

버섯류 중 납, 카드뮴 위해성 평가

최 훈 · 박성국 · 이범노 · 김미혜*
식품의약품안전청 식품위해평가부 오염물질과

Risk Assessment of Lead and Cadmium through Mushrooms

Hoon Choi, Sung-Kug Park, Bum-Noh Lee, and Meehye Kim*

Food Contaminants Divisions, Food Safety Evaluation Department, Korea Food and Drug Administration

Abstract The present study was carried out in order to assess the dietary exposure as well as the risk for lead (Pb) and cadmium (Cd) exposure through mushrooms among the Korean population. Various samples (n=536) covering 17 kinds of mushrooms were collected from retail outlets and markets in Korea. The contents of Pb were 0.005 (King oyster)-0.026 (Matsutake) mg/kg in raw mushrooms and 0.014 (Oyster)-16.411 (Manna lichen) mg/kg in dry mushrooms, respectively. The contents of Cd were 0.002 (Enoki)-0.205 (*Hericium erinacium*) mg/kg in raw mushrooms and 0.021 (Vegetable worms)-2.650 (*Agaricus blazei Muill*) mg/kg in dry mushrooms, respectively. The mean dietary exposure of Pb for the general population was 0.053 µg/day, taking 0.03% of provisional tolerable weekly intake (PTWI). The mean dietary exposure of Cd for the general population was 0.168 µg/day, corresponding to 0.37% of provisional tolerable monthly intake (PTMI). Therefore, the level of the overall dietary exposure to heavy metals through mushroom for the Korean population was far below the recommended JECFA levels, indicating little possibility of concern.

Keywords: mushroom, lead, cadmium, monitoring, risk assessment

서 론

전 세계적으로 발견된 버섯의 종류는 약 15,000여 종으로 알려져 있으며 국내에 자생하는 버섯류는 약 1,500여 종으로, 이 중 식용가능한 버섯은 350여 종이며, 독버섯은 약 90여 종으로 집계되고 있다. 식용 중 대부분은 야생버섯이고 상업적으로 재배되는 버섯은 30여 종에 불과하다. 국내에서 버섯생산 및 소비량이 늘고, 수출입량도 해마다 증가하는 등 산업으로서 버섯의 중요성이 증대되고 있고 식용버섯은 고품질의 생버섯 소비가 늘어나고 있으며, 약용버섯을 이용한 건강보조식품의 소비시장이 확대되고 있다(1). 우리나라의 전체 버섯생산량 중에 가장 많은 품목은 느타리버섯이며 느타리과인 큰느타리버섯은 꾸준히 생산량이 증가하여 느타리버섯과 유사한 수준에 이르렀다. 그 다음으로 팽이버섯, 표고버섯, 양송이버섯 순이었다. 하지만, 표고버섯의 생산량은 생표고버섯과 건조표고버섯량의 합계로 조사되고 있기에 생표고버섯 기준으로 살펴볼 때 느타리버섯과 유사한 생산량을 보일 것이라 추정된다(2,3).

버섯은 상업적 쓰임새와 인간에게 유익한 정도에 따라 식용버섯, 약용버섯, 독버섯으로 분류가 가능하다. 식용은 느타리, 표고, 팽이버섯처럼 재배 가능한 종과 송이, 짜리, 능이버섯 등 재배가 어

려워 자연채취로 유통되는 종으로 구분된다. 약용은 면역증진, 종양억제, 치매방지, 혈압 및 혈당 조절 등의 기능성 성분을 지닌 버섯으로 영지, 상황, 차가버섯 등이 대표적이다. 독버섯은 호흡곤란, 마비, 장기손상을 일으키는 독성성분이 있고 해독제도 없는 경우가 많아 위험하며 광대버섯류가 가장 맹독성이다(1). 또한, 버섯은 농산버섯과 임산버섯으로 구분할 수 있는데, 농산버섯은 농부산물을 배지로 이용하는 느타리, 양송이, 영지, 팽이, 새송이버섯 등이 있으며, 임산버섯은 자연산 버섯인 송이, 목이버섯 등과 원목을 배지로 이용하는 표고버섯 등이 있다. 버섯류 생산과 수출입 관리부처는 농림수산식품부이며, 생산량 통계조사에서 식용 및 약용이면서 농산버섯인 느타리, 큰느타리(새송이), 팽이, 양송이, 영지, 상황, 신령버섯 등은 농림수산식품부 식량원에 정책과 채소특작과에서, 산림청에서는 식용 및 약용이면서 임산버섯인 표고, 목이, 석이, 송이버섯 및 기타버섯(느타리, 능이, 짜리버섯)에 대한 생산량 조사를 실시하고 있다. 식품의약품안전청에서는 국내 유통 중인 식용 및 약용버섯에 대해 안전관리하고 있다.

현 식품공전에서 식약공용 한약재일 경우 생약 등의 잔류오염물질 기준 및 시험방법(식품의약품안전청 고시)에 따라 생약의 중금속 기준에 따르도록 되어 있으나 여기에 해당하는 버섯류는 없다. 다만, 버섯일지라도 한약재로써 사용될 목적이라면 생약의 중금속 기준인 납 5 mg/kg, 카드뮴 0.3 mg/kg, 수은 0.2 mg/kg, 비소 3 mg/kg을 따라야 한다. 따라서, 식품으로 사용되는 버섯류에 대한 중금속 기준은 우리나라에서 아직 설정되어 있지 않은 상황이다. 한편, 제외국 중 EU와 중국에서 버섯에 대한 납, 카드뮴 기준규격을 설정 관리하고 있다. EU에서는 느타리버섯, 양송이버섯, 표고버섯에 한해 납 기준을 0.30 mg/kg, 카드뮴 기준을 0.20 mg/kg으로 설정하였으며 그 외 기타 버섯에 대해서는 납 0.10

