pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 37, No. 4, pp. 249~259 (2022)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2022.37.4.249

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

인천광역시 유통 농산물의 잔류농약 안전성 조사

박병규* · 권성희 · 염미숙 · 한세연 · 강민정 · 주광식 · 허명제 · 권문주
인천광역시보건환경연구원 삼산농산물검사소

A Safety Survey of Pesticide Residues on Agricultural Products Marketed in Incheon from 2019 to 2021

Byung-Kyu Park*, Sung-Hee Kwon, Mi-Sook Yeom, Se-Youn Han, Min-Jung Kang, Kwang-Sig Joo, Myung-Je Heo, Mun-Ju Kwon
Samsan Agricultural Products Inspection Center, Incheon Metropolitan City Institute of Public Health and Environment

(Received June 03, 2022/Revised July 11, 2022/Accepted July 29, 2022)

ABSTRACT - This study investigated pesticide residues in 7,069 agricultural products distributed in the city of Incheon from 2019 to 2021. Ingestion of pesticides can cause serious carcinogenic, endocrine, neurological, and reproductive problems. Pesticide residues in the samples were analyzed using various multi-residue methods (GC-MS/MS, GC-ECD/NPD, LC-MS/MS, and HPLC-UVD) on the Korean Food Code. The violation rate of the samples exceeding the maximum residue level (MRL) of pesticide residues for the years 2019, 2020, and 2021 was 1.0%, 1.4%, and 1.1%, respectively. Diazinon, flubendiamide, procymidone, fluxametamide, and fluquinconazole were the most frequently reported violative pesticide residues. Most commonly encountered agricultural products exceeding MRLs were coriander leaves, chamnamul, chwinamul, welsh onion, and crown daisy. Agricultural products and pesticides frequently exceeding MRLs should be continuously inspected for food safety. Continuous monitoring of pesticide residues in agricultural products is indispensable to improve consumer safety by preventing the distribution of agricultural products exceeding MRLs.

Key words: Agricultural products, Pesticide residues, Safety, Incheon

농산물은 인간의 건강증진, 생명유지를 위해 필요한 영양소를 제공하나 농산물 중 잔류하는 농약, 중금속 등을 장기간 섭취할 경우 암, 생식독성 등 심각한 건강상의 문제를 발생시킬 수 있으므로 농산물에 존재하는 잔류농약 관리는 매우 중요하다[1]. 농약은 농산물의 생산 과정에서 잡초, 병충해 등으로부터 농작물을 보호하여 농산물의 수확량 증대, 생산성 향상과 재배방법의 편의성을 증대시키는 등 필수적으로 사용되는 도구이지만 사용되는 농약 종류에 따라 다르기는 해도 필연적으로 토양 및 농산물에 일부 잔류하여 환경과 인간에게 위해를 발생시킨다[2,3]. 따라서 농약의 과도한 사용 등을 예방하여 국민건강에 피해가 발생하지 않도록 농약별 특징에 따라 사용량, 사용 시기, 사용 횟수 등 사용방법에 대해 농약안전사용기준과 농약의 최대잔류허용기준을 설정하여 철저히 관리하고 있다[4]. 세계 각국은 농산물 중 잔류농약을 감소시키기 위해 많은 노력을 하고 있으며 지속적인 모니터링 검사를 실시하여 잔류농약 오염현황 및 추이 변화 등을 분석하고 그 결과를 식품안전정책의 기초자료로 사용하고 있으며 농약이 최대잔류허용기준을 초과하여 검출된 농산물은 유통 및 수입금지, 압류·폐기 등을 통해 유통 농산물의 안전성을 확보하고 있다[5]. 미국 FDA (Food and Drug Administration)에서는 매년 과일과 채소류 등의 농산물에 대한 잔류농약 모니터링을 실시하고 그 결과를 공개하고 있으며, EU (European Union)에서는 각 나라에서 자체적으로 모니터링을 실시할 뿐만 아니라 회원국이 연합하여 농산물의 잔류농약을 모니터링하고 있다[6,7]. 우리나라는 식품의약품안전처, 농산물품질관리원 등에서 농산물의 잔류농약에 대

*Correspondence to: Byung-Kyu Park, Samsan Agricultural Products Inspection Center, 46, Yeongseongdong-ro, Bupyeong-gu, Incheon, 21320, Korea
Tel: +82-32-440-5604, Fax: +82-32-440-8801
E-mail: iampbk@korea.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.

하여 매년 사용실태를 감시하고 있다. 특히 각 시도 보건환경연구원에서는 농산물검사소를 공영도매시장에 설치하여 경매 전 농산물, 유통 중 농산물을 상시 수거하여 잔류농약 검사를 실시하고 있으며 잔류농약이 잔류허용기준을 초과하여 검출될 경우 식약처 및 유관기관에 즉시 통보하여 조치를 취할 수 있도록 감시체계를 구축하고 있다[8]. 국가별로 재배 환경과 병충해에 따라 농약의 사용량, 사용하는 농약의 종류가 다르며 이에 따라 국가별로 다른 기준이 설정되어 있는데 우리나라에서는 식품의약품안전처의 「식품일반의 기준 및 규격」과 농촌진흥청의 「농약 등의 안전사용기준」이 있다[9]. 국가별로 서로 다른 기준을 적용하는 것은 농산물의 안전관리에 문제가 발생할 수 있으므로 자국의 농산물 안전성을 확보하기 위해 기준이 수립되지 않은 농약이 0.01 mg/kg 이상 검출되는 농산물의 판매, 유통 등을 금지하는 positive list, 불검출을 원칙으로 하는 zero tolerance 등을 도입하여 안전성을 확보하고 있다[10]. 외국으로부터 농산물 수입이 많은 우리나라는 잔류농약 안전관리 강화를 위해 열대과일류와 견과종실류에 대해 2016년 12월 31일부터 농약 허용물질목록 관리제도(Positive List System, PLS)을 도입하였고 2019년 1월 1일부터 모든 농산물에 PLS를 확대하여 적용했다[11]. 또한, 식품의약품안전처에서는 농산물의 안전관리를 위해 매년 생산단계 농산물과 유통 농산물의 안전관리계획을 수립하여 잔류농약 검사를 실시하도록 식품안전관리지침[12]을 시행하고 있으며 주기적으로 부적합 다발 농산물 등에 대한 정보공유를 통해 집중관리 할 수 있도록 노력하고 있다.

