pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 37, No. 2, pp. 69~79 (2022)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2022.37.2.69

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

냉동 과·채류의 잔류농약 분석

김아람* · 김기철 · 문선애 · 김한택 · 이창희 · 류지은 · 박예지 · 채경석 · 김지원 · 최옥경
경기도보건환경연구원 수원농수산물검사소

Analysis of Pesticide Residues in Frozen Fruits and Vegetables

A-Ram Kim*, Ki-Cheol Kim, Sun-Ae Moon, Han-Taek Kim, Chang-Hee Lee, Ji-Eun Ryu, Ye-ji Park, Kyung-Suk Chae, Ji-Won Kim, Ok-Kyung Choi
Suwon Agricultural and Fishery Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Suwon, Korea

(Received February 28, 2022/Revised April 19, 2022/Accepted April 19, 2022)

ABSTRACT - The purpose of this study is to monitor the pesticide residues in frozen fruits and vegetables distributed and sold in online and offline markets in Korea. For the study, 107 samples of 34 types of frozen fruits and vegetables were examined, and a total of 341 pesticide residues were analyzed by using multiclass pesticide multiresidue methods of the Korean Food Code. As a result, pesticide residues were detected from 16 of 64 frozen fruits samples and 15 of 43 frozen vegetables samples. Conclusively, residues were detected from 31 samples in total, showing a detection rate of 29.0%. Specifically, pyridaben exceeded the Maximum Residue Limits (MRLs) based on the Positive list system (PLS) in one of the frozen radish leaves, and the violation rate was 0.9%. Detection on frozen fruits and vegetables was made 23 times for 11 types and 36 times for 21 types. In total, 28 types of pesticide residues were detected 59 times. Fungicides were detected the most in frozen fruits, while insecticides were detected the most in frozen vegetables. The most detected pesticides were the insecticide, acaricide chlorfenapyr (5) and the fungicide boscalid (5). Chlorfenapyr was detected only in frozen vegetables, and boscalid was detected in frozen fruits except one.

Key words: Frozen fruits, Frozen vegetables, Pesticide residues, Pyridaben, Maximum Residue Limits (MRLs)

1인 가구의 확대와 맞벌이 가구의 증가로 편리성을 중시하는 식품 소비경향이 확산되고, 간편식 시장이 성장하면서 조리 및 섭취가 쉬운 식품에 대한 소비자의 수요 증가뿐만 아니라, 외식·급식시장이 성장함에 따라 조리가 간편한 식품 원료에 대한 업계의 수요 역시 증가하고 있다[1]. 이에 따라 계절에 상관없이 판매 중인 냉동 채소, 냉동조리제품 등의 전처리 농산물, 신선편이농산물 같이 조리하기 쉽고 섭취가 용이한 상태로 가공하여 보관, 유통하는 형태가 증가하는 추세이다[2,3].

해외 주요 국가에서는 냉동 과일 및 채소(냉동 과·채류) 시장이 활성화되어 있다. 우리나라에서도 최근 소비트렌드 변화에 맞춰 다양한 냉동 과·채류 제품이 출시되고 있으며, 향후 냉동제품에 대한 수요는 더 증가할 것으로 전망하고 있다[2,4]. 냉동 과·채류에 대한 시장이 활성화되는 만큼 제품에 대한 안전성 관리도 중요하다.

식품공전에 따르면 냉동식품은 '제조·가공 또는 조리한 식품을 장기보존을 목적으로 냉동처리, 냉동보관하는 것으로서 용기·포장에 넣은 식품'이라고 정의하고 있으며, 이는 특정 품목명이 아니라 '냉동'이라는 기술이 적용된 가공식품의 한 범주로 보고 있다[5,6]. 일반적으로 냉동공정은 식품의 장기 보존을 위한 가장 안전한 방법 중 하나로 제품을 저온으로 유지하여 식품의 화학변화 진행을 정지시키고, 미생물 증식을 억제하여 장기 보관이 가능하게 하여 상품성 및 영양소 손실을 줄이고, 저장성, 가격 안정 등의 효과를 기대할 수 있다[7-9].

냉동 과·채류는 수입의 비중이 크고, 대부분의 제품이 해당 원물 100%로 이루어져 있으며, -18°C 이하의 냉동으로 보관·유통되기 때문에 농약이 잔류되어 있다면 매우 천천히 감소하거나, 화학적으로 안정되어 오랫동안 잔류할 가능성이 높다[10]. 또한 냉동 과·채류의 경우 소비자가

*Correspondence to: A-Ram Kim, Suwon Agricultural and Fishery Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Suwon, 16561, Korea
Tel: +82-31-290-6605, Fax: +82-31-236-9521
E-mail: aram8415@gg.go.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.

별도의 세척과정 없이 조리에 이용하거나 바로 섭취하는 경우가 많고, 세척하더라도 냉동 과·채류 조직이 물러져 잔류농약이 완전히 제거될 만큼 충분히 씻어내기가 어려우므로 냉동 과·채류의 잔류농약 안전성 확보가 요구된다[11]. 신선편이 과일·채소 소비자 조사[1] 결과에 따르면 냉동된 조리용 간편채소의 경우 해동 후 냉동 전 품질과 차이가 없다면 구매할 의향이 있는가에 대한 응답으로 '그렇다'가 53.4%로 가장 높게 나왔고, '보통(33.3%)', '그렇지 않다(13.4%)' 순으로 대부분 소비자가 향후 냉동 과·채류 구입에 긍정적인 경향을 나타냈으며, 냉동된 조리용 간편 채소 구매 시 중요하게 고려하는 요소에는 '신선도(42%)' 다음으로 '식품 위생·안전성 관리(28.5%)'가 중요한 고려 요소였다.

농약은 병해충으로부터 농산물을 보호하고, 작물 수확량을 보장하기 위해 널리 사용된다. 농약은 농산물의 생산, 수확 및 처리과정 등 농작물 재배의 모든 과정에서 사용되며, 농작물의 품질향상을 위한 필수품이다[12]. 기후 및 농업환경이 다변화되면서 세계 각국에서 다양한 농약 사용이 불가피한 것이 사실이다. 농약을 사용하지 않는다면 농작물 생산량이 20-75%까지 감소 될 수 있고 더 많은 노동력과 경작지가 필요하게 된다고 보고되고 있다[13-15]. 따라서 잘 관리된 농약의 사용이 꼭 필요하며, 세계 각국에서는 농산물의 안전성을 확보하고자 지속적으로 잔류농약 모니터링을 실시하고 있다. 우리나라 역시 1968년부터 잔류농약 모니터링을 실시한 이후로 1998년부턴 국가잔류농약모니터링 사업을 시작하여 현재까지 매년 수행하고 있다[16].

