

과채류 중 Neonicotinoid계 농약의 모니터링 및 인체노출평가

박병준 · 손경애 · 백민경* · 김진배 · 권혜영 · 홍수명 · 임건재 · 홍무기

농촌진흥청 국립농업과학원 유해화학과

(2010년 5월 17일 접수, 2010년 6월 3일 수리)

Monitoring of Neonicotinoid Pesticide Residues in Fruit Vegetable and Human Exposure Assessment

Byung-Jun Park, Kyung-Ae Son, Min-Kyoung Paik*, Jin-Bae Kim, Hyeyoung Kwon, Su-Myeong Hong, Geon-Jae Im and Moo-Ki Hong

Chemical Safety Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

Abstract

We investigated five neonicotinoid pesticide residues (acetamiprid, clothianidin, imidacloprid, thiacloprid, thiamethoxam) in fruit vegetables and estimated the exposure of neonicotinoid pesticide residue through fruit vegetable consumption using a deterministic approach. Two hundred forty samples of eight fruit vegetables cultivated in Korea were analyzed for their pesticide residue contents. Acetamiprid had the highest detection frequency and the highest residue level in pepper. However, all pesticide levels detected didn't exceed national MRLs. The results using a deterministic approach showed that for chronic and acute study of all neonicotinoid pesticide residues, the exposure was about 50 times lower than toxicological endpoint values. It is necessary to understand that the exposure assessment in this study using a probabilistic approach should be regarded as a important knowledge in the decision-making process.

Key words neonicotinoid pesticide, fruit vegetables, exposure assessment, deterministic approach

서 론

농약은 농업의 생산성을 향상시키고 식량증산을 통한 농가소득 증대를 위하여 없어서는 안될 필수 농자재지만 농약의 사용량이 증가할수록 식품 중 그 잔류량도 증가하게 된다(전과 이, 1999). 특히 과채류의 경우 대부분이 연속수확작물이며 우리나라 국민의 식이특성상 가공보다는 생식을 통해 섭취하는 경우가 많아 농약을 지나치게 많이 사용하는 것을 자제해야 하는 품목이다. 그러나, 우리나라에서 재배되는 참외의 평균 농약 살포횟수가 시설재배에서 무려 24.6회로 다른 작물의 평균 6~8회에 비해 매우 높게 보고되고 있다(오

등, 2003). 따라서, 과채류에 잔류되는 농약에 대한 모니터링을 수행하고 그 결과를 이용한 인체 노출평가를 실시함으로써 우리나라 소비자의 안전 여부를 확인 할 필요가 있다.

작물에 해충을 방제하기 위해 사용되는 농약 중에서 neonicotinoid계 살충제들(acetamiprid, clothianidin, dinotefuran, imidacloprid, nitenpyram, thiacloprid, thiamethoxam)은 1991년 Bayer사에 의해 최초로 개발된 이후 현재 그 사용량이 급속히 확산되어 가고 있다(이 등, 2009). Neonicotinoid계 농약은 곤충의 postsynaptic membrane 중 nicotinic acetylcholine receptor에 대한 선택적 길항제로 작용하여 신경전달을 저해하는 작용기작으로 해충을 치사시키는 침투이행성 농약으로 농민들이 선호하여 사용빈도가 높아 농산물에 잔류할 가능성이 높은 농약으로 평가되고 있다(정 등, 2004;

*연락처: Tel. +82-31-290-0527, Fax. +82-31-290-0506

E-mail: mink1114@korea.kr

국립농업과학원, 2009).

한편, 최근까지 진행되어온 농산물 중 농약잔류량에 대한 모니터링은 등록된 농약의 적절한 사용과 잔류허용기준(maximum residue limits; MRL)에 근거한 적합여부의 확인을 위해서 주로 수행되어 왔다. 하지만 실제 소비자의 농산물 섭취를 통한 잔류농약의 노출 수준이 안전한지에 대한 여부는 인체건강의 안전 기준치(health safety limits)를 근거로 한 인체 노출평가를 통해서만 가능하다. 인체건강의 안전 기준치로는 대표적으로 1일 섭취허용량(acceptable daily intake: ADI)과 급성참고치(acute reference dose: ARfD) 등이 활용될 수 있다. 인체 노출평가의 대표적 방법으로 식품에 존재하는 농약의 잔류량과 식품섭취량, 평균 체중 등을 반영하여야 하며, 가장 기본적인 접근 방법으로 변수들을 단일수치로 적용하는 확정론적 방법(deterministic approach)이 사용될 수 있다(Claeys 등, 2008).

