J. Fd Hyg. Safety
Vol. 25, No. 4, pp. 395~401 (2010)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

국내 유통 중인 채소류의 납, 카드뮴 함량 모니터링

심지연* · 오현숙 · 장미란 · 이윤애 · 이륜경 · 김민아 · 이효정 · 이상민 · 조태용
대구지방식품의약품안전청 유해물질분석과

Monitoring of Lead and Cadmium Contents of Vegetables in Korea

Jee Youn Shim*, Hyun Suk Oh, Mi Ran Jang, Yoon Ae Lee, Ryun Kyung Lee, Min-A Kim, Hyo Jung Lee, Sang Min Lee, and Tae Youg Cho
Hazardous Substances Analysis Division, Daegu regional Korea Food & Drug Administration
(Received September 24, 2010/Revised October 7, 2010/Accepted November 8, 2010)

ABSTRACT - This research was carried out as a survey on the contents of Lead (Pb) and Cadmium (Cd) in 5 type agricultural products unestablished safety guideline in Korea. The average levels of Pb: onion 0.010 mg/kg, cucumber 0.018 mg/kg, garlic 0.012 mg/kg, green pepper 0.027 mg/kg, sesame 0.029 mg/kg. The average levels of Cd: onion 0.006 mg/kg, cucumber 0.002 mg/kg, garlic 0.008 mg/kg, green pepper 0.011 mg/kg, sesame 0.024 mg/kg. The present result of this study showed that Pb and Cd contents in the whole samples were less than the maximum residual levels of the codex standard. The levels of exposure assessment for Pb and Cd by intake from vegetables and sesame were merely at 1.3×10^{-4}(mean) ~5.1×10^{-4}(95^{th} percentiles) μg/kg bw/day for Pb, 7.5×10^{-5}(mean)~3.6×10^{-4}(95^{th} percentiles) μg/kg bw/day for Cd. The data from this research will be valuable source for database construction for science-based safety control and management for the trace metal contamination in food including agricultural products.

Key words: lead, cadmium, vegetables, monitoring

산업 발달에 따라 환경오염과 더불어 식품의 중금속 오염도가 증가하고 있다. 오염된 물, 토양, 대기로부터 식품으로 이행되기도 하고, 식품의 수확, 저장, 제조, 가공, 조리 및 포장 중에 오염되기도 한다. 중금속은 환경오염이나 식품오염으로 체내로 들어와 축적되며 그 흡수량은 식품 종류와 개인의 건강상태 등에 따라 달라진다. 중금속 중 납, 카드뮴은 자체 독성이 있으면서 축적성도 있어 중추신경 및 신장독성을 나타내 심각한 위해를 끼칠 우려가 있다. 특히 각종 산업으로 발생되는 폐기물의 증가, 폐수 및 대기의 분진 불량퇴비의 유입, 농업자재의 과다사용은 농경지의 중금속 함량을 증가시키고 중금속에 오염된 농산물이 생산되는 원인이 되기도 한다. 토양 오염원 중 중금속은 토양 내 흡착되거나 토양 유기물과 반응하여 용해도가 낮은 화합물 형태로 안정화되기 때문에 토양 내에 유입되면 장기간 축적되고 식물의 생육장해는 물론 먹이연쇄를 통하여 직·간접으로 사람과 가축에 피해를 줄 수 있다. 현대의 식생활 패턴은 곡류 위주에서 채소, 과일 및 육류 등의 소비가 증가되고 있고 특히 채소류나 과일류의 경우, 농작물의 특성상 많은 부분이 가식부위이므로 오염된 농경지에서 재배된 농작물의 경우 인체로의 이동이 용이하다[1-3]. 이에 따라 농산물 안전성에 관련된 여러 국제기구에서도 각종 오염물질에 대한 규제기준을 강화하고 있는 추세이다. FAO/WHO 합동식품규격위원회(The Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission)에서는 UNEP(United Nation Environment Programme)에 의해 설립된 GEMS (Global Environment Monitoring System)의 일환인 FAO/WHO 합동 식품오염물질 모니터링 사업으로 수집한 각국의 식품 중 중금속 등 오염물질 함량에 대한 모니터링 결과를 오염물질의 기준설정에 반영하고 있으며, FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization)와 미국의 FDA (Food and Drug Administration) 및 EPA (Environmental Protection Agency) 등에서 국제 식품 규격 중 오염물질의 허용권고 기준을 강화하고 있다[4].

