

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.3.226>  
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

# Investigating Heavy Metal Levels of Greenhouse Soils Using Long-Term Livestock Manure

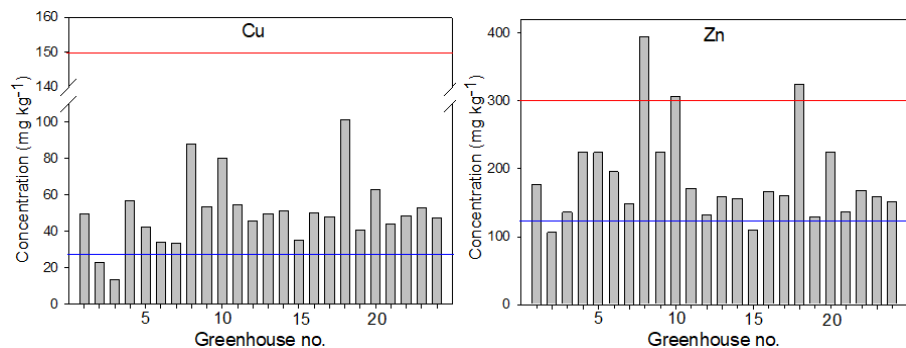
Myeong Seok Jeong<sup>1†</sup>, Mina Lee<sup>2†</sup>, Chaw Su Lwin<sup>1</sup>, Namhee Yi<sup>3</sup>, Taehee Baek<sup>3</sup>, and Kwon-Rae Kim<sup>4\*</sup><sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Plant Resource, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea<sup>2</sup>Research Professor, Agri-Food Bio Convergence Institute, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea<sup>3</sup>Undergraduate Student, Department of Smart Agro-Industry, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea<sup>4</sup>Professor, Agri-Food Bio Convergence Institute, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea\*Corresponding author: [kimkr419@gnu.ac.kr](mailto:kimkr419@gnu.ac.kr)

†These authors contributed equally to this work.

## ABSTRACT

**Received:** July 28, 2023**Revised:** August 24, 2023**Accepted:** August 28, 2023**Edited by**Hyuck Soo Kim,  
Kangwon National University,  
Korea**ORCID**Mina Lee  
<https://orcid.org/0000-0003-0185-9194>Kwon-Rae Kim  
<https://orcid.org/0000-0003-4818-2520>

The use of eco-friendly compost, such as livestock manure, has increased due to the environmental pollution of chemical fertilizers. However, many farmers use livestock manure and inorganic fertilizer together, leading to excessive soil nutrients. Also, livestock manure includes heavy metals, so the long-term use of livestock manure could increase heavy metal levels, particularly in greenhouse soils. Therefore, this study aims to investigate heavy metal concentrations in greenhouse soils using long-term livestock manure. The soils were collected from 24 greenhouses applying livestock manure for 5 - 32 years in Gyeongnam province, Korea. The chemical characteristics and heavy metal concentrations of the soils were analyzed. As a result, soil pH, organic matter, available phosphorus, and exchangeable-Ca, Mg, and K of most soils were higher than the average values of greenhouses in Gyeongnam. The As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn levels of the studied soils also exceeded Gyeongnam greenhouses' average values. Moreover, Zn concentrations of three greenhouse soils were 394.4 mg kg<sup>-1</sup>, 305.3 mg kg<sup>-1</sup>, and 323.2 mg kg<sup>-1</sup>, which exceeded the Korean Zn threshold of 300 mg kg<sup>-1</sup>. The levels of Cu in these three soils showed higher values than in other soils, so the accumulation of Cu and Zn was mainly concerned with applying livestock manure. Thus, the soils using long-term livestock manure would be recommended for regular monitoring for food safety.

**Keywords:** Crop safety, Heavy metal, Soil contamination, Urban garden soil

Copper and zinc concentrations of 24 soils collected from greenhouse using manure compost (red line: Korean threshold value, blue line: average of Gyeongnam greenhouse soil).



