J. Fd Hyg. Safety 16(1), 21–26 (2001)

식품을 통한 유기인계농약류의 동시노출위해성평가

이효민† · 한지연 · 윤은경 · 김효미 · 황인균 · 최동미 · 이강봉 ·
원경풍 · 송인상 · 박성은* · 신동천*
식품의약품안전청
**연세대학교 환경공해연구소*

Cumulative Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in the Diet

Hyomin Lee†, Jeeyeun Han, Eunkyung Yoon, Hyomi Kim, In Gyun Hwang, Dong Mi Choi, Kang Bong Lee, Kyoung Poong Won, In Sang Song, Sung Eun Park* and Dong Chun Shin*
Korea Food and Drug Administration
**Institute for Environmental Research, YonSei Univ.*

ABSTRACT – Risk assessment traditionally are conducted on individual chemicals; however, humans are exposed to multiple chemicals in daily life. The organophosphorus (OP) pesticides are considered in a single risk assessment because they act by a common mechanism of toxicity, and there is likely to be expose to multiple OP pesticides simultaneously or sequentially. The OP pesticides act by inhibiting the enzyme acetylcholinesterase (AChE) and have available extensive database. AChE is widely distributed throughout the body, most importantly in the nervous system. Inhibition of AChE results in accumulation of acetylcholine in the nervous system that results in clinical signs of cholinergic toxicity, including increased salivation and lacrimation, nausea and vomiting, muscle fasciculation, lethargy and fatigue, among others. To conduct an exposure assessment for pesticides in the diet, we need to know the food consumption patterns of the populations, and the pesticide residue levels in the foods that are consumed. This study was conducted to identify cumulative dietary risk due to multiple OP pesticides that can be exposed through various foods. Total 22 food samples including cereals, vegetables and fruits were collected randomly two times from food markets in several sites (4 cities). The subjected foods were selected by regarding of highly consumed foods to general Korean people. The 12 OP pesticides including Acephate, Azinphos-methyl, Chlorpyrifos, and Diazinon were monitored. For the exposure assessment, general adult group of 60 kg body weight was regarded as target population and food consumption data suggested by Lee et al. (2000) were used as consumed value of individual food. Analyses of samples for OP pesticides have been carried out according to the multiclass multiresidue analysis method and acephate and methamidophos analysis method of Korea Food Code. In general the levels of OP pesticides found in the food samples were very low or not detected. The detected highest value was 0.282 ppm as methidathion in mandarin and acephate, chlorpyrifos, methamidophos and methidathion were detected in several foods. To quantify simultaneous exposure, toxic equivalency factor of proportionately corresponding potency giving decreased AChE activity on the basis of reference dose 0.3 μg/kg/day to the chlorpyrifos was applied. The estimated dietary daily intake of OP pesticide was 4.52×10^{-2} μg/kg/day as mean value. The hazard index (HI) is the sum for OP pesticides being considered together was 0.15. The HI less than 1 indicates the exposure may be lower than an acceptable level.

Key words □ Cumulative risk assessment, AChE inhibition, organophosphorus pesticide, hazard index

유기인계 농약은 주로 살충제로 이용되며, 수확률을 증가시킬 목적으로 과일, 채소, 곡류를 포함한 농산물에 사용하고 수확후에도 과일이나 채소 등에서 자주 검출되고 있어, 다수의 과일이나 채소, 곡류 등을 동시에 섭취하는 한국인의 식이섭취패턴을 고려할 때 여러가지 유기인계 농약에 대한 동시노출은 가능한 일이다.

†Author to whom correspondence should be addressed.

FAO/WHO의 식품관리분야에 위해성평가기술이 도입된 것은 1989년 잔류농약에 대한 Codex 및 UNEP/FAO/WHO 식품오염모니터링 동시회의에서이며, 특정 유해물질의 독성자료와 인체노출자료들을 고려함으로써 그 유해물질의 유해영향발생확률(probability of adverse outcome)을 계산하여 현노출의 안전여부를 판단하는데 적용·발전되어 왔다.[1,2]

최근의 위해성평가기술은 보다 발전하여 허용위해수준(acceptable risk value) 등의 정량적인 개념의 관리목표치(managing goal) 제시가 가능하고, 관리적인 면에서의 응용이 활발히 제기되고 있다. 최근의 위해성평가 기술은 현재 우리가 살고있는 다매체 환경속에서 있을 수 있는 노출 상황을 고려한 위해성평가 즉 대기, 수질, 토양, 식품 등을 통한 동시다중노출(combined risk assessment) 혹은 여러가지 물질, 여러 종류의 식품을 통한 동시노출(cumulative risk assessment) 등을 평가하는데 주력하고 있다.