따라서 본 연구에서는 2019년 1월부터 2021년 12월까지 인천광역시에서 유통 중인 농산물의 잔류농약 실태조사를 통하여 유통 농산물의 안전성 확보 및 소비자의 불안감을 해소하고 잔류농약 검출현황에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

Materials and Methods

실험재료

본 실험에 사용한 농산물은 2019년부터 2021년까지 인천광역시 삼산농산물도매시장, 전통시장, 대형마트, 로컬푸드직매장 등에서 유통되는 농산물 7,069건을 대상으로 잔류농약을 검사하였으며 수거목록은 Table 1과 같다.

농약표준품 및 시약

잔류농약 검사에 사용한 농약 표준품은 AccuStandard (New Haven, CT, USA)의 순도가 확인된 제품을 사용하였다. 농약 추출을 위한 용매인 acetonitrile (ACN, Honeywell, Muskegon, MI, USA), acetone (Honeywell), dichloromethane (DCM, Honeywell), *n*-hexane (Honeywell), methanol (Honeywell), water (Honeywell, Ulsan, Korea)과 sodium chloride (Junsei, Tokyo, Japan)은 HPLC grade 시약을 사용하였다. 시료의 정제는 florisil cartridge (1 g, 6 mL, Bekolut, Haupststuhl, Rhineland-Palatinate, Germany), aminopropyl (NH_2) cartridge (1 g, 6 mL, Bekolut)를 구입하여 사용하였다. 또한, 2021년 10월부터 적용된 개정 시험법에 따른 농약 추출 및 정제를 위해 CHROMATIFIC 사의 QuEChERS kits (Heidenrod, Germany)를 구입하여 사용하였다.

분석농약

분석 대상 농약은 식품공전의 다종농약다성분 분석법 제2법과 2021년 10월부터 적용된 다성분 시험법 제2법으로 분석 가능한 농약을 대상으로 하였다. 조사기간 중 식품공전 시험법에서 매년 분석 대상 항목이 추가되고 분석법이 변경됨에 따라 본 검사소에서 분석 가능한 농약도 373종(2019년), 400종(2020년 1월-2021년 9월), 340종(2021년 10월)까지 증감하여 분석하였다.

Table 1. The numbers of collected agricultural products in this study

Type	2019 (%)	2020 (%)	2021 (%)
Cereal grains	201 (8.6)	55 (2.4)	34 (1.4)
Potatoes	41 (1.8)	36 (1.6)	20 (0.8)
Pulses	28 (1.2)	25 (1.1)	18 (0.7)
Nuts and Seeds	19 (0.8)	12 (0.5)	11 (0.4)
Fruits	172 (7.3)	169 (7.4)	117 (4.8)
Vegetables	1,713 (73.1)	1,765 (77.7)	2,073 (84.4)
Mushrooms	70 (3.0)	69 (3.0)	52 (2.1)
Herbs and Spices	18 (0.8)	88 (3.9)	72 (2.9)
Others	80 (3.4)	52 (2.3)	59 (2.4)
Total	2,342 (100%)	2,271 (100%)	2,456 (100%)

잔류농약 분석방법

시료의 전처리는 식품공전 일반시험법의 다종농약다성분 분석법 제2법[13]과 개정된 다성분 시험법 제2법[14]에 따라 실시하였다. 다종농약다성분 분석법 제2법은 농산물의 가식부위 1 kg을 분쇄하여 50 g을 취하고 ACN 100 mL을 가하여 분쇄기로 3분간 균질화하고 감압여과하였다. 그 후 여액을 sodium chloride 15 g이 들어 있는 분액깔때기에 취하여 심하게 흔든 후 층 분리가 이루어질 때까지 정치하였다. ACN 층을 GC와 LC 분석용으로 각각 20 mL을 취하여 40°C 이하 수욕상에서 감압농축하였다. GC 분석용 시료의 잔류물에는 acetone/*n*-hexane (20/80, v/v) 4 mL를 가하여 용출한 후, *n*-hexane 5 mL와 acetone/*n*-hexane (20/80, v/v) 5 mL로 미리 활성화 시킨 florisil 카트리지 (1 g, 6 mL)에 주입하고 용출시켜 시험관에 받았다. 다시 acetone/*n*-hexane (20/80, v/v) 5 mL를 용출하여 동일 시험관에 모은 용출액을 40°C 이하 수욕상에서 감압농축하고 잔류물을 acetone/*n*-hexane (20/80, v/v) 2 mL에 용해하여 시험용액으로 하였다. LC 분석용 시료의 잔류물에는 methanol/DCM (1/99, v/v) 4 mL를 가하여 용출한 후, DCM 5 mL로 미리 활성화 시킨 amino-propyl 카트리지 (1 g, 6 mL)에 주입하고 용출시켜 시험관에 받았다. 다시 methanol/DCM (1/99, v/v) 7 mL를 용출하여 동일 시험관에 모은 용출액을 40°C 수욕상에서 감압농축하고 잔류물을 ACN 2 mL로 용해한 후 0.2 μm syringe filter (Advantec, Otowa, Tokyo, Japan)로 여과하여 시험용액으로 하였다. 다성분 시험법 제2법은 시료 10 g을 취하고 ACN 10 mL과 extraction kits을 가하여 1분간 강하게 진탕한 후 원심분리(4,000 g, 4°C, 10 min) 하였다. 상층액 1 mL를 취하여 d-SPE kits에 가한 후 30초간 강하게 진탕하고 원심분리(10,000 g, 4°C, 10 min)하였다. 원심분리 상층액을 0.2 μm syringe filter로 여과하여 시험용액으로 사용하였다.

