



Research Article

Safety evaluation of pesticide residues and heavy metals in convenience foods preferred by single-person households

1인 가구 선호 다소비 간편식의 잔류농약 및 중금속 안전성 평가

Ah Hyeon Jo*, Su Ji Jung, Seul Lee, Ah Hyun Kim, Hyo Min Seo, Hee Mun, Sook Park, Yang Joon An
조아현* · 정수지 · 이슬 · 김아현 · 서효민 · 문희 · 박숙 · 안양준

Agricultural Products Inspection Center, Jeollanam-do Institute of Health and Environment, Suncheon
58034, Korea

전라남도보건환경연구원 농산물검사소

Abstract This study was conducted to evaluate the safety of pesticide residues and heavy metals in convenience foods preferred by single-person households, using by collecting 150 samples (96 meal kits, 28 salads, and 26 cut fruits) from the Jeollanam-do region. A total of 412 pesticide residues and heavy metals (Pb, Cd, and As) were analyzed. Pesticide residues were detected in 68 samples (45.3%), with 53 compounds identified. Among the product categories, salads showed the highest pesticide detection rate (67.9%), followed by meal kits (40.6%) and cut fruits (38.5%). Fluxametamide was the most frequently detected pesticide. Heavy metals were detected at rates of 96.0% for both Cd and As, and 53.3% for Pb. Cd and As were most frequently detected in salads (100.0% and 96.4%, respectively), while Pb showed the highest detection rate in cut fruits (76.9%). Human exposure assessment for the detected substances showed that the hazard index (%ADI) for pesticide residues ranged from 0.0142% to 30.9674%. For heavy metals, the risk levels relative to toxicological reference values were 2.0536% for Cd, 1.4017% for As, and 1.0757% for Pb. All evaluated risk levels were below 100%. These findings suggest that the pesticide residues and heavy metals in the analyzed convenience foods do not pose a significant risk to human health, providing a scientific basis for establishing practical safety standards.

Keywords convenience foods, pesticide residue, heavy metal, risk assessment, single-person households



OPEN ACCESS

Citation: Jo AH, Jung SJ, Lee S, Kim AH, Seo HM, Mun H, Park S, An YJ. Safety evaluation of pesticide residues and heavy metals in convenience foods preferred by single-person households. Food Sci. Preserv., 33(3), 518-533 (2026)

Received: March 11, 2026

Revised: April 09, 2026

Accepted: April 12, 2026

*Corresponding author

Ah Hyeon Jo
Tel: +82-61-720-1653
E-mail: lefthyeon@korea.kr

Copyright © 2026 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

통계청 인구주택총조사에 따르면, 한국의 1인 가구 비중은 전체 가구 수 대비 2015년 27.2%에서 2024년 36.1%로 약 8.9% 증가하며 지속적인 증가 추세를 보이고 있고 전라남도 또한 1인 가구 비중이 2015년 30.4%에서 2024년 37.7%로 약 7.3% 증가하였다(KOSTAT, 2024). 이러한 1인 가구의 증가는 식생활 구조의 변화를 초래하였으며, 그 결과 간편식 시장의 확대로 이어져 가정간편식 소비량이 2015년 2.2조 원에서 2022년 3.8조 원으로 증가하였다(MAFRA와 KREI, 2023). 가정간편식이란 단순히 조리 과정을 줄여주는 것을 넘어, 신선한 원료 농산물을 세척, 박피, 절단하여 포장한 신선 편의식품(샐러드, 간편과일)과 손질된 정량의 식재료 및 양념이 세트 제공되는 간편조리세트(밀키트) 등을 모두 포괄한다. 이러한 다소비 간편식은 바쁜 현대인들에게 영양학적 균형과 조리의 편의성을 제공하지만, 주원료인 농산물의 안전성이 사전에 확보되지 않을 경우 소비자 건강에 직접적인 위해를 초래할 수 있어 원료 단계부터 완제품에 이르는 철저한 위생 및 안전 관리가 요구된다.

농산물의 재배 과정에서 병해충 방제 및 생산량 증대를 위해 필수불가결하게 사용되는 농약은 오남용될 경우 잔류농약의 형태로 농산물에 남아 인체에 신경계 교란, 면역 기능 저하, 내분비계 장애 등 심각한 악영향을 미친다(WHO, 2022). 이에 국내에서는 2019년부터 농약 허용물질목록관리제도(positive list system, PLS)를 전면 도입하여 엄격히 규제하고 있으나, 비의도적 오염 등으로 인해 부적합 사례가 꾸준히 보고되고 있다(MFDS, 2024a). 잔류농약과 더불어 안전성을 위협하는 또 다른 주요 위해 인자인 유해 중금속(납, 카드뮴, 비소 등)은 자연계에서 분해되지 않고 먹이사슬을 통해 인체에 장기간 축적되어 신장 기능 장애 등 치명적인 중독 증상을 유발한다(NIFDS, 2021). 특히 밀키트에 포함된 찜솥소류나 샐러드, 간편과일 등은 가열 조리 과정을 거치지 않고 생으로 섭취하거나 최소한의 세척만으로 섭취하는 경우가 많아, 원료 농산물에 잔류하는 유해 물질이 소실되지 않고 체내로 직접 유입될 가능성이 매우 높다(Kim 등, 2019).

지금까지 국내에서 수행된 농산물의 잔류농약 및 중금속 안전성 조사는 주로 도매시장이나 대형마트에서 유통되는 배추, 무, 사과 등 개별 ‘단일 품목’의 모니터링에 집중되어 왔다. 그러나 밀키트나 샐러드와 같은 간편식은 다양한 산지와 품목의 농산물이 하나의 패키지 형태로 혼합된 ‘복합 시료’의 특성을 지닌다. 이러한 복합 식품은 분석 시 전체를 균질화하여 전처리하므로, 개별 원료 농산물마다 다르게 설정된 잔류허용기준을 최종 제품에 일률적으로 적용하여 규제적 적합 여부를 판정하는 데에는 과학적 한계가 존재한다. 따라서 다품목이 혼합된 간편식 패키지 전체를 하나의 소비 형태로 간주하고, 이를 통해 소비자가 실제로 섭취하게 되는 유해 물질의 총량을 산출하여 인체에 미치는 영향을 평가하는 노출량 기반의 위해성 평가(risk assessment)가 실질적인 안전성 검증의 대안으로 요구된다(Kim 등, 2015a).

이에 본 연구에서는 전라남도 지역 내에서 실제 유통되고 있는 다소비 간편식(밀키트, 샐러드, 간편과일)을 수거하여 잔류농약 및 중금속의 오염 실태를 선제적으로 파악하고자 하였다.

또한, 다품목이 혼합된 간편식의 경우 완제품 전체에 적용할 수 있는 잔류농약 및 중금속 기준 규격이 부재한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 규제적 기준의 공백을 보완하기 위하여, 소비자가 최종 제품을 섭취했을 때 체내로 유입되는 유해 물질의 실질적인 노출량을 정량적으로 평가하는 위해성 평가를 도입하고자 한다. 최종적으로 본 연구를 통해 시중 유통 간편식의 안전성을 과학적으로 검증하고, 향후 복합 시료 형태인 신선편의 식품 및 간편조리세트에 대한 현실적이고 합리적인 위생 및 안전 관리 기준을 마련하는 데 기여할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에서는 전라남도 내 유통 중인 간편식의 안전성을 평가하기 위하여 대형 마트, 식자재 마트 및 밀키트 전문 판매점에서 시료를 수거하였다. 수거 대상은 간편조리세트(밀키트) 96건, 신선편의식품에 해당하는 샐러드 28건 및 간편과일 26건으로 총 150건의 다소비 간편식을 선정하였다(Table 1). 수거한 150건의 간편식 시료는 제품 유형에 따라 다양한 원료 구성 특성을 나타냈다. 샐러드(28건)는 주로 양상추, 로메인, 적근대, 치커리, 양배추 등 표면적이 넓은 엽채류 위주로 구성되었으며, 간편과일(26건)은 파인애플, 사과, 포도, 토마토, 키위 등이 주를 이루었다. 가장 큰 비중을 차지한 간편조리세트(밀키트, 96건)의 경우 대파, 양파, 버섯, 깻잎, 배추 등 다양한 농산물이 공통적인 부원료로 포함되었으며, 제품의 조리 방식 및 메뉴 특성에 따라 국·탕·찌개류, 볶음·찜류, 비가열 및 기타류로 분류되었다. 또한 각 제품군에는 메뉴에 따라 소고기, 돼지고기, 닭고기 등의 축산물이나 해산물, 생선회 등의 수산물이 주요 부원료로 함께 구성되어 있었다. 수거된 시료 중 동봉된 소스류나 수산물 등의 부원료는 제외하고 농산물 원료만을 선별하였으며, 균질기(Blixer 5 plus, Robot Coupe, Vincennes, France)를 이용하여 완전히 균질화한 후 분석 전까지 -20°C 냉

Table 1. Number of samples and main ingredient composition of convenience foods analyzed in this study

Product type		Number of samples	Main agricultural ingredients	Remarks
Meal kit	Soups	47	Green onion, onion, cabbage, mushrooms, etc.	With beef, pork, or seafood
	Stir-fried and steamed dishes	35	Cabbage, onion, green onion, carrot, mushrooms, etc.	With beef, pork, or chicken
	Others (non-heated)	14	Cabbage, onion, carrot, perilla leaf, etc.	With raw fish, etc.
Salads		28	Lettuce, cabbage, chicory, etc.	Mainly leafy vegetables
Cut fruits		26	Pineapple, apple, tomato, grape, kiwi, melon, etc.	Mainly fresh fruits
Total		150		

동고에 보관하며 실험 재료로 사용하였다.

