pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 2, pp. 111~123 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.2.111

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

광주지역 유통 쌈 채소류 잔류농약 위해성 평가(2022-2024)

이기성* · 이세미 · 황다정 · 이광호 · 박수정 · 양용식 · 정혜진 · 김진영 · 류근영 · 임미현 · 김유진 이청미 · 이창봉 · 김애경 · 강인숙 · 김진희
광주광역시보건환경연구원

Risk Assessment of Residual Pesticides in Leafy Wrap Vegetables Distributed in Gwangju Metropolitan City (2022-2024)

Giseong Lee*, Se-Mi Lee, Dajeong Hwang, Gwangho Lee, Sujung Park, Yongshik Yang, Hyejin Jung, Jinyeong Kim, Keunyoung Ryu, Mihyeon Lim, Yujin Kim, Cheongmi Lee, Chang Bong Lee, Ae-Gyeong Kim, Insook Gang, Jinhee Kim
Health and Environment Research Institute of Gwangju, Gwangju, Korea

(Received January 30, 2026/Revised March 20, 2026/Accepted March 22, 2026)

ABSTRACT - We aimed to analyze 340 types of pesticide residues in 3,537 samples of 10 leafy wrap vegetables (Ssam vegetables) distributed in Gwangju Metropolitan City during 2022-2024 and assess the risk associated with samples that exceeded the maximum residue limits (MRLs). The samples were pretreated using the quick, easy, cheap, effective, rugged, safe (QuEChERS) method and subsequently analyzed via LC-MS/MS (179 compounds) and GC-MS/MS (161 compounds). The annual detection rates were 66.2% in 2022, 69.8% in 2023, and 68.7% in 2024. During the same period, the non-compliance rates remained stable at 3.4%, 3.3%, and 3.1%, respectively. The highest monthly detection rate was observed in August at 83.0%, whereas the highest non-compliance rate was recorded in July, indicating elevated detection and non-compliance rates during the summer season. By vegetable type, Angelica leaves recorded the highest detection (88.2%) and non-compliance (13.2%) rates. The most frequently detected pesticides were dinotefuran (523 detections) and azoxystrobin (317 detections). In total, 115 samples across 10 vegetable items were found to exceed the pesticide MRLs, involving 48 pesticide compounds 131 cases of MRL exceedance. Phorate was the most common pesticide resulting in non-compliance, detected in 15 instances, and lettuce was the vegetable item most frequently involved in these violations (7 cases). In the risk assessment of the contaminated vegetables, the hazard index (HI) was confirmed to be below 1, indicating a safe consumption level.

Key words: Leaf vegetable, Pesticide residue, Risk assessment

유기 화합물인 농약은 병충해와 잡초 등을 제거하여 농산물의 생산량 증가를 위한 역할을 하였다. 농약은 인구 증가로 인한 농산물의 수요와 품질 향상을 위한 필수적인 요소이다. 2023년 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 보고서에 따르면 농약 사용량은 전 세계적으로 1990년부터 증가하였으며, 1990년 대비 2021년 농약 사용량은 3.54백만톤으로 약 2배 증가한 것으로 나타났다[1,2].

그러나 농산물의 품질과 안전성을 유지하는 역할을 하는 대부분의 농약은 생태계를 파괴시키거나 농산물과 환경에 잔류하여 문제를 야기하는 양면성을 가지고 있다. 농산물과 환경에 잔류하고 있는 극미량의 잔류농약은 인체에 큰 영향을 주지는 않으나, 인체에 지속적으로 노출되면 면역·신경·생식 계통 등에 독성을 유발하며 문제를 발생시킨다. 따라서 세계 각국은 농약의 과도한 사용을 예방하고, 국민건강에 피해가 발생하지 않도록 농약안전사용기준과 농산물에 최대잔류허용기준 등을 설정하여 잔류농약을 관리하고 있다[3-5].

우리나라는 식품의약품안전처에서 유통되는 농산물의 잔

*Correspondence to: Giseong Lee. Health and Environment Research Institute of Gwangju, Gwangju 61954, Korea
Tel: +82-062-613-7683, Fax: +82-062-613-7689
E-mail: jackup99@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.

류농약을 관리하기 위해 2004년부터 '국가 잔류농약 안전관리망 구축' 사업을 수행하였으며, 유통 농산물에 대한 장기적인 잔류농약 모니터링을 실시하고 있다. 2019년 농약 허용물질관리제도(Positive List System, PLS)를 도입하여 국내에 등록되지 않은 농약 유입의 차단과 국내에서 안전성 문제로 금지되었던 농약이 편법적으로 유입되는 것을 방지하였다. 또한 2021년에는 잔류농약 분석용 검체의 전처리 과정을 단순화하는 quick, easy, cheap, effective, rugged, safe (QuEChERS) 실험법을 도입하여 많은 농약 성분을 신속하게 검사할 수 있게 지속적으로 개선하고 있는 등 농약 안전관리를 강화하고 있다[6-8].

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) 자료에 따르면 2018년부터 2023년까지 조사국 중 우리나라는 매일 채소를 소비하는 인구 비율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 2024년 국가통계포털 채소류 생산실적 총괄에 따르면 채소 생산량 807 백만 톤 중 엽채류는 255백만 톤을 차지하며 채소 생산량의 약 31.6%를 차지하고 있다. 이처럼 우리나라에서 엽채류는 다소비 농산물로 자리잡고 있다[9,10].

쌈 채소류는 엽채류와 양채류 중에서 쌈용으로 소비하는 채소이며, 상추, 들깻잎, 치커리, 쑥갓, 겨자, 근대, 청경채, 쌈추 등이 포함된다[11]. 2004년 식품의약품안전처 보고서에 따르면, 쌈 채소류는 중량에 비해 표면적이 넓어 농약의 부착률이 높고, 작물의 생육 기간보다 농약의 분해시간이 더 길어 농약이 잔류될 가능성이 높다고 보고되었다[12]. 이처럼 쌈 채소류는 잔류농약 기준치를 초과하는 경우가 지속적으로 보고되고 있다[13,14]. 하지만 쌈 채소류 특성상 세척 외 별도의 조리 과정을 거치지 않고 섭취하기에 잔류농약 섭취에 대한 위험성이 크다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 2022년부터 2024년까지 광주광역시 지역 유통 쌈 채소류를 대상으로 품목별 잔류농약 모니터링 결과를 분석하고 농약 잔류허용기준 초과 쌈 채소류에 대한 위해성 평가를 수행하여 농산물 안전관리를 위한 자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

농산물 시료

2022년 1월부터 2024년 12월까지 3년간 광주광역시 지역내 도매시장, 로컬푸드 및 대형마트에서 유통된 쌈 채소류 10품목 3,537건에 대하여 잔류농약 분석을 실시하였다. 쌈 채소류 품목은 상추, 들깻잎, 쌈배추, 무(잎), 쑥갓, 쌈추, 청경채, 치커리, 당귀(잎), 근대이며 시료를 각 1 kg 이상 수거하였다. 농산물 검사 건수는 Table 1과 같다.

Table 1. Classification and composition ratio of vegetables

Classified	No. of samples	Composition ratio of total(%)
Lettuce	1,134	32.1
Perilla leaf	752	21.3
Ssam cabbage wrap	473	13.4
Radish (leaves)	466	13.2
Crown daisy	249	7.0
Ssamchu	130	3.7
Bok choy	130	3.7
Chicory	112	3.2
Angelica leaves	68	1.9
Leaf beet	23	0.7
Total	3,537	

잔류농약 분석 항목 및 시약

분석대상 잔류농약은 식품공전 식품 중 잔류농약 시험법인 7.1.2.2 다성분 시험법-제2법으로 분석이 가능한 340 항목을 대상으로 하였다.

실험에 사용된 표준품은 Accustandard (New Haven, CT, USA)를 사용하였으며, 잔류농약이 검출되지 않은 시금치를 사용하여 처리한 무처리 시료 첨가법으로 정량하였다. 용매는 Merk (Darmstadt, Germany)의 Acetonitrile, Methanol, Water, Ammuium phophate (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA and Oakville, Canada), Formic acid는 FUJIFILM Wako Pure Chemical Corporation (Osaka, Japan)을 사용하였다. 잔류농약 시험법에 따른 시료 추출과 정제에 사용된 시약은 CHROMAtific (Heidenrod, Germany)의 QuEChERS Kit를 사용하였다. 추출에는 QuEChERS Salt Kit (4 g $MgSO_4$, 1 g NaCl, 0.5 g $Na_2HCitrate$, ·1 g $Na_3Citrate$)를 정제에는 QuEChERS dispersive solid phase extraction (d-SPE) Clean-up Kit (150 mg $MgSO_4$, 25 mg PSA)를 사용하였다. 이후 정제된 시료는 Whatman (Dassel, Germany)의 Membrane Filter (PTFE, 0.2 μm)를 사용하여 여과하였다.

