



ORIGINAL ARTICLES

착색단고추 품종에 따른 cyflumetofen과 penthiopyrad의 잔류특성

신희정 · 이래근¹ · 김창조¹ · 노현호¹ · 이은영¹ · 경기성² · 김단비^{1*}(주)에이비솔루션 잔류성시험부, ¹국립농업과학원 농산물안전성부 잔류화학평가과,
²충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학학과Residual Characteristics of Cyflumetofen and Penthiopyrad
in Sweet pepper according to CultivarHee Jeong Shin, RaeKeun Lee¹, Chang Jo Kim¹, Hyun Ho Noh¹, Eun Young Lee¹,
Kee Sung Kyung², Danbi Kim^{1*}

Residue Study Division, ABSolution, Hwaseong 18514, Korea

¹Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea²Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Sciences,
Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

(Received on November 23, 2022. Revised on December 6, 2022. Accepted on December 6, 2022)

Abstract This study investigated the effect of crop size and shape on the residual characteristics by examining the dissipation tendency in time-dependent manner of pesticides among sweet peppers (*Capsicum annuum* L.) by cultivar. Thus, this was performed to confirm the residual amount over time characteristics of cyflumetofen and penthiopyrad of regular and mini sweet pepper, and to compare the residual amount according to the cultivar and the presence of sweet pepper stalks. As for the test pesticide, cyflumetofen was sprayed twice and penthiopyrad three times at 7-day intervals in accordance with the pre-harvest interval (PHI), and samples were collected 5 times until the 14th day including the last pesticide treatment day (day 0). In order to investigate the residual characteristics according to shape and size, the specific surface area was measured using a 3D scanner, and a one-way ANOVA (Duncan's multiple range test), independent sample t-test was performed to compare the residues ($p < 0.05$). Pesticide residues were analyzed using the QuEChERS method and LC-MS/MS. The recovery of cyflumetofen and metabolite B-1 were 78.42~117.21% (RSD 0.84-11.32%), and penthiopyrad and metabolite PAM, 753-A-OH were 71.73-101.30 (RSD 0.67-9.93%). The residue of cyflumetofen in general sweet pepper did not show a significant decrease over time. It showed a tendency to decrease as time goes by in the mini sweet pepper ($p < 0.05$). The residues of penthiopyrad in regular and mini sweet pepper decrease over time ($p < 0.05$). The residue of edible part by sweet pepper cultivar on the expected harvest date (2nd day after final pesticide spraying) of PHI showed a significant difference in all of the tested pesticides ($p < 0.05$). There was a significant difference in the residue of cyflumetofen and penthiopyrad among regular sweet pepper and mini sweet pepper, but both were less than the maximum residue limits (MRL). Therefore, it is considered that PHI of cyflumetofen and penthiopyrad in regular sweet pepper could be applied to mini sweet pepper.

Key words Cyflumetofen, Penthiopyrad, sweet pepper, Pesticide residue, Pre-Harvest Interval

*Corresponding author
E-mail: danbi6334@korea.kr

서론

착색단고추(*Capsicum annuum L.*)는 1990년대 초 본격 재배하기 시작하여 국내 소비량과 수출량이 매년 증가하고 있어 우리나라의 대표적인 수출작목으로 인정받고 있다(Cho et al., 2009; Jeong et al., 2009). 우리나라는 blocky 형태를 가진 일반 사이즈의 착색단고추와 conical 형태를 가진 미니 착색단고추가 재배되고 있다(Lee et al., 2016). 현재 과경이 9-10 cm인 blocky 형태의 일반 착색단고추가 주로 유통되고 있지만, conical 형태를 가진 미니 착색단고추가 작은 크기(20-40 g)로 소비자의 요구에 부합함에 따라 재배량이 크게 증가하고 있다(Shestha et al., 2011).

현대농업에서 농약의 사용은 농산물의 생산량과 품질을 향상하는데 있어 필수적이다(Menn, 1978). 하지만 농약은 정도의 차이는 있지만 독성이 있기 때문에 엄격하게 관리되어야 하고 그렇지 않으면 과도하게 잔류된 농산물을 섭취할 가능성도 있다(Kim, 2007). 따라서 출하일로부터 일정 기간 내에는 농약 살포를 금하고 있으며 농약이 일정량 이상 잔류하는 것을 방지하기 위해 잔류허용기준(maximum residue limits, MRL) 및 농약안전사용기준(pre-harvest interval, PHI)을 설정하고 있다(Park, 2018).

작물 중 잔류량은 농약의 물리화학적 특성, 재배환경, 작물의 형태적 특성 등 다양한 요인에 의해 결정되는데 재배 단계에서는 작물의 표면적과 증량이 농약 잔류량을 결정하는 중요한 역할을 한다(Kwon et al., 2004). 따라서 농촌진흥청에서 고시한 농약 및 원제의 등록기준에서는 시험작물의 품종이 다양한 경우 농약의 잔류 가능성이 높은 품종으로 선정하여 시험하도록 되어있다(MOLEG, 2020). 예를 들면 무 대신 알타리무, 배추 대신 엇갈이 배추, 파 대신 쪽파, 토마토 대신 방울토마토가 있다. 실제로 완숙 토마토의 안전사용기준대로 방울토마토에 적용했을 때 잔류허용기준을 초과하여 생산과 수출시 문제가 발생하기도 하였다(Kwon et al., 2004)

하지만 착색단고추의 경우 잔류량이 높을 것으로 예상되는 미니 착색단고추 시험 결과를 이용하여 일반 착색단고추에 외삽해야 하지만 미니 착색단고추가 일반 착색단고추보다 늦게 개발되면서 일반 착색단고추의 성적을 미니 착색단고추에 적용하고 있다. 따라서 일반 착색단고추와 미니 착

색단고추의 농약 잔류특성을 구명하여 착색단고추의 잔류농약에 대한 안전성을 확보해야 한다. 또한 착색단고추는 꼭지 부분이 파여있는 형태학적 특성을 가지고 있어 살포된 농약이 꼭지 부분에서 흐르지 않고 고이게 되면 많은 농약이 잔류될 가능성이 있다고 판단된다. 따라서 꼭지 유무에 따른 일반 착색단고추와 미니 착색단고추 중 농약 잔류량의 차이를 연구할 필요성이 있다고 판단된다. 비슷한 예로 대만에서는 딸기 꼭지를 포함하여 잔류량을 평가함에 따라 딸기의 꼭지 유무에 따른 농약 잔류량을 비교한 연구 결과가 있다(Oh et al., 2020).

따라서 이 연구는 착색단고추에 널리 사용하고 있는 cyflumetofen과 penthiopyrad를 대상으로(RDA, 2020) 일반 착색단고추(품종: scirocco)와 미니 착색단고추(품종: WLS 3455) 중의 농약의 경시적 잔류량 변화를 조사하고 형태학적 특성과 꼭지 유무에 따른 잔류 특성을 구명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

시험농약 및 작물

시험농약은 응애류와 잭빛곰팡이병을 방제하는데 사용되는 cyflumetofen과 penthiopyrad이며, 시험농약의 안전사용기준과 물리화학적 특성은 Table 1과 2에 제시하였다(Macbean, 2013). 시험작물은 일반 착색단고추(품종: scirocco)와 미니 착색단고추(품종: WLS 3455)이었다.