다매체 동시노출의 경우는 매체별 노출량을 산출하여 더해주므로 구할 수 있고, 다수의 유해물질로부터의 동시노출 평가는 독성기전이 동일한 물질들에 한해서 물질별 노출량을 구하여 더해주므로 구할 수 있다.[3]

유기인계 농약의 경우는 AChE(acetylcholinesterase) 를 저해하는 동일한 독성기전을 지니고 있어 동시노출에 대한 위해성평가가 가능하다.[4]

AChE는 신경계전달에 가장 중요한 물질로서 정상적인 생리상태에서는 신경전달물질인 acetylcholine을 분해하는데 그 기능이 저하되면 신경계에 acetylcholine 이 축적되어 유연, 유루, 오심, 구토, 근섬유속연축, 무기력, 피로와 같은 cholinergic toxicity 를 나타낸다.[4]

본 연구에서는 식품섭취를 통한 유기인계 농약의 동시다중노출에 기인된 위해정도를 판단하기 위하여 유기인계 농약과 다소비노출가능식품 등을 대상으로 cumulative risk assessment 를 실시코자 하였다.

구체적인 연구목적으로는, 첫째, 모니터링 대상 유기인계 농약 및 대상식품 등의 선정, 샘플링방법, 분석방법 등을 포함한 모니터링 방법을 결정하였고, 둘째, 우리나라 일반성인을 대상으로 다중식품섭취를 통한 인체노출평가방법과 분석된 오염도자료를 활용하여 인체노출량을 계산하였으며, 셋째, 공통독성기전을 활용한 용량-반응평가 방법을 적용하여 노출평가결과와 함께 고려하므로 현노출상태에서의 위해정도를 판단코자 하였다.

연구방법

유기인계 농약의 모니터링방법

평가대상농약 – 우리나라에서 사용빈도가 높은 농약 Acephate, Azinphos-methyl, Chlorpyrifos, Diazinon, Dimethoate, Ethion, Malathion, Methamidophos, Methidathion, Parathion-methyl, Phosmet, Pirimiphos-methyl 등 12종을 대상으로 하였다.

평가대상식품 및 샘플링방법 – 국내에서 유통되는 다소비 식품을 위주로 곡류 4종(쌀, 보리, 밀, 옥수수), 과일류 5종(사과, 감, 밀감, 바나나, 배), 및 채소류 13종(배추, 양배추, 상추, 시금치, 오이, 토마토, 호박, 양파, 고추, 마늘, 무, 파, 당근)을 포함하여 총 22종의 식품을 대상으로 하였으며, 시료의 대표성을 부여하기 위하여 샘플링은 전국 4개 대도시(서울, 부산, 광주, 대전)를 대상으로 총2회 실시하였다.

분석방법

시약 – 농약은 Chem Service 사(U.S.A)와 Labour Dr. Ehrustorfer 사(Germany)의 표준품을 사용하였고, 시약은 Wako Pure Chemical 사(Japan)와 Fisher Scientific사(U.S.A)의 잔류농약분석용을 사용하였다.

시료전처리 – 시료는 대형분쇄기(Hallde Vertical Cutters/Mixers; HRS사, Holland)로 분쇄하였으며, 옴니믹서(Omni International, VA, U.S.A)를 사용하여 균질화하였다. 또한 고상추출을 위하여 자동화된 SPE Workstation으로서 Rapid Trace* (Zymark, U.S.A)를 사용하였다.[5]

시료는 acephate와 methamidophos 에 대해서는 식품의약품안전청 식품공전의 단성분 분석법으로, 이외의 농약에 대해서는 동시다성분 분석법으로 전처리 및 정제하였다.[6]

분석 – GC-NPD는 autosampler가 장착된 HP5890 series II 및 HP6890(Hewlett-Packard, CA, U.S.A)을 사용하였으며, GC-MS는 autosampler가 장착된 GC-HP5973 MSD를 사용하였다.