잔류농약 분석방법 및 분석기기

시료의 전처리 및 잔류농약 분석방법은 식품의약품안전처에서 고시한 식품공전 7.1.2.2 다성분 시험법-제2법에 따라 수행하였다[15]. 분석 기기로는 GC-MS/MS (Agilent 7000D, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)와 LC-MS/MS (QTRAP 4500, AB Sciex, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 분석 조건은 Table 2,3과 같다.

농산물 중 잔류농약 기준 적용

시료에서 검출된 잔류농약은 식품의약품안전처에 고시된 식품 중 농약 잔류허용기준(maximum residue limits, MRL)을 적용하였다. 별도의 농약 잔류허용기준이 정해지지 않은

Table 2. Analytical conditions of GC-MS/MS

Instrument	GC-MS/MS			
Column	DB-5MS UI (0.25 mm×30 m, 0.25 μm film thickness)			
Injection volume & mode	1.0 μL, pulsed splitless			
Flow rate	1.5 mL/min			
Inlet temperature	260°C			
Oven temperature	Rate (°C/min)	Temperature (°C)	Hold (min)	Run (Min)
	Initial	60	0	0
	20	180	0	6
	5	300	2	32
Transfer line	280°C			
Source temperature	250°C			
MS1 Quad temperature	150°C			
MS2 Quad temperature	150°C			

Table 3. Analytical conditions of LC-MS/MS

Instrument	LC-MS/MS		
Column	Osaka Soda Capcell core C18 (90Å, 2.7 μm, 2.1 mm×150 mm)		
Injection volume	2.0 μL		
Flow rate	0.2 mL/min		
Column temperature	40°C		
Ion source	Curtain gas	25 psi	
	Gas 1	50 psi	
	Gas 2	55 psi	
	Temperature	425°C	
	Ion spray voltage	5500 eV	
Mobile phase	A: 0.1% Formic acid and 5 mM ammonium acetate in water B: 0.1% Formic acid and 5 mM ammonium acetate in methanol		
Gradient program	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	95.0	5.0
	1.0	95.0	5.0
	3.0	40.0	60.0
	13.0	0.0	100.0
	18.0	0.0	100.0
	18.1	95.0	5.0
	25.0	95.0	5.0

경우, 농약 오남용 방지 및 미등록 농약에 대한 관리 강화를 목적으로 도입된 농약 허용물질목록관리제도(PLS) 기준(0.01 mg/kg)으로 판정하였다.

유효성 검증

분석방법에 대한 유효성 검증은 부적합으로 판정된 농산물의 기준치 초과 농약성분을 대상으로 식품의약품안전평가원(National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, NIFDS)에서 발행한 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인과 식품공전 잔류농약 시험법 실무해설서 6판을 적용하여 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantification, LOQ)를 측정하였다. 검량선의 직선성은 0.005, 0.010, 0.020, 0.040, 0.060 mg/L 농도로 제조한 혼합 표준용액의 결정계수(coefficient of determination, R^2)로 확인하였다. 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ)는 5회 반복 측정하여 계산하였

다. 회수율은 식품의약품안전평가원(NIFDS, 2016)에서 제시한 가이드라인에 따라, 잔류농약 시험법 검증을 위하여 채소류 대표 작물인 잔류농약 무검출 시금치에 농약성분의 인증표준물질을 각각 0.01, 0.05, 0.1 mg/L 농도로 첨가한 후, 5회 반복 분석하여 평가하였다[16,17].

LOD=3.3σ/S
LOQ=10σ/S
σ=The standard deviation of the response
S=The slope of the calibration curve

위해성 평가

인체 노출량에 대한 위해성 평가는 농약 잔류허용기준을 초과한 농산물을 대상으로 평가하였다. 위해지수(hazard index, HI)는 일일섭취허용량(acceptable daily intake, ADI, mg/kg, b.w/day)과 일일섭취추정량(estimated daily intake, EDI, mg/kg, b.w/day)를 통하여 계산하였다. 일일섭취허용량(ADI)은 식품의약품안전처 잔류물질정보자료를 이용하였으며, 일일섭취추정량(EDI)은 2023년 국민영양통계(KHIDI)의 일일평균섭취량 자료를 계산하여 추정하였다. 국민평균체중(66.83 kg)은 2023년도 통계청 국가통계포털(KOSIS) 자료를 이용하였다[18-20].

EDI=Detected concentration (mg/kg)×Food daily intake (g/day)/66.83 (kg)/1000
Hazard index (HI)=EDI/ADI

Result and Discussion

유효성 검증

농약 잔류허용기준을 초과한 농산물에서 기준치 초과 농약성분을 대상으로 유효성 검증을 수행하였다. 시험법의 유효성 검증을 위한 항목은 검량선의 결정계수, 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ), 회수율 시험을 수행하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다. 각 농약성분들의 결정계수(R^2)는 0.9965-0.9999로 높은 직선성을 보였으며, 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ)는 각각 0.0007-0.0062 mg/kg, 0.0020-0.0188 mg/kg로 나타났다.

검출 농약의 농도별 회수율과 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)는 0.01 mg/kg 농도에서의 평균 회수율은 89.2-119.9% (RSD 0.01-8.85%)였으며, 0.05 mg/kg 농도에서는 84.5-108.9% (RSD 0.43-7.09%), 0.1 mg/kg 농도에서는 91.6-111.6% (RSD 0.73-10.59%)로 확인되었다. 이러한 결과는 식품의약품안전처 잔류농약 분석법 실무해설서에서 제시된 식약처와 Codex의 유효성 검증 기준을 만족하였다. 0.01 mg/kg 이하 농도에서의 평균 회수율 기준(60-120%)과 RSD 기준(MFDS 32% 이하, Codex 30% 이하)을 충족하였으며, 0.01-0.1 mg/kg 농도 구간에서도 제시된 회수율(70-120%)과 RSD (MFDS 22% 이하, Codex 20% 이하) 기준에 적합하였다. 따라서 본 연구의 분석조건은 잔류농약 검사에 적합한 것으로 판단된다.

Table 4. Linearity, LOD, LOQ, and recovery of pesticide residues exceeding the MRLs in this study

Classification	Pesticides	Linearity (R^2)	LOD[a] (mg/kg)	LOQ[b] (mg/kg)	Recover±RSD (%)[c]		
					0.01 mg/kg	0.05 mg/kg	0.1 mg/kg
Fungicide (15)	Boscalid	0.9998	0.0032	0.0098	102.9±3.27	107.5±6.39	99.8±3.55
	Carbendazim	0.9999	0.0014	0.0041	105±1.24	101.2±1.94	98.9±1.1
	Ferimzone	0.9999	0.0020	0.0061	112±0.75	97.7±2.22	103.3±0.74
	Fluazinam	0.9999	0.0018	0.0054	100.6±2.28	103.9±1.17	97.1±1.17
	Flubendiamide	0.9999	0.0049	0.0150	113.1±6.63	105.7±4.71	95.5±5.06
	Fluopyram	0.9996	0.0028	0.0084	100.8±11.63	106.5±3.83	102.4±1.41
	Flupicollid	0.9997	0.0037	0.0113	102.6±1.72	99.4±3.06	96±1.74
	Fluqinconazole	0.9990	0.0038	0.0115	103.7±3.28	105.5±5.67	99.3±6.5
	Iprobenfos	0.9998	0.0027	0.0083	110.2±5.33	105.8±3.47	102.1±1.36
	Isoprothiolane	0.9998	0.0015	0.0046	103.8±3.6	105±2.95	101.8±1.38
	Orysastrobin	0.9999	0.0023	0.0071	112±2.06	101.1±0.85	97.8±2.37
	Procymidone	0.9999	0.0022	0.0067	107.1±4.08	106.5±3.42	101.9±1.11
	Tebuconazole	0.9995	0.0026	0.0080	105.6±3.39	106.6±4.08	102.2±2.79
	Tetraconazole	0.9998	0.0033	0.0101	109.7±5.52	105.8±3.53	100.9±1.49
	Diniconazole	0.9996	0.0018	0.0056	104.4±2.78	104.6±3.1	101.3±1.94

Table 4. (Continued) Linearity, LOD, LOQ, and recovery of pesticide residues exceeding the MRLs in this study