포장시험

본 시험은 경남 진주시 대곡면에 위치한 착색단고추 시설 재배지에서 수행하였다. 처리구는 일반 착색단고추와 미니 착색단고추 각각 3반복 배치하였으며, 반복당 처리구의 면적은 각각 0.45 m × 8.37 m와 0.65 m × 4.6 m이었다. 시험농약인 cyflumetofen 20% 입상수화제와 penthiopyrad 20% 유제를 안전사용기준에 따라 2,000배 희석한 후 배부식 분무기(MS072H-T, Maruyama, 일본)를 이용하여 살포하였다. Cyflumetofen은 2022년 5월 9일에 1차 살포하였으며 7일 간격으로 총 2회 살포하였으며, penthiopyrad는 5월 2일에 1차 살포하여 7일 간격으로 총 3회 살포하였다. Cyflumetofen과 penthiopyrad의 반복별 살포량은 Table 3에 제시하였다.

Table 1. Pre-harvest intervals (PHIs) of cyflumetofen and penthiopyrad and their MRLs in sweet pepper

Pesticide	A.I. ^{a)}	Formulation	Pre-harvest interval		Dilution rate	MRL ^{d)} (mg/kg)
			Spraying day before harvest	No. of maximum spraying		
Cyflumetofen	20%	SC ^{b)}	2	2	2,000	2.0
Penthiopyrad	20%	EC ^{c)}	2	3	4,000	3.0

^{a)}Active ingredient, ^{b)}Suspension concentrate, ^{c)}Emulsifiable concentrate, ^{d)}Maximum residue limit.

Table 2. Physicochemical properties of cyflumetofen and penthiopyrad

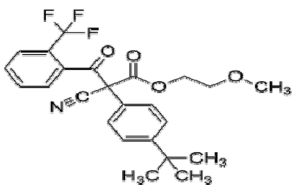
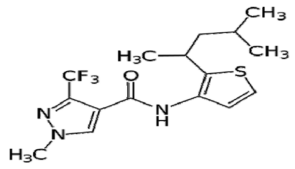
	Cyflumetofen	Penthiopyrad
Structure		
IUPAC name	2-methoxyethyl 2-(4-tert-butylphenyl)-2-cyano-3-oxo-3-[2-(trifluoromethyl)phenyl]propanoate	1-methyl-N-[2-(4-methylpentan-2-yl)thiophen-3-yl]-3-(trifluoromethyl)pyrazole-4-carboxamide
log P	4.3 at 20°C (pH 7)	4.62 at 20°C (pH 7)
Vapor pressure	5.9×10^{-3} mPa at 25°C	6.43×10^{-3} mPa at 25°C
Molecular weight	447.5 g/mol	359.4 g/mol
Solubility	In water 0.0281 (in mg/L, 20°C). In <i>n</i> -hexane 5.23, methanol 99.9, acetone, dichloromethane, ethyl acetate and toluene >500 (all in g/L, 20°C)	In water 1.375 (in mg/L, 20°C). In methanol 402, acetone 557, ethyl acetate 349, toluene 67 (all in g/L, 20°C)
Stability	Stable in weakly acidic media, but unstable in basic media; DT ₅₀ in water 9 d (pH 4), 5 h (pH 7), 12 min (pH 9) (25°C). Stable up to 293°C	Hydrolytically stable during 5 days at pH 4, 7 and 9 at 50°C. Photolytically stable during 15 days at 25°C and pH 7.

Table 3. Spraying dose onto test plot

Pesticide	Spraying day before harvest	Treatment	Spraying dose (L/10a)		
			Scirocco ^{a)}	WLS 3455 ^{b)}	
Cyflumetofen	7	1	1,751	1,840	
		2	1,698	1,806	
		3	1,141	1,773	
	0	1	1,406	2,174	
		2	1,565	2,442	
		3	1,698	1,990	
	Penthiopyrad	14	1	1,019	1,284
			2	875	1,104
			3	862	1,087
7		1	1,671	2,007	
		2	1,804	1,773	
		3	1,406	1,605	
0	1	1,565	1,408		
	2	1,618	1,636		
	3	1,220	1,706		

^{a)}Cultivar of regular sweet pepper used in the test

^{b)}Cultivar of mini sweet pepper used in the test

시료는 경시적 잔류량 변화를 조사하기 위해 최종 약제 살포후 0(3시간 후), 2, 5, 7, 14일차에 1 kg 이상 무작위로 채취하였다. 채취한 시료는 즉시 실험실로 옮겨 개체 무게를 측정된 후 드라이아이스와 함께 마쇄하여 균질화하였다. 균질화한 시료는 분석전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다.

비표면적 측정

형태가 다른 일반 사이즈의 착색단고추와 미니 착색단고추의 품종 간 농약 잔류량 차이의 구명을 위한 기초자료로 활용하기 위해 일정한 크기와 모양을 가진 일반 착색단고추 12개와 미니 착색단고추 24개를 선별한 후 3D 스캐너(FARO

EDGE ScanArm HD, FARO, 미국)를 사용하여 560,000 point/sec의 스캔 속도로 표면적을 측정 후 각각의 표면적 값을 개체 무게로 나누어 비표면적을 산출하였다. 꼭지를 제거한 개체의 비표면적은 3D 스캐너 프로그램을 통해 꼭지를 제거한 표면적을 측정하고 꼭지를 제거한 개체의 무게로 나누어 비표면적을 측정하였다.

시약 및 기구

Cyflumetofen (순도, 97.3%)과 대사체 B-1 (순도, 99.2%)는 (주)동방아그로에서 분양받아 사용하였고, penthiopyrad (순도, 99.8%)와 대사체 PAM (순도, 100%), 753-A-OH (순도 99.1%)는 (주)경농에서 분양받아 사용하였다. 추출용매와 이동상으로 사용된 acetonitrile은 Merk사 (Darmstadt, 독일)의 잔류농약 분석(pesticide residue, PR)등급을 사용하였으며, formic acid (순도 $\geq 98\%$)는 Simga-Aldrich사 (Massachusetts, 미국)의 제품을 사용하였다. Methanol은 Merk사 (Darmstadt, 독일)의 LC등급을 사용하였다. QuEChERS EN packet와 dispersive-soild phase extract (d-SPE) tube는 Agilent Technologies사(California, 미국)의 제품을 사용하였다. 추출기는 SPEX SamplePrep사(Metuchen, 미국)의 2010 Geno/Grinde® 제품을 사용하였으며, 원심분리기는 한일과학산업(주)사(Incheon, 한국)의 Combi-514R 제품을 사용하였다.

