

Research Article



CrossMark

Open Access

딸기 중 침투성 및 비침투성 농약에 따른 잔류특성 연구

유정선, 곽혜민, 장희라*

호서대학교 생명보건대학 식품제약공학부

Comparison of Residue Patterns for Systemic and Non-systemic Pesticides in Strawberry

Jung-Sun You, Hye-Min Gwak and Hee-Ra Chang* (Department of Food & Pharmaceutical Engineering, College of Life & Health Sciences, Graduate School of Hoseo University, Asan 31499, Korea)

Received: 5 October 2020/ Revised: 19 October 2020/ Accepted: 30 October 2020

Copyright © 2020 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

ORCID

Hee-Ra Chang

<https://orcid.org/0000-0002-0307-7703>

Abstract

BACKGROUND: The healthy food trend has encouraged the consumption of natural products, including berries. This trend is expected to increase the strawberry consumption. There has been a concern about the exposure of pesticides approved for use on strawberry. In this study, the dissipation patterns of systemic and non-systemic pesticides were evaluated in strawberry under plastic-covered greenhouse conditions.

METHODS AND RESULTS: Cyflumetofen and dimethomorph were applied on strawberry in the critical GAP (Good Agricultural Practices). Strawberries were harvested at 0, 1, 2, 3, 5, 7 and 10 days after final application of the pesticides. The analyses of the residual pesticides were performed by HPLC-DAD with C₁₈ column. The limits of quantitation (LOQ) of cyflumetofen and dimethomorph were 0.04 and 0.02 mg/kg, respectively. The recovery of cyflumetofen and dimethomorph were 88.1 ~ 103.3% and 79.0 ~ 110.2% for the spiked two levels (LOQ and 10LOQ), respectively. The biological half-lives of cyflumetofen and dimethomorph were 7.5 and 8.9 days, respectively. The dissipation rates in strawberry were calculated by the

statistics method at a 95% confidence level. The distribution showed that pesticides with low log Pow were indicated by the decreased dissipation rate and pesticides with similar log Pow and low solubility also showed the decreased dissipation rate.

CONCLUSION: The residues of cyflumetofen and dimethomorph in strawberry at time 0 after the final application were below the established MRL in Korea. The dissipation behavior of systemic and non-systemic pesticides in strawberry is affected by their log Pow and water solubility values.

Key words: Dissipation, Pesticide, Residues, Systemic, Strawberry

서론

딸기는 무기질, 비타민 C가 풍부하고 antioxidants, anthocyanins, flavonoids 등이 다량 함유되어 심혈관질환 및 눈의 피로 예방에 효과적인 것으로 알려져 있는 과채류로서 신맛과 단맛이 잘 어울려져 있어 국내·외 생산량이 많은 농산물이다[1-3]. 국내 딸기의 생산량은 20만톤을 유지하고 있으며, 2018년도 수출은 홍콩 및 싱가포르의 꾸준한 수요와 베트남 등 동남아시아 수출확대로 전년 대비 8% 증가한 4천 8백만불을 수출하였다(KATI, 2019). 딸기의 생산량이 증가됨에 따라 재배면적도 증가하고 있으며, 2019년도 딸기의 재배면적 6,062 ha 중 노지재배면적은 93 ha이며, 시설재배면

*Corresponding author: Hee-Ra Chang
Phone: +82-41-540-9696; Fax: +82-41-540-9696;
E-mail: hrchang@hoseo.edu

적은 5,969 ha로 최근 고령화로 인한 노동력 부족 등으로 노지재배는 감소하고 신규농업인의 유입 등으로 시설재배 면적이 늘어나고 있다(KOSIS, 2019; KATI, 2019). 시설재배의 재배방식은 온실의 온난 다습한 환경이 흰가루병, 점박이응애, 탄저병 등 여러 병과 해충의 피해가 많아 상품성 및 생육의 저하를 초래하여 농약의 사용이 불가피하다[4].

