

부산지역 유통 농산물의 내분비계 장애추정농약 위해평가

권현정* · 옥연주 · 김찬희 · 박미정 · 황혜선 · 윤종배 · 차경숙 · 조현철
부산광역시 보건환경연구원

Dietary risk assessment for suspected endocrine disrupting pesticides in agricultural products in Busan, Korea

Hyeon-Jeong Kwon*, Yeon-Ju Ok, Chan-Hee Kim, Mi-Jung Park, Hye-Sun Hwang,
Jong-Bae Youn, Kyung-Suk Cha, and Hyun-Cheol Jo
Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment

Abstract Studies on suspected endocrine disrupting pesticide (EDP) residues in agricultural products were carried out in 2016 in Busan, Korea. Twelve different EDPs, ranging in concentration between 0.003-2.049 mg/kg, were detected in 19.5% of 462 samples. About 0.2% of agricultural product samples exceeded the maximum residue limits (MRLs). Risk indices of all of the EDPs were less than 10% of the acceptable daily intake (ADI). The outcomes indicated that the risk groups at highest risk of exposure to diazinon (found in Korean cabbages) and carbendazim (found in apples) were females aged 40 to 49 and young males less than 10 years old, respectively. Based on the stochastic assessment at 95th percentile (P95), risk index in these risk groups accounted for 8.38 and 2.98% of ADIs. The results showed that the occurrence of EDP residues in agricultural products could not be considered a public health problem.

Keywords: endocrine disrupter, pesticide, risk assessment, diazinon, carbendazim

서 론

내분비계 장애물질(endocrine disrupting chemicals, EDCs)은 독성이 있는 유해화학물질 중 생체의 호르몬 분비 기능에 장애를 가져오는 물질로서, 자연호르몬과는 달리 인체 조직 내에서 쉽게 분해되지 않고 축적되는 성질을 가지고 있다(1-2). 농산물의 생산량 증대와 우수한 상품성 유지를 위하여 현대 농업에 유용하게 사용되는 농약 중 내분비계 장애추정물질로 분류되는 농약은 체내에 들어와 호르몬의 모방작용, 차단작용, 촉발작용에 관여하거나 정상적인 호르몬 수용체(hormone receptor) 결합과정에 간접 영향을 일으키는 내분비계 교란 작용을 하여 인체에 미치는 유해성이 크기 때문에 특별한 관리가 필요하다고 알려져 있다(3-5). 대표적인 내분비계 장애추정농약인 DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane)는 유기염소 계열의 살충제로 말라리아를 퇴치하는 데 아주 효과적이어서 1940년대부터 농업에 널리 사용되었으나, 1962년 Rachel Carson의 ‘침묵의 봄(Silent Spring)’이 출판되면서부터 농약을 포함한 여러 내분비계 장애물질들로 인하여 인류가 위협당할 수 있다는 인식이 널리 퍼졌다(6-7). 이에 세계야생동물보호기금(World Wildlife Fund, WWF), 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, US/EPA), 유럽위원회(European Commission, EC)와 유럽식품안전청(European Food Safety Authority, EFSA) 등

세계 각국의 기관에서 내분비계 장애물질의 지정과 관리가 이루어졌고 이와 관련한 많은 연구가 진행되고 있다.

위해평가(risk assessment)는 인체가 식품 등에 존재하는 위해요소 노출되었을 때 발생할 수 있는 유해영향과 발생확률을 과학적으로 예측하는 일련의 과정으로 위해물질의 노출평가, 위해평가분야 연구와 식품의 기준규격 설정 등에 반드시 필요한 분야이다(8-10). 위해평가에서 위해도(risk index, RI)를 결정하는 방법은 위해물질 일일섭취추정량(estimated daily intake, EDI)을 통계적으로 산출하여 국제적으로 정한 일일섭취허용량(acceptable daily intake, ADI) 등의 인체안전기준치(health based guidance level)와 비교하는 방법이 많이 적용되고 있다. 위해평가에서 필요한 변수인 식품의 섭취량은 국민건강영양조사 자료 등을 이용하여 산출하는데, 현재까지 발표된 국내 다수의 연구들은 위해도를 계산하는데 필요한 노출요소들의 평균값, 중앙값, 극단값만을 이용한 단일 값 분석(determination analysis or point analysis)으로 위해도를 제시하고 있다(11). 그러나 일일 섭취하는 식품은 성별, 지역별, 연령별 등에 따라 분포가 다양하고 또한 식품 중에 포함된 영양성분은 세척, 건조, 가공 등에 따라 잔류량의 정도가 차이 날 수 있으며(12-13), 이러한 단일 값 분석은 비용과 편의성 면에서 용이하지만 결과 값이 극단적으로 나타나거나 과소평가 될 수 있어 정확한 결과를 기대하기 힘들다. 따라서 여러 노출요소의 불확실성과 가변성을 고려한 분포 값의 자료를 활용하여 건강상의 위해를 계산하고 분석하여 다양한 위해수준의 발생가능성을 예측하는 통계 기법을 활용하여 확률론적인 값(stochastic value)으로 위해도를 제시하는 것이 바람직하다(14-15). 또한 식품 소비량과 체중 변수의 경우 어린이, 노인 등 민감한 취약 집단은 보다 신중한 정보조사와 분석이 필요한데 반해 대부분이 우리나라 성인을 기준으로 한 단일 값만을 적용한 연구에 국한되어 있

*Corresponding author: Hyeon-Jeong Kwon, Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan 46616, Korea
Tel: +82-51-309-8959
Fax: +82-51-666-6857
E-mail: kakw11@korea.kr
Received September 25, 2017; revised December 18, 2017;
accepted December 18, 2017

어 이러한 고위험 집단을 반영한 위해평가 연구는 제대로 진행되지 않고 있는 실정이다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 농산물 섭취량은 통계분석을 이용해 그룹별로 세분화하여 산출하고, 농산물 섭취로 인한 농약의 위해도는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)과 같은 컴퓨터 프로그램을 통해 각 변수들의 분포 모델을 활용하여 확률적인 통계기법을 사용한 위해도 평가방법이 제안되고 있다(15).