GC 분석은 GC-MS/MS (Agilent Technologies, Santa Clara, California, USA), ECD (Agilent, 6890N)와 NPD

Table 2. Analytical conditions of GC-MS/MS

Instrument	GC-MS/MS
Column	Agilent DB-5MS (250 μm × 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 → 70°C (2 min) → 180°C (8.5 min) → 300°C (39.5 min)[1)] 60°C (0 min) → 180°C (6 min) → 300°C (30 min) → 300°C (32 min)[2)]
Ion source temperature	250°C

1) 다종농약다성분 분석법 제2법,
2) 다성분 시험법 제2법

Table 3. Analytical conditions of LC-MS/MS

Instrument	LC-MS/MS
Column	Thermofisher Scientific Accucore aQ (2.1 mm × 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 → 20(0.5 min) → 70(2.5 min) → 95(9 min) → 95(12 min) → 20(12.1 min) → 20(15 min)[1)] 90 → 90(1 min) → 40(2.5 min) → 5(9 min) → 5(12 min) → 90(12.1 min) → 90(15 min)[2)]
Flow rate	0.3 mL/min
Oven temperature	40°C
Ion source type	ESI (Electrospray ionization), Positive ion spray mode (3800 V)
Scan range	50-1650

1) 다종농약다성분 분석법 제 2 법
2) 다성분 시험법 제 2 법

Table 4. Analytical conditions of GC-ECD and GC-NPD

Instrument	ECD	NPD
Column	Agilent DB-5 (250 μm × 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 → 150°C(1 min) → 240°C/min(10.5 min) → 280°C(28 min)	120°C → 120°C(1 min) → 240°C/min(13 min) → 280°C(27 min) → 300°C(30 min)

Table 5. Analytical conditions of HPLC

Instrument	HPLC
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)

(Agilent, 6890N)를 사용하였고 LC 분석은 LC-MS/MS (Thermofisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA)와 LC (Dionex, Sunnyvale, California, USA)를 사용하였다. 잔류농약 정성 및 정량분석을 위해 사용한 장비의 분석 조건은 Table 2-5와 같다.

유효성 검증

분석방법에 대한 유효성 검증은 유통 농산물에서 검출된 농약을 대상으로 식품공전 잔류농약 분석법 실무 해설서[15]에 따라 실시하였다. 회수율 실험은 잔류농약이 검출되지 않은 농산물에 표준용액을 0.1, 1.0 mg/kg 첨가한 후 시험법과 동일하게 3회 반복 분석하였다. 검출한계(limit of detection, LOD) 및 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 국제의약품규제조화위원회(international council for harmonization of technical requirements for pharmaceuticals for human use, ICH)에서 제시한 방법에 따라 산출하였다[16]. 표준편차(δ)와 검량선의 기울기(*S*)를 구하여 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$LOD = 3.3\ \delta/S$$
$$LOQ = 10\ \delta/S$$

δ = The standard deviation of the response
S = The slope of the calibration curve

Results and Discussion

유효성 검증

유통 농산물에서 부적합 발생빈도가 높은 잔류농약에 대한 시험법 유효성 검증결과는 Table 6와 같다. 검량선에 대한 직선성 상관계수는 0.9947-0.9999, LOD는 0.004-0.032 mg/kg, LOQ는 0.012-0.096 mg/kg으로 나타났다. 각 농약에 대한 회수율은 0.1 mg/kg 농도에서 84.7±5.8-103.9±1.7% 범위로 나타났으며 1.0 mg/kg 농도에서 87.5±2.6-101.2±0.6%로 나타났다. Codex에서 요구하는 잔류농약 시험법 검증에 대한 회수율 허용기준은 0.1 mg/kg에서 회수율 70-120%, 분석오차 20%이며 1.0 mg/kg에서 회수율 70-110%, 분석오차 15%이다[17]. 우리나라는 회수율 70-120%, 상대표준편차 20% 이하를 제시하고 있어 기준에 적합한 것으로 판단되었다[15].

연도별 잔류농약 검출 현황

2019년 1월부터 2021년 12월까지 인천광역시 농산물도매시장, 전통시장 등에서 유통된 농산물 7,069건에 대하여 잔류농약을 분석한 결과는 Table 7과 같다. 잔류농약이 허용기준을 초과하여 검출된 부적합 검체의 비율은 2019년 1.0%(24건/2,342건), 2020년 1.4%(31건/2,271건), 2021년 1.1%(28건/2,456건)으로 평균 1.2% 수준이었다. 농산물에서의 잔류농약 검출율은 2019년 8.2%(191건/2,342건), 2020년 8.4%(191건/2,271건), 2021년 7.4%(181건/2,456건)로 매

