

Short Communications



CrossMark

Open Access

인천광역시 유통 농산물의 최근 3년간 잔류농약 실태조사

박정은*, 이미연, 김선희, 송성민, 박병규, 서순재, 송재용, 허명제

인천광역시 보건환경연구원 삼산농산물검사소

A Survey on the Residual Pesticides on Agricultural Products on the Markets in Incheon from 2016 to 2018

Jeong-Eun Park*, Mi-Yeon Lee, Sun-Hoi Kim, Sung-Min Song, Byung-Kyu Park, Soon-Jae Seo, Jae-Yong Song and Myong-Je Hur (Department of Samsan Agricultural Products Inspection, Incheon Metropolitan City Institute of Public Health and Environment, Incheon 22320, Korea)

Received: 19 July 2019/ Revised: 7 August 2019/ Accepted: 19 August 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article 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.

ORCID

Jeong-Eun Park

<https://orcid.org/0000-0003-2971-8246>

Abstract

BACKGROUND: This survey conducted on agricultural products in Incheon for the past three years from 2016 to 2018 to detect residual pesticides and to monitor the use of pesticides.

METHODS AND RESULTS: Residual pesticides were analyzed for a total of 5,937 agricultural products in Samsan wholesale market, traditional market and large retailers in Incheon. Samples were analyzed by multi class pesticide method using GC-MS/MS, LC-MS/MS, GC-ECD/NPD, and UHPLC. In 59 cases (1.0%) residual pesticides were detected improperly and these cases exceeded maximum residue limits (MRLs).

CONCLUSION: The ratios of violative agricultural products were similar each year at approximately 1.0% per year, but the residual pesticide detection rates with the limit included in the samples were shown to be gradually decreasing to 17.9%, 12.6%, and 11.2% annually. The frequency of violative residual pesticides was high in order of Diazinon, Chlorpyrifos, Iprodione, etc. Residual pesticide monitoring might be needed in the future continuously, as violations in agricultural products

distributed in Incheon are shown at a similar level every year.

Key words: Agricultural product, Incheon, Monitoring, Residual pesticide

서론

농약은 농산물 생산 과정에서 병해충과 잡초 방제의 목적으로 사용되어 농산물의 품질 및 생산성 향상, 수확량 증대, 노동력 절감 등 긍정적 기대효과를 위하여 필수적으로 사용되는 농자제이다(Lee *et al.*, 2009; Ahn *et al.*, 2013). 따라서 농가에서의 농약 사용은 점차 증가하는 반면, 농약의 잠재적 인체 위해성에 대한 문제 제기는 꾸준히 이어지고 있다(Noh *et al.*, 2010; Garcia *et al.*, 2012). 이러한 농약을 사용하는 데에는 농산물의 생산성과 잠재적 인체 위해성이 양립하므로, 생산자의 적절한 농약 사용으로 고품질의 농산물 생산이 이루어짐과 동시에 이를 섭취하는 소비자에게도 건강한 먹거리가 제공될 수 있도록 지속적인 모니터링과 안전성 평가가 필요하다(Kim *et al.*, 2014).

이러한 배경으로 우리나라에서는 농산물의 잔류농약 시험법과 잔류허용기준을 정하여 잔류농약을 모니터링하고 있다. 처음 잔류허용기준을 적용한 1988년 이후 2018년까지 계속적으로 개정하여 498 종의 농약에 대한 기준을 마련하였다(Kim *et al.*, 2011; Korea Ministry of Food and Drug Safety, 2016-2018). 2019년 현재에는 잔류허용기준을 적용하는 농약 성분을 점차 확대하고 있으며, 농산물에 잔류허용기준이 설정

*Corresponding author: Jeong-Eun Park
Phone: +82-32-440-8505; Fax: +82-32-440-8508;
E-mail: jeongeun9024@korea.kr

되지 않은 농약이 검출될 경우 0.01 mg/kg 기준을 일률 적용하는 PLS (Positive List System) 제도를 전면 시행하여 잔류농약 허용기준을 강화하고 있다.

더불어 식품의약품안전처, 농산물품질관리원, 시도 보건환경연구원 등에서 잔류농약에 대하여 지속적으로 사용 실태를 감시하고 있으며(Jeon et al., 2006; Kim et al., 2013), 특히 각 보건환경연구원에서는 공영도매시장에 농산물검사소를 설치하여 공영도매시장 및 관내 유통 중인 농산물에 대하여 잔류농약 모니터링을 실시하고 있다. 모니터링 결과 잔류농약이 잔류허용기준을 초과하여 검출될 경우 즉각 조치를 취할 수 있도록 감시체계를 구축하고 있다.

