

고독성 농약의 국내 농작업자 위해성 평가

홍순성* · 정미혜 · 박경훈 · 유아선 · 박연기 · 이제봉 · 김찬섭 · 신진섭¹ · 박재읍

국립농업과학원, ¹농업기술실용화재단

(2010년 5월 26일 접수, 2010년 6월 18일 수리)

The Preliminary Operator Risk Assessment of High Toxicological Pesticides in Korea

Soonsung Hong*, Mihye Jeong, Kyung Hun-Park, Are-Sun You, Yeon-Ki Park, Je-Bong Lee, Chan-Sub Kim, Jin-Sup Shin¹ and Jae-Eup Park

National Academy of Agricultural Science, ¹The foundation of Agricultural Technical Commercialization and transfer

Abstract

This study was carried out to estimate the risk of pesticide operators who use high toxicological pesticides. The class II (highly hazardous) pesticides registered in Korea were 15 products, and 11 products were spray type pesticides at orchard file in 2009. The using information based on the pesticide label and the data searched through survey of actual condition on pesticides were used for calculate the pesticide operator exposure dose. The risk quotients of these pesticides against the pesticides operator were calculated as divide pesticide exposure dose by reference dose which were presented by EFSA (European Food Safety Authority), JMPR (Joint FAO Meeting on Pesticide Residues), and US/EPA (United States Environmental Protection Agency). Omethoate showed the highest risk quotient and the values were 338 and 75 when the operator spray using speed sprayer and motor sprayer respectively. Risk quotients of all class II pesticide were above 1. This result means that the risk potential of these pesticides are very high.

Key words The class II (highly hazardous) pesticides, UK-POEM, pesticide operator, risk quotient

서 론

우리나라 농약의 독성구분은 세계보건기구에서 권장하는 독성강도에 따른 구분방식을 채택하여 농약관리법 시행령에 의하여 I급(맹독성), II급(고독성), III급(보통독성) 및 IV급(저독성)으로 구분하고 있다(농촌진흥청, 2009). 농약의 독성은 급성독성정도에 따라 시험동물의 반수를 죽일 수 있는 농약(제품)량(LD₅₀)으로 시험동물 체중 1 kg당 투여되는 약량(mg)으로 나타내며, 급성경구독성과 급성경피독성 성적으로

각각 고체와 액체로 나누어 구분한다. II급인 고독성 농약은 급성경구독성시험에서 산출된 LD₅₀이 고체인 농약의 경우 5~49, 액체인 경우 20-199 mg/kg인 경우와 급성경피독성시험에서 산출된 LD₅₀이 고체인 경우 10~99, 액체인 경우 40~399 mg/kg인 비교적 높은 독성을 나타내는 농약을 의미한다.

2009년 12월 말 현재 우리나라에는 I급인 맹독성 농약은 없으며, II급인 고독성 농약은 15품목이 등록되어 있는데, 식물검역용으로 사용되는 메틸브로마이드 훈증제 및 알루미늄 포스파이드 등 2농약이 등록되어 사용되고 있으며, 일반 작물보호용으로 데메톤-에스-메틸 유제, 디클로르보스 유제, 메타미도포스 액제, 메토밀 수화제, 메토밀 액제, 메타다티온 유제, 모노크로토포스 액제, 벤푸라카브 유제, 엔도설판 유제,

*연락처 : Tel. +82-31-290-0590, Fax. +82-31-290-0508

E-mail: sikyale@korea.kr

오메토에이트 액제, 이피엔 유제 트리아조포스 유제 및 포스 파미돈 액제 등 13 농약이 등록하여 사용되고 있다. 국내 농약의 출하량은 연간 25,000톤 내외인데 고독성 농약의 출하량이 2,000톤 내외로서 8% 내외를 차지하고 있다. 국내 농약은 1,367의 품목인데 고독성 농약은 15품목으로 1% 내외이고, III급인 보통독성 농약은 173품목으로 13% 이하, IV급인 저독성 농약은 1,177품목으로 나머지 86% 정도를 차지한다(농약관리시스템, 2009).