Table 6. Recovery rate, LOD and LOQ of pesticides

Pesticides	Correlation coefficient (R^2)	Concentration (mg/kg)	Recovery±RSD (%)	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)
Chlorpyrifos	0.9963	0.1	98.7±5.4	0.004	0.012
		1.0	101.2±0.6		
Chlorpyrifos-methly	0.9999	0.1	96.4±1.3	0.006	0.019
		1.0	99.6±2.9		
Diazinon	0.9970	0.1	91.9±1.4	0.005	0.015
		1.0	89.2±0.9		
Fenitrothion	0.9978	0.1	89.6±5.2	0.016	0.048
		1.0	92.1±3.7		
Fenobucarb	0.9993	0.1	89.2±4.6	0.009	0.0028
		1.0	92.0±2.9		
Flubendiamide	0.9985	0.1	93.3±3.9	0.024	0.072
		1.0	95.6±3.0		
Fluquinconazole	0.9993	0.1	90.9±6.7	0.013	0.0038
		1.0	88.4±4.2		
Fluxametamide	0.9996	0.1	94.3±2.4	0.009	0.027
		1.0	90.6±3.0		
Hexaconazole	0.9963	0.1	84.7±5.8	0.032	0.096
		1.0	90.3±2.8		
Isoprothiolane	0.9971	0.1	85.5±3.1	0.018	0.054
		1.0	87.6±4.5		
Lufenuron	0.9949	0.1	90.8±0.9	0.007	0.021
		1.0	94.1±4.6		
Pendimethalin	0.9982	0.1	103.9±1.7	0.012	0.036
		1.0	92.5±1.6		
Prochloraz	0.9990	0.1	86.3±4.3	0.011	0.033
		1.0	87.5±2.6		
Procymidone	0.9999	0.1	98.9±1.2	0.008	0.024
		1.0	90.5±0.6		
Pyridalyl	0.9948	0.1	85.8±1.2	0.017	0.050
		1.0	94.2±4.3		
Tebupirimfos	0.9947	0.1	96.2±2.3	0.009	0.027
		1.0	90.2±3.7		

Table 7. Status of detection of pesticide residues in collected samples by year

	Year			Total (Average)
	2019	2020	2021	
Number of samples	2,342	2,271	2,456	7,069
Number of detected samples (%)	191 (8.2)	191 (8.4)	181 (7.4)	563 (8.0)
Number of violation (%)	24 (1.0)	31 (1.4)	28 (1.1)	83 (1.2)

년비슷한 수준으로 나타났다.「인천광역시 유통 농산물의 잔류농약 실태조사」에 따르면 잔류농약 검출율이 2016년 17.9%, 2017년 12.6%, 2018년 13.9% 수준으로, 최근 3년간은 검출건수가 감소 추세인 것으로 나타났다[18]. 이는

2019년부터 PLS 제도의 도입에 따라 농민들에 대한 교육과 홍보 등으로 농산물 중 잔류농약에 대한 관심과 인식 개선 때문인 것으로 판단된다.

부적합 농산물의 잔류농약 검출현황

2019년부터 2021년까지 최근 3년간 유통된 농산물에서 검출된 부적합 농약성분은 각각 17종, 21종, 16종으로 2020년도가 부적합 건수와 검출농약의 종류가 많았으며 3년간 총 35종이 검출되었다. 유통 중인 농산물에서 부적합 발생빈도가 높은 잔류농약은 Table 8과 같이 diazinon (16회), flubendiamide (7회), procymidone (6회), fluxametamide (6회), fluquinconazole (5회), hexaconazole (4회), chlorpyrifos (3회), isoprothiolane (3회), pendimethalin (3회), fenobucarb (2회), chlorpyrifos-methyl (2회), lufenuron (2회), prochloraz (2회), pyridalyl (2회) 등의 순으로 높았다. 특히, Diazinon은 매년 가장 높은 빈도로 잔류농약허용기준을 초과하여 검출된 농약성분으로 허용된 농작물 수가 적고 농산물의 농약 잔류허용기준이 0.02-0.3 mg/kg으로 다른 농약성분과 비교하여 매우 낮아 부적합이 발생될 가능성이 높은 농약이다. Diazinon은 과일류, 채소류, 곡류 등 사용 범위가 넓고 농업, 원예, 상업 등에 이용되는 유기인계 살충제로 신경전달물질인 acetylcholine esterase를 억제하는 작용을 통해 살충작용을 하는 것으로 알려져 있다[19]. 엽채류, 엽경채류 등 채소류 재배에 널리 이용되는 diazinon은 조류, 포유류, 무척추동물 등 다양한 생물종에 영향을 주는 것으로 알려진 만큼 지속적인 모니터링과 철저한 관리가 요구된다[20,21]. 두 번째로 부적합 발생빈도가 높았던 Flubendiamide은 고추, 딸기, 배추, 사과, 오이, 참외, 파 등의 농작물에 사용 가능한 organofluorine 계열의 농약으로 강력한 살충효과가 있으나 포유동물에서는 독성이 낮은 것으로 보고되고 있다[22]. Procymidone은 가지, 감자, 고추, 부추, 상추, 딸기, 사과 등 다양한 농산물에서 병충해를 예방하는데 사용되는 dicarboximide 계열의 살균제로 물리화학적으로 빛과 열 등에 안정하며 토양환경에서 흡착량이 높고 농작물에 살포된 후 분해가 천천히 진행되어 약제의 소멸 정도가 느린 특징이 있는 것으로 알려져 있으며 이런 특성으로 인해 농산물 중 잔존성이 높아 검출률이 높게 나오는 것으로 알려져 있다[23,24]. Fluxametamide은 고추,