따라서 본 연구에서는 neonicotinoid계 농약 5종(acetamiprid, clothianidin, imidacloprid, thiacloprid, thiamethoxam)에 대해 국내 주산지에서 시장 출하시점에서 채취한 과채류 8작물 중의 잔류농약 모니터링을 실시하고, 본 결과 자료를 토대로 확정론적 방법을 사용하여 우리나라 전체 인구집단의 과채류 섭취를 통한 neonicotinoid계 농약의 노출량을 평가함으로써 소비자에 대한 neonicotinoid계 농약의 안전성 확보에 도움이 되고자 한다.

재료 및 방법

시료채취 및 방법

채취대상 작물은 국내에서 유통되는 다소비 과채류로 가지, 고추(시설, 노지), 오이, 토마토, 참외, 수박, 호박 및 딸기의 8작물로 선정하였다. 시료 채취는 국내 생산의 대표성을 부여하기 위하여 조사지역과 작물별 재배면적을 고려하여 전체 30개 지역으로 선정한 후 총 240점의 시료를 채취하였으며, 시료채취 시기는 3~10월 중 작물 별 병해충 발생이 많은 시기 또는 방제가 취약한 시기로 선택하였다. 시료는 중간 크기로 선별 채취하였으며, 포장단위는 시장출하 규격 및 포장단위로 채취하였다.

채취한 시료는 과채류 표준조제법에 따라 분리 후 절단하고 분쇄기(HR 2084, Philips, China)로 균질화한 후 시료별로 분석 전까지 -20℃ 냉동고에 보관 후 잔류농약 분석용 시료로 사용하였다.

시약

Neonicotinoid계 농약 표준품5종은 Dr. Ehrenstorfer(Augsburg, Germany)에서 구입하였으며, 그 순도는 acetamiprid 99%, imidacloprid와 thiamethoxam 98%, clothianidin 99.5%, thiacloprid 98.5%였다. 추출 및 정제용매는 잔류농약용acetone, acetonitrile, dichloromethane은 HPLC급(Merck Co., Darmstadt, Germany)을 사용하였고, 칼럼 정제를 위한 Florisil(60-100 mesh)는 PR grade(Sigma, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. 그리고 무수황산나트륨(sodium sulfate anhydrous)은 GR grade(Junsei, Tokyo, Japan)를 사용하였다.

잔류농약 분석

전처리를 위해 균질화된 시료 50 g에 acetone 100 mL을 가하여 homogenizer로 12,000 rpm에서 3분동안 균질화 하였다. 균질화 된 시료는 Whatman No. 2 filter paper를 통과 시켜 흡인 여과하였으며, 증류수 450 mL와 포화식염수 50 mL을 첨가하여 dichloromethane 50 mL로 2회 분배하였다. Dichloromethane 분배액을 sodium sulfate anhydrous로 탈수하여 dichloromethane을 감압 농축하였으며, 농축건고물을 dichloromethane 5 mL로 재용해 하여 정제용 시료로 하였다. 130 °C에서 4시간 이상 활성화시킨 Florosil 5 g 을 glass column (ø 10 mm × 220 mm, L)에 건식충전하고 dichloromethane 50 mL로 활성화 시킨 후 상기 시료 2 mL을 column 상부에 loading 하고, dichloromethane/acetone(96/4, v/v) 혼합용매 50 mL로 세척하고 dichloromethane/acetone(50/50, v/v) 혼합용매 60 mL로 용출시켰다. 용출된 용액은 40°C에서 감압농축한 후 acetonitrile 2 mL로 재 용해하여 UPLC로 분석하였다.

UPLC 기기분석 조건은 Table 1과 같다. 잔류농약의 정량분석을 위한 검량선은 각각 표준품을 acetonitrile에 녹여 1,000 mg/kg의 stock solution을 조제하고 동일용매로 희석하여 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 mg/kg의 농도로 조제한 후 이들 표준용액의 일정량을 취해 3 µL 씩 UPLC에 주입하여 얻은 크로마토그램상의 peak 면적을 기준으로 각 성분별 표준 검량선을 작성하여 잔류농약을 정량하였다.