GC 및 GC-MSD 분석조건은 Table 1, 2와 같으며, 2종류의 컬럼을 사용하여 GC-NPD로 분석하고 GC-MSD로 확인한 후 정량하였다.

시료 각 50 g에 대상농약의 혼합표준용액을 최종농도가 1 ppm이 되도록 첨가하여 회수율을 구하였다.

위해성평가 방법

독성등가치의 적용 – 12종의 유기인계 농약의 동시다중 노출에 대한 위해성평가를 위하여 TEF(독성등가치, Toxic Equivalency Factor) 방법을 적용하였다. TEF 방법은 표준이 되는 물질의 독성을 1로 기준하였을 때 공통된 독성기전의 potency 를 기준으로 비교되는 독성의 정도를 독성등가치로 제시하므로 해당물질의 독성강도를 표현하는 방법이다.[7] 이 방법은 어떤 화학물질에 대해 측정된 노출값을 TEF 값으로 곱해주고 산출된 값을 합산함으로써 전체 총노출량을 계산

Table 1. Reference doses and toxic equivalency factors from chronic dietary exposure to organophosphorus

Organophosphorus Pesticide	RfD (mg/kg/day)	TEF*
Acephate	0.0012	0.25
Azinphos-methyl	0.0015	0.20
Chlorpyrifos	0.0003	1.00
Diazinon	0.0007	0.43
Dimethoate	0.0005	0.60
Ethion	0.0005	0.60
Malathion	0.04	0.01
Methamidophos	0.001	0.30
Methidathion	0.0015	0.20
Parathion-methyl	0.00002	15.00
Phosmet	0.003	0.10
Pirimiphos-methyl	0.00008	3.75

Source : U.S. EPA, Office of Pesticide Programs, January (1998)

할 수 있다.

Table 1은 유기인계 농약류의 공통독성기전인 AChE 저해에 대한 NOAEL 값을 기준으로 TEF 값을 적용한 것이다. 이 표에 의하면 chlorpyrifos를 기준으로하여 TEF 값 1을 적용하고 있는데 그 이유는 유기인계농약 중 가장 충실한 database 가 구축되어 있기 때문이다.

제시된 모든 NOAEL 값들은 동물실험 및 역학조사결과 관찰된 AChE 저해반응을 독성 endpoint로 하여 조사된 값들이다.

인체노출평가

FAO/WHO의 만성인체노출평가방법[8]을 기초로 우리나라 일반 성인을 대상으로 다수의 식품섭취를 통한 다수의 농약에 대한, 동시인체노출평가를 실시하였다.

• Human Exposure for Individual Organophosphorus Pesticides

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i \times IR_j}{BW}$$

• Total Human Exposure for Multiple Organophosphorus Pesticides

$$= \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{ij} \times IR_i \times TEF_j}{BW}$$

Ci = Concentration of pesticide j in food i

IRi = Ingestion rate of food i

TEFj = Toxic Equivalency Factor of pesticide j

BW: Body Weight

i = Number of food

j = Number of organophosphorus pesticide

유기인계농약의 독성값

노출의 안전수준을 결정하기 위해 필요한 독성값은 chlorpyrifos 를 기준으로 하여 U.S.EPA에서 제시한 AChE 저해작용을 endpoint[7] 로 하는 RfD 값을 활용하였다.

위해도결정

다수의 유기인계 농약으로부터 동시노출 되었을 때 나타날 수 있는 비발암독성에 대한 위해도를 결정하기 위하여 위험지수(Hazard Index, HI) 방법을 사용하였다. 이 방법은 현재의 노출수준과 안전역치(safe threshold) 인 ADI의 비를 구하여 위해도를 결정하는 방법이다.

