pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 38, No. 3, pp. 140~151 (2023)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2023.38.3.140

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

울산지역 로컬푸드 농산물의 잔류농약 실태조사 및 위해성 평가

김민경* · 김선화 · 김대교 · 박주은 · 김영민 · 황숙남
울산광역시보건환경연구원 농수산물검사소

Research on the Residual Pesticide and Risk Assessment of Agricultural Products at Local Food Markets in Ulsan

Min-Kyung Kim*, Seon-Hwa Kim, Dae-Kyo Kim, Ju-Eun Park, Young-Min Kim, Suk-Nam Hwang
Agricultural & Aquatic Products Research Division, Ulsan Metropolitan City Institute of Public Health and Environment, Ulsan, Korea

(Received April 12, 2023/Revised May 11, 2023/Accepted May 12, 2023)

ABSTRACT - This study investigated pesticide residues in 367 agricultural products from local food markets in Ulsan. Pesticide residues in these samples were analyzed using multi class pesticide multi-residue methods on the Korean Food Code for 350 pesticides using GC-MS/MS and LC-MS/MS. Residual pesticides were detected in 79 (21.5%) samples and exceeded maximum residual limits (MRLs) in 4 (1.1%) samples (chwinamul, narrow-head ragwort, green onion, apricot). The range of the hazard index (%) was 0.0000-63.1043%, and values for the pesticides that violated the MRLs were 63.1043 (green onion), 0.5417 (chwinamul), 0.0684 (apricot), and 0.0100 (narrow-head ragwort). This risk assessment study showed that the values of hazard index (%) were less than 100%, indicating that the consumption of these local agricultural food products was not harmful for human health.

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

로컬푸드(local food)는 생산자와 소비자에게 적정가격을 보장하면서 일정 지역에서 생산·가공되는 것으로 직거래나 공급 체인의 단축을 통해서 지역주민들에게 유통되는 농산물 및 식품을 말한다[1]. 로컬푸드는 성장과 발전을 무조건으로 생각했던 공업화의 전환을 요구하는 새로운 가치로, 경제적 문제를 해결함과 동시에 식량, 농업정책을 건강과 환경을 지키는 농업 본래의 의미로 전환 시키는 계기가 되었다[2]. 이러한 가치와 함께 로컬푸드는 소비자와 지역 소규모 농가가 신뢰를 바탕으로 먹을거리 안전성을 확보하고, 판로 확보로 농가의 소득을 보장하며 더 나아가 고용 창출로 지역경제 활성화에 기여하며 물리적 이동 거리 감축 등으로 사회적 비용 절감을 기대할 수 있다.

한편 농산물의 생산성과 상품성 유지를 위해 사용되는 농약의 안전성 확보를 위해 나라마다 식품 중 농약의 잔류허용 기준을 설정하여 관리하고 있다[3]. 국내 농약은 농약관리법에 의해 식품별 사용, 등록된 것을 식품위생법에 따라 해당 식품에 잔류허용기준을 설정하여 관리하고 있고, 농약 등록은 농촌진흥청에서 담당하고 있으며, 잔류허용기준은 식품의약품안전처에서 설정하고 있다. 또 2019년 1월 1일부터 모든 농산물에 대해 농약 허용물질목록 관리제도(positive list system, PLS)를 적용함으로써 잔류허용기준이 등록되지 않은 농약이 검출 될 경우 0.01 mg/kg 기준을 적용하는 등 지속적으로 기준을 강화하여 잔류농약에 대한 안전 관리에 힘쓰고 있다.

직거래 방식으로 판매되고 있는 로컬푸드 농산물에 대한 관심만큼 최근 안전성에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 2016년 인천지역 직거래 농산물 대상으로 실시한 연구에서는 271건 중 21건[4], 2017년 전북에서는 로컬푸드 농산물 223건 중 8건[5], 2017년-2019년 광주에서는 372건 중 49건이 검출되었고, 3건에서 잔류허용 기준을 초과하였다[6]. 2018년 부산에서는 로컬푸드 농산물 188건 중 11건[7], 2020년 경기도 북부에서 유통되는 직거래 농산물 대상으로 실시한 연구 결과는 207건 중 14건의 시료에서 잔류농약이 검출되었고, 1건에서 잔류허용 기준을 초과하여 검출된 보고가 있다[8].

*Correspondence to: Min-kyung Kim, Ulsan Research Institute of Public Health and Environment, 157 Munsu-ro, Nam-gu, Ulsan 44642, Korea
Tel: +82-52-229-6202, Fax: +82-52-229-5309
E-mail: mkkim@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.

하지만 로컬푸드는 대형마트나 백화점, 도매시장 등에서 판매되는 농산물에 비해 안전성 검사에 대한 인식 및 관리 시스템이 부족하고, 로컬푸드 농산물의 특성상 생산자가 중소·고령농이 많아 더욱 특별한 관리가 요구된다. 따라서 본 연구는 지속 가능한 로컬푸드 정책 활성화를 위한 중요한 요소인 안전성을 확인하고 관리하고자 울산지역 유통 로컬푸드 농산물의 잔류농약 실태 조사 및 위해성을 평가하고, 믿고 먹을 수 있는 로컬푸드 농산물의 인식 정착 및 안전성에 대한 기초 자료 제공에 기여하고자 한다.

Materials and Methods

대상시료

본 연구에 사용된 농산물은 2021년 10월부터 2022년 12월까지 울산지역에서 생산·유통되는 로컬푸드 농산물 중 판매 출처가 분명한 제품으로, 가장 많은 로컬푸드 직매장을 가지고 있는 농협하나로마트(Ulsan, Korea)에서 구매하였다. 현재 울산에 있는 농협하나로마트 로컬푸드 직매장은 총 10개소(남구 1, 중구 1, 북구 2, 울주군 6)로 그곳에서 유통되고 있는 농산물 367건을 각 1 kg 이상 직접 수거하거나(250건) 시구군에서 의뢰된 유통 로컬푸드 제품(117건)들을 분석하였다.

표준물질 및 시약

Gas chromatography (GC) 분석 대상 160종과 liquid chromatography (LC) 분석 대상 190종으로 동시다성분 총 350종을 Accustandard(New Haven, CT, USA) 표준품을 구입하여 사용하였다. GC 분석 항목에 사용된 표준용액은 20% acetone (Merck, Darmstade, Germany) 함유 hexane (Merck)을 사용하였고, LC 분석 항목은 100% methanol (Merck)에 희석하여 사용하였다.

