Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2015;34(4):303-308. Korean
Published online 2015 November 10. http://dx.doi.org/10.5338/KJEA.2015.34.4.42

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

Research Article

Open Access

쌀의 도정도에 따른 중금속 함량 변화

김진국[1], 이지환[1], 김지은[1], 배인애[1], 김광선[1], 이은숙[1], 권순덕[1], 박주환[1], 이규승[2*]

[1]국립농산물품질관리원 충남지원, [2]충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Investigation of Heavy Metal Contents by Milling Degrees of Rice

Jin-Kug Kim[1], Ji-Hwan Lee[1], Ji-Eun Kim[1], In-Ae Bae[1], Kwang-Seon Kim[1], Eun-Suk Lee[1], Soon-Duck Kwon[1], Ju-Hwan Park[1] and Kyu-Seung Lee[2*] ([1]Chungnam Province, National Agricultural Products Quality Management Service, Daejeon 34851, Korea, [2]Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture & Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

Received: 30 July 2015 / Revised: 27 August 2015 / Accepted: 2 November 2015
Copyright ⓒ 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: Recently, various rice by milling degree is sold for health and taste. To provide safe food to consumers, it is need to know the change of heavy metal contents according to milling degree of rice.
METHODS AND RESULTS: This study was to investigate residual the levels of cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu) and zinc (Zn) as stated in the milling degree of the rice contaminated Cd and Pb from 2011 to 2012 in Chungcheongnam-do. Rice samples exceeded the maximum residue limits (MRL) of Cd and Pb were milled by five degrees (0.0, 2.45, 8.02, 10.48, 15.09%). Milled rice was digested by microwave method, and analyzed heavy metal contents using ICP-OES. Recovery ratios of 4 heavy metals such as Cd, Pb, Cu and Zn were ranged for 79.7-98.9%, and limits of detection (LOD) and limits of quantitation (LOQ) were fulfilled with the normal analytical standards. Concentrations of Cd, Pb, Cu and Zn were ranged 0.416-0.433 mg/kg, 0.183-0.26 mg/kg, 3.639- 3.882 mg/kg and 16.868-19.801 mg/kg, respectively.
CONCLUSION: From these results, conforming with increase of milling degree of rice, Cd, Pb, Cu, and Zn contents tended to decrease. The contents of heavy metals were decreased 3.1% in Cd, 29.3% in Pb, 6.4% in Cu and 15.1% in Zn, in according to the highest milling degree of 15.09%.

Key words: Cadmium, Heavy metal, Lead, Milling degree, Rice

*Corresponding author: Kyu-Seung Lee
Phone: +82-42-821-6735; Fax: +82-42-822-5781;
E-mail: Kslee@cnu.ac.kr

서 론

최근 급속한 산업화와 도시화를 거치면서 다양한 종류의 환경오염물질들에 의한 대기, 수질 및 토양 오염의 심각성이 대두되고 있다. 농촌에서도 오염물질과 유독물 및 중금속 함유물 등 유해화학물질이 혼입된 폐ㆍ하수 및 각종 폐기물 등에 의해 토양 오염이 심화되고 있는데 이 중 토양 내에서 용해 및 이동성이 적은 중금속류는 일단 토양에 유입되면 인위적으로 제거하지 않는 한 반영구적으로 잔류하게 된다. 뿐만 아니라 황화물을 포함하는 폐기물은 주변 자연수를 산성화시켜 중금속의 용해도를 증가시키므로 중금속 오염에 따른 2차적인 위해성이 크게 우려되고 있다(Tchai, 1990; Jun *et al.*, 1999; Jung *et al.*, 2002).