## Introduction

우리나라는 무기질 비료에 대한 부정적 인식이 강하고 유기질 비료 지원 정책이 강화되면서 가축분퇴비의 사용량이 증가하였다. 가축분퇴비는 질소 0.6 - 3.3%, 인산 1.2 - 4.9%, 칼리 0.3 - 3.0%를 함유하여 작물 생산에 직접적인 도움을 주며, 토양 물리성을 개선하고 토양 생물상을 활성화시켜 토양환경 자체를 증진시키는 이점이 있다 (Aziz et al., 2010; Kang et al., 2011; Lee et al., 2012; Qian et al., 2012; Kim et al., 2014). 하지만 농가에서 무기질비료와 가축분퇴비를 동시에 사용하면서 토양에 양분 불균형과 같은 문제가 발생하고 있다. 작물생산에 필요한 양분은 무기질비료로 투입하고 가축분퇴비는 토양질 개선의 목적으로 사용하면서 가축분퇴비에 의한 추가 양분 투입량을 인식하지 못하는 경우가 많다. 또한, 양분 투입을 목적으로 가축분퇴비를 사용하는 농가에서 질소를 기준으로 투입량을 결정하면 토양에 인산이 과잉으로 투입되는 문제가 있다 (Ahn et al., 2013). 가축분퇴비를 사용하면 토양의 전기전도도, 유기물, 유효인산, 교환성 양이온 함량이 증가한다는 보고가 있으며 (Lee et al., 2004; Yang et al., 2008) 추가 투입된 양분이 주변 수계로 흘러 들면 부영양화와 같은 환경오염을 야기할 수 있다 (Qian et al., 2018). 뿐만 아니라, 가축분퇴비에는 중금속과 항생제가 들어있어 장기간 사용 시 이들 물질이 토양에 축적될 가능성이 높다 (Kim et al., 2011; Bai et al., 2015; Pan and Chu, 2017). 가축 사료에 포함된 중금속이 가축의 소화기관을 거쳐 분뇨와 함께 배출되고 이 분뇨가 퇴비화 과정을 거친 후 농경지에 투입되어 토양 중 중금속 부하량을 증가시키는 것이다 (Nicholson et al., 2003; Xu et al., 2013). 가축분퇴비의 양분 및 중금속 함량은 가축분 종류, 가축분과 부재료의 혼합 비율 등에 따라 달라지며 계분과 돈분의 중금속 함유량이 우분보다 높은 편이다 (Nam et al., 2010).

가축분퇴비를 장기간 사용한 농가의 토양에는 가축분퇴비 유래 중금속이 축적되었을 가능성이 높다. 따라서, 본 연구는 경상남도 가축분퇴비 장기 연용 농가의 토양을 채취하여 퇴비 사용연한 및 총 사용량 등에 따른 토양의 이화학적 특성과 중금속 농도 부하량 증가를 평가하였다.

## Materials and Methods

**토양 시료 채취** 토양 시료는 경상남도 진주시, 고성군에 있는 가축분퇴비 장기 연용 시설하우스에서 2022년 11 - 12월에 걸쳐 채취하였다. 진주 10곳, 고성 14곳 총 24곳에서 채취하였으며 농가가 사용하는 가축분퇴비의 종류는 계분 1농가, 돈분 1농가, 우분 5농가, 혼합분 17농가였다. 각 농가별 가축분퇴비 종류 및 연용 기간은 설문을 통해 조사하였고 그 결과는 Table 1과 같다. 토양 시료는 대표성을 위해 시설하우스 필지를 3등분하여 오거로 표토 (0 - 20 cm)를 채취한 뒤 혼합하여 분석에 이용하였다.

**Table 1.** Manure compost application status of studied greenhouse.

Study site no.	Manure	Period of use years	Amount kg 10a <sup>-1</sup> (year)	Total amount of application kg 10a <sup>-1</sup> (total period)
G1	Cattle	16	908	14,520
G2	Poultry	10	151	1,513
G3	Swine	7	3,630	25,410
G4	Combined	12	605	7,260
G5	Combined	24	3,630	87,120

**Table 1.** Manure compost application status of studied greenhouse. (Continued)

Study site no.	Manure	Period of use years	Amount kg 10a <sup>-1</sup> (year)	Total amount of application kg 10a <sup>-1</sup> (total period)
G6	Cattle	12	1,008	12,100
G7	Combined	32	2,723	87,120
G8	Cattle	32	15,125	484,000
G9	Cattle	32	6,050	193,600
G10	Cattle	32	6,050	193,600
G11	Combined	8	2,420	19,360
G12	Combined	8	3,025	24,200
G13	Combined	8	4,840	38,720
G14	Combined	5	6,050	30,250
G15	Combined	6	5,445	32,670
G16	Combined	8	3,933	31,460
G17	Combined	7	2,118	14,823
G18	Combined	6	3,025	18,150
G19	Combined	7	3,025	21,175
G20	Combined	9	3,933	35,393
G21	Combined	8	4,840	38,720
G22	Combined	8	4,840	38,720
G23	Combined	9	3,630	32,670
G24	Combined	7	3,630	25,410

