농약과학회지 (Korean J. Pestic. Sci.)
Vol. 25, No. 2, pp. 149-156 (2021)
Open Access https://doi.org/10.7585/kjps.2021.25.2.149
ORIGINAL ARTICLES

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

농약 4종의 비닐하우스 딸기 농작업자 노출량 및 재출입기간 설정

박연기* · 오진아 · 박수진 · 신지영 · 임정현 · 박혜진 · 이슬 · 이명지
국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과

Establishment of Exposure and Re-entry Intervals of Four Pesticides for Agricultural Workers in Strawberry Greenhouse

Yeon-Ki Park*, Jin-A Oh, Soo-Jin Park, Ji-Young Shin, Jeung-Hyeon Lim, Hye-Jin Park, Seul Lee, Myung-Ji Lee

Toxicity and Risk Assessment Division, National institute of Agricultural Sciences, Wanju-gun 55365, Republic of Korea

(Received on May 11, 2021. Revised on June 15, 2021. Accepted on June 17, 2021)

Abstract The dislodgeable foliar residue(DFR) and dermal exposure for agricultural worker of four pesticides were obtained by using the occupational pesticide re-entry exposure calculator(OPREC) model during harvesting, transplanting, and weeding in strawberry greenhouse. The calculated DFR of strawberry leaves were 0.02580~0.00109 μg/cm^2 for abamectin 1.714% SC, 0.15005~0.00636 μg/cm^2 for cyantraniliprole 5% DC, 0.10518~0.00446 μg/cm^2 for indoxacarb 7% WG, and 0.30039~0.01273 μg/cm^2 for pyridaben 10% EW in the greenhouse. Agricultural worker's dermal exposure were 0.37845~0.01604, 0.07913~0.00335, and 0.02408~0.00102 mg/kg/day for abamectin 1.714% SC during harvesting, transplanting, and weeding, respectively. In the same order, 2.20078~0.09329, 0.46016~0.01951, and 0.14005~0.00594 mg/kg/day for cyantraniliprole 5% DC, 1.54261~0.06539, 0.32254~0.01267, and 0.09817~0.00416 mg/kg/day for indoxacarb 7% WG, and 4.40568~0.18676, 0.92119~0.03905, and 0.28036~0.01188 mg/kg/day for pyridaben 10% EW. The re-entry interval was set by comparing the no observed adverse effect level(NOAEL) and the dermal exposure of agricultural worker. The re-entry interval for harvesting were 4 days for abametin 1.714% SC, 8 days for cyantraniliprole 5% DC, 11 days for indoxacarb 7% WG, and 15 days for pyridaben 10% EW.

Key words Pesticide, Greenhouse, Agricultural worker, Strawberry, Re-entry interval

서 론

농약 노출로 인한 건강 위험은 농약의 독성 및 노출 정도에 따라 달라질 수 있으므로 환경과 사람에 대한 부작용을 최소화하고 위해(危害) 가능성을 줄이기 위해 등록 관리를 엄격하게 하고 있음에도 노출에 의한 위해 가능성은 존재한다.

우리나라 농약 사용자에 대한 노출 평가는 농약 살포액을 조제하거나, 농약을 살포하는 살포자(operator)에 대한 평가 모델(KoPOEM)을 개발하여 농약 등록평가에 이용하고 있고, 농약 살포자 노출량 측정시험법(패치분석법, 전신복장분석법)과 농약 살포자 위해성 평가기준을 통해 농약 살포자의 건강 위험을 관리하고 있다(농진청 고시, 2020). 그러나, 농약이 살포된 지역 내의 농작업자(worker)에 대한 연구나 노출 평가는 거의 이루어지지 않고 있다.

농약 살포자의 농약 노출을 방지하기 위해 개인 보호 장비를 착용하도록 농약 포장지(병)에 표기하도록 하고 있는 반면, 농작업자는 개인 보호 장비 착용이나 재출입기간에 대한 정보를 알 수 없다.

농작업자란 농약이 살포된 지역에 진입하거나(Dong and Bauvis, 2013) 농약이 살포된 작물을 다루는 사람으로 정의한다(Krol et al., 2005). 농작업자에 대한 노출 평가는 농작업자가 농약이 살포된 노지나 하우스 내에 들어가거나, 머무르거나, 작업하면서 농약에 노출되는 경우이다. 농작업자

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

는 농약 살포 후 공기 중 농약 부유물이 내려앉고, 작물에 묻은 농약이 건조될 충분한 시간이 경과 할 때까지 들어갈 수 없기 때문에 농작업자 대부분의 경우 작물의 잎에 잔류된 농약과 피부접촉이 주요 노출 경로이다(Aprea et al., 2002; Cherrie et al., 2006). 잎에 잔류된 농약의 농작업자 피부 노출이 주요 요인인 이유는 농약은 낮은 증기압을 가지고 있고, 병해충의 서식지인 잎에 농약이 남아있기 때문이다(Dong and Beauvais, 2013). 또한 대부분 잎에 잔류되는 농약들은 지용성과 지속성이 있어 피부와의 접촉을 통해 전달된다(Toumi et al., 2016). 1시간 이내에 작업을 마치는 농약 살포자에 비해 농작업자는 농약이 살포된 지역에서 1시간 이상 일을 하고 있어 농작업자의 피부노출량은 농약 살포자의 노출량을 초과할 수 있다(Baldi et al., 2014).

