



광주지역 유통 로컬푸드 농산물 잔류농약 실태 및 위해성 평가

김종필 · 조선주 · 송난주 · 한유진 · 김효희 · 조배식 · 정재근 · 김선희*

광주광역시보건환경연구원

Survey on Pesticide Residues and Risk Assessment in Agricultural Products at Local Food Markets in Gwangju

Jongpil Kim, Sunju Cho, Nanju Song, Yujin Han, Hyohee Kim, Baesik Cho, Jaekeun Chung, Sunhee Kim*

Public Health and Environment Research Institute of Gwangju, Korea

(Received on January 21, 2021. Revised on March 3, 2021. Accepted on March 8, 2021)

Abstract This study was performed to monitor the pesticide residues in agricultural products which distributed at local food markets in Gwangju from 2017 to 2019. As the analysis results of 228 pesticide residues in total 372 samples. Residual pesticides were detected from 52 (14.0%) samples and the concentration of diazinon detected in 3 (0.8%) samples (spinach, welsh onion, young radish) exceeded maximum residual limits (MRLs). The concentrations of pesticide residues in the rest of 49 samples (13.2%) were below the MRLs. Residual pesticides were very frequently detected in 5 pepper samples, followed by Chinese chives (4) and spinach (4). The frequently detected pesticides were fludioxonil (6), chlorantraniliprole (5), bifenthrin (4), flonicamid (4) and pyridalyl (4). Of the 52 agricultural products in which pesticide residues were detected, 10 samples (19.2%) contained two or more pesticide residues. The results of human risk assessment (Hazard Index, %) for the violated pesticides were 34.8% for spinach, 9.8% for young radish, and 4.2% for welsh onion. The values of their Hazard Index (%) were less than 100%, representing that the effect of violated pesticides on human risk was insignificant. From the above results, the safety of pesticide residues in local food agricultural products was not significantly different from that of agricultural products distributed in the wholesale market or general market. In order for local food to establish itself as a new food distribution culture, quality control including residual pesticides as well as freshness should be continuously conducted.

Key words Agricultural products, Local food markets, Pesticide residues, Risk assessment

서 론

1970년대 이후 합리화와 효율성을 강조하며 생산성 향상의 농업 근대화 정책이 시행된 결과, 본래 자연 생태계에 의존하던 농업 생산이 과학의 이름으로 농약이나 화학비료, 기계와 시설 등을 이용하며 생산성이 크게 증가되었다. 뿐만 아니라 농산물의 저장기술 및 교통 통신의 발달과 지역 도매시장 정비 등을 통해 광역화 된 유통 시스템이 형성되었다. 이로 인해 농산물 생산지 주변에서 이루어지던 소비가 광역화 된 유통 시스템에 따라 생산자에서 도매상, 중간

도매상, 소매상, 소비자와 같이 여러 단계로 유통되기 시작했다. 그러나 농산물의 광역화 된 대량 유통 시스템은 지역 생산자에게는 경제적인 어려움을, 소비자에게는 생산자, 생산지, 생산방식을 알 수 없는 농산물의 안전성에 대한 불안감을 안겨주게 되었다. 이러한 문제에 대한 대응책으로 1990년대 초반 유기농산물 직거래를 추진하는 소비자 운동과 전문 유통 조직이 발생하였고, 제도적으로는 1990년대 이후 원산지 표시제나 이력추적제가 정비되어 농산물 안전성에 대한 관리가 진행되었다(KREI, 2016, Lim et al., 2020).

농산물 직거래 방식 중 하나인 로컬푸드 시스템은 미국, 유럽, 일본 등에서 시작된 먹거리운동으로 지역에서 생산된 농산물을 생산자와 소비자간 직접 거래하는 방식이며, 우리

*Corresponding author
E-mail: sunny1989@korea.kr

나라에서는 2008년 전라북도 완주군에서 최초로 로컬푸드 시스템을 정책적으로 도입한 이후 점차 전국적으로 확산되고 있다(Kang et al., 2018).

KREI (2016)에 따르면, 국내 다수의 로컬푸드 직매장은 ‘출하 기준에 농약 및 제초제 금지 조항으로 농산물의 안전성 확보’를 로컬푸드 농산물 판매 전략으로 꼽았다고 하였다. 그리고 로컬푸드 직매장 개설 주체별 생산자에 대한 농산물 출하 규칙에 농약사용조항을 규정하는지에 대해 조사한 결과에서는, 지자체 개설의 경우 100%, 지역농협은 85.4% 그리고 생산자 단체의 경우 33.3%로 나타난 것으로 보고하였다. 또한, 로컬푸드 직매장을 이용하는 소비자에 대한 이용실태조사에서는 신선한 상품, 고품질, 생산자에 대한 신뢰 때문에 로컬푸드를 이용하며 다른 사람에게도 적극 추천한다고 보고됨에 따라, 로컬푸드 농산물에 대한 소비자의 인식도 상당히 우호적인 것으로 확인되고 있다(KREI, 2016).

잔류허용기준이 없는 농약의 경우 일률적으로 0.01 mg/kg 을 적용하는 PLS는 우리나라에서 2016년 견과종실류 및 열대과일류에 우선 도입하여 시행하다가 2019년 1월 1일자로 모든 농산물에 대해 확대시행되고 있다. PLS 전면 시행 이후 농산물 부적합률이 높아질 것이라는 우려와는 달리, 2019년 1월부터 6월까지 유통농산물의 부적합률은 1.2%로 전년도 부적합률 1.5% 보다 감소한 것으로 나타났으며 이는 PLS 시행을 위한 농업인 대상 안전교육과 홍보 결과로 농업인의 농약안전사용의식이 향상되었다는 분석이 보고된 바 있다(Lee et al., 2019).

