Korean J. Soil Sci. Fert. Vol.50, No.5, pp.401-408, 2017

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.5.401
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Comparison of Heavy Metal(loid)s Contamination of Soil between Conventional and Organic Fruit Farms

Hyun Ho Lee, Keun Ki Kim, Yong Bok Lee[1], Youn Sig Kwak[1], Byong Gu Ko[2], Sang Beom Lee[2], Chang Ki Shim[2], and Chang Oh Hong*
Department of Life Science & Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 54063, Korea
[1]Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
[2]Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

***Corresponding author:** soilchem@pusan.ac.kr

Received: September 18, 2017
Revised: October 17, 2017
Accepted: October 31, 2017

A B S T R A C T

Organic amendments such as animal waste compost, lime-bordeaux mixture, and lime sulphur mixture contain heavy metal(loid)s which are toxic to human being, animal, and plant. The objective of this study was to compare heavy metal(loid)s contamination of soil between conventional and organic farm. Soil samples were collected from 10 conventional and 38 organic fruit farms. At each sampling point, top (0~15 cm) and sub soil (15~30 cm) were taken using hand auger. Total concentration for arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), nikel (Ni), lead (Pb), and zinc (Zn) in the collected soil were measured. The pollution index (PI) for heavy metal in organic farms indicated it was unpolluted area. However, mean value of PI for organic farms (0.143) was higher than that for conventional farms (0.122). High Geoaccumulation index (I*geo*) for Cu, Pb, and Zn implied that grape farms were more polluted than others fruit farms because a lot of lime-bordeaux mixture and lime sulphur were applied in organic grape farms. Especially, top soils showed higher level of contamination than sub soil. Based on the above results, organic amendments might cause accumulation of heavy metals in soil. Therefore, particular attention should be paid for concentration of Cu, Pb, and Zn, when organic amendments are used in the organic fruit farms.

Keywords: Accumulation, Copper, Organic amendment, Zinc

Comparison of total heavy metal(loid)s concentrations in soil of conventional (C) (n=20) and organic (O) (n=76) farming in different depth of soils from five fruit farms (*Values with same letter within a row are not significantly different at p = 0.05*).

Value	Soil depth (cm)	Heavy metal (mg kg^{-1})							
		Cu		Ni		Pb		Zn	
		C	O	C	O	C	O	C	O
Min	0~15	5	7	3.2	7.5	13	15	31	34
	15~30	5	6	2.6	6.5	13	6	37	29
Max	0~15	47	123	77	47	54	157	129	189
	15~30	12	61	78	53	87	105	91	132
Mean	0~15	17a	31a	26a	22a	21b	48a	69a	93a
	15~30	12a	18a	17a	25a	27a	26a	56a	67a
Warning criteria†		150		100		200		300	

†Warning criteria value: Maximum permissible concentration of heavy metal in soil established by Korean Soil Conservation Act.

© The Korean Society of Soil Science and Fertilizer. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

2013년에 발표된 국제유기농운동연맹 (IFOAM)에 따르면 세계 유기농식품 시장규모는 720억 달러로 2008년에 약 50% 증가하였고, 매년 20% 내외로 지속적으로 성장하고 있다 (Lockeretz, 2007; Willer and Yussefi, 2007). 우리나라 또한 유기농산물 재배 면적이 2000년 296 ha에서 2014년 기준 18,603 ha로 우리나라의 농경지 면적이 지속적으로 감소하는 추세임에도 불구하고 유기농업농가의 증가는 폭발적이라고 할 수 있다. 더불어 유기농업자재 산업은 2001년부터 5년마다 정부에서 계획 후 추진하고 있는 '친환경농업육성 5개년 계획'에 따라 급속도로 성장하고 있으며, 향후 2020년에는 약 6조 6천억 규모로 2012년 대비 두배에 달할 것으로 전망된다 (Joo et al., 2010; Jung et al., 2014).

