

## Monitoring and Risk Assessment of Pesticide Residues for Circulated Agricultural Commodities in Korea-2013

Jae-Young Kim · Sang-Mok Lee · Han-Jin Lee · Moon-Ik Chang\* · Nam-Sook Kang · Nam-Sun Kim · Heejung Kim · Yoon-Jae Cho · Jiyeon Jeong · Mee Kyung Kim · Gyu-Seek Rhee

### 국내 유통 농산물의 잔류농약 모니터링 및 위해평가-2013년

김재영 · 이상목 · 이한진 · 장문익\* · 강남숙 · 김남선 · 김희정 · 조윤제 · 정지윤 · 김미경 · 이규식

Received: 18 December 2013 / Accepted: 20 February 2014 / Published Online: 30 September 2014  
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2014

**Abstract** The purpose of this study is the establishment of scientific processes for making food safety policies. Thus, we investigated pesticide residue level of the agricultural commodities from market, and performed risk assessment. Fifteen agricultural items are chosen based on the frequency of Korean consumption. The samples were collected from 9 cities where populations are more than one million. Total 283 active ingredients were monitoring (total sample number = 232). Single-analysis of target pesticides

was for three kinds of possible growth regulators and the multi-component analysis was for 280 kinds of pesticides, a total of 283 species were selected to perform the pesticide residues. Before monitoring the analytes, the improvements of the analytical methods were done by method validations under the CODEX analytical method development guidelines and can produce metrics that represent the international standards applied in accordance with the guidelines. In addition to residual pesticides detected during monitoring we compare the ADI to EDI values using detected result and dietary consumption data which is extracted from annual market basket survey. The 163 samples were non-detected in the total 232 samples so it means that every agricultural commodity will residual pesticides-free in 70.3%. The detected residual pesticides showed for a total of 69 cases (29.7%). Two of samples violate Korean MRL (0.9%). The ratio of EDI compared to ADI resulted in only from 0.00087 to 0.902%. In result, we can assume that all detected residual pesticides are very safe level and current policies of Korean pesticides control may be working.

J.-Y. Kim and S.-M. Lee contributed equally.

J.-Y. Kim · S.-M. Lee · H.-J. Lee · M.-I. Chang · H. Kim · Y.-J. Cho · J. Jeong · M. K. Kim · G.-S. Rhee  
Pesticide and Veterinary Drug Residues Division, Department of Food Safety Evaluation, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Ministry of Food and Drug Safety, 187 Osongsaengmyeong2-ro, Osong-eup, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do 363-700, Republic of Korea

N.-S. Kang  
Hazardous Substances Analysis Team, Center for Food and Drug Analysis, Busan Regional Food and Drug Administration, Ministry of Food and Drug Safety, 356-65 Sinseon-ro, Nam-gu, Busan 608-829, Republic of Korea

N.-S. Kim  
Hazardous Substances Analysis Team, Center for Food and Drug Analysis, Gyeongin Regional Food and Drug Administration, Ministry of Food and Drug Safety, 137 Juan-ro, Nam-gu, Incheon 402-835, Republic of Korea

\*Corresponding author (M.-I. Chang: 1004@korea.kr)

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.

**Keywords** agricultural commodities · monitoring · residual pesticide · risk assessment

### 서론

농업에서의 병, 해충, 잡초 방제 및 식물 성장 조절을 위한 농약의 사용은 농산물의 품질 향상과 식량 생산의 증대를 이루어 인류의 생활 여건에 많은 기여를 해왔다. 그러나 안전사용기준

이 설정된 농약을 오남용할 경우, 환경오염의 문제 뿐만 아니라 잔류허용기준(maximum Residue Limits, MRL)을 초과한 농산물 또는 그 가공품이 유통될 우려가 존재하고, 이를 섭취 시 인체에 위해를 일으킬 수 있기 때문에 보다 철저한 관리가 필요하다(Kim 등, 2010). 따라서 우리나라는 농산물의 농약 MRL을 설정하여 엄격히 규제하고(MFDS, 2013), 유통되는 농산물의 안전성 확보를 위하여 정부차원에서 지속적인 모니터링 사업을 수행하고 있으며(Do 등, 2013), 제외국의 사례로, 미국의 경우 FDA에서 농산물, 가공식품 및 수입품에 대한 모니터링을 실시하고 매년 보고서를 공개하여 유통 식품의 안전성을 확보하고 있으며(U.S. FDA, 2013), EU에서는 각 회원국별로 자체 모니터링과 회원국 간 공동 참여 방식의 모니터링을 수행하고 있다(EC, 2008). 이외에도 우리의 주변국 일본에서는 후생노동성이 주관하고 산하기관인 국립의약품식품위생연구소 및 지방위생연구소 등 기관들이 서로 협업하여 전국 규모의 잔류농약 모니터링을 실시하고 있다(MHLW, 1999). 우리나라는 1988년 9월 처음으로 17종 농약에 대한 MRL을 제정한 이후, 현재까지 농산물 440종, 인삼 68종, 축산물 83종을 대상으로 MRL을 설정하여 관리하고 있다(MFDS, 2014). 또한 검출이력이 높거나 집중관리가 필요한 농약을 대상으로 식품의약품안전처에서는 1998년부터 국가잔류농약모니터링 사업을 시작하여 현재까지 매년 수행하고 있으며, 그 결과를 식품안전관리 정책에 반영하고 있다(Do 등, 2013).

정부차원에서 전국적인 수준으로 매년 실시한 식품의약품안전처의 잔류농약 모니터링 결과는 MRL을 초과한 부적합 농산물이 2001년 1.4%, 2002년 1.3%, 2003년 1.4%, 2004년 1.5%, 2005년 1.5%, 2006년 1.1%, 2007년 2.1%, 2008년 0.1%, 2009년 0.6%, 2011년 0.3%, 2012년 0.3%로 나타나 농민들의 농약안전사용 준수율이 점차 향상되는 것으로 나타났다. 이러한 식품의약품안전처의 노력에도 불구하고, 일부 농가에서는 농약의 안전사용을 준수하지 않는 등 오남용 우려가 존재하여, 이를 감시하기 위한 잔류농약 모니터링 연구가 지속적으로 요구된다(MFDS, 2012).