농작업자 농약 노출은 수확, 이식, 제초 등의 작업 동안 작물과 물리적인 접촉을 통해 농작업자의 피부로 농약이 전달된다. 이러한 피부를 통한 노출량은 작물의 농약 잔류량과 농작업자 피부 접촉빈도와 세기에 따라 달라진다(Brouwer et al., 1992). 즉, 농작업자의 일일 피부 노출량은 작물 잎의 잔류량(Dislodgeable Foliar Residue; DFR)과 잎에서 농작업자 피부로 전달되는 전달계수(Transfer Coefficient; TC)와 일일 작업시간에 따라 달라진다. 농작업자의 피부 노출량은 DFR의 함수일 뿐 아니라, 시간이 지남에 따라 농약 잔류량이 변하기 때문에 시간의 함수이기도 하다. DFR과 작업시간이 일정하더라도 작업의 종류, 농약이 살포된 작물과의 접촉 강도, 개인 보호 장비 착용여부 차이에 따라 농작업자 피부노출량은 다르게 나타난다(Fenske et al., 1989; Sankaran et al., 2015). 농작업자의 피부노출에 영향을 미치는 주요 요인은 온도와 상대 습도로, 높은 온도와 습도는 농작업자의 의복을 통한 농약 흡수를 촉진한다(Aprea et al., 2005). 특히, 비닐하우스 농작업자는 습도와 온도변화가 적어 노지 작업자에 비해 높은 수준의 농약에 노출될 가능성이 있다(Kittas, 2014). 이러한 많은 요인과 농약에 대한 농작업자 노출량을 측정하는 것은 현실적으로 어려우므로 미국과 유럽에서는 다양한 농작업자 노출 시나리오 설정과 노출 자료를 통해 농작업자 노출평가 모델을 개발하여 사용하고 있다(EFSA, 2014; EPA, 2021).

농작업자 재출입기간은 농약 살포 후부터 농작업자의 살포지역 진입이 허용되는 시기까지의 시간이다. 재출입기간은 농작업자가 접촉하는 잎의 잔류농약이 분해되어 안전한 수준이 되기에 충분한 시간을 제공하기 위한 것이다. 따라서, 재출입기간 설정은 농약 살포 후 살포지역 내 농작업자를 농약 노출로부터 보호하기 위한 중요한 수단이다. 시간이 지남에 따라 DFR이 감소한다는 가정으로 잔류농약이 안전한 수준까지 감소할 때 까지 농작업자가 농약 살포지역에 진입하는 것을 방지함으로써 농작업자의 농약 노출과 질병이 감소될 수 있다는 개념이다(Whitmyre et al., 2004).

이에 본 연구는 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency; EPA)의 농약 노출평가 모델 Occupational Pesticide Re-entry Exposure Calculator(OPREC, 2017)를 이용하여, 우리나라 딸기 재배용으로 등록된 살충제 4종의 비닐하우스 내 딸기 잎의 DFR과 농작업자가 수확, 이식, 제초작업 등을 하는 동안 농약의 피부노출량을 계산하였다. 그리고, 농작업자 피부 노출량과 무작용량(NOAEL; No Observed Adverse Effect Level)을 비교하여 재출입기간(re-entry intervals)을 설정하였다.

재료 및 방법

사용농약

딸기를 가해하는 점박이응애, 꽃노랑총채벌레, 파밤나방, 담배거세미나방 등을 방제하는 아바멕틴 1.714% 액상수화제, 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제, 인독사카브 7% 입상수화제, 피리다벤 10% 유탁제 등 4제품을 대상으로 하였다. 4제품의 1 헥타르 당 원제 살포량은 0.0103~0.1200 킬로그램(KCPA, 2020), 살포 물량은 1 헥타르 당 1200 리터로 하였다(RDA, 2020). 각 농약의 NOAEL은 농약 등록을 위해 제출된 독성시험 성적 중 감수성이 가장 높은 시험동물 종의 NOAEL으로, 유럽식품안전청(European Food Safety Authority; EFSA)과 미국 EPA의 평가보고서에서 제안한 값을 사용하였다(Table 1).