유기농업자재의 원료는 식물성, 동물성, 미생물, 화합물과 광물질로 나눠져 있는데 토양개량 및 작물 생육용 유기농업자재의 주 원료는 돈분, 계분, 우분과 같은 가축분뇨이며 Ko and Kim (2016)에 따르면, 돈분 내 비소 (As)의 함량은 12 mg kg^{-1}, 구리 (Cu)의 함량은 286 mg kg^{-1}, 아연 (Zn)의 함량은 884 mg kg^{-1}으로 나타났고, 가금류의 분뇨 내 Cu 함량은 86 mg kg^{-1}, Zn의 함량은 361 mg^{-1}으로 보고되었다. 또한, 병해충 방제용 유기농업자재의 주 원료는 보르도액, 수산화동, 산염화동과 같은 화합물이며 Lee et al. (2017)에 따르면, 석회보르도액 내 Cu의 함량은 845 mg kg^{-1}, Zn의 함량은 3,477 mg kg^{-1}으로 보고되었다. 현재 우리나라에서는 유기농업자재 내 유해물질을 관리하기 위해 국립농산물품질관리원에서 유기농업자재 공시 기준의 이화학시험성적서 (-유해성분)에 따라 심사 및 인증을 하는데 토양개량 및 작물생육용 자재는 건물중 기준 비소 (As) 20 mg kg^{-1}, 카드뮴 (Cd) 2 mg kg^{-1}, 납 (Pb) 50 mg kg^{-1}, 구리 (Cu) 120 mg kg^{-1}, 니켈 (Ni) 20 mg kg^{-1}, 아연 (Zn) 400 mg kg^{-1}으로 중금속 기준을 적용 관리하고 있다. 하지만 석회보르도액과 유황합제와 같이 병해충 방제용에 대한 기준이 없어 무분별하게 제조 및 사용되고 있다.

현재까지 축분퇴비 투입에 따른 토양 내 중금속 축적에 관한 연구는 대부분 관행농가에서 이루어졌으며, 유기농업자재의 처리에 따른 중금속 축적에 관련된 연구가 미비하다. 또한 과수농가에서 사용되는 병해충 방제용 유기농업자재는 중금속 농도 기준이 없고 대표적으로 사용되는 석회보르도액 및 유황합제의 사용 권장량 조차 설정되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 유기농업자재를 사용하는 과수농가와 관행농가를 비교하여 유기농업자재의 사용에 따른 토양 중금속의 오염정도를 파악하고자 실시되었다.

Materials and Methods

시료채취 과수농가 지역 및 토양 시료채취와 중금속 분석방법 본 연구의 대상지역은 우리나라의 대표적 과실 재배 지역인 5곳으로 밀양 (사과), 김천 (포도), 제주 (귤), 나주 (배), 창원 (단감)을 선정하였다. 토양 시료의 채취는 유기농업농가 총 38지점과 관행농가 총 10지점에서 실시하였으며 과수의 종류별 조사대상 농가수는 Table 1과 같다. 선정된 지역 내 유기농업농가와 관행농가의 토양을 채취 시 대표성을 가지기 위해 동일 필지 내 3개의 지점에서 채취 후 혼합하여 중금속 함량 분석에 사용하였다. 토양 시료채취는 유기물을 걷어 낸 후 표토 (0~15 cm)와 심토 (15~30 cm)를 핸드 오거 (지름 6.6 cm)를 이용하여 채취하였다. 토양 시료는 자연건조 후 2 mm 입도로 체를 통과시켜 사용하였다. 중금속 분석은 토양오염공정시험법에 준하여 토양시료를 150 mesh 이하로 분쇄하여 사용하였다. 토양시료 3 g에 왕수 (HNO_3:HCl, 1:3) 28 ml를 가하여 분해하였다 (Ministry of Environment, 2010; US-EPA, 1996). 분해된 시료의 중금속은 ICP-OES (Inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer, Perkinelmer ICP optima 5300DV, United states)로 정량 하였다.

Table 1. The number of selected fruit farm for soil sampling.