시약은 acetonitrile (Merck), methanol 등이며, 추출 및 정제를 위한 QuEChERS kit (4 g $MgSO_4$, 1 g NaCl, 1 g $Na_3C_6H_5O_7$, 0.5 g $Na_2HC_6H_5O_7$)와 PSA (primary and secondary amine) kit ($MgSO_4$ 150 mg, PSA 25 mg)는 각각 Phenomenex (Torrance, CA, USA)와 BEKOlut (Bruchmuhlbach-Miesau, Germany)의 제품을 사용하였다. 0.2 μm syringe filter (Advantec, Tokyo, Japan)의 제품을 사용하여 여과하였다.

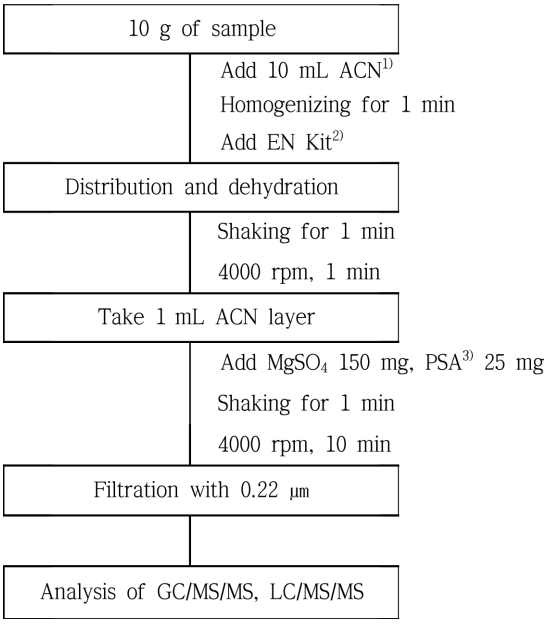

Fig. 1. Schematic diagram for sample extraction.
[1] Acetonitrile (Merck, Germany).
[2] 4 g $MgSO_4$, 1 g NaCl, 1 g $Na_3C_6H_5O_7$, 0.5 g $Na_2HC_6H_5O_7$.
[3] PSA (primary and secondary amine).

분석방법 및 장비

시료의 잔류농약 검사 전처리는 식품공전[9]의 7.1.2 다성

Table 1. Operating condition of GC/MS/MS

	GC/MS/MS
Instrument	US 7890B, 7010B, GC/MS/MS, Agilent
Inlet temp.	260°C
Column	HP-5MS U1 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)
Oven temp.	60°C (0 min)→20°C/min→180°C →5°C/min→300°C (1 min)
Detector temp.	260°C (Interface Temp.)
Flow rate	Carrier gas (He) 1.2 mL/min
Split mode	Splitless
Injection volume	1 μL

Table 2. Operating condition of LC/MS/MS

	LC/MS/MS		
Instrument	Waters LC/MS/MS TQ-XS		
Column	CORTECS® UPLC® C18+, 2.1×100 mm I.d., 1.6 μm		
Mobile Phase	A : 0.1% Formic acid in D.W		
	B : 0.1% Formic acid in methanol		
Gradient	Time (min)	A (%)	B (%)
	Initial	95.0	5.0
	0.65	95.0	5.0
	2.00	60.0	40.0
	8.00	30.0	70.0
	11.00	20.0	80.0
	15.00	0.0	100
	17.00	0.0	100
	19.00	95.0	5.0
Flow Rate	0.3 mL/min		
Injection vol.	2 μL		

분 시험법(multi class pesticide multi-residue methods) 제2법 QuEChERS법을 이용하였으며 그 과정은 Fig. 1과 같다.

시료의 진탕을 위해 mixer 및 homogenizer (Collomix, DE/VIBA X30, Metuchen, NJ, USA)와 원심분리기(COMBI-R515, Hanil, Gimpo, Korea)를 사용하였다. GC분석은 GC/MS/MS (7890B, 7010B triple quadrupole, Agilent technologies, San Francisco, CA, USA)를 LC 분석은 LC/MS/MS (XEVO TQ-XS, Waters Co. Ltd. Milford, MA, USA)를 사용하였으며 350종을 분석하기 위한 각각의 세부적인 분석조건은 Table 1, 2와 같다.

유효성 검증

본 연구의 시험법 검증은 로컬푸드 농산물에서 검출된 농약을 대상으로 식품·의약품 분야 시험·검사기관 품질관리를 위한 시험방법의 유효성 확인 및 검증 안내서[10] 및 식품공전 잔류농약 분석법 실무 해설서(제4판)[11], 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인[12]에 따라 확인하였다.

검출된 잔류농약 58종(이성질체를 포함하여 총 70항목)에 대한 검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantitation, LOQ)에서 제시한 방법에 따라 회귀직선을 통하여 얻은 기울기(S)와 잔차의 표준편차(σ)를 바탕으로 검출한계와 정량한계를 구하였다.

$$LOD = 3.3 \times (\sigma/S)$$
$$LOQ = 10 \times (\sigma/S)$$

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

직선성은 표준검량선의 회귀방정식으로부터 얻은 결정계수(coefficient of determination, R^2) 값으로 확인하였다. 표준검량선은 표준원액을 0.0005-0.020 mg/kg의 농도로 7단계의 표준용액을 제조하여 3회 반복 측정하였다. 분석 시 미검출 시료를 시료와 같은 방법으로 전처리하여 만든 용액을 사용하여 matrix-matched calibration을 작성하였다. 회수율은 잔류농약이 검출되지 않은 시료에 시험 농약의 표준용액을 검출한계의 약 5-10배 수준이 되도록 처리한 후 앞서 기술한 잔류농약 분석법과 동일한 방법으로 농도별 3회 반복하여 분석하였다.

