



ISSN 1229-8565 (print)

한국지역사회생활과학회지

Korean J Community Living Sci

<http://doi.org/10.7856/kjcls.2017.28.3.391>

ISSN 2287-5190 (on-line)

28(3): 391~401, 2017

28(3): 391~401, 2017

일부 과수재배 남성 농업인의 농약 살포 시 보호구 착용 여부에 따른 피레스로이드계 농약노출평가

오 정 순¹⁾ · 노 상 철^{2)†}

단국대학교병원 농업안전보건센터, 호서대학교 일반대학원¹⁾, 단국대학교 의과대학 직업환경의학교실²⁾

Evaluation of Exposure Level to Pyrethroid Pesticides according to Protective Equipment in Male Orchard Farmers

Jungsun Oh¹⁾ · Sangchul Roh^{2)†}

Center for Farmers' Safety and Health, Dankook University Hospital, Cheonan, Korea

Graduate School, Hoseo University, Asan, Korea¹⁾

Dept. of Occupational and Environment Medicine, College of Medicine, Dankook University, Cheonan, Korea²⁾

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the relationships between exposure level to pyrethroid pesticide and wearing of protective equipment in 194 Chung-nam orchard male farmers. The urinary metabolites of pyrethroid pesticides, including Cis, Trans, DBCA, and 3-PBA, were analyzed by GC/MSD. As a result of this study, the detection rate and exposure level of 3-PBA was the highest among pyrethroid metabolites discovered by orchard farmers. As a result of analyzing the actual conditions of wearing protective equipment by the subjects of this study, the rate of agricultural farmers who wore four pieces of protective equipment compared to agricultural farmers wearing a single piece of protective clothing was as high as 35.1%. Pyrethroid exposure levels were low when farmers wore more personal protective equipment (PPE). In conclusion, training with regards to pesticide hazards and protective equipment for farmers who spray pesticides will help reduce pesticide exposure levels.

Key words: biological monitoring, pyrethroids, pesticide exposure, personal protective equipment

This research was supported by grants from Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs of Korea(2014-08-003)

Received: 1 July, 2017 Revised: 11 July, 2017 Accepted: 14 August, 2017

†Corresponding Author: Sang-chul Roh Tel: +82-41-550-7340, E-mail: scroh@dku.edu

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.

I. 서론

농약은 농작물을 보호하고 성장시켜주며 잡초의 방제에 매우 중요한 수단으로 이용되고 있다. 또한 농업 생산성의 양적증대와 농작업 시간을 단축시켜주는 현대 농업현장에 있어서 필수불가결한 농업자재라 할 수 있다. 그러나 농약은 잡초에 대한 독성을 발휘하는 만큼 농약을 직접 살포하는 농업인에게 건강영향을 미칠 가능성이 있는 물질이다(Hong et al. 2007). 농약 사용의 증가는 노출된 농업인의 건강상태에 대한 관심도 증가시켰다. 이에 세계적으로 농업인의 농약 노출에 관한 급성 및 만성중독에 관한 많은 연구가 수행되고 있다. 농약은 화학적 종류에 따라 서로 다른 독성을 갖고 있다. 아세틸콜린에스테라제의 억제제 일거나 신경전달을 마비시키는 매우 독성이 강한 유기인계(Organophosphates), 유기인계와 증상은 비슷하나 콜린에스테라제를 억제하는 기능 및 독성이 유기인계에 비해 상대적으로 약한 카바메이트계(Carbamate), 살충력이 높으며 인체에는 독성이 적어 널리 사용되고 있는 피레스로이드계(Pyrethroid) 등이 있다(Song et al. 2014). 현재는 유기인계 대신 비교적 독성이 적고 반감기가 짧아 24시간 이내에 90%가 대사되어 배출되는 피레스로이드계 살충제를 널리 사용하고 있다. 피레스로이드계 살충제는 말초신경에 직접적으로 작용하여 과민반응, 운동장애, 경련, 마비 등을 일으키는 것으로 알려져 있다(Bradbury et al. 1983). 인체의 독성 및 중독 증상은 신경의 과 흥분에 의해 나타나지만 중독 후 신경계의 해부학적 변화는 관찰되지 않는다는 특징이 있다(Cabral et al. 1986). 피레스로이드계 살충제 중 동물실험에서 DNA 손상을 유발하는 Cypermethrin이 미국 환경청에 등록되어 있으며, 우리나라는 Permethrin이 내분비계 장애추정물질로 등록되어 있다. 이에 따라 피레스로이드계 살충제가 인체에 미치는 영향에 대한 연구의 필요성이 시급하다(Song 2009).