• Hazard Index, $HI = \sum_{j=1}^{n} \frac{\text{Human Exposure Dose}j}{\text{Acceptable Daily Intake}}$

(j=human exposure dose of pesticide j)

일반적으로 HI가 1보다 클 경우 유해영향발생이 예측되어 안전하다고 판단할 수 없으며, HI가 1보다 작거나, 같을 경우 유해영향발생이 기대되지 않아 안전하다고 판단할 수 있다.

결과 및 고찰

유기인계 농약의 오염도

12종의 유기인계 농약과 22종의 식품을 대상으로 조사된 유기인계 농약의 오염도 결과는 Table 2와 같았다.

분석된 오염도결과에 의하면 대부분의 농약들이 대다수의 식품에서 불검출되었으며, 검출되었을 경우 검출빈도도 매우 낮아 계절별 차이도 파악할 수 없었다. 가장 높은 오염도 결과를 나타낸 것은 귤에서 Methidathion으로서 0.282 ppm 이었고, 이외에도 몇몇 식품중에서 Acephate, Chlorpyrifos, Methamidophos 그리고 Methidathion 등이 검출되었다.

인체노출량

농약의 평균오염도자료와 개별농약의 TEF 치를 적용하여 구한 TEQ 값에 식품소비량자료(Lee 등, 2000)[9] 를 고려하여 구한 총인체노출량은 4.5×10^{-2} ng/kg/day 였다. 불검출된 농약은 평가에서 제외하였다.

본 연구는 단기간내에 수행된 소규모 모니터링이어서 자료의 수가 부족하여 식품별, 물질별 오염도 차이분석이 불가

Table 2. Organophosphorus pesticide residue in various foods. (ppm)

Food	Detected Pesticide	Mean*
Rice	-	N.D.
Barley	-	N.D.
Wheat	-	N.D.
Corn	-	N.D.
Apple	Chlorpyrifos	0.0055 (N.D.~0.045)
Pear	-	N.D.
Persimmon	-	N.D.
Mandarin	Methidathion	0.282 (N.D.~2.257)
Banana	-	N.D.
Cabbage	Methamidophos	0.0035 (N.D.~0.028)
Cabbage, Korean	-	N.D.
Carrot	Acephate	0.0041 (N.D.~0.033)
	Methamidophos	0.153 (N.D.~1.227)
Cucumber	-	N.D.
Garlic	-	N.D.
Green pepper	Chlorpyrifos	0.0154 (N.D.~0.123)
Lettuce, leaf	-	N.D.
Onion	-	N.D.
Pumpkin	-	N.D.
Radish	Chlorpyrifos	0.0088 (N.D.~0.070)
	Methadamiphos	0.006 (N.D.~0.048)
Spinach	Methadamiphos	0.0005 (N.D.~0.004)
Tomato	-	N.D.
Welsh Onion	-	N.D.

N.D. : Not Detected
*Number of Sample : 8

능하였으며, 본 평가에서 고려한 식품이외에 평가대상 식품에서 제외된 식품들을 모두 고려할 경우 인체노출량은 현평가수준을 상회할 것으로 예측되어진다.

독성값 및 위해도 결정

유기인계농약의 독성값은 NOAEL 값에 안전계수(safety factor)를 고려하여 구한 RfD를 활용하였다. 본 평가에서는 Chlorpyrifos의 NOAEL을 기준으로 TEF 치를 고려하여, 총 인체노출량을 구하였으므로 12종의 유기인계농약의 평가에 쓰여지는 독성값 RfD는 Chlorpyrifos의 RfD 0.3 μg/kg/day[10] 를 적용하였다.

Chlorpyrifos의 RfD는 NOAEL 0.03 mg/kg/day에 안전계수 100을 적용하여 구해진 값이며 구체적인 독성자료는 Table 4와 같다.

식품섭취를 통한 유기인계농약의 비발암독성 위해판단은 인체노출량을 RfD로 나누어줌으로써 얻어지는 위험지수로 표현되는데 본 평가에서 얻어진 위험지수는 0.15였다.

이것은 채소, 과일, 곡류 등의 식품섭취로 인한 유기인계농약의 노출로 인해 AChE 의 저해 즉 오심, 구토, 근섬유속연축과 같은 cholinergic toxicity의 발생이 기대되지 않는 것으로 판단된다고 설명할 수 있다.

