



ORIGINAL ARTICLES

미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순 중 Chlorfenapyr의 잔류특성 및 식이섭취 노출평가

강혜림^{1,2*} · 최연우¹ · 유형규¹ · 경기성² · 김 균¹¹주피엔케이에이치에스이, ²충북대학교 농업생명과학대학 환경생명화학과

Residual Characteristics and Dietary Exposure Assessment of Chlorfenapyr in Water Dropwort, Rosemary, Korean Mint, and *Kalopanax pictus* shoots

Hye-Rim Kang^{1,2*}, Yeon-Woo Choi¹, Hyung-Gu You¹, Kee-sung Kyung², and Kyun Kim¹¹Residue Research Team, P&K HSE, Daejeon 34027, Korea²Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

(Received on September 22, 2025. Revised on October 16, 2025. Accepted on October 17, 2025)

Abstract This study was conducted to investigate residual characteristics and dietary exposure assessment of chlorfenapyr in vegetable crops, including water dropwort, rosemary, korean mint, and *Kalopanax pictus* shoots. The diluted solution of suspension concentrate-formulated chlorfenapyr (2,000 times) was applied to the test crops. Samples of water dropwort and rosemary were collected at 0, 3, 5, 7 and 14 days after final application, while samples of korean mint and *Kalopanax pictus* shoots were collected 0, 7, 14 and 21 days after final application. The mean residual levels of chlorfenapyr ranged from 0.08 to 1.93 mg/kg in water dropwort, 0.71 to 5.93 mg/kg in rosemary, 0.08 to 22.54 mg/kg in korean mint, and 0.01 to 1.25 mg/kg in *Kalopanax pictus* shoots. The biological half-lives of chlorfenapyr in all tested crops were calculated in the range of 1.2 to 14.7 days. The estimated daily intake ratio of chlorfenapyr relative to the acceptable daily intake was less than 0.2%, indicating that the sum of the pesticide residues observed in the four tested crops was a toxicologically safe level. These findings provide fundamental data for establishing the safe use guidelines of chlorfenapyr for the crops tested in the current study.

Key words: Chlorfenapyr, Korean mint, *Kalopanax pictus* shoots, Rosemary, Water dropwort

서 론

Chlorfenapyr는 arylpyrrole계 살충제로서 수소이온 구배 형성을 저해하여 살충효과를 나타내며(RDA, 2025), 과수나 채소에 발생하는 나방류 및 총채벌레류 등의 방제에 사용하는 약제이다(KCPA, 2022). 2025년 식품안전관리지침에 따르면 2021년 11월부터 2024년 10월간 조사된 유통단계 농산물 부적합 농약 현황 및 2020년 11월부터 2024년 10월간 조사된

생산단계 농산물 부적합농약 현황에 모두 chlorfenapyr의 검출이 확인되었다(MFDS, 2025). 광주지역에서의 잔류농약 검출빈도가 높았던 상위 농약성분으로 2020년 chlorfenapyr 290건, fluopyram 284건, thiamethoxam 222건 순이었고, 2021년 fluopyram 256건, chlorfenapyr 238건, fludioxonil 227건으로 분석되었다. 2022년의 경우 dinotefuran 517건, chlorfenapyr 310건, fluxametamide 279건으로 확인되었으며(Lim et al., 2024), 3년에 걸쳐 잔류농약 검출빈도가 높았던 상위 농약성분에 chlorfenapyr가 포함되어 있다.

국립농산물품질관리원에서 공개한 농산물 잔류농약 분석 결과에 의하면 2025년 상반기 10,969 품목 중 부적합은 총

*Corresponding author
E-mail: hrkang@pnkhse.co.kr

194건으로 그중 채소류는 178건(91.8%)이었으며, 상위 품목에는 시금치, 상추, 부추, 대파, 쪽파 순으로 확인되었다 (NAQS, 2025). 2020년부터 2024년 5년간 광주지역 유통 농산물 중 잔류농약 기준치를 초과한 부적합 농산물은 주로 엽채류나 엽경채류였으며, 다른 지역 유통 농산물의 잔류농약 실태를 분석한 여러 선행연구에서도 엽채류와 엽경채류에서 부적합 발생률이 높은 것으로 보고하고 있다(Song et al., 2021; Park et al., 2022, Ryu et al., 2025).

국민건강영양통계(KHIDI, 2023)에 따르면 식품군별 1일 섭취량을 조사한 결과, 식물성과 동물성 식품이 각각 78.5와 21.5%의 비율로 식물성식품의 섭취 비율이 월등히 높았고, 식물성식품 섭취량은 채소류, 곡류, 과일류 순으로 각각 18.5, 17.7 및 9.1%로 조사되었다. 채소나 과일은 별도의 가공 과정 없이 세척하여 섭취하기 때문에 가공식품에 비하여 농약에 노출될 가능성이 높은 것은 사실이다. 그리고 채소류 중 소면적 재배 작물의 경우 농약의 수요가 많지 않아 등록된 농약의 품목수가 제한적이기 때문에 허가되지 않은 농약을 사용하는 경우가 빈번히 발생한다(Ghidiu et al., 1994, Park et al., 2018).