현재 딸기에 등록되어 있는 농약 140종 중 작물 내에 침투하여 병해충을 방제하는 침투성 농약은 28종이며, 침투성 농약은 작물내부로 침투되어 물관부를 통해 가식부로 이동하므로, 상대적으로 극성이고 물에 대한 용해도가 높은 농약으로 작물에 침투하는 정도가 크며, 비침투성 약제는 작물내로 침투하는 정도가 낮아, 주로 작물 표면에 잔류하여 농약이 검출된다[5]. 딸기에 등록된 침투성 농약 중 dimethomorph는 항포자 생성 저해제 및 균의 세포막 성분인 ergoster의 생합성을 저해하여 살균효과를 나타내는 약제로 *Z-isomer*만이 살균효과를 나타내지만, 광에 의하여 *E-isomer*와 상호 변환되기 때문에 *E-isomer*도 살균효과에 관여하며 채소류에서도 많이 검출되는 성분 중 하나이고[6], 비침투성 농약인 cyflumetofen은 주로 작물 표면에 있는 진드기 방제에 사용할 수 있는 농약이며, 기존에 사용하던 살충제에 대하여 내성이 생긴 *Tetranychus urticae*, *Tetranychus kanzawai*, *Panonychus citri*와 같은 균주에 대하여 효과가 있다고 알려져 있고 종합적 병해충관리(Intergrated pest management, IPM)에 적합한 살충제로 알려져있다[7].

딸기에 대한 잔류농약은 딸기 표면의 용모로 인해 표면적이 넓으면서 무르기 쉬워 농약의 흡수량이 많아 잔류농약 검사에서 잔류허용기준을 초과하는 부적합이 꾸준히 발생하고 있다. 국내에서는 유통단계 및 생산단계에서 잔류농약에 대한 안전성조사를 수행하고 있으며, 생산단계에서 잔류농약 검사 결과 기준 초과한 부적합 농산물에 대해서는 출하연기, 용도 전환 등의 조치를 통하여, 부적합 농산물이 소비자에게 유통단계의 안전성 강화를 목적으로, 출하전 및 출하시점에 잔류허용기준을 초과하지 않도록 관리하고 있다[8].

현재 농산물 중 잔류허용기준은 514종 농약에 대하여 14,963개가 설정되어 관리되고 있으며, 생산단계 잔류허용기준은 농산물 55품목, 149종 농약에 대하여 1168개가 설정되어 약 7.8% 수준이며, 딸기 중 잔류허용기준은 140종 농약에 대하여 설정되어 있으나, 생산단계 잔류허용기준은 농약 55종에 대하여 설정되어 있어 약 40% 수준에 불과하다.

본 연구는 딸기에 등록된 침투성농약 dimethomorph와 비침투성농약 cyflumetofen의 시설재배 조건에서 잔류특성에 의한 감소상수를 산출하여 딸기에 설정되어 있는 농약들의 생산단계 잔류허용기준에 적용된 감소상수와 물리화학적 특성과의 상관관계로부터, 농산물 중 잔류농약의 생산단계 안전관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

시험약제 및 시약

포장시험을 위하여 사용된 시험농약은 cyflumetofen 20% SC (파워샷, ㈜동방아그로) 및 dimethomorph 16% SC (캐스팅, ㈜동방아그로)이었다. 표준용액 조제 및 시료분석을 위해 cyflumetofen 및 dimethomorph의 표준품은 97.5% 및 99.0%로 Dr. Ehrenstorfer GmbH (Augsbug, Germany)의 제품을 구매하여 사용하였으며, cyflumetofen과 dimethomorph의 물리화학적 특성 중 log Pow는 4.3 및 2.63, water solubility(mg/L, 20 ~ 25°C)는 0.0281 및 49.2이다. 잔류분석에 사용된 유기용매인 acetone, acetonitrile, dichloromethane, methanol, *n*-hexane 및 ethyl acetate는 J.T.Baker(HPLC grade, USA), sodium sulfate 및 sodium chloride는 Junsei chemical(guaranteed reagent grade, Japan), solid phase extraction cartridge(silica 1 g 및 florisisil 5 g)는 Agilent Technologies(USA)제품을 사용하였다.

포장시험

시험포장의 위치는 생산단계 잔류시험 가이드라인에 따라 위도가 직선상 20 km 이상 차이가 있는 지역으로 시설재배 조건의 2개 지역을 선정하였다. 선정된 시험포장은 충청남도 논산시(포장 1) 및 홍성군(포장 2)에 위치하며 위도상의 거리 차이는 46 km였다. 시험에 사용된 딸기의 품종은 두 포장모두 설향을 사용하였다.

각각의 시험농약별 시험구는 처리구 3 반복 및 무처리구 1 반복으로, 반복구당 10 m²이상 면적으로 구획을 설정하였다. 약제처리는 농약지침서의 안전사용기준에 따라 약제를 희석하여 조제한 후(KCPA, 2020), 소형 엔진 배부식 분무기(주)퍼펙트 엘, EL969-1)로 처리하였다(Table 1).