하지만 국내 농산물의 잔류농약 안전성에 대한 조사는 주로 공영도매시장 유입 농산물 또는 대형마트, 백화점 등 일

반 시중 유통 농산물 위주로 수행되어 왔으며, 로컬푸드 직매장에 대한 안전성 조사결과는 찾아보기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 광주지역 로컬푸드 직매장에서 유통되는 농산물을 대상으로 농약의 잔류수준을 알아보고 추정섭취량을 조사하여 농산물 중 잔류농약의 위해성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

농산물 시료 채취

2017년 1월부터 2019년 12월까지 광주광역시 내 로컬푸드 직매장에서 유통되고 있는 농산물 372건을 각 1 kg 이상 수거하여 조사하였으며, 실험대상 농산물 유형별 분포는 Table 1과 같다.

분석대상 농약 및 시약

분석대상 농약은 식품공전 다중농약다성분 분석법(제2법)으로 분석이 가능한 농약 중 228종의 농약을 Table 2와 같이 선정하여 검사하였다. 농약 표준품은 Dr. Ehrenstorfer GmbH사 (Wesel, Germany)와 Wako사 (Hirono, Japan) 제품을 사용하였고, 잔류농약 추출을 위해 사용한 용매와 시약은 acetonitrile, acetone, *n*-hexane, dichloromethane, sodium chloride는 Merk사 (Darmstadt, Germany) 제품을 사용하였다. 시료의 정제를 위해 기체크로마토그래프 분석에는 florisil cartridge (Strata, 500 mg/6 mL, Phenomenex, USA), 액체크로마토그래프 분석에는 aminopropyl cartridge (Strata, 1 g/6 mL, Phenomenex, USA)를 사용하였다.

Table 1. Analysis results of pesticide residues in agricultural products

Type	Group	No. of samples	No. of detection(%)	No. of violation(%)
Vegetables	Leafy vegetables	157	23(14.6)	2(1.3)
	Stalk and stem vegetables	59	9(15.3)	1(1.7)
	Root and tuber vegetables	19	1(5.3)	-
	Fruiting vegetables, cucurbits	32	4(12.5)	-
	Fruiting vegetables other than cucurbits	52	13(25.0)	-
Sub total		319	50	3
Fruits	Pome fruits	10	-	-
	Citrus fruits	1	-	-
	Stone fruits	8	-	-
	Berries and other small fruits	17	1(5.9)	-
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	1	-	-
Sub total		37	1	-
Cereal grains		1	-	-
Root and tuber crops		9	1(11.1)	-
Mushrooms		6	-	-
Total		372	52(14.0)	3(0.8)

Table 2. The list of selected pesticides (228 pesticides)

Acrinathrin	DDT	Ferimzone	Methiocarb	Pyributicarb
3,4,5,-Trimethacarb	Deltamethrin	Fipronil	Methomyl	Pyridaben
Acetamiprid	Diazinon	Flonicamid	Methoxychlor	Pyridalyl
Aldicarb	Dichlofluanid	Fluacrypyrim	Methoxyfenozide	Pyrimethanil
Aldrin& Dieldrin	Dichlorvos	Fluazinam	Metolachlor	Pyrimidifen
Ametryn	Dicloran	Flubendiamide	Metolcarb	Pyriminobac-methyl
Amisulbrom	Dicofol	Fludioxonil	Metrafenone	Pyriproxyfen
Anilofos	Diethofencarb	Flufenacet	Molinate	Pyroquilon
Azaconazole	Dimepiperate	Flufenoxuron	Myclobutanil	Quinalphos
Azinphos-methyl	Dimethachlor	Flumioxazine	Napropamide	Quinoclamine
Azoxystrobin	Dimethenamid	Fluopyram	Nitrapyrin	Quintozene
Bendiocarb	Dimethoate	Fluquinconazole	Novaluron	Simeconazole
Benzoximate	Dimethomorph	Flusilazole	Nuarimol	Spirodiclofen
BHC	Dimethylvinphos	Flusulfamide	Ofurace	Tebuconazole
Bifenthrin	Diniconazole	Flutolanil	Oxadixyl	Tebufenozide
Binapacryl	Diphenamid	Folpet	Oxamyl	Tebufenpyrad
Boscalid	Diphenylamine	Fonofos	Oxaziclomefon	Tebupirimfos
Bromacil	Dithiopyr	Forchlorfenuron	Paclobutrazole	Teflubenzuron
Bromopropylate	Edifenphos	Fosthiazate	Parathion	Tefluthrin
Bupirimate	Endosulfan	Fthalide	Parathion-methyl	Terbufos
Cadusafos	Endrin	Furathiocarb	Penconazole	Terbuthylazine
Captafol	EPN	Heptachlor	Pendimethalin	Tetraconazole
Captan	Epoxiconazole	Hexaconazole	Pentoxazone	Tetradifon
Carbaryl	Esprocarb	Hexaflumuron	Permethrin	Thenychlor
Carbofuran	Ethaboxam	Imazalil	Phenthoate	Thiacloprid
Carbophenothion	Ethiofencarb	Imibenconazole	Phosalone	Thiamethoxam
Chinomethionat	Ethion	Imidan	Phosphamidone	Thiazopyr
Chlorantraniliprole	Ethoprophos	Indanofan	Picoxystrobin	Thifluzamide
Chlordane	Etofenprox	Indoxacarb	Pirimicarb	Thiodicarb
Chlorfenapyr	Etoxazole	Iprobenfos	Pirimiphos-ethyl	Thiometon
Chlorobenzilate	Etridiazole	Iprodione	Pirimiphos-methyl	Tiadinil
Chlorothalonil	Etrimfos	Iprovalicarb	Probenazole	Tolclofos-methyl
Chlorpyrifos	Fenamidone	Isazofos	Prochloraz	Tolyfluanid
Chlorpyrifos-methyl	Fenarimol	Isofenphos	Procymidone	Tralomethrin
Chromafenozide	Fenazaquin	Isoprocarb	Profenophos	Triadimefon
Cinmethylin	Fenbuconazole	Isoprothiolane	Promecarb	Triazophos
Cinosulfuron	Fenhexamid	Kresoxim-methyl	Propazine	Tricyclazole
Clothianidin	Fenitrothion	Lufenuron	Propisochlor	Trifloxystrobin
Cyazofamid	Fenobucarb	Malathion	Propoxur	Triflumizole
Cyflufenamid	Fenothiocarb	Mecarbam	Prothioconazole	Triflumuron
Cyfluthrin	Fenoxanil	Mefenacet	Prothiofos	Triticonazole
Cyhalothrin	Fenoxycarb	Mepanipyrim	Pyraclofos	Uniconazole
Cymoxanil	Fenpropathrin	Mepronil	Pyraclostrobin	Vinclozolin
Cypermethrin	Fenpyroximate	Metconazole	Pyrazolate	Zoxamide
Cyproconazole	Fenthion	Methabenzthiazuron	Pyrazophos	
Cyprodinil	Fenvalerate	Methidathion	Pyribenzoxim	