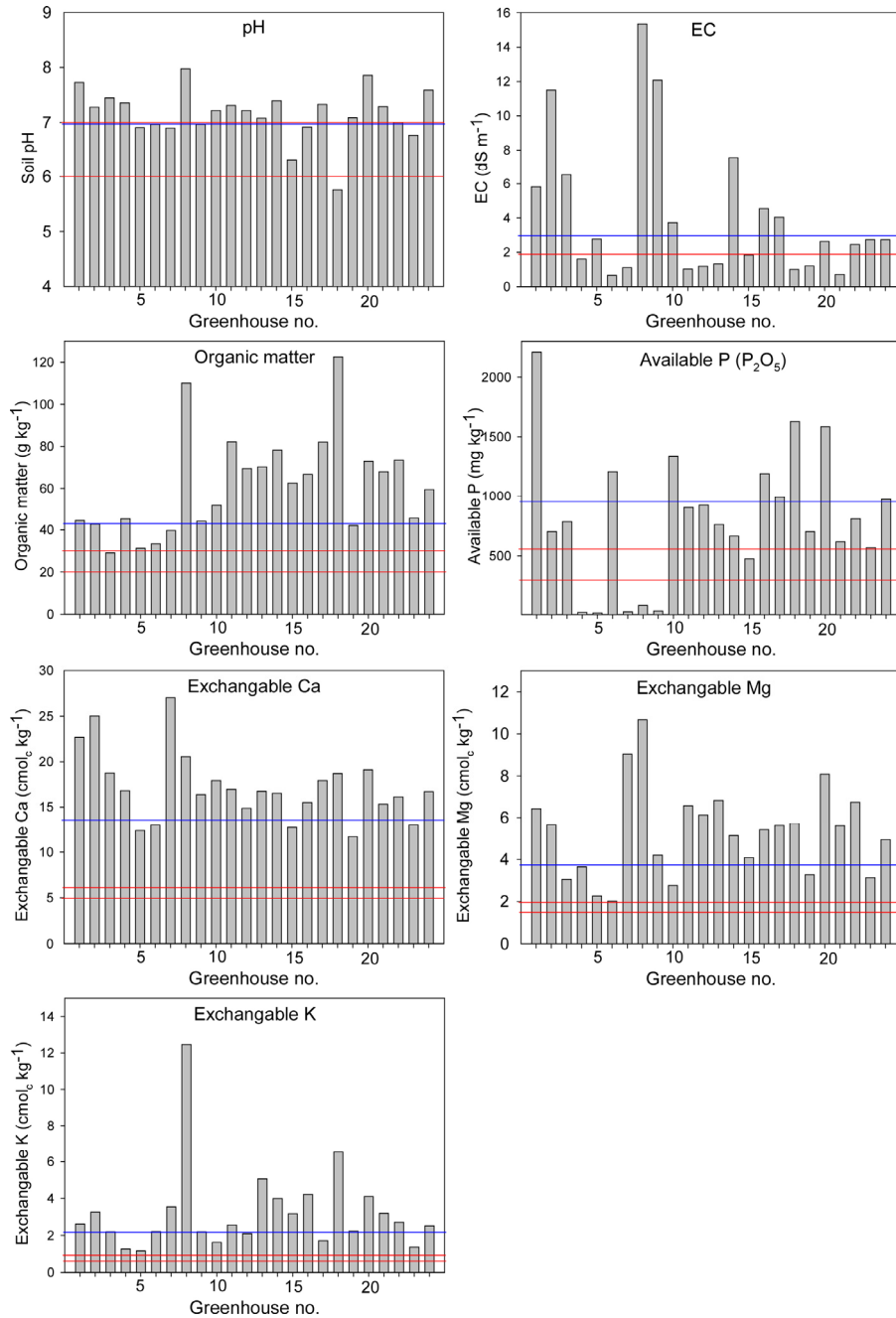
**토양 분석** 토양은 완전히 건조하여 2 mm 체를 통과시킨 후 분석에 이용하였다. 토양 화학성을 알아보기 위해 표토 시료의 pH, 전기전도도 (electrical conductivity, EC), 유기물, 유효인산, 교환성 양이온 (Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) 함량을 분석하였으며, 표토의 중금속 전함량을 분석하였다. 토양 pH와 EC는 1:5법 (w/w)을 이용하여 pH meter (S210, Mettler-Toledo, Switzerland)와 EC meter (S230, Mettler-Toledo, Switzerland)로 측정하였고 EC 값은 측정값에 5를 곱하여 구하였다. 토양 유기물 함량은 대용량원소분석기 (vario MACRO cube, Elementar, Germany)로 직경 500 µm 이하의 토양입자 중 탄소 함량을 측정하여 계산하였다. 토양 중 유효인산 농도는 Lancaster법으로 추출 및 발색한 뒤 UV 분광광도기 (Specord 200 plus, analytikjena, Germany)로 측정 후 계산하였다. 교환성 양이온 함량은 1 N Ammonium acetate (pH 7.0) 침출법 및 Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP-OES, Avio200, Perkin Elmer, USA) 분석을 통해 측정하였다. 중금속 전함량은 환경부 토양오염공정시험기준에 의거하여 왕수분해법으로 토양을 분해 후 ICP-OES로 측정하였다 (ES, 2018). 분석과정을 검증하기 위하여 Montana SRM 2711a (National Institute of Standards & Technology) 표준시료와 공시료 (blank)를 함께 분석하였고 모든 원소가 90% 이상의 회수율을 나타냈다.

