Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric (2012)
Vol. 31, No. 1, pp. 37-44 http://dx.doi.org/10.5338/KJEA.2012.31.1.37

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

국내 유통 버섯 중 중금속 함량 조사 및 위해성 평가

김지영,[1] 류지혁,[1] 이지호,[1] 김민지,[1] 강대원,[1] 고현석,[2] 홍수명,[1] 임건재,[1] 김두호,[1] 정구복,[3] 김원일[1*]

[1]국립농업과학원 농산물안전성부, [2]농촌진흥청 지식정보화담당관실, [3]국립농업과학원 농업환경부

Monitoring and Risk Assessment of Heavy Metals in Edible Mushrooms

Ji-Young Kim,[1] Ji-Hyock Yoo,[1] Ji-Ho Lee,[1] Min-Ji Kim,[1] Dae-Won Kang,[1] Hyeon-Seok Ko,[2] Su-Myeong Hong,[1] Geon-Jae Im,[1] Doo-Ho Kim,[1] Goo-Bok Jung[3] and Won-Il Kim[1*]([1]Department of Agro-Food Safety, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea, [2]Knowledge & Information Officer Division, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea, [3]Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea)

Received: 20 February 2012 / Accepted: 23 March 2012
ⓒ 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: Many edible mushrooms are known to accumulate high levels of heavy metals. This research was focused on health risk assessment to investigate the mushrooms in Korea, arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb) and mercury (Hg) contaminations in edible mushrooms in cultivated areas were investigated, and health risk was assessed through dietary intake of mushrooms.
METHODS AND RESULTS: The heavy metals in mushrooms were analyzed by ICP/MS after acid digestion. Probabilistic health risk were estimated by Monte-Carlo simulation techniques. The average contents of As, Cd, Pb, and Hg were 0.035±0.042 mg/kg, 0.017±0.020 mg/kg, 0.043±0.013 mg/kg, and 0.004±0.004 mg/kg, respectively. The results showed that contents of Cd and Pb did not exceed maximum residual levels established by European Uion regulation (Cd 0.20 mg/kg and Pb 0.30 mg/kg). For health risk assessment, estimated intakes in all age populations did not exceed the provisional tolerable daily intake of As and Hg, provisional tolerable monthly intake of Cd, provisional tolerable weekly intake of Pb. The Hazard Index (HI) were ranged from 0.03×10^{-4}~0.01×10^{-3} for As, 0.02×10^{-3}~0.81×10^{-3} for Cd, 0.06×10^{-3}~0.38×10^{-3} for Pb, and 0.08×10^{-4}~0.14×10^{-3} for Hg at general population.
CONCLUSION: The HI from the ratio analysis between daily exposure and safety level values was less than 1.0. This results demonstrated that human exposure to heavy metals through dietary intake of mushrooms might not cause adverse effect.

Key Words: Edible mushrooms, Heavy metals, Hazard index, Monitoring

*교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-31-290-0527; Fax: +82-31-290-0506;
E-mail: wikim721@korea.kr

서 론

버섯은 다양한 요소들로 인하여 마그네슘, 셀레늄 등의 축적성이 높은 식품으로 알려져 있으며, 환경 오염지 등에서 생물지표로 사용되고 있어 토양 오염 및 기타 오염지역에 대한 기준 식물로 이용되고 있다 (Ikebe *et al.*, 1990; Kalac *et al.*, 1991; Alonso *et al.*, 2000; Cocchi *et al.*, 2006; Yamac *et al.*, 2007). 특히, 버섯은 생물농축계수 (Bioconcentratin factors)가 카드뮴 50-300, 납 30-500으로 설정되어있으며 (Kalac and Svoboda, 2000; Demirbas, 2002; Svoboda *et al.*, 2006), 생물 농축이 높은 식물이므로 인체에 위해도가 있을 수 있다고 알려져 있다 (Gast et al., 1988; Falandyzs *et al.*, 1994; Lepsova *et al.*, 1988). 그러나 버섯 중 미량 원소는 건조, 동결, 살균 과정과 같은 가공과정에서 함량이 감소된다. 아가리쿠스 버섯의 경우 세척과정에서 카드뮴이 30-40% 감소되었고 (Zrodlowski, 1995), 가열과정에서 수은은 1/3 정도 함량이 감소되었다 (Kalac and Svoboda, 2000).

최근 버섯의 과실체 중 중금속의 생물축적 연구가 지속적

으로 논의되고 있어 버섯 중 중금속 축적에 관련되어 관리 기준과 관련된 연구가 이루어지고 있다. 버섯은 유기물, pH, 생물화학적 조성 등과 같은 복합적 요인들로 인하여 중금속 축적율이 높으며 (Garcia *et al.*, 1998) 이들은 중금속 함량 축적에 주요한 요인으로 작용된다. 느타리 및 양송이버섯 등과 같이 배지에서 자라는 버섯은 성장단계에서 자실체 및 균사체 성장과 더불어 배지의 중금속을 버섯이 해독시켜준다는 연구결과도 있으며, 원소의 함량은 버섯 종과 관련이 있으며 과실체 및 균사체의 생장년도와 관련이 있다고 알려져 있다 (Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008).