Table 8. List of pesticide residues violation from 2019 to 2021

No.	2019		2020		2021	
	Pesticide	No. of violation	Pesticide	No. of violation	Pesticide	No. of violation
1	Diazinon	5	Diazinon	4	Diazinon	7
2	Flubendiamide	2	Flubendiamide	3	Fluxametamide	6
3	Fluquinconazole	2	Procymidone	3	Flubendiamide	2
4	Isoprothiolane	2	Chlorpyrifos	2	Pendimethalin	2
5	Procymidone	2	Fenobucarb	2	Terbufos	2
6	Chlorpyrifos	1	Fluquinconazole	2	Alachlor	1
7	Chlorpyrifos-methyl	1	Hexaconazole	2	Carbendazim	1
8	Etofenprox	1	Chlorfenapyr	1	Cyantraniliprole	1
9	Fthalide	1	Chlorothalonil	1	Fenitrothion	1
10	Hexaconazole	1	Chlorpyrifos-methyl	1	Fluquinconazole	1
11	Lufenuron	1	Diethofencarb	1	Hexaconazole	1
12	Pendimethalin	1	EPN	1	Mefentrifluconazole	1
13	Prochloraz	1	Fenitrothion	1	Procymidone	1
14	Profenofos	1	Fluopyram	1	Tebufenpyrad	1
15	Pyridalyl	1	Isoprothiolane	1	Tebupirimfos	1
16	Tebupirimfos	1	Lufenuron	1	Tetraconazole	1
17	Uniconazole	1	Methidathion	1		
18			Novaluron	1		
19			Prochloraz	1		
20			Pyridalyl	1		
21			Tebuconazole	1		
Total		25		32		30

배, 배추, 복숭아, 부추, 사과, 셀러리, 시금치, 엇갈이배추, 파, 호박 등에 사용 가능한 isoxazoline 계열의 살충제이며 fluquinconazole은 사과, 배, 오이, 수박, 마늘, 양파, 오미자, 근대 등에 사용 가능한 triazole 계열의 살균제이다[25,26]. 경기도 보건환경연구원「2020 농산물 잔류농약 통계연보」에 따르면 본 연구에서 부적합 발생빈도가 높았던 diazinon, flubendiamide, chlorpyrifos, procymidone, fluquinconazole 등이 부적합 발생빈도가 높았다고 보고하였다[27].

농산물별 부적합 현황

2019년부터 2021년까지 농약 잔류허용기준을 초과하여 부적합 판정을 받은 농산물 총 83건을 Table 9에 나타냈다. 2019년에는 엽채류 16건(66.7%), 허브류 4건(16.7%), 엽경채류 3건(12.5%), 근채류 1건(4.2%)이며 2020년에는 엽채류 18건(58.1%), 허브류 8건(25.8%), 엽경채류 2건(6.5%), 곡류 2건(6.5%), 과일류 1건(3.2%)이었고 2021년에는 엽채류 22건(78.6%), 허브류 3건(10.7%), 엽경채류 3건(10.7%)이었다. 유통 농산물 중에서 엽채류의 부적합이 최근 3년간 평균 67.8%로 가장 높았다. 이러한 결과는 앞서 연구된 인천지역 내 유통 농산물의 잔류농약 모니터링 결과에서도 부적합 판정을 받은 엽채류가 조사기간 내 75% 이상을 차지한다고 보고하여 본 결과와 유사하였다[18]. 또한, 유통 농산물 중 엽채류와 엽경채류에서 부적합 발생율이 높다는 것은 다른 지역의 잔류농약 모니터링에도 보고되고 있다[28,29]. 특히 엽채류에서 잔류농약 부적합율이 높은 것은 재배시 병충해 방제에 농약이 많이 사용되고 잎이 넓은 생물학적 특성상 살포된 농약의 부착량이 많아 잔류할 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다[30].

유통 농산물 중 최근 3년 동안 지속적으로 잔류허용기준을 초과한 농산물은 고수(잎), 참나물, 취나물, 파 등이며 고수(잎)은 3년 연속으로 부적합 건수가 가장 많았다. Table 10은 농약 잔류허용기준을 초과한 농산물, 검출농약, 검출수준 등을 나타냈다. 상추에서 terbufos가 잔류허용기준의 1.2배(1.8/1.5 mg/kg)의 농도로 검출되었으며 겨자채에서는 flubendiamide가 기준치의 최대 250배(5.01/0.02 mg/kg)까지 검출되기도 하였다. 부적합이 가장 많이 발생한 고수는 diazinon (0.04-0.11 mg/kg), etofenprox (0.74 mg/kg), profenofos (0.84 mg/kg), pyridalyl (0.07-1.38 mg/kg), tebupirimfos (0.04 mg/kg), 참나물은 diazinon (0.03-0.54 mg/kg), fluquinconazole (0.26-0.42 mg/kg), procymidone (0.12-0.40 mg/kg), 취나물은 alachlor (0.40 mg/kg), fenobucarb (0.36 mg/kg), fthalide (0.08 mg/kg), hexaconazole (1.8-2.2 mg/kg), isoprothiolane (0.06 mg/kg), tebuconazole (0.39 mg/kg)으로 검출되었다. 2020년 허브류의 잔류농약 부적합 비

Table 9. List of violated agricultural products from 2019 to 2021

2019		2020		2021	
Commodity	No.	Commodity	No.	Commodity	No.
Coriander leaves	4	Coriander leaves	3	Coriander leaves	3
Perilla leaves	3	Chamnamul	3	Chamnamul	3
Mustard leaf	2	Chwinamul	3	Crown daisy	3
Radish leaves	2	Dill	2	Shepherd’s purse	2
Spinach	2	Basil	2	Lettuce leaves	2
Welsh onion	2	Coastal hog fennel	2	Chwinamul	2
Mustard greens	1	Welsh onion	2	Welsh onion	2
Shepherd’s purse	1	Dolnamul	2	Mustard leaf	1
Coastal hog fennel	1	Crown daisy	2	Mustard greens	1
Chinese chives	1	Rice	2	Chili pepper leaves	1
Lettuce leaves	1	Mustard leaf	1	Danggwi leaves	1
Ginger	1	Chili pepper leaves	1	Giant butterbur	1
Slender-leaf indian lettuce	1	Lemongrass	1	Radish leaves	1
Chamnamul	1	Chamssuk	1	Chinese chives	1
Chwinamul	1	Schisandraberry	1	Spinach	1
		Rape leaves	1	Curled mallow	1
		Chicory leaves	1	Pak-choi	1
		Parsley	1	Chicory leaves	1
Total	24		31		28