따라서 본 연구는 국내에 유통되고 있는 농산물의 잔류농약 실태조사를 하였고, 이에 대한 위해평가를 통해 검출된 농약의 위해도를 조사하였다.

## 재료 및 방법

**조사 대상 및 시료.** 잔류농약 모니터링 조사 대상 농산물은 다 소비 식품의 식품 소비량을 근거로 하여 식품공전에 명시된 식품 원재료 분류(MFDS, 2013)에 따라 곡류(쌀), 서류(감자), 콩류(대두), 과일류(사과, 배, 복숭아, 딸기, 오렌지 및 바나나) 및 과채류(수박, 오이, 애호박, 토마토, 깻잎 및 무)로 세분화하여 조사 대상을 선정하였다. 농산물의 수거 지역은 2012년 안전행정부 주민등록 인구 및 세대 현황 조사(MSPA, 2013)를 근거로 하여 1차적으로 백만 이상 거주 지역을 확률비례추출법에 의해 9개 대도시(서울, 인천, 수원, 대전, 광주, 대구, 울산, 부산 및 창원)로 세분화하였고, 2차적으로 지역 균일화 안배를 고려해 수거 횟수를 선정하였다(Table 1). 검체 수거는 해당 지역의 대형마트 및 농산물 도매시장에서 유통 중인 농산물을 대상으로 하였으며, 총 15품목 232건을 구입하였다. 구입한 시료는 식품공전 잔류농약분석법 실무해설서에 명시된 검체 채취 및 전처리 방법으로 믹서기를 이용하여 균질화한 후(Lee, 2012; MFDS, 2013), 분석 전까지 냉동실(-50°C)에 보관하면서 사용하였다.

**시료의 전처리 및 잔류농약 분석.** 시료의 전처리 방법과 기기 조건은 잔류농약 모니터링에 최적화될 수 있는 분석법으로 재확립한 후 사용하였다. 즉, 농산물의 매트릭스를 대표할 수 있는 5종(곡류: 현미, 서류: 감자, 콩류: 대두, 과일류: 감귤, 과채류: 고추)을 선정하여 현행 식품공전 분석법으로 어려움이 있는 부분을 개선하여 적용하였고, CODEX 분석법 가이드라인에 준하여 직선성, 회수율, 정량한계 및 재현성 등의 유효성 검증을 수행하였다(CODEX, 1993). 이와 같이 국내 및 국제 기준에 준하여 재확립된 분석법은 유통 농산물의 잔류농약 모니터링에 사용되었다.

**조사 대상 농약.** 대상 농약은 개선된 분석법으로 이용 가능한 다중다성분 또는 단성분을 대상으로 하였다. 단성분 분석은 국내에서 생장조정제로 이용되고 있는 dichlorprop, ethychlozate 및 6-benzylaminopurine 3종과 다중 다성분 분석은 acrinathrin 등 280종(GC-MS/MS로 분석 가능한 acrinathrin 등 194종 및 LC-MS/MS로 분석 가능한 acetamiprid 등 86종)으로 총 283종을 대상 농약으로 선정하였다. 이들 농약의 표준품은 Chem service (USA), Dr. Ehrenstorfer GmbH (Germany), Fluka (USA),

**Table 1** Selection of collecting area and count by population of province

Collected area	Population (people)	Population ratio (%)	Collected count	
			Step 1: Probability proportional to size	Step 2: Regional arrangement
Seoul	10,185,955	40.01	6.00	5
Busan	3,537,758	13.90	2.08	2
Incheon	2,856,667	11.22	1.68	2
Daegu	2,504,888	9.84	1.48	1
Daejeon	1,528,578	6.00	0.90	1
Gwangju	1,471,324	5.78	0.87	1
Ulsan	1,150,708	4.52	0.68	1
Suwon	1,131,939	4.45	0.67	1
Changwon	1,089,406	4.28	0.64	1
Total	24,367,817	100.00	15.00	15

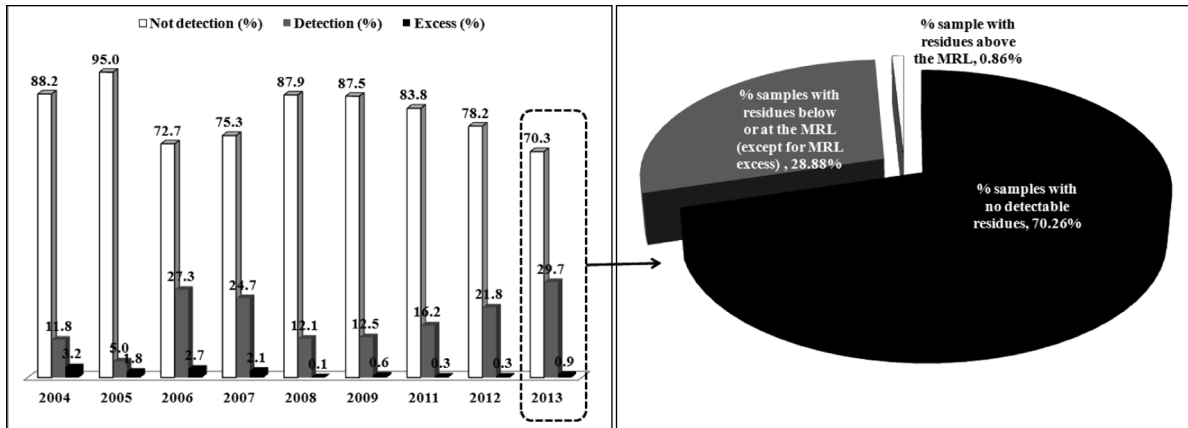


Fig. 1 Overall results of monitoring program.

