

# 노니 중 살충제 Acetamiprid, Afidopyropen, Emamectin benzoate의 잔류특성 및 위해성 평가

허수형<sup>1†</sup>, 김소진<sup>1†</sup>, 김지원<sup>2</sup>, 전관우<sup>1</sup>, 김창숙<sup>1,2</sup>, 부경환<sup>1,2\*</sup>

## Residual Characteristics and Risk Assessments of Acetamiprid, Afidopyropen and Emamectin benzoate in Noni

Su Hyeong Heo <sup>1†</sup>, Sojin Kim <sup>1†</sup>, Jiwon Kim <sup>2</sup>, Kwan Woo Jeon <sup>1</sup>, Chang Sook Kim <sup>1,2</sup> and Kyung-Hwan Boo <sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 생명자원과학대학 생명공학부, <sup>2</sup>제주대학교 아열대·열대생물유전자은행센터

<sup>1</sup>Department of Biotechnology, College of Applied Life Science (SARI), Jeju National University, Jeju 63243, Korea, <sup>2</sup>Subtropical/Tropical Organism Gene Bank, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

\* Correspondence: khboo@jejunu.ac.kr

<sup>†</sup>These authors contributed equally to this work.

**Abstract:** This study aimed to investigate the residual characteristics and safety assessment of acetamiprid, afidopyropen, and emamectin benzoate in Noni under greenhouse conditions. The Noni samples were treated with the pesticides twice at 7-day intervals and harvested on days 0, 7, 14, and 21 after the last treatment. The average recoveries of all pesticides ranged from 73.2% to 99.1%, which was sufficient for residue analysis. The residual amounts of acetamiprid, afidopyropen, and emamectin benzoate in noni were 0.09-0.15 mg/kg, 0.05-0.07 mg/kg, 0.01-0.03 mg/kg, respectively, indicating a tendency for dissipation over time. The biological half-lives of acetamiprid, afidopyropen, and emamectin benzoate were 28.6, 34.6, and 8.8 days, respectively. The %ADI values for these pesticides were below 1%, indicating a safe level of residue. These results provide important fundamental data for the future establishment of PHI (Pre-Harvest Interval) and MRL (Maximum Residue Limit) for Noni.

**Keywords:** Noni, Pesticide residues, Risk assessment, Safety uses

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.13>

Agric. Environ. Sci. 2025, 44, 121-130

Received: February 19, 2025

Revised: March 10, 2025

Accepted: April 2, 2025

Published: April 18, 2025

Online ISSN: 1233-4173

Print ISSN: 1225-3537



© The Korean Society of Environmental Agriculture 2025



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

노니(*Morinda citrifolia*)는 꼭두서니과에 속하는 다년생 작물로, 인도 뽕나무, 누나, 아치 등 다양한 이름으로 불린다[1]. 노니는 3~6 m까지 자라며, 익은 과육은 밝은 녹색에서 흰색으로 변하고, 과육이 익을수록 부티르산(butyric acid) 향과 맛이 강해진다. 주로 인도-태평양 섬에 분포되어 있으며, 열대 기후 지역에서 활발히 재배되고 있다[2]. 노니는 약용 식물로서 2,000년 이상의 역사를 자랑하며, 열매뿐만 아니라 잎, 줄기, 뿌리까지 모든 부위가 생리활성 성분을 다량 함유하고 있다[3]. 특히, 노니의 열매는 항암, 항고혈압, 통증 완화 등 다양한 약리 활성을 보유하고

있으며[4], 주성분으로는 페놀성 화합물, 플라보노이드, 스코폴레틴 등이 알려져 있다[1].

농약은 병해충을 방제하여 농작물의 생산성과 품질을 높이고, 노동력을 절감시키며 안정적인 농산물 생산을 가능하게 하는 필수 농업 자원이다[5]. 그러나 농약의 과도한 사용과 부적절한 관리가 토양 및 수질 오염을 유발하고, 인체 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있다는 우려도 있다[6]. 이를 예방하기 위해, 작물별 농약안전사용기준(Pre-Harvest Interval, PHI)과 최대잔류허용기준(Maximum Residue Limit, MRL)을 설정하여 농약 사용 방법과 사용량을 규제하고 있다[7]. MRL 설정은 농약의 1일 섭취허용량(Acceptable Daily Intake, ADI: mg/kg)을 기준으로 이루어지며, 이를 통해 각 농약의 잔류 농도가 소비자에게 미치는 위해성을 평가한다. 대부분의 국가에서는 ADI 값을 이용하여 농산물 내 농약 잔류 농도의 안전성을 평가하고 있다[8]. 또한, GAP (Good Agriculture Practices) 제도를 통해 농산물의 수확부터 가공, 유통에 이르는 전 과정에서 농약의 오남용을 방지하고 품질 높은 농산물을 생산하기 위한 관리체계가 국내외적으로 의무화되고 있다[9,10].