이에 따라 인천광역시 보건환경연구원 삼산농산물검사소에서 시민 먹거리 안전성 확보를 위하여 실시한 모니터링 결과를 바탕으로, 2016년부터 2018년까지 최근 3년간 관내 유통 중인 농산물의 잔류농약 검출 특성을 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

조사기간(2016년-2018년) 중 인천광역시 삼산농산물도매시장, 관내 재래시장, 대형마트에서 구입한 농산물 5,937건을 대상으로 잔류농약 검사를 실시하였으며, 검사 대상 농산물은 분류별로 Table 1과 같은 분포를 보였다.

표준품 및 시약

잔류농약 검사에 사용한 농약 표준품은 AccuStandard (New Haven, Connecticut, USA)의 순도가 확인된 제품을 사용하였다. Acetonitrile (ACN), dichloromethane (DCM)은 Avantor Performance Materials (Center Valley, Pennsylvania, USA), hexane과 methanol은 Honeywell (Morris Plains, New Jersey, USA)의 제품을 사용하였고 모두 HPLC grade 분석시약을 사용하였다. Acetone과 sodium chloride는 Junsei Chemical (Tokyo, Japan)의 순도 99.5% 이상의 시약을 사용하였다. 검체 추출액의 정제에 사용한 florisil cartridge, aminopropyl (NH₂) cartridge는 모두 Bekolut (Hauptstuhl, Germany)의 1 g/6 mL 규격의 제품을 사용하였다.

대상 농약 및 전처리

모니터링을 실시한 분석 대상 농약은 식품공전의 다중농약 다성분 분석법 제2법으로 분석 가능한 농약을 대상으로 하였다(Korea Ministry of Food and Drug Safety, 2016-2018). 조사기간 중 식품공전 시험법에서 해마다 분석 대상 항목이 추가됨에 따라 본 검사소에서 분석 가능한 농약도 265종(2016년)에서 295종(2017년), 373종(2018년)까지 점차 분석 대상을 확대하여 모니터링하였다.

식품공전과 식품공전 잔류농약 분석법 실무해설서를 참고하여 다중농약다성분 분석법 제2법에 따라 검체를 전처리 하였으며(Korea Ministry of Food and Drug Safety, 2013, 2017), 이 시험법은 ACN으로 추출 후 florisil 및 amino-propyl 고정상이 충전된 카트리지를 이용하여 정제한 다음 질량분석기(MS, Mass spectrometer), 기체크로마토그래프(GC, Gas chromatograph) 및 액체크로마토그래프(LC, Liquid chromatograph)로 측정하는 시험법이다.

농약 잔류량 분석

전처리 과정을 통하여 얻은 시험액을 정성 및 정량의 2단계에 걸쳐 분석하였다. GC 및 LC와 연결된 질량분석기(MS, MS/MS)로 분석대상 농약을 1차적으로 스크리닝하고, 잔류농약이 검출된 경우에는 식품공전에 따라 검출된 농약 성분의 각 시험법에 맞게 다시 검체를 전처리하여 ECD (Electron capture detector), NPD (Nitrogen phosphorus detector), UVD (Ultraviolet detector), 질량분석기(MS/MS) 중 분석 가능한 검출기로 잔류농약을 정량하였다.

정성분석에 사용한 GC-MS/MS는 Agilent Technologies (Santa Clara, California, USA)의 7890B에 7000D를 연결한 것을 사용하였고, GC-MS는 Agilent Technologies의 HP6890 SeriesGC에 5975MSD 및 LECO (Saint Joseph, Michigan, USA)의 Pegasus HT TOF를 사용하여 각각 Table 2와 Table 3의 조건으로 분석하였다. LC-MS/MS는 Dionex (Sunnyvale, California, USA)의 Ultimate 3000 UHPLC에 Thermofisher Scientific (Waltham, Massachusetts, USA)의 TSQ Quantum Ultra를 사용하여 Table 4의 조건으로 스크리닝하였다. 정량분석에 사용한 GC는 Agilent의 6890N 모델을(Table 5), LC는 Dionex의 Ultimate 3000 UHPLC를 사용하였다(Table 6).