이러한 고독성 농약은 제품의 급성독성을 기준으로 구분되어 있으므로 농약을 생산 운반하거나 판매하는 취급자와 특히 농약을 살포하는 작업에 종사하는 농업인의 보호에 있다고 할 수 있다. 농약관리 부서인 농촌진흥청에서는 농약안전사고 방지와 농작업자를 보호하기 위하여 유통단계별로 취급제한 기준을 설정하는 등 규제조치를 하고 있는데, 수송, 보관, 판매 및 사용 등 취급시 제한기준 준수 법적으로 의무화하고 있으며, 안전성이 확보될 때까지 물량제한 등 규제조치를 취하고 있으며, 제한적이고 허가된 장소에서만 사용하는 메틸브로마이드 훈증제, 알루미늄포스파이드 훈증제 등 2가지 식물검역용 농약을 제외한 나머지 13 고독성 농약은 2011년 재등록 때 농약생산업체가 자율적으로 등록신청을 취하도록 유도하고 있다(농업인지식포럼, 2010).

이러한 고독성 농약의 농약 살포자에 대한 영향은 농약중독에 관한 보고에서 잘 나타나고 있다. 박 등(1999)의 설문조사에 의하면 조사대상의 33%가 농약살포후 두통이나 현기증, 구토, 눈 흐려짐 등의 중독증상을 경험하였다고 응답했고, 해당연도에 사용한 농약의 33%가 대부분의 고독성 농약 계열인 유기인계 농약이었음을 고려할 때 고독성 농약의 농작업자에 대한 위해성이 상당한 수준임을 짐작하게 한다.

현재 EU 국가 등 다른 선진국에서는 농약살포자에 대한 위해성이 크다는 이유로 점차 고독성 농약의 이용을 줄여나가고 있으며 등록된 농약들에 대해서도 농약살포자의 위해성 평가를 새롭게 수행하고 있는 실정이다(2009, EU).

따라서 본 연구에서는 선진국에서 이루어지고 있는 농약 살포자에 대한 평가기법을 이용하여 우리나라에 맞는 농약노출량에 대한 시나리오를 작성하고 현재 우리나라에 등록되어 사용되고 있는 고독성 농약을 대상으로 과원 농약살포자에 대한 위해성을 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

고독성 농약의 사용현황 조사

15개 품목의 고독성 농약 중 농약살포자 노출량을 산정하

기 위하여 과원에서 분무형태로 살포되는 벤퓨라카브 유제 등 11종의 농약에 대한 농약사용 정보를 농약사용 지침서를 이용하여 조사하였다.

고독성 농약의 농약살포자 노출량 산정

농약살포자에 대한 농약 노출량은 UK-POEM(United Kingdom Predicted Operator Exposure Model)을 한국상황에 맞게 변형하여 산정하였다(홍 등, 2007). SS(speed sprayer)기를 이용하여 약제를 살포하는 경우 “Tractor-mounted /trailed broadcast air-assisted sprayer: 500 L/ha”의 노출시나리오를 우리나라 상황에 맞게 변형하여 1일 살포면적을 4 ha로 계산하였으며, 1일 작업시간은 6시간, 피부흡수율은 약제의 제조와 살포시 모두 10%로 설정하였다. 동력분무기(MS, Motor sprayer)를 이용하는 경우에는 “Hand-held rotary atomizer equipment(2.5L tank). Outdoor, high level target”의 시나리오를 변형하였으며, 1일 살포면적 1 ha, 1일 작업시간은 6시간으로 설정하였고 피부흡수율은 SS기를 이용한 살포와 동일하게 10%를 기준으로 하였다. 또한 우리나라에 등록되어 있는 고독성 농약은 모두 사과와 귤과 같은 과수에 등록되어 있어 ha당 살포물량은 4,500 L로 계산하였다.

고독성 농약의 국제기구 독성기준치 조사

농약의 위해성을 평가하기 위해 JMPR, EFSA, US/EPA, 일본이나 한국의 위해성 평가기관과 같은 국제평가기관에서 발표한 독성기준치인 농작업자노출허용량(AOEL, Acceptable Operator Exposure Level), 일일섭취허용량(ADI, Acceptable Daily Intake), 급성기준치(aRfD, acute Reference Dose) 및 만성기준치(cRfD, chronic Reference Dose) 등의 독성기준치를 조사하였다. 농약살포자에 대한 위해성 평가시에는 노출량과 비교하기 위한 독성기준치로 농작업자노출허용량이나 급성기준치와 같은 단기 독성 기준을 이용하도록 되어 있지만, 단기 독성기준치가 설정되어 있지 않는 경우는 일일 섭취허용량나 만성기준치와 같은 장기 독성기준치를 이용하여 위해성 평가를 실시하였다.

