

Research Article

Open Access

돈분액비 연용 농경지 중 중금속 함량 모니터링

고우리,¹ 김지영,¹ 류지혁,¹ 이지호,² Anitha Kunhikrishnan,¹ 이정미,¹ 김계훈,³ 김두호,¹ 김원일^{1*}

¹국립농업과학원 화학물질안전과, ²국립환경과학원 새만금지방환경청, ³서울시립대학교 환경원예학과

Monitoring of Heavy Metals in Agricultural Soils from Consecutive Applications of Commercial Liquid Pig Manure

Woo-Ri Go,¹ Ji-Young Kim,¹ Ji-Hyock Yoo,¹ Ji-Ho Lee,² Anitha Kunhikrishnan,¹ Jeong-Mi Lee,¹ Kye-Hoon Kim,³ Doo-Ho Kim¹ and Won-Il Kim^{1*} (¹Chemical Safety Division, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea, ²Saemangeum Regional Environmental Office, National Institute Environment Research, Jeonju 560-870, Korea, ³Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea)

Received: 24 August 2012 / Accepted: 19 September 2012
© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: Increase of heavy metals in agricultural ecosystem has become a social issue nationwide as it is related to public health. This study was performed to find out the status and long-term trends with consecutive application with the commercial liquid pig manure in the agricultural fields.

METHODS AND RESULTS: Heavy metals including arsenic, cadmium, copper, lead, nickel, and zinc were analyzed in the 41 samples of paddy fields and 54 samples of upland fields consecutively applied with commercial liquid pig manure for 0 to 16 years. Heavy metal accumulation were not increased statistically at the both paddy and upland fields as the consecutive application year of commercial liquid pig manure were increased. However, some of surveyed upland soils exceeded the criteria of cadmium, copper, and zinc designated by the Soil Environmental Conservation Act in Korea.

CONCLUSION: Therefore, analysis of heavy metals, specially copper and zinc, in agricultural fields is absolutely necessary before liquid pig manure application to the fields. In addition, heavy metal accumulation in agricultural fields following

to the long-term application of liquid pig manure will be monitored periodically considering with bioavailability of copper and zinc to the crops as an essential nutrients.

Key Words: Agricultural soil, Heavy metals, Liquid pig manure, Soil pollution criteria

서론

최근 식량에 대한 패러다임이 수량 및 품질에서 안전성과 기능성으로 전환되고 있고, 이에 따라 안전 농산물 생산에 대한 국민의 관심 증대와 함께 농산물 생산에 투여되는 농업 자재의 안전성 확인이 필요한 시점이다. 현재 우리나라 가축분뇨 발생량이 연간 46,534천 톤이며, 이중 양돈분뇨가 전체 38%인 17,843천 톤을 차지하고 있으며, 가축분뇨의 86.6% 정도인 40,286천 톤이 퇴·액비로 재활용되어 유기물과 질소의 공급원으로 이용되고 있다(MAFF, 2010).

그러나, 동물의 분뇨 혹은 사체와 같은 유기물을 이용한 퇴비의 제조과정에서 적절한 숙성과정을 거치지 않고 비료로 사용될 경우 토양, 지하수, 관계용수를 오염시키며, 이는 농산물 오염의 원인이 될 수 있지만, 가축분뇨 퇴·액비 이용에 따른 영농 및 인체에 대한 안전성 조사가 미흡한 실정이다. 농산물 안전성과 관련하여 우리나라 뿐만아니라, CODEX(Codex Alimentarius Commission) 및 EU(European Union) 국가 등에서 농경지 토양 등 농업환경 및 농산물에 대한 중금속 등의 유해물질 규제기준이 확대되고 있으며 나아가 영농에 사용되는 농자재에 대한 관리기준 설정이 시급하다. 최근까지

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

액비로써 화학비료의 소요량을 대체할 수 있는 시용효과와 벼, 배추, 고추 등 다양한 작물 재배에서 토양환경에 미치는 영향에 대한 연구는 상당히 수행되어 왔다(Jeon et al., 2003; Lim et al., 2009; Lim et al., 2010; Kwon et al., 2010). 그러나, 가축분뇨 액비의 중금속 함량에 관한 전국적인 현황에 대한 조사가 일부 지역적으로 제한되어 있고(Kim et al., 2004; Kang, 2007; Lee et al., 2011), 액비 이용에 따른 농경지의 중금속 축적정도, 중금속 축적에 따른 작물의 피해사례, 인체에 대한 안전성 조사 및 관리방안 설정 등의 연구는 극히 미흡한 실정이다. 이에 따라 본 연구는 국내 유통되는 액비의 장기적인 시용 포장에 대한 중금속의 현황을 모니터링하고, 이를 통해 액비 내 유해물질의 농산물로의 전이를 경감시키는 연구의 기초 자료를 확보하여 안전농산물 생산에 기여하기 위해 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