Table 1. List of sample numbers of collected agricultural products in the study

Group	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)
Vegetables	1,543 (77.3)	1,494 (75.7)	1,593 (80.9)
Fruits	302 (15.1)	215 (10.9)	176 (8.9)
Mushrooms	64 (3.2)	82 (4.2)	107 (5.4)
Potatoes	36 (1.8)	53 (2.7)	26 (1.3)
Nuts and Seeds	12 (0.6)	40 (2.0)	18 (0.9)
Others	38 (1.9)	90 (4.5)	48 (2.4)
Total	1,995	1,974	1,968

Table 2. Operating condition of GC-MS/MS

Part	7890B (GC) - 7000D (MS/MS)
Column	Agilent DB-5MS (250 μm \times 30.0 m, 0.25 μm)
Injection volume	1 μL
Flow rate	Carrier gas: He, 0.8 mL/min Collision flow: N ₂ , 1 mL/min Quench flow: He, 4 mL/min
Injection temperature	250°C
Split mode	splitless
Oven temperature	70°C \rightarrow 70°C (2 min) \rightarrow 180°C (8.5 min) \rightarrow 300°C (39.5 min)
Ion source temperature	250°C

Table 3. Operating condition of GC-MS

Part	HP-6890GC + 5975MSD	HP-6890GC + Pegasus HT TOF
Column	Agilent DB-5MS (30.0 m \times 250 μm \times 0.25 μm)	Restek RTX-5MS (30.0 m \times 250 μm \times 0.25 μm)
Carrier gas flow	He, 1.5 mL/min	He, 1.75 mL/min
Injector temp.	260°C	250°C
Split mode	splitless	splitless
Oven temp	100°C (2 min) \rightarrow 10°C/min \rightarrow 280°C (15 min)	70°C (1.5 min) \rightarrow 20°C/min \rightarrow 180 (1 min) \rightarrow 10°C/min \rightarrow 265°C (1 min) \rightarrow 5°C/min \rightarrow 300°C (4.5 min)
Scan range	40-550	50-550
MS source temp.	230°C	230°C
MS quad temp.	150°C	260°C
Injection volume	1 μL	1 μL

Table 4. Operating condition of LC-MS/MS

Part	Ultimate 3000 (UHPLC) - TSQ Quantum Ultra (MS/MS)
Column	ThermoFisher Scientific Accucore aQ (2.1 mm \times 100 mm, 2.6 μm)
Injection volume	2 μL
Mobile phase	A: 5 mM Ammonium formate in water B: 5 mM Ammonium formate in MeOH
Gradient condition (%B)	20 \rightarrow 20 (0.5 min) \rightarrow 70 (2.5 min) \rightarrow 95 (9 min) \rightarrow 95 (12 min) \rightarrow 20 (12.1 min) \rightarrow 20 (15 min)
Flow rate	0.3 mL/min
Oven temperature	40°C
Ion source type	ESI (Electrospray ionization), Positive ion spray mode (3000V)
Scan range	50-1650

Table 5. Operating condition of GC-ECD, GC-NPD

Part	6890N (ECD)	6890N (NPD)
Column	Agilent DB5 (250 μm \times 30.0 m, 0.25 μm)	
Injection volume	1 μL	
Carrier gas flow	N ₂ , 1.2 mL/min	
Injection temperature	250°C	270°C
Detector temperature	280°C	300°C
Split mode	split (42.2:1)	splitless
Oven temperature	150°C \rightarrow 150°C (1 min) \rightarrow 240°C/min (10.5 min) \rightarrow 280°C (28 min)	120°C \rightarrow 120°C (1 min) \rightarrow 240°C/min (13 min) \rightarrow 280°C (27 min) \rightarrow 300°C (30 min)

Table 6. Operating condition of HPLC

Part	Ultimate 3000 (UHPLC)
Detector	UV-VWD (Variable Wavelength Detector)
Column	Shiseido Capcell Core C ₁₈ (4.6 mm × 100 mm, 2.7 μm)
Injection volume	10 μL
Flow rate	0.8 mL/min
Mobile phase	A : 5% acetonitrile B : acetonitrile/methanol (8/2, v/v)
Gradient condition (%B)	10 → 80 (13 min) → 80 (16 min) → 10 (16.1 min) → 10 (20 min)

회수율 및 정량한계 측정

다중농약다성분 분석법 제2법의 분석대상이 되는 농약 중 검체에서 잔류허용기준을 초과하여 검출된 농약에 대하여 회수율과 정량한계를 측정하였다. 잔류농약이 검출되지 않은 썩갓, 대과, 엇갈이배추, 상추에 농약 표준품을 0.2 mg/kg, 1.0 mg/kg로 처리하였다. 부적합 판정된 검체에서 검출된 농약의 농도범위(0.38 mg/kg-0.95 mg/kg)를 참고하여 두 가지 처리 농도를 설정하였다.