표준용액 조제

Cyflumetofen과 대사체 B-1 표준품을 각각 10.27 mg, 10.08 mg을 정확히 칭량하고 10 mL의 acetonitrile에 용해하여 1,000 mg/L 농도의 stock solution을 조제하였다. Penthiopyrad와 대사체 PAM, 753-A-OH의 경우 각각 10.02, 10.0, 10.09 mg을 10 mL의 acetonitrile과 methanol에 녹여 1,000 mg/L 농도의 표준용액을 조제한 후 혼합하여 100 mg/L 농도의 stock solution을 준비하였다. 그 후 stock solution을 acetonitrile로 희석하여 0.002, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2 mg/L의 working solution으로 조제하였다. Working solution을 다시 일반 및 미니 착색단고추 무처리 시료를 추출한 용액으로 2배 희석하여 1, 5, 10, 25, 50, 100 $\mu\text{g/L}$ 의 matrix-matched standard를 조제하였다.

잔류농약 분석

일반 착색단고추와 미니 착색단고추를 꼭지를 포함한 부분과 꼭지를 제거한 부분으로 나누어 균질화 한 후 균질화한 시료 10 g을 50 mL conical tube에 칭량하였고, acetonitrile 10 mL을 첨가한 후 1,300 rpm으로 5분간 진탕 추출하였다. 추출한 시료에 QuEChERS EN packet (4 g MgSO_4 , 1 g NaCl, 1 g $\text{Na}_3\text{Cit} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g $\text{Na}_2\text{HCit} \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$)을 첨가하고 1,300 rpm으로 3분간 진탕한 후 4°C에서 3,500 rpm으로 5

분간 원심 분리하였다. 정제과정에서는 cyflumetofen, penthiopyrad, PAM과 753-A-OH는 추출 후 원심 분리한 상정액 1 mL를 MgSO_4 150 mg, PSA (primary secondary amine) 50 mg, C18 50 mg 및 GCB (graphitized carbon black) 7.5 mg가 들어있는 d-SPE tube에 첨가하였고 B-1은 MgSO_4 150 mg 및 C18 25 mg이 들어있는 d-SPE tube에 첨가한 후 30초간 교반한 후 4°C에서 12,000 rpm으로 5분간 원심 분리하였다. 원심 분리한 상정액은 syringe filter (PTFE, 13 mm, 0.22 μm)로 여과 후 acetonitrile를 이용하여 50:50 (v/v) 1:1 matrix matching하여 Table 4에 제시한 LC-MS/MS 분석조건으로 잔류농약을 분석하였다.

분석법 검증

잔류농약 분석법은 검량선의 직선성, 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantitation, LOQ), 회수율 시험 및 분석 재현성을 통해 검증하였다. 직선성은 1-100 $\mu\text{g/L}$ 농도의 cyflumetofen과 penthiopyrad 표준용액을 LC-MS/MS로 분석한 후 작성한 검량선의 상관관계수(r^2)로 확인하였다. 시험대상 농약의 검출한계와 정량한계는 matrix-matched standard의 시그널 대비 노이즈(S/N)의 비가 각각 3과 10 이상인 농도로 설정하였다. 회수율 시험은 무처리 시료에 LOQ, LOQ의 10배 수준이 되도록 cyflumetofen과 penthiopyrad 표준용액을 처리하여 2개의 수준에서 3반복 수행하였고 확립된 분석법을 이용하여 처리량 대비 회수율으로 회수율을 산출하여 FAO (2016)에 제시된 기준에 따라 분석법의 적합성을 판단하였다.

저장안정성

저장안정성 시험은 첫 번째 시료 채취 당일에 10LOQ 수준이 되도록 무처리 시료에 3반복 처리한 후 분석시료와 동일한 조건으로 냉동 보관하였으며, 시료 분석일에 확립된 분석법으로 시료와 동일하게 분석하여 처리량 대비 회수율으로 회수율을 산출하는 방법으로 저장기간 동안 시료 중 농약의 안정성을 판단하였다.

통계분석

일반 및 미니 착색단고추 중 수확 일자별 cyflumetofen과 penthiopyrad 잔류량의 유의적 차이를 검정하기 위해 SPSS (ver. 26, IBM Corporation, 미국) 소프트웨어를 사용하여 일원 분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 수행 후 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test, DMTR)을 수행하였다. 또한 일반 및 미니 착색단고추의 품종 간 잔류량 차이와 꼭지 유무에 따른 잔류량 차이를 알아보기 위해 독립표본 t-검정을($p < 0.05$) 이용하여 통계분석하였다.

Table 4. LC-MS/MS conditions for the pesticide residue analysis of cyflumetofen, penthiopyrad and their metabolites in sweet pepper

<LC condition>					
Instrument	Nexera XS inert, SHIMADZU, Japan				
Column	Waters C18, 2.1 mm I.D. × 100 mm L. (1.7 μm particle size)				
Flow rate	0.3 mL/min				
	A: 0.1% formic acid in distilled water				
	B: 0.1% formic acid in acetonitrile				
Mobile phase	Time (min)	A (%)	B (%)		
	0.0	90	10		
	1.0	90	10		
	2.5	50	50		
	3.0	10	90		
	3.5	10	90		
	3.8	5	95		
	6.0	5	95		
	6.5	90	10		
	9.0	90	10		
Injection volume	2 μL				
<Mass condition>					
Instrument	Triple Quad™ 5500+. AB SCIEX, USA				
Ionspray voltage	5500 V	Nebulizer gas	50 psi		
Curtain gas	35 psi	Drying gas	50 psi		
Collision gas	8 psi	Scan type	MRM mode		
Drying gas Temp.	500°C	Ion source	ESI		
<MRM condition>					
Pesticide	Precursor ion (<i>m/z</i>)	Ion transition			
		Quantitation ion (<i>m/z</i>)	CE ^{a)} (eV)	Confirmation ion (<i>m/z</i>)	CE (eV)
Cyflumetofen	465.094	173.0	33	145.1	89
B-1	188.855	68.9	-48	144.9	-18
Penthiopyrad	360.185	176.9	57	236	39
PAM	194.1	134.0	29	174	15
753-A-OH	376.135	101.0	83	276.2	15

^{a)}Collision energy

결과 및 고찰

분석법 검증

정량분석을 위한 각각의 무처리 시료 추출용액으로 제조한 matrix-matched standard의 peak 면적을 기준으로 작성한 검량선의 r^2 은 모두 0.99이상으로 높은 직선성을 나타내었으며, 직선식은 Table 5에 제시하였다.

일반 및 미니 착색단고추의 matrix-matched standard를

확립된 기기분석 조건으로 분석하여 설정한 LOD는 cyflumetofen과 대사체 B-1, penthiopyrad와 대사체 PAM, 753-A-OH 모두 0.001 mg/kg이었으며, LOQ의 경우 cyflumetofen의 대사체 B-1 0.005 mg/kg, cyflumetofen, penthiopyrad, penthiopyrad의 대사체 PAM과 753-A-OH는 0.01 mg/kg이었다. 회수율 시험 결과 평균 회수율은 71.73-117.21%이었으며, RSD는 9.93%이하였으며, 이는 FAO (2016)에 제시된 회수율 적합성에 부합하였다(Table 6).