*Corresponding author: Meehye Kim, Food Contaminants Division, Food Safety Evaluation Department, Korea Food and Drug Administration, Cheongwon, Chungbuk 363-951, Korea
Tel: 82-43-719-4251
Fax: 82-43-719-4250
E-mail: meehkim@korea.kr
Received July 9, 2012; revised August 20, 2012;
accepted August 20, 2012

mg/kg, 카드뮴 1.0 mg/kg으로 기준을 설정 관리하고 있다. 중국에서는 edible fungi로써 카드뮴 기준 0.2 mg/kg을 설정하여 관리하고 있다(4,5). 현재 이 두 나라 이외에 Codex를 포함하여 미국, 일본, 호주 등 주요 선진국에서는 버섯류에 대한 중금속 기준을 설정하고 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 버섯류의 중금속 함량 실태조사를 통해 우리나라 국민의 버섯 섭취로 인한 중금속 노출수준에 따른 위해성을 평가하여 위해수준을 파악하고자 한다.

재료 및 방법

조사대상 선정 및 검체 수거

버섯류의 조사대상을 선정하기 위해 우리 국민이 섭취하는 대표식품을 살펴볼 수 있는 국민건강영양조사(6)와 식품공전 그리고 버섯류 생산량을 확인할 수 있는 특용작물생산실적(2), 임산물생산조사(3) 등을 참고하였으며 생산·유통량, 식품섭취량 등을 고려하여 조사대상 버섯을 선정하였다. 전국적으로 검체수거가 이루어졌으며, 서울 및 5개 광역시(인천, 부산, 광주, 대구, 대전)와 충북(청주), 전북(전주), 강원(원주, 춘천) 지역으로 구분하여 전체 10개 지역에 소재하고 있는 재래시장, 대형할인마트, 백화점, 유기농 농산물판매점 등에서 버섯 17품목 536건을 수거하였다.

시약 및 초자

본 연구에 사용한 모든 시약은 특급시약을 구입하여 사용하였고, 증류수는 Milli-Q ultrapure water purification system(Millipore Co., Billerica, MA, USA)에 의해 18.2 MO 수준으로 정제된 증류수를 사용하였다. 중금속 표준원액은 원자흡광 분석용인 Multi-Element Calibration Standard 3(PerkinElmer, CT, USA) 10 mg/kg 제품을 사용하였으며, 매 분석 시 working solution 1,000, 100 µg/kg을 만들어 사용하였다. Working solution 제조 시 0.5% 질산(v/v)과 증류수를 사용하였다. 시료의 산분해를 위해 사용한 nitric acid(70% purity, Dong Woo Fine Chem. Co. Ltd., Iksan, Korea)과 hydrogen peroxide(purity 30%, Dong Woo Fine Chem. Co. Ltd., Iksan, Korea)는 electronic grade를 구입하여 사용하였다. 회수율 등을 확인하기 위한 인증표준물질(CRM, Certified Reference Materials)로는 National Institute of Standard and Technology(NIST, Gaithersburg, MD, USA)의 시금치 분말(NIST 1570a)를 구입하여 사용하였다. 시료 전처리시 사용한 시험용기는 10% 질산에 24시간 침지한 후 3차 증류수로 씻어 건조한 다음 사용하였다.

ICP-MS를 이용한 중금속 측정

건조된 버섯류의 경우, 채취한 시료 1 kg을 분쇄기(Food processor HR7625, Philips, China)를 이용해 균질화 후 분석용 시료로 사용하였다. 생 버섯류는 표면에 묻은 흙 등 이물질을 제거하고 개체 당 부피가 작은 경우 개체 전체 1 kg을, 부피가 큰 경우 4분법을 통해 500 g 이상을 취한 후 마쇄기를 이용하여 균질화시켜 시료를 준비하였다. 균질화된 시료는 각각 PE pack에 담아 분석 시까지 냉동 보관하였다. 시료(건조 0.5 g 또는 생물 2 g)를 시험용기에 취한 후 70% 질산 7 mL를 첨가하여 1시간동안 예비분해시킨 후 30% 과산화수소 1 mL를 첨가하고 microwave 장치(ETHOS, Milestone, Italy)로 전처리하였다(Table 1). 분해를 마친 후 분해액은 Heat Block 장비(ED16, LabTech, MA, USA)를 이용하여 120°C에서 4시간 동안 휘발시켰다. 휘발시킨 후 0.5% 질산으로 건조물의 경우 20 g, 생물의 경우 40 g으로 맞추어 시험

Table 1. Operating condition of microwave instrument

Step	Time (min)	Power (W)	Temp (°C)
1	0:07:00	1000	100
2	0:07:00	1000	200
3	0:08:00	1000	200

*Ventilation 10 min

Table 2. Instrumental condition of ICP/MS

RF power	1500 W
Nebulizer	1.0 L/min
Auxillary	1.5 L/min
Plasma	19 L/min
Lens voltage	9 V
Ion monitored (m/z)	Pb 207, Cd 111, As 75

Table 3. LOD and LOQ of Pb and Cd analysis

Metal	Food	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)
Pb	Dried	0.12	0.41
	Wet	0.06	0.20
Cd	Dried	1.60	5.34
	Wet	0.80	2.67

용액으로 사용하였으며, inductively coupled plasma-mass spectrometry(ICP-MS, ELAN 6100 DRC II, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 중금속 함량을 측정하였다(Table 2).

분석법 검증

검출한계(LOD, Limit of Detection)와 정량한계(LOQ, Limit of Quantitation)는 3s과 10s 수준에서 결정하였다. 회수율 실험은 공시료에 중금속 표준용액을 첨가하는 방식과 인증표준물질을 이용한 방법으로 진행하였다. 중금속 표준용액 첨가법의 fortification level은 20 µg/kg(low level), 200 µg/kg(high level) 두 수준으로 3반복 실시하였다. CRM은 시금치 분말(NIST 1570a)을 사용하였다. 중금속별 인증값은 납 0.20 mg/kg, 카드뮴 2.89±0.07 mg/kg, 비소 0.068±0.012 mg/kg, 수은 0.030±0.003 mg/kg이었다.