위해성 평가

검출된 잔류농약의 위해성 평가는 식품의약품안전처의 인체 적용제품 위해성 평가 공통지침서[13]에 따라 일일섭취허용량(acceptable daily intake, ADI, mg/kg b.w./day)의 개념을 적용하여 수행하였다. 잔류농약 분석에서 얻어진 검출량과 해당 농산물의 일일평균섭취량을 곱한 값을 체중으로 나누어 일일추정섭취량(estimated daily intake, EDI, mg/kg b.w./day)을 구하고 이를 일일섭취허용량으로 나눈 후 100을 곱하여 위해도(hazard index, ADI%)를 산출 하였다[8]. 한국인의 연령 별 체중을 활용하여 한국인 전 연령 평균체중 인 55 kg을 적용하였고, 농약별 일일섭취허용량(ADI)은 식품의약품안전처의 잔류물질정보[14] 자료를 활용하였다. 일일식품섭취추정량(EDI)은 질병관리청 국민건강 영양조사[15]를 사용하였다.

$$\text{위해도 (hazard index, ADI\%)} = \frac{\text{일일추정섭취량 (mg/kg b.w./day)}}{\text{일일섭취허용량 (mg/kg b.w./day)}} \times 100$$

Results and Discussion

유효성 평가

본 연구에서 검출된 잔류농약 58종 70항목에 대한 잔류농약의 유효성 검증 결과는 Table 3, 4와 같다. 검출한계(LOD)는 0.00001-0.0041 mg/kg, 정량한계(LOQ)는 0.00004-

Table 3. Verification parameters such as recovery, linearity, LOD and LOQ of detected pesticides (GC/MS/MS)

Pesticide	Concentration (mg/kg)	Recovery(%) (Mean±RSD)	Linearity (R^2)	LOD[1] (mg/kg) (n=6)	LOQ[2] (mg/kg) (n=6)
Bifenthrin	0.01	98.8±0.7	0.9995	0.0004	0.0012
Boscalid	0.01	85.3±10.2	0.9915	0.0007	0.002
Buprofezin	0.02	99.7±1.0	0.9986	0.001	0.003
Chlorfenapyr	0.01	91.2±3.6	0.9916	0.0004	0.0012
Cyprodinil	0.01	87.3±5.5	0.9980	0.0008	0.0025
Deltamethrin	0.1	98.8±4.7	0.9937	0.0041	0.0125
Diethofencarb	0.01	82.1±4.8	0.9971	0.0012	0.0038
Ethoprophos	0.04	94.6±8.0	0.9947	0.0015	0.0045
Fenitrothion	0.04	97.8±4.6	0.9961	0.0018	0.0056

Table 3. (Continued) 0Verification parameters such as recovery, linearity, LOD and LOQ of detected pesticides (GC/MS/MS)

Pesticide	Concentration (mg/kg)	Recovery(%) (Mean±RSD)	Linearity (R^2)	LOD[1] (mg/kg) (n=6)	LOQ[2] (mg/kg) (n=6)
Fluopyram	0.01	76.2±1.1	0.9993	0.0002	0.0006
Fluquinconazole	0.02	82.9±6.2	0.9936	0.0028	0.0086
Fluxapyroxad	0.04	96.8±0.2	0.9989	0.0010	0.0029
Indoxacarb	0.04	87.0±0.7	0.9947	0.0024	0.0073
Isopyrazam	0.02	95.5±1.9	0.9988	0.0006	0.0019
Myclobutanil	0.02	100.2±1.6	0.9986	0.0006	0.0019
Paclobutrazol	0.02	99.4±1.5	0.9987	0.0007	0.0022
Procymidone	0.02	99.7±1.4	0.9990	0.0006	0.0017
Spiromesifen	0.02	99.2±2.6	0.9964	0.0025	0.0074
Tebuconazole	0.02	99.2±0.6	0.9991	0.0006	0.0017
Tebufenpyrad	0.02	97.4±1.9	0.9977	0.0012	0.0036
Trifloxystrobin	0.02	98.0±2.1	0.9991	0.0006	0.0019

[1] LOD : Limit of detection.
[2] LOQ : Limit of quantification.

Table 4. Verification parameters such as recovery, linearity, LOD and LOQ of detected pesticides (LC/MS/MS)

Pesticide	Concentration (mg/kg)	Recovery (%) (Mean±RSD)	Linearity (R^2)	LOD[1] (mg/kg) (n=6)	LOQ[2] (mg/kg) (n=6)
Acephate	0.004	103.0±2.6	0.9992	0.0001	0.0004
Acetamiprid	0.01	102.7±3.5	0.9992	0.0003	0.0009
Amisulbrom	0.004	99.2±2.9	0.9996	0.0001	0.0003
Azoxystrobin	0.004	100.8±2.9	0.9997	0.0001	0.0003
Carbendazim	0.004	99.2±3.8	0.9997	0.0001	0.0003
Chlorantraniliprole	0.008	99.6±2.6	0.9997	0.0002	0.0006
Chlorfluazuron	0.004	101.3±2.5	0.9997	0.0001	0.0003
Cyantraniliprole	0.002	101.7±2.9	0.9996	0.0001	0.0002
Cyazofamid	0.004	102.5±0.0	0.9998	0.0002	0.0005
Cyenopyrafen	0.004	100.0±0.0	0.9995	0.0001	0.0004
Cymoxanil	0.004	103.3±1.4	0.9998	0.0002	0.0005
Diflubenzuron	0.004	101.7±1.4	0.9996	0.0001	0.0003
Dinotefuran	0.004	101.7±5.2	0.9998	0.0002	0.0005
Emamectin benzoate	0.001	106.7±11.6	0.9998	0.00003	0.0001
Ethaboxam	0.008	100.0±2.2	0.9998	0.0003	0.0008
Etofenprox	0.002	101.7±2.9	0.9996	0.0001	0.0002
Flonicamid	0.004	99.2±3.8	0.9994	0.0001	0.0003
Fluazinam	0.004	101.7±1.4	0.9995	0.0002	0.0005
Flubendiamide	0.02	96.8±2.3	0.9948	0.0006	0.0019
Fludioxonil	0.01	104.0±2.0	0.9991	0.0004	0.0011
Flufenoxuron	0.04	95.0±9.0	0.9976	0.001	0.0031
Flutriafol	0.001	99.7±0.6	0.9995	0.00002	0.00007
Fluxametamide	0.01	102.7±2.5	0.9994	0.0004	0.0013

Table 4. (Continued) Verification parameters such as recovery, linearity, LOD and LOQ of detected pesticides (LC/MS/MS)