율이 높은 것은 향신식물 분류 신설에 따라 허브류의 집중수거 검사에 기인한 것으로 허브류 재배농가의 농약 사용 등의 문제점을 도출하였다. 그러나, 2021년에도 허브류 중 고수(잎)의 잔류농약 부적합 건수가 가장 많아 지속적

Table 10. List of pesticides exceeding MRL in agricultural products

Vegetables	Pesticides exceeding MRL	Concentration range of pesticides detected (mg/kg)	MRL (mg/kg)
Basil	Hexaconazole	0.67	0.05
	Lufenuron	0.32	0.05
Chamnamul	Diazinon	0.03-0.54	0.01
	Fluquinconazole	0.26-0.42	0.05
	Procymidone	0.12-0.40	0.05
Chamssuk	Chlorpyrifos	0.10	0.05
Chicory leaves	Flubendiamide	0.10-0.15	0.02
Chili pepper leaves	Chlorothalonil	2.22	0.01
	Cyantraniliprole	6.0	3.0
	Fluxametamide	1.95	0.01
Chinese chives	Chlorpyrifos-methyl	0.11	0.05
	Terbufos	0.52	0.05
Coastal hog fennel	Chlorpyrifos	0.11	0.05
	Chlorpyrifos-methyl	0.03	0.01
	EPN	0.35	0.01
Coriander leaves	Diazinon	0.04-0.11	0.01
	Etofenprox	0.74	0.05
	Profenofos	0.84	0.03
	Pyridalyl	0.07-1.38	0.01
Chwinamul	Tebupirimfos	0.04	0.01
	Alachlor	0.40	0.01
	Fenobucarb	0.36	0.01
	Fthalide	0.08	0.01
	Hexaconazole	1.8-2.2	1.0
	Isoprothiolane	0.06	0.01
	Tebuconazole	0.39	0.05
Crown daisy	Diazinon	0.14-0.26	0.01
	Flubendiamide	0.06-0.45	0.02
	Fluxametamide	0.12	0.01
Curled mallow	Fluxametamide	0.20	0.01
Danggwi leaves	Tebufenpyrad	2.5	1.0
Dill	Chlorfenapyr	0.65	0.05
	Diethofencarb	0.18	0.01
Dolnamul	Fluopyram	0.67	0.04
	Procymidone	0.10	0.05
Giant butterbur	Pendimethalin	0.13	0.05
Ginger	Lufenuron	0.17	0.05
Lemongrass	Chlorpyrifos	0.22	0.04

Table 10. (Continued) List of pesticides exceeding MRL in agricultural products

Vegetables	Pesticides exceeding MRL	Concentration range of pesticides detected (mg/kg)	MRL (mg/kg)
Lettuce leaves	Fluxametamide	0.9	0.2
	Prochloraz	0.04	0.01
	Terbufos	1.8	1.5
Mustard greens	Tetraconazole	0.10	0.01
	Flubendiamide	0.51-5.01	0.02
Mustard leaf	Diazinon	0.07	0.01
	Flubendiamide	0.12	0.02
	Fluxametamide	0.21	0.01
Parsley	Hexaconazole	1.1	0.7
	Diazinon	0.06	0.01
Pak-choi	Fluxametamide	0.12	0.01
Perilla leaves	Procymidone	0.12-0.19	0.05
	Uniconazole	0.03	0.01
Rice	Fenitrothion	1.6	0.2
	Fenobucarb	0.8	0.5
Schisandraberry	Methidathion	0.27	0.05
Shepherd's purse	Diazinon	0.23	0.01
	Fenitrothion	0.62	0.05
Slender-leaf indian lettuce	Pendimethalin	2.20	0.05
	Tebupirimfos	0.03	0.01
Spinach	Carbendazim	0.44	0.01
	Fluquinconazole	0.11-0.14	0.01
Radish leaves	Diazinon	0.09-1.00	0.01
Rape leaves	Novaluron	1.06	0.05
Welsh onion	Fluquinconazole	1.7	0.3
	Mefentrifluconazole	0.7	0.3
	Isoprothiolane	0.04-0.19	0.01
	Pendimethalin	0.09	0.05
	Prochloraz	1.9	1.0

인 모니터링을 통한 감시와 농약 사용방법에 대한 농민의 인식 개선이 요구되고 있다. 유통 농산물에서 검출된 유기인계 농약인 chlorpyrifos, chlorpyrifos-methyl, diazinon, fenitrothion, methidathion 등은 총 28건(32.2%)이며 특히 diazinon은 16건(18.4%)으로 매우 높은 부적합 사례가 발생하였다. 부적합 발생빈도가 높은 유기인계 농약은 유기염소계와 비교해서 지속성이 적어 잔류의 위험이 낮으나 살충력이 강해 적용 해충의 범위가 넓으며 사용 대상 농작물의 종류도 다양하다. 고수(잎), 참나물, 취나물, 파, 쑥갓 등 부적합이 자주 발생되는 농산물과 부적합 검출빈도가 높은 농약성분들의 관리를 위해서 농약 사용량 및 사용법 준수, 출하시기 조절 등 농민들의 교육 및 인식 개선이 매우 중요하며 정부 등 규제기관들의 지속적인 모니터링 검사를 통해 경각심을 높여야 잔류농약 부적합 농산물의 발생을 저감화 할 수 있을 것으로 판단된다.