버섯류 섭취로 인한 중금속 위해성 평가

본 연구에서 분석결과가 검출한계 미만(<LOD)인 경우는 모두 ≤60%이었기 때문에 불검출 결과는 middle bound(MB, LOD/2)으로 처리하였다(7). 중금속 위해성평가는 결정론적(deterministic) 방식에 따라 수행하였으며, 식품별 평균 중금속 함량만을 사용하였다. 식품 섭취량과 체중은 질병관리본부에서 발간한 ‘국민건강영양조사 4기 2차년도(2008년)’ 자료를 활용하였으며(6), 원시자료로부터 통계프로그램인 SAS(ver 9.1.3 Service pack 4, SAS Institute Inc., USA)를 사용하여 버섯별 섭취량을 산출하였다. 본 연구에서 조사한 17품목의 버섯 모두에 대한 섭취량 조사결과가 부재함으로 식품섭취량 조사에서 누락되어 있는 버섯의 경우 유사 버섯의 섭취량 만큼 섭취한다는 가정하에 노출평가를 수행하였다. 동충하초, 구름버섯, 차가버섯은 건조버섯이며 약재버섯이므로 상황버섯 섭취량으로 가정하였다. 노루궁뎅이, 만가닥, 아귀버섯은 건조버섯 뿐 아니라 생버섯으로 유통되므로 유사한 찌리버섯 섭취량으로 가정하였다. 식이를 통한 중금속 노출량으로부터 JECFA에서 제시한 provisional tolerable weekly intake(PTWI, 잠정 주간섭취허용량) 또는 provisional tolerable monthly intake

(PTMI, 잠정 월간섭취허용량) 대비 위해도(%)를 산출하여 노출수준의 위해정도를 확인하였다. 중금속 중 납과 무기비소의 PTWI는 2010년에 철회되었으나, 현재 별도의 PTWI가 정해지지 않았기 때문에 이번 위해성 평가에서는 철회되기 이전의 PTWI를 사용하여 중금속 섭취수준의 위해도를 확인하였다.

결과 및 고찰

분석법 검증

중금속별 검출한계와 정량한계는 Table 3과 같다. 납과 카드뮴은 ICP-MS를 이용하여 분석하였으며, 검량선은 0.1-25 µg/kg 사이의 농도에서 작성되었고 R²값이 0.9999 이상으로 나타나 우수한 직선성을 보여주었다. 표준용액 첨가법에 따른 회수율 결과는 납 81-93%, 카드뮴 80-90%이었으며 반복 측정에 따른 C.V. (Coefficient variation, %)는 10% 미만이었다. 인증표준물질인 시금치 분말(NIST 1570a)를 이용하여 회수율을 측정된 결과, 납 90.7±4.1%, 카드뮴 91.5±0.5%이었으며 반복 측정에 따른 C.V.(%)는 10% 미만이었다(Fig. 1).

버섯류 중 납 함량

생물상태로 유통되는 버섯류의 납 함량은 EU 기준치인 0.3 mg/kg(느타리버섯, 양송이버섯, 표고버섯에 한함)보다 매우 낮은 수준이었다. 품목별 납 평균함량은 모두 0.05 mg/kg 이하였으며, 송이버섯에서 0.026 mg/kg으로 최대값을 보였다(Table 4). 일반적으로 버섯은 타 농산물보다 중금속 함량이 높다고 알려져 있는데, 이는 중금속을 효과적으로 흡수할 수 있는 특이 메카니즘을 가지고 있음을 의미한다. 버섯 종류별로 생물특이성으로 인하여 중금속 축적율이 상이하지만 이번 조사에서 검출된 버섯의 납 함량은 품종에 구분이 없이 일정한 수준에서 검출되었다. 한편, 2004년 식약청 보고서에 따르면(8), 납 평균함량이 느타리 0.230 mg/kg, 큰 느타리 0.024 mg/kg, 양송이 0.048 mg/kg, 팽이 0.061 mg/kg, 표고 0.106 mg/kg, 송이 0.201 mg/kg이었으며, Cocci 등(9)은 양송이버섯의 납 함량이 평균 1.25 mg/kg으로 보고하였다. 따라서, 이번 조사에서 국내 유통 중인 생 버섯류의 납 함량은 타 문헌에서 보고된 수준보다 낮은 수준이었다. 건조형태로 유통되는 버섯류의 납 평균함량은 석이버섯을 제외하고는 모두 1 mg/kg 미만이었다(Table 5). 석이버섯의 평균 납 함량은 16.4 mg/kg이었으며 최소함량은 11.0 mg/kg으로 다른 건조버섯에 비해 상당히 높은 수준이었다. 한편, 석이버섯(*Manna lichen*, *Umbilicaria escu-*

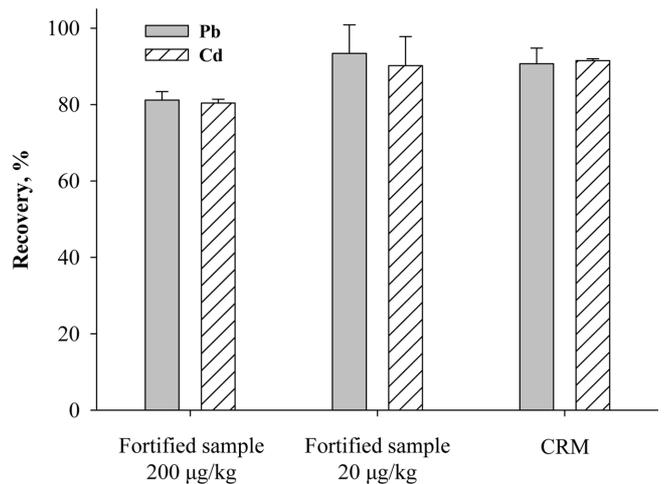


Fig 1. Recovery test for Pb and Cd analysis.