Pesticide	Concentration (mg/kg)	Recovery (%) (Mean±RSD)	Linearity (R^2)	LOD[1] (mg/kg) (n=6)	LOQ[2] (mg/kg) (n=6)
Imicyafos	0.001	103.3±5.6	0.9996	0.0001	0.0002
Imidacloprid	0.004	99.2±3.9	0.9995	0.0002	0.0005
Lufenuron	0.01	100.7±1.2	0.9954	0.0017	0.005
(E)-Metaflumizone	0.008	107.5±1.3	0.9993	0.0002	0.0007
(Z)-Metaflumizone	0.004	96.7±1.4	0.9998	0.00015	0.00047
Methomyl	0.002	105.0±0.0	0.9998	0.00005	0.00014
Phorate	0.004	100.0±2.5	0.9995	0.0002	0.0007
Phorate oxon	0.004	102.5±0.0	0.9998	0.0001	0.0002
Phorate oxon sulfone	0.001	93.3±5.8	0.9919	0.0001	0.0002
Phorate oxon sulfoxide	0.001	96.7±5.8	0.9998	0.0001	0.0002
Phorate sulfone	0.004	105.2±0.9	0.9996	0.0001	0.0004
Phorate sulfoxide	0.0005	102.0±3.5	0.9998	0.00001	0.00004
Propamocarb	0.004	100.8±2.9	0.9998	0.0002	0.0004
Pydiflumetofen	0.004	99.2±2.9	0.9997	0.0001	0.0003
Pyraclostrobin	0.008	97.9±4.0	0.9995	0.0002	0.0007
Sulfoxaflor	0.001	103.3±5.8	0.9998	0.00005	0.00014
Teflubenzuron	0.02	114.5±2.6	0.9986	0.0006	0.0019
Terbufos	0.01	101.3±1.1	0.9992	0.0003	0.0009
Terbufos oxon	0.01	102.3±2.5	0.9995	0.0004	0.0013
Terbufos oxon sulfone	0.004	99.2±1.5	0.9997	0.0002	0.0005
Terbufos oxon sulfoxide	0.001	103.3±5.6	0.9997	0.00004	0.00012
Terbufos sulfone	0.01	102.3±3.2	0.9994	0.0003	0.0010
Terbufos sulfoxide	0.001	106.7±11.6	0.9998	0.00004	0.00011
Thiacloprid	0.001	103.3±5.6	0.9997	0.00005	0.00014
Thiamethoxam	0.004	100.8±1.4	0.9992	0.0001	0.0004
Thiodicarb	0.002	96.7±2.9	0.9999	0.00008	0.00024

[1] LOD : Limit of detection.
[2] LOQ : Limit of quantification.

0.0125 mg/kg, 결정계수(coefficient of determination, R^2) 값은 0.9915-0.9999으로 양호한 직선성을 보였다. 또한 표준용액을 조제 하여 잔류농약이 검출되지 않은 수거 검체에 시료 함유량 기준 약 0.001-0.01 mg/kg의 농도로 표준용액을 첨가하여 회수율 시험을 하였고 회수율은 76.2-114.5%, 상대표준편차(RSD)는 0.0-11.6%를 나타내었다. 따라서 본 실험방법은 식품·의약품 분야 시험·검사기관 품질관리를 위한 시험방법의 유효성 확인 및 검증 안내서[10] 및 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인[12]에 따라 이번 실험을 수행하는데 적합한 것으로 판단된다.

잔류농약 분석 결과

울산광역시에서 유통 중인 로컬푸드 농산물 자체 구매 시료 250건과 수거검사 시료 117건 등 367건을 원료별로 분류하면 Table 5와 같으며, 채소류 242건(65.9%), 과일류 65건(17.7%), 서류 24건(6.5%), 버섯류 16건(4.4%), 곡류 11건(3.0%), 두류 7건(1.9%), 견과종실류 1건(0.3%), 허브류 1건(0.3%)이었다.

로컬푸드 농산물 367건 중 79건에서 잔류농약이 검출되어 21.5%의 검출률을 보였다. 품목별로 검출된 농약의 수와 검출률 및 부적합률은 Table 5와 같다. 로컬푸드 농산물의 잔류농약 허용기준(MRL)은 식약처에 고시된 식품의 기준 및 규격 [별표4]를 적용하였다. 단, 개별 기준과 그룹 기준이 있을 경우에는 개별 기준을 우선 적용하였고, 2019.1.1.부터 시행한 PLS에 의해 별도로 잔류허용 기준을 정하지 않은 경우 0.01 mg/kg 이하를 적용하였다. 과일

Table 5. Results of pesticide residues detected in agricultural products

Type	Group	Number of samples (%)	Number of detection (%)	Number of violation (%)
Cereal grains	-	11 (3.0)	1 (9.1)	
Potatoes	-	24 (6.5)	0	
Pulses	-	7 (1.9)	1 (14.3)	
Nuts and seeds	Peanut	1 (0.3)	0	
Fruits	Pome fruits	23 (6.3)	12 (52.2)	
	Citrus fruits	1 (0.3)	1 (100.0)	
	Stone fruits	15 (4.1)	9 (60.0)	1 (6.7)
	Berries and other small fruits	23 (6.3)	5 (21.7)	
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	3 (0.8)	0	
Sub total		65 (17.7)	27 (41.5)	1 (1.5)
Vegetables	Flowerhead brassicas	26 (7.1)	4 (16.0)	
	Leafy vegetables	71 (19.3)	23 (32.4)	2 (2.8)
	Stalk and stem vegetable	47 (12.8)	8 (17.0)	1 (2.1)
	Root and tuber vegetables	41 (11.2)	2 (5.0)	
	Fruiting vegetables, cucurbits	32 (8.7)	5 (16.1)	
	Fruiting vegetables other than cucurbits	25 (6.8)	8 (33.3)	
Sub total		242 (65.9)	50 (20.7)	3 (1.2)
Mushrooms	-	16 (4.4)	0	
Herbs and spices	Herbs	1 (0.3)	0	
Total		367	79 (21.5)	4 (1.1)

류는 65건 중 27건(41.5%), 채소류는 242건 중 50건(20.7%), 두류는 7건 중 1건(14.3%), 곡류 11건 중 1건(9.1%) 검출률을 보였고, 채소류 3건, 과일류 1건으로 총 4건(1.1%)의 검체에서 기준치 이상의 잔류농약이 검출되어 부적합 처리되었다. 이것은 Jeong 등[16]의 연구에서도 채소류보다 과일류에서 검출률이 높았다는 결과와 유사하였다. 과일류는 시료 채취 시 꼭지 및 씨를 제외한 과실 전체 가식부를 사용한다. 또한 과일류에 농약 사용 시 과피에 부착하게 되고 또한 과피의 표면적이 커 상대적으로 검출률이 높게 나타나는 원인으로 판단된다[17]. 채소류 역시 잎의 표면적이 넓어 농약의 부착 및 잔류량이 두류나 곡류에 비해 비교적 높게 나타난 것으로 판단된다.