농약 표준품이 농도별로 처리된 검체를 다중농약다성분 분석법 제2법에 따라 전처리 후 각 농약성분을 검출가능한 검출기로 3회씩 측정하였다. Diazinon, Chlorpyrifos, Pencycuron, Pendimethalin, Procymidone은 GC-NPD를 이용하여 회수율과 정량한계를 측정하였고 Iprodione, Endosulfan, Chlorothalonil, Diniconazole은 GC-ECD를 이용하였다. 또한 Terbufos는 GC-MS/MS, Flubendiamide는 HPLC-UV로 측정하였다.

잔류농약 기준 적용

조사기간 중 해당 농산물에서 검출된 농약은 식품의약품안전처에서 고시한 『식품의 기준 및 규격』에 따라 안전성 여부를 확인하였고, 동 고시에서 설정된 '식품의 농약 잔류허용기준(Maximum Residue Limits, MRLs)'을 적용하였다. 잔류허용기준이 설정되지 않은 작물에 대해서는 아래와 같이 순차적으로 기준을 적용하였다. 단, 식품의약품안전처의 고시에 따라 건과중실류와 열대과일류는 별도로 잔류허용기준이 정해지지 않은 경우 0.01 mg/kg 일률 적용하는 것을 원칙으로 하였다. 검체에서 검출된 잔류농약이 잔류허용기준을 초과하였을 경우, 부적합 검체로 판정하였다.

- ① 당해 농산물에 대한 개별 농산물 자체 CODEX 기준
- ② 당해 농산물의 소분류군 중 최저기준
- ③ 당해 농산물의 대분류군 중 최저기준
- ④ 농약의 잔류 허용 기준 중 최저기준

위와 같이 기준을 적용하는 것은 PLS(Positive List System) 제도가 도입되기 이전의 방식으로, 조사 당시의 잔류농약 허용기준 적용 절차이다. 2019년 1월 1일부터는 PLS제도가 도입되어, 현재는 해당 작물에 잔류 허용 기준치가 없는 경우

잔류 허용 기준을 0.01 mg/kg로 일률 적용하고 있다.

결과 및 고찰

회수율 및 정량한계

조사기간 중 검체에서 잔류 허용기준을 초과하여 검출된 농약 31종 중 빈도 상위 11종에 대하여 회수율 및 정량한계(LOQ, Limit of Quantitation)를 측정하였다. 그 결과 Table 7과 같이 회수율은 0.2 mg/kg 처리 시 83.0-115.4%, 1.0 mg/kg 처리 시 84.7-121.7% 범위로 나타났으며, 정량한계는 0.002-0.026% 범위로 확인되었다.

연도별 잔류농약 검출 현황

3년간 삼산농산물도매시장, 인천광역시 관내 재래시장 및 대형마트에서 유통된 농산물 총 5,937건에 대하여 잔류농약을 분석한 결과, Table 8과 같이 잔류농약이 허용기준을 초과하여 검출된 부적합 검체의 비율은 2016년 0.9%(18건/1,995건), 2017년 1.1%(21건/1,974건), 2018년 1.0%(20건/1,968건)으로 매 년 1.0% 내외로 비교적 일정한 수준이었다. 검체에서의 잔류농약 검출률은 2016년 17.9%(357/1,995건), 2017년 12.6%(248/1,974건), 2018년 13.9%(221/1,968건)으로 2016년에 가장 많이 검출되고 이후 감소한 것으로 나타났다.

부적합 검체 중 농약성분 현황

Table 8의 총 부적합 농산물 59건 중에는 한 농산물에서 기준을 2종 이상 초과한 사례를 포함하고 있다. 따라서 기준을 초과하여 검출된 농약성분은 table 9와 같이 64종으로, 부적합 농산물 59건보다 많은 것을 확인할 수 있었다. 전체 64종에서 중복된 성분을 추리면 3년간 31종의 농약성분이 부적합 농산물에서 검출된 것을 알 수 있었다. 그 농약성분의 기준 초과 빈도는 Diazinon (14건), Chlorpyrifos (6건), Iprodione (4건), Endosulfan (3건), Pencycuron (3건), Pendimethalin (3건), Terbufos (3건), Chlorothalonil (2건), Diniconazole (2건), Flubendiamide (2건), Procymidone (2건) 순으로 높았다.