Classification	Pesticides	Linearity (R^2)	LOD[a] (mg/kg)	LOQ[b] (mg/kg)	Recover±RSD(%)[c]		
					0.01 mg/kg	0.05 mg/kg	0.1 mg/kg
Insecticide (27)	Bistrifluron	0.9999	0.0018	0.0053	93.9±1.15	92.2±0.43	99.6±1.86
	Buprofezin	0.9999	0.0027	0.0082	106.5±4.31	102.8±2.88	101.4±1.59
	Cadusafos	0.9997	0.0019	0.0058	100.9±2.15	103.6±3.47	100.8±3.45
	Carbaryl	0.9997	0.0029	0.0087	106±1.86	100.7±1.88	100.3±3.14
	Chlorfenapyr	0.9996	0.0040	0.0120	95.8±3.18	108.9±5.38	98.9±1.82
	Chlopyrifos	0.9998	0.0036	0.0109	106.6±3.74	104.1±3.79	99.8±0.82
	Cyflumetofen	0.9999	0.0014	0.0043	109.5±2.29	107±1.89	93.2±1.98
	Diazinon	0.9999	0.0034	0.0104	107.2±5.38	101.7±3.1	99.3±1.51
	Dimethoate	0.9980	0.0012	0.0037	101.4±1.84	96.3±1.48	105±2.28
	Dinotefuran	0.9999	0.0013	0.0040	102.5±1.14	100.3±1.13	96.4±1.62
	Emamectin benzoate	0.9999	0.0029	0.0087	119.9±3.93	105.7±2.03	92.5±2.99
	Etoprophos	0.9999	0.0040	0.0120	106.5±4.46	100.2±2.87	101.9±3.18
	Fenitrothion	0.9999	0.0029	0.0087	109.6±6.04	105.1±4.07	100.5±2.96
	Fenobucarb	0.9965	0.0062	0.0188	107.3±6.63	104.8±7.09	102.5±10.59
	Fluxametamide	0.9999	0.0018	0.0054	110.6±3.43	105.6±1.7	91.6±2.05
	Imicyafos	0.9999	0.0019	0.0058	111.3±3.112	99.3±2.84	100.7±0.91
	Metaflumizone	0.9999	0.0019	0.0058	108.3±5.08	104.9±2.32	92±1.37
	Methomyl	0.9992	0.0024	0.0074	114.6±4.75	96.6±2.83	100.3±1.98
	Omethoate	0.9999	0.0007	0.0020	98.0±0.71	103.9±1.27	97.3±1.57
	Phenothrin	0.9999	0.0052	0.0159	89.2±8.85	106.7±4.87	103.2±3.01
	Phenthoate	0.9998	0.0057	0.0174	97.9±7.64	107.9±5.65	99.8±2.44
	phorate	0.9991	0.0026	0.0080	111.5±4.52	97.3±2.48	101.1±2.26
	pyflubumide	0.9999	0.0020	0.0067	102.8±1.93	97±0.8	102.4±1.52
	pyridaben	0.9999	0.0008	0.0024	100.9±1.69	106.1±0.56	97.5±0.73
	Tebufenpyrad	0.9997	0.0022	0.0066	105.6±3.08	106.4±4.25	102±1.75
	Teflubenzuron	0.9999	0.0029	0.0088	99.9±1.9	98.4±3.41	99.3±1.64
	Terbufos	0.9999	0.0031	0.0095	93.3±4.4	84.5±2.73	110.2±2.43
Herbicide (5)	Napropamide	0.9997	0.0021	0.0062	108.7±1.58	96.2±1.29	100.4±1.45
	Linuron	0.9982	0.0026	0.0078	110.6±2.72	97.3±1.33	102.5±1.47
	Methabenzthiauron	0.9999	0.0022	0.0065	107.8±1.34	95.7±1.95	99.5±1.96
	Pendimethaline	0.9996	0.0026	0.0078	111.4±7.62	104.1±2.93	100.5±1.71
	Thiobencarb	0.9999	0.0017	0.0050	98.2±2.12	86±2.09	111.6±1.31
Plant growth regulator (1)	Paclobutrazole	0.9997	0.0021	0.0064	105.3±3.24	106.4±3.67	102.8±1.86

[a]Limit of detection.
[b]Limit of quantification.
[c]Relative standard deviation.

시기별 잔류농약 검출

2022년 1월부터 2024년 12월까지 3년간 광주지역에서 유통된 쌈 채소류 10품목 총 3,537건을 대상으로 잔류농약 검사를 수행하였다. 쌈 채소류의 잔류농약 안전성 검사결과 2,414건(68.1%)에서 잔류농약이 검출되었으며, 115건(3.3%)에서 잔류농약 기준치를 초과하였다. 연도별 검출률과 부적합률의 추이를 보면, 검출률은 2022년 66.2%, 2023년 69.8%, 2024년 68.7%로 매년 65% 이상을 보였으

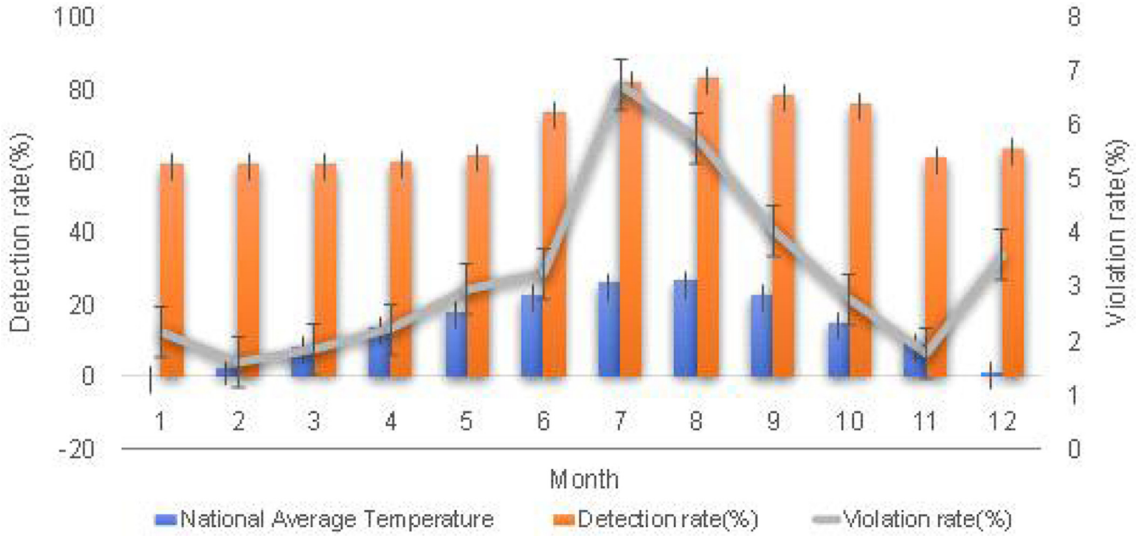

Fig. 1. Analysis results of pesticides in agricultural products by month.

며, 부적합률은 2022년 3.4%, 2023년 3.3%, 2024년 3.1%로 매년 3.1% 이상을 보였다. QuEChERS법 도입 이전 동일한 광주지역에서 2016년부터 2018년까지 3년간 수행된 Ryu 등[21]의 연구에서는 쌈 채소류의 검출률과 부적합률이 각각 18.8%와 2.0%로 보고되었다. 이에 비해 본 연구에서는 검출률과 부적합률이 68.1%와 3.3%로 증가한 것으로 나타났다. 이러한 차이는 QuEChERS법 도입에 따른 시험법 개정과 함께 잔류농약 검사항목이 311종에서 340종으로 확대된 점이 검출률 및 부적합률 변화에 주요한 영향을 미친 결과로 판단된다.

월별 쌈 채소류의 잔류농약 검출률은 3월 58.8%로 가장 낮은 수치를 보이며 점차 증가하여 8월 83.0%로 가장 높은 검출률을 보였다. 이후 11월 60.8%까지 지속적으로 감소하는 추세를 보이다가 12월 63.4%로 소폭 상승하였다. 여름철인 6월부터 초가을인 10월까지 73.5-83.0%로 평균 70.0% 이상인 높은 검출률을 보였다(Fig. 1). Kwon 등[22]의 연구에 따르면, 2009년부터 2013년까지 5년간 경기지역 농산물도매시장 유통된 쑥갓의 평균 검출률은 20.0%였다. 하지만 8월 37.3%로 가장 높은 검출률을 보였으며, 7-10월 24.5-37.3%의 높은 검출률 보여 본 연구와 유사한 경향을 보였다.