농약과 같이 피부로 흡수되는 유해인자인 경우 실제 노출정도를 파악하기 위해서는 생물학적 모니터링

과 노출 환경에 대한 평가가 매우 중요하다. 농약 노출은 온도, 습도, 풍향 및 풍속 등의 환경요소와 농약의 조제, 농약 살포시간, 살포방법 및 농작물의 수확 작업으로 재 출입 등 다양한 과정에서 이루어지고 있다. 노출의 수준은 주로 작물 종류, 농약 살포시간, 살포방법, 보호구 착용 등에 의해 큰 영향을 받고 있다(Kim et al. 2011). 농약은 장기간 노출되는 농업인에게는 심각한 질환이나 사고의 위험성을 일으킬 수 있는 물질로 농약의 노출을 최소화시키기 위해서는 보호구의 착용이 매우 중요하다. 이에 농약 살포용 보호구의 규정(농림수산부 공고 제 87-7호, 1987)이 발표된 후로 국내에서 농약 보호구에 대한 연구와 보호구 착용의 필요성의 연구들이 진행되었다(Hwang et al. 2007; Lee et al. 2016). 이러한 다양한 보호구의 착용과 건강 증진을 위한 연구가 많이 진행되었음에도 불구하고 농작업자는 농약 노출환경에 대한 위험성을 인지하지 못하고 있으며(Kim et al. 2016), 농약 살포 시 보호구 착용의 필요성을 인식하고는 있으나 착용 시 인체로부터 외기로의 열과 습기의 통과를 제한하고 불쾌감을 느껴 착용을 회피하는 경향이 있다(Hwang et al. 2008). 농약 방제 시 보호구를 착용하지 않았을 경우 또는 농약방제용 보호구가 아닌 일반적인 작업복, 면장갑, 면 마스크 등을 착용하였을 경우 이로 인해 농업인이 고농도로 농약에 노출될 수 있다. 농약의 피부를 통한 인체 침투로는 전체 농약 침투량의 87%를 차지하며(Dejonge et al. 1985), 대부분의 농약은 피부 표면과 점막을 통해 가장 많이 흡수된다고 보고한 바 있다(Choi et al. 2006). 농약 살포 시 보호구를 착용함으로써 농약 노출을 감소시켜 농약의 위험도를 줄일 수 있다.

최근에 와서 농작업자의 피레스로이드계 살충제 노출정도를 평가하는 연구들이 활발하게 이루어지고 있다(Song et al. 2014; Kim et al. 2015; Song et al. 2016). 국내외에서 생체 모니터링을 이용한 유기인계 살충제에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나 피레스로이드계 살충제에 대한 자료는 많이 부족한 실정이다. 대부분의 농약은 피부를 통해 흡수되기 때문

에 농약 살포 시 보호구의 착용 여부에 따라 노출 양상이 매우 다르게 나타난다. 이에 본 연구에서는 과수재배 농업인의 소변에서 피레스로이드계 농약에 대한 생물학적 모니터링을 실시하였으며 농약 살포 시 보호구 착용 여부에 대한 노출 수준을 알아보고 보호구의 착용 개수에 따라 피레스로이드계 농약 노출 수준의 경향성을 보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 충남 예산지역에 거주하는 과수재배 농업인을 대상으로 농작업의 특성 및 농약노출의 주요 요인을 파악하기 위하여 2015년 7월 21일~7월 24일 까지 4일간 건강검진과 설문조사를 진행하였다. 조사 전 해당 면사무소와 농협조합원에 조사의 취지를 설명한 후 동의를 얻었고, 과수재배 농업인에게 건강검진조사 홍보 후 신청서를 받게 하였다. 그 후 조사원이 전화면담을 통해 조사의 설명과 참여를 권유하였으며 검진 전 주의사항을 안내하였다.

조사에 참여한 총 332명 중 농약 살포 시 주로 보조 작업을 하는 여성(121명), 설문 미 응답자(17명)를 제외하고 직접 농약 살포를 담당하는 남성 농업인 194명을 최종 연구대상자로 하였다.

이 연구는 대상자 모두에게 조사 참여에 대해 설명 후 서면 동의를 받았으며, 연구 프로토콜은 단국대학교병원 연구윤리위원회(과제번호 2014-08-003)의 승인을 받았다.

2. 설문조사

설문조사 항목은 인구사회학적요인, 생활습관, 농약사용 및 살포작업, 농약살포 시 농약방제용으로 면장갑, 면셔츠, 면마스크 등은 보호구 범주에서 제외한 보호구 착용, 농약살포 시 안전수칙 준수, 농부중, 신경독성(Scandinavian Q-16), 농약 노출 경험, 농약 노출로 인한 치료경험 등이 포함되어 있으며, 모든 조사는 연구의 목적을 충분히 숙지하고 연구윤리교육을

이수한 조사원에 의해 1:1 면접방식으로 진행되었다.

3. 건강검진조사

신체계측을 하였고, 혈액검사는 일반 혈액검사(CBC 8종, 간 기능, 콜레스테롤, 혈당), 신장 기능 관련 검사(크레아티닌, 요소질소, 요산), 특수검사로 아세틸콜린에스테라제, 전립선암(남성), 갑상선암(여성)을 조사하였다.

4. 피레스로이드계 농약노출수준조사

1) 소변시료채취

소변시료는 검진 당일 오전에 일반적 소변검사(중간뇨)로 채취하였으며, 피레스로이드계 대사물질 분석용을 Conical tube에 담아 분석 전까지 -20℃에서 동결 보관 하였다.

2) 피레스로이드계 대사물질의 전처리 방법

전처리 방법으로는 소변시료 10.0ml를 screw cap tube에 취한 후 HCl(37%) 1ml, 내부표준물질 2-PBA (1mg/L) 100 μ L를 첨가하였다. 이를 water bath에서 90℃, 1시간 동안 가수분해 후 상온에서 식혔다. 추출용매 n-hexane 5ml를 첨가하고, 10분 정도 흔든 후 원심분리(1,500g \times 5min)하여 상층액을 다른 시험관에 분리하였다. n-hexane 5ml 넣고 다시 추출하여 상층액을 분리하였다. 이렇게 두 번의 과정에서 얻은 유기층을 시험관에 넣고 N₂ 가스로 완전히 건조 후 toluene 50 μ L, MTBSTFA 10 μ L를 넣은 후 중탕에서 70℃에서 45분 동안 유도체 시키고 이를 상온에서 식혔다. 피레스로이드계 대사물질의 총합(Σ PY)은 Cis-DCCA, Trans-DCCA, DBCA, 3-PBA 수치를 모두 합한 값으로 계산하였다.

