



ORIGINAL ARTICLES

농산물 형태적 특성에 따른 잔류농약 비교 및 모니터링

이예은 · 조윤식 · 서미영 · 장미경 · 이윤미 · 채경석 · 김지원 · 김양희* · 도영숙

경기도보건환경연구원 남부농산물검사소

Comparative Analysis of Pesticide Residue Status of Mini-Agricultural and Conventional Commodities – Developing Commodity-Specific Pesticide Management Strategies

Yea-Eun Lee, Yun-Sik Cho, Mi-Young Seo, Mi-Kyung Jang, Yun-Mi Lee, Kyung-Suk Chae, Ji-Won Kim, Yang-Hee Kim*, and Young-Sook Do

Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Suwon 16561, Korea

(Received on January 13, 2026. Revised on February 5, 2026. Accepted on February 13, 2026)

Abstract Our study evaluated and compared the pesticide residue status of mini agricultural commodities (n = 172) and conventional commodities (n = 808) distributed in Gyeonggi-do, Korea. A multi-residue analysis of 475 pesticides was conducted using the QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe) sample preparation method coupled with GC-MS/MS (Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry) and LC-MS/MS (Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry). We analyzed the differences in detection frequencies between the two groups using the Chi-square test and the Fisher's exact test. The overall pesticide detection rate of 47.1% in mini agricultural commodities did not significantly differ (p = 0.1827) from that of 41.2% in conventional commodities. In the commodity-specific analyses, we detected significantly high frequencies of pesticides in mini cabbage (40.0% vs. 1.6%, p = 0.0001) and mini carrots (66.7% vs. 23.2%, p = 0.0146). At the individual pesticide level, we detected significantly high frequencies of linuron, pendimethalin in mini carrots and iprodione in mini cabbages (Brussels sprouts). We also observed two maximum residue limit (MRL) exceedances exclusively in mini sweet pumpkins and mini carrots. Our findings suggest that the morphological characteristics of mini commodities might influence the pesticide residue patterns, which emphasize the need to monitor commodities to develop targeted pesticide management strategies.

Keywords: GC-MS/MS, LC-MS/MS, Maximum residue limit (MRL), Mini agricultural commodity

서 론

최근 1인 가구 증가, 핵가족화, 식생활의 간편화 및 소포장 소비 트렌드 확산에 따라 농산물 소비 양상은 빠르게 변화하고 있다. 통계청 자료에 따르면 국내 1인 가구 비율은 지속적으로 증가하고 있다(KOSTAT, 2025). 이러한 소비 환경 변화와 함께 소량 구매가 가능하고 조리과 보관 부담이 상대적으로 낮은 소형(소포장) 농산물에 대한 수요가 확대

되는 현상이 유통 현장에서 보고되고 있으며(Kim and Lee, 2024; KREI, 2021; Wang et al., 2021; KREI, 2023), 일반 농산물에 비해 크기와 중량이 작은 이른바 '미니 농산물(mini agricultural commodity)'이 새로운 유통과 소비 품목 군으로 부상하고 있다(Kim and Lee, 2024; Wang et al., 2021). 특히 과채류 및 일부 채소류에서는 사과(미니) 품종에 대한 선호가 확대되고 수박 등에서도 중·소과형 중심의 수요 변화가 보고되는 등 시장 구조가 변화하고 있다(KREI, 2023).

미니 농산물은 단순히 일반 농산물의 축소형이 아니라 재배 품종, 생육 기간, 수확 시기, 재배 밀도 및 유통 목적에 따라 일반 농산물과 구별되는 특성을 갖는다(Kim and Lee, 2024;

*Corresponding author
E-mail: kyhphs@gg.go.kr

Wang et al., 2021). 예를 들어 방울다다기양배추(*Brussels sprouts*)는 일반 양배추와 달리 줄기를 따라 다수의 소형 결구가 형성되는 구조적 특성을 가지며, 로메인 상추 역시 엽층이 겹쳐지는 형태(반결구 또는 결구 특성)로 인해 일반 엽채류와 구분하여 분류하고 관리할 필요성이 제기되고 있다. Codex는 농약 잔류 기준 논의 과정에서 방울다다기양배추(*Brussels sprouts*)를 일반 양배추와 구분된 품목으로 다루고 있으며(Codex Alimentarius Commission, 2017), 이는 작물의 형태학적 차이가 잔류농약 기준 설정 및 위해평가의 중요한 고려 요소가 될 수 있음을 시사한다.

농산물 중 농약 잔류량은 농약의 물리적 및 화학적 특성(Fenik et al., 2011)뿐만 아니라 작물의 형태 및 비표면적, 생육 단계(Maclachlan and Hamilton, 2010), 그리고 재배 환경(노지 또는 시설)과 병해충 방제 전략(Hwang et al., 2012) 등에 의해 복합적으로 결정된다. 특히 표면적 대비 중량 비율이 잔류 수준에 영향을 줄 수 있다는 점은 토마토 품종 비교 연구에서 제시된 바 있으며(Lee et al., 2004), 파프리카에서도 품종 및 형태(미니/일반)에 따라 잔류 특성이 달라질 수 있음이 보고되었다(Shin et al., 2022). 또한 방울다다기 양배추를 대상으로 LC-MS/MS 기반 분석을 통해 농약의 잔류 변화와 식이 노출 위험을 평가한 연구는 특수한 작물 형태가 잔류 특성에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다(Dai An et al., 2022). 따라서 미니 형태 품목군에서는 단순한 “크기” 차이 보다는 형태학적 구조, 재배와 방제 조건에 따른 농약 잔류 특성의 차이를 함께 고려한 근거가 필요하다(Lee et al., 2004;

Shin et al., 2022; Dai An et al., 2022; Fenik et al., 2011).

국내에서는 2019년 농약 허용물질목록관리제도(Positive List System, PLS)가 전면 시행되면서 농산물 안전관리가 강화되었다(MFDS, 2019). 그러나 PLS 체계에서는 해당 농산물에 잔류허용기준(Maximum Residue Limit, MRL)이 설정되지 않은 농약에 대해 일률적으로 0.01 mg/kg 기준을 적용하므로 미니 품목군에서 잔류허용기준이 미설정된 경우 유통 단계에서 기준 초과가 발생할 가능성이 상대적으로 높아질 수 있다. 실제로 PLS 시행 전후 유통 농산물의 잔류농약 실태를 비교한 국내 연구에서는 PLS 도입에 따른 기준 초과 빈도의 변화가 분석되었으며(Song et al., 2021), 서울 북부지역 유통 농산물 조사에서도 유통 단계의 잔류 현황 및 위해성 평가 결과가 제시된 바 있다(Kwak et al., 2024). 다만 기존 연구들은 대체로 품목 단위 조사에 초점을 두고 있어(Song et al., 2021; Kwak et al., 2024), 동일 품목 내에서 미니와 일반 형태 간 차이를 실증적으로 비교한 연구는 제한적이다.

