

우리 나라 백미의 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 자연함유량과 일일 섭취량 조사

정명채*

세명대학교 자원환경공학과

Background Levels and Daily Intake of As, Cd, Cu, Pb and Zn in White Rice Produced in Korea

Myeong Chae Jung*

**Department of Earth Resources & Environmental Geotechnics Engineering, Semyung University, Jecheon 390-711, Korea*

The objective of this study is to investigate background levels of As and heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) and their dietary intakes from white rice produced at various provinces in Korea during 2000. Except Jeju-do, sixty-three rice grain samples were taken at 8 provinces and analyzed for the elements using ICP-AES after acid digestion. The average contents of As, Cd, Cu, Pb and Zn in the samples were 0.126, 0.040, 1.96, 0.361 and 16.6 mg/kg(DW), respectively. These levels are within the ranges of worldwide average concentrations in rice grains reported by various research. Assuming the rice consumption of 256 g/day by overall households in Korea, the amount of daily intake of As, Cd, Cu, Pb and Zn by the rice were estimated to be 32.3, 10.2, 502, 92.4 and 4,250 μ g/day, respectively. Those amount of daily intakes of the elements by the rice are within the WHO's guide for trace elements, however, rice consumption is one of the most important sources of dietary intake of As and some heavy metals in Korean population.

Key words : background levels, As, Cd, Cu, Pb, Zn, white rice, daily intake

이 연구의 목적은 2000년도에 국내에서 생산된 백미에 함유된 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 자연함유량과 백미의 섭취에 의한 이들 미량원소들의 인체섭취량을 추정하는 것이다. 논농사의 빈도가 낮은 제주도를 제외한 8개도에서 총 63개의 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 건조, 미분쇄 및 산처리 이후, ICP-AES를 활용하여 화학분석을 하였다. 화학분석 결과, 백미에 함유된 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn에 대한 건조중량 기준의 평균함량은 각각 0.126, 0.040, 1.96, 0.361 및 16.6 mg/kg으로 조사되었다. 이들 함량은 전세계에서 조사된 백미 내의 미량원소 자연함유량의 평균함량과 유사한 범위이다. 우리 국민의 1일 평균 쌀소비량을 256 g으로 가정하면, 조사된 쌀의 섭취에 의한 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 1일섭취량은 각각 32.3, 10.2, 502, 92.4 및 4,250 μ g/day으로 계산되었다. 이 값들은 세계보건기구의 미량원소 1일섭취 최대허용량 기준 이내이지만, 쌀의 소비는 우리 국민에게서 가장 중요한 미량원소 섭취 경로중의 하나이다.

주요어 : 자연함유량, 비소, 카드뮴, 구리, 납, 아연, 백미, 1일섭취량

1. 서 론

20세기에 들어오면서 가속화된 인구의 증가, 산업화, 도시화에 의해 다양한 종류의 환경오염물질들이 배출되고 있다. 특히 인위적으로 배출된 다양한 형태의 유독성 원소들은 물, 바람, 생물활동 등의 여러 이동매체를

통하여 대기권, 수권 및 토양권을 포함하는 지구화학적 환경으로 이동·분산되어 잠재적으로 식물, 동물 그리고 인간을 비롯한 유기생명체에 치명적인 피해를 입히고 있다. 특히, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn등과 같은 유독성 중금속 원소들의 환경 피해가 가중되고 있다. 특히, 오염시설지역 주변의 토양

*Corresponding author: jmc65@semyung.ac.kr

권, 수권 및 대기권은 유해성 물질로 오염되고 있으며, 오염된 토양에서 재배된 식물을 섭취한 지역 주민의 건강장애가 우려되고 있다. 이러한 모든 과정에서 발생하는 환경오염물질은 바로 우리의 먹거리에 영향을 미치고 있으며, 오염지역에서 재배된 농산물의 중금속 농축 현상은 심각한 수준에 있다. 그러나 아직도 국내의 특정 음식물에 함유된 중금속 자연함유량에 대한 자세한 연구가 미미하다. 그 중에서도 우리의 주식인 쌀에 함유된 유해성 금속에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다(Jung, 1995).