Fruit farms	Number of fruit farm	
	Conventional	Organic
Apple	2	6
Grape	1	8
Mandarin	2	10
Pear	2	7
Persimmon	3	7
Total	10	38

토양 중금속 함량 회수율 검증 본 실험에서는 중금속 분석법의 정확성을 평가하기 위하여 토양 내 중금속 함량에 대한 표준인증물질 (BAM-U112a)을 위에 제시한 방법으로 분석하였다. 표준인증물질 (BAM-U112a)을 분석한 결과, 평균 회수율이 As의 경우 96%, Cd은 104%, Cu는 96%, Pb와 Zn은 102%로 나타났다. 토양 분해 시료 내 중금속 함량은 ICP-OES (Inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer, Perkinelmer ICP optima 5300DV, United states)를 이용하여 측정하였다.

토양 중금속의 오염도 평가 유기농업농가의 토양 내 중금속 오염정도를 관행농가와 비교하기 위해 중금속별 오염상태에 대한 상대적인 지수로 표현 할 수 있는 오염지수 (Pollution index, PI)와 지화학적 농축계수 (Index of geoaccumulation, I*geo*)를 각각 계산 하였다 (Gowd and Govil, 2010; Krishna and Govil., 2008; Loska et al., 2004; Muller., 1979; Nikolaidis et al., 2010; Xingxing et al., 2013). 토양 중금속 오염의 정도를 평가하는 방법 중에서 오염지수 (PI)는 중금속의 허용한계치 (Tolerance level)를 이용하여 토양오염 정도를 평가하는 방법으로 중금속 항목별 허용 한계치는 Table 2를 근거로 하여 오염지수를 평가하였고, 환산식은;

$$\text{오염지수 (PI)} = \Sigma \frac{Heavy\,metal\,(loid)s\ Conc.\,in\ soil}{The\ number\ of\ heavy\ metal\,(loid)s} \quad \text{(Eq. 1)}$$

이다. 오염지수의 값은 크게 두 부류로 오염지와 비오염지로 나눌 수 있다 (Table 3).

Table 2. Tolerance level of heavy metal(loid)s.

Heavy metal(loid)s	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Concentration (mg kg^{-1})	20	3	100	50	100	300

(Reference: Kloke, 1979)

지화학적 농축계수는 (Index of geoaccumulation, I*geo*) 기준배경 (background) 토양의 중금속함량을 이용하여 중금속 오염 축적도를 평가할 수 있다. “1.5” 상수는 기원물질의 중금속 함량변화를 보정하기 위한 보정 상수이며 환산식은;

$$\text{지화학적 농축계수 (I}geo) = \log_2\left(\frac{Heavy\,metal\,(loid)s\ Conc.\,of\ Sample\ soil}{1.5\,X\ \ heavy\,metal\,(loid)s\ Conc.\,of\ background\ soil}\right) \quad \text{(Eq. 2)}$$

이다. 산출된 I*geo* 값은 Muller (1979)에 의해 제시된 Index of geoaccumulation을 이용하여 평가하였고 분류는 비오염 (Unpolluted), 근접오염 (Unpolluted to Moderately polluted), 중간오염 (Moderately polluted), 주의오염 (Moderately to highly polluted), 경보오염 (Highly polluted), 대책오염 (Highly to very highly polluted), 위험오염 (Very highly polluted)으로 나누었다 (Table 3).

Table 3. Classification criterion of PI, and I*geo*.

Assessment method	Classification	Level of concentration / pollution
PI	PI < 1	Unpolluted
	PI > 1	Polluted
Igeo	I*geo* ≤ 0	Unpolluted
	0 < I*geo* ≤ 1	Unpolluted to moderately polluted
	1 < I*geo* ≤ 2	Moderately polluted
	2 < I*geo* ≤ 3	Moderately to high polluted
	3 < I*geo* ≤ 4	High polluted
	4 < I*geo* ≤ 5	High to very high polluted
	5 < I*geo*	Extremely polluted

(Reference: Kloke et al., 1979; Muller et al., 1979)

통계분석 과수농가별 유기농업농가와 관행농가의 토양 내 총 중금속 함량의 통계분석을 위해 statistix 통계프로그램 (version 9.0)을 이용하였다. 조사구 평균값 간의 차이를 비교하기 위하여 조사된 자료는 ANOVA 검증을 통하여 분석하였다. F-test 결과 값이 $p < 0.05$의 범위에서 유의한 경우에만 최소 유의차 검정 (LSD)을 실시하였다.