2.2. 시약 및 표준품

잔류농약 분석을 위한 412종의 혼합 표준물질은 AccuStandard (New Haven, CT, USA)사의 제품을 사용하였다. 시료의 전처리와 이동상으로 사용된 증류수(Merck, Darmstadt, Germany), 포름산(Merck) 및 아세트산암모늄(Merck)은 LC-MS grade 시약을 사용하였으며, 아세토니트릴(Merck)과 메탄올(Merck)은 HPLC gradient grade 시약을 사용하였다. 다성분시험법의 추출 및 정제에는 Extraction salts (Chromatific, Germany), PSA-MIX-1EN (Chromatific)을 사용하였다. 개별 분석을 위한 추출 및 정제 시, 스피로테트라멧은 Non-Buffered Tube (Supelco, Germany), dispersive-Solid Phase Extraction (d-SPE) (Supelco, Germany)를 사용하였으며, 노발루론 및 디메토모르프는 Z-Sep (Supelco, USA)를 사용하였다.

중금속 분석을 위한 시약은 60% 질산(Junsei Chemical, Tokyo, Japan)을 사용하였으며, 중금속 검량선 작성을 위한 표준물질은 Multi-Element calibration Standard 3 (PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를 3% 질산으로 희석하여 사용하였다.

2.3. 시료 전처리

잔류농약 분석을 위한 시료 전처리는 식품공전의 잔류농약 다성분시험법-제2법(QuEChERS법)에 준하여 수행하였으며, 노발루론, 스피로테트라멧, 디메토모르프는 각각의 개별 잔류농약 시험법을 따라 진행하였다(MFDS, 2024b). 전자저울(HS3300N, Hanseong, Gwangmyeong, Korea)을 이용하여 균질화된 검체 약 10 g을 50 mL 원심분리관에 정밀히 칭량한 후, 아세토니트릴 10 mL를 가하고 1분간 진탕하였다. 여기에 extraction salts(무수황산마그네슘 4 g, 염화나트륨 1 g, 구연산 삼나트륨 1 g, 구연산이나트륨 0.5 g)를 첨가하여 1분간 다시 격렬하게 진탕한 뒤, 4,000 ×g에서 10분간 원심분리하였다. 분리된 상층액 1 mL를 정제용 PSA-MIX-1EN 튜브(PSA 25 mg, 무수황산마그네슘 150 mg)에 취해 넣고 1분간 진탕한 후, 원심 분리하였다. 얻어진 최종 상층액을 0.2 µm PTFE 멤브레인 필터로 여과하여 기기분석용 시험용액으로 사용하였다.

개별 실험 항목이 검출된 검체에 한하여 추가 전처리를 진행하였다. 칭량된 10 g의 검체에 1% 포름산을 함유한 아세토니트릴 10 mL를 가하여 1분간 진탕한 후, 노발루론 및 디메토모르프는 다성분시험법과 동일한 extraction salts를, 스피로테트라멧은 non-buffered tube(무수황산마그네슘 4 g, 염화나트륨 1 g)를 각각 첨가하여 진탕 및 원심분리하였다. 분리된 상층액 1 mL에 대한 정제 과정에서 노발루론 및 디메토모르프는 Z-Sep, 스피로테트라멧은 d-SPE (PSA 25 mg, C18 25 mg, 무수황산마그네슘 150 mg)를 각각 적용하여 정제하였다. 이후

동일하게 0.2 µm PTFE 멤브레인 필터로 여과하였다. 스피로테트라멧은 기기분석용 시험용액으로 바로 사용하였으며, 노발루론 및 디메토모르프는 해당 여과액 200 µL에 아세토니트릴 800 µL를 혼합하여 최종 시험용액으로 사용하였다.

중금속 분석을 위한 전처리는 식품공전의 중금속 마이크로웨이브법에 준하여 수행하였다(MFDS, 2024b). 시료 약 0.5 g을 시험관에 정밀히 칭량한 후 60% 질산 5 mL를 가하여 마이크로웨이브 분해를 진행하였다. 분해가 완료된 시료는 냉각 후 50 mL까지 정용하여 시험용액으로 사용하였다.

2.4. 분석기기 및 조건

잔류농약 분석을 위한 기체크로마토그래프 질량분석기(GC-MS/MS)는 TQ8040 (Shimadzu, Kyoto, Japan)을, 액체크로마토그래프 질량분석기(LC-MS/MS)는 QTRAP 4500 (AB Sciex, Framingham, MA, USA)을 각각 사용하였다. 분석 조건은 식품공전의 잔류농약 다성분시험법-제2법을 준용하여 수행하였다(MFDS, 2024b). 중금속 분석은 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)인 NexION 2000 (PerkinElmer)을 이용하여 측정하였으며, ICP-MS 기기 분석 조건은 Table 2에 제시하였다.

2.5. 유효성 검증

본 연구에 적용된 잔류농약 및 중금속 분석법의 신뢰성과 타당성을 확보하기 위하여, 식품의약품안전처(MFDS) 및 국제식품규격위원회(CAC)의 가이드라인에 따라 시험법의 유효성 검증을 수행하였다(CAC, 2010; MFDS, 2021). 검증 지표로는 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantification, LOQ), 정확성 및 정밀성을 평가하였다.

검증을 위한 무처리 시료(blank matrix)는 채소류와 과일류의 기질 특성을 각각 반영하기 위하여 잔류농약 분석의 경우

Table 2. ICP-MS analytical conditions for heavy metal analysis

ICP-MS	
Instrument	NexION 2000, PerkinElmer
RF plasma power	1,600 W
Nebulizer argon flow rate	1.12 L/min
Auxiliary argon flow rate	1.20 L/min
Detector mode	Pulse counting
Replicate integration	3
Scan mode	Peak hopping
Dwell time	50 ms
Monitored isotopes	²⁰⁸ Pb, ¹¹¹ Cd, ⁷⁵ As
Gas	Argon

양배추와 포도를, 중금속 분석의 경우 기질 영향이 상대적으로 적은 특성을 고려하여 양배추 단일 시료를 선정하였다. 직선성은 각 분석 기기별로 혼합 표준용액을 단계적으로 희석하여 검량선을 작성한 후 결정계수(R^2)를 산출하여 확인하였다. 식품의약품안전처에서 제시한 방법에 따라 LOD는 $3.3 \times (\sigma/S)$, LOQ는 $10 \times (\sigma/S)$ 식을 이용하여 산출하였다(σ , standard deviation; S , slope of the calibration curve). 정확성과 정밀성은 무처리 시료에 잔류농약 허용물질목록관리제도(PLS)의 일률기준(0.01 mg/kg)이자 본 연구의 분석 목표 LOQ인 $10 \mu\text{g/kg}$ 농도가 되도록 혼합 표준용액을 첨가한 후, 3회 반복 추출 및 기기 분석을 수행하여 평균 회수율과 상대표준편차(RSD, %)를 산출하였다. 도출된 검증 결과는 식품의약품안전처 및 국제식품규격위원회의 잔류분석 수용 기준을 충족하는지 확인하여 본 연구의 모니터링 및 위해성 평가를 위한 신뢰성을 확보하는 데 활용하였다.

2.6. 위해성 평가

본 연구에서 검출된 잔류농약 및 유해 중금속이 인체에 미치는 영향을 정량적으로 확인하기 위하여 노출량 기반의 위해성 평가를 수행하였다. 잔류농약의 인체 노출량은 산출된 일일추정섭취량(estimated daily intake, EDI)을 농촌진흥청에서 고시한 개별 농약 성분의 일일섭취허용량(acceptable daily intake, ADI)에 대입하여 위해지수(hazard index, %ADI)를 산출하였다(RDA, 2025). 검출된 유해 중금속의 인체 노출량은 FAO/WHO 합동식품첨가물전문가위원회(JECFA)에서 제시한 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)과 잠정월간섭취허용량(provisional tolerable monthly intake, PTMI)을 이용하여, 납(Pb)과 비소(As)는 %PTWI, 카드뮴(Cd)은 %PTMI를 각각 산출하였다(WHO, 1989; WHO, 1993; WHO, 2011). 이 중 납과 비소의 PTWI는 2010년 JECFA에 의해 철회된 후 현재까지 새로운 기준치가 별도로 설정되지 않았으므로, 본 위해성 평가에서는 위해 수준의 비교를 위하여 철회되기 이전의 PTWI 기준값을 그대로 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유효성 검증

본 연구에서 잔류농약 및 중금속 시험법의 신뢰성과 타당성을 확보하기 위하여, 직선성, LOD, LOQ, 그리고 정확성 및 정밀성을 평가하였다. 잔류농약 분석을 위한 무처리 시료는 분석 대상인 간편식의 특성을 반영하여 두 가지로 구분하여 선정하였다. 채소류 비중이 높은 밀키트와 샐러드의 경우 실제 주요 구성 원료인 양배추를 선정하였다. 과일류의 경우 본 기관의 다 성분 잔류농약 분석 매질 특성에 관한 선행 연구를 바탕으로,

기기 분석 시 매질 간섭이 가장 적고 분석 효율이 우수한 것으로 검증된 포도를 공식 대표 무처리 시료로 선정하여 적용하였다(Yu 등, 2023). 반면, 중금속 분석은 잔류농약 분석과 달리 기기 분석 특성상 기질에 따른 영향이 적으므로 양배추 단일 시료만을 활용하여 검증을 진행하였으며, 그 결과는 Tables 3-5와 같다.