**데이터분석** 가축분퇴비 시용 농가 토양의 화학성을 경상남도 시설재배지 토양 평균 (RDA, 2021)과 농촌진흥청에서 발표한 밭토양 화학성 적정범위와 비교하였다. 중금속 농도 또한 경상남도 시설재배지 토양 평균 (Son et al., 2017) 및 토양환경보전법 우려기준 농도와 비교하였다. 회귀분석을 통해 토양 화학적 특성과 중금속 사이, 그리고

중금속 원소 사이의 상관관계를 분석하여 중금속 오염원이 동일물질인지 알아보려고 하였다.

## Results and Discussion

**가축분퇴비 장기연용 토양의 화학적 특성** 가축분퇴비를 장기 사용한 시설재배지 토양의 화학적 특성은 Fig. 1과 같다. 시설재배지 특성상 많은 농가가 우리나라 밭토양 화학적 특성 적정범위를 초과하는 것으로 나타났다. 이는



**Fig. 1.** Chemical characteristics of 24 soils collected from greenhouse using manure compost (red line: Korean guideline for optimal range, blue line: average of Gyeongnam greenhouse soil).

농자재 투입이 집약적으로 이루어지는 시설재배지의 특성이다. 가축분퇴비 사용 농가의 토양 pH는 17개 농가가 pH 적정범위 6.0 - 7.0을 벗어났으며 이 중 16개 농가는 경남 시설재배지 토양 pH 평균인 7.0을 초과하였다. 토양 EC는 14개 농가가 적정범위 2.0 dS m<sup>-1</sup> 이상의 값을 보였다. 이 중 9개 농가는 경남 시설재배지 토양 EC 평균인 3.0 dS m<sup>-1</sup> 보다도 높았으며, 특히 G2, G8, G9 농가는 10 dS m<sup>-1</sup> 이상으로 상당히 높은 값을 보였다. 시설재배지는 염류가 집적되기 때문에 토양 pH와 EC가 노지 토양보다 높게 나타나는데 경남 전체 시설재배지 평균보다 가축분퇴비 장기사용 시설재배지의 토양 pH와 EC가 높은 것은 가축분퇴비에 의한 추가 염류 집적에 의한 것으로 볼 수 있다. 이는 가축분퇴비를 장기간 처리한 토양 pH와 EC가 무처리구와 무기질비료 처리구에 비해 높은 경향을 보인다는 선행 연구 결과와 일치하였다 (Lee et al., 2020, 2021). 또한 가축분퇴비는 퇴비 종류에 관계없이 pH가 7.0 이상이고 (Kang et al., 2011), 수분 조절을 위해 퇴비제조에 이용되는 톱밥이 분해속도가 느려 토양 pH가 증가한다는 보고도 있다 (Kim et al., 2000). 가축분퇴비 사용 농가의 토양 유기물 함량은 23개 농가가 유기물 적정범위 20 - 30 g kg<sup>-1</sup>를 초과하였다. 24개 전체 시설재배지 토양 유기물 평균은 59.8 g kg<sup>-1</sup>로 경남 시설재배지 평균인 43 g kg<sup>-1</sup>의 약 1.4배였다. 가축분퇴비 사용 농가 토양에 유기물이 많이 축적된 것으로 볼 수 있으며 이 또한 기존 연구와 일치하였다 (Cho et al., 2021). 토양 중 유효인산은 8개 농가가 경남 시설재배지 유효인산 함량보다 높은 것으로 나타나 토양 pH나 유기물 함량에 비해 경남 시설재배지 평균을 넘는 농가 수가 적었다. 하지만 유효인산 함량은 농가별로 편차가 심하였다. G1은 유효인산 함량이 2,212 mg kg<sup>-1</sup>로 경남 시설재배지 토양 평균인 962 mg kg<sup>-1</sup>의 2배 이상, 밭토양 적정범위 300 - 550 mg kg<sup>-1</sup>의 4배 이상이었다. 하지만 이와 달리 G4, G5, G7, G8, G9 농가는 유효인산 함량이 적정범위에 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 가축분퇴비 사용 농가 토양의 교환성 양이온 함량은 모든 농가가 밭토양 적정범위를 초과하였다. 또한 교환성 Ca는 19개 농가, 교환성 Mg는 17개 농가, 교환성 K는 19개 농가가 경남 시설재배지 토양 평균도 초과하였다.