고독성 농약의 농약살포자 위해성 평가법

농약살포자에 대한 위해성 평가는 농약살포자의 농약노출량을 독성기준치와 비교하여 산정하는 위해성 지수(RQ, Risk Quotient)를 이용하여 수행하였는데, 위해성지수는 노출량을 독성기준치로 나누어서 계산하였다.

위 식에서 위해성 지수가 1 이하인 경우 노출량이 독성기준

치보다 낮음을 의미하므로 받아들일 수 있는 정도의 위해성이 있다고 판단하였으며, 1보다 클 때에는 노출량이 독성기준치보다 높음을 의미하므로 위해성이 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

고독성 농약사용 현황

고독성 농약의 농약 살포자 농약 노출량을 산정하기 위하여 분무형태로 살포되는 벤퓨라카브 유제 등 11종의 농약에 대한 농약사용 정보를 농약사용지침서를 이용하여 조사하였다(작물보호협회, 2009). 조사결과 디클로르보스 유제, 오메

토에이트 액제, 포스파미돈 액제의 경우 주성분의 함량이 50%이었고, 이피엔 유제, 메토밀 액제는 45%, 메티다티온 유제, 트리아조포스 유제가 40%로 비교적 주성분 함량이 높았다. 또한 모든 고독성 농약은 사과와 감귤과 같은 농약 살포자에 대한 노출량이 많을 것으로 예상되는 과수에 이용되고 있었다.

고독성 농약의 농약살포자 농약노출량 산정

벤퓨라카브 유제 등 11종의 고독성 농약에 대한 사용정보를 농작업자 농약노출량 산정 프로그램에 대입하여 SS기를 이용한 농약살포방법과 MS기를 이용한 농약살포방법에 대

Table 1. Using information (label information) of pesticides for occupational risk assessment

Pesticide	Formulation Type	% a.i	Crop	Using volume(L)/20 L water
Benfuracarb	EC	30	citrus	20
Demeton-S-methyl	EC	25	apple	20
Dichlorvos	EC	50	apple	20
EPN	EC	45	apple	20
Methidathion	EC	40	citrus	20
Methomyl	WP	45	apple	13
Methomyl	SL	24.1	apple	20
Monocrotophos	SL	24	apple	20
Omethoate	SL	50	apple	25
Phosphamidon	SL	50	apple	20
Triazophos	EC	40	citrus	20

EC : Emulsifiable Concentrate, WP : Wettable Powder, SL : Soluble Concentrate

Table 2. Exposure values of application using Speed sprayer

Name	without PPE				with PPE			
	Absorbed Dose (mg/day)			Exposure (mg/kg/day)	Absorbed Dose (mg/day)			Exposure (mg/kg/day)
	M/L*	App.	Total		M/L	App.	Total	
Benfuracarb (EC)	5.400	3.726	9.126	0.152	0.540	2.646	3.186	0.053
Demeton-S-methyl (EC)	4.500	3.105	7.605	0.127	0.450	2.205	2.655	0.044
Dichlorvos (EC)	9.000	6.210	15.210	0.254	0.900	4.410	5.310	0.089
EPN (EC)	8.100	5.589	13.689	0.228	0.810	3.519	4.329	0.072
Methidathion (EC)	7.200	4.968	12.168	0.203	0.720	3.528	4.248	0.071
Methomyl (WP)	10.630	3.633	14.263	0.238	0.245	2.580	2.825	0.047
Methomyl (SL)	4.338	2.993	7.331	0.122	0.217	2.126	2.343	0.039
Monocrotophos (SL)	4.320	2.981	7.301	0.122	0.216	2.117	2.333	0.039
Omethoate (SL)	11.500	7.763	19.263	0.321	0.575	5.513	6.088	0.101
Phosphamidon (SL)	9.000	6.210	15.210	0.254	0.450	4.410	4.860	0.081
Triazophos (EC)	7.200	4.968	12.168	0.203	0.720	3.528	4.248	0.071