Results and Discussion

토양 내 중금속 함량 유기농업자재를 사용하는 유기농업 과수농가와 관행농가의 토양 내 중금속 함량을 비교하기 위해 총 중금속함량을 측정하여 비교하였다 (Table 4). 관행농가와 유기농업농가의 토양 내 As와 Cd은 검출 한계 미만이거나 소량으로 존재하였다. 또한 6종의 중금속 모두 토양환경보전법의 우려기준을 초과하지 않았다. 세부적으로 보면, Ni의 함량은 관행농가와 유기농업농가 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 유기농업농가의 표토 (0~15) 내 Cu와 Pb의 평균 함량은 관행농가에 비해 약 2배가량 높았으며, 유기농업농가의 표토 내 Zn의 평균함량은 관행농가 대비 25% 높았다. 관행농가 대비 유기농업농가의 표토 내 Cu, Pb, Zn의 함량은 10~15% 높은 반면 심토 내 함량은 1~5% 높았다. 심토보다 표토에 더 많은 중금속이 축적된 것은 유기농업자재의 투입에 기인된 것으로 판단된다. 특히 유기농업농가에서 많이 사용되고 있는 가축분 퇴비, 보르도액, 황화동은 Cu, Pb, Zn 등의 중금속을 함유하고 있다. 이러한 유기농업자재의 투입은 토양 내 Cu, Pb, Zn의 함량을 증가시킨다고 보고되었다 (Brock et al., 2006; Genevini et al., 1997; Ko and Kim, 2016; Lee et al., 2017).

Table 4. Comparison of total heavy metal(loid)s concentrations in surface (0~15 cm) and sub (15~30 cm) soils of conventional (C) (n=20) and organic (O) (n=76) farms (*Letters in row for mean value are for C and O comparison. Values with same letter within a row are not significantly different at p = 0.05*).

Value	Soil depth (cm)	Heavy metal (mg kg^{-1})											
		As		Cd		Cu		Ni		Pb		Zn	
		C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O
Min	0~15	0	0	tr†	tr	5	7	3.2	7.5	13	15	31	34
	15~30	0	0	tr	tr	5	6	2.6	6.5	13	6	37	29
Max	0~15	2.6	2.4	tr	tr	47	123	77	47	54	157	129	189
	15~30	1.7	6.5	tr	tr	12	61	78	53	87	105	91	132
Mean	0~15	0.3a	0.4a	tr	tr	17a	31a	26a	22a	21b	48a	69a	93a
	15~30	0.2a	0.7a	tr	tr	12a	18a	17a	25a	27a	26a	56a	67a
Warning criteria‡		25		4		150		100		200		300	

†tr: trace.
‡Warning criteria: Established by soil environmental conservation act of Korea.

토양 중금속 오염도 평가 중금속의 허용한계치 (Table 2)를 근거로 토양 중금속의 오염상태를 상대적인 지수로 표현한 오염지수 (PI) 값은 토양에서 외부환경으로부터 유입되어 나타날 수 있는 복합적인 중금속 오염정도를 정량화하기 위한 목적으로 도입되었다 (Kloke, 1979). 오염지수 (PI)의 값이 1보다 크면 중금속 오염 지역이고, 1 이하는 비오염지역으로 구분 할 수 있다. 본 연구에서 나타난 PI 값은 대체로 0.35 이하로 측정되어 비오염지역으로 판단되며, 관행농가와 유기농업농가간의 PI 수치를 비교해보면 상대적으로 유기농업농가의 PI 수치가 더 높은 것으로 나타났다 (Table 5).