냉동 과·채류는 농산물과 가공식품인 과·채가공품으로 유통·판매되고 있는데, 이에 대한 잔류농약 모니터링은 수입 농산물에 해당되는 경우에는 일부 수행되고 있지만[17], 국내 농산물의 경우엔 냉동 농산물에 대해서 잔류농약 모니터링 보고는 미흡한 실정이다. 또한, 냉동 과·채류가 식품공전[5] 상 과·채가공품 식품 유형에 속하는 경우 개별 기준 및 규격에 잔류농약 항목이 해당하지 않기 때문에 별도로 잔류농약 모니터링이 수행되기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 냉동 과·채류에 대한 잔류농약 모니터링을 실시하여 소비자의 불안감 해소와 향후 잔류농약 안전성 관리를 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

Materials and Methods

대상시료

2020년 12월부터 2021년 8월까지 국내 온·오프라인 매장에서 유통되고 있는 냉동 과일류 64건, 냉동 채소류 43건으로 총 107건을 실험 대상으로 하였다. 오프라인 매장에서 25건, 온라인 매장에서 82건을 구입하였으며 냉동 과일류 15품목, 냉동 채소류 19품목으로 총 34개 품목을 조사 대상으로 하였다. 시료별 품목 현황 및 원산지는 Table 1과 같다.

농약 표준품 및 시약

분석대상 농약은 식품공전[5]의 다종농약 다성분 분석법(Multi Class Pesticide Multiresidue Methods)-제2법(7.1.2.2)으로 분석 가능한 성분을 대상으로 총 341종을 분석하였다. GC (gas chromatography) 분석대상 농약은 251종, LC (liquid chromatography) 분석대상 농약은 90종을 선정하였다. 농약 표준물질은 Kemidas (㈜태산, Korea)의 stock solution 1,000 mg/L 및 100 mg/L을 사용하였다. 분석 시약은 ACN (acetonitrile, Burdick & Jacson, USA), dichloromethane (Burdi ck & Jacson, USA), acetone (Wako, Japan), hexane (Wako, Japan), methanol (Wako, Japan)을 사용하였고, 그 외 시약은 모두 잔류농약 분석용 및 GR급을 사용하였다. 정제용 고체상 추출(SPE, solid phase extraction) 카트리지는 florisil cartridge (1 g, 6 mL, Agilent, USA), amino-propyl cartridge (1 g, 6 mL, Agilent, USA)를 사용하였다.

잔류농약 분석방법

잔류농약 분석은 식품공전[5]의 다종농약 다성분 분석법 제2법(7.1.2.2)에 따라 실시하였다. 검체 약 1 kg을 분쇄하여 약 50 g을 취하고, ACN 100 mL를 가하여 2분간 균질화(OMNI International, Kennesaw, GA, USA)하였다. 균질액을 감압 여과한 후 sodium chloride 15 g을 넣은 분액깔때기에 옮겨 강하게 흔든 뒤 층이 분리될 때까지 정치하였다. ACN 층을 anhydrous sodium sulfate에 통과시켜 탈수하고, ACN을 가하여 100 mL로 정용하였다. ACN 층을 GC와 LC 분석용으로 각각 20 mL 취하여 40°C 이하 수욕 상에서 감압 농축하였다.

정제과정은 GC 분석의 경우 florisil cartridge를 hexane 5 mL와 20% acetone/hexane 5 mL로 활성화시킨 후, 20% acetone/hexane 4 mL에 녹인 시료액을 cartridge 상단에 넣고 용출시켜 시험관에 받았다. 다시 cartridge에 20% acetone /hexane 5 m를 용출하여 동일 시험관에 받아 40°C 이하 수욕 상에서 감압 농축하였다. 잔류물은 20% acetone/hexane 2 mL로 녹여 0.2 μm PTFE filter (Whatman, USA)로 여과하여 시험 용액으로 사용하였다.

LC 분석은 amino-propyl cartridge를 dichloromethane 5 mL와 1% methanol/dichloromethane 4 mL로 활성화 후, 1% methanol/dichloromethane 4 mL에 녹인 시료액을 cartridge 상단에 넣고 용출시켜 시험관에 받았다. 다시 cartridge에 1% methanol/dichloromethane 7 mL를 용출하여 동일 시험관에 받아 0.2 μm PTFE filter (Whatman, USA)로 여과하여 시험용액으로 사용하였다.

기기 분석 조건

분석기기는 GC-MSMS (Thermo fisher scientific, TSQ9000, Singapore)와 LC-MSMS (AB sciex, US /QTRAP4500,

Table 1. The list of samples used in this study

Main category	Subcategory	Commodity	Country of origin (No. of samples)
Fruits	Citrus fruits	Lime	Vietnam (3)
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	Mango	Vietnam (5), Peru (2), India (1)
		Kiwifruit	Domestic (2), New zealand (1)
		Passion fruit	Vietnam (3)
	Pome fruits	Persimmon	Domestic (2)
		Pomegranate	Turkey (2)
	Berries and other small fruits	Strawberry	Domestic (7), Chile (3), China (1), Peru (1)
		Raspberry	Chile (3)
		Black berry	Chile (3)
		Blueberry	the USA (7), Chile (4), Peru (2)
		Cranberry	the USA (2)
	Stone fruits	Grape	Chile (1), Turkey (1)
		Peach	China (1), Greece (1)
		Plum	China (1)
		Cherry	Chile (2), Poland (2), Greece (1)
Vegetables	Flowerhead brassicas	Broccoli	Belgium (1), Spain (1)
		Brussels sprouts	Spain (1), France (1)
	Root and tuber vegetables	Carrot	the USA (1), Spain (1), France (1)
		Garlic	China (2)
	Fruiting vegetables other than Cucurbits	Chili pepper	Domestic (2), Vietnam (2)
		Beans and peas with pods	Belgium (1), Spain (1), China (1)
	Stalk and stem vegetables	Asparagus	China (3), Chile (1)
		Welsh onion	Domestic (3), China (1)
	Leafy vegetables	Gondre [Korean thistle]	Domestic (1)
		Chard	Domestic (1), China (2)
		Shepherd's purse	Domestic (1)
		Perilla leaves	Domestic (1)
		Radish (leaves)	Domestic (1)
		Spinach	Domestic (1), Belgium (1), China (1)
		Korean wormwood	Domestic (1)
		Marsh mallow	Domestic (1), China (2)
		Ssam cabbage	China (2)
		Young radish	China (1)
		Rape (leaves)	Domestic (1), China (1)
Total			107