검출된 53종의 잔류농약 분석을 위한 검량선 작성 결과, 결정계수(R^2)는 0.9906-1.0000 범위로 나타나 모든 성분에서 매우 우수한 직선성을 확인하였다. 산출한 LOD와 LOQ를 살펴보면, 양배추에서 LOD는 0.00030-0.00506 mg/kg , LOQ는 0.00091-0.01533 mg/kg 범위로 산출되었다. 포도에서 LOD는 0.00062-0.00264 mg/kg , LOQ는 0.00188-0.00801 mg/kg 수준으로 나타났다. 또한, 유해 중금속(Pb, Cd, As) 분석의 경우 검량선의 결정계수(R^2)가 모두 1.0000으로 완벽한 직선성을 보였으며, LOD는 0.01770-0.09565 $\mu\text{g/kg}$, LOQ는 0.05362-0.28986 $\mu\text{g/kg}$ 으로 확인되었다.

분석법의 정확성과 정밀성을 검증하기 위해 무처리 시료(양배추, 포도)에 일정 농도의 표준물질을 첨가한 후 3회 반복 측정하는 회수율 시험을 진행하였다. 먼저, 측정값의 정확성을 나타내는 회수율을 확인한 결과, 양배추에서 잔류농약은 73.2-114.1%, 포도에서는 71.7-110.6%로 나타났다. 중금속의 경우 납(Pb) 85.7%, 카드뮴(Cd) 89.1%, 비소(As) 102.0%로 우수한 회수율을 보였다. 또한, 정밀성은 상대표준편차로 평가하였으며, 잔류농약은 양배추에서 0.6-9.8%, 포도에서 1.2-6.3%로 나타났다, 중금속은 1.0-1.2% 이내로 산출되어 우수한 정밀성을 확보하였음을 확인하였다.

본 연구에서 도출된 결정계수(R^2)와 LOD 및 LOQ는 대상 기기분석법이 미량의 유해 물질을 정량하기에 충분한 감도를 지니고 있음을 보여준다. 또한, 잔류농약 및 중금속의 회수율과 상대표준편차 값은 모두 식품의약품안전처 잔류농약 분석법 실무해설서(MFDS, 2017) 및 CODEX 가이드라인(CAC, 2003)에서 권장하는 잔류분석 유효성 평가 기준인 회수율 70-120%, 상대표준편차 20% 이하는 물론, 일반적인 기기분석의 허용 기준을 충족하였다. 따라서 본 연구에 사용된 기기분석법은 도내 유통 간편식의 유해 물질을 분석하기에 충분한 민감도, 정확성 및 정밀성을 확보하였음이 검증되었다.

3.2. 간편식 품목별 잔류농약 검출 결과

전라남도 내 유통 중인 간편식 150건(밀키트 96건, 샐러드 28건, 간편과일 26건)을 대상으로 잔류농약을 분석한 결과, 전체 시료 중 68건에서 1종 이상의 잔류농약이 검출되어 총 45.3%의 검출률을 나타냈다(Table 6).

연구 대상 품목별로 잔류농약 검출 양상을 비교해 보면, 샐러드의 검출률이 67.9%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 밀

Table 3. Linearity, LOD, LOQ, and recovery of detected pesticides in cabbage matrix

Instrument	Pesticides	Linearity (R^2)	LOD ¹⁾ (mg/kg)	LOQ ²⁾ (mg/kg)	Recovery ³⁾ (%) (mean±RSD)
GC-MS/MS	Boscalid	0.9999	0.00030	0.00091	84.4±1.3
	Chlorfenapyr	0.9995	0.00482	0.01460	111.9±3.5
	Dimethomorph_E	0.9997	0.00096	0.00291	86.8±0.7
	Dimethomorph_Z	0.9994	0.00093	0.00282	80.9±2.2
	Diniconazole	0.9999	0.00111	0.00338	91.7±7.8
	Fluopyram	0.9995	0.00104	0.00315	82.7±2.9
	Fluxapyroxad	1.0000	0.00169	0.00512	111.7±5.6
	Indoxacarb	0.9995	0.00122	0.00371	73.2±1.9
	Metalaxyl	0.9999	0.00121	0.00365	94.1±1.0
	Paclobutrazole	0.9992	0.00140	0.00425	85.1±2.0
	Penthiopyrad	0.9997	0.00112	0.00340	91.5±1.7
	Procymidone	0.9998	0.00177	0.00537	83.1±8.6
	Pyridalyl	0.9990	0.00136	0.00411	89.4±6.0
	Tebufenpyrad	0.9998	0.00089	0.00268	84.4±3.4
	Trifloxystrobin	0.9998	0.00162	0.00490	94.4±3.3
LC-MS/MS	Acetamiprid	0.9942	0.00459	0.01392	114.1±1.8
	Azoxystrobin	0.9959	0.00371	0.01124	108.6±1.6
	Benzyladenine	0.9982	0.00386	0.01171	100.3±3.6
	Carbendazim	0.9966	0.00230	0.00696	86.5±2.0
	Chlorantraniliprole	0.9969	0.00381	0.01155	106.2±4.8
	Cyantraniliprole	0.9956	0.00345	0.01045	103.2±7.8
	Cyazofamid	0.9983	0.00359	0.01088	108.4±5.7
	Cyenopyrafen	0.9960	0.00409	0.01239	108.4±2.7
	Dimethomorph	0.9985	0.00369	0.01118	102.4±5.1
	Dinotefuran	0.9982	0.00328	0.00995	104.0±4.4
	Fenpyroximate	0.9977	0.00360	0.01090	100.6±5.8
	Flonicamid	0.9959	0.00327	0.00992	113.3±7.1
	Flubendiamide	0.9924	0.00506	0.01533	110.2±6.3
	Fludioxonil	0.9978	0.00390	0.01182	98.5±3.1
	Flufenoxuron	0.9978	0.00448	0.01358	98.4±5.0
	Fluxametamide	0.9959	0.00304	0.00920	87.3±4.9
	Imidacloprid	0.9948	0.00345	0.01044	113.9±5.3
	Lufenuron	0.9973	0.00449	0.01362	94.7±2.9
	Metaflumizone(E)	0.9978	0.00298	0.00903	95.2±7.7
	Metaflumizone(Z)	0.9912	0.00398	0.01207	97.5±9.6
	Picarbutrazox	0.9978	0.00422	0.01278	100.1±9.8

(continued)

Instrument	Pesticides	Linearity (R^2)	LOD ¹⁾ (mg/kg)	LOQ ²⁾ (mg/kg)	Recovery ³⁾ (%) (mean±RSD)
LC-MS/MS	TZ-1E	0.9958	0.00437	0.01324	110.5±2.7
	Propamocarb	0.9942	0.00466	0.01413	103.0±8.4
	Pyraclostrobin	0.9947	0.00412	0.01248	108.8±5.6
	Pyribencarb	0.9932	0.00365	0.01106	109.7±4.3
	Pyrifluquinazon	0.9973	0.00425	0.01288	104.5±4.9
	Spinetoram-J	0.9954	0.00461	0.01398	94.2±0.6
	Spinetoram-L	0.9976	0.00227	0.00689	112.1±3.0
	Spirotetramat	0.9976	0.00388	0.01175	105.6±2.4
	Spirotetramat-enol	0.9969	0.00334	0.01014	107.3±3.1
	Sulfoxaflor	0.9910	0.00382	0.01157	101.6±3.4
	Terbufos	0.9972	0.00360	0.01090	112.4±1.6
	Thiabendazole	0.9973	0.00466	0.01411	100.2±2.5
	Thiacloprid	0.9944	0.00236	0.00714	107.7±2.5
	Thiamethoxam	0.9958	0.00293	0.00888	95.9±2.2

¹⁾Limit of detection.²⁾Limit of quantification.³⁾Values are mean±RSD (n=3).

