



## 살균제 picoxystrobin, pydiflumetofen 및 pyraclostrobin의 갓 중 경시적 잔류량 변화와 식이섭취 노출기여도 평가

김광민<sup>†</sup> · 김진성<sup>†</sup> · 오경열 · Wasi Ullah · 김진호<sup>\*</sup>

경상대학교 농업생명과학연구원(IALS) 응용생명과학부 환경생명화학과

### Assessment of Dietary Exposure to Picoxystrobin, Pydiflumetofen, and Pyraclostrobin With Residual Dissipation in Leaf Mustard (*Brassica juncea*)

Kwang-Min Kim<sup>†</sup>, Jin-Seong Kim<sup>†</sup>, Kyeong-Yeol Oh, Wasi Ullah, and Jin-Hyo Kim<sup>\*</sup>Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture  
and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Jinju, 52727, Republic of Korea

(Received on February 27, 2025. Revised on March 11, 2025. Accepted on March 12, 2025)

**Abstract** Leaf mustard (*Brassica juncea*), cultivated in a greenhouse, was evaluated in our study for dietary exposure to picoxystrobin, pydiflumetofen, and pyraclostrobin and the corresponding residual dissipation. Leaf mustard was treated at weekly intervals to three pre-harvest applications of a 2,000-fold dilution of 25% picoxystrobin suspension concentrate (SC) along with a 4,000-fold dilution of 18.3% pydiflumetofen SC and 22.9% pyraclostrobin emulsifiable concentrate (EC). The initial residues in the leaf mustard were  $7.08 \pm 1.03 \text{ mg kg}^{-1}$  for picoxystrobin,  $4.70 \pm 0.72 \text{ mg kg}^{-1}$  for pydiflumetofen, and  $5.55 \pm 0.60 \text{ mg kg}^{-1}$  for pyraclostrobin with 50% dissipation times ( $DT_{50}$ ) of 6.5, 3.9, and 3 days, respectively. The estimated daily intake (EDI), based on the initial residues, was below 1% of the acceptable daily intake (ADI).

**Key words** Picoxystrobin, Pydiflumetofen, Pyraclostrobin, 50% Dissipation time, Leaf mustard

## 서 론

국내에서 재배되는 엽채류, 엽경채류 등을 포함하는 소면적 작물들은 소비 증가에 따라 재배면적이 늘어나고 있으나 (An et al., 2019; Kang et al., 2024; Woo et al., 2015), 소면적 재배작물에 발생하는 병해충 방제를 위한 등록 농약이 제한되어 병해충 발생 시 방제의 어려움이 있다(Jung et al., 2024; Kim et al., 2017; Oh et al., 2023; Son et al., 2012). 이러한 이유로 소면적 작물 중 엽채류에서 잔류농약 부적합 비율이 다른 작물에 비해 상대적으로 높았다(Kang et al., 2024; Lee et al., 2022). 따라서 소면적 작물의 안전한 생산과 소비를 위해서는 재배기술의 표준화, 병해충 방제력 강화, 사용 가

능한 농약 품목 확대 등의 종합적인 노력이 필요하다.

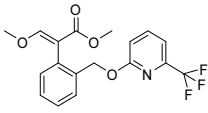
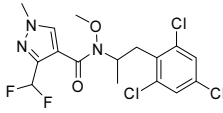
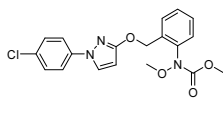
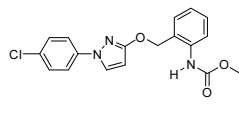
십자화과 배추속에 속하는 갓 (*Brassica juncea*)은 국내에서 주로 돌산 갓이 재배되고 있으나 전국적 재배면적이 넓지 않아 소면적 재배작물로 분류된다 (Park et al., 2022). 돌산 갓은 일반 갓에 비해 잎색이 녹색이며, 잎 살이 많고 잎줄기가 넓고 두꺼운 특징을 가지고 있고, 잎 면이 부드럽게 보여 식감에서도 차별점을 가진다(Son et al., 2015). 특히 갓은  $\beta$ -carotene, phenolic compounds 등의 기능성 물질이 풍부하여 항산화 및 항암 효과가 있는 것으로 보고되었다 (Cheigh et al., 1994; Choi et al., 2001; Kim et al., 1993). 현재 국내 재배 갓에 주로 발생하는 병해는 검은무늬병, 노균병, 무름병 등 총 10종이 알려져 있다(NCPMS, 2025). 이들 중 노균병과 무름병에 대한 방제는 dimethomorph와 mandipropamid 등이 등록되어 있으나, 검은무늬병 방제 약제는 등록되어 있지 않아 병 발생시 대응하기 어렵다(PSIS, 2025).