우리 나라에서 생산되는 식량작물은 미곡, 맥류, 두류, 서류 및 잡곡 등 다양하며 가장 많은 비중을 차지하는 것은 미곡이다. 국내에서는 매년 3,500만섬(=500만톤) 이상의 쌀이 생산되고 있으며, 2000년말 기준으로 1인당 약 93.6 kg의 미곡을 소비하고 있으며, 국민 1인당 하루에 약 256 g의 쌀이 소비되고 있다(http://www.maf.go.kr). 물론, 식생활패턴의 변화에 의해 쌀이 주종이었던 1970년대의 374g/일/인에 비해 감소되는 추세이며, 최근 몇 년간 계속적인 풍작으로 인하여 쌀 생산량이 증가되어 최근에는 쌀 재고량이 평균 1,500만섬으로써 사회적 문제로 나타나고 있다. 상대적으로 밀, 옥수수 및 콩 등이 과거에 비해 증가되는 경향이

다(http://www.maf.go.kr). 하지만 아직도 쌀이 우리의 주식으로 확고한 자리를 차지하고 있기 때문에 쌀에 미량의 중금속이 함유되어 있다면 우리의 건강에 치명적인 결과를 초래할 수도 있으며, 대표적인 예로서 일본에서 발생한 이따이이따이 질병이 있으며, 국내에서도 경기도 광명시에 있는 가학광산 주변에서 재배된

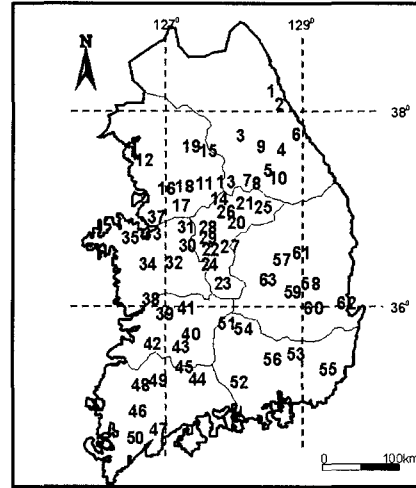


Fig. 1. Sampling locations of 63 rice grains produced in 2000.

Table 1. Sampling locations of rice grains.

ID*	location	ID	location	ID	location
1	Gangwon Goseong	22	Choongbuk Cheongwon	43	Jeonbuk Sunchang
2	Gangwon Goseong	23	Choongbuk Boeun	44	Jeonnam Hwasun
3	Gangwon Hongcheon	24	Choongbuk Cheongju	45	Jeonnam Gokseong
4	Gangwon Jeongseon	25	Choongbuk Danyang	46	Jeonnam Mokpo
5	Gangwon Yeongweol	26	Choongbuk Jecheon	47	Jeonnam Gangjin
6	Gangwon Gangneung	27	Choongbuk Goesan	48	Jeonnam Muan
7	Gangwon Wonju	28	Choongbuk Jincheon	49	Jeonnam Naju
8	Gangwon Wonju	29	Choongbuk Jincheon	50	Jeonnam Haenam
9	Gangwon Pyeongchang	30	Choongnam Asan	51	Gyeongnam Geochang
10	Gangwon Yeongweol	31	Choongnam Asan	52	Gyeongnam Hadong
11	Gyeonggi Icheon	32	Choongnam Cheongyang	53	Gyeongnam Milyang
12	Gyeonggi Gimpo	33	Choongnam Hongséong	54	Gyeongnam Geochang
13	Gyeonggi Yeosu	34	Choongnam Boryeong	55	Busan city
14	Gyeonggi Yeosu	35	Choongnam Seosan	56	Gyeongnam Haman
15	Gyeonggi Gwangju	36	Choongnam Yesan	57	Gyeongbuk Yecheon
16	Gyeonggi Hwaseong	37	Choongnam Dangjin	58	Gyeongbuk Andong
17	Gyeonggi Pyeongtaek	38	Jeonbuk Gunsan	59	Gyeongbuk Andong
18	Gyeonggi Hwaseong	39	Jeonbuk Gimje	60	Daegu city
19	Gyeonggi Gwangju	40	Jeonbuk Imsil	61	Gyeongbuk Yecheon
20	Choongbuk Chungju	41	Jeonbuk Jeonju	62	Gyeongbuk Pohang
21	Choongbuk Jecheon	42	Jeonbuk Gochang	63	Gyeongbuk Sangju

*ID: See Fig. 1 for locations of samples.

벼에서 1 mg/kg 이상의 Cd이 검출된 바 있으며(<http://www.maf.go.kr>), 충남 청양군의 구봉광산 지역, 충북 괴산군 덕평리지역 함우라늪 흑색세일 분포지역 등에서 재배된 벼에서 다량의 중금속이 검출된 바 있다.