농산물의 중금속 오염은 수확, 가공, 포장 등의 과정에서 우발적으로 일어나기도 하지만 대부분 오염된 농경지에서 재배된 농작물에 일어나게 된다(Won *et al.*, 1995; Jung *et al.*, 1997[a]; Jung *et al.*, 2007). 중금속 오염의 특성을 보면

Table 1. Recovery rate of rice granule by milling degrees

Sample	Removal ratio of rice bran by milling degree (%)*				
	0.00	2.45	8.02	10.48	15.09
A	100.00	97.55	89.54	86.11	80.68
B	100.00	97.53	90.66	87.18	82.29
C	100.00	97.56	92.83	89.90	84.05
D	100.00	97.52	89.76	86.27	80.47
E	100.00	97.52	91.07	88.66	83.13
F	100.00	97.54	92.21	90.43	85.68
G	100.00	97.59	91.12	89.66	86.91
H	100.00	97.54	93.66	91.56	86.04
I	100.00	97.54	91.32	88.44	85.23
J	100.00	97.56	92.99	91.56	87.72
K	100.00	97.56	93.92	91.15	89.40
L	100.00	97.52	92.32	89.03	83.33
M	100.00	97.58	91.87	90.01	84.51
N	100.00	97.57	92.67	90.82	86.59
O	100.00	97.59	93.07	90.49	85.26
P	100.00	97.55	92.70	91.08	87.23
Average removal ratio of rice bran(%)*	100.00	97.55	91.98	89.52	84.91
Average milling degree(%)**	0.00	2.45	8.02	10.48	15.09
	±0.000	±0.005	±0.324	±0.442	±0.623
Average water content(%)	12.7	12.6	12.8	12.2	12.4
	±0.001	±0.003	±0.002	±0.005	±0.003

* Weight of milled rice/weight of brown rice x100
** Average milling degree (%) = 100 (%) - Removal ratio of rice bran (%)

비소, 구리, 납, 크롬 및 아연 등은 식물이 한계량 이상을 흡수할 경우 식물체가 생육장해를 일으키는 직접적인 피해를 받거나 지상부로 이행성이 적고, 카드뮴, 수은, 셀레늄의 경우 중금속의 흡수방어기작을 통하지 않고 작물에 쉽게 흡수되어 작물 생육에는 피해가 적지만 이행성이 높아 농작물이 유해한 수준까지 오염되어 사람과 가축에 간접적인 피해를 주는 만성적인 중독현상을 일으켜 더 큰 문제를 야기 시킬 수 있다(Fergusson, 1990; Adriano, 1992; Jung *et al.*, 1997[b]; Ullrich *et al.*, 1999). 우리나라에서 생산되는 식량작물 중 가장 많은 비중을 차지하는 것은 곡류이며, 특히 쌀은 주식으로 확고한 자리를 차지하고 있다. 연구결과에 따르면, 우리 국민들이 쌀 소비를 통해 다량의 비소, 카드뮴, 구리, 납 및 아연을 섭취하는 것으로 조사되고 있다(Jung, 2003). 토양에서 뿌리로 흡수된 중금속은 작물체내에 축적되어 쉽게 가식부로 이행되는데, 지상부로 이행된 중금속은 대부분 뿌리, 볏짚에 가장 높게 축적되고 그 외의 부위에는 비슷한 농도로 분포하지만 정조, 현미, 백미, 쌀겨의 순으로 중금속이 낮게 분포하는 것으로 보고되었다(Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2009). 하지만 쌀에 미량의 중금속이 함유되어 있다면 쌀을 주식으로 하는 사람들의 건강에 부정적인 결과를 초래할 수 있기 때문에 다양한 중금속에 대한 조사가 요구된다. 그러나 중금속 연구는 농경지를 비롯한 농업환경과 농산물의 오염 정도 및 장기적인 변동 모니터링에 집중되고 있으며, 농산물 중에 잔류된 유해 중금속에 대한 체계적이고 면밀한 조사와 연구는 부족한 실정이다. 특히 국내에서는 쌀을 비롯한 농작물에 대한 카드뮴과 납을 제외한 다른 유해 중금속 허용기준은 없을 뿐만 아니라 그에 대한 연구 자료도 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 2011-2012년도에 식약처 고시 기준에 따라 카드뮴 또는 납의 잔류허용기준인 0.2 mg/kg을 초과하여 부적합 판정을 받은 충청남도 내에서 생산된 쌀에 대하여, 카드뮴과 납 이외에도 구리, 아연과 같은 다양한 중금속 함유량을 측정하여 잔류 실태를 파악하였다. 또한 단순히 벼의 외피와 현미, 백미가 아닌 쌀의 분도별 가공정도(도정도)가 중금속 함량에 어떤 영향을 미치는지 규명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시료의 분도별 도정도 및 수분함량

