



ORIGINAL ARTICLES

## Imicyafos GR 처리 후 토양 혼화 깊이에 따른 알타리무 중 농약잔류량 비교 평가

손경애<sup>1\*</sup> · 홍준호<sup>1,3</sup> · 박지호<sup>1</sup> · 김찬섭<sup>1</sup> · 최근형<sup>2</sup> · 김진효<sup>3</sup> · 이희동<sup>1</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 잔류화학평가과, <sup>2</sup>농촌진흥청 디지털농업추진단, <sup>3</sup>경상국립대학교

### Comparative Assessment of the Pesticide Residues in Radish (*Raphanus sativus*) by the Tillage Depth after Applying Imicyafos GR

Kyeong-Ae Son<sup>1\*</sup>, Jun-Ho Hong<sup>1,3</sup>, Ji-ho Park<sup>1</sup>, Chan-Sub Kim<sup>1</sup>, Geun-Hyoung Choi<sup>2</sup>, Jin-hyo Kim<sup>3</sup>, Hee-Dong Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Department of Digital Agriculture, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

<sup>3</sup>Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52727, Korea

(Received on November 14, 2022. Revised on December 7, 2022. Accepted on December 9, 2022)

**Abstract** The uptake and translocation of pesticide from soil affect the residue in crop and increase the pesticide residues risk for food crops. This study investigated the effect of tillage depth after the application of Imicyafos GR on the residue in radish. The radish (*Raphanus sativus*) was sown at 2, 30 and 60 days after the application of imicyafos GR with two different depths of tillage (5 and 15 cm) in the tested plots. The experiments were carried two times on summer and autumn trials. The imicyafos residues in the leaves and roots of radish were not statistically significant between the two tillage depths. The root concentration factor (RCF) was estimated to be 0.029-0.15 and the translocation factor (TF) to be 0.333-1.667 in the radish.

**Key words** Radish (*Raphanus sativus*), Imicyafos GR, Pesticide residues, Tillage depth of soil

## 서론

토양에서 유래하는 선충이나 균핵병 등을 방제하는 목적으로 입제 농약을 토양에 처리하는 방법에 있어서 농가에서는 작물 재배 전 토양에 살포하고 작토층에 균일하게 섞이도록 경운하는 관행을 적용하고 있다. 또한, 소량의 입제 농약을 좁은 면적에 균일하게 처리하는 경우는 농약살포 후 쇠스랑 등을 사용하여 표토를 긁어 약 5 cm 깊이로 혼화하기도 한다.

입제 농약은 경운 과정에서 경운 깊이에 따라 농약의 토층 분포양상이 결정되고, 토양 중 붕괴, 유효성분의 방출 과정을 거쳐 토양수분에 용해된 후 작물로 흡수 및 이행되어

작물잔류에 영향을 미친다(Jung et al., 2004). 화학물질은 주로 증산과정을 통해 작물에 흡수되는데(Hurtado et al., 2016), 토양수분에 용해된 화학물질은 물과 함께 뿌리를 통해 흡수되어 물관을 통하여 지상부(주로 잎)로 이동한다(Collins et al., 2006). 유기오염물질이 토양수에서 뿌리로 이동하는 RCF (Root Concentration Factors) 및 뿌리에서 지상부로 이동하는 TSCF (Transpiration Stream Concentration Factors) 모델식과 leaf translocation concentration factor 등이 소개되었다(Briggs et al., 1982; Burken & Schnoor, 1998; Dettenmaier et al., 2009; Hurtado et al., 2016). Hwang (2017)은 TSCF 모델을 이용하여 chlorpyrifos 로 10 mg/kg 이상 오염된 토양에서 재배한 상추는 수확기에 농약잔류허용기준 0.1 mg/kg 초과할 것으로 예측하였다. 상추와 무의 생육 초기에 토양에서 수분을 흡수하는 깊이는 15 cm이며, 토양유효수분율은 상추 75%, 무 70%로 화학물

\*Corresponding author  
E-mail: sky199@korea.kr

질이 토양수분에 녹아 작물로 흡수·이행되는 양상을 파악하는 연구에 유용할 것으로 판단된다(NAS, 2018). 무는 파종 후 50일까지 엽수가 최성기에 접어드는 시기로 토양으로부터 양분과 수분의 흡수가 왕성하며, 처리된 Dinotefuran 농약은 양분의 이동을 따라 뿌리보다 위에 분포량이 많았다(Kwak et al., 2017). 본 시험의 알타리무 재배기간은 파종 후 약 50일로 수분 이동과 함께 작물체로 농약의 흡수이행 양상을 조사하는데 적합하였다.

Imicyafos는 비훈증성 살선충제로 사탕무씨스트선충(*Heterodera schachtii*), 고구마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*)과 당근뿌리혹선충(*M. hapla*)에 대한 높은 살선충 효과가 검증되었다(Kim et al., 2015; 2016). 씨스트선충의 효과적인 방제 시기는 부화 된 유충이 뿌리 피질 속으로 들어가기 전인 작물의 정식 초기이다(Kim et al., 2017). Imicyafos 입제는 뿌리혹선충 난당형성을 억제하고 장기간 지효성이 있어 재배 기간이 긴 작물에 효과적이며(Kim et al., 2016), 후작물에 잔류 우려 주의문구가 라벨에 표기되었고 딸기, 멜론, 수박, 오이, 참외 등에 등록되어 있다(KCPA, 2022). Imicyafos의 특성 중 수용해도는 77.63 g/L, 토양흡착계수(K<sub>foc</sub>)는 14.4-188 L/kg로 토양 내 이동성이 낮지 않은 편이다(FAMIC, 2017). 토양에 살포된 imicyafos 입제 농약은 경운한 깊이에 분포하지만, 토양수에 용해된 후 imicyafos는 이동하여 토양과 작물 잔류량에 영향이 있을 것으로 판단된다. 따라서 이 연구는 수용해도가 높은 imicyafos가 입제 형태로 토양에 처리된 후 토양혼화 깊이에 따른 작물로의 흡수 이행성을 평가하고 농약 처리 후 경과일수가 알타리무의 지하부와 지상부 중 농약의 잔류량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 농약처리 및 작물재배

대상농약인 imicyafos 입제 5% (경농, 한국)는 시중 농약 상에서 구입하였고, 농약처리 및 재배이력은 Table 1에 나타내었다. 농약 처리 후 작물 식재일(Plant back intervals, PBI)을 0, 30 및 60일이 되도록 imicyafos 입제를 각각 처리하였다. 전복 정읍시 신태인읍 백산리 소재 시험포장의 토양특성은 Table 2에 나타내었다.