이렇듯 많은 수의 농가에서 토양 화학적 특성이 경남 시설재배지 토양 평균치를 초과하였다. 경남 시설재배지 토양 평균은 가축분퇴비를 이용하는 농가와 이용하지 않는 농가를 모두 포함하는 수치이다. 그러므로 본 연구에서 가축분퇴비 농가의 토양 특성이 경남 시설재배지 토양 평균을 넘었다는 것은 장기간의 가축분퇴비 사용이 토양의 화학성에 영향을 미치고 각종 양분이 과잉으로 축적되고 있음을 뜻한다. 이 중 G8 농가는 pH, EC, 유기물 함량, 교환성 양이온 함량이 다른 농가에 비해서 모두 높은 것으로 나타났다. G8 농가는 32년간 10a당 연간 15,125 kg의 우분을 사용 중으로 다른 농가에 비해 사용 기간이 길며 총 사용량도 월등히 많았다 (Table 1). 그러므로 가축분퇴비 사용이 양분 집적의 주요 원인인 것으로 볼 수 있다. 토양의 적정 양분 관리를 위해서는 주기적인 토양 모니터링을 수행하고 무기질비료와 가축분퇴비 사용량을 모두 고려하여 투입량을 결정해야 할 것이다.

**가축분퇴비 장기 연용 토양의 중금속 농도** 가축분퇴비 농가 토양의 중금속 농도를 Fig. 2에 나타냈다. 가축분퇴비 농가의 As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 농도 중 토양 중금속 우려기준을 초과하는 농가는 없었다. 하지만 많은 농가들이 경남 시설재배지 평균보다 높은 중금속 함량을 보였다. 24개 시설재배지에서 As와 Pb 농도는 각각 18개, 14개 농가에서 경남 시설재배지 평균인 2.7 mg kg<sup>-1</sup>, 15.9 mg kg<sup>-1</sup>을 초과하였다. As와 Pb에 대해서 G1 - 10 농가들은 경남 시설재배지 평균을 넘지 않거나 초과 수치가 크지 않았으나 G11 - 24 농가들은 모두 경남 시설재배지 평균을 초과하였다. G1 - 10은 진주시에 위치하고, G11 - 24는 고성군에 있는 농가들이라 토양 중 As와 Pb 축적량은 지역별로 차이가 큰 것으로 나타났다. 가축분퇴비 사용 농가의 Cd 농도는 19개 농가에서 경남 시설재배지 평균인 0.26 mg kg<sup>-1</sup>을 초과하였다. Cd 농도 최대값은 G18 농가의 0.59 mg kg<sup>-1</sup>로 경남 시설재배지 평균의 약 2배였다. 가축분퇴비 장기 사용 24개

농가의 Cr과 Ni 평균은 각각  $29.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $15.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 경남 시설재배지 평균인  $29.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $15.2 \text{ mg kg}^{-1}$ 와 비슷한 수치를 보였다. 경남 시설재배지 초과 농가도 Cr 14개, Ni 12개 농가로 다른 원소에 비해 초과 개수가 적었다. 이와 달리 Cu는 24개 농가 중 22개 농가가 경남 시설하우스 평균을 초과했으며 24개 농가 Cu 농도 평균도  $50.2 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 경남 시설재배지 Cu 평균  $22.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 보다 2배 높았다. Zn은 농가 중 토양환경보전법 상 우려기준을 초과하는 농가가 존재하였다. G8, G10, G18 농가는 Zn 농도가 각각  $394.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $305.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $323.2 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 Zn 우려기준  $300 \text{ mg kg}^{-1}$ 를 초과하였다. 또한 22개 농가가 경남 시설재배지 토양 Zn 평균 농도인  $108.3 \text{ mg kg}^{-1}$ 를 초과하였다.