2011-2012년도에 충청남도 내에서 재배된 쌀 중 중금속 허용기준을 초과하여 부적합 판정을 받은 쌀 16점을 시료로 확보하였다. 10 Mesh (<2 mm)로 체질하여 분석결과에 영향을 끼칠 수 있는 왕겨와 청미, 사미 등을 제거하고, 순수한 현미만 골라내어 시료로 사용하였다. 가정용 정미기(FS-2000, Misul, Korea)를 사용하여 이론적인 분도개념만을 적용하여 도정도를 구하였다. 현미를 100%로 간주하였을 때 도정된 쌀의 무게는 현미에 대해 97.55-84.91%로, 즉 도정도는 2.45-15.09%로 산출되었다. 현미를 포함하여 총 5개 범위의 분도를 설정하여 도정한 결과, 각각의 현백률은 평균 100, 97.55, 91.98, 89.52, 84.91%, 도정도로 표기하면 평균 0.0,

2.45, 8.02, 10.48, 15.09% 결과를 얻었다. 도정된 쌀을 분쇄기(Daesung, DA282-2, Korea)로 분쇄하여 14℃에 냉장 보관하여 사용하였다.

도정 직후 현미를 포함한 모든 시료의 수분함량은 식품공전 일반시험법의 105℃에서 상압 건조하는 방법인 상압가열건조법을 이용하여 측정한 수분함량은 평균 12.2-12.7%로 도정도에 따른 뚜렷한 변화가 없었다(Table 1).

시료전처리 및 분석

각 분도별로 도정한 쌀 시료 2 g을 마이크로웨이브 분해용기(XP1500 vessel)에 넣고 70% 질산(Electronic grade, Dong Woo Fine Chem., Seoul, Korea)을 12 mL 첨가한 뒤 후드 내의 Heating Block에서 80℃에 1시간 동안 가열하여 발생하는 가스를 제거하였다. 가스 제거 후, 분해용기의 마개와 밸브를 조인 후 마이크로웨이브 분해장치(MARS 5 Version 194A01, CEM, North Carolina, USA)를 이용하여 1200 W에서 10분간 800 psi, 190℃까지 상승시킨 후, 20분간 유지하여 분해하였다. 후드 내의 Heating Block에서 140℃에 1시간 동안 분해 및 농축을 하고, 초순수를 추가하여 최종 부피를 10 mL로 정용한 후, Whatman 여과지(3㎛ pore size, 11 diameter)로 여과하였다. 조제된 시험용액은 유도결합플라즈마방출분광기(ICP-OES, Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy, VISTA-PRO, Varian, USA)를 사용하여 총 4개 중금속 원소 카드뮴, 납, 구리, 아연에 대해 분석을 실시하였으며, 기기분석조건은 Table 2와 같다.

검출한계 및 회수율 시험

카드뮴, 납, 구리, 아연의 표준용액(ICP용 1,000 mg/L, Merck, Germany)을 3% 질산용액에 단계별로 제조하여 검량선을 작성하였다. 표준용액의 원소별 농도는 카드뮴, 납은 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1 mg/kg, 구리는 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5, 5 mg/kg, 아연은 1.25, 2.5, 5, 10, 20 mg/kg으로 하였다.