최근 식품의약품안전처가 방울다다기양배추의 잔류허용 기준을 신설한 것은 그동안 기준 적용이 모호했던 미니 형태 품목군에서 기준 미설정 영역을 축소하고 국제 기준(Codex)과의 조화를 강화한 사례로서 중요한 의미를 갖는다(Codex Alimentarius Commission, 2017; MFDS, 2025a; 2025b). 이에 이 연구는 유통 중인 미니 농산물과 일반 농산물의 잔류농약 실태를 비교하고 분석하여 미니 형태 품목군의 잔류 특성을 구명하고자 한다. 특히 작물의 형태적 특성과 잔류허용기준 설정 여부가 잔류농약 검출에 미치는 영향을 종합적으로

Table 1. Classification of agricultural commodities by commodity type and origin

Major category	Sub category	Agricultural commodity	Mini agricultural commodity	Conventional agricultural commodity
Fruits	Pome fruits	Apple	7	106
	Tropical fruits	Banana	6 (6)	28 (28)
Vegetables	Brassica vegetables	Broccoli	4 (1)	29 (1)
		Cabbage	15 (5)	61
	Leafy vegetables	Lettuce	9	171
	Stem vegetables	Asparagus	7 (6)	2 (1)
	Root vegetables	Carrot	9	56
		Onion	9 (9)	81
	Cucurbit vegetables	Watermelon	9	33
		Cucumber	13	83
		Sweet pumpkin	16 (4)	12 (4)
	Fruit vegetables (non-cucurbit)	Tomato	35	72
Paprika		21	33	
Mushrooms	King oyster mushroom	12	41	
Total			172 (31)	808 (30)

*Numbers in parentheses indicate imported samples.

고찰함으로써 향후 품목별 맞춤형 안전관리 전략 수립을 위한 과학적 근거를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

분석 시료

이 연구에서는 2025년 1월부터 9월까지 경기도 내 대형 마트, 백화점, 로컬푸드 직매장 및 온라인 유통 판매점 등에서 유통 중인 농산물 총 980건을 수집하여 분석 시료로 사용하였다. 미니 농산물은 방울토마토(35건), 파프리카(21건), 단호박(16건), 양배추(15건) 등을 포함한 총 14품목 172건을 대상으로 하였으며, 일반 농산물은 비교 분석을 위해 미니 농산물과 동일한 품목으로 같은 기간 및 동일한 경로를 통해 808건을 수거하였다. 이 연구에 사용된 시료는 국내산과 수입산 농산물을 모두 포함하고 있으며, 품목별 시료 구성과 국내산과 수입산 분포는 Table 1에 제시하였다. 다만 이 연구는 유통 단계의 잔류농약 모니터링 자료를 기반으로 하므로, 개별 시료의 재배 국가 및 세부 재배 조건에 따른 차이는 별도로 분석하지 않았다.

시약 및 기구

잔류농약 분석에 사용된 표준용액은 LC-MS/MS Mixture (AccuStandard, New Haven, CT, USA) 225종과 GC-MS/MS Mixture(AccuStandard, New Haven, CT, USA) 250종이었다. 잔류농약 추출, 정제 및 이동상에 사용된 acetonitrile, methanol 및 water는 모두 LC Grade이었으며, Thermo Fisher Scientific (Waltham, MA, USA)사의 제품을 구매하여 사용하였다. Ammonium acetate solution은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였으며, formic acid는 Thermo Fisher Scientific (Waltham, MA, USA)사의 제품을 사용하였다. 또한 QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) Extraction packet과 d-SPE는 BEKOLut® (Bruchmühlbach-Miesau, Germany)사의 제품을 구매하여 사용하였다. 또한 시료의 여과에 사용한 syringe filter는 Whatman사(Maidstone, UK)의 0.2 µm 규격 제품(PTFE)을 사용하였다.

잔류농약 분석방법

잔류농약 분석은 식품공전 7.1.2.2 다성분 시험법 제2법에 따라 수행하였으며, 분석 대상 성분은 해당 시험법 수록 항목 중 다빈도 검출 농약을 중심으로 총 475종을 선별하였다(MFDS, 2025c). 검체를 분쇄하여 균질화한 후 10 g을 정밀히 측정하여 10 mL의 acetonitrile을 넣은 뒤 1분간 강하게 흔들어서 쉬고 QuEChERS Extraction Kit (4 g MgSO₄, 1 g NaCl, 1 g Na₃Citrate, 0.5 g Na₂HCitrate)를 첨가하여 1분간 강하게 흔들어서 섞은 다음 4°C, 10분간 4,000 × g으로 원심분리하였다.

QuEChERS Purification Kit (25 mg PSA, 150 mg MgSO₄)가 담겨져 있는 2 mL polypropylene centrifuge tube에 원심분리 후 상징액(acetonitrile층) 1 mL를 넣고 30초간 강하게 혼합(vortexing)하였다. 원심분리로 층을 분리한 후 상징액을 0.2 µm syringe filter로 여과하여 GC-MS/MS (Gas Chromatography tandem mass spectrometry) 및 LC-MS/MS (Liquid Chromatography tandem mass spectrometry)의 시험 용액으로 사용하였다.

Novaluron, dimethomorph, iprodione 성분이 검출된 경우, 식품공전 제8. 일반시험법 7.1.2.22 개별시험법에 따라 정량 시험을 실시하였으며, spirotetramat 성분이 검출된 경우에는 식품공전 7.1.2.5 개별시험법을 적용하였다. 또한 chlorothalonil 성분이 검출된 경우 7.1.3.103 단성분시험법에 따라 정량 시험을 실시하였다(MFDS, 2025c).

기기분석

잔류농약 분석은 GC-MS/MS (TRACE 1310-TSQ 9000, Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA) 및 LC-MS/MS (Nanospace NASCA-QTRAP 4500, AB Sciex, Framingham, MA, USA) 장비를 사용하여 식품의 기준 및 규격(7.1.2.2)에 명시된 다성분 시험법-제2법을 기반으로 GC-MS/MS와 LC-MS/MS를 활용하여 수행되었다. 잔류농약 분석 항목은 GC-MS/MS 250종, LC-MS/MS 225종으로 총 475종을 분석하였다(Table 2). 분석기기의 조건은 Table 3 및 Table 4와 같이 설정하였다.

통계분석

이 연구에서는 2025년 1월부터 9월까지 수집된 미니 농산물(172건)과 일반 농산물(808건)의 잔류농약 검출 결과를 비교 분석하였다. 모든 통계 데이터의 정리 및 분석은 R 4.2.3 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), RStudio (Posit Software, PBC, Boston, MA, USA) 및 Python 3.14 (Python Software Foundation, Delaware, USA) 환경에서 수행되었다. 데이터 입출력에는 R의 readxl 패키지를 사용하였으며, tidyverse와 reshape2 패키지를 활용하여 데이터 전처리 및 구조 재편성을 실시하였다. 두 집단 간 잔류농약 검출 빈도의 유의미한 차이를 규명하기 위해 카이제곱검정(Chi-square test)을 실시하였으며, 기대 빈도가 5 미만인 셀이 25% 이상인 경우에는 피셔의 정확검정(Fisher's exact test)을 병행하여 분석의 정확성을 확보하였다. 모든 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