노출평가

우리나라에서 생산된 과채류 8 작물을 대상으로, neonicotinoid계 농약 5종의 잔류량을 조사한 결과를 토대로 우리나라 전체인구집단의 과채류 섭취를 통한 인체노출 현황을 예

Table 1. UPLC operating conditions for the analysis of neonicotinoid pesticide residues

Instrument	UPLC (Waters Co., MA, USA)				
Column	ACQUITY UPLC BEH C18 (1.7 μ m) 2.1 x 100 mm Column				
Detector	Photodiode Array (PDA)				
Wavelengths	210-400 nm , 225 nm , 254 nm , 275 nm				
Mobile phase gradient	Time	Flow (ml/min)	Water (%)	Acetonitrile (%)	Curve
	-	0.4	90	10	6
	9.20	0.4	35	65	6
	11.00	0.4	35	65	6
	11.50	0.4	30	70	6
	15.00	0.4	30	70	6
	16.00	0.4	0	100	6
	17.00	0.4	0	100	6
	18.00	0.4	90	10	1
	19.00	0.4	90	10	1
Column Temp.	40 $^{\circ}$ C				
Flow rate	1.0 mL/min				
Injection vol.	3 μ L				

측하였다. 인체노출평가(dietary exposure assessment)에 대한 방법론은 FAO/WHO에서 제시한 만성인체노출평가방법(FAO/WHO, 1997)을 기초로 하였으며, 노출평가에 대한 접근법은 해당 모델내의 각각의 변수값(평균 또는 95th percentile)을 이용하는 점추정치(single-point estimates)를 근거로 하는 확정론적 접근법(deterministic approach)를 이용하였다.

$$\text{만성인체노출량} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times IR_i}{BW}$$

C_i = 작물 i 에 함유된 해당 농약의 잔류량

IR_i = 작물 i 의 섭취량

BW = 체중

과채류 중 해당 농약의 잔류량은 불검출인 경우 0 또는 정량한계(limit of quantification: LOQ)의 1/2 값으로 대체하여 적용함으로써 도출될 결과의 예측 위험도가 낮은 경우와 중간 경우의 시나리오로 나누어 평가하였으며, 과채류 섭취량은 국민영양조사 결과 산출된 각각의 섭취량 자료를 이용하였다(식품의약품안전청, 2005). 단, 실제로 과채류를 섭취하는 경우의 안전성을 평가하기 위하여 모든 국민을 대상으로 하는 자료가 아닌 ‘해당 섭취 소비자’에 대한 자료를 이용하여 평가하였다(Hamilton 등, 2004; Pieters 등, 2005). 체중은 2001년 국민건강영양조사 결과로 보고된 전국 평균체중인 54.11 kg을 적용하였다(식품의약품안전청, 2004).

결과 및 고찰

과채류의 잔류농약 모니터링

과채류 8작물에 대한 neonicotinoid계 농약 5종(acetamiprid, clothianidin, imidacloprid, thiacloprid, thiamethoxam)에 대한 분석은 UPLC를 이용하여 수행하였으며, 각 시험농약의 표준물질을 분석하여 얻은 검량선의 직선성과 상관관계는 0.9991~0.9995이었다. 검출된 neonicotinoid계 농약의 잔류량 결과는 Table 2에 나타내었다. 시험농약은 과채류 8작물에서 대부분 불검출되었으며, 검출되었을 경우 검출빈도가 낮았고 모든 검출량은 MRL 이하로 나타났다.

Acetamiprid는 가지와 수박을 제외한 과채류 6작물에서 모두 검출되어 가장 많은 작물에 잔류되어 있었으며, 특히 딸기에서 검출율 29.4%로 최고 검출율을 보였다. Clothianidin은 참외, 고추, 토마토, 수박의 4작물에서, imidacloprid는 오이, 가지, 수박, 고추의 4작물에서 검출되었다. Thiamethoxam은 오이, 참외, 고추, 수박의 4작물에서 각각 검출되었으며 특히 수박에서 20.0%의 검출율을 보였다. Thiacloprid는 오이와 고추를 제외한 과채류에서 모두 검출되지 않았으며 가장 낮은 검출율을 보였다.