Table 5. Calibration curve of the cyflumetofen, penthiopyrad and their its metabolites in sweet pepper

Cultivar	Pesticide	Slope	Intercept	r ²
Scirocco ^{a)} with stalk	Cyflumetofen	15,436,391.05	-32,228.56	0.9988
	B-1	1,687,769.44	528.01	0.9996
	Penthiopyrad	38,961,263.51	22,795.39	0.9985
	PAM	4,846,869.55	3,248.47	0.9997
	753-A-OH	2,340,688.73	8,803.65	0.9958
Scirocco ^{b)} without stalk	Cyflumetofen	12,010,388.15	-33,078.05	0.9963
	B-1	1,134,310.34	1,468.07	0.9996
	Penthiopyrad	40,272,640.33	80,658.57	0.9996
	PAM	5,198,820.74	2,507.58	0.9978
	753-A-OH	2,813,706.01	8,258.97	0.9951
WLS3455 with stalk	Cyflumetofen	18,002,952.35	31,603.70	0.9989
	B-1	1,063,914.64	814.2678	0.9971
	Penthiopyrad	43,253,440.44	8,012.63	0.9981
	PAM	6,231,278.56	335.27	0.9976
	753-A-OH	2,668,516.85	12,631.59	0.9938
WLS3455 without stalk	Cyflumetofen	19,165,928.82	28,676.70	0.9928
	B-1	1,424,376.00	-473.44	0.9996
	Penthiopyrad	40,188,343.41	399,917.14	0.9993
	PAM	5,952,162.35	2,274.00	0.9995
	753-A-OH	2,691,685.88	2,692.00	0.9968

^{a)}Cultivar of regular sweet pepper used in the test

^{b)}Cultivar of mini sweet pepper used in the test

저장안정성

저장안정성 시험 결과는 Table 7에 제시한 바와 같이 일반 착색단고추 중 cyflumetofen과 대사체 B-1의 평균 회수율 범위는 각각 110.47-111.74%, 95.36-101.04%이었으며, penthiopyrad와 대사체 PAM, 753-A-OH의 평균 회수율은 각각 78.09-93.04%, 93.20-95.25%, 96.78-99.72%이었다. 미니 착색단고추 중 cyflumetofen과 대사체 B-1의 평균 회수율 범위는 106.37-116.35%, 101.64-103.13%이었고, penthiopyrad와 대사체 PAM, 753-A-OH의 평균회수율은 각각 79.21-87.33%, 92.42-97.54%, 83.93-91.78%으로 저장기간 동안 cyflumetofen, penthiopyrad와 대사체들은 안정하다고 판단되었다.

비표면적 측정

꼭지가 있는 일반 및 미니 착색단고추의 중량 측정 결과 각각 158.06 ± 17.45 g 및 30.10 ± 4.69 g으로 일반 착색단고추가 미니 착색단고추에 비해 약 5.3배 더 무거웠고, 표면적의 경우 각각 226.20 ± 22.32 cm² 및 72.21 ± 8.12 cm²로 일반 착색단고추가 미니 착색단고추보다 약 3.1배 더 넓은 것으로 나타났다. 표면적값을 중량으로 나누어 비표면적값을 계산했을 때 일반 착색단고추와 미니 착색단고추의 비표면적은 각각 1.43 ± 0.05 cm²/g 및 2.42 ± 0.15 cm²/g로 미니 착

색단고추가 일반 착색단고추보다 약 1.7배 큰 것으로 판단되었다.

또한 꼭지 유무에 따른 잔류량 차이를 비교하기 위해 꼭지 없는 일반 및 미니 착색단고추의 중량 측정 결과 각각 152.02 ± 17.41 g 및 27.14 ± 4.46 g으로 일반 착색단고추가 미니 착색단고추에 비해 5.6배 더 무거웠고, 표면적의 경우 각각 216.70 ± 22.05 cm² 및 68.45 ± 8.06 cm²로 일반 착색단고추가 3.2배 더 넓은 것으로 나타났다. 이를 근거로 산출한 비표면적은 각각 1.43 ± 0.05 cm²/g 및 2.54 ± 0.16 cm²/g로 꼭지를 제거했을 때 미니 착색단고추가 일반 착색단고추보다 약 1.8배 큰 것으로 판단되었다.

잔류농약 분석

일반 착색단고추에서 꼭지가 있는 착색단고추와 없는 착색단고추의 cyflumetofen 최종 약제 살포 당일 잔류량은 각각 0.41와 0.50 mg/kg이었으며, 14일차의 잔류량은 두 착색단고추에서 동일하게 0.39 mg/kg이었다. Penthiopyrad의 경우 0일차의 잔류량은 각각 0.24, 0.22 mg/kg이었고, 14일차의 경우 0.13와 0.11 mg/kg이었다. 시료채취 일자별 cyflumetofen의 잔류량을 통계분석한 결과 전체적으로 유의적인 감소를 보이지 않는 것으로 판단되었다($p < 0.05$). Penthiopyrad의 경우 꼭지가 있는 착색단고추와 없는 착색단고추에

Table 6. Recovery of the cyflumetofen, penthiopyrad and their its metabolites in sweet pepper

Pesticide	Cultivar	Fortification (mg/kg)	Mean ± SD ^{a)} (n=3, %)	RSD ^{b)} (%)	
Cyflumetofen	Scirocco ^{c)} with stalk	0.01	115.72 ± 1.86	1.61	
		0.1	113.06 ± 9.83	8.70	
	Scirocco without stalk	0.01	117.21 ± 1.38	1.17	
		0.1	110.11 ± 6.11	5.55	
	WLS 3455 ^{d)} with stalk	0.01	104.93 ± 11.87	11.32	
		0.1	114.21 ± 3.01	2.64	
	WLS 3455 without stalk	0.01	83.15 ± 6.34	7.62	
		0.1	105.12 ± 7.69	7.31	
	B-1	Scirocco with stalk	0.05	94.16 ± 2.91	3.09
			0.005	96.09 ± 0.92	0.96
Scirocco without stalk		0.05	78.42 ± 2.61	3.32	
		0.005	103.45 ± 1.31	1.27	
WLS 3455 with stalk		0.05	98.04 ± 0.83	0.84	
		0.005	106.75 ± 2.91	2.72	
WLS 3455 without stalk		0.05	112.93 ± 2.03	1.80	
		0.005	104.60 ± 3.93	3.75	
Penthiopyrad		Scirocco with stalk	0.01	90.07 ± 0.74	0.82
			0.1	82.56 ± 8.20	9.93
	Scirocco without stalk	0.01	88.60 ± 5.11	5.77	
		0.1	99.73 ± 8.52	8.54	
	WLS 3455 with stalk	0.01	101.30 ± 0.67	0.67	
		0.1	94.64 ± 6.42	6.79	
	WLS 3455 without stalk	0.01	92.83 ± 2.41	2.60	
		0.1	83.96 ± 6.70	7.98	
	PAM	Scirocco with stalk	0.01	92.75 ± 2.53	2.72
			0.1	90.61 ± 1.82	2.00
Scirocco without stalk		0.01	89.93 ± 3.92	4.36	
		0.1	91.80 ± 1.13	1.24	
WLS 3455 with stalk		0.01	99.85 ± 3.44	3.45	
		0.1	92.54 ± 2.10	2.27	
WLS 3455 without stalk		0.01	95.87 ± 1.41	1.47	
		0.1	95.68 ± 1.59	1.66	
753-A-OH		Scirocco with stalk	0.01	71.73 ± 1.39	1.94
			0.1	93.49 ± 4.24	4.54
	Scirocco without stalk	0.01	81.07 ± 7.46	9.20	
		0.1	96.61 ± 1.85	1.92	
	WLS 3455 with stalk	0.01	75.73 ± 4.54	6.00	
		0.1	93.50 ± 6.43	6.88	
	WLS 3455 without stalk	0.01	99.89 ± 2.19	2.19	
		0.1	88.34 ± 1.63	1.84	