FQPA(Food Quality Protection Act)는 기존과는 달리 농약류에 대해 infants 와 children에 대한 안전성 보장을 위해 추가로 불확실성계수 10을 포함시키게 되었다(U.S.EPA, 1998).[12]

유기인계 농약의 대표적 독성은 AChE 억제작용으로, AChE는 신경계에서 cholinergic receptor와 작용하여 acetylchloline 작용을 억제시키는 역할을 한다. AChE 억제로 인한 독성은 ACh 의 과도한 작용에 의한 것으로 주로 부교감신경에 작용하는데, 타액선, 호흡기계, 소화기계, 심장, 안구, 혈액 등 반응기 기관들에서는 muscarinic receptor 와

Table 3. Quantification of human exposure dose to the organophosphorus pesticides by food intake

Pesticide	Food	Detected Level (ppb)	Toxic Equivalency Factor	Ingestion Rate* (g/day)	Exposure Dose (μg/kg/day)
Chlorpyrifos	apple	5.5	1.00	38.9	3.57×10^{-3}
	green paper	15.4		7.1	1.82×10^{-3}
	radish	8.8		64.4	9.45×10^{-3}
Acephate	carrot	4.1	0.25	5.0	8.54×10^{-5}
Methamidophos	cabbage	3.5	0.30	5.3	9.28×10^{-5}
	carrot	153		5.0	3.83×10^{-3}
	radish	6		64.4	1.93×10^{-3}
	spinach	0.5		7.4	1.85×10^{-5}
Methidathion	mandarin	282	0.20	26.0	2.44×10^{-2}
		Total			4.52×10^{-2}

*Lee 등 (2000)[9]

Table 4. Human epidemiology data used in induction of acceptable daily intake to the chlorpyrifos[11]

Experiment	Toxicological Endpoint	NOAEL (mg/kg/day)	Uncertainty Factor	RfD (mg/kg/day)
sex; male period; 20 days sample size; 16	decreased plasma AChE activity	0.03	100 10 : human variability 10 : FQPA Safety Factor*	0.0003

*10 : Food Quality Protection Act Safety Factor-children infant과 safety를 고려한 margin[12]

반응하여 소화기 경련, 설사, 서맥, 기관지협착, 동공수축등을 나타낸다. 또한, 자율신경계와 근육신경섬유에서의 교감, 부교감신경 중추에는 nicotinic receptor와의 과도한 ACh 작용으로 심계항진, 근섬유연축, 진전, 근육약화 등이 나타난다. 이 두 반응기는 모두 중추신경계에 위치하고 있으므로 유기인계 농약의 직접적인 신경독성으로 연결된다.[13] 이러한 신경계통 독성물질에 노출된 경험이 있는 사람에게 기억력 감퇴등 신경증세가 나타나는 것이 관찰되었고, 일부 유기인계 농약들은 실험동물과 인체에서 "Saku Disease"로 알려진 안구독성 증세가 확연히 나타나는 것으로 밝혀졌다. 이런 안구독성은 망막과 시신경의 파괴에 의한 것으로 조기노출로 그 발현이 증가되는 것으로 밝혀졌다.[14]

공통독성기전을 이용한 위해성평가방법이 적용되게 된 계기를 살펴보면, 전형적인 위해성평가방법은 개별화학물질에 대해 수행되어져 왔으나, 실생활을 통한 인체노출은 다양한 화학물질에 동시에 노출되고 그들의 잠재적 누적효과(potential cumulative effect)들이 예측되므로 이것을 평가에 고려해야한다는 생각에서 시작되었다. 이와 같은 평가방법에 유기인계농약이 가장 먼저 적용된 것은 유기인계 화합물에 대한 database 가 가장 광범위하고 유용하기 때문이다.

Cumulative risk assessment 방법의 적용이 가능한 물질들은 동일한 독성을 나타내면서 공통독성기전을 지닌 화합물들, 동일한 target tissue 에서는 동일한 molecular target에 작용하는 화합물들, 동일한 생화학적 작용기전을 지닌 화합물들 그리고 공통 toxic intermediate 를 공유하는 화합물 등이다.