Sigma-Aldrich (USA), Supelco (USA) 및 Wako chemical (Japan)의 제품을 구입하여 사용하였다.

**검출농약의 위해평가.** 대상 농산물에서 검출된 농약에 대한 위해성 평가를 위해 식품공전의 각 농약 일일 섭취허용량 (acceptable daily intake, ADI)을 이용하였다(MFDS, 2013). 즉, 잔류농약의 1일 추정섭취량(estimated daily intake, EDI)을 산출하기 위하여 농산물에서 검출된 잔류농약 평균 농도를 구하고, 여기에 해당 농산물의 1일 섭취량을 곱하였다. 이 값에 국민 평균 체중 55 kg으로 나누어 1인 1일 추정섭취량을 구하였다. 또한, ADI에 국민 평균 체중 55 kg을 곱하여 잔류농약 1인 1일 섭취허용량을 구하여 ADI 대비 EDI (%ADI)로 산출하였다.

**결과 및 고찰**

**분석법 및 검출유무.** 본 연구의 잔류농약 실태조사는 식품공전에 수재된 성장조정제 3종의 단성분 분석법 및 다중농약다성분 분석 대상 280종 등 총 283종에 대한 분석법을 개선한 후 직선성, 회수율, 정량한계 및 재현성 등 유효성 검증을 CODEX 분석법 가이드라인에 준하여(CODEX, 1993) 재검증을 수행한 후 잔류농약 모니터링 분석법으로 적용하였다. 단성분 분석법이 적용된 dichlorprop, ethychlozate 및 6-benzylaminopurine은 회수율이 각각 78~103%, 82~106% 및 70~104%를 나타내었으며 반복회수율 간 변동계수는 11% 미만으로 CODEX에서 권장하는 회수율 및 변동계수에 충족하는 결과를 나타내었다. 반면에 농약 194종에 대한 GC-MS/MS 다중 농약 분석법 및 농약 86종에 대한 LC-MS/MS 다중 농약 분석법의 회수율은 대부분 70~120%의 적정 범위를 나타내었으나, 이 범위를 벗어나는 회수율도 일부 존재하여 이에 대한 개선연구가 필요할 것으로 판단되었다. 또한, 농산물에서 검출된 잔류농약은 식품공전에 고시된 MRL을 기준으로 적부 판정을 평가하였으며, 해당 농산물에 MRL이 설정되어 있지 않은 농약은 잠정기준으로 CODEX 기준을 적용하였다(MFDS, 2013).

**농산물 수거 현황.** 본 연구에서 수거한 농산물은 국내에서 많이 소비되는 식품 중 식품원재료 분류표를 참고로 하여 선정하였다. 우선 대분류에 의해 곡류, 서류, 콩류, 과일류 및 채소류로 나누었고, 소분류가 명시되지 않은 곡류는 쌀, 서류는 감자, 콩류는 대두를 선정하였다. 잔류농약 검출률이 상대적으로 높고

소분류가 명시된 과일류 및 채소류의 경우, 과일류는 사과(사과 및 배), 감귤류(오렌지), 핵과류(복숭아), 장과류(딸기), 열대과일류(바나나) 등 6 품목으로 분류하였고, 채소류는 엽채류(깻잎), 근채류(무), 박과과채류(오이, 호박 및 수박), 박과이외과채류(토마토) 등 6품목으로 하여 총 15품목을 선정하였다. 아울러, 2012년 잔류농약 모니터링 결과를 근거로 MRL을 초과한 깻잎과 검출빈도가 높았던 사과(17회), 오렌지(12회) 및 복숭아(10회)를 포함하였다. 검체 수거 지역은 인구확률비례추출법에 의해 인구 백만 이상 대도시를 우선 대상으로 선정하면서 지역안배를 감안하여 서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 광주, 울산, 수원 및 창원지역을 최종 선정하였다. 또한, 검체 수거 횟수는 수거 지역의 균일화를 위하여 밀집지역인 서울, 부산 및 인천 지역을 5회, 2회 및 2회로 각각 줄이고 나머지 6개 지역을 1회로 고루 배분하였다. 검체는 농산물 15품목을 대상으로 하였으며, 한 품목당 기본 15건 이상을 수거하도록 하여 총 232건의 농산물을 수거하였다.

**잔류농약 모니터링 결과.** 2012년 안전행정부 주민등록 인구 및 세대 현황 조사를 근거로(MSPA, 2013) 인구확률비례추출법과 지역안배에 의해 전국 9개 대도시 지역에서 수거한 농산물의 잔류농약 모니터링 결과는 Fig. 1에 나타내었으며, 농산물에서 검출된 잔류농약은 식품의약품안전처에서 고시한 MRL에 따라 적부 판정을 평가하였다(MFDS, 2013).

전국 9개 지역에서 수거된 15품목 232건의 농산물을 대상으로 성장조정제 3종 및 다중다성분 280종에 대해 분석한 결과, 163건(70.3%)에서는 농약이 검출되지 않았으며, 69건(29.7%)에서 잔류농약이 검출되었다. 이 중 MRL을 초과하여 검출된 농약은 2건(0.9%)이었다.