^{a)}Standard deviation, ^{b)}Relative standard deviation, ^{c)}Cultivar of regular sweet pepper used in the test, ^{d)}Cultivar of mini sweet pepper used in the test

Table 7. Storage stability of cyflumetofen, penthiopyrad and their metabolites in sweet pepper during storage period

Pesticide	Cultivar	Fortification (mg/kg)	Mean \pm SD ^{a)} (n=3, %)	RSD ^{b)} (%)
Cyflumetofen	Scirocco ^{c)} with stalk	0.1	111.74 \pm 7.06	6.31
	Scirocco without stalk		110.47 \pm 6.59	5.97
	WLS 3455 ^{d)} with stalk		116.35 \pm 1.87	1.61
	WLS 3455 without stalk		106.37 \pm 5.95	5.59
B-1	Scirocco with stalk	0.05	95.36 \pm 3.66	3.84
	Scirocco without stalk		101.04 \pm 4.95	4.90
	WLS 3455 with stalk		101.64 \pm 4.18	4.12
	WLS 3455 without stalk		103.13 \pm 2.84	2.75
Penthiopyrad	Scirocco with stalk	0.1	78.09 \pm 3.11	3.98
	Scirocco without stalk		93.04 \pm 9.67	10.39
	WLS 3455 with stalk		79.21 \pm 5.29	6.67
	WLS 3455 without stalk		87.33 \pm 10.48	12.00
PAM	Scirocco with stalk	0.1	93.20 \pm 3.88	4.17
	Scirocco without stalk		95.25 \pm 0.59	0.61
	WLS 3455 with stalk		92.42 \pm 0.86	0.93
	WLS 3455 without stalk		97.54 \pm 0.49	0.50
753-A-OH	Scirocco with stalk	0.1	96.78 \pm 3.49	3.60
	Scirocco without stalk		99.72 \pm 8.08	8.10
	WLS 3455 with stalk		83.93 \pm 5.12	6.10
	WLS 3455 without stalk		91.78 \pm 2.20	2.40

^{a)}Standard deviation, ^{b)}Relative standard deviation, ^{c)}Cultivar of regular sweet pepper used in the test, ^{d)}Cultivar of mini sweet pepper used in the test

Table 8. Comparison of residues of cyflumetofen between two sweet pepper cultivars in time-dependent manners

Day after last application	Cyflumetofen residue (mg/kg) ¹⁾			
	Portion of commodity	Scirocco ²⁾	WLS 3455 ³⁾	<i>p</i> -value ⁴⁾
0	Whole commodity	0.41 \pm 0.08 ^{a5)}	1.04 \pm 0.13 ^a	0.002
2		0.43 \pm 0.12 ^a	0.90 \pm 0.08 ^{ab}	0.005
5		0.48 \pm 0.06 ^a	0.88 \pm 0.03 ^b	0.001
7		0.40 \pm 0.04 ^a	0.84 \pm 0.08 ^b	0.001
14		0.39 \pm 0.02 ^a	0.62 \pm 0.04 ^c	0.001
0	Commodity after removal of stalk	0.50 \pm 0.07 ^a	0.76 \pm 0.18 ^a	0.079
2		0.42 \pm 0.11 ^a	0.68 \pm 0.08 ^{ab}	0.031
5		0.43 \pm 0.07 ^a	0.71 \pm 0.08 ^{ab}	0.009
7		0.46 \pm 0.03 ^a	0.66 \pm 0.13 ^{ab}	0.114
14		0.39 \pm 0.03 ^a	0.51 \pm 0.12 ^b	0.181

¹⁾Mean \pm Standard deviation of three replicates

²⁾Cultivar of regular sweet pepper used in the test

³⁾Cultivar of mini sweet pepper used in the test

⁴⁾There are significant differences at the $p < 0.05$ level by t-test.

⁵⁾Duncan's multiple range test, $p < 0.05$

서 모두 경시적으로 감소하는 경향을 보였다($p < 0.05$) (Table 8, Table 9).

미니 착색단고추에서 꼭지가 있는 착색단고추와 없는 착색단고추의 cyflumetofen 최종 약제 살포 당일 잔류량은 각

각 1.04와 0.76 mg/kg이었고, 14일차의 경우 0.62, 0.51 mg/kg이었다. Penthiopyrad의 경우 0일차의 잔류량은 각각 0.43, 0.38 mg/kg이었고, 14일차의 경우 0.28와 0.19 mg/kg이었다. 시료채취 일자별 잔류량을 통계분석한 결과 꼭지를 포함한

Table 9. Comparison of residues of penthiopyrad between two sweet pepper cultivars in time-dependent manners

Day after last application	Penthiopyrad residue (mg/kg) ¹⁾			
	Portion of commodity	Scirocco ²⁾	WLS 3455 ³⁾	<i>p</i> -value ⁴⁾
0	Whole commodity	0.24 ± 0.06 ^{a5)}	0.43 ± 0.10 ^a	0.055
2		0.24 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.08 ^a	0.035
5		0.19 ± 0.02 ^{ab}	0.40 ± 0.05 ^{ab}	0.003
7		0.19 ± 0.02 ^{ab}	0.39 ± 0.03 ^{ab}	0.001
14		0.13 ± 0.04 ^b	0.28 ± 0.08 ^b	0.043
0	Commodity after removal of calyx	0.22 ± 0.05 ^a	0.38 ± 0.12 ^a	0.102
2		0.20 ± 0.02 ^a	0.40 ± 0.06 ^a	0.005
5		0.22 ± 0.03 ^a	0.36 ± 0.04 ^a	0.012
7		0.18 ± 0.02 ^a	0.27 ± 0.02 ^{ab}	0.003
14		0.11 ± 0.03 ^b	0.19 ± 0.05 ^b	0.067

¹⁾Mean ± Standard deviation of three replicates
²⁾Cultivar of regular sweet pepper used in the test
³⁾Cultivar of mini sweet pepper used in the test
⁴⁾There are significant differences at the *p* < 0.05 level by t-test.
⁵⁾Duncan's multiple range test, *p* < 0.05

미니 착색단고추와 포함하지 않은 착색단고추에서 cyflumetofen과 penthiopyrad 두 약제 모두 감소하는 경향을 보였다 (*p* < 0.05) (Table 8, Table 9).