그러므로 이 연구에서는 우리 국민이 주식으로 소비하고 있는 쌀에 함유된 미량원소들의 자연함유량(비오 염지역에서 생산된 쌀의 평균함량)을 조사하고 일일 평균 쌀소비량에 근거한 미량원소의 인체섭취도를 조사하고자 한다. 이러한 연구 결과는 식물의 자연배경값의 고찰과 함께 음식물로 섭취할 수 있는 중금속의 정량적 평가와 인체 위해성 평가를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 시료 채취와 화학분석

이 연구에서는 우리 국민이 주식으로 소비하고 있는 쌀에 함유된 As, Cd, Cu, Pb, Zn 등의 유해성 화학물질의 자연함유량을 조사하기 위하여 우리 나라 전역을 대상으로 각 지역에서 대표적인 지역을 선정하여 시료를 수집하여 이들의 자연 함유량을 조사함으로써 지역적인 특성과 함량의 통계적 차이를 규명하고자 하였다.

시료의 채취는 논농사 빈도가 낮은 제주도를 제외한 8개의 도 단위를 기준으로 각 도에서 생산된 쌀을 대상으로 지역적으로 인배하여 각 시.도에서 6~10개의 시료를 수집하였다. 대부분의 시료는 농가를 방문하여 직접 재배한 쌀을 수집하였으며, 일부 시료는 지역의 농협 또는 할인마트 등에서 재배지가 명시된 쌀을 구입하여, 전국에서 총 63개를 수집하였다(Fig. 1 및 Table 1). 수집된 시료는 25°C에서 5일간 자연건조한 후, 스테인레스스틸로 제작된 분쇄기로 미분쇄 하였다. 분쇄된 시료를 시분한 후, 2.0 g의 건조된 쌀 시료를 콘테서가 장착된 유리관에 넣고 유기물을 분해하기 위해 5 ml의 휘발성질산을 10분 간격으로 3회 주입하였다. 유기물의 분해가 완전히 이루어지도록 3시간 방치한 후, 히팅블록에

서 완전건조 하였다(50°C로 3시간, 100°C로 3시간, 150°C로 10시간, 160°C에서 완전건조). 유리관을 식힌 후, 3 ml의 과염소산을 넣고 다시 가열하여 완전건조하였다(50°C로 10분, 100°C로 18시간, 190°C에서 완전건조). 분해가 완료된 시료는 5 M 염산 2 ml로 leaching 한 후, 증류수로 최종 부피를 10 ml로 하여 ICP-AES를 활용하여 분석하였다.

분석에서 자료의 정확도와 정밀도를 확보하기 위하여 10개 시료에 1쌍씩 총 6쌍의 중복시료와 HRM(in-house reference materials)과 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 국제표준시료(SRM 1568a, rice flour) 등을 사용하였다. 대표적으로 국제표준시료(SRM1568a)를 중복으로 분석한 결과를 Table 2에 요약하였다. 표에서 보는 바와 같이 모든 원소들의 정확도가 95% 이상으로 통계적으로 유의한 수준으로 조사되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 백미에 함유된 미량원소의 함량

수집된 쌀시료에 대한 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 함량을 지역별로 Table 3에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 대부분의 원소들의 함량변화가 지역에 따라 큰 편차를 보이지 않는다. 하지만 일부 시료의 경우 다른 시료에 비해 상대적으로 높거나 낮은 수준으로 검출되었으며 이는 지질의 특성 차이에 의한 토양 내의 원소함량 변화에 기인하는 것으로 판단된다. 하지만 통계적인 차이를 검증하기 위해 t-test를 수행한 결과, 이들의 함량 차이는 통계적으로는 나타나지 않았으며, 일부 시료의 고함량에 의한 평균값의 차이로 판단할 수 있다. 각 원소에 대한 함량 변화와 지역적 특성을 고찰하면 다음과 같다.

비소(As): 일반적으로 식용식물에 함유된 비소의 함량은 0.01~1.5 mg/kg(건조무게 기준)으로 알려져 있으며, 잎사귀 식물이 열매식물에 비해 그 함량이 높은 경

Table 2. Chemical results of As, Cd, Cu, Pb and Zn in SRM1568a(rice flour, NIST, USA) analyzed by ICP-AES.