잔류농약 검사 결과 367건의 시료에서 350종의 검사 대상 농약 중 정량한계 이상으로 검출된 농약은 58종 70항목으로 163회 검출되었다. 식품의약품안전처의 잔류물질정보[14]를 참고하여 사용 목적별로 분류하면 Fig. 2와 같다. 해충을 방제하기 위한 살충제 성분이 46.0%로 가장 많았고, 미생물을 방제하기 위한 살균제 성분의 잔류농약이 39.3%, 거미강에 속하는 응애를 방제하기 위한 살비제 성분이 1.8%, 선형동물문에 속하는 선충을 방제하기 위한 살선충제 성분이 0.6%, 식물의 생육 촉진 또는 억제, 개화촉진, 낙과 방지 또는 충진 등 식물의 생육을 조절하기 위하여 사용하는 식물 생장 조절제 성분이 0.6%였고, 복합적으로 살충제와 살비제 작용을 하는 성분이 포함된 농약이 9.8%, 살충제와 살선충제 작용하는 성분이 포함된 농약이 1.2%, 살충제, 살비제, 살선충제 작용을 하는 성분이 포함된 농약이 0.6% 검출되었다.

검출된 잔류농약의 종류 및 검출량은 Table 6과 같으며 dinotefuran (8.6%), sulfoxaflor (7.4%), carbendazim (6.7%), acetamiprid (5.5%), tebuconazole (4.9%) 순으로 많이 검출되었다. 가장 많이 검출된 dinotefuran은 저독성, 어독성 III급으로 총채벌레, 가루이 등 난방제 해충 방제에 효과가 탁월한 살충제이다. 이번 연구에서 검출된 품목 중 감, 갓, 무(잎), 배, 사과, 완두, 취나물, 토마토에서는 기준 이하로 검출되었고, 곤달비는 국내 잔류허용기준이 설정된 농약 이외에는 일률기준(0.01 mg/kg)으로 관리하는 PLS를 적용하여 기준 이상 검출되었다. Sulfoxaflor는 저독성, 어독성 III급이며 국내에서는 음독 후 경증의 대사성 산증으로 퇴원한 환자 증례를 국내 처음 보고한 바 있으나[18] 미국 환경보호국[19]에서는 벌과 다른 꽃가루 매개자에 유해하다는 우려로 2015년에 사용금지 조치 된 농약이기도 하다. 가지, 감, 고추, 배, 복분자, 아스파라거스, 오이, 자두,

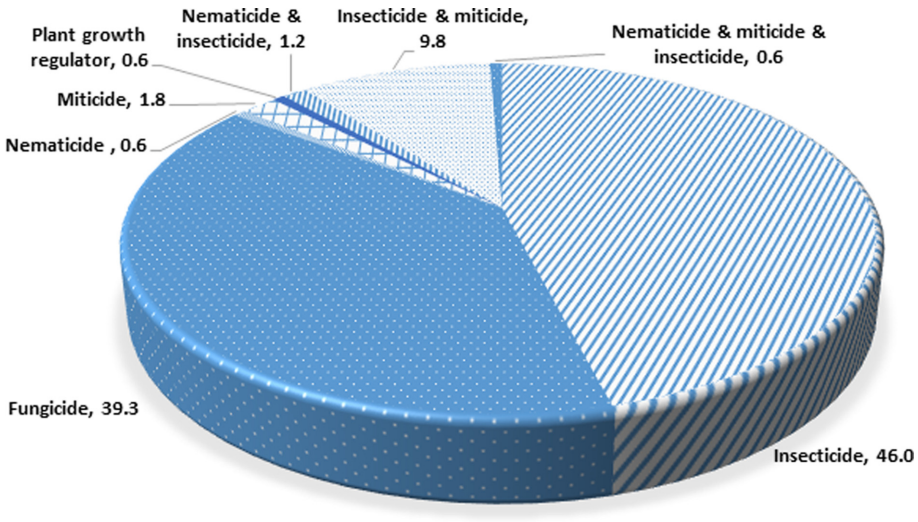

Fig. 2. Detection rate by pesticides classification detected in agricultural products.

Table 6. Type and detection range of residual pesticides

Functional class (Number of detection, detection rate (%))	Pesticide	Number of detection	Detection range (mg/kg)
Insecticide (75, 46.0)	Dinotefuran	14	0.0095-0.3570
	Sulfoxaflor	12	0.0099-0.0914
	Acetamiprid	9	0.0098-0.5880
	Etofenprox	7	0.0101-0.1282
	Chlorantraniliprole	6	0.0106-0.2820
	Imidacloprid	4	0.0108-0.0841
	Indoxacarb	3	0.0168-0.0405
	Thiamethoxam	3	0.0148-0.0589
	Flubendiamide	2	0.0626-12.980
	Metaflumizone	2	0.0277-0.9068
	Teflubenzuron	2	0.0077-0.0393
	Acephate	1	0.0127
	Chlorfluazuron	1	0.0994
	Cyantraniliprole	1	0.0187
	Deltamethrin	1	0.1294
	Diflubenzuron	1	0.0127
	Emamectin benzoate	1	0.0246
	Ethoprophos	1	0.0115
	Fenitrothion	1	0.0256
	Flonicamid	1	0.0215
	Fluxametamide	1	0.0645
	Thiacloprid	1	0.0142
Fungicide (64, 39.3)	Carbendazim	11	0.0104-6.0960
	Tebuconazole	8	0.0086-0.0899
	Azoxystrobin	7	0.0104-2.2218

Table 6. (Continued) Type and detection range of residual pesticides

Functional class (Number of detection, detection rate (%))	Pesticide	Number of detection	Detection range (mg/kg)
Fungicide (64, 39.3)	Trifloxystrobin	6	0.0159-0.6056
	Pyraclostrobin	6	0.0108-0.0599
	Procymidone	3	0.0136-0.0200
	Pydiflumetofen	3	0.0243-0.1135
	Amisulbrom	2	1.5000-5.3400
	Cyprodinil	2	0.0535-0.1135
	Flutriafol	2	0.0073-0.0078
	Propamocarb	2	0.0839-0.1096
	Boscalid	1	0.0184
	Cyazofamid	1	0.0220
	Cymoxanil	1	0.0076
	Diethofencarb	1	0.2243
	Ethaboxam	1	0.2410
	Fluazinam	1	0.0184
	Fludioxonil	1	0.0400
	Fluopyram	1	0.0150
	Fluquinconazole	1	0.3760
	Isopyrazam	1	0.0898
	Myclobutanil	1	0.0555
Insecticide, Acaricide (16, 9.8)	Buprofezin	4	0.0004-3.2304
	Chlorfenapyr	4	0.0173-0.0977
	Flufenoxuron	3	0.0155-0.4620
	Lufenuron	2	0.0161-0.267
	Bifenthrin	1	0.0591
	Methomyl	1	0.1910
	Spiromesifen	1	0.2445
Acaricide (3, 1.8)	Cyenopyrafen	2	0.0229-0.0401
	Tebufenpyrad	1	0.0946
Nematicide, Insecticide (2, 1.2)	Terbufos	2	0.0433-1.9193
Nematicide (1, 0.6)	Imicyafos	1	0.0296
Nematicide, Acaricide, Insecticide (1, 0.6)	Phorate	1	0.0142
Plant growth regulator (1, 0.6)	Paclobutrazol	1	0.0297

체리에서 검출되었으나 모두 기준 이하 검출되었다.