<sup>†</sup>The authors contributed equally to this work

<sup>\*</sup>Corresponding author

E-mail: jhkim75@gnu.ac.kr

**Table 1.** Chemical structures and physicochemical properties of picoxystrobin, pydiflumetofen, pyraclostrobin, and BF500-3<sup>a)</sup>

Pesticide	Picoxystrobin	Pydiflumetofen	Pyraclostrobin	BF500-3
Chemical structure				
MW (g mol <sup>-1</sup> )	367.32	426.7	387.8	357.8
Vapor pressure (20°C, mPa)	5.5 × 10 <sup>-3</sup>	1.84 × 10 <sup>-1</sup>	2.60 × 10 <sup>-2</sup>	-
log K <sub>ow</sub>	3.6	3.8	3.99	-

<sup>a)</sup>The data was obtained from International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Pesticide Properties DataBase

갯에서 검은무늬병은 *Alteraria brassicae* Sacc.에 의해 발생하며, 잎이 마르고 줄기와 꼬투리에 병반이 생겨 수확량 감소와 함께 경제적 피해를 초래한다(Lee et al., 2023).

검은무늬병 병원균의 방제는 미토콘드리아 호흡을 저해하는 살균제가 사용되며, pydiflumetofen은 succinate dehydrogenase 저해제로 작용하여 병원균의 호흡 작용을 억제하는 기작이 알려져 있고, strobilurin계인 picoxystrobin과 pyraclostrobin은 cytochrome b의 Qo site를 차단함으로써 미토콘드리아 전자전달계를 교란하는 기작이 알려져 있다(Kwon et al., 2012; Liu et al., 2023; Park et al., 2022; Shi et al., 2023). 또한, pyraclostrobin은 포자 발아 억제 및 균사 생장 저해 효과도 함께 나타내어 병원균의 확산을 효과적으로 차단할 수 있다(Park et al., 2024).

이들 유효 성분을 활용하여 국내에 등록된 품목은 각각 picoxystrobin 25% 액상수화제(suspension concentrate, SC), pydiflumetofen 18.35% SC, pyraclostrobin 22.9% 유제(emulsifiable concentrate, EC) 등이 있으며, 셀러리, 케일, 배추, 들깨잎 등 엽채류에서 검은무늬병, 노균병, 흰가루병 등의 방제에 활용되고 있다(PSIS, 2025). 따라서, 본 연구에서는 갯에서 이들 성분의 경시적 잔류 변화를 조사하고, 식이 섭취에 따른 노출량을 평가하여, 농약안전사용기준 설정과 최대잔류허용기준 (maximum residue limit, MRL) 설정에 필요한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 표준품 및 시약

Pydiflumetofen (순도 99.63%), pyraclostrobin (순도 99.63%)

과 이의 대사체인 pyraclostrobin-M01 (BF500-3, 순도 97.1%)의 분석용 표준품은 Dr. Ehrenstorfer GmbH (LGC Standards Ltd., Augsburg, Germany)에서 구입하여 사용하였고, picoxystrobin (순도 99.5%)의 분석용 표준품은 Sigma-Aldrich® (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)에서 구입하여 사용하였다. 시험대상 성분들의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. Acetonitrile (ACN)과 water는 Burdick & Jackson™ (Honeywell International Inc., Morris Plains, NJ, USA)의 high-performance liquid chromatography (HPLC) grade를 사용하였고, ammonium formate (Kanto Chemical Co., Inc., Tokyo, Japan)와 formic acid (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)는 순도 >98%를 사용하였다.

### 시험포장 및 약제 처리

갯 잔류성 시험은 경상남도 산청군 석남리의 시설재배지에서 10월부터 11월까지 실시하였으며, 품종은 돌산갯 (Asia Seed Co., Seoul, Korea)을 사용하였다. 시험기간 동안 시설재배지의 평균 온도는 15.0°C (0.7-39.8°C), 평균 상대습도는 87% (22-100%)이었다. 잔류시험 포장의 시험구는 10.5 m<sup>2</sup> (7 m × 1.5 m) 3반복으로 조성하였다. 갯에 대한 잔류시험은 pydiflumetofen 18.35% SC (Syngenta Korea Co. Ltd., Jeonbuk, Korea)와 pyraclostrobin 22.9% EC (SG Hankook Samgong Co. Ltd., Jeonbuk, Korea)를 4000배 희석하여 사용하였고, picoxystrobin 25% SC (KyungNong Co. Ltd., Daegu, Korea)는 2000배 희석 사용하였다. 약제는 Table 2와 같이 균일하게 7일간격으로 3회 경엽 살포하였고, 최종 약제 살포 3시간 경과 후 약액이 마른 것을 확인하고 일시 수확하였다. 잔류분석을 위한 시료는 처리구별 2 kg 이상을 수확하였으며, 수확한

**Table 2.** Application of picoxystrobin, pydiflumetofen, and pyraclostrobin to leaf mustard

Pesticide	Formulation	A.i. <sup>a)</sup> contents	Dilution folds	Application frequency
Pydiflumetofen	SC <sup>b)</sup>	18.35%	4000	3 times (7 days intervals)
Pyraclostrobin	EC <sup>c)</sup>	22.9%	4000	
Picoxystrobin	SC	25%	2000	

<sup>a)</sup> Active ingredient <sup>b)</sup> suspension concentrate, <sup>c)</sup> emulsifiable concentrate

시료는 수분이 흘러내리지 않도록 종이로 포장하여 냉장상태로 실험실로 옮기고, 드라이아이스와 함께 곱게 분쇄하여 잔류분석 전까지 -20°C 이하에서 보관하였다.