키트 40.6%, 간편과일 38.5% 순으로 나타났다. 샐러드의 잔류 농약 검출률이 다른 간편식 품목들에 비해 상대적으로 높게 나타난 것은 해당 제품군의 주된 원료 특성에서 기인한 것으로 판단된다. 샐러드는 주로 상추, 치커리, 근대 등 엽채류로 구성 되는데, 엽채류는 과채류나 근채류에 비해 중량 대비 표면적이 넓어 농약의 부착률이 높고 잔류 기간이 긴 특징을 가진다(Do 등, 2010). 반면 밀키트의 경우, 이처럼 잔류농약 검출률이 높은 엽채류뿐만 아니라 상대적으로 검출률이 낮은 근채류, 버섯류 등 다양한 품목이 혼합되어 있다. 시료 전체를 균질화하여 분석하는 과정에서 다양한 원료에 의해 잔류농약의 농도가 희석되는 효과가 발생하므로, 결과적으로 엽채류 중심의 샐러드에 비해 전체적인 검출 빈도가 낮게 나타난 것으로 사료된다. 본 연구와 같은 다품목 균질화 전처리 방식은 특정 원료의 잔류농약 농도를 물리적으로 희석시켜 오염 수준이 과소평가될 가능성이 있다. 그러나 본 연구는 밀키트 제품의 특성상 동봉된 원료 전체를 혼합 및 조리하여 단일 식품의 형태로 섭취하는 일반적인 소비 방식을 반영하여, 총 노출량 기반의 위해성 평가를 수행하는 데 목적을 두었다. 다만, 구성 원료 일부를 선별적으로 취식하는 등 소비자의 다양한 섭취 특성을 고려할 때, 본 평가 결과는 단일 원료에 기인한 개별적인 노출 위험을 산정하기에는 한계가 있다. 따라서 밀키트 제품의 보다 정밀한 안전성 확보를 위하여, 향후 구성 품목별 개별 오염도 분석을 통한 위

해성 평가 연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다. 한편, 본 연구에서 확인된 간편과일의 검출률이 타 품목 대비 가장 낮게 나타난 것은, 과일류의 경우 가공 단계에서 박피 및 세척 과정을 거치며 표면에 부착되어 있던 농약이 상당 부분 제거되었기 때문인 것으로 사료된다(Bajwa와 Sandhu, 2014).

3.3. 농약 성분별 검출 결과

본 연구에서 검출된 잔류농약 53종의 품목별 분포를 확인한 결과(Fig. 1), 밀키트에서 32종(81회)의 농약이 나타나 성분 다양성이 가장 높았으며, 뒤이어 샐러드 27종(59회), 간편과일 21종(41회) 순으로 나타났다(Table 7). 특히 샐러드의 경우, 시료 수(28건) 대비 검출 횟수와 종수가 다른 시료에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이는 앞서 Table 1의 원료 구성과 같이 샐러드가 주로 상추류, 양배추 등 표면적이 넓어 잔류농약 부착률이 높은 엽채류 위주로 구성되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 밀키트의 검출 종수가 이처럼 가장 높게 나타난 것은 시료 수가 상대적으로 많은 데서 기인한 결과일 수 있다. 그러나 동시에, 단일 품목 위주의 간편과일과 달리 다양한 산지와 종류의 농산물에 하나의 패키지에 혼합된 ‘복합 시료’라는 밀키트 고유의 제품 특성이 반영된 결과로도 해석된다. 이는 소비자가 밀키트 섭취를 통해 다종의 농약 성분에 동시다발적으로 노출될 가능성을 내포하고 있어, 성분의 다양성 측면에서 더욱 세심한 안전

Table 4. Linearity, LOD, LOQ, and recovery of detected pesticides in grape matrix

Instrument	Pesticides	Linearity (R^2)	LOD ¹⁾ (mg/kg)	LOQ ²⁾ (mg/kg)	Recovery ³⁾ (%) (mean±RSD)
GC-MS/MS	Boscalid	1.0000	0.00062	0.00188	90.2±1.2
	Cyprodinil	0.9995	0.00133	0.00403	88.1±1.4
	Pyrimethanil	0.9998	0.00190	0.00577	80.5±2.7
	Tebuconazol	0.9998	0.00163	0.00493	90.1±1.4
LC-MS/MS	Acetamiprid	0.9968	0.00121	0.00367	90.2±1.8
	Azoxystrobin	0.9946	0.00092	0.00279	104.6±1.6
	Carbendazim	0.9938	0.00124	0.00377	76.3±2.0
	Dinotefuran	0.9937	0.00084	0.00254	91.4±4.4
	Etofenprox	0.9939	0.00159	0.00483	109.8±4.6
	Fenhexamid	0.9932	0.00216	0.00655	109.8±5.5
	Flubendiamide	0.9964	0.00227	0.00689	92.7±6.3
	Fludioxonil	0.9908	0.00264	0.00801	100.6±3.1
	Flufenoxuron	0.9941	0.00198	0.00601	82.6±5.0
	Flupyradifurone	0.9916	0.00244	0.00741	102.1±3.4
	Imazalil	0.9965	0.00128	0.00388	104.0±2.5
	Imidacloprid	0.9920	0.00154	0.00467	107.0±5.3
	Novaluron	0.9974	0.00082	0.00247	85.0±4.7
	Pyraclostrobin	0.9941	0.00137	0.00416	110.6±5.6
	Sulfoxaflor	0.9971	0.00094	0.00285	93.9±3.4
	Thiabendazole	0.9906	0.00074	0.00225	71.7±2.5

¹⁾Limit of detection.²⁾Limit of quantification.³⁾Values are mean±RSD (n=3).**Table 5.** Linearity, LOD, LOQ, and recovery of heavy metals (Pb, Cd, and As)

Heavy metals	Linearity (R^2)	LOD ¹⁾ (mg/kg)	LOQ ²⁾ (mg/kg)	Recovery ³⁾ (%) (mean±RSD)
Pb	1.0000	0.09565	0.28986	85.7±1.2
Cd	1.0000	0.01770	0.05362	89.1±1.0
As	1.0000	0.02773	0.08402	102.0±1.2

¹⁾Limit of detection.²⁾Limit of quantification.³⁾Values are mean±RSD (n=3).

관리가 요구된다.

검출된 농약 성분별 빈도를 분석한 결과, 나비목 유충 방제 등에 광범위하게 사용되는 살충제인 Fluxametamide가 총 16회 검출되어 가장 높은 빈도를 보였다(Park 등, 2021). Fluxametamide는 특히 샐러드에서 10회, 밀키트에서 6회 검출되었으며, Table 1의 시료별 원료 구성에서 나타난 바와 같이

주로 상추, 양배추 등 엽채류가 포함된 품목에서 주로 확인되었다. 두 번째로 많이 검출된 성분은 진딧물 및 응애류 방제용 살충제인 Spirotetramat으로 총 14회 검출되었으며, 이는 밀키트(10회)와 샐러드(4회)에서 집중적으로 나타났다(Chung 등, 2014). 이외에도 광범위 살균제인 Carbendazim이 총 11회 검출되었으며, 흡즙성 해충 방제용 살충제인 Dinotefuran이 9회 검출되었

Table 6. Detection frequency of pesticide residues and heavy metals in convenience foods

Product type	Number of analyzed samples	Number of detected samples (Detection rate, %)			
		Pesticide	Pb	Cd	As
Meal kit	96	39 (40.6)	44 (45.8)	93 (96.8)	92 (95.8)
Salads	28	19 (67.9)	16 (57.1)	28 (100.0)	27 (96.4)
Cut fruits	26	10 (38.5)	20 (76.9)	23 (88.5)	25 (96.1)
Total	150	68 (45.3)	80 (53.3)	144 (96.0)	144 (96.0)

다. 또한, Pyridalyl이 8회, Flubendiamide와 Sulfoxaflor가 각각 7회씩 검출되며 다빈도 검출 양상을 나타냈다.

간편과일의 경우 Carbendazim(5회)과 Etofenprox(4회), Tebuconazole(4회) 등의 성분이 주로 검출되어 샐러드나 밀키트와는 다소 다른 검출 패턴을 보였다. 이는 엽채류 중심의 샐러드나 밀키트와 달리, 과수 작물은 생육 기간이 길고 당도가 높아 재배 중 탄저병이나 흰가루병 등 각종 곰팡이성 병해에 매우 취약하여 살균제 위주의 방제가 필수적으로 수반되기 때문인 것으로 사료된다(Park 등, 2025). 이를 예방하고 수확 후 저장성을 높이기 위해 Carbendazim과 Tebuconazole 같은 광범위 살균제가 필수적으로 사용되는데, 이들은 식물체 내부로 흡수되는 침투이행성을 지니고 있어 가공 단계의 세척이나 박피 과정을 거치더라도 과육 내부에 일부 잔류할 수 있어 다빈도로 검출된 것으로 사료된다(Kim 등, 2023). 또한, Etofenprox 역시 과수 작물 해충 방제에 널리 쓰이는 살충제로, 이러한 과일류 특유의 농약 사용 이력이 간편과일의 검출 양상에 그대로 반영된 것으로 보인다(Lee 등, 2015).

이러한 다빈도 검출 성분들은 간편식의 주원료인 엽채류 및 과채류 재배 과정에서 발생하기 쉬운 해충 및 곰팡이병을 방제하기 위해 농가에서 널리 사용되는 대표적인 약제들이다. 다만, 본 연구의 조사 대상인 간편식은 단일 농산물이 아닌 다양한 원료가 혼합된 형태이므로, 시료 전체를 균질화하여 분석한 본 결과에 농산물의 잔류허용기준을 직접적으로 적용하여 안전성 여부를 판정하는 데에는 한계가 있다. 따라서, 이들 다빈도 검출 농약이 실제 간편식을 섭취하는 소비자에게 미치는 실질적인 안전성을 확인하기 위하여 검출 농도와 섭취량을 기반으로 한 인체 위해성 평가를 수행하였으며, 그 결과는 후술하는 ‘3.5. 잔류농약 위해성 평가’에 제시하였다.