Table 3. GS-MS/MS conditions for analysis of pesticide residues

Instrument	GC-MS/MS
Inlet Temp. ^{a)}	250°C
Oven Temp.	70°C (3 min) → 15°C/min → 180°C (0 min) → 5°C/min → 300°C (5 min)
Transfer line	280°C
Source Temp.	250°C
Column	DB-5MS (30 m × 250 μm × 0.25 μm)
Flow rate	mL/min

^{a)}Temp. : temperature

Table 4. LS-MS/MS conditions for analysis of pesticide residues

Instrument	LC-MS/MS		
Column	Acquity UPLC-BEH C18 (2.1 × 5 mm, 2.7 μm)		
Flow rate	0.4 mL/min		
Injection volume	1.0 μl		
Mobile phase	A : 0.1% Formic acid in 2% Methanol B : 0.1% Formic acid in Methanol		
Gradient	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	95	5
	0.2	95	5
	4	0	100
	4.5	0	100
	4.6	95	5
	6	95	5

분석방법 및 분석기기

시료의 전처리 및 분석방법은 식품공전의 식품 중 잔류농약 분석법 다중농약다성분 분석법 제2법에 따라 수행하였다.

분석기기는 GC 항목의 정량 및 정성분석을 위해 기체크로마토그래프 질량분석기(Gas Chromatography tandem mass spectrometry, GC-MSMS, Agilent 7000B, California, USA)를 사용하였고, LC 항목의 정량 및 정성분석에는 액체크로마토그래프 질량분석기(Liquid Chromatography tandem mass spectrometry, LC-MSMS, Thermo TSQ, Massachusetts, USA)를 사용하였다. 기기분석 조건은 Table 3, 4와 같다.

농약잔류허용기준 적용

농산물 중 잔류농약 검출 시 판정은 식품의약품안전처 고시 농약잔류허용기준에 준하였으며, 해당 농약에 대한 기준이 설정되어 있지 아니할 경우 CODEX 기준을 적용하였고, CODEX 기준도 설정되지 않았을 경우는 유사농산물(대분류 및 소분류)의 최저기준을 적용하였다. 다만, 2019년 1월 1일부터 PLS제도가 전면시행됨에 따라, 2019년에 수거된 검체에 대해서는 PLS 기준을 적용하였다.

회수율, 검출한계 및 정량한계 측정

회수율은 잔류농약이 검출되지 않은 상추에 시료의 함유량 기준 1.0 mg/kg이 되도록 농약 인증표준물질을 첨가한 뒤 3회 반복 시험하여 측정하였다. 검출한계(Limit of Detection, LOD)와 정량한계(Limit of Quantification, LOQ)는 ICH (International Conference on Harmonization)에서 제시한 아래 산출방법에 따라 구하였다.

$$LOD = 3.3\sigma / S$$

$$LOQ = 10\sigma / S$$

σ = 측정값 표준편차(The standard deviation of response)

S = 검량선 기울기(The slope of the calibration curve)

위해성평가

식품의약품안전처 인체적용제품 위해성평가 공통지침서(MFDS, 2019)에 따라, 농약 잔류허용기준을 초과한 농산물에 대해 일일섭취허용량(Acceptable Daily Intake, ADI)의 개념을 적용하여 위해지수(Hazard Index)를 산출하였다. 즉, 잔류농약분석에서 얻어진 검출량과 해당 농산물의 일일평균섭취량을 곱한 값을 체중으로 나누어 일일추정섭취량(Esti-

mated Daily Intake, EDI, mg/kg b.w./day)을 구하고, 이를 일일섭취허용량으로 나눈 후 100를 곱하여 위해지수(%)를 산출하였다. 농산물의 일일평균섭취량은 질병관리청의 국민건강영양조사(KDCA, 2018)와 한국인 전 연령층에 대한 평균 체중인 55 kg을 적용하였고, 일일섭취허용량은 식품의약품안전처의 잔류농약데이터베이스 값을 활용하였다.