식품의약품안전청은 식량의 안전성 확보 및 통상마찰로 인한 분쟁방지를 위해 농산물, 수산물 등을 대상으로 식품별로 지속적으로 중금속 모니터링을 수행하여 왔으며, 「2008~2012 기준규격 설정 중장기 실행계획」에 따라 균형있는 중금속 관리를 위해 총중금속 관리 품목에 대한 개

*Correspondence to: Jee Youn Shim, Hazardous Sunstances Analysis Division, Daegu Resional Food and Drug Administration 72 Galsan-ro Dalseo-gu, Daegu 704-940, Korea
Tel: 82-53-592-7139, E-mail: shim0059@korea.kr

별 중금속 기준으로의 전환, 식육 등에 대한 기준설정, 식품소비 패턴의 다양화, 서구화에 따른 와인 등 주류에 대한 중금속 기준 마련, 현 10품목으로 한정되어 있는 농산물 중금속 기준에 대한 재평가 및 농산물 전반으로의 확대를 위해 중금속 모니터링을 수행하고 기준·규격을 설정하고 있다[5,6]. 식품의약품안전청은 2000년도에 쌀의 중금속 잔류 허용기준을 카드뮴 0.2 mg/kg 이하로 개정 고시하였으며, 2006년도에는 김치류 중 중금속 기준 규격을 납 0.3 mg/kg 이하, 카드뮴 0.2 mg/kg 이하(식약청고시 제2006-55호)로 설정하였고 다소비 농산물 10종(백미, 옥수수, 대두, 팥, 감자, 고구마, 배추, 시금치, 무, 파)에 대하여 납과 카드뮴의 허용기준을 설정(식약청고시 제2006-62호)하여 관리하고 있다. 2007년도에는 찐쌀의 납 0.2 mg/kg 이하, 카드뮴 0.2 mg/kg 이하로 규격을 신설(식약청고시 제2007-71호)하는 한편, 농림수산식품부, 정부의 연구기관 및 대학의 연구 등에 의하여 식품에 대한 중금속 오염실태 조사는 꾸준히 이루어지고 있으며, 폐광지역 등 일부지역을 제외하고는 전반적으로 우리나라에서 생산되는 작물이나 식품 등은 중금속 오염이 매우 적고 안전성 평가에서도 잠정주간섭취허용량(PTWI, Provisional tolerable weekly intake)에 대한 비율이 매우 낮아 안전한 것으로 평가되고 있다.

본 연구에서는 현재 10품목으로 한정되어 있는 농산물 중금속 기준에 대한 농산물 전반으로의 확대를 위해 그 외 기준규격 미설정 다소비 채소류인 마늘 양파, 고추, 오이, 참깨에 대한 기준규격 설정의 기초자료 마련을 위해 이들 채소류의 납, 카드뮴 함량을 조사하여 중금속 오염실태를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

국내에서 유통되는 농산물 중 기준·규격이 설정되어 있지 않은 다소비 농산물 양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨 5종을 대상으로 경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전남, 전북, 강원 및 제주지역 9개 권역을 중심으로 대형할인매장과 농산물 도매시장을 중심으로 378건의 검체를 구입하였다. 시료채취는 분석의 대표성과 공정한 검사를 위하여 식품공전 식품별 검체 채취방법 중 농임산물 채취방법에 따라 채취하였고, 검체 구입은 주로 5월부터 9월 사이에 이루어졌다. 양파 91건, 오이 75건, 마늘 65건, 풋고추 60건, 참깨 87건을 구입하여 일정량을 시료로 하였다(Table 1).

시약 및 초자

분해용 시약으로는 유해중금속 측정용 60% 질산(Junsei, Japan)과 30% 과산화수소수(Junsei, Japan)를 사용하였고 실험에 사용되는 모든 물은 3차 증류수를 사용하였다. 모든 실험초자는 10% 질산에 24시간 침지 후 3차 증류수로 깨끗하게 씻어 사용하였다. ICP-MS 분석을 위한 표준 납, 카드뮴은 표준액 1000 μg/kg (Accustandard, USA)를 혼합하여 0.5% 질산에 희석하여 사용하였다.

시료의 전처리

채취된 농산물은 식품공전 농산물 내의 중금속 시험법에 따라 물로 깨끗이 세척한 후 농산물의 가식부를 분리하여 균질기(HR 2067, Philips, Netherlands)로 균질화하여 시료로 사용하거나, 폴리에칠렌 용기에 담아 저온냉동고(–20ºC 이하)에 보관 후 실온에서 해동하여 사용하였다. 수분함량이 많은 검체 양파, 오이, 마늘, 풋고추는 약 2 g을, 지방함량이 많은 참깨는 약 0.5 g을 microwave용 teflon vessel에 취하고 질산 7 mL와 과산화수소수 2 mL를 넣고 Microwave (ETHOS PLUS, Milestone, Italy)를 이용하여 분해하였다. 분해된 시험용액은 질산을 모두 휘발시키고 0.5% 질산으로 약 5배가 되게 희석하여 분석에 사용하였다. Microwave 분해 조건은 Table 2와 같다.