따라서 본 연구에서는 채소류인 미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순을 대상으로 부적합 빈도가 높았던 농약인 chlorfenapyr 10% 액상수화제를 살포한 후 각 채소류의 수확일에 맞추어 시료를 채취하여 chlorfenapyr의 잔류특성을 구명하고, 생물학적 반감기 산출 및 식이섭취를 통한 노출 평가를 실시하여 위해여부를 확인하였다. 그리고 현재 설정되어 있는 안전사용기준 및 잔류허용기준의 적정성을 확인 하고, 설정되어 있지 않은 경우에는 설정하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

시험약제 및 시약

미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순에 처리한 시험약제는 chlorfenapyr 10% 액상수화제(섹큐어, 팜한농)를 사용하였다. 표준품은 AccuStandard (USA) 1,000 mg/L standard solution

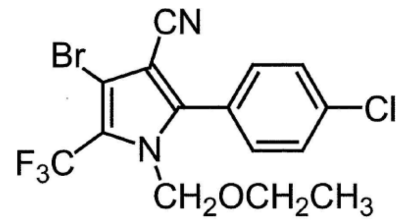


Fig. 1. Chemical structures of chlorfenapyr.

및 Sigma-aldrich (USA) 제품의 순도 99.5%를 사용하였으며, 약제의 화학구조는 Fig 1과 같다. 분석을 위해 사용된 유기용매 acetone, acetonitrile, dichloromethane, *n*-hexane은 HPLC grade의 Burdick&Jackson (USA) 제품을 사용하였고, 시약은 anhydrous sodium sulfate (GR급)는 Junsei Chemical (Japan) 및 sodium chloride (GR급)는 SAMCHUN Chemical (Korea) 제품을 사용하였다. 시료 정제에 사용한 Solid phase extraction (SPE)은 silica SPE cartridge (1,000 mg, 6 mL, Phenomenex (USA))와 NH₂ SPE cartridge (1,000 mg, 6 mL, Phenomenex (USA))를 사용하였다.

포장시험

미나리는 2022년 8월부터 충청북도 청주시 소재, 로즈마리 및 배초향은 각각 2023년 5월 및 6월부터 충청북도 괴산군 소재에서 시설포장을 임차하여 수행하였으며, 음나무순은 2023년 4월부터 충청북도 괴산군 소재 노지포장을 임차하여 수행하였다.

포장구획으로 약제 처리구는 각 3반복 및 무처리구 1반복으로 구성하였으며, 약제처리는 수확전 처리일을 다르게 설정하여 약제처리구를 설정하였다. 약제처리는 시험농약을 2,000배 희석하여 펌프식 분무기(AE-40N, 아성정공, 대한민국)를 이용하여 약액이 흐를 때까지 충분히 묻도록 골고루 살포하였다(Table 1). 시료채취는 처리구별로 일정한 크기의 시료를 채취하였으며, 채취한 시료는 바로 실험실로 운반하여, 변질없이 제거한 시료전체를 분석 전까지 -20°C 이하에서 냉동보관하였다.

Table 1. Summary of the application information of chlorfenapyr in test crops

Test crop	Formulation	A.I. ^{a)} (%)	Dilution rate (times)	Application times	Pre-harvest application intervals
Water dropwort					30-21 21-14
Rosemary	Suspension concentrates	10	2,000	2	14-7 7-0
Korean mint <i>Kalopanax pictus</i> shoots	Suspension concentrates	10	2,000	2	7-0

^{a)} Active ingredient

Table 2. Analytical condition of GC-MS/MS

Instrument	Shimadzu, GC/MS-8040 (Japan)		
Column	DB-5MS (0.25 mm × 30 m × 0.25 μm)		
Temperature	Injector port;	280°C	
	Column oven;	150°C(1 min.)→20°C/min.→300°C(5 min.)	
Gas flow rate	Carrier He; 1.16 mL/min.		
Injection volume	1 uL		
MS Zones			
Ion source	EI		
Ion source Temp.	250°C		
Interface Temp.	280°C		
Acq. Mode	MRM		
MRM Condition	Precursor ion(m/z)	Product ion(m/z)	CE(V)
	247	227	15.0
		200	25.0

검량선 작성 및 회수율시험

미나리 시험에 사용한 chlorfenapyr는 표준용액 1,000 mg/L 중 1 mL을 9 mL의 acetonitrile에 녹여 100 mg/L 농도의 저장표준용액을 만들었으며, 로즈마리, 배초향 및 음나무순 시험에 사용한 chlorfenapyr는 표준품(99.5%)을 일정량 취하여, acetone에 녹여 100 mg/L 농도의 저장표준용액을 만들었다. 이 저장표준용액에서 일정량을 취한 후 acetone과 acetonitrile으로 희석하여 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.5 및 5.0 mg/L의 작업표준용액을 조제하였다. 무처리 시료 전처리용액(1 mL)을 완전 농축 후 작업표준용액(1 mL)으로 재용해하여, matrix matched working standard solution을 제조하였다. 이후 시료분석 전후로 gas chromatography-mass spectrometer (GC/MSMS, GC/MS-8040, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) 및 gas chromatography-electron capture detector (GC-ECD, 7890B, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)에 2회 주입하여, chromatogram상의 peak 면적을 기준으로 표준검량선을 작성하였다.