비닐하우스 안의 각 처리구에 무처리 토양 1 kg과 농약을 폴리에틸렌 백에서 섞어 토양에 고르게 뿌리고, 쇠스랑으로 표면을 긁어 섞이도록 하였다. 처리구 토양이 알타리무 파종 전까지 작물 재배조건과 유사하게 유지되도록 비닐로 피복하여 잡초를 관리하였고, 점적호스를 5줄로 설치하여 관수하였다. 파종 직전에 제조용 피복 비닐과 점적호스를 제거한 후 토양을 두 가지 방법으로 경운하였다. 날 길이가 약 5 cm인 쇠스랑으로 토양을 혼화하거나(방법 1), 날의 길이가

약 15 cm인 소형 관리기로 경운하였다(방법 2). 경운 후에 점적호스를 다시 5줄로 설치하고 비닐로 피복하고 알타리무를 4줄로 파종하였다. 재배와 관련된 다른 사항은 농가 관행에 따랐다. 여름 수확 알타리무는 5월에 파종하였고(포장 1) 가을 수확 알타리무는 8월에 파종하였다(포장 2). 각 처리구의 크기는 폭 0.9 m, 길이 13.8 m이며 완충구역은 폭 0.9 m, 길이 1.5 m이었다. 각 처리구 12.4 m<sup>2</sup> 면적에 농약 74 g을 각각 처리하였다. 파종한 알타리무의 품종은 권농여름알타리무(권농종묘, 한국)이었다.

### 시료 채취 및 조제

알타리무는 처리당 12개체를 2반복으로 채취하였다. 여름 알타리무는 2회, 가을 알타리무는 3회 시료를 채취하였다. 알타리무는 포기째 수확하여 흐르는 물로 가볍게 흠을 제거하였다. 알타리무의 지상부와 지하부를 구분하여 조제하고 드라이아이스와 혼합하여 마쇄한 시료를 분석 전까지 -10°C 냉동고에 보관하였다.

토양 시료는 수확일에 처리별로 20지점에서 10 cm 깊이까지 채취한 것을 혼합하고, 음건하여 2 mm 체로 거른 후 분석에 사용하였다.

### 시약

#### <여름 알타리무>

Imicyafos standard 2,004 mg/L stock solution (Accu Standard, Connecticut, USA)을 사용하였다. 시료 추출과 기기분석에 사용된 증류수 및 acetonitrile은 PR급 (Burdick & Jackson, Michigan, 미국)을 사용하였다. QuEChERS EN method extraction Kit-01 (MgSO<sub>4</sub> 4.0 g, NaCl 1.0 g, Na citrate 1.0 g 및 Disodium citrate sesquihydrate 0.5 g) 및 PSA (Primary secondary amine) Kit-03A (PSA 50 mg, C18e 50 mg, MgSO<sub>4</sub> 150 mg)은 BEKOLut 상용제품(Bruchmühlbach-Miesau, 독일)을 이용하였다.

#### <가을 알타리무, 토양>

농약표준용액으로는 imicyafos 98.9% 표준품(Wako, 일본)을 칭량하여 204.1 mg/L stock solution을 조제하여 사용하였다. 시료 추출과 기기분석에 사용된 증류수 및 acetonitrile은 HPLC급(J. T. Baker, Phillipsburg, NJ, 미국)을 사용하였다. QuEChERS extraction EN kit 및 QuEChERS Dispersive SPE kit (PSA 50 mg, C18 50 mg, MgSO<sub>4</sub> 150 mg 및 GCB 7.5 mg)는 Agilent 상용제품(Folsom, California, 미국)을 사용하였다.

### 농약 표준검량선 작성

여름 알타리무 분석용 표준용액은 10 mg/L의 working solution을 이용하여 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05,

**Table 1.** Experimental design and conditions for radish

Test item	Imicyafos 5% GR				
Application rate	6 kg/10a (0.3 kg ai/10a) plot size 0.9 m × 13.8 m buffer zone 0.9 m × 1.5 m				
Crop (varieties)	Radish (Kwonnong Summer Young Radish)				
Planting density	20 cm × 21 cm				
Treatment date (PBI <sup>a)</sup> )					
Trial	Plot	A	B	C	D
	PBI (Actual PBI)	PBI0(2)	PBI30(28)	PBI60(58)	control
Summer	Application date	05.26	04.29	03.31	-
	Sowing date	05.28	05.27	05.28	05.27
	Harvesting date				
	1st sample	06.28	06.28	06.28	06.28
	2nd sample	07.05	07.05	07.05	07.05
Trial	Plot	E	F	G	H
	PBI (Actual PBI)	PBI0(2)	PBI30(32)	PBI60(63)	control
Autumn	Application date	08.25	07.26	06.25	-
	Sowing date	08.27	08.26	08.27	08.26
	Harvesting date				
	1st sample	09.29	09.29	09.29	09.29
	2nd sample	10.08	10.08	10.08	10.08
	3rd sample	10.15	10.15	10.15	10.15
Irrigation					
2021. 03. 31. ~ 07. 05.	303 L/m <sup>2</sup>				
2021. 06. 25. ~ 10. 15.	316 L/m <sup>2</sup>				
Air temp.					
2021. 03. 31. ~ 07. 05.	20.1 ± 8.0°C				
2021. 06. 25. ~ 10. 15.	25.6 ± 6.0°C				
Air humid.					
2021. 03. 31. ~ 07. 05.	68.5 ± 26.5%				
2021. 06. 25. ~ 10. 15.	77.4 ± 21.7%				

<sup>a)</sup>PBI: Plant back interval

**Table 2.** The characteristics of soil

Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OM (%)	pH (1:5)	CEC (cmol/kg)
Sandy loam	54.9	27.4	17.7	4.06	6.6	16.0