결과 및 고찰

회수율, 검출한계 및 정량한계

분석법 검증시험은 2회 이상 검출이 확인된 농약에 대해 수행하였고, 각각의 결과는 Table 5와 같다. 회수율은 72.8~110.4% 사이였고, 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)는 7% 이하였다. 검출한계는 GC-MSMS 항목의 경우 0.0002~0.012 mg/kg, LC-MSMS 항목은 0.002~0.019 mg/kg 수준이었다. 검량선의 결정계수(R²)는 0.9969~1.0000로 분석되었다.

유럽연합(European Union, EU)과 국제연합식량농업기구(Union National Food and Agriculture Organization, FAO) 그리고 우리나라의 회수율과 상대표준편차의 기준은 70~120%와 20% 이내이다(FAO, 2010; MFDS 2013). 회수율의 차이는 전처리 과정에서 발생하는 손실과 각각의 농산물에 존재하는 천연물질의 방해로 인해 분석과정에서 발생 할 수 있을 것으로 판단된다. 전처리 과정 중 농축이나 정제과정에서 회수되는 비율의 차이는 대상 농산물의 종류에 영향을

받기 보다는 개별 농약 성분의 특성에 기인할 것으로 사료된다. 또한 개별 농산물에 존재하는 천연물질에 의해 분석과정에서 방해받아 결과에 영향을 줄 수 있으나 질량분석기를 활용하여 분석을 진행함으로써 천연물질에 의한 방해를 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 회수율 시험에 사용된 상추가 모든 농산물을 대표할 수는 없으나 본 연구를 수행함에 있어 적절한 분석법으로 시행한 것으로 판단된다.

농산물별 잔류농약 검출결과

광주광역시 소재 로컬푸드 직매장에서 유통되고 있는 농산물을 2017년부터 2019년까지 총 372건을 수거하여 잔류농약 검사를 실시한 결과는 Table 1과 같다. 잔류농약이 검출된 농산물은 총 52건(14.0%)으로 나타났으며, 이 중 잔류농약 허용기준 초과 수준의 시료는 3건으로 전체 분석대상 시료의 0.8%에 해당하였다.

농산물 분류별 잔류농약 검출결과를 보면, 채소류 중 박과과채류가 52건 중 13건(25.0%)으로 가장 높은 검출률을 나타냈으며, 엽경채류가 59건 중 9건(15.3%), 엽채류 157건 중 23건(14.6%), 박과과채류 32건 중 4건(12.5%), 근채류 19건 중 1건(5.3%)순을 보였다. 또한 과일류 중 장과류 17건 중 1건(5.9%)과 서류 9건 중 1건(11.1%)에서도 잔류농약 검출을 확인할 수 있었다. 잔류농약검출이 확인된 시료 중 허용기준을 초과한 시료로는 엽채류 중 시금치 1건과 열무(무) 잎 1건 그리고 엽경채류인 대파 1건이었다. 또

Table 5. Coefficient of determination (R²), recovery (%), LOD, LOQ of the pesticide residues detected in agricultural products

Pesticide	Detection Type	Recovery ± RSD(%) (n=3)	Correlation coefficient (r ²)	LOD (mg/kg) n=5	LOQ (mg/kg) n=5
Bifenthrin	GC-MS/MS	81.6 ± 0.7	1.0000	0.005	0.015
Chlorantraniliprole	GC-MS/MS	94.2 ± 1.2	0.9990	0.011	0.033
Chlorpyrifos	GC-MS/MS	73.5 ± 0.5	0.9997	0.005	0.015
Diazinon	GC-MS/MS	72.8 ± 0.5	0.9998	0.003	0.009
Diphenylamine	GC-MS/MS	74.9 ± 0.5	0.9999	0.000	0.001
Flonicamid	GC-MS/MS	99.2 ± 0.3	1.0000	0.004	0.012
Fludioxonil	GC-MS/MS	83.5 ± 0.7	0.9984	0.001	0.004
Fluopyram	GC-MS/MS	80.9 ± 1.4	0.9969	0.001	0.002
Flutolanil	GC-MS/MS	84.0 ± 0.7	0.9988	0.010	0.030
Indoxacarb	GC-MS/MS	101.0 ± 0.3	0.9995	0.007	0.021
Pyridaben	GC-MS/MS	76.1 ± 1.3	0.9975	0.001	0.004
Pyridalyl	GC-MS/MS	74.7 ± 1.1	1.0000	0.012	0.036
Acetamiprid	LC-MS/MS	94.5 ± 3.3	0.9985	0.018	0.054
Boscalid	LC-MS/MS	100.7 ± 7.0	0.9998	0.019	0.057
Cyazofamid	LC-MS/MS	110.4 ± 6.9	0.9999	0.002	0.007
Fluquinconazole	LC-MS/MS	79.1 ± 4.3	0.9997	0.017	0.051
Pyraclostrobin	LC-MS/MS	103.1 ± 5.2	0.9993	0.013	0.039

한, 잔류농약 검출 빈도가 가장 높은 품목은 고추로 총 5건이었으며, 부추와 시금치가 각각 4건으로 다음 순위를 차지하였으며, 깻잎, 대파, 아욱, 방울토마토가 각각 3건 등의 순으로 확인되었다(Table 6).

