 17.9%로 나타났다. 이는 PLS 제도 도입이 전체적으로는 농산물 잔류농약의 부적합 감소에 기여했지만, 세부적인 부적합 요인에도 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 이에 농약의 신규, 직권 및 잠정등록과 그룹 잔류허용기준 확대의 효과가 더욱 필요한 것으로 보인다.

Table 7. Number of violated pesticide residues over MRLs based on the Positive List System

Pesticide	2019	2020	Subtotal
Novaluron		1	1
Diazinon	9	9	18
Diniconazole	2		2
Dimethomorph	1		1
Methabenzthiazuron	2	1	3
Cyazofamid	1	1	2
Uniconazole	1		1
Carbaryl		1	1
Tricyclazole		1	1
Fluazinam		1	1
Fluquinconazole	9	1	10
Pyridaben		2	2
Total	25	18	43

Table 8. Number of detected pesticide residues within MRLs based on the Positive List System

	Ethofenprox	Chlorfenapyr	Fluquinonazole
2019			
2020	1	1	5

PLS 제도 도입으로 인해 관리 기준이 대폭 강화된 것을 고려할 때 부적합이 증가할 것이라는 예상[15]과 달리 오히려 부적합 발생률은 유의하게 감소했다. 이는 농민들의 피해를 줄이기 위해 식품의약품안전처에서 2019년부터 PLS 제도를 전면 시행하면서 농약 잔류허용기준을 지속적으로 확대하고, 상추, 시금치, 파 등의 소면적 취급 작물이 많은 엽채류 및 엽경채류에 공통으로 적용할 수 있는 그룹 잔류허용기준을 확대한 결과로 보인다[16]. 그 밖에

도 식품의약품안전처는 2021년 말까지 한시적으로 잠정 잔류허용기준 204종 농약 2,546건을 추가 설정하여 PLS 시행 보완대책도 추진하고 있다. 다만 PLS 기준을 완화시켜 부적합을 줄이는 것이 아니라, 적합한 농산물을 재배할 수 있도록 농약 선택의 폭을 넓히고 농약 개발과 등록에 힘써야 하는 것이 바람직하다.

농약 출하량 감소 역시 부적합 발생률을 줄이는 요인으로 볼 수 있다. 2019년도에는 전년도보다 농약 출하량이 18,714톤에서 16,745톤으로 10.5%나 대폭 감소하였기 때문이다[17]. 그러나 소면적 재배 작물을 위해 농약 등록을 높여 부족한 농약이 없도록 하는 조치도 필요하다.

이번 PLS 제도 도입으로 정부는 농업인 대상의 적극적인 홍보와 교육을 실시하여 잔류농약 관리를 강화함으로써 올바른 농약 사용 문화가 확산되기를 기대하고 있다. 아울러 PLS 제도를 도입하면서 농산물의 엄격한 잔류농약 관리가 가능해졌을 뿐만 아니라, 그동안 높았던 수출 장벽을 낮추고, 자연스러운 비관세 수입 장벽을 형성함으로써 우수한 품질의 수입 농산물을 접할 수 있는 계기를 마련하게 되었다[2]. 따라서 이러한 PLS 제도 도입의 긍정적인 면을 계속 유지하기 위해서는 농가의 피해가 최소화될 수 있도록 잔류농약 검사 모니터링을 강화하여 농가수요에 알맞은 농약 직권 등록과 잔류허용기준 설정을 확대해야 한다. 정부의 꾸준한 정책 추진도 필요하지만 생산, 유통, 소비과정에 이르는 모든 현장 관계자들의 지속적인 협조와 노력이 무엇보다 중요하다.

Acknowledgments

The authors would like to thank Director Seok-Ju Cho from the Institute of Health and Environment, Seoul, Korea, for providing invaluable advice and input.

국문요약

본 연구는 농약 허용물질목록관리제도(PLS) 도입이 농산물 중 잔류농약 부적합에 어떠한 영향을 미쳤는지 확인하기 위해 2018년부터 2020년까지 서울 강서지역에서 유통되는 농산물을 대상으로 잔류농약을 검사하였다. 농산물 8,081건을 대상으로 340종의 동시분석 농약에 대해 GC-MS/MS, GC-MSD, HPLC-MS/MS를 이용하여 분석하였고, 부적합 농산물은 2018년 67건(2.5%), 2019년 49건(1.9%), 2020년 39건(1.4%)으로 나타났다. PLS제도 도입 전과 도입 후의 잔류농약 부적합 증감효과를 알아보기 위해 카이제곱 검정을 통한 교차분석 결과에서 χ^2=8.383, P=0.015 (95% 신뢰수준)를 나타내어 PLS 제도 도입 후에 부적합률이 유의하게 감소함을 알 수 있었다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Chang-Kyu Kim https://orcid.org/0000-0003-1920-2481
Jae-kyoo Lee https://orcid.org/0000-0002-6419-8445
Se-Ah Oh https://orcid.org/0000-0002-8678-1674
Young-Eun Kim https://orcid.org/0000-0003-3733-2634
Eun-Young Kwon https://orcid.org/0000-0002-0659-9312
Hye-ran Yang https://orcid.org/0000-0001-7260-6616
Lae-Hong Hwang https://orcid.org/0000-0003-0840-4168

