

돈분퇴비 연용이 감자재배 화산회토양의 화학성과 탈수소 효소활성에 미치는 영향

좌재호* · 문두경 · 원항연¹ · 고상욱 · 현해남² · 이종연³

국립원예특작과학원, ¹국립농업과학원, ²제주대학교, ³국립축산과학원

Effect of Consequent Application of Pig Manure Compost on Soil Chemical Properties and Dehydrogenase Activity in Volcanic Ash Soil

Joa Jae-Ho*, Moon Doo-Gyung, Won Hang-Yeon¹, Koh Sang-Wook, Hyun Hae-Nam², and Lee Chong-Eon³

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, ¹National Academy of Agricultural Science, RDA,
²Major of Plant Resources and Environment, Jeju National University, ³National Institute of Animal Science, RDA

This study were carried out to evaluate effect of consequent application of pig manure compost (PMC) on soil chemical properties, dehydrogenase activity, and yield of potato in volcanic ash soil. The more application rate of PMC increased, the more increased soil pH, total-nitrogen, available phosphate, exchangeable cations (K, Ca, and Mg), heavymetal (Zn and Cu)contents. When application rate of PMC and crop cultivation times increased gradually, soil dehydrogenase activity was significantly increased. After third cultivation period, dehydrogenase activity showed PMC 2 ton (3.5), PMC 4 ton (6.3), PMC 6 ton ($8.0 \mu\text{g TPF g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$), respectively. The activity was twofold higher than first cultivation period. During the third cultivation period, dehydrogenase activity increased linearly comparison to Cu and Zn contents and that was correlated with Cu ($R^2=0.907$) and Zn ($R^2=0.859$) content, respectively. As the application rate of PMC increased, the yield of potato increased, but NPK+PMC 2 ton treatment was more higher than other treatments.

Key words: Volcanic ash soil, Pig manure compost, Potato, Dehydrogenase

서 언

화산회토양은 식물이 이용하기 어려운 난분해성 유기물함량이 많으며 인산 고정력이 높고 Al독성에 의한 미생물 활성이 낮다 (Song, 1990). 제주지역 감귤, 채소 재배 농가에서는 화산회토양의 특성 때문에 농작물 수량증가를 위하여 표준시비량 이상의 많은 화학비료를 시비하여 왔다. 토양 산성화로 흙의 중요성이 강조되면서 돈분퇴비나 유기질비료의 사용이 증가하고 있지만 유기물의 분해특성과 적정사용량을 고려하여 사용하는 농가는 많지 않은 실정이다. 유기물은 토양 pH 개선, 무기화와 유기화 과정에서 양분의 공급, 토양 완충능 증대, 중금속 유해작용 감소 등의 역할을 한다. 친환경농업의 확산으로 유기성자원의 재활용이 증가하고 있으나 화산회토양에서 유기물 연용이 작물수량과 토양환경에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않다. 토양 탈수소효소

(Dehydrogenase)는 유기물 분해시 H^+ 이온의 분리로 유기물의 분해정도를 측정할 수 있어 퇴비 부속도 측정에 이용되며 (Tiquia, 2005), 토양에 유기물을 사용하면 증가하고 (Dinesh et al., 1998; Garcia-Gil, 2000; Tomoyoshi et al., 2005), 화산회토양 유기물의 질 변화 평가 (Zagal et al., 2009)와 중금속 오염정도를 평가하는 지표로 사용된다 (Chander and Brookes, 1991; Park, 1998; Yang et al., 2005; Wyszowska et al., 2005). 돈분퇴비 사용은 토양의 Cu와 Zn함량을 추적시키는데 (Kwon et al., 2003), Cu는 토양탈수소효소 활성을 증가시키나 많으면 토양탈수소효소를 불활성화 하며 (Munson et al., 2000; Tomoyoshi et al., 2005), Yruela (2005)는 Cu함량이 많으면 식물생장이 저해된다고 하였다. 토양에서 미생물은 Zn에 민감하게 반응하여 Zn함량은 미생물에 대한 아연의 독성효과를 평가하기 위한 유용한 생물지표가 된다 (Kunito et al., 2001). 돈분퇴비의 사용횟수와 사용량이 증가할수록 유효인산함량과 dehydrogenase활성이 증가한다 (Gwag et al., 2003; Won et al., 2004)고 하였다. 네덜란드는