3.4. 중금속 검출 결과

본 연구에서 유통 간편식 150건을 대상으로 유해 중금속의 오염도를 분석한 결과, 전체 시료 중 카드뮴과 비소는 144건에서 검출되어 96.0%의 높은 검출률을 보였으며, 납(Pb)은 80건에서 검출되어 53.3%의 검출률을 나타냈다(Table 6). 중금속 성분 및 품목별 검출 양상을 세부적으로 살펴보면, 먼저 카드뮴

의 경우 샐러드에서 100.0%로 모든 시료에서 검출되며 가장 높은 비율을 보였고, 뒤이어 밀키트 96.8%, 간편과일 88.5% 순으로 나타났다. 비소 역시 샐러드에서 가장 높은 검출률 96.4%를 나타냈으나, 그 다음으로는 간편과일 96.1%, 밀키트 95.8% 순으로 나타나 카드뮴과는 유사한 패턴을 보였다. 반면, 납의 경우 간편과일의 검출률이 76.9%로 가장 높게 확인되었으며, 샐러드 57.1%, 밀키트 45.8% 순으로 나타나 엽채류 중심의 카드뮴, 비소와는 상이한 검출 양상을 보였다.

검출된 중금속의 농도 분석 결과, 전체 시료의 납 평균 검출 농도는 0.0110 mg/kg (0.0002-0.0613 mg/kg)이었으며, 카드뮴은 0.0049 mg/kg (0.0002-0.0269 mg/kg), 비소는 0.0086 mg/kg (0.0003-0.1885 mg/kg)으로 나타났다(Table 8). 각 원소의 품목별 평균 농도를 살펴보면, 납은 간편과일 0.0135 mg/kg, 샐러드 0.0126 mg/kg, 밀키트 0.0093 mg/kg 순으로 과일류가 포함된 제품군에서 상대적으로 높게 나타났다. 이와 대조적으로 카드뮴과 비소의 평균 농도는 다양한 채소가 혼합된 밀키트에서 각각 0.0058 mg/kg, 0.0119 mg/kg으로 타 품목 대비 가장 높게 정량되었다.

이러한 중금속별 검출 빈도 및 농도의 차이는 각 중금속의 환경 내 이행 경로와 작물의 형태적 요인에서 기인한 것으로 사료된다. 카드뮴과 비소는 토양 및 농업용수를 통해 식물 뿌리로 흡수되는 특성이 강하여, 전체 간편식 시료에서 96.0%라는 전반적으로 매우 높은 검출률을 나타냈다(Lim 등, 2018). 이들은 특히 수분이 많고 뿌리 흡수율이 높은 엽채류 조직 내에 잘 축적되므로, 채소류가 주원료인 샐러드와 밀키트에서 그 경향이 나타난 것으로 사료된다(Kim 등, 2020) 또한, 비소(As)의 경우 전체 중금속 중 가장 높은 최대 검출 농도(0.1885 mg/kg)를 나타냈는데, 비교적 고농도로 검출된 시료의 대부분은 수산물(해산물) 등 다양한 부원료가 함께 포장된 밀키트 제품이었다. 수산물은 해양 생태계 특성상 비소의 자연적 축적량이 타 농식품군에 비해 상대적으로 높다(Taylor 등, 2017). 본 연구의 시료 전처리 과정에서는 수산물 등의 부원료를 제외하고 농산물 원료만을 선별하여 균질화 및 분석을 진행하였다. 그럼에도 불구하고 비소가 높게 검출된 것은, 완벽히 구획되지 않은 혼합 포장 상태로 유통되는 과정에서 수산물에서 유래된 수분이나

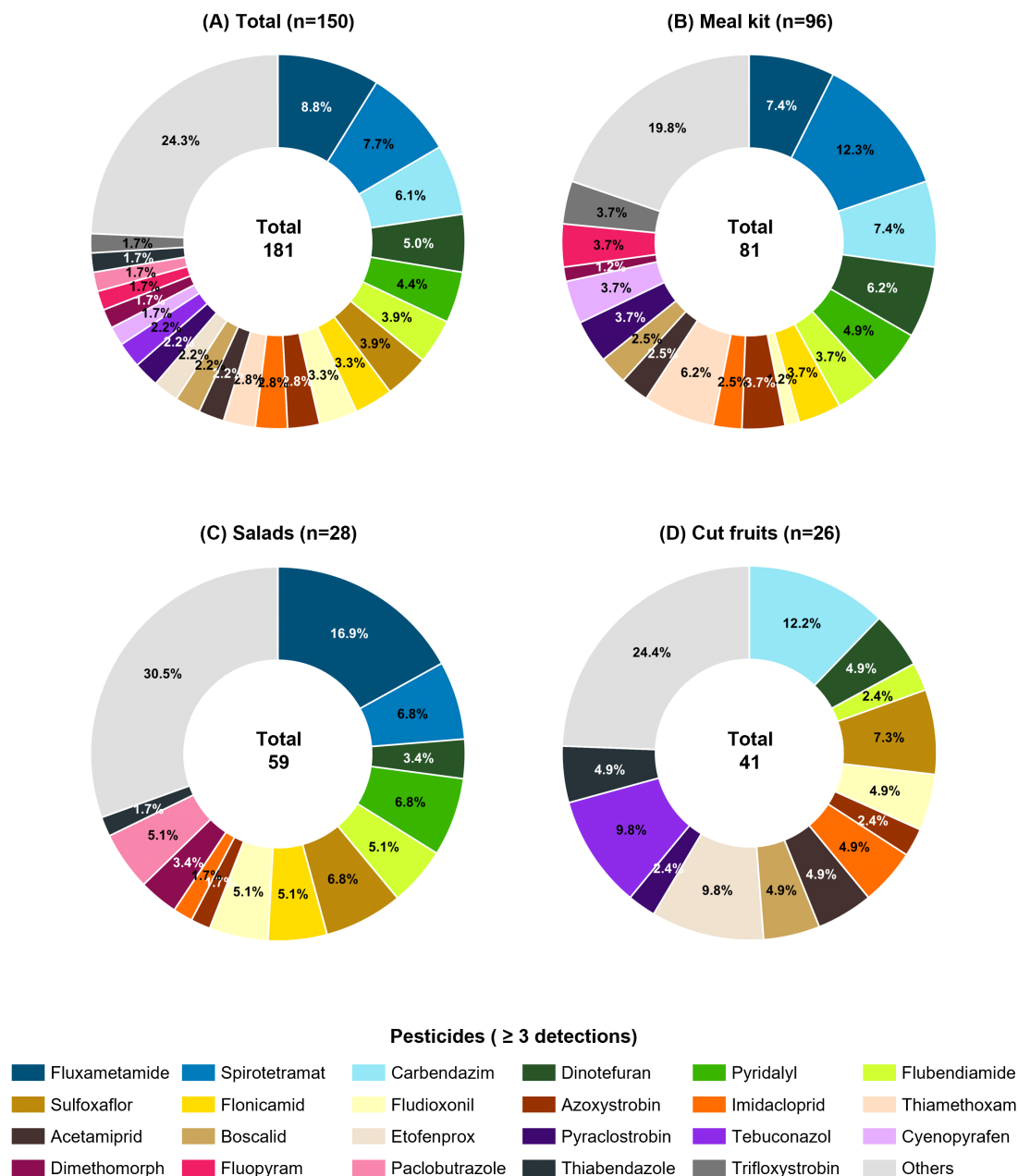


Fig. 1. Compositional distribution of detected pesticide residues in convenience food agricultural products. (A), Total samples (n=150); (B), Meal kits (n=96); (C), Salads (n=28); (D), Cut fruits (n=26). The percentages represent the frequency of each pesticide among the total detections within each category. Pesticides with fewer than three detections are grouped as ‘Others’.

성분 등이 농산물로 이행되는 교차 오염이 발생하여 농도 상승에 기여했기 때문인 것으로 판단된다. 다만, 수산물에 기인한 비소는 대부분 독성이 매우 낮은 유기비소 형태로 존재하며, 섭취하더라도 체내에 거의 축적되지 않고 소변 등을 통해 빠르게 배출되므로 실질적인 인체 위해도는 매우 낮은 것으로 보고되고 있다(Yim 등, 2014). 이와 별개로, 수산물이 포함되지 않은

나머지 일부 시료에서 확인된 고농도 검출은 앞서 설명한 엽채류(양배추, 깻잎 등)의 토양 기인 비소 흡수 및 축적 특성이 강하게 반영된 전형적인 결과로 볼 수 있다. 카드뮴과 비소의 양상과는 대조적으로, 납(Pb)의 경우 전체 검출률은 53.3%로 상대적으로 낮았으나, 샐러드나 밀키트 등 엽채류 중심의 품목에 비해 간편과일에서 유독 그 검출 빈도(76.9%)가 급증하는 패턴

Table 7. Detection results of pesticide residues in convenience foods by product type