Table 2. The operating condition of ICP-OES

Parameters	Conditions	
RF Power	1,200 W	
Nebulizer Gas Flow	0.8 L/min	
Auxiliary Gas Flow	1.50 L/min	
Plasma Gas Flow	15.0 L/min	
Sample Pump Rate	15 rpm	
Plasma Viewing	Axial	
Read Delay	30 sec	
Rinse Time	10 sec	
Replicates	3	
Wavelength spectrum (nm)	Cu	324.754
	Cd	214.439
	Zn	206.200
	Pb	182.143

검출한계(LOD, Limit of detection)와 정량한계(LOQ, Limit of quantitation)는 반응의 표준편차와 검량선 기울기에 근거하는 방법을 따라 표준용액을 단계별로 3회 반복 측정하여 평균값을 검량 y로 작성하여 다음의 식에 따라 계산하였다.

$$LOD = 3.3 \times \sigma/S$$
$$LOQ = 10 \times \sigma/S$$

(σ: 반응의 표준편차, S: 검량선의 기울기)

회수율 검정에는 한국표준과학연구원(KRISS, Korea Research Institute of Standards & Science)의 쌀 분말 CRM 108-01-001 (normal)을 사용하여 분석시료와 동일한 전처리 방법과 측정조건에서 3회 반복하여 각 원소별 측정감도를 비교하였다. 인증표준물질의 원소별 평균값을 측정값과 비교하여 회수율 및 표준편차를 구하고 표준편차에 대한 함량비(% RSD)를 구하였다.

결과 및 고찰

검출한계 및 회수율 검정결과

인증표준물질을 이용한 평균 회수율은 카드뮴 98.9%, 납 79.7%, 구리 98.9%, 아연 94.6%로 측정되었다(Table 3). 납의 회수율이 낮은 것은 납 결과값이 인증되지 않은 인증표준물질을 분양받아 사용했기 때문으로 보인다. 검출한계와 정량한계 결과, 카드뮴, 납의 검량선은 0.0625-1 mg/kg 농도에서 카드뮴은 R^2=0.9999, 납은 R^2=0.9998로 나타났으며, 구리는 0.3125-5 mg/kg 농도에서 R^2=0.9999, 아연은 1.25-20

Table 3. Recovery of heavy metals with CRM (Certified Reference Material) rice

Element	Fortified value (mg/kg)		Measured value (mg/kg)		Recovery (%)
	Mean	SD	Mean	SD	
Cd	0.031	0.002	0.031	0.004	98.9 ±0.001
Pb*	0.027	-	0.022	0.008	79.7 ±0.004
Cu	3.22	0.09	3.19	0.375	98.9 ±0.143
Zn	22.9	0.7	21.66	0.871	94.6 ±0.085

* Non-certified of Pb in CRM

Table 4. Limits of detection(LOD) and Limits of quantitation (LOQ)

Element	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	R^2
Cd	0.003	0.009	0.9999
Pb	0.021	0.063	0.9998
Cu	0.012	0.036	0.9999
Zn	0.007	0.022	0.9999

* Average of 3 repeated measurement

Table 5. Heavy metal contents by milling degrees of rice (Unit: mg/kg)

Heavy metal		0%	2.45%	8.02%	10.48%	15.09%
Cd	Mean	0.433	0.429	0.426	0.420	0.416
	SD	0.208	0.205	0.204	0.202	0.189
Pb	Mean	0.260	0.237	0.222	0.204	0.183
	SD	0.057	0.052	0.056	0.052	0.041
Cu	Mean	3.882	3.841	3.766	3.720	3.639
	SD	0.793	0.783	0.792	0.793	0.774
Zn	Mean	19.801	19.184	18.353	17.807	16.868
	SD	2.848	2.863	2.951	2.998	2.994