접수 : 2010. 5. 11 수리 : 2010. 6. 12

*연락처 : Phone: +82647412581

E-mail: choa0313@rda.go.kr

Cu의 생태독성학적 기준을 36 mg kg^{-1} (Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, 1991)으로 설정하였으며, 우리나라는 토양환경보전법상 Cu와 Zn의 토양오염 우려기준을 각각 50, 300 mg kg^{-1} 으로 하고 있다 (Ministry of Environment, 2003). Yang et al. (2005)은 토양중 Cu와 Zn의 함량에 따른 생태학적독성에 대하여 토양탈수소활성을 이용하여 평가하였으며, 돈분퇴비 시용은 방울토마토 (Cho et al., 1999)와 배추수량 (Won et al., 1999)증가, 화학비료 절감효과를 나타냈다 (Min et al., 1995)고 보고한바 있다. 본 연구는 화산회토양에서 돈분퇴비 연용이 감자재배 토양의 토양화학성과 탈수소효소활성 및 감자수량에 미치는 영향을 평가하고자 수행 하였다.

재료 및 방법

흑색화산회토 (송당동)에서 봄과 가을에 1년 2기작으로 2006년부터 2007년까지 3작기 동안 감자 (대지)를 재배 하였다. 봄감자는 2006년과 2007년 3월 상순에 파종하여 6월 상순에 수확을 하였으며 가을감자는 2006년 9월 상순에 파종하여 12월에 수확을 하였다. 시험구는 대조구로 무비구와 N-P-K+돈분퇴비 ($25-20-24+4,000 \text{ kg } 10\text{a}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), N-P-K ($25-20-24 \text{ kg } 10\text{a}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), 돈분퇴비 3수준 ($4,000, 8,000, 12,000 \text{ kg } 10\text{a}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)을 두었으며, 봄감자 ($10-10-12 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)와 가을감자 ($15-10-12 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)의 표준시비량을 감자 파종 전에 시비하였다. 돈분퇴비는 돈분 70%와 톱밥 30%의 혼합퇴비로 양분함량은 총질소 2.52%, 인산 1.61%, 칼륨 3.13%, 칼슘 2.67%, Zn 478.2 mg kg^{-1} , Cu 332.1 mg kg^{-1} 였다.

토양화학성 감자수확 후 토양의 질소, 유효인산, 중금속 함량 등은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다 (RDA, 1988). 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 측정하였고, 유기물은 Walkley-Black법, 전질소함량은 Kjeldahl법, 유효 인산은 Bray, No-1법, 치환성 칼리, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1N NH_4OAc (pH 7.0)침출법, 토양 중금속은 토양 10 g에 0.1 N HCl 50 mL를 넣고 30°C에서 1시간 동안 200 rpm으로 진탕 후 여과하여 ICP (GBC, Integra XL, Australia)를 이용하여 분석하였다.

탈수소효소 (Dehydrogenase)활성 풍건토 5 g에 CaCO_3 0.05 g와 1 mL의 3% TTC 용액을 가하여 잘 혼합한 후 37°C 항온수조에서 24시간 배양하였다. 배양 후 생성된 2,3,5,-Triphenylformazan (TPF)에 Methanol을 10 mL씩 2회 가하여 추출하여 No.6 Filter paper로 여과 후 485 nm에서 UV-Visible spectrophotometer (Varian, Cary 100, Australia)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

감자수량 처리구별로 감자 더듬이병 이병 감자를 제외한 단위면적당 수량을 조사 후 10a 당 생산량으로 환산하였다.

통계분석 SAS 통계분석 프로그램을 이용하여 돈분퇴비 처리구별 던칸 다중범위 검정 (DMRT)으로 유의수준 5%에서 통계분석을 하였다.

