농약과학회지 (Korean J. Pestic. Sci.)
Vol. 30, No. 3, pp. 247-255 (2026)
Open Access https://doi.org/10.7585/kjps.2026.30.3.247
ORIGINAL ARTICLES

Online ISSN 2287-2051
Print ISSN 1226-6183
Check for updates

시설재배 키위(*Actinidia* spp.) 중 살균제 Iminoctadine의 잔류허용기준(MRL) 및 안전사용기준(PHI) 재평가

이연영[1] · 노현호[1] · 박성은[1] · 오민석[1] · 최정윤[1] · 이선영[1] · 한해리[1]* · 김지윤[2]
[1]국립농업과학원 잔류화학평가과, [2]한국생물안전성연구소

Reassessment of the Maximum Residue Limit (MRL) and Pre-Harvest Interval (PHI) of Iminoctadine Fungicide in Greenhouse-Grown Kiwifruit (*Actinidia* spp.)

Yeon Young Lee[1], Hyun Ho Noh[1], Sung Eun Park[1], Min Seok Oh[1], Jeong Yoon Choi[1], Sun Young Lee[1], Hae Ri Han[1]*, and Ji Yoon Kim[2]

[1]Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Jeonbuk State, Republic of Korea
[2]Korea bio-safety institute Co. Ltd., Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea

(Received on August 18, 2026. Revised on September 13, 2026. Accepted on September 14, 2026)

Abstract In accordance with Appendix 14 of the Registration Standards of Pesticides and Active Ingredients, we investigated the residue characteristics of the fungicide iminoctadine in greenhouse-grown kiwifruit (*Actinidia* spp.) and proposed a candidate maximum residue limit (MRL) and pre-harvest interval (PHI) to reflect the current cultivation conditions. An iminoctadine tris (albesilate) 40% wettable powder was applied twice at 10-day intervals in three greenhouse sites. We analyzed the residues by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) at 30, 60 and 90 days, following the last application. The method validation satisfied the criteria of the Food and Agriculture Organization (FAO) (2017) guideline. The residue levels decreased from 30 to 90 days. However, one site still showed a residue level of 0.38 mg/kg at 90 days, exceeding the current MRL of 0.3 mg/kg. These results demonstrate a discrepancy with the current PHI (30 days, 5 applications) and MRL, emphasizing the need to reassess these standards. Using the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) MRL calculator, the estimated MRL from the 90-day data (0.8 mg/kg) was lower than that from the 60-day data (1.5 mg/kg). This 90-day MRL was considered a candidate MRL, given the statistical uncertainty of the small three-site dataset. When the optimal disease control period was compared with the actual harvest time, we noted that extending the PHI to 90 days does not deviate from existing control practices. On the basis of our findings, we proposed two applications with a PHI of 90 days and a candidate MRL of 0.8 mg/kg for greenhouse-grown kiwifruit. Additional independent field trials and dietary risk assessment are required to establish these standards. The findings of our study could serve as scientific evidence to revise the MRL and PHI for iminoctadine tris (albesilate) in greenhouse-grown kiwifruit.

Key words: Greenhouse cultivation, Iminoctadine tris (albesilate), Kiwifruit, Maximum residue limit (MRL), Pre-harvest interval (PHI)

서 론

농약은 농작물의 병해충 방제, 생산량 증가, 품질 향상에 기여하는 물질로 농업생산에 필수적인 영농자재다(Gwon et al., 2024; RDA, 2026a). 그러나 사용된 일부 농약이 작물에 잔류하여 식이를 통해 일정 수준 이상 섭취될 경우 잠재적인 건강 위해를 초래할 수도 있다(Chung et al., 2011; Park et al., 2022). 이에 안전한 농산물 소비를 위해 농촌진흥청, 식품의약품안전처 등의 기관에서는 잔류허용기준(maximum

*Corresponding author
E-mail: heri0810@korea.kr

residue limit, MRL) 및 안전사용기준(pre-harvest interval, PHI)을 설정하여 관리하고 있다(Kim et al., 2021). 이러한 기준은 작물별 농약 잔류시험 결과를 근거로 설정된다. 작물 중 농약의 잔류 정도는 사용횟수 및 제제 형태 뿐만 아니라 작물의 재배 방법에 따라서도 달라질 수 있어(RDA, 2026b), 노지와 시설(비닐온실, 유리온실, 비가림 등)에서 모두 재배 가능한 작물은 잔류 가능성이 높은 시설재배 조건에서 시험하도록 규정하고 있다(RDA, 2016).

Iminoctadine은 FRAC(Fungicide Resistance Action Committee) 분류상 Group M07에 해당하는 bis-guanidine계 살균제로 다중작용점 접촉성(multi-site contact activity)을 가지며 병원체의 세포막 기능을 교란함으로써 방제 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(FRAC, 2026). 그러나 bis-guanidine계 살균제는 우수한 방제 효과에도 불구하고 일부 작물에 강한 약해를 유발하는 문제가 있어, 이를 개선하기 위해 알킬벤젠설폰산과의 염 형성을 통해 약해를 낮춘 iminoctadine tris (albesilate)가 개발되어 현재 상용화되어 있다(Yoshioka et al., 1987). 다만 국내 잔류물 정의(Residue definition)는 제제의 염 형태가 아니라 모화합물인 iminoctadine으로 설정되어 있으므로(MFDS, 2026), 본 연구에서도 iminoctadine을 분석 대상물질로 하였다. 2026년 기준 국내 iminoctadine tris (albesilate)는 사과, 수박, 인삼, 키위 등의 작물에 잿빛곰팡이병, 흰가루병 등의 방제 목적으로 등록되어 있으며, 그 중 키위에서는 과실무름병 방제용으로 사용된다. 키위 중 iminoctadine의 MRL은 0.3 mg/kg 이며, PHI는 수확 30일 전까지 5회 이내 처리하도록 설정되어 있다(RDA, 2026c; MFDS, 2026).