일반적으로 중금속은 자연적 또는 인위적인 방법으로 쉽게 분해되거나 제거되지 않으며 (Lee *et al.*, 1996; Park and Lee, 2002; Kim *et al.*, 2005), 비소, 카드뮴, 납, 수은 등은 생체 성분과의 친화성이 높아 식품 등에 축적되기 쉽기 때문에 국내・외에서 매우 엄격히 관리되고 있다 (Lee *et al.*, 2011). 버섯 중 중금속 기준은 EU에서 Cultivated fungi로 카드뮴은 0.2 mg/kg, 납은 0.3 mg/kg으로 관리하고 있으며, CODEX 및 국내에도 버섯 중 중금속 기준을 설정하는 연구가 지속적으로 논의되고 있다 (Radulescu *et al.*, 2010). 중금속의 경우, 인체 중금속 노출을 판단하기 위한 가장 중요한 부분인 식이섭취량을 바탕으로 인체 위해도를 판정하는 연구가 진행되고 있으며, 이들은 실제 위해도 계산에 필요한 각 요소들의 분포에 기반한 확률론적 값으로 제시하여 식품 정책 수립 및 관리 방안 마련에 기반이 되고 있다 (Triphathi *et al.*, 1997). 특히, 영유아에서는 농도에 따라 행동 발달 장애 등이 관찰되며, 노출량에 대한 소화, 흡수, 대사과정에서 약물동력학적 현상이 상이하므로 연령에 따른 관리도 중요하므로 위해성 평가 시 연령별 위해도를 고려하여 평가하여야 한다 (Ginsberg, 2003; Jarup, 2003; Lee *et al.*, 2011).

국내에서는 유통 농산물에 대해서 중금속 함량 및 위해성 평가와 관련된 연구가 이루어지고 있으며 (Shim *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2011), 2000년 쌀의 중금속 허용 기준 설정을 시작으로 2011년 버섯류를 제외한 농산물에 대해 그룹별로 중금속의 기준을 설정 관리하고 있다 (식약청 고시 제 2011-76호). 따라서 본 연구에서는 국내 기준이 설정되어있지 않은 버섯류 5품목에 대한 중금속 함량을 조사하고 연령별 일일 노출량을 산정하여 비소, 납, 카드뮴, 수은의 인체 위해성을 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

조사 대상 버섯류는 국민건강영양조사 (KNHANES, 2008)자료 중 섭취량이 높은 버섯 5종을 선정하여 분석 대상으로 하였으며, 2011년 3월부터 10월까지 주산단지를 중심으로 전국에서 생산하는 버섯을 주재료로 하였다 (Table 1).

수집한 샘플은 일정량을 취해 균질화한 후 냉동 보관하여 실험재료로 사용하고, 조사 항목은 기준 설정 예정 항목인 카드뮴 및 납 이외에 비소 및 수은을 선정하였다. 채취된 농산물은 식품공전 중금속 시험법에 따라 가식부를 균질화하고 폴리에틸렌 용기에 담아 냉동 (-20℃ 이하) 보관하여 분석하였다.

시약 및 초자

본 연구에서 사용한 시약은 모두 특급시약을 구입하여 사용하였고, 증류수는 18.2 ㏁ 수준으로 정제된 물을 사용하였다. 전처리에 사용한 62% Nitric acid (Dong Woo Fine Chem. Co. Ltd., Iksan, Korea)와 30% Hydrogen Peroxide (Dong Woo Fine Chem. Co. Ltd., Iksan, Korea)는 Electronic grade를 사용하였고, ICP/MS 분석을 위한 표준용액은 10 mg/L (Multi-element solution, Merck)를 2~5% 질산에 희석하여 사용하였다. 비소, 납, 카드뮴의 유효성 검증을 위한 표준인증물질은 Rice Fluor IRMM-804 (European Commission)를 사용하였으며, 수은 분석을 위한 표준인증물질은 MESS-3 (National Research Council Canada)를 사용하였다. 모든 초자는 10% 질산에 12시간 이상 침지 후, 증류수로 세척하여 사용하였다.

버섯 중 비소, 카드뮴, 납, 수은 분석

균질화한 시료는 약 2~3 g을 고압 폴레테트라플로로에틸렌 용기에 옮긴 후, 62% 질산 7~8 mL, 과산화수소 2~3방울을 가하고 예비분해를 한 후, Mirowave digestion system (ETHOS, Milestone, Italy)을 이용하여 분해하였다. 증류수를 사용하여 25 mL로 정용하고 여과하여 시험 용액으로 하였으며, 비소, 카드뮴, 납은 ICP/MS (Agilent Technologies, 7500a)로 분석하였다. 수은 분석은 균질화한 버섯 시료 약 0.1 g을 수은분석기 (Mercury analyzer, DMA 80, Milestone)에 주입하여 가열기화금아말감법으로 측정하였으며, 기기조건은 Table 2와 같다.