0.1, 0.2 mg/L으로 조제하였다. 각각의 표준용액은 질소 건고한 후 시료의 추출 및 정제과정을 거친 무처리 시료 추출액으로 재용해하는 방법으로 matrix-matched standard를 조제 한 후 이를 2회 반복 분석하여 피크 면적을 기준으로 헵차방정식 표준검량선을 작성하였다. 토양 분석용 표준용액

은 100 mg/L의 working solution을 이용하여 0.001, 0.002, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1 mg/L으로 조제하였다. 무처리 시료 추출액을 질소 건고한 후 각각의 표준용액으로 재용해하는 방법으로 matrix-matched standard를 조제한 후 이를 2회 반복 분석하여 피크 면적을 기준으로 헵차방정식 표준검량선을

작성하였다. 가을 알타리무는 100 mg/L의 working solution 을 0.01, 0.02, 0.1, 0.2, 0.5 및 1.0 mg/L으로 희석한 후 표준용액과 acetonitrile 및 시료의 추출 및 정제과정을 거친 무처리 시료 용액을 각각 100, 400 및 500 µL씩 혼합하는 방법으로 matrix-matched standard를 제조한 후 이를 분석하여 얻은 크로마토그램 상의 피크 면적을 기준으로 협차방 정식 표준검량선을 작성하였다.

#### 시료의 추출 및 정제

<여름 알타리무>

##### 시료의 추출

마쇄하여 균질화한 알타리무 지상부 및 지하부 시료 10 g 을 취하여 acetonitrile 10 mL, 4 g magnesium sulfate, 1 g sodium chloride, 1 g sodium citrate tribasic dihydrate, 0.5 g sodium citrate dibasic sesquihydrate를 가한 뒤 vortex mixer 로 혼합하고 30분간 추출하였다. 그 후 5°C에서 4,200 rpm 조건으로 10분간 원심분리하였다.

##### 정제 및 정량

상징액 1 mL를 취하여 25 mg PSA, 150 mg magnesium sulfate, 25 mg C18e를 넣어둔 tube에 옮겨 vortex mixer로 1분간 혼합하고, 7,000 rpm 조건으로 3분간 원심분리한 후 0.2 µm 필터로 여과하였다. LC/MS/MS에 시료액 3 µL를 주

입하여 나타난 크로마토그램상의 피크면적을 측정하여 표준 검량선에 의해 함유농도를 산출하였다. 시료 중 imicyafos 0.002 mg/kg 수준의 잔류량 확인을 위해서는 LC/MS/MS에 5 µL를 주입하였다.

##### <토양>

토양 시료 20 g을 증류수 20 mL로 습윤화하고 acetonitrile 100 mL를 넣고 40분간 진탕·추출하여 감압여과하고, acetonitrile로 용기 및 잔사를 씻어 이전의 여과액과 혼합 후 acetonitrile을 이용하여 200 mL로 정용하였다. LC/MS/MS에 1 µL 주입하여 나타난 크로마토그램상의 피크면적을 측정하고 표준검량선에 의해 함유농도를 산출하였다.

##### <가을 알타리무>

##### 시료의 추출

가을 알타리무 지상부 및 지하부 시료 10 g에 acetonitrile 10 mL와 QuEChERS ceramic homogenizer를 차례대로 넣고 660 rpm으로 10분간 진탕 추출한 다음, QuEChERS extraction kit를 넣고 다시 660 rpm으로 10분간 진탕 추출하였다. 추출물을 3,500 rpm으로 5분간 원심분리하였다.

##### 정제 및 정량

상징액 중 1 mL을 분취하여 QuEChERS Dispersive SPE

**Table 3(a).** LC-MS/MS conditions for the residual analysis of imicyafos in multiple reaction monitoring (MRM) for summer radish

Instrument	Shiseido Nanospace SI2 LC with TSQ Quantum Discovery Max. MSMS
HPLC conditions	
Column	Imtakt Unison UK-C <sub>18</sub> , 100 mm × 2.0 mm id, 3 µm dia.
Mobile phase	0.1% formic acid + 5 mM ammonium formate in water (A) 0.1% formic acid + 5 mM ammonium formate in methanol (B)
(A/B):	70/30 (0-1 min) - 30/70 (2.0-3.5 min) - 2/98 (4.5-6.0 min)
Column temp.	40°C
Flow rate	0.3 mL/min
Run time	6.0 min
Retention time	4.1 min
Injection vol.	3 µL
MS conditions	
Ion source	ESI(+)
Gas temp.	275°C
Drying gas	10 L/min
Neb. pressure	35 psi
Capillary voltage	3,800 V
MRM	
Precursor ion	305 m/z
Product ion	Quantitation 201 m/z, Qualification 156 m/z, 235 m/z

**Table 3(b).** LC-MS/MS conditions for the residual analysis of imicyafos in multiple reaction monitoring (MRM) for autumn radish and soil

Instrument	Agilent 1290 LC with 6470 TripleQuad LC-MS/MS
HPLC conditions	
Column	Capcellpak MG III, C <sub>18</sub> , 150 mm × 2.0 mm id, 5 μm dia.
Mobile phase	0.1% Formic acid in acetonitrile/water (3/7)
Column temp.	30°C
Flow rate	0.3 mL/min
Run time	7.0 min
Retention time	4.6 min
Injection vol.	1 μL
MS conditions	
Ion source	ESI(+)
Gas temp.	300°C
Drying gas	5 L/min
Neb. pressure	45 psi
Capillary voltage	3,500 V
MRM	
Precursor ion	305 m/z
Product ion	Quantitation 201 m/z, Qualification 139 m/z, 235 m/z

kit에 넣고 vortex mixer로 충분히 섞은 후, 소형 centrifuge로 13,500 rpm에서 5분간 원심분리였다. 상정액 0.5 mL와 acetonitrile 0.5 mL를 혼합하여 LC/MS/MS에 1 μL를 주입하여 나타난 크로마토그램상의 피크면적을 측정하고 표준검량선에 의해 함유농도를 산출하였다.