키위(*Actinidia* spp.)는 덩굴성 낙엽과수로 헤이워드(*A. deliciosa*), 호트16A(*A. chinensis* var. *chinensis*) 등 다양한 품종이 재배되고 있으며, 전 세계 키위 재배면적은 2024년 기준 287,000 ha, 생산량은 446.7만 톤에 달하며 지난 20년간 지속적인 증가세를 보이고 있다(RDA, 2020; FAO, 2025). 이처럼 세계적으로 소비가 확대되면서, 한국산 키위의 수출량도 증가하는 추세를 보이고 있다. 한국 키위 수출량은 2020년 389.0톤에서 2024년 456.6톤으로 증가하였다(aT, 2026).

국내 키위(참다래)는 과거 노지에서 주로 재배되었으나 1999년 이후 시설재배로의 전환이 본격화되었다(RDA, 2013). 전체 재배 면적은 1990년 813 ha에서 2012년 1,147 ha로 완만하게 증가한 반면, 같은 기간 생산량은 5천 톤에서 2만 2천 톤으로 훨씬 가파르게 증가하였다. 이는 면적 확대보다 시설재배 확산에 따른 토지 생산성 향상이 주된 요인이었던 것으로 보고되었다(RDA, 2013). 시설재배는 강우에 의한 농약의 자연적 소실(washing-off)이 제한되어, 동일한 살포조건에서도 노지재배보다 작물 중 잔류농약의 소실 속도가 느리고 잔류량이 더 높게 유지되는 경향이 보고된다(Lee et al., 2011; Allen et al., 2015). 또한, 동부콩 등에서 노지재배보다 시설재배에서 잔류농도가 높게 나타났다는 연구결과도 존재한다(Cui et al., 2024). 그러나 iminoctadine tris (albesilate)에 대한 선행연구는 주로 병원균에 대한 방제효과나 작용기작 규명에 초점이 맞춰져 있으며(Zhu et al., 2019; Zhang et al., 2024), 작물 중 잔류 소실 특성에 관한 연구는 확인되지 않았다.

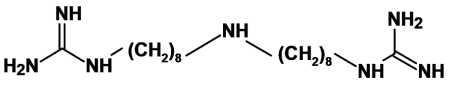
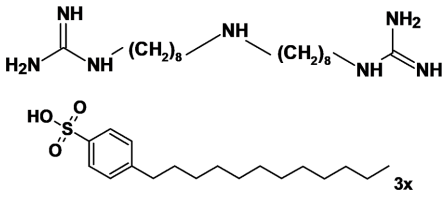
이에 본 연구는 농촌진흥청의 고시 「농약 및 원제의 등록기준」 [별표 14]의 시설재배 우선시험 원칙에 따라, 시설재배 조건에서 키위 중 살균제 iminoctadine의 잔류 특성 및 최종 약제처리 후 경과일수(days after last application, DALA)에 따른 잔류량 변화를 평가하고, 이를 토대로 시설재배 키위에 적용 가능한 MRL 및 PHI 후보값을 제안하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 농약 및 작물

시험 농약은 iminoctadine tris (albesilate) 40% 수화제

Table 1. Physicochemical properties of iminoctadine and iminoctadine tris (albesilate) (Turner, 2018)

Properties	Iminoctadine	Iminoctadine tris (albesilate)
Chemical structure		
IUPAC name	1,1′-iminodi(octamethylene) diguanidine	1,1′-iminodi(octamethylene) diguanidine tris(alkylbenzenesulfonate)
Molecular weight (g/mol)	355.6	1,335.1
Molecular formula	$C_{18}H_{41}N_7$	$C_{72}H_{131}N_7O_9S_3$
Log K_{ow}	-	1.14
Water solubility (mg/L, 20–25°C)	-	6.0
Vapour pressure (mPa)	-	< 0.16 (60°C)

(wettable powder, WP)로 ㈜경농의 벨쿠트 제품을 사용하였다. Iminoctadine과 iminoctadine tris (albesilate)의 물리화학적 특성은 Table 1에 제시하였다. 시험 작물은 키위이며, 다양한 시설재배 조건에서의 잔류 자료를 확보하기 위하여 품종이 서로 다른 3개의 포장에서 시험을 수행하였다[포장 I: 스위트골드(*A. chinensis* var. *chinensis*), 포장 II: 헤이워드(*A. deliciosa*), 포장 III: 해금골드(*A. chinensis* var. *chinensis*)].

Table 2. Average fruit weight of kiwifruit cultivar

Site	Species	Average fruit weight[a)] (g)
Site I	*A. chinensis* var. *chinensis*	91.9±6.8
Site II	*A. deliciosa*	105.4±6.5
Site III	*A. chinensis* var. *chinensis*	117.9±10.2

[a)]Values are expressed as mean±standard deviation of fruits from the untreated control at harvest (n=28).

포장 시험

포장시험은 제주시(포장 I), 전남 고흥군(포장 II), 전북 정읍시(포장 III)에 위치한 비가림 시설에서 수행하였다. 시험 당시 각 포장별 작물의 수령은 포장 I 5년생, 포장 II 18년생, 포장 III 10년생이었으며, 재식거리는 각각 5 × 4 m, 6 × 5 m, 4.5 × 3.5 m 이었다. 각 시설은 천창 및 측창 개폐를 통해 환기하였으며, 관수는 하향식 스프링클러를 이용하였다. 과실은 봉지를 씌우지 않고 재배하여, 살포된 약제가 과실 표면에 직접 노출되도록 하였다. 시험기간 중 각 포장의 시설 내 평균 온도 및 평균 습도는 포장 I 27.4ºC·79.1%, 포장 II 25.6ºC·85.3%, 포장 III 25.7ºC·80.4%이었다.