농약의 안전한 사용을 위해서는 각 농작물에 적합한 농약을 선택하고, 그에 대한 잔류 특성을 정확히 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 노니에 사용된 acetamiprid, afidopyropen, emamectin benzoate 세 가지 농약의 잔류 특성을 분석하였다. Acetamiprid는 네오니코티노이드 계열의 살충제로, 잎이 많은 과채류나 관상용 식물에 생기는 흡즙형 해충인 총채벌레류, 진딧물류, 파리 유충 방제에 효과적이다. 이 농약은 뇌, 척수, 신경절 수상돌기에 있는 아세틸콜린 수용체(nACh-R)와 반응하여 해충의 신경계를 마비시킴으로써 방제 효과를 나타낸다[11]. Afidopyropen은 피로펜계의 신경계 살충제로, acetamiprid와 마찬가지로 흡즙형 해충을 방제하는데 사용되며, 발현기작은 아직 완전히 밝혀지지 않았다[12]. 이 농약은 모화합물과 대사체 M440I007이 혼합된 화합물로, 대사체는 모화합물의 최대 91%에 달하는 독성을 가진다[JMPR report, 2019]. Emamectin benzoate는 avermectin 계열의 살충제이자 살균제로, 주로 딱정벌레류 및 소나무 재선충을 방제하는 데 사용된다. 이 농약은 avermectin B1a가 90%, B1b가 10% 비율로 혼합되었고, GABA 수용체와 글루타메이트 게이트 채널에 결합하여 해충의 신경 신호를 방해하는 방식으로 작용한다[13].

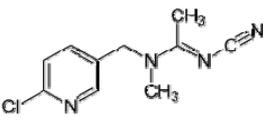
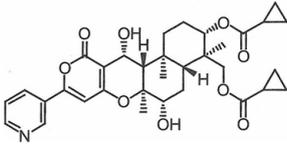
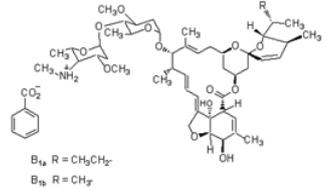
따라서 본 연구는 노니 중 acetamiprid, afidopyropen, emamectin benzoate의 잔류량 변화를 분석하고 생물학적 반감기를 산출하여 노니에 대한 잔류특성과 위해성을 평가하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험약제 및 시약

시험약제는 acetamiprid 8% 수화제, afidopyropen 2.5% 미탁제 및 emamectin benzoate 2.15% 유제를 사용하였다. 시험약제의 제품명은 각각 (주)경농의 모스피란, (주)농협케미컬의 베르시스, (주)태준아그로텍의 김팜골드였다. Acetamiprid의 분석용 표준품(100.0%)은 Wako (Osaka, Japan)에서 구입하였고, afidopyropen 표준품(97.1%) 및 대사체 M440I007의 표준품(90.2%)은 BASF SE Agricultural Solutions (Ludwigshafen, Germany)에서 구입하였으며, emamectin benzoate 표준품(94.39%)은 LGC(Augsburg, UK)로부터 구입하여 사용하였다. 시험약제 성분의 구조 및 이화학적 특성은 Table 1에 제시하였다.

**Table 1. Chemical structure and physicochemical properties of pesticides**

Pesticides	Acetamiprid	Afidopyropen	Emamectin benzoate
Chemical structure			
Molecular weight	222.7	593.7	1008.3 (B1a), 994.2 (B1b)
Melting point	98.9°C	150°C	141-146°C
log K <sub>ow</sub>	0.80 (25°C)	3.45	5.0 (pH 7)
Solubility	In water 4,250 mg/L at 25°C	In water 25.1 mg/L at 20°C	In water 0.024 g/L (pH 7) at 25°C

시험에 사용한 유기용매 acetonitrile은 fisher scientific (Hampton, USA)의 HPLC급 제품을 사용하였고, formic acid (95%)는 sigma (St. Louis, USA) 제품을 사용하였다. Distilled water는 초순수 제조장치(ELGA PURELAB, Lane End, UK)를 이용하여 조제하였다. 잔류농약분석을 위한 QuEChERS extract kit (magnesium sulfate 4.0 g, sodium chloride 1.0 g, trisodium citrate dehydrate 1.0 g, disodium hydrogencitrate sesquihydrate 0.5 g)와 dispersive SPE (primary secondary amine 25 mg 및 magnesium sulfate 150 mg)는 Agilent (California, USA) 제품을 사용하였다.

**시험작물 및 포장시험**

시험 작물인 노니의 수령은 9년생이며, 포장시험은 제주 서귀포시 남원읍에 위치한 노니 시설재배 하우스에서 수행하였다. 노니의 재식밀도는 2.5 m × 2 m였으며, 시험은 나무 2주를 반복구로 설정하여 진행하였다. 각 반복구의 처리구 면적은 나무 2주의 재배 면적(2.5 m × 2 m × 2주)과 주간 거리(0.5 m)를 포함하여 5.5 m × 2 m (11 m<sup>2</sup>)로 설정하였다. 약제 처리 시 비산을 방지하기 위해 0.5 m 이상의 완충구를 확보하였으며, 추가적으로 가림막도 사용하였다(Fig. 1). 농약을 처리하지 않은 무처리구 면적도 동일면적으로 3반복 배치하였다. 약제살포는 전기충전식 분무기(ASABA, Japan)를 이용하였고, 살포 전 일정한 살포압력 및 분사량을 3반복 점검한 후 시험구 전체에 균일하게 살포하였다. 약제는 각 구역마다 시험약제 2,000배 희석액을 7일 간격으로 2회 살포하였으며, 살포 시 압력은 약 0.3 MPa이었다. 분사량은 10a 기준으로 acetamiprid의 경우 수확 7일 전 360 L, 0일 전 353 L, afidopyropen은 7일 전 380 L, 0일 전 340 L, emamectin benzoate는 7일 전 357 L, 0일 전 373 L로 처리하였다. 최종약제살포 후, 시료는 0, 7, 14 및 21일 간격으로 수확하였고, 각 처리구에서 500 g 이상의 시료를 3반복 채취하였다. 채취 시료는 절단 후 드라이아이스를 넣어 믹서기(Shinil, Korea)로 균질화하였고, -20°C 냉동고에 보관하여 잔류농약 분석용 시료로 사용하였다.