그러므로 본 연구에서는 2016년 부산지역에서 유통된 농산물 중 다른 품목에 비해 농약의 검출건수가 많은 채소류와 과일류를 중심으로 내분비계 장애추정농약의 잔류실태를 모니터링 하고, 국민건강영양조사 자료를 이용하여 부산시민의 성별, 연령별 농산물 섭취량을 산출한 뒤, 확률적인 통계기법인 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 내분비계 장애추정농약의 위해성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

연구대상 농약

내분비계 장애추정물질의 종류와 분류는 국가 간 또는 각 기관의 특성과 관심도에 따라 차이가 있고 특정 물질의 대사산물이나 분해산물, 이성질체 등을 포함시켜 그 범위가 점차 확대되어 가는 추세이므로(16), 현재 각 기관에서 제시하고 있는 내분비계 장애추정물질 목록을 검토하여 세계생태보전기금(WWF)의 126종(17-18), 한국의 환경부(17), US/EPA(19-21), 유럽연합(European Union, EU)(20), 유럽위원회(EC)(22), 세계보건기구(World Health Organization, WHO)(23)에서 지정하고 있는 화학물질 중 국내에서 사용 빈도가 높거나 검출될 가능성이 있는 농약인 아세트클로르(acetochlor), 알라클로르(alachlor), 알드린(aldrin), 아트라진(atrazine), 베노밀(benomy), 비에치시(BHC), 카바릴(carbaryl), 카벤다짐(carbendazim), 클로르단(chlordane), 클로로탈로닐(chlorothalonil), 클로르피리포스(chlorpyrifos), 사이페메트린(cypermethrin), 디디티(DDT), 다이아지논(diazinon), 디코폴(dicofol), 디엘드린(dieldrin), 엔도설판(endosulfan), 엔드린(endrin), 에스펜발러레이트(esfenvalerate), 페니트로티온(fenitrothion), 펜발러레이트(fenvalerate), 헵타클로르(heptachlor), 헥사클로로벤젠(hexachlorobenzene), 리뉴론(linuron), 말라티온(malathion), 메토밀(methomyl), 메톡시클로르(methoxychlor), 메트리부진(metribuzin), 마이렉스(mirex), 니트로펜(nitrofen), 노나클로르(nonachlor), 파라티온(parathion), 파라티온-메틸(parathion-methyl), 페메트린(permethrin), 프로사이미돈(procymidone), 독사펜(toxaphene), 트리플루랄린(trifluralin), 빈클로졸린(vinclozolin) 38종을 연구대상으로 하였다.

연구대상 시료

분석 시료는 2016년 1월부터 10월까지 부산지역의 백화점, 대형마트, 전통재래시장 등에서 유통되는 농산물 중 다른 품목에 비해 농약의 검출률과 부적합률이 높은 채소류와 과일류를 중심으로 총 74 품목 462건의 농산물에 대하여 내분비계 장애추정농약의 잔류실태를 모니터링 하였으며, 채소류는 334건으로 전체 농산물의 72.3%로 나타났고 과일류는 128건으로 27.7%의 비율을 차지했다.

표준품

분석 농약의 표준품은 Dr. Ehrenstorfer GmbH (Auudburg, Germany), AccuStandard (New Haven, CT, USA), Ultra Scientific (North Kingstown, RI, USA)에서 구입한 표준품을 희석하여 100-1,000 mg/L의 농도로 제조한 후 표준원액으로 사용하였다. 또한

분석대상 농약 성분 38종을 9개의 그룹으로 분류한 후 각각의 표준원액을 혼합한 뒤 20, 50, 100, 1,000 µg/L의 농도로 희석하여 검량선 작성을 위한 표준혼합용액을 제조하였다.

시약과 기구

시료 추출과 정제에 사용한 유기용매와 시약은 잔류농약 분석용 등급으로 아세토나이트릴(acetonitrile), 메탄올(methanol), 디클로로메테인(dichloromethane), 아세톤(acetone), 노르말렉산(n-hexane), 염화소듐(NaCl), 염산(HCl), 수산화소듐(NaOH), 무수황산소듐(Na₂SO₄) 등(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)과 인산완충용액(Phosphate Buffered Saline (PBS) Tablets, Amresco, Solon, OH, USA)을 사용하였으며, 전처리에 사용되는 물과 이동상은 초순수를 사용하였다.

시료의 추출과정을 위해 사용된 기구는 여과지(No. 4 filter paper, Whatman, Springfield Mill, UK), 분쇄기(HMF-3450S, Hanil Electric, Seoul, Korea), 혼합추출분쇄기(Omni-mixer Macro-ES Homogenizer, OMNI International Inc., Gainesville, VA, USA), 감압증발농축기(Buchi DE/R 205V, BÜCHI Labor-technik AG, Flawil, Switzerland) 등이며, 정제과정을 위해 후로리실 카트리지(florisil SPE cartridge, Sep-pak® florisil 3 cc, Waters, Milford, MA, USA), 아미노-프로필 카트리지(NH₂ SPE cartridge, Sep-pak® NH₂ 6 cc, Waters, Milford, MA, USA), 막 여과지 0.45 µm와 0.22 µm (Millex® syringe filter, Merck Millipore Ltd, Cork, Ireland), 농축증발기(Zymark Turbopap 500, Caliper Life Sciences Inc., Hopkinton, MA, USA) 등을 사용하였다.

잔류농약 분석 방법

농산물의 내분비계 장애추정농약 잔류성은 식품공전 제 7. 일반시험법 7. 식품 중 잔류농약 분석법 7.1.2 다중농약다성분분석법 7.1.2.2 다중농약다성분 분석법(Multi class pesticide multiresidue methods)-제2법(아세토나이트릴 추출법)의 방법으로 시험하였으며, 시험항목 중 베노밀의 경우 7.1.3.27 카벤다짐 시험법에 따라 추출과정 중 카벤다짐으로 전환시켜 분석하였다.

내분비계 장애추정농약의 정성과 정량 시험을 위해 가스크로마토그래프 전자포획검출기와 질소-인 검출기(µECD와 NPД, 6890N, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA), 초고속 액체크로마토그래프 자외선흡광검출기(PDA, ACQUITY UPLC PDA, Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였고, GC-µECD, GC-NPD와 UPLC-PDA의 기기분석조건은 각각 Table 1과 2에 나타내었다.

분석법의 유효성검증을 위하여 각 농약의 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantification, LOQ)와 회수율(recovery)을 구하였다. 내분비계 장애추정농약이 검출되지 않은 신선 채소 매질(matrix)에 추정 농도의 농약을 소량 첨가한 시료 7개를 분석방법에 따라 시험하고 보정곡선에 대입한 후 표준편차(standard deviation, SD)와 보정곡선의 기울기(slope)를 구하여 LOD는 3.3배의 SD를 기울기로 나누고, LOQ는 SD의 10배를 기울기로 나누어 산출하였다. 회수율 시험은 동일한 실험방법으로 분석 농약의 처리 수준을 LOD의 5-10배 농도와 50-100배 농도의 두 구간에서 각각 3반복 측정하였고 변이계수(분석오차, coefficient of variation, CV)는 표준편차를 산술평균으로 나누어 %로 구하였다. 국내 잔류농약분석법 기준에 따르면, 분석기기의 LOD는 S/N가 3 이상이어야 하며 분석법의 LOD는 식품의 경우 0.05 ppm 이하를 만족하면서 동시에 잔류허용기준의 1/2-1/10까지 검출하도록 규정하고 있고 회수율은 70-120%, CV는 20% 이하로 허용하고 있다(24).

