



ORIGINAL ARTICLES

LC-MS/MS를 이용한 잔류농약 다성분 분석 시 엽채류의
매질효과 특성 연구

이태하* · 김남호 · 박동주 · 허혜숙 · 김진아 · 박한솔 · 박소희 · 나영란

부산광역시 보건환경연구원 엄궁농산물검사소

Investigation of Matrix Effects on Multi-Residue Pesticide Analysis
in Leafy Vegetables Using LC-MS/MSTae-Ha Lee*, Nam-Ho Kim, Dong-Ju Park, Hye-Sook Heo, Jin-a Kim, Han-Sol Park,
So-Hee Park, and Young-Ran NaOffice of Eomgung Agricultural Products Inspection, Busan Metropolitan City Institute
of Health and Environment

(Received on November 3, 2025. Revised on November 18, 2025. Accepted on November 20, 2025)

Abstract. Six leafy vegetable commodities, perilla leaves, lettuce, crown daisy, spinach, young radish, and chicory, were collected from wholesale markets, large retailers, and eco-friendly stores and subsequently analyzed for pesticide residues using liquid-chromatography tandem mass spectrometer (LC-MS/MS). The ingredients of forty-eight pesticides were detected in the analyzed samples. Data analysis was conducted and utilized to evaluate for matrix effects. Based on the $\pm 20\%$ criterion, matrix effects exceeding the threshold only for imidacloprid were shown in lettuce, whereas perilla leaves exhibited the strongest matrix effects with eleven analytes exceeding $\pm 20\%$. Although spinach, crown daisy, chicory, and young radish had fewer affected analytes, the pattern and magnitude of matrix effects varied by commodity. In all commodities except perilla leaves, predominant ion enhancement was indicated by ionization efficiency analysis indicated, where thirty-nine analytes showed ion suppression. Among the 13 analytes exceeding $\pm 20\%$, seven exhibited suppression and six showed enhancement. As revealed by log P comparison, polar pesticides ($\log P < 3$) primarily demonstrated ion suppression, while non-polar pesticides ($\log P \geq 3$) displayed ion enhancement. Within the same commodity, sample comparisons showed that lettuce exhibited the highest consistency with most of the results showing an RSD $< 10\%$. Furthermore, crown daisy displayed the greatest variability, with 27 analytes showing an RSD $> 10\%$. These findings demonstrate that matrix effects differ substantially among leafy vegetables and vary even within the same commodity. These results are indicative of the matrix-matched calibration for reliable quantitative pesticide analysis.

Key words: LC-MS/MS, Leafy Vegetables, Matrix effects, Pesticides residues

서 론

식품안전에 대한 국민들의 관심이 증가하고, 농산물 선택에 농약 사용의 유무가 중요한 기준이 되면서 잔류농약에 대한 안전성 관리의 필요성과 중요성이 강조되고 있다. 이에 세계 각국에서는 국민 보건 향상을 위해 농약의 등록 및 사용과

더불어 잔류농약에 대한 관리와 규제가 이루어지고 있다(Jo, 2014; Lee and Lee, 2001).

질량분석기는 짧은 시간내에 다중 농약 성분의 동시 분석이 가능하고, 검출한계를 낮출 수 있는 장점으로 인해 식품분석 및 여러 분야에서 많이 사용되고 있는 기술이다. 하지만 반드시 해결해야 할 문제 중 하나는 매질효과(Matrix effects, MEs)이다(Taylor, 2005). LC-MS/MS에서의 매질효과는 분석물질과 공출되는 시료내의 다른 화합물에 의해 ESI (electrospray ionization)의 이온화 효율을 변화시킴으로써

*Corresponding author
E-mail: taeha0103@korea.kr

발생한다(Anneli et al., 2008). 분석물질 외의 유기 염기 농도가 증가함에 따라 분석물질의 유기염기 전자분무 반응이 감소함을 보여주었다(Tang and Kebarle, 1993). 정확한 메커니즘은 아직 밝혀지지 않았으나, 분석물과 공존하면서 검출되지 않는 매질 성분들 사이의 이온화 경쟁으로 비롯된 것일 수 있음을 보고하고 있다(Tang and Kebarle, 1993; Taylor, 2005). 이러한 현상은 민감도와 정확한 정량분석을 방해하므로 분석과정에서 발생하는 매질효과를 이해하기 위한 실험 수행이 필요하다(Anneli et al., 2008). 매질효과를 최소화하는 1차적인 방법은 시료의 전처리 과정에서 방해물질을 최대한 제거하는 것이지만 잔류농약 분석의 경우, 농산물에는 다양한 고유의 매질이 많기 때문에 전처리 과정을 통해서도 제거되지 않은 다량의 불순물이 포함되어 있다(Kwon et al., 2012). 최종 시험용액에 남아있는 불순물에 의한 매질효과를 보완하기 위해 분석 과정에서는 매질보정검량법(matrix-matched calibration), 표준물질첨가법(standard addition calibration) 및 내부표준법(internal standard calibration) 등을 사용한다. 「식품의 기준 및 규격」(Ministry of Food and Drug safety, 2025) 제8. 일반시험법 7. 잔류농약 시험법에서는 질량분석기를 이용한 정량분석에는 무처리 시료 첨가법(blank sample dilution calibration method) 사용을 명시하고 있으며, EU 가이드라인(SANTE/2020/12830 Rev.2)에서도 매질보정검량법 사용을 권장하고 있다. 하지만 모든 농산물과 동일한 매질을 갖는 무농약 시료를 준비하기는 쉽지 않기 때문에 「식품의 기준 및 규격」에서는 “질량분석기를 이용하여 2종류 이상 품목의 시료를 분석할 경우에는 임의의 무처리 시료 추출물 하나를 조제한 표준용액으로 분석할 수 있다”고 명시하고 있다. 실제로 식품의약품

안전처, 농산물품질관리원 및 전국 시·도 보건환경연구원등과 같은 분석 기관에서는 임의의 무처리 시료를 활용한 잔류농약 분석을 수행하고 있다. 하지만 시료의 매질 특성에 따라 발생하는 매질효과가 다르기 때문에 다양한 농산물을 대표할 수 있는 시료를 특정하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 잔류농약 분석 시 매질효과로 인해 발생하는 정량효율, 민감도, 정확성 등을 향상시키기 위해 업체류 품목에 따른 매질효과 특성을 확인하고, 향후 대표매질 선정에 필요한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

시료 및 분석항목

본 연구에서는 2022년부터 2023년까지 부산광역시 엄궁 농산물검사소에서 부산지역 내 도매시장, 전통시장, 대형마트 및 친환경 매장 등에서 유통되는 농산물을 대상으로 잔류농약 안전성 검사를 진행한 결과, 수거 빈도 및 농약 검출 상위 6품목(깻잎, 상추, 쪽갓, 시금치, 치커리, 열무)을 연구 대상으로 선정하였다. 연구에 사용한 해당 품목의 시료는 2024년 2월부터 10월까지 엄궁농산물검사소에서 진행한 농산물 안전성 검사 결과 GC-MS/MS 252종, LC-MS/MS 225종의 농약이 검출되지 않은 시료임을 확인 후 분쇄하여 -35°C의 냉동고에 보관하여 사용하였다.

분석항목은 LC-MS/MS 다성분 분석 대상 225종 중 2022년부터 2023년까지 엄궁농산물검사소에서 잔류농약 안전성 검사 결과 10회 이상 검출되고 1회 이상 허용 기준을 초과한 Acetamiprid 등 48종으로, 이성질체 및 대사체 등을 포함하여

Table 1. List of 48 pesticide contents (62 items) analyzed by LC-MS/MS

Pesticide contents			
Acetamiprid	Etofenprox	Metaflumizone E	Pyraclostrobin
Ametoctradin	Famoxadone	Metconazole	Pyribencarb
Amisulbrom	Fenazaquin	Methoxyfenozide	KIE-9749
Azoxystrobin	Fenpyroximate	Oxathiapiprolin	Pyridaben
Benthiavalicarb-isopropyl	Flonicamid	Phorate	Sulfoxaflor
Carbendazim	Fluazinam	Phorate oxon	Terbufos
Chlorantraniliprole	Flubendiamide	Phorate oxon sulfone	Terbufos oxon
Chlorfluazuron	Fludioxonil	Phorate oxon sulfoxide	Terbufos oxon sulfone
Cyantraniliprole	Fluopicolide	Phorate sulfone	Terbufos oxon sulfoxide
Cyazofamid	Flutriafol	Phorate sulfoxide	Terbufos sulfone
Cyclaniliprole	Hexaconazole	Picarbuzox	terbufos sulfoxide
Cyenoxyrafen	Imidacloprid	TZ-1E	Tetraniliprole
Cyflumetofen	Lufenuron	Propamocarb	Thiacloprid
Dinotefuran	Mandipropamid	Pydiflumetofen	Thiamethoxam
Emamectin B1a	Mefentrifluconazole	Pyflubumide	
Ethaboxam	Metaflumizone Z	Pyflubumide-NH	

총 62항목을 대상으로 하였다(Table 1).

시약

분석에는 Merck (Darmstadt, Germany)사의 liquid chromatography용 acetonitrile 및 methanol을 사용하였다. Formic acid는 LC-MS Grade로 Thermo Scientific사 (Waltham, MA, USA)에서 구입하였고, ammonium formate는 LC-MS Grade로 Merck사 (Darmstadt, Germany)의 제품을 사용하였다. 시험용수는 Water(Merck)와 PURELAB®Quest (ELGA LabWater, UK)에 의해 18.2 MΩ 수준으로 정제된 증류수를 사용하였다.

시료의 전처리에는 CHROMAtific사 (Heidenrod, Germany)의 QuEChERS Extraction salt kits (ENK1-SC, 4 g MgSO₄; 1 g NaCl; 1 g Na₂Citrate; 0.5 g Na₂HCitrate)와 QuEChERS Dispersive SPE kits (PM2EN, 150 mg PSA, 900 mg MgSO₄)를 각각 추출 및 정제 단계에서 사용하였다.

표준물질 및 표준용액 제조

표준물질은 식품의약품안전처로부터 지원받은 것으로, 각 그룹의 농도가 100 mg/L인 AccuStandard (New Haven, USA) 혼합표준품을 사용하였다. 혼합표준품을 methanol 용매를 이용하여 2 mg/L로 제조하여 혼합표준원액으로 사용하였다. 검량곡선 작성을 위해 혼합표준원액을 acetonitrile 용매로 희석한 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 mg/L의 농도에 6품목의 무처리 시료 추출물(blank sample)이 90% 포함되도록 혼합

및 희석하였다. 최종 검량곡선 5단계인 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 mg/L의 농도로 혼합표준용액을 준비한 후 -35°C에 냉동 보관하여 사용하였다.