Table 5. Pollution index (PI)s of conventional and organic farm.

Pollution index	Value		
	Min	Max	Mean
Conventional farm	0.032	0.213	0.122
Organic farm	0.037	0.34	0.143

유기농업농가의 토양을 오염지 토양으로 설정하고 환경부에서 조사한 우리나라 자연 배경농도지점 토양의 중금속 함량 (ME, 2014)을 기준배경토양으로 설정하여 상대적인 중금속 오염정도를 산출한 값이 지화학적 농축계수 (Index of geoaccumulation, I*geo*)이다. Fig. 1과 같이 과수별 I*geo* 값을 비교한 결과 포도 재배지에서 가장 높은 값을 나타냈고 다음으로 높은 곳은 귤 재배지로 확인된다. 또한 포도 재배지에서만 명확하게 심토보다 표토의 I*geo* 값이 높은 것으로 나타났다. 사과와 배, 단감 재배지에서는 I*geo* 값이 비오염 또는 근접오염으로 낮은 단계에 분류되었고 표토와 심토 간의 차이도 적은 것으로 확인되었다. 본 연구결과 뿐만 아니라 이전 연구에서도 유기농 포도 재배지의 토양 내 중금속 함량이 관행농가에 비해 높은 것으로 보고되었다 (Deluisa et al., 1996; Pietrzak et al., 2004; Romic et al., 2004; Rusjan et al., 2007). 이러한 결과의 주요한 원인은 포도 재배 농가에서 포도 흰가루병의 예방과 응애 방제를 위해 사용되는 석회보르도액과 유황합제에 의한 것으로 판단된다 (Buchanan and Amos, 1992; Emmett et al., 1992).

본 연구에서 채취한 전체 토양시료에 대한 I*geo* 값을 오염단계별 해당 농가수를 구분해 본 결과 (Fig. 2), 총 유기농업 38개 농가 중 11개 농가에서 중간오염 단계를 초과한 것으로 나타났다. 좀 더 자세히 보면, Cu와 Pb을 제외한 중금속들의 경우 표토와 심토 모두 I*geo* 값이 비오염에서 근접오염 단계로 낮게 나타났다. 그에 반해, Cu와 Pb의 경우 더 높은 수준의 오염단계에 해당하는 유기농업농가가 존재하며 심토보다 표토에서 높은 오염단계의 농가가 더 많은 것을 확인할 수 있었고, 이는 유기농업농가의 표토에서 Cu와 Pb이 더 많이 축적되었다고 판단된다.

본 연구는 시험포장이 아닌 실제 유기농업농가와 관행농가를 대상으로 실시한 것으로 유기농업자재의 권장량 및 사용량에 관한 기준이 없어 정확한 유기농업자재 투입량에 대한 정보 수집이 불가능하였다. 그러나 본 연구에서는 관행농가와 유기농업농가의 토양 내 중금속 함량과 오염정도의 차이를 비교할 수 있었다. 추후 토양의 건전성과 중금속 안전 농산물 생산을 위한 유기농업자재의 사용량 설정에 대한 추가적인 연구가 실시되어야 할 것으로 판단된다.

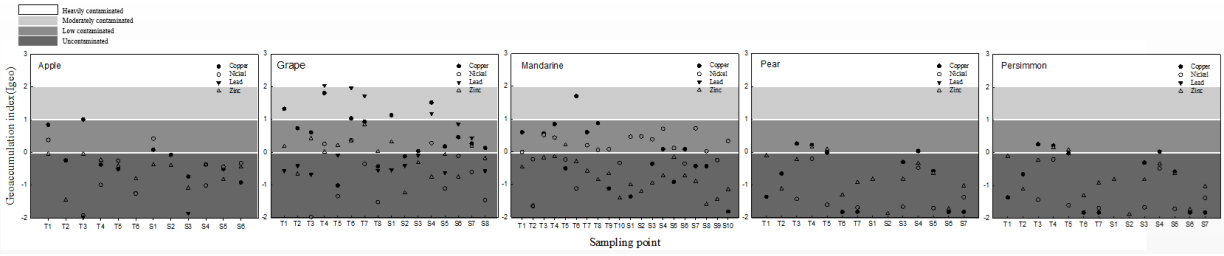

Fig. 1. Index of geoaccumulation (I*geo*) of heavy metal(loid)s concentration in soil (T: topsoil, S: subsoil) of different fruit farms.