**잔류분석 시료 전처리**

균질화한 시료 10 g에 ACN 10 mL를 가한 후 Phenomenex Inc. (Torrance, CA, USA)의 QuEChERS kit (4 g magnesium sulfate (MgSO<sub>4</sub>), 1 g sodium chloride, 1 g sodium citrate tribasic dehydrate, 0.5 g sodium citrate dibasic sesquihydrate)를 넣어 진탕하고 (AS-600, Anylab Co., Ltd., Seoul, Korea),

초음파 추출 (Powersonic 410, Hawshin Tech Co., Ltd., Seoul, Korea)하였다. 추출한 시료는 4°C에서 4000 rpm으로 10분간 원심분리 (Labogene™ 1580R, Gyrozen Co., Ltd., Daejeon, Korea)하였다. Pydiflumetofen 분석용 시료는 추출 상정액 1 mL를 25 mg primary-secondary amine (PSA, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)과 150 mg MgSO<sub>4</sub>가 포함된 dispersive solid phase extraction (d-SPE)에 넣어 정제하였고, picoxystrobin과 pyraclostrobin 및 BF500-3 분석용 시료는 추출 상정액 1 mL를 25 mg PSA와 25 mg C<sub>18</sub>, 150 mg MgSO<sub>4</sub>가 포함된 d-SPE에 넣어 정제하였다. 이후,

**Table 3.** GC-MS/MS condition for quantitative analysis of picoxystrobin, and pydiflumetofen

Instrument	GCMS-TQ8050NX (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)					
Column	Rxi-5Sil MS (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)					
Gas flow	He 1 mL min <sup>-1</sup>					
Injection temp.	250°C					
Injection volume	5 μL					
Oven condition	Pydiflumetofen			Picoxystrobin		
	Rate (°C min <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)	Hold time (min)	Rate (°C min <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)	Hold time (min)
	Initial	120	0	Initial	90	3
	20	240	1	15	230	1
	10	280	2	10	340	5
Ionization mode	EI positive					
Ion source.	230°C					
Interface.	280°C					
MRM condition	Analyte	Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)			
			Quantifier (CE)		Qualifier (CE)	
	Pydiflumetofen	159	139 (15 V)		57.1 (27 V)	
Picoxystrobin	145	102.1 (24 V)		115.1 (12 V)		

**Table 4.** LC-MS/MS condition for quantitative analysis of pyraclostrobin and BF500-3

HPLC Instrument	Nexera LC-40 UHPLC (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)		
Column	Infinity Lab Poroshell 120-EC-C18 (2.1 mm × 100 mm, 2.7 μm)		
Injection volume	1 μL		
Mobile phase A	0.1% Formic acid in water with 5 mM ammonium formate		
Mobile phase B	0.1% Formic acid in methanol with 5 mM ammonium formate		
Flow rate	0.3 mL min <sup>-1</sup>		
Gradient	Time (min)	Mobile phase (%A)	Mobile phase (%B)
	0	40	60
	7	10	90
	7.5	0	100
MS/MS Instrument	LC-MS/MS 8050 Triple Quadrupole (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)		
Ionization mode	ESI positive		
MRM condition	Analyte	Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)
			Quantifier (CE)
	Pyraclostrobin	388.2	194.15 (-15 V)
BF500-3	358.2	132.10 (-29 V)	
		Qualifier (CE)	
		164.20 (-19 V)	
		164.15 (-14 V)	

정제 시료는 syringe filter (PTFE, 0.22  $\mu\text{m}$ , Biofact Co., Ltd., Daejeon, Korea)로 여과한 후 기기분석에 사용하였다.

### 정량 기기분석 조건

갓 중 picoxystrobin과 pydiflumetofen의 잔류분석은 Rxi-5Sil MS (30  $\text{m} \times 0.25 \text{ mm}$ , 0.25  $\mu\text{m}$ , Resteck Co., Bellefonte, PA, USA) 컬럼을 사용하여 Table 3의 조건에 따라 GC-triple quadrupole mass spectrometry (MS/MS) (GCMS-TQ8050 NX, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 분석하였다. Pyraclostrobin과 BF500-3의 잔류분석은 InfinityLab Poroshell 120-EC-C18 (2.1  $\text{mm} \times 100 \text{ mm}$ , 2.7  $\mu\text{m}$ , Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, USA) 컬럼을 사용하였고 이동상은 5 mM ammonium formate와 0.1% formic acid를 포함한 수용액과 methanol을 gradient 조건에서 사용하여 Table 4의 조건에 따라 LC-MS/MS (LC-MSMS 8050 Triple Quadrupole, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 분석하였다.