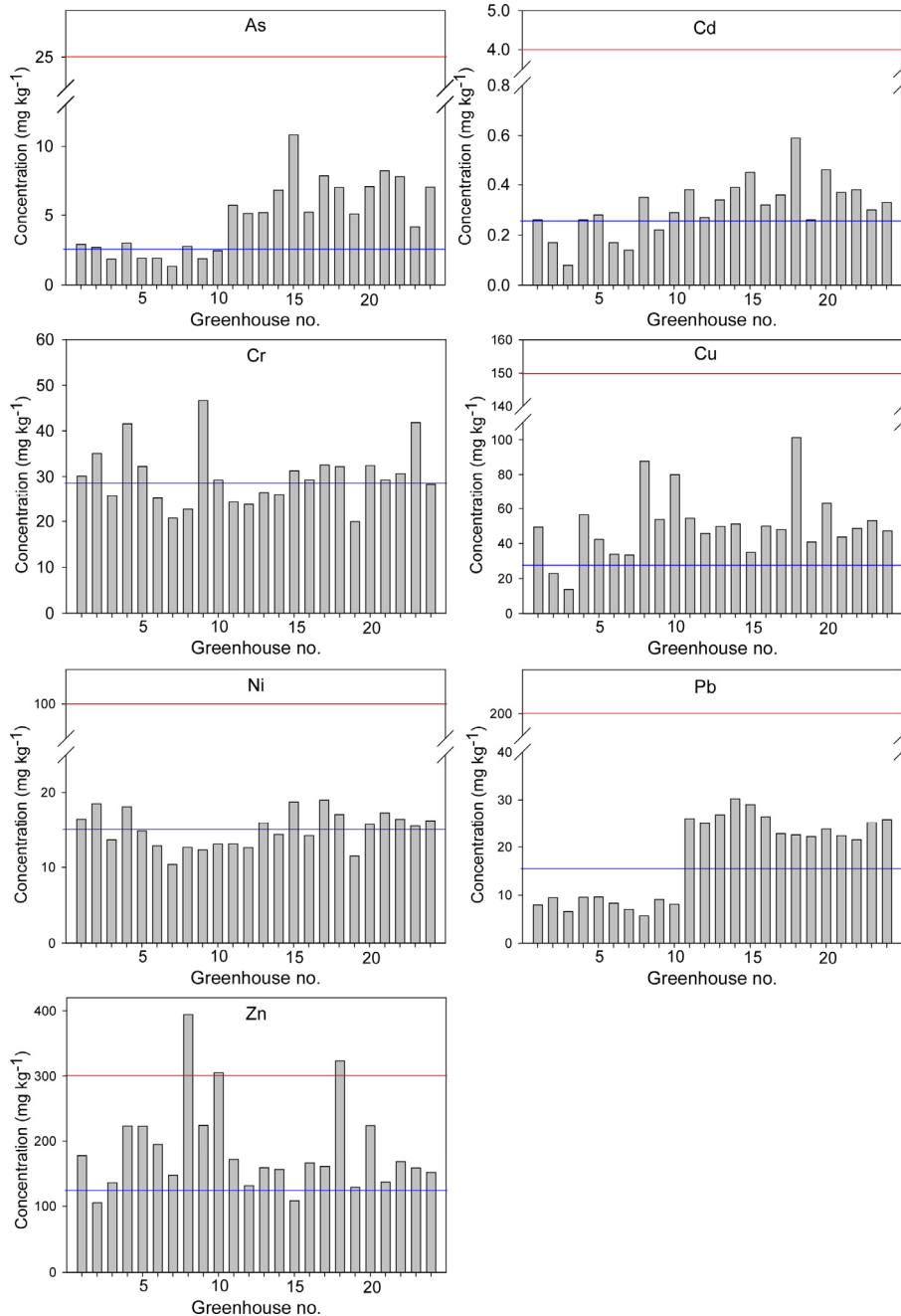


Fig. 2. Heavy metal concentrations of 24 soils collected from greenhouse using manure compost (red line: Korean threshold value, blue line: average of Gyeongnam greenhouse soil).

이와 같은 결과는 가축분퇴비 사용에 의해 토양에 중금속이 축적되고 있음을 보여주며 특히, Cu와 Zn의 축적 정도가 다른 중금속보다 높았다. Zn 우려기준을 초과한 G8, G10, G18 농가는 Cu 농도도  $87.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $80.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $101.3 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 다른 농가들보다 높은 것으로 나타났다. 그러므로 가축분퇴비에 의한 오염부하가 가장 잘 일어나는 원소는 Cu와 Zn인 것으로 볼 수 있다. 선행 연구에서 가축분퇴비를 장기간 사용한 농경지 토양의 Cu와 Zn 농도가 증가하였고 (Xu et al., 2013), Cu와 Zn 연간 농경지 투입량의 40%가 가축분퇴비로부터 비롯된다는 보고가 있었다 (Nicholson et al., 2003). 가축분퇴비의 중금속은 가축 사료에서부터 기인하는데, 가축의 생육을 돕기 위해 사료에 각종 원소가 보충되고 가축이 흡수하지 못한 원소가 가축분뇨로 배출되면서 농경지로 유입된다 (Nicholson et al., 2003). 특히, Cu와 Zn은 돼지의 생육을 촉진하고 항균작용을 하며 새끼 돼지의 건강증진 목적으로 돼지 사료에 필수로 추가되어 돈분에서의 함량이 높으므로 돈분 혹은 돈분이 들어간 혼합퇴비 사용 시 주의가 필요하다 (Nam et al., 2010; Ahn et al., 2013; Debski, 2016).