3) 실험기기 및 분석조건

본 연구의 실험에 이용된 분석기기로 Hewlett-Packard 5890 Gas Chromatograph(GC) 장비에 direct interface로 연결된 HP 5973 Mass Spectrometer이고,

시료의 주입은 HP 7673A Autosampler를 이용하였다. 전처리 장비로는 유도체화 과정에서 사용되었던 water bath는 Mono-Tech MSB-30R, 시료의 농축과정에 필요한 EYELA사의 MGS-2200이었다. 본 연구에 전반적으로 사용되었던 GC/MSD의 분석조건은 Table 1와 같다.

Table 1. Retention time and fragment ions of pyrethroid metabolites

No	Tert-butyl-dimethylsilyl derivatives of	Retention time (min)	Detected masses (m/z)
1	cis-Cl ₂ CA	12.23	265, 225, 128
2	trans-Cl ₂ CA	12.43	265, 225, 128
3	Br ₂ CA	14.20	355, 115, 253
4	2-PBA(IS)	16.81	271, 197, 227
5	3-PBA	17.14	271, 197, 227

4) 피레스로이드계 대사물질 분석방법

피레스로이드계 대사물질의 분석방법은 Schettgen 방법을 그대로 사용하였다(Schettgen et al. 2002). 전처리를 마친 반응액 중 2 μ l를 GC/MSD로 분석하였다(Song et al. 2014). 피레스로이드계 대사물질 값은 크레아티닌으로 보정한 값을 사용하였다. 검출한계값(Limit of Detection, LOD)은 Cis-2,2-(dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid(Cis-DCCA) 0.5 μ g/g crea, Trans-2,2-(dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid (Trans-DCCA) 0.5 μ g/g crea, Cis-2,2-(dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid (DBCA) 0.5 μ g/g crea, 3-phenoxybenzoic acid (3-PBA) 0.3 μ g/g crea이었다. 피레스로이드 대사산물 결과 값 중 검출되지 않은 대상자의 경우, LOD 값을 $\sqrt{2}$ 로 나눈 값으로 대체하여 분석하였다(Richard et al. 2011).

5. 통계분석

통계분석은 SPSS(ver. 23)를 이용하였으며 각 집단별 피레스로이드계 검출률의 비교는 카이제곱 검정을 실시하였고, 농약 살포 시 보호구 착용에 따른 피레스

로이드계 대사물질량의 비교는 Analysis of Variance (ANOVA)를 이용하였다. 보호구(농약살포용 장갑, 보안경, 보호모자, 방제복(상하복), 보호장화, 보호마스크)의 착용 여부는 미착용(거의안함, 가끔착용), 착용(자주착용, 항상착용)으로 범주화하여 사용하였으며, 보호구의 착용 개수에 따른 피레스로이드계 대사물질량의 비교는 연령을 보정하여 Generalized Linear Model(GLM)으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 대상자의 일반적 특성

조사 대상자의 평균 연령이 64.6세였으며, 학력은 고등학교 졸업 이상이 46.4%를 차지하였고, 결혼 상태는 기혼자가 95.8%였다. 가구원의 연평균 총 소득은 4,000만 원 이하가 40.2%, 4,000만 원 이상이 47.4%였다. 대상자들의 평균 농약 사용 기간은 35.3년이었다. 이는 농업에 종사한 기간과 비슷하게 나타났다. 본 연구 대상자의 건강검진 결과 일반 혈액검사의 간기능, 콜레스테롤, 혈당과 신장 기능 관련 검사에서 모두 정상범위로 나타났으며, 특수검사의 아세틸콜린 에스테라제와 전립선암 검사에서도 정상수준이었다(Table 2).

2. 대상자의 보호구 착용 실태

본 연구의 과수재배 농업인이 착용하는 주요 농약 방제용 보호구는 보호모자 74.2%, 보호장화 71.6%, 방제복(상하복) 64.4% 순위로 착용률을 보였고, 보안경은 20% 미만으로 낮은 것으로 나타났다. 보호구의 착용 실태 분포를 보면 단일 보호구 착용보다는 4가지 보호구(농약살포용 장갑, 보호모자, 방제복, 보호장화)를 포함하여 착용하는 농업인이 보호구 착용을 전체의 35.1%인 것으로 가장 높게 나타났다.