Fig. 1. Photograph of the Noni field used for this trial (a) and layout of treatment plots for the field experiment (b).

**분석법 검증**

기기 정량한계(Instrumental limit of quantitation, ILOQ)는 크로마토그램상 피크 면적의 signal to noise ratio (S/N)가 10보다 높은 농도로 설정하였고, 기기 정량한계에 주입량을 곱하여 최소검출량(Minimum Detectable Amount, MDA)을 산출하였다. 분석법의 정량한계(Method Limit of Quantitation, MLOQ)는 최소검출량, 시료주입량, 시료채취량, 최종시험용액량 및 분석조작에 따른 희석 또는 농축배수를 고려하여 아래의 계산식에 의해 산출하였다.

$$MLOQ (mg/kg) = \frac{MDA (ng) \times \text{최종부피} (mL) \times \text{희석배수}}{\text{시료주입량} (\mu L) \times \text{시료량} (g)}$$

정량 분석은 ‘농산물 등의 유해물질 분석법’에 근거하여 LC-MS/MS를 이용한 매트릭스보정 검량법(Matrix matched calibration)에 따라 분석하였다[MFDS, 2016]. 표준품을 무처리 시료로 희석하여, acetamidrid는 0.0025, 0.005, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 mg/L의 matrix matched 표준용액을 조제, afidopyropen은 대사체인 M440I007와 혼합하여 0.0025, 0.005, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 mg/L의 matrix matched 표준용액을 조제, emamectin benzoate은 0.004, 0.005, 0.010, 0.025, 0.05, 0.075 mg/L의 matrix matched 표준용액을 조제하였다. 조제한 표준용액은 각각 2.0 µL씩 LC-MS/MS에 주입하였고, 이후 나타난 크로마토그램상 피크 면적을 기준으로 표준검량선을 작성하였다. 회수율 시험은 균질화한 무처리 시료 10 g에 각각 1.0, 10.0 mg/L의 표준용액을 0.1 mL씩 주입하여 최종 농도가 0.01 및 0.1 mg/kg이 되도록 3반복 처리한 후 하기 잔류농약분석방법으로 분석하였다.

**저장안정성 시험**

저장안정성 시험은 시료 채취 당일에 수행되었고, 균질화한 무처리 시료 10 g에 10.0 mg/L의 표준용액을 0.1 mL씩 주입하여 최종농도가 0.1 mg/kg이 되도록 3반복 처리한 후 분석시료와 동일한 조건으로 냉동보관하였다. Acetamidrid는 46일, afidopyropen은 52일, emamectin benzoate는 75일 동안 -20°C에서 냉동보관하여 하기 잔류농약분석방법으로 저장기간 동안 시료 중 농약의 안정성을 분석하였다.

**잔류농약분석**

균질화한 노니 시료 10 g에 acetonitrile 10 mL을 가하고 2분간 진탕 추출하였다. 추출한 시료에 QuEChERS kit와 ceramic homogenizer (Chromatific; Heidenrod, Germany)를 첨가한 후 660 rpm으로 1분간 진탕 추출하고, 4,000 rpm으로 10분간 원심분리 하였다. 원심분리한 시료에서 상등액 1 mL을 취한 뒤 d-SPE kit에 넣고, 2,500 rpm으로 5분간 진탕한 후 10,000 rpm에서 2분간 원심분리 하였다. 상등액을 0.2 µm syringe filter (Whatman; Maidstone, UK)로 여과하고, acetonitrile로 희석하여 분석하였다. LC-MS/MS는 EVOQ LC-TQ (Bruker; Massachusetts, USA) 기기를 이용하였으며, column은 agilent eclipse plus C18 RRHD (2.1 × 100 mm, 1.8 µm, Agilent; California, USA)를 사용하였다. 이동상은 0.1% formic acid가 포함된 3차 증류수와 acetonitrile를 사용하였고, 기기분석조건은 Table 2와 3에 제시하였다. 농약의 잔류량은 matrix matched 검량선을 이용하여 계산하였다. 대사체

**Table 2. LC-MS/MS operating conditions for analyzing the pesticides**

Instrument	Bruker EVOQ LC-TQ (Massachusetts, USA)		
Column	Agilent Eclipse plus C18 RRHD (2.1 × 100 mm, 1.8 µm)		
Column temperature	40°C		
Injection volume	2 µL		
Mobile phase A	0.1% formic acid in water		
Mobile phase B	0.1% formic acid in acetonitrile		
Gradient conditions	Time (min)	A gradient (%)	B gradient (%)
	0.0	95	5
	1.0	95	5
	3.0	50	50
	8.5	0	100
	9.5	0	100
	12.6	95	5
Flow rate	300 µL/min		
MS-ESI	Ionization mode	ESI Positive	ESI Negative
		Acetamidrid Emamectin benzoate	Afidopyropen M440I007
	Ion spray voltage	4,000 V	
	Nebulizer gas flow	50	
	Cone temperature	220°C	

**Table 3. MRM conditions of the pesticides for analyzing with LC-MS/MS**

Pesticides	Precursor ion (m/z)	Quantitation ion (m/z)	CE <sup>a)</sup> (V)	Qualitative ion (m/z)	CE (V)
Acetamiprid	222.9	126.0	25	99.0	41
Afidopyropen	594.0	201.9	35	147.9	42
M440I007	1187.2	575.9	22	202.0	50
Emamectin benzoate B1a	886.1	158.0	35	82.2	43
Emamectin benzoate B1b	872.1	158.0	32	82.2	43

<sup>a)</sup> Collision Energy.