회수율 시험은 정량한계(Limit of Quantification, LOQ) 수준과 LOQ의 10배의 수준으로 무처리 시료 50 g에 0.5 및 5.0 mg/L chlorfenapyr 표준용액을 각각 1 mL 처리한 후 상기한 잔류농약 분석과정과 동일한 방법으로 3반복 분석하여 산출하였다.

잔류시료 분석

마쇄한 미나리 시료 50 g에 acetone 100 mL를 가하여 180 rpm으로 30분간 진탕 추출한 후 흡인여과하였다. 여과 후 dichloromethane 100 mL과 50 mL로 2회 분배추출한 후 anhydrous sodium sulfate에 통과시킨 뒤 감압농축하였다.

농축액은 acetonitrile 5 mL로 재용해한 후 0.22 μm syringe filter(PTFE)로 여과하여 GC-MS/MS로 분석하였다(Table 2).

마쇄한 로즈마리 및 배초향 시료 50 g에 acetone 100 mL를 가하여 180 rpm으로 30분간 진탕 추출한 후 흡인여과하였다. 여과 후 n-hexane 100 mL과 50 mL로 2회 분배추출한 후 anhydrous sodium sulfate에 통과시킨 뒤 감압농축하고 n-hexane 5mL로 재용해하였다. n-Hexane 5 mL로 활성화시킨 Silica SPE cartridge (1,000 mg, 6 cc)에 시료 5 mL 중 1 mL를 loading 한 후 n-hexane 10 mL과 n-hexane/acetone (95/5, v/v) 5 mL로 세정하여 버리고, n-hexane/acetone(60/40, v/v) 3mL로 용출시킨 용출액을 질소농축기를 이용하여 농축한 후 각 시료의 건고물은 acetone 1 mL로 재용해하여 GC-ECD로 분석하였다(Table 3).

마쇄한 음나무순 시료 50 g에 acetone 100 mL를 가하여 180 rpm으로 30분간 진탕 추출한 후 흡인여과하였다. 여과 후 n-hexane 100 mL과 50 mL로 2회 분배추출한 후 anhydrous sodium sulfate에 통과시킨 뒤 감압농축하고 n-hexane 5 mL로 재용해하였다. n-Hexane 5 mL로 활성화시킨 Silica SPE cartridge (1,000 mg, 6 cc)에 시료 5 mL 중 1 mL를 loading 한 후 n-hexane 10 mL과 n-hexane/acetone (95/5, v/v) 5 mL로 세정하여 버리고, n-hexane/acetone (60/40, v/v) 3mL로 용출시킨 용출액을 질소농축기를 이용하여 농축하였다. 건고물은 n-hexane 1 mL로 용해하여 n-hexane 5 mL로 활성화시킨 NH₂ SPE cartridge (1,000 mg, 6 cc)에 loading한 후 n-hexane 10 mL로 세정하여 버리고, n-hexane/acetone(80/20, v/v) 4 mL로 용출시켜 질소농축기로 농축한 후 건고물을 acetone 1 mL로 재용해하여 GC-ECD로 분석하였다(Table 3).

Table 3. Analytical condition of GC-ECD

Instrument	Agilent 7890B(USA)	
Detector	Electron Capture Detector (μ -ECD)	
Column	HP-5 (0.32 mm \times 30 m \times 0.25 μ m)	
	Injector port;	280°C
Temperature	Column oven;	160°C (1 min.) \rightarrow 10°C/min. \rightarrow 280°C (1 min.) \rightarrow 20°C/min. \rightarrow 300°C
	Detector;	280°C
Flow rate	1.0 mL/min.	
Split ratio	20:1	
Injection volume	1 μ L	

생물학적 반감기 및 감소 상수

잔류량을 일차 반응속도식($C_t = C_0 \times e^{-kt}$)에 대입하여 감소상수를 산출하였다. 일차 반응속도식에서 C_t 는 특정 경과일 후 잔류량, C_0 는 초기 잔류량, k 는 감소상수, t 는 경과시간을 나타내며 산출된 k 값을 이용하여 생물학적 반감기($t_{1/2}$)를 다음식에 따라 산출하였다: $t_{1/2} = \ln 2/k$ (Lee et al., 2022; Park et al., 2024).