### 분석법 검증

Picoxystrobin, pydiflumetofen, pyraclostrobin 및 BF500-3의 검량선은 1000  $\text{mg L}^{-1}$  stock solution을 농약 무처리 시료의 추출물로 희석하여 matrix-matched standard를 제조하였다. Pydiflumetofen의 검량선은 0.005-0.500  $\text{mg L}^{-1}$  범위에서 작성하였고, picoxystrobin, pyraclostrobin 및 BF500-3의 검량은 0.0005-0.050  $\text{mg L}^{-1}$  범위에서 작성하였다. 정량한계 (Limit of quantitation, LOQ)는 signal/noise 비 10이상을 기준으로 산출하였으며, 회수를 시험은 0.01  $\text{mg kg}^{-1}$ 과 0.1  $\text{mg kg}^{-1}$ 에서 3반복 수행하였다.

### Pyraclostrobin의 총 환산잔류량

대사체를 포함하는 pyraclostrobin의 총 환산잔류량은 농촌진흥청의 “농약의 잔류분 정의” 지침에 따라(NAS, 2018), 대사체의 환산계수를 활용하여 산출하였다(식 (1)).

$$\text{Total pyraclostrobin (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{Pyraclostrobin} + (\text{BF500-3} \times 1.08^{\text{a}}) \quad (1)$$

$$\text{a) } 10.8 = \frac{387.83(\text{Molecular weight of pyraclostrobin})}{357.80(\text{Molecular weight of BF500-3})}$$

### 잔류 반감기 산출

잔류 반감기(50% dissipation time,  $DT_{50}$ )은 Lee 등(2024)의 방법에 따라 식 (2)를 적용하여 회귀식을 산출하고, 식 (3)을 사용하여 산출하였다.

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

( $C_t$ : t에서의 잔류량, t: 시간,  $C_0$ : 초기농도, k: 감소 상수)

$$DT_{50} = \frac{\ln 2}{k} \quad (3)$$

### 식이섭취 노출량 평가

Picoxystrobin, pydiflumetofen, pyraclostrobin의 잔류안전성 평가를 위한 일일섭취추정량 (estimated daily intake, EDI)은 검출된 최대 잔류량과 2021년 국민영양통계 중 전 연령의 평균 갓 식이섭취량 (1.17  $\text{g 인}^{-1}$ ), 평균 체중 (60  $\text{kg}$ )을 식 (4)에 적용하여 산출하였다(KHIDI, 2021; Lee et al., 2021). 농촌진흥청 “제2025-3호”에 고시되어 있는 일일섭취 허용량 (acceptable daily intake, ADI)과 EDI를 식 (5)에 적용하여 %ADI를 산출하였다(Oh et al., 2023; RDA, 2025; Oh et al., 2022).

$$\text{EDI}(\text{mg kg}^{-1} \text{Day}^{-1}) = \frac{\text{maximum residue}(\text{mg kg}^{-1}) \times \text{daily intake}(\text{kg day}^{-1})}{\text{body weight}(\text{kg})} \quad (4)$$

$$\% \text{ADI} = \frac{\text{EDI}(\text{mg kg}_{\text{bw}}^{-1} \text{day}^{-1})}{\text{ADI}(\text{mg kg}_{\text{bw}}^{-1} \text{day}^{-1})} \times 100 \quad (5)$$

## 결과 및 고찰

### 분석법 검증

갓 중 picoxystrobin, pydiflumetofen, pyraclostrobin 및 BF500-3의 잔류분석을 위한 표준검량선의 직선성 (linearity,  $R^2$ )은 모두 0.999 이상이었고, LOQ는 0.01  $\text{mg kg}^{-1}$ 이었다. 분석대상 성분의 회수율은 picoxystrobin이 95.4-97.1%, pydiflumetofen은 95.1-100.1%, pyraclostrobin과 BF500-3은 각각 100.4-100.9%와 100.0-100.6%이었고, 분석 변이계수 (Coefficient of variation, CV)는 0.4-9.0%로 분석법의 유효성을 확인하였다.

### 갓 중 picoxystrobin과 pydiflumetofen, pyraclostrobin의 경시적 잔류 변화

Picoxystrobin과 pydiflumetofen, pyraclostrobin을 7일간격 3회 희석 살포 후 picoxystrobin과 pydiflumetofen의 초기 잔류량은 각각  $7.08 \pm 1.03 \text{ mg kg}^{-1}$ 과  $4.70 \pm 0.72 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었고, pyraclostrobin과 이의 대사체인 BF500-3의 잔류량은  $5.30 \pm 0.58 \text{ mg kg}^{-1}$ 와  $0.22 \pm 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었다. 약제 살포에 따른 작물 중 농약의 초기 잔류량은 작물의 형태, 농약의 제형, 살포 방법 및 기상조건 등에 따라 결정되는 것으로 알려져 있으며, 초기 부착량은 작물체 표면의 굴곡, 비표면적 등의 형태에 따라 달라지게 된다(Jin et al., 2018; Kwon et al., 2004; Lee et al., 2022). 기존 문헌에 따르면 완두, 구기자, 오이 등에서 유사한 약량을 처리하였을 때, 초기 잔류량이 picoxystrobin은 1.02  $\text{mg kg}^{-1}$ , pydiflumetofen은 0.32  $\text{mg kg}^{-1}$ , pyraclostrobin은 0.27  $\text{mg kg}^{-1}$ 으로 보고된 바 있다(Eun et al., 2024; He et al., 2021; Jang et al., 2024). 이는 본 시험의