Carbendazim은 benomyl과 thiophanate-methyl의 대사산물 중 하나로 자연에서 불안정하여 모두 carbendazim으로 가수분해되어 식물체 내에서 이동하므로 살균제로서 작용은 대부분 carbendazim에 의한 것으로 알려져 있다[20,21]. Benzimidazole계 살균제 침투성 농약으로 작물에 흡수되어 약효를 나타낸다. 감, 곤달비, 머위, 복숭아, 사과, 살구, 토마토에서 검출되었고 모두 기준 이하였다.

Acetamiprid는 피리딘 화합물로 저독성, 어독성 III급이며 인간과 동물에 대한 독성이 낮고 꿀벌에 대한 영향도 적다. 하지만 강력한 삼투 효과를 가지며 곤충 중추신경계 신경세포 시냅스후막의 아세틸콜린 수용 저해제로 중추신경계의 이상 흥분을 유발시킴으로써 목화진딧물, 작은뿌리파리 방제에 효과 있는 살충제로 알려져 있다. 곤달비, 머위, 사과, 살구, 취나물, 케일, 토마토에서 모두 기준 이하 검출되었다.

Tebuconazole은 트리아졸계 살균제로 저독성이고 어독성 III급이며 과수병해(탄저병, 갈반병, 겹무늬썩음병) 및 채소병해(탄저병, 덩굴마름병 등)에 효과가 좋아 배, 사과, 수박, 포도 등 과실류나 고추, 마늘 등의 채소류에 사용빈도가 높은 농약이다[15]. 이번 연구에서도 고추, 무화과, 배추, 사과, 상추, 파에서 검출되었으나 모두 기준 이하였다.

검출된 농약 58종 70항목 중 잔류농약 사용 기준은 있으나 고독성 농약으로 사용 등록 취소된(2011) methomyl이 자두에서 기준 이하로 1회 검출되었고, 9종이 인축독성 III급으로 보통 독성, 나머지 48종은 인축독성 IV급으로 저독성 농약이었다[22]. Methomyl은 기준 적용 시 methomyl과 thiodicarb의 합을 methomyl로 잔류물의 정의가 되어 있다. Methomyl은 2011년부터 등록 취소되어 국내에서 생산·유통되지 않으나 이번 연구에 검출된 성분은 thiodicarb의 2차 대사산물로 확인되었다. 차츰 고독성 농약은 사라지고 저독성 농약의 사용이 권장되는 추세이나 고독성 농약의 재분류 및 등록 취소에 대한 연구가 꾸준히 이뤄져야 할 것으로 보인다.

본 연구에서 취나물은 buprofezin, 곤달비는 buprofezin, dinotefuran, 파는 terbufos, 살구는 fluquinconazole 항목에서 기준치 이상의 잔류농약이 검출되었다.

취나물의 buprofezin은 기준치의 약 323배 초과 검출되었고, 곤달비의 buprofezin은 약 247배, dinotefuran 이 4배 검출되었으며, 살구의 fluquinconazole은 38배 초과 검출되었다. 취나물, 곤달비, 살구는 부적합 농약의 미등록 작물로 PLS 기준인 0.01 mg/kg을 적용하였다.

파의 terbufos (기준 : 0.05 mg/kg)는 기준치의 38.4배 검출되었다. 기준 적용 시 terbufos의 잔류물 정의가 terbufos와 terbufos의 oxygen analogue, sulfoxide 및 sulfone 형태의 합으로 되어 있다. 이번 연구에서는 terbufos가 1.1%, terbufos oxon sulfoxide 56.3%, terbufos oxon sulfone 10.0%, terbufos sulfoxide 24.7%, terbufos sulfone이 7.8%의 비율로 검출되었다.

취나물과 곤달비는 buprofezin, dinotefuran, trifloxystrobin, acetamiprid 항목이 공통적으로 검출되었다. 같은 생산자 제품으로 부적합 항목 이외에도 검출 농약이 유사하고 부적합 항목도 미등록 작물로 정해진 잔류허용 기준이 없어 PLS에 의해 0.01 mg/kg 이하를 적용하였다. 따라서 적절한 농약 사용법 및 사용량 준수를 위한 교육 및 인식이 필요해 보이며 이러한 시스템의 활성화를 통해 부적합 농산물의 발생을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

검출 항목의 안전성 평가

본 연구 결과 검출된 58종 농약의 안전성을 알아보기 위해 검출된 각 농약의 평균 잔류량(mg/kg)과 각 농산물의 일일식품섭취량(g/day)을 곱하고 국민건강영양조사 결과에 따라 한국인 전연령 평균체중인 55 kg을 나누어 일일추정섭취량(estimated daily intake, EDI, mg/kg b.w/day)을 산출하였다.

잔류농약이 검출된 시료에 대해 위해도(%ADI)에 근거한 농약별 위해도 평가를 실시하여 위해도 0.01% 이상인 품목을 정리한 결과는 Table 7과 같다. 식품의약품안전처의 인체적용제품 위해성 평가 공통지침서[13]에 따르면 위해지수는 1을 기준으로 1 이상일 경우 위해하다고 판단하고 1 이하는 안전하다고 판단한다. 위해지수는 백분율(%)로 표시할 수 있고 그 경우 100% 이하면 안전하다고 판단하였다.