잔류농약 모니터링 결과

이 연구에서 경기도 내 유통 중인 미니 농산물과 일반 농

Table 2. Classification of the 475 pesticides analyzed in this study

Classification	GC-MS/MS (250)	LC-MS/MS (225)
Insecticide (118)	(51) Aldrin & Dieldrin, Aspon, BHC(α , β , δ), Bromophos-methyl, Cadusafos, Chlordane, Chlorethoxyfos, Chlorpyrifos, Chlorthion, Cyanophos, Deltamethrin, Dichlofenthion, Dimethylvinphos, Dioxathion, Endrin, Ethoprophos, Fenchlorphos, Fenitrothion, Fenobucarb, Fenson, Fenthion: MPP, Fipronil, Flucythrinate, Fluensulfone, Fonofos, Formothion, Heptachlor, Heptenophos, Indoxacarb, Isofenphos, Isofenphos-methyl, Isoprocarb, Leptophos, Methoxychlor, MGK-264, Nonachlor(cis-, trans-), Parathion-methyl, Permethrin, Perthane, Piperonyl butoxide, Pirimicarb, Pirimiphos-ethyl, Propetamphos, Prothiofos, Pyraclofos, Pyridalyl, Silafluofen, Spiromesifen, Tebupirimfos, Tefluthrin, Thionazin	(67) Acephate, Acetamiprid, Allethrin, Azinphos-methyl, Bendiocarb, Bistrifluron, Chlorantraniliprole, Chlorfluzuron, Chlorobenzuron, Chromafenozide, Clothianidin, Crotoxyphos, Crufomate, Cyantraniliprole, Cyclaniliprole, Cycloprothrin, Cyflumetofen, Demeton-S-methyl, Demeton-S-methyl-sulfone, Diflubenzuron, Dinotefuran, Emamectin benzoate, Ethiofencarb, Etofenprox, Etrimfos, Fenamiphos, Fenoxycarb, Fonicamid, Flubendiamide, Flupyra-difurone, Fluxametamide, Fosthiazate, Hexaflumuron, Imicyafos, Imidacloprid, Isoxathion, Malaixon, Mephosfolan, Metaflumizone, Methoxyfenozide, Metolcarb, Nitenpyram, Novaluron, Oxydemeton-methyl, Phenothrin, Phosfolan, Phoxim, Promecarb, Propoxur, Pyflubumide, Pyridaphenthion, Pyrifluquinazon, Spinetoram, Spinosad, Spirotetramat, Sulfoxaflor, Sulprofos, Tebufenozide, Teflubenzuron, Terbufos, Traniliprole, Thiacloprid, Thiamethoxam, Triazamate, Triflumuron, Trimethacarb, XMC
Fungicide (122)	(69) Azaconazole, Benodanil, Boscalid, Bupirimate, Carboxin, Chloroneb, Chlorothalonil, Chlozolinat, Cyflufenamid, Cyprodinil, Diclobutrazol, Dicloran, Diethofencarb, Difenoconazole, Dimethomorph, Diniconazole, Diphenylamine, Epoxiconazole, Etaconazole, Etridiazole, Fenamidone, Fenarimol, Fenbuconazole, Fenfuram, Fenoxanil, Fenpropimorph, Fenpyrazamine, Fluopyram, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutianil, Fluxapyroxad, Iaconazole, Iprobenfos, Iprodione, Isopyrazam, Isotianil, Kresoxim-methyl, Mepanipyrim, Mepronil, Metalaxyl, Myclobutanil, Nitrothal-isopropyl, Nuarimol, Oxadixyl, Penconazole, Pentachlorobenzonitrile, Penthiopyrad, Phthalide, Picoxystrobin, Procymidone, Propiconazole, Pyracarbolid, Pyrazophos, Pyrifenox, Pyrimethanil, Quinoxifen, Quintozene, Simeconazole, Spiroxamine, Tebuconazole, Tetraconazole, Thifluzamide, Tolclofos-methyl, Triadimefon, Trifloxystrobin, Triflumizole, Vinclozolin, Zoxamide	(53) Ametoctradin, Amisulbrom, Azoxystrobin, Benalaxyl, Benthiavalicarb-isopropyl, Bixafen, Carbendazim, Carpropamide, Cyazofamid, Cymoxanil, Cyproconazole, Dodine, Ethaboxam, Famoxadone, Fenhexamid, Ferimzone, Fluazinam, Fludioxonil, Flupicolide, Flusulfamide, Flutolanil, Flutriafol, Hexaconazole, Imazalil, Imibenconazole, Iprovalicarb, Mandestrobin, Mandipropamid, Mefentrifluconazole, Metconazole, Metominostrobin, Metrafenone, Ofurace, Orysastrobin, Oxathiapiroprolin, Oxycarboxin, Pencycuron, Picarbutrazox, Propamocarb, Proquinazid, Pydiflumetofen, Pyraclostrobin, Pyraziflumid, Pyribencarb, Pyriofenone, Pyroquilon, Sedaxane, Tebufloquin, Thiabendazole, Tiadinil, Tricyclazole, Uniconazole, Valifenalate
Herbicide (140)	(74) Alachlor, Allidochlor, Ametryn, Anilofos, Atrazine, Benfluralin, Benfuresate, Benzoylprop-ethyl, Bromobutide, Butachlor, Butafenacil, Butylate, Chlorbufam, Chlornitrofen, Chlorthal-dimethyl, Cinmethylin, Clomazone, Cyprazine, Desmetryn, Diallate, Dichlobenil, Dichlorimid, Diclofop-methyl, Diethatyl-ethyl, Diflufenican, Dimepiperate, Dimethachlor, Dimethametryn, Dimethenamid, Dinitramine, Diphenamid, Dithiopyr, EPTC, Ethalfluralin, Ethofumesate, Fenclorim, Flamprop-isopropyl, Fluazifop-butyl, Fluchloralin, Flufenpyr-ethyl, Flumioxazin, Flurochloridone, Indanofan, Isopropalin, Isoxadifen-ethyl, Mefenpyr-diethyl, Methoprotryn, Metolachlor, Metribuzin, Monolinuron, Oxadiazon, Oxyfluorfen, Pendimethalin, Pentoxazone, Pretilachlor, Prodiamine, Profluralin, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propazine, Propisochlor, Propyzamide, Pyraflufen-ethyl, Pyrifthalid, Pyriminobac-methyl, Simetryn, Terbacil, Terbutometon, Terbutryn, Tri-allate, Tridiphane, Trifluralin	(66) Bensulide, Benzobicyclon, Bromacil, Cafenstrole, Carbetamide, Chloridazone, Chlorotoluron, Chloroxuron, Clomeprop, Cyanazine, Cycloate, Daimuron, Dymron, Dicosulam, Diuron, Esprocarb, Fenoxaprop-ethyl, Fentrazamide, Flufenacet, Fluometuron, Flupoxam, Fluidone, Fluthiacet-methyl, Fomesafen, Hexazinone, Ipencarbazone, Isoprotruron, Isoxaben, Lenacil, Linuron, Mefenacet, Metamifop, Metamitron, Methabenzthiazuron, Metobromuron, Napropamide, Neburon, Norea(Noruron), Norflurazon, Oryzalin, Oxadiargyl, Oxaziclomefone, Pebulate, Penoxsulam, Phenmedipham, Picolinafen, Piperophos, Prosulfocarb, Pyraclo-nil, Pyrazolate, Pyrazoxyfen, Pyribenzoxim, Pyrimisulfan, Quinoclamine, Saflufenacil, Sebumeton, Sethoxydim, Simazine, Sulfentrazone, Tebutiuron, Tepraloxymid, Terbutylazine, Thenylchlor, Thiazopyr, Thiobencarb, Triafamone, Vernolate
Acaricide (19)	(13) Aramite, Bromopropylate, Chlorbenside, Chlorfenson, Chlorobenzilate, Chloropropylate, Etoxazole, Fenothiocarb, Fluacrypyrim, Halfenprox, Hexythiazox, Tebufenpyrad, Tetradifon	(6) Benzoximate, Clofentezine, Cyenopyrafen, Fenazaquin, Fenpyroximate, Spirodiclofen