농약 잔류량 확인을 위한 시료채취는 약제처리 후 안전사

Table 1. Good agricultural practices and maximum residues limit of cyflumetofen and dimethomorph for Strawberry

Pesticide	Formulation	%AI ^{a)}	Dilution	Spray concentration (kg ai/hl)	Safe use guideline		MRL ^{d)} (mg/kg)
					PHI ^{b)} (days)	MNA ^{c)}	
Cyflumetofen	SC ^{c)}	20	2,000	0.010	2	3	2.0
Dimethomorph	SC ^{c)}	16	2,000	0.008	2	3	2.0

a) Active ingredient, b) Pre-harvest interval, c) Maximum number of application, d) Maximum residue limit,

e) Suspension concentrate

용기준 일자를 포함한 0, 1, 2, 3, 5, 7 및 10일차에 출하시기에 적합한 크기로 선정하여 반복구당 1 kg 이상이 되도록 채취하여 24시간 이내에 실험실로 운반하였다.

시료 조제

실험실로 운반된 채취시료는 개체 무게를 측정하고, 시료 전처리를 위하여 비식용부위인 꼭지를 제거한 후 세절하였다. 세절한 시료는 deepfreezer (-70°C 이하)에서 48시간 이상 보관한 후, homogenizer를 이용하여 균질화를 진행하였다. 균질화된 시료는 분석용 시료 및 보관용 시료로 구분하여, 잔류 분석 기간동안 냉동보관(-20°C 이하)하였다. 시험농약에 대한 잔류성 시험 시료의 저장안정성시험을 위하여, cyflumetofen 및 dimethomorph은 무처리 시료 25 g에 각각의 표준용액을 1.0 mg/kg 수준 3반복으로 처리하여 균일하게 혼합한 후, 잔류성 분석시료와 동일하게 냉동보관(-20°C 이하)하였다.

기기조건

cyflumetofen 및 dimethomorph의 시료분석을 위한 분석기기로는 HPLC-DAD (Agilent 1260 Infinity Series, Agilent Technology, USA)를 사용하였으며, 흡광파장은 각각 230 nm 및 250 nm로 분석하였다. Column은 Phenomenex Luna 5 μ C18 (250 x 4.60 mm, USA)를 사용하였으며, 이동상은 acetonitrile (A) 및 water (B)를 이용하여 cyflumetofen은 A/B(77/23, v/v), dimethomorph는 A/B (45/55, v/v)로 분석하였다.

분석법 정량한계

분석법 정량한계(Limit of Quantitation, LOQ)는 표준용액을 이용하여, 기기분석 크로마토그램에서 Signal to noise ratio (S/N)가 10 이상 되는 기기정량한계와 기기 주입량(μ L)을 계산하여 최소검출량을 산출한 후, 시료무게(g), 기기 주입량(μ L), 분석용액의 최종부피(mL) 및 희석배수를 적용하여 산출하였다[9]. 이를 통해 산출된 cyflumetofen와 dimethomorph의 정량한계는 0.04 및 0.02 mg/kg이었다.

직선성

Cyflumetofen (97.5%) 및 dimethomorph (99.0%)의 표준품을 이용하여 acetonitrile에 녹여 1,000 mg/L의 stock solution을 조제하였다. 이를 단계별로 acetonitrile로 희석하여 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 및 5 mg/L의 working solution을 조제한 후, 각각 기기주입량을 HPLC/DAD에 주입하였다. cyflumetofen 및 dimethomorph에서 각각 나타난 chromatogram peak area를 기준으로 표준검량선을 작성하여 산출된 회귀식에 의한 결정계수(r^2) 값이 0.99이상인 것을 확인하였다.