Singapore)를 사용하여 잔류농약 정량 및 정성 분석을 실시하였다. 이 중 유기염소계는 GC-ECD (Agilent, 7890A, USA), 유기인계는 GC-NPD (Agilent, 7890A, USA)를 사용하여 정량 분석하였다. 기기 분석조건은 Table 2, Table 3과 같다.

유효성 검증

분석 방법에 대한 유효성 검증은 검출된 잔류농약을 대상으로 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인[18]에 따라 실시하였다. 검량선의 직선성은 결정계수(Coefficient of determination, R^2)로 확인하였고, 회수율은 불검출 시료에 표준용액을 처리하여 상기 시험법과 동일하게 수행하

Table 2. Analytical conditions of GC-MS/MS, GC-ECD and GC-NPD

Instrument	GC-MS/MS			GC-ECD			GC-NPD		
Injection vol. & mode	1.0 μL, splitless			1.0 μL, split			1.0 μL, splitless		
Inlet temp.	280°C			270°C			250°C		
Gas flow	He 1.0 mL/min			N_2 1.0 mL/min			N_2 1.0 mL/min		
Column	TG-5 (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)			DB-5 (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)			DB-5 (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)		
Column oven	Rate (°C/min)	Temp. (°C)	Hold (min)	Rate (°C/min)	Temp. (°C)	Hold (min)	Rate (°C/min)	Temp. (°C)	Hold (min)
	initial	70	3	initial	160	1	initial	130	1
	15	160	0	4.7	240	4	8	180	1
	5	300	3	13	280	20	4	210	3
							10	300	8
Detector	Ionization mode : Electron ionization (EI) SRM (Selected Reaction Monitoring) Transfer line temp. 280°C Ion Source temp. 280°C			Temp. 300°C N_2 60 mL/min			Temp. 310°C Air 60 mL/min N_2 5 mL/min H_2 3.0 mL/min		

Table 3. Analytical conditions of LC-MS/MS

Instrument	LC-MS/MS		
Injection volume	2 μL		
Flow rate	0.3 mL/min		
Column	CAPCELL CORE C18 (2.1 mm × 150 mm × 2.7 μm)		
Column oven	35°C		
Mobile phase	A: 0.1% formic acid, 5 mM ammonium formate in water B: 0.1% formic acid, 5 mM ammonium formate in methanol		
Gradient program	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	95	5
	1.0	95	5
	1.5	70	30
	12.0	2	98
	16.0	2	98
	16.1	95	5
	20.0	95	5
Detector	Ionization mode : Electrospray ionization (ESI) MRM(Multiple Reaction Monitoring)		

여 3반복 시험하여 측정하였다. 검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 ICH (international council for harmonisation of technical requirements for pharmaceuticals for human use)에서 제시한 아래 산출 방법에 따라 산출하였다.

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

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

Results and Discussion

분석법 검증

직선성 및 검출한계, 정량한계 결과는 Table 4에 나타내었다. 검량선의 직선성은 0.001-2.51 mg/kg 범위에서 0.9953-1.0000으로 모두 R^2>0.99이었고, 검출한계는 0.0005-0.0081 mg/kg, 정량한계는 0.0015-0.0245 mg/kg으로 나타났다. 국내에서는 식품의 경우 0.05 mg/kg 이하의 잔류농약 분석법의 검출한계를 만족하면서 동시에 잔류허용기준의 1/2-1/10까지 검출하도록 요구되고 있어, 이에 대한 기준에 적합하였다. 회수율 결과는 Table 5에 나타내었다. 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인[18]에 따르면 회수율 기준은 0.01 mg/kg 이하의 농도는 회수율 60-120%, 상대표준편차(relative standard deviation, RSD) 32% 이하, 0.01 mg/kg 초과 0.1 mg/kg 이하의 농도는 회수율 70-120%, 상대표준편차 22% 이하, 0.1 mg/kg 초과 1.0 mg/kg 이하의 농도는 회수율 70-110%, 상대표준편차 18% 이하이다. 0.01 mg/kg 이하 농도 수준에서는 회수율 78.5-

Table 4. Linearity, LOD(limit of detection) and LOQ(limit of quantitation) of pesticides detected

Pesticide	Linear range (mg/kg)	Correlation coefficient (R^2)	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)
Azoxystrobin	0.001-0.201	0.9996	0.0021	0.0065
Bifenthrin	0.005-0.201	0.9993	0.0008	0.0024
Boscalid	0.001-0.201	0.9999	0.0025	0.0077
Chlorantraniliprole	0.001-0.202	0.9997	0.0019	0.0058
Chlorfenapyr	0.020-2.512	1.0000	0.0054	0.0162
Chlorothalonil	0.005-1.002	0.9987	0.0027	0.0081
Chlorpyrifos	0.005-1.004	0.9987	0.0029	0.0089
Cyhalothrin	0.005-1.006	0.9997	0.0019	0.0057
Cypermethrin	0.005-0.503	0.9993	0.0017	0.0052
Etofenprox	0.001-0.501	0.9977	0.0030	0.0092
Fludioxonil	0.025-2.002	1.0000	0.0081	0.0245
Flufenoxuron	0.001-0.202	0.9996	0.0028	0.0085
Fluquinconazole	0.001-0.201	0.9997	0.0018	0.0056
Hexaconazole	0.001-0.501	0.9953	0.0057	0.0172
Imidacloprid	0.001-0.200	0.9998	0.0021	0.0065
Iprodione	0.010-0.201	0.9987	0.0028	0.0086
Lufenuron	0.001-0.202	0.9999	0.0027	0.0081
Paclobutrazol	0.001-0.501	0.9953	0.0056	0.0171
Penconazole	0.005-0.201	0.9999	0.0012	0.0035
Permethrin	0.005-0.503	0.9974	0.0049	0.0149
Phosmet	0.005-0.201	0.9988	0.0039	0.0120
Procymidone	0.005-1.002	0.9955	0.0059	0.0178
Profenofos	0.005-0.201	0.9998	0.0005	0.0015
Pyraclostrobin	0.001-0.201	0.9997	0.0016	0.0049
Pyridaben	0.001-0.201	0.9996	0.0014	0.0043
Pyridaryl	0.005-0.201	0.9990	0.0007	0.0022
Pyrimethanil	0.001-0.201	1.0000	0.0015	0.0047
Thiamethoxam	0.001-0.201	0.9997	0.0025	0.0076