**기기분석**

여름 알타리무의 분석에는 Shiseido Nanospace SI2 HPLC 시스템이 구비된 TSQ Quantum Discovery Max. triple quadrupole mass spectrometer를 이용하였으며 상세한 분석 조건은 Table 3(a)에 나타내었다. 가을 알타리무 및 토양의 분석에는 Agilent 1290 HPLC 시스템이 구비된 Agilent 6470

**Table 4.** Recovery test of imicyafos in crops and soil

Sample	Spiking level (mg/kg)	Recovery (%)			
		Rep.1	Rep.2	Rep.3	Mean ± SD
Summer radish root	0.002	104.6	103.1	103.7	103.8 ± 0.8
	0.01	88.1	90.1	88.0	88.7 ± 1.2
	0.1	94.5	95.2	96.1	95.3 ± 0.8
Summer radish leaf	0.002	98.8	99.4	98.5	98.9 ± 0.5
	0.01	84.0	84.4	85.3	84.6 ± 0.7
	0.1	98.7	97.9	97.8	98.1 ± 0.5
Autumn radish root	0.002	106.8	112.1	114.5	111.1 ± 3.9
	0.01	95.7	95.1	97.4	96.0 ± 1.2
	0.1	92.3	94.4	92.2	93.0 ± 1.2
Autumn radish leaf	0.002	88.3	88.3	87.8	88.1 ± 0.3
	0.01	94.0	93.0	92.4	93.1 ± 0.8
	0.1	92.4	93.3	91.6	92.4 ± 0.8
Soil	0.01	101.6	87.3	92.2	93.7 ± 7.3
	0.1	94.4	87.0	81.4	87.6 ± 6.5
	1.0	99.8	95.9	82.7	92.8 ± 9.0

triple quadrupole mass spectrometer를 이용하였으며 상세한 분석조건은 Table 3(b)에 나타내었다.

**분석법 검증**

여름 알타리무 회수율 시료는 무처리 알타리무 지하부 및 지상부 시료 10 g에 imicyafos 0.02, 0.1, 1.0 mg/L 표준용액 1 mL를 가하여 잔류량이 각각 0.002, 0.01 또는 0.1 mg/kg 이 되도록 하였다. 처리된 시료를 위의 잔류분석법으로 분석하여 회수율을 산출하였는데 0.01과 0.1 mg/kg 수준 시료는 3 µL, 0.002 mg/kg 수준 시료는 5 µL를 LC/MS/MS에 주입하였다

토양 회수율 시료는 무처리 토양시료 20 g에 0.2, 2.0, 20 mg/L imicyafos 표준용액 1 mL을 각각 가하여 잔류량이 0.001, 0.01 또는 0.1 mg/kg이 되도록 하였다. 처리된 토양 시료를 위의 잔류분석법으로 분석하여 회수율을 산출하였다.

가을 알타리무 회수율 시료는 무처리 알타리무 지하부 및 지상부 시료 10 g에 0.2, 1.0, 10 mg/L imicyafos 표준용액 100 µL을 각각 가하고, 잔류량이 0.002, 0.01 또는 0.1 mg/kg이 되도록 준비하였다. 처리된 시료를 위의 잔류분석법으로 분석하여 회수율을 산출하였다.

**알타리무 및 토양의 농약잔류량 평가**

5 cm와 15 cm 경운 깊이에 따른 알타리무의 imicyafos 잔류농도와 생체중을 조사하여 대응하는 두 처리구 평균을 대응표본 t-검정(양측 검정,  $p \leq 0.05$ )으로 비교하였다. 농약 처리 후 수확 일자별로 두 잔류농도 간 차이를 하나의 변량으로 보고 변량간의 차이를 검정하는 방식을 취하였다. 통계 프로그램으로 엑셀을 이용하였다. 각 처리구별 알타리무 지상부와 지하부 시료 전체 무게(Table 5)와 잔류농도(Table 6)를 곱하여 알타리무(n = 24) 부위별 농약잔류량을 구하였

**Table 5.** Weight of radish leaf and root by PBI<sup>a)</sup> and tillage depth treatments (g, plant n=24)

Sample	Trial	Sampling date (DAP <sup>b)</sup> )	Tillage depth (cm)	Plot (PBI (DAT <sup>c)</sup> ))				
				A (0)	B (30)	C (60)	D (Control)	
Radish leaf	Summer	31	5	2,185	2,185	2,053	1,731	
			15	2,171	2,171	2,066	1,989	
		38	5	3,193	3,717	3,267	2,659	
			15	3,112	3,796	3,315	3,321	
		Autumn	33	5	2,217	2,442	2,472	2,329
				15	2,728	2,449	2,337	2,882
	42		5	3,167	3,634	3,109	3,549	
			15	3,505	3,899	3,123	3,647	
	49	5	3,576	3,532	2,658	3,269		
		15	3,877	4,215	3,559	3,816		
	Radish root	Summer	31	5	922	1,085	881	800
				15	917	1,071	941	754
38			5	2,160	2,747	2,570	2,126	
			15	2,504	2,842	2,651	2,130	
Autumn			33	5	680	858	866	558
				15	866	1,054	848	817
		42	5	1,464	1,964	1,759	1,600	
			15	1,948	2,558	1,774	1,731	
49		5	2,040	2,004	2,170	1,999		
		15	2,540	2,482	2,197	2,339		

- For all plot of radish leaf, paired t-test :  $t_s = -3.762$ ,  $t_{0.05(19)} = 2.093$ ,  $p = 0.0013$

For all plot of radish root, paired t-test :  $t_s = -4.067$ ,  $t_{0.05(19)} = 2.093$ ,  $p = 0.0007$