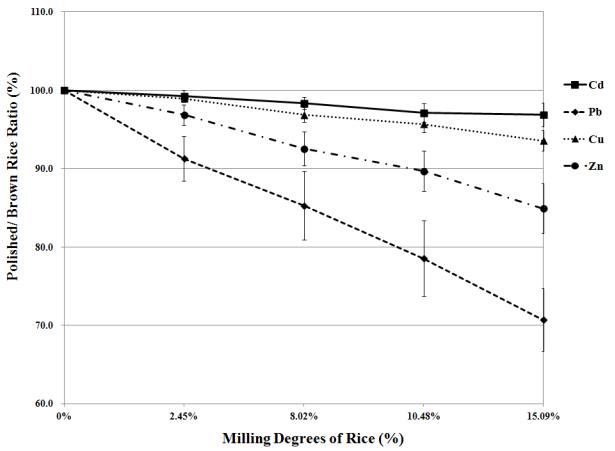

Fig. 1. Change of heavy metal contents in rice by milling degree.

mg/kg 농도에서 R^2=0.9999로 양호한 직선성을 보였다. 카드뮴, 납, 구리, 아연의 검출한계는 각각 0.003, 0.021, 0.012, 0.007 mg/kg, 카드뮴, 납, 구리, 아연의 정량한계는 각각 0.009, 0.063, 0.036, 0.022 mg/kg로 이는 고시에 따른 중금속 기준보다 낮은 값으로 분석 결과의 타당성이 증명되었다 (Table 4).

도정별 중금속 함량 분석

본 연구는 2011-2012년도에 카드뮴 또는 납에 대하여 허용기준 부적합 판정을 받은 쌀을 대상으로 진행한 실험으로 카드뮴은 현미일 때 가장 높은 함량인 평균 0.433 mg/kg를 보였고, 15.09% 도정미에서 0.416 mg/kg으로 가장 낮은 결과 값을 보였다(Table 5). 이는 국내의 쌀(백미)에 대한 카드뮴의 잔류허용기준치(0.2 mg/kg)에 대해 2배 이상의 높은 오염도를 보였다. 도정도에 따른 결과를 살펴보면, 6개의 시료에서 10.48% 도정미보다 15.09% 도정미의 카드뮴 함량이 약간 더 높게 나타났지만 도정도가 증가함에 따라 카드뮴의 함량이 다소 줄어드는 경향을 보였으며 15.09% 도정미는 현미에 비해 최대 3.1% 감소되었으며, 직선상으로 계산해볼 때 기울기 값이 −0.8382 로 나타났다(Fig. 1). 이는 카드뮴이 식물체내에 흡수되면 가식부로의 이행성이 다른 중금속에 비해 상대적으로 크며, 벼에 흡수된 카드뮴이 쌀로의 이행성이 매우 크다는 보고와 유사한 결과를 얻었다(Lee and Lee, 1982; Muramoto, 1990). 카드뮴은 벼에서 쌀로의 전이율이 0.73%이며, 쌀겨에서 15%, 외피에서 40%, 백미에서 45%가 분포하고 있는 것으로 보고되었다(Liu *et al.*, 2007). 따라서 벼에 흡수된 카드뮴은 쌀겨보다는 쌀로의 이행성이 크기 때문에 도정도에 따라 감소되는 것으로 보인다.

납은 현미일 때 가장 높은 함량인 평균 0.26 mg/kg, 15.09% 도정미에서 0.183 mg/kg으로 가장 낮은 함량을 보였으며(Table 5), 현미에서는 국내 잔류허용기준(0.2 mg/kg)를 초과하였으나 도정도가 높아질수록 잔류허용기준치 이하로 감소하는 결과를 보였다. 모든 시료에서 도정도가 증가함에 따라 납의 함량이 감소했으며, 15.09% 도정미는 현미에 비해 최대 29.3% 감소되었다(Fig. 1). 이는 직선상으로 계산해볼 때 기울기 값이 −7.1333 으로 나타났으며 카드뮴에 비해 기울기 값이 8.5배 이상 차이나는 것으로 보아 도정도에 따라 납의 함량이 급격하게 줄어들었음을 알 수 있다. 식물체는 토양으로부터 납을 거의 흡수하지 않는다고 보고되었으며 (Alloway, 1995), Park 등(2009)는 벼의 생물학적 흡수계수가 카드뮴>아연>구리>납 순으로 이동되며, 납이 볏짚에 비해 쌀겨, 현미, 백미 순으로 거의 이행되지 않은 결과와 유사한 결과를 보였다고 보고하였다. 이로 미루어보아 다른 중금속 원소들에 비해 도정도에 따른 납 함량이 큰 폭으로 감소한 결과는 카드뮴, 아연, 구리에 비해 납이 지상부로의 이행성이 적기 때문에 도정도에 따라 큰 폭으로 감소하였다고 보여진다.