Pesticides	Total (n=150)	Meal kit (n=96)	Salads (n=28)	Cut fruits (n=26)
Acetamiprid	4 (0.0100-0.0305) ¹⁾	2 (0.0263-0.0305)	- ²⁾	2 (0.0100-0.0240)
Azoxystrobin	5 (0.0114-0.0407)	3 (0.0114-0.0358)	1 (0.0157)	1 (0.0407)
Benzyladenine	2 (0.0104-0.0295)	2 (0.0104-0.0295)	-	-
Boscalid	4 (0.0107-0.0338)	2 (0.0107-0.0115)	-	2 (0.0189-0.0338)
Carbendazim	11 (0.0123-0.6568)	6 (0.0123-0.6568)	-	5 (0.0589-0.4116)
Chlorantraniliprole	1 (0.0124)	1 (0.0124)	-	-
Chlorfenapyr	2 (0.0877-0.1790)	1 (0.0877)	1 (0.1790)	-
Cyantraniliprole	2 (0.0279-0.0289)	1 (0.0279)	1 (0.0289)	-
Cyazofamid	2 (0.0167-0.0263)	-	2 (0.0167-0.0263)	-
Cyenoptyrafen	3 (0.0268-0.0891)	3 (0.0268-0.0891)	-	-
Cyprodinil	1 (0.0680)	-	-	1 (0.0680)
Diflubenzuron	1 (0.0273)	-	-	1 (0.0273)
Dimethomorph	3 (0.0753-0.4496)	1 (0.0753)	2 (0.2929-0.4496)	-
Diniconazole	2 (0.0291-0.0334)	-	2 (0.0291-0.0334)	-
Dinotefuran	9 (0.0107-0.0561)	5 (0.0136-0.0561)	2 (0.0173-0.0174)	2 (0.0107-0.0341)
Etofenprox	4 (0.0462-0.1659)	-	-	4 (0.0462-0.1659)
Fenhexamid	1 (0.0303)	-	-	1 (0.0303)
Fenpyroximate	1 (0.0132)	1 (0.0132)	-	-
Flonicamid	6 (0.0145-0.0253)	3 (0.0145-0.0222)	3 (0.0155-0.0253)	-
Flubendiamide	7 (0.0116-0.2724)	3 (0.0298-0.2724)	3 (0.0119-0.0172)	1 (0.0116)
Fludioxonil	6 (0.0217-0.0640)	1 (0.0334)	3 (0.0217-0.0640)	2 (0.0284-0.0470)
Flufenoxuron	2 (0.0142-0.0184)	1 (0.0184)	-	1 (0.0142)
Fluopyram	3 (0.0181-0.0186)	3 (0.0181-0.0186)	-	-
Flupyradifurone	2 (0.0428-0.0612)	-	-	2 (0.0428-0.0612)
Fluxametamide	16 (0.0113-1.3844)	6 (0.0113-0.0367)	10 (0.0146-1.3844)	-
Fluxapyroxad	2 (0.0139-0.0147)	1 (0.0147)	1 (0.0139)	-
Imazalil	1 (0.0728)	-	-	1 (0.0728)
Imidacloprid	5 (0.0135-0.0553)	2 (0.0135-0.0255)	1 (0.0186)	2 (0.0337-0.0553)
Indoxacarb	1 (0.1112)	1 (0.1112)	-	-
Lufenuron	2 (0.0105-0.0385)	-	2 (0.0105-0.0385)	-
Metaflumizone	2 (0.0553-0.4747)	1 (0.4747)	1 (0.0553)	-
Metalaxyl	1 (0.0257)	-	1 (0.0257)	-
Novaluron	2 (0.0428-0.0659)	-	-	2 (0.0428-0.0659)
Paclobutrazole	3 (0.0115-0.1445)	-	3 (0.0115-0.1445)	-
Penthiopyrad	2 (0.0213-0.5597)	-	2 (0.0213-0.5597)	-
Picarbutrazox	1 (0.0675)	-	1 (0.0675)	-

(continued)

Pesticides	Total (n=150)	Meal kit (n=96)	Salads (n=28)	Cut fruits (n=26)
Procymidone	2 (0.0188-0.0272)	2 (0.0188-0.0272)	-	-
Propamocarb	1 (0.0118)	-	1 (0.0118)	-
Pyraclostrobin	4 (0.0103-0.0294)	3 (0.0124-0.0294)	-	1 (0.0103)
Pyribencarb	1 (0.0226)	1 (0.0226)	-	-
Pyridalyl	8 (0.0153-0.1706)	4 (0.0153-0.0688)	4 (0.0249-0.1706)	-
Pyrifluquinazon	1 (0.0105)	-	1 (0.0105)	-
Pyrimethanil	1 (0.1631)	-	-	1 (0.1631)
Spinetoram	1 (0.0655)	-	1 (0.0655)	-
Spirotetramat	14 (0.0215-0.2793)	10 (0.0222-0.2793)	4 (0.0215-0.1339)	-
Sulfoxaflor	7 (0.0124-0.1839)	-	4 (0.0124-0.1839)	3 (0.0502-0.0506)
Tebuconazole	4 (0.0120-0.0409)	-	-	4 (0.0120-0.0409)
Tebufenpyrad	1 (0.0128)	1 (0.0128)	-	-
Terbufos	1 (0.0532)	1 (0.0532)	-	-
Thiabendazole	3 (0.0137-0.0891)	-	1 (0.0198)	2 (0.0137-0.0891)
Thiacloprid	2 (0.0114-0.0182)	1 (0.0182)	1 (0.0114)	-
Thiamethoxam	5 (0.0484-1.0014)	5 (0.0484-1.0014)	-	-
Trifloxystrobin	3 (0.0124-0.0216)	3 (0.0124-0.0216)	-	-
Total detected compounds	53	32	27	21
Total detections	181	81	59	41

¹⁾Range of detected pesticide residues.²⁾Not detected.**Table 8.** Detection results of heavy metals in convenience foods by product type

Product type	Concentration (mg/kg)		
	Pb	Cd	As
Meal kit	0.0093 (0.0003-0.0552) ¹⁾	0.0058 (0.0010-0.0269)	0.0119 (0.0050-0.1885)
Salads	0.0126 (0.0006-0.0490)	0.0052 (0.0008-0.0147)	0.0027 (0.0005-0.0109)
Cut fruits	0.0135 (0.0002-0.0613)	0.0010 (0.0002-0.0045)	0.0027 (0.0003-0.0104)
Total	0.0110 (0.0002-0.0613)	0.0049 (0.0002-0.0269)	0.0086 (0.0003-0.1885)

¹⁾Range of detected heavy metals.

을 보였다. 간편과일 내 절대적인 검출 건수는 전반적인 오염도가 높은 비소나 카드뮴이 여전히 우세하였으나, 타 품목 대비 납의 검출 비중이 이처럼 뚜렷하게 증가한 것은 대기 중의 먼지나 오염물질이 강하하여 작물 표면에 침적되는 납의 환경적 이행 특성이 반영된 결과이다(Kim 등, 2015b). 생육 기간이 길고 대기 노출이 많은 과수 작물의 특성상, 간편과일에서 표면 부착에 의한 납의 오염 기여도가 상대적으로 높게 나타난 것으로

분석된다(Chang 등, 2018).

본 연구에서 중금속 검출률은 96%로 높았으나, ‘식품의 기준 및 규격’ 상의 허용 기준 이하로 나타났다. 다만, 복합 원료로 구성된 간편식의 특성상 농산물의 기준을 일괄 적용하여 안전성을 최종 판정하기에는 한계가 있으므로, 인체에 미치는 실질적인 영향을 확인하기 위해 섭취량 기반의 위해성 평가를 ‘3.6 중금속 위해성 평가’에 제시하였다.

3.5. 잔류농약 위해성 평가

본 연구에서 유통 간편식 시료로부터 검출된 53종의 잔류농약이 실제 소비자 건강에 미치는 위해 정도를 파악하기 위하여 위해성 평가를 수행하였다. EDI는 각 농약의 평균 검출 농도에 1일 식품 섭취량을 곱한 후 평균 체중으로 나누어 산출하였으며, 이를 물질 고유의 ADI와 비교하여 위해지수를 구하였다 (Table 9).

위해지수 산출을 위한 1일 식품 섭취량 산정 시, 현재 국내 1인 가구의 간편식 품목별 세부 섭취량 자료가 제한적인 점을 고려하여 본 연구에서는 더욱 보수적인 안전성 평가를 수행하고자 하였다. 이에 과일류와 채소류의 섭취량을 비교한 결과, 상대적으로 높은 수치를 나타내는 대한민국 1일 채소류 평균 섭취량인 232.5 g (0.2325 kg)을 노출량 산출의 기본값으로 적용하였다(KDCA, 2024). 또한, 평균 체중은 국민건강보험공단의 2023년 건강검진 통계를 근거로 한국 성인 남녀의 평균 체중인 66.57 kg(남자 74.47 kg, 여자 58.66 kg)을 일괄 적용하여 인체 노출량을 평가하였다(NHIS, 2024).