만성인체노출량 평가

과채류 섭취를 통한 neonicotinoid계 농약의 만성 인체노

Table 2. Detected neonicotinoid pesticide residue in fruit vegetables cultivated in Korea

Commodity	Detected pesticide	Mean (mg/kg)	Range (mg/kg)	Detection frequency (%)	MRL (mg/kg)
Eggplant	Imidacloprid	0.005	N.D.~0.065	12.5	1.0
	Acetamiprid	0.027	N.D.~0.529	12.8	2.0
	Clothianidin	0.009	N.D.~0.261	7.7	2.0
Pepper	Imidacloprid	0.012	N.D.~0.202	10.3	1.0
	Thiacloprid	0.008	N.D.~0.294	2.6	1.0
	Thiamethoxam	0.007	N.D.~0.120	7.7	1.0
Cucumber	Acetamiprid	0.000	N.D.~0.011	2.6	0.7
	Imidacloprid	0.003	N.D.~0.063	10.5	0.5
	Thiacloprid	0.001	N.D.~0.030	2.6	0.3
Tomato	Thiamethoxam	0.009	N.D.~0.127	18.4	0.2
	Acetamiprid	0.006	N.D.~0.098	13.2	2.0
	Clothianidin	0.001	N.D.~0.014	5.3	1.0
Korean melon	Acetamiprid	0.001	N.D.~0.009	10.0	0.5
	Clothianidin	0.003	N.D.~0.029	10.0	1.0
	Imidacloprid	0.001	N.D.~0.014	10.0	1.0
Watermelon	Thiamethoxam	0.001	N.D.~0.013	10.0	0.05
	Clothianidin	0.001	N.D.~0.006	10.0	0.5
Squash	Thiamethoxam	0.003	N.D.~0.017	20.0	0.1
	Acetamiprid	0.001	N.D.~0.030	3.3	0.5
Strawberry	Acetamiprid	0.021	N.D.~0.290	29.4	1.0

N.D.: Not Detected

Table 3. Total exposure of detected neonicotinoid pesticide residues when compared to ADI and ARfD, using a deterministic exposure assessment approach (based on average residue concentration and on average and 95th percentile of consumption)

Pesticide	ADI ^a (mg/kg/day)	ARfD ^b (mg/kg/day)	Average consumption (ng/kg/day)		95 % tile consumption (ng/kg/day)	
			0	LOQ/2	0	LOQ/2
Acetamiprid	0.07 ⁺	0.1	0.056	0.124	0.174	0.371
Clothianidin	0.0097 ⁺⁺	0.025	0.014	0.191	0.038	0.550
Imidacloprid	0.06 ⁺⁺	0.14	0.014	0.085	0.042	0.249
Thiacloprid	0.01 ⁺⁺⁺	0.01	0.002	0.077	0.009	0.224
Thiamethoxam	0.006 ⁺⁺⁺⁺	-	0.017	0.087	0.050	0.252

^a; acceptable daily intake, ⁺; established by EU, ⁺⁺; established by Republic of Korea, ⁺⁺⁺; established by Codex, ⁺⁺⁺⁺; ADI established by U.S.A
^b; acute reference dose

출량을 확정론적 접근법을 이용해 평가한 결과를 Table 3에 나타내었다. 농약별 총 노출량은 과채류 8작물에 함유된 농약의 오염량과 과채류의 섭취량을 이용해 계산한 값을 합하여 산출하였으며, 예측 위험도가 낮은 경우(불검출을 0으로 적용한 경우)와 중간 경우(불검출을 LOD의 1/2로 적용한 경우)의 시나리오로 나누어 나타내었다.

예측 위험도가 중간인 경우 과채류를 평균으로 섭취함으로써 노출되는 neonicotinoid계 농약의 노출량은 0.077 ng/

kg/day ~ 0.191 ng/kg/day로 나타났으며, 극단소비를 통한 노출량은 0.224 ng/kg/day ~ 0.550 ng/kg/day로 나타났다. 예측 위험도가 중간인 경우 산정된 노출량은 예측 위험도가 낮은 경우 산정된 노출량에 비해 전반적으로 높게 나타났는데, acetamiprid, thiamethoxam, imidacloprid의 경우 각각 2.2배, 5.1배, 6.1배의 차이를 보이는 반면, thiacloprid의 경우 38.5배로 매우 높은 차이를 보였다. 이는 극단소비를 섭취하는 경우 산정된 결과와 유사한 경향을 보였다.

안전기준치와의 비교

본 연구에서 조사된 neonicotinoid계 농약의 총 노출량을 ADI 및 ARfD와 비교하기 위하여 %ADI 및 %ARfD로 평가한 결과를 각각 Fig. 1(a)와 (b)에 나타내었다. Table 3의 결과는 단순한 만성노출량 수치만을 제공하고 있으며, 보다 효율적으로 식품 섭취를 통한 농약 노출의 안전성을 평가하고자 할 때에는 농약별로 만성독성에 근거한 ADI와 급성독성에 근거한 ARfD수치와 같은 안전기준치(Health safety limits)와 비교하는 것이 도움이 될 수 있기 때문이다(Park 등, 2005; Claeys 등, 2008).