시료채취

분석용 토양은 액비시용 논토양 41점, 밭토양 54점, 총 95점의 시료를 2010년과 2011년에 채취하였다(Fig.1). 토양시료는 표토 5~15 cm 깊이에서 각 지점별로 3개씩 채취하였고, 이를 혼합하여 복합시료를 만들었다. 액비시용 포장에서의 액비를 연용한 횟수는 Table 1과 같다.

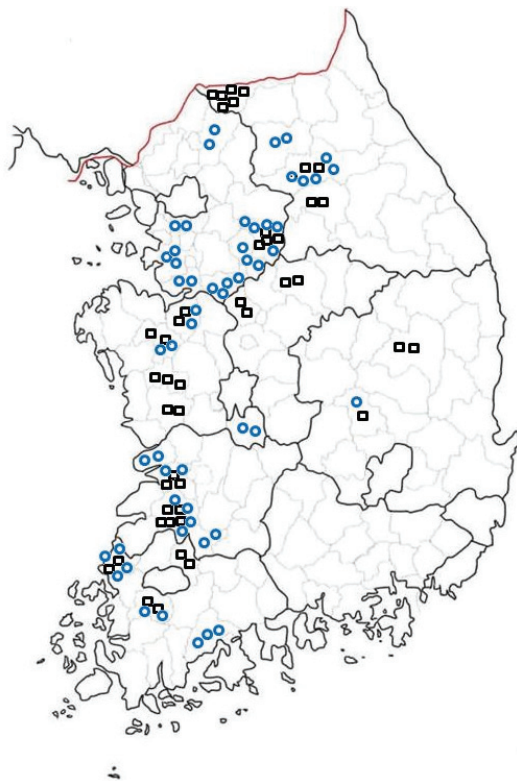


Fig. 1. Sampling sites of paddy and upland soils at the different consecutive application year within the commercial liquid pig manure in Korea. (□ : paddy soils, ○ : upland soils).

Table 1. Sample Numbers of paddy and upland soils at the different consecutive application year within the commercial liquid pig manure in Korea

Applying Years	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	Sum
Paddy soil	10	1	6	8	3	0	1	1	1	4	0	4	0	2	0	41
Upland soil	2	2	9	9	7	1	1	5	0	5	5	0	4	2	2	54

시료 전처리 및 분석

토양시료는 풍건하면서 멍쳐진 부분을 손이나 고무망치로 부순 후, 2 mm와 0.074 mm 체를 이용하여 순차적으로 체질한 후, 전처리 시료로 사용하였다. 토양의 일반 화학성분 분석은 '토양 및 식물체 분석법'에 준하였다(NIAST, 2000). 침출법은 200 mL 삼각플라스크에 토양 5 g을 칭량하여 0.1 N HCl(비소는 1 N HCl)을 25 mL을 넣고 1시간 진탕한 후, No. 40 여과지(Whatman, Buckinghamshire, UK)로 여과한 후, 그 여액을 중금속 분석 시료로 사용하였다. 중금속 전 함량법은 염산과 질산을 3:1 비율로 넣은 왕수 분해법으로 환류냉각장치(Kjeldatherm, C. Gerhardt GmbH & Co., Northants, UK)를 이용하여 분해하였다. 반응 용기에 토양 3 g을 칭량하여 증류수 0.5~1 mL로 적서준 후, 염산 21 mL와 질산 7 mL을 주입하여 30°C에서 2시간 침지시킨 후, 서서히 온도를 높여 90°C에서 2시간 가열하고 냉각하여 No. 40 여과지(Whatman, Buckinghamshire, UK)로 여과한 후, 0.5 M 질산으로 정용하여 ICP-OES(GBC Integra-XMP, Braeside, Australia)를 이용하여 중금속 함량을 분석하였다.