Elements (mg/kg)	Certified value (A)	Measured value (B)	Accuracy (B/A) (%)
As	0.29±0.03	0.282±0.004	97
Cd	0.022±0.002	0.021±0.001	95
Cu	2.4±0.3	2.28±0.06	95
Pb*	<0.010	0.009±0.001	-
Zn	19.4±0.5	19.1±0.2	98

*Noncertified

Table 3. Concentrations of As, Cd, Cu, Pb and Zn in rice grains sampled from various province in Korea (mg/kg, dry weight).

Province		As	Cd	Cu	Pb	Zn
Gangwon (n*=10)	range	0.082~0.259	0.014~0.079	1.287~2.193	0.083~0.397	13.00~20.23
	mean	0.139	0.027	1.776	0.174	16.89
	std**	0.050	0.020	0.277	0.095	2.11
Gyeonggi (n=9)	range	0.072~0.260	0.029~0.279	1.848~4.228	0.072~1.074	15.96~18.47
	mean	0.141	0.102	2.646	0.322	17.39
	std	0.060	0.100	0.826	0.302	0.77
Choongbuk (n=10)	range	0.082~0.286	0.010~0.153	1.404~3.369	0.009~0.275	14.47~18.53
	mean	0.148	0.041	2.118	0.144	16.57
	std	0.058	0.049	0.621	0.086	1.31
Choongnam (n=8)	range	0.097~0.194	0.010~0.042	1.429~2.196	0.098~1.042	12.14~17.63
	mean	0.131	0.020	1.807	0.335	14.86
	std	0.030	0.014	0.271	0.329	2.15
Jeonbuk (n=6)	range	0.061~0.204	0.015~0.056	1.797~2.758	0.047~0.576	15.14~21.59
	mean	0.118	0.038	2.224	0.220	18.24
	std	0.048	0.014	0.349	0.185	2.19
Jeonnam (n=7)	range	0.043~0.144	0.013~0.057	1.268~2.642	0.053~0.790	14.92~19.55
	mean	0.096	0.033	2.004	0.274	17.01
	std	0.045	0.019	0.408	0.257	1.85
Gyeongnam (n=6)	range	0.061~0.119	0.011~0.042	0.430~2.030	0.688~0.985	15.34~18.33
	mean	0.089	0.019	1.313	0.829	16.74
	std	0.022	0.012	0.689	0.097	1.05
Gyeongbuk (n=7)	range	0.076~0.176	0.012~0.057	1.214~1.997	0.673~0.940	11.23~18.66
	mean	0.119	0.024	1.557	0.823	14.89
	std	0.033	0.018	0.291	0.082	2.62
Overall (n=63)	range	0.043~0.286	0.010~0.279	0.430~4.228	0.009~1.074	11.23~21.59
	mean	0.126	0.040	1.958	0.361	16.56
	std	0.048	0.050	0.618	0.314	2.02

*n=number of samples, std**=standard deviation

향이 있다(Bowen, 1979; Kabata-Pendias and Pendias, 1984). Bennett *et al.*(2000)의 연구에 의하면, 미국의 위스콘신주에서 재배된 백미에 함유된 비소의 평균함량은 0.136 mg/kg으로 조사된 바 있다. 이 연구에서 조사된 국내 백미의 경우, 0.043~0.286 mg/kg의 비교적 넓은 범위를 보이며 평균 0.126 mg/kg으로 조사되어 Bennett *et al.*(2000)의 연구 결과와 매우 유사한 함량이 검출되었다. 지역적으로는 경기, 강원, 충남 및 충북지역이 전남, 전북, 경남 및 경북에 비해 상대적으로 높은 함량이 검출되었다. 이러한 차이는 지질에 의한 영향으로 판단되지만 정확한 지질적인 차이를 규명하기는 매우 어려운 상황이다.

카드뮴(Cd): 식물의 성장에 있어 카드뮴은 비필수원소이므로 오염되지 않은 토양에서 재배된 식물에서는 대부분 낮은 함량이 검출되고 있다(Adriano, 1986). Jung(1995)의 요약자료에 의하면 비오염토양에서 재배된 다양한 식물에서 Cd의 함량은 1.0 mg/kg 이하로 검출되지만 Cd 농축 식물 중의 하나인 담배잎에서는