일반적으로 식품 섭취를 통한 잔류농약의 위해성 평가는 산출된 위해지수 값이 100% 이하일 경우 인체에 안전한 수준으로 간주하며, 100%를 초과할 때 위해 발생 우려가 있는 것으로 판정한다(Chun과 Kang, 2003). 평가 결과, 간편식에서 검출된 잔류농약의 위해지수는 0.0142-30.9674%의 범위를 나타냈다. 성분별로 살펴보면 살충제인 Terbufos가 30.9674%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 Chlorfenapyr 11.0908%, Fluxametamide 6.0154%, Diniconazole 4.7481% 순으로 나타났다. 특히 가장 높은 위해도를 보인 Terbufos의 경우, 타 농약 성분에 비해 설정된 ADI 값(0.0006 mg/kg b.w.; body weight/day)이 상대적으로 매우 낮아 검출 농도 대비 위해지수의 비율이 다소 높게 산출된 것으로 분석된다. Terbufos는 물질 고유의 독성이 강해 허용 기준이 매우 엄격하게 관리되는 성분으로, 미량의 잔류량 만으로도 위해도가 높게 나타나는 경향을 보인다(Kwak 등, 2024). 그러나 본 연구에서 산출된 최고 수치인 약 30.9% 역시 인체에 유해한 영향을 미치는 임계 기준인 100%에는 크게 미치지 못하는 수준이다. 따라서 해당 농약 성분이 지닌 내재적 위험성에도 불구하고, 현재 유통되는 간편식 섭취를 통한 실제 노출량은 인체 건강에 우려를 낳지 않는 안전한 범위 내에 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서 검출된 53종 농약의 위해지수는 모두 기준치인 100% 미만으로 나타났으며, 결과적으로 현재 유통 중인 샐러드, 밀키트, 간편과일 등의 간편식 섭취에 따른 잔류농약 노출 수준은 매우 낮으며, 소비자의 건강에 미치는 실질적인 위해 우려는 없는 것으로 판단된다.

3.6. 중금속 위해성 평가

유통 간편식에서 검출된 유해 중금속이 인체에 미치는 위해

정도를 파악하기 위하여 위해성 평가를 수행하였다. 중금속의 EDI 산출을 위한 1일 식품 섭취량 및 평균 체중은 앞선 잔류농약 위해성 평가에 사용된 통계 수치 및 근거 자료를 동일하게 적용하였다. 도출된 일일추정섭취량을 바탕으로 주간 및 월간 섭취량을 구하고, 이를 FAO/WHO 합동식품첨가물전문가위원회(JECFA)에서 중금속 안전성 평가를 위해 설정한 섭취허용량과 비교하여 위해지수를 산출하였다(Table 10).

평가 결과, 간편식 섭취를 통한 납과 비소의 주간 섭취량(weekly intake)은 각각 0.2689 µg/kg b.w./week, 0.2103 µg/kg b.w./week로 산출되었다. 이를 종전에 설정되었던 PTWI인 납 25 µg/kg b.w./week, 비소 15 µg/kg b.w./week에 각각 대입한 결과, 위해지수는 비소 1.4017%, 납 1.0757%로 나타났다. 또한 체내 축적성이 높은 카드뮴의 경우, JECFA의 최신 권고에 따라 PTMI인 25 µg/kg b.w./month를 적용하여 평가하였다. 카드뮴의 월간 노출량은 0.5134 µg/kg b.w./month로 산출되었으며, PTMI 대비 위해지수는 2.0536%로 확인되었다.

한편, JECFA는 납과 무기비소에 대하여 인체 노출의 안전 역치를 설정할 수 없거나 기존 기준이 건강을 보호하기에 불충분하다는 사유로 기존에 설정되었던 PTWI를 지난 2010년에 공식 철회한 바 있다(WHO, 2011a; WHO, 2011b). 본 연구에서는 기존에 수행된 국내 농식품 위해성 평가 문헌들과의 직관적인 위해도 상대 비교를 도모하고, 더욱 보수적인 안전성 판정 기준을 적용하기 위하여 JECFA의 종전 PTWI 기준을 준용하여 위해지수를 산출하였다.

일반적으로 식품 내 유해 물질의 위해성 평가는 산출된 위해지수가 100% 이하일 경우 평생 섭취해도 건강상 유해한 영향이 나타나지 않는 안전한 수준으로 판정한다. 본 연구에서 분석된 150건의 간편식 시료에서 검출된 중금속 위해지수는 최고 2.0536%(카드뮴)로, 기준치인 100%를 크게 하회하는 수준으로 확인되었다. 결과적으로 현재 유통 중인 밀키트, 샐러드, 간편과일 등의 간편식에 잔류하는 중금속은 소비자의 건강에 실질적인 위해를 미칠 우려가 없는 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다.

4. 요약

본 연구는 1인 가구 선호 다소비 간편식의 잔류농약 및 중금속 안전성 평가를 위해 전남 지역에서 유통되는 간편식 150건을 수거하여 잔류농약 412종과 중금속 납, 카드뮴, 비소를 분석하였다. 잔류농약 분석 결과, 전체 시료 중 68건(45.3%)에서 잔류농약이 검출되었으며 검출된 농약 종류는 총 53종이었다. 간편식 종류별로 비교하면 샐러드가 28건 중 19건(67.9%)으로 가장 높은 검출률을 나타냈고 밀키트는 96건 중 39건(40.6%), 간편과일은 26건 중 10건(38.5%)이 검출되었다. 간편식에 대한 중금속 분석 결과는 카드뮴과 비소가 각각 144건(96.0%),

Table 9. Exposure assessment of detected pesticide residues in convenience foods

Pesticides	Mean concentration (mg/kg)	EDI ¹⁾ (mg/kg b.w. ²⁾ /day)	ADI ³⁾ (mg/kg b.w./day)	Hazard index ⁴⁾ (%ADI)
Acetamiprid	0.0227	7.928E-05	0.0710	0.1117
Azoxystrobin	0.0232	8.103E-05	0.2000	0.0405
Benzyladenine	0.0200	6.971E-05	0.0100	0.6971
Boscalid	0.0187	6.531E-05	0.0400	0.1633
Carbendazim	0.1963	6.856E-04	0.0300	2.2853
Chlorantraniliprole	0.0124	4.344E-05	0.2600	0.0167
Chlorfenapyr	0.1334	4.658E-04	0.0042	11.0908
Cyantraniliprole	0.0284	9.930E-05	0.5700	0.0174
Cyazofamid	0.0215	7.509E-05	0.1700	0.0442
Cyenoxyrafen	0.0490	1.711E-04	0.0510	0.3356
Cyprodinil	0.0680	2.375E-04	0.0300	0.7918
Diflubenzuron	0.0273	9.548E-05	0.0200	0.4774
Dimethomorph	0.2726	9.521E-04	0.2000	0.4760
Diniconazole	0.0313	1.092E-04	0.0023	4.7481
Dinotefuran	0.0240	8.382E-05	0.0200	0.4191
Etofenprox	0.0807	2.818E-04	0.0300	0.9395
Fenhexamid	0.0303	1.057E-04	0.2000	0.0528
Fenpyroximate	0.0132	4.609E-05	0.0100	0.4609
Flonicamid	0.0190	6.636E-05	0.0250	0.2654
Flubendiamide	0.0587	2.050E-04	0.0170	1.2060
Fludioxonil	0.0415	1.449E-04	0.4000	0.0362
Flufenoxuron	0.0163	5.691E-05	0.0120	0.4743
Fluopyram	0.0183	6.391E-05	0.0100	0.6391
Flupyradifurone	0.0520	1.817E-04	0.1200	0.1514
Fluxametamide	0.1464	5.113E-04	0.0085	6.0154
Fluxapyroxad	0.0143	4.985E-05	0.0210	0.2374
Imazalil	0.0728	2.541E-04	0.0300	0.8471
Imidacloprid	0.0293	1.023E-04	0.0600	0.1706
Indoxacarb	0.1112	3.884E-04	0.0100	3.8845
Lufenuron	0.0245	8.555E-05	0.0100	0.8555
Metaflumizone	0.2650	9.255E-04	0.1200	0.7712
Metalaxyl	0.0257	8.990E-05	0.0800	0.1124
Novaluron	0.0544	1.900E-04	0.0100	1.8996
Paclobutrazole	0.0644	2.249E-04	0.0220	1.0224
Penthiopyrad	0.2905	1.015E-03	0.0810	1.2528
Picarbutrazox	0.0675	2.357E-04	0.1200	0.1964

(continued)

Pesticides	Mean concentration (mg/kg)	EDI ¹⁾ (mg/kg b.w. ²⁾ /day)	ADI ³⁾ (mg/kg b.w./day)	Hazard index ⁴⁾ (%ADI)
Procymidone	0.0230	8.035E-05	0.0350	0.2296
Propamocarb	0.0118	4.124E-05	0.2900	0.0142
Pyraclostrobin	0.0176	6.147E-05	0.0300	0.2049
Pyribencarb	0.0226	7.901E-05	0.0400	0.1975
Pyridalyl	0.0622	2.172E-04	0.0280	0.7758
Pyrifluquinazon	0.0105	3.660E-05	0.0130	0.2815
Pyrimethanil	0.1631	5.697E-04	0.0200	2.8486
Spinetoram	0.0655	2.287E-04	0.0250	0.9147
Spirotetramat	0.0842	2.941E-04	0.0500	0.5881
Sulfoxaflor	0.0674	2.354E-04	0.0500	0.4708
Tebuconazol	0.0239	8.347E-05	0.0300	0.2782
Tebufenpyrad	0.0128	4.488E-05	0.0021	2.1370
Terbufos	0.0532	1.858E-04	0.0006	30.9674
Thiabendazole	0.0409	1.428E-04	0.1000	0.1428
Thiacloprid	0.0148	5.156E-05	0.0100	0.5156
Thiamethoxam	0.2917	1.019E-03	0.0800	1.2735
Trifloxystrobin	0.0156	5.448E-05	0.0400	0.1362

¹⁾Estimated daily intake = residual mean concentration (mg/kg) × daily food intake (kg/day) / 66.57 kg (mean body weight of Korean adults referenced from NHIS, 2024).