Table 2. Continued

Classification	GC-MS/MS (250)	LC-MS/MS (225)
Plant growth regulator(10)	(4) Ethychlozate, Flumetralin, Paclobutrazol, Prohydrojasmon	(6) Benzyladenine(6-Benzyl aminopurine), Forchlorfenuron, Inabenfide, Probenazole, Thidiazuron, Tribufos
Nematocide(1)		(1) Fensulfothion
Insecticide + Nematocide (54)	(31) Bifenthrin, Bromophos-ethyl, Buprofezin, Carbophenothion, Chlorfenapyr, Chlorpyrifos-methyl, Chlorthiophos, Coumaphos, Dialifor, Diazinon, Dicofof, Dicrotophos, Endosulfan, EPN, Ethion, Fenpropathrin, Lindane, γ -BHC, Methidathion, Methyl trithion, Parathion, Phenthoate, Phosalone, Phosmet: PMP, Phosphamidon, Pirimiphos-methyl, Profenofos, Quinalphos, Sulfotep, Tetrachlorvinphos, Thiometon, Triazophos	(23) Aldicarb, Azamethiphos, Butocarboxim, Chlorfenvinphos, Dichlorvos, Dimethoate, Disulfoton, Flufenoxuron, Lufenuron, Malathion, Mecarbam, Methamidophos, Methiocarb, Methomyl, Mevinphos, Monocrotophos, Omethoate, Oxamyl, Phorate, Pyridaben, Pyrimidifen, Tolfenpyrad, Vamidothion
Insecticide + Fungicide(2)	(1) Penflufen	(1) Triticonazole
Insecticide + Nematocide(1)	(1) Isazofos	
Insecticide + Plant growth regulator(1)		(1) Carbaryl
Fungicide + Plant growth regulator(2)	(2) Isoprothiolane, Tecnazene	
Fungicide + Herbicide(1)		(1) Pyributicarb
Herbicide + Plant growth regulator(4)	(4) Butralin, Chlorflurenol-methyl, Chlorpropham, Propham	

Table 3. GC-MS/MS instrument conditions

	Parameter	Condition		
GC (Trace 1310)	Column	TG-5SILMS (30 m L. \times 0.25 mm I.D., 0.25 μ m)		
	Carrier Gas	Helium, 1.2 mL/min		
	Injection	Vol.: 1 μ L, Splitless mode		
	Inlet Temp.	300°C		
	Oven Program	Initial		60
	1	20	180	0
	2	5	300	5
MS/MS (TSQ 9000)	Ionization mode	Electron Impact (EI)		
	Mass Spectrometry Mode	Selected Reaction Monitoring (SRM)		
	Transfer line Temp.	280°C		
	Ion Source Temp.	300°C		
	Ion Ratio Tolerance(%)	20(>50), 25(>20, \leq 50), 30(>10, \leq 20)		

산물 총 980건을 대상으로 잔류농약 모니터링을 수행하였다. 전체 시료 980건 중 414건의 시료에서 잔류농약이 검출되어 42.2%의 검출률을 나타내었으며, 이 중 2건(0.2%)이 잔류허용기준을 초과하였다.

품목별 검출 현황을 살펴보면, 사과가 99.1%로 가장 높은 검출률을 보였으며, 파프리카(90.7%), 오이(71.9%), 토마토(52.3%) 순으로 높은 빈도를 나타냈다. 반면 새송이버섯에서는 잔류농약이 전혀 검출되지 않았으며, 양파(4.4%)와

Table 4. LC-MS/MS instrument conditions

Parameter		Condition		
Column		CAPCELL CORE C18 (150 mm L. × 2.1 mm I.D., 2.7 μm)		
Column Temp.		40°C		
Flow Rate		0.3 mL/min		
Injection Vol.		2 μL		
Mobile phase		A: 0.1% formic acid, 5 mM Ammonium acetate in water B: 0.1% formic acid, 5 mM Ammonium acetate in methanol		
LC (Nanospace NASCA)		Min.	A (%)	B (%)
		Initial	95	5
		1	95	5
	Gradient Program	1.5	70	30
		12	2	98
		16	2	98
		16.1	95	5
		20	95	5
Ionization mode		Electrospray Ionization (ESI)		
Mass Spectrometry Mode		Multiple Reaction Monitoring (MRM)		
Ion Spray Voltage		4.5 kV		
Heater Temp.		500°C		
Nebulizer Gas		50 psi		
Heating Gas		50 psi		
Ion Ratio Tolerance(%)		20(>50), 25(>20, ≤ 50), 30(>10, ≤ 20)		
MS/MS (QTRAP 4500)				

양배추(9.2%) 등은 상대적으로 낮은 검출률을 보였다. 잔류 허용기준을 초과한 2건의 시료는 당근과 단호박에서 각각 1건씩 확인되었다(Table S1).

검출된 농약 성분은 총 98종이었으며, 살충제인 dinotefuran이 102건(10.4%)으로 가장 빈번하게 검출되었다. 이어 etofenprox 81건(8.3%), 살균제인 tebuconazole 76건(7.8%), carbendazim 62건(6.3%) 순으로 검출 빈도가 높았다. 검출 농도 범위는 대부분 미량이었으나, fluxametamide의 경우 일반 상추에서 최대 7.16 mg/kg까지 검출되어 성분별로 큰 농도 차이를 보였다(Table S2).

미니 농산물과 일반 농산물의 검출률 비교

이 연구에 사용된 모든 결과는 경기도보건환경연구원 소속 4개 농산물검사소에서 동일한 시험법과 표준품, 시약, 장비 등을 동일한 분석 체계에 따라 분석하여 분석의 편향을 최소화한 데이터를 기반으로 작성하였다. 다만 실험실 간 분석 환경 차이에 따른 변수를 완전히 배제할 수 없다는 한계는 있다.

유통 미니 농산물과 일반 농산물의 잔류농약 검출 현황을 비교한 결과, 미니 농산물 172건 중 81건에서 잔류농약이 검출되어 검출률은 47.1%였으며, 일반 농산물은 808건 중

333건이 검출되어 검출률은 41.2%로 나타났다(Table 4). 두 집단 간 전체 검출률 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.1827$). 이는 잔류농약 검출 여부가 단순히 농산물의 크기나 ‘미니’ 여부만으로 일괄적으로 설명되기 어렵고, 재배형태, 시료채취 및 생산 시점 등 잠재적 교란 요인에 대한 정보는 확보되지 않아 교란 요인에 대한 보정 없이 두 분류 간 잔류농약 검출률의 총괄적인 차이만 비교할 수 있었다.