국내 농약조제/살포에 사용하는 Personal Protective Equipment(PPE) 사용현황조사에 따르면 과수재배 농업인의 방제복과 농약살포용 장갑 등의 착용 현황이 본 연구와 일부 보호구 착용의 동일성이 보였다(Kim

Table 2. Characteristics of male orchard farmer study subjects(n=194)

Age(year)	64.6	± 8.5
Educational status		
Elementary school	55	(28.3)
Middle school	49	(25.3)
≥ High school	90	(46.4)
Marital status		
Married	186	(95.8)
Widowed	4	(2.1)
Others ^{a)}	4	(2.1)
Annual income (10,000 won/year)		
< 4,000	78	(40.2)
≥ 4,000	92	(47.4)
Missing	24	(12.4)
Duration of pesticide use	35.33	± 14.0
Wearing PPE ^{b)}		
Gloves	99	(51.0)
Goggles	34	(17.5)
Hat	144	(74.2)
Clothing(top and bottom)	125	(64.4)
Rubber boots	139	(71.6)
Mask	110	(56.7)
Number of wearing PPE		
< 3	58	(29.9)
3~4	35	(18.0)
≥ 5	101	(52.1)
Health checkup result		
LT	21.9	± 9.8
ST	22.5	± 10.1
-GTP	35.9	± 45.9
BUN	15.6	± 4.8
Uricacid	4.9	± 1.4
Total cholesterol	183.8	± 36.5
Triglyceride	149.3	± 132.5
Glucose	102.3	± 29.9
Cholinesterase	8216.7	± 1521.8
PSA	1.38	± 1.23

Values are expressed as N(%) or Mean ± SD

a) Included single, divorce, separation and cohabitation

b) PPE Personal Protective Equipment

2015). 국내의 선행연구와 비교해보면, 충남 일부 남성농업인의 보호구 착용률은 조사하였을 때 보호장화 63.4%와 보호모자가 56.1%로 본 연구 대상자에서 더 높은 착용률을 보였다(Lee et al. 2016). 반면 미국 캐

롤라이나주 농업인의 경우 방제복(상하복)의 착용률이 68%로 본 연구 대상자보다 높은 수준이었다(Walton et al. 2016).

3. 피레스로이드계 대사물질 분석결과

소변의 피레스로이드계 대사물질 4종(각 Cis-DCCA, Trans-DCCA, DBCA, 3-PBA)에 대한 검출률과 검출 농도의 분포를 확인하였다. 검출률은 3-PBA가 81.4%로 나타나 가장 많이 검출 되었으며, DBCA가 6.2%로 나타나 가장 낮은 검출률을 보였다. 피레스로이드 4종 합계(이하 ΣPY)의 검출률은 3-PBA와 같은 81.4%로 나타났다.

검출농도의 기하평균 분포를 보면 Cis-DCCA가 2.29 µg/g cre., Trans-DCCA가 2.68 µg/g cre., DBCA가 1.74 µg/g cre., 3-PBA가 6.22 µg/g cre.로 나타나 3-PBA의 노출수준이 가장 높았으며, ΣPY는 10.57 µg/g cre. 이었다(Table 3).

피레스로이드는 인체 내에서 에스테르에 의해 카르복실산과 페녹시벤조익산으로 분리된다. 카르복실산은 Cis-DCCA와 Trans-DCCA, DBCA로, 페녹시벤조익산은 3-PBA와 F-PBA로 각각 대사되지만 피레스로이드계의 대부분이 3-PBA로 공통 대사된다고 보고된 바 있다(Kraus 2011).

과수작물은 다른 작물에 비해 상대적으로 재배면적이 크며, 1회 평균 농약살포시간도 타 작물에 비해 긴 것으로 보고된 바 있다(Hwang 2008). 우리나라 과수 농가에서 분무형태로 가장 많이 살포되는 농약 품목을 계통별로 살펴보면 피레스로이드계가 가장 많았으며, 다음으로 유기인계, 카바메이트계 순이었다(Hong 2013).

본 연구 대상자의 피레스로이드계 대사물질 수준은 국내 환경부에서 조사한 60대 일반남성, 일부농촌 지역 일반남성, 화훼종사자와 비교했을 때 보다 높은 수준이었으며, 국외의 경우 태국 소규모 농업인과 미국 농업인가족 중 성인 여성과 비교했을 때 보다 높았다. 자세히 살펴보면, 노출수준이 가장 높은 3-PBA는 최근 환경부에서 조사된 60대 일반남성에서 기하평균 3.23 µg/g cre., 일부농촌지역 일반남성이 기하

Table 3. Distribution of detection and concentrations of pyrethroid metabolites in male orchard farmers

	Cis-DCCA ($\mu\text{g/g cre.}$)	Trans-DCCA ($\mu\text{g/g cre.}$)	DBCA ($\mu\text{g/g cre.}$)	3-PBA ($\mu\text{g/g cre.}$)	ΣPY ($\mu\text{g/g cre.}$)
Detection n(%)	57(29.4)	100(51.5)	12(6.2)	158(81.4)	158(81.4)
Median	0.73	1.12	0.50	4.71	8.75
Mean \pm SD	3.69 \pm 16.78	4.29 \pm 19.53	0.99 \pm 1.71	13.27 \pm 30.57	22.24 \pm 63.92
GM(GSD)	2.29(2.21)	2.68(2.21)	1.74(1.55)	6.22(3.24)	10.57(2.99)

Abbreviation: Cis, Cis-2,2-(dichlorovinyl)-2,2- dimethylcyclopropane carboxylic acid; Trans, Trans-2,2-(dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; DBCA, Cis-2,2-(dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; 3-PBA, 3-phenoxybenzoic acid; ΣPY , sum of Cis, Trans, DBCA and 3-PBA; SD, standard deviation; cre., creatinine; GM, geometric mean; GSD,geometric standard deviation.
LOD:Cis=0.5, Trans=0.5, DBCA=0.5, 3-PBA=0.3

Table 4. Detection rates of pyrethroid metabolites according to wearing of personal protective equipment in male orchard farmers