분석장비 및 조건

분석에 사용한 LC-MS/MS는 Waters (Milford, MA, USA)의 ACQUITY UPLC I-Class PLUS (LC)와 Xevo TQ-S (MS/MS)를 사용하였다. 컬럼은 CORTECS UPLC C18+ 1.6 μm, 2.1 × 100 mm (Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였으며, 0.1% 포름산과 5 mM 아세트산 암모늄을 함유한 메탄올과 물을 이동상으로 사용하였다. 질량분석기의 이온화 방식은 ESI로 잔류농약 분석을 위해 사용한 기기분석 조건 및 MRM (Multiple Reaction Monitoring)조건은 Tables 2 및 3과 같다.

시료 전처리

시료의 전처리는 「식품의 기준 및 규격」 제8. 일반시험법 7.1 식품일반 7.1.2 다성분 시험법 7.1.2.2 다성분 시험법-제2법(Multiresidue methods)에 따라 실시하였다. 농산물은 분쇄기(Hanil, Seoul, Korea)를 사용하여 분쇄한 후 시료 약 10 g을 칭량하여 acetonitrile 10 ml를 넣고 혼합기(Collomix, Gaimersheim, Germany)를 이용하여 1분간 강하게 흔들어 혼합 후 무수황산마그네슘 4 g과 염화나트륨 1 g, 구연산이 나트륨·1.5수화물 0.5 g, 구연산삼나트륨·2수화물 1 g의 추출 키트(CHROMAtific, Germany)를 넣는다. 다시 혼합기로 1분간

Table 2. Analytical conditions of LC-MS/MS

Instrument	ACQUITY UPLC I-Class PLUS (Xevo TQ-S micro), Waters		
Column	CORTECS UPLC C18+ 1.6 μm (2.1 mm × 100 mm)		
Column temperature	40°C		
Flow rate	0.2 ml/min		
Injection volume	2 μl		
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 condition	Time (min)	A (%)	B (%)
	Initial	95	5
	0.65	95	5
	2.00	60	40
	8.00	30	70
	11.00	20	80
	15.00	0	100
	17.00	0	100
	19.00	95	5
Ionization mode	Electrospray ionization (ESI)		
Capillary voltage	3.00 kV		
Cone voltage	20 V		
Desolvation Temperature	450°C		

Table 3. MRM conditions of 48 pesticide contents (62 items) in LC-MS/MS for multi-residues analysis of pesticides

Pesticide contents	Mode	Retention time (min)	Precursor ion (<i>m/z</i>)	Product Ion (<i>m/z</i>)	Collision energy (eV)
Acetamiprid	+	4.49	223.10	99.05	35
				126.05	20
Ametoctradin	+	11.74	276.15	149.10	35
				176.10	35
Amisulbrom	+	12.12	465.95	148.00	67
				227.00	27
Azoxystrobin	+	8.65	404.00	344.00	12
				372.00	5
Benthiavalicarb-isopropyl	+	9.31	382.10	180.00	35
				197.00	20
Carbendazim	+	3.70	192.00	132.05	18
				160.00	15
Chlorantraniliprole	+	8.17	484.05	285.90	20
				452.90	20
Chlorfluazuron	+	14.10	540.10	158.00	25
				382.95	25
Cyantraniliprole	+	6.86	475.00	112.00	65
				285.95	15
Cyazofamid	+	9.92	325.05	108.05	16
				261.05	8
Cyclaniliprole	+	10.28	600.00	112.00	80
				283.90	20
Cyenopyrafen	+	14.16	394.20	254.10	20
				310.10	12
Cyflumetofen	+	12.37	465.15	173.05	15
				249.05	6
Dinotefuran	+	3.31	203.10	113.10	20
				129.05	20
Emamectin B1a	+	12.60	886.50	82.05	70
				158.10	40
Ethaboxam	+	7.07	321.15	183.05	23
				200.10	26
Etofenprox	+	15.40	394.15	135.10	25
				177.10	15
Famoxadone	+	10.91	392.20	238.10	25
				239.10	25
Fenazaquin	+	15.20	307.15	147.00	10
				161.10	7
Fenpyroximate	+	14.40	422.10	138.05	13
				366.10	5
Flonicamid	+	3.68	230.00	98.05	35
				20.305	15

Table 3. Continued

Pesticide contents	Mode	Retention time (min)	Precursor ion (<i>m/z</i>)	Product Ion (<i>m/z</i>)	Collision energy (eV)
Fluazinam	-	12.86	462.85	397.80	19
				415.80	22
Flubendiamide	+	10.40	683.00	274.00	29
				408.00	13
Fludioxonil	+	8.96	266.15	158.05	32
				229.05	10
Fluopicolide	+	9.24	383.10	109.00	60
				172.95	25
Flutriafol	+	7.4	302.10	70.00	20
				123.00	25
Hexaconazole	+	10.97	314.05	70.00	20
				159.00	25
Imidacloprid	+	4.10	256.20	175.05	18
				209.00	16
Lufenuron	-	13.10	508.90	325.80	20
				338.80	16
Mandipropamid	+	9.06	412.05	125.00	32
				328.00	13
				356.00	9
Mefentrifluconazole	+	10.84	398.05	70.05	25
				182.05	25
Metaflumizone E	+	12.74	507.05	178.05	25
				287.05	25
Metaflumizone Z	+	11.88	507.00	178.05	25
				287.05	25
Metconazole	+	11.10	320.10	70.05	20
				125.05	35
Methoxyfenozide	+	9.42	369.15	149.05	10
				313.10	5
Oxathiapiprolin	+	9.24	540.15	163.05	45
				500.10	25
Phorate	+	11.36	260.90	75.10	15
				97.00	20
				125.00	15
				199.05	8
Phorate oxon	+	8.07	245.00	47.05	28
				75.00	10
Phorate oxon sulfone	+	4.69	277.10	111.00	23
				127.00	15
Phorate oxon sulfoxide	+	4.41	261.05	97.00	25
				111.00	18
Phorate sulfone	+	7.33	293.00	115.00	25
				171.00	15

Table 3. Continued

Pesticide contents	Mode	Retention time (min)	Precursor ion (m/z)	Product Ion (m/z)	Collision energy (eV)
Phorate sulfoxide	+	7.22	278.10	154.00	28
				174.00	10
Picarbutrazox	+	10.30	410.05	107.05	25
				310.10	10
TZ-1E	+	10.12	410.10	107.05	25
				310.10	10
Propamocarb	+	2.89	190.05	109.00	20
				136.00	12
Pydiflumetofen	+	11.51	425.95	166.05	30
				192.95	30
Pyflubumide	+	13.33	536.15	111.10	20
				155.00	8
Pyflubumide-NH	+	12.41	466.10	111.10	18
				137.05	18
Pyraclostrobin	+	11.27	388.05	163.05	25
				194.05	15
Pyribencarb	+	8.35	362.10	207.00	20
				239.00	13
KIE-9749	+	7.55	361.90	206.90	30
				238.90	15
Pyridaben	+	14.62	365.10	147.05	15
				309.05	6
Sulfoxaflor	+	4.54	278.10	154.00	28
				174.00	10
Terbufos	+	12.81	289.00	103.00	10
				233.00	5
Terbufos oxon	+	9.74	273.00	103.10	10
				115.10	20
Terbufos oxon sulfone	+	5.63	305.05	95.00	35
				231.00	15
Terbufos oxon sulfoxide	+	5.35	289.05	115.00	30
				171.00	10
Terbufos sulfone	+	8.54	321.05	96.95	35
				114.95	30
Terbufos sulfoxide	+	8.59	305.10	131.00	30
				187.00	10
Tetraniliprole	-	7.89	543.00	108.90	78
				136.90	24
Thiacloprid	+	4.92	255.00	124.00	12
				132.00	12
Thiamethoxam	+	3.72	292.15	132.00	20
				211.00	15

강하게 흔들어 혼합 후 냉장 탁상형 원심분리기인 Avanti J-15R (BECKMAM COULTER, CA, USA)로 4°C, 4,000 G에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리하여 얻은 상층액 6 ml를 무수황산마그네슘 900 mg과 PSA (Primary Secondary Amine) 150 mg이 담겨있는 15 ml 정제키트(CHROMAtific, Germany)에 넣고 1분간 혼합하여 4°C, 4,000 G로 냉장원심분리기(Hanil Scientific Inc., Component wR, Gimpo, Korea)를 이용하여 10분간 원심분리하였다. 분리된 상층액을 PTFE syringe filter 0.2 µm (Merck millipore, MA, USA)로 여과 후 시험용액으로 사용하였다.

유효성 검증

분석 방법에 대한 유효성 검증을 위해 분석항목 48종(62 항목) 중 검출빈도 상위 10종의 농약을 대상으로 식품공전 잔류농약 분석법 실무 해설서(2023)와 식품·의약품 분야 시험·검사기관 품질관리를 위한 시험방법의 유효성 확인 및 검증 안내서(2021)에 따라 확인하였다. 검량곡선 작성을 위해 혼합표준용액을 acetonitrile로 희석 후 각 농산물 품목별 시험용액이 90% 포함되도록 희석하여 최종 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 mg/L의 농도를 이용하여 직선성을 확인하였다. 회수율은 식품등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인(2016)에서 Maximum Residue Limits (MRLs)이 없는 경우 Limit of Quantitation (LOQ), 10×LOQ, 50×LOQ로 제시한 농도에 따라 최종 시험용액이 0.01, 0.1, 0.5 mg/L의 농도가 되도록 전처리한 후 3회 반복 분석하였다. Limit of Detection (LOD) 및 LOQ는 LOQ의 2배에 해당되는 0.02 mg/L 농도를 7회 반복 분석하여 아래의 계산식을 이용하였다.

$$\text{LOD} = 3.3 \times \sigma/S, \text{LOQ} = 10 \times \sigma/S$$

(σ = standard deviation of response, S = slope of the calibration curve)

매질효과

매질효과는 QuEChERS kit를 이용하여 추출 및 정제한 시료 추출물을 사용하여 SANTE/2020/12830 Rev.2에 따라 실시하였다. 각 시료의 매질효과는 매질을 보정한 5단계의 매질보정표준용액(Matrix-matched calibration)의 검량곡선과 용매 바탕의 5단계의 용매표준용액 검량곡선의 기울기를 이용하여 계산하였다. 측정된 매질효과의 오차를 줄이고, 신뢰성 확보를 위해 매질보정표준용액과 용매표준용액을 각 3회 반복 분석하여 얻은 기울기의 평균값을 매질효과 계산에 사용하였다.