생산지역별 부적합 현황

2019년부터 2021년까지 인천에서 유통 중인 농산물에 대한 잔류농약검사 결과, 농약 잔류허용기준을 초과한 농산물을 지역별로 살펴보면 경기도 31건(37.3%), 인천광역시 16건(19.3%), 충청남도 14건(16.9%), 전라남도 9건(10.8%) 순서로 부적합 발생빈도가 높았다(Table 11). 경기도, 인천광역시, 충청남도의 경우 지리적으로 거리가 멀지 않은 인천광역시에 많은 농산물이 출하, 유통되기 때문인 것으로 보

Table 11. Violation ratio by region of production in the analyzed sample

Production region	Number of violation	Number of sample	Ratio of violation (%)
Gyeonggi-do	31	1,868	1.7
Incheon metropolitan city	16	794	2.0
Chungcheongnam-do	14	1,184	1.2
Chungcheongbuk-do	2	155	1.3
Gyeongsangnam-do	3	212	1.4
Gangwon-do	2	295	0.7
Jeollanam-do	9	565	1.6
Others	10	1,996	0.5
Total	83	7,069	1.2

이며 이들 지역에서 출하되는 농산물의 검사건수 대비 부적합율은 모두 1.5% 내외로 큰 차이는 없었다.

국문요약

인천광역시에서 유통 중인 농산물을 대상으로 2019년부터 2021년까지 최근 3년간 잔류농약 모니터링을 실시한 결과 총 7,069건 중 83건(1.2%)이 잔류허용기준을 초과하였다. 농약 잔류허용기준을 초과한 부적합 농산물의 비율은 1.0%, 1.4%, 1.1%으로 매년 유사한 수준으로 나타났으며 잔류농약 검출율은 8.2%, 8.4%, 7.4%를 보였다. 최근 3년간 diazinon, flubendiamide, procymidone, fluxametamide, fluquinconazole, hexaconazole 등의 순서로 부적합 검출빈도가 높았으며 농산물 분류별로는 전체 농산물 중 엽채류와 허브류에서 매년 83% 이상 발생하였다. 부적합 발생빈도가 높았던 농산물은 고수(잎), 참나물, 취나물, 파 등이었으며 고수(잎)은 3년 연속으로 부적합 건수가 가장 많았다. 농산물 생산지역별로는 경기, 인천, 충남, 전남 순으로 부적합 건수가 많았으나 지역별 출하 농산물의 검사건수 대비 부적합율은 1.5% 내외로 큰 차이는 없었다. 일부 농산물에서 농약 잔류허용기준의 최대 250배까지 잔류농약이 검출되는 사례도 발생하므로 부적합이 자주 발생하는 농산물, 부적합 검출빈도가 높은 농약 성분들의 철저한 관리가 요구된다. 특히, 농약 사용량 및 사용법 준수, 출하시기 조절 등 농민들의 교육 및 인식 개선이 필요할 것으로 보인다. 안전이 확보된 농산물의 생산과 유통, 소비자의 안전한 식생활을 보장하기 위해서는 농산물에 대한 잔류농약 모니터링을 지속적으로 실시하여 부적합 발생 농산물의 유통을 사전에 차단하는 것이 무엇보다 중요할 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Byung-Kyu Park https://orcid.org/0000-0002-1010-3244
Sung-Hee Kwon https://orcid.org/0000-0001-8394-4098
Mi-Sook Yeom https://orcid.org/0000-0001-9771-2992
Se-Youn Han https://orcid.org/0000-0001-9182-8898
Min-Jung Kang https://orcid.org/0000-0002-9231-2006
Kwang-Sig Joo https://orcid.org/0000-0002-6038-0282
Myung-Je Heo https://orcid.org/0000-0003-3801-2798
Mun-Ju Kwon https://orcid.org/0000-0001-9556-9950

References

1. Sana, S., Cetin, T., Investigation of pesticide residues in vegetables and fruits grown in various regions of hatay, turkey. *Food Addit. Contam. Part B*., **5**, 265-267 (2012).
2. Lee, H.J., Choe, W.J., Lee, J.Y., Cho, D.H., Kang, C.S., Kim, W.S., Monitoring of ergosterol biosynthesis inhibitor (EBI) pesticide residues in commercial agricultural products and risk assessment. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutri*., **38**, 1779-1784 (2009).
3. Wang, S., Wang, Z., Zhang, Y., Wang, J., Guo, R., Pesticide residues in market foods in shaanxi province of china in 2010. *Food Chem*., **138**, 2016-2025 (2013).
4. Bhanti, M., Taneja, A., Contamination of vegetables of different seasons with organophosphorous pesticides and related health risk assessment in northern india. *Chemosphere*, **21**, 36-44 (2010).
5. Park, B.K., Kwon, S.H., Yeom, M.S., Han, S.Y., Kang, M.Jung., Seo, S.J., Joo, K.S., Heo, M.J., Monitoring and risk assessment of pesticide residues in school foodservice agricultural products in incheon. *Korean J. Food Sci. Technol*., **53**, 470-478 (2021).
6. 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., Monitoring and risk assessment of pesticide residues in agricultural products collected from wholesale and traditional markets in cheongju. *Korean J. Pestic. Sci*., **14**, 1-9 (2010).