ICP-MS에 의한 납, 카드뮴 함량의 측정

식품공전 농산물 중 중금속 잔류허용기준에서는 중금속 측정에 ICP-AES와 ICP-MS 또는 AAS-Graphite를 제시하

Table 2. The condition of microwave digestion

Sample	Step	Temp.(°C)	Time (min)	Max. power (W)
onion, cucumber, garlic, green pepper, and sesame	1	0~120	5	1000
	2	120~200	5	
	3	200	20[(1)]	

[(1)] taken 30 min for sesame

Table 1. The collection of agricultural products classified by the place of origin

Classification	Place of origin									No. of sample
	Gyeonggi	Gyungnam	Gyungbuk	Chungnam	Chungbuk	Jeunnam	Jeunbuk	Gangwon	Jeju	
Onion	9	18	17	4	6	23	6	3	5	91
Cucumber	7	10	15	4	5	11	7	12	4	75
Garlic	2	11	21	2	6	12	5	0	6	65
Green pepper	8	19	5	6	1	9	3	7	2	60
Sesame	18	6	10	7	14	5	3	6	9	87[(1)]

[(1)] 9 samples among 87 samples : imported

고 있다. 이들 중 미량성분의 다성분 동시분석을 위해서는 ICP-MS의 감도가 가장 우수하므로[7,8] 정확한 분석을 위하여 ICP-MS를 이용하였다. ICP-MS 기기조건은 Table 3과 같다. 납, 카드뮴 검량선은 1000 mg/kg 의 표준용액을 1, 5, 10, 25, 50 μg/kg로 희석하여 사용하였으며, 검체 30개 당 검량선을 1회씩 작성하였다. 납, 카드뮴의 회수율은 표준액 첨가법(standard addition)과 표준인증물질(certified reference material, CRM)을 이용하는 두 가지 방법으로 측정하였다.

Table 3. The operation condition for ICP-MS

Instrument	Elan DRC-e (PerkinElmer)
Nebulizer	Elan standard type
Spray chamber	Scott type
RF generator	Frequency:10 MHz, power output 1100~1300 W
Ar flow rate (L/min)	Plasma: 18, auxiliary: 1.3, nebulizer: 1.06~1.07
Sampler cone	Nickel, i.d.:1.1 mm
Skimmer cone	Nickel, i.d.:0.9 mm
Vacuum	Interface: 4 torr, quadrupole: $< 3.00 \times 10^{-6}$ torr
Data acquisition	Peak hopping, replicate time 180 ms, dwell time 50 ms, sweeps/reading 30, reading/replicates 3
Analytical masses	^{208}Pb, ^{111}Cd
Analytes and measurement mode	Standard mode(without reation gas)

Table 4. Recovery test by certified reference material

Analyte	CRM conc. (mg/kg)	Measuring conc. (mg/kg)	Recovery (%)	RSD[3] (%)
CRM; water dropwort powder (KRISS[1] 108-01-001)				
Pb	1.050[2]	0.98	93.3	4.69
Cd	0.066	0.060	90.9	3.85

[1]KRISS: Korea Research Institute of Standard and Science
[2]reference value, [3]number of tests = 8

Table 5. Recovery test by standard addition method

	Analyte	Sample (g)	Spiked conc. (μg/kg)	Recovery conc. (μg/kg)	Recovery (%)	RSD[1] (%)
Onion	Pb	2.081 ± 0.028	50	45.7	91.4	8.5
		2.074 ± 0.056	250	242.2	96.9	6.4
	Cd	2.081 ± 0.028	50	41.2	82.4	8.4
		2.074 ± 0.056	250	231.3	92.5	4.7
Cucumber	Pb	2.040 ± 0.030	50	50.5	101.0	6.1
		2.048 ± 0.019	250	238.9	95.7	7.3
	Cd	2.040 ± 0.030	50	44.4	88.8	6.9
		2.048 ± 0.019	250	214.3	85.7	8.4
Garlic	Pb	2.055 ± 0.032	50	47.5	95.0	10.6
		2.045 ± 0.034	250	237.1	94.9	10.4
	Cd	2.055 ± 0.032	50	45.9	91.8	9.7
		2.045 ± 0.034	250	237.9	95.1	14.1
Green pepper	Pb	2.074 ± 0.056	50	50.9	101.8	9.0
		2.070 ± 0.033	250	238.1	95.2	10.4
	Cd	2.074 ± 0.056	50	46.3	92.6	9.9
		2.070 ± 0.033	250	238.7	95.5	13.8
Sesame	Pb	2.059 ± 0.029	50	45.0	89.9	8.9
		2.060 ± 0.039	250	225.3	90.1	7.7
	Cd	2.059 ± 0.029	50	43.8	87.7	9.5
		2.060 ± 0.039	250	229.8	91.9	7.4