**Table 5.** Dissipation residue of pyraclostrobin, BF500-3, and total pyraclostrobin, and leaf length of the leaf mustard at harvest

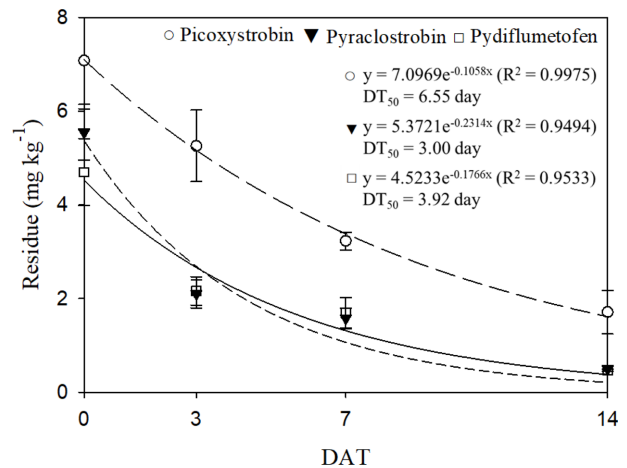
DAT <sup>a)</sup>	Average residue concentration (mg kg <sup>-1</sup> , SD <sup>b)</sup> )			Leaf length (growth ratio)
	Pyraclostrobin	BF500-3	Total pyraclostrobin	
0	5.30(0.58)	0.22(0.05)	5.55(0.60)	26.3 cm (-)
3	1.91(0.32)	0.18(0.02)	2.1(0.30)	35.7 cm (135%)
7	1.44(0.19)	0.13(0.04)	1.58(0.22)	39.4 cm (149%)
14	0.44(0.06)	0.05(0.01)	0.5(0.06)	49.3 cm (187%)

<sup>a)</sup>Days-after-treatment <sup>b)</sup>standard deviation

대상작물인 갓에서의 초기 잔류량보다 7-20배 가량 낮으며, 이는 갓이 이들 작물보다 넓은 비표면적을 가져 초기 부착량이 증가하여 나타난 결과로 판단되었다.

최종 약제 살포 14일 경과 후 picoxystrobin과 pydiflumetofen의 잔류량은 각각  $1.71 \pm 0.47$  mg kg<sup>-1</sup>과  $0.47 \pm 0.02$  mg kg<sup>-1</sup>으로 초기 잔류량의 76%와 90% 수준으로 감소하였다. 또한 pyraclostrobin은 14일 경과 후 모화합물과 대사체 BF500-3의 잔류량은  $0.44 \pm 0.06$  mg kg<sup>-1</sup>와  $0.05 \pm 0.01$  mg kg<sup>-1</sup>이었으며, 이들 잔류량으로부터 산출한 pyraclostrobin의 총 환산잔류량은 초기 잔류량 ( $5.55 \pm 0.60$  mg kg<sup>-1</sup>) 대비 90% 감소한  $0.50 \pm 0.06$  mg kg<sup>-1</sup>이었다(Table 5).

최종 약제 살포 후 경과 일수에 따라 picoxystrobin과 pydiflumetofen, 총 pyraclostrobin의 잔류량은 Fig. 1과 같이 감소하였으며 반감기는 각각 6.6일, 3.9일, 3.0일로 산출되었다. 여러 문헌에 따르면, 단기간내 생장이 빠른 시금치, 무 잎 등의 엽채류 작물은 약제 살포 후 비대 성장으로 인한 작물잔류 농도감소가 큰 것으로 보고되었으며(Ham et al., 2022; Oh et al., 2023), 이번 시험에서 관찰된 갓의 비대성장 효과 또한 약제 살포 후 14일간 187% (최대 엽장 기준)로 확인되어, 갓의 잔류 반감기가 비교적 짧은 것으로 판단되었다(Eun et al., 2024; Jang et al., 2024; Jo et al., 2017). 또한, 모화합물의 증기압이 유사한 pydiflumetofen과 pyraclostrobin의 잔류반감기는 3.0-3.9일로 유사하였으나, 증기압이 낮은 picoxystrobin ( $5.5 \times 10^{-3}$  mPa)의 잔류반감기는 이들 성분 에 비해 약 2배 긴 것으로 나타났다. 따라서, 휘발에 의한 잔류 소실 또한 작물 잔류에 큰 영향을 미치는 요인으로 판단된다.