Matrix Effects (MEs, %) =

$$\left(\frac{\text{Slope of calibration curve in matrix}}{\text{Slope of calibration curve in matrix}} - 1 \right) \times 100$$

산출된 값이 음의 값일 경우 이온억제(ion suppression)의 이온화 효율을 나타내고, 양의 값은 이온상승(ion enhancement)의 이온화 효율을 나타낸다.

결과 및 고찰

유효성 검증

분석법의 유효성 검증을 위해 수거 빈도가 가장 많은 3품목(깻잎, 상추, 치커리)의 무농약 시료 추출물 사용하여 검출빈도 상위 10종의 농약에 대한 유효성 검증을 실시하였다. 5단계 농도의 표준용액을 분석한 검량선의 상관계수(R²)가 모든 성분에 대해 0.98 이상의 값을 보였으며, 이는 국제식품규격 위원회(CODEX)에서 제시하는 0.98 이상을 만족하였다. 검출한계(LOD)는 0.0003~0.0023 mg/kg, 정량한계(LOQ)는 0.0008~0.007 mg/kg 범위를 나타내었다(Table 4).

회수율 시험은 6품목의 농산물을 대상으로 48종(62항목)의

Table 4. Matrix matched linear range, LOD, LOQ and RSD of the multi-residue analysis of pesticides in 3 commodities of leafy vegetables

Pesticide content	Lettuce			Perilla leaves			Chicory		
	R ²	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	R ²	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	R ²	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)
Azoxystrobin	0.9989	0.0010	0.0030	0.9996	0.0009	0.0027	0.9998	0.0023	0.0070
Carbendazim	0.9895	0.0005	0.0015	0.9996	0.0009	0.0028	0.9995	0.0003	0.0008
Chlorantraniliprole	0.9988	0.0009	0.0026	0.9992	0.0016	0.0048	0.9997	0.0011	0.0033
Cyantraniliprole	0.9995	0.0006	0.0018	0.9982	0.0009	0.0028	0.9998	0.0006	0.0020
Dinotefuran	0.9991	0.0004	0.0012	0.9998	0.0005	0.0016	0.9999	0.0009	0.0027
Fludioxonil	0.9989	0.0005	0.0015	0.9997	0.0013	0.0040	0.9991	0.0012	0.0037
Imidacloprid	0.9988	0.0003	0.0010	0.9999	0.0005	0.0016	1.0000	0.0006	0.0017
Pyraclostrobin	0.9995	0.0007	0.0022	0.9996	0.0012	0.0037	0.9997	0.0009	0.0026
Sulfoxaflor	0.9975	0.0005	0.0014	0.9996	0.0008	0.0023	0.9988	0.0012	0.0037
Thiamethoxam	0.9993	0.0004	0.0012	0.9997	0.0010	0.0030	0.9997	0.0003	0.0010

분석성분에 대해 수행하였다. 0.01 mg/kg에서 66.5~117.7%, 0.1 mg/kg에서 76.3~117.7%, 0.5 mg/kg에서 72.0~108.5% 범위를 나타냈으며, 모든 품목에서 RSD는 10% 미만을 보여 각 농도에 따른 인정 기준을 만족한 것을 확인하였다(Tables 5 및 6). 이에 본 분석방법은 엽채류 품목별 매질효과 분석에 적합한 것으로 판단되었다.

Table 5. Criteria of recovery and precision in validation (CODEX)

Concentration (mg/kg)	Range (%)	RSD (%)
≤ 0.001	50 ~ 120	36
> 0.001 ~ ≤ 0.01	60 ~ 120	32
> 0.01 ~ ≤ 0.1	70 ~ 120	22
> 0.1 ~ ≤ 1	70 ~ 110	18

Table 6. Recoveries and RSDs of 48 pesticide contents (62 items) at 3 levels in 6 commodities leafy vegetables

Pesticide content	Lettuce (Means±RSD ^a ,%)			Perilla leaves (Means±RSD,%)			Chicory (Means±RSD,%)		
	0.01 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg	0.01 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg	0.01 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg
Metaflumizone	109.4±1.3	114.7±0.9	103.5±0.4	87.5±0.6	97.1±1.2	98.5±1.7	102.6±1.2	97.8±1.3	100.0±1.5
Acetamiprid	102.4±0.5	112.4±1.3	99.9±1.4	80.2±0.6	90.7±1.2	90.0±1.3	101.2±1.2	97.1±0.9	106.1±0.4
Ametoctradin	98.4±2.8	92.2±0.6	95.4±1.3	85.2±0.6	87.6±2.7	88.3±2.0	97.9±5.2	92.2±5.8	93.1±0.7
Amisulbrom	114.7±1.1	112.6±2.0	104.0±1.4	87.2±1.6	97.8±2.7	97.7±2.0	103.5±1.5	96.9±0.7	103.7±1.2
Azoxystrobin	115.0±0.3	115.6±0.7	103.8±1.3	86.2±1.7	98.7±2.4	98.8±2.0	99.5±2.1	101.7±0.8	94.9±1.9
Benthiavalicarb-isopropyl	99.7±2.0	101.3±2.0	96.7±3.4	90.8±1.1	94.5±0.9	95.1±1.2	100.5±0.6	96.9±1.0	103.1±1.7
Carbendazim	97.7±0.8	113.7±2.0	98.5±1.0	75.5±0.9	82.9±1.4	84.7±0.9	99.5±1.6	95.1±0.9	101.6±0.4
Chlorantraniliprole	103.7±1.1	110.3±1.3	100.4±1.3	86.5±0.8	94.0±1.3	93.9±3.0	104.4±1.5	97.8±1.5	106.6±0.5
Chlorfluazuron	101.1±1.1	101.3±1.9	92.8±0.6	82.8±1.2	85.4±2.6	80.7±1.7	97.6±3.3	96.8±1.9	99.6±1.5
Cyantraniliprole	84.8±0.9	111.4±1.4	96.7±0.6	98.5±1.0	100.8±1.1	100.0±0.6	100.5±1.5	97.9±2.7	84.3±0.9
Cyazofamid	100.1±1.1	112.1±2.4	96.2±0.5	92.2±1.7	95.9±0.6	94.9±1.1	97.6±0.6	96.1±1.8	104.8±0.8
Cyclaniliprole	102.1±1.4	108.8±1.1	98.9±1.3	88.5±0.6	94.7±2.0	94.3±1.6	98.6±3.2	94.8±0.7	79.8±1.7
Cyenopyrafen	110.0±0.3	109.8±1.9	106.9±0.9	91.5±0.6	93.4±1.7	93.8±1.3	100.8±1.0	98.9±1.7	102.6±1.2
Cyflumetofen	106.4±0.8	109.4±0.6	103.6±1.7	84.8±1.2	87.4±1.3	87.9±1.4	102.5±0.6	98.4±1.8	103.7±0.6
Dinotefuran	95.1±0.4	105.9±0.6	92.7±1.8	79.8±0.1	89.4±0.7	88.6±0.3	99.2±1.5	97.4±1.1	97.4±3.3
Emamectin B1a	100.1±1.1	110.4±1.2	105.3±0.9	77.5±0.7	90.0±0.8	94.2±2.2	97.2±0.6	96.1±1.1	97.1±0.5
Ethaboxam	100.1±1.3	107.4±3.2	95.7±2.1	94.2±2.5	98.4±0.8	100.7±2.2	101.8±1.0	97.4±1.8	103.8±0.7
Etofenprox	92.4±0.9	98.1±1.1	95.4±1.0	81.2±0.6	89.7±3.2	88.4±1.5	95.0±3.6	97.6±1.4	101.4±1.1
Famoxadone	105.1±1.2	109.3±0.4	99.1±1.6	84.8±1.1	99.4±4.6	98.3±0.5	100.2±2.5	94.5±2.1	100.1±2.7
Fenazaquin	96.4±0.9	99.1±0.8	91.7±0.6	81.5±1.3	80.2±1.2	79.8±0.3	99.9±0.1	97.9±0.8	100.2±1.0
Fenpyroximate	105.4±1.2	107.9±1.8	107.9±1.8	86.8±0.1	91.4±1.8	92.0±1.8	99.2±0.5	99.2±1.3	101.9±1.1
Fonicamid	95.7±1.7	107.6±2.9	94.4±1.4	81.2±1.5	92.4±1.5	89.8±1.4	100.2±1.2	95.8±1.0	97.7±1.5
Fluazinam	95.5±3.8	88.5±4.2	94.1±2.7	91.7±2.6	81.1±1.4	72.0±0.8	93.0±7.4	76.6±3.3	94.0±6.1
Flubendiamide	98.4±3.6	105.6±3.6	93.1±3.4	83.2±1.5	98.7±1.8	98.0±4.2	104.4±2.2	100.1±1.7	102.8±1.8
Fludioxonil	100.7±2.4	104.9±0.4	94.9±1.2	85.8±0.1	94.7±0.2	93.6±2.1	104.4±1.2	96.1±2.2	106.3±1.9
Fluopicolide	100.4±1.4	108.6±2.6	96.7±0.7	85.5±1.4	95.0±1.0	96.3±1.5	102.2±1.6	96.8±0.7	107.9±0.5
Flutriafol	97.7±0.8	108.8±2.6	95.2±1.5	85.5±0.8	94.9±1.0	96.0±0.3	97.6±0.6	97.3±1.7	101.8±0.8
Hexaconazole	101.4±1.8	108.9±0.7	95.9±1.0	80.5±0.8	95.5±0.1	95.0±0.7	102.1±0.6	97.1±1.3	99.8±3.3
Imidacloprid	99.1±1.1	112.4±1.0	98.5±3.0	79.2±0.8	89.0±1.0	85.8±1.0	102.1±0.6	97.4±2.3	100.3±1.4
Lufenuron	95.2±0.6	91.7±4.1	99.2±2.1	101.1±4.9	109.6±5.2	102.4±4.2	97.1±7.3	105.0±0.6	94.4±8.8
Mandipropamid	101.7±1.1	111.6±1.4	96.3±0.7	87.2±1.8	95.4±1.4	95.8±3.2	103.1±0.5	96.6±0.9	92.4±1.0
Mefentrifluconazole	98.7±0.8	109.9±1.6	93.7±1.9	87.8±1.9	93.7±0.4	95.5±3.3	102.5±2.5	96.4±0.5	100.1±2.9
Metconazole	101.4±0.5	109.8±2.6	95.3±1.8	84.2±1.7	92.0±1.3	91.9±1.1	101.2±0.5	96.9±0.7	101.6±0.9
Methoxyfenozide	100.1±0.7	105.1±0.6	100.9±3.9	80.2±1.9	98.0±0.4	95.6±2.1	98.9±1.1	97.6±0.4	98.8±1.9
Oxathiapiprolin	103.4±1.4	110.4±2.2	102.3±1.1	91.2±0.7	95.0±2.0	96.5±1.3	103.8±2.0	98.1±0.6	105.5±0.8
Phorate	97.5±0.7	101.1±1.3	97.6±1.0	84.4±0.4	94.6±0.6	95.0±1.0	100.7±1.3	96.6±0.2	102.6±0.7
Picarbutrazox	104.9±0.4	104.3±1.4	100.0±1.8	86.8±0.7	95.6±0.3	96.0±1.8	103.0±0.8	98.7±1.0	103.6±1.1
Propamocarb	88.4±0.6	98.0±2.1	92.4±0.6	66.5±0.8	76.3±0.8	80.1±0.8	92.7±0.6	92.3±2.7	100.9±0.6
Pydiflumetofen	103.4±2.2	110.9±0.6	100.1±1.4	82.5±0.6	92.0±1.6	91.4±3.3	98.6±4.1	96.3±1.4	97.5±3.6
Pyflubumide	105.0±1.3	110.2±1.4	105.9±0.9	86.2±0.8	95.2±1.0	94.7±1.2	103.1±1.3	99.9±2.0	102.5±0.7
Pyraclostrobin	101.4±0.9	112.1±11.0	101.0±0.8	83.8±1.1	93.2±1.0	92.7±0.9	101.8±1.0	96.9±0.5	100.1±1.5
Pyribencarb	99.4±0.9	113.1±0.5	101.6±0.5	89.3±1.5	97.3±0.2	97.1±1.0	103.3±2.1	98.9±0.7	100.1±1.4