엽면 잔류량(Dislodgeable Foliar Residue; DFR)

DFR은 전통적으로 실험실에서 표준화된 기기분석법을 사용하여 잎의 표면(앞면 및 뒷면)에서 추출해 낼 수 있는

Table 1. The general information of pesticides

Formulation type	A.I[e)] (%)	Application dose (kg a.i./ha)	Application water (ℓ/ha)	NOAEL (mg/kg bw/day)
Abamectin SC[a)]	1.714	0.0103	1200	0.25
Cyantraniliprole DC[b)]	5	0.0600	1200	1.00
Indoxacarb WG[c)]	7	0.0420	1200	0.50
Pyridaben EW[d)]	10	0.1200	1200	1.00

[a)]SC: suspension concentrate, [b)]DC dispersible concentrate, [c)]WG: water dispersible granule, [d)]EW: emulsion oil in water, [e)]A.I.: active ingredient

농약 잔류량이다. 본 연구에서는 농약 제형에 관계없이 일률적으로 초기 DFR은 0.25 μg/cm^2, 1일 농약 소실율(dissipation rate)은 0.1%로 설정된 OPREC 모델을 사용하여 살포 당일부터 살포 후 30일까지 5일 간격으로 DFR을 구하였다.

농작업자 피부노출량 및 재출입기간

잎에서 농작업자의 피부로 잔류농약이 전달되는 정도를 나타내는 전달계수(Transfer Coefficient; TC)는 농약 제형에 상관없이 작업시간 동안 잎과의 접촉 빈도에 따라 노출 수준을 고려하여 딸기 수확, 이식, 제초 작업에 따라 각각 1100, 230, 70 cm^2/hr, 농작업자 피부 흡수율(absorption)은 100%, 작업 시간은 하루 8시간, 농작업자 체중은 60 kg으로 가정하여 OPREC 모델을 이용하여 농작업자 피부노출량을 구하였다. 농작업자 재출입기간은 피부노출량과 NOAEL를 비교하여 구하였다.

결과 및 고찰

엽면 잔류량(Dislodgeable Foliar Residue; DFR)

농약이 살포된 지역 내 작물 잎에 남아 있는 잔류농약은 농작업자 농약 노출의 중요 원인이다. 따라서 살포지역 작물의 DFR을 구하는 것은 농작업자 노출 평가 의 첫 번째 단계로 농약 살포 후 특정한 날짜의 잠재적인 농작업자 피부 노출량 은 DFR과 TC값을 이용하여 계산할 수 있다(Brouwer et al., 1992; Caffarelli et al., 2004; Korpalski et al., 2005; USEPA, 2021). DFR의 단위는 농작업자가 접 촉할 수 있는 잎의 단위 표면적(cm^2)당 농약 잔류량(μg)으로 표시 하고, DFR이 감소하면 농작업자 노출도 감소한다.

농약 4종의 비닐 하우스 딸기 잎의 DFR을 OPERC를 이용하여 살포 당일부터 5일 간격으로 30일까지 계산한 결과, 아바멕틴 1.714% 액상수화제는 0.02580~0.00109 μg/cm^2, 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 0.15005~0.00636 μg/cm^2, 인독사카브 7% 입상수화제는 0.10518~0.00446 μg/cm^2, 피리다벤 10% 유탁제는 0.30039~0.01273 μg/cm^2 이었다.

DFR 크기는 농약 살포량에 정비례하여 피리다벤 10% 유탁제> 사이안트라닐 리프롤 5% 분산성액제 > 인독사카브 7% 입상수화제 > 아바멕틴 1.714% 액상 수화제 순이었다(Table 2).

농작업자 피부노출량 및 재출입기간

농작업자의 피부 노출량은 DFR의 함수뿐만 아니라 시간이 지남에 따라 DFR이 변하기 때문에 시간의 함수이기도 하다. 또한 농작업자 피부노출량은 DFR의 양에 선형적으로 비례한다는 전제에 기초한다. 그러나 농작업자 피부 노출량은 농작업 종류에 따라 피부 접촉빈도가 다르고 이에 따른 TC값도 다르게 나타난다(Brouwer et al., 1992). 비닐하우스 딸기 잎과 농작업자 피부와의 접촉 빈도는 수확 > 이식 > 제초작업 순이다(USEPA. 2021). 따라서 딸기 비닐하우스 농작업자의 작업 종류에 따라 TC값을 달리하여 피부 노출량을 산출한 결과, 아바멕틴 1.714% 액상수화제의 수확, 이식, 제초작업 동안 농작업자 피부 노출량은 각각 0.37845~0.01604, 0.07913~0.00335, 0.02408~0.00102 mg/kg/day이었고, 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 각각 2.20078~0.09329, 0.46016~0.01951, 0.14005~0.00594 mg/kg/day, 인독사카브 7% 입상수화제는 각각 1.54261~0.06539, 0.32254~0.01267, 0.09817~0.00416 mg/kg/day, 피리다벤 10% 유탁제는 각각 4.40568~0.18676, 0.92119~0.03905, 0.28036~0.01188 mg/kg/day이었다(Table 3). 농작업자 피부노출량 크기는 DFR과 마찬가지로 농약 살포량에 정비례하여 피리다벤 10% 유탁제 > 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제 > 인독사카브 7% 입상수화제 > 아바멕틴 1.714% 액상수화제 순이었다.