조사기간 중 부적합 판정을 받은 농산물의 수는 21건에서 22건으로 비슷한 수준이었으나, 잔류허용기준을 초과한 농약 성분의 종류는 줄어듦에 따라 부적합 농산물에서 검출되는 농약 성

Table 7. Recovery rate and LOQ(Limit of Quantitation) of pesticides

Pesticides (detector)	Fortification level (mg/kg)	Recover	±	RSD (%)	LOQ (mg/kg)
Diazinon (GC-NPD)	0.2	94.7	±	0.6	0.012
	1.0	103.8	±	0.3	
Chlorpyrifos (GC-NPD)	0.2	115.4	±	0.2	0.005
	1.0	111.1	±	0.6	
Iprodione (GC-ECD)	0.2	83.0	±	1.5	0.026
	1.0	113.0	±	0.8	
Endosulfan (GC-ECD)	0.2	89.5	±	0.2	0.002
	1.0	84.7	±	0.1	
Pencycuron (GC-NPD)	0.2	106.0	±	0.5	0.011
	1.0	111.6	±	0.4	
Pendimethalin (GC-NPD)	0.2	114.5	±	0.2	0.005
	1.0	109.6	±	0.3	
Terbufos (GC-MS/MS)	0.2	103.9	±	0.9	0.019
	1.0	108.4	±	0.8	
Chlorothalonil (GC-ECD)	0.2	99.9	±	0.3	0.006
	1.0	121.7	±	2.2	
Diniconazole (GC-ECD)	0.2	95.5	±	0.4	0.007
	1.0	88.9	±	0.1	
Flubendiamide (HPLC-UVD)	0.2	92.7	±	1.3	0.021
	1.0	91.7	±	0.5	
Procymidone (GC-NPD)	0.2	101.5	±	0.3	0.006
	1.0	113.0	±	0.7	

Table 8. Status of detection of residual pesticide in collected samples by year

Year	2016	2017	2018	Total
Number of samples	1,995	1,974	1,968	5,937
Number of detected samples (%)	357 (17.9)	248 (12.6)	221 (11.2)	826 (13.9)
Number of violation (%)	18 (0.9)	21 (1.1)	20 (1.0)	59 (1.0)

Table 9. List of residual pesticide violation in the study by year

No.	2016		2017		2018	
	Residual pesticide	NO. of violation	Residual pesticide	NO. of violation	Residual pesticide	NO. of violation
1	Diazinon	4	Diazinon	5	Diazinon	5
2	Chlorpyrifos	2	Chlorothalonil	2	Terbufos	3
3	Iprodione	2	Chlorpyrifos	2	Chlorpyrifos	2
4	Pencycuron	2	Diniconazole	2	Flubendiamide	2
5	Amisulbrom	1	Iprodione	2	Pendimethalin	2
6	Endosulfan	1	Chinomethionat	1	Procymidone	2
7	Ethoprophos	1	Chlorfenapyr	1	Azoxystrobin	1
8	Fludioxonil	1	Endosulfan	1	Endosulfan	1
9	Flutolanil	1	Fenitrothion	1	Etofenprox	1
10	Kresoxim-methyl	1	Fenpropathrin	1	Fthalide	1
11	Lufenuron	1	Methidation	1	Pyridaben	1
12	Phorate	1	Pencycuron	1	Tebupirimfos	1
13	Pyridalyl	1	Pendimethalin	1		
14	Tefluconazole	1				
15	Trifloxystrobin	1				
Total	21		21		22	

분이 특정 성분에 집중되는 경향을 보였다. 특히 Diazinon은 조사기간 중 매년 4건 이상, 가장 높은 빈도로 잔류허용기준을 초과하여 검출되었다. Diazinon의 일일섭취허용량(ADI, acceptable daily intake)은 0.0002 mg/kg b.w./day이며 (Korea Ministry of Food and Drug Safety, 2016-2018), 잔류허용기준도 0.02~0.3 mg/kg으로 다른 농약성분에 비하여 매우 낮은 편에 속하지만 곡류부터 엽채류까지 사용 범위가 넓고 농업, 상업, 원예 등에 두루 이용되는 유기인계 농약 성분이다(Cox, 2000). 따라서 이러한 Diazinon에 대하여 앞으로도 철저하고 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