G8과 G10은 32년간 가축분퇴비를 사용한 농가로 (Table 1) 장기간의 퇴비 사용에 의해 Cu와 Zn 함량이 높아진 것으로 볼 수 있다. G18은 퇴비 사용기간이 6년으로 다른 두 농가보다 짧지만, 사용기간 및 사용량에 비해 유기물 함량이 상당히 많고 유효인산과 교환성 양이온 함량도 높았다 (Fig. 1). G18 농가는 2018년에 현 농가주인으로 바뀌어 가축분퇴비 사용량 설문조사에는 2018년부터의 사용량만 반영되어 있으나 2018년 이전에도 시설재배지로 활용되고 있었다. 2018년 이전의 가축분퇴비 사용 유무 및 사용량은 확인이 불가하지만 연구 결과로 보아 오랜 시간 무기질비료 및 가축분퇴비가 사용되었을 것으로 보인다.

**토양 화학적 특성 및 중금속 원소간 상관관계** Fig. 3은 가축분퇴비 장기 사용 농가 토양의 화학성과 중금속, 그리고 중금속 원소 사이의 상관관계 분석결과 중  $R^2$ 값이 높았던 As와 Cd, Cu와 Zn, Cu와 유기물 함량 사이 상관관계를 나타낸다. As와 Cd 사이  $R^2$  값은 0.60, Cu와 Zn 사이는 0.72로 두 원소들 사이에 상당히 높은 상관관계가 나타났다. 특히 Cu와 Zn 사이 상관관계의 결과는 앞서 Cu와 Zn 농도가 높았던 시설재배지에 두 원소가 동일한 source에 의해 토양에 투입되었다는 것을 의미하므로 Cu와 Zn이 가축분퇴비에 의해 동시에 축적되고 있다는 사실을 뒷받침한다. Cu와 유기물 사이의 상관관계에서는  $R^2$ 값이 0.53으로 나타났다. 유기물의 축적 또한 장기간 가축분퇴비 사용이 원인이었으므로 Cu와 유기물 사이의 상관관계는 Cu 유입원이 가축분퇴비임을 다시 한 번 알려주는 결과이다.

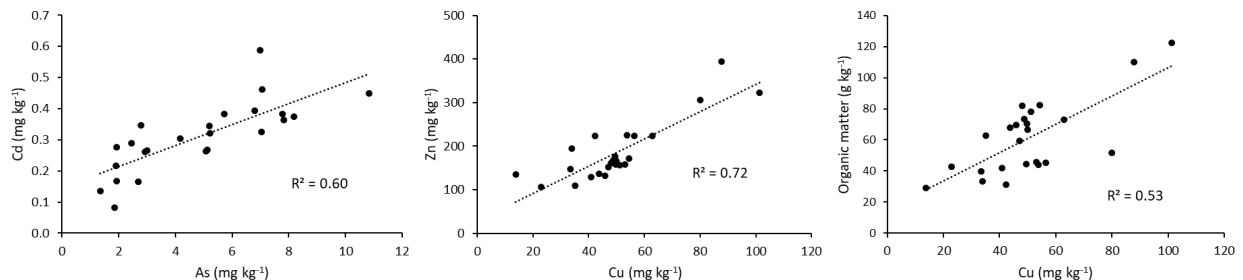


Fig. 3. Linear relationship between As-Cd, Cu-Zn, and Cu-organic matter content in studied soils.

## Conclusions

본 연구는 경상남도 진주와 고성에서 가축분퇴비를 장기 사용하고 있는 농가를 대상으로 가축분퇴비 장기 사용이 중금속 부하량 및 토양 화학적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 수행되었다. 가축분퇴비 장기 연용 농가에서는 토양 pH, 유기물, 유효인산, 교환성 양이온 함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 가축분퇴비 사용량 및 사용연한이 길 수록 토양 중 중금속 부하량도 증가하였다. 특히 Cu와 Zn은 가축분퇴비에서 같이 유래하는 원소들로 두 원소의 오염 부하 정도가 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서, 추후 가축분퇴비 장기사용에 있어서 양분의 과다집적과 Cu 및 Zn 부하량 증가 문제를 인식하여 가축분퇴비 사용량에 주의하고, 주기적인 토양 모니터링을 통해 먹거리 안전성을 확보해야 한다.