	Cis-DCCA ($\mu\text{g/g cre.}$)			Trans-DCCA ($\mu\text{g/g cre.}$)			DBCA ($\mu\text{g/g cre.}$)			3-PBA ($\mu\text{g/g cre.}$)			ΣPY ($\mu\text{g/g cre.}$)		
	n	n	(%) p-value	n	(%)	p-value	n	(%)	p-value	n	(%)	p-value	n	(%)	p-value
Gloves															
No wearing	95	35 (36.8)	0.019	56 (58.9)	0.030	7 (7.4)	0.355	79 (83.2)	0.339	79 (83.2)	0.339				
Wearing	99	22 (22.2)		44 (44.4)		5 (5.1)		79 (79.8)		79 (79.8)					
Goggles															
No wearing	160	51 (31.9)	0.070	86 (53.8)	0.126	11 (6.9)	0.343	132 (82.5)	0.274	132 (82.5)	0.274				
Wearing	34	6 (17.6)		14 (41.2)		1 (2.9)		26 (76.5)		26 (76.5)					
Hat															
No wearing	50	21 (42.0)	0.020	33 (66.0)	0.013	5 (10.0)	0.167	45 (90.0)	0.051	45 (90.0)	0.051				
Wearing	144	36 (25.0)		67 (46.5)		7 (4.9)		113 (78.5)		113 (78.5)					
Clothing(top and bottom)															
No wearing	69	25 (36.2)	0.083	42 (60.9)	0.037	6 (8.7)	0.219	62 (89.9)	0.018	62 (89.9)	0.018				
Wearing	125	32 (25.6)		58 (46.4)		6 (4.8)		96 (76.8)		96 (76.8)					
Boots															
No wearing	55	24 (43.6)	0.006	39 (70.9)	0.001	5 (9.1)	0.228	51 (92.7)	0.007	51 (92.7)	0.007				
Wearing	139	33 (23.7)		61 (43.9)		7 (5.0)		107 (77.0)		107 (77.0)					
Mask															
No wearing	84	35 (41.7)	0.001	53 (63.1)	0.004	8 (9.5)	0.083	73 (86.9)	0.063	73 (86.9)	0.063				
Wearing	110	22 (20.0)		47 (42.7)		4 (3.6)		85 (77.3)		85 (77.3)					

Abbreviation: Cis, Cis-2,2-(dichlorovinyl)-2,2- dimethylcyclopropane carboxylic acid; Trans, Trans-2,2 -(dichlorovinyl) -2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; DBCA, Cis-2,2-(dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; 3-PBA, 3-phenoxybenzoic acid; ΣPY , sum of Cis, Trans, DBCA and 3-PBA; LOD, limit of detection
LOD:Cis=0.5, Trans=0.5, DBCA=0.5, 3-PBA=0.3

p-value for chi-square test.

평균 2.15 $\mu\text{g/g cre.}$, 화훼종상자는 중앙값 0.1 $\mu\text{g/g cre.}$ 태국의 소규모 농업인이 기하평균 0.86 $\mu\text{g/g cre.}$ 보다 본 연구 과수재배 농업인의 기하평균 6.22 $\mu\text{g/g cre.}$, 중앙값 8.7 $\mu\text{g/g cre.}$ 로 월등히 높게 나타났다 (Panuwet et al. 2008; Song 2009; Song et al. 2014; Trunelle et al. 2014; Ministry of Environment 2015). 이는 과수재배 농업인이 일반 집단의 남성보다 농약 취급의 빈도가 높아 노출수준이 높게 나타난 것으로 보이며, 국외의 경우 태국 재배 면적이 3,200 m^2 ~8,000 m^2 인 소규모로 조사된 반면 본 연구 재배 면적이 13,200 m^2 이상의 농업인이 51% 이상으로 농약을 살포할 면적이 크고 농약 살포 특성상 위로 분사하여 살포하기 때문에 상대적으로 농약 노출 수준이 더 높게 나타난 것으로 생각된다(Panuwet 2008).

4. 보호구 착용 습관에 따른 피레스로이드계 대사물질 결과

보호구 각각에 대한 착용 습관에 따른 소변의 피레스로이드계 검출률은 보호구를 착용한다고 응답한 집단이 보호구를 착용하지 않는다고 응답한 집단 보다 Cis-DCCA, Trans-DCCA, DBCA, 3-PBA 모두 낮게 검출되었다. 자세히 살펴보면, 보호장화를 착용하였을 경우 착용하지 않았을 때 보다 모두 낮은 검출률을 보였으며, DBCA만 제외하고 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$). 방제복 착용의 경우 Trans-DCCA, 3-PBA, ΣPY 에서 검출률이 더 낮은 편이었으며, 농약살포용 장갑, 보호모자, 보호마스크에서는 Cis-DCCA, Trans-DCCA에서 검출률이 유의하게 낮았다($p < 0.05$)(Table 4).

보호구 착용 습관에 따른 노출수준을 살펴보면, 작업시 보호구를 착용한다고 응답한 집단이 보호구를 착용하지 않는다고 응답한 집단에 비해 DBCA만 제외하고 대사물질의 노출수준은 모두 낮은 편이었다. 이 중 보호장화 착용의 경우 Trans-DCCA와 ΣPY , 보호마스크 착용의 경우 3-PBA와 ΣPY 에서 통계적으로 유의하게 낮았다($p < 0.05$)(Table 5). 이는 과수 농약살포자 위해성 평가 조사에 따르면 과수농가에서 유제종류의 약제를 살포할 때 보호구를 착용하지 않

았을 경우 노출수준이 0.152-0.254 mg/kg/day 이었고, 보호구를 착용하였을 때 노출수준이 0.053-0.089 mg/kg/day 으로 많은 차이가 있는 것으로 보고된바 있어 (Hong et al. 2013), 보호구 착용 여부에 따라 노출양상이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다.