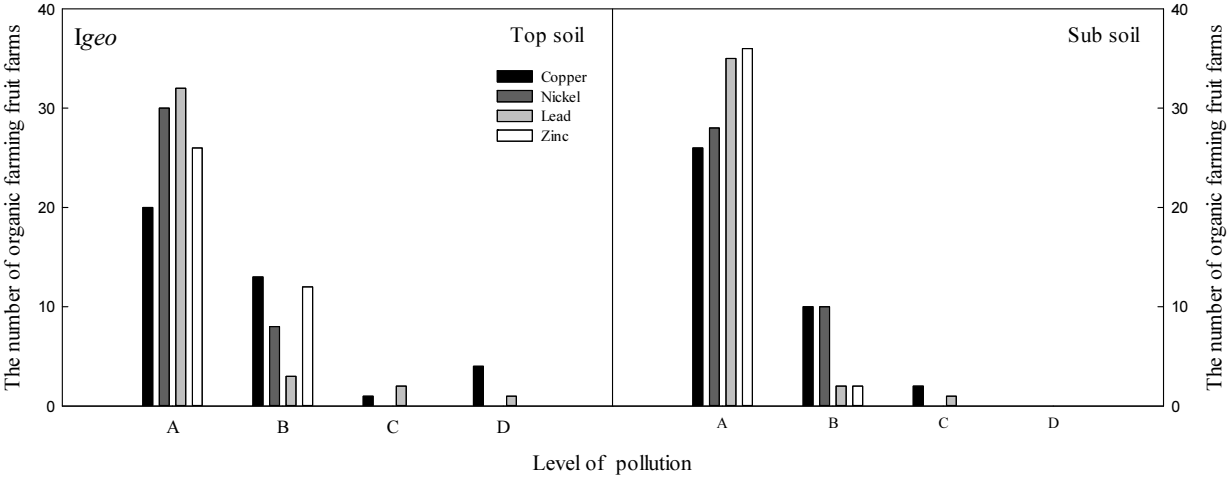

Fig. 2. A number of organic farming fruit farms with level of contamination / pollution of I*geo* (A: Unpolluted, B; Unpolluted to Moderately, C; Moderately, D; Moderately to High) in soils.

Conclusion

본 연구는 유기농업농가의 토양 내 중금속 오염도를 평가한 것으로, 유기농업농가의 PI지수는 비교적 관행농가보다 높지만 오염지역으로 나타나지 않았다. 그러나 관행농가를 기준배경토양으로 계산한 I*geo* 값에 따르면 유기농업농가의 토양 내 Cu, Pb, Zn의 오염정도가 높게 나타났다. 또한 오염도가 높은 유기농업농가에서 심토 (15~30 cm) 보다

표토 (0~15 cm)의 오염정도가 더 높고, 이는 Cu, Pb, Zn이 포함된 유기농업자재의 투입에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 관행농가에서 사용하는 일반농업자재와는 달리 기준이 명확하지 않은 유기농업자재에 대한 중금속 농도 기준 및 사용 권장량 설정에 대한 연구가 조속히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01082704)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Brock, E.H., Q.M. Ketterings, and M. McBride. 2006. Copper and zinc accumulation in poultry and dairy manure-amended fields. Soil Sci. 171(5):388-399.

Buchanan, G.A. and T.G. Amos. 1992. Grape pests, p. 209-231. In: Coombe, B.G. and Dry, P.R. (ed.) Viticulture: Vol. 2 practices, Winetitles, Adelaide SA, Australia.