쌈 채소류의 월별 부적합률은 2월에 1.6%로 가장 낮은 수치를 보였으며, 이후 점차 증가하여 7월에 6.7%로 가장 높은 수준을 나타냈다. 부적합률은 검출률과 유사한 경향을 보여, 7-9월에는 4.0-6.7%의 비교적 높은 수준을 유지하였다. 또한 2024년 경상북도 통계연보에 따르면, 최근 5년(2020-2024년)간 경상북도 내 유통 쌈 채소류에서도 10월에 부적합 건수가 3건으로 가장 많이 검출된 것으로 보고되었다[23]. 이러한 결과는 기온이 높은 7-10월 기간에 부적합률 및 검출률이 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 기온 상승은 해충의 번식 속도 및 발생 세대 수를 증가시켜 농약 살포 빈도의 증가를 유발할 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이는 평균기온 및 강수량 변화에 근거한 예측에 해당하며, 실제 기온 변화에 따른 농약 사용량 변화 여부에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다[24-26].

쌈 채소류 품목에 따른 잔류농약 검출

쌈 채소류 중 잔류농약 검출률이 높은 품목은 당귀(잎) 88.2%, 들깻잎 87.8%, 쌈추 74.6%, 쑥갓 71.1%, 무(잎) 71.0%, 근대 69.6%, 상추 65.0%, 청경채 59.2%, 쌈배추 44.8%, 치커리 42.0% 순이었다(Table 5). 2022년 12월부터 2023년 12월까지 1년간 충청북도내 유통 쌈 채소류의 잔류농약 검출률을 분석한 연구에서도 들깻잎 80.4%, 치커리 76.7% 상추 60.7%, 청경채 60.5%로 본 연구결과와 유사한 결과를 보였다[27]. Kwak 등[13]의 연구에 따르면, 2022-2023년간 서울 북부지역 유통 쌈 채소류 중에서도 당귀(잎) 검출률이 66.7%로 가장 높았으며, 다음은 들깻잎 61.3% 였다. Noh 등[28]의 연구에 따르면, 들깻잎은 털이 많아 형태적으로 농약의 부착량이 많고 무게 변화량이 적어 농약이 소실될 수 있는 요인이 적어 상추보다 반감기가 길다고 하였다. 상추는 매끄러운 표면으로 인해 농약의 부착량이 들깻잎에 비해 적으며, 생육이 왕성하여 희석에 의해 소실되는 양이 많아 반감기가 들깻잎보다 짧다고 보고하였다[29]. 이처럼 쌈 채소류의 품목별 형태학적 특성이 잔류농약 검출률에 차이를 유발할 수 있다. 따라서 쌈 채소류의 잔류농약 관리는 품목별 생육 특성 및 형태학적 특성을 고려한 차별화된 관리 전략이 필요할 것으로 판단된다.

Table 5. Results of detected/violated pesticide residues in leafy wrap vegetables

Classified	Total			2022			2023			2024		
	Samples[a]	Detection[b]	Violation[c]	Samples[a]	Detection[b]	Violation[c]	Samples[a]	Detection[b]	Violation[c]	Samples[a]	Detection[b]	Violation[c]
	3,537	2,414 (68.1)	115 (3.3)	1164	771 (66.2)	40 (3.4)	1164	813 (69.8)	38 (3.3)	1209	830 (68.7)	37 (3.1)
Lettuce	1,134	737 (65.0)	26 (2.3)	369	230 (62.3)	7 (1.9)	374	253 (67.6)	13 (3.5)	391	254 (65.0)	6 (1.5)
Perilla leaf	752	660 (87.8)	23 (3.1)	227	198 (87.2)	8 (3.5)	255	222 (87.1)	7 (2.7)	270	240 (88.9)	8 (3.0)
Ssam cabbage wrap	473	212 (44.8)	2 (0.4)	168	80 (47.6)	0	154	68 (44.2)	1 (0.6)	151	64 (42.4)	1 (0.7)
Radish (leaves)	466	331 (71.0)	21 (4.5)	141	103 (73.0)	7 (5.0)	152	108 (71.1)	6 (3.9)	173	120 (69.4)	8 (4.6)
Crown daisy	249	177 (71.1)	15 (6.0)	86	61 (70.9)	9 (10.5)	83	61 (73.5)	1 (1.2)	80	55 (68,8)	5 (6.3)
Ssamchu	130	97 (74.6)	8 (6.2)	31	22 (71.0)	1 (3.2)	47	37 (78.7)	2 (4.3)	52	38 (73.1)	5 (9.6)
Bok choy	130	77 (59.2)	4 (3.1)	61	37 (60.7)	2 (3.3)	31	15 (48.4)	2 (6.5)	38	25 (65.8)	0
Chicory	112	47 (42.0)	6 (5.4)	52	15 (28.8)	2 (3.8)	28	16 (57.1)	2 (7.1)	32	16 (50.0)	2 (6.3)
Angelica (leaves)	68	60 (88.2)	9 (13.2)	24	21 (87.5)	3 (12.5)	30	27 (90.0)	4 (13.3)	14	12 (85.7)	2 (14.3)
Leaf beet	23	16 (69.6)	1 (4.3)	5	4 (80.0)	1 (20.0)	10	6 (60.0)	0	8	6 (75.0)	0

[a]Number of samples.
[b]Number of detection (detection rate %).
[c]Number of violation (violation rate %).

품목별 부적합률은 당귀(잎)이 13.2%로 가장 높은 부적합률을 보였으며, 쌈추 6.2%, 쑥갓 6.0%, 치커리 5.4%, 무(잎) 4.5%, 근대 4.3%, 청경채 3.1%, 들깻잎 3.1%, 상추 2.3%, 그리고 쌈배추가 0.4%로 다른 품목대비 낮은 부적합률을 보였다. 검출률과 부적합률이 가장 높은 품목은 당귀(잎)이었으며, 쌈 채소류 품목별 검출률과 부적합률은 비슷한 순위를 보였다. 특히 상추와 들깻잎은 높은 검사 건수를 바탕으로 부적합률의 통계적 안정성이 확보되었지만, 치커리는 검사 건수의 제한으로 인해 산출된 부적합률이 치커리의 특성을 대표하기에 편향될 소지가 있음을 확인하였다. 즉, 치커리와 같이 상대적으로 검사 건수가 부족한 품목은 개별 부적합 사례가 전체 비율에 미치는 영향력이 과도하게 산정되어 통계적 신뢰도가 낮아지는 한계가 있다. 따라서 해당 품목의 부적합률을 비교시에는 향후 모니터링 강화를 통하여 충분한 검사 건수가 선행되어야 한다고 사료된다.

이러한 쌈 채소류가 다른 농산물에 비해 잔류농약 검출률과 부적합률이 높은 요인은 재배 관리 및 형태학적 특성에 기인한 것으로 판단된다. 쌈 채소류 특성상 병해충 방제를 위한 농약의 잦은 사용과 표면적이 넓은 쌈 채소류의 특성상 살포된 농약이 보다 용이하게 부착되어 검출률과 부적합률이 높은 것으로 판단된다[30,31].

농약 성분별 잔류농약 검출

잔류농약이 검출된 쌈 채소류 2,414건에서 7,336회의 잔류농약이 검출되었다. 잔류농약 검출빈도가 높았던 상위 5종 농약 항목은 dinotefuran, azoxystrobin, clothianidin, fluxametamide, thiamethoxam 순이었다. 연도별로 2022년에는 dinotefuran 196건, fluopyram 102건, thiamethoxam 101건, chlorantraniliprole 93건, clothianidin 89건 이었고, 2023년에는 dinotefuran 153건, azoxystrobin 124건, clothianidin 108건 thiamethoxam 97건, fluxametamide 84건 이었다. 2024년에는 dinotefuran 174건, fluxametamide 152건, clothianidin 115건, azoxystrobin 109건, chlorantraniliprole 106건으로 분석되었다. 검출 빈도가 높은 농약 성분 중 살균제 성분은 3종(azoxystrobin, fluopyram, fluxametamide), 살충제 성분은 2종(dinotefuran, clothianidin), 균충제 성분은 2종(thiamethoxam, chlorantraniliprole)으로 분석되었다. 쌈 채소류에서 가장 많이 검출된 농약성분은 dinotefuran으로 523건 검출되었다. Dinotefuran은 neonicotinoid계 살충제로 nicotinic acetaylcholine receptor에 작용하여 신경전달물질인 acetylcholine을 저해하여 신경독성을 일으키며, 침투이행성이 높아 토양에 처리된 농약이 잎과 꽃으로 흡수되어 총채벌레류, 진딧물류 등의 방제에 주로 사용한다. Neonicotinoid 계열은 저독성 농약이기 때문에 90년대 이후 전 세계적으로 널리 사용되고 있다[32]. 본 연구에서도 dinotefuran, clothianidin, thiamethoxam 등 잔류농약 검출 상위 5종 농약 항목에 neonicotinoid계가 3종이 포함되며, 쌈 채소류 10개 품목에서 모두 검출되는 등 쌈 채소류 재배에 빈번하게 사용되는 것으로 확인되었다. 다음으로 검출빈도가 높았던 농약성분은 azoxystrobin으로 strobin계 침투이행성 살균제로, monooxygenase 활성을 저해하여 포자