품목별 검출률 및 검출 성분 수 비교

품목별 검출률을 비교한 결과 양배추와 당근에서만 미니 농산물과 일반 농산물 간 유의한 차이가 확인되었다(Table 5). 양배추의 경우 미니 농산물에서 검출률이 40.0%(6건/15건)로 나타난 반면, 일반 농산물에서는 1.6%(1건/61건)에 불과하여 큰 차이를 보였다($p = 0.0001$). 당근 역시 미니 농산물에서 66.7%(6건/9건), 일반 농산물에서 23.2%(13건/56건)로 미니 농산물의 검출률이 유의하게 높았다($p = 0.0146$). 반면, 그 외 대부분 품목에서는 미니와 일반 농산물 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

이러한 결과는 “미니가 항상 더 높다/낮다”는 단정인 아니라, 품목별 재배 특성, 방제 전략과 형태 차이가 특정

Table 5. Detection rates and MRL exceedances of pesticide residues by commodity in mini and conventional agricultural commodities

Commodity	Mini agricultural commodity				Conventional agricultural commodity				P-value
	No. of samples	No. of detected samples	Detection rate(%)	No. of MRL exceedances	No. of samples	No. of detected samples	Detection rate(%)	No. of MRL exceedances	
Cabbage	15	6	40.0	0	61	1	1.6	0	0.0001*
Carrot	9	6	66.7	1	56	13	23.2	0	0.0146*
Banana	6	4	66.7	0	28	7	25.0	0	0.0703
Sweet pumpkin	16	3	18.8	1	12	0	0	0	0.2381
Watermelon	9	2	22.2	0	33	13	39.4	0	0.4508
Lettuce	9	2	22.2	0	171	61	35.7	0	0.4979
Tomato	35	20	57.1	0	72	36	50	0	0.6257
Paprika	21	20	95.2	0	33	29	87.9	0	0.6377
Onion	9	0	0	0	81	4	4.9	0	1
Cucumber	13	9	69.2	0	83	60	72.3	0	1
Apple	7	7	100	0	106	105	99.1	0	1
Broccoli	4	0	0	0	29	4	13.8	0	1
King oyster mushroom	12	0	0	0	41	0	0	0	1
Asparagus	7	2	28.6	0	2	0	0	0	-
Total	172	81	47.1	2	808	333	41.2	0	0.1827

Note. P-values were calculated by the Chi-square test; however, Fisher's exact test was applied when the expected frequency of any cell was less than 5. * Indicates a significant difference at $p < 0.05$.

Table 6. Comparison of the number of detected pesticide residues per detected sample by commodity in mini and conventional agricultural commodities

Commodity	Mini agricultural commodity				Conventional agricultural commodity			
	No. of samples	No. of detected samples	No. of detected pesticide residues	Mean no. of detected pesticide residues per detected sample	No. of samples	No. of detected samples	No. of detected pesticide residues	Mean no. of detected pesticide residues per detected sample
Sweet pumpkin	16	3	6	2.0	12	0	0	0
Carrot	9	6	9	1.5	56	13	15	1.2
Banana	6	4	4	1.0	28	7	7	1.0
Tomato	35	20	56	2.8	72	36	83	2.3
Broccoli	4	0	0	0	29	4	5	1.3
Apple	7	7	34	4.9	106	105	511	4.9
Lettuce	9	2	4	2.0	171	61	133	2.2
King oyster mushroom	12	0	0	0	41	0	0	0
Watermelon	9	2	3	1.5	33	13	14	1.1
Asparagus	7	2	2	1.0	2	0	0	0
Cabbage	15	6	6	1.0	61	1	1	1.0
Onion	9	0	0	0	81	4	4	1.0
Cucumber	13	9	20	2.2	83	60	117	2.0
Paprika	21	20	84	4.2	33	29	113	3.9
Total	172	81	228	2.8	808	333	1003	3.0

Table 7. Comparison of pesticide residue detection rates by commodity and pesticide in mini and conventional agricultural commodities

Commodity	Pesticide residues	No. of samples		No. of detected samples		Detection rate(%)		P-value
		Mini	Conventional	Mini	Conventional	Mini	Conventional	
Carrot	Linuron	9	56	2	1	22.2	1.8	0.048*
	Pendimethalin			2	0	22.2	0	0.017*
Apple	Fluxametamide	7	106	2	3	28.6	2.8	0.030*
Cabbage	Iprodione	15	61	2	0	13.3	0	0.037*
Paprika	Azoxystrobin	21	33	8	1	38.1	3.0	0.001*
	Flonicamid			9	4	42.9	12.1	0.025*
Tomato	Fludioxonil	35	72	7	4	20.0	5.6	0.037*
	Fluxametamide			4	1	11.4	1.4	0.039*
Cucumber	Dinotefuran	13	83	6	15	46.2	18.1	0.033*
	Cyazofamid			2	0	15.4	0	0.017*
	Imidacloprid			3	2	23.1	2.4	0.017*
	Fluxametamide			3	0	23.1	0	0.002*
Banana	Buprofezin	6	28	3	1	50.0	3.6	0.012*

Note. P-values were calculated by the Chi-square test; however, Fisher's exact test was applied when the expected frequency of any cell was less than 5. * Indicates a significant difference at $p < 0.05$.

품목에서만 검출률 차이로 나타날 수 있음을 보여준다(Lee et al., 2004; Shin et al., 2022; Fenik et al., 2011).

한편, 검출 시 동시 검출되는 농약 성분 수는 미니 농산물 평균 2.8성분, 일반 농산물 평균 3.0성분으로 두 집단 간 큰 차이는 없었다(Table 6). 이는 전반적인 잔류 패턴이 일반 농산물과 유사한 수준이라고 해석할 수 있다.

성분-품목 조합별 검출 특성

성분-품목 조합별 분석 결과(Table 7), 여러 조합에서 미니 농산물과 일반 농산물 간 검출률 차이가 통계적으로 유의하게 나타났다. 그러나 이 연구에서는 품목 수준에서 미니-일반 간 전체 검출률 차이가 유의했던 품목(양배추, 당근)(Table 5) 이면서, 동시에 해당 품목에서 특정 농약 성분이 유의하게 검출된 경우를 중심으로 심층 분석을 수행하였다. 이는 Table 7에 제시된 일부 유의한 결과가 표본 규모의 차이, 다중 비교에 따른 우연적 유의성, 그리고 재배 이력 정보의 제한 등을 고려할 때 원인을 명확히 해석하는 데 한계가 있을 수 있기 때문이다.

이에 따라 당근과 양배추에서 관찰된 성분-품목 특이 패턴을 우선적으로 해석하였다. 당근에서는 linuron과 pendimethalin이 미니 농산물에서 유의하게 검출되었으며(Table 7), 이는 근채류의 토양 접촉 특성과 생육 초기 제초제 처리와의 관련성을 시사한다(Šuk et al., 2021; Souza et al., 2019). 특히 미니 당근은 재배 기간이 상대적으로 짧고 밀식 재배(high-density planting)되는 특성이 있어, 생육 초기 처리된 농약의 영향이

수확 시점까지 잔류로 이어질 가능성이 있다. linuron은 토양 중에서 비교적 안정적인 잔류 특성을 보이면서도, Koc 값(≈ 842)과 GUS 지수(≈ 2.1)에 근거할 때 토양 내에서 일정 수준의 이동성이 보고된 바 있어(PPDB, 2023), 이러한 재배 특성을 가진 미니 당근에서 잔류로 관찰되었을 가능성을 뒷받침한다. 다만 이 연구는 유통 단계 시료를 대상으로 수행되어 재배 이력에 대한 정보가 제한적이므로, 이러한 해석은 가능성 수준에서 제시하는 것이 타당하다.

양배추에서는 iprodione이 미니 농산물에서 유의하게 검출되었다(Table 7). 특히 방울다다기양배추(10–20 g)는 일반 양배추(2,000–3,000 g) 대비 중량이 약 100배 이상 적어(Jeju ARES, 2015; NAQS, 2024), 상대적으로 높은 비표면적 비율을 갖는다. 이러한 형태학적 차이는 잔류농약 검출 특성 해석 시 고려될 필요가 있다. 방울다다기양배추와 같은 미니 형태 품목은 다수의 소형 결구가 줄기를 따라 외부에 노출되는 구조적 특성을 가지며, 이로 인해 농약 부착 면적과 잔류 분포가 일반 양배추와 달라질 수 있다(Codex Alimentarius Commission, 2017; Dai An et al., 2022). 방울다다기양배추를 대상으로 한 선행 연구에서도 작물의 형태와 재배 조건이 농약의 잔류 특성에 영향을 미칠 수 있음이 보고된 바 있으며, 이 연구 결과 역시 이러한 보고와 일관된 경향을 보였다.