이러한 결과는 2004년부터 2012년까지 식약처에서 실시한 국내 유통 농산물의 잔류농약 모니터링 결과보다 높은 검출률을 나타내었다(MFDS, 2012). 연도별로 살펴보면 2004년 11.8%의 검출률을 보인 이래, 2005년에 5.0%로 가장 낮았고, 2006년에는 27.3%, 2012년에는 21.8%의 검출율을 보였다. 이러한 결과는 그간 분석장비 및 시료전처리 기술의 미량분석 수치도 확인이 가능함에 따른 것으로 판단할 수 있다. 반면에, 부적합률은 2008년부터 점차 감소하는 경향이었다. 2004년 3.2%, 2005년 1.8%, 2006년 2.7%, 2007년 2.1%에 비해 2008년 0.1%, 2009년 0.6%, 2011년 0.3%, 2012년 0.3%, 2013년 0.9%의 추세로 최근 6년간은 0.9% 이하의 부적합 결과를 나타내어 점차 감소되

는 추세라 판단할 수 있다. 하지만 매년 모니터링 대상 농산물과 농약의 종류와 수가 다르다는 것을 감안하면 수치상의 비교가 적합하지 않다고 판단될 수 있으나, 한편으로 생각하면 농약을 사용하는 농민들의 의식변화와 정부차원에서의 잔류농약 안전관리가 철저하게 이루어진 결과라고 판단할 수 있다. 더불어 2013년에는 식품의약품안전청이 식품의약품안전처로 승격되면서 출하 직전의 생산단계 농산물부터 소비 및 유통의 소비단계까지 총괄적으로 관리하기 때문에 더욱 철저한 안전관리가 이행될 것으로 판단된다.

**잔류농약 모니터링 결과-식품군별.** 농산물의 분류별 모니터링 결과는 Table 2와 같다. 식품공전의 원재료 분류에 있어 대부분류 항목에 따라 곡류, 서류, 콩류, 과일류 및 채소류로 분류하여 조사한 결과, 수거한 품목 중 콩류에서는 전체 15건 모두 농약 성분이 검출되지 않았다. 반면에 과일류는 47.3%로 높은 검출률을 나타내었고, 채소류 24.2%, 곡류 12.5%, 서류 6.7% 순으로 검출률을 나타내었다. 이 중, MRL을 초과한 항목은 과일류 및 채소류에서 각각 1건씩으로 전체 232건 중 0.9%의 부적합률을 나타내었지만 대부분 검출된 품목에서 안전한 수준인 MRL 이하로 나타났다. 이상과 같이 분류별 결과는 부적합 건수가 존재하면서 20% 이상의 검출률을 보인 과일류 및 채소류에서 잔류량이 높은 결과를 나타내었는데, 이는 시료의 물리적 특성과 살포되는 농약의 잔존 부위 및 대상 가식부위가 영향을 미친 것으로 판단된다. 즉, 채소류는 대부분 표면적이 넓어 농

약 살포시 농약의 부착 및 잔존량이 비교적 높아 농약 잔류량이 높게 나타나는 원인이 되고(Kim 등, 2010), 과일류는 시료 채취 시 과피를 포함한 과실 전체를 가식부로 규정하고 있기 때문에 농약의 직접 살포 부위가 과피인 점과 과피의 표면적이 곡류, 서류 및 콩류에 비해 큰 과일류가 농약의 잔류량에 있어 상대적으로 높게 나타날 수 있는 원인으로 작용했다 판단된다(Lee와 Lee, 1997).

농산물의 세부 품목별 모니터링 결과는 Table 3과 같다. 품목별 검출률을 살펴보면 복숭아가 총 15건에서 13건으로 86.7%의 검출률을 나타내어 가장 높았으며, 뒤를 이어 사과 62.5%, 들깨잎 60.0%, 바나나 46.7%, 오렌지 40.0%, 오이 33.3%, 딸기 31.6%, 토마토 25.0%, 수박 20.0%, 배 13.3%, 쌀 12.5%, 감자 6.7%, 애호박 6.7% 순으로 검출률을 나타내었으며, 대두 및 무는 검출되지 않아 가장 낮은 검출률을 나타내었다. 이상과 같이 세부 품목별 결과는 부적합 건수가 존재하면서 80% 이상의 검출률을 보인 복숭아에서 검출률이 가장 높은 결과를 나타내었고, 사과가 60% 이상의 결과를 나타내었는데, 이는 검체 수거에 있어 계절별 농산물을 고려한 집중 수거가 검출률을 높인 원인으로 판단된다. 농가에서는 과일 수확직전에 품질향상을 위한 농약의 살포가 이뤄지는데, 집중 출하시기에 수거되는 복숭아 및 사과의 경우 유통과정에 있어 세척 등의 과정을 통해 잔류하는 농약의 제거과정 없이 잔류실태조사에 곧바로 사용된 것으로 판단된다. 또한, 뒤를 이어 들깨잎의 경우도 60%

**Table 2** Summary of result by commodity group

Sample	No. of samples analysed	No. of samples without detectable residues	% samples without detectable residues	No. of samples with residues below or at MRL	% samples with residues below or at MRL	No. of samples with residues above MRL	% samples with residues above MRL
Cereal grains	16	14	87.5	2	12.5	0	0.0
Potatoes	15	14	93.3	1	6.7	0	0.0
Beans	15	15	100.0	0	0.0	0	0.0
Fruits	91	48	52.7	43	47.3	1	1.1
Vegetables	95	72	75.8	23	24.2	1	1.1
Total	232	163	70.3	69	29.7	2	0.9

**Table 3** Result of the monitoring program for pesticide residues

Sample	No. of samples analyzed	No. of samples without detectable residues	% samples without detectable residues	No. of samples with residues below or at MRL	% samples with residues below or at MRL	No. of samples with residues above MRL	% samples with residues above MRL
Rice	16	14	87.5	2	12.5	0	0.0
Potato	15	14	93.3	1	6.7	0	0.0
Soybean	15	15	100.0	0	0.0	0	0.0
Apple	16	6	37.5	10	62.5	0	0.0
Pear	15	13	86.7	2	13.3	0	0.0
Orange	15	9	60.0	6	40.0	0	0.0
Peach	15	2	13.3	13	86.7	1	6.7
Strawberry	19	13	69.4	6	31.6	0	0.0
Banana	15	8	53.3	7	46.7	0	0.0
Watermelon	15	12	80.0	3	20.0	0	0.0
Tomato	16	12	75.0	4	25.0	0	0.0
Cucumber	15	10	66.7	5	33.3	0	0.0
Squash	15	14	93.3	1	6.7	0	0.0
Perilla leaves	15	6	40.0	9	60.0	1	6.7
Radish (root)	15	15	100.0	0	0.0	0	0.0
Total	232	163	70.3	69	29.7	2	0.9