처리구는 각 포장 및 DALA별 3 반복으로 설정하였으며, 반복 당 1주, 무처리구는 4주로 배치하였다. 약제 살포는 등록 희석배수인 1,000배 희석하여 충전식 분무기(MSB210Li, Maruyama, Japan)를 이용하여 약액이 흐를 정도로 충분히 살포하였다. 살포 시 압력계는 설치되지 않아 살포압력은 별도로 측정하지 못하였으나 분당 분사량을 측정하여 분무기의 고른 분사량을 확인하였다. DALA별 처리구는 서로 독립적으로 구성하였다. 시설재배 현장에서 실제로 이루어지는 방제 횟수와 병해충 방제 관행을 고려하여 약제는 10일 간격으로 2회씩 살포하였고, DALA는 30일, 60일, 90일로 설정하였다. 포장 I에서는 2025년 7월 10일과 7월 20일(DALA 90일), 8월 9일과 8월 19일(DALA 60일), 9월 8일과 9월 18일(DALA 30일)에 각각 약제를 살포하였다. 포장 II와 III은 2025년 7월 12일과 7월 22일(DALA 90일), 8월 11일과 8월 21일(DALA 60일), 9월 10일과 9월 20일(DALA 30일)에 각각 약제를 살포하였다.

시료 채취는 포장 I에서 2025년 10월 18일, 포장 II와 III에서 2025년 10월 20일에 모든 처리구를 일시 수확하였다. 농촌진흥청 고시(RDA, 2024)에 따라 처리구별 반복 당 2 kg 이상의 시료를 채취하였고, 채취한 시료는 즉시 실험실로 운반하여 무게를 측정한 후 세절 및 마쇄하여 분석 전까지 -20.0ºC 조건에서 보관하였다. 각 포장에서 채취한 시료의 평균 과중은 Table 2에 나타냈다.

시약 및 기구

분석을 위한 iminoctadine albesilate (순도 98.5%) 표준물질은 Wako사(Osaka, Japan)에서 구입하여 사용하였다. Methanol 및 water는 J.T Baker사(Radnor, PA, USA)의 HPLC (High Performance Liquid Chromatography) 등급의 제품을 사용하였으며, 시료 추출에 사용된 guanidine hydrochloride (98%)는 SAMCHUN사(Pyeongtaek, Korea) 제품을 이용하였으며, 기기분석에 사용된 formic acid는 Sigma-Aldrich사(Burlington, MA, USA)의 제품을 사용하였다. 진탕기는 Collomix사(Gaimersheim, Germany)의 VIBA 330 제품과 Daihan Scientific사(Wonju, Korea)의 MaXchake 제품을, 원심분리기는 한일과학산업사(Incheon, Korea)의 Combi-R515와 Smart13 제품을 사용하였으며, Syringe filter는 Whatman사(Maidstone, UK)의 0.2 μm Nylon 제품을 이용하였다.

표준검량선 작성

Iminoctadine tris (albesilate) 표준물질 47.6 mg을 정확히 칭량하여 25 mL의 methanol로 용해하였다. Iminoctadine tris (albesilate)와 iminoctadine의 분자량은 각각 1,335.1과 355.57로, 표준품의 순도(98.5%)에 두 화합물의 분자량 비를 곱하여 iminoctadine 환산 순도를 식 (1)에 의해 산출하였으며, 그 값은 26.23%이었다. 이를 이용하여 stock solution의 iminoctadine equivalent 농도를 식 (2)에 의해 산출하여 500.0 μg/mL의 iminoctadine 표준원액을 조제하였다. 조제한 표준원액은 60.0 mL PP bottle에 담아 -20.0ºC에 보관하였다. 이하 본 연구에서 제시하는 모든 표준용액의 농도 및 잔류량은 iminoctadine equivalent 기준으로 나타내었다.

$$\text{Iminoctadine} = \frac{\text{Iminoctadine tris (albesilate)}}{\text{표준품 순도(\%)}} \times \frac{\text{Iminoctadine 분자량(355.57)}}{\text{Iminoctadine tris (albesilate) 분자량(1,335.1)}} \quad (1)$$

$$\frac{\text{Iminoctadine equivalent 농도}}{(\mu g/mL)} = \frac{\text{표준품 칭량량(mg)} \times \text{환산 순도(\%)}}{\text{용해 부피(mL)}} \times 1000 \quad (2)$$

Stock solution을 methanol로 희석하여 100.0, 10.0 및 1.0 mg/L 농도의 working solution을 준비하였다. Working solution을 순차적으로 희석하여 0.001, 0.002, 0.004, 0.01, 0.02 및 0.04 mg/L의 용액을 조제하였으며, 이를 키위 무처리 시료 추출 용액으로 2배 희석하여 0.0005, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01 및 0.02 mg/L의 matrix-matched standard를 조제하였

다. 조제한 working solution은 conical tube에 담아 -20.0°C에 보관하였다. 각 matrix-matched standard를 LC-MS/MS로 분석하여 얻은 peak 면적(y축)과 표준용액의 농도(x축) 간의 검량선을 작성하였으며, 가중치(weighting)는 적용하지 않았다.