* M/L : Mixing/Loading

EC : Emulsifiable Concentrate, WP : Wettable Powder, SL : Soluble Concentrate

Table 3. Exposure values of application using Motor sprayer

Name	without PPE			Exposure (mg/kg/day)	with PPE			Exposure (mg/kg/day)
	Absorbed Dose (mg/day)				Absorbed Dose (mg/day)			
	M/L*	App.	Total		M/L	App.	Total	
Benfuracarb(EC)	3.375	2.246	5.621	0.094	0.338	0.513	0.851	0.014
Demeton-S-methyl(EC)	2.813	1.871	4.684	0.078	0.281	0.428	0.709	0.012
Dichlorvos(EC)	5.625	3.743	9.368	0.156	0.563	0.855	1.418	0.024
EPN(EC)	5.163	3.368	8.531	0.142	0.506	0.770	1.276	0.021
Methidathion(EC)	4.500	2.994	7.494	0.125	0.450	0.684	1.134	0.019
Methomyl(WP)	3.809	2.189	5.999	0.100	0.119	0.500	0.619	0.010
Methomyl(SL)	2.700	1.804	4.504	0.075	0.135	0.412	0.547	0.009
Monocrotophos(SL)	2.700	1.796	4.496	0.075	0.135	0.410	0.545	0.009
Omethoate(SL)	5.625	4.678	10.303	0.172	0.281	1.069	1.350	0.022
Phosphamidon(SL)	5.625	3.743	9.368	0.156	0.281	0.855	1.136	0.019
Triazophos(EC)	4.500	2.994	7.494	0.125	0.450	0.684	1.134	0.019

* M/L : Mixing/Loading

EC : Emulsifiable Concentrate, WP : Wettable Powder, SL : Soluble Concentrate

한 농약노출량 산정결과를 표 2와 표 3에 나타내었다. SS기를 이용하여 과수에 농약을 살포하는 경우 오메토에이트 액제의 노출량이 0.321 mg/kg/day로 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 디클로르보스 유제, 포스파미돈 액제, 메토밀 수화제의 순서로 노출량이 많았다. 개인보호장비를 착용하지 않았을 때의 노출경향은 약제의 살포시 보다 조제시에 더 많이 노출되는 것으로 나타났으나, 개인보호장비를 착용했을 경우에는 조제시의 노출량이 상당부분 감소하는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 개인보호장비를 착용한 경우의 농약노출량은 착용하지 않았을 때 보다 3배정도 적은 것으로 나타났다.

MS기를 이용한 살포방법에서의 노출도 SS기를 이용한 살포방법에서와 마찬가지로 오메토에이트 액제가 0.172 mg/kg/day로 노출량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 디클로르보스 유제, 포스파미돈 액제, 메토밀 수화제의 순서로 많이 노출되었고, 노출경향도 개인보호장비를 착용하지 않았을 경우 조제과정에서 노출량이 컸으며, 개인보호장비를 착용한 경우에는 조제시의 노출량이 상당량 줄었다. 전체적으로 개인보호장비를 착용했을 때의 농약노출량은 착용하지 않은 경우보다 7-8배정도 적은 것으로 나타났다. SS기와 MS기를 이용하여 살포하였을 경우 노출량은 모두 SS기의 경우에 노출량이 많았는데, 개인보호장비 미착용 시에 1.5-2배, 개인보호장비 착용시에는 4-4.5배 정도 SS기를 사용하는 경우가 노출량이 많았다.

고독성 농약의 독성기준치

고독성 농약들에 대한 국제적으로 이용되는 독성기준치를 조사한 결과를 표 4에 나타내었다. Benfuracarb, methomyl, omethoate는 농작업자 농약노출기준인 농작업자노출허용량이 설정되어 있었으나, 나머지 약제들에 대해서는 조사되지 않았다. 따라서 dichlorvos, methidathion, monocrotophos, triazophos는 급성기준치를 이용하였고, demeton-S-methyl, EPN, phosphamidon은 일일섭취허용량 값을 이용하여 위해성 평가를 수행하였다.