이상의 결과를 나타내었는데, 기존에 수행된 모니터링 결과에서도 들깨잎의 경우는 검출률이 상대적으로 높은 경향이였다. 또한 깻잎 또는 상추와 같은 엽채류는 표면적이 넓어 농약 살포 시 농약의 부착이 다른 품목에 비해 높아 잔존률이 비교적 높아진 결과로 매년 검출률이 높은 결과를 나타낸 것으로 판단된다(Kim 등, 2010). 또한, 쌀에서 검출된 농약은 도열병 및 벼멸구 방지를 위해 사용되는 fenobucarb 및 iprobenfos 등 특정 농약에서만 검출되는 경향을 나타내었다(KCPA, 2012).

**잔류농약 모니터링 결과-농약 성분별.** 본 연구에서 모니터링한 대상 농약 성분 283종 중 chlorpyrifos 등 33종의 농약이 검출되었으며, 검출 농약의 분포는 Fig. 2와 같다.

검출된 농약 중 검출 빈도가 높았던 농약은 chlorpyrifos (19건), procymidone (10건), flubendiamide (8건), iprodione (7건), trifloxystrobin (6건), lufenuron (5건) 및 bifenthrin (5건)이었다. 사과, 배, 오렌지, 바나나, 복숭아, 깻잎에서 검출된 chlorpyrifos는 organophosphate 계통의 살충제로서 광범위한 해충에 효과를 보이는 접촉독, 식독 및 흡입독제로 표준 사용농도에서는 약해가 없으나 고농도에서는 약해의 우려가 있으며, 토양 중에서 60~120일간 효과가 지속되는 잔효성이 긴 성분이다(Park 등, 2013). 수박, 딸기, 토마토, 오이, 호박, 깻잎에서 검출된 procymidone은 dicarboximide 계통의 살균제로서 침투이행성의 치료 및 보호 살균제로 뿌리로부터 흡수하여 잎이나 꽃으로 이행하며 살균기작은 병원균의 triglyceride의 생합성을 저해하는 작용을 하고, 과실류나 채소류의 깻빛곰팡이병, 마름병 등의 방제에 주로 사용된다. 특히 이 농약은 가수분해 및 미생물에 의한 분해에 안정한 화합물로 작물에 흡착되기 쉬우며 침투 이행성 및 잔효성의 특징이 있다. 또한 작업자가 농약에 노출될 가능성이 적어 중독의 염려가 없는 안전한 농약으로 알려져 있다(Lee 등, 2010). 깻잎, 사과, 복숭아, 수박에서 검출된 flubendiamide는 dicarboxamide 계통의 비침투성 살충제로 곤충의 섭식저해작용을 하여 복숭아순나방, 복숭아심식나방, 은무늬 굴나방, 파밤나방 등의 방제에 사용되고 있다(KCPA, 2012). 바나나, 오이, 토마토, 수박, 사과에서 검출된 iprodione은 dicarboximide 계통의 살균제로 carbamate 계통의 thiophanate-methyl과 유기유황 계통의 propineb와 각각 혼합하여 사용 가능하며, 포도, 수박, 토마토 등의 탄저병, 잎곰팡이병을 예방 및 치료 목적으로 사용된다(KCPA, 2012). 사과 및 복숭아에서 검출된 trifloxystrobin은 strobilurin 계통의 살균제로서 병원균의 미토콘드리아에 작용하여 호흡을 방해하는 기작을 가지고 있다. 또한 살포직후 식물체에 강하게 결합하여 병원균의 포자발아억제, 균사생장억제 및 흡기형성을 저지하며 이미 발병된 곳에서도 새로운 병원균 포자 생성을 억제하여 병의 2차 감염을 억제시키는데 사용된다(KCPA, 2012). 사과, 복숭아, 깻잎에서 검출된 lufenuron은 benzamide 계통의 살충제로 유충의 표피조직인 키틴질 형성을 저해하여 살충효과를 나타내는 농약이다(KCPA, 2012). 바나나, 토마토, 사과에서 검출된 bifenthrin과 복숭아에서 검출된 acrinathrin은 합성 pyrethroid 계통의 살충제로서 접촉독 및 소화중독에 의해 살충효과를 나타내는 저독성 농약이다(KCPA, 2012).

아울러 본 연구에서 검출된 농약들은 단독으로 검출되는 경우가 대부분이나 2종 이상의 농약이 동시에 검출되기도 하였다(Fig. 3). 이는 혼합체의 농약이 사용되거나, 토양으로부터 기인되었을 가능성, 주변의 다른 농작물에 살포된 농약에의 오염, 농작물간 교차오염, 저장기간 중의 오염, 다른 농약에 오염된

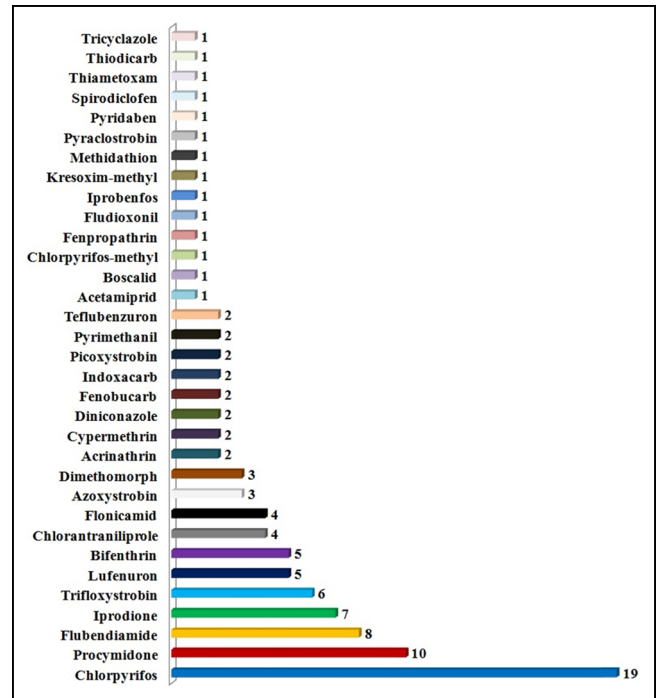


Fig. 2 Most frequently found pesticides in samples.