를 포함하는 afidopyropen의 총 잔류량은 농촌진흥청 “농약의 잔류분 정의”에 제시된 지침(NAS, 2018)에 따라, M440I007 잔류량에 환산계수 0.5를 곱한 값을 더해 산출하였다. Emamectin benzoate의 총 잔류량은 B1a와 B1b의 피크 면적을 합하여 산출하였다.

**생물학적 반감기 산출**

최종 약제 살포일로부터 경과 일수에 따른 농약잔류량을 first-order kinetics model에 적용하여 잔류감소 회귀식( $C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$ ,  $C_t$ : 잔류량,  $C_0$ : 초기농도,  $k$ : 감소상수,  $t$ : 시간)을 구하고, 산출된  $k$ 값을  $\ln 2/k$  식에 대입하여 생물학적 반감기를 계산하였다[14].

**안전성 평가**

노니에 대한 살충제 3종의 안전성은 일일섭취허용량(Acceptable Daily Intake, ADI) 대비 일일섭취추정량(Estimated Daily Intake, EDI)인 %ADI로 산출하였다[15]. ADI는 체중 kg 당 하루 섭취 한도량으로, 농촌진흥청에서 고시한 값을 사용하였다. EDI 값은 잔류량(mg/kg)과 일일섭취량(g/day)을 곱한 후 우리나라 성인 평균 체중 62.5 kg으로 나누어 산출하였는데, 노니의 일일섭취량은 아직 설정되지 않아 유사작물인 오디의 일일섭취량 0.04 g/day를 기준으로 하였다[KHIDI, 2021].

$$\%ADI = EDI / ADI \times 100 (\%)$$

**결과 및 고찰**

**시험농약의 분석법 검증**

Acetamiprid, afidopyropen, M440I007 및 emamectin benzoate의 MDA를 matrix matched 표준용액을 기준으로 확인한 결과, 모두 0.01 ng로 측정되었으며, MLOQ는 모든 성분에서 0.01 mg/kg으로 산출되었다. Matrix matched 표준용액의 크로마토그램상 피크 면적을 기준으로 작성된 표준검량선의 직선성은 모든 성분에서 0.99 이상으로 매우 양호하였으며, 직선식과 결정계수는 Table 4에 제시하였다. 최종 농도가 0.01 및 0.1 mg/kg이 되도록 수행한 회수율시험은 acetamiprid에서 84.9% 및 93.7%, afidopyropen에서 73.2% 및 89.3%, M440I007에서 82.0% 및 89.6%, emamectin benzoate에서 96.1% 및 99.1%의 평균회수율을 나타냈으며, 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)는 전체적으로 0.9~8.2%로 산출되었다(Table 5). 이는 적정 회수율 범위 70~120% 및 상대표준편차 10% 이내에 해당하는 결과로, 잔류농약 분석법 기준(MFDS, 2017)을 충족하며, 동시에 본 연구에서 사용한

**Table 4. Calibration curve of method validation from the pesticides in Noni**

Pesticides	Linear equation	R <sup>2</sup>
Acetamiprid	$y = 2,151,793.8649x + 1,080.6437$	R <sup>2</sup> = 0.9998
Afidopyropen	$y = 674,798.9701x + 617.7327$	R <sup>2</sup> = 0.9976
M440I007	$y = 572,462.4982x - 597.5103$	R <sup>2</sup> = 0.9999
Emamectin benzoate	$y = 3,298,695.9552x + 1,352.0445$	R <sup>2</sup> = 0.9998

**Table 5. Recovery rate of the analytical method**

Pesticides	Fortification level (mg/kg)	Recovery (%)		LOQ <sup>c)</sup> (mg/kg)
		Mean ± SD <sup>a)</sup>	RSD <sup>b)</sup> (%)	
Acetamiprid	0.01	84.9 ± 3.3	3.9	0.1
Afidopyropen		73.2 ± 3.8	6.3	0.1
M400I007		82.0 ± 5.5	8.2	0.1
Emamectin benzoate		96.1 ± 2.2	2.3	0.1
Acetamiprid	0.1	93.7 ± 4.3	4.6	0.1
Afidopyropen		89.3 ± 0.7	0.9	0.1
M400I007		89.6 ± 4.1	5.7	0.1
Emamectin benzoate		99.1 ± 4.1	4.1	0.1

<sup>a)</sup> Standard Deviation, <sup>b)</sup> Relative Standard Deviation, <sup>c)</sup> Limit of Quantitation.

시험약제의 잔류농도를 분석하기에 적절한 것으로 판단된다.