한편 사과, 파프리카, 토마토, 오이 및 바나나 등에서도 일부 성분에서 미니-일반 간 유의한 차이가 확인되었으나(Table 7) 해당 품목들의 전체 검출률에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 5). 이는 개별 성분에 국한된

Table 8. Pesticide residues exceeding maximum residue limits (MRLs) in mini agricultural commodity

Commodity	Pesticide residues	Classification	Detection concentration (mg/kg)	MRLs (mg/kg)	PLS
Carrot	Tebupirimfos	Insecticide	0.27	0.05	X
Sweet pumpkin	Thiacloprid	Insecticide	0.14	0.01	O

결과로, 표본 규모 차이와 다중 비교에 따른 통계적 편향 가능성을 고려할 때, 향후 표본 확대와 재배 이력 정보를 포함한 추가 연구가 필요하다.

기준 초과 현황

기준 초과 사례는 총 2건 확인되었으며, 일반 농산물에서는 기준 초과 사례가 없었던 반면 미니 농산물에서만 단호박 1건과 당근 1건이 잔류허용기준 초과로 판정되었다(Table 8). 이 중 단호박은 해당 농약 성분에 대한 MRL이 설정되어 있지 않아 일률기준(0.01 mg/kg)이 적용되었으며, 그 결과 유통 단계에서 허용기준 초과로 확인되었다.

근채류는 토양과 직접 접촉하는 생육 특성으로 인해 토양 처리 또는 토양 인접 살포된 농약의 영향을 받을 수 있으며, 잔류 양상이 다른 작물에 비해 상대적으로 크게 나타날 수 있음이 보고된 바 있다(Suk et al., 2021; Souza et al., 2019). Tebupirimfos는 토양 처리 또는 토양 인접 살포로 사용되는 유기인계 살충제로, 뿌리를 통한 흡수 및 작물 체내 이동 가능성이 제시된 바 있다(PPDB, 2023). 특히 미니 당근은 재배 기간이 상대적으로 짧은 농약 살포 이후 안전사용기준(수확 전 마지막 살포일 등)을 충족하기 위한 충분한 소산 시간이 확보되지 않았을 가능성이 있다. 이러한 작물 특성과 재배와 방제 조건이 복합적으로 작용하여 기준 초과로 이어졌을 가능성을 배제하기 어렵다. 다만 이 연구는 유통 단계에서 수거된 시료를 대상으로 수행되어 실제 재배 조건이나 농약 사용 이력에 대한 정보를 확보하기 어려웠다는 한계가 있다. 따라서 본 결과는 특정 원인을 단정하기보다는 미니 농산물에서 MRL 적용의 취약성이 먼저 표출될 수 있음을 보여주는 사례로 해석하는 것이 타당하다.

한편 이 연구에서 사용되지는 않았지만 연구원에서 2025년 1~9월 동안 자체 분석한 유통 농산물 전체 검사(3,295건)에서는 20건의 기준 초과 사례가 확인되어 0.6%의 부적합률을 보였으나, 이 연구에서 비교 대상으로 설정한 일반 농산물 품목군(808건)에서는 기준 초과 사례가 확인되지 않았다.

이번 연구에서 미니 농산물과 일반 농산물의 비교 분석을 통해 두 품목(당근, 양배추)에서 통계적으로 유의한 잔류 특성 차이가 있음을 확인하였다. 또한 일반 농산물과 미니 농산물 모두에서 공통 검출된 농약의 농도 차이와 특정 집단에서만 확인된 농약 성분들을 비교해 보았을 때, 두 집단의 잔류 양상이 서로 상이할 수 있음을 시사한다. 이는

미니 농산물이 일반 품목과 단순히 크기에서만 차이를 보이는 것이 아니라, 비표면적과 같은 물리적 요인뿐만 아니라 재배 방법 및 방제 체계의 차이 등 생리적 특성이 복합적으로 작용하여 잔류 농도에 영향을 미친 결과로 판단된다. 다만, 시료 수의 제한과 재배 환경 정보의 부족 등 연구의 한계가 존재하므로 추가적인 연구가 필요하다(Lee et al., 2004; Shin et al., 2022).

이러한 연구 결과는 미니 농산물과 같이 형태적 특성과 재배적 특성이 일반 품목과 상이한 경우, 해당 특성을 고려한 잔류허용기준 설정이 필요함을 시사한다. 특히 방울다다기 양배추와 같이 국제 기준(Codex)에서 별도로 분류되는 품목 사례를 참고하여, 국내에서도 품목별 특성을 반영한 잔류허용기준의 정비와 적용 방안을 마련해야 한다(Codex Alimentarius Commission, 2017; MFDS, 2025a; 2025b).

결론

경기도에서 유통 중인 미니 농산물 172건을 대상으로 잔류농약 실태를 조사하고 동일 기간 검사된 일반 농산물 808건과 비교한 결과, 유통 단계 전체 잔류농약 검출률은 미니 농산물 47.1%, 일반 농산물 41.2%로 나타났으나 두 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.1827$). 검출 건수는 일반 농산물에서 더 많았으나, 이는 검사 건수의 차이에 따른 영향으로 해석되며 단순 비교를 통해 잔류농약 안전성을 단정하기에는 한계가 있다. 품목별 분석에서는 양배추($p = 0.0001$)와 당근($p = 0.0146$)에서만 미니 농산물과 일반 농산물 간 검출률 차이가 유의하게 나타났고, 성분-품목 분석 결과 미니 당근에서 linuron과 pendimethalin이, 미니 양배추에서 iprodione이 유의하게 검출되어 품목별 재배 특성과 방제 특성이 잔류 특성에 영향을 미칠 가능성을 보여주었다. 또한 기준 초과 사례는 미니 농산물에서만 2건(단호박 1건은 PLS 기준 적용, 당근 1건) 확인되어, 미니 형태 품목의 경우 품목 특성을 고려한 잔류농약 관리의 필요성을 시사한다.

Author Information and Contributions

YeaEun Lee, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment,

Public Health Research officer, <http://orcid.org/0000-0003-4544-9533>

YangHee Kim, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Director of Southern Agricultural Products Inspection Center, <http://orcid.org/0000-0003-0775-4609>

YunSik Cho, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Public Health Research officer, <http://orcid.org/0000-0001-7418-7291>

MiYoung Seo, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Public Health Research officer, <http://orcid.org/0000-0003-0344-6203>

MiKyung Jang, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Public Health Research officer, <http://orcid.org/0000-0002-3566-7791>

YunMi Lee, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Public Health Research officer, <https://orcid.org/0000-0002-2156-4716>

KyungSuk Chae, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Public Health Research officer, <http://orcid.org/0000-0002-8001-9574>

JiWon Kim, Southern Agricultural Products Inspection Center, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Research Assistant, <http://orcid.org/0000-0001-8768-2152>

YoungSook Do, Agricultural and Fishery Products Inspection Division, Director of Agricultural and Fishery Products Inspection Division, <http://orcid.org/0000-0002-1023-2978>

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

Codex Alimentarius Commission, 2017. Report of the 49th Session of the Codex Committee on Pesticide Residues (REP17/PR). Appendix VIII. pp. 56-68. Beijing, P.R. China.

https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ar/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-49%252FREPORT%252FREP_17_PRE.pdf

Dai An, Ko R, Kim J, Kang S, Lee K, Lee J, 2022. Dissipation behavior and dietary exposure risk of pesticides in Brussels sprout evaluated using LC-MS/MS. *Sci. Rep.* 12:12726.