따라서 본 연구는 농약을 살포 시 철저한 보호구 착용이 농약노출을 줄이 수 있음을 보여주고 있다.

5. 보호구 착용 개수에 따른 피레스로이드계 대사물질 결과

연령을 보정한 상태에서 보호구의 착용 개수가 많아질수록 본 연구대상자에서 피레스로이드계 대사물질의 DBCA만 제외하고 노출수준은 모두 낮은 편이었다. 특히 4가지 이상의 보호구를 착용했을 경우 3-PBA에서 유의하게 낮았다($p = 0.029$)(Table 6). 국내 선행연구에서 피레스로이드계 노출결과가 보호구 착용 개수와 음의 상관성이 있다고 보고된 바 있으며 (Kim et al. 2015), 본 연구결과와 일치하였다.

과수 농가에서 농약 살포시 SS기speed sprayer (SS기)를 이용할 경우 보호구를 착용했을 경우 보다 보호구를 착용하지 않았을 때 유기인계 및 카바메이트 계통 보다 피레스로이드 계통이 위해성이 크다고 보고된 바 있다(Hong et al. 2013). 또한 일부 과수 농가에서 합성피레스로이드 계통 중 많이 사용하는 Etofenprox는 SS기로 살포 시 보호구를 착용하지 않을 경우 인체에 안정성이 위협받는 분류의 농약계통으로 알려져 있다(Hong et al. 2013; Jang et al. 2015). 본 연구 대상자의 경우 다른 작목에 비해 보호구 착용률이 높았다. 과수 농가 농약 살포시 위해성 평가에서 노출수준이 제일 높았던 손을 보호하는 농약살포용 장갑(Choi et al. 2014)과 SS기 살포 특성상 전체표면적에 노출될 수 있는 방제복을 포함하여 4가지 이상 보호구를 착용하는 농업인이 많아 농약 노출 수준도 감소 된 것으로 보인다. 본 연구의 제한점으로는 첫째, 과수재배 각각의 농가마다 사용하는 농약이 상이하기 때문에 유효성분을 통제하는 것이 어려웠다. 둘째 과수농가에서는 7월 전 후 시기에 농약을 집중적으로 살포하

Table 5. Concentrations of pyrethroid metabolites according to wearing of personal protective equipment in male orchard farmers

	n	Cis($\mu\text{g/g cre.}$)		Trans($\mu\text{g/g cre.}$)		DBCA($\mu\text{g/g cre.}$)		3-PBA($\mu\text{g/g cre.}$)		$\Sigma\text{PY}(\mu\text{g/g cre.})$		p-value				
		GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value	GM		95%CI	p-value		
Gloves																
No wearing	95	1.04	(2.04-3.03)	0.149	1.48	(2.46-3.61)	0.080	0.49	(1.50-1.72)	0.015	4.29	(5.17-8.55)	0.439	9.35	(8.83-14.36)	0.434
Wearing	99	0.89	(1.89-2.35)		1.19	(2.16-2.73)		0.68	(1.69-2.07)		3.80	(4.69-7.24)		8.33	(8.21-12.06)	
Goggles																
No wearing	160	1.00	(2.06-2.66)	0.360	1.41	(2.45-3.18)	0.136	0.59	(1.63-1.87)	0.734	4.28	(5.41-7.77)	0.281	9.25	(9.29-13.04)	0.271
Wearing	34	0.76	(1.65-2.52)		0.99	(1.88-2.65)		0.54	(1.48-1.95)		3.04	(3.37-7.72)		7.04	(6.08-12.63)	
Hat																
No wearing	50	0.94	(1.83-2.82)	0.953	1.49	(2.32-3.58)	0.466	0.50	(1.45-1.95)	0.534	5.38	(5.55-10.54)	0.149	10.11	(8.79-16.16)	0.372
Wearing	144	0.96	(2.01-2.61)		1.27	(2.30-2.99)		0.61	(1.64-1.88)		3.65	(4.77-7.02)		8.41	(8.48-12.13)	1.077
Clothing(top and bottom)																
No wearing	69	1.15	(2.06-3.25)	0.146	1.64	(2.48-3.82)	0.075	0.57	(1.56-1.95)	0.942	5.17	(5.47-9.60)	0.178	10.56	(9.38-16.18)	0.149
Wearing	125	0.86	(1.90-2.40)		1.18	(2.20-2.82)		0.58	(1.61-1.87)		3.52	(4.66-7.01)		7.98	(8.07-11.69)	
Boots																
No wearing	55	1.21	(2.09-3.64)	0.090	1.85	(2.61-4.33)	0.013	0.51	(1.48-1.92)	0.562	5.66	(5.70-10.71)	0.089	11.70	(9.95-18.53)	0.045
Wearing	139	0.87	(1.90-2.37)		1.16	(2.18-2.76)		0.61	(1.64-1.88)		3.53	(4.68-6.89)		7.88	(8.04-11.40)	
Mask																
No wearing	84	1.09	(2.06-2.95)	0.242	1.62	(2.52-3.56)	0.093	0.57	(1.58-1.98)	0.618	5.78	(6.23-10.43)	0.007	11.31	(10.35-16.58)	0.018
Wearing	110	0.86	(1.87-2.48)		1.14	(2.14-2.86)		0.59	(1.60-1.83)		3.07	(4.14-6.29)		7.29	(7.36-10.96)	

Abbreviation: Cis, Cis-2,2-(dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; Trans, Trans-2,2-(dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; DBCA, Cis-2,2-(dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; 3-PBA, 3-phenoxybenzoic acid; ΣPY , sum of Cis, Trans, DBCA and 3-PBA; SD, standard deviation; GM, geometric mean; CI, confidence interval; LOD, limit of detection; GLM, generalized linear model.

