

## 국내에서 유통 중인 채소류의 중금속 함량에 관한 연구

유하영 · 정진주 · 최은주 · 강성태\*  
서울산업대학교 식품공학과

### Heavy Metal Contents of Vegetables from Korean Markets

Ha Young Yoo, Jin Joo Jung, Eun Ju Choi, and Sung Tae Kang\*

Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Technology

**Abstract** This study estimated the heavy metal contents of vegetables grown in Korea (n=234). The samples were digested using the microwave method. The contents of heavy metals (Pb, Cd, As, Cr, Cu, Mn, and Zn) were determined using inductively-coupled plasma spectrometry (ICP). The average values of heavy metals in vegetables were as follows [mean (minimum-maximum), mg/kg]; Pb 0.0026 (ND-0.0313), Cd 0.0017 (ND-0.0280), As 0.0005 (ND-0.0332), Cr 0.0156 (0.0010-0.1798), Cu 0.3767 (0.0556-1.3980), Mn 3.0214 (0.0182-26.4100), and Zn 3.5796 (0.8300-14.4600). The heavy metal contents of vegetables available on the domestic market were almost the same as or lower than those reported in other studies. Further, the weekly average intake of heavy metals was lower than the Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) or the Provisional Maximum Tolerable Daily Intake (PMTDI), which was established by the FAO/WHO. Our results can be utilized as a reference to establish specific standards for various vegetables in Korea.

**Key words:** heavy metals, vegetables, PTWI, lead, cadmium

## 서 론

산업 발달과 함께 산업체로부터 발생하는 중금속 물질은 대기, 토양, 수질 등의 환경오염을 증가시키며 중금속 오염에 노출될 가능성을 크게 증가시켰다. 식품의 중금속 오염은 식품의 생산, 가공공정에서 일어나기도 하지만 대부분 재배 환경 속에 오염된 물, 토양, 대기에 의해 일어난다(1). 이러한 환경에서 재배된 식품의 섭취를 통해 중금속은 체내로 들어온다. 체내에 들어온 중금속은 쉽게 분해되거나 제거되지 않으며 대부분 축적되어 식품의 종류와 건강상태에 따라 그 흡수량이 달라진다(2,3).

그 중 납, 카드뮴, 비소, 크롬 등은 동식물체에 유해성이 큰 금속으로 국제암연구소의 발암기준물질분류기준에 따라 각각 Group 2B, Group 1, Group 1, Group 1(67) 또는 3(37)으로 분류되며 암 발생의 위험을 가진 중금속으로 알려져 있다. 뿐만 아니라 납, 카드뮴의 과잉섭취는 중추신경계와 신장에 독성이 매우 크고 구리, 망간의 과잉섭취는 구토 복통 등의 독성이 있으며 아연의 경우는 결핍 시 생식력 저하 등의 영향을 미치기도 한다. 하지만 구리, 망간, 아연은 미량으로 존재할 경우 인체 내 대사과정이나 생리활성에 필요한 효소의 구성성분으로 긍정적인 역할을 하기도 한다(4).

1967년 농촌진흥청에서 처음 시작 된 우리나라 농산물의 중금

속 함량에 대한 연구는 80년대 이후로 채소, 과일, 수산물을 대상으로 하며 그 범위를 넓혔으며 조사 대상 중금속도 수은, 납, 카드뮴, 비소뿐만 아니라 구리, 아연 등의 중금속으로 확대되었다(5). 2000년대에는 식품의약품안전청(KFDA)과 보건환경연구원 등에서 채소류의 중금속 함량의 조사 및 연구가 이루어져 오고 있지만 그 품목이 일부 채소류에 한정되어 있다.

국제적으로는 1974년 FAO/WHO 합동회의에서 납, 카드뮴, 비소, 수은 등을 중금속 오염물질로 다루기 시작하면서 1976년에는 식품오염물질 현황조사와 방지대책을 수립하기 시작하였다. 특히 UNEP(United Nations Environment Programme)에 의해 설립된 GEMS(Global Environment Monitoring System)의 일환인 FAO/WHO 합동 식품오염 물질관리 모니터링 사업은 세계 여러 나라의 자료를 수집하고 평가하여 식품규제나 관리방법을 도와주고 있다(6).

우리나라의 경우 2006년 12월 배추, 시금치, 파, 무에 대한 납, 카드뮴 기준이 신설되었으나 전체 채소류에 대한 세부규정은 존재하지 않아 전체 채소류의 안전관리는 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 반면 외국의 경우, 채소류를 소분류 하여 중금속 기준을 적용하고 있어 전체 채소류에 대한 중금속 오염에 대해 관리하고 있다.