Fenik J, Tankiewicz M, Biziuk M, 2011. Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *TrAC Trends Anal. Chem.* 30(6):814-826.

Hwang K. W., et al. 2012. Dissipation patterns of boscalid and fludioxonil in/on diverse crops. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 16(4), 302-310.

Jeju ARES, 2015. Cultivation manual for new income crops (Brussels sprouts). Jeju Agricultural Research and Extension Services, Jeju, Korea.

Kim S, Lee J, 2024. Focus on mini fruits and vegetables. *Digital Agriculture*, September issue, Nongmin Newspaper, Seoul, Korea. pp. 31-42. (In Korean)

Korean Rural Economic Institute (KREI), 2021. Report on food consumption behavior. Dongyang Cultural Printing Forum, Seoul, Korea. pp. 123-125. (In Korean)

Korean Rural Economic Institute (KREI), 2023. Outlook and trends of fruit vegetable supply and demand. Korean Rural Economic Institute, Naju, Korea. (In Korean)

Kwak B, Jo SA, Lee KA, Kim S, Kim Y, Yi H, Kim S, Kim AK, Yun ES, 2024. 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(3): 239-249.

Lee HS, Lee SW, Lee EY, Yoon YT, 2004. Estimate of pesticide residues in tomato varieties using ratio of surface area to weight. *Korean J. Pestic. Sci.* 8(1):30-37. (In Korean)

Maclachlan D. J., & Hamilton, D., 2010. A new assessment of the initial distribution of pesticide deposits on crops. *Pest Management Science*, 66(3):259-274.

Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2019. Operation status of the positive list system for pesticide residues. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. (In Korean)

Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2025a. Amendment of food standards and specifications (Notification No. 2025-56). Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. (In Korean)

Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2025b. Maximum residue limits for pesticides (Appendix 4). Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. (In Korean)

Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2025c. Analytical methods for pesticide residues in foods. Korean Food Code. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea. (In Korean)

NAQS, 2024. Standard marketing grades for agricultural products. Notice No. 2024-34, National Agricultural Products Quality Management Service, Gimcheon, Korea.

PPDB (Pesticide Properties DataBase), 2023. Linuron. University of Hertfordshire. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/419.htm>

PPDB (Pesticide Properties DataBase), 2023. Tebupirimfos. University of Hertfordshire. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1572.htm>

Shin HJ, Lee R, Kim CJ, Noh HH, Lee EY, Kyung KS, Kim D, 2022. Residual characteristics of cyflumetofen and penthiopyrad in sweet pepper according to cultivar. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(4):317-329. (In Korean)

Song SH, Kim KY, Kim YS, Ryu KS, Kang MS, Lim JH, Yoo NY, Han YL, Choi HJ, Kang CW, Kim YH, Seo JH, Choi OK, 2021. Comparative analysis of pesticide residues in agricultural products in circulation in Gyeonggi-do before and after positive list system enforcement. *J. Food Hyg. Saf.* 36(3):239-247.

Souza LP, Faroni LRDA, Heleno FF, Pinto FG, Queiroz MELR, Prates LHF, 2019. Difenconazole and linuron dissipation kinetics in carrots under open-field conditions. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 168:479-485.

Statistics Korea, 2025. Single-person household statistics in Korea 2025. Statistics Korea, Daejeon, Korea. (In Korean).

Šuk J, Hamouzová K, Hajšlová J, Jursík M, 2021. Dynamics of herbicides degradation in carrot (*Daucus carota* L.). *Plant Soil Environ.* 67(6):353-359.

Wang J, Ma T, Wang L, Lan T, Fang Y, Sun X, 2021. Research on the consumption trend, nutritional value, biological activity evaluation, and sensory properties of mini fruits and vegetables. *Foods* 10(12):2966.

● ●

농산물 형태적 특성에 따른 잔류농약 비교 및 모니터링

이예은 · 조윤식 · 서미영 · 장미경 · 이윤미 · 채경석 · 김지원 · 김양희* · 도영숙

경기도보건환경연구원 남부농산물검사소

요약 이 연구는 경기도 내 유통 중인 미니 농산물 172건의 잔류농약 실태를 동일 기간에 검사된 일반 농산물 808건과 비교·평가하였다. 잔류농약 분석은 식품공전에 수록된 QuEChERS 전처리법과 GC-MS/MS 및 LC-MS/MS를 연계한 다성분 시험법을 적용하여 총 475종 농약을 대상으로 수행하였다. 미니 농산물과 일반 농산물 간 잔류농약 검출 빈도의 차이는 카이제곱검정과 피셔의 정확검정을 이용하여 통계적으로 검증하였다. 전체 잔류농약 검출률은 미니 농산물 47.1%, 일반 농산물 41.2%로 나타났으며, 두 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.1827$). 그러나 품목별 분석에서는 미니 양매추(40.0% vs. 1.6%, $p = 0.0001$)와 미니 당근(66.7% vs. 23.2%, $p = 0.0146$)에서 미니 농산물의 검출률이 유의하게 높았다. 성분별로는 당근의 linuron과 pendimethalin, 방울다다기양매추의 iprodione이 미니 농산물에서 유의하게 높은 빈도로 검출되었다. 또한 잔류허용기준(MRL)을 초과한 부적합 사례 2건 (단호박, 당근)은 모두 미니 농산물에서 확인되었다. 이러한 결과는 미니 농산물의 형태적 특성이 잔류농약 검출 양상에 영향을 미칠 가능성을 보여주며, 품목 특성을 고려한 맞춤형 관리의 필요성을 시사한다.

주제어: GC-MS/MS, LC-MS/MS, 농약 잔류허용기준, 미니 농산물

● ●

Supplementary Information (Appendix)

Table S1. Detection Rates and MRL Exceedances of Pesticide Residues by Commodity in total agricultural commodity

Commodity	Total agricultural commodity			
	No. of samples	No. of detected samples	Detection rate(%)	No. of MRL exceedances
Lettuce	180	63	35.0	0
Apple	113	112	99.1	0
Cucumber	96	69	71.9	0
Onion	90	4	4.4	0
Cabbage	76	7	9.2	0
Tomato	107	56	52.3	0
Carrot	65	19	29.2	1
Paprika	54	49	90.7	0
King oyster mushroom	53	0	0.0	0
Watermelon	42	15	35.7	0
Banana	34	11	32.4	0
Broccoli	33	4	12.1	0
Sweet pumpkin	28	3	10.7	1
Asparagus	9	2	22.2	0
Total	980	414	42.2	2