식이섭취 노출평가

시험 작물 중 chlorfenapyr의 일일섭취허용량(Acceptable Daily Intake, ADI) 대비 일일섭취추정량(Estimated Daily Intake, EDI)인 %ADI를 토대로 평가하였다. EDI는 각 처리구에서 시료 중 chlorfenapyr의 최고잔류량과 식품섭취량을 곱한 후 한국인 평균 체중인 60 kg을 고려하여 각 작물의 섭취에 따른 잔류농약 노출평가를 진행하였다. 작물별 일일섭취량은 국민영양통계(KHIDI, 2023)를 이용하였으며, 로즈마리, 배초향은 일일섭취량이 존재하지 않아 허브류에 분류되어 있는 작물 중 고수에 대한 일일섭취량이 존재하여 그 값(0.00001 kg/day)을 적용하였으며, 음나무순도 일일섭

취량이 존재하지 않아 섭취시기 및 형태가 비슷한 두릅(0.00044 kg/day)을 적용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

분석법 확립 및 회수율시험

미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순 중 chlorfenapyr의 표준검량선의 회귀방정식은 모두 결정계수(R^2)가 0.995 이상이었다(Table 4). 정량한계(Limit of Quantification, LOQ)는 모두 0.01 mg/kg 이었으며, 회수율 결과는 회수율 범위

Table 4. Linear equation of calibration curve for the quantification of chlorfenapyr in the test crops

Test crop	Linear equation	R^2
Water dropwort	$y = 121,556.0074x - 84.7782$	0.9989
Rosemary	$y = 52,064.9703x + 1,048.8796$	0.9993
Korean mint	$y = 58,147.6992x - 80.1729$	0.9997
<i>Kalopanax pictus</i> shoots	$y = 50,563.1838x - 856.3447$	0.9994

Table 5. LOQs and recovery rates of the analytical method of chlorfenapyr in the test crops

Test crop	LOQ ^{a)} (mg/kg)	Fortification level (mg/kg)	Mean recovery \pm S.D. ^{b)} (%)	C.V. ^{c)}
Water dropwort	0.01	0.01	100.8 \pm 4.6	4.6
		0.1	88.6 \pm 4.6	5.1
Rosemary	0.01	0.01	102.1 \pm 3.0	2.9
		0.1	102.1 \pm 0.8	0.8
Korean mint	0.01	0.01	113.3 \pm 2.8	2.5
		0.1	105.4 \pm 5.0	4.8
<i>Kalopanax pictus</i> shoots	0.01	0.01	114.6 \pm 1.7	1.4
		0.1	101.1 \pm 4.2	4.2

^{a)} LOQ : Limit of Quantification

^{b)} Mean value of triplicate samples with standard deviation

^{c)} Coefficient of variation

Table 6. Residual amounts of chlorfenapyr in the test crops

Test crop	Days after final application	Concentration (mg/kg)			Mean±SD ^{a)}
		Replicate 1	Replicate 2	Replicate 3	
Water dropwort	30-21	0.12	0.07	0.06	0.08±0.03
	21-14	0.28	0.22	0.27	0.26±0.03
	14-7	0.86	0.81	1.02	0.90±0.11
	7-0	1.94	1.58	2.26	1.93±0.34
Rosemary	30-21	0.73	0.70	0.71	0.71±0.02
	21-14	1.40	1.42	1.46	1.43±0.03
	14-7	2.45	2.50	2.42	2.46±0.04
	7-0	5.43	6.21	6.15	5.93±0.43
Korean mint	14	0.08	0.08	0.07	0.08±0.01
	7	2.99	2.85	3.25	3.03±0.20
	5	5.19	5.24	5.26	5.23±0.04
	3	9.90	9.11	9.58	9.53±0.40
	0	20.86	22.91	23.86	22.54±1.53
<i>Kalopanax pictus</i> shoots	14	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00
	7	0.04	0.04	0.04	0.04±0.00
	3	0.22	0.23	0.22	0.22±0.01
	0	1.26	1.24	1.26	1.25±0.01

^{a)}Standard deviation

70~120%와 변이계수(coefficient of variation, C.V.) 20% 이내로 농약 및 원제의 등록기준(RDA, 2025b)과 SANTE/11312/2021 가이드라인(European Commission, 2024) 기준을 만족하였다(Table 5).

Chlorfenapyr의 잔류특성

미나리 중 chlorfenapyr의 잔류량은 0.06~2.26 mg/kg이었다. 수확 21일전 2회 처리구의 평균 잔류량은 0.08 mg/kg으로 수확전 2회 처리구의 평균 잔류량 1.93 mg/kg보다 96% 감소한 수준이었다. 미나리 중 chlorfenapyr의 MRL은 1.0 mg/kg으로 수확 7일전 2회 처리구에서부터 MRL 이하로 확인하였다. 로즈마리의 잔류량은 0.70~6.21 mg/kg이었고, 수확 21일전 2회 처리구의 평균 잔류량 0.71 mg/kg으로 수확 수확전 2회 처리구 5.93 mg/kg보다 88% 감소한 수준이었다. 로즈마리의 MRL은 설정되어 있지 않으며, 엽경채류 MRL 3.0 mg/kg과 비교해본 결과 로즈마리는 수확 7일전 2회 처리구에서부터 MRL 이하로 확인하였다. 배초향의 잔류량은 0.07~23.86 mg/kg이었고, 약제처리 후 14일차 평균 잔류량 0.08 mg/kg으로 약제처리일 평균 잔류량 22.54 mg/kg보다 99% 이상 감소하였다. 배초향의 MRL도 설정되어 있지 않아, 엽경채류 MRL 3.0 mg/kg과 비교해본 결과 약제처리 후 7일차에 MRL 이하로 확인하였다. 음나무순의 잔류량은 0.01~1.26 mg/kg이었으며, 약제처리 후 21일차 평균 잔류량