Table 5. Validation parameter of recovery of pesticides detected

Pesticide	Recovery±RSD[1] (%)			Pesticide	Recovery±RSD (%)		
	0.01 mg/kg	0.05 mg/kg	0.1 mg/kg		0.1 mg/kg	0.2 mg/kg	0.5 mg/kg
Azoxystrobin	78.5±0.9	88.4±1.0	96.0±1.4	Bifenthrin	88.5±0.7	98.3±0.7	100.4±2.1
Boscalid	85.0±3.3	86.7±0.6	93.6±1.3	Chlorfenapyr	93.5±0.7	94.3±5.2	96.8±8.2
Chlorantraniliprole	81.0±1.7	76.1±2.6	83.3±2.1	Chlorothalonil	75.0±1.9	78.9±1.1	83.7±1.1
Etofenprox	92.0±5.8	92.9±3.3	98.3±1.5	Chlorpyrifos	80.8±2.5	91.5±1.5	90.5±1.3
Flufenoxuron	81.5±2.6	84.1±1.9	90.2±2.2	Cyhalothrin	97.9±0.6	98.5±0.7	103.5±1.3
Fluquinconazole	86.0±3.3	81.8±2.1	95.1±9.7	Cypermethrin	95.3±1.1	98.6±0.9	101.1±2.1
Hexaconazole	79.7±11.7	81.9±6.1	85.6±6.0	Fludioxonil	97.7±10.2	97.1±5.3	89.4±3.9
Imidacloprid	79.0±11.0	85.5±8.8	103.6±8.4	Iprodione	83.6±1.5	96.1±0.7	97.3±1.1
Lufenuron	79.0±1.8	83.8±2.4	87.1±1.5	Penconazole	86.6±0.9	97.3±1.0	96.1±1.6
Paclobutrazol	81.7±8.2	85.1±4.4	91.1±4.7	Phosmet	105.5±1.5	97.0±0.6	109.8±1.3
Permethrin	95.7±10.5	90.8±3.2	98.5±1.7	Procymidone	85.4±0.9	98.7±1.3	94.9±1.5
Pyraclostrobin	88.0±1.6	89.5±1.9	92.0±0.7	Profenofos	82.2±1.6	95.6±1.3	95.3±0.3
Pyridaben	90.7±11.3	95.9±3.0	100.5±4.0	Pyridaryl	85.1±1.5	92.2±0.5	93.2±0.5
Pyrimethanil	89.7±14.8	90.7±15.0	99.0±11.9				
Thiamethoxam	79.0±7.0	82.1±7.4	99.3±10.4				

1) RSD: Relative standard deviation

95.7%, RSD 0.9-14.8%, 0.01 mg/kg 초과 0.1 mg/kg 이하의 농도 수준에서는 회수율 75.0-105.5%, RSD 0.6-15.0%, 0.1 mg/kg 초과 1.0 mg/kg 이하의 농도 수준에서는 회수율 78.9-109.8%, RSD 0.3-8.2%로 나타났다. 따라서 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인[18]에 제시된 회수율 기준을 충족하였다.

냉동 과·채류의 잔류농약 분석 결과

냉동 과·채류의 잔류농약 분석 결과를 Table 6, Table 7에 나타내었다. 검출된 잔류농약은 식품의약품안전처에서 고시한 농약 잔류허용기준에 따라 평가하였으며 기준이 설정되지 않은 농약 성분은 2019년 1월 1일부터 시행된 농약허용물질목록 관리제도(positive list system, PLS)에 따라 일괄 0.01 mg/kg을 적용하였다. 수거한 냉동 과·채류 중 과·채가공품의 경우 가공식품의 농약 잔류허용기준을 적용하여 원료의 함량에 따라 원료 농산물의 기준을 적용하였다[5]. 그 결과 냉동 과·채류 총 107건 중 31건(29.0%)에서 잔류농약이 검출되었으며, 이 중 농약 잔류허용기준을 초과한 시료는 1건으로 전체 부적합률은 0.9%였다. 2020년도 경기도 내 농산물 부적합률 1.2%보다는 낮았고, 식

Table 6. Pesticide residues detected in frozen fruits

No.	Sample	Pesticide	Concentration (mg/kg)	MRL[1] (mg/kg)
1	Strawberry	Boscalid	0.0118	5.0
		Pyrimethanil	0.0098	3.0
2	Strawberry	Fludioxonil	0.0127	2.0
3	Strawberry	Bifenthrin	0.0098	0.5
		Penconazole	0.0444	0.5
4	Strawberry	Procymidone	0.0512	10.0
5	Blueberry	Boscalid	0.0113	10
		Pyrimethanil	0.0205	8.0
6	Blueberry	Phosmet	0.0349	10
		Fludioxonil	0.5412	2.0
7	Blueberry	Pyrimethanil	0.0094	8.0
8	Blueberry	Phosmet	0.0116	10
9	Cherry	Phosmet	0.0048	0.05
10	Cherry	Fludioxonil	0.0260	5.0
		Iprodione	0.0613	10.0
11	Cherry	Iprodione	0.0853	10.0
12	Passion fruit	Cypermethrin	0.0083	2.0
13	Cranberry	Chlorothalonil	0.0149	5.0
14	Grape	Cyhalothrin	0.0015	1.0
		Pyrimethanil	0.0265	5.0
15	Mango	Boscalid	0.0094	0.6
16	Kiwifruit	Iprodione	0.0536	5.0
		Boscalid	0.0194	5.0