**시험농약의 저장안정성**

저장안정성 시험은 채취 당일로부터 46~75일간 저장 후 분석을 실시하였다. Acetamiprid는 46일간 보관 후 86.4%, afidopyropen 및 대사체 M440I007는 52일간 보관 후 85.1% 및 84.4%, emamectin benzoate는 75일간 보관 후 88.4%의 평균회수율을 나타냈으며, 전체적인 RSD는 1-6% 이내였다(Table 6). 이러한 결과는 시험성분이 저장기간 동안 분해되지 않고 안정적으로 유지되었음을 나타내어 저장안정성이 양호하다고 판단된다.

**노니 생육단계 중 잔류량 변화**

노니 생산단계 중 acetamiprid, afidopyropen, emamectin benzoate를 안전사용기준에 맞춰 7일 간격으로 2회 살포한 후, 수확 일자별 잔류량 변화를 분석하였다(Table 7). Acetamiprid의 경우, 살포 당일 평균잔류량은 0.15 mg/kg이었으며, 7일, 14일 및 21일 경과 후에는 각각 0.12 mg/kg, 0.10 mg/kg 및 0.09 mg/kg으로, 초기 잔류량 대비 40% 감소한 결과를 보였다. Afidopyropen의 경우, 살포 당일 평균잔류량은 0.07 mg/kg이었으며, 7일, 14일 및 21일 경과 후에는 각각 0.07 mg/kg, 0.06 mg/kg 및 0.05 mg/kg으로, 초기 잔류량 대비 29% 감소하였고, 대사체인 M440I007은 모두 검출한계 미만이었다. 이전 보고에 따르면, 양배추, 고추 및 목화에 afidopyropen을 처리했을 때 afidopyropen의 잔류량이 10일 이내에 90%가 감소되었음에도 불구하고, 대사체인 M440I007는 검출되지 않았다[16,17]. 이러한 결과들을 종합하여 볼 때, 작물에서 afidopyropen의 대사체인 M440I007의 분해 속도가 매우 빠른 것으로 판단되며, 이로 인해 노니에서도 대사체가 검출되지 않은 것으로 사료된다. Emamectin benzoate의 경우, 살포 당일 평균잔류량은 0.03 mg/kg이었으며, 7일 및 14일 경과 후에는 각각 0.01 mg/kg으로 동일하였고, 21일 경과 후에는 MLOQ 이하(<0.01 mg/kg)로 감소하였다. 노니에서 시험 농약의 평균잔류량은 약제마다 차이를 보였으나, 최종 약제살포 후 시간이 경과함에 따라 잔류량이 감소하는 경향을 나타냈다. 특히, acetamiprid는 나머지 두 농약에 비해 상대적으로 높은 잔류량을 보였다. 이러한 차이는 각 약제에 포함된 시험 성분의 함량 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 농약의 잔류량은 작물의 형태,

**Table 6. Storage stability of the pesticides in Noni**

Pesticides	Fortification level (mg/kg)	Storage period (days)	Recovery (%)	
			Mean ± SD <sup>a)</sup>	RSD <sup>b)</sup> (%)
Acetamiprid	0.1	46	86.4 ± 0.9	1.1
Afidopyropen		52	85.1 ± 0.9	1.3
M400I007		52	84.4 ± 3.6	5.2
Emamectin benzoate		75	88.4 ± 4.8	5.4

<sup>a)</sup> Standard Deviation, <sup>b)</sup> Relative Standard Deviation.

**Table 7. Residual characteristics of the pesticides in Noni**

Pesticides	Days after final application	Residual amounts (mg/kg)			Mean ± SD <sup>a)</sup>
		1	2	3	
Acetamiprid	0	0.16	0.15	0.14	0.15 ± 0.01
	7	0.12	0.12	0.14	0.12 ± 0.01
	14	0.09	0.1	0.1	0.10 ± 0.01
	21	0.08	0.09	0.09	0.09 ± 0.01
Afidopyropen	0	0.07	0.07	0.07	0.07 ± 0.00
	7	0.07	0.07	0.07	0.07 ± 0.00
	14	0.05	0.06	0.06	0.06 ± 0.01
	21	0.05	0.04	0.04	0.04 ± 0.00
M400I007	0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	14	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	21	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Total Afidopyropen	0	0.07	0.07	0.07	0.07 ± 0.00
	7	0.07	0.07	0.07	0.07 ± 0.00
	14	0.05	0.07	0.06	0.06 ± 0.01
	21	0.05	0.05	0.05	0.05 ± 0.00
Emamectin benzoate	0	0.03	0.03	0.03	0.03 ± 0.00
	7	0.01	0.01	0.01	0.01 ± 0.00
	14	0.01	0.01	0.01	0.01 ± 0.00
	21	<0.01	<0.01	<0.01	0.00 ± 0.00

<sup>a)</sup> Standard Deviation.

재배 방법, 기상 조건 등에 의해 영향을 받으며, 특히 작물의 비대성장 과정에서 나타나는 희석효과가 잔류량 감소에 중요한 역할을 한다[18-20]. 시설재배된 노니는 기상조건의 영향을 적게 받기 때문에 강우나 바람에 의한 농약의 소실은 적을 것으로 예상된다. 반면, 노니는 초기 성장 단계에서 빠르게 자라다가 성숙기로 접어들며 성장 속도가 둔화되는 특징이 있다[21]. 이러한 특성은 오이, 브로콜리, 들깨잎 등과 같이 급격히 성장하는 작물에서 나타나는 희석효과와는 다르다고 판단되며[15,22,23], 노니의 성장 특성으로 인해 희석효과에 의한 잔류량 감소는 급격하지 않은 것으로 판단된다.