[1]number of samples = 8

결과 및 고찰

회수율

납, 카드뮴의 회수율 분석은 표준액첨가법의 경우 대상 품목 시료에 각 분석원소에 따라 표준용액을 50, 250 μg/kg으로 제조하여 시료에 1 mL 첨가하였고, 시험용액에서의 최종농도가 5, 25 μg/kg이 되도록 전처리 과정에서 10 mL로 정용하였다. 8회 반복 실험하여 회수율을 산출하였고, 표준인증물질은 한국표준과학연구원(KRISS)에서 구입한 원소분석용 미나리 분말(108-05-001)을 이용하였다. 표준액첨가법과 표준인증물질을 이용한 회수율 측정 결과는 Table 4, 5와 같다.

검출한계 및 정량한계(LOD: Limit of detection, LOQ: Limit of quantification)

일반적으로 검출한계와 정량한계는 signal to noise ratio (S/N)로 결정된다. 3:1의 S/N 비를 사용하여 검출한계와 10:1의 S/N비를 사용하여 정량한계를 결정하였으며 이에 검체의 희석배수를 감안하여 계산한 결과, 정량한계(Limit of quantification, LOQ)는 양파, 오이, 풋고추의 경우 납 0.2 μg/kg, 카드뮴 0.09 μg/kg, 마늘의 경우 납 0.16 μg/kg, 카드뮴 0.07 μg/kg, 참깨의 경우 납 0.4 μg/kg, 카드뮴 0.2 μg/kg이었다.

납(Pb) 함량

유해중금속 납은 금속 중에서 가장 비중이 큰 물질이며, 지구의 표층에 비교적 풍부하다(13 g/ton). 납(Pb,$(CH_3COO)_2$)은 주기율표 제14족에 속하는 탄소족원소로, 자연 속에는 주로 아연광의 황화물과 황산연광($PbSO_4$), 백연광($PbCO_3$), 황연광〔$PbCl_2{\cdot}3Pb_3(AsO_4)_2$〕, 흑연광〔$PbCl_2{\cdot}3Pb_3(PO_4)_2$〕 등의 광물로서 존재한다. 납은 부드럽고, 매우 순응성이 뛰어나고, 유연하여 가공이 쉬울 뿐 아니라 색깔 조성이 잘된다는 이점이 있어 납 정련공장, 납판, 상수도형 납관, 활자합금, 깡통 등의 납땜 및 용접, 도료나 안료, 전극, 유약 등 산업계에서 다양하게 이용되고 있다. 납에 의한 농작물의 오염은 살충제 농약인 비산납 등에 의한 토양오염으로 축적되어 항상 주목되어지는 유해금속이다[9,10]. 납의 급성독성에 대해서는 오래전부터 알려져 있었으며 최근에 와서 안전을 위한 최소 기준(threshold level)이 급격히 낮아졌다. 최근 한 연구에서는 혈중 30(gr/dL)이상이면 만성독성을 유발할 수 있으며 10(gr/dL) 혹은 그 이상 되면 특히 어린이들에게 잠정적으로 해를 끼칠 수 있다고 보고하였다[11,12].

본 연구의 대상 채소류 중 중금속 모니터링 결과 납의 함량은 N.D.~0.091 mg/kg 의 분포를 이루었다. 대상검체의 납 평균함량은 양파 0.010 mg/kg, 오이 0.015 mg/kg, 마늘 0.012 mg/kg, 풋고추 0.027 mg/kg, 참깨 0.029 mg/kg 수준이었고, 대상검체들의 납 함량 평균값을 비교해 볼 때 풋고추와 참깨에서 납의 함량이 다른 농산물에 비해 비교적 높게 나타났다. 대상검체들의 납 함량 최대값이 양파 0.054 mg/kg, 오이 0.083 mg/kg, 마늘 0.050 mg/kg, 풋고추 0.091 mg/kg, 참깨 0.078 mg/kg, 수준으로 나타났으며, 그 결과는 Codex(국제식품규격위원회)의 구근류, 과채류, 근채류 및 참깨의 납 허용기준 0.1 mg/kg 미만의 수준을 보였다(Table 6).