조사기간 중 잔류허용기준을 6회 초과하여 검출된 Chlorpyrifos는 유기인계 살충제로 신경독성(Abou-Donia et al., 1996)뿐만 아니라 세포의 대사과정에 독성을 일으켜 행동이상을 유발할 수 있다는 연구(Whitney et al., 1995) 등이 보고된 바 있다. 미국 내에서는 이러한 Chlorpyrifos의 유해성을 두고 논란이 끊임없이 이어지고 있으며, 이에 따라 우리나라에서도 Chlorpyrifos 사용실태 모니터링과 더불어 국내 수출농가에서 생산되는 농산물에 대한 관리가 더욱 요구된다.

농산물별 부적합 현황

잔류농약 허용기준 초과로 부적합 판정을 받은 농산물 총 59건에 대하여 각 농산물 별 추이를 Table 10에 나타내었다. 부적합 농산물에는 채소류 중에서도 특히 엽채류가 42건(71.2%)으로 가장 많았고, 엽경채류 12건(20.3%), 결구엽채류 2건(3.4%) 등이 부적합 발생률이 높은 것으로 확인되었다. 최근 3년간의 엽채류와 엽경채류의 부적합률은 80% 이상으로 꾸준히 높게 나타났다(Fig. 1).

이러한 경향은 앞서 조사된 인천지역 내 유통 농산물의 모니터링 결과에서도 나타났는데(Kim et al., 2013), 부적합 판

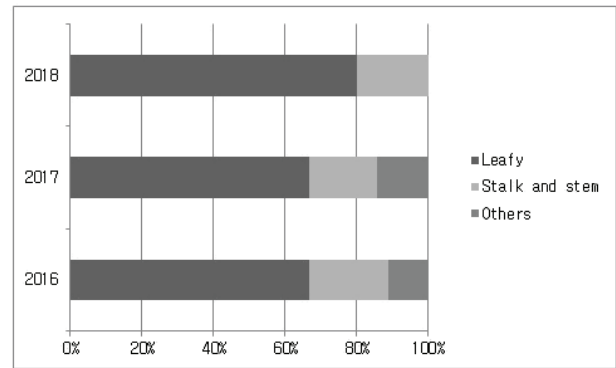


Fig. 1. Distribution of residual pesticides violation by agricultural products classification.

정을 받은 엽채류가 조사기간 내 연중 75% 이상을 차지하여 본 조사의 결과와 유사하였다. 이렇게 부적합 발생이 엽채류와 엽경채류에 집중되는 것은 다른 지역의 조사에서도 보고된 양상이며(Kwon et al., 2010; Kim et al., 2014), 엽채류와 엽경채류 모두 제한된 면적에서 재배되기 때문에 병해충 방제에 농약이 많이 소요됨에 따른 결과로 보인다(Kim et al., 2014). 특히 엽채류에서 발생률이 높은 것은 잎이 넓은 생물학적 특성에 따라 표면에 살포된 농약이 보다 용이하게 부착되어 잔류하기 때문으로 사료된다(Lee et al., 2009; Kim et al., 2013).

3년간 파, 쑥갓, 무(잎), 풋마늘은 꾸준히 부적합 판정을 받은 품목으로 나타났으며, 이 중에서도 무(잎)은 매년 2건 이상 부적합 농산물로 판정되어 총 7건의 부적합 사례가 발생하였다. 특히 무(잎) 검체 4건에서 Diazinon이 기준을 초과하여 검출되었는데, 채소류 재배에 널리 이용되는 Diazinon은 포

Table 10. List of agricultural products in violation of residual pesticide by year

2016		2017		2018	
Commodity	NO.	Commodity	NO.	Commodity	NO.
Welsh onion	3	Radish leaves	3	Chamnamul	4
Chamnamul	2	Mustard leaf	2	Crown daisy	3
Crown daisy	2	Spinach	2	Chard	2
Perilla leaves	2	Ssam cabbage	2	Perilla leaves	2
Radish leaves	2	Water dropwort	2	Radish leaves	2
Amaranth	1	Amaranth	1	Welsh onion	2
Chicory leaves	1	Chwinamul	1	Celery	1
Green garlic	1	Crown daisy	1	Chwinamul	1
Korean cabbage	1	Dong quai leaf	1	Green garlic	1
Pepper leaves	1	Green garlic	1	Marsh mallow	1
Radish root	1	Korean cabbage	1	Spinach	1
Ssam cabbage	1	Lettuch leaf	1		
		Pear	1		
		Pepper	1		
		Welsh onion	1		
Total	18	Total	21	Total	20