농작업자 재출입기간을 농작업 종류에 따른 농작업자 피부 노출량과 NOAEL을 비교하여 설정한 결과, 아바멕틴 1.714% 액상수화제는 이식이나 제초작업의 경우 살포당일 피부노출량이 각각 0.07913, 0.02408 mg/kg/day으로 NOAEL값 0.25 mg/kg bw/day보다 낮아 농작업자 재출입기간 설정이 필요 없었으나, 수확작업은 살포당일 농작업자 피부 노출량이 0.37845 mg/kg/day으로 NOAEL값 보다 1.5배 높아 재출입기간 설정이 필요하였다. 따라서, Fig. 1에서

Table 2. Calculated DFRs of strawberry in the greenhouse applied with pesticides

Pesticide	DFR[a)] (μg/cm^2)							
	Day after application (days)							
	0	1	5	10	15	20	25	30
Abamectin 1.714% SC	0.02580	0.02322	0.01524	0.00900	0.00531	0.00314	0.00185	0.00109
Cyantraniliprole 5% DC	0.15005	0.13505	0.08861	0.05232	0.03089	0.01824	0.01077	0.00636
Indoxacarb 7% WG	0.10518	0.09466	0.06211	0.03667	0.02166	0.01279	0.00755	0.00446
Pyridaben 10% EW	0.30039	0.27035	0.17738	0.10474	0.06185	0.03652	0.02156	0.01273

[a)] $DFR_t = DFR_0 \times \exp(-kt)$, $DFR_0 = 0.25 \times$ application dose, k (dissipation rate, %/day) = 0.1, t = day

Table 3. The dermal exposure of pesticides for workers during harvesting, transplanting and weeding in strawberry greenhouse

Pesticides	Activity	Dermal exposure[a)](mg/kg/day)							
		0day	1day	5day	10day	15day	20day	25day	30day
Abamectin 1.714% SC	harvesting	0.37845	0.34061	0.22347	0.13196	0.07792	0.04601	0.02717	0.01604
	transplanting	0.07913	0.07122	0.04673	0.02759	0.01629	0.00962	0.00568	0.00335
	weeding	0.02408	0.02168	0.01422	0.00840	0.00496	0.00293	0.00173	0.00102
Cyantraniliprole 5% DC	harvesting	2.20078	1.98071	1.29954	0.76737	0.45312	0.26756	0.15799	0.09329
	transplanting	0.46016	0.41415	0.27172	0.16045	0.09474	0.05595	0.03304	0.01951
	weeding	0.14005	0.12604	0.08270	0.04883	0.02884	0.01703	0.01005	0.00594
Indoxacarb 7% WG	harvesting	1.54261	1.38835	0.91089	0.53787	0.31761	0.18754	0.11074	0.06539
	transplanting	0.32254	0.29029	0.19046	0.11246	0.06641	0.03921	0.02316	0.01267
	weeding	0.09817	0.08835	0.05797	0.03423	0.02021	0.01193	0.00705	0.00416
Pyridaben 10% EW	harvesting	4.40568	3.96511	2.60151	1.53617	0.90709	0.53563	0.31628	0.18676
	transplanting	0.92119	0.82907	0.54395	0.32120	0.18966	0.11199	0.06613	0.03905
	weeding	0.28036	0.25233	0.16555	0.09776	0.05772	0.03409	0.02013	0.01188

[a)]Dermal exposure = exposure time × transfer coefficient × dislodgeable foliar residue/Body weight

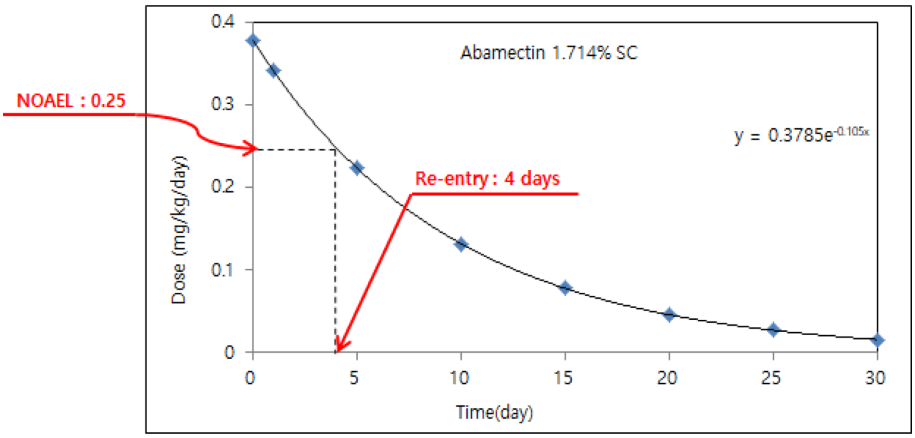

Fig. 1. The re-entry interval of abamectin 1.714% SC for agricultural worker during harvesting in strawberry greenhouse.