통계분석

토양 내 중금속 축적량과 액비 시용 년수와의 단순 상관성을 추정하기 위해 Microsoft Office Excel ver. 2007(Microsoft Co. USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

돈분액비를 연용한 논토양의 유해 중금속을 관리하는 방안을 마련하고자 전국적으로 액비를 장기 연용한 연차별 토양 41점을 채취하여 토양의 화학성분을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 우리나라 일반 논토양과 비교하여 치환성 Mg과 K는 높게 나타났으며 유효인산은 낮게 나타났고 그 외 성분은 유사한 수준을 보였다. 유해 중금속인 카드뮴, 크롬, 구리, 니켈, 납, 아연, 비소의 침출성 함량을 조사한 결과는 Table 3와 같다. 조사 논토양의 중금속의 침출성 함량과 분포는 비소 0.77(0.08~3.06), 카드뮴 0.16(0.01~0.37), 구리 4.46(1.38~7.72), 니켈 0.71(0.08~1.69), 납 5.73(2.16~10.01) 및 아연 4.82(1.16~12.10) mg/kg이었다. 이는 우리나라 토양환경보전법에서 제시되었던 기존의 침출성 함량 농경지 토양오염 기준에 대하여 납은 1/20수준, 비소, 카드뮴, 구리는 1/10수준으로 확인되어 안전한 수준이었고, 기존의 비오염 논토양의

침출성 중금속 함량조사 결과와 비교하여 뚜렷한 차이가 확인되지 않았다(RDA, 1999; RDA, 2003; RDA, 2007).

Table 2. Average contents and range of chemical properties in paddy soils collected with different consecutive application year of the commercial liquid pig manure in Korea

	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	Na
	(1:5) dS/m	g/kg	g/kg	mg/kg		cmol ⁺ /kg		
Ave.	5.9	0.56	19.9	80.2	5.38	1.83	0.60	0.42
Min.	5.3	0.23	7.2	8.0	2.65	0.62	0.14	0.26
Max.	7.0	1.45	29.0	204.6	11.93	4.18	2.46	0.67
2011 Ave. ¹⁾	5.9	0.51	26.0	131.0	5.1	1.3	0.30	0.35

¹⁾: Average values of chemical properties in the non-contaminated paddy soils(RDA, 2011)

Table 3. Average contents and range of extractable heavy metals in paddy soils collected with different consecutive application year of the commercial liquid pig manure in Korea

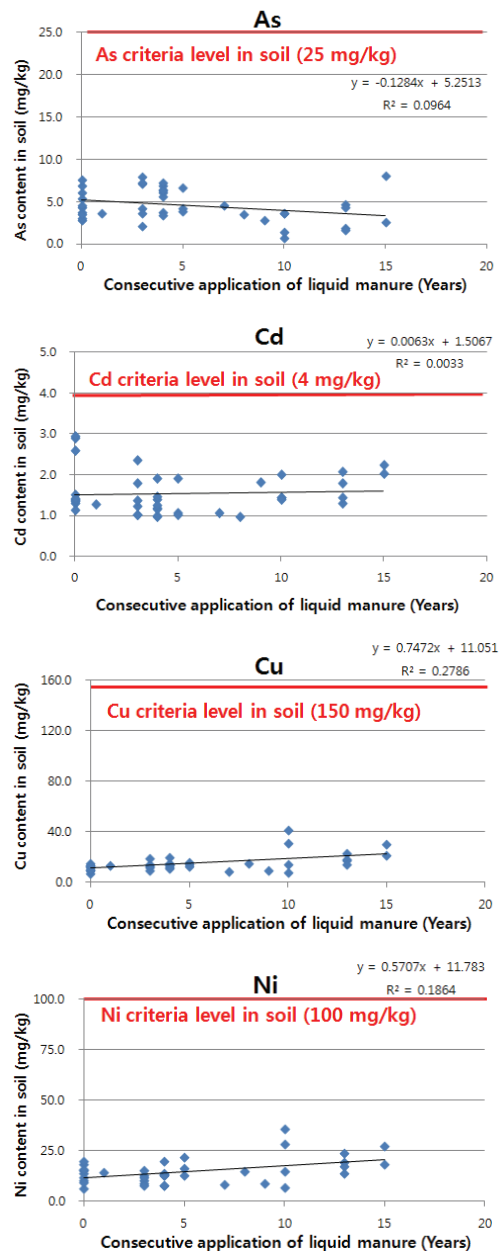
	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg/kg					
Ave.	0.77	0.16	4.46	0.71	5.73	4.82
Min.	0.08	0.01	1.38	0.08	2.16	1.16
Max.	3.06	0.37	7.72	1.69	10.01	12.10
2007 Ave. ¹⁾	0.87	0.08	3.33	1.19	4.95	4.67
2003 Ave. ²⁾	0.66	0.08	3.83	0.59	4.82	4.33
1999 Ave. ³⁾	0.59	0.11	4.70	0.67	4.84	4.47
Concern level for soil contamination ⁴⁾	6	1.5	50		100	
Countermeasure level for soil contamination ⁴⁾	15	4	125		300	
Ave./concern level*100(%)	12.8	10.4	8.9		5.7	