^aRSD: Relative standard deviation (n = 3)

Table 6. Continued

Pesticide content	Lettuce (Means±RSD ⁰ ,%)			Perilla leaves (Means±RSD,%)			Chicory (Means±RSD,%)		
	0.01 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg	0.01 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg	0.01 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg
Pyridaben	99.4±0.6	103.1±1.4	99.9±0.8	78.2±0.8	87.7±0.5	87.1±1.0	95.9±3.1	98.9±2.0	101.5±0.9
Sulfoxaflor	94.4±1.3	110.1±0.3	97.1±3.7	80.2±1.6	91.9±1.0	91.0±1.2	99.9±1.1	96.6±0.8	104.4±2.2
Terbufos	99.9±0.8	104.2±0.9	96.0±0.6	85.9±0.9	93.0±0.4	93.1±1.1	102.5±1.1	98.5±0.4	104.2±0.2
Tetraniliprole	76.5±4.8	100.3±0.1	72.4±2.9	103.7±3.3	89.4±4.7	75.1±3.5	97.5±4.8	102.9±2.5	89.9±3.9
Thiacloprid	100.4±0.8	117.7±0.8	105.9±0.5	73.9±0.1	91.9±1.0	90.8±1.0	102.5±1.5	98.9±1.2	104.6±0.1
Thiamethoxam	93.4±0.6	108.6±0.8	95.0±1.4	83.8±0.1	89.0±1.5	87.1±0.5	94.6±1.2	93.3±1.1	97.0±0.8
Metaflumizone	104.1±2.9	100.0±1.3	103.9±0.8	102.1±0.6	97.6±0.5	102.3±1.6	105.1±1.7	112.7±0.8	104.6±0.2
Acetamiprid	103.1±2.0	96.2±0.6	100.0±1.3	101.6±1.3	98.1±1.1	102.4±1.5	100.4±1.4	103.7±1.4	98.7±0.9
Ametoctradin	103.5±1.5	94.5±1.7	100.0±2.5	96.3±7.6	96.1±0.8	98.5±5.8	101.8±3.0	108.2±1.1	102.2±2.4
Amisulbrom	106.5±1.0	100.2±1.2	104.8±1.0	106.2±0.4	98.1±0.3	103.8±1.4	102.4±1.5	107.9±1.8	101.4±0.7
Azoxystrobin	108.1±4.6	101.5±4.1	103.2±1.5	105.5±2.1	101.7±4.0	99.6±2.4	103.8±1.8	108.4±1.7	100.2±3.0
Benthiavdicarb-isopropyl	108.5±0.6	97.0±0.3	102.4±1.9	106.5±1.4	100.4±1.7	106.1±0.3	107.1±3.9	111.3±0.7	102.6±.5
Carbendazim	100.8±1.1	95.0±0.2	102.1±2.0	103.9±0.8	96.3±1.0	102.6±0.8	97.5±4.3	104.6±1.1	99.3±2.0
Chlorantraniliprole	97.2±2.3	97.3±0.9	97.9±0.9	105.±0.6	99.0±0.6	105.6±1.0	105.1±2.0	110.2±1.3	102.7±0.9
Chlorfluazuron	105.8±2.5	94.5±1.4	99.2±1.3	98.3±1.9	97.9±3.5	98.7±0.7	98.5±7.0	110.5±1.1	103.0±1.4
Cyantraniliprole	103.8±0.9	96.5±1.9	102.6±1.1	105.2±0.6	98.9±2.0	105.5±0.9	100.8±3.0	106.2±1.8	99.3±3.6
Cyazofamid	104.1±1.0	99.0±0.6	102.8±1.6	104.9±0.8	99.2±0.5	103.7±0.8	106.4±0.4	109.5±1.7	103.1±1.4
Cyclaniliprole	90.2±0.7	95.8±0.5	100.0±1.7	107.8±1.1	98.5±2.5	102.2±2.8	101.1±1.1	107.6±1.1	100.3±0.7
Cyenoxyrafen	106.1±2.0	101.5±2.3	104.8±0.9	103.2±0.7	104.1±1.7	104.7±0.8	104.1±0.6	105.6±1.9	99.5±2.4
Cyflumetofen	102.1±2.0	97.2±0.7	102.6±0.3	102.6±1.3	98.7±0.8	103.9±0.6	99.4±1.3	102.1±1.8	97.3±2.0
Dinotefuran	103.1±0.6	98.8±1.0	102.2±1.5	97.0±0.8	97.9±1.0	101.6±1.1	96.1±1.6	102.3±0.9	97.8±1.0
Emamectin B1a	105.1±1.5	99.8±2.4	107.7±0.4	109.5±1.4	96.1±1.1	101.8±1.4	101.4±0.5	114.3±1.1	106.9±0.9
Ethaboxam	107.5±3.0	99.3±1.5	101.0±1.5	109.1±1.8	101.2±1.1	107.2±0.6	102.8±1.0	111.0±1.9	103.0±1.3
Etofenprox	101.5±1.5	97.2±1.3	101.8±1.7	99.6±5.6	99.0±3.2	103.5±0.6	92.8±3.2	103.9±0.6	99.3±0.8
Famoxadone	108.5±1.9	100.2±0.8	101.0±1.7	102.2±2.9	96.6±0.8	101.3±1.1	97.8±1.2	107.6±4.0	102.0±2.3
Fenazaquin	104.5±0.6	91.4±0.5	99.1±2.5	98.3±1.6	98.9±1.5	102.6±0.6	99.1±1.2	102.8±1.2	98.1±1.3
Fenpyroximate	105.5±1.0	102.5±2.0	108.5±1.0	101.9±2.0	101.2±2.0	106.2±1.1	103.8±3.0	109.9±0.9	101.6±2.1
Fonicamid	104.5±1.5	94.3±0.5	98.6±0.7	98.3±1.4	96.4±0.9	101.1±1.6	98.1±2.7	104.6±0.8	98.2±1.8
Fluazinam	78.2±3.0	98.0±3.3	93.7±3.0	117.7±1.9	102.0±1.2	106.6±2.2	89.8±1.2	94.0±1.9	88.2±1.2
Flubendiamide	103.1±2.1	94.3±2.8	98.3±1.3	103.9±2.4	97.4±2.3	103.4±0.5	97.1±5.7	106.4±1.3	99.8±0.6
Fludioxonil	105.8±1.9	100.3±1.3	104.2±0.0	109.5±3.7	99.4±3.1	102.7±1.3	103.8±1.8	109.0±0.5	103.0±0.8
Fluopicolide	103.5±2.3	97.8±0.1	98.8±1.2	100.3±1.3	96.4±8	100.4±5	99.1±1.2	108.9±1.3	102.3±1.3
Flutriafol	103.1±2.0	98.8±0.1	102.0±1.5	103.9±0.2	99.9±1.3	106.1±0.3	101.4±1.6	106.2±1.3	101.1±1.4
Hexaconazole	103.1±2.0	99.3±1.4	101.2±1.9	102.2±1.9	98.4±1.4	102.5±0.9	107.8±2.7	115.5±1.8	102.8±2.8
Imidacloprid	102.8±1.7	97.3±1.4	100.0±0.9	98.0±2.1	97.9±4.1	99.0±0.7	100.4±1.5	108.4±0.9	100.7±1.4
Lufenuron	73.2±0.7	102.4±6.0	92.4±7.4	115.8±2.2	95.5±6.2	105.9±2.7	111.1±7.4	113.3±4.7	100.7±7.3
Mandipropamid	108.5±2.1	101.0±0.5	98.8±1.1	107.5±2.0	98.7±1.8	104.3±0.7	99.1±4.2	106.7±1.6	100.2±1.9
Mefentrifluconazole	101.8±2.6	96.8±2.7	99.5±2.1	105.5±0.7	97.6±1.0	103.6±1.1	101.4±1.6	107.7±0.6	102.2±1.4
Metconazole	103.8±1.0	98.2±0.6	103.7±0.9	104.9±0.8	98.9±0.8	104.6±0.6	99.8±1.1	106.7±1.1	100.1±1.7
Methoxyfenozide	99.2±1.5	97.8±0.1	102.1±2.3	99.9±1.9	97.7±1.5	102.7±1.8	98.1±3.0	106.6±3.1	103.9±2.0
Oxathiapiprolin	105.1±0.5	97.8±0.6	102.1±1.9	105.8±1.7	98.6±0.8	1105.3±1.9	102.1±1.6	108.9±1.1	103.1±1.5
Phorate	104.5±2.7	97.8±0.5	101.6±0.7	100.6±1.1	98.1±0.0	102.8±0.9	101.1±0.5	108.6±1.9	101.8±1.6
Picarbtrazox	98.0±1.3	97.2±0.5	101.6±0.6	105.0±0.5	98.9±1.6	104.6±0.6	99.3±0.5	105.2±1.7	99.7±1.4
Propamocarb	100.2±0.7	94.5±0.6	103.7±0.8	97.0±1.1	94.5±2.7	88.2±2.8	90.8±2.1	98.5±1.6	96.6±1.0
Pydiflumetofen	103.5±1.1	98.0±1.9	101.4±0.5	101.6±4.7	98.6±0.3	105.1±0.6	102.8±1.0	109.0±1.2	102.3±1.5
Pyflubumide	107.4±1.9	99.9±0.3	105.0±1.3	102.0±1.4	99.1±1.4	105.0±0.7	104.4±3.5	107.2±0.9	103.1±0.4
Pyraclostrobin	100.5±1.6	96.0±0.3	102.2±2.3	101.6±4.7	98.6±.6	104.2±1.0	105.1±1.5	112.4±1.7	103.0±1.1
Pyribencarb	104.8±1.0	100.3±0.8	106.8±0.3	104.7±0.6	99.4±1.1	106.3±0.7	99.3±1.6	106.2±2.1	101.3±1.3
Pyridaben	102.5±1.2	98.3±0.6	102.2±2.0	97.0±2.2	100.5±5.2	100.6±1.7	98.8±1.1	107.1±1.1	100.5±1.6
Sulfoxaflor	102.5±1.5	96.2±0.8	100.1±1.1	99.6±2.9	98.2±1.5	99.2±1.9	96.1±0.6	102.3±3.7	99.3±1.7
Terbufos	102.9±1.0	97.4±0.5	102.5±0.3	104.6±1.5	98.9±0.5	103.7±0.8	100.0±1.3	107.3±1.0	101.7±1.5
Tetraniliprole	111.8±1.6	84.7±3.8	86.9±1.7	110.2±3.7	97.5±1.9	103.7±4.5	96.5±4.7	111.4±4.9	108.4±1.0
Thiacloprid	104.8±1.6	102.5±0.8	104.9±0.2	93.0±1.9	95.6±3.0	99.1±0.5	99.4±2.1	103.4±1.2	99.5±1.6
Thiamethoxam	102.1±1.2	93.0±0.2	97.1±1.1	95.3±0.8	97.4±2.6	98.4±0.2	101.4±2.4	109.0±1.5	101.3±1.8