보는 바와 같이 수확작업의 농작업자 피부 노출량을 지수함수 회귀 그래프를 이용하여 재출입기간을 설정한 결과 4일이었다. 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 이식이나 제초작업은 살포당일 피부노출량이 각각 0.46016, 0.1400 mg/kg/day으로 NOAEL값 1 mg/kg bw/day 보다 낮아 재출입기간 설정이 필요 없었으나, 수확작업은 살포당일 농작업자 피부 노출량이 2.20078 mg/kg/day으로 NOAEL값 보다 2.2배 높아 재출입기간을 설정한 결과 8일이었다(Fig. 2). 인독사카브 7% 입상수화제는 이식이나 제초작업은 살포당일 피부노출량이 각각 0.32254, 0.09817 mg/kg/day으로 NOAEL값 0.5 mg/kg bw/day 보다 낮아 재출입기간 설정은 필요 없었으나, 수확작업은 살포당일 농작업자 피부 노출량이 1.54261 mg/kg/day으로 NOAEL값 보다 3배 높아 재출입기간을 설정한 결과 11일이었다(Fig. 3). 피리다벤 10% 유탁제의 경우 이식이나 제초작업은 살포당일 피부노출량이 각각 0.92119, 0.28036 mg/kg/day으로 NOAEL값 1 mg/kg bw/day 보다 낮아 재출입기간 설정이 필요 없었으나, 수확작업은 살포당일 농작업자 피부 노출량이 4.40568 mg/kg/day으로 NOAEL값 보다 4.4배 높아 재출입기간을 설정한 결과 15일이었다(Fig. 4).

피리다벤 10% 유탁제와 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 NOAEL값은 같지만 살포량은 피리다벤 10% 유탁제가 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제보다 2배 많아 농작업자 재출입기간이 약 2배 더 길게 나타났다. 한편, 피리다벤 10% 유탁제의 NOAEL은 아바멕틴 1.714% 액상수화제와 인독사카브 7% 입상수화제 보다 각각 4, 2배 낮지만 살포량이 각각 12, 3배 높아 피리다벤 10% 유탁제의 농작업자 재출입기간이 아바멕틴 1.714% 액상수화제와 인독사카브 7% 입상수화제 보다 각각 약 4, 1.3배 더 길게 나타났다. 이것은 독성이 높은 농약을 고농도로 살포하면 비교적

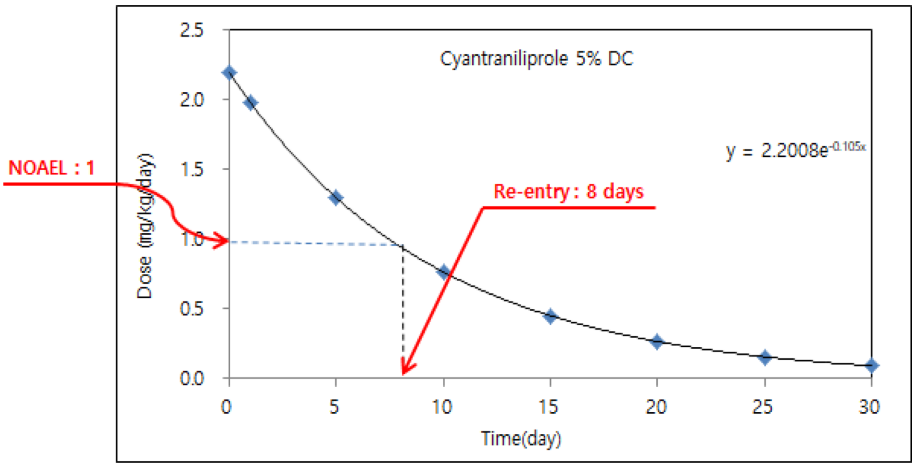

Fig. 2. The re-entry interval of cyantraniliprole 5% DC for agricultural worker during harvesting in strawberry greenhouse.