카드뮴(Cd) 함량

유해중금속 카드뮴은 자연계에 존재하는 금속물질의 하나로 지각(crust)중의 카드뮴 농도는 평균 0.1 mg/kg 수준으로 존재하며, 보통 오염되지 않는 수질의 경우 1 μg/kg 이하인 것으로 보고되고 있다(OEHHA, 2006). 그러나 지표수중의 카드뮴 농도가 2~3 μg/kg 이상인 경우도 있는데 이는 산업폐수, 폐기물의 매립 또는 슬러지를 포함한 토양으로부터 유출된 결과로 수질이 오염된 경우일 것이다. 카드뮴은 아연과 함께 공존하며 기구나 기계의 도금, 콘덴서, 건전지 제조, 도료 제조 등으로부터의 오염과 납의 제련 시 생기는 폐수와 농작물의 재배 시 사용되는 비료에서 오염되는 것으로 알려져 있다. 카드뮴은 생물체 특히 인체에 급성 또는 만성질환을 일으키는 중금속으로서 산업의 발달로 대기 및 수질오염에 의하여 미량이지만 기도와 경구 섭취되어 치명적인 질병을 일으키며, 일본의 이타이이타이병과 같은 통증과 골연화증을 일으킬 수 있다. 특히 카드뮴은 반감기가 대단히 길 뿐만 아니라 축적되어 배설 또는 대사되기 어려운 금속이기 때문에 더욱 문제시 되고 있다. 생물체는 이와 같은 독성물질에 대한 방어기전이 metallothionein이라는 저분자 단백질을 합성하므로 중금속을 결합시켜 신장으로 이동되어 뇨 중으로 배설하므로 해독작용을 나타내지만 뼈에 축적된 카드뮴은 칼슘의 이탈과 영양적 불균형이 초래되면 더욱 문제가 심각해진다. 대부분의 모든 자연식품에서 카드뮴이 검출되지만, 식물성 식품에서는 곡물류에 많이 분포하고 있으며, 동물성 식품에서는 어패류 및 해조류에 많이 분포되어 있다. 일반적으로 우리나라와 일본 등 쌀을 주식으로 하는 아시아 국가들에서는 쌀의 섭취를 통한 카드뮴의 노출이 비직업적 노출의 주원인으로 알려져 있다.

Table 6. Contents of Pb & Cd in agricultural products

	No. of samples	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Onion	91	0.010 ± 0.014[(1)] (0.000~0.054)[(2)]	0.006 ± 0.006 (0.000~0.033)
Cucumber	75	0.018 ± 0.016 (0.000~0.083)	0.002 ± 0.002 (0.000~0.008)
Garlic	65	0.012 ± 0.012 (0.000~0.050)	0.008 ± 0.006 (0.000~0.023)
Green pepper	60	0.027 ± 0.022 (0.004~0.091)	0.011 ± 0.006 (0.003~0.033)
Sesame	87	0.029 ± 0.024 (0.000~0.078)	0.024 ± 0.012 (0.000~0.046)

[(1)] mean ± S.D. [(2)] min. value~max. value

본 연구의 대상 채소류 중 중금속 모니터링 결과 카드뮴의 함량은 N.D.~0.046 mg/kg 의 분포를 이루었다. 대상검체의 카드뮴 평균함량은 양파 0.006 mg/kg, 오이 0.002 mg/kg, 마늘 0.008 mg/kg, 풋고추 0.011 mg/kg, 참깨 0.024 mg/kg 이었고, 참깨의 카드뮴 평균함량이 다른 농산물에 대하여 비교적 높게 나타났다. 대상검체들의 카드뮴 함량 최대값이 양파 0.033 mg/kg, 오이 0.008 mg/kg, 마늘 0.023 mg/kg, 풋고추 0.033 mg/kg 수준으로 나타나 Codex(국제식품규격위원회)의 구근류, 과채류의 카드뮴 허용기준 0.05 mg/kg, 근채류의 카드뮴 허용기준 0.1 mg/kg 에 비해 낮은 수준이었다. 참깨의 Codex(국제식품규격위원회) 카드뮴 허용기준은 설정되어있지 않으나, 타 농산물의 Codex 허용기준 0.05 mg/kg과 비교해 볼 때 낮은 수준을 보였다(Table 6).