²⁾body weight.

³⁾Acceptable daily intake.

⁴⁾%ADI = (EDI / ADI) × 100.

Table 10. Exposure assessment of detected heavy metals in convenience foods

Heavy metals	Concentration (mg/kg)	EDI ¹⁾ (μg/kg b.w./day)	Weekly intake ²⁾ (μg/kg b.w./week)	PTWI ³⁾ (μg/kg b.w./week)	%PTWI ⁴⁾	Monthly intake ⁵⁾ (μg/kg b.w./month)	PTMI ⁶⁾ (μg/kg b.w./month)	%PTMI ⁷⁾
Pb	0.011	0.0384	0.2689	25	1.0757	-	-	-
As	0.0086	0.0300	0.2103	15	1.4017	-	-	-
Cd	0.0049	0.0171	-	-	-	0.5134	25	2.0536

¹⁾Estimated daily intake = residual mean concentration (mg/kg) × 1000 × daily food intake (kg/day) / 66.57 kg (Mean body weight of Korean adults referenced from NHIS, 2024).

²⁾Weekly intake = (EDI × 7).

³⁾Provisional tolerable weekly intake.

⁴⁾%PTWI = (weekly intake / PTWI) × 100.

⁵⁾Monthly intake = (EDI × 30).

⁶⁾Provisional tolerable monthly intake.

⁷⁾%PTMI = (monthly intake / PTMI) × 100.

납은 80건(53.3%)의 검출률을 나타내었다. 카드뮴과 비소는 각각 셀러드(100.0%)와 밀키트(96.8%)에서 높은 검출률을 보였으며, 납은 간편과일에서 76.9%로 가장 많이 검출되었다. 각

품목에서 검출된 잔류농약 및 중금속 항목에 대한 인체노출량 평가 결과, 잔류농약의 위해지수는 0.0142-30.9674% 범위를 나타냈으며 중금속은 카드뮴 2.0536%, 비소 1.4017%, 납 1.0757%로

산출되어 모두 100% 미만의 안전한 수준인 것으로 확인되었다.

Funding

None.

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Mun H, Park S, An YJ. Methodology: Jung SJ, Mun H. Formal analysis: Jo AH, Jung SJ, Lee S, Kim AH, Seo HM. Writing - original draft: Jo AH, Jung SJ. Writing - review & editing: Jo AH, Mun H.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Ah Hyeon Jo (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-7189-7837>

Su Ji Jung

<https://orcid.org/0009-0002-8455-407X>

Seul Lee

<https://orcid.org/0009-0008-3051-3655>

Ah Hyun Kim

<https://orcid.org/0009-0009-5455-3747>

Hyo Min Seo

<https://orcid.org/0009-0005-1854-0499>

Hee Mun

<https://orcid.org/0009-0000-5915-773X>

Sook Park

<https://orcid.org/0000-0002-9856-9638>

Yang Joon An

<https://orcid.org/0009-0008-3501-8506>

References

- Bajwa U, Sandhu KS. Effect of handling and processing on pesticide residues in food: A review. *J Food Sci Technol*, 51, 201-220 (2014)
- CAC. Guidelines on Good Laboratory Practice in Pesticide

- Residue Analysis. CAC/GL 40-1993, Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy (2003)
- CAC. Guidelines on good laboratory practice in pesticide residue analysis CXG 40-1993. Available from: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/guidelines/en/> (2010) Accessed Mar. 10, 2025.
- Chang EJ, Park SH, Lee KJ, Choe JS, Kim MH. Monitoring and risk assessment of lead and cadmium in various agricultural products collected from the Korean market. *J Food Hyg Saf*, 33, 240-247 (2018)
- Chun OK, Kang HG. Estimation of risks of pesticide exposure by food intake to Koreans. *Food Chem Toxicol*, 41, 1063-1076 (2003)
- Chung SO, Kim HJ, Bae SD, Jang SA, Park CG. Efficacy of acaricides and insecticides to *Tetranychus kanzawai* and *Aphis egomae*. *J Agric Life Sci*, 48, 1-8 (2014)
- Do JA, Lee HJ, Shin YW, Choe WJ, Chae KR, Soon KC, Kim WS. Monitoring of pesticide residues in domestic agricultural products. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 39(6), 902-908 (2010).
- KDCA. Korea Health Statistics 2023: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea (2024)
- Kim CI, Lee J, Kwon S, Yoon HJ. Total diet study: For a closer-to-real estimate of dietary exposure to chemical substances. *Toxicol Res*, 31, 227-240 (2015a)
- Kim EJ, Jeong JH, Park SH, Gwon WG, Jeong JY, Hwang JY, Yu JW, Kim SH, Park SA. A survey on pesticide residues in peel and pulp of fruits collected from markets in Busan. *Korean J Pestic Sci*, 27, 163-178 (2023)
- Kim HS, Kim KR, Lim GH, Kim JW, Kim KH. Influence of airborne dust on the metal concentrations in crop plants cultivated in a rooftop garden in Seoul. *Soil Sci Plant Nutr*, 61, 88-97 (2015b)
- Kim JH, Lee D, Lee M, Ryu K, Kim T, Gang G, Seo K, Kim JB. Monitoring and risk assessment of pesticide residues in school foodservice agricultural products in Gwangju metropolitan area. *J Food Hyg Saf*, 34, 283-289 (2019)
- Kim MS, Min HG, Lee SH, Kim JG. Effects of amendments on heavy metal uptake by leafy, root, fruit vegetables in alkali upland soil. *Ecol Resil Infrastruct*, 7, 63-71 (2020)
- KOSTAT. Statistics on single-person households by province (2015-2024). Available from: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1JC1502 (2024) Accessed Nov. 24, 2025.
- Kwak BR, Jo SA, Lee KA, Kim SJ, Kim YH, Yi HJ, Kim SY, Kim AK, Yun ES. 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)
- Lee SY, Yoon CM, Do YS, Lee DH, Lee JS, Choi KH. Evaluation of insecticidal activity of pesticides against hemipteran pests on apple orchard. *Korean J Pestic Sci*, 19, 264-271 (2015)
- Lim GH, Jo HJ, Park GH, Yun SM, Kim JI, Noh HJ, Kim HK, Yoon JK. Evaluation of heavy metal sources and its transfer and accumulation to crop in agricultural soils. *J Soil Groundw Environ*, 23, 27-42 (2018)
- MAFRA and KREI. Report on the current status of the home meal replacement (HMR) market by year. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs and Korea Rural Economic Institute, Sejong and Naju, Korea (2023)
- MFDS. 2023 Food safety statistical yearbook. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea (2023)
- MFDS. Analytical practices manual for pesticide residues in foods. 5th ed, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea, p 78-79 (2017)
- MFDS. Food code. Available from: <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC> (2024b) Accessed Jan. 2, 2025.
- MFDS. Validation and verification guidelines for test methods for quality control of testing inspection agencies in the food and drug field. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea (2021)
- NHIS. 2023 National Health Screening Statistical Yearbook. National Health Insurance Service, Wonju, Korea (2024)
- NIFDS. Monitoring and Risk Assessment of Heavy Metals (Lead, Cadmium, Arsenic, and Mercury) in Distributed Foods. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongju, Korea (2021)
- Park HC, Cho SR, Jeon JC, Kang WJ, Kim HK, Koo HN, Park BY, Kim GH. Insecticide management programs for diamide-resistant beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Korean J Pestic Sci*, 25, 128-137 (2021)
- Park JE, Kiim KJ, Shin JH, Gong DH, Mun JH, Kim HJ, Jeong SY, Seo WD, Choi YS, Sim ML. Monitoring and risk assessment of pesticide residues on processed fruits and vegetables. *J Food Hyg Saf*, 40, 114-130 (2025).
- RDA. Pesticide safety information system. Available from: <https://psis.rda.go.kr> (2025) Accessed Nov. 24, 2025.
- Taylor V, Goodale B, Raab A, Schwerdtle T, Reimer K, Conklin S, Karagas MR, Francesconi KA. Human exposure to organic arsenic species from seafood. *Sci Total Environ*, 580, 266-282 (2017)
- WHO. Evaluation of certain contaminants in food: Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series, 959, World Health Organization, Geneva, Switzerland, p 1-105 (2011a)
- WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants (33rd report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series 776. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1989)
- WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants (41st report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series 837. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1993)
- WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series, 960, 1-226 (2011b)
- WHO. Pesticide residues in food. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food> (2022) Accessed Nov. 24, 2025.
- Yu JY, Yang HC, Seo UH, Jeon JY, Oh GY, An GW. A comparison of the matrix effect on an analysis of multi-pesticides' residue in agricultural products. The Report of Jeollanam-do Institute of Health and Environment Research (2023)