의 성장을 억제하며 흰가루병 방제에 주로 사용한다[33]. 본 연구에서 azoxystrobin은 317건 중 들깻잎에서 199건(62.8%) 검출되었으며 azoxystrobin 전체 검출량의 대부분을 차지하였다. Lee 등[34]의 연구에 따르면, 서울 강남지역 유통 농산물 중 농약 잔류실태 조사에서도 azoxystrobin이 204회 빈발 검출되었으며, 본 연구와 유사한 결과를 보였다. Fluxametamide는 isoxazoline계 살충제로 GABA-gated chloride channel 작용을 저해하여 나비목, 총채벌레목, 파리목 등의 광범위한 해충종에 대해 효과를 보인다. 본 연구에서도 당귀를 제외한 모든 품목에서 검출되었으며, 295회 검출되는 등 다양한 농작물에 많이 사용되는 것으로 확인되었다[35].

2022년부터 2024년간 농약 잔류허용기준(MRL) 초과 농약성분은 48종 131건 검출되었다. 부적합 검출 빈도가 5회 이상인 농약성분은 phorate 등 10종으로 71회 검출되었으며, 5회 미만인 농약성분은 38종으로 60회 검출되었다. 부적합 검출 빈도가 5회 이상인 농약성분을 식품의약품안전처의 잔류물질정보를 참고하여 농약을 사용 목적별로 분류하면 살충제 5종(phorate, terbufos, emamectin benzoate, buprofezin, fluxametamide), 살균제 4종(diniconazole, tebuconazole, carbendazim, iprobenfos), 제초제 1종(pendimethaline)으로 분석되었다. 농약 잔류허용기준을 가장 많이 초과한 농약성분은 phorate로 15회(상추 7회, 무(잎) 4회, 들깻잎 3회, 쌈배추 1회) 부적합 검출 되었으며, 이 중 가장 빈번히 부적합 품목인 상추는 농약 잔류허용기준이 정해져 있지 않은 PLS 기준 성분이었다. Phorate는 침투성 및 접촉성 유기인제 살충제로 진딧물, 나방류, 선충류 등의 신경전달에 관여하는 효소인 acetylcholinesterase의 기능을 억제하여 방제효과를 내며 밭작물 및 뿌리식물에 보호하는 데에 사용되는 농약이다. 하지만 phorate는 방제 대상 해충 뿐 아니라 포유동물에게도 높은 독성을 나타내며, 급성경구독성 및 급성경피독성을 일으키는 물질로 분류된다[36]. Pendimethaline 8회(쑥갓 3회, 당귀(잎) 3회, 들깻잎 2회) 부적합 검출되었으며, 부적합 품목 모두 PLS 기준 성분이었다. Pendimethalin은 dinitroaniline계열 제초제로 잡초 발아 전후를 모두 억제하는 농약이며, cell division 및 cell elongation을 저해한다고 알려져 있다[37]. 부적합 검출 빈도가 높은 상위 5종의 농약성분들 중 phorate, tebuconazole, terbufos는 2021년 10월 이후 본 연구의 추가된 중점검사항목 농약성분이다. 이와 비슷한 시기의 연구인 2023년도 경기도 유통 농산물에서도 새로 추가된 농약성분인 terbufos와 phorate가 13건, 12건으로 부적합으로 빈발 검출되었으며, phorate의 부적합 12건 중 5건이 상추에서 검출되는 등 본 연구와 유사한 결과를 보였다[38]. 이러한 결과는 2021년 10월 중점검사항목 추가에 따라 신규 농약성분들의 부적합 검출 빈도가 증가하였음을 시사한다. 또한 Jin 등에 따르면, 농약 허용물질 관리제도(PLS)의 도입으로 부적합 발생 건수가 증가할 것이라고 예측하였으며, 본 연구 결과 농약 잔류허용기준을 초과한 128건 중 PLS의 기준에 적용에 해당하는 건수가 70건(54.7%)으로 높은 비율을 차지하였다[39]. 이처럼 새로 추가된 중점검사항목에 대한 부적합 검출 빈도가 높아지는 만큼 잔류농약의 안전성 확보를 위해 농산물 재배 농가와 생산자에게 올바른 농약 사용법을 교육하고, 잔류농약의 모니터링을 강화하여 잔류농약의 오남용을 방지해야 한다. 또한 생산단계에서 사용할 수 있는 농약의 기준을 추가적으로 신설하여 소비자와 농가의 피해를 최소화하여야 한다.

잔류농약 위해성 평가

2022년부터 2024년까지 광주지역 유통 쌈 채소류에서 농약 잔류허용기준치를 초과한 부적합 농약성분 48종을 대상으로 위해성 평가를 수행하였다. 위해성 평가는 일일섭취추정량(EDI, mg/kg b.w/day)과 일일섭취허용량(ADI, mg/kg b.w/day)를 비교하여 위해지수(HI)를 산정하였으며, 식품의약품안전처 인적적용제품 위해성평가 공통지침서 기준으로 위해지수가 1을 넘을 경우 위해하다고 판단하였다. 2022년 부적합 농산물 경우 들깻잎에서 검출된 cadusafos가 0.078%로 가장 높은 위해지수로 확인되었으며, 나머지 부적합 농산물 50건은 0.000-0.025%로 확인되었다(Table 6). 2023년 부적합 농산물 경우 무(잎)에서 검출된 ometoate와 들깻잎에서 검출된 phorate가 0.025%로 가장 높은 위해지수로 확인되었으며, 나머지 부적합 농산물 39건은 0.000-0.024%로 확인되었다(Table 7). 2024년 부적합 농산물 경우 상추에서 검출된 fluxametamide가 0.168%로 가장 높은 위해지수로 확인되었으며, 나머지 부적합 농산물 36건은 0.000-0.046%로 확인되었다(Table 8).

이처럼 본 연구에서 분석한 부적합 농산물에 대한 위해지수는 1미만으로 식품의약품안전처 기준에 적합하였다. 그러나 FAO/World Health Organization (WHO)의 합동 농약잔류물 회의 Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR)에서는 위해지수를 세분화하여 유독성분에 대한 인체 노출량이 ADI값으로 설정하고 있다. 인체 노출량이 ADI값의 10% 미만일 때는 위험성을 걱정할 필요가 없고 10-30%는 정밀조사와 철저한 법적 규제가 필요하며, 30% 수준에 도달시 위험경고가 필요하다고 하였다[40]. 본 연구에서는 상추의 fluxametamide가 16.8%를 제외하고 모두 10% 이하로 위해성은 낮은 것으로 나왔으며, FAO/WHO 위해지수에서도 안전하였다.

쌈 채소류는 별도의 조리 과정 없이 생으로 섭취하기에 다른 농산물에 비해 잔류농약에 대한 노출 가능성이 상대적으로 높은 식품군으로 분류된다. 하지만 본 연구 결과, 농약 잔류허용기준(MRL)을 초과하여 검출된 품목들의 농약 성분에 대해서도 위해지수는 식품의약품안전처와 FAO/WHO에서 제시한 기준에 따라 모두 안전한 수준으로 평가되었으며, 검출된 농약의 위해성이 인체에 위해를 유발

Table 6. Risk assessment for violated pesticide residues in leafy wrap vegetables in 2022