본 연구의 농산물 분류별 잔류농약 검출결과에서 박과외 과채류가 엽채류나 엽경채류 보다 높은 검출률을 보인 점은 2004년 광주지역 유통 농산물의 농약 잔류실태 조사에서 엽채류가 52.5%로 가장 높은 검출률을 보이고, 2014년부터

Table 6. Pesticides detected in agricultural products and their MRLs

Vegetables (No. of detected)	Pesticide detected	Conc. of Detection (mg/kg)	MRL (mg/kg)
Chili pepper (5)	Dimethomorph	0.0	1.0
	Chlorantraniliprole	0.1	1.0
	Pyraclostrobin	0.1	0.5
	Metrafenone	0.3	2.0
	Flonicamid	0.0	2.0
	Acetamiprid	0.1	2.0
	Fluopyram	0.0	3.0
Chinese chives (4)	Fluquinconazole	0.1	0.3
	Chlorantraniliprole	0.01	0.05
	Diphenylamine	0.1	5.0
	Flonicamid	0.0	0.5
	Fludioxonil	0.0	7.0
	Flutolanil	0	10
	Tefluthrin	0.1	2.0
Spinach (4)	Carbofuran	0.0	0.1
	Cyazofamid	0.3	3.0
	Diazinon	0.7	0.5
	Pyridalyl	0.0	5.0
Welsh Onion (3)	Diazinon	0.12	0.05
	Pyridalyl	0	15
	Flubendiamide	0.1	5.0
Curled mallow (3)	Chlorantraniliprole	1	20
	Indoxacarb	3.0	3.0
	Boscalid	0	40
	Bifenthrin	0.1	1.0
Cherry tomato (3)	Cyazofamid	0.2	0.5
	Pyridaben	0.1	1.0
	Fludioxonil	0.1	1.0
Perilla leaves (3)	Chlorantraniliprole	1	10
	Ethoprophos	0.01	0.02
	Chlorantraniliprole	0.6	7.0
Eggplant (2)	Thiacloprid	0.0	0.1
	Acetamiprid	0.0	0.5
Danggwi leaves (2)	Tebufenpyrad	0.2	1.0
	Pyridalyl	9	15
Cucumber (2)	Flonicamid	0.1	2.0
	Fludioxonil	0.1	2.0
	Triflumizole	0.1	1.0
Radish(leaves) (2)	Indoxacarb	0.1	3.0
	Indoxacarb	0.1	3.0

Table 6. continud

Vegetables (No. of detected)	Pesticide detected	Conc. of Detection (mg/kg)	MRL (mg/kg)
Winter cabbage (2)	Bifenthrin	0.0	2.0
	Deltamethrin	0.1	1.0
Young radish (2)	Azoxystrobin	0	20
	Fludioxonil	1	15
	Diazinon	0.12	0.01
Tomato (2)	Chlorothalonil	0.3	5.0
	Diphenylamine	0.0	5.0
	Flonicamid	0.1	1.0
	Fludioxonil	0.1	1.0
	Triflumizole	0.0	1.0
Garat (1)	Bifenthrin	0.0	2.0
Potato (1)	Chlorpyrifos	0.0	2.0
Aronia (1)	Pyraclostrobin	0.1	2.0
Sweet pepper (1)	Pyridaben	0.1	3.0
	Pyridalyl	0.1	2.0
Squash (1)	Pyriproxyfen	0.0	0.2
Garlic (1)	Boscalid	0.0	0.3
	Fluquinconazole	0.1	0.1
Giant butterbur (1)	Amisulbrom	0.3	1.0
Buckwheat(leaves) (1)	Bifenthrin	0.0	2.0
Water-celery (1)	Fenbuconazole	0.1	0.2
	Flutolanil	0	10
Lettuce(leaves) (1)	Fludioxonil	0	15
Ssam cabbage (1)	Fluopyram	0.04	0.04
Spring onion (1)	Chlorpyrifos	0.01	0.05
Korean Melon (1)	Tetraconazole	0.1	1.0

2016년까지 광주지역 도매시장 반입농산물의 잔류농약 실태 조사에서 엽채류의 잔류농약 허용기준 초과 비율이 3년 동안 84% 이상을 차지하였다는 연구결과 등 선행된 여러 연구결과와 다른 결과를 보였다. (Kim et al., 2005; Yang et al., 2017; Park et al., 2019). Lim et al (2020) 등의 직거래 농산물에 대한 조사에서는 박과 과채류가 엽채류, 엽경채류보다 높은 검출률을 보였을 뿐 아니라, 박과 과채류의 잔류농약 검출률이 높은 반면 허용기준을 초과한 부적합 농산물이 확인되지 않은 점도 본 연구결과와 유사한 경향을 보인 부분이었다. 이러한 농산물 분류별 검출률의 변화는 도매시장 현장검사소의 상시운영체계 정착과 관계기관들의 생산자를 대상으로 한 농약 사용에 대한 지속적인 안내와 홍보에 따른 것으로 판단되며, 검출된 농산물과 농약성분은 PLS제도 도입과 분석장비의 첨단화, 분석항목의 확대에 따라 지속적으로 다양화 될 것으로 사료된다.

전북지역은 우리나라에서 최초로 로컬푸드를 정책적으로 도입한 지역으로 자치단체에서 로컬푸드 직매장에 대한 운

영기준안을 정하여 관리하고 있다고 한다. 2017년도 전북지역 로컬푸드 직매장 중 전라북도 인증매장을 제외한 로컬푸드 직매장을 대상으로 농산물 잔류농약 실태를 조사한 결과를 살펴보면 잔류농약 검출률은 3.6%, 부적합률은 1.8%로 확인된 바 있다(Kang et al., 2018). 또한 2019년도 경기 북부 내 직거래 농산물에 대한 조사에서는 대상 시료 중 친환경 농산물이 50% 이상을 포함되었음에도 6.8%의 잔류농약 검출률과 0.5%의 부적합률을 확인하였음이 보고되었다(Lim et al., 2020).