한편 2005년 국민건강영양조사 결과보고에 따르면 곡류 및 그 제품, 채소류, 그리고 과일류는 각각 307.1g(25.5%), 291.2g(24.2%), 125.7g(10.4%)의 순으로 식품군별 1인 1일 평균 섭취량이 많은 것으로 조사되었다. 채소류는 곡류 다음으로 많이 섭취하는 식품으로서(7) 환경오염으로 인해 중금속 함량이 높아진 채소류의 섭취는 체내 중금속 축적으로 인한 건강상 유해 가능성을 우려하게 한다. 또한 국내 식량의 안전성 확보와 대외적인 통상차질 방지를 위해 채소류 전체에 대한 중금속 기준 설정의 필요성이 제기되고 있으므로 채소류 중의 중금속 함량에 대한 더

\*Corresponding author: Sung Tae Kang, Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea  
Tel: 82-2-970-6736  
Fax: 82-2-976-6460  
E-mail: kst@snut.ac.kr  
Received February 2, 2010; revised March 7, 2010;  
accepted March 18, 2010

많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 채소류 중 많이 소비되고 있으나 아직 국제기준이 설정되어 있지 않은 품목과 많은 연구가 수행되어 있지 않은 품목에 대해 중금속 함량을 조사하였다. 채소류의 품목 선정에는 2005년 국민건강영양조사 중 식품별 1인 1일 섭취량 조사 결과(7)를 참고하였다. 그리고 중금속의 주간섭취량을 계산하여 FAO/WHO의 주간섭취허용량인 PTWI(provisional tolerable weekly intake) 또는 잠정1일 최대 섭취 허용량(provisional maximum tolerable daily intake, PMTDI)과 비교하여 안전성을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

2008년 7월부터 2009년 1월까지 서울지역 시중 마트에서 판매되고 있는 채소류 중 엽채류(9종), 엽경채류(2종), 과채류(4종) 총 243건을 시료로 사용하였다. 원소별 표준용액제조 및 시료전처리에에는 특급시약인 65% 질산(Merck, Darmstadt, Germany)을 사용하였고 초자 기구는 중성세제에 담근 후 초음파로 세척하였다. 초음파 세척한 후에는 증류수로 3회 헹구고 표준물질 조제용 초자 기구에 대해서는 10%의 질산용액에 하루 동안 보관 후 증류수로 세척하여 사용하였다. 원소별 표준용액은 원자흡광분석용 표준용액(Merck)을 사용하였으며 각각 약 1,000 mg/kg 농도를 원액으로 하였다. 각각의 표준용액은 0.5 N 질산으로 정용하고, 이를 단계별로 희석하여 표준용액을 제조하였다.

### 시료의 전처리

수집한 시료를 흐르는 수돗물에 3회 세척한 뒤 초순수 증류수로 1회 세척 한 뒤 3시간 동안 자연 건조하였다. 건조된 시료를 균질기(AM Series, Nissei, Anjo-Shi, Japan)로 분쇄한 뒤 냉동시켜 보관하였다. 냉동된 시료는 전처리 전에 상온에서 해동시킨 후 사용하였다.

### 원소분석

시료의 분해는 식품공전의 식품중 유해물질시험법에서 습식분해법 중 microwave법을 사용하였다(8). 균질화 된 시료 약 3g에 65% 질산을 6 mL 취하여 1시간 방치 한 뒤 마이크로파(Q-Wave 2000, Teckton, Buchun, Korea)로 분해하였다. 질산 휘발을 위해 방냉 후 분해된 용액을 0.5 N 질산으로 정용하여 약 2배가 되도록 희석하였다.

Table 1. The operating condition of ICP

Classification	Condition
RF Power (W)	1400
Coolant gas flow (L/min)	12.0
Auxiliary gas flow (L/min)	1.0
Nebulizer gas flow (L/min)	0.85
Wavelength (μm)	Pb: 220.351
	Cd: 226.502
	As: 189.042
	Cr: 267.716
	Cu: 224.700
	Mn: 257.610
	Zn: 213.856

시험용액은 ICP-AES(Spectro-Ciros<sup>CCD</sup>, ICP system, Kleve, Germany)을 이용하여 측정하였다. 기기분석 조건과 원소별 측정 파장은 Table 1과 같다. 분석 원소의 회수율은 한국표준과학연구원에서 판매하는 금속원소분석용 인증표준물질(certified reference material: 108-01-001)을 구입하여 평가하였다.

### 분석정도관리

분석결과에 대한 정확성 및 신뢰도를 국제적으로 인정받기 위해서 영국 환경식품부의 Central Science Laboratory(CSL) Food Science Laboratory에서 운영하는 FAPAS 국제 정도관리 프로그램에 참가하여 쌀 분말 중 카드뮴, 납 분석에서 우수한 결과를 얻었다(9).