고독성 농약의 위해성 평가

고독성 농약의 농약살포자 위해성 평가결과를 표 5와 표 6에 나타내었다. 위해성 평가는 농약살포시에 개인보호장비를 착용하였을 경우만 상정하였다. SS기를 이용하여 농약을 살포하는 경우 모든 고독성 농약의 위해성 지수가 1이상으로 평가되었으며, 그 중 오메토에이트 액제의 위해성 지수는 338로 가장 높았다. 이러한 평가결과는 오메토에이트 액제의 경우 농약살포자에 대해서 위해성 평가기준보다 338배의 위해 가능성을 가지고 있다는 의미이다. 또한 포스파미돈 액제도 150이상의 위해성 지수를 나타내었고, 트리아조포스 유제, 이피엔 유제, 디클로르보스 유제, 메티다티온 유제, 모노크로토포스 액제, 메토밀 수화제, 메토밀 액제도 10배 이상의 위해가능성 나타냈으며, 벤푸라카브 유제, 베폴라카브 수화제, 데메톤-에스-메틸 유제의 위해성 지수는 1-10이었다. MS

Table 4. Reference value of pesticides used in korean orchards for risk assessment

Name	Reference values (mg/kg/day)					
	JMPR	EFSA	ACP	US/EPA	Japan	Korea
Benfuracarb		0.01 (AOEL)	0.01 (AOEL)			
"		0.02 (aRfD)	0.007 (AOEL)			
"		0.01 (ADI)	0.01 (aRfD)			
"			0.007 (ADI)			
Demeton-S-methyl	N.R. (ADI)					0.01 (ADI)
Dichlorvos			0.05 (aRfD)	0.002 (aRfD)		
"			0.0005 (ADI)	0.0005 (cRfD)		
EPN					0.0014 (ADI)	
Methidathion	0.001 (ADI)		0.01 (aRfD)	0.002 (aRfD)		
"				0.0015 (cRfD)		
Methomyl	0.02 (aRfD)	0.0025 (AOEL)		0.02 (aRfD)		
"	0.02 (ADI)	0.0025 (aRfD)		0.008 (cRfD)		
"		0.0025 (ADI)				
Monocrotophos	0.002 (aRfD)					
"	0.0006 (ADI)					
Omethoate		0.0003 (AOEL)				
"		0.002 (aRfD)				
"		0.0003 (ADI)				
Phosphamidon	0.0005 (ADI)					
Triazophos	0.001 (aRfD)		0.05 (ADI)			
"	0.001 (ADI)					

AOEL : Acceptable Operator Exposure Level

aRfD : acute Reference Dose

cRfD : clonic Reference Level

ADI : Acceptable Daily Intake

Table 5. The result of risk assessment of class II pesticides when the speed sprayer was used for application (with PPE)

Name	Absorbed Dose (mg/day)	Exposure (mg/kg/day)	Referance dose (mg/kg/day)	Risk Quotient
Benfuracarb (EC)	3.186	0.053	0.01	5.31
Demeton-S-methyl (EC)	2.655	0.044	0.01	4.40
Dichlorvos (EC)	5.310	0.089	0.002	44.25
EPN (EC)	4.329	0.072	0.0014	51.54
Methidathion (EC)	4.248	0.071	0.002	35.40
Monocrotophos (SL)	2.333	0.039	0.002	19.44
Methomyl (WP)	2.825	0.047	0.0025	18.80
Methomyl (SL)	2.343	0.039	0.0025	15.62
Omethoate (SL)	6.088	0.101	0.0003	338.19
Phosphamidon (SL)	4.860	0.081	0.0005	162.00
Triazophos (EC)	4.248	0.071	0.001	70.80

EC : Emulsifiable Concentrate, WP : Wettable Powder, SL : Soluble Concentrate

Table 6. The result of risk assessment of class II pesticides when the MS was used for application (with PPE)