Table 1. GC- μ ECD and GC-NPD conditions used in the determination of the residual endocrine disrupting pesticides (EDPs)

Instrument	GC (Agilent 6890N)	
Detector	μ Electron capture detector (μ ECD)	Nitrogen-phosphorus detector (NPD)
Inlet temp.	260°C	260°C
Detector temp.	325°C	280°C
Gas flow	N ₂ (60 mL/min)	N ₂ (5 mL/min) Air (60 mL/min) H ₂ (3 mL/min)
Column	HP-5 DB-17	5% phenyl methyl siloxane, 30 m×250 nm ID×0.25 nm film thickness 50% phenyl methyl siloxane, 30 m×250 nm ID×0.25 nm film thickness
Oven temp.	150°C (2 min) → 12°C/min → 200°C (0 min) → 5°C/min → 240°C (0 min) → 10°C/min → 280°C (7 min)	

Table 2. UPLC-UV-D conditions used in the determination of the residual endocrine disrupting pesticides (EDPs)

Instrument	UPLC (Waters ACQUITY UPLC)		
Detector	Waters ACQUITY UPLC Photodiode Array (PDA) e λ Detector (λ : 254 and 285 nm, scan λ : 210-400 nm)		
Column	BEH C ₁₈ 1.7 μ m (2.1×100 mm)		
Flow rate	0.3 mL/min		
Column oven	30°C		
Injection vol.	2 μ L		
Mobile phase	Time (min)	A: water (%)	B: acetonitrile (%)
	0	95	5
	3	85	15
	4	70	30
	5	55	45
	9	20	80
	13	20	80
	14	95	5

위해평가 방법

위해평가는 인체가 식품 등에 존재하는 위해요소에 노출되었을 때 발생할 수 있는 유해영향과 발생확률을 과학적으로 예측하는 일련의 과정으로, 식품 등을 통하여 사람이 섭취하는 위해요소의 양 또는 수준을 정량적 그리고 정성적으로 산출하여 위해성을 평가할 수 있다(8,25). 내분비계 장애추정농약의 일일섭취추정량(EDI)을 구하여 인체안전기준치인 일일섭취허용량(ADI)과 비교해 상대백분율로 위해도(RI)를 산출한다.

농산물 섭취에 따른 내분비계 장애추정농약의 EDI는 농약의 평균잔류량과 농산물의 일일평균섭취량을 곱하여 체중으로 나뉘 구하며, 농약과 농산물의 종류를 고려하면 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$EDI = \sum \frac{F_i \times RL_j}{bw} \quad (1)$$

EDI: Estimated Daily Intake (mg/day/body weight)

F_i: Daily food intake (kg/day/person)

RL_j: Pesticide mean concentration for the commodity (ppm)

bw: Mean body weight (kg)

여기서 F_i는 농산물 일일평균섭취량을, RL_j는 농약의 평균잔류량을 나타낸다. 위해도는 농약별 ADI와 농약의 EDI의 비(ratio)

를 통해 결정할 수 있다. ADI는 잔류농약 등 의도적 사용 화학물질에 대해 일생 동안 섭취하여도 유해영향이 나타나지 않는 1인당 1일 최대섭취허용량을 말하며 동물을 대상으로 독성 실험을 진행하여 안전계수를 적용한 상당히 엄격한 값이므로 위해도가 100보다 크면 클수록 일일 허용 가능한 농약섭취량을 많이 초과하는 것으로 위해하다고 판단할 수 있으며, 100보다 작으면 위해성이 없고 100보다 작으면 작을수록 위해가능성이 적은 것으로 판정할 수 있다. 위해도(RI)는 수식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\%RI = \frac{EDI}{ADI} \times 100 \quad (2)$$

$$\%RI: \text{Risk Index (mg/day/body weight)} \times 100 (\%ADI)$$

위해평가를 위한 부산지역 농산물의 성별, 연령별 일일평균섭취량과 체중은 국민건강영양조사 제6기 자료를 이용해 통계적으로 산출하였고 품목별 농약의 평균잔류량과 최고검출 값(극단 값)은 농약별 회수율을 적용하였으며, 불검출 처리 된 시료에 대해서는 LOQ의 1/2값을 반영하여 평균잔류량 계산에 포함하였다(12).

통계분석과 몬테카를로 시뮬레이션

모든 통계분석은 SPSS ver 18.0 소프트웨어(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각 변수의 평균과 표준편차 등 기술통계량을 산출하였고 통계적 유의성 검증을 위하여 독립표본 t검정(t-test), 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 던컨 시험(Duncan's multiple range test)을 이용하여 사후 검증하였다. 또한 국민건강영양조사 자료의 복합표본 통계량 산출을 위하여 일반선형회귀 분석을 이용하였다. 통계분석의 유의성은 p<0.05의 범위에서 검토하였다.

본 연구에서는 부산지역의 농산물 섭취량평가를 위해 지역별, 성별, 연령별 섭취량과 체중은 충분한 필요 표본 수를 확보하여 신뢰도를 높이기 위해 국민건강영양조사 제6기 1-2차년도를 통합한 자료를 이용하였으며(26), 데이터의 정확성을 높이기 위해 자료 분석과정에서 가중치를 적용하여 복합표본분석을 진행하였다. 또한 위해도의 필요 요소들의 불확실성을 줄이고 시나리오의 확률적 또는 우연적 결과를 발생시켜 확률론적 위해도(stochastic risk index, SRI)를 산출하기 위해 Crystal Ball ver 11.1.2.1 소프트웨어(Oracle Co., Redwood, CA, USA)를 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 추가적으로 수행하였다. 보다 정확한 농약추정섭취량의 산출과 민감한 성별, 연령별 그룹을 찾아내기 위해 연령대를 만 10세 미만, 만 10세-19세, 만 20세-29세, 만 30세-39세, 만 40세-49세, 만 50세-59세, 만 60세 이상 7개의 그룹으로 분류하였

다. 각 노출요소의 변수에 적절한 분포를 찾기 위해 몬테카를로 시뮬레이션의 분포적합(fitting)을 수행하여 평균잔류량은 로그노말 함수(Log-normal)로 가정하였는데, 로그노말 함수는 오른쪽으로 꼬리가 긴(왜도>0) 형태로 데이터가 0(zero)근처의 하한 값에 몰려있으며 모수를 입력하여 분포를 가정할 수 있다(15). 체중 변수는 성별, 연령별 각 그룹에 따라 분포 형태의 차이를 보였기 때문에 적합도 평가(fitting test)를 거쳐 가장 적합한 분포 함수를 따랐다. 각 노출요소의 변수에는 추정 노출수치의 확률적 분포함수를 반영하였고 시뮬레이션은 각각 10,000번의 난수를 발생시켜 실행하였다.

결과 및 고찰

분석법의 유효성 검증

분석법의 유효성검증을 위하여 측정한 내분비계 장애추정농약의 LOD, LOQ와 CV는 각각 0.000-0.052 ppm, 0.001-0.157 ppm과 0.1-9.0%이었으며, 회수율의 경우 LOD의 5-10배 수준의 구간에서 73.7-118.5%, 50-100배 구간에서 70.6-119.5%로 나타나 본 시험방법의 유효성검증 결과는 양호하였다.

내분비계 장애추정농약의 잔류특성

2016년 부산지역의 전체 농산물 462건 중 내분비계 장애추정농약이 검출된 시료는 총 90건으로, 검출률은 19.5%였고 채소류가 334건 중 58건(17.4%), 과일류가 128건 중 32건(25.0%) 검출되어 과일류의 검출률이 높았다. 이 중 잔류허용기준(maximum residue limits, MRLs)을 초과하여 부적합 판정을 받은 농산물은 엽채류 중 엽갈이배추 1건이었으며 부적합률은 0.2%이었다. 특히, 2015년 부산지역 내분비계 장애추정농약의 잔류실태 모니터링 결과를 보면 엽채류 792건 중 43건에서 농약이 검출되었으며(5.4%), 그 중 14건이 잔류허용기준을 초과하여 부적합(1.8%) 판정을 받은 것으로 보고된바 있다(27). 이는 엽채류가 농약의 작용 면적이 상대적으로 크고 조직이 연해 병해충의 영향을 많이 받아 살포 빈도와 양이 많은 것으로 생각된다.