^{1) 2) 3)}: Average values of heavy metal content in paddy soils extracted by dilute acid(RDA, 1999, 2003, 2007)

⁴⁾: Korean regulation of soil contamination was changed from weak acid extractable content to total content basis in 2010(MOE, 2010)

조사 농토양의 평균 중금속 전함량과 분포는 비소 4.59(0.69~8.07), 카드뮴 1.54(0.96~2.95), 구리 14.92(6.89~41.62), 니켈 14.73(6.11~35.69), 납 29.15(5.91~46.33) 및 아연 49.65(24.49~89.56) mg/kg이었다(Fig. 2). 이런 결과는 우리나라 토양환경보전법에서 제시하는 농경지 토양오염 우려기준에 대하여 카드뮴은 평균 1/3수준, 비소 등 타 원소는 1/10~1/5수준으로 확인되었다(Fig. 3). 그러나, 이는 기존의 침출성 분석법에 의한 농경지 침출성 함량과 토양오염 우려기준과 비교하여 볼 때 카드뮴과 납의 경우 각각 1/10과 1/20

수준이었던 것으로 나타나 전함량으로 분석한 결과가 토양오염 우려기준에 침출성 함량보다 근접한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 농경지의 중금속 기준이 침출성에서 전함량으로 개정된 현재의 상황에서, 보다 신중한 농경지의 중금속 함량 모니터링이 수반되어야 할 것이다. 액비연용에 따른 년차별 변화에서 농토양 중금속 전함량은 모든 원소에서 증가하는 경향은 보이나 연도별 축적 차이를 통계적으로 확인할 수 없었다. 따라서 액비연용에 따른 중금속의 축적 여부는 더 장기적인 관점으로 계속 검토되어야 할 사항이다. 농토양의 화학 성분과 침출성 중금속 및 전함량과의 상관관계는 Table 4와 같다. 중금속 원소간의 차이가 상당히 있으나, 일반적으로 중금속의 작물 유효도에 영향을 미치는 유기물 함량과 일부 중금속의 침출성 중금속 및 전함량이 고도의 상관 관계를 보였다.



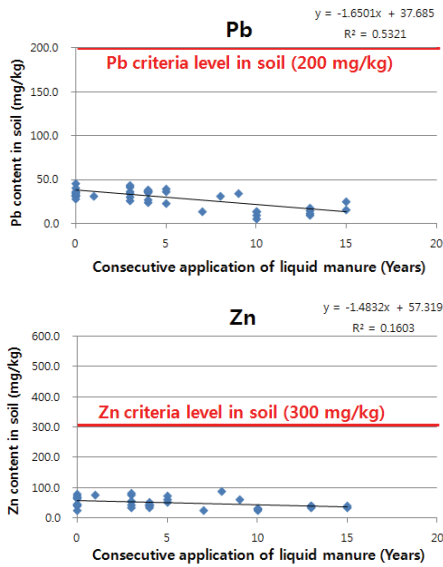


Fig. 2. Relationship between total heavy metal contents in paddy soils and the different consecutive application year within the commercial liquid pig manure in Korea.

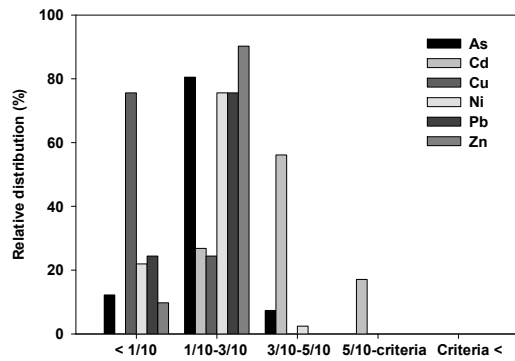


Fig. 3. Relative distribution(%) to criteria of heavy metal contents in paddy soils at the different consecutive application year within the commercial liquid pig manure in Korea.