## 결과 및 고찰

### 납(Pb)

납은 신경, 평활근 장애와 적혈구 중의 헤모글로빈을 감소시켜 빈혈을 유발하며 빈혈, 뇌손상마비, 신장장애 등의 급성독성 증상과 창백한 피부, 두통, 식욕 감퇴 등의 만성 증상을 일으키는 것으로 알려져 있다(10). 이번에 조사된 채소별 납 함량은 Park 등(11)의 상추(0.004 mg/kg)와 비교하였을 때는 비슷한 수준이었고 Kang 등(12)의 서울지역의 애호박(0.292 mg/kg) 및 경기 지역의 애호박(0.237 mg/kg), Jun 등(13)의 깻잎(0.0143 mg/kg), Chung 등(14)의 상추(0.022 mg/kg), 오이(0.023 mg/kg), 호박(0.036 mg/kg) 보다는 낮은 수준으로 나타났다. 조사된 총 243건의 채소류중의 납에 대한 평균 함량은 0.0026 mg/kg으로서 그 범위는 ND(Not Detected)-0.0313 mg/kg으로 나타났다(Table 2). 이러한 결과는 Kim 등(5)의 채소류 평균 0.0201 mg/kg, Kim 등(15)의 채소류 평균 0.03 mg/kg, Lee 등(16)의 국내 채소류 평균 0.032 mg/kg, 식약청(17)의 채소류 평균 0.016 mg/kg과 비교하였을 때 다소 낮은 수준으로 나타났다. 본 연구에서는 주로 엽채류와 엽경채류를 시료로 사용한 반면 기존 연구에서는 근채류를 주로 포함하였기 때문에 토양에 의한 영향으로 그 함량이 높았던 것으로 생각된다.

### 카드뮴(Cd)

카드뮴은 적은 양으로도 신장독성을 일으키며 산성식품과 접촉하여 쉽게 용출된다. 초기 증상은 단백뇨를 일으키며 장기간 노출 시 골조직에서 칼슘과 인 대사 불균형을 초래하며 골다공증과 골연화증, 비장의 기능장애, 고혈압, 간장손실, 폐손상, 기형 발생 등을 일으킨다(2). 이번에 조사된 채소별 카드뮴 함량은 Heo 등(18)의 전라도 지역의 미나리(0.013-0.036 mg/kg), Chung 등(14)의 상추(0.028 mg/kg), 오이(0.010 mg/kg), 호박(0.0008 mg/kg), Ikebe 등(19)의 상추(0.014 mg/kg), Yoo 등(20)의 깻잎(0.005 mg/kg) 논미나리(0.0189 mg/kg), Park 등(11)의 고추(0.020-0.042 mg/kg)와 비교하여 낮은 수준이었다. 반면 Jun 등(13)의 충청이남 지역의 깻잎(0.004 mg/kg)과 비교하였을 때는 다소 높았다. Yoo 등(20)의 근대(0.0011 mg/kg), 발미나리(0.001 mg/kg), Kang 등(12)의 서울지역의 애호박(0.016 mg/kg) 경기 지역의 애호박(0.003 mg/kg)과 비교하였을 때는 그 수준이 비슷하였다. 외국의 연구결과와 비교하였을 때 호주(15)의 상추(0.01 mg/kg), 캐나다(21)의 오이(0.01 mg/kg) 보다는 매우 낮은 수준이었다. 이번에 조사된 총 243건의 채소류 중의 카드뮴에 대한 평균 함량은 0.0017 mg/kg으로 그 범위는 ND-0.0280 mg/kg으로 나타났다(Table 2). 이는 식약청(17)에서 조사한 채소류의 평균함량(0.016 mg/kg)과 Lee 등(16)의 국내 채소류 평균함량(0.032 mg/kg) 보다는 매우 낮은 수준이었다.

### 비소(As)

비소는 특히 토양, 물 및 동식물에 함유되어 있으나 식품에 함유되어 있는 형태는 대부분 독성이 적은 유기비소 형태로 알려져 있다(22). 섭취 시 구토, 혈뇨성 설사를 일으키고 장기간 노출 시 식욕부진, 체중감소, 안면부종, 폐색성 황달, 신경염이나 피부 각화증을 유발할 수 있다(2). 이번에 조사된 채소별 비소 함량은 Park 등(11)의 광주지역 상추(불검출), Dabeka 등(23)의 캐나다 상추(0.0016 mg/kg), Jun 등(13)의 충청이남 지역의 깻잎(0.0084 mg/kg)과 비슷한 결과를 보였다. 그러나 이외 품목에 대해서는 기존 결과 보다 모두 낮은 수치를 보였다. 이번에 조사된 총 243건의 채소류중의 비소에 대한 평균 함량은 0.0005 mg/kg으로 그 범위는 ND-0.0332 mg/kg로 나타났다(Table 2). Chung 등(14)의 우리나라 채소류 평균 0.015 mg/kg, Kim 등(5)의 채소류 평균 0.028 mg/kg, Cho 등(24)의 인천시 채소 평균 0.003 mg/kg와 비교하였을 때 평균 검출량은 낮은 것으로 나타났다.