Products	Violated pesticides	Food daily intake (g/day)	Conc. of detection (mg/kg)	ADI (mg/kg,b.w./day)	EDI (mg/kg,b.w./day)	Hazard index
Perilla leaf	Cadusafos	2.15	0.970	0.0004	3.12E-05	0.078
Lettuce	Phorate	6.81	0.170	0.0007	1.73E-05	0.025
Perilla leaf	Phorate	2.15	0.460	0.0007	1.48E-05	0.021
Perilla leaf	Diniconazole	2.15	1.500	0.0023	4.83E-05	0.021
Crown daisy	Phenthoate	0.40	10.100	0.0030	6.05E-05	0.020
Lettuce	Imicyafos	6.81	0.050	0.0005	5.10E-06	0.010
Lettuce	Phorate	6.81	0.060	0.0007	6.11E-06	0.009
Perilla leaf	Cadusafos	2.15	0.100	0.0004	3.22E-06	0.008
Chicory	Diniconazole	0.14	5.300	0.0023	1.11E-05	0.005
Lettuce	Phorate	6.81	0.030	0.0007	3.06E-06	0.004
Perilla leaf	Phorate	2.15	0.070	0.0007	2.25E-06	0.003
Lettuce	Tebuconazole	6.81	0.770	0.0300	7.85E-05	0.003
Radish (leaves)	Terbufos	0.32	0.280	0.0006	1.34E-06	0.002
Radish (leaves)	Terbufos	0.32	0.250	0.0006	1.20E-06	0.002
Lettuce	Tebuconazole	6.81	0.510	0.0300	5.20E-05	0.002
Radish (leaves)	Terbufos	0.32	0.180	0.0006	8.62E-07	0.001
Radish (leaves)	Pyridaben	0.32	1.430	0.0050	6.85E-06	0.001
Crown daisy	Diniconazole	0.40	0.500	0.0023	2.99E-06	0.001
Crown daisy	Fenitrothion	0.40	1.020	0.0050	6.11E-06	0.001
Radish (leaves)	Phenthoate	0.32	0.650	0.0030	3.11E-06	0.001
Radish (leaves)	Metaflumizone	0.32	17.400	0.1000	8.33E-05	0.001
Lettuce	Tebuconazole	6.81	0.180	0.0300	1.83E-05	0.001
Crown daisy	Diazinon	0.40	0.020	0.0002	1.20E-07	0.001
Crown daisy	Fenitrothion	0.40	0.400	0.0050	2.39E-06	0.000
Radish (leaves)	Teflubenzuron	0.32	1.000	0.0100	4.79E-06	0.000
Crown daisy	Fluopyram	0.40	0.300	0.0100	1.80E-06	0.000
Perilla leaf	Ethoporphos	2.15	0.120	0.0300	3.86E-06	0.000
Perilla leaf	Iprobenfos	2.15	0.080	0.0350	2.57E-06	0.000
leaf beet	Fluxametamide	0.22	0.170	0.0085	5.60E-07	0.000
Crown daisy	Bistrifluron	0.40	0.750	0.0730	4.49E-06	0.000
Crown daisy	Pyridaben	0.40	0.050	0.0050	2.99E-07	0.000
Perilla leaf	Pendimethalin	2.15	0.230	0.1300	7.40E-06	0.000
Radish (leaves)	Bistrifluron	0.32	0.860	0.0730	4.12E-06	0.000
Crown daisy	Buprofezin	0.40	0.060	0.0090	3.59E-07	0.000
Angelica (leaves)	Terbufos	0.01	0.110	0.0006	1.65E-08	0.000
Bok choy	Fluxametamide	0.35	0.040	0.0085	2.09E-07	0.000
Bok choy	Fluxametamide	0.35	0.040	0.0085	2.09E-07	0.000
Angelica (leaves)	Tebuconazole	0.01	4.600	0.0300	6.88E-07	0.000
Crown daisy	Dinotefuran	0.40	0.060	0.0200	3.59E-07	0.000
Angelica (leaves)	Thiobencarb	0.01	0.790	0.0090	1.18E-07	0.000
Ssamchu	Paclobutrazol	0.03	3.700	0.1300	1.66E-06	0.000
Crown daisy	Fenobucarb	0.40	0.020	0.0140	1.20E-07	0.000
Chicory	Flubendiamide	0.14	0.060	0.0170	1.26E-07	0.000
Radish (leaves)	Carbendazim	0.32	0.040	0.0300	1.92E-07	0.000
Crown daisy	Iprobenfos	0.40	0.030	0.0350	1.80E-07	0.000
Angelica (leaves)	Linuron	0.01	0.210	0.0077	3.14E-08	0.000
Crown daisy	Pendimethalin	0.40	0.060	0.1300	3.59E-07	0.000
Crown daisy	Napopamide	0.40	0.070	0.3000	4.19E-07	0.000
Angelica (leaves)	Carbaryl	0.01	0.040	0.0075	5.99E-09	0.000
Angelica (leaves)	Carbendazim	0.01	0.100	0.0300	1.50E-08	0.000

Table 7. Risk assessment for violated pesticide residues in leafy wrap vegetables in 2023

Products	Violated pesticides	Food daily intake (g/day)	Conc. Of detection (mg/kg)	ADI (mg/kg,b.w./day)	EDI (mg/kg,b.w./day)	Hazard index
Radish (leaves)	Omethoate	0.32	1.560	0.0003	7.47E-06	0.025
Perilla leaf	Phorate	2.15	0.540	0.0007	1.74E-05	0.025
Lettuce	Emamectin benzoate	6.81	0.600	0.0025	6.11E-05	0.024
Lettuce	Emamectin benzoate	6.81	0.600	0.0025	6.11E-05	0.024
Lettuce	Emamectin benzoate	6.81	0.500	0.0025	5.10E-05	0.020
Lettuce	Emamectin benzoate	6.81	0.400	0.0025	4.08E-05	0.016
Lettuce	Emamectin benzoate	6.81	0.400	0.0025	4.08E-05	0.016
Lettuce	Fluquinconazole	6.81	0.230	0.0020	2.34E-05	0.012
Lettuce	Phorate	6.81	0.066	0.0007	6.73E-06	0.010
Lettuce	Imicyafos	6.81	0.040	0.0005	4.08E-06	0.008
Lettuce	Phorate	6.81	0.050	0.0007	5.10E-06	0.007
Lettuce	Fluquinconazole	6.81	0.140	0.0020	1.43E-05	0.007
Lettuce	Phorate	6.81	0.040	0.0007	4.08E-06	0.006
Radish (leaves)	Phorate	0.32	0.850	0.0007	4.07E-06	0.006
Perilla leaf	Omethoate	2.15	0.050	0.0003	1.61E-06	0.005
Lettuce	Tebuconazole	6.81	1.040	0.0300	1.06E-04	0.004
Radish (leaves)	Phorate	0.32	0.290	0.0007	1.39E-06	0.002
Perilla leaf	Chlorpyrifos	2.15	0.500	0.0100	1.61E-05	0.002
Perilla leaf	Dimethoate	2.15	0.080	0.0020	2.57E-06	0.001
Radish (leaves)	Terbufos	0.32	0.140	0.0006	6.70E-07	0.001
Lettuce	Tebuconazole	6.81	0.270	0.0300	2.75E-05	0.001
Chicory	Flubendiamide	0.14	6.350	0.0170	1.33E-05	0.001
Perilla leaf	Phenothrin	2.15	0.110	0.0070	3.54E-06	0.001
Perilla leaf	Fluazinam	2.15	0.100	0.0100	3.22E-06	0.000
Angelica (leaves)	Chlorfenapyr	0.01	50.600	0.0260	7.57E-06	0.000
Perilla leaf	Orysastrobin	2.15	0.460	0.0520	1.48E-05	0.000
Chicory	Terbufos	0.14	0.080	0.0006	1.68E-07	0.000
Ssamchu	Diniconazole	0.03	1.000	0.0023	4.49E-07	0.000
Ssamchu	Flubendiamide	0.03	6.100	0.0170	2.74E-06	0.000
Crown daisy	Methomyl	0.40	0.430	0.0200	2.57E-06	0.000
Chicory	Metaflumizone	0.14	3.400	0.1000	7.12E-06	0.000
Angelica (leaves)	Tebufenpyrad	0.01	4.500	0.0100	6.73E-07	0.000
Perilla leaf	Iprobenfos	2.15	0.04	0.0350	1.29E-06	0.000
Radish (leaves)	Boscalid	0.32	0.280	0.0400	1.34E-06	0.000
Bok choy	Pyflubumide	0.35	0.040	0.0074	2.09E-07	0.000
Perilla leaf	Isoprothilolane	2.15	0.08	0.1000	2.57E-06	0.000
Bok choy	Cyflumethofen	0.35	0.300	0.0920	1.57E-06	0.000
Radish (leaves)	Carbendazim	0.32	0.100	0.0300	4.79E-07	0.000
Ssam cabbage wrap	Dimethoate	0.03	0.040	0.0020	1.80E-08	0.000
Bok choy	Isoprothilolane	0.35	0.030	0.1000	1.57E-07	0.000
Angelica (leaves)	Iprobenfos	0.01	0.110	0.0350	1.65E-08	0.000
Angelica (leaves)	Pendimethalin	0.01	0.110	0.1300	1.65E-08	0.000
Angelica (leaves)	Pendimethalin	0.01	0.030	0.1300	4.49E-09	0.000

할 가능성이 낮다고 판단되었다. 또한 Yang 등[41]의 연구에 따르면, 별도의 세척제나 첨가물 없이 수돗물에 일정 시간 침지한 후 흐르는 물에 헹구어주는 것만으로도 농산물에 잔류하고 있는 농약 성분을 감소시킬 수 있는 것으로 보고되었다. 따라서, 쌈 채소류는 적절한 세척 과정을 전제로 할 경우 잔류농약에 대한 위해성은 제한적인 수준으로 판단되며, 쌈 채소류 섭취에 대한 인체의 위해성은 안전한 것으로 판단된다.