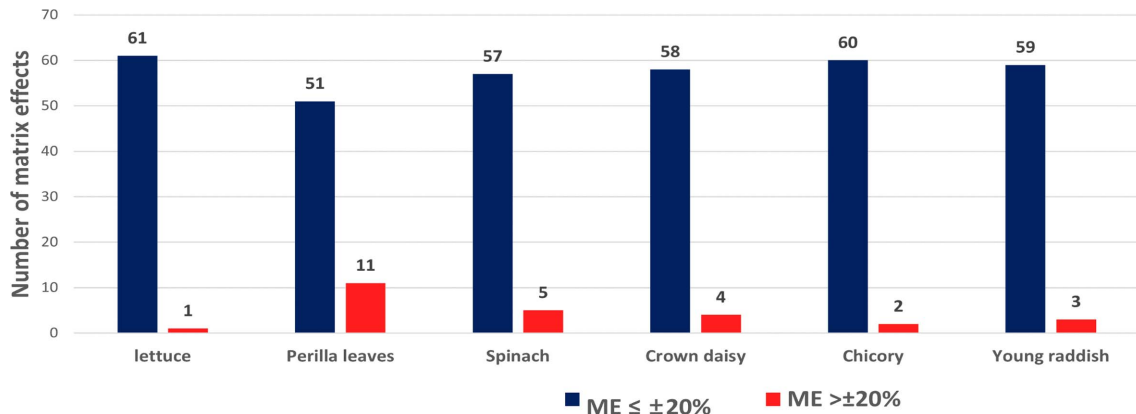


Fig. 1. The number of matrix effects classified by range for leafy vegetables.

엽채류 품목별 매질효과

48종(62항목)의 농약에 대한 6개 엽채류 품목의 매질효과를 분석하였다(Table 7). EU 가이드라인(SANTE/2020/12830 Rev.2)에서는 매질효과가 $\pm 20\%$ 를 초과할 경우 매질에 의한 영향이 현저한 것으로 보고 매질 보정을 통한 정량분석을 요구한다. 반면, 매질효과가 $\pm 20\%$ 이내일 경우 용매바탕표준검량을 통해 스크리닝 분석이 가능함을 명시하여 본 연구에서는 $\pm 20\%$ 를 기준으로 매질효과를 분류하였으며 엽채류 품목별 매질효과는 Fig. 1과 같다.

상추에서는 62개 분석 항목 중 61개 항목이 $\pm 20\%$ 이내의 매질효과를 나타냈으며, imidacloprid는 상추에서 유일하게 40%의 높은 매질효과를 보였다. 치커리에서는 fenazaquin, imidacloprid에서 $\pm 20\%$ 를 초과하는 매질효과를 보였으며, 열무는 amisulbrom, fenazaquin, imidacloprid 3개 항목에서 $\pm 20\%$ 를 초과하는 매질효과가 나타났다. 썩갠 것은 amisulbrom, fluazinam, imidacloprid, tetraniliprole 4개 항목에서 $\pm 20\%$ 를 초과하였으며, 시금치에서는 cyflumetofen, ethaboxam, etofenprox, fenazaquin, imidacloprid 5개 항목에서 $\pm 20\%$ 를 초과하는 매질효과를 보였다. 깻잎은 amisulbrom, etofenprox, imidacloprid 등 11개 항목에서 $\pm 20\%$ 를 초과하는 매질효과를 보여, 가장 매질효과가 높아 정량분석의 정확성을 확보하기 위해서는 매질을 보정한 분석이 필요한 품목임을 확인하였다. 깻잎을 제외한 5개 엽채류 품목에서 대부분의 분석 항목이 $\pm 20\%$ 이내의 매질효과를 나타냈지만, 품목별로 높은 매질효과를 나타낸 농약의 종류와 크기에는 차이가 있었다. 깻잎은 매질 보정이 필요한 정도의 매질효과가 나타난 분석 항목이 가장 많았으며, 시금치의 경우 매질효과가 높게 나타난 분석 항목의 수는 적었지만, 매질효과 크기는 다른 품목들에 비해 훨씬 큰 값을 보였다. 전처리 후 시험용액을 각 품목별로 비교했을 때 깻잎과 시금치에는 여전히 색소 성분이 다량 포함되어 있었다. 선행 연구들에서 채소류 중 높은 매질효과를 나타낸 마늘, 양파, 부추 대파 등과 같은 allium 속 작물은 분쇄 등의 전처리 과정에서 allyl sulfides류의 화합물이 생성되어 분석에

어려움이 많은 것으로 알려져 있다(Anneli et al., 2013; Choi, 2023). 또한 chlorophyll 함량이 높은 부추, 깻잎, 시금치 등 역시 매질효과가 크게 나타나는 품목이다(Nishihara et al., 2001; Zhen et al., 2022). 이러한 성분들은 정제 과정에서 충분히 제거되지 않고 시험용액에 남아 이온화 과정에서 간섭물질로 작용하므로 본 연구에서도 깻잎과 시금치에서 매질효과가 크게 나타나는 것으로 생각된다. 하지만 원인 탐색을 위해 시료의 색소 성분이나 영양 성분, 향기 성분 등에 따른 매질효과 차이를 비교해보는 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

이처럼 특정 분석 항목의 매질효과가 품목과 관계없이 비슷한 항목도 있었지만, 품목별로 그 값이 크게 차이가 나는 분석 항목이 있기 때문에 용매바탕의 검량분석보다는 매질을 보정한 정량 분석이 필요하다고 판단된다.

이온화 효율

엽채류 6개 품목의 이온화 효율에 따른 이온상승 및 이온억제 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 상추, 시금치, 치커리, 열무에서는 이온상승, 깻잎에서는 이온억제가 우세한 경향을 나타냈다. 썩갠 것은 이온상승과 이온억제가 동등한 비율로 발생하였지만, 대체적으로 이온상승의 매질효과가 엽채류 품목에서 우세하게 나타났다.

본 연구 결과에서 $\pm 20\%$ 의 매질효과를 나타낸 13개의 농약항목 중 이온억제의 매질효과를 나타낸 분석항목은 7개 항목으로, carbendazim, etofenprox, fenazaquin, fluazinam, lufenuron, sulfoxaflor, tetraniliprole이었다. 이온상승의 매질효과를 보인 분석 항목은 6개로 amisulbrom, chlorfluazuron, cyflumetofen, fepyrroximate, imidacloprid, pyflubumide가 있었다(Table 7). 이온상승의 매질효과는 용매바탕표준곡선을 이용한 분석에서 값이 과하게 정량될 수 있지만, 스크리닝 단계에서 검출되어 MRLs에 근접한 결과를 얻었다면 추가 정량분석을 통해 정확한 정량분석이 가능하다. 하지만 이온억제의 매질효과와 이온화 과정에서 매질 조성물과의

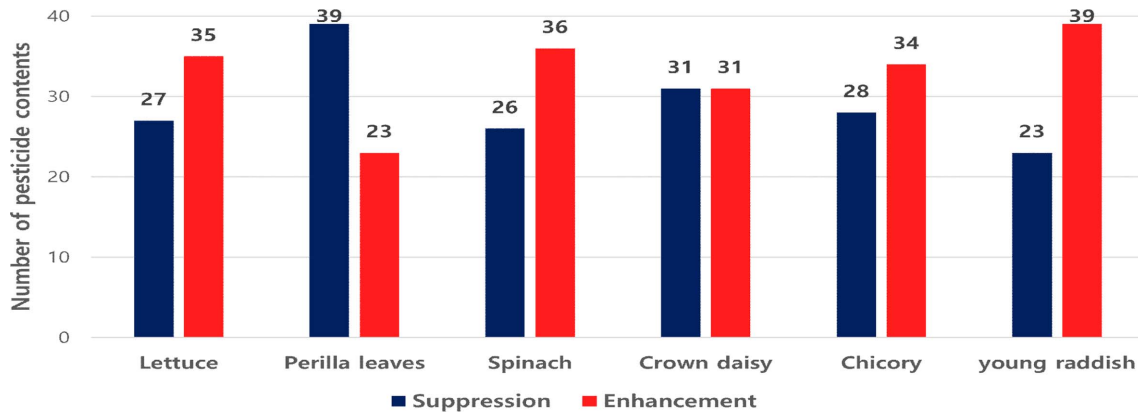


Fig. 2. Matrix effects according to ionization efficiency by commodities of leafy vegetables.

경쟁으로 인해 불충분한 이온화가 진행되고, 실제 양보다 낮은 결과 얻을 수 있어 스크리닝 단계에서 놓칠 수 있는 단점이 있다.