회수율시험, 저장안정성시험 및 시료분석

Cyflumetofen 및 dimethomorph 회수율 시험농도는 정량한계 및 정량한계 10배 수준으로 무처리시료에 표준용액을

처리한 후 농도별 3반복 시험을 수행하였다. 회수율 시험을 위하여 cyflumetofen은 조제한 시료 25 g에 acetone 100 mL를 가하여 250 rpm으로 20분간 교반한 후 추출물은 여과지(Whatman Grade 6, 110 mm)로 감압·여과한 후, 추출액은 1,000 mL의 분액여두에 옮겨 증류수 90 mL와 포화식염수 10 mL를 가하고 n-hexane 70 mL로 2회 분배하여 유기용매 층은 sodium sulfate에 통과시켜 수분을 제거한 후, rotary vacuum evaporator (EYELA rotary evaporator N-1110 Series)를 이용하여 40°C에서 농축하였다. 농축 건고물은 n-hexane 4 mL로 재용해한 후, n-hexane 5 mL로 활성화시킨 Silica SPE cartridge (1 g, 5 mL)에 시료 2 mL을 넣은 후, n-hexane/ethyl acetate (95/5, v/v) 10 mL로 세정하여 버리고 n-hexane/ethyl acetate (80/20, v/v) 10 mL로 용출하였다. 용출액은 rotary vacuum evaporator로 농축하고 acetonitrile 2.5 mL로 최종재용해하여 HPLC-DAD로 정량분석을 수행하였다. dimethomorph는 조제한 시료 25 g에 acetonitrile 100 mL를 가하여 250 rpm으로 20분간 교반한 후 추출물은 여과지(Whatman Grade 6, 110 mm)를 이용하여 감압·여과한 후 50 mL의 acetonitrile을 이용하여 추출용기 및 잔사를 세척하면서 여과하여 앞의 여액과 합하였다. 추출액은 1,000 mL의 분액여두에 옮겨 증류수 300 mL와 포화식염수 50 mL를 가하여 dichloromethane 100 mL 및 50 mL로 2회 분배하였고, 유기용매 층을 sodium sulfate에 통과시켜 수분을 제거한 후, rotary vacuum evaporator를 이용하여 40°C에서 감압 농축하였다. 농축 건고물은 dichloromethane 10 mL로 재용해한 후, dichloromethane 25 mL로 활성화시킨 florisil SPE cartridge (5 g, 20 mL)에 시료 10 mL을 넣은 후, ethyl acetate/dichloromethane (10/90, v/v) 50 mL로 세정하여 버리고, ethyl acetate/dichloromethane (25/75, v/v) 60 mL로 용출하였다. 용출액은 rotary vacuum evaporator로 농축하고 acetonitrile 2.5 mL로 최종 재용해하여 HPLC-DAD로 정량분석을 수행하였다.

잔류성 시료의 저장안정성시험을 위해 약제처리 0일차에 수확한 무처리 시료에 cyflumetofen 및 dimethomorph를 1 mg/kg 수준으로 잔류하도록 표준용액을 첨가하여 -20°C 이하에서 cyflumetofen은 171일, dimethomorph는 77일 동안 냉동보관한 후, 회수율 시험과 동일한 방법으로 수행하여 회수율을 산출하여 시료보관 조건에서의 보관기간동안 시험농약의 안정성을 확인하였다.

최종적으로, 잔류성 시료의 분석은 cyflumetofen 및 dimethomorph 각각의 회수율 시험과 동일한 방법으로 수행하여, 약제처리 이후 0, 1, 2, 3, 5, 7 및 10일차에 채취한 시료의 잔류량을 확인하였다.

생물학적 반감기 및 감소상수

딸기 중 cyflumetofen 및 dimethomorph의 생물학적 반감기 및 감소상수를 확인하기 위하여, 일자별 잔류량으로 회귀분석을 진행하여 F-검정 및 t-검정으로 회귀방정식 및 감

소상수의 유의성을 확인하였으며, 95% 신뢰수준의 감소상수 하한값과 반감기를 산출하였다(MFDS, 2014).

결과 및 고찰

포장시험

포장시험은 위도상으로 20 km 이상 지리적인 위치가 다른 논산 및 홍성에서 진행하였으며, 재배방식은 비닐하우스 시설에서 수경재배를 하였다. 재배기간 동안 두 시험포장의 평균기온은 각각 $14.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 및 $15.9 \pm 9.8^\circ\text{C}$, 평균 습도는 $75.8 \pm 4.8\%$ 및 $81.2 \pm 9.6\%$ 였다. 약제 살포 후, cyflumetofen 시험포장 1, 2에서 채취한 딸기 시료의 평균 무게는 각각 25.1 ± 1.3 g 및 31.8 ± 0.3 g이며, dimethomorph 시험포장 1, 2에서 각각 24.8 ± 1.2 g 및 31.7 ± 0.3 g이었다.