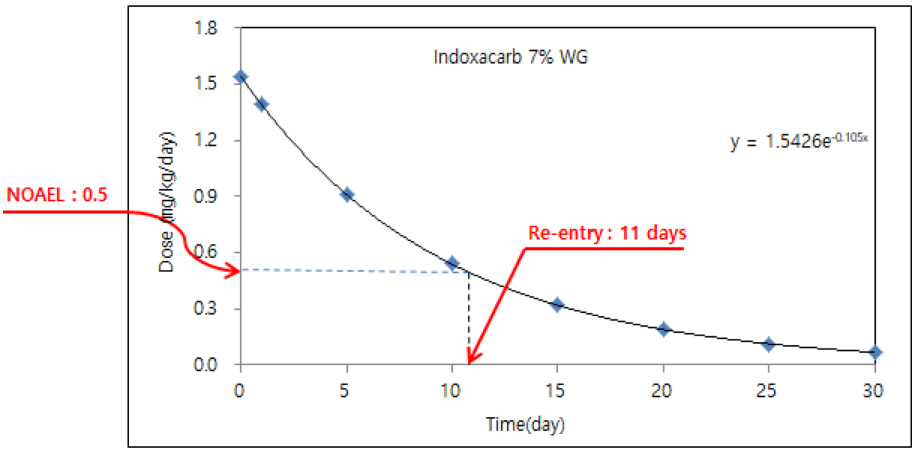

Fig. 3. The re-entry interval of indoxacarb 7% WG for agricultural worker during harvesting in strawberry greenhouse.

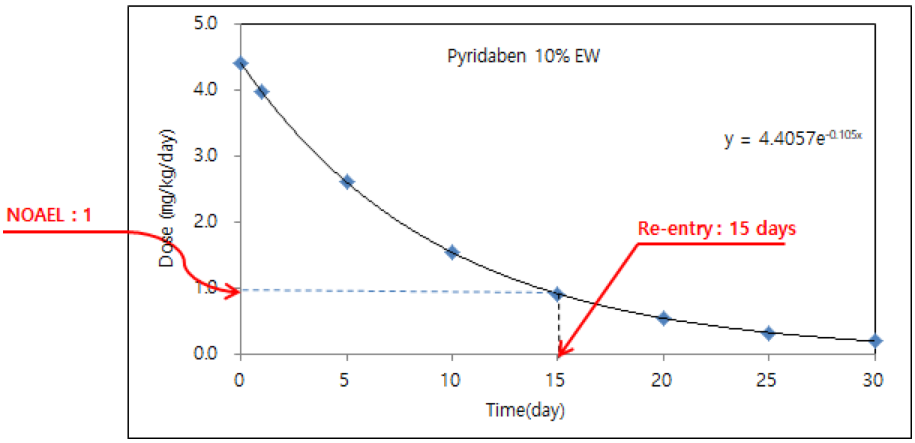

Fig. 4. The re-entry interval of pyridaben 10% EW for agricultural worker during harvesting in strawberry greenhouse.

피부 침투율이 높아져 농작업자 건강에 위험하다(Brouwer et al., 1992)는 보고와 유사하였다.

본 연구에서 이용한 농약 노출평가모델 OPERC은 시간 경과에 따라 DFR이 선형적으로 소실된다고 가정하고 산출한 이론적 추정값으로 농작업자 피부 노출량을 구하였다. 그러나, DFR은 농약의 제형(증기압, 용해도 등 이화학성),

살포방법, 작물 높이 등에 따라 달라질 것이다. 농약 잔류량은 휘발되거나, 햇빛이나 미생물에 의해 분해되거나 또는 식물에 의해 흡수되어 변화할 수 있다. 따라서 시간의 경과에 따른 DFR의 소실은 농약에 따라 선형 모형을 따르지 않고 살포 당일 초기 몇 시간에서 며칠 동안 더 빠르게 소실되기도 할 것이다(Dong and Beauvais, 2013; Whitmyre et al., 2004). 또한, 농작업자 피부노출량도 피부 흡수율, 농약의 독성, 농약의 지속성, 보호 장비 착용 등의 요인들이 중요한 영향을 미칠 수 있다(Brouwer et al., 1992).

농작업자 재출입기간 설정에서는 농작업자 피부 노출량을 농작업자에 대한 전체 노출량으로 보았다. 물론 농작업자의 농약 노출은 피부 노출뿐만 아니라 호흡 및 경구노출이 동시에 발생하지만, 피부노출이 가장 중요한 경로이고(Jurewicz et al., 2009), 피부노출이 농작업자 일일 총 노출의 90% 이상이었다(Ross et al., 2000)는 연구를 감안하면 큰 차이는 없을 것이다.

이상의 연구결과에서 농약살포 후 작물에 남아 있는 잔류농약은 농작업자에게 문제가 될 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 농작업자의 농약 노출을 줄이기 위한 조치가 필요하다. 농약의 농작업자 피부노출은 작물의 줄기, 잎의 잔류농약과의 직접적인 물리적 접촉에 의해 발생하고, 노출위험은 농약이 처리된 작물과의 피부 접촉 빈도, 강도, 전달 가능한 양에 따라 달라진다(Jurewicz et al., 2009). 그러므로 우선적으로 농작업자의 주요 노출원인인 손과 피부를 통한 농약 접촉노출을 줄이기 위한 예방조치를 취해야 한다.