작물체에 부착된 농약의 소실 원인으로는 자외선, 강우, 휘산 그리고 비대생장에 의해 희석효과가 있고, 침투성 농약의 경우 작물체에 침투, 흡수되어 작물체내의 대사작용에 의해 분해되기도 한다(Lee et al., 2005). 잔류 소실의 요인인 비대생장에 의한 희석효과의 경우 오이(Choi et al., 2018)나 애호박(Park et al., 2011)과 같이 빠른 증체율을 보이는 작물은 비대생장에 의한 희석효과가 큰 반면 포도(Kim et al., 2009)와 같이 비대생장이 크지 않는 작물에서는 희석효과에 의한 잔류 소실은 거의 없는 것으로 나타났다. 착색단고추의 경우도 수확 2주 전에는 중량의 변화가 거의 없이 착색만 진행된다(Cho et al., 2011). 시험기간 중 약제 살포 당일 0일차 수확시에서 최종 수확일 14일차까지 착색단고추의 평균 무게는 증가하지 않은 것으로 보아 비대생장에 의한 희석효과는 없었던 것으로 판단된다(Fig. 1). 또한 본 연구는 시설하우스에서 재배된 점을 감안하면 강우나 바람에 의한 소실은 적을 것으로 예상되지만, 광에 의한 소실은 발생할 수 있다고 판단된다. 그리고 cyflumetofen과 같은 비침투성 약제는 작물체내로 침투한 정도가 낮아 작물 표면에 잔류하여 외부적인 요인들로 인해 소실될 수 있으며(Lee et al., 2017), penthiopyrad와 같은 침투성 농약은 작물체내에서 대사되어 여러 가지 형태로 분해될 수 있다(Seo et al., 2014).

Cyflumetofen의 경우 비침투성 농약으로 작물 표면에 부착된 농약이 시간이 지남에 따라 감소할 것이라고 예상되었지만, 일반 착색단고추에서 꼭지 유무에 관계없이 모두 잔류량이 감소하는 경향을 보이지 않았다. 반면 미니 착색단고추에서는 꼭지 유무에 관계없이 모두 잔류량이 감소하는

경향을 보였는데 이는 일반 착색단고추의 경우 생장 길이가 2 m 10 cm로 낮고 잎이 크고 무성한 반면 미니 착색단고추는 생장길이가 2 m 40 cm로 생장 길이가 높고 잎이 작아 빛에 노출되는 양이 많은 형태학적 특징을 가지고 있기 때문이라고 판단된다. Cho et al. (2011)의 연구에 의하면 일반 착색단고추는 엽면적이 높아 살포된 농약의 대부분이 잎에 부착되므로 boscalid를 살포했을 때 열매와 잎에서의 잔류량 차이는 47배를 보였고 pyraclostrobin의 경우에는 34-88 배의 차이를 보였다는 보고가 있다. penthiopyrad는 꼭지 유무에 관계없이 일반 착색단고추와 미니 착색단고추에서 모두 경시적으로 감소하는 경향을 보였는데 이는 침투성 농약으로 작물체 내에 침투하여 대사작용에 의해 분해된 것으로 판단된다.

착색단고추 품종별 잔류량

Lee et al. (2004)의 연구에 따르면 농약의 부착 및 잔류에 미치는 요인 중 비표면적이 잔류에 큰 영향을 미친다는 보고가 있다. 또한 채소류의 잔류농약을 조사한 결과 다른 작물에 비해 비표면적이 크고 시설재배를 하는 엽채류에서 농약의 검출 빈도가 높다는 연구 결과가 있다(Jang et al., 2011).

미니 착색단고추는 일반 착색단고추에 비해 비표면적이 크기 때문에 미니 착색단고추에서 cyflumetofen, penthiopyrad의 잔류량이 더 높을 것으로 예상되었다. Cyflumetofen과 penthiopyrad의 안전사용기준인 최종 약제 살포 후 2일차를 기준으로 보았을 때, cyflumetofen의 잔류량은 꼭지를 포함한 경우 미니 착색단고추에서 일반 착색단고추보다 2.1배 더 많이 잔류하는 것으로 나타났고, 꼭지를 포함하지 않은 경우 미니 착색단고추에서 일반 착색단고추보다 1.6배 더 많이 잔류하는 것으로 나타났다. 또한 penthiopyrad의 잔류량은 꼭

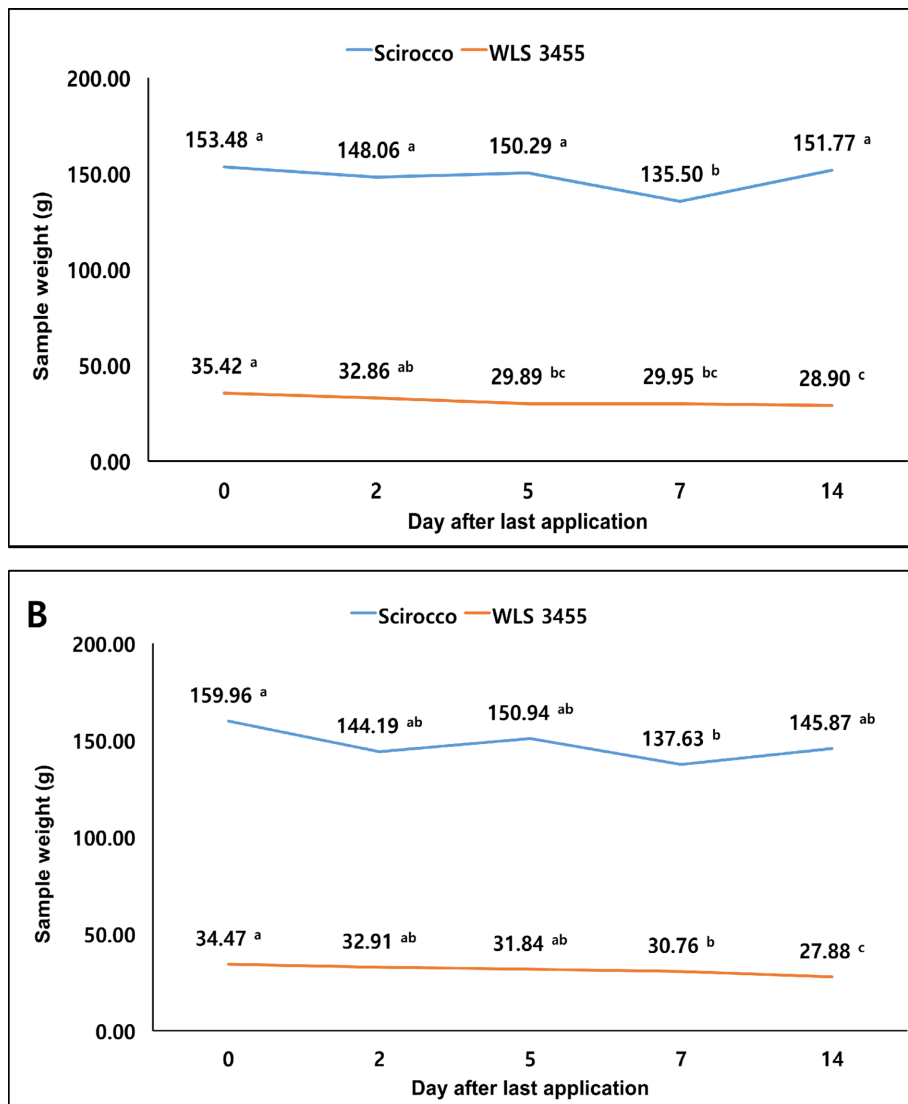


Fig. 1. Weight of sweet pepper collected at 0, 2, 5, 7, 14 days after last application (A; cyflumetofen, B; penthiopyrad). The same letter in the same column means no significant difference at the $p < 0.05$ level.