농약별 잔류특성을 살펴보면 Table 4에서 보는바와 같이 97건(21.0%)이 검출, 1건(0.2%)이 MRLs를 초과하였고, 프로사이미돈의 경우 38건(8.2%)이 검출되어 최고 빈출 농약으로 나타났으나 부적합 건수는 없었다. 다이아지논은 검출된 1건(0.2%)이 MRLs를 초과하여 검출 대비 100.0%의 부적합률을 보였다. 다이아지논은 유기인계의 살충제(insecticide), 진드기살충제(acaricide)로 분류되며 비선택성 살충제로 사용되기 때문에 다양한 경로를 거쳐 인체에 노출되면 급성 신경계 증상이 나타나고, 토양 등에 지속적으로 잔류하여 환경오염의 원인이 된다(28-30). 국내 잔류허용기준은 엽갈이배추, 배추, 겨자채 등의 십자화과 채소와 과채류 등에 설정되어 있는데, 2016년 현재 최저 기준은 0.02 ppm으로 다른 농약에 비해 비교적 낮게 설정되어 있다. 채소류와 과일류의 품목별, 농약별 검출과 부적합 현황을 각각 Table 3과 Table 4에 나타내었다.

EDPs의 월별 검출결과는 통계적으로 유의한 차이를 보였는데($p<0.05$), 58건의 시료에서 18건이 검출된 6월이 다른 시기에 비해 높은 검출률(31.0%)을 보였고, 10월이 50건 중 4건 검출되어 가장 낮은 검출률(8.0%)을 나타냈다(Fig. 1). 이는 상대적으로 기온이 따뜻하고 강수량이 많은 시기에 농약의 살포량과 횟수가 많아 검출 빈도가 증가한 것으로 생각된다.

부산지역 채소류, 과일류의 섭취량평가

부산지역과 타시도(전국)지역의 농산물 섭취량의 차이가 있는지 알아보기 위해 채소류와 과일류 섭취량을 비교하였으며 전국의 섭취량 산출에는 부산을 제외시켰고, 농산물 섭취량과 평균체중은 성별, 연령별로 유의한 통계적 차이가 있었다($p<0.05$). 채소류의 일일평균섭취량을 비교해보면 부산은 323.12 ± 258.46 g, 전국은 317.81 ± 253.21 g이고 과일류는 부산이 165.47 ± 256.03 g, 전국은 190.29 ± 289.60 g이며, 두 그룹 간의 섭취량은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않아($p>0.05$) 채소류와 과일류 섭취량은 비슷한 것으로 나타났다. 2016년 내분비계 장애추정농약의 잔류실태결과에 따라 검출된 34종의 농산물 품목에 대해 제6기 1-2차년도 국민건강영양조사 자료의 식품코드를 이용하여 섭취량을 산출한 뒤, 부산지역과 전국에 차이가 있는지 알아보았다. 농산물 섭취량에는 생것, 건조된 것, 데친 것 등의 간단한 조리과정 후의 섭취량을 포함하기 위해 고형물을 기준으로 생성한 환산계수를 곱해준 값(3차식품코드용 식품섭취량)을 적용하였다(26). 파(green onion)와 오이(cucumber)는 우리나라 국민의 주요 채소류 공급원인 김치의 섭취량도 포함하기 위해 각각 파김치(Pa-kimchi)와 오이소박이(Oisobagi-kimchi)를 포함하였다. 또한 본 연구에서는 식품 섭취에 따른 농약노출량을 보수적으로 평가하기 위해 최악의 경우(worst-case)를 고려하여 김치류에서 원료재료의 중량비가 100%인 것으로 가정하였다(11).

대부분의 농산물은 부산지역과 전국의 섭취량을 비교하였을 때 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p>0.05$), 부추(Chinese chive), 돌나물, 감귤(citrus), 바나나(banana)의 경우 그 섭취량이 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)를 보였다. 부추는 일일평균섭취량이 부산지역의 경우 4.68 ± 17.42 g, 전국은 2.75 ± 14.81 g으로 부산지역이 1.93 g 더 많은 것으로 나타났다. 돌나물은 부산지역이 0.01 ± 0.36 g, 전국은 0.10 ± 3.37 g을 섭취하는 것으로 나타나 전국의 섭취량이 0.09 g 더 많았으며, 감귤(한라봉 제외)의 경우 부산지역이 13.89 ± 57.76 g, 전국은 22.07 ± 97.62 g을 섭취하는 것으로 나타나 전국의 섭취량이 8.18 g 더 많았다. 바나나는 부산지역이 5.73 ± 26.02 g, 전국은 10.14 ± 44.58 g을 섭취하는 것으로 나타나 전국이 4.41 g 더 많이 섭취하는 것으로 나타났다. 부산과 전국의 농산물 품목별 섭취량을 Table 3에 비교하여 나타내었다.

내분비계 장애추정농약의 위해평가

농산물에 검출된 모든 EDPs의 %RI가 평균 1 미만, 극단검출값(maximum value)을 반영한 %RI가 10 미만으로 나타났으며, 계산된 위해도가 100보다 작으면 위해성이 없고 100보다 작으면 작을수록 위해가능성이 적은 것으로 판정할 수 있으므로 부산지역 EDPs의 위해성은 거의 없는 것으로 나타났다. 부적합 판정을 받은 엽갈이배추의 다이아지논은 평균 %RI가 0.739, 극단검출값(1.207 ppm)을 적용한 %RI는 8.380으로 다른 농산물에 비해 다소 높은 것으로 나타났지만 위해성은 크지 않았다. 또한 카벤다짐은 평균 %RI가 0.413, 최고검출값(2.049 ppm)을 적용한 %RI는 4.676으로 잔류허용기준을 초과하지 않은 다른 농산물에 비해 다소 높았으나 위해성은 작았고, 카벤다짐이 검출된 농산물 중 사과의 위해도가 가장 높은 것으로 나타났다. 부산지역 내분비계 장애추정농약의 위해도와 각 농약별 최고검출 값(극단 값)을 반영한 위해도를 Table 4에 제시하였으며, 부적합 판정을 받은 엽갈이배추의 다이아지논과 다른 농산물에 비해 위해도가 다소 높았던 사과의 카벤다짐의 경우 몬테카를로 시뮬레이션을 사용해

Table 3. Endocrine disrupting pesticides (EDPs) detection profile from agricultural products in 2016 and comparison of daily intakes in Busan and Korea