0.01 mg/kg으로 약제처리일 평균 잔류량 1.25 mg/kg보다 99% 이상 감소하였다. 음나무순의 MRL도 설정되어 있지 않아, 엽경채류 MRL 3.0 mg/kg과 비교해본 결과 수확전 2회처리구부터 MRL 이하로 확인되었다(Table 6).

본 시험에서는 4개 작물에 동일한 약제 chlorfenapyr 10% 액상수화제를 살포하였으며, 시험시기, 시험작물 그리고 작물의 특성에 따른 재배조건(시설재배, 노지재배)만 다르게 하여 시험을 진행한 결과, 배초향의 초기 잔류량이 23.86 mg/kg으로 4개 작물 중 가장 높았으며, 배초향의 초기 잔류량이 미나리의 초기 잔류량의 약 10.6배, 로즈마리의 약 3.8배 및 음나무순의 약 18.9배 더 높은 잔류량을 확인하였다. 작물 중 농약의 부착량에 영향을 미치는 요인은 농약의 물리화학적 특성, 작물체의 생육특성 및 재배조건 등으로 알려져 있으며(Park et al., 2012), 그중 작물 표면적이 넓은 시료에서 잔류량이 높게 나온 것은 작물의 특성으로 인한 것으로 보고하였다(Park et al., 2018). 시료의 무게는 비슷하나, 평균 초장이 크면 더 많은 표면적에 농약 부착이 용이하며, 잎의 표면이 거칠고 줄기와 함께 시료를 채취하는 작물에서 농약의 부착량이 더 높다고 보고하였다(Kang et al., 2024). 또한 작물체의 표면에 존재하는 용모는 엽면에 살포된 농약이 부착할 수 있는 표면적을 증가시켜 용모가 없는 작물보다 최대 5.4배 많은 농약 잔류물을 부착할 수 있다고 보고하였다(Kim et al., 2012). 이 연구에서 부착량 차이의 주된 요인은