매질효과는 질량분석기의 ESI 모드에서 발생하는 현상으로, 가장 근본적인 원인은 분석 대상 물질과 공출되는 시료 내 성분들이다(Anneli et al., 2008; Tang and Kebarle, 1993). 이 성분들은 이온화 과정에 영향을 줄 수 있는 것으로, 분석 시료의 고유 물질이나 이동상의 첨가제, 시료 준비 과정에서 유입된 오염물질 등에서 유래될 수 있다(Gosetti et al., 2010; Wanlong et al., 2017). 농산물은 다양한 물질로 구성되어 극성의 sugar, glycoside, flavonoid 등과 비극성의 aromatic carboxylic acid, fatty acid 등이 있다(Barnes et al., 1995). 이러한 성분은 방해 물질로 분석 성분과 이온경쟁을 통해 이온억제를 발생시키거나, 재료의 물리적 특성을 변경하기 위해 재료에 첨가하는 소량의 물질인 dopant로써 이온화 에너지가 높은 분석 물질의 이온화 효율을 증가시켜 이온상승을 발생시킬 수 있다(Steiner et al., 2020). 극성의 분석 물질일수록 이온억제가 더 많은 반면, 유기용매는 positive ion mode에서 특히 ESI 신호를 증가시키는 경향이 있다(JL Sterner et al., 2000; R Bonfiglio et al., 1999). Jo (2014)의 연구에서는 농약의 물리·화학적 특성 비교를 통한 매질효과를 확인하고자 옥탄올-물 분배계수인 log P의 값을 활용하였다. Log P의 값 3을 기준으로 분류할 수 있으며, 3 미만의 값은 극성, 3 이상의 경우 비극성 농약으로 분류할 수 있다(Choi, 2023; Jo, 2014). 본 연구에서도 각 농약 항목별 log P에 따른 이온화 효율을 비교한 결과, log 3 미만의 극성 농약 25개 중 acetamiprid, dinotefuran 등 14개의 항목에서 이온억제의 이온화가 우세하였으며, cyaniliprole, ethaboxam 등 8개 항목에서는 이온상승의 이온화가, cyantraniliprole 등 3개 항목은 이온억제 및 이온강화의 이온화 효율이 동일하게 나타난 것을 확인하였다. Log P 3 이상의 비극성 농약 37개 중 ametoctradin, fenazaquin 등 12개의 농약 항목에서 이온억제가 우세했으며, famoxadone, Emamectin B1a 등 21개의

항목에서는 이온강화가, fluazinam, pyraclostrobin 등 4개 항목은 이온억제 및 이온강화가 동일하게 나타났다(Table 7). Bonfiglio et al. (1999)의 연구에서는 화합물의 화학적 성질이 매트릭스 효과에 중요한 영향을 미친다고 하였으며, 서로 다른 극성의 화합물을 연구한 결과 가장 극성이 큰 화합물에서 가장 큰 이온억제의 매질효과를 보였고 극성이 낮은 화합물은 이온억제의 영향을 낮게 받음을 확인하였다. Jo (2014)와 Na(2020)의 연구에서도 농약의 log P가 3보다 작은 극성의 항목일수록 이온억제 경향이 크다고 보고하였으며, 본 연구에서도 극성의 농약에서는 이온억제의 매질효과가 우세했으며, 비극성의 농약에서는 이온강화의 매질효과가 우세하게 나타나 선행 연구결과들과 일치하는 것을 확인하였다. 하지만 Choi(2023)의 연구에서는 농약의 log P 값보다는 농산물의 고유한 매질에 의한 영향이 매질효과 발생에 더 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다. log P 값에 따른 농약 항목의 극성은 농약의 화학적·물리적 성질을 설명하는 하나의 지표로는 사용할 수 있으나, 매질효과를 설명하기에는 부족한 것으로 보여 더 다양한 지표들을 대상으로 매질효과에 대한 체계적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

전처리 과정에서 충분히 제거되지 않은 시료의 조성물이 농약 성분과 함께 공출되면서 동일한 분석 항목이라도 엽채류 품목에 따라 매질이 다르므로 이온화 효율에는 차이가 생길 수 있고, 실제로 이러한 사실을 본 연구의 결과를 통해 유추해 볼 수 있었다. 따라서 이온화 효율의 차이에서 발생하는 문제점을 보완하기 위해서는 충분한 전처리 과정을 통해 분석 성분 외의 매질을 최대한 제거하는 것이 정량분석의 정확성을 확보하기 위한 중요한 단계라고 생각된다.

동일 품목 시료간 매질효과

앞서 엽채류 품목별 매질효과의 크기와 분석 항목의 종류가 다르므로 임의의 무처리 시료를 활용한 매질효과에 대한 충분한 고려가 필요함을 확인하였다. 이에 동일한 품목의 서로 다른 시료는 각각의 품목을 대표할 수 있는 매질효과 경향

Table 7. Matrix effects and ranges(soft, medium, strong) for 48 pesticide contents (62 items) by 6 commodities of leafy vegetables and enhancement and suppression according to ionization efficiency

No.	Pesticide contents	Log p	Matrix effect (%)					
			Lettuce	Perilla leaves	Spinach	Crown daisy	Chicory	Young raddish
1	(E)-Metaflumizone	4.6	3.51	6.27	2.87	6.77	-0.40	7.43
2	(Z)-Metaflumizone	4.6	5.38	8.08	5.14	3.48	2.44	7.20
3	Acetamiprid	0.8	-1.98	-16.68	1.50	-2.04	-5.13	1.35
4	Ametoctradin	4.4	-0.83	-4.45	-0.88	0.92	-1.26	2.97
5	Amisulbrom	4.4	10.00	38.63 ^{a)}	14.72	21.95 ^{a)}	9.28	26.21 ^{a)}
6	Azoxystrobin	2.96	9.97	11.01	14.32	10.91	7.42	18.03
7	Benthiavalicarb-isopropyl	4.2	2.10	-5.02	-2.05	0.18	3.44	1.00
8	Carbendazim	1.48	-5.84	-31.20 ^{a)}	-10.31	-3.89	-4.27	-10.91
9	Chlorantraniliprole	2.86	3.43	4.65	6.66	7.53	3.16	10.50
10	Chlorfluzuron	5.8	19.55	23.64 ^{a)}	9.89	16.49	14.95	6.16
11	Cyantraniliprole	2.02	-7.41	-13.39	2.27	18.78	8.69	-2.83
12	Cyazofamid	3.2	0.44	-8.50	-4.58	-1.31	-1.73	0.82
13	Cyclaniliprole	2.7	4.68	1.78	8.55	7.22	5.48	7.09
14	Cyenopyrafen	5.3	7.58	15.65	0.94	-0.38	1.79	8.05
15	Cyflumetofen	4.3	1.07	2.90	22.24 ^{a)}	5.74	0.21	7.48
16	Dinotefuran	-0.549	-0.80	-16.15	-0.52	2.25	-5.37	-2.21
17	Emamectin B1a	4.1	4.11	3.41	2.82	2.79	3.84	4.01
18	Ethaboxam	2.89	7.38	6.65	21.05	9.43	8.65	7.01
19	Etofenprox	6.9	-13.29	-42.09 ^{a)}	-46.90 ^{a)}	-15.03	-15.40	-19.07
20	Famoxadone	4.65	2.80	2.52	5.04	0.21	2.58	4.75
21	Fenazaquin	5.51	-15.12	-33.02 ^{a)}	-44.16 ^{a)}	-13.81	-22.31 ^{a)}	-26.07 ^{a)}
22	Fenpyroximate	5.7	10.75	24.56 ^{a)}	2.66	13.72	7.88	11.36
23	Flonicamid	-0.24	6.70	4.88	9.54	2.65	3.05	5.13
24	Fluazinam	4.87	9.38	-8.32	10.52	-21.52 ^{a)}	2.97	-1.38
25	Flubendiamide	4.14	-3.47	-4.84	1.93	-4.09	-4.72	-1.54
26	Fludioxonil	4.12	-6.19	-16.98	-3.13	-5.28	0.40	-1.23
27	Fluopicolide	2.9	-0.87	-7.82	-2.57	-9.90	0.47	-0.97
28	Flutriafol	2.3	-11.00	-5.00	-0.26	-10.24	-7.52	-0.28
29	Hexaconazole	3.9	0.63	-3.76	-1.46	1.42	2.76	0.71
30	Imidacloprid	0.57	39.83 ^{a)}	25.38 ^{a)}	72.63 ^{a)}	26.22 ^{a)}	28.15 ^{a)}	26.14 ^{a)}
31	KIE-9749	-	6.97	1.10	3.04	3.66	3.77	3.13
32	Lufenuron	5.12	16.84	-35.66 ^{a)}	17.81	-15.02	6.77	7.83
33	Mandipropamid	3.2	1.37	-4.49	-1.22	-3.44	0.60	-2.24
34	Mefentrifluconazole	3.4	4.55	-2.24	0.07	0.17	0.04	0.87
35	Metconazole	3.85	-2.67	-4.11	1.01	-6.90	-1.66	3.74
36	Methoxyfenozide	3.72	2.64	-18.97	5.08	-6.04	2.67	8.11
37	Oxathiapiprolin	3.66	1.49	2.92	6.11	1.22	2.03	6.44
38	Phorate	3.86	-3.70	-15.32	-3.61	1.20	1.44	-9.53
39	Phorate oxon	2.1	-0.87	-5.44	0.62	-0.84	2.47	2.59
40	Phorate oxon sulfone	2	-2.77	-13.26	-3.17	-9.38	-9.06	-1.93
41	Phorate oxon sulfoxide	1.8	2.04	-15.65	-8.20	3.38	2.95	-3.71
42	Phorate sulfone	3.7	5.31	-12.12	-3.79	1.42	0.29	-2.11
43	Phorate sulfoxide	3.5	1.19	-14.29	0.33	-2.85	1.38	1.75
44	Picarbutrazox	4.16	-0.46	1.67	3.59	-5.19	-1.70	4.79
45	Propamocarb	0.84	4.42	0.93	-1.52	11.78	6.03	6.30
46	Pydiflumetofen	3.8	1.26	0.12	3.24	-2.41	-1.20	5.88

Table 7. Continued

No.	Pesticide contents	Log p	Matrix effect(%)					
			Lettuce	Perilla leaves	Spinach	Crown daisy	Chicory	Young raddish
47	Pyflubumide	5.34	11.43	23.57 ^{a)}	9.16	11.31	7.10	11.65
48	Pyflubumide-NH	-	2.53	6.65	4.01	2.20	1.54	7.57
49	Pyraclostrobin	3.99	0.21	-1.54	1.00	-2.34	-1.78	2.16
50	Pyribencarb	3.77	9.83	17.31	3.95	6.74	-2.59	-0.42
51	Pyridaben	6.37	-0.29	-4.51	-12.74	0.48	-2.91	-6.85
52	Sulfoxaflor	0.802	-6.68	-28.13 ^{a)}	-7.03	-8.67	-10.07	-6.19
53	Terbufos	4.51	-5.98	-8.58	-1.46	-13.92	-3.05	-1.22
54	Terbufos oxon	2.7	-4.72	-13.32	-12.83	-4.78	-5.24	-13.07
55	Terbufos oxon sulfone	0.8	-3.16	-13.45	-4.36	-2.22	-5.79	-2.71
56	Terbufos oxon sulfoxide	0.5	-2.89	-11.39	-2.01	-3.30	-3.51	-1.09
57	Terbufos sulfone	2.5	-2.89	-8.38	-4.99	-2.58	-0.72	2.04
58	Terbufos sulfoxide	2.2	-3.09	-10.40	-2.50	-3.74	-0.51	0.47
59	Tetraniliprole	2.6	-3.84	-39.69 ^{a)}	-14.73	-26.22 ^{a)}	-3.82	-11.78
60	Thiacloprid	1.26	-1.70	-17.01	5.46	-11.42	-9.99	1.07
61	Thiamethoxam	-0.13	5.47	-13.07	11.99	6.06	-11.14	9.65
62	TZ-1E	-	-1.02	-1.62	4.56	-1.99	-0.87	3.21