lenta)은 입산버섯 중 하나로 산림청에서 생산량 등을 관리하고 있지만 분류학상 균류(fungi)가 아닌 균류(mycobiont)와 조류(photobiont)의 공생체인 지의류(lichena)로 분류된다. 석이버섯은 오랜 기간 산의 바위에 붙어서 자라는 엽상지의(葉狀地衣)라는 특이성으로 다른 버섯에 비해 납 함량이 높은 것으로 추정된다. 건조상태로 유통되는 버섯 중 느타리, 큰 느타리, 표고, 목이, 송이, 노루궁뎅이, 만가닥 버섯은 생물형태로도 유통되고 있으며 섭취시 생물형태로 조리되므로, 납 함량을 생물기준으로 수분보정 환산할 경우 약 6-10배 가량 납 함량이 감소되었으며, 평균함량이 0.02 mg/kg미만으로 모두 0.1 mg/kg 미만이었다. 상황, 영지, 신령, 동충하초, 구름, 차가버섯의 납 평균함량은 0.052-0.100 mg/kg이었다. 이들 버섯 중 상황, 영지, 신령, 동충하초는 최근 재배기술을 발달로 인공재배로 많이 생산되고 있으며, 구름 및 차가버섯은 자연채취로 유통되고 있다. 이들 버섯은 느타리버섯 등과 다르게 연령이 높기 때문에 납 함량이 상대적으로 높은 것으로 판단되며 앞서 생물버섯처럼 버섯종류별 납 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 2004년 식약청 보고서에 따르면(8), 납 평균함량이 목이 0.452 mg/kg, 상황 0.568 mg/kg, 영지 0.166 mg/kg, 신령 0.131 mg/kg, 동충하초 0.316 mg/kg, 구름 0.376 mg/kg, 석이 9.976 mg/kg이었고, 여러 문헌에서 납 함량은 느타리 건조 0.01-27.7 mg/kg(10-19), 목이 29.5 mg/kg(15), 큰 느타리 건조 1.1-27.3 mg/kg(15,

Table 4. Pb and Cd concentration in raw mushrooms

Raw mushroom	Number of sample	Concentration (mg/kg)	
		Pb	Cd
Oyster	74	0.008 (n.d. ¹⁾ -0.048)	0.048 (0.007-0.163)
King oyster	69	0.005 (n.d.-0.062)	0.014 (0.004-0.040)
Button	54	0.020 (n.d.-0.049)	0.004 (0.001-0.013)
Enoki	71	0.014 (n.d.-0.069)	0.002 (n.d.-0.016)
Shiitake	39	0.011 (n.d.-0.031)	0.078 (0.008-0.261)
Tree ear	7	0.019 (0.004-0.044)	0.005 (0.001-0.009)
Matsutake	8	0.026 (0.001-0.109)	0.049 (0.015-0.112)
<i>Hericium erinacium</i>	4	0.015 (n.d.-0.036)	0.205 (0.046-0.373)
Beech mushroom	19	0.008 (n.d.-0.027)	0.052 (0.012-0.093)
<i>Pleurotus feulae</i>	9	0.006 (n.d.-0.020)	0.041 (0.023-0.142)

¹⁾n.d., not detected

Table 5. Pb and Cd concentration in dried mushrooms

Dried mushroom	N		Concentration (mg/kg)	
			Pb	Cd
Oyster	2	Convert ¹⁾	0.014 (n.d. ²⁾ -0.027)	0.123 (0.024-0.223)
King oyster	3	Convert	0.001 (n.d.-0.003)	0.013 (0.003-0.023)
Shiitake	52	Convert	0.019 (0.009-0.033)	0.136 (0.049-0.235)
Tree ear	29	Convert	0.003 (0.001-0.004)	0.019 (0.007-0.033)
Matsutake	4	Convert	0.070 (0.001-0.635)	0.411 (0.093-1.277)
Sanghwang	18	Convert	0.007 (0.0001-0.062)	0.042 (0.009-0.134)
Lingshi	19	Convert	0.251 (0.027-1.308)	0.069 (0.038-0.126)
<i>Agaricus blazei</i> Muill	5	Convert	0.019 (0.002-0.096)	0.005 (0.003-0.009)
Vegetable worms	10	Convert	0.124 (0.096-0.150)	0.419 (0.268-0.734)
Turkey tail	10	Convert	0.018 (0.016-0.021)	0.062 (0.039-0.104)
<i>Hericium erinacium</i>	6	Convert	0.057 (0.004-0.313)	0.146 (0.076-0.360)
Beech mushroom	3	Convert	0.052 (n.d.-0.271)	0.109 (0.012-0.278)
<i>Fuscoporia obliqua</i>	10	Convert	0.066 (0.021-0.088)	2.650 (0.795-4.179)
Manna lichen	11	Convert	0.100 (n.d.-0.220)	0.021 (0.010-0.041)
			0.716 (0.210-1.191)	0.357 (0.188-0.662)
			0.031 (n.d.-0.079)	0.095 (0.017-0.195)
			0.004 (n.d.-0.011)	0.012 (0.002-0.025)
			0.081 (0.016-0.192)	0.383 (0.356-0.415)
			0.011 (0.002-0.027)	0.053 (0.050-0.059)
			0.061 (0.005-0.293)	0.052 (0.008-0.124)
			16.411 (11.023-19.164)	0.253 (0.123-0.318)

¹⁾Conversion of Pb and Cd content of mushroom, dried into that of raw mushroom.