분석법 검증

Cyflumetofen 및 dimethomorph의 분석법 정량한계는 0.04 및 0.02 mg/kg으로 식품공전 잔류분석법의 정량한계인 0.05 mg/kg 이하였다(MFDS, 2014). Cyflumetofen 및 dimethomorph의 분석법의 직선성은 표준용액 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 및 5 mg/kg의 검량선의 회귀식에 의한 상관계수 (r^2)가 0.9999 및 0.9977로 0.99이상이었다. 분석법의 정확성 및 정밀성을 검증하기 위한 회수율 시험 결과, cyflumetofen은 평균 회수율 88.1 ~ 103.3% 및 변이계수(Coefficient of Variation, CV) 0.9 ~ 6.4%였고, dimethomorph은 평균 회수율 79.0 ~ 110.2%, CV 3.4 ~ 3.6%로 평균 회수율 70~110% 및 변이계수 20% 이내로 분석법검증 기준에 적합하였다(MFDS, 2014). 딸기 중 cyflumetofen 및 dimethomorph은 냉동조건(-20°C 이하)에서 171일 및 77일 동안 평균 회수율이 각각 113.7 및 72.7%, CV 3.4 및 0.1%로 안정성을 확인하였다(MFDS, 2014).

생산단계 일자별 잔류량

Cyflumetofen 및 dimethomorph을 딸기에 7일간격으로 3회 처리한 후 0일차의 평균 잔류량은 각각 0.51 mg/kg 및 0.33 mg/kg이었으며, 딸기에 대한 cyflumetofen 및 dimethomorph의 잔류허용기준인 2 mg/kg의 30% 이하로 잔류하였다. 딸기에 처리한 Cyflumetofen 및 dimethomorph 농약의 유효성분 함량은 각각 20% 및 16%로, 시험포장별 평균 약제처리량은 유효성분함량 기준으로 각각 cyflumetofen은 0.0243 및 0.0240 kg ai/10a, dimethomorph는 0.0203 및 0.0192 kg ai/10a으로 cyflumetofen이 상대적으로 높았다. Cyflumetofen의 최종약제 처리 후 시험포장 1, 2의 일자별 평균 잔류량은 0.29 ~ 0.67 mg/kg 및 0.09 ~ 0.34 mg/kg 이었고, dimethomorph는 0.15 ~ 0.32 mg/kg 및 0.15 ~ 0.33 mg/kg였으며, cyflumetofen 및 dimethomorph의 최종약제 처리 후 10일차 평균 잔류량은 초기 평균 잔류량의 63%, 55% 수준으로 감소하였다(Fig. 1).

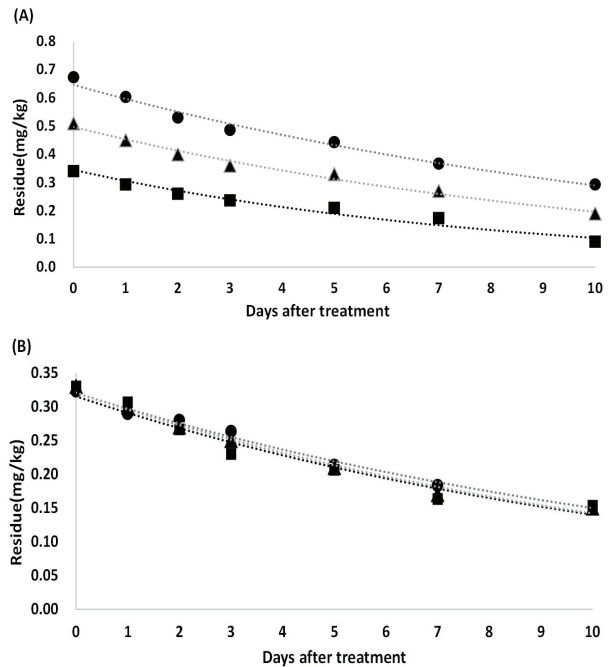


Fig. 1. Dissipation curves and half-lives of cyflumetofen (A) and dimethomorph (B) in strawberry cultivated in the field trial I (●), II (■), and average of I and II (▲) under plastic-covered greenhouse conditions.