농약이 사용되었을 가능성 등의 원인으로 다성분의 농약이 동시에 검출되는 것으로 예상된다(Kim 등, 2010).

**잔류농약 모니터링 결과-수거장소별.** 2013년 식품의약품안전처에서는 식품 위생/안전관리 업무의 총괄관리 기능을 담당하게 됨에 따라 그간 각부처 고유의 업무권한으로서 이원화되었던 생산단계와 유통단계 모두를 포함한 안전관리 업무를 총괄하게 되었다. 따라서 본 연구는 검체수거에 있어 기존 대형마트 중심으로 이행된 잔류실태조사를 현행 정부의 식품안전 정책을 반영하여 농수산물도매시장까지 범위를 넓혀 검체수거를 수행하였다. 본 연구에서 수거된 농산물은 총 232건으로 도매시장에서 134건, 대형마트에서 98건이 수거되었으며, 2013년 잔류농약 모니터링의 총 검출률은 29.7%로 2012년에 대형마트 위주로 수행되어 나타난 검출률 33.8%보다 낮아진 경향이였다. 또한, 2012년과 2013년의 결과 중, 대형마트만을 분류하여 비교한 결과, 2012년 33.8%보다(MFDS, 2012) 2013년 26.5%로 확연히 감소된 결과를 보였다.

**잔류허용기준 초과 농산물.** 본 연구에서는 총 232건 중 2건의 농산물에서 MRL 이상의 농약이 검출되었다(Table 4). 깻잎에서 chlorpyrifos가 MRL 0.01 mg/kg에 0.39 mg/kg이 검출되어 기준치 대비 39배를 초과 하였고, 복숭아에서 picoxystrobin이 MRL 0.3 mg/kg에 0.4 mg/kg이 검출되어 기준치 대비 1.3배 정도 초과하였다. MRL을 초과한 검체는 부적합 식품 긴급통보시스템에 정보를 등록하였으며, 농산물품질관리원, 해당 행정기관 등 관계기관에 부적합 통보 공문을 발송하였다. 부적합 통보를 받은 해당 행정기관에서는 식품위생법 제95조 제1호의 규정에 따라 해당 농가를 고발 조치하였으며, 생산단계에서의 원인추적 조사를 실시하는 한편 부적합 농산물 생산 농민을 대상으로 농약 안전 사용에 대한 교육도 실시하였다. 그리고 농산물품질관리원에서는 해당 농가에서 생산되는 농산물을 추가로 수거하여 잔류

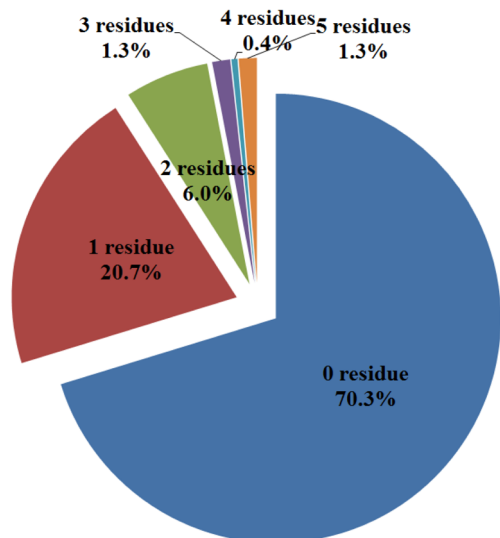


Fig. 3 Multiple residue samples, number of different pesticides detected per sample.

농약 검사를 실시하였다. 검출된 chlorpyrifos는 organophosphate 계통의 살충제로서 광범위한 해충에 효과를 보이는 접촉독, 식독 및 흡입독제로 표준 사용농도에서는 약해가 없으나 고농도에서는 약해의 우려가 있으며, 토양 중에서 60~120일간 효과가 지속되는 잔효성이 긴 성분이다(Park 등, 2013). 복숭아에서 검출된 picoxystrobin은 strobilurin 계통의 살균제로서 ATP 형성을 억제하는 호흡저해 작용으로 예방 및 치료효과를 동시에 나타내는 저독성 농약이다(KCPA, 2012). Chlorpyrifos는 깻잎에 사용이 등록되어 있지 않으나 2010~2012년 사이에 약 34건의 부적합 이력을 가지고 있으며(MFDS, 2012), picoxystrobin의 경우 최근 부적합 이력은 없으나 복숭아에 사용 등록이 되어 있지 않아 앞으로 농민을 대상으로 농약의 안전한 사용을 위한 교육과 홍보가 보다 적극적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