잔류농약 분석

꼭지를 제거하고 균질화한 키위 시료 20 g에 guanidine hydrochloride 2.5 g과 methanol 40 mL을 첨가하여 15분간 진탕하였다. 진탕한 시료를 10분간 원심분리(8,000 rpm, 4°C)하여 상징액을 분취하였다. 상징액을 분취하고 남은 시료에 guanidine hydrochloride 2.5 g과 methanol 40 mL을 재차 첨가한 후 15분간 진탕하고 진탕한 시료를 10분간 원심분리(8,000 rpm, 4°C)하여 상징액을 분취하였다. 1차, 2차 추출 시 분취한 상징액 전량을 합한 후 methanol을 이용해 100 mL로 정용하였다. 정용한 추출액 1.0 mL를 HPLC 등급 50 mg primary secondary amine (PSA, Agilent, USA)를 넣어둔 2.0 mL dispersive solid phase extraction (d-SPE) 튜브에 분취하여 30초간 진탕한 후, 10,000 rpm에서 5분간 원심분리하였다. 원심분리한 상징액을 methanol로 2배 희석한 후 syringe filter (0.2 μm, nylon)로 여과한 후 Table 3에 제시한 기기조건으로 키위 중 잔류농약을 분석하였다. 키위 중 iminoctadine의 잔류량은 liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) 크로마토그램에서 얻은 표준용액의 peak 면적을 이용하여 작성한 검량선의 회귀식에 해당하는 농도로 계산하였다.

분석법 검증

키위 중 iminoctadine의 분석법 검증은 FAO 가이드라인(FAO, 2017)에 따라 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantitation, LOQ), 검량선의 직선성, 회수율을 평가하여 검증하였다. LOD와 LOQ는 신호 대 잡음비(S/N ratio)가 각각 3과 10 이상인 농도로 설정하였다. 검량선의

Table 3. LC-MS/MS conditions for the residual analysis of iminoctadine

Instrument	HPLC-MS/MS, Shimadzu LCMS-8050 (Japan)				
Detector	Triple Quadrupole MSD. (Shimadzu, Japan)				
Column	Kinetex C18 100Å (100 × 4.6 mm, 5.0 μm, Phenomenex, USA), LC-118 (USA)				
Data processing software	LabSolutions (Shimadzu, Japan)				
Mobile phase	A: 0.1% formic acid in water B: 0.1% formic acid in methanol				
	Time (min.)	A (%)	B (%)		
	0.0	75.0	25.0		
	0.5	75.0	25.0		
	3.0	5.0	95.0		
	5.0	5.0	95.0		
	5.1	75.0	25.0		
	8.0	75.0	25.0		
Flow rate	0.3 mL/min				
Injection volume	2.0 μL				
Ionization mode	ESI (positive mode)				
DL temperature	200.0°C				
Interface temperature	250.0°C				
Heat block temperature	400.0°C				
Nebulizing gas flow	3.0 L/min				
Drying gas flow	10.0 L/min				
Heating gas flow	10.0 L/min				
MRM condition					
Compound	Retention time (min)	Precursor ion (*m/z*)	Q1 pre Bias (V)	Fragment ion (*m/z*)	Collision energy (eV)
Iminoctadine	2.34	356.1	-17.0	314.30[a)]	-24.0
			-10.0	297.30[b)]	-28.0

[a)] Quantification ion
[b)] Qualification ion

Table 4. Recoveries and relative standard deviations (RSDs) of iminoctadine in kiwifruit at different spiking levels

Analyte	Site	Fortification level (mg/kg)	Recovery (Mean±SD[a], %, n=5)	%RSD[b]	LOQ[c] (mg/kg)	MDA[d] (ng)
Iminoctadine	Site I	0.01	96.7 ± 4.2	4.4	0.01	0.002
		0.1	93.4 ± 2.2	2.3		
		1.0	93.6 ± 1.9	2.0		
	Site II	0.01	86.5 ± 4.3	4.9	0.01	0.002
		0.1	85.8 ± 2.6	3.0		
		1.0	87.6 ± 0.9	1.0		
	Site III	0.01	105.3 ± 2.5	2.3	0.01	0.002
		0.1	95.1 ± 1.2	1.3		
		1.0	93.6 ± 2.0	2.2		

[a]Standard deviation.
[b]Relative standard deviation [(SD/Mean) × 100].
[c]Limit of quantitation.
[d]Minimum detectable amount

직선성은 0.005–0.02 mg/kg 농도의 iminoctadine 표준용액을 LC-MS/MS로 분석하여 작성한 검량선의 결정계수(R^2)를 통해 확인하였다. 회수율 시험은 LOQ, LOQ의 10배 및 100배 수준이 되도록 무처리 시료에 iminoctadine 표준용액을 처리하여 각 수준에서 5반복 수행하였다.

저장안정성

저장안정성 시험은 최종 수확일에 수확한 무처리 시료에 iminoctadine 표준용액을 2.5 mg/kg 수준으로 3반복 처리한 후 분석시료와 동일한 조건인 -20.0ºC 조건에서 37~38일간 보관한 다음 분석하여 시료 보관 기간 동안의 안정성을 검증하였다.

소실률 산출

포장별 iminoctadine의 잔류량 소실률은 DALA 구간(30~60일, 60~90일, 30~90일)별로 식 (3)을 이용하여 산출하였다. DALA 30, 60, 90일의 3개 시점 자료만으로는 회귀분석의 자유도가 낮아 신뢰성 있는 소실 속도 상수(k)와 반감기(DT_{50})를 산출하기 어려울 것으로 판단하였다. 이에 시간 경과에 따른 잔류량 변화를 구간별 백분율 감소(소실률)로 나타내어, 포장 간 소실 속도의 상대적 차이를 비교하는 방법을 이용하였다.

$$\text{소실률}(\%) = \frac{\text{구간 시작 잔류량}(mg/kg) - \text{구간 종료 잔류량}(mg/kg)}{\text{구간 시작 잔류량}(mg/kg)} \times 100 \quad (3)$$

통계분석

각 포장 내 DALA 간 잔류량 차이 및 각 DALA 시점에서의 포장 간 잔류량 차이는 각각 별도의 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 R 프로그램(ver.4.6.1)을 이용하여 실시한 후, Tukey's test로 다중비교하였다($p < 0.05$).