## Acknowledgement

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ015727)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

- Ahn, J.H., I.H. Song, and M.S. Kang. 2013. Correlation between raw materials and chemical contents of livestock compost. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 55:37-45.
- Aziz, T., S. Ullah, A. Sattar, M. Nasim, M. Farooq, and M.M. Khan. 2010. Nutrient availability and maize (*Zea mays*) growth in soil amended with organic manures. *Int. J. Agric. Biol.* 12:621-624.
- Bai, L.Y., X.B. Zeng, S.M. Su, R. Duan, Y.N. Wang, and X. Gao. 2015. Heavy metal accumulation and source analysis in greenhouse soils of Wuwei District, Gansu Province, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22:5359-5369.
- Cho, S.R., Y.J. Lee, C.W. Lee, B.G. Hyun, Y.S. Song, C.H. Rye, Y.M. Kim, and S.B. Lee. 2021. The effect of livestock and food waste compost on rice yield and nutrient utilization efficiency according to different nitrogen fertilizer treatments rates. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54:558-566.
- Debski, B. 2016. Supplementation of pigs diet with zinc and copper as alternative to conventional antimicrobials. *Pol. J. Vet. Sci.* 19:917-924.
- ES (Korean Standard). 2018. Standard for the examination of soil pollution. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Kang, C.S., A.S. Roh, S.K. Kim, and K.Y. Park. 2011. Effects of the application of livestock manure compost on reducing the chemical fertilizer use for the lettuce cultivation in green house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:457-464.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 2000. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(3):239-253.
- Kim, M.K., S.I. Kwon, S.S. Kang, G.B. Jung, and K.K. Kang. 2011. Changes of soil properties in corn (*Zea mays* L.) fields treated with compost and liquid fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:473-478.
- Kim, Y.G., W.S. Lim, C.O. Hong, and P.J. Kim. 2014. Effect of combined application of bottom ash and compost on heavy metal concentration and enzyme activities in upland soil. *Korean J. Environ. Agric.* 33:262-270.
- Lee, J.T., C.J. Lee, and H.D. Kim. 2004. Utilization of liquid pig manure as a substitute for chemical fertilizer in double cropping system of rice followed by onion. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:149-155.
- Lee, S.B., K.M. Cho, N.H. Baik, C.Y. Yang, J.H. Jung, K.J. Kim, and G.B. Lee. 2012. Effects of pig compost and liquid manure on yield, nutrients uptake of rice plant and physicochemical properties of soil. *Korean J. Soil Sci.* 45:772-778.



- Lee, Y.H., M.S. Kim, S.J. Park, H.Y. Hwang, and S.H. Kim. 2020. Assessment of soil organic carbon fractions and stocks under different farming practice in a single maize cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53:626-634.
- Lee, Y.H., S.J. Park, J.H. Shim, S.I. Kwon, and S.H. Kim. 2021. Effect of livestock manure composts application on yield, soil chemical properties and carbon sequestration of maize cropping for five years. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54:636-642.
- Nam, Y., S.H. Yong, and K.K. Song. 2010. Evaluating quality of fertilizer manufactured (livestock manure compost) with different sources in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:644-649.
- Nicholson, F.A., S.R. Smith, B.J. Alloway, C. Carlton-Smith, and B.J. Chambers. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci. Total Environ.* 311:205-219.
- Pan, M. and L.M. Chu. 2017. Transfer of antibiotics from wastewater or animal manure to soil and edible crops. *Environ. Pollut.* 231:829-836.
- Qian, X., G. Shen, Z. Wang, X. Zhang, and Z. Hong. 2018. Effect of swine liquid manure application in paddy field on water quality, soil fertility and crop yields. *Paddy Water Environ.* 16:15-22.
- Qian, X.Y., G.X. Shen, Z. Yao, C.X. Guo, S.X. Xu, and Z.Q. Wang. 2012. Town-based spatial heterogeneity of nutrient balance and potential pollution risk of land application of animal manure and fertilizer in Shanghai, China. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 92:67-77.
- RDA. 2021. Monitoring project on agri-environmental quality in Korea. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- Son, D., H.J. Cho, J.Y. Heo, B.J. Lee, K.P. Hong, and Y.H. Lee. 2017. Assessment of heavy metal concentrations in greenhouse soils of Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50:383-390.
- Xu, Y., W. Yu, Q. Ma, and H. Zhou. 2013. Accumulation of copper and zinc in soil and plant within ten-year application of different pig manure rates. *Plant Soil Environ.* 59:492-499.
- Yang, C.H., S.B. Lee, T.K. Kim, J.H. Ryu, C.H. Yoo, J.J. Lee, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2008. The effect of tillage methods after application of liquid pig manure on silage barley growth and soil environment in paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(5):285-292.