1~2 mg/kg 정도로 상대적으로 높은 편이다. 한편, Kabata-Pendias and Pendias(1984)의 조사에 의하면, 곡류에 함유된 Cd 함량은 0.013~0.22 mg/kg의 범위를 갖는다. 백미에 대한 Cd 함량 조사는 다양한 국가에서 이루어졌으며, 대표적으로 일본의 경우, 총 8,163개의 백미시료를 분석한 결과 평균 0.09 mg/kg의 Cd이 검출된 바 있다(Imura, 1981). 또한 최근의 자료에 의하면 기하학적 평균으로 0.05 mg/kg의 Cd이 검출된 보고도 있다(Simbo *et al.*, 2001). 또한 캐나다의 조사 결과에 의하면 <0.01~6.2 mg/kg의 카드뮴이 검출되었다(Pip, 1993). 이 연구에서 조사된 국내 백미의 경우, 평균 0.04 mg/kg의 Cd이 검출되었으며 0.01~0.279 mg/kg의 범위를 보였다. 이 값은 그 동안 다른 연구자들에 의해 보고된 평균함량과 유사한 것으로써 국가별로 큰 차이를 보이지는 않았다. 지역적으로 보면, 대부분 0.03~0.04 mg/kg의 범위를 보이고 있지만 경기도에서 재배된 시료에서 0.279 mg/kg의 Cd이 검출되어 평균값이 높게 조사되었다. 이는 경기도 주변에는

산업화와 도시화에 의해 다양한 오염원이 분포하므로 토양이 이러한 오염물에 노출된 결과로 판단되며, 다른 지역에 비해 토양의 자연배경값이 높을 수 있는 가능성 때문으로 판단된다.

구리(Cu): 식물에 있어 구리는 광합성 및 생육에 매우 필요한 원소이다. 보통의 비오염토양에서 재배된 식물의 경우 통상 5~20 mg/kg 정도의 구리를 함유하고 있으며 이 보다 낮거나 높으면 부족증세 또는 과잉증세가 나타나기도 한다(Adriano, 1986). Jung(1995)의 요약자료에 의하면 비오염토양에서 재배된 식물내의 Cu함량은 0.6~160 mg/kg 정도의 넓은 범위를 보이지만, 대부분 10 mg/kg 전후의 Cu 함량을 갖는 것이 일반적인 경향이다. 한편, 백미에 함유된 구리함량의 조사에 따르면 국가에 따라 다소 차이는 있지만, 미국의 경우 4.14 mg/kg(Bennett *et al.*, 2000), 일본의 경우 2.9 mg/kg(Imura, 1981) 등이 보고되었다. 또한 캐나다의 조사 결과에 의하면 1.6~14.4 mg/kg의 구리가 검출되었다(Pip, 1993). 이 연구에서 조사된 국내 백미의 경우, 0.43~4.23 mg/kg의 범위를 갖고 평균 1.96 mg/kg의 구리가 검출되었다. 이는 지금까지의 다른 연구 결과와 큰 차이는 없으며, 지역에 따라서는 Cd와 같이 경기도에서 상대적으로 높은 평균(2.65 mg/kg)값을 보이고 있다.

납(Pb): 식물에 함유된 납의 자연배경값에 대해서는 다양한 연구가 수행된 바 있다. Jung(1995)의 요약자료에 의하면, 비오염토양에서 재배된 식물의 납함량은 식물의 종류에 따라 0.01~78 mg/kg으로 다양하지만 대부분 1~2 mg/kg 전후의 값을 가진다. 또한 Kabata-Pendias and Pendias(1984)의 조사에 의하면 식용식물의 경우 0.1~10 mg/kg의 함량 범위를 갖는 것으로 보고되었다. 백미에 함유된 납에 대한 기존 연구 결과에 의하면, 다양한 국가에서 재배된 쌀의 평균 납함량은 0.135 mg/kg으로 보고되었으며(Al-Saleh and Shinwari, 2001), 미국에서는 평균 0.25 mg/kg의 납이 검출되었다(Bennett *et al.*, 2000). 또한 캐나다의 조사 결과에 의하면 <0.01~6.7 mg/kg의 납이 검출되었다(Pip, 1993). 이 연구에서 조사된 국내 백미에서는 평균 0.361 mg/kg의 납이 검출되었으며, 지역적으로 경남과 경북에서 각각 평균 0.829 mg/kg과 0.823 mg/kg으로 상대적으로 높은 납이 검출되었다.