Table 5. Storage stability of iminoctadine in kiwifruit samples stored at -20ºC

Site	Fortification level (mg/kg)	Storage period (days)	Mean ± SD[a] (n=3, %)	%RSD[b]
Site I	2.5	38	90.0 ± 3.3	3.7
Site II	2.5	37	86.3 ± 1.6	1.9
Site III	2.5	38	91.1 ± 2.8	3.0

[a]Standard deviation
[b]Relative standard deviation

결과 및 고찰

분석법 검증

키위의 matrix-matched standard의 peak 면적을 이용하여 작성한 검량선은 포장 I에서 y=3,754,897.0134x–143.3450, 포장 II에서 y=4,014,087.1708x+161.6313, 포장 III에서 y=3,903,174.0474x–124.5669이었으며 세 포장 모두 R^2이 0.999 이상으로 우수한 직선성을 보였다. 키위의 matrix-matched standard를 확립된 분석법으로 분석하여 설정한 LOD는 0.005 mg/kg이었으며, LOQ는 0.01 mg/kg이었다. 회수율은 85.8–105.3%이었고, relative standard deviation (RSD)는 모두 5% 이하로 나타나 FAO (2017)에 제시된 회수율 조건을 만족하였다 (Table 4).

저장안정성

저장안정성 시험결과는 Table 5와 같으며, 37–38일 보관 후 회수율은 86.3–91.1%, RSD 값은 3.7% 이하로 나타났다. 이에 따라 저장기간 동안 키위 중 iminoctadine은 소실 및

분해되지 않았다고 판단되었다.

키위 중 iminoctadine 잔류량

재배 포장별 DALA에 따른 키위 중 iminoctadine의 잔류량은 Table 6에 나타냈다. 무처리구에서는 3개 포장 모두 LOQ 미만이었다. 약제처리(2회) 후 iminoctadine의 잔류량은 DALA 경과에 따라 감소하는 경향을 보였다. 포장 I과 III에서 잔류량은 DALA 30일에서 90일까지 지속적으로 감소하여 모든 구간에서 차이를 보였다($p<0.05$). 그러나 포장 II의 DALA 30일에서 60일까지는 잔류량이 감소한 반면 DALA 60일과 90일 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다 ($p<0.05$). 동일 DALA 시점에서 포장 간 잔류량을 비교한 결과, DALA 30일과 60일에서는 포장 I의 잔류량이 포장 II 및 III보다 낮았으나 포장 II와 III 사이에는 차이가 없었다 ($p<0.05$). 반면 DALA 90일에서는 포장 I(0.16 mg/kg), 포장 III(0.25 mg/kg), 포장 II(0.38 mg/kg) 순으로 잔류량이 증가하여 세 포장 간 뚜렷한 잔류량 차이를 보였다($p<0.05$). DALA 30일의 초기 잔류량은 포장 I(0.40 mg/kg)이 포장 II·III(각 0.58 mg/kg)보다 낮게 나타났다.

이러한 초기 잔류량의 차이는 이후 산출되는 구간별 소실률의 기준점이 되므로, 소실률 해석 시 중요한 요인이 된다. 초기 부착량은 과실의 표면적 대비 중량비, 과피의 표면 특성 등 여러 요인에 의해 영향을 받을 수 있는데, 본 연구에서 측정한 평균 과중은 포장 I 91.9 g, 포장 II 105.4 g, 포장 III 117.9 g으로 초기 잔류량이 가장 낮았던 포장 I의 과중이 세 포장 중 가장 작았다(Table 2). 다만 과실의 정확한 표면적이나 표면적 대비 중량비는 측정하지 않아, 초기 잔류량 차이의 구체적 원인을 명확히 규명하기 어려우며, 이후 이러한 생육 지표를 포함한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

DALA 30일의 잔류량(0.40–0.58 mg/kg)은 품종·포장에 관계없이 3개 포장 모두 현행 기준 MRL(0.3 mg/kg)을 초과하였으며, 이는 현행 최대 허용 횟수(5회)보다 적은 2회 처리 조건에서 나타난 결과라는 점에서 주목할 필요가 있다. 이 결과는 현행 안전사용기준을 시설재배 조건에 그대로 적용하기는 어려울 수 있음을 보여준다. 특히 농가가 등록된 안전사용기준을 준수하며 방제하더라도 시설재배 조건에서는 부적합 판정을 받을 위험이 존재함을 시사한다. 다만 본 연구결과는 제한된 수의 포장과 처리 조건에서 얻어진 것으로, 국내 시설재배 키위 전반으로 확대해석하기는 어렵다.

앞서 언급한 바와 같이 iminoctadine tris (albesilate)는 다중작용점 접촉성 살균제(FRAC M07)로서 비침투이행성을 가지므로, 표면에 약제가 부착된 상태에서 병원균과 직접 접촉해야만 방제 효과를 나타내며(FRAC, 2026), 잔류 또한 식물체 내부 조직으로의 이동보다는 표면에 국한되어 나타나는 경향이 있다. 아울러 iminoctadine tris (albesilate)는 낮은 증기압(<0.16 mPa, 60°C)과 수용해도(6.0 mg/L, 20–25°C)를 가져(Turner, 2018), 휘발이나 강우에 의한 소실이 제한적인 물질로 알려져 있다. 본 연구에서도 DALA 90일이 경과한 시점까지 DALA 30일 대비 40~65% 수준의 잔류량이 유지되어 이와 부합하는 결과를 보였다.