Table 1. The number of mushroom samples collected from nine provinces of Korea

Sort of mushroom	Sample number	Gyeonggi	Gangwon	Chungnam	Chungbuk	Gyeongnam	Gyeongbuk	Jeunnam	Jeunbuk
Agaricus bisporus	31		1	23			7		
Pleurotus ostreatus	30	17	4	4			4	1	
Flammulina velutipes	30	4		1	3	1	12	6	3
Lentinus edodes	30	11	1	9	4			5	
Pleurotus eryngii	30	2		3		3	9	13	

Table 2. The condition of ICP/MS and mercury analyzer

Instrument	Parameter	Value
ICP/MS	RF power	1200W
	Lens voltage	9.6V
	Neblizer gas flow(Ar)	0.85L/min
	Auxiliary gas flow(Ar)	1.5L/min
	Dwelling time	100ms
	Analytical elements	^{75}As, ^{111}Cd, ^{208}Pb
Mercury analyzer	Drying temp.	200℃
	Drying time	150s
	Decomp. temp.	650℃
	Decomp. time.	180s
	Purse time	60s
	Amalgam. time	12sec
	Record time	30s

위해성 평가

위해성 평가는 식품위생법 시행령 제4조 3항(2009) 및 Codex의 "식품안전성 위해평가역할에 관한 원칙"에 따라 수행하였으며 (CODEX 국제 식품규격위원회 규정집, 2008), 본 연구에서는 중금속의 노출분포를 추정하기 위하여 통계적 기법 Crystall ball program ver. 11.1.1 (Colorado, Denver, USA)을 이용하여 확률분포를 고려하는 Monte-Carlo 방법을 적용하였다. 중금속과 같은 오염물질의 노출평가는 일반 인구집단, 민감집단, 고섭취 집단에 대해 함께 검토 되어야 하므로 (Lee *et al.*, 2008) 본 연구에서는 평균, 연령별, 고섭취 인구집단에 따른 위해성 평가를 수행하였다. 버섯 중 비소, 납, 카드뮴, 수은 함량은 본 연구의 모니터링 자료를 이용하였고, 성별 및 연령별 버섯 섭취율은 "제4기 국민건강영양조사(2008)" 보고서를 활용하였으며, 체중 자료는 "제3기 국민건강영양조사(2007)" 및 "제4기 국민건강영양조사(2008)"의 자료를 근거로 하여 적용하였다. 대상 농산물의 평균일일노출량은 다음과 같은 식에 의하여 산출하였다. 버섯 섭취에 의한 인체위해확률분포의 평균값, 5th percentile, 95th percentile 값을 나타내었고, 인체위해성 평가는 JECFA에서 제시한 PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake, 잠정 주간섭취허용량)의 1일 인체노출허용지수를 사용하여 노출수준의 위해정도를 확인하였다.

$$1\text{일 인체노출량}(\mu g/\text{kg } b.w./day) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\text{버섯류 } i\text{의 중금속 오염도}(\text{mg/kg}) \times \text{인구집단의 버섯류 } i \text{ 섭취량}(g/day)}{\text{인구집단의 평균 체중}(\text{kg } b.w.)}$$

비소 및 납의 PTWI는 2010년 철회되었으나 현재 별도의 PTWI가 없으므로 이전의 값 (As-350, Pb-25 μg/kg b.w./week)으로 사용하였고, 카드뮴은 축적성이 높아 JECFA에서 2010년 PTMI (Provisional Tolerable Monthly Intake, 잠정월간섭취허용량)으로 설정하였으므로 25 μg/kg b.w./monthly로 사용하였다. 위해도를 결정하기 위하여 위험지수 (Hazard Index) 방법을 사용하였고, 위해지수가 1.0이 넘으면 유해영향발생이 우려되며, 1.0 이하이면 유해영향 발생이 우려되지 않는다고 판단하였다.

$$\text{위해지수}(HI) = \frac{\text{버섯류 섭취에 의한 중금속의 1일 인체 노출량}(\mu g/\text{kg } b.w./day)}{JECFA\text{의 중금속 인체 노출 허용량}(\mu g/\text{kg } b.w./day)}$$

결과 및 고찰

카드뮴 및 납의 분석 유효성

버섯의 분석결과에 대한 유효성 검증을 위하여 한국표준과학원에서 구입한 원소분석용 인증표준물질의 회수율은 비소, 100.10%, 카드뮴 98.03%, 납 104.06%를 얻었고, 매 분석시마다 시료에 10, 50 μg/kg을 첨가하여 회수율을 확인한 결과 86~118%의 회수율을 얻었다 (Table 3).

Table 3. Recovery test using certified reference materials.

Reference materials	Analyte	Certified value (mg/kg)	Measured value (mg/kg)	Recovery (%)
Rice flour (IRMM-804)	As	0.049	0.049 ± 0.002	100.10
	Cd	1.61	1.58 ± 0.13	98.03
	Pb	0.42	0.44 ± 0.09	104.06
Mess-3	Hg	0.091	0.093 ± 0.004	101.70