아연(Zn): 식물에서 아연의 함량은 대부분 1.2~73 mg/kg 전후의 값을 가지며(Kabata-Pendias and Pendias, 1984), 동일한 식물의 경우 그 값이 매우 좁은 함량 범위를 갖는다. 그 동안 조사된 백미에서의

아연함량을 보면, 22개 국가의 현미에서는 평균 16.4 mg/kg이 검출되었고, 백미에서 13.7 mg/kg이 검출되었다(Masironi *et al.*, 1977). 또한 Nriagu and Lin(1995)에 의하면 미국의 백미에서 평균 23.0 mg/kg의 아연이 검출된 바 있다. 이 연구에서 조사된 국내의 백미의 경우, 다른 연구와 유사한 값인 평균 16.6 mg/kg으로써 다른 원소에 비해 지역적인 편차가 크지 않고 고르게 분포하는 특징을 보였다.

3.2. 쌀소비에 의한 미량원소의 1일 인체섭취도

국내의 미곡 생산량은 당해 연도의 기후적인 영향과 소비체계에 따라 다변화 양상을 보이고 있다. 1970년부터 2000년까지 국내의 쌀생산량 변화를 도시한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 1980년에 최소생산량(약 355만톤)에서 1988년도에는 최대 풍작으로 605만톤을 생산하였다. 이후 생산량은 다소 둔화되었지만 매년 500~550만톤의 쌀이 국내에서 생산되고 있다.

한편, 우리나라의 주식인 쌀의 소비량은 과거 70년대에 비해 상대적으로 둔화되는 경향을 보이고 있다. 이는 생활패턴이 과거의 쌀 중심에서 밀의 소비 및 서구식 식사형태로의 변화에 의한 것으로 판단된다. 물론, 2000년도를 기준으로 전체 국민의 연간 쌀소비량이 93.6 kg으로써 보리쌀 1.6 kg, 밀 35.9 kg, 옥수수 5.9 kg, 콩 8.5 kg, 서류 4.3 kg 등에 비해 월등히 높지만, 1970년부터 2000년까지 우리 나라의 쌀소비량 변화를

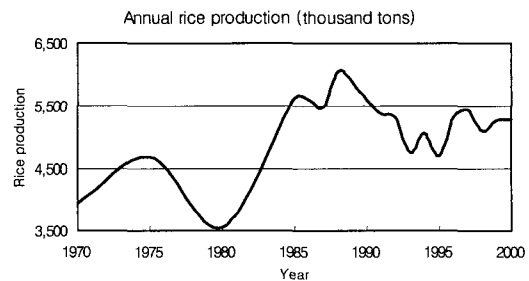


Fig. 2. Annual rice production in Korea.

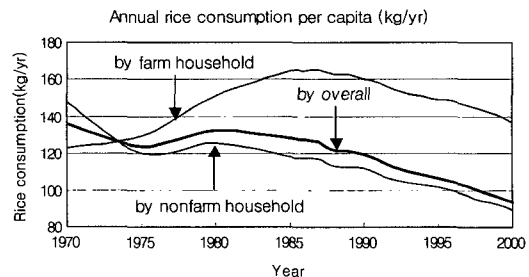


Fig. 3. Annual rice consumption per capita in Korea.

도시한 Fig. 3에서 보는 바와 같이 매년 그 소비량이 감소되는 추세이다. 특히 농가에 비해 비농가에서의 쌀 소비량이 현저히 감소되고 있다.

이 연구에서는 총 63개의 쌀시료의 분석 결과를 기준으로 쌀소비에 의한 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 섭취도를 계산하였다. 쌀소비량은 2000년을 기준으로 적용하였으며 쌀 소비에 의한 상기 원소의 1일 섭취량은 다음과 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned} & \text{쌀 소비에 의한 원소의 1일 섭취량}(\mu\text{g/day}) \\ & = \text{1일 쌀소비량}(\text{g/day}) \times \text{원소의 함량}(\mu\text{g/g}) \end{aligned}$$

위의 식을 적용하여 계산된 각 원소의 1일 섭취량을 농가, 비농가 및 전체로 구분하여 Table 4에 요약하였다. 표에서 보는 바와 같이 쌀의 소비로 인해 다량의 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn을 섭취하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과를 다른 연구와 비교하면 다음과 같다.