**Fig. 1.** Dissipation pattern of picoxystrobin (○), pydiflumetofen (□), and pyraclostrobin (▼) in leaf mustard.

### 갓 중 picoxystrobin과 pydiflumetofen, pyraclostrobin의 식이섭취 노출량 평가

갓에 대한 picoxystrobin, pydiflumetofen, pyraclostrobin의 잔류량과 식이 섭취량을 고려하여 약제 살포 후 잔류량에 따른 식이섭취 노출평가를 실시하였다. Picoxystrobin, pydiflumetofen, pyraclostrobin의 식이섭취 노출량은 최대 잔류량이 나타난 살포당일 (0 DAT)과 약액 살포 후 3일차 (3 DAT)의 잔류량을 기준으로 산출하였다. Pydiflumetofen의 EDI는 0 DAT와 3 DAT에서 각각  $10.7 \times 10^{-5}$  mg kg<sub>bw</sub><sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>와  $4.7 \times 10^{-5}$  mg kg<sub>bw</sub><sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>이었고 %ADI는 각각 0.12%와 0.05%로 산출되었다. Picoxystrobin의 EDI는 각각  $15.4 \times 10^{-5}$  mg kg<sub>bw</sub><sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>과  $12.0 \times 10^{-5}$  mg kg<sub>bw</sub><sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>이었고, %ADI는 0.36%와 0.28%

**Table 6.** Dietary exposure assessment of the pesticides in the leaf mustard

Pesticides	DAT (days)	Residue (mg kg <sup>-1</sup> )	Food daily intake (kg day <sup>-1</sup> )	ADI (mg kg <sup>-1</sup> )	EDI (mg kg <sub>bw</sub> <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	%ADI
Picoxystrobin	0	7.89	0.00117	0.043	$15.4 \times 10^{-5}$	0.36
	3	6.14			$12.0 \times 10^{-5}$	0.28
Pydiflumetofen	0	5.47	0.00117	0.092	$10.7 \times 10^{-5}$	0.12
	3	2.40			$4.7 \times 10^{-5}$	0.05
Pyraclostrobin	0	6.20	0.00117	0.03	$12.1 \times 10^{-5}$	0.40
	3	2.43			$4.7 \times 10^{-5}$	0.16

로 확인되었다. Pyraclostrobin의 EDI는 각각  $12.1 \times 10^{-5}$  mg  $\text{kg}_{\text{bw}}^{-1}$ 과  $4.7 \times 10^{-5}$  mg  $\text{kg}_{\text{bw}}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 이었고, %ADI는 0.40%와 0.16%으로 확인되었다(Table 6). 시험 농약의 최대 잔류량을 기준으로 %ADI를 산출한 결과 모든 성분이 1% 미만으로 확인되어, 갖의 검은무늬병 방제에 사용할 수 있도록 적절한 안전사용기준과 MRL설정이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2024년 농촌진흥청 농약직권등록사업의 연구개발비(RS-2024-00352111) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## Author Information and Contributions

Kwang-Min Kim, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Master Student, <https://orcid.org/0009-0009-9891-0048>

Jin-Seong Kim, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0001-5154-2561>

Kyeong-Yeol Oh, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Ph.D. Student, <https://orcid.org/0000-0002-1699-4164>

Wasi Ullah, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Master Student, <https://orcid.org/0009-0002-2542-0127>

Jin-Hyo Kim, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Life Science, Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-0341-7085>

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature Cited

An JM, Shin SJ, Kim MG, Hwang HR, Chang SY, et al., 2019. Residual characteristics of etofenprox, pyrifluquinazon,