### 크롬(Cr)

크롬은 일반적으로 공기 및 습기에 대해서 매우 안정하고 단단한 중금속이며, 인체에 필수 영양소로서 인슐린 분비를 촉진시키는 기능을 수행한다. Cr<sup>6+</sup>은 화학적 활성이 높으며 또 생체에서 영향력도 강하다. Cr<sup>6+</sup>은 산업장에서 많이 노출되며 단기간 노출 시 천식과 기관지 염증을 일으키며, 장기간 노출 후에는 피부와 호흡기에 암을 발생한다. 반면 Cr<sup>3+</sup>은 암을 발생시키지 않으며, 사람과 동물에는 필수영양소이다(25). 이번에 조사된 채소별 크롬 함량은 Jun 등(13)의 충청이남 지역의 깻잎(0.0366 mg/kg)와 비슷하였다. 그러나 Yoo 등(20)의 깻잎(0.2494 mg/kg) 발미나리(0.1066 mg/kg) 논미나리(0.3278 mg/kg) 근대(0.0342 mg/kg)와 Kang 등(12)의 서울지역 애호박(0.244 mg/kg), 경기지역 애호박(0.245 mg/kg)보다는 매우 낮은 수치로 나타났다. 이번에 조사된 총 243건의 채소류중의 크롬에 대한 평균 함량은 0.0156 mg/kg으로 그 범위는 0.0010-0.1798 mg/kg으로 나타났다(Table 3). 이는 Kim 등

**Table 2. Concentration of heavy metal (Pb, Cd, and As) in vegetables**

Sample	No.	Concentration of heavy metal (mg/kg)		
		Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
Chard	13	0.0029±0.0069 (ND <sup>1)</sup> -0.0244)	0.0015±0.0022 (ND-0.0078)	ND
Perilla leaf	21	0.0065±0.0100 <sup>2)</sup> (ND-0.0428)	0.0003±0.0007 (ND-0.0031)	0.0010±0.0043 (ND-0.0200)
Broccoli	14	0.0001±0.0004 (ND-0.0015)	0.0011±0.0011 (ND-0.0039)	ND
Lettuce	45	0.0045±0.0149 (ND-0.0712)	0.0039±0.0056 (ND-0.0280)	0.0007±0.0038 (ND-0.0252)
Crown daisy	13	0.0031±0.0082 (ND-0.0313)	0.0009±0.0007 (0.0002-0.0024)	ND
Mallow	18	0.0021±0.0041 (ND-0.0153)	0.0043±0.0068 (ND-0.0234)	ND
Cabbage	5	0.0003±0.0006 (ND-0.0016)	0.0003±0.0001 (0.0002-0.0004)	ND
Head lettuce	10	ND	0.0012±0.0011 (ND-0.0031)	ND
Chicory, leaves	9	0.0009±0.0013 (ND-0.0031)	0.0011±0.0006 (ND-0.0020)	ND
Water dropwort	17	0.0025±0.0058 (ND-0.0184)	0.0004±0.0007 (ND-0.0025)	ND
Chinese chive	33	0.0025±0.0062 (ND-0.0221)	0.0015±0.0026 (ND-0.0119)	0.0014±0.0056 (ND-0.0252)
Eggplant	11	0.0003±0.0009 (ND-0.0030)	0.0004±0.0001 (0.0002-0.0018)	ND
Red pepper	16	0.0002±0.0006 (ND-0.0023)	0.0010±0.0009 (ND-0.0032)	0.0021±0.0080 (ND-0.0332)
Young pumpkin	5	0.0038±0.0077 (ND-0.0192)	0.0001±0.0000 (ND-0.0002)	ND
Cucumber	13	ND	0.0001±0.0001 (ND-0.0003)	ND
Total mean		0.0026±0.0084 (ND-0.0313)	0.0017±0.0036 (ND-0.0280)	0.0005±0.0036 (ND-0.0332)

<sup>1)</sup>ND: Not detected.

<sup>2)</sup>Data were expressed as mean±SD (minimum-maximum).