Type	Commodity	N	No. of detection (%)	No. of violation (%)	Food intakes (g/day) ¹⁾	
					Busan	Korea ²⁾
Vegetables	Chamnamul	2	2 (100.0)	0 (0.0)	0.35±4.77 ^{NS}	0.27±5.12 ^{NS}
	Korean cabbage ³⁾	12	5 (41.7)	1 (8.3)	0.83±8.59 ^{NS}	0.96±11.31 ^{NS}
	Korean lettuce	6	1 (16.6)	0 (0.0)	7.37±24.23 ^{NS}	8.04±27.04 ^{NS}
	Perilla leaves	3	1 (33.3)	0 (0.0)	4.61±28.96 ^{NS}	3.22±15.95 ^{NS}
	Spinach	3	1 (33.3)	0 (0.0)	10.12±33.27 ^{NS}	7.07±24.65 ^{NS}
	Celery	3	2 (66.7)	0 (0.0)	0.08±1.03 ^{NS}	0.16±5.44 ^{NS}
	Chinese chive (leek)	8	3 (37.5)	0 (0.0)	4.68±17.42 ^a	2.75±14.81 ^b
	Green garlic ⁴⁾	4	2 (50.0)	0 (0.0)	1.63±9.46 ^{NS}	0.88±10.09 ^{NS}
	Kohlrabi	3	1 (33.3)	0 (0.0)	0.46±11.48 ^{NS}	0.39±12.87 ^{NS}
	Sedum	1	1 (100.0)	0 (0.0)	0.01±0.36 ^b	0.10±3.37 ^a
	Water dropwort	7	1 (14.3)	0 (0.0)	1.61±9.11 ^{NS}	1.08±9.20 ^{NS}
	Welsh onion ⁵⁾	17	2 (11.8)	0 (0.0)	14.60±24.62 ^{NS}	13.89±22.36 ^{NS}
	Cucumber ⁶⁾	27	9 (33.3)	0 (0.0)	13.52±43.46 ^{NS}	18.42±54.95 ^{NS}
	Korean melon	11	7 (63.6)	0 (0.0)	14.60±103.60 ^{NS}	12.57±75.51 ^{NS}
	Squash	27	5 (18.5)	0 (0.0)	10.38±29.50 ^{NS}	10.94±33.42 ^{NS}
	Watermelon	3	2 (66.6)	0 (0.0)	14.30±70.13 ^{NS}	17.90±111.22 ^{NS}
	Cherry tomato	14	2 (14.3)	0 (0.0)	0.14±1.32 ^{NS}	0.14±1.50 ^{NS}
	Eggplant	6	1 (16.7)	0 (0.0)	2.93±22.54 ^{NS}	2.65±23.74 ^{NS}
	Green pepper (Fresh)	13	4 (30.8)	0 (0.0)	5.27±18.33 ^{NS}	4.94±17.65 ^{NS}
	Sweet pepper	10	1 (10.0)	0 (0.0)	1.09±8.34 ^{NS}	1.19±12.68 ^{NS}
	Tomato	16	3 (18.8)	0 (0.0)	20.00±99.89 ^{NS}	18.66±81.97 ^{NS}
Carrot	21	1 (4.8)	0 (0.0)	10.50±35.21 ^{NS}	8.84±35.75 ^{NS}	
Garlic	3	1 (33.3)	0 (0.0)	5.30±8.49 ^{NS}	4.88±8.16 ^{NS}	
The others	114	0 (0.0)	0 (0.0)			
	Vegetables	334	58 (17.4)	1 (0.3)	323.12±258.46 ^{NS}	317.81±253.21 ^{NS}
Fruits	Hanrabong	4	1 (25.0)	0 (0.0)	0.44±8.33 ^{NS}	1.35±27.15 ^{NS}
	Citrus	9	1 (11.1)	0 (0.0)	13.89±57.76 ^b	22.07±97.62 ^a
	Orange	6	1 (16.7)	0 (0.0)	7.75±41.31 ^{NS}	8.17±49.61 ^{NS}
	Apricot	3	2 (66.7)	0 (0.0)	0.09±1.69 ^{NS}	0.08±3.29 ^{NS}
	Peach	10	3 (30.0)	0 (0.0)	7.96±54.48 ^{NS}	9.51±63.41 ^{NS}
	Apple	22	10 (45.5)	0 (0.0)	44.41±109.91 ^{NS}	48.98±133.05 ^{NS}
	Chinese pear	14	3 (21.4)	0 (0.0)	9.99±57.52 ^{NS}	12.63±68.20 ^{NS}
	Grape	14	5 (35.7)	0 (0.0)	14.20±61.54 ^{NS}	13.79±72.64 ^{NS}
	Strawberry	4	3 (75.0)	0 (0.0)	3.96±33.66 ^{NS}	3.90±33.40 ^{NS}
	Banana	6	2 (33.3)	0 (0.0)	5.73±26.02 ^b	10.14±44.58 ^a
	Kiwifruit	8	1 (12.5)	0 (0.0)	0.98±10.04 ^{NS}	1.61±19.75 ^{NS}
	The others	28	0 (0.0)	0 (0.0)		
		Fruits	128	32 (25.0)	0 (0.0)	165.47±256.03 ^{NS}
Total		462	90 (19.5)	1 (0.2)		

Values are mean±SD.

^{a-b}Values with different superscripts were significantly different by t-test (general linear models) at the 0.05 level of significance.

^{NS}Data are not significantly different.

¹⁾Applied by weight cases for complex sample analysis

²⁾Intakes of Korean except the citizens in Busan

³⁾Include commodity of spring green cabbage and young chinese cabbage

⁴⁾Include commodity of stem of garlic

⁵⁾Include commodity of green onion and intakes of green onion-kimch (Pa-kimchi)

⁶⁾Include intakes of stuffed cucumber-kimchi (Oisobagi-kimchi) and cucumber pickle

확률론적 위해도 분석을 추가로 진행하였다.

성별, 연령별 엷갈이배추 섭취량에 따른 다이아지논의 확률론적 위해평가의 결과는 Table 5와 Fig. 2(A)에 나타내었고 앞서 단일값을 이용한 위해도의 값과 비교하였다. 여성 만 40세-49세 그

룹에서 평균 위해도는 2.74%, 최고검출 값을 반영한 위해도는 31.11%으로 가장 높은 위해성을 보였으나, 95th 퍼센타일의 확신도에서 확률론적 위해도는 8.38%으로 위해성이 크지 않았다. 성별, 연령별 사과 섭취량에 따른 카벤다짐의 확률론적 위해평가의

Table 4. List of violated endocrine disrupting pesticides (EDPs) and deterministic % risk index (%RI) in agricultural products¹⁾ in 2016

Classification	EDPs	No. of detection (%)	No. of violation (%)	Detectable amount (mg/kg)	ADI ²⁾	Risk Index (RI, %) ³⁾	
						Mean residue	Maximum residue
Insecticide	Chlorpyrifos	12 (2.6)	0 (0.0)	0.003-0.223	0.01	0.156	1.853
	Cypermethrin	4 (0.9)	0 (0.0)	0.180-1.049	0.02	0.157	0.744
	Diazinon	1 (0.2)	1 (0.2)	1.207	0.0002	0.739	8.380
	Endosulfan	5 (1.1)	0 (0.0)	0.011-0.045	0.006	0.038	0.255
	Endrin	1 (0.2)	0 (0.0)	0.054	0.0002	0.240	1.322
	Fenitrothion	2 (0.4)	0 (0.0)	0.061-0.064	0.005	0.019	0.206
	Fenvalerate	2 (0.4)	0 (0.0)	0.140-0.461	0.02	0.020	0.057
	Permethrin	1 (0.2)	0 (0.0)	0.012	0.05	0.003	0.006
Subtotal		28 (6.1)	1 (0.2)				
Fungicide	Carbendazim (Benomyl)	8 (1.7)	0 (0.0)	0.037-2.049	0.03 (0.1)	0.413	4.676
	Chlorothalonil	22 (4.8)	0 (0.0)	0.017-0.686	0.02	0.295	3.162
	Procymidone	38 (8.2)	0 (0.0)	0.003-1.891	0.1	0.084	0.348
Subtotal		68 (14.7)	0 (0.0)				
Herbicide	Metribuzin	1 (0.2)	0 (0.0)	0.416	0.013	0.004	0.044
Total		97 (21.0)	1 (0.2)				

¹⁾The total number of the agricultural products was 462.