딸기 중 비침투성 및 침투성 농약의 잔류특성

딸기 중 cyflumetofen 및 dimethomorph의 일자별 잔류량에 따른 회귀분석에 의한 평균 감소상수는 각각 0.0800 및 0.0666, 반감기는 7.5일, 8.9일로 산출되었다(Table 2, Fig. 1). 비침투성 농약인 cyflumetofen은 작물표면에 부착되어 소실되므로, 침투성 농약인 dimethomorph에 비하여 반감기가 짧을 것으로 예상했는데 유사하였다[10]. 이전의 연구에서 수출딸기 중 cyflumetofen의 반감기는 7.1일이었고, 딸기와 동일한 농산물 group인 장과류에 해당하는 포도 중 dimethomorph의 반감기는 9.4일로 본 연구결과와 유사하였다[11, 12]. 침투성 농약임에도 불구하고 dimethomorph 반감기가 비침투성 농약인 cyflumetofen과 큰 차이가 나타나지 않는 것은 재배기간에 잔류농약의 감소에 영향을 미치는 요인에는 물리화학적 특성 중 수용해도(water solubility)로 수용해도가 크면, 잔류농약의 감소가 크게 나타나는데, cyflumetofen 및 dimethomorph의 수용해도는 각각 0.0281 mg/L, 49.2 mg/L로 침투성 농약인 dimethomorph의 수용해도가 cyflumetofen에 비해 약 1,800배로 높아서 작물체내로 침투하기 이전에 관수와 환경적인 요인에 의하여 잔류농약의 감소가 크게 나타난 것으로 판단된다[13, 14].

침투성 농약은 log Pow값이 낮아서 작물체내로 이행되는 정도가 크다고 판단하므로[5], 본 연구에서 현재 딸기 중 생산단계 잔류허용기준이 등록된 침투성 농약 27종 및 비침투성 농약 28종의 물리화학적 특성 중 log Pow와 잔류특성인 감소상수와의 상관관계를 확인한 결과, group I (log Pow $-0.549 \sim 2.96$)은 침투성 농약, group II (log Pow $3.0 \sim 4.77$)

Table 2. Regression analysis of cyflumetofen and dimethomorph in strawberry

Pesticide	Field trial No.	Dissipation rate constant ^{a)}	Dissipation regression equation ^{b)}
Cyflumetofen	I	0.0700 ~ 0.0906	$y=0.6475e^{-0.0803x}$ ($r^2=0.9878$)
	II	0.0909 ~ 0.1515	$y=0.3452e^{-0.1212x}$ ($r^2=0.9548$)
	average	0.0799 ~ 0.1039	$y=0.4940e^{-0.0319x}$ ($r^2=0.9873$)
Dimethomorph	I	0.0670 ~ 0.0826	$y=0.3197e^{-0.0748x}$ ($r^2=0.9918$)
	II	0.0607 ~ 0.1019	$y=0.3164e^{-0.0813x}$ ($r^2=0.9537$)
	average	0.0665 ~ 0.0895	$y=0.3182e^{-0.0780x}$ ($r^2=0.9839$)

^{a)} Significant $p < 0.05$ by t-test

^{b)} Significant $p < 0.05$ by F -test

Table 3. Classification of pesticides established PHRL on strawberry based on their log Pow values

Group	Pesticides	log Pow
I	Acetamiprid, Azoxystrobin, Boscalid, Carbendazim, Chlorantraniliprole, Chlorothalonil, Clothianidin, Diethofencarb, Dinotefuran, Dimethomorph, Imidacloprid, Methoxyfenozide, Sulfoxaflor, Thiacloprid	-0.549 ~ 2.96
II	Amisulbrom, Cyflumetofen, Cyprodinil, Difenconazole, Diflubenzuron, Fenarimol, Fenhexamid, Flubndiamide, Fludioxonil, Flufenoxuron, Flusilazole, Flutolanil, fluquinconazole, Folpet, Hexaconazole, Indoxacarb, Iprodione, Kresoxim-methyl, Novaluron, Metconazole, Methoxyfenozide, Metrafenone, Mepanipyrim, Myclobutanil, Pencycuron, Procymidone, Pyraclostrobin, Pyriofenone, Spinetoram, Tetraconazole, Tolclofos-methyl, Triflumizole	3.0 ~ 4.77
III	Acequinocyl, Bifenthrin, Bistrifluron, Chlorfenapyr, Cyenopyrafen, Etofenprox, Etoxazole, Fenpropathrin, Lufenuron, Pyridalyl, Tebufenpyrad	4.83 ~ 8.10