채소류(양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨) 중 납, 카드뮴 위해평가

본 연구의 대상 농산물 5종(양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨) 통해 섭취되는 납, 카드뮴의 위해성을 평가하여 이들 대상검체에 의한 납, 카드뮴의 위해수준을 추정하였다. 위해평가는 식품위생법 시행령 제2조 2항 및 Codex(국제식품규격위원회)의 "식품안전성 위해평가역할에 관한 원칙(Statement of Principle Relating to the Role of Food Safety Risk Assessment)"에 따라 위험성 확인, 위험성 결정, 노출평가, 위해도 결정의 과정으로 수행하였으며, 통계적 기법(분포추정, Crystal ball program 이용) 사용을 위해 식품 중 납 및 카드뮴 오염도 자료, 2005 국민건강영양조사 식품섭취량 및 한국인 체중 평균값(55 kg)을 노출량 산출에 사용하여 납, 카드뮴 노출수준과 위해수준을 확인하였다.

위험성 확인 및 결정

JECFA (WHO/FAO), U.S. EPA 등에 보고된 납과 카드뮴의 독성자료 등의 위험성을 확인하였다. 1986년 FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가회의(JECFA, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive)에서는 성인 1인 1주일 당 납의 잠정섭취허용량을 25 μg/kg (3.5 μg/kg·day)으로 정한 바 있다. 납은 미국 환경청(EPA, Environmental Protection Agency)과 보건성 산하 독성물질 및 질병등록청(ATSDR, Agency for toxic Substances & Disease Registory)이 2007년 발표한 "CERCLA Priority List of Hazardous Substances"에서 2위를 차지했다. 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer) 에서는 납을 Group2B로 발암가능성 물질로 규정하였다. 납의 급성독성에 대해서는 오래전부터 알려져 있었으며 최근에 와서 안전을 위한 최소 기준(threshold level)이 급격히 낮아졌다[15]. 주로 호흡과 식이를 통한 체내에 흡수된 납은 대사되지 않고 대부분은 배출되는데, 배출되지 않은 납(약 20%)은 적혈구, 뼈, 이빨, 신장, 골수, 간, 뇌 등에 축적된다. 대표적인 납 중독 증세로 빈혈과 신장과 면역체계 손상 등이 있다. 카드뮴은 1986년 FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가 회의(JECFA)에서는 성인 1인 1주일 당 카드뮴의 잠정섭취허용량을 7 μg/kg (1 μg/kg·day)으로 정한 바 있다. 카드뮴은 미국 환경청(EPA)과 보건성 산하 독성물질 및 질병등록청 (ATSDR)이 2007년 발표한 "CERCLA Priority List of hazardous Substances"에서 7위를 차지했다. 국제암연구소(IARC)에서는 카드뮴을 Group1 발암물질로 규정하였다. 카드뮴은 생물체 특히 인체에 급성 또는 만성질환을 일으키는 중금속으로서 산업의 발달로 대기 및 수질오염에 의하여 미량이지만 기도와 경구 섭취되어 치명적인 질병을 일으키며, 일본의 이타이이타이병과 같은 통증과 골연화증을 일으킬 수 있다[9,10].

노출량 평가

노출량 평가는 대상 식품에 대한 모니터링의 자료를 활용하여 납, 카드뮴 오염도 및 2005년도 국민건강영양조사의 1일 평균섭취량과 극단섭취량(95th percentile)을 한국인 평균체중(55 kg)을 고려하여 인체노출량을 산출하였다. 납과 카드뮴 오염도 자료 중 불검출 자료는 정량한계(LOQ) 이하 오염도로써 middle value인 LOQ/2로 노출평가에 적용하였으며, 농산물의 납 LOQ는 0.2 ng/kg 카드뮴 LOQ는 0.1 ng/

$$\text{1 일 인체노출량 (mg/kg bw/day)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\text{평가대상 농산물 } i \text{ 의 카드뮴 또는 납 오염도 (mg/kg)} \times \text{전체인구집단의 평가대상 농산물 } i \text{ 평균 1 일 섭취량 (g/day)}}{\text{우리나라 사람들의 평균체중 (55 kg)}}$$