키위 과실은 사과, 배 등 매끄러운 표면을 가진 다른 과수와

Table 6. Residue levels of iminoctadine in kiwifruit according to days after last application (DALA)

Sample	Site	Number of applications	DALA[a)] (days)	Residue level[b,c)] (Mean±SD, mg/kg, n=3)	MRL[d)] (mg/kg)
Kiwifruit	Site I	Control	-	< 0.01	0.3
		2	30	0.40aA ± 0.05	
			60	0.27bA ± 0.01	
			90	0.16cA ± 0.03	
	Site II	Control	-	< 0.01	
		2	30	0.58aB ± 0.03	
			60	0.42bB ± 0.02	
			90	0.38bB ± 0.04	
	Site III	Control	-	< 0.01	
		2	30	0.58aB ± 0.04	
			60	0.44bB ± 0.05	
			90	0.25cC ± 0.02	

[a)]Days after last application
[b)]Means followed by different lowercase letters (a, b, c) within the same site are significantly different among DALA (one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test, $p<0.05$)
[c)]Means followed by different uppercase letters (A, B, C) at the same DALA are significantly. different among site (one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test, $p<0.05$)
[d)]Maximum residue limit established by MFDS (Ministry of Food and Drug Safety, Korea)

Table 7. Dissipation rate[a)] of iminoctadine in kiwifruit by site

Site	Dissipation rate, 30 to 60 DALA[b)] (%)	Dissipation rate, 60 to 90 DALA (%)	Overall dissipation rate, 30 to 90 DALA (%)
Site I	32.5	40.7	60.0
Site II	27.6	9.5	34.5
Site III	24.1	43.2	56.9

[a)]Dissipation rate was calculated as [(the residue at the start of the interval – the residue at the end of the interval) / the residue at the start of the interval] × 100, based on the mean residue levels presented in Table 5
[b)]Days after last application

달리 표면에 미세한 털(tricone)이 존재한다. 실제로 키위 과실에 azinphos-methyl 등을 살포한 선행연구에서 과실표면의 털이 높은 잔류량 형성에 상당히 기여하였음이 보고된 바 있으며(Love and Ferguson, 1977), 국내 유통 과일류의 부위별 잔류농약을 비교한 연구에서도 키위를 포함한 다수 품목에서 과피의 농약 검출량이 과육 대비 2~15배 높게 나타나는 경향이 확인되었다(Moon et al., 2022). 이는 키위 과실의 표면 구조가 외부에서 처리된 농약의 내부 이행을 제한하기 때문으로 해석되며, 접촉성 살균제인 iminoctadine tris (albesilate)의 낮은 휘발·용해성이라는 물리화학적 특성과 키위의 작물학적 특성이 결합되어 처리 표면(과피)에 부착된 상태로 잔류가 서서히 소실되었을 것으로 판단된다.

이러한 표면 구조에 의한 소실 지연 경향은 품종에 따라서도 차이를 보일 수 있다(Table 7). 포장 I과 III은 DALA 60~90일 구간의 소실률이 DALA 30~60일 구간보다 높아 가속화되는 경향을 보인 반면, 포장 II는 DALA 60~90일 구간의 소실률이 DALA 30~60일 구간보다 크게 낮아 소실이 느려지는 상반된 양상을 보였다. DALA 30일 대비 90일까지의 전체 소실률은 포장 I에서 60.0%, 포장 III 56.9%로 나타났지만, 포장 II는 34.5%로 세 포장 중 가장 낮았다. 가장 낮은 소실률을 보인 포장 II의 헤이워드는 그린키위 계통으로 표면 전체가 털로 덮여 있는 반면, 상대적으로 높은 소실률을 보인 포장 I과 III의 스위트골드 및 해금골드는 골드키위 계통에 속하며 그린키위에 비해 매끄러운 표면을 가진다. 다만 본 연구는 서로 다른 지역의 독립된 시설에서 서로 다른 품종을 시험한 설계로, 품종 효과와 재배환경의 영향을 완전히 분리하기는 어렵다. 시험기간 동안 각 포장의 시설 내 평균 온도는 25.6~27.4℃, 평균 습도는 79.1~85.3% 범위로 나타나 포장 간 큰 차이를 보이지 않았다는 점에서, 관찰된 포장 간 잔류 소실 양상의 차이가 재배환경보다는 품종별 과피 표면구조와 관련이 있을 가능성을 배제할 수 없다.

Iminoctadine tris (albesilate)는 접촉성 살균제로서의 작용특성과 낮은 휘발·용해성과 비침투성이라는 물리화학적 특성으로 인해 작물체 표면에 결합된 상태로 잔류하는 경향을 가지며, 특히 현행 최대 허용횟수(5회)보다 적은 2회 처리 조건에서도 3개 포장 모두 현행 MRL(0.3 mg/kg)을 초과하였다는 점은 시설재배 조건에서 안전사용기준 재검토의 필요성을 뒷받침하는 중요한 결과이다. 다만 포장 간의 소실 양상 차이가 품종별 표면 구조와 재배환경 중 무엇에 주로 기인하는지는 본 연구의 설계만으로 명확히 규명하기 어려우므로, 향후 품종과 재배환경을 독립적으로 설계한 추가시험을 통해 검증할 필요가 있다.

키위 중 iminoctadine 안전사용기준 제안

시설재배 키위의 iminoctadine의 안전사용기준을 검토하기 위해 DALA 60일과 90일의 포장별 잔류량 데이터를 OECD MRL calculator에 적용하였다. Calculator의 반올림 MRL 제안 값은 DALA 60일 1.5 mg/kg, DALA 90일 0.8 mg/kg 이었다. 다만 각 DALA의 독립 시험 값은 3개 포장에 불과한 소규모 자료에 해당하여, OECD calculator에서도 이러한 경우 높은 수준의 불확실성을 수반한다고 명시하고 있으므로(OECD, 2011), 0.8 mg/kg은 통계적 불확실성을 갖는 후보값으로 해석해야 한다. 본 연구에서는 수확 시 잔류량을 낮추고 현행 MRL 초과 가능성을 줄이는 보수적 방향으로, PHI 90일, 2회 처리를 안전사용기준 후보로 제안하였다. MRL은 우수농업관리기준(Good Agricultural Practice, GAP)에 따른 잔류 수준을 관리하기 위한 규제 기준이며 독성학적 안전기준 자체는 아니므로 최종 기준 설정에는 충분한 독립 포장시험과 식이 위해 평가가 반영되어야 할 것으로 판단된다.