2017~2019년도 광주광역시 농수산물 안전성검사 보고서에 따르면, 3년간 광주지역 공영도매시장 반입농산물의 잔류농약 검출률은 평균 17.0%이고 허용기준을 초과한 부적합 판정률은 평균 1.5%였고, 로컬푸드 직매장을 제외한 대형마트 등 일반 시중 유통농산물의 3년 평균 잔류농약 검출률은 12.2%, 부적합 판정률은 0.2%임을 확인할 수 있다(GHERI, 2018; 2019; 2020). 본 연구의 결과에서 보여진 로컬푸드 농산물의 잔류농약 검출률 14.0%과 부적합 판정률

0.8%는 도매시장 반입농산물 결과보다는 낮으나 일반 시중 유통농산물에 비해서는 다소 높은 것으로 보여진다. 그러나 전체 대상 시료의 수, 농산물 시료의 분류별 분포 등 잔류농약 검출률에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 반영하지 않은 자료의 한계성으로, 로컬푸드 농산물과 도매시장 또는 일반 시중 유통 농산물의 안전성에 대한 우열을 비교하기는 어려울 것으로 사료된다.

농약성분별 검출결과

본 연구대상 농산물에서 잔류가 확인된 농약성분은 acetamiprid 등 총 33종으로 모두 66회 검출되었다(Table 7). 또한 잔류농약이 검출된 농산물 총 52건 중 19.2%에 해당하는 10건의 농산물에서는 2종 이상의 농약성분이 검출되었고, 특히 부추와 토마토 각 1건에서는 4종의 농약성분이 동시에 검출되기도 하였다(Table 6). 부추의 경우 살균제인 fludioxonil, flutolanil 2종과 살충제 flonicamid, tefluthrin 2종으로 총 4종이, 토마토에서는 chlorothalonil, diphenylamine, fludioxonil 3종의 살균제와 flonicamid 1종의 살충제로 총 4종의 성분이 확인되었다. 하나의 농산물에서 2종 이상의 농약성분이 검출되는 이유는 다양한 병원균 혹은 해충을 동시에 방제하기 위해 혼합제 농약을 사용하거나 농가에서 살균제와 살충제 등을 혼합하여 사용한 것에서 기인된 것으로 유추된다(Yang et al., 2017).

검출빈도가 가장 높은 농약성분은 fludioxonil으로 총 6회 검출되었으며, chlorantraniliprole은 5회, bifenthrin, flonicamid,

pyridalyl이 각각 4회 그리고 diazinon과 indoxacarb가 각각 3회 등의 순을 나타냈다. Fludioxonil은 phenylpyrrole 계통의 비침투성 살균제로써 엽채류인 상추와 열무, 부추(엽경채류), 오이(박과 과채류) 및 토마토(과채류)와 같이 다양한 품목에서 잔류허용기준치 이내 농도의 검출이 확인되었다. Chlorantraniliprole은 ryanoid 계열의 살충제로 깻잎에서 2회, 아욱, 부추 그리고 고추에서 각 1회씩 허용기준치 이내 농도로 검출되었다. Bifenthrin은 pyrethroid ester계 살충제로 가랫, 메밀순, 아욱, 열갈이배추와 같이 엽채류에서 허용기준치 이내 농도로 검출되었고, flonicamid은 부추, 고추, 오이, 토마토에서 pyridalyl은 시금치, 당귀, 대파, 피망에서 각각 허용기준치 이내 농도의 검출이 확인되었다.

이번 연구에서 가장 주목할 부분은 diazinon이 검출된 시금치, 대파 그리고 열무(무) 잎 모두 diazinon 성분에 대한 잔류농약허용기준이 설정되어 있지 않아 부적합 판정되었다는 점이다. 시금치와 대파의 경우는 2017년도에 수거 검사가 진행되어 CODEX 기준인 0.5 mg/kg과 0.05 mg/kg이 각각 적용되었고, 열무(무) 잎의 경우는 PLS제도가 시행된 2019년 이후로 0.01 mg/kg 최저 기준이 적용된 사례였다. 이는 생산자가 작물별 농약잔류허용 기준 미설정 농약을 사용했던 것으로 사료된다. Diazinon은 유기인계 살충제 또는 살용애제로, 2020년 현재 총 15종의 농산물에 대해서만 잔류허용기준이 정해져 있으며, 그 중 엽채류에는 겨자채(0.05 mg/kg), 고춧잎(0.05 mg/kg), 열갈이배추(0.1 mg/kg) 3종과 엽경채류 중에는 풋마늘(0.05 mg/kg) 1종에 대해서만 기준

Table 7. List of pesticides detected in agricultural products

Classification	Pesticide	No of samples detected	Classification	Pesticide	No of samples detected		
Acaricide	Tebufenpyrad	1	Insecticide	Chlorantraniliprole	5		
	Fludioxonil	6		Flonicamid	4		
	Boscalid	2		Pyridalyl	4		
	Cyazofamid	2		Indoxacarb	3		
	Diphenylamine	2		Acetamiprid	2		
	Fluopyram	2		Chlorpyrifos	2		
	Fluquinconazole	2		Deltamethrin	1		
	Flutolanil	2		Ethoprophos	1		
	Fungicide	Pyraclostrobin		2	Flubendiamide	1	
		Triflumizole		2	Pyriproxyfen	1	
		Amisulbrom		1	Tefluthrin	1	
		Azoxystrobin		1	Thiacloprid	1	
		Chlorothalonil		1	Diazinon	3(3) ^{a)}	
		Dimethomorph		1	Insecticide	Bifenthrin	4
		Fenbuconazole		1	Acaricide	Pyridaben	2
Metrafenone		1	Insecticide Nematicide	Carbofuran	1		
Tetraconazole		1					