1) MRL: Maximum Residue Level

Table 7. Pesticide residues detected in frozen vegetables

No.	Sample	Pesticide	Concentration (mg/kg)	MRL (mg/kg)
1	Chili pepper	Permethrin	0.0086	1.0
		Chlorpyrifos	0.0163	1.0
		Azoxystrobin	0.0091	2.0
		Hexaconazole	0.0181	0.3
		Profenofos	0.0109	2.0
2	Chili pepper	Cypermethrin	0.011	0.5
		Azoxystrobin	0.0083	2.0
3	Chili pepper	Imidacloprid	0.0291	1.0
		Procymidone	0.0652	5.0
		Thiamethoxam	0.0088	1.0
4	Chard	Procymidone	0.0244	0.05
		Pyridaryl	0.0140	15
		Paclobutrazol	0.1447	2.0
		Permethrin	0.5079	3.0
		Chlorantraniliprole	0.0192	5.0
5	Chard	Flufenoxuron	0.0370	7.0
		Lufenuron	0.0261	10
		Chlorfenapyr	0.0787	9.0
		Pyridaben	0.1320	0.01[1]
6	Radish (leaves)	Chlorfenapyr	0.0858	2.0
		Cyhalothrin	0.0070	1.0
		Lufenuron	0.0173	3.0
		Thiamethoxam	0.0730	2.0
7	Spinach	Chlorfenapyr	0.0403	10
8	Chinese mallow	Etofenprox	0.0274	15
		Pyraclostrobin	0.0081	15
9	Chinese mallow	Chlorfenapyr	0.0383	9.0
10	Brussels sprouts	Boscalid	0.0081	0.05
11	Ssam cabbage	Cyhalothrin	0.0059	0.5
12	Young radish	Chlorfenapyr	0.0367	2.0
		Chlorpyrifos	0.0261	0.05
		Thiamethoxam	0.0210	2.0
		Chlorantraniliprole	0.0081	10
13	Welsh onion	Thiamethoxam	0.0146	2.0
14	Welsh onion	Fluquinconazole	0.0176	0.3
15	Welsh onion	Azoxystrobin	0.0191	2.0

1) PLS (Positive List System) : If MRL is not established, default MRL of 0.01 mg/kg will be adapted.

Table 8. Analyzed sample number and detection rate of pesticide residues in frozen fruits and vegetables

Main category	Subcategory	Domestic		Imported		Total
		No. of samples	No. of detection samples (%)	No. of samples	No. of detection samples (%)	No. of detection samples (%)
Fruits	Citrus fruits	-	-	3	-	-
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	2	1(50.0)	12	2(16.7)	3(21.4)
	Pome fruits	2	-	2	-	-
	Berries and other small fruits	7	2(28.6)	28	8(28.6)	10(28.6)
	Stone fruits	-	-	8	3(37.5)	3(37.5)
	Total	11	3(27.3)	53	13(24.5)	16(25.0)
Vegetables	Flowerhead brassicas	-	-	4	1(25.0)	1(25.0)
	Root and tuber vegetables	-	-	5	-	-
	Fruiting vegetables other than Cucurbits	2	1(50.0)	5	2(40.0)	3(42.9)
	Stalk and stem vegetables	3	2(66.7)	5	1(20.0)	3(37.5)
	Leafy vegetables	9	2(28.6)	12	6(50.0)	8(42.1)
	Total	12	5(41.7)	31	10(32.3)	15(34.9)
	Total	23	8(34.8)	84	23(27.4)	31(29.0)

품의약품안전처에서 발표한 2019년, 2020년 농산물 부적합률 모두 0.9%로 유사하였다[19,20].

부적합 판정된 시료는 냉동무청으로 pyridaben이 0.1320 mg/kg 검출되어, PLS 기준인 0.01 mg/kg을 10배 이상 초과하였다. pyridaben이 검출된 냉동무청은 중국산으로, 중국에서도 국가 식품안전기준 - 식품 중 농약의 최대 잔류허용기준(National Food Safety Standard - Maximum Residue Limits for Pesticides in Foods) (GB 2763-2021)에 따르면 pyridaben에 대해서 채소류 가운데 양배추, 배추, 고추, 오이에 대해서만 잔류허용기준을 정하고 있어, 우리나라와 중국 모두 무청(무(잎))에는 미등록된 농약 성분에 해당하였다. Pyridaben은 우리나라에서 PLS 제도가 전면 시행된 2019년도부터 경기도에서 신규로 부적합 판정된 농약 성분으로 중국산 냉동무청까지 포함하여 3년 연속 PLS가 적용되어 부적합 판정되었다[20]. Pyridaben은 과일, 채소 작물 등에 광범위하게 사용되는 비침투성 살충제 및 살비제(살충제/살비제)로, 미토콘드리아 내 전자전달계 complex I을 억제하여 전자전달 작용을 차단함으로써 ATP 생성 저해를 통해 살충효과를 가지는 것으로 알려져 있다[21,22].

냉동 과·채류의 원산지별 검출 빈도를 살펴보면, 국내산은 23건 중 8건으로 34.8%, 수입산은 82건 중 23건으로 27.4%였다. 냉동 과일류와 냉동 채소류에서도 국내산 검출률이 더 높게 나타났다. 국내산 냉동 과·채류보다 수입산 냉동 과·채류가 상대적으로 높은 검출률을 나타내었다. 그러나 국내산 냉동 과·채류에서 검출된 잔류농약은 잔류허용기준 이하로 안전한 수준이었으며, 수입산 냉동 과·채류에서 검출된 농약 1종이 잔류허용기준을 초과하였다(Table 8).