PHI를 기존 30일에서 90일로 조정하는 것이 실제 농가의 방제 관행에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다. 국내 키위 과실무름병의 약제 방제는 6월 상순부터 10일 간격으로 4~5회 살포하도록 권장되나(Jeonnam Agricultural Research and Extension Services, 2007), 이는 iminoctadine tris (albesilate) 단일 성분이 아닌 과실무름병 방제 전반의 살포 체계를 의미한다. 이러한 방제 시작 시기와, 키위 수확시기는 대체로 10월 중순~11월 상순으로(RDA, 2020) 병 방제 시기와 실제 수확 시기 사이의 간격은 이미 90일 내외에 이르는 것으로 추정된다. 이는 본 연구의 포장시험에서 실제 살포일(7월 10~22일)과 수확일(10월 18~20일) 간의 간격과도 일치한다. 즉 PHI를 90일로 조정하더라도 병해충 방제 적기에 기반한 기존의 실제 관행과 크게 어긋나지 않으며, 방제 시기 측면에서 현장 적용 가능성을 시사한다.

이상의 결과를 종합하면, 본 연구는 등록기준 [별표 14]의 시설재배 우선시험 원칙에 따라 시설재배 키위 중 iminoctadine의 잔류 특성을 재평가하였다고 판단되며, 그 결과로 수확 90일 전 2회 처리 및 MRL 0.8 mg/kg을 추가 검토가 필요한 후보안으로 도출하였다. 본 연구결과는 기존의 병해충 방제 관행과 크게 어긋나지 않아, 시설재배 키위의 MRL 및 PHI 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 대한민국 농림축산식품부 시선 농산물 통합조직육성 사업 및 농촌진흥청 국립농업과학원 기관고유과제(과제번호: PJ017607)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Author information and Contributions

Yeon Young Lee, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, https://orcid.org/0009-0004-0850-1050, Writing-review & editing, Writing-original draft

Hyun Ho Noh, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, http://orcid.org/0000-0002-7568-8490, Data review, Writing-review & editing

Sung Eun Park, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, http://orcid.org/0009-0007-5727-2030, Data review, MRL/PHI propose

Min Seok Oh, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, http://orcid.org/0000-0002-2311-1956, Writing-review & editing

Jeong Yoon Choi, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, https://orcid.org/0000-0002-7931-6408, Writing-review

Sun Young Lee, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, http://orcid.org/0009-0002-8045-8873, Conceptualization, Writing-review

Ji Yoon Kim, Korea Bio-Safety Institute CO., Ltd., Deputy general manager, http://orcid.org/0009-0003-2707-9417, Residual pesticide analysis

Hae Ri Han, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, http://orcid.org/0009-0003-8469-8847, Supervision, Writing-review & editing

이해상충관계

저자들은 본 논문에 보고된 연구 작업에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보일만한 알려진 재정적 이해관계나 개인적 관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

Allen G, Halsall CJ, Ukpebor J, Paul ND, Ridall G, Wargent JJ, 2015. Increased occurrence of pesticide residues on crops grown in protected environments compared to crops grown in open field conditions. Sci. Total Environ. 511:296-304.

Chung HW, Ha YG, Im MH, Shin JE, Do JA, Oh JH, Cho JH, Kwon KS, Park SH, 2011. Establishment of 22 pesticide MRLs in agricultural products based on risk assessment. Korean J. Environ. Agric. 30(2):166-172.

Cui K, Wang J, Ma G, Guan S, Liang J, Fang L, Li T, Dong Z, Ding R, Wu X, Zheng Y, 2024. Greenhouse cultivation enhances pesticide bioaccumulation in cowpeas following repeated spraying. J. Environ. Manage. 353:120172.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2025. FAOSTAT: Crops and livestock products - Kiwi fruit. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (Accessed Sep. 7. 2026).

FAO, 2017. Guidelines on performance criteria for methods of analysis for determination of pesticide residues in food and feed, CXG90-2017. FAO, Rome, Italy.

Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), 2026. FRAC Code List 2026: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). https://www.frac.info (Accessed Jul. 29. 2026).

Gwon EY, Shin JW, Choi HR, Choi H, 2024. Determination of pre-harvest residue limits and evaluation of pre-harvest intervals using a probabilistic approach in greenhouse-grown butterbur. Korean J. Pestic. Sci. 28(2):183-191. (In Korean)

Jeonnam Agricultural Research and Extension Services, 2007. Major disease and pest control of Actinidia (Kiwifruit). Nongsaro Agricultural Technology Portal, Rural Development Administration. https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psby/vodPlay.ps?mvpNo=438 (Accessed Aug. 11. 2026). (In Korean)

Kim YJ, Song JW, Choi SG, Kim JH, 2021. Residual characteristics of fungicides azoxystrobin, fluxapyroxad, and penthiopyrad on Peucedanum japonicum Thunb. Korean J. Pestic. Sci. 25(4):415-424.

Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation (aT), 2026. Period export-import performance statistics [Kiwi fruit exports]. https://www.kati.net/statistics/periodPerformance.do (Accessed Jul. 29. 2026)

Lee KS, Hong JH, Lim JS, Lee CR, 2011. Residual characteristics of azoxystrobin and cyenopyrafen in grapes under rain-shelter and protected cultivation conditions. Korean J. Pestic. Sci. 15(2):97-103. (In Korean)

Love JL, Ferguson AM, 1977. Pesticide residues and greedy scale control on kiwifruit. N. Z. J. Agric. Res. 20(1):95-103.