**Table 3. Concentration of heavy metal (Cr, Cu, Mn, and Zn) in vegetables**

Sample	No.	Concentration of heavy metal (mg/kg)			
		Cr	Cu	Mn	Zn
Chard	13	0.0157±0.0171 <sup>1)</sup> (0.0025-0.0561)	0.3163±0.1345 (0.1509-0.6500)	1.8965±1.2645 (0.2264-5.0700)	2.8299±0.5359 (1.9300-3.9680)
Perilla leaf	21	0.0231 ±0.0247 (0.0032-0.0761)	0.7287±0.2621 (0.3643-1.3980)	9.1462± 8.3517 (1.2160-26.4100)	5.4237±1.8649 (2.5160-9.9600)
Broccoli	14	0.0136±0.0132 (0.0019-0.0414)	0.3164±0.1106 (0.1126-0.4948)	3.7254±3.5819 (0.1766-10.3600)	5.0328±1.1538 (2.8630-6.8400)
Lettuce	45	0.0262±0.0354 (0.0029-0.1798)	0.3387±0.1339 (0.1397-0.9020)	3.2833±4.2017 (0.1698-19.1100)	4.3641±2.8243 (1.2870-13.1500)
Crown daisy	13	0.0115±0.0105 (0.0027-0.0328)	0.4691±0.1511 (0.2601-0.7720)	1.7959±1.8073 (0.2896-6.4500)	2.7891±0.8220 (1.6560-4.3367)
Mallow	18	0.0154±0.0177 (0.0026-0.0710)	0.5198±0.2277 (0.2169-1.2140)	2.3261±1.7844 (0.4001-7.6400)	6.8049±2.9479 (2.8680-14.4600)
Cabbage	5	0.0018±0.0004 (0.0012-0.0025)	0.1100±0.0479 (0.0581-0.1807)	2.0272±1.6894 (0.5150-4.6660)	1.8018±0.9012 (0.8720-3.4980)
Head lettuce	10	0.0072±0.0068 (0.0010-0.0192)	0.1871±0.1188 (0.0605-0.4938)	1.0851±0.8147 (0.0927-3.1800)	1.4622±0.3189 (1.0410-2.1040)
Chicory, leaves	9	0.0221±0.0185 (0.0025-0.0544)	0.3657±0.1810 (0.0556-0.6690)	1.9689±1.0027 (1.0510-4.1640)	4.4363±2.5783 (1.9070-9.9500)
Water dropwort	17	0.0187±0.0142 (0.0022-0.0548)	0.3250±0.1144 (0.1187-0.4963)	6.0934±2.4696 (3.8290-13.3000)	2.0559±0.6047 (1.1820-3.4770)
Chinese chive	33	0.0158±0.0142 (0.0022-0.0553)	0.3959±0.1587 (0.0820-0.8250)	2.5056±1.9183 (0.7440-8.6600)	3.6036±1.8921 (1.6790-9.4500)
Eggplant	11	0.0020±0.0009 (0.0013-0.0173)	0.2326±0.0815 (0.1433-0.3676)	0.5100±0.1625 (0.0688-0.6840)	1.4202±0.3695 (0.830-2.2140)
Red pepper	16	0.0045±0.0053 (0.0016-0.0220)	0.3914±0.1311 (0.2049-0.6770)	0.8454±0.4054 (0.0999-1.7310)	2.1001±0.6530 (0.7650-3.1180)
Young pumpkin	5	0.0019±0.0003 (0.0016-0.0024)	0.2077±0.0281 (0.1571-0.2372)	0.5424±0.1186 (0.3809-0.7110)	1.5368±0.1817 (1.3460-1.8090)
Cucumber	13	0.0061±0.0098 (0.0011-0.0355)	0.2172±0.1154 (0.0652-0.4324)	0.4246±0.3556 (0.0182-1.4240)	1.4798±0.2767 (0.8880-1.9250)
Total mean		0.0156±0.0215 (0.0010-0.1798)	0.3767±0.2092 (0.0556-1.3980)	3.0214±4.1310 (0.0182-26.4100)	3.5796±2.4181 (0.8300-14.4600)

<sup>1)</sup>Data were expressed as mean±SD (minimum-maximum).

(5)의 우리나라 생산 채소류의 크롬 평균 0.077 mg/kg 보다 다소 낮은 수준으로 나타났다. 그리고 채소류의 크롬에 관한 연구는 아직 미비한 실정으로 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**구리(Cu)**

구리는 자연계에 널리 분포되어 있는 필수 금속원소로 산화효소의 구성성분이며 결핍 시에는 헤모글로빈 합성의 결손으로 저색소성 빈혈을 유발하기도 한다. 과량 섭취 시에는 구토, 설사, 복토, 두통, 경련 및 혼수 등의 증상을 일으킨다(4). 이번에 조사된 채소별 구리 함량은 Chung 등(14)의 오이(0.45 mg/kg), Yoo 등(20)의 근대(0.3815 mg/kg), 애호박(0.3086 mg/kg), Cho 등(24)의 인천시 깻잎(0.798 mg/kg), 호박(0.100 mg/kg), 호주(15)의 상추(0.46 mg/kg)의 결과와도 비슷하였다. 반면 Yoo 등(20)의 깻잎(2.0312 mg/kg) 논미나리(0.6293 mg/kg) 발미나리(2.9469 mg/kg), Chung 등(14)의 호박(0.77 mg/kg), Park 등(11)의 광주지역 상추(1.072 mg/kg), 고추(0.7512 mg/kg)보다는 매우 낮게 나타났다. 이번에 조사된 총 243건의 채소류중의 구리에 대한 평균 함량은 구리 함량

의 전체 평균은 0.3767 mg/kg으로 그 범위는 0.0556-1.3980 mg/kg으로 나타났다(Table 3). 이는 Kim 등(5)의 우리나라 채소류 평균 0.410 mg/kg, 일본(19) 채소류 평균 0.52 mg/kg과도 유사하게 나타났다.