농산물 분류별 잔류농약 분석 결과

냉동 과·채류 34개 품목 중에서 과일류 8품목, 채소류 9품목에서 잔류농약이 검출되었다. 이를 소분류로 나누어 비교해 보면, 냉동 과일류에서는 핵과류 8건 중 3건(37.5%), 장과류 35건 중 10건(28.6%), 열대과일류 14건 중 3건(21.4%) 순으로 높은 검출률을 보였으며, 감귤류(3건)와 인과류(4건)에선 잔류농약이 검출되지 않았다. 냉동 채소류 중에선 박과 이외 과채류 7건 중 3건(42.9%), 엽채류 19건 중 8건(42.1%), 엽경채류 8건 중 3건(37.5%), 결구 엽채류 4건 중 1건(25.0%) 순으로 높은 검출을 보였으며 근채류(5건)에선 잔류농약이 검출되지 않았다(Table 8).

냉동 블루베리에서 검출된 boscalid (1회), pyrimethanil (2회), fludioxonil (1회), phosmet (2회) 모두 수입식품 잔류허용기준(import tolerance, IT)으로 설정된 농약 성분이었다. 수입식품 잔류허용기준(IT)은 국내에 등록되지 않아 잔류허용기준이 설정되어 있지 않은 농약에 대하여 수출국 등의 요청에 따라 안전성을 평가한 후 해당 식품에 대하여 잔류허용기준을 설정하는 제도[23]로, 수거한 냉동 블루베리 13건 모두 수입산이었다. 이 외에도 수입산 냉동 체리에서 검출된 fludioxonil (핵과류 그룹 잔류허용기준 적용)과 iprodione, 수입산 냉동 크랜베리에서 검출된 chlorothalonil도 모두 수입식품 잔류허용기준(IT)에 해당하였다. 수입식품에 대한 품목이 다양해지고 수입량이 증가함에 따라 이에 대한 안전관리가 확보될 수 있도록 수입식품 잔류허용기준(IT)을 확대하여 합법적으로 사용 가능한 농약에 대해 잔류허용기준으로 관리하는 것이 필요하다고 판단된다. 딸기에서 검출된 penconazole (0.0444 mg/kg), 체리에서 검출된 phosmet (0.0048 mg/kg), 패션프루트에서 검출된 cypermethrin (0.0083 mg/kg), 망고와 양

배추에서 검출된 boscalid (각각 0.0094 mg/kg, 0.0081 mg/kg), 근대에서 검출된 procymidone (0.0244 mg/kg), 고추 및 근대에서 검출된 permethrin (각각 0.0086 mg/kg, 0.5079 mg/kg) 농약 성분들에 대한 MRL은 PLS 제도를 보완하기 위해 설정된 해당 품목이나 그룹의 잠정 잔류허용기준에 해당하였다.

식품의약품안전처에서는 국내 미등록 농약에 대한 잠정 잔류허용기준의 유효기간을 2021년도 12월 31일까지로 설정하였다. 따라서 식품의약품안전처에서는 잠정 잔류허용기준에 대해 직권등록 시험 등을 반영하여 정식기준으로 일부 전환하고 있지만, 해당 품목이나 그룹에 대한 농약의 잔류허용기준이 설정되지 않는 이상 PLS를 적용받게 된다[24]. 본 연구에서 잠정 잔류허용기준에 따라 적합이었던 검출 농약 중에서 검출 농도가 0.01 mg/kg 이하인 농약을 포함하여 양배추 및 망고에 대한 boscalid의 잔류허용기준이 각각 2020년 10월 16일, 2021년 8월 9일에 정식기준이 설정되고, 근대에 대한 procymidone이 2022년 1월 27일에 엽채류에 대하여 2024년 12월 31일까지 유효한 기준이 설정되면서, 이를 제외하면 딸기에서 검출된 penconazole, 근대에서 검출된 permethrin이 PLS 기준을 초과하여 부적합 판정되게 된다. 잠정적으로 설정된 잔류허용기준이 직권등록 시험 등 위해

Table 9. Number of detected pesticides by uses

Group of pesticides	Pesticide	No. of frozen vegetables detected	No. of frozen fruits detected	Total
Fungicide (11)	Boscalid	1	4	5
	Pyrimethanil	-	4	4
	Iprodione	-	3	3
	Fludioxonil	-	3	3
	Procymidone	2	1	3
	Azoxystrobin	3	-	3
	Chlorothalonil	-	1	1
	Penconazole	-	1	1
	Fluquinconazole	1	-	1
	Pyraclostrobin	1	-	1
	Hexaconazole	1	-	1
Total(%)		9(25.0)	17(73.9)	26(44.1)
Insecticide, Acaricide (7)	Chlorfenapyr	5	-	5
	Phosmet	-	3	3
	Lufenuron	2	-	2
	Bifenthrin	-	1	1
	Flufenoxuron	1	-	1
	Profenofos	1	-	1
	Pyridaben	1	-	1
Total(%)		10(27.8)	4(17.4)	14(23.7)
Insecticide (9)	Thiamethoxam	4	-	4
	Cyhalothrin	2	1	3
	Cypermethrin	1	1	2
	Chlorpyrifos	2	-	2
	Chlorantraniliprole	2	-	2
	Permethrin	2	-	2
	Pyridaryl	1	-	1
	Etofenprox	1	-	1
	Imidacloprid	1	-	1
Total(%)		16(44.4)	2(8.7)	18(30.5)
Growth regulator (1)	Paclobutrazol	1	-	1
Total(%)		1(2.8)	-(-)	1(1.7)

평가 결과 약효 또는 약해, 잔류 등의 문제가 없다면 신속하게 정식기준으로 전환하여 농민들의 농약 사용에도 혼선이 유발되지 않도록 현실적인 대책이 마련되어야 한다.

농약 성분별 검출 결과

341종의 잔류 농약을 분석한 결과 28종의 농약이 59회 검출되었으며, 농약의 사용 목적에 따라 분류하였을 때 살균제 11종 26회, 살충제 9종 18회, 살충제/살비제 7종 14회, 식물생장조절제 1종 1회 나타났다. 살충제/살비제 7종 14회를 포함하여 16종 32회 검출로 살충제(54.2%)가 가장 많이 검출되었고, 살균제는 44.1%, 식물생장조절제는 1.7% 비율로 검출되었다(Table 9).