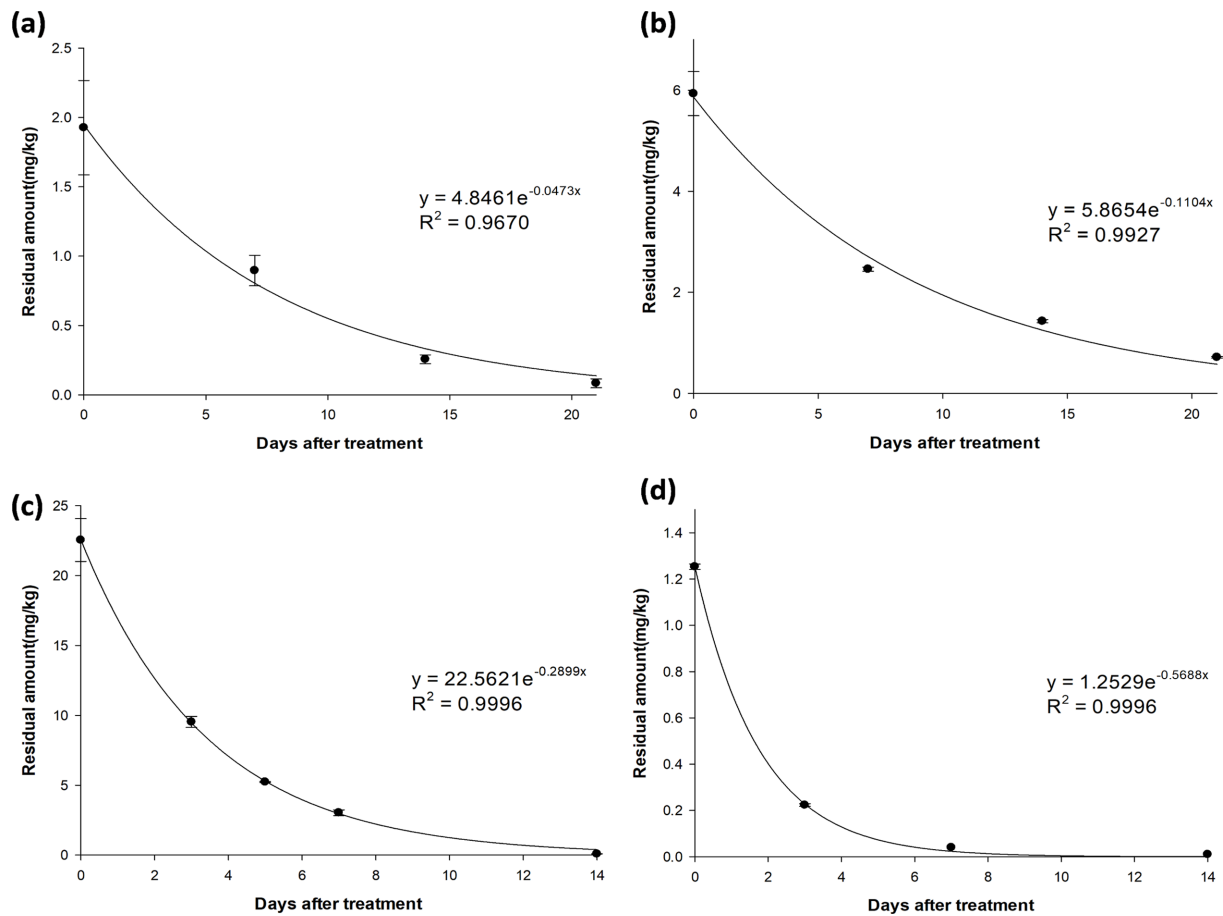


Fig. 2. Degradation patterns of chlorfenapyr in water dropwort(a), rosemary(b), korean mint(c) and *Kalopanax pictus* shoots(d).

잎의 형태 및 표면의 미세한 털의 유무, 즉, 작물의 형태학적 특성에 따른 것으로 판단되었다. 본 시험에서 수확한 시료의 평균 초장은 미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순 각각 58.79 ± 5.31 cm($n=20$), 23.6 ± 3.6 cm($n=20$), 22.5 ± 2.4 cm($n=20$) 및 20.8 ± 0.5 cm($n=20$)이었으며, 각 작물의 모든 시료는 생육정도가 비슷한 크기의 시료를 채취하였다. 미나리를 제외한 3개의 작물의 초장은 모두 비슷하였으나, 배초향의 초기 잔류량이 높게 나온 것은 작물의 표면과 형태 따른 것으로 미나리와 로즈마리는 잎의 크기가 작고 줄기가 긴 작물이며, 음나무순은 잎이 겹겹이 쌓여있는 작물인 반면 배초향은 잎의 크기가 미나리와 로즈마리에 비해 크며 표면이 거칠고, 줄기마다 잎이 붙어있는 형태를 가지고 있어 농약의 부착에 유리할 수 있다고 판단된다.

생물학적 반감기 및 감소 상수

각 작물에 chlorfenapyr 약제처리 후 일자별 평균 잔류량을 확인하여 경시적인 잔류량 변화로부터 반감기를 산출하였다. 작물별 평균 잔류량을 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, 회귀식을 산출한 결과 미나리 $y = 4.8461e^{-0.0473x}$ ($R^2 = 0.9670$), 로즈마리 $y = 5.8654e^{-0.1104x}$ ($R^2 = 0.9927$), 배초향 $y = 22.5621e^{-0.2899x}$

($R^2 = 0.9996$) 그리고 음나무순 $y = 1.2529e^{-0.5688x}$ ($R^2 = 0.9996$)이었으며, 각각의 식을 이용하여 산출된 반감기는 각각 14.7일, 6.3일, 2.4일 및 1.2일로 확인되었다(Fig. 2).

이전 연구에서 쪽파, 부추 및 들깻잎 중 chlorfenapyr의 생물학적 반감기는 각각 13.35일, 6.59일 및 7.3일이었으며 (Park et al., 2012, Jeon et al., 2015), 아욱에서의 생물학적 반감기는 포장1, 포장2 각각 5.6일 및 6.8일이었(Jeong et al., 2022). 들깻잎, 아스파라거스 및 갓과 같이 단기간에 성장속도가 빠른 작물의 경우 잔류농약의 반감기에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 작물의 비대성장으로 보고하였으며(Park et al., 2022b, Kim et al., 2015, Kim et al., 2025), 배초향의 경우 수확일자가 경과됨에 따라 약제 노출이 적은 잎이 일정한 크기까지 성장하면서 희석되어 잔류량에 영향을 미친 것으로 보고하였다(Kang et al., 2024). 본 시험에서도 모든 작물은 일정한 크기의 시료를 채취하였으며, 반감기가 짧은 배초향과 음나무순은 약제살포 후 수확일까지 성장속도가 급격하여 수확일자가 경과됨에 따라 약제 노출이 적은 잎이 수확 크기까지 성장하였기 때문에 희석되어 잔류량 감소에 영향을 미친 것으로 판단되었다. 그리고 음나무순은 노지재배 특성상 약제살포 및 수확기간 동안 7차례의 강우가 있었