**망간(Mn)**

망간은 인간과 동물에 필수미량금속으로 다양한 범위로 함유되어 있으며 인체에서는 인산화반응, 콜레스테롤과 지방산 합성에 관여하는 효소 보조 인자로 알려져 있으나 만성 중독 시 중추신경 장애 및 간경화 등을 발생시킨다(3). 이번에 조사된 채소별 망간 함량은 Chung 등(14)의 상추(4.09 mg/kg), 일본(19)의 호박(2.4 mg/kg), Chung 등(14)의 호박(1.27 mg/kg), Park 등(11)의 광주지역 상추(5.517 mg/kg) 고추(1.431 mg/kg)의 결과와 비슷하였다. 그러나 Chung 등(14)의 오이(1.42 mg/kg) 호박(1.27 mg/kg)과 일본(19) 상추(1.0 mg/kg)보다는 낮은 결과를 보였다. 이번에 조사된 총 243건의 채소류중의 망간에 대한 평균 함량은 3.0214 mg/kg으로 그 범위는 0.0182-26.4100 mg/kg으로 나타났다(Table 3).

**Table 4. The recovery of heavy metal using certified reference material (CRM)<sup>1)</sup>**

Elements	Concentration of CRM (mg/kg)	Mean of measurement (mg/kg)	Recovery (%)
Pb	0.027	0.0249±0.0014	92.35
Cd	0.031±0.002	0.0277±0.0006	89.46
As	0.30±0.01	0.2683±0.0024	89.42
Cr	0.16±0.03	0.1479±0.0082	92.42
Cu	3.22±0.09	3.0388±0.0345	94.37
Mn	37.0±0.7	34.3267±0.7032	92.77
Zn	22.9±0.7	21.7167±1.3396	94.83

<sup>1)</sup>Data were expressed as mean±SD (minimum-maximum, n=5).

이전 연구결과인 Lee 등(16)의 채소류 평균 6.799(0.425-24.652) mg/kg보다 다소 낮았다.

### 아연(Zn)

아연은 식이를 통해 섭취해야 하는 필수 금속원소로 생리작용에 필요한 효소 작용에 보조인자로 작용한다. 아연 결핍 시 용혈성 빈혈, 고혈압 등을 일으킬 수 있으며 과량섭취로 인한 문제는 아직까지 제기되지 않고 있다(3). 이번에 조사된 채소별 아연 함량은 Chung 등(14)의 상추(5.02 mg/kg) 오이(1.51 mg/kg) 호박(2.09 mg/kg)과 비슷하였으며 Yoo 등(20)의 깻잎(5.5663 mg/kg) 근대(1.2956 mg/kg) 논미나리(3.1987 mg/kg) 발미나리(2.0652 mg/kg) 긴애호박(0.9097 mg/kg), Chung 등(14)의 호박(2.09 mg/kg), Park 등(11) 및 Chung 등(14)의 광주지역 상추(2.645 mg/kg) 고추(2.116 mg/kg)와는 다소 낮거나 비슷하였다. 반면 Cho 등(24)의 인천시 깻잎(1.589 mg/kg) 호박(0.563 mg/kg)과 일본(19)의 상추(1.6 mg/kg) 호박(3.6 mg/kg)의 결과보다는 다소 높은 결과였다. 이번에 조사된 총 243건의 채소류중의 아연에 대한 평균 함량은 3.5796 mg/kg, 그 범위는 0.830-14.4600 mg/kg으로 나타났다(Table 3). 이는 Kim 등(5)의 우리나라 채소류 평균 3.700 mg/kg의 보고와 비슷한 결과였다. 다른 중금속과 비교하였을 때 대부분의 채소에서 1.00 mg/kg의 농도 이상으로 검출된 것은 아연을 비롯한 구리와 망간의 경우 식품 중에 함유된 원소의 함량 때문으로 안전성에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

### 표준인증물질 측정 및 빈도수 평가

표준인증물질은 한국표준과학연구원에서 구입한 원소분석용 쌀 분말을 사용하였으며, 원소별 측정 결과는 Table 4에 나타내었다. 시료 분석방법과 동일한 시험방법으로 분석한 뒤 5회 측정된 평균값으로 회수율을 구하였고 회수율은 85-95% 수준으로 나타났다. 조사된 총 243건의 채소류의 평균 중금속 함량을 구간별 빈도수로 Table 5에 나타내었다. 납, 카드뮴, 비소의 경우 그 함량이 대부분 ND-0.05 mg/kg의 낮은 수준으로 나타났으며 크롬의 경우도 0.005-0.1 mg/kg의 낮은 수준에 분포하였다. 구리는 0.5 mg/kg 내외의 범위에 그리고 아연은 5 mg/kg 내외의 범위에 집중적으로 분포하였으며 망간의 경우는 시료에 따라 다양한 농도범위에 분포하며 비교적 높은 농도에서 많이 검출되었다.