현재 쌀 중 구리와 아연의 잔류허용기준을 가지고 있는 나라는 없으며, 따라서 쌀을 비롯한 곡류와 다양한 농작물에서의 중금속 함량에 관한 국내외의 여러 연구 자료를 종합하여 비교하였다. 본 연구에서 조사된 쌀의 전체적인 구리의 함량은 현미 중에서 평균 3.882 mg/kg, 2.45% 도정미에서 3.841 mg/kg, 8.02% 도정미에서 3.766 mg/kg, 10.48% 도정미에서 3.720 mg/kg, 15.09% 도정미에서 3.639 mg/kg의 함량을 보였으며(Table 5), 도정도가 증가함에 따라 최종적으로 6.4% 줄어드는 경향을 나타내었고 이는 직선상으로 계산해볼 때 기울기 값이 −1.6164 로 나타났다(Fig. 1). 이와 같은 결과는 오염되지 않은'탑라이스(Top-rice) 프로젝트'생산단지에서 재배한 쌀(백미) 중의 평균 구리 함량이

2005년 0.39 mg/kg, 2006년 0.38 mg/kg, 2007년 0.13 mg/kg을 나타낸 선행연구 결과(Park et. al., 2008)와 비교하였을 때 높은 수치였다. 또한 국내의 여러 조사 결과인 평균 함량 1.958 mg/kg(Jung, 2003), 1.10 mg/kg(Ko *et al.*, 1972)와 비교하였을 때도 대부분 높은 결과를 보였다. 다만 미국에서 조사한 구리 함량인 평균 4.14 mg/kg에 비해 낮은 수치를 보이기도 했다(Bennett *et al.*, 2000). 또한 Kim 등(2001)의 연구 결과인 우리나라 쌀의 평균 함량 2.20 mg/kg과 곡류 중의 평균함량 2.67 mg/kg을 비교하여 볼 때 높은 도정도를 갖는 쌀에서도 구리함량이 높게 나타난 것을 알 수 있었다.

아연의 평균 함량은 현미 중에서 평균 19.801 mg/kg, 2.45% 도정미에서 19.184 mg/kg, 8.02% 도정미에서 18.353 mg/kg, 10.48% 도정미에서 17.807 mg/kg, 15.09% 도정미에서 16.868 mg/kg의 함량을 보였으며(Table 5), 다른 중금속 원소들과 마찬가지로 도정도가 증가함에 따라 최대 15.1%의 감소량을 보였고 직선상으로 계산해볼 때 기울기 값은 −3.7334 로 나타났다(Fig.1). 아연의 함량은 다른 중금속 원소에 비해 다소 넓은 분포를 보였는데 시료 중 가장 높게 검출된 아연의 함량은 25.135 mg/kg이며, 이 결과는 국내외 여러 연구 결과 중 Jung 등(2003)이 보고한 평균 함량 16.56 mg/kg과 강원지역 쌀 평균 함량 16.12 mg/kg, 경기지역 쌀 평균 함량 17.39 mg/kg과 Ko 등(1972)이 보고한 평균 함량 23.1 mg/kg, Nriagu and Lin(1995)이 보고한 백미에서의 평균 함량 23.0 mg/kg과 비슷한 함량을 보였고, Masironi 등(1977)이 보고한 현미에서의 평균 함량 16.4 mg/kg과 백미에서의 평균 함량 13.7 mg/kg보다는 약간 높은 수치였다.