버섯 중 중금속 오염도

국내 유통 버섯류 5종에 대한 비소, 카드뮴, 납, 수은 4종의 중금속 평균 함량 및 분포는 Fig. 1에 나타내었다. 연구 대상 버섯류 5종의 중금속 모니터링 결과 비소의 함량은 양송이 0.11 mg/kg, 느타리 0.018 mg/kg, 팽이 0.023 mg/kg, 표고 0.019 mg/kg, 새송이 0.007 mg/kg으로 전체 평균 0.035± 0.042 mg/kg으로 나타났으며, 양송이 버섯의 배지조성은 볏짚, 밀짚 등을 사용하여 재배를 하고 있으며, 느타리, 팽이, 새송이는 톱밥이나 면화를 주재료로 사용하고 있거나 표고버섯의 경우에는 목재 및 톱밥이 주재료이므로 양송이 버섯의 비소 함량이 높은 이유는 배지 조성에 의한 것으로 판단된다 (Ha *et al.*, 1990; Demirba., 2000). 카드뮴은 양송이 0.003 mg/kg, 느타리 0.014 mg/kg, 팽이 0.002 mg/kg, 표고 0.052 mg/kg, 새송이 0.012 mg/kg으로 전체 평균 0.017±0.020 mg/kg으로 나타났으며, 국내에서는 버섯류 중 중금속 기준은 설정되어 있지 않기 때문에 기준치 초과율을 산출할 수는 없지만, EU기준 (0.2 mg/kg) 및 기타 연구보고서와 비교하면 본 연구 대상 버섯류의 평균 농도 수준과 유사하게 조사되었다(식품의약품안전청 연구보고서, 2010). 납은 양송이 0.029 mg/kg, 느타리 0.044 mg/kg, 팽이 0.030 mg/kg, 표고 0.054 mg/kg, 새송이 0.057 mg/kg으로 전체 평균 0.043±0.013 mg/kg으로 조사되었으며, EU기준(0.3 mg/kg) 대비 기준 초과 버섯류는 없었으며, 수은은 양송이 0.011 mg/kg, 느타리 0.003 mg/kg, 팽이 0.001 mg/kg, 표고 0.004 mg/kg, 새송이 0.001 mg/kg으로 전체 평균 0.004±0.004 mg/kg로 조사되었다. 표고버섯의 경우 본 연구에서는 건조 표고가 아닌 생물시료를 기준으로 조사하였기 때문에 건조 표고의 중금속 함량과 다소 차이가 있으나, 본 연구에서 조사된 버섯류 5종 역시 다른 농산물과 유사한 수치를 보였다(Kim *et al.*, 2009, 식품의약품안전청 연구보고서, 2010).

버섯류 5종의 중금속 함량의 분포모양(자료의 분산 및 대칭성 등)을 확인하고 이상점을 찾기 위해 상자그림 (Box Plot)을 확인하였으며, 상자그림에서 상자의 아랫면과 윗면은 제 1 사분위수, 3사분위수를 나타내며 상자내의 수평선은 자료의 중앙값 (median)으로 나타내었다 (Fig. 1).

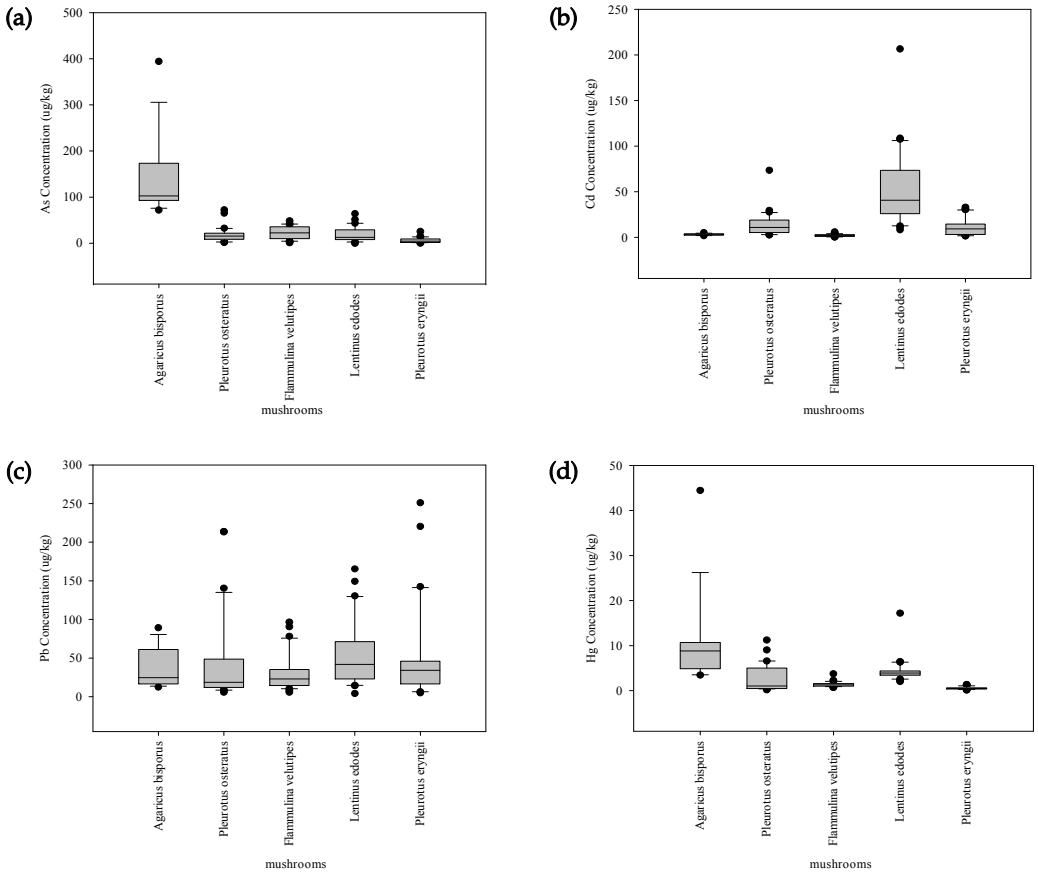


Fig. 1. Box plot of As (a), Cd (b), Pb (c) and Hg (d) levels in five edible mushrooms