Fig. 1(a)와 같이 섭취량 평균치를 이용한 노출량 평가 결과 모든 조사된 농약에서 만성참고치인 ADI 대비 2% 이하로 나타났으며, 극단섭취량(95th percentile)을 이용한 %ADI도 모두 6% 이하로 나타나 과채류 섭취로 인한 neonicotinoid계 농약의 만성 독성 발생의 위험은 매우 낮은 것으로 나타났다. 조사된 농약 중 %ADI가 높은 농약은 clothianidin, thiamethoxam, thiacloprid순이었다. Fig. 1(b)와 같이 급성참고치인 ARfD에 대비한 노출량 평가 결과인 %ARfD또한 섭취량 평균치를 이용한 경우 모두 1% 이하로 나타났으며, 극단 소비량을 적용한 경우에도 모든 농약에서 2.5% 이하를 보여, 급성 독성 발생의 위험 또한 매우 낮은 것으로 나타났다. 조사된 neonicotinoid계 농약 중 %ARfD가 높게 나타난 농약은 clothianidin과 thiacloprid 이었다.

특히, acetamiprid는 neonicotinoid계 농약 중 검출율 및 잔류량이 가장 높게 나타났지만(Table 3), 확정론적 접근법을 통한 총 노출량 산정 결과 독성기준치와 비교했을 때 %ADI와 %ARfD가 매우 낮게 나타나 다른 neonicotinoid계 농약에 비해 더 안전한 것으로 나타났다. 이상의 결과를 토대로 우리나라에서 재배된 과채류 8종류의 작물 섭취를 통한 neonicotinoid계 농약의 만성노출과 급성노출에 대한 위험도는 매우 낮아 인체에 안전한 수준임을 알 수 있었다.

Neonicotinoid계 농약들은 살충제로서 해충에 유사한 독성기작을 보이고 있다 (이 등, 2009). 따라서 모니터링에서 조사된 과채류에 대한neonicotinoid계 농약의 누적노출평가(cumulative risk assessment)를 위해 독성등가치(Toxic Equivalency factor; TEF)를 적용하여 매체별 노출량을 산정하여 합함으로써 neonicotinoid계 농약의 과채류 섭취를 통한 종합적 인체위험평가가 가능할 것으로 생각하였으나, 인체독성의 기준이 되는 포유류에 대한 독성기작이 동일하다고 결론지을 수 없다는 EPA의 보고(EPA, 2008)를 근거로 추가로 동시노출평가는 실시하지 않았다.

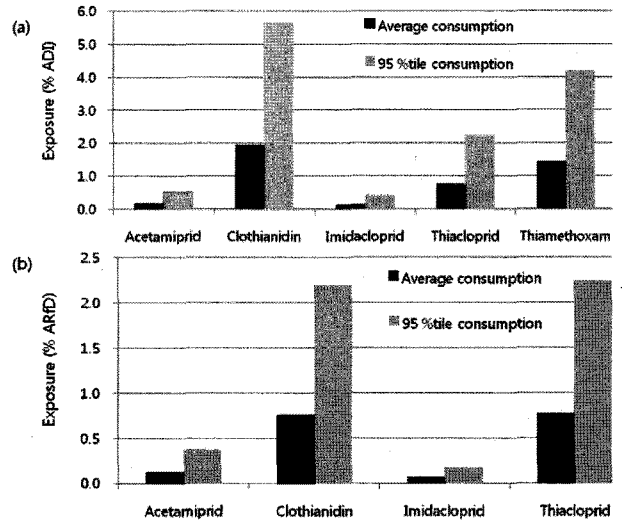


Fig. 1. Exposure assessment by the deterministic approach for the middle-bound scenario (LOQ/2 for residue concentrations < LOQ) in terms of percentage ADI (a) and percentage ARfD (b) (based on average consumption and 95th percentile consumption in Korea).