Table 8. Risk assessment for violated pesticide residues in leafy wrap vegetables in 2024

Products	Violated pesticides	Food daily intake (g/day)	Conc. Of detection (mg/kg)	ADI (mg/kg,b.w./day)	EDI (mg/kg,b.w./day)	Harard index
Lettuce	Fluxametamide	6.81	14.000	0.0085	1.43E-03	0.168
Perilla leaf	Fluxametamide	2.15	12.000	0.0085	3.86E-04	0.045
Radish (leaves)	phorate	0.32	6.010	0.0007	2.88E-05	0.041
Lettuce	Phorate	6.81	0.130	0.0007	1.32E-05	0.019
Perilla leaf	Diniconazole	2.15	1.200	0.0023	3.86E-05	0.017
Radish (leaves)	Terbufos	0.32	0.470	0.0006	2.25E-06	0.004
Lettuce	Tebuconazole	6.81	0.480	0.0300	4.89E-05	0.002
Lettuce	Methabenzthiazuron	6.81	0.050	0.0040	5.10E-06	0.001
Lettuce	Tetraconazole	6.81	0.040	0.0040	4.08E-06	0.001
Radish (leaves)	phorate	0.32	0.120	0.0007	5.75E-07	0.001
Ssamchu	Diazinon	0.03	0.300	0.0002	1.35E-07	0.001
Crown daisy	Chlorpyrifos	0.40	0.870	0.0100	5.21E-06	0.001
Lettuce	Fluazinam	6.81	0.050	0.0100	5.10E-06	0.001
Perilla leaf	Pyflubumide	2.15	0.100	0.0074	3.22E-06	0.000
Perilla leaf	Ethoprophos	2.15	0.380	0.0300	1.22E-05	0.000
Perilla leaf	Pyflubumide	2.15	0.050	0.0074	1.61E-06	0.000
Perilla leaf	Ferimzone	2.15	0.120	0.0190	3.86E-06	0.000
Chicory	Imicyafos	0.14	0.030	0.0005	6.28E-08	0.000
Crown daisy	Buprofezin	0.40	0.180	0.0090	1.08E-06	0.000
Ssamchu	Diniconazole	0.03	0.600	0.0023	2.69E-07	0.000
Radish (leaves)	procymidone	0.32	2.400	0.1000	1.15E-05	0.000
Ssamchu	Diniconazole	0.03	0.500	0.0023	2.24E-07	0.000
Perilla leaf	Iprobenfos	2.15	0.080	0.0350	2.57E-06	0.000
Radish (leaves)	Carbendazim	0.32	0.450	0.0300	2.15E-06	0.000
Crown daisy	Buprofezin	0.40	0.090	0.0090	5.39E-07	0.000
Radish (leaves)	Buprofezin	0.32	0.090	0.0090	4.31E-07	0.000
Ssam cabbage wrap	Phorate	0.03	0.070	0.0007	3.14E-08	0.000
Angelica (leaves)	Tebufenpyrad	0.01	1.700	0.0100	2.54E-07	0.000
Perilla leaf	Pendimethalin	2.15	0.080	0.1300	2.57E-06	0.000
Ssamchu	Emamectin benzoate	0.03	0.100	0.0025	4.49E-08	0.000
Radish (leaves)	Buprofezin	0.32	0.020	0.0090	9.58E-08	0.000
Radish (leaves)	Carbendazim	0.32	0.050	0.0300	2.39E-07	0.000
Ssamchu	Fluopicolide	0.03	1.100	0.0790	4.94E-07	0.000
Chicory	Iprobenfos	0.14	0.070	0.0350	1.47E-07	0.000
Crown daisy	Pendimethalin	0.40	0.060	0.1300	3.59E-07	0.000
Crown daisy	Pendimethalin	0.40	0.030	0.1300	1.80E-07	0.000
Angelica (leaves)	Pendimethalin	0.01	0.060	0.1300	8.98E-09	0.000
Perilla leaf	Isoprothiolane	2.15	0.050	0.1000	1.61E-09	0.000

Acknowledgements

본 연구는 광주광역시 보건환경연구원 2025년도 연구사업의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

국문요약

본 연구는 2022년부터 2024년까지 3년간 광주광역시 유통 쌈 채소류에 대한 잔류농약 실태조사 및 위해성 조사를 수행하였다. 광주지역내 도매시장, 로컬푸드, 대형마트를 통해 유통되고 있는 쌈 채소류 10품목[상추, 들깻잎, 쌈배추, 무(잎), 쑥갓, 쌈추, 청경채, 치커리, 당귀(잎), 근대]에 대해 잔류농약 340종을 분석하였다. 3년간의 검출률과 부적합률은 68.1%(2,414건), 3.3%(115건)였으며, 총 48종의 농약성분이 농약 잔류허용기준(MRL)을 초과하여 검출되었다. 농약 잔류허용기준을 초과하여 검출된 농산물 115건 중 기준치 초과 농약성분은 48종 131건이었으며, 그 중 PLS 기준치를 초과한 70건은 전체 부적합 건수의 54.7%로 높은 수치를 보였다. 하지만, 농약성분의 위해성 평가(HI) 결과 0.000-0.168%로 안전한 수준인 것으로 확인되었다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest

ORCID

Giseong Lee	https://orcid.org/0000-0002-3507-7281
Se-Mi Lee	https://orcid.org/0009-0003-5637-8301
Dajeong Hwang	https://orcid.org/0009-0009-1886-4134
Gwangho Lee	https://orcid.org/0000-0001-8665-837X
Sujung Park	https://orcid.org/0009-0004-6169-1738
Yongshik Yang	https://orcid.org/0000-0003-2229-6896
Hyejin Jung	https://orcid.org/0000-0002-0070-0731
Jinyeong Kim	https://orcid.org/0009-0006-5268-9542
Keunyoung Ryu	https://orcid.org/0000-0002-7542-4268
Mihyeon Lim	https://orcid.org/0000-0002-2569-7751
Yujin Kim	https://orcid.org/0009-0004-6333-0557
Cheongmi Lee	https://orcid.org/0009-0007-4605-0512
Chang Bong Lee	https://orcid.org/0009-0001-0248-1464
Ae-Gyeong Kim	https://orcid.org/0000-0002-2569-7751
Insook Gang	https://orcid.org/0009-0009-9100-6937
Jinhee Kim	https://orcid.org/0000-0002-6550-4627