**위해평가.** 위해평가는 위험성 확인, 위험성 결정, 노출평가 및 위해도 결정의 과정으로 나뉘며, 본 연구에서 수행한 위해평가는 기준안을 설정하기 위한 위해평가와는 구별된다. 즉, 기준안 설정은 작물 잔류성적서를 바탕으로 안전사용기준을 고려, 이론적 최대일일섭취허용량(theoretical maximum daily intake: TMDI)을 산출하여 구하며, 모니터링 결과에 대한 위해평가는 실제 모니터링에서 얻어진 결과 값을 활용해 위해평가를 수행하는 것으로 EDI를 산출하여 수행한다(MFDS, 2011b). 따라서 본 연구에서 검출된 농약에 대한 위해평가를 위해 각 농약의 ADI를 이용하였다. 즉, 각각의 농산물 소비량을 고려하여 일일 섭취량을 산출하고, 잔류량의 평균농도를 구하여 국민 평균 체중 55 kg을 고려한 후, EDI와 1인 1일 추정섭취량 각각의 합계를 산출하였으며, 이 합계를 이용해 ADI 대비 EDI 값(%ADI)을 산출하였다(Kim 등, 2008). 추가적으로 FAO/WHO에서 보고된 Environmental Health Criteria 240 및 U.S. EPA에서 보고된 가이드라인에 따라 검출된 농약은 검출치를 우선 적용하고, 검출되지 않은 농약에 대해서는 가이드라인에서 규정된 해당 농약의 1/2 LOQ 값을 곱하여 EDI 및 %ADI 값을 제시하였다(FAO/WHO, 2009).

모니터링 결과는 농산물 69건에서 총 33종의 농약 성분이 검

Table 4 Sample with residue above MRL

Commodity	Detected pesticide	Amount (mg/kg)	MRL (mg/kg)	Registration
Perilla leaves	Chlorpyrifos	0.39	0.01	×
Peach	Picoxystrobin	0.4	0.3	×

출되었으며, 이 중 MRL을 초과한 농약은 총 2건(chlorpyrifos 및 picoxystrobin)이었다. 검출된 농약 33종을 포함하여 분석 농약 283종에 대해 상기방법으로 위해평가를 실시한 결과는 Table 5와 같다. 검출된 농약 33종의 EDI 및 %ADI 결과는 검출빈도가 가장 높고 MRL 기준을 초과한 chlorpyrifos의 경우, ADI 0.55 mg/person/day 대비 EDI가 0.000795 mg/person/day로 나타나 %ADI 결과가 0.145%로 농산물 중 잔류량은 안전한 것으로 판단되었다. 또한 chlorpyrifos 외에 MRL을 초과한 picoxystrobin의 경우, ADI 2.37 mg/person/day 대비 EDI가 0.000373 mg/person/day로 나타나 %ADI 결과가 0.016%로 미미한 수준임을 확인하였다. 이외에 검출횟수가 5회 이상인 procymidone (10회), flubendiamide (8회), iprodion (7회), trifloxystrobin (6회), lufenuron (5회) 및 bifenthrin (5회)의 위해평가 결과, 각각의 %ADI 결과가 0.025, 0.10409, 0.076, 0.05759, 0.12625 및 0.056 mg/person/day로 모두 안전한 수준임을 확인하였다.

검출된 농약 33종 중 methidation이 %ADI 결과 면에서 가장 높게 나타났으나, ADI (0.06 mg/person/day) 대비 EDI (0.00496 mg/person/day)는 약 0.902%로 위해도는 아주 미미한 수준임을 확인할 수 있었다. 한편 chlorantraniliprole는 ADI 110.000 mg/person/day 대비 EDI 0.000952 mg/person/day로 나타나 %ADI 결과가 0.00087%로 가장 위해도가 낮은 것으로 나타났다. 최종적으로 평가하자면 검출된 농약의 %ADI 범위는 0.00087~0.902%로 모든 잔류농약이 ADI 대비 위해도 측면에서 아주 낮은 것으로 조사되었다. 또한, 소비단계에서의 세척 및 조리 등의 가공 과정은 상기 잔류농약의 위해도를 더욱 낮춰줄 것이라 판단된다(Jang 등, 2011). 따라서 본 연구에서 검출된 농약 33종의 위해도는 매우 안전한 수준인 것으로 판단된다.

## 초 록

본 연구는 국내 유통 농산물의 잔류농약 실태를 조사 파악하고, 위해평가 등의 안전성 평가를 수행한 후 정부차원에서의 식품 위생/안전 정책 수립의 과학적 근거를 마련하고자 수행되었다. 시료 수거는 인구 백만 이상의 전국 9개 지역(서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 광주, 울산, 창원 및 수원)을 선정 한 후, 다소비 식품 중 대표적인 농산물 15품목(쌀, 감자, 대두, 사과, 배, 오렌지, 복숭아, 딸기, 바나나, 수박, 토마토, 오이, 애호박, 깻잎 및 무)을 선별하여 총 232건의 농산물을 수거하였다. 대상 농약은 단성분 분석으로 가능한 생장조절제 3종(dichlorprop, ethychlozate 및 6-benzylaminopurine) 및 다중다성분 분석 농약 280종, 총 283종을 선정하여 잔류농약 모니터링을 수행하였다. 분석 대상 농약들은 모니터링에 앞서 분석법을 개선하고 분석검체를 대표할 수 있는 농산물에 적용하여 국제적 기준인 CODEX 분석법 가이드라인에 준하여 분석법 검증을 수행한 후, 잔류농약 모니터링 분석법으로 사용하였다. 또한 모니터링에서 검출된 잔류농약을 대상으로 1일 섭취허용량(acceptable daily intake, ADI) 대비 1일 추정섭취량(estimated daily intake, EDI) 값으로 위해