<sup>a)</sup>PBI: Plant back interval,

<sup>b)</sup>DAP: Days after planting/sowing,

<sup>c)</sup>DAT: Days after treatment

**Table 6.** Average residual concentrations of imicyafos in radish leaf and root (mg/kg, plant n=24)

Sample	Trial	Sampling date (DAP <sup>a</sup> )	Tillage depth (cm)	Plot (PBI <sup>b</sup> ) (DAT <sup>c</sup> )			
				A (0)	B (30)	C (60)	D (Control)
Radish leaf	Summer	31	5	0.015 ± 0.006	0.007 ± 0.004	0.002 ± 0.001	<0.002
			15	0.010 ± 0.006	0.006 ± 0.001	<0.002	<0.002
		38	5	0.003 ± 0.001	0.004 ± 0.001	<0.002	<0.002
			15	0.004 ± 0.002	0.003 ± 0.000	<0.002	<0.002
	Autumn	33	5	0.013 ± 0.007	0.005 ± 0.001	0.002 ± 0.000	<0.002
			15	0.016 ± 0.005	0.006 ± 0.001	0.002 ± 0.001	<0.002
		42	5	0.010 ± 0.005	0.005 ± 0.001	0.003 ± 0.001	<0.002
			15	0.007 ± 0.002	0.002 ± 0.009	<0.002	<0.002
		49	5	0.011 ± 0.002	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	<0.002
			15	0.004 ± 0.002	0.004 ± 0.002	<0.002	<0.002
Radish root	Summer	31	5	0.016 ± 0.005	0.009 ± 0.006	0.003 ± 0.001	<0.002
			15	0.011 ± 0.006	0.008 ± 0.001	<0.002	<0.002
		38	5	0.009 ± 0.002	0.004 ± 0.001	<0.002	<0.002
			15	0.009 ± 0.005	0.005 ± 0.001	<0.002	<0.002
	Autumn	33	5	0.020 ± 0.009	0.006 ± 0.001	0.003 ± 0.000	<0.002
			15	0.019 ± 0.009	0.005 ± 0.001	0.002 ± 0.001	<0.002
		42	5	0.017 ± 0.008	0.003 ± 0.001	0.003 ± 0.000	<0.002
			15	0.009 ± 0.003	0.003 ± 0.000	0.002 ± 0.001	<0.002
		49	5	0.018 ± 0.006	0.005 ± 0.001	0.002 ± 0.000	<0.002
			15	0.008 ± 0.002	0.004 ± 0.002	0.003 ± 0.001	<0.002

- For plot A, B, E and F of radish leaf, paired t-test :  $t_s=1.285$ ,  $t_{0.05(9)}=2.262$ ,  $p=0.2308$

For plot A, B, E, F and G of radish root, paired t-test :  $t_s=2.185$ ,  $t_{0.05(12)}=2.179$ ,  $p=0.049$

<sup>a</sup>DAP: Days after planting/sowing,

<sup>b</sup>PBI: Plant back interval,

<sup>c</sup>DAT: Days after treatment

다(Table 7). 알타리무 수확 시기별로 지상부 및 지하부의 imicyafos 잔류양상을 파악하고자 RCF (root concentration factor)와 TF (translocation factor)를 아래와 같이 구하였다 (Table 9, 10).

$$RCF = (\text{지하부 잔류농도}) / (\text{수확기 토양 잔류농도})$$

$$TF = (\text{지상부 잔류농도}) / (\text{지하부 잔류농도})$$

## 결과 및 고찰

### 시험기간 중 시설 내 온·습도

농약 처리와 여름 알타리무 및 가을 알타리무 재배기간의 일평균기온은 각각  $20.1 \pm 8.0^\circ\text{C}$ ,  $25.6 \pm 6.0^\circ\text{C}$ 이었고, 일평균습도는 각각  $68.5 \pm 26.5\%$ ,  $77.4 \pm 21.7\%$  범위이었다 (Table 1).

### 분석법 검증

분석법의 기기분석 조건에서 알타리무 지상부 및 지하부, 토양의 matrix-matched standard solution 검량선의 상관계수 0.99 이상으로 우수한 직선성을 보였다. 여름 알타리무 지하부와 지상부 중 imicyafos의 회수율은 각각 88.7-103.8%와 84.6-98.9%이었고 가을 알타리무 지하부와 지상부 중 imicyafos의 회수율은 각각 93.0-111.1%와 88.1-93.1%로 유효한 회수율 범위를 보였다(Table 4).

### 알타리무 중 농약잔류량

방법 1과 방법 2의 알타리무 지상부와 지하부 시료무게 (Table 5)를 대응표본 t-검정한 결과 유의수준 0.05에서 t 통계량이 각각 -3.76과 -4.07, p 값이 각각 0.0013과 0.0007로 경운 깊이가 알타리무 특히 지하부의 생육에 유의적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

**Table 7.** Residual amounts of imicyafos in radish leaf and root ( $\mu\text{g}$ , plant  $n=24$ )

Sample	Trial	Sampling date (DAP <sup>a</sup> )	Tillage depth (cm)	Plot (PBI <sup>b</sup> (DAT <sup>c</sup> ))			
				A (0)	B (30)	C (60)	
Radish leaf	Summer	31	5	32.78	15.30	4.11	
			15	21.71	13.03	-	
		38	5	9.58	14.87	-	
			15	12.45	11.39	-	
		Autumn	33	5	28.82	12.21	4.94
				15	43.65	14.69	4.67
	42		5	31.67	18.17	9.33	
			15	24.54	7.80	-	
	Radish root	Summer	31	5	14.75	9.77	2.64
				15	10.09	8.57	-
38			5	19.44	10.99	-	
			15	22.54	14.21	-	
Autumn			33	5	13.60	5.15	2.60
				15	16.45	5.27	1.70
		42	5	24.89	5.89	5.28	
			15	17.53	7.67	3.55	
49		5	36.72	10.02	4.34		
		15	20.32	9.93	6.59		

- For plot A, B, E and F of radish leaf, paired t-test :  $t_s=0.7998$ ,  $t_{0.05(9)}=2.262$ ,  $p=0.444$

For plot A, B, E, F and G of radish root, paired t-test :  $t_s=0.965$ ,  $t_{0.05(12)}=2.179$ ,  $p=0.354$

<sup>a</sup>DAP: Days after planting/sowing

<sup>b</sup>PBI: Plant back interval

<sup>c</sup>DAT: Days after treatment

알타리무 지상부 중 imicyafos 잔류농도는 파종기 처리 (plot A, E)의 방법 1과 방법 2에서 각각 0.003-0.015, 0.004-0.016 mg/kg, 처리 후 30일(plot B, F)에 잔류농도는 방법 1에서 0.002-0.007 mg/kg, 방법 2에서 0.002-0.006 mg/kg으로(Table 6) 파종기 처리(plot A, E) 및 처리 30일 후 파종(plot B, F)의 알타리무 지상부 중 imicyafos의 경운깊이에 따른 잔류량은 통계적으로 유의적인 차이가 없었다( $p < 0.05$ ). 농약처리 60일 후 파종한 처리구(plot C, G)의 경우 일부 시료에서 imicyafos의 잔류량이 정량한계(0.002 mg/kg) 미만이었기 때문에 통계분석을 통한 유의성을 확인할 수 없었다.