유류, 조류, 무척추동물 등 다양한 생물종에 영향을 주는 것으로 알려진 만킴(Burkepile *et al.*, 2000; Chowdhury *et al.*, 2013), 세심한 모니터링과 관리가 요구된다. 또한 참나물의 경우에는 조사기간 중 6건에서 기준을 초과한 잔류 농약이 검출되었으며, 특히 2018년에는 전체에서 가장 높은 부적합 빈도를 보임으로써 각별한 주의를 요하는 농산물로 확인되었다.

생산지역별 부적합 추이

조사 대상 검체의 생산지역별 부적합 발생 추이를 살펴보면(Table 11), 경기도 24건(40.7%), 충청남도 10건(16.9%), 인천광역시 6건(10.2%), 전라남도 6건(10.2%), 강원 4건(6.8%) 등으로 확인되었다. 부적합 판정을 받은 검체의 생산지 중 상위 5개 지역은 경기도 1.8%(24건/1,368건), 강원도 1.2%(4건/325건), 충청남도 1.1%(10건/939건), 전라남도 1.1%(6건/547건), 인천광역시 0.7%(6건/820건) 순이었다.

이를 통하여 Table 11에서와 같이 인천광역시와 가깝고 수거량이 많았던 지역에서 출하된 농산물의 부적합 발생률이 높게 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 또한 2016-2017년도 통계청 농업면적조사(Statistics Korea, Agricultural Area Survey, 2017) 자료에 따르면(Table 12) 농산물 생산 면적 기준으로 경기도(5위), 충청남도(3위), 전라남도(1위)가 상위에 있음을 알 수 있는데, 이를 통해 지역별 부적합 추이에 농산물 생산량 또한 영향을 준 것으로 풀이된다.

요약 및 결론

인천광역시 관내 유통 중인 농산물을 2016년부터 2018년까지 3년간 모니터링한 결과, 총 5,937건 중 59건(1.0%)에서 잔류농약이 허용기준을 초과하여 검출되었다. 잔류허용기준을 초과하여 농약이 검출된 부적합 농산물의 비율은 매년 1.0% 내외의 유사한 수준으로 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 검출률은 17.9%, 12.6%, 11.2%로 점차 감소하는 양상을 보였다. 부적합 판정 검체에서 검출된 농약 중 Diazinon, Chlorpyrifos, Iprodione, Endosulfan, Pencycuron, Pendimethalin, Terbufos 등의 순서로 검출 빈도가 높았으며, 농산물 분류별로는 엽채류와 엽경채류에서 매년 80% 이상 발생하였다. 생산지역별로는 인천광역시와 가깝고 생산량이 많은 곳에서 출하된 농산물에서 부적합률이 높게 나타나는 경향이 있었다.

이와 같은 모니터링 결과는 농산물 생산 및 유통 과정에서의 오염 실태를 보여줌으로써 농산물의 섭취 안전을 위하여 앞으로도 잔류농약 사용에 대하여 지속적인 추적이 필요함을 시사한다. 2019년 현재 PLS(Positive List System)제도가 전면 시행되면서 농약허용기준이 점차 엄격하게 적용되고 있으며, 잔류농약 검사에서 누락되는 부적합 농산물이 없도록 공영도매시장 내 현장검사소 설치 확대 및 인력충원이 추진되고 있는 실정이다. 따라서 본 조사와 같은 모니터링은 먹거리 안전 확보에 대한 촘촘한 안전망 역할로서의 필요성이 점차 강조될 것으로 전망되며, 조사 결과는 농산물 잔류농약 연구의 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

Table 11. Distribution of violation ratio in collected samples by production region

Production region	NO. of violation	NO. of sample	Ratio of violation
Gyeonggi-do	24	1,368	1.8%
Gangwon-do	4	325	1.2%
Chungcheongnam-do	10	939	1.1%
Jeollanam-do	6	547	1.1%
Incheon	6	820	0.7%
Other regions	9	1,938	0.5%
Total	59	5,937	1.0%