References

1. Nam, H.S., Choi, Y.H., Yoon, S.H., Hong, H.M., Park, Y.C., Lee, J.H., Kang, Y.S., Ahn, Y.S., Ahn, Y.S., Hong, Y.P., Kim, H.Y., Monitoring of residual pesticides in commercial agricultural products. *Korean. J. Food Sci. Technol.*, **38**, 317-324 (2006).
2. Food and Agriculture Organization (FAO), 2023. FAOSTAT Analytical Briefs Series No. 70, Pesticides use and trade 1990-2021, Rome, Italy, pp. 3.
3. 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. Nutr.*, **38**, 1779-1784 (2009).
4. Berrada, H., Fernandez, M., Ruiz, M.J., Molto, J.C., Manes, J. Font, G., Surveillance of pesticide residues in fruitsfrom Valencia during twenty months (2004/05). *Food Control*, **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. Kim, M.R., Na M.A., Jung, W.Y., Kim, C.S., Sun, N.K., Seo, E.C., Lee, E.M., Park, Y.G., Byun, J.A., Eom, J.H., Jung, R.S., Lee, J.H., monitoring of pesticide residues in special products. *Korean J. Pestic. Sci.*, **12**, 323-334 (2008).
7. Korea Rural Economic Institute (KREI), (2025, March. 11). The introduction of positive list system and countermeasures in agricultural sector. Retrieved from https://www.krei.re.kr/eng/page/120?cmd=view&biblioId=521650&pageIndex=1
8. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2021. Multiresidues method (No. 2021-26), Cheongju, Korea.
9. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), (2025, October. 13), 2023 OECD health at a glance. Retrieved from https://data-explorer.oecd.org/vis?lc=en&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_HEALTH_LVNG%40DF_HEALTH_LVNG_FSC&df[ag]=OECD.ELS.HD&dq=.A.....&pd=2015%2C&to[TIME_PERIOD]=false&vw=tb
10. Korean Statistical Information Service (KOSIS), (2025, December 5). Status of production performance by vegetables. Retreieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114018_001&conn_path=I2
11. Jun, S.Y., Kim, T.H., Hwang, S.H., The consumption status and preference for sprouts and leafy vegetables. *Korean J. Food Preserv.*, **19**, 783-791 (2012).
12. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2004. A survey on the safety status of pesticide residues in vegetables, Consumer Safety Report 04-09, Cheongju, Korea, pp. 11-35.
13. Kwak, B.R., Jo, S.A., Lee, K.A., Kim, S.J., Kim, Y.H., Yi, H.J., Kim, S.Y., Kim, A.K., Yun, E.S., A survey on pesticide residues and risk assessment for agricultural products marketed in the northern area of seoul from 2022 to 2023. *J. Food Hyg. Saf.*, **39**, 239-249 (2024).
14. Kwon, E.Y., Jung, B.K., Kim, D.G. Lee, J.K., Kim, C.K., Choi, S.S., Oh, S.A., Kim, Y.E., Yuk, D.H., Yun, E.S., 2021. A survey on pesticide for agricultural products in the western area of seoul (2016-2020). Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Report of 57, Seoul, Korea, pp. 46-70.

15. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2021. Multiresidues method (No. 2021-26), Cheongju, Korea.
16. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFDS), 2016. Guidelines on standard procedures for preparing analysis method, Cheongju, Korea.
17. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFDS), 2023. Handbook for the pesticide residue analytical methods of food code, 6th ed, Cheongju, Korea, pp. 213-224.
18. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, May 13). Pesticides and veterinary drugs information. Retrieved from-https://residue.foodsafetykorea.go.kr/prd/mrl
19. Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), (2025, April 8). National nutrition statistics. Retrieved from https://www.khidi.or.kr/kps/dhraStat/result2?menuId=MENU01653&gubun=&year=2023
20. Korean Statistical Information Service (KOSIS), (2025, April 10). Status of the average weight distribution by gender and age by city. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT_35007_N132&conn_path=I2
21. Ryu K.Y., Kim J.P., Park D.W., Lee D.V., Song N.J., Cho B.S., Seo K.Y., Kim S.H., A statistical analysis of pesticide residues on leafy vegetables selling at agricultural wholesale markets in gwangju 2020. *Korean J. Pestic. Sci.*, **24**, 91-104 (2020).
22. Kwon, S.M., Kwon, Y.H., Choi, O.K, Park, M.K., Kim, K.C., Kang, S.H., Kang, H.G., Ha, J.O., Yu, S.H., Lee, M.Y., Jang, J.H., Park, K.H., Kim, J.B., Characteristic of pesticide residues in some leafy vegetables at the whole market in Gyeonggi-do from 2009 to 2013. *J. Food Hyg. Saf.*, **30**, 196-201 (2015).
23. Gyeongsangbuk-do Institute of Health and Environment, 2024. Annual statistics on pesticide residues in agricultural products of gyeongsangbuk-do, Yeongcheon, Korea.
24. Bloomfield, J.P., Williams, R.J., Gooddy, D.C., Cape, J.N., Guha, P., Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater-a UK perspective. *Sci. Total Environ.*, **369**, 163-177 (2006).
25. Boxall, A.B., Hardy, A., Beulke, S., Boucard, T., Burgin, L., Falloon, P.D., Haygarth, P.M., Hutchinson, T., Kovats, R.S., Leonardi, G., Levy, L.S., Nichols, G., Parsons, S.A., Potts, L., Stone, D., Topp, E., Turley, D.B., Walsh, K., Wellington, E.M.H., Willians, R.J., Impacts of climate change on indirect human exposure to pathogens and chemicals from agriculture. *Environ. Health Perspect.*, **117**, 508-514 (2009).
26. Mo, H.H., Kang, J.W., Cho, K.J., Bae, J.Y., Lee, M.G., Park, J.J., Analysis of the effect of temperature on the pesticide efficacy and simulation of the change in the amount of pesticide use. *Korean J. Environ. Biol.*, **34**, 56-62 (2016).
27. An, H.G., Lee, M.K., Jang, J.H., Kim, S.H., Park, S.J., Namkoong, S., Gwak, S.G., Jo, Y.H., Yang, S.J., Comparative study on detection of pesticide residues in leafy vegetables by season, Chungcheongbuk-do Health & Environment Research Institute, Report of 32, Cheongju, Korea, pp. 130-152.
28. Noh, H.H., Jo, S.H., Lee, J.W., Shin, E.S., Shin, H.W., Kwon, H.Y., Kyung, K.S., Residual characteristics of fungicide metrafenone in perilla leave, lettuce and ponytail radish and estimation of reducing residual concentration. *Korean J. Pestic. Sci.*, **23**, 51-59 (2019).
29. Sardar, S.W., Byeon, G.D., Choi, J.Y., Ham, H.J., Ishag, A.E.S.A., Hur, J.H., Residual characteristics and safety assessment of the insecticides spiromesifen and chromafenozide in lettuce and perilla. *Sci. Rep.*, **12**, 4675 (2022).
30. Yi, Y.J., Joung, H.J., Kum, J.Y., Hwang, I.S., Kim, M.S., et al., Pesticide residues in vegetables and risk assessment for consumers in Korea during 2010-2014. *Food Addit. Contam. Part A.*, **37**, 1300-1313 (2020).
31. 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 assessment of pesticide residues on stalk and stem vegetables marketed in Incheon metropolitan area. *J. Food Hyg. Saf.*, **35**, 365-374 (2020).
32. Hwang, L.H., Yang, H.R., Lee, J.K., Kim, C.K., Kim, M.J., Determination of neonicotinoid pesticides in commercial agricultural products by LC-MS/MS. *J. Food Hyg. Saf.*, **35**, 312-318 (2020).
33. Kim, M.G., Hwang, K.W., Hwang, E.J., Yoo, S.C., Moon, J.K., ranslocation of residual azoxystrobin from soil to korean cabbage. KJPS, **21**, 427-433 (2017).
34. Lee, M.S., Chung, M.S., Cho, S.J., Lee, I.S., Lee, Y.J., Kum, J.Y., Kim, N.Y., Kim, J.H., Kwak, B.R., Cho, H.B., Kim, M.S., Jung, K., A Survey on pesticide residues found in commercial products collected from markets in gangnam area of seoul in 2015. *Report of S.I.H.E.*, **51**, 39-52 (2015).
35. 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-gatedchloride channels. *Pestic. Biochem. Physiol.*, **151**, 67-72 (2018).
36. Ko, A.Y., Kim, H.J., Jang, J., Lee, E.H., Ju, Y.J., Noh, M.J., Kim, S.C., Park, S.W., Chang, M.I., Rhee, G.S., Development of an official analytical method for determination of phorate and its metabolites in livestock using LC-MS/MS. *J. Food Hyg. Saf.*, **30**, 272-280 (2015).
37. Swarcewicz, M.K., Gregorczyk, A., The effects of pesticide mixtures on degradation of pendimethalin in soils. *Environ. Monit. Assess.*, **184**, 3077-3084 (2011).
38. Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, 2023. Annual statistics on pesticide residues in agricultural products of gyeonggi-do, Suwon, Korea.
39. Jin, M.J., Park, H.K., Jeong, H.R., Lee, J.W., Jo, S.H., Noh, H.H., Lee, J.Y., Kim, J.S., Kwon, C.H., Kim, J.E., Kim, T.H., Kyung, K.S., Residual characteristics and safety assessments of the fungicide fenhexamid in some minor crops. *Korean J. Pestic. Sci.*, **22**, 363-369 (2018).
40. Lee, M.G., Lee, S.R., Reduction factors and risk assessment of organophosphorus pesticides in Korean foods. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **29**, 240-248 (1997).
41. Yang, S.J., Mun, S.J., Kim, H.J., Han, S.J., Kim, D.W., Cho, B.S., Kim, A.G., Park, D.W., Effectiveness of different washing strategies on pesticide residue removal: the first comparative study on leafy vegetables. *Foods*, **11**, 2916 (2022).