냉동 과일류에선 11종의 농약이 23회, 냉동 채소류에선 21종의 농약이 36회 검출되었다. 냉동 과일류에선 농약 가운데 살균제가 7종 17회로 가장 많이 검출되어 73.9% 비율을 차지하였고, 살충제/살비제 2종 4회를 포함하여 총 4종 6회의 살충제(26.1%)가 검출되었으며, 식물생장조절제는 검출되지 않았다. 냉동 채소류에선 살충제/살비제 5종 10회를 포함하여 총 14종 26회로 살충제가 가장 많이 검출되어 72.2%를 차지하였고, 살균제는 25%(6종 9회), 식물생장조절제는 2.8%(1종1회) 비율로 검출되었다. 조사대상 냉동 과일류에서 64건 중 35건이 장과류로 54.7%를 차지하였는데, 이는 2018년 충남도 내 유통 과일류의 잔류농약 검출 결과, 장과류에서 잿빛곰팡이, 갈색무늬병 등의 예방을 위한 살균제의 검출 빈도가 높은 것과 유사하였다[12]. 분석 결과 냉동 과일류에선 주로 살균제가 검출되었고, 냉동 채소류에는 주로 살충제가 검출되어 냉동 과·채류 사이에 검출된 농약 종류에 차이가 나타났다(Table 9).

검출 빈도가 높은 농약은 boscalid (5회), chlorfenapyr (5회), pyrimethanil (4회), thiamethoxam (4회), procymidone (3회), fludioxonil (3회), iprodine (3회), azoxystrobin (3회), cyhalothrin (3회), phosmet (3회) 순이었으며, 그 외의 검출 농약으로는 cypermethrin, chlorantraniliprole, chlorpyrifos, permethrin, lufenuron 등이었다. 이러한 결과는 시중에 유통·판매 중인 신선 농산물에서 검출 및 부적합 빈도가 높은 농약이 냉동 과·채류에서도 주로 검출된 것을 알 수 있었다[25-27].

살충제 중 가장 검출빈도가 높았던 성분은 살충제/살비제인 chlorfenapyr, thiamethoxam이었고, 두 성분 모두 냉동 채소류에서 검출되었다. 살균제에선 boscalid, pyrimethanil 성분이 가장 많이 검출되었으며, boscalid 1회를 제외하곤 두 성분 모두 냉동 과일류에서 나타났다.

Chlorfenapyr는 pyrrole계 살충제/살비제로 해충의 에너지 대사과정 중 산화적 인산화에 의한 ATP 합성을 저해함으로써 살충효과를 가지는 작용기작을 가지고 있다. Chlorfenapyr와는 다른 작용기작을 가지는 pyrethroid계, 유기인계 및 카바메이트계 살충제에 대한 저항성이 발현된 해충 방제에 효과적이어서 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 살충제로서 널리 사용되고 있는데, 냉동 과·채류에서 검출된 chlorfenapyr도 모두 수입산 시료에서 검출되었다[28,29].

Chlorfenapyr와 함께 검출 빈도가 가장 높은 boscalid는 carboxamide 계통의 살균제로 생물체에 선택적으로 작용하여, 호흡을 저해하는 작용기작으로 병원성 곰팡이에게는 높은 살균효과를 나타내며, 고추, 근대, 딸기 및 마늘 등에서 균핵병, 잿빛곰팡이병 및 흰가루병 방제에 사용되고 있다[13,30,31].

조사한 냉동 과·채류에서 다양한 종류의 농약이 잔류하고 있음을 확인하였고, 냉동으로 보관·유통되는 특성상 잔류농약의 안정성이 높기 때문에 냉동 과·채류의 잔류농약 안전성 관리가 필요하다고 판단된다[10]. 또한 합법적이고 효율적인 농산물 생산이 가능하도록 작물에 사용 가능한 농약 등록 및 추가적인 기준 설정이 지속적으로 필요하며, 농민들에게는 안전한 농약 사용에 대한 적극적인 교육과 홍보가 필요하다고 판단되었다.

국문 요약

본 연구에서는 냉동 과·채류의 잔류농약 실태조사를 위해 국내 온·오프라인 매장에서 유통 및 판매 중인 냉동 과·채류 107건을 대상으로 하여 다종농약다성분 분석법으로 잔류농약 341종을 분석하였다. 잔류농약 분석 결과 냉동 과일류 64건에서 16건, 냉동 채소류 43건에서 15건이 검출되어, 총 31건에서 잔류농약이 검출되었으며, 검출률 29.0%를 보였다. 이 중 냉동무청 1건에서 pyridaben이 PLS (positive list system)에 따라 농약 잔류허용기준을 초과하였으며, 부적합률은 0.9%로 나타났다. 냉동 과일류와 냉동 채소류 중 잔류농약은 각각 11종 23회, 21종 36회 검출되어, 총 28종 59회 검출되었다. 냉동 과일류에선 살균제가 7종 17회로 가장 많이 검출되었고, 냉동 과·채류에선 14종 26회로 살충제가 가장 많이 검출되었다. 최다 검출 농약은 살충제 및 살비제인 chlorfenapyr (5회)와 살균제인 boscalid (5회)로, chlorfenapyr는 냉동 채소류에서만 검출되었고, boscalid는 1건을 제외하고 모두 냉동 과일류에서 검출되었다. 본 연구 결과로 냉동 과·채류에 다양한 종류의 농약이 잔류하고 있음을 확인하였으며, 향후 냉동 과·채류에 대한 잔류농약 안전성 관리를 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

A-Ram Kim https://orcid.org/0000-0002-2868-2096
Ki-Cheol Kim https://orcid.org/0000-0003-4640-6703

Sun-Ae Moon https://orcid.org/0000-0003-0600-1947
Han-Taek Kim https://orcid.org/0000-0002-2405-3786
Chang-Hee Lee https://orcid.org/0000-0003-2676-8977
Ji-Eun Ryu https://orcid.org/0000-0002-4639-3212
Ye-ji Park https://orcid.org/0000-0002-2429-8687
Kyung-Suk Chae https://orcid.org/0000-0002-8001-9574
Ji-Won Kim https://orcid.org/0000-0001-8768-2152
Ok-Kyung Choi https://orcid.org/0000-0002-6954-8109