^{a)}() = No of samples violated

Table 8. Human risk assessment for the pesticides violated in agricultural products

Commodity	Pesticide	MRL (mg/kg)	Conc. of detection (mg/kg)	Daily food intake (g/day)	EDI ^{a)} (mg/kg b.w./day)	ADI ^{b)} (mg/kg b.w./day)	Hazard Index (%) ^{c)}
Spinach	Diazinon	0.5	0.7	5.5	0.0000696	0.0002	34.81
Welsh Onion	Diazinon	0.05	0.12	3.8	0.0000084	0.0002	4.19
Young radish	Diazinon	0.01	0.12	9.0	0.0000196	0.0002	9.81

^{a)}EDI (Estimated daily intake, mg/kg b.w./day)

= (Conc. of detection (mg/kg) × Daily food intake (g/day)) / 55 kg (body weight)

^{b)}ADI (Acceptable daily intake, mg/kg b.w./day)

^{c)}Hazard Index (%) = (EDI/ADI) × 100

이 정해진 상태이다.

농약 허용물질목록관리제도는 작물별로 등록된 농약에 대해 일정 기준 내에서 사용하도록 하고, 잔류허용기준이 없는 농약의 경우 일률적으로 0.01 mg/kg을 적용하는 제도로 국제적으로는 이미 오래 전부터 운영 중인 제도이다. 2006년 일본에서 시작돼 유럽, 대만 등에서 운영되고 있으며 미국, 캐나다, 호주 등도 이와 유사한 불검출 원칙(Zero Tolerance) 제도를 통해 더 엄격한 농약관리를 하고 있다 (Chung et al., 2014).

하지만 생산자에 의한 농산물의 직접적인 살포가 아니라더라도 국내 농업의 소량 다품종 특성에 따른 비산오염, 토양오염 또는 교차오염 등을 통해 잔류농약이 검출될 가능성도 배제할 수 없기 때문에 농작물을 재배하는 과정에서 농약안전사용에 중점을 둔 농업인 및 농약판매상 등에 대한 교육이 지속적으로 필요할 것이다.

먹거리 안전성에 대한 소비자들의 관심 고조에 따라, 로컬푸드가 새로운 먹거리 유통문화로 정착되기 위해서는 농업인은 철저하게 작물별, 병해충별로 등록된 농약만을 안전사용기준에 맞게 사용하도록 해야 할 뿐 아니라, 로컬푸드 운영자 또한 농약잔류기준 모니터링 등 안전성 확보에 지속적인 관심을 가져야 할 것이다.

위해성평가

본 연구에서 농약 잔류허용기준을 초과한 농산물 3건에 대해 소비자가 섭취하였을 때의 위해성을 알아보기 위해 안전성 평가를 수행하였다. 그 결과, 시금치의 위해지수(%)가 34.81%로 가장 높았으며, 열무(무) 잎은 9.81%, 대파의 경우는 4.19%로 나타났다(Table 8).

식품의약품안전처 인체적용제품 위해성평가 공통지침서(MFDS, 2019)에 따르면, 유전독성이 없다고 알려진 물질은 일정 용량 이하로 노출될 경우 체내 유해 영향을 나타내지 않은 내성용량을 결정할 수 있으며, 농약과 같이 의도적으로 사용되는 물질에 대해서는 일일섭취허용량의 개념을 적용하여, 위해지수(Hazard Index, %)가 100%을 넘어설 경우 위해 하다고 판단할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 부적합

판정된 농산물에 대한 평균 식이섭취량에 의한 위해 영향은 크지 않은 것으로 보인다.

또한, 일반적으로 세척 과정을 통해 농산물의 농약 잔류량을 크게 줄일 수 있으며, 조리 과정을 통해 농약이 대부분 제거되므로 실제 농약의 위해성은 더 낮아질 것으로 예상된다(Kwon et al., 2009; Jegal et al., 2000). 다만 실제 소비자의 기호 등에 따라 농산물의 섭취량이 달라질 수 있기 때문에 농산물 전반에 걸친 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 광주광역시 보건환경연구원 2020년도 연구사업의 지원으로 수행 하였습니다.

Author Information and Contributions

Jongpil Kim, Seobu Agro-fishery Products Inspection Center, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5506-7697>

Sunju Cho, Seobu Agro-fishery Products Inspection Center, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Researcher

Nanju Song, Seobu Agro-fishery Products Inspection Center, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Researcher

Yujin Han, Seobu Agro-fishery Products Inspection Center, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Researcher

Hyohee Kim, Seobu Agro-fishery Products Inspection Center, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Researcher

Baesik Cho, Food and Drug Division, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Director,

Jaekeun Chung, Public Health & Environment Research

Institute of Gwangju, Chairman

Sunhee Kim, Seobu Agro-fishery Products Inspection Center, Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, Manager, <https://orcid.org/0000-0003-0015-9321>

Contributions

JPK wrote the manuscript. SJC and NJS and YJH and KHH conducted an analysis of pesticide residues. SHK confirmed the overall study. SHK and BSC and JKC helped to write the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Literature Cited