지를 포함한 경우와 포함하지 않은 경우 모두 미니 착색단고추에서 일반 착색단고추보다 2배 더 많이 잔류하는 것으로 나타났다. 통계분석 결과 두 품종간 잔류량은 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$) (Table 8, Table 9).

결과적으로 일반 착색단고추와 미니 착색단고추의 비표면적은 평균 1.7배 차이를 보이고, 이와 비슷하게 모든 수확일자에서 cyflumetofen, penthiopyrad의 잔류량이 모두 미니 착색단고추에서 일반 착색단고추보다 평균 1.8배 더 많이 잔류하는 것으로 나타났다. 두 농약의 경우 안전사용기준인 최종 약제 살포 후 2일 차를 포함하여 모든 수확 일자에서 잔류허용기준 미만으로 검출되었으나 일반 착색단고추와 미니 착색단고추에서 cyflumetofen과 penthiopyrad의 잔류량이 유의한 차이를 보임에 따라 착색단고추 품종에 따른 농약 잔류량 비교에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

꼭지 유무에 따른 잔류량

꼭지 유무에 따른 잔류량을 알아보기 위해 통계분석한 결과 cyflumetofen의 잔류량은 미니 착색단고추에서 2일차와 5일차를 제외하고 일반 및 미니 착색단고추의 나머지 일자에서 꼭지 유무에 따른 잔류량은 유의적인 차이를 보이지 않았다. Penthioopyrad는 일반 착색단고추에서 2일차, 미니 착색단고추에서 7일차를 제외하고 나머지 일자에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$). (Table 10, Table 11). 고추의 경우 농약 살포액이 꼭지 부위에 고여 꼭지 부위에 농약 성분이 많이 잔류할 수 있으며, 이는 고춧가루에 대한 농약 검출 수준을 높일 수 있다는 연구결과(Lee and Hwang, 2009)가 있다. 또한 고추의 과육부분과 꼭지부분을 나누어 잔류량을 평가했을 때 꼭지부분과 꽃받침부분에서 과육보다 더 많은 농약이 잔류한다는 선행연구들로 보아(Park et al.,

Table 10. Comparison of residues of cyflumetofen between sweet pepper with or without calyx in time-dependent manners

Day after last application	Cultivar	Cyflumetofen residue (mg/kg) ¹⁾		
		Whole commodity	Commodity after removal of stalk	<i>p</i> -value ²⁾
0	Scirocco ³⁾	0.41 ± 0.08	0.50 ± 0.07	0.231
2		0.43 ± 0.12	0.42 ± 0.11	0.949
5		0.48 ± 0.06	0.43 ± 0.07	0.432
7		0.40 ± 0.04	0.46 ± 0.03	0.134
14		0.39 ± 0.02	0.39 ± 0.03	0.740
0	WLS 3455 ⁴⁾	1.04 ± 0.13	0.76 ± 0.18	0.091
2		0.90 ± 0.08	0.68 ± 0.08	0.030
5		0.88 ± 0.03	0.71 ± 0.08	0.021
7		0.84 ± 0.08	0.66 ± 0.13	0.117
14		0.62 ± 0.04	0.51 ± 0.12	0.209

¹⁾Mean ± Standard deviation of three replicates

²⁾There are significant differences at the *p* < 0.05 level by t-test.

³⁾Cultivar of regular sweet pepper used in the test

⁴⁾Cultivar of mini sweet pepper used in the test

Table 11. Comparison of residues of penthiopyrad between sweet pepper with or without calyx in time-dependent manners

Day after last application	Cultivar	Penthiopyrad residue (mg/kg) ¹⁾		
		Whole commodity	Commodity after removal of stalk	<i>p</i> -value ²⁾
0	Scirocco ³⁾	0.24 ± 0.06	0.22 ± 0.05	0.616
2		0.24 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.039
5		0.19 ± 0.02	0.22 ± 0.03	0.393
7		0.19 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.453
14		0.13 ± 0.04	0.11 ± 0.03	0.540
0	WLS 3455 ⁴⁾	0.43 ± 0.10	0.38 ± 0.12	0.664
2		0.47 ± 0.08	0.40 ± 0.06	0.285
5		0.40 ± 0.05	0.36 ± 0.04	0.372
7		0.39 ± 0.03	0.27 ± 0.02	0.007
14		0.28 ± 0.08	0.19 ± 0.05	0.175

¹⁾Mean ± Standard deviation of three replicates

²⁾There are significant differences at the *p* < 0.05 level by t-test.

³⁾Cultivar of regular sweet pepper used in the test

⁴⁾Cultivar of mini sweet pepper used in the test

2011) 꼭지 부분이 파여있는 착색단고추의 형태학적 특성상 농약이 고여 더 많은 농약이 잔류될 수 있다는 예상과 달리 착색단고추의 꼭지 부분은 농약 잔류량에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ015096032022)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Author Information and Contributions

Hee Jeong Shin, Residue Study Division, ABSolution, Researcher, <http://orcid.org/0000-0002-5315-2513>

RaeKeun Lee, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Chang Jo Kim, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Hyun Ho Noh, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Eun Young Lee, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Kee Sung Kyung, Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Professor

Danbi Kim, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher, <http://orcid.org/0000-0002-8819-3235>

Conceptualization, Danbi Kim; consultation, Kee Sung Kyung; field trials, Danbi Kim and Hee Jeong Shin and RaeKeun Lee; formal analysis, Danbi Kim and Hee Jeong Shin and Chang Jo Kim; writing-original draft, Hee Jeong Shin; writing-review & editing, Hee Jeong Shin, Chang Jo Kim, Danbi Kim and Hyun Ho Noh; resources, Danbi Kim, Hyun Ho Noh; project administration, Danbi Kim.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature cited