Table 4. Correlation coefficient between heavy metal contents and chemical properties in upland soils collected with different consecutive application year of the commercial liquid pig manure in Korea(n=41)

	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	Na
Ext.-As	-0.098	0.225	0.435**	0.035	-0.023	0.280	0.121	0.076
Ext.-Cd	-0.269	0.075	0.603**	0.031	-0.052	-0.064	0.286	-0.059
Ext.-Cu	0.046	0.249	0.299	-0.094	0.008	0.221	0.230	0.324*
Ext.-Ni	-0.170	0.312*	0.401**	-0.425**	0.546**	0.843**	-0.073	0.588**
Ext.-Pb	-0.421**	0.016	0.392*	0.023	-0.342*	-0.122	0.061	-0.074
Ext.-Zn	0.169	0.243	0.019	0.047	0.199	0.087	0.509**	0.175
Tot.-As	0.143	0.072	0.437**	-0.355*	0.153	0.502**	0.153	0.332*
Tot.-Cd	0.284	0.027	-0.097	-0.186	0.259	0.207	0.327*	0.365*
Tot.-Cu	0.242	-0.063	-0.321*	-0.060	-0.068	-0.155	0.188	0.145
Tot.-Ni	0.230	-0.015	-0.299	-0.021	-0.129	-0.164	0.146	0.194
Tot.-Pb	-0.268	0.218	0.687**	-0.007	-0.111	0.273	0.096	0.107
Tot.-Zn	-0.379*	0.108	0.258	0.280	-0.392*	-0.253	0.142	-0.254

밭토양의 경우, 토양의 화학성분을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 우리나라 일반 밭토양과 비교하여 치환성 양이온의 함량이 높게 나타났으며 pH, 유기물 및 유효인산 함량은 유사한 수준을 보였다. 중금속의 침출성 함량과 분포는 비소 0.71(0.03~2.90), 카드뮴 0.07(nd~0.20), 구리 6.49(0.04~28.76), 니켈 0.81(nd~1.86), 납 2.65(nd~15.47) 및 아연 26.47(0.45~61.73) mg/kg이었다(Table 6). 이는 우리나라 토양환경보전법에서 제시되었던 기존의 침출성 함량 농경지 토양오염 기준에 대하여 납은 1/30수준, 카드뮴은 1/20수준, 비소, 구리는 1/10수준으로 확인되어 안전한 수준이었으나, 기존의 비오염 밭토양의 침출성 중금속 함량조사 결과와 비교하여 액비 연용포장에서 구리와 아연의 침출성 함량의 차이가 확인되었다(RDA, 2001; RDA, 2005; RDA, 2009). 중금속 평균 전함량과 분포는 비소 6.05(nd~18.00), 카드뮴 2.47(0.59~4.33), 구리 41.94(3.38~151.36), 니켈 21.23(6.95~67.23), 납 36.54(2.54~111.58) 및 아연 143.05(14.38~487.49) mg/kg이었다. 이는 우리나라 토양환경보전법에서 제시하는 농경지 토양오염 우려기준에 대하여 비소, 구리, 니켈, 납의 함량은 1/5~1/3수준, 카드뮴과 아연은 1/2수준으로 확인되었다. 토양환경보전법에서 제시되는 기준에 대해 침출성 분석법을 적용한 결과에 비해 전함량 분석법을 적용할 경우 토양오염 우려기준에 상당히 접근됨을 확인할 수 있어 세심한 주의가 필요하다. 이에 따른 액비 사용 전 토양 내 중금속 함량조사를 통해 사용 여부를 결정하는 체계의 도입이 필요하다. 또한, 액비연용에 따른 년차별 변화에서 밭토양 중금속 전함량은 논토양과 유사하게 연도별 축적 차이를 통계적으로 확인할 수 없었고, 앞에서 언급한 바와 같이 보다 장기적인 검토가 필요한 실정이다(Fig. 4). 밭토양의 화학성분과 침출성 중금속 및 전함량과의 상관관계는 Table 7과 같다. 논토양과 같이 중금속 원소간의 차이가 상당히 있으나, 일반적으로 중금속의 작물 유효도에 영향을 미치는 유기물 및 유효인산 함량과 일부 중금속의 침출성 중금속 및 전함량이 고도의 상관 관계를 보였다.

Table 5. Average contents and range of chemical properties in upland soils collected with different consecutive application year of the commercial liquid pig manure in Korea

	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	Na
	(1:5)	dS/m	g/kg	mg/kg		cmol ⁺ /kg		
Ave.	6.4	1.46	21.0	730.2	7.90	3.38	2.03	0.53
Min.	5.3	0.24	3.1	46.1	2.01	0.40	0.09	0.22
Max.	7.8	7.40	40.3	1527.2	18.06	6.84	6.83	0.67
2009 Ave. ¹⁾	6.2	0.85	24.0	679	5.9	1.8	0.79	1.95

¹⁾: Average values of chemical properties in the non-contaminated upland soils(RDA, 2009)

Table 6. Average contents and range of extractable heavy metals in upland soils collected with different consecutive application year of the commercial liquid pig manure in Korea