LOD: Cis=0.5, Trans=0.5, DBCA=0.5, 3-PBA=0.3

p-value for chi-square test

Table 6. Concentrations of pyrethroid metabolites according to the number of personal protective equipment pieces worn in male orchard farmers

No of PPE	n	Cis($\mu\text{g/g cre.}$)			Trans($\mu\text{g/g cre.}$)			DBCA($\mu\text{g/g cre.}$)			3-PBA($\mu\text{g/g cre.}$)			$\Sigma\text{PY}(\mu\text{g/g cre.})$					
		GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value	GM	95%CI	p-value
< 3	58	1.10	(0.80-1.52)	0.525	1.70	(1.25-2.32)	0.080	0.47	(0.37-0.60)	0.109	5.92	(3.95-9.14)	0.029	11.46	(8.37-15.98)	0.058			
3	35	0.98	(0.65-1.49)		1.46	(0.98-2.18)		0.67	(0.49-0.91)		4.92	(2.81-8.28)		10.16	(6.63-15.25)				
≥ 4	101	0.87	(0.68-1.11)		1.11	(0.88-1.40)		0.62	(0.52-0.74)		3.02	(2.20-4.14)		7.22	(5.64-9.20)				

Abbreviation: Cis, Cis-2,2-(dichlorovinyl)-2,2- dimethylcyclopropane carboxylic acid; Trans, Trans-2,2-(dichlorovinyl)-2,2- dime-thylcyclopropane carboxylic acid; DBCA, Cis-2,2-(dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylic acid; 3-PBA, 3-phenoxybenzoic acid; ΣPY , sum of Cis, Trans, DBCA and 3-PBA; SD, standard deviation; GM, geometric mean; CI, confidence interval; LOD, limit of detection; GLM, generalized linear model
 LOD:Cis=0.5, Trans=0.5, DBCA=0.5, 3-PBA=0.3
 p-value by GLM with log-Transformed data and adjusted for age.

는데 각 농가별 농약살포시기와 소변 시료채취 시기가 상이하므로 반감기가 짧은 피레스로이드 노출수준을 정확하게 확인하기 어려웠다. 이러한 제한점에도 불구하고 본 연구에서는 과수재배 농업인에서 피레스로이드 대사산물의 노출정도가 다른 작목과 일반인에 비해 고농도로 노출 될 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 보호구 각각에 대한 착용 습관에 따른 소변의 피레스로이드계 검출률은 보호구를 착용한다고 응답한 집단이 보호구를 착용하지 않는다고 응답한 집단 보다 Cis-DCCA, Trans-DCCA, DBCA, 3-PBA 모두 낮게 검출 되었다. 또한 보호구 착용 습관에 따른 노출수준을 살펴보면, 작업시 보호구를 착용한다고 응답한 집단이 보호구를 착용하지 않는다고 응답한 집단에 비해 DBCA만 제외하고 대사물질의 노출수준은 모두 낮은 편이었다.

연령을 보정한 상태에서 보호구의 착용 개수가 많아질수록 본 연구대상자에서 피레스로이드계 대사물질의 DBCA만 제외하고 노출수준은 모두 낮은 편이었다. 특히 4가지 이상의 보호구를 착용했을 경우 3-PBA에서 유의하게 낮았다($p=0.029$).

향후 농업종사자는 농약살포 시 농약에 노출될 가능성이 크므로 농약을 조제 할 때부터 농업인은 항상 주의를 기울여야하고, 농약 노출은 피부를 통한 흡수율이 가장 높으므로 농약방제용 보호구를 착용하여 농약의 흡수 경로를 차단함으로써 농약노출을 줄이는 것이 중요하다. 또한, 농약노출 예방 교육을 통해 농약의 독성에 대한 인식수준을 높이고 환경개선을 실시하여 과수재배 농업인의 농약노출 위험을 감소시키기 위한 노력이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 농림축산식품부 농업안전보건센터 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Apra C, Stridori A, Sciarra G(1997) Analytical method for the determination of urinary 3-phenoxybenzoic acid in subjects occupationally exposed to pyrethroid insecticides, *J Chromatogr B Biomed Sci Appl* 695(2), 227-36

Bradbury JE, Forshaw PJ, Gray AJ, Ray DE(1983) The action of mephensin and other agents on the intact and spinal rat, *Neuropharmacol* 22(7), 907-14

Cabral JR, Laval M, Lyandrat N(1986) Carcinogenicity study of the pesticide deltamethrin in mice and rats, Summary Report in Poster Session at IUPAC Meeting, Ottawa, August

Choi H, Kim JH(2014) Risk assessment of agricultural worker's exposure to fungicide thiophanate-methyl during treatment in green pepper, Cucumber and apple fields, *J Appl Biol Chem* 57(1), 73-81