Table 12. Ranking of the extent of agricultural production by region in Republic of Korea (Statistics Korea)

Rank	Production region	Area of production (ha)	
		2016	2017
-	Nationwide	1,643,599	1,620,796
1	Jeollanam-do	298,095	293,863
2	Gyeongsangbuk-do	268,461	265,665
3	Chungcheongnam-do	215,100	213,238
4	Jeollabuk-do	200,720	199,196
5	Gyeonggi-do	169,435	165,707

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

- Abou-Donia, M. B., Wilmarth, K. R., Abdel-Rahman, A. A., Jensen K. F., Oehme F. W., & Kurt T. L. (1996). Increased neurotoxicity following concurrent exposure to pyridostigmine bromide, DEET, and chlorpyrifos. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 34, 201-222.
- Ahn, J. W., Jeon, Y. H., Hwang, J. I., Kim, J. M., Seok, D. R., Lee, E. H., Lee, S. E., Chung, D. H., & Kim, J. E. (2013). Monitoring of pesticide residues and risk assessment for fruits in market. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(2), 142-147.
- Burkepile, D. E., Moore, M. T., & Holland, M. M. (2000). Susceptibility of five nontarget organisms to aqueous diazinon exposure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64(1), 114-121.
- Chowdhury, M. A. Z., Bhattacharjee, Z., Fakhruddin, A. N. M., Islam, M. N., & Alam, K. (2013). Determination of cypermethrin, chlorpyrifos and diazinon residues in tomato and reduction of cypermethrin residues in tomato using rice bran. *World Journal of Agricultural Research*, 1(2), 30-35.
- Cox, C. (2000). Diazinon: toxicology. *Journal of Pesticide Reform*, 20(2), 15-21.
- Garcia, F. D., Ascencio S. Y. C., M., Oyarzun J. C. G., Hernandez A. C., Alavarado P. V. (2012). Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks. *Journal of Research in Environmental Science and Toxicology*, 1(11), 279-293.
- Jeon, J. S., Kwon, M. J., Nam, H. J., Kim, H. Y., Go, J. M., & Kim, Y. H. (2006). A survey on the pesticide residues on agricultural products on the markets in Incheon area from 2003 to 2005. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 25(2), 180-189.
- Kim, H. Y., Jeon, Y. H., Hwang, J. I., Kim, J. H., Ahn, J. W., Chung, D. H., & Kim, J. E. (2011). Monitoring of pesticide residues and risk assessment for cereals and leafy vegetables of certificated and general agricultural products, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(4), 440-445.
- Kim, H. Y., Lee, S. Y., Kim, C. G., Choi, E. J., Lee, E. J., Jo, N. G., Lee, J. M., & Kim, Y. H. (2013). A Survey on the pesticide residues and risk assessment for agricultural products on the markets in Incheon Area from 2010 to 2012. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(1), 61-69.
- Kim, N. H., Lee, J. S., Kim, O. H., Choi, Y. H., Han, S. H., Kim, Y. H., Kim, H. S., Lee, S. R., Lee, J. M., Yu, I. S., & Jung, K. (2014). Monitoring of pesticide residues and risk assessment on agricultural products marketed in the northern area of Seoul in 2013. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 29(3), 170-180.
- Kwon, S. M., Park, E. H., Kang, J. M., Jo, H. C., Jin, S. H., Yu, P. J., Ryu, B. S., & Jeong, G. H. (2010). Pesticide residues survey on agricultural products before auction at whole market in Busan area during 2006-2008. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 14(2), 86-94.
- Lee, H. J., Choe, W. J., Lee, J. Y., Cho, D. H., Kang, C. S., & Kim, W. S. (2009). Monitoring of ergosterol biosynthesis inhibitor (EBI) pesticide residues in commercial agricultural products and risk assessment. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 38(12), 1779-1784.
- Noh, H. H., Kang, K. W., Park, Y. S., Park, H. K., Lee, K. H., Lee, J. Y., Yeop, K. W., Lee, E. Y., Jin, Y. D., & Kyung, K. S. (2010). Monitoring and risk assessment of pesticide residues in agricultural products collected from wholesale and traditional markets in cheongju. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 14(1), 1-9.
- Whitney, K. D., Seidler, F. J., & Slotkin, T. A. (1995). Developmental neurotoxicity of chlorpyrifos: cellular mechanisms. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 134, 53-62.