Deluisa, A., P. Giandon, M. Aichner, P. Bortolami, L. Bruna, and A. Lupetti. 1996. Copper pollution in Italian vineyard soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27:1537-1548.

Emmett, R.W., A.R. Harris, R.H. Taylor, and J.K. McGechan. 1992. Grape diseases and vineyard protection. p. 232-278. In: B.G. Coombe and P.R. Dry (ed.), Viticulture, Practices, Vol. 2, Winetitles, Adelaide Sa. Australia.

Genevini, P.L., F. Adani, D. Borio, and F. Tambone. 1997. Heavy metal content in selected European commercial composts. Compost Sci. Util. 5(4):31-39.

Gowd, S.S., M.R. Reddy, and P.K. Govil. 2010. Assessment of heavy metal contamination in soils at Jajmau (Kanpur) and Unnao industrial areas of the Gang plain Uttar Pradesh, India. J. Hazard. Mater. 174:113-121.

Joo, J.H., J.S. Son, and G.S. Im. 2010. Assessment of soil according to application of public announced organic materials. Korean J. Soil Sci. Fert. 1:304 (abstract).

Jung, W.K., D.J. Ahn, J.K. Choi, T.S. Ryu, M.H. Jang, T.R. Kwon, J.H. Park, and S.J. Park. 2014. Effects of repetitive using lime bordeaux mixture in the copper concentration of the soil and ginseng root. Korean J. Pestic. Sci. 18(4):404-408.

Kloke, A. 1979. Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soil: paper presented at United Nations-ECE Symp.

Ko, J.K. and K.Y. Kim. 2016. Heavy metals contents and chemical characteristics in compost from animal manures. J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg. 26(2):170-177.

Krishna, A.K. and P.K. Govil. 2008. Assessment of heavy metal contamination in soils around Manali industrial area, Chennai, Southern India. Environ. Geol. 54:1465-1472.

Lee, H.H., K.K. Kim, Y.B. Lee, Y.S. Kwak, B.G. Ko, S.B. Lee, C.K. Shim, and C.O. Hong. 2017. Accumulation of heavy metals in soil growing for red pepper (*Capsicum annuum*) with using lime bordeaux and lime sulphur mixture. Korean J. Soil Sci. Fert. 50:318-324.

Lockeretz, W. 2007. What explains the rise of organic farming?, p.1-9. In: CAB books. Organic farming: an international history. Stylus Pub. Llc., Oxford Univ. Pr. UK.

Loska, K., D. Wiechula, and I. Korus. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. Environ. Int. 30:159-165.

ME (Ministry of Environment) Republic of Korea. 2014. Survey results of soil pollution and soil contamination 2013. ME, Incheon.

Muller, G. 1979. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. Geojournal. 2:108-118.

Nikolaidis, C., I. Zafiriadis, V. Mathioudakis, and T. Constantinidis. 2010. Heavy metal pollution associated with an abandoned lead-zinc mine in the Kirki region, NE Greece. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 85:307-312.

Pietrzak, U. and D.C. McPhail. 2004. Copper accumulation, distribution and fractionation in vineyard soils of Victoria, Australia. Geoderma, 122:151-166.

Romić, M., D. Romić, and G. Ondrašek. 2004. Heavy metals accumulation in topsoils from the wine-growing regions - Relationship between soil properties and extractable copper contents. Agriculturae Conspectus Scientificus 69(2-3):35-41.

Rusjan, D., M. Strlič, D. Pucko, and Z. Korošec-Koruza, 2007. Copper accumulation regarding the soil characteristics in Sub-Mediterranean vineyards of Slovenia. Geoderma 141(1-2):111-118.

Willer, H. and M. Yussefi. 2007. The World of organic agriculture: Statistics and emerging trends 2007. International Federation of Organic Agriculture Movements, Bonn, Germany.

Xingxing, H., Z. Yi, and J. Hongbing. 2013. Distribution, speciation, and risk assessment of selected metals in the gold and iron mine soils of the catchment area of Miyun reservoir, Beijing, China. Environ. Monit. Assess. 185:8525-8545.