^{a)}Matrix effects > ±20%

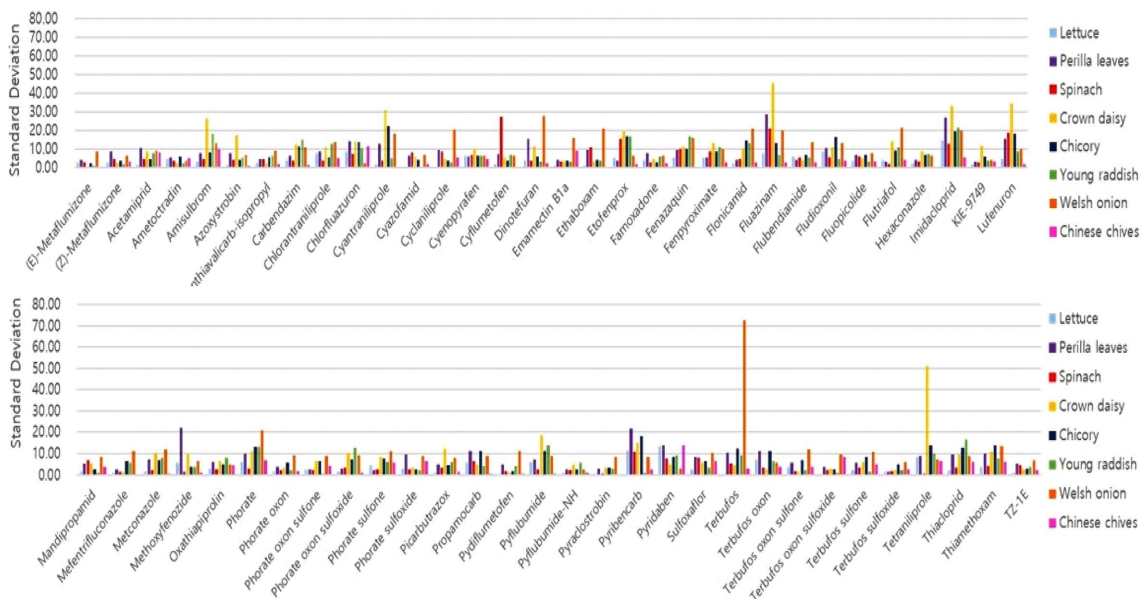


Fig. 3. Comparison of matrix effects across samples within the same commodity.

성을 나타내는지 알아보려고 하였다. 동일 품목 시료 간 매질 효과 양상을 비교하기 위해 동일 품목의 서로 다른 3개 이상의 시료를 분석하였으며, 그 결과를 분석 항목별로 상대표준편차와 매질효과를 이용하여 분류하였다(Figs. 3 및 4).

상추에서는 RSD > 10%을 보인 분석 항목은 3개로, 동일 품목의 서로 다른 시료이더라도 매질효과의 일관성이 가장 높음을 알 수 있었다. 시금치에서는 7개 항목, 깻잎 14개,

열무 15개, 치커리 18개 항목에서 RSD > 10% 나타났으며, 썩갓이 27개 항목으로 동일 품목 내 매질효과의 변동성이 가장 높았다. 이와 같이 동일 품목 내에서도 시료 간 매질효과의 변동성이 크다면 분석 시료와 동일한 무처리 시료를 이용한 매질 보정을 할 수 밖에 없다. 이 결과는 특정 한 시료에서의 매질효과 양상이 동일 품목의 다른 시료들에서의 매질효과와 크게 다른 점이 없는 것을 확인해, 특정 품목을

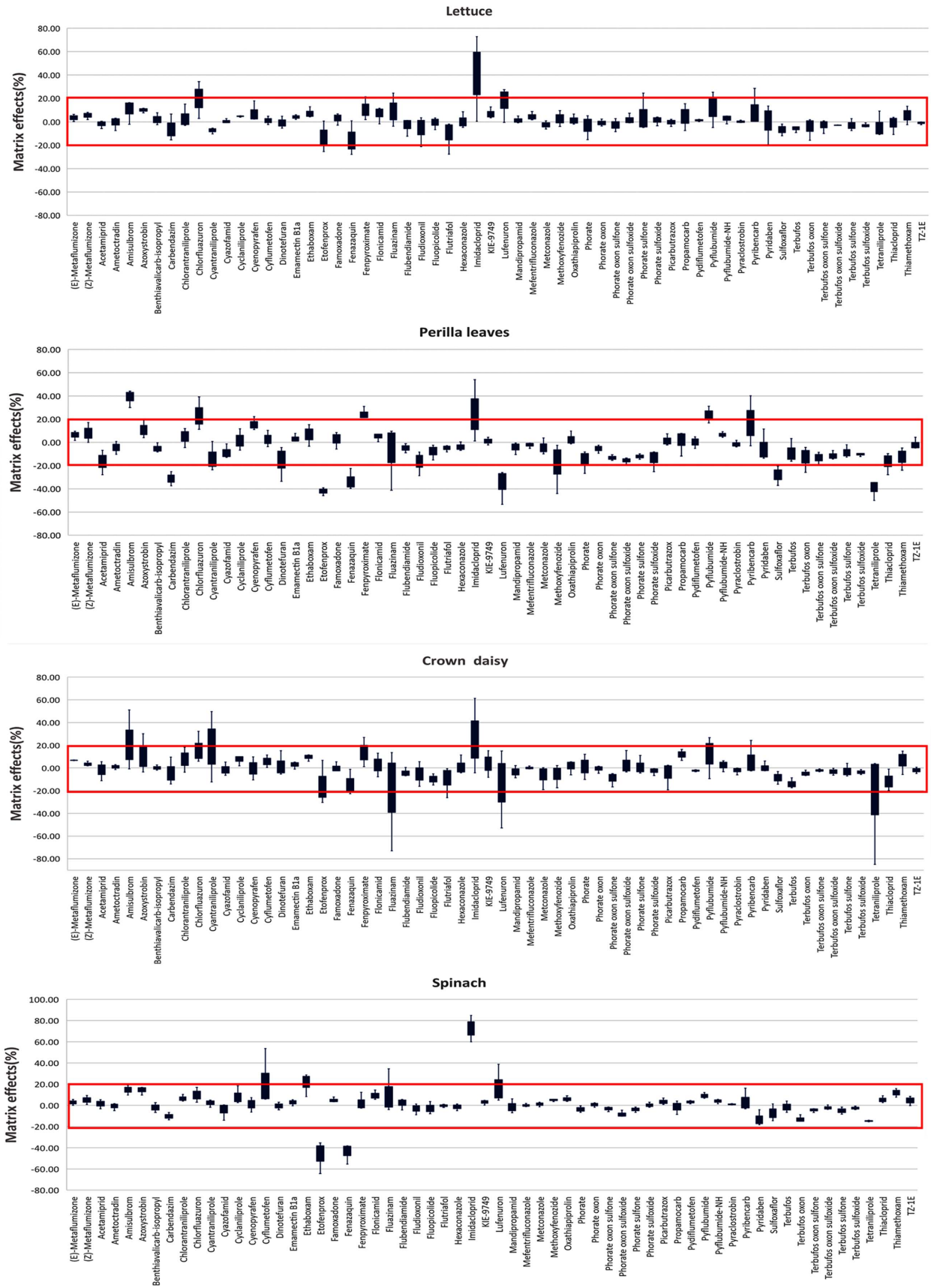


Fig. 4. Matrix effects variability within the same type of vegetables.

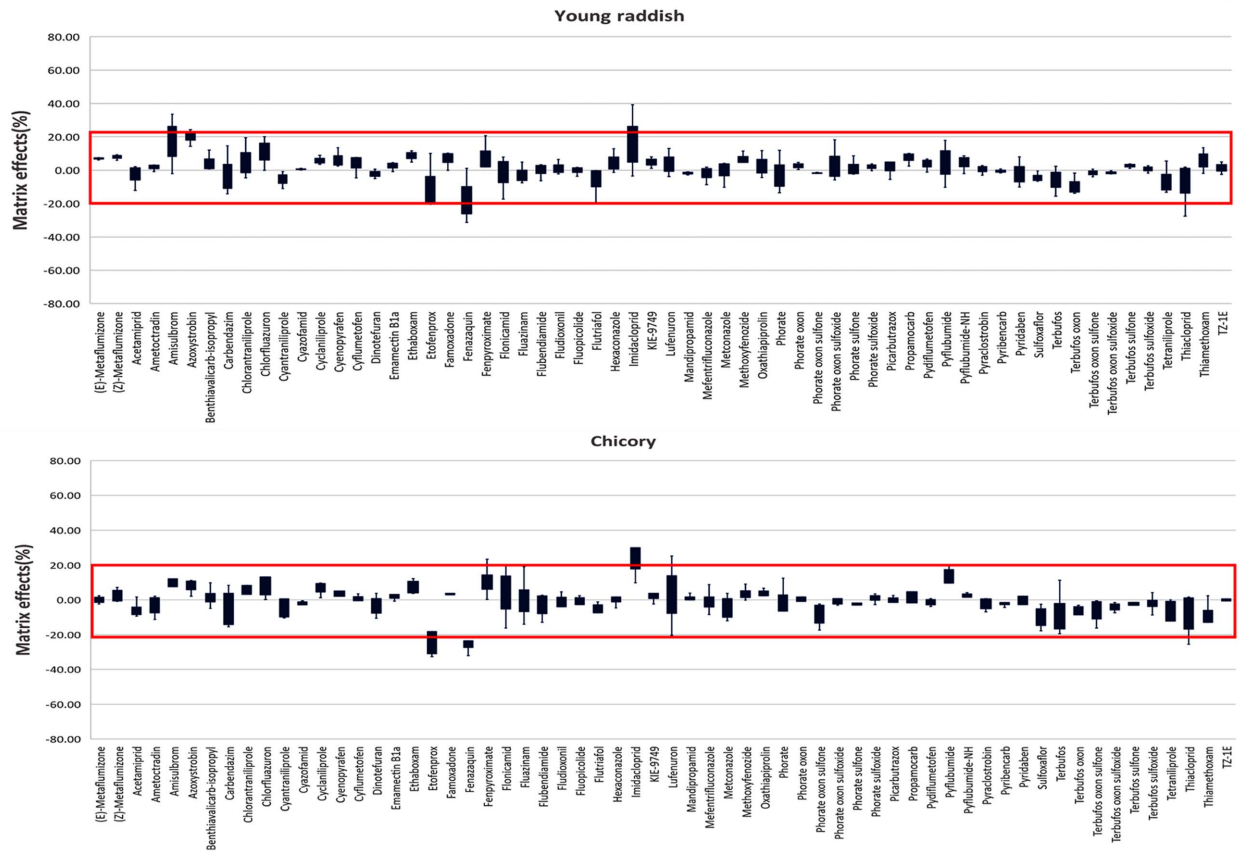


Fig. 4. Continued.