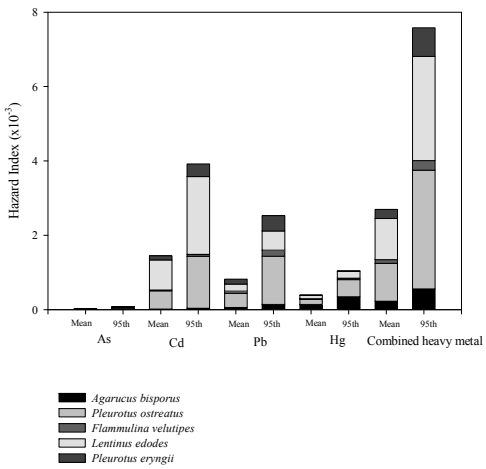


Fig. 2. Hazard index for As, Cd, Pb and Hg in edible mushrooms for general population

인체위해성 평가

노출 평가는 본 모니터링 결과를 사용하여 평가하였고, 버섯별 각 오염도를 Crystall Ball의 fitting 기능을 활용하여 확률분포형태를 결정하였으며, 대부분 확률분포가 log-normal distribution 형태에 적합한 것으로 나타났다. 농산물별 전체 인구집단의 노출량 추정은 monte-carlo simulation하에서 100,000번 simulation을 통하여 수행되었다. 노출량 평가는 1일 평균 섭취량과 극단섭취량, 연령별 섭취량을 고려하였으며 (Table 4), 연령별 섭취수준은 평균 식이섭취에 의한 노출수준과 고섭취에 의한 노출수준으로 나누어 확인하였고 중금속의 1일 인체 노출량 산출결과는 Table 5와 같다.

버섯류 5종에 대한 1일 인체 노출량을 평가한 결과, 비소의 경우 평균 0.06×10^{-3}~0.71×10^{-3} ㎍/kg b.w./day, 카드뮴은 평균 0.02×10^{-3}~0.67×10^{-3} ㎍/kg b.w./day, 납은 평균 0.20×10^{-3}~0.69×10^{-3} ㎍/kg b.w./day로 나타났으며, 수은은 0.05×10^{-4}~0.08×10^{-3} ㎍/kg b.w./day로 제일 낮게 나타났다. 중금속의 노출 기여도를 확인하면 표고 버섯>느타리 버섯>양송이 버섯 순이었으며, 버섯류 5종 중 비소 노출의 기여도가 높은 버섯은 양송이>표고 버섯, 카드뮴은 표고>느타리 버섯, 납은 느타리>표고 버섯, 수은은 양송이>느타리 버섯 순으로 나타났으며, 다른 연구보고서와 버섯류 노출수준이 유사하게 평가되었다 (식품의약품안전청 연구보고서, 2010).

Table 4. The average body weight and intake rate of mushrooms for each age population (국민건강영양조사, 2008)

Category	Classification	Average body weight (kg)	Mushrooms (g)				
			Agaricus bisporus	*Pleurotus ostreatus*	*Flammulina velutipes*	*Lentinus edodes*	*Pleurotus eryngii*
General	General	55.01	0.38±0.03	1.52±0.10	0.41±0.04	0.69±0.04	0.47±0.05
Age (year)	<2	12.39	0.20±0.07	0.87±0.26	0.22±0.10	0.31±0.09	0.28±0.13
	3~6	19.38	0.44±0.10	0.80±0.14	0.17±0.06	0.30±0.06	0.30±0.14
	7~12	36.65	0.70±0.11	1.23±0.20	0.31±0.08	0.65±0.09	0.38±0.08
	13~19	58.56	1.64±0.25	1.10±0.30	0.47±0.17	1.23±0.15	0.47±0.13
	20~64	63.07	0.25±0.03	1.81±0.15	0.47±0.05	0.78±0.06	0.61±0.09
	>65	57.38	0.04±0.02	1.36±0.33	0.40±0.13	0.37±0.09	0.20±0.05

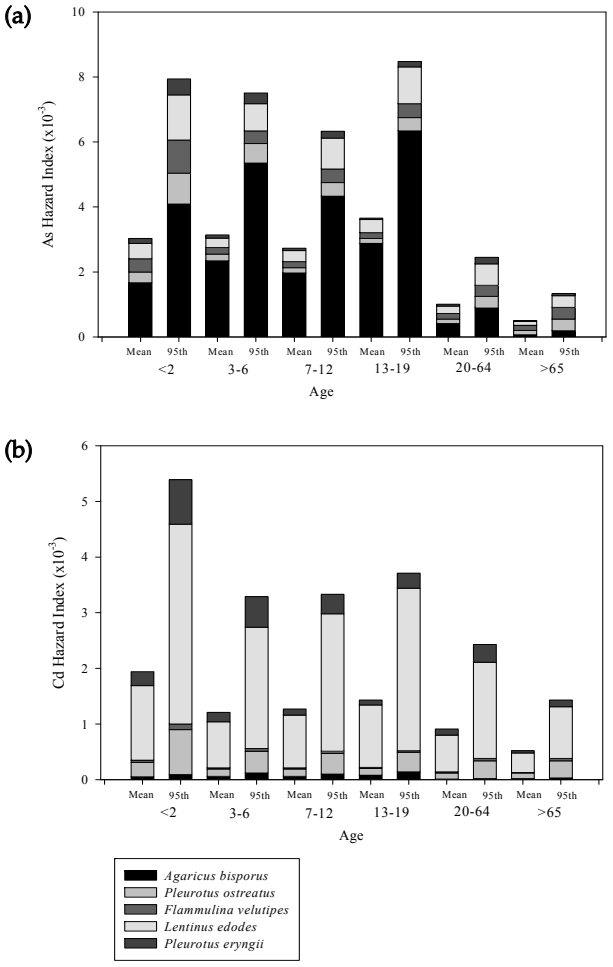
Table 5. Estimated exposure for As, Cd, Pb and Hg of the Korean overall population