- Chung SJ, Kim HY, Kim JH, Yeom MS, Cho JH, et al., 2014. Monitoring of pesticide residues and risk assessment in some fruits on the market in Incheon, Korea, *Korean J. Environ. Agric.* 33(2):111-120. (In Korean)
- Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2010. Joint FAO/WHO Food Standards Programme CODEX Alimentarius Commission. Rome, Italy, pp. 53-54.
- Health and Environment Research Institute of Gwangju Metropolitan city (GHERI), 2018. 2017 Annual Report on safety monitoring of Agricultural and Fishery Products. Gwangju Metropolitan city. Korea. pp. 23-28. (In Korean)
- Health and Environment Research Institute of Gwangju Metropolitan city (GHERI), 2019. 2018 Annual Report on safety monitoring of Agricultural and Fishery Products. Gwangju Metropolitan city. Korea. pp. 23-28. (In Korean)
- Health and Environment Research Institute of Gwangju Metropolitan city (GHERI) 2020. 2019 Annual Report on safety monitoring of Agricultural and Fishery Products. Gwangju Metropolitan city. Korea. pp. 19-25. (In Korean)
- Jegal SA, Han YS, Kim SA, 2000. Organophosphorus pesticides removal effect in Rice and Korean Cabbages by Washing and Cooking. *Korean J. Soc. Food. Sci.* 16(5):410-415. (In Korean)
- Kang MS, Kwon TH, Han BK, Son MO, Seo JS, et al., 2018. Monitoring of residual pesticides and risk assessment in agricultural products on local food markets. Jeollabukdo Institute of Health and Environment Research. Korea. p. 99-116. (In Korean)
- Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), 2018. National Health and Nutrition Survey. <https://knhanes.cdc.go.kr> (Accessed July. 21. 2020)
- Korea Rural Economic Institute (KREI), 2016. Local food promotion strategies and policy tasks for local economic activation. *Naju. Korea.* p. 59-104. (In Korean)
- Kwon HK, Lee HD, Kim JB, Jin YD, Moon BC, et al., 2009. Reduction of Pesticide residues in Field-Sprayed Leafy Vegetables by Washing and Boiling. *J. Fd. Hyg. Safety* 24(2):182-187. (In Korean)
- Lee SY, Paik MK, Kim NS, Park ES, Son EH, et al., 2019. A survey on pesticide use by farmers for positive list system settlement. *Korean J. Pestic. Sci.* 23(4):358-370. (In Korean)
- Lim JH, Park PH, Lim BG, Ryu KS, Kang MS, et al., 2020. Monitoring and Risk Assessment of Pesticide Residues Farmers' Market Produce in Northern Gyeonggi-do. *J. Food Hyg. Saf.* 35(3):243-251. (In Korean)
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2013. Analytic practices manual for pesticide residues in foods, 4th Ed. Part 7. Cheongju, Korea. p. 81-82.
- MFDS, 2019. Common Guidelines for Risk Assessment of Human Applications. <https://www.mfds.go.kr> (Accessed July. 21. 2020)
- Park JE, Lee MY, Kim SH, Song SM, Park BK, et al., 2019. A survey on the residual pesticides on agricultural products on the markets in Incheon from 2016 to 2018. *Korean J. Environ Agric.* 38(3):205-212. (In Korean)
- Kim JP, Gang GL, Yang YS, Lee HH, Chung JK, et al., 2005. A survey on pesticide residues of commercial agricultural products in Gwangju Area. *J. Fd. Hyg. Safety* 20(3):165-174. (In Korean)
- Yang YS, Gang GR, Lee SM, Kim SK, Lee MG, et al., 2017. Survey on pesticide residues and risk assessment of agricultural products from wholesale market in Gwangju (2014~2016) *Korean J. Pestic. Sci.* 21(4):341-354. (In Korean)

광주지역 유통 로컬푸드 농산물 잔류농약 실태 및 위해성 평가

김종필 · 조선주 · 송난주 · 한유진 · 김효희 · 조배식 · 정재근 · 김선희*

광주광역시보건환경연구원

요 약 본 연구는 광주지역 로컬푸드 직매장을 통해 유통된 농산물의 잔류농약 실태를 파악하기 위해 수행되었다. 2017년부터 2019년까지 로컬푸드 농산물 총 372건을 대상으로 잔류농약 228종을 분석한 결과, 잔류허용기준을 초과하여 부적합 판정된 3건(0.8%)과 잔류허용기준치 이하로 검출된 49건(13.2%)이 확인되었다. 부적합 농산물은 시금치, 대파, 열무(무) 잎이 각 1건씩으로, 이들 모두 diazinon에 대해 시금치와 대파는 CODEX 기준으로 열무(무) 잎은 적용하는 농약 허용물질목록관리제도(Positive List System, PLS)에 따라 부적합 판정되었다. 잔류농약 검출 빈도가 가장 높은 농산물은 고추(5건)이며, 부추와 시금치가 각 4건이었다. 다빈도 검출 농약으로는 fludioxonil이 6건, chlorantraniliprole 5건 그리고 bifenthrin, flonicamid, pyridalyl이 각 4건씩 확인되었다. 또한 잔류농약이 검출된 총 52건의 농산물 중 10건(19.2%)에서는 2종 이상의 잔류농약이 검출되었다. 부적합 판정된 농산물의 식이에 대한 위해지수(%)는 시금치가 34.8%, 열무(무)잎 9.8%, 대파 4.2%로 모두 100% 이하로 건강에 영향을 미치지 않는 안전한 수준인 것으로 확인되었다. 이상의 결과에서 로컬푸드 농산물의 잔류농약 안전성은 도매시장 또는 일반 시중 유통 농산물과 큰 차별성을 찾아보기 어려운 것으로 판단된다. 로컬푸드가 지역 생산 농산물에 대한 새로운 먹거리유통문화로 보다 확고히 자리잡기 위해서는 신선도와 함께 잔류농약을 포함한 품질관리가 지속적으로 수행되고 모니터링 되어야 할 것이다.

색인어 로컬푸드, 농산물, 잔류농약, 위해성 평가