알타리무 지하부 중 imicyafos 잔류농도는 Table 6에 제시한 바와 같이 파종기(plot A, E) 방법 1에서 0.009-0.020 mg/kg 및 방법 2에서 0.008-0.019 mg/kg이었으며, 처리 후 30일(plot B, F)에 방법 1 및 방법 2에서 각각 0.003-0.009

mg/kg 및 0.003-0.008 mg/kg이었다. 처리 후 60일(plot C, G) 방법 1과 방법 2의 경우  $<0.002$ -0.003 mg/kg의 잔류량을 보였으며, 대응표본 t-검정한 결과 5 cm 깊이로 혼화한 처리구의 잔류량이 더 높은 경향을 보였다( $p < 0.05$ ). 여름시기에 수행한 시험에서는 농약 처리 후 60일 파종(plot C)에서 imicyafos의 잔류량이 정량한계(0.002 mg/kg) 미만으로 검출되는 경우가 있어 통계적 유의성을 확인할 수 없었다.

그러나 알타리무 지상부 및 지하부의 imicyafos 잔류량은 Table 7에 제시한 바와 같이 통계적 유의성이 인정되지 않는 결과를 보였다( $p < 0.05$ ). 이는 토양에 살포된 입체 농약은 경운 깊이에 따라 분포하지만, 상대적으로 높은 수용도와 낮은 토양흡착계수로 토양수에 녹은 imicyafos는 쉽게 이동하여 경운 깊이가 알타리무의 잔류량에 미치는 영향이 낮았기 때문이라고 판단되었다.



**토양 중 농약잔류량**

여름과 가을 포장에서 5 cm 깊이와 15 cm 깊이로 경운한 토양을 10 cm 깊이로 채취하고 토양 비중 1.2를 가정한 이론적 imicyafos 농도는 각각 2.5, 1.7 mg/kg이다. 온실에서 알타리무 파종 후 수확까지 약 30일 동안 토양 중 imicyafos 농도는 여름과 가을시험에서 0.09-0.45 mg/kg (plot A, E) 으로 이론적 농도의 50% 미만 수준으로 감소하였다. 이러한 결과는 imicyafos의 DT<sub>50</sub>이 표준물질을 이용한 실내 시험에서 28일과 29일이었고, 농약 제품을 이용한 야외 포장시험에서 3일과 6일이라고 한 일본의 농약평가 결과(FSCJ, 2015)와 유사한 결과라고 판단되었다(Appendix 1). 입제 농약 처리 경과일수별 알타리무 수확기 토양 중 농도는 각각 0.09-0.45 mg/kg (plot A, E), 0.03-0.16 mg/kg (plot B, F), 0.02-0.08 mg/kg (plot C, G) 이었고, 토양 경운 깊이별 imicyafos 잔류농도를 대응표본 t-검정한 결과 p 값이 0.458로

통계적 유의성이 인정되지 않았다(Table 8).

**토양과 알타리무 중 부위별 농약잔류량 비교 평가**

수확기 토양 중 imicyafos 잔류농도 대비 알타리무 지하부 중 잔류농도(RCF)는 0.029-0.15이며 알타리무 지하부 중 잔류농도 대비 지상부 중 잔류농도(TF)는 0.333-1.667이었다(Table 9, 10). 입제 농약 처리 후 경과일수별 RCF는 0.029-0.122 (plot A, E), 0.042-0.133 (plot B, F), 0.033-0.15 (plot C, G)이었으며, TF는 각각 0.659 ± 0.203 (0.333-0.938), 0.889 ± 0.355 (0.4-1.667), 0.867 ± 0.183 (0.667-1.0) 이었다(Table 9, 10). 농약 처리 후 경과일수별 TF는 평균 1 이하로 근채류인 알타리무 지하부보다 지상부의 잔류농도가 감소하는 양상이었다. 대기로의 방출, 지하부로의 이동 등이 지상부 잔류농도 감소의 원인일 수 있지만 imicyafos의 물리적 성질(증기압 1.9 × 10<sup>-7</sup> Pa)에 의하면 대기로의 이동은

**Table 8.** Average residual concentrations of imicyafos in soil (mg/kg)

Trial	Sampling date (DAP <sup>a</sup> )	Tillage depth (cm)	Plot (PBI <sup>b</sup> (DAT <sup>c</sup> ))			
			A (0)	B (30)	C (60)	D (Control)
Summer	31	5	0.19 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.02 ± 0.01	<0.01
		15	0.09 ± 0.01	0.16 ± 0.08	0.05 ± 0.03	<0.01
	38	5	0.11 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.08 ± 0.02	<0.01
		15	0.12 ± 0.08	0.12 ± 0.02	0.03 ± 0.01	<0.01
			E	F	G	H
Autumn	33	5	0.45 ± 0.02	0.14 ± 0.05	0.07 ± 0.03	<0.01
		15	0.22 ± 0.08	0.08 ± 0.01	0.06 ± 0.01	<0.01
	49	5	0.28 ± 0.10	0.07 ± 0.02	0.06 ± 0.01	<0.01
		15	0.17 ± 0.03	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.02	<0.01

- For plot A B, C, E, F and G, paired t-test : ts=0.7695, t<sub>0.05(11)</sub>=2.20, p=0.458