Table 7. Exposure of lead and cadmium by sample by Korean adults

Sample type	Food intake (g/day)		Exposure of lead (μg/kg bw/ day)		Exposure of cadmium (μg/kg bw/ day)	
	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile
Onion	17.14	64.74	6.7×10^{-5}	2.0×10^{-4}	3.0×10^{-5}	1.3×10^{-4}
Cucumber	7.65	43.28	3.5×10^{-5}	1.1×10^{-4}	2.8×10^{-7}	1.1×10^{-6}
Garlic	5.77	17.96	2.4×10^{-6}	5.3×10^{-5}	1.2×10^{-5}	5.0×10^{-5}
Green pepper	3.47	17.05	2.0×10^{-5}	7.4×10^{-5}	2.2×10^{-5}	8.0×10^{-5}
Sesame	1.36	5.77	4.4×10^{-6}	4.5×10^{-5}	9.5×10^{-6}	2.0×10^{-3}
Total	38.36	148.80	1.3×10^{-4}	5.1×10^{-4}	7.5×10^{-5}	3.6×10^{-4}

kg로 하였다. 통계적 기법(Crystal ball program, ver 11.1.1, 분포추정)을 이용하여 식품의 납 오염도, 평균식품섭취량, 95th percentile 극단섭취량, 체중 및 1일 인체노출량 등의 Monte-Carlo Simulation에 의한 노출분포를 추정하였다. 납과 카드뮴의 1일 인체노출량 산출결과는 Table 7과 같이 나타났다.

위해도 결정

대상 식품에 대한 납과 카드뮴의 1일 인체노출량을 JECFA의 1일 인체 노출허용량과 비교 평가하여 위해지수(risk index)를 산출하였으며 그 결과는 Table 8과 같다.

2005년 국민건강조사 DB에서 조사대상 인구집단 전체를 대상으로 한 농산물(양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨)의 평균섭취량을 고려하여 산출된 납의 인체노출수준은 1.3×10^{-4} μg/kg bw/day이었으며, 위해지수는 3.7×10^{-5} 수준이었으며, 카드뮴의 인체노출수준은 7.5×10^{-5} μg/kg bw/day이었으며, 위해지수는 7.5×10^{-5} 수준이었다. 95th percentile 섭취량을 고려하여 산출된 납의 인체노출수준은 5.1×10^{-4} μg/kg bw/day이었으며, 위해지수는 1.4×10^{-4} 수준이었으며, 카드뮴의 인체노출수준은 3.6×10^{-4} μg/kg bw/day이었으며, 위해지수는 3.6×10^{-4} 수준이었다. 본 연구대상 식품은 유해영향 발생이 우려되지 않는 수준으로 나타났다.

식품의약품안전청은 지금까지 축적된 식품 중 중금속 모니터링 결과를 바탕으로 위해성 평가를 수행한 결과, 일상생활에서 한국인 평균 납의 노출수준은 JECFA(1999)에서 납의 주간잠정섭취허용량(PTWI), 25 μg/kg bw/week 의 약 3% 수준이며, 납의 노출수준에 기여하는 식품군(어패류, 채소류, 해조류, 조미료류, 감자류, 과실류, 유지류, 음료 및 주류) 중 채소류가 기여하는 수준은 25% 수준으로 보고하였다. 또한 카드뮴의 주간잠정섭취허용량(PTWI), 7 μg/kg bw/week 의 약 18% 수준이며, 카드뮴의 노출수준에 기여하는 식품군(어패류, 채소류, 해조류, 조미료류, 감자류, 과실류, 유지류, 음료 및 주류) 중 채소류가 기여하는 수준은 14% 수준으로 보고된 바 있다[11]. 따라서 본 연구에서 평가한 일부 다소비 채소류의 위해지수와 중금속 노출에 기여하는 식품군 중에서도 이들 식품군의 기여도를 감안할 때 위해도는 매우 낮은 수준으로 판단된다.

$$\text{위해지수} = \frac{\text{평가대상 농산물 섭취에 의한 납 또는 카드뮴 1 일 인체노출량 (μg/kg bw/day)}}{\text{카드뮴 또는 납 인체안전수준 (μg/kg bw/day)}}$$

- 위해지수 > 1 유해영향 발생이 우려됨
- 위해지수 ≦ 1 유해영향 발생이 우려되지 않음

Table 8. Estimation of risk index from samples by Korean adults

Sample type	Risk index of lead		Risk index of cadmium	
	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile
Onion	1.9×10^{-5}	5.7×10^{-5}	3.0×10^{-5}	1.3×10^{-4}
Cucumber	1.0×10^{-5}	3.1×10^{-5}	2.8×10^{-7}	1.1×10^{-6}
Garlic	6.8×10^{-7}	1.5×10^{-5}	1.2×10^{-5}	5.0×10^{-5}
Green pepper	5.7×10^{-6}	2.1×10^{-5}	2.2×10^{-5}	8.0×10^{-5}
Sesame	1.2×10^{-6}	1.2×10^{-5}	9.5×10^{-6}	2.0×10^{-5}
Total	3.7×10^{-5}	1.4×10^{-4}	7.5×10^{-5}	3.6×10^{-4}