이러한 방법의 적용은 단일화학물질에 대한 평가에 비해 더 복잡하기는 하지만 위해성평가의 발전을 위해 연구되어야 할 분야이며, 최근에는 보다 더 섬세한 위해성평가를 위하여 pharmacokinetics 와 pharmacodynamics 연구결과물을 활용한 평가방법의 적용이 제기되고 있다. 또한 몇몇 연구에서는 실험동물을 대상으로 여러종류의 유기인계농약을 고농도조건에서 동시노출시키므로 그 독성을 관찰한 연구결과가 제시된 바 있으나,[15] 실제의 인체노출상황과 유사한 저농도 동시노출에 대한 효과는 아직 보고되지 않고 있다.

앞으로 보다 자세한 규명이 필요한 부분은 앞서 설명한 저농도동시노출효과, 동시노출로 인해 나타날 수 있는 농약간 상승, 상쇄, 길항 등의 상호작용에 대한 규명이다.

최근에는 유기인계농약류와 독성기전이 동일한 카바메이트계농약류도 함께 포함시켜 평가하는 방법이 적용되고 있다.

본 평가에 쓰여진 RfD는 민감그룹(sensitive subgroup)을 포함하는 일반적인 인구집단에 대한 일일허용경구수준을 의미하는 값으로서 평생노출을 기준으로 그 물질의 유해영향 발생이 나타나지 않는 노출량을 의미한다.

유기인계농약류의 독성등가치 적용에 chlorpyrifos 가 표준물질로 쓰여지게 된 이유는 인체와 실험동물에서 모두 전형적인 AChE 억제 작용에 대한 평가가 확인되었기 때문이다.

현재 cumulative risk assessment 가 가능한 유기인계농약류의 수는 acephate, azinphos-methyl, chlorpyrifos, diazinon, dichlocos, dimethoate, ethion, malathion, methamidophos, methidathion, parathion-methyl, phosmet, pirimiphos-methyl 등으로서 모두 13종이 평가가능하다.

추후 국내에서도 우리나라 농약사용량의 대부분을 차지하고 있는 유기인계농약류와 카바메이트계농약류를 대상으로 nationwide survey를 실시하여 대표성있는 자료를 근거로 보다 자세한 cumulative risk assessment 를 실시하므로 현노출수준에서의 위해성판단은 물론이고 농약류의 의도적 과다사용에 대한 최대노출의 위해도까지도 관리할 수 있어야 할 것으로 생각된다.

국문요약

유기인계 농약은 주로 수확률을 증가시킬 목적으로 과일, 채소, 곡류를 포함한 농산물에 사용하는 살충제로, 최근의 위해성평가기술은 독성기전이 동일한 물질들에 대해서 기준이 되는 물질의 독성을 1로하여 상대독성계수를 고려하