²⁾mg/kg body weight/day

³⁾EDI/ADI×100

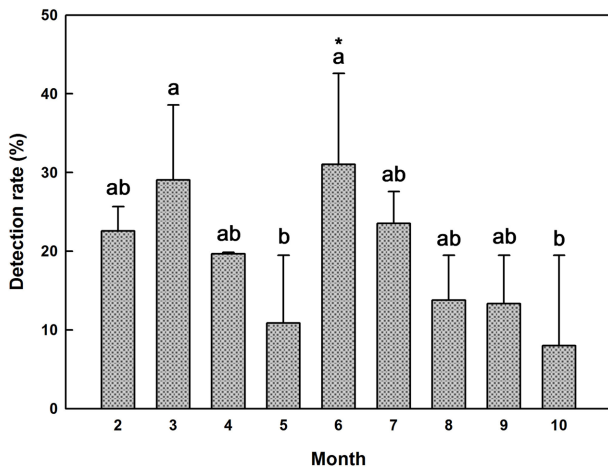


Fig. 1. Detection rate of endocrine disrupting pesticides (EDPs) in agricultural products by month during the year of 2016. Values with different superscripts from a to b were significantly different by one-way ANOVA followed Duncan's multiple range test, * $p < 0.05$

결과와 단일값을 반영한 위해도의 값은 Table 6과 Fig. 2(B)에 나타나었으며, 남성 만 10세 미만의 그룹에서 평균 위해도는 0.80%, 최대 위해도는 11.74%으로 10을 초과한 결과를 보였으나, 95th 퍼센타일의 확신도에서 확률론적 위해도는 2.98%으로 극단적인 최대 위해도를 보정한 결과를 보여주었다. 이는 앞서 분석한 단일 값(평균, 최고검출 값)을 적용한 위해도의 결과가 최악의 건(case)을 반영하여 보수적으로 산출되었기 때문으로 보이며 이러한 노출요소의 불확실성과 가변성을 고려한 확률론적 위해도의 결과를 신뢰하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 또한 잔류허용 기준은 식품에 잔류된 농약을 평생 동안 매일 섭취하더라도 인체 건강에 이상이 없는 안전한 수준으로 설정하고 있으며 저장, 세척, 조리 등의 가공 중에 많은 양이 소실되는 잔류농약의 특성을

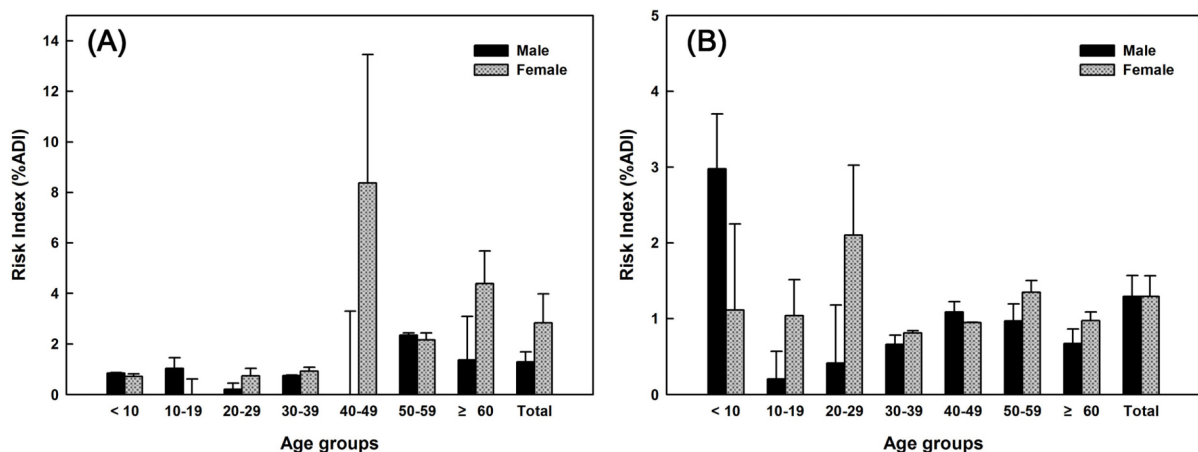
고려하면 기준이 초과된 농산물을 소량 섭취하더라도 인체에 큰 위해성을 가져오지는 않는다. 다만, 농산물의 일일평균섭취량과 체중은 섭취시간의 편차가 크고 어린이, 노인 등 건강에 취약한 집단의 노출을 고려해야 하므로 잔류허용기준을 초과한 농작물이 유통되지 않도록 지속적인 관리가 필요하다.

요 약

본 연구에서는 2016년 부산지역 유통 농산물에 잔류된 내분비계 장애추정농약(EDPs)이 인체에 노출되었을 때 발생할 수 있는 위해성을 성별, 연령별 그룹으로 나누어 비교 분석하였다. 총 462건의 채소류와 과일류에서 12종의 EDPs 90건이 검출되어 19.5%의 검출률을 보였고, 그 중 엽갈이배추에서 다이아지논 1건(0.2%)이 잔류허용기준을 초과하였다. 부산지역 농산물의 일일평균섭취량과 체중은 국민건강영양조사 제6기 자료를 이용하였으며 성별, 연령별로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 농산물 섭취량에 따른 내분비계 장애추정농약의 위해평가 결과 검출된 모든 EDPs의 %위해도가 평균 1 미만, 최고검출 값을 반영한 %위해도가 10 미만으로 나타나 위해성이 없는 것으로 판단되었다. 잔류허용기준을 초과한 엽갈이배추의 다이아지논은 평균 %위해도가 0.74, 최고검출 값을 적용한 %위해도가 8.38이었으며, 여성 만 40세-49세 그룹에서 평균 위해도는 2.74%, 최대 위해도는 31.11%으로 가장 높은 위해성을 보였다. 또한 사과와 카벤다짐은 평균 %위해도가 0.27, 최고검출 값을 적용한 %위해도가 3.93이었으며, 남성 만 10세 미만의 그룹에서 평균 %위해도는 0.80, 최대 %위해도는 11.74%으로 10을 초과한 결과를 보였다. 다이아지논과 카벤다짐의 경우 단일 값을 적용한 위해평가의 불확실성과 극단성을 보정하기 위하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 확률론적 위해평가를 성별, 연령 그룹별로 진행하였다. 그 결과 95th 퍼센타일의 확신도에서 엽갈이배추의 다이아지논은 여성 만 40세-49세 그룹의 위해도가 8.38%이었으며, 사과와 카벤다짐은 남성 만 10세