- spirotramat and sulfoxaflor in cow parsnip (*Heracleum moellendorffii* L.) of Minor Crop. Korean J. Pestic. Sci. 23(2):61-69. (In Korea)
- Cheigh HS, Park KY, Lee CY, 1994. Biochemical, microbiological, and nutritional aspects of kimchi (Korean fermented vegetable products). Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 34(2):175-203.
- Choi MR, Yoo EJ, Song SH, Kang DS, 2001. Comparison of physiological activity in different parts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30:721-725. (In Korea)
- Eun HR, Kim SM, Jeong MJ, Lee YJ, Kim SH, et al., 2024. Residual characteristics of the fungicide Pydiflumetofen in peas using HPLC-QTOF. The 2024 Annual General Meeting and Academic Conference of the Korean Society of Environmental Agriculture, Yeosu, Korea. 3-5 Jul. p. 79. (In Korea)
- Ham HJ, Choi JY, Jo YJ, Sardar SW, Ishag AESA, et al., 2022. Residues and uptake of soil-applied dinotefuran by lettuce (*Lactuca sativa* L.) and celery (*Apium graveolens* L.). Agriculture. 12(9):1443.
- He L, He F, Yang S, Gao Y, Li B, et al., 2021. Dissipation kinetics and safety evaluation of pyraclostrobin and its desmethoxy metabolite BF 500-3 in a cucumber greenhouse agroecosystem. Environ. Sci. Poll. Res. 28:17712-17723.
- Jang SY, Kim YS, Lim CH, 2024. Residual characteristics of picoxystrobin, flufenoxuron, and teflubenzuron in Chinese matrimony vine by heat-drying treatment. Korean J. Agric. Sci. 51(4):775-785. (In Korea)
- Jin MJ, Park HK, Jeong HR, Lee JW, Jo SH, et al., 2018. Residual characteristics and safety assessments of the fungicide fenhexamid in some minor crops. Korean J. Pestic. Sci. 22(4):363-369. (In Korea)
- Jo HW, Sohn SH, Kim KJ, Hwang GJ, Jo BH, et al., 2017. Dissipation pattern of fungicides boscalid and pyraclostrobin in Jujube. Korean J. Pestic. Sci. 21(1):17-25. (In Korea)
- Jung MJ, Kim SH, Eun HR, Lee YJ, Kim SM, et al., 2024. Residue Characteristics of Chlorantraniliprole WG in Angelica Leaves and Establishment of Pre-harvest Residue Limits. Korean J. Pestic. Sci. 28(2):192-203. (In Korea)
- Kang HR, Choi YW, You HG, Kyung KS, Kim K, 2024. Residual Characteristics of Acetamiprid in Various Fruits (*Actinidia arguta* Planch, *Vitis coignetiae* Pulliat, *Prunus tomentosa* Thunberg and *Crataegus pinnatifida* Bunge). Korean J. Pestic. Sci. 28(4):344-351. (In Korea)
- Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), 2021. Korea National Health & Nutrition Examination Survey. <https://www.khidi.or.kr/kps/dhraStat/result2?menuId=&gubun=age1&year=2021&category=&schText=%EA%B9%80%EC%B9%98> (Accessed Feb. 21. 2025).
- Kim JO, Kim MN, Park KY, Moon SH, Ha YL, et al., 1993. Antimutagenic effects of 4-decanol identified from mustard leaf. Appl. Biol. Chem. 36(6):424-427. (In Korea)
- Kim YH, Yoo JK, Hong SI, Lee JY, Ryu GH, et al., 2017. Comparison of the three insecticides efficacy against turnip