<sup>a</sup>DAP: Days after planting/sowing

<sup>b</sup>PBI: Plant back interval

<sup>c</sup>DAT: Days after treatment

**Table 9.** Root concentration factor

Trial	Sampling date (DAP <sup>a</sup> )	Tillage depth (cm)	Plot (PBI <sup>b</sup> (DAT <sup>c</sup> ))		
			A (0)	B (30)	C (60)
Summer	31	5	0.084	0.129	0.150
		15	0.122	0.050	-
	38	5	0.082	0.133	-
		15	0.075	0.042	-
			E(0)	F (30)	G (60)
Autumn	33	5	0.044	0.043	0.043
		15	0.086	0.063	0.033
	49	5	0.064	0.071	0.033
		15	0.029	0.057	0.050

<sup>a</sup>DAP: Days after planting

<sup>b</sup>PBI: Plant back interval

<sup>c</sup>DAT: Days after treatment

**Table 10.** Translocation factor in radish

Trial	Sampling date (DAP <sup>a</sup> )	Tillage depth (cm)	Plot (PBI <sup>b</sup> (DAT <sup>c</sup> ))		
			A (0)	B (30)	C (60)
Summer	31	5	0.938	0.778	0.667
		15	0.909	0.750	-
	38	5	0.333	1.000	-
		15	0.444	0.600	-
Autumn	33	5	0.650	0.833	0.667
		15	0.842	1.200	1.000
	42	5	0.588	1.667	1.000
		15	0.778	0.667	-
	49	5	0.611	0.400	1.000
		15	0.500	1.000	-

<sup>a</sup>DAP: Days after planting

<sup>b</sup>PBI: Plant back interval

<sup>c</sup>DAT: Days after treatment

배제될 수 있다(FAMIC, 2017). 일본의 imicyafos 평가보고서(FSCJ, 2015)에 의하면 방사성 동위원소로 표지된 imicyafos를 처리한 토양에서 파종 후 47일과 90일에 수확한 무 지상부의 imicyafos 농도는 검출한계 미만이고 대부분 잔류분은 대사산물이었으나 90일에 수확한 무의 지하부에서는 대부분의 잔류분이 imicyafos 이었다. 지상부의 방사능 농도비가 지하부에 비하여 4.6-5.8배 높은 것으로 보고되어 실제 지상부로의 이동량은 지하부에 비하여 훨씬 높았을 것으로 판단되었다. 따라서 알타리무 지상부로 이행된 imicyafos는 지하부에서보다 빠르게 분해된 것으로 판단되었다.

온실 사양토(유기물함량 4.06%)에서 파종 전 60일에 imicyafos 입제를 처리하여 재배한 알타리무 중 잔류농도는 0.01 mg/kg 미만이었다(Table 6). Lim et al. (2021)은 온실 사양토 (유기물함량 9.81%)에서 imicyafos 입제 처리 후 상추의 잔류량이 0.01 mg/kg 초과하지 않기 위하여 토양 중 잔류량 0.021 mg/kg과 PBI 357.3일을 제시하였는데, 토양과 작물 중 농약 잔류량은 작물(품종), 재배 시기, 온·습도, 토양 유기물함량 등에 따라 달라질 수 있으므로 다양한 조건에서 잔류시험이 필요할 것이다. Kwak et al. (2021)은 사용량이 많아 토양에 잔류되어 후작물로 이행될 가능성이 있는 농약들에 대해서는 잔류허용기준이 기설정된 작물들을 연작하도록 제안한 바 있다. 미국에서는 작물그룹의 대표작물을 대상으로 후작물 대사시험과 잔류시험 성적서를 단계적으로 평가하여 후작물 잔류 우려가 있다면, 후작물 안전식재기간 (plant back interval, PBI)을 설정하여 농약 라벨을 관리하거나 후작물 잔류허용기준을 설정한다(EPA, 1996). 농산물 안전성을 확보하기 위해 전작물에 사용된 농약의 후작물 재배 전 토양 잔류농도 및 토양에서 작물로의 흡수이행성 등 정보가 사용자에게 제공될 필요가 있다. 그러나 현실적인 PBI

설정이 어렵고 후작물의 농약 잔류량이 PLS 일률기준, 0.01 mg/kg을 충족하지 못한다면 농약잔류허용기준 설정이 필요하다고 판단되었다.

Imicyafos 입제 농약을 토양에 처리하고 5 cm 및 15 cm 깊이로 혼화하여 재배한 알타리무 중 imicyafos 잔류량은 두 처리방법 간 통계적 유의성이 없었다. 알타리무 생육은 5 cm 보다 15 cm 혼화 처리에서 더 좋았다. 알타리무 지상부 잔류농도는 통계적 유의성이 없었지만, 지하부 잔류농도는 15 cm 혼화보다 5 cm 혼화 처리에서 더 높았다. 근채류인 알타리무에 흡수·이행된 imicyafos는 지하부에 비하여 지상부에서 빠르게 분해되는 것으로 판단되었고, 수확기 토양 대비 알타리무 지하부의 잔류농도(RCF)는 0.029-0.15, 알타리무 지하부 대비 지상부의 잔류농도(TF)는 0.333-1.667 이었다. 파종 전 60일에 imicyafos 입제 농약을 처리하여 재배한 알타리무 중 잔류농도는 일률기준 0.01 mg/kg 미만이었다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호:PJ014819)의 지원으로 수행되었습니다.

## Author Information and Contributions

Kyeong-Ae Son, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration(RDA), Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6428-196X>

Chan-Sub Kim, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2157-7311>

Jun-ho Hong, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Technician

Ji-ho Park, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Technician

Hee-Dong Lee, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher

Geun-Hyoung Choi, Department of Digital Agriculture, RDA, Researcher

Jin Hyo Kim, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Professor

Establishment of experimental plan, Kyeong-Ae Son, Chan-Sub Kim

Presentation of methodology, Hee-Dong Lee, Jin-hyo Kim

Experimental participation, Kyeong-Ae Son, Jun-Ho Hong, Ji-ho Park, Chan-Sub Kim, Geun-Hyoung Choi

Writing, Kyeong-Ae Son, Geun-Hyoung Choi, Jin-hyo Kim

## 이해상충관계

“저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.”