비소(As): 음식물의 섭취에 의한 비소의 체내 섭취에 대한 다양한 국가의 연구가 수행되었다. 성인을 기준으로 캐나다에서는 평균 17 $\mu\text{g/day}$ (범위 2.4~101 $\mu\text{g/day}$)의 비소를 섭취하는 것으로 조사되었으며(Dabeka *et al.*, 1987), 미국에서는 50 $\mu\text{g/day}$ (Nriagu and Azcue, 1990), 영국에서는 61 $\mu\text{g/day}$ (Evans and Sherlock, 1987)의 비소를 섭취하는 것으로 조사되었다. 한편, 세계식량기구(FAO) 및 세계보건기구(WHO)에서는 60 kg 성인을 기준으로 1일 비소섭취량을 120 μg 이하로 규정하고 있다(FAO/WHO, 1972). 국내의 백미를 섭취함으로써 발생할 수 있는 비소의 섭취량은 32.26 $\mu\text{g/day}$ 로 계산되었으며, 쌀의 소비가 비소의 인체섭취도에 중요한 역할을 하고 있음을 확인하였다.

카드뮴(Cd): 세계식량기구(FAO) 및 세계보건기구(WHO)에서는 60 kg 성인을 기준으로 카드뮴의 주당최대허용량(PTWI, provisional tolerable weekly intake)을 400~500 μg 이하로 규정하고 있으며 이를 1일 기준으로 바꾸면 57~71 $\mu\text{g/day}$ 정도이다(FAO/WHO, 1972). 영국의 경우 1일 Cd 섭취량은 20 $\mu\text{g/day}$, 미국은 39 $\mu\text{g/day}$ 정도로 조사되었다(Jung, 1995). 국내에서

재배된 백미의 섭취에 근거한 계산결과에 의하면, 쌀소비에 의해 1일 평균 10.24 μg 의 카드뮴을 정기적으로 섭취하고 있는 것으로 조사되어 세계보건기구의 1일 권고값의 약 15% 전후에 해당되어 주요한 Cd 섭취 경로로 조사되었다.

구리(Cu): FAO/WHO에서는 60 kg 성인을 기준으로 구리의 1일 최대허용량을 30,000 μg 이하로 규정하고 있으며, 영국에서는 1일 평균 18,000 μg 의 구리를 음식물로 섭취하고 있다(Jung, 1995). 국내에서 재배된 백미의 섭취에 근거한 계산결과에 의하면, 쌀소비에 의해 1일 평균 502 μg 의 구리를 섭취하고 있는 것으로 조사되었다.

납(Pb): FAO/WHO에서는 60 kg 성인을 기준으로 납의 주당최대허용량을 3,000 μg 이하로 규정한 바 있으며(FAO/WHO, 1972), 납에 대한 독성이 점차 밝혀짐으로써 1986년에 주당최대허용량을 성인의 몸무게 기준으로 25 $\mu\text{g/kg}$ 으로 조정하였다(WHO, 1993). 납의 섭취에 대한 다양한 국가의 연구가 수행되었으며, 대표적으로 Pfannhauser(1989)는 다양한 국가의 1일 납 섭취량을 조사하였다. 연구결과에 의하면, 오스트리아 62 μg , 독일 113 μg , 일본 230~320 μg , 네덜란드 106 μg , 루마니아 700~1,000 μg , 뉴질랜드 413 μg , 영국 186~220 μg 및 미국 60~300 μg 등으로서 선진국이 다소 낮은 섭취량을 보이고 있다. 국내에서 재배된 백미의 섭취에 근거한 계산결과에 의하면, 쌀소비에 의해 1일 평균 92.4 μg 의 납을 섭취하고 있는 것으로 조사되어 단일 항목으로는 비교적 높은 비율에 해당된다.

아연(Zn): 아연은 인간의 생장에 필수적인 역할을 하는 원소로서 적당량의 섭취는 필요한 원소로 알려져 있다. 1982년에 세계보건기구에서는 성인몸무게 1kg을 기준으로 1일 1,000 μg 을 최대허용기준으로 설정하였다(WHO, 1993). 각국의 연구 결과에 의하면 통상 음식물의 섭취를 통해 10,000~20,000 μg 정도를 섭취하는 것으로 조사되었으며(Jung, 1995), 국내에서 재배된 백미의 섭취에 근거한 계산결과에 의하면, 쌀소비에 의해 1일 평균 4,250 μg 의 아연을 섭취하는 것으로 조사되었다.