Name	Absorbed Dose (mg/day)	Exposure (mg/kg/day)	Reference dose (mg/kg/day)	Risk Quotient
Benfuracarb (EC)	0.851	0.014	0.0100	1.42
Demeton-S-methyl (EC)	0.709	0.012	0.0100	1.20
Dichlorvos (EC)	1.418	0.024	0.0020	11.81
EPN (EC)	1.276	0.021	0.0014	15.19
Methidathion (EC)	1.134	0.019	0.0020	9.45
Monocrotophos (SL)	0.545	0.009	0.0020	4.55
Methomyl (WP)	0.619	0.010	0.0025	4.00
Methomyl (SL)	0.547	0.009	0.0025	3.65
Omethoate (SL)	1.350	0.022	0.0003	74.99
Phosphamidon (SL)	1.136	0.019	0.0005	37.88
Triazophos (EC)	1.134	0.019	0.0010	18.90

EC : Emulsifiable Concentrate, WP : Wettable Powder, SL : Soluble Concentrate

기를 이용하여 농약을 살포하는 경우에도 벤퓨라카브 유제를 제외한 모든 고독성 농약에서 위해성 지수가 1이상인 것으로 계산되었으나 SS기를 이용할 때보다는 3-5배 정도 위해가능성이 낮은 것으로 나타났다.

고독성 농약에 대한 우리나라 농작업자의 노출위해성은 표 5와 표 6에서 나타난 것처럼 위해성지수가 모두 1이상으로 농작업자의 농약노출량이 농작업자노출허용량보다 많음을 나타내며 그 범위는 1.4~338.19로 어떤 농약은 매우 위해성이 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 수치는 계산상의 수치이므로 가장 정확한 방법은 계산적인 방법이 아닌 실측에 의한 노출량이 구해지면 더 정확한 방법이라고 할 수 있으며, 국내에서도 위해성이 있으면 실제 포장에서 노출량을 산정하는 시험성적을 제출하도록 제도화되어 있다.

표 5와 표 6에서 제시한 위해성평가는 앞서 언급한 바와 같이 위해성이 과장된 면이 있다고 하더라도 현재 우리나라

에 등록되어 사용되고 있는 고독성 농약이 농약살포자에 대한 위해성이 높다는 것을 의미하며, 이에 대한 조속한 대책마련이 시급한 것으로 판단된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

EU(2009), <http://www.efsa.europa.eu>
 농업인지식포럼, 2010, <http://greenceo.kr/bbs>
 농촌진흥청(2009) 농약관리법령 및 고시·훈령집. 문성사. p. 91.
 박성균, 남상민, 황규석, 박현미, 정수은, 김은주, 김희선, 선병관, 양윤정, 이은희, 조형두(1999) 일부 농촌주민의 농약중독 관련 요인에 관한 조사연구. 대한산업의학회지, 11(2):196~205.
 농약연보. 한국작물보호협회(2009). 문선기획. pp. 16~251.
 농약사용지침서. 한국작물보호협회(2009). 삼정인쇄공사.
 홍순성, 이제봉, 박연기, 신진섭, 임건재, 류갑희(2007). 과수농작업자 농약노출량 산정법 제안. 한국농약과학회지 11(4):281~288.

고독성 농약의 국내 농작업자 위해성 평가

홍순성* · 정미혜 · 박경훈 · 유아선 · 박연기 · 이제봉 · 김찬섭 · 신진섭¹ · 박재음

국립농업과학원, ¹농업기술실용화재단

요 약 본 연구는 고독성 농약의 농약살포작업자에 대한 위해성을 알아보기 위하여 수행되었다. 국내에서 등록되어 사용되고 있는 고독성 농약 중 분무의 형태로 과수에 살포되는 11품목의 농약에 대한 일반적인 사용정보와 우리나라의 농약사용실태 조사를 통하여 습득한 데이터를 노출량산정 프로그램인 UK-POEM에 적용하여 농약살포자의 농약노출량을 산정하고, 산정된 노출량을 국제기구에서 발표한 농약에 대한 독성기준치와 비교하여 위해성 지표를 산출하였다. 개인보호장비를 착용한 경우 오메토에이트 유제의 위해성 지수는 SS기를 이용하여 농약을 살포할 때와 MS기를 이용하여 농약을 살포할 때 각각 338과 75로 가장 높았으며, 모든 고독성 농약에 대한 위해성 지수가 1이상으로 평가되었다. 이는 고독성 농약의 농약살포자에 대한 위해가능성이 매우 높다는 것을 의미한다.

색인어 고독성농약, UK-POEM, 농약살포자, 위해성