Table S2. Detection frequency and concentration range of pesticide residues

Pesticide	Frequency	Detection Rate (%)	Concentration Range (mg/kg)	Mean Concentration (mg/kg)
Dinotefuran	102	10.41	0.0096 – 0.7201	0.0872
Etofenprox	81	8.27	0.0094 – 1.5677	0.0824
Tebuconazole	76	7.76	0.0099 – 0.2713	0.0456
Carbendazim	62	6.33	0.0082 – 1.4985	0.1034
Fluxametamide	48	4.9	0.0100 – 7.1622	0.4055
Acetamiprid	44	4.49	0.0113 – 0.2707	0.038
Fluopyram	39	3.98	0.0106 – 0.2502	0.0429
Pyraclostrobin	36	3.67	0.0101 – 0.1414	0.0342
Flonicamid	36	3.67	0.0103 – 0.2191	0.0405
Flutriafol	33	3.37	0.0120 – 0.0917	0.0382
Thiamethoxam	32	3.27	0.0102 – 0.8578	0.0651
Propamocarb	30	3.06	0.0100 – 0.3826	0.0877
Chlorothalonil	28	2.86	0.0235 – 1.1455	0.3133
Difenoconazole	28	2.86	0.0111 – 0.0620	0.0232
Sulfoxaflor	26	2.65	0.0116 – 0.1816	0.0359
Spirotetramat	27	2.76	0.0146 – 1.7004	0.1875
Diflubenzuron	25	2.55	0.0118 – 0.1317	0.0521
Azoxystrobin	23	2.35	0.0105 – 0.5985	0.0835
Chlorfenapyr	21	2.14	0.0103 – 0.2507	0.0657
Boscalid	20	2.04	0.0143 – 0.1223	0.0425
Pyridalyl	19	1.94	0.0146 – 0.3196	0.0424

Table S2. Detection frequency and concentration range of pesticide residues

Flubendiamide	16	1.63	0.0167 – 0.3037	0.0843
Chlorantraniliprole	16	1.63	0.0103 – 0.0592	0.025
Fludioxonil	15	1.53	0.0126 – 0.2250	0.0561
Pydiflumetofen	14	1.43	0.0108 – 3.2423	0.2677
Fluxapyroxad	13	1.33	0.0100 – 0.8393	0.0796
Trifloxystrobin	13	1.33	0.0102 – 0.3703	0.0522
Buprofezin	13	1.33	0.0102 – 0.1147	0.0289
Famoxadone	12	1.22	0.0118 – 0.1349	0.0361
Clothianidin	12	1.22	0.0125 – 0.1761	0.0394
Mefentrifluconazole	12	1.22	0.0111 – 0.1443	0.0333
Penthiopyrad	10	1.02	0.0105 – 0.1525	0.0323
Cyantraniliprole	10	1.02	0.0112 – 0.1332	0.0383
Imidacloprid	9	0.92	0.0121 – 0.1895	0.0496
Metconazole	9	0.92	0.0124 – 0.0342	0.021
Flupyradifurone	9	0.92	0.0185 – 0.1114	0.0545
Pyflubumide	8	0.82	0.0248 – 0.1844	0.0518
Bistrifluron	8	0.82	0.0117 – 0.0838	0.0327
Pyrifluquinazon	7	0.71	0.0127 – 0.0970	0.0337
Spinetoram	7	0.71	0.0178 – 0.1879	0.0675
Pyribencarb	7	0.71	0.0114 – 0.0943	0.0346
Amisulbrom	6	0.61	0.0115 – 0.0603	0.0249
Pyridaben	6	0.61	0.0157 – 0.1061	0.0516
Spiromesifen	6	0.61	0.0152 – 0.1233	0.0484
Cyenopyrafen	6	0.61	0.0144 – 0.0717	0.0441
Dimethomorph	5	0.51	0.0229 – 1.5551	0.5862
Teflubenzuron	5	0.51	0.0119 – 0.0227	0.018
Fluopicolide	5	0.51	0.0100 – 0.0274	0.018
Metaflumizone	5	0.51	0.0101 – 0.9373	0.232
Metalaxyl	5	0.51	0.0147 – 0.0250	0.0197
Procymidone	5	0.51	0.0098 – 0.1017	0.0511
Indoxacarb	5	0.51	0.0100 – 0.3539	0.1199
Cyflumetofen	5	0.51	0.0158 – 0.0784	0.0381
Iprodione	5	0.51	0.0236 – 0.1184	0.0591
Cyazofamid	5	0.51	0.0148 – 1.8089	0.4397
Methoxyfenozide	5	0.51	0.0114 – 0.0619	0.0269
Kresoxim-methyl	4	0.41	0.0349 – 0.0645	0.0493
Lufenuron	4	0.41	0.0175 – 0.0467	0.0307
Propiconazole	4	0.41	0.0173 – 0.0456	0.0297
Metrafenone	4	0.41	0.0105 – 0.4771	0.131
Terbufos	4	0.41	0.0151 – 0.2296	0.0918
Fluazinam	4	0.41	0.0134 – 0.0336	0.0228
Emamectin benzoate	5	0.51	0.0099 – 0.2617	0.0688
Picarbutrazox	3	0.31	0.0135 – 0.0651	0.0307
Pendimethalin	3	0.31	0.0113 – 0.0270	0.0217
Methomyl	3	0.31	0.0136 – 0.9580	0.331
Paclobutrazol	3	0.31	0.0242 – 0.1331	0.0707

Table S2. Detection frequency and concentration range of pesticide residues

Ethaboxam	3	0.31	0.0171 – 0.0551	0.0383
Thiacloprid	3	0.31	0.0262 – 0.1355	0.0666
Linuron	3	0.31	0.0178 – 0.0352	0.0251
Pyraziflumid	3	0.31	0.0126 – 0.0240	0.0173
Imicyafos	3	0.31	0.0346 – 0.0670	0.049
Mandipropamid	3	0.31	0.0130 – 0.0301	0.0198
Flufenoxuron	3	0.31	0.0151 – 0.0224	0.0198
Thifluzamide	3	0.31	0.0138 – 0.0320	0.0216
Hexaconazole	2	0.2	0.0174 – 0.0603	0.0388
Etridiazole	2	0.2	0.0191 – 0.0307	0.0249
Fenhexamid	2	0.2	0.1068 – 0.2350	0.1709
Fenpyrazamine	2	0.2	0.0195 – 0.2941	0.1568
Fenpropathrin	2	0.2	0.0118 – 0.0121	0.0119
Bifenthrin	2	0.2	0.0120 – 0.0277	0.0198
Cyclaniliprole	2	0.2	0.0500 – 0.1298	0.0899
Etoxazole	2	0.2	0.0154 – 0.0179	0.0166
Fosthiazate	1	0.1	0.0149 – 0.0149	0.0149
Diniconazole	1	0.1	0.0582 – 0.0582	0.0582
Cyprodinil	1	0.1	0.0374 – 0.0374	0.0374
Spirodiclofen	1	0.1	0.0311 – 0.0311	0.0311
Carbaryl	1	0.1	0.0185 – 0.0185	0.0185
Iprovalicarb	1	0.1	0.0229 – 0.0229	0.0229
Phorate	1	0.1	0.0215 – 0.0215	0.0215
Deltamethrin	1	0.1	0.0502 – 0.0502	0.0502
Chlorfluazuron	1	0.1	0.0343 – 0.0343	0.0343
Tebupirimfos	1	0.1	0.2712 – 0.2712	0.2712
Flutolanil	1	0.1	0.1035 – 0.1035	0.1035
Fluquinconazole	1	0.1	0.0145 – 0.0145	0.0145
Tebufenozide	1	0.1	0.0112 – 0.0112	0.0112
Fenitrothion	1	0.1	0.0239 – 0.0239	0.0239
Novaluron	1	0.1	0.0721 – 0.0721	0.0721