	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg/kg					
Ave.	0.71	0.07	6.49	0.81	2.65	26.47
Min.	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.45
Max.	2.90	0.20	28.76	1.86	15.47	61.73
2009 Ave. ¹⁾	0.67	0.08	3.18	0.68	1.89	15.7
2005 Ave. ²⁾	0.43	0.16	3.51	1.75	2.43	10.4
2001 Ave. ³⁾	0.42	0.08	3.17	2.55	2.54	10.6
Concern level for soil contamination ⁴⁾	6	1.5	50		100	
Countermeasure level for soil contamination ⁴⁾	15	4	125		300	
Ave./concern level*100(%)	11.8	4.7	13.0		2.7	

^{1) 2) 3)}: Average values of heavy metal content in upland soils extracted by dilute acid(RDA, 2001, 2005, 2009)

⁴⁾: Korean regulation of soil contamination was changed from weak acid extractable content to total content basis in 2010(MOE, 2010)

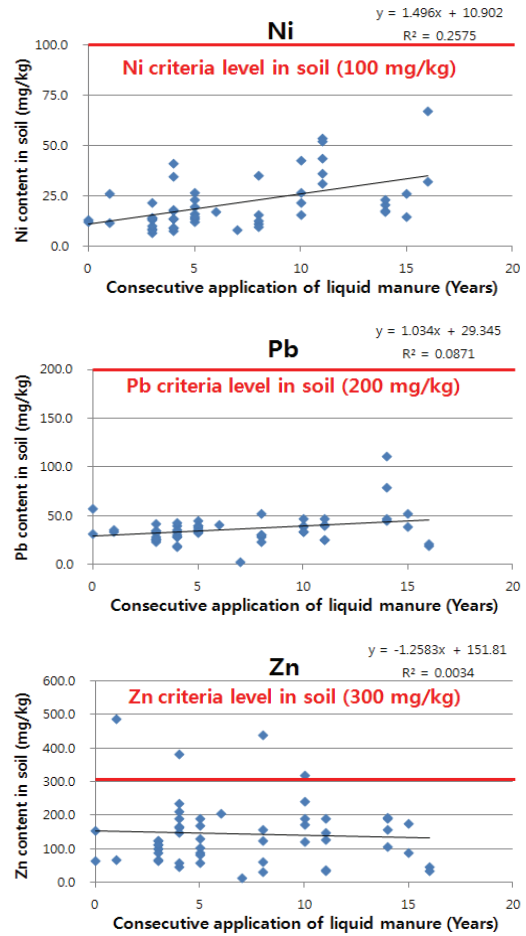
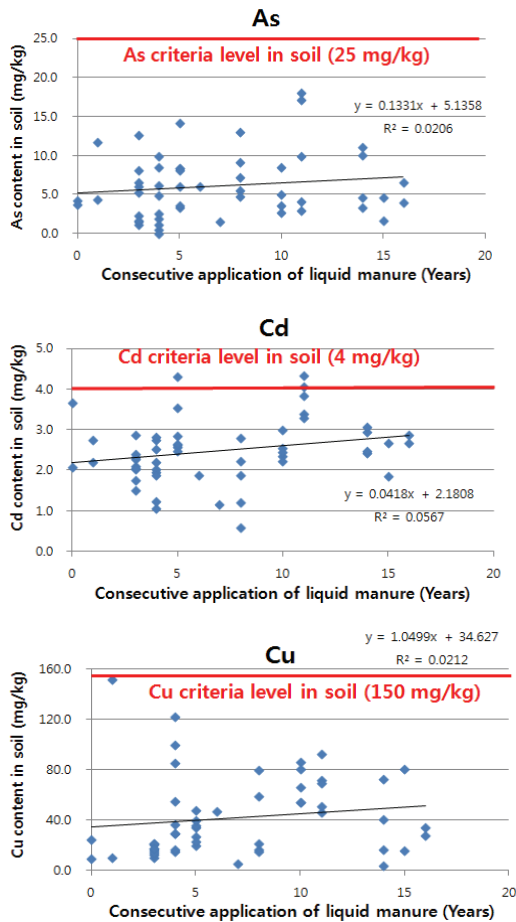


Fig. 4. Relationship between total heavy metal contents in upland soils and the different consecutive application year within the commercial liquid pig manure in Korea.