²⁾n.d., not detected

18), 양송이 건조 0.28-6.90 mg/kg(10-13,16,18,20,21), 표고버섯 0.92-1.12 mg/kg(10,19), 송이 건조 5.29 mg/kg(10), 영지버섯 0.17-3.90 mg/kg(14,22), 구름버섯 0.90 mg/kg(23), 노루궁뎅이 24.0 mg/kg(15) 이었다. 따라서, 이번 조사에서 건조 버섯류의 납 함량은 타 문헌과 유사한 수준이었다.

버섯류 중 카드뮴 함량

생물상태로 유통되는 버섯류의 카드뮴 평균함량은 EU 기준치인 0.2 mg/kg(느타리버섯, 양송이버섯, 표고버섯에 한함)보다 낮은 수준이었다. 품목별로 살펴보면 큰 느타리, 양송이, 팽이, 목이버섯은 카드뮴 평균함량이 0.002-0.014 mg/kg으로 함량이 가장 낮은 그룹이었고, 느타리, 표고, 송이, 만가닥, 아귀버섯은 평균함량이 0.041-0.078 mg/kg으로 함량이 중간수준이었다. 노루궁뎅이 버섯의 경우 카드뮴 함량은 평균 0.205 mg/kg으로 최대함량은 0.373 mg/kg으로 다른 버섯에 비해 함량이 높았다(Table 4). 노루궁뎅이 버섯은 그 동안 약용버섯으로 자연채취하여 유통되어 왔으나, 최근 재배기술 발달로 인공재배가 가능하며 식용으로도 유통되고 있다. 노루궁뎅이 버섯은 배지로 참나무톱밥과 포플러 톱밥을 혼합한 것을 사용하며 병재배 또는 봉지재배를 통해 재배된다(1). 따라서, 노루궁뎅이 버섯의 카드뮴 함량은 배지에 의한 차이보다는 종 특이성에 의한 것으로 판단된다. 한편, EU 기준치를 초과한 경우는 표고 39건 중 1건(전체건수 대비 3%)으로 수입산이었으며, 표고버섯 평균 카드뮴 함량은 0.078 mg/kg이었다. 2004년 식약청 보고서에 따르면(8), 카드뮴 평균 함량이 느타리 0.010 mg/kg, 큰 느타리 0.009 mg/kg, 양송이 0.001 mg/kg, 팽이 0.001 mg/kg, 표고 0.065 mg/kg, 송이 0.031 mg/kg이었으며, Cocci 등(9)은, 양송이버섯의 카드뮴 함량을 평균 1.00 mg/kg으로 보고하였다. 따라서, 국내 유통 중인 생 버섯류의 카드뮴 함량은 타 문헌보다

유사하거나 낮은 수준이었다. 건조형태로 유통되는 버섯류의 카드뮴 평균함량은 신령버섯을 제외하고는 모두 0.5 mg/kg미만이었다. 신령버섯의 평균 카드뮴 함량은 2.650 mg/kg이었으며 최소함량은 0.795 mg/kg으로 다른 버섯에 비해 상당히 높은 수준이었다. 버섯 종류별로 중금속 축적율이 상이하며, 특히 카드뮴의 경우 *Agaricus*과 *Russula* 계통의 버섯에서 함량이 높다고 알려져 있다(24). *Agaricus* 계통인 신령버섯(*Agaricus blazei* Muill)은 벚짚, 밀짚 그리고 사탕수수박 등 화분과 재료를 이용한 배지에서 인공 재배되며 우리나라에서는 벚짚을 주로 이용하고 있다. 양송이 버섯 등도 이처럼 벚짚 등을 이용한 배지에서 재배되기 때문에 신령버섯의 카드뮴 함량이 높은 것은 종 특이성에 의한 것으로 판단된다(1). 건조상태로 유통되는 버섯 중 느타리, 큰 느타리, 표고, 목이, 송이, 노루궁뎅이, 만가닥 버섯은 생물형태로도 유통되고 섭취 시 생물형태로 조리되므로, 카드뮴 함량을 생물기준으로 수분보정 환산할 경우 약 7-14배 가량 카드뮴 함량이 감소되었으며, 생물기준으로 카드뮴 평균함량이 0.1 mg/kg 미만, 최대함량은 표고버섯의 0.134 mg/kg이었다(Table 5). 따라서, 이들 건조버섯의 카드뮴 함량을 생물기준으로 수분함량 보정할 경우 모두 EU 기준치인 0.2 mg/kg 미만이었다. 주로 약용버섯으로 섭취되어 온 상황, 영지, 동충하초, 구름, 차가, 석이버섯의 카드뮴 평균함량은 0.021-0.357 mg/kg이었으며, 구름버섯 1건을 제외하고 모두 0.5 mg/kg 미만이었다. 이는 건조형태인 표고버섯, 송이버섯의 카드뮴 함량과 유사하거나 낮은 수준이었다. 2004년 식약청 보고서에 따르면(8), 카드뮴 평균 함량이 목이 0.031 mg/kg, 상황 0.558 mg/kg, 영지 0.047 mg/kg, 신령 4.279 mg/kg, 동충하초 0.020 mg/kg, 구름 0.254 mg/kg, 석이 0.169 mg/kg이었고, 여러 문헌에서 카드뮴 함량은 느타리 건조에서 불검출-11.20 mg/kg(10-19,25), 목이 건조는 2.10 mg/kg(15), 큰 느타리 건조에서 0.21-1.90 mg/kg(15,