많은 선행 연구에서 농작업자의 농약노출을 차단하기 위하여 개인 보호 장비 착용의 효과를 보고하였다. 특히, 장갑은 손으로부터의 농약 노출을 막아주는 강력한 보호벽을 제공한다(Sankaran et al., 2015; Li et al., 2011; Krieger and Dinoff, 2000; Bradman et al., 2009; Salvatore et al., 2008). 또한 작업복을 착용하거나 장갑을 함께 착용할 경우 농작업자 피부노출을 87% 이상 감소시킬 수 있다(Park et al., 2020).

그리고, 작물의 잔류농약은 시간이 지남에 따라 감소하므로 재출입기간을 엄격하게 준수하도록 하여 농작업자의 건강 위험을 낮추어야 한다. 또한, 식물 침투력이 높거나, 낮은 휘발성 농약을 사용하도록 추천하는 것도 농작업자 위해 가능성을 낮추는데 유용할 것이다(Toumi et al., 2016).

농작업자의 농약 노출로 인한 건강 위험은 농약 등록단계에서 평가 되어야 한다. 그리하여 농작업자의 농약 노출을 방지하기 위하여 농약 포장지(병)에 개인 보호 장비 착용 문구를 표기하거나 재출입기간에 대한 정보를 제공함으로써 농작업자 건강을 관리해야 한다. 이를 위해 국내 농업환경을 반영한 다양한 농작업자에 대한 노출 시나리오 및 평가 모델 개발에 대한 연구가 시급하다.

감사의 글

본 연구는 2018년부터 2021년까지 수행중인 농촌진흥청의 “비닐하우스 재배조건에서의 농약 노출 평가(과제번호; PJ01346603)”의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Author Information and Contributions

Yeon-Ki Park, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, https://orcid.org/0000-0002-1870-794X, Conceptualization, Investigation and Writing

Jin-A Oh, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, https://orcid.org/0000-0002-1166-4377, Investigation, Data curation and Review

Soo-Jin Park, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, https://orcid.org/0000-0002-2522-3185, Data curation and Review

Ji-Young Shin, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, https://orcid.org/0000-0003-3177-161X, Visualization and Review

Jeung-Hyeon Lim, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, https://orcid.org/0000-0003-4524-9689, Data curation

Hye-Jin Park, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, https://orcid.org/0000-0001-9718-7876, Review and Editing

Seul Lee, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Master, https://orcid.org/0000-0001-9777-0703, Data curation

Myung-Ji Lee, Toxicity and Risk assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Master, https://orcid.org/0000-0003-3348-6222, Visualization

Conflict of Interest

The authors declare that have no conflict of interest.

Literature cited

Aprea C, Centi L, Lunghini L, Banchi B, Aurelia M, et al., 2002. Evaluation of respiratory and cutaneous doses of chlorothalonil during re-entry in greenhouse. J. Chromatography B 778(1-2):131-145.

Aprea C, Centi L, Santini S, Lunghini L, Banchi B, et al., 2005. Exposure to omethoate during stapling of ornamental plants in intensive cultivation tunnels: influence of environmental conditions on absorption of the pesticide. Arch Environ Contam Toxicol 49(4):577-588.

Baldi I, Lebailly P, Bauvier G, Rondeau V, Kientz-Bouchart, V, et al., 2014. Levels and determinants of pesticide exposure in re-entry workers in vineyards: Results of the PESTEXPO study. Environ Res 132:360-369.

Bradman A, Salvatore AL, Boeniger M, Castorina R, Snyder J, et al, 2009. Community-based intervention to reduce pesticide exposure to farmworkers and potential take-home exposure to their families. J Expo Sci Environ Epidemiol 19(1):79-89.

Brouwer R, Marquart H, Mik G, van Hemmen JJ, 1992. Risk assessment of dermal exposure of greenhouse workers to pesticides after re-entry. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 23(3):273-280.

Caffarelli V, Conte E, Correnti A, Gatti R, Musmeci F, et al., 2004. Pesticides re-entry dermal exposure of workers in greenhouses. Commun Agric Appl Biol Sci. 69(4):733-742.

Cherrie JW, Semple S, Christopher Y, Saleem A, Hughson GW, et al., 2006. How important is inadvertent ingestion of hazardous substances at work? Ann. Occup. Hyg. 50(7):693-704.

Dong MH, Beauvais S, 2013. Assessment of field reentry exposure to pesticides: limiations, uncertaninties, and alternatives. Hum. Ecol. Risk Assess. 19(3):579-600.

European Food Safety Authority (EFSA), 2014. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. EFSA J 12(10):3874.

Fenske RA, Birnbaum SG, Methner M, Soto R, 1989. Methods for assessing fieldworker hand exposure to pesticides during peach harvesting. Bull Environ Contam Toxicol 43(6):805-813.

Jurewicz J, Hanke W, Sobala W, Ligocka D, 2009. Assessment of the dermal exposure to azoxystrobin among women tending cucumbers in selected polish greenhouses after restricted entry intervals expired-the role of the protective gloves Int. J. Occup. Med. Environ. Health 22(3):261-267.