Table 7. Correlation coefficient between heavy metal contents and chemical properties in upland soils collected with different consecutive application year of the commercial liquid pig manure in Korea(n=54)

	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	Na
Ext.-As	0.073	0.180	-0.063	0.057	-0.003	-0.063	0.071	0.186
Ext.-Cd	0.205	0.070	0.452**	0.389**	0.308*	0.346*	0.120	0.114
Ext.-Cu	0.182	0.011	0.137	0.080	-0.197	0.010	0.186	-0.115
Ext.-Ni	0.165	0.054	0.361**	0.335*	0.015	0.190	0.199	0.028
Ext.-Pb	-0.102	-0.161	-0.160	-0.367**	-0.557**	-0.463**	-0.232	-0.299*
Ext.-Zn	0.228	0.252	0.288*	0.666**	0.275	0.449**	0.592**	0.308*
Tot.-As	-0.161	-0.015	0.076	-0.062	-0.180	-0.003	0.020	-0.210
Tot.-Cd	-0.057	-0.012	0.147	0.140	0.180	0.231	0.180	0.011
Tot.-Cu	0.267	0.141	0.579**	0.536**	0.458**	0.516**	0.191	0.087
Tot.-Ni	0.096	-0.014	0.100	0.325*	0.347*	0.287*	0.055	0.172
Tot.-Pb	-0.163	-0.137	0.205	0.086	0.015	0.053	0.038	-0.083
Tot.-Zn	0.344*	0.068	0.469**	0.430**	0.411**	0.414**	0.157	0.111

액비 시용한 일부 밭토양에서 토양오염 우려기준을 초과 하는 지점이 조사되어 액비 시용 전 토양 내 중금속 함량조사

를 통해 사용 여부를 결정하는 검토가 있어야 한다(Fig. 4, and Fig. 5). 이에 대한 필요성은 많은 유사연구 사례에서 확인할 수 있다. Kang(2007)은 국내 유통사료 및 돈분뇨의 중금속 함량 보고서에서 유통액비 52점의 구리함량이 평균 4.32(2.10~8.00) mg/kg, 아연 함량이 평균 15.77(4.22~53.07) mg/kg으로 '가축분뇨 발효액의 유해중금속 기준'인 구리 50 mg/kg과 아연 130 mg/kg을 초과하지 않음을 보고하였고, Kim 등(2004)도 제주지역 생산 액비의 구리함량이 0.75~38.33 mg/kg, 아연 함량이 0.78~45.87 mg/kg 범위로 기준을 초과하지 않음을 보고하였다. 그러나, 최근 Lee 등(2011)의 보고서에서 일부 유통액비의 구리 및 아연함량이 허용 기준치에 근접하거나 초과된 시료가 조사되어 관리가 요구되는 것으로 확인되었다. Jung 등(1996)은 퇴비 등 농업자재의 장기연용에 따른 토양 중 구리와 아연함량의 증가를 보고하였다. 또한, Kwon 등(2003)은 돈분퇴비의 장기 연용에 따른 토양 중 중금속의 집적정도를 1차함수와 로그함수로 추정하여 토양오염 우려기준의 도달 사용연수를 구리와 아연의 경우 1차함수로서 37년, 로그함수로서 100년 이상을 보고하였다. 국외의 유사한 연구결과에서 가축분뇨 퇴비의 중금속 모니터링을 수행하여 돈분퇴비의 구리 및 아연의 함량이 우분퇴비 및 계분퇴비에 비해 높았고, 카드뮴과 납 함량은 우분퇴비가 돈분퇴비 및 계분퇴비보다 높음을 보고하였다(Menzi and Kessler, 1998; Nicholson et al., 1999; Long et al., 2004). Dortzbach 등(2010)은 돈분퇴비 사용에 따른 농경지의 아연, 구리 및 망간 축적을 확인하고, 옥수수과 귀리를 대상으로 적절한 돈분퇴비 사용량을 결정하고 이에 대한 환경독성학적 위해성평가를 제안하였다.

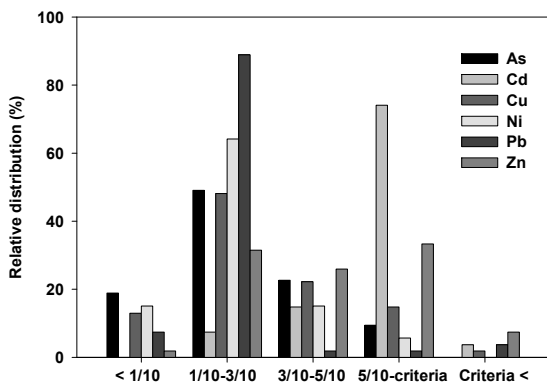


Fig. 5. Relative distribution(%) to criteria of heavy metal contents in upland soils at the different consecutive application year within the commercial liquid pig manure in Korea.