Table 6. Daily dietary exposure and risk of Pb and Cd by mushroom intake

Mushrooms	Food intake (g/day)		Daily intake (µg/day)				% PTWI of Pb		% PTMI of Cd	
			Pb		Cd		Mean	P95	Mean	P95
	Mean	P95	Mean	P95	Mean	P95				
Oyster	1.5	4.2	0.012	0.032	0.072	0.02	0.01	0.200	0.16	0.44
King oyster	0.5	0	0.002	0	0.006	0	0.001	0	0.01	0
Button	0.4	0	0.007	0	0.001	0	0.004	0	0.003	0
Enoki	0.4	0	0.006	0	0.001	0	0.003	0	0.002	0
Shiitake	0.7	3.8	0.008	0.042	0.054	0.02	0.004	0.295	0.12	0.64
Shiitake, dried	0.05	0	0.003	0	0.019	0	0.002	0	0.04	0
Tree ear	0.01	0	1.0×10 ⁻⁴	0	2.8×10 ⁻⁵	0	5.2×10 ⁻⁵	0	6.2×10 ⁻⁵	0
Tree ear, dried	0.02	0	0.004	0	0.001	0	0.002	0	0.002	0
Matsutake	0.02	0	0.001	0	0.001	0	2.6×10 ⁻⁴	0	0.002	0
Sanghwang	0.004	0	2.0×10 ⁻⁴	0	0.001	0	1.0×10 ⁻⁴	0	0.001	0
Lingshi	0.004	0	1.8×10 ⁻⁴	0	3.8×10 ⁻⁴	0	9.2×10 ⁻⁵	0	0.001	0
<i>Agaricus blazei Muill</i>	0.004	0	2.3×10 ⁻⁴	0	0.009	0	1.2×10 ⁻⁴	0	0.02	0
Vegetable worms	0.004	0	3.5×10 ⁻⁴	0	7.4×10 ⁻⁵	0	1.8×10 ⁻⁴	0	1.6×10 ⁻⁴	0
Turkey tail	0.004	0	0.003	0	0.001	0	0.001	0	0.003	0
<i>Hericium erinacium</i>	0.002	0	2.3×10 ⁻⁵	0	3.1×10 ⁻⁴	0	1.2×10 ⁻⁵	0	0.001	0
Beech mushroom	0.002	0	1.1×10 ⁻⁵	0	7.9×10 ⁻⁵	0	5.8×10 ⁻⁶	0	1.7×10 ⁻⁴	0
<i>Pleurotus ferulae</i>	0.002	0	8.8×10 ⁻⁶	0	6.2×10 ⁻⁵	0	4.5×10 ⁻⁶	0	1.3×10 ⁻⁴	0
<i>Fuscoporia obliqua</i>	0.004	0	2.1×10 ⁻⁴	0	1.8×10 ⁻⁴	0	1.1×10 ⁻⁴	0	4.0×10 ⁻⁴	0
Manna lichen	0.0004	0	0.007	0	1.0×10 ⁻⁴	0	0.003	0	2.2×10 ⁻⁴	0
Sum	-	-	0.053	-	0.168	-	0.03	-	0.37	-

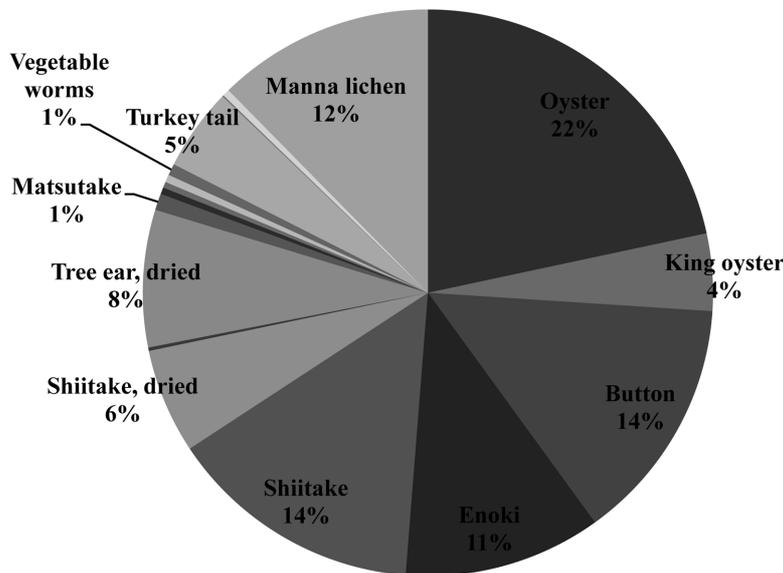


Fig 2. Contribution ratio of dietary exposure to Pb by mushroom intake.

18), 양송이 건조는 불검출-3.50 mg/kg(10-13,16,18,20,21,25,26), 표고버섯 건조는 불검출-0.21 mg/kg(10,19), 송이 건조는 불검출(19), 영지버섯은 0.08-0.30 mg/kg(14,22), 구름버섯은 0.50 mg/kg(23), 노루궁뎅이버섯은 1.52 mg/kg(15)으로 보고되었다. 따라서, 이번 조사된 국내 유통 건조 버섯류의 카드뮴 함량은 타 문헌과 유사하거나 낮은 수준이었다.

**버섯류 섭취에 따른 중금속 위해성 평가
납 노출량 및 위해도**

본 연구에서 조사된 17개 품목 버섯류를 건조 또는 생물로 구

분하여 최종 19개 품목에 대한 버섯류 섭취로 인한 납 노출평가를 수행하였다. 노출평가 결과, 느타리버섯의 경우 0.012 µg Pb/day로 가장 높았고 그 다음으로 표고버섯 0.008 µg Pb/day이었으며 나머지는 모두 0.01 µg Pb/day 미만이었다. 납 평균 함량이 가장 높았던 석이버섯의 경우 전체 인구집단의 평균 일일섭취량이 0.0004 g/day로 섭취로 인한 납 노출량은 낮은 수준이었다. 요컨대, 전체 버섯류의 섭취로 인한 우리나라 일반국민의 납 노출량은 0.053 µg Pb/day이었다(Table 6). 한편, 전체 인구집단의 극단(P95)섭취자의 경우(6), 느타리버섯과 표고버섯 섭취로 인한 노출량은 각각 0.032, 0.042 µg Pb/day으로 PTWI 대비 0.02% 수준은