Kittas C, Katsoulas N. Bartzanas T, Kacira M, Boulard T, 2014. Exposure of greenhouse workers to pesticides. Acta Hort 1037:1133-1138.

Korea Crop Protection Association (KCPA), 2020. Agrochemical use guide Book.

Korpalski S, Bruce E, Holden L, Klonne D, 2005. Dislodgeable foliar residues are lognormally distributed for agricultural re-entry studies. J Expo Anal Environ Epidemiol 15(2):160-163.

Krol WJ, Arsenault T, Mattina MJI, 2005. Assessment of dermal exposure to pesticides undet “pick your own” harvesion conditions. Bull Environ Contam Toxicol 75(2): 211-218.

Krieger RI, Dinoff TM, 2000. Captan fungicide exposures of strawberry harvesters using THPI as a urinary biomarker. Arch Environ Contam Toxicol 38(3):398-403.

Li Y, Chen L, Chen Z, Coehlo J, Cui Liu Y, et al, 2011. Glove accumulation of pesticide residues for strawberry harvester exposure assessment. Bull Environ Contam Toxicol 86(6): 615-620.

Park YK, Oh JA, Shin JY, Lee S, Lee MJ, et al, 2020. Risk assessment on exposure of acetamiprid for agricultural worker in greenhouse. The Korea J. Pesticide Science 24(3) 247-254.

Ross JH, Dong MH, Krieger RL, 2000. Conservatism in pesticide exposure assessment. Regul Toxicol Pharmacol. 31(1):53-58.

Rural Development Administration (RDA), 2020. Agrochemicals Management Act.

Salvatore AL, Bradman A, Castorina R, Camacho J, Lopez J, et al, 2008. Occupational behaviors and farmworkers’ pesticide exposure:findings from a study in Monterey county, California. Am J ind Med 51(10):782-794.

Sankaran G, Chen L, Chen Z, Liu Y, Lopez T, et al., 2015. The importance of hand exposures to absorbed dosage of hand harvesters. J. Toxicol. Environ. Health Part A. 78(21-22): 1369-1383.

Toumi K, Vleminckx C, van Loco, Schiffers B, 2016. A survey of pesticides in cut flowers from various countries. Commun Appl Biol Sci 81(3):493-502.

US/EPA, 2021. Science Advisory Council for Exposure (ExpoSAC) Policy 3. Office of pesticide programs. https//: www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticie-risk/ science-advisory-council-exposure-exposac-policy-3-0.

Whitmyre GK, Ross JH, Lunchick C, Volger B, Singer S, 2004. Biphasic dissipation kinetics for dislodgeable foliar residues in estimating postapplication occupational exposures to endosulfan. Arch Environ Contam Toxicol 46(1):17-23.

농약 4종의 비닐하우스 딸기 농작업자 노출량 및 재출입기간 설정

박연기* · 오진아 · 박수진 · 신지영 · 임정현 · 박혜진 · 이슬 · 이명지
국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과

요 약 농약 4종의 비닐하우스 딸기 옆면 잔류량(DFR; Dislodgeable Foliar Residue)과 수확, 이식, 제초작업 동안 농작업자 피부 노출량을 농약 노출평가 모델 OPREC(Occupational Pesticide Re-entry Exposure Calculator)를 이용하여 구하였다. 비닐하우스 딸기 잎의 DFR은 아바멕틴 1.714% 액상수화제의 경우 0.02580~0.00109 μg/cm^2, 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 0.15005~0.00636 μg/cm^2, 인독사카브 7% 입상수화제는 0.10518~0.00446 μg/cm^2, 피리다벤 10% 유탁제는 0.30039~0.01273 μg/cm^2 이었다. 농작업자 피부 노출량은 아바멕틴 1.714% 액상수화제의 경우 수확, 이식, 제초작업 동안 각각 0.37845~0.01604, 0.07913~0.00335, 0.02408~0.00102 mg/kg/day 이었고, 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 각각 2.20078~0.09329, 0.46016~0.01951, 0.14005~0.00594 mg/kg/day, 인독사카브 7% 입상수화제는 각각 1.54261~0.06539, 0.32254~0.01267, 0.09817~0.00416 mg/kg/day, 피리다벤 10% 유탁제는 각각 4.40568~0.18676, 0.92119~0.03905, 0.28036~0.01188 mg/kg/day 이었다. 농작업자 피부 노출량과 무작용량(NOAEL; No Observed Adverse Effect Level)을 비교하여 재출입기간을 설정한 결과, 수확작업의 경우, 아바멕틴 1.714% 액상 수화제는 4일, 사이안트라닐리프롤 5% 분산성액제는 8일, 인독사카브 7% 입상수화제는 11일, 피리다벤 10% 유탁제는 15일이었다.

색인어 농약, 비닐하우스, 농작업자, 딸기, 재출입기간