Sample	Food intake (g/day)		Exposure of arsenic (㎍/kg b.w./day)		Exposure of cadmium (㎍/kg b.w./day)		Exposure of lead (㎍/kg b.w./day)		Exposure of mercury (㎍/kg b.w./day)	
	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile
Agaricus bisporus	0.4	0.0	0.71×10^{-3}	1.54×10^{-3}	0.02×10^{-3}	0.03×10^{-3}	0.20×10^{-3}	0.51×10^{-3}	0.08×10^{-3}	0.20×10^{-3}
Pleurotus ostreatus	1.52	0.1	0.51×10^{-3}	1.32×10^{-3}	0.41×10^{-3}	1.17×10^{-3}	1.35×10^{-3}	4.63×10^{-3}	0.08×10^{-3}	0.29×10^{-3}
Flammulina velutipes	0.41	0.04	0.17×10^{-3}	0.34×10^{-3}	0.02×10^{-3}	0.04×10^{-3}	0.23×10^{-3}	0.58×10^{-3}	0.01×10^{-3}	0.02×10^{-3}
Lentinus edodes	0.69	0.04	0.24×10^{-3}	0.67×10^{-3}	0.67×10^{-3}	1.74×10^{-3}	0.69×10^{-3}	1.85×10^{-3}	0.05×10^{-3}	0.10×10^{-3}
Pleurotus eryngii	0.47	0.05	0.06×10^{-3}	0.17×10^{-3}	0.09×10^{-3}	0.28×10^{-3}	0.45×10^{-3}	1.47×10^{-3}	0.05×10^{-4}	0.01×10^{-3}
PTWI (%)			0.003	0.008	0.14	0.37	0.08	0.25	0.04	0.11

PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake

조사된 버섯류 5종에 대하여 PTWI (Pb), PTMI (Cd), PTDI (As, Hg)와 비교 평가한 결과 중금속 원소별 주간섭취량은 체중 당 비소 0.003%, 카드뮴 0.14%, 납 0.08%, 수은 0.04%로서 1% 미만의 낮은 수치를 나타내었으며, 극단섭취자에 적용하여 평가한 결과 역시 비소 0.008%, 카드뮴 0.37%, 납 0.25%, 수은 0.11%로 매우 낮게 산출되었다.

본 연구에서 버섯류의 위해지수 (HI) 산출은 섭취량에 따른 1일 유해물질 노출량을 산정하여 JECFA에서 제시한 인체 안전수준 함량을 고려한 후, 산출하였으며 (Fig. 2), 버섯류 모두 전 연령층에서 위해지수 1.0 이하로 안전함을 확인하였다. 일반 농산물의 경우, 0~6세 유아 시기의 평균적인 노출이 그 이상의 인구집단에 비해 상대적으로 높다는 보고가 있으며, 이는 어린 시기에 중금속이 노출될 경우 타 연령대에 비하여 단위 체중 당 섭취율이 높기 때문에 동일한 노출농도에서 일일 노출량이 증가하게 된다는 보고가 있다 (Tsuji *et al.*, 2004; Zaldivar, 1977; 식품의약품안전청 연구보고서, 2010). 따라서 연령별 중금속 위해도를 평가한 결과, 버섯류 5종 모두 전 연령층에서 평균값 및 극단 섭취값이 1.0을 초과하지 않았으며, 버섯 5종의 비소, 납, 카드뮴, 수은의 위해지수를 모두 합하여 산출한 결과 역시, 0.003 (평균섭취)~0.008 (극단섭취)로 모니터링 대상 버섯 5종에 대한 인체 위해 가능성은 없는 것으로 평가되었다 (Fig. 3).