구리와 아연은 작물의 필수 미량원소로 부족할 경우 작물에 대한 결핍 증상이 나타날 수 있으나, 가축분뇨 퇴.액비를 활용한 영농이 활발한 지역에서 이들 농자재는 높은 농도의 구리와 아연으로 인한 과잉 축적이 우려된다. 과잉 축적될 경우 우수농산물관리제도(Good Agricultural Practice, GAP) 및 친환경농업에서 요구되는 재배환경의 안전성과 관련하여

토양의 축적과 작물로의 과잉 흡수이행 또한 우려된다. 따라서 이들의 상관관계와 더불어 이들 원소에 대한 작물의 유효도를 구명하여 적절한 사용수준을 결정하기 위한 노력이 필요하다.

요 약

본 연구에서는 돈분 액비를 연용한 논토양 및 밭토양의 유해 중금속을 관리하는 방안을 마련하고자 전국적으로 액비를 장기 사용한 연차별 논토양 41점과 밭토양 54점을 채취하여 유해 중금속인 카드뮴, 구리, 니켈, 납, 아연, 비소의 함량을 조사하였다. 액비연용에 따른 연차별 변화에서 논토양 및 밭토양 중금속 전함량은 원소별로 일부 증가하는 경향은 보이나 연도별 축적 차이를 통계적으로 확인할 수 없었다. 그러나 액비연용에 따른 중금속 특히 구리 및 아연의 축적 여부는 이들이 식물영양에 필수 원소로 작용함을 고려하여 보다 장기적인 관점으로 계속 검토되어야 할 사항이다. 그러나 일부 밭토양에서 토양오염 우려기준을 초과하는 지점이 조사되어 액비 사용 전 토양 내 중금속 함량조사를 통해 사용 여부를 결정하여야 할 것이다.

감사의 글

This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ007448022012 and PJ007205)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

참고문헌

Cang, L., Wang, Y.J., Zhou, D.M., Dong, Y.H., 2004. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province, China. *J. of Environ. Sci.* 16(3), 371-374.

Dortzbach, D., Leis, C.M., Comin, J.J., Filho, P.B., Pereira, M.G., 2010. Accumulation of zinc, copper and manganese in soil fertilized with pig manure and urea in southern state of Santa Catarina (Brazil). *Proc. 19th World Congress of Soil Science*, Brisbane, Australia

Jeon, W.T., Park, H.M., Park, C.Y., Park, K.D., Cho, Y.S., Yun, E.S., Kang, U.G., 2003. Effects of liquid pig manure application on rice growth and environment of paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5), 333-343.

Jung, G.B., Kim, B.Y., So, K.H., Lee, J.S., Yeon, B.Y., Chung, Y.K., 1996. Content of heavy metal in paddy soil and brown rice under long-term fertilization. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(2), 150-157.

Kim, M.C., Song, S.T., Hwang, K.J., 2004. Evaluation of slurry, urine and fermented liquid manure at

- pig farms in Jeju area regarding chemical composition and pollution level, *J. Anim. Sci. & Technol.* 46(3), 469-478.
- Kwon, Y.R., Kim, J., Ahn, B.K., Lee, S.B., 2010. Effect of liquid pig manure and synthetic fertilizer on rice growth, yield, and quality, *Korean J. Environ. Agri.* 29(1), 54-60.
- Lee, J.H., Go, W.R., Kunhikrishnan, A., Yoo, J.H., Kim, J.Y., Kim, W.I., 2011. Chemical composition and heavy metal contents in commercial liquid pig manures, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6), 1085-1088.
- Lim, T.J., Lee, I.B., Kang, S.B., Park, J.M., Hong, S.D., 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of Chinese cabbage, *Korean J. Environ. Agri.* 28(3), 227-232.
- Lim, T.J., Lee, I.B., Kang, S.B., Park, J.M., Hong, S.D., 2010. Effects of fertigation of pig slurry on growth and yield of Red pepper, *Korean J. Environ. Agri.* 29(3), 227-231.
- MAFF(Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries), 2010. Discharges amounts of livestock manure and resource recycling.
- Menzi, H. Kessler, J., 1998. Heavy metal content of manures in Switzerland, in: Martinez, J. Maudet, M.N. (Eds), Proc. 8th International Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98), Rennes, France.
- MOE(Minister of Environment), 2009. Standard test method for soil contamination. Public Ordinance 333.
- MOE(Minister of Environment), 2010. Soil Environment Conservation Act. (revised)
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology), 2000. *Methods of soil and plant analysis*, pp. 103-130, Korea.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., Unwin, R.J., 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales, *Bioresource Technology* 70, 23-31.