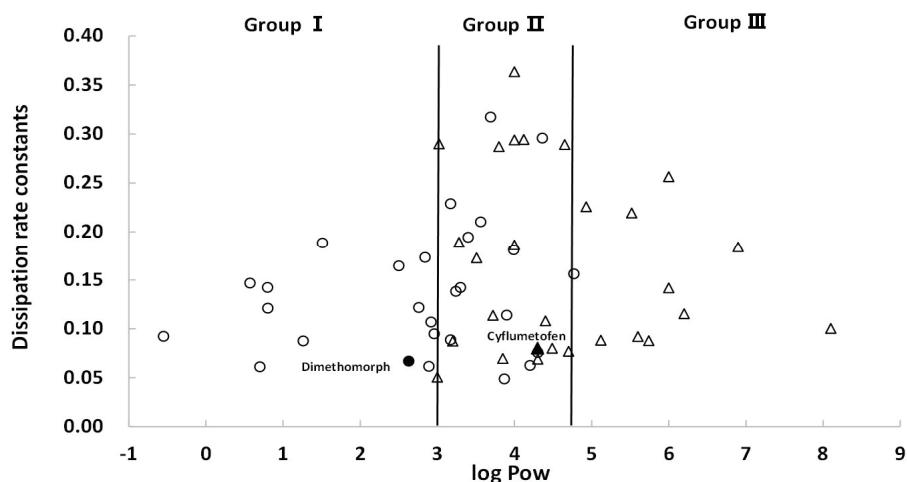


Fig. 2. Relationships between dissipation rate and log Pow of systemic pesticides (○) and non-systemic pesticides (△) established PHRLs for strawberry.

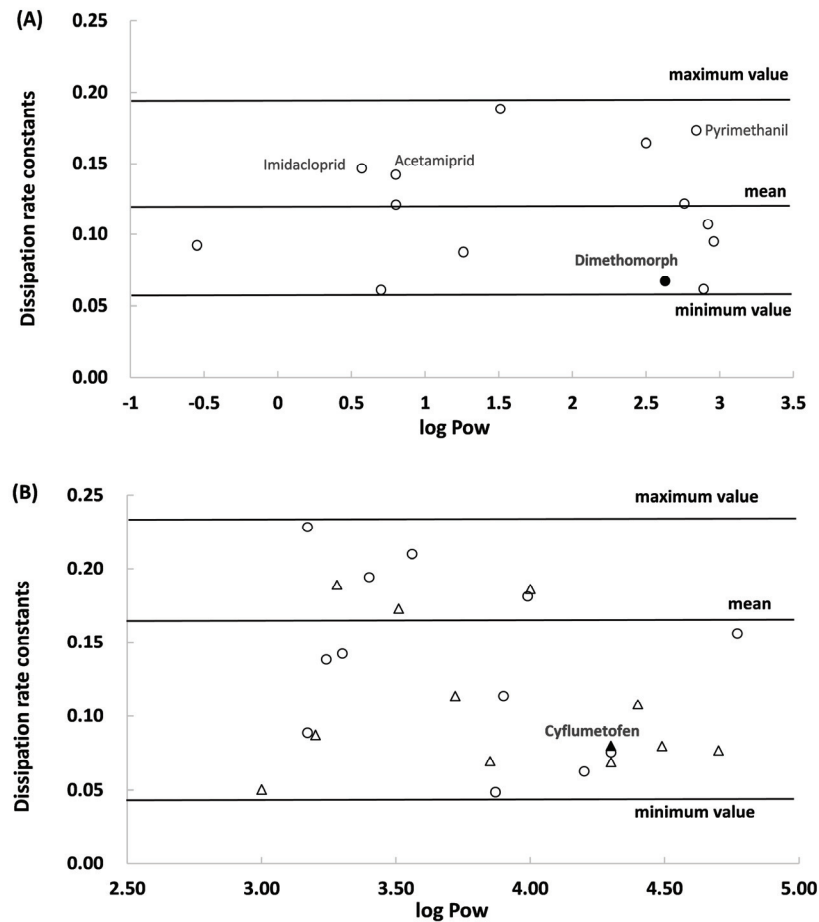


Fig. 3. Distribution of dissipation rate based on log Pow of Group I (A) and Group II (B).

은 침투성농약과 비침투성농약, group III(log Pow 4.83 ~ 8.10)은 비침투성 농약이 분포하고 있었으며, dimethomorph의 log Pow는 2.63으로 group I에 해당하며 group I의 평균 감소상수인 0.1163보다 낮은 감소상수를 보였다(Table 3, Fig 2, 3). Group I의 침투성 약제 중 pyrimethanil, imidacloprid 및 acetamiprid의 수용해도는 100~4250 mg/L로, dimethomorph의 수용해도인 49.2 mg/L에 비하여 2배 이상 높아, 관수 및 환경적 요인에 의해 소실될 가능성이 커서 상대적으로 감소상수가 큰 것으로 판단된다[13, 14]. 비침투성약제인 cyflumetofen은 log Pow 4.30으로 group II에 해당되며, 딸기 중 감소상수(0.0800)가 group II의 평균 감소상수인 0.1673보다 낮은 이유는 group II에서 상대적으로 수용해도(0.0281 mg/L)가 낮아 잔류농약의 감소가 적은 것으로 판단된다[10].