### 안전성 평가

중금속이 인체로 유입되는 경로는 주로 식품을 통하여 이루어진다. 그러므로 중금속의 섭취량은 섭취된 식품에 함유되어 있는 중금속의 함량을 통해 추정할 수 있다.

**Table 5. Frequency distribution of heavy metal concentration in Korean vegetable samples**

Content (mg/kg)	Heavy metal						
	Pb	Cd	As	Cr	Cu	Mn	Zn
≤0.001	187	163	237	1	0	0	0
≤0.005	29	60	0	98	0	0	0
≤0.01	2	11	1	55	0	0	0
≤0.05	23	9	5	71	0	2	0
≤0.1	2	0	0	16	8	4	0
≤0.5	0	0	0	2	189	21	0
≤1	0	0	0	0	40	51	6
≤5	0	0	0	0	6	127	183
≤10	0	0	0	0	0	24	48
≤50	0	0	0	0	0	14	6

**Table 6. Comparison of weekly intakes of heavy metal from surveyed vegetables with PTWI<sup>1)</sup> established by FAO/WHO**

Heavy metal	Daily intake <sup>2)</sup> (µg/person/day)	Weekly intake <sup>3)</sup> (µg/kg bw <sup>4)</sup> /week)	PTWI (µg/kg bw/week)
Pb	0.0084	0.0001	25
Cd	0.0081	0.0001	7
As	0.0018	0.0000	15
Cu	1.7333	0.0289	350-3500 <sup>5)</sup>
Zn	16.3241	0.2721	2100-7000 <sup>5)</sup>
Cr	0.0498	0.0008	-
Mn	9.7594	0.1627	-

<sup>1)</sup>PTWI (Provisional tolerable weekly intake).

<sup>2)</sup>Σ[Concentration of heavy metal × daily intakes of foods<sup>(7)</sup>].

<sup>3)</sup>Daily intake × 7/60 kg.

<sup>4)</sup>Body weight.

<sup>5)</sup>Cu and Zn were expressed Provisional Maximum Tolerable Daily Intake (PMTDI, µg/kg bw/day).

본 연구결과를 토대로 계산한 주간섭취량과 FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가 위원회에서 안전성 평가를 위해 설정하고 있는 PTWI(26)와 비교하여 본 연구에서 조사한 채소류 섭취에 의한 안전성을 평가하였다. 시료의 1인 1일 섭취량은 2005년 국민 영양조사 결과보고서(7)를 참조하였다. 주간섭취량의 계산 시 성인 1인 체중을 60kg으로 고려하였으며, 1일 섭취량, 성인 1인 주간 섭취량을 산출하였다(Table 6).

비교결과 조사한 시료들을 통해 섭취되는 성인 1인의 중금속 주간 섭취량은 납, 카드뮴, 비소의 PTWI에 비해 매우 낮은 수준 이었고 구리와 아연의 경우도 잠정 1일 최대 섭취허용량(PMTDI)에 비해 매우 낮은 수준이었다. 따라서 조사한 채소류를 통한 중금속의 위해성은 문제되지 않을 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구에서는 시판중인 일부 채소류의 중금속 함량을 조사해 국외기준과 비교하고 그 안전성을 검증해보고자 하였다. 전국에서 재배되어 시장에서 유통되고 있는 채소류 15종 243건을 시료로 하였다. 시료의 분석방법은 습식분해법 중 microwave 법을 이용하였으며 납, 카드뮴, 비소, 크롬, 구리, 망간, 아연을 유도결합 플라즈마 분광기(inductively coupled plasma spectrometer, ICP)를 이용하여 분석하였다. 조사결과 채소류의 평균 함량(최소-최대함량, mg/kg)은 Pb, 0.0026(ND-0.0313); Cd, 0.0017(ND-0.0280), As,