**생물학적 반감기**

노니에서 acetamiprid, afidopyropen, emamectin benzoate의 잔류소실특성을 확인하기 위해 평균잔류량을 기준으로 잔류감소 회귀식을 산출하였고(Fig. 2), 이를 통해 각각의 농약에 대한 반감기를 계산하였다. Acetamiprid는  $y = 0.1451 \cdot e^{-0.0242x}$  ( $R^2=0.9600$ ), afidopyropen은  $y = 0.0772 \cdot e^{-0.0200x}$  ( $R^2=0.8597$ ), emamectin benzoate는  $y = 0.0249 \cdot e^{-0.0786x}$  ( $R^2=0.9227$ ) 회귀식을 얻었으며, 이를 통해 산출된 반감기는 각각 28.6일, 34.6일, 8.8일이었다. 이 값들은 이전 연구에서 보고된 반감기와 비교할 때 상대적으로 긴 반감기를 나타낸다. 예를 들어, acetamiprid는 시설재배 근대 및 노지재배 토마토에서 각각 12일 및 1.04일[24,25]. afidopyropen은 노지재배한 밀과 오이에서 각각 1.45일, 1.1일[26,27], emamectin benzoate는 노지재배한 양배추, 찻잎 및 쌀에서 각각 1.1일, 1.3일, 2.0~8.7일로 보고되었다[28-30]. 농산물에서 농약의 생물학적 반감기는 살포량, 살포시기, 재배 형태, 작물 표면적, 성장 단계, 수확시기 등 다양한 요인에 따라 달라진다[20]. 일반적으로 초기 잔류량이 높으면 반감기가 짧게 나타나는 경향이 있지만, 본 연구의 초기 잔류량은 비교적 높은 수준이 아니었으며[24,31,32], 앞서 언급한 바와 같이 노니는 성장 초기에 비해 후반에 성장 속도가 둔화되므로[21], 농약이 희석되는 효과가 줄어들어 상대적으로 반감기가 길어졌을 것으로 추정된다. 또한, 시설재배 환경에서는 빛 차단 효과로 농약의 광분해가 억제될 수 있을 뿐만 아니라, 노니의 넓은 잎이 과실에 직접적으로 빛이 닿지 않게 하여 농약의 광분해를 더욱 억제시켜 반감기가 길어졌을 것으로 판단된다[33].

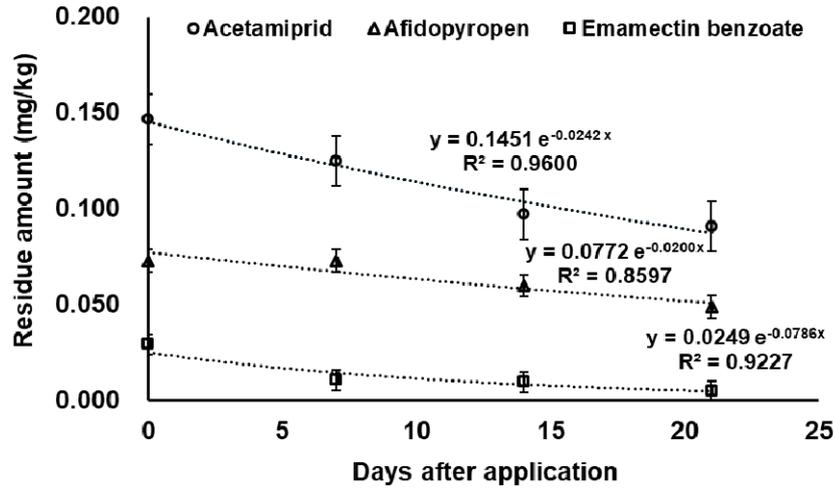


Fig. 2. Dissipation curves of acetamiprid, afidopyropen, and emamectin benzoate in Noni after the final application.

**안전성 평가**

농촌진흥청에서 고시한 acetamiprid, afidopyropen, emamectin benzoate의 일일섭취허용량은 각각 0.071 mg/kg·b.w./day, 0.08 mg/kg·b.w./day, 0.0025 mg/kg·b.w./day로 설정되어 있다. 일일섭취추정량은 평균잔류량과 유사작물인 오디의 일일섭취량(0.04 g/day)을 곱한 후, 우리나라 성인 평균 체중(62.5 kg)으로 나누어 계산하였다. 일일섭취허용량과 일일섭취추정량을 이용하여 각 농약의 %ADI 값을 산출한 결과, acetamiprid에서 0.00008~0.00013%, afidopyropen에서 0.00004~0.00006%, emamectin benzoate에서 0.00008~0.00075% 수준으로 나타났다(Table 8). FAO/WHO에서는 %ADI 값이 10% 미만일 경우, 잔류농약에 따른 위험성이 크게 우려되지 않는다고 보고하고 있기 때문에[34], 본 연구에서 확인된 노니에 대한 세 가지 농약의 잔류수준은 안전 범위 내에 해당한다고 볼 수 있다. 특히, 계산된 %ADI 값이 모두 1% 미만으로, 노니 재배 작물의 안전성이 충분히 확보된 것으로 판단된다. 또한, 노니는 일반적으로 세척 및 가공을 거쳐 섭취되기 때문에, 이 과정에서 농약의 잔류 농도가 크게 감소할 수 있다[35]. 따라서 실제 섭취 단계에서는 더욱 안전할 것으로 예상된다.