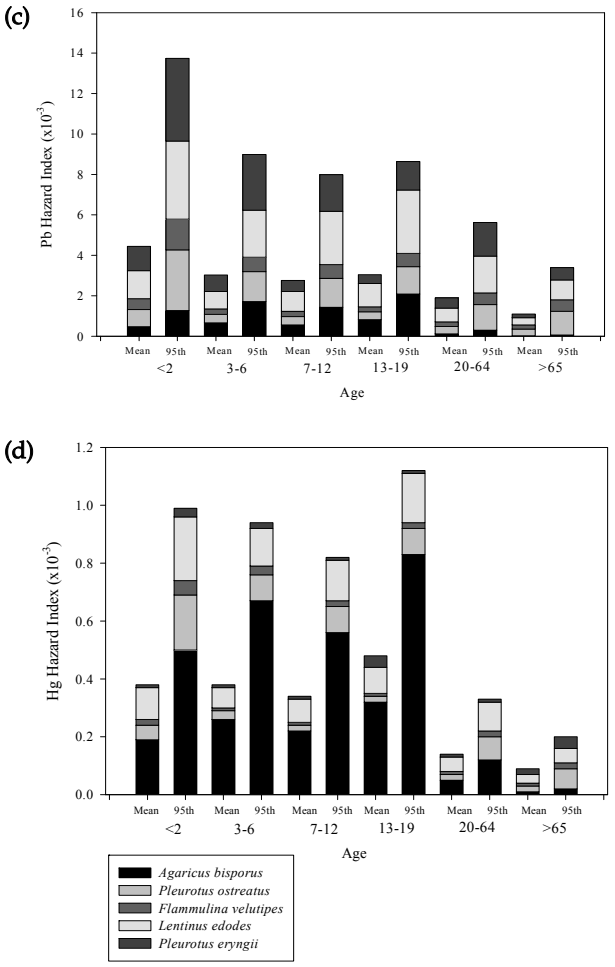


Fig. 3. Comparison of hazard index in edible mushrooms in each age category

인체 노출량 평가는 언제나 모든 가능성을 최대한 고려하여 이루어지기 때문에 실제로 그런 최악의 경우가 일어나기는 힘든 것이 사실이나 사람의 건강을 좌우할 수 있는 먹거리에 대한 안전성 확보 측면에서는 최악의 경우를 감안하여 평가하여야 한다 (Choi *et al.*, 2002). 고위험군인 95th percentile의 위해지수는 비소의 경우 버섯류 5종에서 0.17×10^{-3}~0.15×10^{-2}, 카드뮴은 0.03×10^{-3}~0.17×10^{-2}, 납은 0.51×10^{-3}~0.18×10^{-2}, 수은은 0.01×10^{-3}~0.29×10^{-3} 고위험군의 경우에도 버섯류의 위해지수는 1.0 이하로 안전한 수준으로 나타났다. 연령별 위해지수 역시 Fig. 3에서 보는 바와 같이 영유아 집단이나 청소년 집단에서 가장 높게 나타났으나 일반적으로 한 종류의 식품을 개별 중금속에 대한 위해성 평가 시 노출량이 과소평가될 수 있거나 위해지수가 낮게 나타나는 경우가 있다. 모든 식품 즉, 다소비 다빈도 식품에서 모니터링하여 위해지수를 합산 할 경우에는 위해지수가 1.0보다 높게 나타날 수 있으므로 모든 식품 섭취 노출에 대한 위해성을 대표할 수 없는 한계가 있다 (Zheng *et al.*, 2008).

그러나 본 연구에서는 버섯류의 위해성 평가 시 연령별, 고위험군의 섭취량을 감안하고 조사된 중금속을 모두 합산하여

위해지수를 분석한 결과 모두 1.0 이하로 안전함을 확인하였으며, 평균 일반 섭취집단에서도 조사된 중금속의 위해지수를 모두 합산한 결과 역시 1.0 이하로 모든 식품 중 중금속 노출량에 대한 버섯류의 기여도를 감안하면 식이를 통한 안전에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 버섯류 5품목에 대한 중금속 (As, Cd, Pb, Hg)의 함량을 조사하고 확률론적 방법을 적용하여 버섯류의 위해성 평가를 수행하였다. 분석결과에 대한 유효성 검증을 위하여 표준인증물질을 분석한 결과 98.03~104.06%의 회수율을 얻었다. 주산지역의 버섯류 5종을 각 품목당 30종씩 모니터링한 결과, 비소의 평균함량은 0.035 mg/kg, 카드뮴은 0.017 mg/kg, 납은 0.043 mg/kg, 수은은 0.004 mg/kg으로 기준이 설정되어 있는 항목에 대해서는 EU 기준 (Cd 0.2 mg/kg, Pb 0.3 mg/kg) 대비 모두 기준 이하였다. 버섯류 중 중금속 노출 기여도가 높은 버섯은 표고>느타리>양송이 순이었으며, 버섯류 5종 모두 위해성 평가 결과 위해지수 1.0 이하로 위해성이 없는 것으로 평가되었다. 비소, 카드뮴, 납, 수은을 모두 합산하여 위해지수를 분석한 결과 일반인의 경우 0.003, 고섭취군인 경우 0.008로 인체 위해성이 없는 것으로 확인하였으며, 모든 식품 중 중금속 노출량에 대한 버섯류의 기여도를 감안하면 식이를 통한 안전에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

감사의 글

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ008498)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

참고 문헌

Alonso, J., Salgado, M.J., Garcia, M.A., Melgar, M.J., 2000. Accumulation of mercury in edible macrofungi: influence of some factors, *Arch Environ Con Tox*. 38, 158–62.

Choi, S.N., Choi, H.K., Song, H., Oh, C.H., Park, J.S., 2002. A Health Risk Assessment of Tributyltin Compounds in Fishes and Shellfishes in Korea, *J. Fd Hyg. Safety*. 17, 137-145.

Cocchi, L., Vescovi L., Petrini L.E., Petrini O., 2006. Heavy metal in edible mushrooms in Italy, *Food Chem*. 98, 277-284.

Demirbas, A., 2000. Accumulation of heavy metals in some edible mushrooms from turkey, *Food Chem*. 68, 415-419.

Demirbas, A., 2002. Metal ion uptake by mushrooms from natural and artificially enriched soils. *Food Chem*. 78, 89-93.

Falandyzs, L., Bona, H., Danisievicz, D., 1994. Silver uptake by Agarigus bisporus from an artifically enrichedsubstrate, *Eur Food Res Technol*, 199, 225–228.

Garcia, M., Alonso, J., Fernandez, M., Melgar, M., 1998. Lead content in edible wild mushrooms in Northwest Spain as indicator of environmental contamination, *Arch Environ Con Tox*. 34, 330–35.