Table 7. Risk assessment of chlorfenapyr in the test crops

Test crop	Days after final application	Highest residue (mg/kg)	Daily food intake (kg/day)	ADI ^{a)}	EDI ^{b)}	%ADI ^{c)}
				(mg/kg·b.w./day)		
Water dropwort	30-21	0.12	0.00091	0.026	1.82×10 ⁻⁶	0.0070
	21-14	0.28			4.25×10 ⁻⁶	0.0163
	14-7	1.02			1.55×10 ⁻⁵	0.0595
	7-0	2.26			3.43×10 ⁻⁵	0.1318
Rosemary	30-21	0.73	0.00001	0.026	1.22×10 ⁻⁷	0.0005
	21-14	1.46			2.43×10 ⁻⁷	0.0009
	14-7	2.50			4.17×10 ⁻⁷	0.0016
	7-0	6.21			1.04×10 ⁻⁶	0.0040
Korean mint	14	0.08	0.00001	0.026	1.33×10 ⁻⁸	0.0001
	7	3.25			5.42×10 ⁻⁷	0.0021
	5	5.26			8.77×10 ⁻⁷	0.0034
	3	9.90			1.65×10 ⁻⁶	0.0063
	0	23.86			3.98×10 ⁻⁶	0.0153
<i>Kalopanax pictus</i> shoots	14	0.01	0.00044	0.026	7.33×10 ⁻⁸	0.0003
	4	0.04			2.93×10 ⁻⁷	0.0011
	3	0.23			1.69×10 ⁻⁶	0.0065
	0	1.26			9.24×10 ⁻⁶	0.0355

^{a)}Acceptable daily intake
^{b)}Estimated daily intake
^{c)}Risk index; (EDI/ADI) × 100

으며, 시설재배 작물보다 기상조건의 영향이 잔류량 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다.

식이섭취 노출 평가

각 작물의 식이 섭취량을 고려하여 각 처리구의 최대 잔류량 기준으로 %ADI를 산출한 결과, 미나리 0.0070~0.1318%, 로즈마리 0.0005~0.0040%, 배초향 0.0001~0.0153% 및 음나무순 0.0003~0.0355%이었다(Table 7). 위해지수는 0.2% 미만으로 확인하였으며, 위해성 판단 기준 값인 1이하로 확인되어 식이 섭취량에 의한 위해 가능성은 매우 낮은 것으로 평가된다. 미나리에 설정되어 있는 MRL과 안전사용기준은 적정하게 설정되어 있다고 판단되며, 음나무순은 MRL은 설정되어 있지 않지만, 안전사용기준은 보수적으로 안전하게 설정되어 있다고 판단되어진다. 2개 작물에 대한 안전사용기준 및 MRL 설정은 아직 이루어지지 않았으며, 본 연구 결과는 향후 기준을 설정하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2022, 2023년 농촌진흥청 농약직권등록사업 (과제번호 : PJ01683409, RS-2023-00215004)의 연구개발비

지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Author Information and Contributions