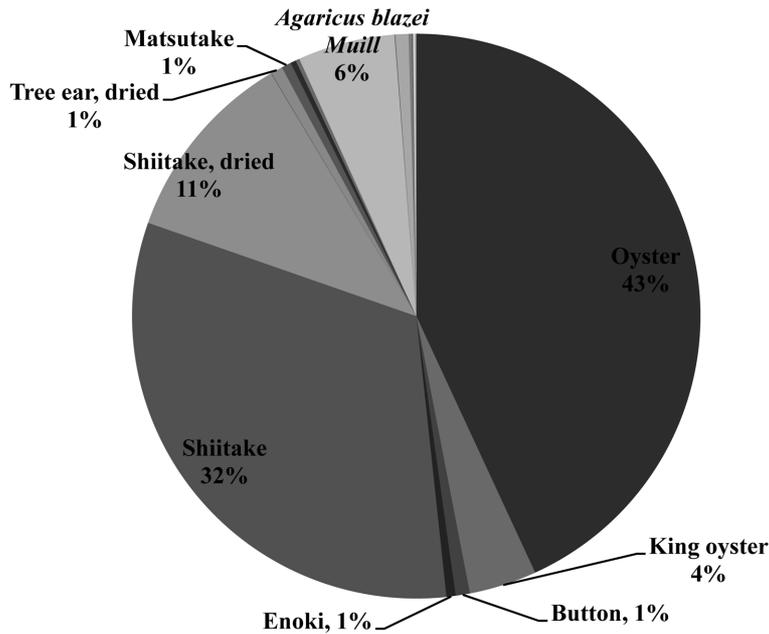


Fig 3. Contribution ratio of dietary exposure to Cd by mushroom intake.

로 낮았다. 나머지 버섯의 경우 극단(P95)섭취량이 0이었기에 노출량을 산출할 수 없었다(6). 버섯 품목별 납 노출기여율을 살펴보면, 느타리버섯이 22%, 양송이 및 표고버섯이 각각 14%이었으며 팽이, 석이버섯 각각 11%, 12%이었다. 주요버섯인 느타리, 큰느타리, 양송이, 팽이, 표고버섯이 전체의 약 65%를 차지하였다(Fig. 2). 노출량에 따른 위해도는 노출기여율이 높은 느타리, 표고버섯이 각각 PTWI 대비 0.01, 0.004%이었으며 나머지는 모두 PTWI 대비 0.005% 미만이었다. 요컨대, 전체 버섯류의 섭취로 인한 납 위해도는 PTWI 대비 0.03%로 매우 낮은 수준이었으며, 우리나라 일반 국민이 버섯섭취로 인한 납 위해가능성은 매우 낮았다(Table 6).

카드뮴 노출량 및 위해도

버섯 섭취로 인한 카드뮴 노출량은 느타리버섯의 경우 0.072 $\mu\text{g Cd/day}$ 로 가장 높았고 그 다음으로 표고버섯 0.054 $\mu\text{g Cd/day}$ 이었으며 나머지는 모두 0.02 $\mu\text{g Pb/day}$ 미만이었다. 카드뮴 평균 함량이 가장 높았던 신령버섯의 경우 상항버섯의 섭취량으로 가정하여 노출평가를 진행하였으며 전체 인구집단의 평균 일일섭취량이 0.004 g/day로 섭취로 인한 카드뮴 노출량이 낮은 수준이었다. 요컨대, 전체 버섯류의 섭취로 인한 우리나라 국민의 카드뮴 노출량은 0.168 $\mu\text{g Cd/day}$ 이었다(Table 6). 한편, 전체 인구집단의 극단(P95)섭취자의 경우(6), 느타리버섯과 표고버섯 섭취로 인한 노출량은 각각 0.200, 0.295 $\mu\text{g Cd/day}$ 로 PTMI 대비 0.44, 0.64%로 낮았다. 버섯 품목별 카드뮴 노출기여율을 살펴보면, 느타리버섯이 43%, 표고버섯이 32%이었으며 큰느타리, 표고 건조, 신령버섯 각각 4, 11, 6%이었다. 주요버섯인 느타리, 큰느타리, 양송이, 팽이, 표고버섯이 전체의 약 80%를 차지하였다(Fig. 3). 노출량에 따른 위해도는 노출기여율이 높은 느타리, 표고버섯이 각각 PTMI 대비 0.16, 0.12%이었으며 나머지는 모두 PTWI 대비 0.05% 미만으로, 전체 버섯류의 섭취로 인한 카드뮴 위해도는 PTMI 대비 0.37%로 매우 낮은 수준이었기에 우리나라 일반 국민이 버섯섭취로 인한 카드뮴 위해가능성은 낮았다(Table 6).