Table 5. %Risk index (%RI) and Stochastic risk index (%SRI)¹⁾ of diazinon in Korean cabbage²⁾ consumed by gender and age groups

Gender group	Age group	Variables ³⁾		%RI		%SRI ⁴⁾	
		Body weights (kg)	Food intakes (g/day)	Mean residue	Max. residue	Mean	95 th percentile
Mean	<10	20.59±9.36 ^g	0.11±0.68 ^f	0.29	3.25	0.30	0.82
	10-19	54.83±13.97 ^f	0.20±1.23 ^e	0.19	2.20	0.27	0.62
	20-29	62.42±13.92 ^d	0.18±1.34 ^e	0.15	1.74	0.16	0.45
	30-39	68.03±13.49 ^a	0.32±1.78 ^d	0.25	2.86	0.28	0.77
	40-49	65.72±11.65 ^b	1.55±11.62 ^a	1.25	14.21	1.31	3.30
	50-59	62.78±9.82 ^c	1.00±5.69 ^c	0.85	9.63	0.75	2.44
	≥60	60.77±9.90 ^e	1.50±14.97 ^b	1.32	14.92	1.43	3.09
	Total	59.77±16.29	0.83±8.59	0.74	8.38	0.64	1.68
Male	<10	20.80±9.42 ^g	0.12±0.68 ^e	0.31	3.49	0.25	0.85
	10-19	61.61±14.83 ^f	0.38±1.67 ^c	0.33	3.69	0.30	1.04
	20-29	70.68±12.97 ^c	0.10±0.47 ^e	0.07	0.82	0.07	0.21
	30-39	75.05±11.49 ^a	0.33±1.89 ^d	0.24	2.69	0.27	0.75
	40-49	72.90±10.48 ^b	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾
	50-59	68.46±8.42 ^d	1.11±5.42 ^a	0.87	9.82	0.87	2.35
	≥60	64.50±9.30 ^e	0.82±9.44 ^b	0.68	7.67	0.63	1.37
	Total	65.51±17.20	0.46±4.73	0.37	4.24	0.63	1.29
Female	<10	20.37±9.29 ^g	0.10±0.69 ^e	0.26	2.99	0.27	0.71
	10-19	47.42±7.94 ^f	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾	ND ⁵⁾
	20-29	52.73±7.05 ^c	0.27±1.88 ^d	0.28	3.14	0.28	0.74
	30-39	60.89±11.49 ^a	0.31±1.65 ^d	0.27	3.06	0.29	0.93
	40-49	58.84±7.99 ^b	3.03±16.13 ^a	2.74	31.11	2.77	8.38
	50-59	57.55±7.94 ^d	0.90±5.93 ^c	0.83	9.41	0.76	2.16
	≥60	57.84±9.35 ^c	2.04±18.16 ^b	1.88	21.28	2.06	4.39
	Total	54.21±13.16	1.19±11.10	1.17	13.22	1.16	2.83

¹⁾EDI/ADI×100²⁾Include commodity of spring green cabbage and young chinese cabbage³⁾Values are mean±SD (applied by weight cases for complex sample analysis).⁴⁾Values are based on the cofound analysis of variability and uncertainty and were determined by Monte Carlo simulation.⁵⁾No data^{a-g}Values with different superscripts were significantly different by one-way ANOVA followed Duncan's multiple range test ($p<0.05$).**Fig. 2. Risk index (%) at the 95th of Monte Carlo simulation in gender and age groups. (A) diazinon in Korean cabbage (B) carbendazim in apple**

미만의 그룹의 위해도가 2.98%로, 모두 ADI 대비 10% 미만의 결과를 보였으므로 위해성은 크지 않았다.

부산지역 유통 농산물에 잔류된 내분비계 장애추정농약의 위해성을 평가한 결과 인체 건강상의 유해한 영향을 가져올 것이

라 보이진 않으나, 다른 농약에 비해 위해도가 높았던 다이아지논과 카벤다짐의 경우 지속적인 모니터링과 관리가 필요하며, 이러한 농약 대신에 비교적 위해성이 낮은 대체품을 이용하거나 각 농산물 품목에 설정된 잔류허용기준을 준수하여 사용할 수 있도

Table 6. %Risk index (%RI) and Stochastic risk index (%SRI)¹⁾ of carbendazim in apple consumed by gender and age groups

Gender group	Age group	Variables ²⁾		%RI		%SRI ³⁾	
		Body weights (kg)	Food intakes (g/day)	Mean residue	Max. residue	Mean	95 th percentile
Mean	<10	20.59±9.36 ^e	31.81±72.44 ^f	0.56	8.16	0.69	2.25
	10-19	54.83±13.97 ^f	25.75±93.34 ^e	0.17	2.48	0.18	0.57
	20-29	62.42±13.92 ^d	53.36±123.30 ^b	0.31	4.52	0.32	1.18
	30-39	68.03±13.49 ^a	39.22±106.36 ^c	0.21	3.05	0.21	0.78
	40-49	65.72±11.65 ^b	50.07±110.84 ^c	0.28	4.03	0.24	0.95
	50-59	62.78±9.82 ^c	56.33±128.31 ^a	0.32	4.74	0.37	1.20
	≥60	60.77±9.90 ^c	41.43±100.55 ^d	0.25	3.60	0.28	0.86
	Total	59.77±16.29	44.41±109.91	0.27	3.93	0.28	1.02
Male	<10	20.80±9.42 ^e	46.23±82.54 ^e	0.80	11.74	0.74	2.98
	10-19	61.61±14.83 ^f	10.48±37.18 ^e	0.06	0.90	0.06	0.20
	20-29	70.68±12.97 ^c	24.38±58.29 ^f	0.12	1.82	0.12	0.42
	30-39	75.05±11.49 ^a	36.49±96.98 ^d	0.18	2.57	0.19	0.66
	40-49	72.90±10.48 ^b	59.18±128.78 ^a	0.29	4.29	0.30	1.09
	50-59	68.46±8.42 ^d	51.86±131.35 ^b	0.27	4.00	0.26	0.97
	≥60	64.50±9.30 ^c	33.11±78.61 ^c	0.19	2.71	0.19	0.67
	Total	65.51±17.20	37.95±97.65	0.21	3.06	0.34	1.29
Female	<10	20.37±9.29 ^e	16.81±56.36 ^f	0.30	4.36	0.32	1.11
	10-19	47.42±7.94 ^f	42.93±128.08 ^d	0.33	4.78	0.37	1.04
	20-29	52.73±7.05 ^c	85.82±162.57 ^a	0.59	8.60	0.52	2.10
	30-39	60.89±11.49 ^a	42.00±115.07 ^c	0.25	3.64	0.22	0.81
	40-49	58.84±7.99 ^b	41.32±89.47 ^c	0.25	3.71	0.28	0.95
	50-59	57.55±7.94 ^d	60.46±125.30 ^b	0.38	5.55	0.35	1.35
	≥60	57.84±9.35 ^c	47.98±114.49 ^c	0.30	4.38	0.34	0.98
	Total	54.21±13.16	50.65±120.25	0.34	4.94	0.33	1.29

¹⁾EDI/ADI×100²⁾Values are mean±SD (applied by weight cases for complex samples analysis).³⁾Values are based on the cofound analysis of variability and uncertainty and were determined by Monte Carlo simulation.^{a-g}Values with different superscripts were significantly different by one-way ANOVA followed Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

록 농약의 취급자와 사용자를 대상으로 적극적인 교육과 홍보가 이루어져야한다. 또한, 대중적으로 섭취량이 많은 농산물과 위해성이 큰 농약의 경우 기존의 기준을 재검토하는 등의 정책적인 노력이 필요할 것으로 생각된다.