결 론

충청남도 내에서 2011-2012년도에 카드뮴 또는 납의 잔류허용기준을 적용하여 부적합 판정을 받은 쌀에 대해 카드뮴과 납 이외에 구리, 아연의 함량 및 분도별 도정도에 따른 중금속 성분의 함량 변화도 함께 분석하였다. 카드뮴의 경우 모든 시료에서 허용기준치를 초과하는 농도로 검출되어 높은 오염도를 보였다. 또한 15.09% 도정미는 현미에 비해 카드뮴 함량이 최대 3.1% 까지 줄어드는 것으로 보아 도정도가 증가할수록 카드뮴의 함량은 감소하는 경향을 보였지만 허용기준치 이하로 줄어들지는 않았다. 납의 경우 몇 개의 시료에서 허용기준을 초과하여 검출되었으며, 나머지 시료 또한 오염되지 않은 쌀에 비해 높은 함량을 보였다. 다만, 15.09% 도정미는 현미에 비해 최대 29.3% 가량 납 함량이 감소되었으며, 도정도에 따라 비례적으로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 카드뮴에 비해 감소효과가 큰 편으로 일정수준의 도정도 이상으로 정미된 쌀에서는 납 함량이 잔류허용기준 이하로 감소하였다. 인간에게 필요한 필수 미량원소지만 과다 섭취할 경우 다양한 질병의 원인이 되는 구리, 아연은 쌀에 대한 잔류허용기준이 규정되지 않아 국내외의 다양한 조사결과와 비교하여 분석하였다. 구리는 오염되지 않은 쌀에서 검출된 양과 비교하였을 때 비교적 높은 수치였으며, 도정도가 증가함에 따라 최종적으로 6.4% 줄어들어 약간 감소하는 경향을 보였지만 큰 변화는 없었다. 아연은 기존의 여러 연구에서 조사된 평균함량과 비슷하거나 약간 높은 수치였으며, 다른 중금속 원소들과 마찬가지로 도정도가 증가함에 따라 최대 15.1%의 감소량을 보였다. 감소량을 직선상으로 계산하여 기울기 값으로 비교해 볼 때 카드뮴은 −0.8382, 납은 −7.1333, 구리는 −1.6164, 아연은 −3.7334로 나타났으며, 이는 카드뮴, 납, 구리 및 아연 모두 도정도에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있고 특히 납은 다른 중금속에 비해 감소폭이 큰 것으로 보인다.

이상의 결과를 종합해 보면, 2011-2012년도 충청남도 내에서 카드뮴 또는 납의 잔류허용기준에 대해 부적합 판정을 받은 쌀은 카드뮴과 납 이외의 구리와 아연에 대한 함량도 높은 수치를 보인 것으로 보아, 중금속 원소가 과다로 검출된 쌀의 경우 다른 중금속 원소에 대한 오염의 가능성도 배재할 수 없다고 보여 진다. 또한 현미 중 잔류하는 중금속은 도정도 감소 경향에 따라 원소별로 차이가 있었음을 확인하였다.

References

Adriano, D. C. (1992). Biogeochemistry of trace metals. Lewis publishers, USA.

Alloway, B. J. (1995). Heavy metals in soils, 2nd ed., pp.395-409, Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK.

Bennett, J. P., Chiriboga, E., Coleman, J., & Waller, D. M. (2000). Heavy metals in wild rice from northern Wisconsin. Science of the Total Environment, 246(2), 261-269.

Fergusson, J. E. (1990). The heavy elements; Chemistry environmental impact and health effects, Pergamon ress, U.K.

Jung, J. H., Lee, D. Y., & Lee, G. J. (2002). Residents of nearby mines scrap metal heavy metal contamination, pp. 13-15, Jipmoon, Korea.