Table 4. Computed daily intake of As, Cd, Cu, Pb and Zn by consumption of rice.

		daily consumption(g)	As	Cd	Cu	Pb	Zn
mean($\mu\text{g/g}$)		-	0.126	0.040	1.96	0.361	16.6
daily intake ($\mu\text{g/day}$)	farm household	375	47.25	15.00	735	135	6,230
	nonfarm household	244	30.74	9.76	478	88.1	4,050
	overall	256	32.26	10.24	502	92.4	4,250

4. 결 론

이 연구는 국내에서 2000년도에 제주도를 제외한 전국 8개 도에서 생산된 총 63개의 백미시료에 대한 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 자연함유량을 조사하고, 이를 섭취함으로써 발생하는 상기 원소들의 1일 평균 섭취량을 조사하고자 하였으며 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 제주도를 제외한 조사지역에서의 쌀에 함유된 각종 원소들의 지역별 특성은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 대부분 유사한 함량을 나타내고 있다.
2. 지역에 따라 편차는 있지만, 백미시료의 평균 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 함량은 각각 0.126, 0.040, 1.96, 0.361 및 16.6 mg/kg으로 조사되었다.
3. 우리 국민의 1일 평균 쌀소비량을 256 mg으로 가정하면, 조사된 쌀의 섭취에 의한 As, Cd, Cu, Pb 및 Zn의 1일 섭취량은 각각 32.3, 10.2, 502, 92.4 및 4,250 µg/day으로 계산되었다.

사 사

본 연구는 『2000년도 세명대학교 교내학술연구비 지원 사업』에 의해 연구되었습니다.

참고문헌

- 농림부홈페이지(<http://www.maf.go.kr>)
- Adriano, D.C. (1986) Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York Inc., 501p.
- Al-Saleh I. and Shinwari, N. (2001) Report on the levels of cadmium, lead, and mercury in imported rice grain samples. *Bio. Trace Element Res.*, v. 83, p. 91-96.
- Bennett J.P., Chiriboga E., Coleman J., Waller D.M. (2000) Heavy metals in wild rice from northern Wisconsin. *Sci. Total Environ.*, v. 246, p. 261-269.
- Bowen H.J.M. (1979) Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, New York, 333p.
- Dabeka R.W., McKenzie A.D. and Lacroix G.M.A. (1987) Dietary intake of lead, cadmium, arsenic and fluoride by Canadian adults: a 24-hour duplicate diet study. *Food Add. Contam.* v. 4, p. 84-102.
- Evans W.H. and Sherlock J.C. (1987) Relationship between elemental intakes within the United Kingdom total dietary study and other adult dietary studies. *Food Add. Contam.*, v. 4, p. 1-8.
- FAO/WHO. (1972) Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium. Sixteenth report of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives. FAO nutrition meeting report series No. 51.
- Imura, K. (1981) Background contents of heavy metals in Japanese soils. In Kitagishi K, Yamane I editors. Heavy metal pollution in soils of Japan, Japan Scientific Societies Press, Tokyo, p. 19-26.
- Jung M.C. (1995) Heavy metal contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of metalliferous mines in Korea. Unpublished PhD thesis, University of London, 455p.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H. (1984) Trace elements in soils and plants, CRC Press, 315p.
- Masironi R., Koirtyohann S.R. and Pierce J.O. (1977) Zinc, copper, cadmium and chromium in the polished and unpolished rice. *Sci. Total Environ.*, v. 7, p. 23-43.
- Nriagu J.O. and Lin T.-S. (1995) Trace metals in rice sold in the United States. *Sci. Total Environ.*, v. 172, p. 223-228.
- Nriagu J.O. and Azcue J.M. (1990) Food contamination with arsenic in the environment. In Nriagu JO, Simmons MS editors, Food Contamination from Environmental Sources, John Wiley and Sons, Inc., p. 121-143.
- Pfannhauser W. (1989) Intake of mercury, cadmium, lead and arsenic by the diet in Austria. In Vernet, J.-P. editor, Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environ., Geneva, v. 2, p. 141-144.
- Pip E. (1993) Cadmium, copper and lead in wild rice from central Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, v. 24, p. 179-181.
- Simbo, S., Zang Z.W., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Matsuda-Inoguchi, N., Higashikawa, K. and Ikeda, M. (2001) Cadmium and lead contents in rice and other cereal products in Japan in 1998-2000. *Sci. Total Environ.*, v. 281, p. 165-175.
- WHO. (1993) Guidelines for drinking-water quality, 2nd edition, v. 1. Recommendations, WHO, Geneva, 188p.

2003년 7월 11일 원고접수, 2003년 9월 15일 게재승인.