References

- Lintelmann J, Katayama A, Kurihara N, Shore L, Wenzel A. Endocrine disruptors in the environment (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 75: 631-681 (2003)
- Kim SH, Park MJ. Endocrine disrupting chemicals and pubertal development. *Endocrinol. Metab.* 27: 20-27 (2012)
- Lee CJ, Lee HJ, Yoon YD. Endocrine disruptors and reproduction. *Endocrinol. Metab.* 16: 596-623 (2001)
- Lee JB, Shin JS, Lee HD, Jeong MH, You AS, Kang KY. Risk assessment for estrogenic effect of the suspected endocrine disrupting pesticides. *Korean J. Pestic. Sci.* 8: 95-102 (2004)
- Matisová E, Hrouzková S. Analysis of endocrine disrupting pesticides by capillary GC with mass spectrometric detection. *Int. J. Env. Res. Pub. He.* 9: 3166-3196 (2012)
- Heberer T, Dünnbier U. DDT metabolite bis (chlorophenyl) acetic acid: the neglected environmental contaminant. *Environ. Sci. Technol.* 33: 2346-2351 (1999)
- Noh HH, Lee KH, Lee JY, Park HK, Lee EY, Hong SM, Park YS, Kyung KS. Monitoring of endocrine disruptor-suspected pesticide residues in greenhouse soils and evaluation of their leachability to groundwater. *Korean J. Pestic. Sci.* 15: 441-452 (2011)
- Lammerding AM, Fazil A. Hazard identification and exposure assessment for microbial food safety risk assessment. *Int. J. Food Microbiol.* 58: 147-157 (2000)
- Bhanti M, Taneja A. Contamination of vegetables of different seasons with organophosphorous pesticides and related health risk assessment in northern India. *Chemosphere* 69: 63-68 (2007)
- He D, Ye X, Xiao Y, Zhao N, Long J, Zhang P, Fan Y, Ding S, Jin X, Tian C, Xu S, Ying C. Dietary exposure to endocrine disrupting chemicals in metropolitan population from China: A risk assessment based on probabilistic approach. *Chemosphere* 139: 2-8 (2015).
- Jang MR, Moon HK, Kim TR, Yuk DH, Kim JH, Park SG. Dietary risk assessment for pesticide residues of vegetables in Seoul, Korea. *Korean J. Nutr.* 43: 404-412 (2010)
- Boobis AR, Ossendorp BC, Banasiak U, Hamey PY, Sebestyen I, Moretto A. Cumulative risk assessment of pesticide residues in food. *Toxicol. Lett.* 180: 137-150 (2008)
- Kaushik G, Satya S, Naik SN. Food processing a tool to pesticide residue dissipation-A review. *Food Res. Int.* 42: 26-40 (2009)
- Paik MK, Park BJ, Son KA, Kim JB, Hong SM, Kim WI, Im GJ, Hong MK. Probabilistic approach on dietary exposure assessment of neonicotinoid pesticide residues in fruit vegetables. *Korean J. Pestic. Sci.* 14: 110-115 (2010)
- Do YS, Kim JB, Kang SH, Kim NY, Eom MN, Yoon MH. Probabilistic exposure assessment of pesticide residues in agricultural products in Gyeonggi-do. *Korean J. Pestic. Sci.* 17: 117-125 (2013)
- Ryu JC. Overall review on endocrine disruptors. *Korean J. Pestic. Sci.* 6: 135-156 (2002)

17. Park JS. Study of integrated pollution control for risk assessment and management system on endocrine disruptors. Available from: <http://www.nts.go.kr>. Accessed 2002.
18. Kim CJ, Seung JJ, Lee SJ, Park YS, Ko SH. Calculation of food commodity intake for safety control of pesticide residues. *Food Sci. Indus.* 43: 67-78 (2010)
19. U.S. Environmental Protection Agency (US/EPA). Final list of initial pesticide active ingredients and pesticide inert ingredients to be screened under the federal food, drug, and cosmetic act. *Federal Register.* 74: 17579-17585 (2009)
20. Hrouzková S, Matisová E. Endocrine disrupting pesticides. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/46226>. Accessed Jul. 25, 2012.
21. U.S. Environmental Protection Agency (US/EPA). Final second list of chemicals for tier 1 screening. Available from: <http://www.epa.gov>. Accessed Jun. 26, 2014.
22. Okkerman PC, Van der Putte I. Endocrine disrupters: Study on gathering information on 435 substances with insufficient data. *European commission (EC) DG ENVIRONMENT: B4-3040/2001/325850/MAR/C2.* pp. 1-52 (2002)
23. World Health Organization (WHO). Endocrine disorders and children: children's health and the environment. Available from: <http://www.who.int/ceh>. Accessed Oct. 2011.
24. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Practical instructions for residual pesticide analysis method. 5th ed. Ministry of Food and Drug Safety, Korea. pp. 3-5 (2017)
25. Lozowicka B, Kaczynski P, Paritova AE, Kuzembekova GB, Abzhaliyeva AB, Sarsembayeva NB, Alihan K. Pesticide residues in grain from Kazakhstan and potential health risks associated with exposure to detected pesticides. *Food Chem. Toxicol.* 64: 238-248 (2014)
26. Korea Centers for Disease Control and Prevention. The sixth Korea national health and nutrition examination survey (2013-2014). Available from: www.knhanes.cdc.go.kr. Accessed from 2013 to 2014.
27. Kwon HJ. Monitoring and risk assessment of suspected endocrine disrupting pesticides in leafy vegetables. MS thesis, Pusan National University, Busan, Korea. (2015)
28. Beane Freeman LE, Bonner MR, Blair A, Hoppin JA, Sandler DP, Lubin JH, Dosemeci M, Lynch CF, Knott C, Alavanja MCR. Cancer incidence among male pesticide applicators in the agricultural health study cohort exposed to diazinon. *Am. J. Epidemiol.* 162: 1070-1079 (2005)
29. European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance: diazinon. *EFSA Scientific report.* 85: 1-73 (2006)
30. Zubaidy MAI, Mousa Y, Hasan M, Mohammad F. Acute toxicity of veterinary and agricultural formulations of organophosphates dichlorvos and diazinon in chicks. *J. Ind. Hyg. Toxicol.* 62: 317-323 (2011)