## Literature cited

- Briggs GG, Bromilow RH, Evans AA, 1982. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation. *Pestic. Sci.* 13(5):495-504
- Burken JG, Schnoor JL, 1998. Predictive relationships for uptake of organic contaminants by hybrid Poplar trees. *Environ. Sci. Technol.* 32(21):3379-3385
- Collins C, Fryer M, Grosso A, 2006. Plant uptake of non-ionic organic chemicals. *Environ. Sci. Technol.* 40(1):45-52
- Dettenmaier EM, Doucette WJ, Bugbee B, 2009. Chemical hydrophobicity and uptake by plant roots. *Environ. Sci. Technol.* 43(2):324-329
- Food Safety Commission of Japan (FSCJ), 2015. Risk assessment report Imicyafos. (In Japanese) <https://www.fsc.go.jp/fsciis/evaluationDocument/show/kya20150805415/> (Accessed Oct. 4. 2022).
- Food and Agricultural Materials Inspection Center (FAMIC), 2017. Dossier Imicyafos abstract. (In Japanese) [https://www.acis.famic.go.jp/syouroku/imicyafos/imicyafos\\_01.pdf/](https://www.acis.famic.go.jp/syouroku/imicyafos/imicyafos_01.pdf/) (Accessed Oct. 4. 2022).
- Hurtado C, Domínguez C, Pérez-Babacea L, Cañameras N, Comasb J, et al., 2016. Estimate of uptake and translocation of emerging organic contaminants from irrigation water concentration in lettuce grown under controlled conditions. *Journal of Hazardous Materials* 305:139-148
- Hwang J, Lee S, Kim JE, 2017. Comparison of theoretical and experimental values for plant uptake of pesticide from soil. *PLOS One.* 40(1):1-13. DOI 10.1371/journal.pone.0172254.
- Jung YH, Kim JE, Kim JH, Lee YD, Im CH, et al., 2004. New pesticides. Sigma Press Inc., Korea. pp.53-54. (In Korean)
- Kim HH, Jung YH, Kim DH, Ha TK, Yoon JB, et al., 2015. Control effects of imicyafos GR against two species of the root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne hapla*). *J. Pestic. Sci.* 19(2):101-105. (In Korean)
- Kim J, Jeong MG, Kim Y, Kabir F, Okki MA, et al., 2017. Efficacy of imicyafos SL against cyst nematode, *Heterodera* spp., depending on time and periodic number of applications in Chinese cabbage. *J. Pestic. Sci.* 21(4):503-509. (In Korean)
- Kim J, Mwamula AO, Kabir F, Shin JH, Choi YH, et al., 2016. Efficacy of different nematicidal compounds on hatching and mortality of *Heterodera schachtii* infective juveniles. *J. Pestic. Sci.* 20(4):293-299.
- Korea Crop Protection Association (KCPA), 2022. Agrochemicals use guide book. pp.856-857. (In Korean)
- Kwak SY, Hwang JI, Lee SH, Kang MS, Ryu JS, et al., 2017. Plant uptake and residual patterns of insecticide dinotefuran by radish. *Korean J. Pesti. Sci.* 21(3):233-240. (In Korean)
- Kwak SY, Lee SH, Kim HY, Shin BG, Kim JE, 2021. Uptake and translocation of ethoprophos mixed with soil for cultivation of preceding crop into succeeding crop. *Kor. J. Environ. Agric.* 40(2):92-98. (In Korean)
- Lim DJ, Kim SW, Kim YE, Yoon JH, Cho HJ, et al., 2021. Plant-back intervals of imicyafos based on its soil dissipation and plant uptake for rotational cultivation of lettuce and spinach in greenhouse. *Agriculture.* 11(6):495.
- National Institute of Agricultural Sciences (NAS), 2018. Field crop water use technology. Wanju. Korea. pp.216-217. (In Korean)
- Roberts TR, 1996. Assessing the environmental fate of agrochemicals. *J. Environ. Sci. Health.* B31:325-335.
- U.S. EPA, 1996. Residue chemistry test guidelines OPPTS 860.1850 Confined accumulation in rotational crops. <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPPT-2009-0155-0018/> (Accessed Oct. 5. 2022).

**Appendix 1.** Environmental parameters of pesticides studied

*Imicyafos (in Assessment report of Japanese review programme (2015) and Japanese abstract (2017))*

Degradation in soil		
Lab. studies	DT <sub>50</sub>	28, 29 days at 25°C
Field studies	DT <sub>50</sub>	3, 6 days at 0-10 cm depth only
Photolysis in natural water	DT <sub>50</sub>	35 days (Tokyo, spring)
Soil adsorption	Koc	14.4-188 L/Kg
Partition coefficient	log Kow	1.64 at 20°C
Solubility in water		77.63 g/L at 20°C, pH 4. 5

## Imicyafos GR 처리 후 토양 혼화 깊이에 따른 알타리무 중 농약잔류량 비교 평가

손경애<sup>1\*</sup> · 홍준호<sup>1,3</sup> · 박지호<sup>1</sup> · 김찬섭<sup>1</sup> · 최근형<sup>2</sup> · 김진호<sup>3</sup> · 이희동<sup>1</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 잔류화학평가과, <sup>2</sup>농촌진흥청 디지털농업추진단, <sup>3</sup>경상국립대학교

**요 약** Imicyafos 입제 농약의 토양으로의 혼화 깊이가 농약의 작물로의 이행에 미치는 영향을 파악하고자 알타리무(*Raphanus sativus*) 재배시험을 하였다. Imicyafos 입제를 토양 깊이 5 cm와 15 cm로 혼화하고 2일, 30일 또는 60일 경과 후 알타리무를 5월 27일(여름시험) 및 8월 25일(가을시험)에 파종하여 2회(여름시험) 또는 3회(가을시험) 수확하였다. 수확한 알타리무 지상부와 지하부 중 imicyafos 잔류량은 5 cm, 15 cm 혼화 깊이 방법 간 통계적 유의성이 없었다. 토양에 대한 알타리무 지하부의 잔류농도(Root concentration factor, RCF)는 0.029-0.15, 알타리무 지하부에 대한 지상부의 잔류농도(Translocation factor, TF)는 0.333-1.667이었다.

**색인어** 알타리무, Imicyafos GR, 농약잔류, 경운 깊이