Gast, C. H., Jansen, E., Bierling, J., Haanstra, L., 1988. Heavy metals in mushrooms and their relationship with soil characteristics, *Chemosphere*, 17, 789–.799.

Ginsberg, G.L., 2003. Assessing cancer risks from shor-term exposure in children, *Risk Anal*. 23, 19-34.

Ha, Y.D. Lee, I.S., 1990. Investigation of heavy metal contents in Ganoderma lucidum Karst, *J. Korean Soc. Food Nutr*. 19. 187-193.

Ikebe, K., Nishimune, T., Sueki, K., 1990. 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.

Jarup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination, *Brt Med J*. 68, 167-182.

Kalac, P., Burda, J., Staskova, I., 1991. Concentrations of lead, cadmium, mercury and copper in mushrooms in the vicinity of a lead smelter, *The Science of the Total Environment* 105, 109–.119.

Kalac, P., Svoboda L., 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chem*. 69, 273-281.

Kim, M.H., Lee, Y.D., Park, H.J., Park, S.K., Lee, J.O., 2005. Contents of heavy metals in soybean curd and strarch jelly consumed in Korea, Korean *J. Food Sci. Technol*. 37, 1-5.

Kim, Y.I., Bae, J.W., Huh, J.W., Kwak, W.S., 2007. Monitoring of feed-nutritional components, toxic heavy metals and pesticide residues in mushroom substances according to bottle type and vinyl bag type cultivation, *J. Anim. Sci. Technol*. 49. 67-78.

Kim, H.Y., Kim, J.I., Kim, J.C., Park, J.E., Lee, K.J., Kim, S.I., Oh, J.H., Jang, Y.M., 2009. Survey of heavy metal contents of circulating agricultural products in Korea, *Korean J. Food Sci. Technol*. 41, 238-244.

Lee, T.J., Kim, K.C., Shin, I.C., Han, K.S., Shim, T.H., Ryu, M.J., Lee, J.K., 1996. Survey on the contents of trace heavy metals in agricultural products of

Gangwon-do, *Rep.Inst.Health Environ.* 7, 75-87.

Lee, J.H., Seo, J.W., An, E.S., Kuk, J.H., Park, J.W., Bae, M.S., Park, S.W., Yoo, M.S., 2011. Monitoring of heavy metals in fruits in Korea, *Korean J. Food Sci. Technol.* 43, 230-234.

Lee, J.H., Kim W.I., Jeong E.J., Yoo J.H., Kim J.Y., Paik M.K., Park B.J., Lim G.J., Hong M.K., 2011. Arsenic contamination of polished rice produced in abandoned mine areas and its potentioal human risk assessment using probabilistic techniques, *Korean J. Environ. Agri*, 30, 43-51.

Lee, K.H., Seok, S.J., Weon, H.Y., Kim, S.H., Kim, W.G., Sung, J.M., 2008. Effect of heavy metals on Mycelial growth of color mutants at Pleurotus osteatus, *Kor. J. Mycol*. 36, 172-177.

Lepsova, A., Mejstrik, V., 1988. Accumulation of trace elements in fruiting bodies of macrofungi in the Krusne Hory Mountains, Czecholovakia. *Sci Total Environment*, 76, 117−.128.

Park, J.S., Lee, M.K., 2002. A study on contents of heavy and trace metal of the agricultural products around mines located in Chollanamdo. *Korean, J. Food Nutr*. 15, 64-69.

Radulescu C., Stihi C., Busuioc G., Gheboianu A., Popescu I., 2010. Studies concerning Heavy metals bioaccumulation of wild edible mushrooms from industrial area by using spectrometric techniques, *Bull Environ Contam Toxicol*. 84, 641-646

Shim, J.Y., Oh, H.S., Jang, M.R., Lee, Y.A., Lee, R.K., Kim, M.A., Lee, H.J., Lee, S.M., Cho T.Y., 2010. Monitoring of lead and cadmium contents of vegetables in Korea, *J. Fd Hyg. Safety*. 25, 395-401.

Svoboda, L., Havlickova, B., Kalac, P., 2006. Contents of cadmium, mercury and lead in edible mushrooms growing in a historical silver-mining area, *Food Chem*. 96, 580-585.

Tsuji, J.S., Benson, R., Schoof, R.A., Hook, G.C., 2004. Health effect levels for risk assessment of childhood exposure to arsenic, Regul. *Toxicol. Phamacol*. 39, 99-110

Triphathi, R.M., Raghunath, R., Krishnamoorthy, T.M., 1997. Dietary intake of heavy metals in Bombay City, India, *Sci Total Environ*. 208, 149-159.

Yamac, M., Yildiz, D., Sarikurkcu, C., Celikkollu, M., Halil Solak, M., 2007. Heavy metals in some edible mushrooms from the Central Anatolia, Turkey, *Food Chem*. 103, 263-267.

Zaldivar, R., Guillier, A., 1977. Environmental and clinical investigations on edemic chronic arsenic poisoning in infants and children, *Hyg.Abt.Org.Reihe B.* 165, 226-234.

Zeng, X.B., Li, L.F., Mei, X.R., 2008. Heavy metal content in chinese vegetable plantation land soils and related source analysis, *Agric Sci China*. 7, 1115-1126.

Zrodlowski Z.. 1995. The influence of washing and peeling of mushrooms Agaricus bisporus on the level of heavy metal contaminants, *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 45, 26-33.