Choi H, Moon JK, Liu KH, Park HW, Ihm YB, Park BS, Kim JH(2006) Risk assessment of human exposure to cypermethrin during treatment of mandarin fields, *Arch Environ Contam Toxicol* 50(3), 437-42

Dejonge JO, Ayers G, Branson D(1985) Pesticide deposition patterns on garments during air blast field spraying, *Home Econ Res* 14, 262-268

Hong SS, Lee JB, Park YK, Shin JS, Im KJ, Yu KH(2007) The proposal for pesticide exposure estimation of Korean orchard farmer, *Korean J Pestic Sci* 11(4), 281-288

Hong SS, You AS, Jeong MH, Park KH, Park JY, Lee YJ(2013) Risk assessment of pesticide operator using modified UK-POEM in Korean orchard, *Korean J Pestic Sci* 17(1), 50-59

Hornung RW, Reed LD(2011) Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values, *app Occup Environ Hygiene*, 25, 46-51

Hwang KS, Kim KR, Lee KS(2008) An experimental study on the thermal physiological response in the pesticide proof clothing textile materials for a fruit-grower, *J Korean Soc Clothing Textiles* 32(11), 1792-1801

Hwang KS, Kim KR, Lee KS, Kim HC, Kim KS, Baek YJ(2007) The textiles and the performance level in developing the pesticide proof clothing, *J Korean Soc Clothing Textiles* 31(11), 1611-1620

Jang I, Kim HM, Lee SY, Choi KH, Suh SJ(2015) Analysis of pesticide applications on apple orchards in Geochang,

- Korea. Korean J Pestic Sci 19(2), 93-100
- Kim H, Cha ES, Moon EK, Ko Y, Kim J, Jeong M, Lee WJ(2011) A pilot study for pesticide poisoning symptoms and information on pesticide use among farmers. Korean J Environ Health Sci 37(1), 22-28
- Kim HK, Song JS, Choi HS, Yu HY(2015) Evaluation of exposure to pyrethroid pesticides in highland cabbage farmers by using biological monitoring. Korean J Pestic Sci 19(1), 41-46
- Kim JH, Cho YJ, Song JW, Kim JH, Seo JS(2016) Measurement of retention, repellency and penetration of pesticide for protective clothing. Korean J Environ Agric 35(4), 263-269
- Koureas M, Tsakalof A, Tzatzarakis M, Vakonaki E, Tsatsakis A, Hadjichristodoulou C(2014) Biomonitoring of organophosphate exposure of pesticide sprayers and comparison of exposure levels with other population groups in Thessaly(Greece). Occup Environ Med 71(2), 126-133.
- Kraus GA(2011) Green trends in insect control. Oscar Lopez, Jose G. Fernandez-Bolanos Inc.
- Lee JY, Roh SC(2016) Evaluation of exposure to organophosphorus pesticides according to application type and the protective equipment among farmers in South Korea. Korean J Pestic Sci 20(2), 172-180
- Lee KM, Chung MH(2000b) A survey on the pesticide use and perceptions about the hazards of pesticides among the farmers in Kyoungju area. Korean J Environ Health Sci 26(2), 70-79
- Lee KM, Min SY, Chung MH(2000a) A study on the health effects of pesticide exposure among farmers. Korean J Rural Med 25(2), 245-263
- Lee WJ(2011) Pesticide exposure and health. Korean J Environ Health Sci 37(2), 81-93
- Ministry of Environment(2015) Basic Survey of Public Health(cited 2017 June 28)
- Panuwet P, Prapamontol T, Chantara S, Thavornyuthikam P, Montesano MA, Whitehead RD Jr, Barr DB(2008) Concentrations of urinary pesticide metabolites in small-scale farmers in Chiang Mai Province, Thailand. Sci Total Environ 407(1), 655-68
- Richard W, Hornung, Laurence DR(1990) Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. Appl Occup Environ 5(1), 46-51
- Schettgen T, Koch HM, Drexler H, Angerer J(2002) New gas chromatographic mass spectrometric method for the determination of urinary pyrethroid metabolites in environmental medicine. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci 778(1-2), 121-130
- Seo JC, Choi HS, Song JS(2007) Determination of 3-phenoxybenzoic acid in urine and exposure assessment of pyrethroid insecticides to human being. Korean J Pestic Sci 11(2), 87-94
- Song JS(2009) Biomonitoring of organophosphorus and pyrethroid insecticides residue in general population
- Song JS, Choi HS, Yu HY, Park BG, Kwon DH(2016) Evaluation of exposure to pyrethroid pesticides according to sprayer type using biological monitoring. Korean J Pestic Sci 20(4), 300-304
- Song JS, Kwon KD, Choi HS, Yu HY(2014) Biological monitoring of the exposure level of organophosphorus and pyrethroid pesticides in floriculture workers and florists. Korean J Pestic Sci 18(1), 41-47
- Trunnelle KJ, Bennett DH, Ahn KC, Schenker MB(2014) Concentration of the urinary pyrethroid metabolite 3-phenoxybenzoic acid in farm worker families in the MICASA study. Environ Res 131, 153-159
- Walton AL, LePrevost C, Wong B, Linnan L, Sanchez-Birkhead A, Mooney K(2016) Observed and self-reported pesticide protective behaviors of Latino migrant and seasonal farmworkers. Environ Res 147, 275-283
- You KS(2004) A survey on the reason for low acceptability and proposal for its improvement for protective clothing in pesticide applicators. Korean Assoc Human Ecol 13(5), 777-785