요 약

본 연구에서는 버섯류의 중금속 함량 실태조사를 통해 우리나라 국민이 식품으로써 버섯을 섭취할 경우 중금속 노출수준에 따른 위해성을 평가하였다. 버섯류의 중금속 함량 실태조사를 위해 국내 유통 중인 버섯류 17개 품목, 536건을 수거하였으며 버섯류 중 납 함량을 조사한 결과, 생물버섯은 평균 0.005(큰느타리)-0.026(송이) mg/kg이었고 건조버섯은 평균 0.014(느타리)-16.411(석이버섯) mg/kg이었다. 카드뮴 함량은 생물버섯의 경우 평균 0.002(팽이)-0.205(노루궁뎅이) mg/kg이었고 건조버섯은 평균 0.021(동충하초)-2.650(신령) mg/kg이었다. 따라서, 국내 유통 중인 버섯류의 중금속 함량은 타 문헌과 유사하거나 낮은 수준이었다. 노출 및 위해성 평가를 위해 버섯별 섭취를 통한 중금속 노출량을 산출한 후, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)에서 설정한 PTWI 또는 PTMI값 대비 위해도를 평가하였다. 버섯 섭취로 인한 전체국민의 평균 납 노출량은 0.053 $\mu\text{g/day}$ 으로 PTWI 대비 0.03% 수준이었으며, 카드뮴 평균 노출량은 0.168 $\mu\text{g/day}$ 으로 PTMI 대비 0.37% 수준이었다. 따라서, 국내 유통되는 버섯을 식품으로써 섭취할 경우 전체국민의 중금속 평균 노출수준은 JECFA의 인체노출안전기준보다 낮은 위해도를 보임으로써, 우리나라 국민은 버섯에 존재하는 중금속의 위해성으로부터 안전한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 식품의약품안전청의 연구개발비(11161KFDA037)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Ryu YB, Jang GY, Lee CJ, Shin PG, Sung GH, Noh HJ. Chronology of mushrooms. RDA Interobang. No 19. Rural Develop-

- ment Administration, Suwon, Korea (2011)
2. MIFAFF. 2009 Production yield of special crop. Vegetable and Sepecial Crops Division, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea (2010)
 3. KFS. 2009 Production of forest products. Korea Forest Service, Daejeon, Korea (2010)
 4. KFDA. Maximum levels of contaminants in foods (GB2762-2005, revision 25, Jan, 2005). p. 163. In: China Food Standard III - Nutritional Food & Maximum limits for pesticides and so on. Risk Information Team, Korea Food & Drug Administration, Cheongwon, Korea (2007)
 5. The Commission of the European Communities. Commission Regulation(EC) No 629/2008 of 2 July 2008, amending Regulation(EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, Official Journal of the European Union (2008)
 6. Korea Centers for Disease Control & Prevention. Korea Health Statistics 2008 : Korea National Health and Nutrition Examination Survey. Ministry of Health and Welfare, Seoul, Korea (2008)
 7. GEMS/Food-Euro. Report on a Workshop in the Frame of GEMS/Food-EURO. In: Second Workshop on Reliable Evaluation of Low-level Contamination of Food. March 26-27, Kulmbach. Federal Republic of Germany (1995)
 8. Kim HY, Sho YS, Chung SY, Lee EJ, Suh JH, Lee YD, Park SS, Choi WJ, You YS, Chang HY, Lee CW. The study on the concentration of heavy metals in mushrooms. The Annual Report of KFDA, Cheongwon, Korea (2004)
 9. Cocchi L, Vescovi L, Petrini LE, Petrini O. Heavy metals in edible mushrooms in Italy. Food Chem. 98: 277-284 (2006)
 10. Ahn JS, Lee KH. A study on the mineral contents in edible mushrooms produced in Korea. Korean J. Food Hygiene. 1: 177-179 (1986)
 11. Das N. Heavy metals biosorption by mushrooms. Nat. Prod. Radiance 4: 454-459 (2005)
 12. Demirbas A. Accumulation of heavy metals in some edible mushrooms from Turkey. Food Chem. 68: 415-419 (2000)
 13. Isildak O, Turkecul I, Elmastas M, Tuzen M. Analysis of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms from the middle black sea region, Turkey. Food Chem. 86: 547-552 (2003)
 14. Ita BN, Essien JP, Ebong GA. Heavy metal levels in fruiting bodies of edible and non-edible mushrooms from the nigerdelta region of Nigeria. J. Agr. Soc. Sci. 2: 84-87 (2006)
 15. Michelot D, Siobud E, Dore JC, Viel C, Poirier F. Update on metal content profiles in mushrooms-Toxicological implications and tentative approach to the mechanisms of bioaccumulation. Toxicon 36: 1997-2012 (1998)
 16. Sesli E, Tuzen M. Levels of trace elements in the fruiting bodies of macro fungi growing in the East Black Sea region of Turkey. Food Chem. 65: 453-460 (1999)
 17. Tuzen M, Ozdemir M, Demirbas A. Study of heavy metals in some cultivated and uncultivated mushrooms of turkish origin. Food Chem. 63: 247-251 (1998)
 18. Uzun Y, Genccelep H, Kaya A, Akcay ME. The mineral contents of some wild edible mushrooms collected from Yunnan Province, China. Environ. Monit. Assess. 197: 191-199 (2010)
 19. Zhu F, Qu L, Fan W, Qiao M, Hao H, Wang X. Assessment of heavy metals in some wild edible mushrooms collected from Yunnan Province, China. Environ. Monit. Assess. 197: 191-199 (2010)
 20. Isiloglu M, Yilmaz F, Merdivan M. Concentrations of trace elements in wild edible mushrooms. Food Chem. 73: 169-175 (2001)
 21. Mendil D, Uluozlu OD, Hasdemir E, Caglar A. Determination of trace elements on some wild edible mushroom samples from Kastamonu, Turkey. Food Chem. 88: 281-285 (2004)
 22. Ha YD, Lee IS. Investigation of heavy metal contents in *Ganoderma lucidum* (Fr.) Karst. J. Korean Soc. Food Nutr. 19: 187-193 (1990)
 23. Turkecul I, Elmastas M, Tuzen M. Determination of iron, copper, manganaese, zinc, lead, and cadmium in mushroom samples from Tokat, Turkey. Food Chem. 84: 389-392 (2004)
 24. Blanus M, Kucak A, Varnai VM, Saric MM. Uptake of cadmium, copper, iron, manganese, and zinc in mushrooms (*Boletaceae*) from Croatian forest soil. J. AOAC Int. 84: 1964-1971 (2001)
 25. Vetter J. Mineral elements in the important cultivated mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*. Food Chem. 50: 277-279 (1994)
 26. Kalac P, Svoboda L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. Food Chem. 69: 273-281 (2000)