한편, 본 연구에서 과채류의 박피나 조리과 같은 처리를 한 경우에 적용되어야 할 가공계수가 고려되지 않았기 때문에 도출된 노출량이 과대평가되었을 수 있는 한계점이 있음을 밝힌다. 또한, 본 연구의 노출평가 방법은 오염량 및 섭취량을 평균값과 극단값만을 선별하여 적용한 확정론적 접근법(deterministic approach)을 이용하여 평가함으로써 모든 가능성을 고려한 예측이 불가능한 단점을 가지고 있다. 향후 오염도 및 섭취량, 체중 등 모든 변수들을 분포(distribution) 측면에서 고려하여 확률(probability)로 평가하는 확률론적 접근법(probabilistic approach)을 이용하여 노출평가를 실시하여 위해관리를 위한 의사결정 과정에서 중요하게 고려해야 할 부분을 평가하여야 할 것이다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

Claeys, W.L., De Voghel, S., Schmit, J.F., Vromman, V. and Pussemier, L. (2008) Exposure assessment of the Belgian population to pesticide residues through fruit and vegetable consumption. *Food Additives and Contaminants* 25(7):851~863.

EPA (2008) 40 CFR Part 180 Thiamethoxam; Pesticide Tolerance.

FAO/WHO (1997) Food consumption and exposure assessment of chemicals. In Report of a FAO/WHO consultation.

Hamilton, D., Ambrus, A., Dieterle, R., Felsot, A., Harris, C., Petersen, B., Racke, K., Wong, S.S., Gonzalez, R. and Ta-

- naka, K. (2004) Pesticide residues in food-acute dietary exposure. *Pest. Manag. Sci.* 60:311~339.
- Park, K.S., Im, M.H., Choi D.M., Jeong, J.Y., Chang, M.I., Kwon, K.I., Hong, M.K. and Lee, C.W. (2005) Establishment of Korean maximum residue limits for pesticides in food. *Korean J. Pesticide Science* 9:51~59.
- Pieters, M., Ossendorp, B. and Slob, Wl (2005) Probabilistic modeling of dietary intake of substances. The risk management question governs the method. RIVM. Bilthoven (The Netherlands) report No. 320011001. Available from: <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/7301/1/320011001.pdf>.
- 국립농업과학원 (2009) 병해충 방제효과 증진을 위한 농약 사용 참고서.
- 식품의약품안전청 (2004) 한국인의 대표식단 중 오염물질 섭취량 및 위해도 평가.
- 식품의약품안전청 (2005) 식이노출량 평가를 위한 식품별 섭취량 분포.
- 오경석, 임양빈, 오홍규, 이병무, 경기성, 김남숙, 김백연, 김정원, 류갑희 (2003) 농약사용 지표개발을 위한 과채류 농약사용실태 조사분석. *한국농약과학회지* 7(1):66~73.
- 이은영, 노현호, 박영순, 강경원, 이광현, 박효경, 윤상순, 진충우, 한상국, 경기성 (2009) Neonicotinoid계 농약 dinotefuran과 thiacloprid의 오이 중 잔류특성. *농약과학회지* 13(2):98~104.
- 전옥경, 이용욱 (1999) 식이섭취를 통한 농약폭로의 위해도에 관한 연구. *한국식품위생안전성학회* 12(2):201~215.
- 정영호, 김장역, 김정환, 이영득, 임치환, 허장현 (2004) 최신농약학, 시그마프레스, pp.153~154.

과채류 중 Neonicotinoid계 농약의 모니터링 및 인체노출평가

박병준 · 손경애 · 백민경* · 김진배 · 권혜영 · 홍수명 · 임건재 · 홍무기

농촌진흥청 국립농업과학원 유해화학과

요 약 우리나라에서 재배된 과채류 8작물 중 neonicotinoid계 농약 5종(acetamiprid, clothianidin, imidacloprid, thiacloprid, thiamethoxam)의 잔류량을 모니터링 한 후 잔류량과 식품섭취량을 근거로 해서 확정론적 접근방법을 이용하여 노출 평가를 실시하였다. 과채류 8종의 시료 240점에 대해 모니터링을 실시한 결과, acetamiprid가 가장 높은 빈도로 검출되었으며, 고추에서 가장 높은 잔류량을 나타냈다. 과채류 중 검출된 농약 모두 MRL을 초과하지는 않았다. 확정론적 접근을 통한 만성 및 급성 노출평가를 실시한 결과, 해당 독성 기준치에 50배 이하로 나타나 안전한 수준으로 평가되었다. 본 연구의 노출결과는 확정론적 접근법을 이용한 결과이므로, 향후 확률적 접근법을 이용하여 노출평가를 실시하여 과채류에 함유된 neonicotinoid계 농약의 위해관리를 위한 의사결정 과정에서 주요하게 고려해야 할 부분을 평가하여야 할 것이다.

색인어 neonicotinoid계 농약, 과채류, 노출평가, 확정론적 접근법