References

1. Park, B.K., Kim, S.H., Ye, E.Y., Lee, H.J., Seo, S.J., Kwon, S.H., Joo, K.S., Heo, M.J., A study on the safety of powdered agricultural products in incheon. *J. Food Hyg. Saf.,* **35**, 136-145 (2020)
2. Park, M.S., Moon, H.P., Suh, D.S., Seok, J.H., Cheu, S.M., (2019, October 30). The Introduction of Positive List System and Countermeasures in Agricultural Sector. Retrieved from http://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/c149adeb-85b3-4122-a384-976cfe65c2e0
3. Sungur, S., Tunur, C., Investigation of pesticide residues in vegetables and fruits grown in various regions of hatay, turkey. *Food Addit. Contam.,* Part B, Surveill., **5**, 265-267 (2012).
4. Berrada, H., Fernandez, M., Ruiz, M.J., Molto, J.C., Manes, J., Font, G., Surveillance of pesticide residues in fruits from valencia during twenty months (2004/05). *Food Control,* **21**, 36-44 (2010).
5. Moon, H.P., Park, M.S., Suh, D.S., Cheu, S.M., Analysis on the effect of PLS (positive list system) implementation and the long-run equilibrium relationship between pesticide price and agricultural prices. *Korean J. Agric. Manag. Policy*, **47**, 39–63 (2020).
6. Lee, M.G., Management and regulation on the minor use of pesticides in Korea and foreign countries. *Korean J. Pestic. Sci.,* **17**, 231–236 (2013).
7. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, 2020. Agro-Fisheries & food corporation statistical yearbook (2019), Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, Naju, Korea.
8. Ministry of Food and Drug Safety, (2021, April 17). Korea food code, Multi class pesticide multiresidue methods. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=404
9. Ministry of Food and Drug Safety, (2021, April 17). Pesticide MRLs for agricultural commodities. Retrieved from https://mfds.go.kr/brd/m_218/view.do?seq=33313&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_

2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1

10. Jang, M.R., Moon, H.K., Kim, T.R., Yuk, D.H., Kim, E.H., Hong, C.K., Choi, C.M., Hwang, I.S., Kim, J.H., Kim M.S., The Survey on pesticide residues in vegetables collected in Seoul. *Korean J. Pestic. Sci.,* **15**, 114-124 (2011).
11. Chung, S.J., Kim, H.Y., Kim, J.H., Yeom, M.S., Cho, J.H., Lee, S.Y., Monitoring of pesticide residues and risk assessment in some fruits on the market in Incheon, Korea. *Korean J. Environ. Agric.,* **33**, 111-120 (2014).
12. Lee, K.B., Kim, N.W., Song, N.S., Lee, J.H., Jung, S.M., Shin, M.H., Choi, S.S., Kim, J.H., Sung, S.Y., A safety survey of pesticide residues in fruit products circulated in Chungcheongnam-do province, Korea. *J. Food Hyg. Saf.,* **34**, 421-430 (2019).
13. Li, Y., Jiao, B., Zhao, Q., Wang, C., Gong, Y., Zhang, Y., Chen. W., Effect of commercial processing on pesticide residues in orange products. *Eur. Food Res. Technol.*, **234**, 449-456 (2012).
14. National Agricultural Products Quality Management Service, (2020, July 20). Results of the full implementation of potitive list system. Retrieved from https://www.naqs.go.kr/mobile/multiboard/board/detail.naqs;jsessionid=i1Ol5pqebll4fGFt0oNw1lPHz2FFnEhWwt2aVsHfegyy8bQx4ucfyIDYZfpTl14u.NAQS_WAS2_servlet_hp?menu=MN30795&groupno=283&cate=0&page=1&schTye=&schKeyword=&seq=54427
15. Moon, G.E., Monitoring pesticide residues in agricultural products for comparison before and after applying the positive list system. Master's thesis, Korea University, Seoul, Korea (2018).
16. Ministry of Food and Drug Safety, (2019, December 2). Pesticide maximum residue limit PLS briefing session. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_220/view.do?seq=32757&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
17. Korea Crop Protection Association, 2020. Agrochemical year book. Korea Crop Protection Association, Seoul, Korea.