References

1. Korea Rural Economic Institute (2019). Research on Fresh-cut Fruits and Vegetables.
2. Lee, Y.J., Frozen food distribution status and Prospect. *Magazin Soc. Air-con. Refrig..En. Korea*, **45**, 26-33 (2016).
3. Kim, S. Y., Kim, H. S., Kim, J. S., Han, G. J., Changes in quality characteristics of sliced garlic with different freezing conditions during storage. *Korean J. Food Preserv.,* **24**, 746-757 (2017).
4. Rural Development Administration (2017). Agri-food consumption trend analysis: Korean agriculture finds a way out of consumers 2, Korea, 339-348.
5. Ministry of Food and Drug Safety (2021). Food Code.
6. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation (2018). 2018 Processed food subdivision market status - Frozen food market. Korea, 8-84.
7. Jeong, J.W., Jeong, S.W., Park, K.J., Changes in internal pressure of frozen fruits by freezing methods. *Korean J. Food Preserv.*, **10**, 459-465 (2003).
8. Ku, K.H., Recent technology of refrigeration and thawing method in food industry. *Bulletin of Food Tech*., **22**, 731-741 (2009).
9. Lee, Y.J., Lee, H.O., Kim, J.Y., Kwon, K.H., Cha, H.S., Kim. B.S., Quality characteristics of frozen Doraji (*Platycodon grandiflorum*) according to various blanching treatment conditions. *Korean J. Food Preserv.*, **18**, 661-668 (2011).
10. Yigit, N., Velioglu, Y.S., Effects of processing and storage on pesticide residues in foods. *Crit. Rev. in Food Sci. and Nutr.*, **60**, 3622-3641 (2020).
11. Korea consumer Agency (2016). Imported Frozen Fruit Safety Survey.
12. Lee, K.B., Kim, N.W., Song, N.S., Lee, J.H., Jung, S.M., Shin, M.H., Choi, S.S., Kim, J.H., Sung, S.Y., A safety survey of pesticide residues in fruit products circulated in Chungcheongnam-do Province, Korea. *J. Food Hyg. Saf.*, **34**, 421-430 (2019).
13. Chung, S.J., Kim, H.Y., Kim, J.H., Yeom, M.S., Cho, J.H., Lee, S.Y., Monitoring of pesticide residues and risk assessment in some fruits on the market in Incheon, Korea. *Korean J. Environ. Agric.*, **33**, 111-120 (2014).
14. Darby, W.J., Pesticides: a contribution to agriculture and nutrition. *Am. J. Public Health.,* **54**(Suppl_1), 18-23 (1964).
15. Ridgway, R.L., Tinney, J.C., MacGregor, J.T., Starler, N.J., Pesticide use in agriculture. *Environ. Health Perspec.*, **27**, 103-112 (1978).
16. Kang, N., Kim, S., Kang, Y., Kim, D., Jang, J., Won, S., Hyun, J. Kim, D., Rhee, G., Shin, Y., Joung, D., Kim, S., Park, J., Kwon, K., Ji, Y., Monitoring and exposure assessment of pesticide residues in domestic agricultural products. *Korean J. Pestic. Sci.*, **19**, 32-40 (2015).
17. Ministry of Food and Drug Safety (2021). 2021 Year Book of Imported Food Inspection.
18. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFDS) (2016). Guidelines on standard procedures for preparing analysis method.
19. Korean Statistical Information Service., (2021 November 29). Food collection inspection status. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=145&tblId=DT_14505_2018&vw_cd=&list_id=&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path.
20. Gyeonggi province Institute of Health and Environment (2021). 2020 annual report of the pesticide residues in agricultural products.
21. Hwang, K.W., Kim, H.J., Sun, J.H., Jeong, K.S., Lee, T.H., Establishment of Pre-Harvest Residue Limit (PHRL) of buprofezine and pyri-daben in squash. *Korean J. Pestic. Sci*, **23**, 154-161 (2019).
22. Li, B., Yang, R.B., She, J.R., Advances in research on pyridaben residue analytical method. *J. Agro-Environ. Sci.,* **26**, 662-667 (2007).
23. Lee, J.B., Jeong, M.H., Sung, H.J., Lee, H.K., Yang, J.S, Acute toxicity response caused by mixture or tank mix of several insecticides. *Korean J. Pestic. Sci.*, **5**, 57-61 (2001).
24. Kim, J.S., Kwon, C.H., Jung, K.H. (2020), Results and Next Plans of Positive list System(PLS) Implementation in Agricultural Commodities. *In: Proc. of Korean J. Environ. Agric.*, **2020**, 53-73.
25. Lee, H.K., Oh, M.S., Jeong, J.A., Kim, K.Y., Lee, S.B., Kim, H.T., Kang, H.R., Son, J.H., Lee, Y.M., Lee, M.K., Lee, B.H., Kim, J.Y., Park, Y.B., A safety survey on pesticide residues in dried agricultural products. *J. Food Hyg. Saf.*, **34**, 340-347 (2019).
26. Park, J.W., Seo, J.H., Lee, D.H., Na, K.I., Cho, S.Y., Bae, M.J., Evaluation of results in pesticide residues on incongruity commercial agricultural commodities using network analysis method. *J. Food Hyg. Saf.*, **33**, 23-30 (2018).
27. Ministry of Food and Drug Safety (2020). 2021 Guidance Document on Safety Management of Food.
28. Cho, K.S., Lee, S.J., Lee, D.Y., Kim, Y.J., Kim, K.Y., Chung, B.K., Kang, K.Y., Per-sistence of chlorfenapyr in paprika leaf and its residual biological activity to two spotted spider mite, *Tetranychus urticae. Korean J. Pestic. Sci.*, **15**, 317-322 (2011).
29. Gye, H.J., Lee, D.H., Jeong, M.H., Byun, J.E., Monitoring and Risk Assessment of Pesticide Residues in red pepper powder focused on red pepper's major production area in Korea (2015-2016). *J. Korean Soc. Food Cult.*, **35**, 285-293 (2020).
30. Baek, D.M., Kim H.T., Genetic mutation analysis of *Botrytis*

cinerea resistant to boscalid. *Korean J. Pestic. Sci.*, **25**, 246-254 (2021).
31. Lee, J.H., Park, H.W., Keum, Y.S., Kwon, C.H., Lee, Y.D., Kim, J.H., Dissipation pattern of boscalid in cucumber under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.,* **12**, 67-73 (2008).