Jun, K. S., Lee, C. H., Won, Y. S., Jeung, J. W., Park, B. S., & Shin, D. G. (1999). Heavy Metal Concentrations in Soils and Stream around the Abandoned Mine Land, Journal of the Environmental Sciences, 8(2), 197-204.

Jung, G. B., Kim, K. S., Jung, K. Y., & Cho, G. H. (1997). Heavy metal contents in soils and vegetables in the plastic film house. Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 30(2), 152-160a.

Jung, G. B., Kim, W. I., Lee, J. S., Kim, J. H., & Lee, J. T. (2007). Relationships between speciation of heavy metals in soil and water dropwort (Oenanthe javanica

DC.) cultivated near industrial complex. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 40(2), 164-171.

Jung, K. Y., Kwon, S. I., Jung, G. B., Kim, W. I., & Jeong, Y. G.(1997). Effect of longterm application of sewage sludge on distribution and availability of heavy metals in soil-plant system, the Fourth international conference, East and Southeast Asia Fedration of Soil Science Societies, 335-347.b

Jung, M. C. (2003). Background Levels and Daily Intake of As, Cd, Cu, Pb and Zn in White Rice Produced in Korea, Economic and Environmental Geology, 36(5), 357-363.

Kim, M. K., Kim, W. L., Jung, G. B., & Yun, S. G. (2001). Safety assessment of heavy metals in agricultural products of Korea. Korean Journal of Environmental Agriculture, 20(3), 169-174.

Ko, I. S., Ro, C. B., Song, C., Kown, H. H., Kim, K. S., Chung, K. H., & Joo, C. B. (1972). Investigation on harmful trace elements in food (1), The Report of National Institute of Health, 9, 389-406.

Lee, T. S., & Lee, Y. W. (1982). A study on translocation of heavy metals in rice, Korean Journal of Public Health, 8(2), 39-46.

Liu, J., Qian, M., Cai, G., Yang, J., & Zhu, Q. (2007). Uptake and translocation of Cd in different rice cultivars and the relation with Cd accumulation in rice grain. Journal of Hazardous Materials, 143(1), 443-447.

Masironi, R., Koirtyohann, S. R., & Pierce, J. O. (1977). Zinc, copper, cadmium and chromium in polished and unpolished rice. Science of the Total Environment, 7(1), 27-43.

Muramoto, S. (1990). Comparison of metal uptake between glutinous and non-glutinous rice for cadmium chloride, oxide and sulfide at the critical levels. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 45(3), 415-421.

Nriagu, J. O., & Lin, T. S. (1995). Trace metals in wild rice sold in the United States. Science of the total environment, 172(2-3), 223-228.

Park, S. W., Yang, J. S., Ryu, S. W., Kim, D. Y., Shin, J. D., Kim, W. I., Choi, J. H., Kim S. L., & Saint, A. F. (2009). Uptake and Translocation of Heavy Metals to Rice Plant on Paddy Soils in. Korean Journal of Environmental Agriculture, 28(2), 131-138.

Park, S. W., Yoon, M. Y., Kim, J. K., Park, B. J., Kim, W. I., Shin, J. D., Kwon, O. K., & Chung, D. H. (2008). Rice safety and heavy metal contents in the soil on "Top-Rice" cultivation area. Journal of Food Hygiene and Safety, 23(3), 239-247.

Tchai, B. S. (1990). Food safety and health, Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 19(5), 509-518.

Ullrich, S. M., Ramsey, M. H., & Helios-Rybicka, E. (1999). Total and exchangeable concentrations of heavy metals in soils near Bytom, an area of Pb/Zn mining and smelting in Upper Silesia, Poland. Applied Geochemistry, 14(2), 187-196.

Won, K. P., Kim, C. M., Sho, Y. S., Seo, S. C., Chung, S. Y., You, S. Y., Song, K. H., Kim, J. S., Kim, H. D., & Kim, K. S. (1995). The study on the trace metal contents in food-On the trace metals contents of cereals, pulses, potatoes, vegetables and fruits in Korea. The Report of National Institute of Health, 32(2), 456-469.