- Cho IH, Lee WM, Kwan KB, Woo YH, Lee KH, et al., 2009. Stable production technique of paprika (*Capsicum annum* L.) by hydrogen peroxide treatment at summer. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(3):297-301.
- Cho KS, Lee SJ, Lee DY, Kim YJ, Choe WJ, et al., 2011. Pre-harvest residual characteristics of boscalid and pyraclostrobin in paprika at different seasons and plant part. *Korean J. Pestic. Sci.* 15:269-277.
- Choi JW, Kim JY, Kim HG, Leem SB, Do JA, et al., 2018. Residual properties of fluopicolide and metrafenone during cultivation of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Korean J. Pestic. Sci.* 22(2):91-98.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed. *Pesticide Residues*. FAO. pp.27-32.
- Jang MR, Moon HK, Kim TR, Yuk DH, Kim EH, et al., 2011. The survey on pesticide residues in vegetables collected in Seoul. *Korean J. Pestic. Sci.* 15(2):114-124.
- Jeong CH, Woong HK, Jeong RC, Cheol GA, Ki HS, et al., 2006. Chemical components of Korean paprika according to cultivars. *Korean J. Food Preserv.* 13(1):43-49.
- Kim JH, 2007. Pesticide and Its Importance. *Safe Food.* 2(1):48-52.
- Kim SW, Lee EM, Lin Y, Park HW, Lee HR, et al., 2009. Establishment of pre-harvest residue limit (PHRL) of insecticide bifenthrin during cultivation of grape. *Korean J. Pestic. Sci.* 13:241-248.
- Kwon HY, Kim JB, Lee HD, Ihm YB, Kyung KS, et al., 2004. Estimate of pesticide residues in tomato varieties using ratio of surface area to weight. *Korean J. Pestic. Sci.* 8(1):30-37.
- Lee HD, Ihm YB, Kwon HY, Kim JB, Kyung KS, Kim CS, et al., 2005. Dissipation pattern of pesticide residues in/on different varieties of lettuce applied with foliar spraying under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 9(4):354-358.
- Lee MJ, Hwang JM, 2009. Residue distribution of chlorothalonil, kresoxim-methyl and procymidone among different parts of hot pepper plants. *Korean J. Food Sci. Technol.* 41(6):722-726.
- Lee HD, Kyung KS, Kwon HY, Ihm YB, Kim JB, et al., 2004. Residue characteristics of hexaconazole and chlorothalonil in several fruits. *Korean J. Pestic. Sci.* 8(2):107-111.
- Lee SM, Kim JS, An CG, Park JS, Kim SN, et al., 2016. Assessment of paprika quality by instrumental parameters and sensory attributes. *J. East Asian Soc Dietary Life.* 26(1):34-43.
- Lee HS, Hong SM, Kwon HY, Kim DB, Moon BC, et al., 2017. Comparison of residue patterns between foliar application and drenching in export strawberry. *J. Applied Biological Chemistry.* 60(4):313-319.
- MacBean C, 2012. The pesticide manual: a world compendium, BCPC, pp.259-260, 868-869.
- Menn JJ, 1978. Comparative aspects of pesticide metabolism in plants and animals. *Environ. Health Perspectives* 27:113-124.
- Ministry of Government Legislation (MOLEG), 2020. <https://www.law.go.kr>
- Oh MS, Park JH, Kang MH, Moon BC, Kim TK, et al., 2020. Residual characteristics of boscalid and pyradostrobin according to the difference in sample preparation of strawberries. *Korean J. Environ. Agric.* 0:202 (Abstr.).
- Park HK, Noh HH, Lee KH, Lee JY, Park YS, Kang, et al., 2011. Residual characteristic of chlorpyrifos in squash and estimation of its residue before harvest. *Korean J. Pestic. Sci.* 15:463-470.
- Park MJ, 2018. A Study on Pesticide Residues and Risk Assessment of Imported Fruits. Diss. Pukyong univ. Busan. Korea.
- Park HI, Hwang JM, Kim BS, Lee MG, Choi YW, et al., 2011. Residue of pesticides carbendazim and chlorpyrifos in different parts of red pepper. *Korean J. Pestic. Sci.*

15(3):246-253.
 Rural development administration (RDA), 2020. 제2020-4호
 농약 및 원제의 등록기준.
 Seo EK, Kim TK, Hong SM, Kwon HY, Gwon JH, et al., 2014.
 Residual characteristics of a systemic insecticide flonicamid

and its metabolites in sweet pepper. Korean J. Pestic. Sci.
 18(4):228-235.
 Shrestha SL, Luitel BP, Kang WH, 2011 Heterosis and
 heterobeltiosis studies in sweet pepper (*Capsicum annum*
 L.). Hort. Environ Biote 52:278-283.

착색단고추 품종에 따른 cyflumetofen과 penthiopyrad의 잔류특성

신희정 · 이래근¹ · 김창조¹ · 노현호¹ · 이은영¹ · 경기성² · 김단비^{1*}

(주)에이비솔루션 잔류성시험부, ¹국립농업과학원 농산물안전성부 잔류화학평가과,
²충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과

요 약 이 연구는 품종별 착색단고추(*Capsicum annum L.*) 중 농약의 경시적 잔류특성을 구명하여 작물의 크기와 형태가 잔류량에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행되었다. 일반 및 미니 착색단고추 중 cyflumetofen과 penthiopyrad의 경시적 잔류 특성을 확인하고 품종과 착색단고추 꼭지 유무에 따른 잔류량을 비교하였다. 시험농약은 안전사용기준에 준하여 7일 간격으로 cyflumetofen의 경우 2회, penthiopyrad는 3회 살포한 후 최종약제 처리일(0일차)을 포함하여 14일차까지 5회 시료를 채취하였다. 형태와 크기에 따른 잔류특성을 구명하기 위하여 3D 스캐너를 이용하여 비표면적을 측정하였으며, 잔류량 비교를 위해 일원배치분산분석(사후검정 Duncan analysis)과 독립표본 t-검정을 실시하였다($p < 0.05$). 잔류농약은 QuEChERS 방법과 LC-MS/MS를 이용하여 분석하였다. 일반 및 미니 착색단고추 중 cyflumetofen과 대사체 B-1의 회수율은 78.42~117.21%이었으며, penthiopyrad와 대사체 PAM, 753-A-OH의 경우 71.73~101.30%이었다. 일반 착색단고추 중 cyflumetofen의 잔류량은 경시적으로 유의한 감소 경향을 보이지 않았으며, 미니 착색단고추에서는 경시적으로 감소하는 경향을 보였다($p < 0.05$). Penthiopyrad의 경우 일반 및 미니 착색단고추 모두 경시적 잔류감소 경향을 보였다($p < 0.05$). 안전사용기준의 수확 예정일(최종 약제살포 후 2일차)의 착색단고추 품종별 가식부위 잔류량은 시험농약 모두 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 일반 착색단고추와 미니 착색단고추 중 cyflumetofen과 penthiopyrad의 잔류량은 유의한 차이를 보였지만 cyflumetofen과 penthiopyrad의 경과일수별 잔류량은 모두 잔류허용기준 미만이었으므로 일반 착색단고추의 안전사용기준을 미니 착색단고추에 외삽이 가능하다고 판단되었다.

색인어 Cyflumetofen, Penthiopyrad, 착색단고추, 잔류농약, 안전사용기준