본 연구에서 딸기의 시설재배 조건에서 비침투성 농약 및 침투성농약의 잔류특성에 의한 감소상수 결과로 부터 농약의 log Pow가 낮을수록 감소상수가 낮은 것을 확인하였고, log Pow가 유사한 농약은 수용해도가 낮을수록 감소상수가 낮았다. 이러한 농산물의 생산단계에서의 잔류농약의 감소상수 확인 및 예측을 위한 연구는 소비자를 위하여 농산물에 대한

잔류농약의 안전성을 확보할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This research was supported by the Ministry of Food and Drug Safety, Republic of Korea (grant number: 17162MFDS010).

References

1. Ayala-Zavala JF, Wang SY, Wang CY, Conzalez-Aguilar GA (2004) Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT-Food Science and Technology*, 37(7), 687-695. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.002>.

2. Cho JI, Ha SD, Kim KS (2004) Inhibitory effects of temperature, pH, and potassium sorbate against natural microflora in strawberry paste during storage. *Korean Society of Food Science and Technology*, 36(2), 355-360.
3. Park KH, Kim SH (2011) A comparative study of consumer preference for strawberries in Korea and Singapore. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*, 38(2), 321-340.
4. Nam MH, Jeon YN, Lee HC, Lee HD, Kang HK (2012) Comparative analysis between healthy and powdery mildew-infected plants of strawberry cultivar Seolhyang. *The Korean Society of Plant Pathology*, 18(2), 80-85. <https://doi.org/10.5423/RPD.2012.18.2.080>.
5. Lee HS, Hong SM, Kwon HY, Kim DB, Moon BC (2017) Comparison of residue patterns between foliar application and drenching in export strawberry. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 60(4), 313-319. <https://doi.org/10.3839/jabc.2017.049>.
6. Ryu KY, Kim JP, Park DK, Lee DV, Song NJ, Cho BS, Seo KW, Kim SH (2020) A statistical analysis of pesticide residues on leafy vegetables selling at agricultural wholesale markets in Gwangju. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 24(1), 91-104. <https://doi.org/10.7585/kjps.2020.24.1.91>.
7. Hayashi N, Sasama Y, Takahashi N, Lkemi N (2012) Cyflumetofen, a novel acaricide - its mode of action and selectivity. *Pest Management Science*, 69(9), 1080-1084. <https://doi.org/10.1002/ps.3470>.
8. Lee DY, Kim YJ, Kim SG, Kang KY (2013) Residual characteristics of insecticides used for oriental tobacco budworm control of paprika. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(1), 84-93. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.1.84>.
9. Park JS, Yang SH, Choi H (2017) Residue patterns and biological half-lives of pyridalyl and fluopicolide in watermelon. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 36(1), 50-56. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.1.08>.
10. Jeong HR, Noh HH, Lee JY, Park HK, Jin MJ, Kim JC, Hong SM, Kyung KS (2017) Residual characteristics and safety assessments of bifenthrin, carbendazim and metconazole in angelica gigas Nakai. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 21(1), 97-105. <https://doi.org/10.7585/kjps.2017.21.1.97>.
11. Kim YJ, Kim JG, Kwon YS, Song JW, Seo JS (2017) Residual characteristics and monitoring of cyenopyrafen and cyflumetofen in strawberries for export. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 36(4), 279-287. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.4.35>.
12. Liu Congyun, Wan K, Huang J, Wang Y, Wang F (2012) Behavior of mixed formulation of metalaxyl and dimethomorph in grape and soil under field conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 84(1), 112-116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.06.030>.
13. Lee SH, Kwak SY, Hwang JI, Kim HJ, Kim TH, Kim JE (2019) Correlation between physicochemical properties and biological half-life of triazole fungicides in perilla leaf. *The Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 62(4), 407-415. <https://doi.org/10.3839/jabc.2019.056>.
14. Cohen Y, Baider A, Cohen B (1995) Dimethomorph activity against oomycete fungal plant pathogens. *The American Phytopathological Society*, 85(12), 1500-1506. <https://doi.org/10.1094/phyto-85-1500>.