Table 7. Exposure assessment of residual pesticides in agricultural products

Sample	Pesticide	Average concentration (mg/kg)	Food daily intake (g/day)	ADI[1] (mg/kg b.w/day)	EDI[2] (mg/man/day)	%ADI[3]
Apple	Acetamiprid	0.067	33.91	0.071	0.00004131	0.0582
	Carbendazim	0.017	33.91	0.03	0.00001042	0.0347
	Dinotefuran	0.010	33.91	0.02	0.00000586	0.0293
	Etofenprox	0.122	33.91	0.03	0.00007510	0.2503
	Tebuconazole	0.012	33.91	0.03	0.00000715	0.0238
	Teflubenzuron	0.024	33.91	0.01	0.00001480	0.1480
Apricot	Fluquinconazole	0.376	0.2	0.002	0.00000137	0.0684
Carrot	Fenitrothion	0.026	8.51	0.005	0.0000040	0.0792
Corn	Deltamethrin	0.129	6.11	0.01	0.00001438	0.1438

Table 7. (Continued) Exposure assessment of residual pesticides in agricultural products

Sample	Pesticide	Average concentration (mg/kg)	Food daily intake (g/day)	ADI[1)] (mg/kg b.w/day)	EDI[2)] (mg/man/day)	%ADI[3)]
Chili pepper	Azoxystrobin	0.420	4.51	0.2	0.0000344	0.0172
	Chlorfenapyr	0.098	4.51	0.026	0.0000080	0.0308
	Metaflumizone	0.907	4.51	0.1	0.0000744	0.0744
	Tebuconazole	0.090	4.51	0.03	0.0000074	0.0246
Chwinamul	Acetamiprid	0.588	0.83	0.071	0.0000089	0.0125
	Buprofezin	3.230	0.83	0.009	0.0000488	0.5417
	Trifloxystrobin	0.606	0.83	0.04	0.0000091	0.0228
Cucumber	Imicyafos	0.030	17.6	0.0005	0.0000095	1.8944
	Pydiflumetofen	0.084	17.6	0.092	0.0000268	0.0291
	Sulfoxaflor	0.076	17.6	0.05	0.0000243	0.0485
Green onion	Azoxystrobin	1.204	10.85	0.2	0.0002375	0.1188
	Etofenprox	0.019	10.85	0.03	0.0000038	0.0126
	Fluxapyroxad	0.019	10.85	0.021	0.0000038	0.0181
	Tebuconazole	0.017	10.85	0.03	0.0000033	0.0111
	Terbufos	1.919	10.85	0.0006	0.0003786	63.104
Narrow head ragwort	Buprofezin	2.465	0.02	0.009	0.0000009	0.0100
Peach	Boscalid	0.018	13	0.04	0.00000435	0.0109
	Carbendazim	0.041	13	0.03	0.00000962	0.0321
	Chlorfenapyr	0.017	13	0.026	0.00000409	0.0158
	Pyraclostrobin	0.019	13	0.03	0.00000444	0.0148
	Trifloxystrobin	0.037	13	0.04	0.00000863	0.0216
Pear	Buprofezin	0.015	8.87	0.009	0.00000242	0.0269
Perilla leaf	Amisulbrom	3.42	3.06	0.1	0.0001903	0.1903
	Azoxystrobin	1.202	3.06	0.2	0.0000669	0.0334
	Chlorfluazuron	0.099	3.06	0.033	0.0000055	0.0168
	Flubendiamide	12.98	3.06	0.017	0.0007222	4.2480
	Fluxametamide	0.065	3.06	0.0085	0.0000036	0.0422
	Myclobutanil	0.056	3.06	0.03	0.0000031	0.0103
	Spiromesifen	0.245	3.06	0.03	0.0000136	0.0453
	Tebufenpyrad	0.095	3.06	0.01	0.0000053	0.0526
Persimmon	Carbendazim	0.149	9.64	0.03	0.00002612	0.0871
	Dinotefuran	0.185	9.64	0.02	0.00003239	0.1620
	Fluazinam	0.013	9.64	0.01	0.00000235	0.0235
	Lufenuron	0.016	9.64	0.015	0.00000282	0.0188
Plum	Cyprodinil	0.083	3.17	0.03	0.00000481	0.0160
	Methomyl	0.191	3.17	0.02	0.00001101	0.0550
	Bifenthrin	0.059	3.17	0.01	0.00000341	0.0341
Radish	Metaflumizone	0.028	20.8	0.1	0.0000105	0.0105
Tomato	Carbendazim	0.023	14.6	0.03	0.0000060	0.0200
	Dinotefuran	0.049	14.6	0.02	0.0000130	0.0650
	Ethaboxam	0.241	14.6	0.055	0.0000640	0.1163

[1)] ADI : Acceptable daily intake (mg/kg b.w/day).
[3)] EDI : Estimated daily intake, average concentration (mg/kg)×food daily intake (kg/day)/55 kg/1000.
[3)] %ADI : %Acceptable daily intake (hazard index)=(EDI/ADI)×100.

본 연구에서 잔류농약이 검출된 해당 로컬푸드 농산물을 섭취하였을 때 위해성을 %ADI로 살펴보면 파에서 검출된 terbufos의 %ADI 값이 63.1043%로 가장 높았고 들깻잎에서 검출된 flubendiamide의 %ADI 값이 4.2480%, 오이에서 검출된 imicyafos가 1.8944% 순으로 높았고 나머지는 1% 미만의 미미한 값을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 검출된 각각의 잔류농약에 대한 위해도는 0.0000-63.1043% 였다. 대부분의 위해지수(%ADI) 값이 100%에 훨씬 미치지 못하였지만 terbufos의 경우 ADI 값이 0.0006 mg/man/day으로 매우 낮아 %ADI 값이 높게 나타난 것으로 보인다.

본 연구 중 잔류농약 허용기준을 초과하여 부적합 판정받은 품목의 위해성 결과를 살펴보면 파의 terbufos는 63.1043%, 취나물의 buprofezin은 0.5417%, 살구의 fluquinconazole은 0.0684%, 곤달비의 buprofezin은 0.0100 %으로 농약의 잔류허용기준(MRL)을 초과하여 검출되었지만 위해성 확인 결과 위해지수 100%를 넘지 않고 일반적으로 껍질을 벗겨 세척 하거나 조리를 통해 섭취하기 때문에 잔류농약의 위해성은 더욱 낮아질 것으로 판단된다[23,24]. 하지만 로컬푸드의 안전성 확보 및 정착을 위한 지역의 관심과 관리는 지속적으로 이뤄져야 할 것이다.

국문요약

본 연구에서는 울산지역에서 유통되는 로컬푸드 농산물 367건에 대해 다성분 분석법을 이용하여 잔류농약 350종을 분석한 결과 다음과 같다.