0.0005(ND-0.0332); Cr, 0.0156(0.0010-0.1798); Cu, 0.3767(0.0556-1.3980); Mn, 3.0214(0.0182-26.4100); Zn, 3.5796(0.830-14.46)으로 나타났다. 본 연구를 통해 얻어진 결과들 중 납, 카드뮴, 비소는 기존 연구결과들과 비슷하거나 낮은 수준이었으며 크롬, 구리, 망간, 아연은 비슷한 수준으로 나타났다. 또한 조사한 품목의 주간 섭취량을 FAO/WHO에서 안전성 평가를 위해 설정한 PTWI와 PMTDI 기준과 비교한 결과 그 수준이 매우 낮아 우리나라에서 재배되는 이들 채소류로부터 섭취하는 중금속 양은 안전한 수준으로 판단되었다. 본 연구결과는 아직 세부기준이 설정되지 않는 채소류의 중금속 기준을 설정하는데 있어 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 문 헌

1. Tanaka K, Aoki Y, Tamase K, Umoto F, Ohbayashi H, Sasaki M. Improved methods for determination of total mercury and its application to vegetables and fruit in markets. *J. Food Hyg. Soc. Jpn.* 33: 359-364 (1992)
2. Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 523-526 (2004)
3. Kim SJ, Ryang HS. Studies on the heavy metals in paddy rice and soils in Janghang smelter. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 18: 336-347 (1985)
4. Choi SY. Food Contamination. Ulsan University Publisher. Ulsan, Korea. pp.196-228 (1995)
5. Kim MK, Kim WI, Jung GB, Yun SG. Safety assessment of heavy metal in agricultural products of Korea. *Kor. J. Env. Hlth. Soc.* 20:169-174 (2001)
6. UNEP/FAO/WHO. The Contamination of Food. UNEP, Nairobi, Kenya (1992)
7. MHW. The Korea national health and nutrition survey report. 3<sup>rd</sup> ed. Ministry of Health and Welfare, Seoul, Korea. pp.378-380 (2006)
8. KFDA, Food Code. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea. 10-6-13 (2008)
9. FAPAS. Metallic contaminants in powdered rice -Report to participants in food analysis performance assessment scheme. The Food Analysis Performance Assessment Scheme. The Food and Environment Research Agency, Sand Hutton, York, UK (2007)
10. WHO. Lead ( Environmental Health Criteria 3), World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp. 44-54 (1977)
11. Park JS, Na HS. Analysis of trace metal in agricultural products. *Korean J. Food Nutr.* 13: 595-601 (2000)
12. Kang JS, Park SH, Jung MS. A study on heavy metal contents in vegetables and soil at Seoul area. *Kor. J. Env. Hlth. Soc.* 20: 55-63 (1994)
13. Jun WY, Nam HS, Seo IW, Yoon SY, Lee DM, Park DH, Lee HM, Kim SS, Kim HJ, Lee KY. Study on hazardous metal contents of circulating vegetables in Korea. Gwangju Regional KFDA. The annual Report of KFDA, 6: 162-168 (2002)
14. Chung SY, Kim MH, Sho YS, Won KP, Hong MK. Trace metal contents in vegetables and their safety evaluations. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 32-36 (2001)
15. Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. The Study on heavy metal contents in various foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 561-567 (2003)
16. Lee TJ, Kim KC, Shin IC, Han KS, Sim TH, Ryu MJ, Lee JK. Survey on the contents of trace heavy metal in agricultural products of Gangwon-do. *Rep. Inst. Health Environ.* 7: 75-87 (1996)
17. KFDA, Foods and Heavy Metals-Are the Safety of Heavy Metals in Food Ever in Korea. Woozin publishing Co., Seoul, Korea pp. 14-15 (1999)
18. Heo NC, Kim CM, Park S, Na HS. Investigation on contents of heavy metal and parasites of the dropwort cultivated in Chollanamdo. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 970-973 (2000)
19. Ikebe K, Nishimune T, Sueki K. Contents of 17 metal elements in food determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (vegetables, fruits, potatoes and fungi). *J. Food Hyg. Soc. Jpn.* 31: 382-393 (1990)
20. Yoo CC, Kim DW. Studies on the heavy metal contents in some vegetables sales on markets in Korea. *Korean J. Food Nutr.* 18: 254-264 (2005)
21. Dabeka RW, Mckenzie AD. Total diet study of lead and cadmium in food composites: Preliminary investigation. *J. AOAC Int.* 75: 386-394 (1992)
22. Kim DW, Yoo CC. On the heavy metal contents of some vegetables on the super markets in Korea. *Korean J. Food Nutr.* 18: 254-264(2005)
23. Dabeka RW, McKenzie AD, GMA. Lacroix, Cleroux C, C, Bowe, S, Graham RA, Conacher HBS. Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by Canadian adults and children. *J. AOAC Int.* 76: 14-25 (1993)
24. Cho TW. A study on the heavy metal contents in vegetables in Incheon area Incheon city. Institute of Health. *Korean J. Env. Hlth. Soc.* 12: 55-61 (1986)
25. Park HS, Kang YH. The Role of trivalent chromium as a supplement. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 762-768 (2004)
26. FAO. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). International Life Science Institute, Geneva, Switzerland (1994)