분석하여 정량할 경우 동일 품목의 다른 시료를 바탕시료 (blank matrix)로 활용한 정량분석이 가능할 것이라는 Kwon et al.(2012)의 연구와는 차이가 있었다. Kwon et al.(2012)의 연구에서는 각 품목당 20개의 시료를 분석한 결과를 나타낸 것으로, 본 연구에서는 시료의 건수가 3개로 품목내의 시료 간 매질효과의 차이 유무를 비교했을 때 한 항목 값의 차이가 크게 반영되어 결과가 다르게 나타났을 수 있다고 생각된다. 이에 각 품목당 분석 건수를 유의미한 건수로 늘려 품목내 시료간 매질효과 차이에 대한 추가 분석을 통해 동일 품목내 매질효과의 경향성에 대한 재비교가 필요할 것으로 보인다. 더불어 각 지역별 및 계절별 동일 품목에 대한 시료 분석을 통해 매질효과에 대한 비교 실험을 진행하고 그 결과를 비교해보는 것도 매질효과에 대한 이해를 높이는 데에 도움이 될 것으로 생각된다.

엽채류 품목에 따라 분석 항목별로 발생하는 매질효과가 상이하고, 이온화 효율의 정도에도 차이가 있음을 확인했다. 각 품목별로 1개 이상의 분석항목에서 매질효과가 발생하였으므로 정확한 정량분석을 위해서는 매질을 보정한 정량분석이 요구된다. 6개 품목 중 상추는 가장 매질효과가 낮았으며, 동일 품목내 시료간 매질효과의 비교에서도 대부분의 분석 항목에서 비슷한 경향성을 나타냈다. 하지만 매질효과가

가장 낮다고 상추를 스크리닝 분석 시 대표시료로 사용할 수 있는가에 대한 연구는 더 필요하다. 품목별로 매질효과가 발생하는 항목이 서로 다르고, 동일한 분석항목이더라도 그 값에서 차이를 보이기 때문이다. 현장의 분석업무 특성상 다양한 채소류 품목에 대한 검사가 진행되므로 엽채류 뿐 아니라 엽경채류, 박과 채소류, 장과류 등으로 품목을 확대한 매질효과 연구가 요구된다. 또한 전체 분석 항목으로 범위를 넓히고, 다양한 품목을 대상으로 매질효과 특성 연구를 통해 충분한 데이터를 가지고 적절한 대표매질을 탐색하는 것이 정확한 잔류농약 분석에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

Author Information and Contributions

Tae-Ha Lee, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher, <https://orcid.org/0009-0006-1441-4273>

Nam-Ho Kim, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher

Dong-Ju Park, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher

Hye-Sook Heo, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher

Jin-a Kim, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher

Han-Sol Park, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher

So-Hee Park, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Researcher

Young-Ran Na, Office of Eomgung agricultural products inspection, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Director

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

Anneli K, Allan K, Koit H, Ivo L, 2008. Matrix effects in pesticide multi-residue analysis by liquid chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatography A*, 1187: 58-66.

Anneli Krueve, Ivo Leito, 2013. Comparison of different methods aiming to account for/overcome matrix effects in LC/ESI/MS on the example of pesticide analyses, *Anal. Methods*, (12): 3035-3044.

Barnes KA, Fussell RJ, Startin JR, Thorpe SA, Reynolds SL, 1995. Determination of the pesticides diflubenzuron and clofentezine in plums, strawberries and blackcurrant-based fruit drinks by high performance liquid chromatographic/atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 9: 1441-1445.

Bonfiglio R, King RC, Olah TV, Merkle K, 1999. The effects of sample preparation methods on the variability of the electrospray ionization response for model drug compounds, *Rapid commun Mass Spectrom*, 13(12): 1175-1185.

Choi JY, 2023. A study on matrix effect for the analysis of 245 pesticides in 50 highly consumed agricultural products using LC-MS/MS, PhD Dissertation, Kangwon National University, Kangwon, Korea.

Europe Commission, 2023. Guidance Document on Pesticide Analytical Methods for Risk Assessment and Post-approval Control and Monitoring Purposes, SANTE/2020/12830, Rev.2.

Gosetti F, Mazzucco E, Zampieri D, Gennaro MC, 2010. Signal suppression/enhancement in high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, *J. Chromatogr A*. 1217(25): 3929-3937.

Jo KW, 2014. Comparison of Matrix Effects for pesticide residue analysis in different crops using LC-MS/MS, PhD Dissertation, Chungnam National University, Dae Jeon, Korea.

Kim SH, Kong SG, Park DS, 2013. Quality characteristics and sensory evaluation of tomato sauce with added perilla leaf, *Korean J. Food & Nutr.*, 26(4): 766-771.

Kwon HY, Steven J Lehotay, Lucia Geis-Asteggiane, 2012. Variability of matrix effects in liquid and gas chromatography-mass spectrometry analysis of pesticide residues after QuEChERS sample preparation of different food crops, *Journal of Chromatography A.*, 1270: 235-245.

Liang T, Paul K, 1993. Dependence of ion intensity in electrospray mass spectrometry on the concentration of the analytes in the electrosprayed solution, *Analytical Chemistry*, 65(24): 3654-3668.

MFDS. Ministry of Food and Drug Safety, 2016, Guidelines on standard procedures for establishing test methods for foods and related products, Cheongju, Korea.

MFDS. Ministry of Food and Drug Safety, 2021, Guidelines for verification and validation of test methods for quality management of testing and inspection laboratories in the food and pharmaceutical sectors, Cheongju, Korea.

MFDS. Ministry of Food and Drug Safety, 2023, Manual for practical application of residue analysis of pesticides in the food code, 6th edition, Cheongju, Korea.

Na ES, Kim sS, Hong SS, Kim KJ, Lee YJ, Lee BC, Lee KS, 2020. Development of multi-residue analytical method for 261 Pesticides in Herbal Medicines using GC-MS/MS and LC-MS/MS., *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 39(2): 142-169.

Nishihara E, Inoue M, Kondo K, Takahashi K, Nakata N, 2001. Spinach yield nutritional quality affected by controlled soil water matric head, *Agricultural Water Management*, 51(3): 217-229.

Sternner JL, Johnston MV, Nicol GR, Ridge DP, 2000. Signal suppression in electrospray ionization Fourier transform mass spectrometry of multi-component samples, *J. Mass Spectrom*, 35(3): 385-391.

Steiner D, Krska R, Malachová A, Taschl I, Sulyok M, 2020. Evaluation of matrix effects and extraction efficiencies of LC-MS/MS methods as the essential part for proper validation of multi class contaminants in complex feed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(12): 3868-3880.

Su Rae Lee, Mi Gyung Lee, 2001. Present status and remedial actions with regard to legal limits of pesticide residues in

- Korea, The Korean Society of Environmental Agriculture, 20(1): 34-43.
- Taylor JP, 2005. Matrix effects: The Achilles heel of quantitative high-performance liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry, *Clinical Biochemistry*, 38: 328-334.
- University of Hertfordshire, 2024. A to Z List of Pesticide Active Ingredients, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> (Accessed Nov, 2024).
- Wanlong Z, Shuang Y, Perry GW, 2017. Matrix effects and application of matrix effect factor, *Bioanalysis*, 23: 1839-1844.
- Zhen Li, Wentao Zhang, Xiquan Li, Heng Liu, Fengfeng Li et al., 2022. Combined effects of 1-methylcyclopropene and tea polyphenols coating treatment on the postharvest senescence and reactive oxygen species metabolism of bracken (*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*), *Postharvest Biology and Technology*, 185: 111813.

LC-MS/MS를 이용한 잔류농약 다성분 분석 시 엽채류의 매질효과 특성 연구

이태하* · 김남호 · 박동주 · 허혜숙 · 김진아 · 박한솔 · 박소희 · 나영란

부산광역시 보건환경연구원 엄궁농산물검사소

요약 본 연구는 부산 지역 도매시장, 대형마트 및 친환경 매장에서 유통되는 깻잎, 상추, 쪽갓, 시금치, 열무, 치커리를 대상으로 48종(62항목) 농약의 매질효과를 분석하고, 정량분석 시 매질보정의 필요성을 평가하였다. $\pm 20\%$ 를 기준으로, 상추는 imidacloprid 1개 항목에서 기준을 초과하는 매질효과를 보였고, 깻잎은 가장 많은 11개 항목에서 $\pm 20\%$ 를 초과하여 6개 엽채류 중 가장 강한 매질효과를 관찰하였다. 시금치, 쪽갓, 치커리, 열무에서 기준을 초과한 농약 항목 수는 적었으나, 품목별로 매질효과와 양상이 상이하게 나타났다. 이온화 효율 분석에서 깻잎을 제외한 나머지 품목은 이온상승이 주로 나타났으나, 깻잎에서는 39개 농약 항목이 이온억제를 보였다. 전체 13개 항목에서 $\pm 20\%$ 를 초과한 농약 중 7개는 이온억제, 6개는 이온상승을 보였다. 농약의 극성에 따른 이온화 효율을 비교하기 위해 log P 값을 사용한 결과, 극성 농약(log P < 3)은 주로 이온억제를 나타내고, 비극성 농약(log P \geq 3)은 이온상승을 보였다. 동일 품목 내 시료 비교에서는 상추가 대부분 RSD < 10%로 가장 일관성이 높았으며, 쪽갓은 27개 항목에서 RSD > 10%로 가장 큰 변동성을 보였다. 본 연구는 엽채류 품목별 매질효과가 상이하였으며, 동일 품목 내 시료 간 매질효과와 변동성이 품목별로 크게 다르다는 점을 확인하여 이를 정량분석 과정에서 반드시 고려해야 함을 제시하였다.

색인어: 잔류농약, 매질효과, LC-MS/MS, 엽채류