본 연구에서 확인된 acetamiprid, afidopyropen, emamectin benzoate의 잔류특성 및 반감기 결과는 향후 안전사용기준과 잔류 허용기준을 설정하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

**Table 8. Risk assessment of the pesticides in Noni**

Pesticides	Days after final application	ADI <sup>a)</sup>	EDI (mg/day·bw/day) <sup>b)</sup>	%ADI
Acetamiprid	0	0.071	9.4×10 <sup>-8</sup>	0.00013
	7		7.7×10 <sup>-8</sup>	0.00011
	14		6.4×10 <sup>-8</sup>	0.00009
	21		5.8×10 <sup>-8</sup>	0.00008
Afidopyropen	0	0.08	4.5×10 <sup>-8</sup>	0.00006
	7		4.5×10 <sup>-8</sup>	0.00006
	14		3.8×10 <sup>-8</sup>	0.00005
Emamectin benzoate	0	0.0025	1.9×10 <sup>-8</sup>	0.00075
	7		6.4×10 <sup>-9</sup>	0.00026
	14		6.4×10 <sup>-9</sup>	0.00026
	21		1.9×10 <sup>-9</sup>	0.00008

<sup>a)</sup> Acceptable Daily Intake, <sup>b)</sup> Estimated Daily Intake.

**Data Availability:** All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

**Author Contributions:** K.-H. B.: Conceptualization, Supervision. S.H. H., S. K., J. K., and K.W. J.: Field trials. S.H. H. and S. K.: Instrument analysis, Writing-original draft. J. K. and C.S. K.: Writing-review and editing. K.W. J.: Methodology, Data curation. All authors reviewed the results and comment on the manuscript.

**Notes:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgments:** This study was supported by Crop Residue Analysis for Pesticide Registration Authority (RS-2023-00215133) of the Rural Development Administration (RDA) funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

**Additional Information:**

**Supplementary information** The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.13>

**Correspondence and requests for materials** should be addressed to Kyung-Hwan Boo.

**Peer review information** Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Reprints and permissions information** is available at <http://www.korseaj.org>

## References

1. Chan-Blanco Y, Vaillant F, Perez AM, Reynes M, Brillouet JM, Brat P (2006) The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 645-654. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.10.001>.
2. Potterat, O, Hamburger M (2007) *Morinda citrifolia* (Noni) fruit-phytochemistry, pharmacology, safety. *Planta Medica*, 73(03), 191-199. <https://doi.org/10.1055/s-2007-967115>.
3. Wang MY, West BJ, Jensen CJ, Nowicki D, Su C, Palu AK, Anderson G (2002) *Morinda citrifolia* (Noni): A literature review and recent advances in Noni research. *Acta Pharmacologica Sinica*, 23(12), 1127-1141.
4. Yoo JS, Hwang JT, Yoo ES (2023) Study on herbal extract on the Noni [*Morinda citrifolia*]. *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 19(2).
5. Woo N, Ko SH, Park YJ (2013) Monitoring of pesticide residues in vegetables collected in Chungbuk, Korea. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 26(4), 865-878. <https://doi.org/10.9799/ksfan.2013.26.4.865>.
6. Ahn JW, Jeon, YH. Hwang JI, Kim JM, Seok DR, Lee EH, Lee SE, Chung DH, Kim JE (2013) Monitoring of pesticide residues and risk assessment for fruits in market. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(2), 142-147. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.2.142>.
7. Nam HS, Choi YH, Yoon SH, Hong HM, Park YC, Lee JH, Kang YS, Lee JO, Hong YP, et al. (2006) Monitoring of residual pesticides in commercial agricultural products. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 38(3), 317-324.
8. 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. *Journal of Environmental Agriculture*, 30(2), 166-172. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2011.30.2.166>.
9. Nam MJ, Chung DY, Shim W. B, Chung DH (2011) Hazard analysis for the application of good agricultural practices (GAP) on paprika during cultivation. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 26(3), 273-282.
10. Kharel M, Raut N, Dahal BM (2023) An assessment of good agriculture practices for safe and sustainable vegetable production in mid-hills of Nepal. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100518. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100518>.
11. Kimura-Kuroda J, Komuta Y, Kuroda Y, Hayashi M, Kawano H (2012) Nicotine-like effects of the neonicotinoid insecticides acetamiprid and imidacloprid on cerebellar neurons from neonatal rats. *PLoS One*, 7(2), e32432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032432>.
12. Leichter CA, Thompson N, Johnson BR, Scott JG (2013) The high potency of ME-5343 to aphids is due to a unique mechanism of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107(2), 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.06.009>.
13. Grant A. N. (2002) Medicines for sea lice. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 58(6), 521-527. <https://doi.org/10.1002/ps.481>.
14. Chang HS, Bae HR, Son YB, Song IH, Lee CH, Choi NG, Cho KK, Lee YG (2011) Developing a web-based system for computing