Ministry of Food and Drug Safety, 2026. Pesticide residue limits search (Iminoctadine, kiwifruit). https://residue.foodsafetykorea.

go.kr/prd/mrl (Accessed Aug. 04. 2026). (In Korean)
Moon KE, Park MK, Bae HJ, Lee JH, Lee YN, Kim JS, Kang CW, Lee JH, Choi OK, 2022. Comparison of pesticide residues in fruits by part. J. Food Hyg. Saf. 37(4):260-270.
Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2011. OECD MRL calculator: User guide. Series on Pesticides No. 56. ENV/JM/MONO(2011)2. OECD, Paris, France.
Park JU, Bae BJ, Woo SW, Jeong HJ, Jang JJ, Park JW, Chae S, Lee KS, Keum YS, Kim KS, Kim JE, Kim TH, 2022. Residual characteristics and risk assessments of afidopyropen, pydiflumetofen and mefentrifluconazole in perilla leaves. Korean J. Pestic. Sci. 26(1):65-73.
Rural Development Administration, 2026a. What is a pesticide?. https://psis.rda.go.kr/psis/cont/contentMain.ps?menuId=PS00384 (Accessed Jul. 29. 2026). (In Korean)
Rural Development Administration, 2026b. Establishment of pesticide safe use standards. https://psis.rda.go.kr/psis/cont/contentMain.ps?menuId=PS00324 (Accessed Aug. 04. 2026). (In Korean)
Rural Development Administration, 2026c. Pesticide safe use standards search (Iminoctadine tris(albesilate), kiwifruit). https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps?menuId=PS00263 (Accessed Aug. 04. 2026). (In Korean)
Rural Development Administration (RDA), 2020. Kiwifruit (Actinidia) Agricultural Technology Guide No. 170. Jeonju, Korea. (In Korean)
Rural Development Administration (RDA), 2016. Registration standards of pesticides and active ingredients [Appendix 14] Standards and methods for crop residue trials, Article 14-3 (Test crops and cultivation methods). https://www.law.go.kr/admRulSc.do?menuId=5&subMenuId=41&tabMenuId=183&eventGubun=060115 (Accessed Aug. 11. 2026.)
Rural Development Administration (RDA), 2013. RDA Interrobang No. 111: Courage to face the giant - A global company and Korean kiwifruit -. http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psv/psvr/psvrc/rdaInterDtl.ps?menuId=PS00063&cntntsNo=34322 (Accessed Aug. 04. 2026). (In Korean)
Turner JA (Ed.), 2018. The Pesticide Manual: A World Compendium, 18th ed. British Crop Production Council (BCPC), Alton, UK. p.642.
Yoshioka N, Okunishi Y, Miura Y, Mori Y, Kataoka Y, et al., 1987. Agricultural and horticultural guanidine-type fungicide and process for production thereof. U.S. Patent 4,659,739.
Zhang KY, Fu YP, Long CA, Zhu FX, 2024. Iminoctadine tris (albesilate) resistance in Geotrichum citri-aurantii and its management. Crop Prot. 175:106475.
Zhu J, Zhang L, Ma D, Gao Y, Mu W, et al., 2019. A bioactivity and biochemical analysis of iminoctadine tris (albesilate) as a fungicide against Corynespora cassiicola. Pestic. Biochem. Physiol. 158:121-127.

시설재배 키위(*Actinidia* spp.) 중 살균제 Iminoctadine의 잔류허용기준(MRL) 및 안전사용기준(PHI) 재평가

이연영[1] · 노현호[1] · 박성은[1] · 오민석[1] · 최정윤[1] · 이선영[1] · 한해리[1]* · 김지윤[2]

[1]국립농업과학원 잔류화학평가과, [2]한국생물안전성연구소

요 약 본 연구는 「농약 및 원제의 등록기준」 [별표 14]에서 규정하는 시설재배 우선시험 원칙에 따라, 시설재배 조건에서 재배되는 키위 중 살균제 iminoctadine의 잔류 특성을 파악하고, 현재의 재배 환경을 반영한 잔류허용기준(MRL) 및 안전사용기준(PHI)(안)을 제안하기 위해 수행되었다. 시설재배 포장 3곳에서 iminoctadine tris (albesilate) 40% 수화제를 안전사용기준에 따라 10일 간격으로 2회 살포하였으며, 최종 약제처리 후 30일, 60일, 90일 시점의 잔류량을 LC-MS/MS로 분석하였다. 잔류량은 30일에서 90일로 경과함에 따라 감소하였으나, 90일 시점에도 한 포장에서 0.38 mg/kg의 잔류량이 검출되어 현행 MRL (0.3 mg/kg)을 초과하였다. 이는 시설재배 조건의 잔류시험 결과가 현행 PHI(수확 전 30일, 5회) 및 MRL과 차이를 보여 현재의 재배 환경을 반영한 기준 재평가의 필요성을 뒷받침한다. OECD MRL calculator로 산출한 결과, 90일 기준 MRL (0.8 mg/kg)이 60일 기준 MRL (1.5 mg/kg)보다 더 낮았으나, 소규모 자료에 따른 통계적 불확실성을 고려하여 후보값으로 제시하였다. 병 방제 적기와 수확시기 간의 간격을 검토한 결과, PHI를 90일로 조정하더라도 기존 방제 관행과 크게 어긋나지 않아, 안전사용기준을 수확전 90일, 2회 처리로, MRL을 0.8 mg/kg 후보값으로 제시하였다. 최종 기준 설정을 위해서는 추가적인 독립포장 시험과식이 위해 평가가 필요하다. 본 연구결과는 시설재배 키위의 잔류허용기준 및 안전사용기준 재설정을 위한 과학적 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어: Iminoctadine, 시설재배, 안전사용기준, 잔류허용기준, 키위