**Table 5** Exposure assessment of pesticides in agricultural products

No.	Pesticide	ADI <sup>1)</sup> (mg/person/day)	EDI <sup>2)</sup> (mg/person/day)	EDI/ADI (%)
1	Acetamiprid	3.905	0.000946	0.02422
2	Acrinathrin	0.550	0.001217	0.22123
3	Azoxystrobin	11.000	0.000963	0.00877
4	bifenthrin	0.550	0.000310	0.05630
5	Boscalid	2.200	0.000968	0.04404
6	Chlorantraniliprole	110.000	0.000952	0.00087
7	chlorpyrifos	0.550	0.000795	0.14463
8	chlorpyrifos-methyl	0.550	0.000238	0.04331
9	cypermethrin	1.100	0.002415	0.21959
10	Dimethomorph	11.000	0.000974	0.00885
11	Diniconazole	1.100	0.001206	0.10963
12	Fenobucarb	0.660	0.000791	0.11978
13	Flubendiamide	0.935	0.000974	0.10409
14	fenpropathrin	1.650	0.000287	0.01740
15	flonicamid	1.380	0.000321	0.02296
16	fludioxonil	22.000	0.000236	0.00139
17	indoxacarb	0.550	0.002512	0.45667
18	iprobenfos	1.930	0.000828	0.04299
19	iprodion	3.300	0.002493	0.07553
20	kresoxim-methyl	22.000	0.001193	0.00542
21	Lufenuron	0.770	0.000974	0.12625
22	methidathion	0.060	0.000496	0.90222
23	picoxystrobin	2.370	0.000373	0.01579
24	procymidone	5.500	0.001355	0.02464
25	Pyraclostrobin	1.650	0.000946	0.05725
26	pyridaben	0.550	0.001175	0.22137
27	Pyrimethanil	11.000	0.000963	0.00873
28	Spirodiclofen	0.550	0.000990	0.17972
29	Teflubenzuron	0.550	0.000968	0.17578
30	Thiamethoxam	0.660	0.000946	0.14358
31	Thiodicarb	1.650	0.000946	0.05739
32	Tricyclazole	2.750	0.000946	0.03439
33	Trifloxystrobin	2.200	0.001815	0.05759

<sup>1)</sup>ADI: acceptable daily intake, <sup>2)</sup>EDI: estimated daily intake.

평가를 수행하였다. 잔류농약 모니터링을 수행한 결과, 수거된 농산물 총 232건 중 163건(70.3%)에서는 농약이 검출되지 않았으며, 69건(29.7%)에서 잔류농약이 검출되었다. 검출된 농약 중 2건은 MRL을 초과하여 0.9%의 부적합률을 나타내었다. MRL을 초과한 잔류농약은 껌잎에서 검출된 chlorpyrifos와 복숭아에서 검출된 picoxystrobin이었으며, 부적합으로 나타난 chlorpyrifos 및 picoxystrobin을 포함한 검출 농약 33종에 대해 위해평가를 수행한 결과, ADI 대비 EDI는 0.00087~0.902%의 범위를 나타내었다. 이러한 결과를 통해 검출된 모든 농약은 위해도가 매우 낮은 것으로 판단됐으며, 유통되는 농산물은 잔류농약 측면에서 안전한 수준임을 확인하였다.

**Keywords** 농산물 · 모니터링 · 위해평가 · 잔류농약

**감사의 글** 본 연구는 2013년도 식품의약품안전처의 연구개발비(13161MFDS017)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**References**

CODEX (1993) Guidelines on good laboratory practice in residue analysis, CAC/GL 40. CODEX Alimentarius Committee, Italy.

Do JA, Lee MY, Cho YJ, Kang I, Kwon K, and Oh JH (2013) Development and validation of an analytical method for pyrimisulfan determination in agricultural commodities by LC-MS/MS. *Anal Sci Technol* **26**, 154–63.

EC (2008) Monitoring of pesticide residues in products of plant origin in the European Union, Norway, Iceland and Liechtenstein 2006. Commission of the European Communities, Belgium.

FAO/WHO (2009) Chapter 6: Dietary exposure assessment of chemicals in food. In *Environmental Health Criteria 240: Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food*, Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, Swiss.

Jang MR, Moon HK, Kim TR, Yuk DH, Kim EH, Hong CK et al. (2011) The survey on pesticide residues in vegetables collected in seoul. *J Korean Pestic Sci* **15**, 114–24.

KCPA (2012) Pesticides guide. Korea Crop Protection Association, Korea.

Kim MO, Hwang HS, Lim MS, Hong JE, Kim SS, Do JA et al. (2010)

- Monitoring of residual pesticides in agricultural products by LC/MS/MS. *Korean J Food Sci Technol* **42**, 664–75.
- Kim SH, Choe WJ, Baik YK, and Kim WS (2008) Monitoring of pesticide residues and risk assessment of agricultural products consumed in South Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* **37**, 1515–22.
- Lee JY, Choe WJ, Lee HJ, Shin YW, Do JA, Kim WS et al. (2010) Research on pesticides residue in commercial agricultural products in 2009. *J Food Hyg Safety* **25**, 192–202.
- Lee MG and Lee SR (1997) Reduction factors and risk assessment of organophosphorus pesticides in Korean foods. *Korean J Food Sci Technol* **29**, 240–8.
- Lee YD (2012) Practical book of Korea food code pesticide residue analysis method. Ministry of Food and Drug Safety, Korea.
- MFDS (2011a) Risk assessment on pesticide residues in Food-2011. Ministry of Food and Drug Safety, Korea.
- MFDS (2011b) Risk assessment guide. Ministry of Food and Drug Safety, Korea.
- MFDS (2012) Monitoring of pesticide residues in agricultural commodities-2012. Ministry of Food and Drug Safety, Korea.
- MFDS (2013) Notification 2013-204 Korea food code. Ministry of Food and Drug Safety, Korea.
- MHLW (1999) Pesticide residues in food. Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan.
- MSPA (2013) Resident registration population statistics-2012. Ministry of Security and Public Administration, Korea.
- Park J, Lee H, Oh M, Kim J, Jang T, You Y et al. (2013) A survey on pesticide residues of commercial flowering teas. *J Korean Pestic Sci* **17**, 1–5.
- U.S. FDA (2013) Pesticide monitoring program 2009 pesticide report. U.S. Food and Drug Administration, USA.