- aphid (*Lipaphis erysimi*) and cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) in the crucifer crops. *Korean J. Pestic. Sci.* 21(3): 284-288. (In Korea)
- Kwon HY, Kim CS, Park BJ, Kim IH, Hong SM, et al., 2012. Development of analytical method for picoxystrobin in agricultural commodities using GC/ECD and GC/MS. *Korean J. Environ. Agric.* 31(2):146-151. (In Korea)
- Kwon HY, Kim JB, Lee HD, Lim YB, Kim KS, et al., 2004. Predicting pesticide residue by variety in tomatoes using specific surface area. *Korean J. Pestic. Sci.* 8(1):30-37. (In Korea)
- Lee DY, Bae JY, Song YH, Oh KY, Kim YJ, et al., 2022. Residual dissipation pattern and residual safety assessment of dichlorvos and valifenalate in Chinese Chives (*Allium tuberosum* R.) under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(1):34-42. (In Korea)
- Lee DY, Bae JY, Oh KY, Ryu SK, Kim YJ, et al., 2021. Residual safety of boscalid, fluxapyroxad, hexaconazole, penycuron, pyraclostrobin, and thifluzamide as fungicides for the prevention of Sclerotinia Rot on carrot. *Korean J. Pestic. Sci.* 25(1):11-19. (In Korea)
- Lee JH, Song MH, Yu JW, Ahn HY, Lee JH, 2024. Residual Characteristics and risk assessment of insecticides flonicamid and sulfoxaflo in Dwarf Goat's Beard. *Korean J. Pestic. Sci.* 28(3):205-214. (In Korea)
- Lee SM, Ko RD, Lee KH., Kim JC, Kang SH, et al., 2022. Dissipation patterns of acrinathrin and metaflumizone in *Aster scaber*. *J. Appl. Biol. Chem.* 65(1):14. (In Korea)
- Lee YH, Kim SM, Lee SB, Kim SH, Yun BW, et al., 2023. Disease resistance-based management of alternaria black spot in cruciferous crops. *Research in Plant Disease*, 29(4): 363-376. (In Korea)
- Liu Y, Sun Y, Bai Y, Cheng X, Li H, et al., 2023. Study on mechanisms of resistance to SDHI fungicide pydiflumetofen in *Fusarium fujikuroi*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 71(39):14330-14341.
- National Institute of Agricultural Science (NAS), 2018. Pesticide residue definitions for agricultural products. Wanju, Korea. (In Korea)
- National Crop Pest Management System (NCPMS), 2025. Gat, Pest Information. <https://ncpms.rda.go.kr/npms/UntySrChListR.np?srchWord=%EA%B0%93> (Accessed Feb. 21. 2025).
- Oh KY, Kang SW, Kim JS, Seo SJ, Kim JH, 2023. Residue and dietary exposure risk of fluazifop-p-butyl and sethoxydim as selective herbicides on burdock (*Arctium lappa* L.). *Korean J. Pestic. Sci.* 27(2):130-134. (In Korea)
- Oh KY, Lee DY, Song TB, Kim YJ, Kim JH, 2022. Residual dissipation pattern and the safety assessment of tebufenozide and teflubenzuron on black chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *Korean J. Pestic. Sci.* 26(2):95-102. (In Korea)
- Oh KY, Lee DY, Seo SS, Kang SW, Kim JS, et al., 2023. Evaluations of residual dissipation and dietary exposure safety of miticidal bifentazate and cyenopyrafen as suspension concentration treated on burdock (*Arctium lappa* L.). *Korean J. Pestic. Sci.* 27(2):120-129. (In Korea)
- Park GW, Song MH, Yu JW, Ahn HY, Shin JW, 2024. The residual characteristics and risk assessment of kresoxim-methyl and pyraclostrobin, strobilurin-based pesticides, in *Avena sativa* L. Straw and Grain. *Korean J. Pestic. Sci.* 28(4):367-379. (In Korea)
- Park HJ, Hwang KW, Park SJ, Ka SJ, Moon JK, 2022. Residual characteristics of fluazinam and acetamiprid in brassica juncea var. juncea and Brassica oleracea var. gonglodes. The 2022 Annual General Meeting and Academic Conference of the Korean Society of Environmental Agriculture, Yangyang, Korea. 7-8 Jul. p. 216. (In Korea)
- Park JU, Bae BJ, Woo SW, Jeong HJ, Jang YJ, 2022. Residual characteristics and risk assessments of afidopypropen, pydiflumetofen and mefentrifluconazole in perilla leaves. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(1):65-73. (In Korea)
- Pesticide Safety Information System (PSIS), 2025. Safety Use Information. <https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps?menuId=PS00263&pageUnit=20> (Accessed Mar. 10. 2025).
- RDA, 2025. Registration standards for pesticides and raw materials, Jeonju, Korea. (In Korean)
- Son HR, Oh SK, Bae SO, Choi MR, 2015. Analysis of physicochemical and sensory properties of dolsan leaf mustard pickles. *J. Life Sci.* 25(8):936-941. (In Korea)
- Son K, Im GJ, Hong SM, Kim JB, Ihm YB, et al., 2012. Comparison of pesticide residues in perilla leaf, lettuce and kale by morphological characteristics of plant. *Korean J. Pestic. Sci.* 16(4):336-342. (In Korea)
- Shi NN, Lian JP, Qiu DZ, Chen FR, Du YX, 2023. Resistance risk and molecular mechanism associated with resistance to picoxystrobin in *Colletotrichum truncatum* and *Colletotrichum gloeosporioides*. *J. Integr. Agric.* 22(12):3681-3693. (In Korea)
- Woo MJ, Hur KJ, Kim JY, Saravanan M, Kim SW, et al., 2015. Residual characteristic of tebuconazole and fludioxonil in *Allium victorialis* (*Allium ochotense* Prokh.). *Korean J. Pestic. Sci.* 19(4):354-360. (In Korea)

## 살균제 picoxystrobin, pydiflumetofen 및 pyraclostrobin의 갓 중 경시적 잔류량 변화와 식이섭취 노출기여도 평가

김광민<sup>†</sup> · 김진성<sup>†</sup> · 오경열 · Wasi Ullah · 김진호<sup>\*</sup>

경상대학교 농업생명과학연구원(IALS) 응용생명과학부 환경생명화학과

**요약** 본 연구는 갓의 시설재배지에서 검은무늬병과 노균병 방제를 위해 picoxystrobin 25% 액상수화제, pydiflumetofen 18.35% 액상수화제, pyraclostrobin 22.9% 유제를 7일 간격으로 3회 경엽 살포한 뒤 경시적 잔류 변화를 조사하고, 식이 섭취에 따른 노출량을 평가하였다. Picoxystrobin의 초기 잔류량은  $7.08 \pm 1.03 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 14일 후  $1.71 \pm 0.47 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 줄었으며, 잔류반감기는 6.55일이었다. Pydiflumetofen의 초기 잔류량은  $4.70 \pm 0.72 \text{ mg/kg}$ 이었으며, 14일 후  $0.47 \pm 0.02 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소하였고 잔류반감기는 3.9일이었다. Pyraclostrobin은 초기 잔류량이  $5.55 \pm 0.60 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 14일 후  $0.50 \pm 0.06 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소하였고, 반감기는 3.0일이었다. 약액 살포 후 검출된 최대 잔류량과 평균 식이섭취량을 기준으로 EDI를 산출한 결과, ADI 기여도는 모두 1%미만이었다.

**색인어** 피디플루메토펜, 피록시스트로빈, 피라클로스트로빈, 잔류반감기, 갓