- pre-harvest residue limits (PHRLs). *Agribusiness and Information Management*, 3(1), 11-22.
15. Keng WL, Jou YK, Min PL (2025) Assessment of preservative and pesticide exposure in Taiwanese vegetarian populations through duplication diet analysis. *Exposure and Health*, 2025, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12403-024-00688-8>.
  16. Liu X, Ban N, Fu Z, Gao X, Liu TX, Liang P (2023) Persistent toxicity and dissipation dynamics of afidopyropen against the green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) in cabbage and chili. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252, 114584. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114584>.
  17. Hou X, Qiao T, Zhao Y, Liu D (2019) Dissipation and safety evaluation of afidopyropen and its metabolite residues in supervised cotton field. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 227-233. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.089>.
  18. Farha W, AM AEA, Rahman MD, Shin HC, Shim JH (2016) An overview on common aspects influencing the dissipation pattern of pesticides: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5709-1>.
  19. Jo YJ, Choi JY, Ham HJ, Hur JH (2022) Study on residual properties and risk assessment of  $\alpha$ -cypermethrin and deltamethrin in the chives (*Allium tuberosum* R.) and spring onion (*Allium wakegi* Araki). *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 41(1), 55-64. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2022.41.1.08>.
  20. Dana S, Tereza H, Michal S, Jikta S, Jana O, Leos U, Vladimír K, Jana H (2024) Three-year monitoring study of pesticide dissipation in pears, *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024, 126, 105863. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105863>.
  21. Lin SY, Liao YY, Roan SF, Chen IZ, Chen PA (2014) Growth of noni fruits (*Morinda citrifolia* L.) and accumulation of phenolic compounds during fruit development. *Scientia Horticulturae*, 178,168-174. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.013>.
  22. Yang SH, Lee JL, Choi H (2020) Residue dissipation patterns of indoxacarb and pymetrozine in broccoli under greenhouse conditions. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 39(1), 75-82. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2020.39.1.10>.
  23. Park JU, Bae BJ, Woo SW, Jeong HJ, Jang YJ, Park JW, Chai S, Lee KS, Keum YS, et al. (2022) Residual characteristics and risk assessments of afidopyropen, pydiflumetofen and mefentrifluconazole in perilla leaves. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 26(1), 65-73. <https://doi.org/10.7585/kjps.2022.26.1.65>.
  24. Chang HR, You JS, Do JA (2018) Residue dissipation patterns of neonicotinoid acetamiprid and thiamethoxam in Swiss chard for the harvest periods under greenhouse Conditions. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 37(2), 97-103. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.2.17>.
  25. El Din AS, Azab MM, Abd El-Zaher TR, Zidan ZHA, Morsy AR (2012) Persistence of acetamiprid and dinotefuran in cucumber and tomato fruits. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences*, 4(2), 103-107. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejts.2012.4.2.1101>.
  26. Chen Y, Guo M, Liu X, Xu J, Dong F, Wu X, Li B, Zheng Y (2018) Determination and dissipation of afidopyropen and its metabolite in wheat and soil using QuEChERS-UHPLC-MS/MS. *Journal of Separation Science*, 41(7), 1674-1681. <https://doi.org/10.1002/jssc.201700773>.
  27. Xie J, Zheng Y, Liu X, Dong F, Xu J, Wu X, Ji M, Zheng Y (2019) Human health safety studies of a new insecticide: Dissipation kinetics and dietary risk assessment of afidopyropen and one of its metabolites in cucumber and nectarine. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 103, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.01.025>.
  28. Liu S, Zhang F, Wang L, Pan C (2012) Dissipation and residues of emamectin benzoate in cabbage. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89, 654-657. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0729-1>.
  29. Zhou L, Luo F, Zhang X, Jiang Y, Lou Z, Chen Z (2016) Dissipation, transfer and safety evaluation of emamectin benzoate in tea. *Food Chemistry*, 202, 199-204. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.069>.
  30. Li M, Chen W, Li M, Han L (2011) Dissipation and residues of emamectin benzoate study in paddy under field conditions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 699-702. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0404-y>.
  31. Zhi L, Xi Z, Yinlong L, Min Z, Xuto Y, Shengnan Z, Jacob DW, Qing-HE Z, Longwa Z (2024) Distribution, residue dynamics, and insecticidal efficacy of trunk-injected emamectin benzoate in pecan trees. *Forests*, 2024, 15(3), 535. <https://doi.org/10.3390/f15030535>.
  32. Guo M, Sun H, Wang X, Yu J, Luo F, Zhang X, Yang M, Li Z, Chen Z et al. (2023) Residue behavior and risk assessment of afidopyropen and its metabolite M440I007 in tea. *Food Chemistry*, 404, 134413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134413>.
  33. Jung DI, Farha W, Abd El-Aty A.M., Kim SW, Rahman M.M., Choi JH, Kabir M.H., Im SJ, Lee YJ et al. (2016) Effects of light shading and climatic conditions on the metabolic behavior of flonicamid in red bell pepper. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5142-5>.
  34. Lee, MG, Lee SR (1997) Reduction factors and risk assessment of organophosphorus pesticides in Korean foods. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 29, 240-248.
  35. Kwak SY, Lee SH, Jeong HR, Nam AJ, Sarker A, Kim HY, Lim CU, Cho HJ, Kim JE (2019) Variation of pesticide residues in strawberries by washing and boiling processes. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(4), 281-290. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2019.38.4.38>.