로컬푸드 농산물에 대한 잔류농약 분석 결과 21.5%(79건)의 검출률을 보였으며 부적합률은 1.1%(4건)으로 나타났다. 품목별로 과일류는 65건 중 27건(41.5%), 채소류는 242건 중 50건(20.7%), 두류는 7건 중 1건(14.3%), 곡류 11건 중 1건(9.1%) 검출률을 보였고, 취나물, 곤달비, 파, 살구에서 기준치 이상의 잔류농약이 검출되었다.

검출된 잔류농약은 총 58종 163회로 살충제 성분이 가장 많이 검출되었고 고독성 농약 1회, 보통 독성 농약 9회, 저독성 농약이 48종이었다.

부적합 처리된 품목을 포함한 검출된 잔류농약 항목에 대한 위해도 평가 결과 위해지수(%ADI) 가 0.0000-63.1043% 으로 모두 100% 미만으로 위해하지 않은 수준으로 판단되었다.

지속적으로 로컬푸드 농산물의 운동 추진 방향인 지역 활성화와 안전한 먹거리 공급체계구축의 목적을 위해 엄격히 관리되는 기준으로 안전성 검사를 실시하고, 신뢰성 확보를 위한 생산자 교육 및 홍보, 출하 전 안전성 검사 관리시스템이 정착된다면 울산지역 로컬푸드 농산물 사업이 더욱 활성화되고 지속적으로 추진 될 수 있을 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Min-Kyung Kim https://orcid.org/0009-0009-3120-4333
Seon-Hwa Kim https://orcid.org/0000-0002-5721-1015
DaeKyo Kim https://orcid.org/0000-0001-5761-6955
Ju-Eun Park https://orcid.org/0009-0002-6943-0423
Young-Min Kim https://orcid.org/0000-0002-9593-1611
Suk-Nam Hwang https://orcid.org/0009-0007-8726-8980

References

1. Trobe, H.L., (2022, November 20). Local food, future directions. Retrieved from: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.99.5379&rep=rep1&type=pd.
2. Jeong, E.M., 2011. Local food system construction plan for revival of local economy, C2011-08. Report of Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea, pp. 7-18.
3. Lee, J.K., Woo, H.D., Current status for management of pesticide maximum residue limits in food. *Food Sci. Ind.*, **43**, 2-23 (2010).
4. Cho, J.H., Kim, M.H., Kim, C.G., Whang, K.H., Kim, J.H., Song, S.M., Kim, H.J., Monitoring of pesticide residues on the direct marketing of agricultural products collected from living cooperative association and local food in Incheon. *The Report of Incheon Metropolitan City Institute of Public Health and Environment*, **16**, 66-72 (2018).
5. Kang, M.S., Kwon, T.H., Han, B.K., Son, M.O., Seo, J.S., Na, M.S., Yoo, T.S., Monitoring of residual pesticides and risk assessment in agricultural products on local food markets. *The Report of Jeollabukdo Institute of Health & Environment Research*, **26**, 99-116 (2018).
6. Kim, J.P., Cho, S.J., Song, N.J., Han, Y.J., Kim, H.H., Cho, B.S., Chung, J.K., Kim, S.H., Survey on pesticide residues and risk assessment in agricultural products at local food markets in Gwangju. *Korean J. Pestic. Sci.*, **25**, 20-30 (2021).
7. Lee, J.Y., A study on pesticide residues and heavy metals of local food agricultural products in Busan. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment*, **28**, 377-378 (2019).
8. 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).
9. Ministry of Food and Drug Safety, (2022, December 20). Ministry of food and drug safety notification. Retrieved from: https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Docu-

ment/FC.

10. Ministry of Food and Drug Safety, (2022, November 1). Validation and verification guidelines for test mrthods for quality control of testing inspection agencies in the food and drug field. Retrieved from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14813&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
11. Ministry of Food and Drug Safety, 2013. Practical guide to pesticide residue analysis (4th edition), Cheongju, Korea, pp. 78-82.
12. Ministry of Food and Drug Safety, 2016, Guidelines for standard procedures for preparation of test methods for food, etc. Cheongju, Korea, pp. 14-16.
13. Ministry of Food and Drug Safety, (2022, November 20). Common guidelines for risk assessment of human products. Retrieved from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_210/view.do?seq=14364&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=4.
14. Ministry of Food and Drug Safety, (2022, November 25). Pesticide residue database. Retrieved from: https://residue.foodsafetykorea.go.kr/prd/info.
15. Korea Disease Control and Prevention Agence, (2022, November 30). National health statistics (National health and nutrition examination Survey). Retrieved from: https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/sub04/sub04_04_01.do
16. Jeong, J.Y., Sung, G.H., Cho, H.N., Jung, M.G., Lee, S.Y., Park, S.W., Kim, B.J., A survey on pesticide residues in agricultural products for Juice on the market in Busan. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment*, **31**, 329-338 (2022).
17. Lee, M.K., Lee, S.R., Reduction factors and risk assessment of organophosphorus pesticides in Korean foods. *J. Food Sci. Technol*., **29**, 240-248 (1997).
18. Oh, J.H., Kang, H.G., Lim, T.H., Lee, S.H., Ahn, C.W., A case report of a first sulfoximine class of insecticide, sulfoxaflor poisoning. *J. Korean Soc. Clin. Toxicol.,* **13**, 43-45 (2015).
19. United States Environmental Protection Agency, (2022, November 28). Sulfoxaflor-Final Cancellation Order. Retrieved from: https//search.epa.gov/epasearch/?querytext =Sulfoxaflor&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=#/.
20. Kim, J.P., Seo, J.M., Lee, H.H., Oh, M.S., Ha, D.R., Shin, H.W., Kim, E.S., The degradation patterns of benzimidazole pesticides in Korean lettuce by cultivation. *J. Food Hyg. Saf.*, **23,** 129-136 (2008).
21. Lim, J., Miller, M.G., The role of the benomyl metabolite carbendazim in benomyl-induced testicular toxicity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.,* **142**, 401-410 (1997).
22. Rural Development Administration, (2022, November 26). Pesticide safety information system. Retrieved from: https://psis.rda.go.kr/psis/.
23. Lee, J.M., Lee, H.R., Nam, S.M., Removal rate of residual pesticides in perilla leaves with various washing methods. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **35**, 586-590 (2003).
24. Ku, P.T., Jin, S.H., Kang, J.M., Kwon, H.D., Park, S.H., Lee, J.Y., A study on the removal efficiency of pesticide residues in fruits and vegetables treated by additional materials. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.,* **48**, 388-393 (2005).