7. Kim, H.Y., Lee, S.Y., Kim, C.G., Choi, E.J., Lee, E.J., Jo, N.G., Lee, J.M., Kim, Y.H., A survey on the pesticide residues and risk assessment for agricultural products on the markets in incheon area from 2010 to 2012. *Korean J. Environ. Agric.,* **32**, 61-69 (2013).
8. Park, B.K., Jung, S.H., Kwon, S.H., Ye, E.Y., Lee, H.J., Seo, S.J., Joo, K.S., Heo, M.J., Monitoring and risk assesment of pesticide residues on stalk and stem vegetables marketed in incheon metropolitan area. *J. Food Hyg. Saf*., **35**, 365-374 (2020).
9. Lim, J.H., Park, P.H., Lim, B.G., Ryu, K.S., Kang, M.S., Song, S.H., Kang, N.H., Yoo, N.Y., Kim, J.E., Kang, C.W., Kim, Y.H., Seo, J.H., Choi, O.K., Yoon, M.H., Monitoring and risk assessment of pesticide residues farmers'market produce in northern gyeonggi-do. *J. Food Hyg. Saf*., **35**, 243-251 (2020).
10. Ryu, K.S., Park, P.H., Kim, K.Y., Lim, B.G., Kang, M.S., Lee, Y.J., Kang, C.W., Kim, Y.H., Lee, S.Y., Seo, J.H., Park, Y.B., Yoon, M.H., Monitoring and risk assessment of pesticide residues in agricultural products for raw juice in gyeonggi-do. *J. Food Hyg. Saf*., **33**, 339-346 (2018).
11. 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).
12. Ministry of Food and Drug Safety, 2020, Guidelines for Food Safety Management, Cheongju, Korea, pp. 461-490.
13. Ministry of Food and Drug Safety, 2019, Ministry of Food and Drug Safety Notification, 8th General test method, Cheongju, Korea, pp. 325-327.
14. Ministry of Food and Drug Safety, 2022, Korea Food Code, Cheongju, Korea, pp. 329-377.
15. Ministry of Food and Drug Safety, 2017, Analytical Manual for Pesticide Residues in Foods, 5th ED., Cheongju, Korea, pp. 78-82.
16. The International Council for Harmonization of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use (ICH), quality guidelines, validation for analytical procedures, (2022, April 20). Retrieved from https://database.ich.org/sites/default/files/Q2_R1_Guideline.pdf
17. Codex Alimentarius Commission, (2003, CAC/GL 40-1993). Guidelines on good laboratory practice in pesticide residue analysis.
18. Park, J.E., Lee, M.Y., Kim, S.H., Song, S.M., Park, B.K., Seo, S.J., Song, J.Y., Hur, M.J., A survey on the residual pesticides on agricultural products on the markets in incheon from 2016 to 2018. *Korean J. Environ. Agric*., **38**, 205-212 (2019).
19. Park, D.W., Kim, A.G., Kim, T.S., Yang, Y.S., Kim, G.G., Chang, G.S., Ha, D.R., Kim, E.S., Cho, B.S., Monitoring and safety assessment of pesticide residues on a agricultural products sold via online websites. *Korean J. Pestic. Sci*., **19**, 22-31 (2015).
20. Cox, C., Diazinon : Toxicology. *J. Pestic. Reform*., **20**, 15-21 (2000).
21. Burkepile, D.E., Moore, M.T., Holland, M.M., Susceptibility of five nontarget organisms to aqueous diazinon exposure. *Bulletin Enviro. Contam*., **64**, 114-121 (2000).
22. Tohnishi, M., Nakao, H., Furuya, T., Seo, A., Kodama, H., Tsubata, K., Fujioka, S., Kodama, H., Hirooka, T., Nishimatsu, T., Flubendiamide, a novel insecticide highly active against lepidopterous insect pests. *J. Pest. Sci.*, **30**, 354-360 (2005).
23. Han, K.T., Lee, K.S., Lee, E.K., Lee, Y.J., Ko, K.Y., Won, D.J., Lee, J.W., Kown, S.D., Pesticide residue survey and estimate intake amount of vegetables in noeun wholesale market, daejeon. *Korean J. Environ. Agric*., **22**, 210-214 (2003).
24. Kim, H.Y., Yoon, S.H., Park, H.J., Lee, J.H., Gwak, I.S., Moon, H.S., Song, M.H., Jang, Y.M., Lee, M.S., Park, J.S., Lee, K.H., Monitoring of residual pesticide on commercial agricultural products in korea. *Korean J. Food Sci. Technol*., **39**, 237-245 (2007).
25. Asahi, M., Kobayashi, M., Kagami, T., Nakahira, K., Furukawa, Y., Ozoe, Y., Fluxametamide : A novel isoxazoline insecticide that acts via distinctive antagonism of insect ligand-gated chloride channels. *Pestic. Biochem. Phys*., **151**, 67-72 (2018).
26. Ministry of Food and Drug Safety, (2022, April 20). Pesticides and Veterinary Drugs Information. Available from https://residue.foodsafetykorea.go.kr/prd/info/Fluquinconazole
27. Gyeonggido Institute of Health and Environment, 2021, 2020 annual report of the pesticide residues in agricultural products, Suwon, Korea. pp. 75-95.
28. 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., Monitoring of pesticide residues and risk assessment on agricultural products marketed in the northern area of seoul in 2013. *J. Food Hyg. Saf*., **29**, 170-180 (2014).
29. Yang, Y.S., Kang, G.R., Lee, S.M., Kim, S.G., Lee, M.G., Choi, E.N., Seo, K.W., Kim, E.S., Kim, J.H., Survey on pesticide residues and risk assessment of agricultural products from wholesale market in gwangju (2014-2016). *Korean J. Pestic. Sci*., **21**, 341-354 (2017).
30. Yi, Y.J., Joung, H.J., Kum, J.Y., Hwang, I.S., Kim, M.S., Pesticide residues in vegetables and risk assessment for consumers in korea during 2010-2014. *Food Addit. Contam. Part A*., **37**, 1300-1313 (2020).