요 약

본 연구에서는 채소류 등(양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨) 5품목에 대한 납, 카드뮴 기준·규격 설정을 위해 다소비 유통 채소류 중에서 양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨 총 378건을 전국 9개 권역(경기, 강원, 경남, 경북, 전남, 전북, 제주, 충남, 충북)에서 수거하고 각 시료를 microwave 분해법으로 전처리하여 납 및 카드뮴 함량을 ICP-MS로 분석하였다. 모니터링 결과, 채소류 등의 납의 평균함량은 양파 0.010 mg/kg, 오이 0.018 mg/kg, 마늘 0.012 mg/kg, 풋고추 0.027 mg/kg, 참깨 0.029 mg/kg이었으며, 카드뮴의 평균함량은 양파 0.006 mg/kg, 오이 0.002 mg/kg, 마늘 0.008 mg/kg, 풋고추 0.011 mg/kg, 참깨 0.024 mg/kg 이었다. 본 결과는, 채소류 Codex(국제식품규격위원회) 기준인 납 0.1 mg/kg, 카드뮴 0.05 mg/kg과 비교해 볼 때, 모든 검체에서 기준보다 낮은 수준이었고, 참깨는 국내외적으로 카드뮴의 기준이 설정되어 있지 않으나, 채소류의 Codex(국제식품규격위원회) 카드뮴 기준보다 낮은 수준을 나타내었다. 위해성 평가 결과, 2005년 국민건강조사 DB에서 조사대상 인구집단 전체를 대상으로 한 연구대상식품의 섭취량을 고려하여 산출된 채소류(양파, 오이, 마늘, 풋고추, 참깨)의 납의 인체노출수준은 1.3×10^{-4} μg/kg bw/day(평균섭취)~5.1×10^{-4} μg/kg bw/day(극단섭취)이었고, 카드뮴의 인체노출수준은 7.5×10^{-5} μg/kg bw/day(평균섭취)~3.6×10^{-4} μg/kg bw/day(극단섭취)이었다. 연구 대상 식품들의 위해지수를 산출한 결과, 모두 1.0 이하의 매우 낮은 수준으로 유해영향 발생이 우려되지 않는 수준으로 나타났다.

참고문헌

1. Ham, H.J.: Hazardous Heavy Metals (Hg, Cd, and Pb) in Fishery Products, Sold at Garak Wholesale Markets in Seoul. *J. Fd. Hyg. Safety*, **17**, 146-151 (2002).
2. Kim, M.H., Kim, J.S., Sho, Y.S., Chung, S.Y. and Lee, J.O.: The Study Metal Contents in Various Foods. *Korea J. Food Technol.*, **35**, 561-567 (2003).
3. Kim, S.S., Park, M.K., Oh, N.S., Kim, D.C., Han, M.S. and In, M.J.: Studies on Quality Characteristics and Shelf-life of Chlorella Soybean Curd(Tobu). *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.*, **46**, 12-15 (2003).

4. Kim, M.H., Lee, Y.D., Park, H.J., Park, S.K. and Lee, J.O.: Contents of heavy metals in soybean curd and starch jelly consumed in Korea. *Korean j. Food sci. technol*., **37**, 1-5 (2005).
5. No, K.M., Kang, K.M., Baek, S.L., Choi, H., Park, S.K., and Kim, D.S.: Monitoring of Heavy Metal Content in Alcoholic Beverages. *J. Fd Hyg. Safety*., **25**, 24-29 (2010).
6. Kim, H.Y., Kim, J.I., Kim, J.C., Park, J.E., Lee, K.J., Kim, S.I., O, J.H., and Jang, Y.M.: Survey of heavy Metal Contents of circulating Agricultural Products in Korea. *Korea J. Food Sci. Technol.*, **41**, 238-244 (2009).
7. Nikkaninen, M. and Mertanen, E.: Impact of geological origin on trace element composition of edible mushrooms. *J. Food Compost. and Anal.,* **17**, 301-310 (2004).
8. Sahan, Y., Basoglu, F. and Gucer, S.: ICP-MS analysis of a series of metals (namely: mg, Cr, Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Sn, Cd and Pb) in black and green olive samples. *Food Chem.*, **105**, 395-399 (2007).
9. Conor, R.: Metal contamination of food. 3rd Ed. Blackwell Science Ltd., Australia, pp. 5-11, pp. 40-76, pp. 81-188 (1991).
10. Jose, M. C.: Food toxicology (in two part). Part B: Contamination and Additives. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 1033-1073 (1988).
11. Lee, S.R.: A Study for Food Safety. Ehwa University Publishing Department, Seoul, pp. 142-184, pp. 196-228 (1995).