므로 동시노출평가(cumulative risk assessment)를 수행하고 있다. 본 연구에서는 식품섭취를 통한 유기인계 농약의 동시다중노출에 기인된 위해정도를 판단하기 위하여 유기인계 농약과 다소비노출가능식품 등을 대상으로 cumulative risk assessment 를 실시코자 하였다. 평가에 고려된 농약은 우리나라에서 사용빈도가 높은 농약(Acephate, Azinphos-methyl, Chlorpyrifos, Diazinon, Dimethoate, Ethion, Malathion, Methamidophos, Methidathion, Parathion-methyl, Phosmet, Pirimiphos-methyl) 12종이었고, 평가대상식품은 국내에서 유통되는 다소비식품을 위주로 곡류 4종(쌀, 보리, 밀, 옥수수), 과일류 5종(사과, 감, 밀감, 바나나, 배), 및 채소류 13종(배추, 양배추, 상추, 시금치, 오이, 토마토, 호박, 양파, 고추, 마늘, 무, 파, 당근)을 포함하여 총 22종의 식품을 대상으로 하였으며, 시료의 대표성을 부여하기 위하여 샘플링은 전국 4개 대도시(서울, 부산, 광주, 대전)를 대상으로 총2회 실시하였다. 12종의 유기인계 농약의 동시다중 노출에 대한 위해성평가를 위하여 노출평가시 TEF(독성등가치, Toxic Equivalency Factor) 방법을 적용하였고, FAO/WHO 의 만성인체노출평가방법을 기초로 우리나라 일반 성인을 대상으로 다수의 식품섭취를 통한 다수의 농약에 대한, 동시인체노출평가를 실시하였다. 노출의 안전수준을 결정하기 위해 필요한 독성값은 chlorpyrifos 를 기준으로 하여 U.S.EPA 에서 제시한 AChE 저해작용을 endpoint 로 하는 RfD 값을 활용하였으며, 다수의 유기인계 농약으로부터 동시노출 되었을 때 나타날 수 있는 비발암독성에 대한 위해도를 결정하기 위하여 위험지수(Hazard Index, HI) 방법을 사용하였다. 대부분의 유기인계 농약들이 대다수의 식품에서 불검출되었으며, 가장 높은 오염도 결과를 나타낸 것은 귤에서 Methidathion으로서 0.282 ppm 이었고, 이외에도 몇몇 식품중에서 Acephate, Chlorpyrifos, Methamidophos 그리고 Methidathion 등이 검출되었다. 불검출된 농약을 제외한 농약의 평균오염도자료와 개별농약의 TEF 치를 적용하여 구한 TEQ 값에 식품소비량자료를 고려하여 구한 총인체노출량은 4.5×10^{-2} μg/kg/day 였고, 이 값을 기준물질인 chloropyrifos의 RfD 0.3 μg/kg/day 로 나누어주므로 구한 위험지수는 0.15였다. 이것은 과일, 채소, 곡류 등의 식품섭취로 인한 유기인계농약의 성인노출로 인해 AChE의 저해 즉 오심, 구토, 근섬유속연축과 같은 cholinergic toxicity 의 발생이 기대되지 않는 것으로 판단된다고 설명할 수 있다.

참고문헌

1. Henry, C.J.: Risk assessment, risk evaluation and risk management. *In Food Safety and Toxicity*, CRC Press, 283-300 (1997).
2. Mileson, B. E. et al.: Common Mechanism of Toxicity-A case study of organophosphorus pesticides. *J. Toxicol. Scien.*, **41**, 8-20 (1998).
3. World Health Organization: Recommendations for the revision of guidelines for predicting dietary intake of pesticide residues. *In Report of a FAO/WHO Consultation* (WHO/FNU/FOS) (1995).
4. Janssen, M. M. T.: Contaminants. *In Food Safety and Toxicity*, CRC Press, 58-60 (1997).
5. 식품의약품안전청: 식품공전(별책), 256-261 (2000).
6. 식품의약품안전청: 식품공전(별책), 131-132 (2000).
7. Douglass, J.S. and Tennant, D.R.: Estimation of dietary intake of food chemicals. *In Food Chemical Risk Analysis*, Chapman & Hall (1997).
8. FAO/WHO: Food consumption and exposure assessment of chemicals. *In Report of a FAO/WHO Consultation* (1997).
9. 이서래, 이효민, 허근, 이미경: 한국인을 위한 식품 평균소비량(1990년대) 자료의 최적화, 한국식품위생안전성학회지 **15**(2), 68-78 (2000).
10. U. S. EPA : Suggested Probabilistic risk assessment methodology for evaluating pesticides with a common mechanism of toxicity-Organophosphate case study environmental working group (1998).
11. U. S. EPA : Integrated risk information system-Chlorpyrifos, (1998).
12. U. S. EPA : FQPA safety factor recommendations for the organophosphates. *A combined report of the hazard identification assessment review committee and the FQPA safety factor committee* (1998).
13. Wills, J.H.: Toxicity of anticholinesterases and treatment of poisoning. *In Anticholinesterase Agents*, 355-469 (1970).
14. ILSI Risk Science Institute, Evaluation of organophosphorus compounds for potential toxicity of the visual system. International Life Sciences Institute (1994).
15. National Research Council: Acetylcholinesterase inhibitors-Case study of mixtures of contaminants with similar biologic effects. *In Drinking Water and Health*, **9**, 146-161 (1989).