Hye Rim Kang, P&K HSE, Researcher, <https://orcid.org/0009-0002-8879-2411>

Yeon Woo Choi, P&K HSE, Researcher, <https://orcid.org/0009-0009-0463-5349>

Hyeong Gyu Yu, P&K HSE, Researcher, <https://orcid.org/0009-0005-9722-2228>

Kee Sung Kyung, Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6120-6027>

Kyun Kim, P&K HSE, Researcher

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

- European Commission, 2023. Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed (SANTE/11312/2021). https://www.eurl-pesticides.eu/docs/public/tmpl_article.asp?CntID=727 (Accessed: June 18, 2025).
- Ghidiu, G. M. and P. E. Neary (1994) An extension perspective of the minor use crops pesticide problem in vegetable production. *J. Extension* 32(1).
- Jeong KS, Hwang KW, Sun JH, Ka SJ, Park HJ et al., 2022. Residual Characteristics of Chlorfenapyr and Spiromesifen in Curled mallow for Establishing Pre-Harvest Residue Limits. *Korean J. Pesti. Sci.* 26(4):383-391.
- Jeon SO, Hwang JI, Kim TH, Kwon CH, Son YU et al., 2015. Residual Patterns of Insecticides Bifenthrin and Chlorfenapyr in Perilla Leaf as a Minor Crop. *Korean J Environ Agric.* 34(3):223-229.
- Kang HR, Choi YW, You HG, Kyung KS, Kim K., 2024. Residual Characteristics of Acetamiprid in Herbs Basil and Korean Mint. *Korean J. Pesti. Sci.* 28(4):361-366.
- Kim HY, Hwang JI, Lee EH, Jeon YH, Kim JH et al., 2012. Residue patterns of insecticide flubendiamide by varieties of peaches. *Korean J. Environ. Agri.* 31(2):152-156.
- Kim JW, Lee JM, Lee DS, Kang ST, Kim DW et al., 2015. Residual Characteristics of Insecticide Acetamiprid in Asparagus under Greenhouse Condition. *Korean J. Pesti. Sci.* 19(3):204-209.
- Kim KM, Kim JS, Oh KY, Ullah Wasi, Kim JH, 2025. Assessment of Dietary Exposure to Picoxystrobin, Pydiflumetofen, and Pyraclostrobin With Residual Dissipation in Leaf Mustard (*Brassica juncea*). *Korean J. Pesti. Sci.* 29(1):1-8.
- Korea Crop Protection Association, 2022. Guideline of Crop Protection Products. Seoul, Korea. <http://www.koreacpa.org> (Accessed: June 17, 2025).
- Korea Health Industry Development Institute(KHIDI), 2023. National nutrition statistics food intake. Cheongju, Korea. <https://www.khidi.or.kr/nutristat?year=2023&menuId=MENU01649> (Accessed: June 17, 2025).
- Lee TH, Hwang KW, Jeong KS, Sun JH, Kim HJ, et al., 2022. Residual patterns of dimethomorph and mandipropamid in mandarin. *Korean J. Pesti. Sci.* 26(3):188-196.
- Lim JS, 2012. Establishment of Pre-Harvest Residue Limit (PHRL) of Insecticide Chlorfenapyr and Fungicide Fenarimol during Cultivation of Chwinamul (*Aster scaber*). Master, Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS), 2025. Food Safety Management Guidelines, Cheongju, Korea. https://www.mfds.go.kr/brd/m_218/view.do?seq=33624&utm_source=chatgpt.com(Accessed: June 18, 2025).
- National Agricultural products Quality management Service (NAQS), 2025. Agricultural products pesticide residue analysis results. Gimcheon, Korea. https://data.mafra.go.kr/opendata/data/indexOpenDataDetail.do?data_id=20170912000000000791 (Accessed: June 17, 2025).
- Park BK, Kwon SH, Yeom MS, Han SY, Kang MJ, et al., 2022. A safety survey of pesticide residues on agricultural products marketed in Incheon from 2019 to 2021. *J. Food Hyg. Saf.* 37(4):249-259.
- Park HK, Noh HH, Lee JY, Jeong HR, Lee JW et al., 2018. Residual Characteristics of Dimethomorph and Fludioxonil in Water Dropwort and Shallot of Minor Crop. *Korean J. Pesti. Sci.* 22(3):192-198.
- Park JU, Bae BJ, Woo SW, Jeong HJ, Fang YJ, 2022b. Residual Characteristics and Risk assessments of Afidopyropen, Pydiflumetofen and Mefentrifluconazole in Perilla Leaves. *Korean J. Pesti. Sci.* 26(1):65-73.
- Park JW, Son KA, Kim TH, Chea S, Sim JR, et al., 2012. Comparison of the Residue Property of Insecticide Bifenthrin and Chlorfenapyr in Green Onion and Scallion under Greenhouse Condition. *Korean J. Pesti. Sci.* 16(4):294-301.
- Park SJ, Hwang KW, Sun JH, Moon JK, 2024. Residue and distribution of cyenopyrafen and flufenoxuron in passion fruit. *Korean J. Pesti. Sci.* 28(2):149-159.
- Rural Development Administration(RDA), 2025. Pesticide Safety Information System, <https://psis.rda.go.kr/psis/content/contentMain.ps?menuId=PS00313>(Accessed: June 18, 2025).
- Rural Development Administration(RDA), 2025b. Registration standards for pesticides and raw materials. Jeonju, Korea.
- Ryu KY, Ryu MG, Park HM, Kim AY, Lee JR et al., 2025. Risk Assessment of Pesticide Residues in Vegetables at Local Food Markets in Gwangju (2022-2024). *Korean J. Pesti. Sci.* 29(1):9-22.
- Song SH, Kim KY, Kim YS, Ryu KS, Kang MS, et al., 2021. Comparative analysis of pesticide residues in agricultural products in circulation in Gyeonggi-do before and after positive list system enforcement. *J. Food Hyg. Saf.* 36(3): 239-247.

미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순 중 Chlorfenapyr의 잔류특성 및 식이섭취 노출평가

강혜림^{1,2*} · 최연우¹ · 유형규¹ · 경기성² · 김 균¹

¹주피엔케이에이치에스이, ²충북대학교 농업생명과학대학 환경생명화학과

요 약 본 연구는 채소류인 미나리, 로즈마리, 배초향 및 음나무순을 대상으로 chlorfenapyr의 잔류특성과 섭취에 따른 식이섭취에 따른 노출평가를 수행하였다. 시험농약인 chlorfenapyr(10% SC)를 2,000배 희석하여 처리하였으며, 미나리와 로즈마리 시료는 최종 처리 후 0, 3, 5, 7, 14일에, 배초향과 음나무순 시료는 0, 7, 14, 21일에 각각 채취하였다. Chlorfenapyr의 평균 잔류량은 미나리에서 0.08~1.93 mg/kg, 로즈마리에서 0.71~5.93 mg/kg, 배초향에서 0.08~22.54 mg/kg, 음나무순에서 0.01~1.25 mg/kg이었다. 시험 작물에서 chlorfenapyr의 반감기는 1.2~14.7일로 산출되었다. 일일섭취허용량 대비 일일섭취추정량은 0.2% 미만으로 4개 작물에서 모두 안전한 수준으로 평가되었다. 본 연구 결과는 해당 작물 중 chlorfenapyr의 안전사용기준 설정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

색인어: Chlorfenapyr, 미나리, 로즈마리, 배초향, 음나무순