결과 및 고찰

토양화학성의 변화 화산회토양에서 감자 3작기 후 토양의 화학성은 Table 1에 나타났다. 시험전 토양의

Table 1. Soil chemical properties after the third cultivation period in volcanic ash soil.

Treatment	pH	O.M	T-N	Av. P_2O_5	Exchangeable cations			Zn	Cu	
					K	Ca	Mg			
	(1:5)	g kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	-----	cmolc kg^{-1}	-----	----	mg kg^{-1}	----
Before experimented	5.8	143.8	0.6	10.7	0.3	1.0	0.5	0.3	0.4	
Control	6.2	138.5	0.6	3.1	0.3	2.2	0.3	1.0	0.4	
NPK [†] PMC [‡] 2 Ton 10a^{-1}	6.5	138.1	0.7	102.9	1.8	7.7	5.1	35.6	6.0	
NPK	6.2	137.1	0.6	46.1	0.4	1.2	0.2	0.8	0.4	
PMC 2 Ton 10a^{-1}	6.7	137.7	0.7	160.1	2.4	8.7	6.9	41.4	6.4	
PMC 4 Ton 10a^{-1}	7.0	136.8	0.8	287.1	3.5	10.7	10.8	67.8	13.6	
PMC 6 Ton 10a^{-1}	7.2	137.9	0.9	557.0	5.3	12.1	15.4	88.8	16.8	

[†] NPK : Recommend application of chemical fertilizer.

[‡] PMC : Pig manure compost.

pH는 5.8이었으나 모든 처리구에서 증가하였고, 돈분퇴비 6톤 사용구는 7.2로 증가하였다. 토양질소, 유효인산, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 사용수준이 증가할수록 토양중 함량이 증가하였으며, 유효인산은 557.0 mg kg^{-1} , 칼륨은 $5.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 칼슘은 $12.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 마그네슘은 $15.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 을 나타냈다. 돈분퇴비 사용수준이 증가할수록 토양중 Zn과 Cu의 중금속 함량은 증가하여 각각 $88.8, 16.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 을 나타냈다.

작기별 토양 pH, 유효인산, Zn, Cu함량 변화는 Fig. 1에 나타났다. 작기가 증가 할 수록 토양 pH와 유효인산, Zn함량은 무처리, 화학비료 표준시비구보다 돈분퇴비 처리구에서 증가하였으며, 돈분퇴비 6 ton $10a^{-1}$ 사용구에서 가장 높게 나타났다. Cu함량도 돈분퇴비처리구에서 증가하였으며, 2작기에는 처리간에 유의성이 나타나 사용량이 많을수록 높았고 3작기에서 돈분퇴비 6 ton $10a^{-1}$ 사용구가 높았지만 돈분퇴비 4 ton $10a^{-1}$ 사용구와 통계적인 유의성은 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 돈분퇴비의 사용량이 증가할수록 유효인산함량 (Gwag et

al., 2003), Cu와 Zn함량 (Won et al., 2004)이 증가한다는 보고와 일치하는 경향을 나타냈다. 화산회토양은 인산의 고정력이 높지만 돈분퇴비 사용량이 증가 할수록 토양에 유효인산이 축적되는 것으로 나타나 토양 건전성을 유지하기 위하여 화산회토양의 특성과 돈분퇴비의 양분함량을 고려하여 사용량을 결정하는 것이 필요할 것으로 판단되었다 (Gwag et al., 2003). 3작기 동안 Cu와 Zn의 중금속함량은 네덜란드와 한국의 토양오염 우려기준 보다 낮게 나타났지만, Cu와 Zn의 함량이 작기가 증가 할수록 높아 (Kwon et al., 2003), 다량으로 돈분퇴비를 연용할 경우 중금속이 집적되어 토양오염을 유발시킬 가능성이 있다고 보고한 바 있어 화산회토양의 중금속 존재형태 (McBride, 1994)와 장기간 연용에 따른 중금속 축적양상에 대하여 연구가 필요 할 것으로 판단되었다.

토양 탈수소효소활성의 변화 토양 탈수소효소 (Dehydrogenase)는 토양에서 초기 유기물 분해, 중금속 오염정도를 평가하는 지표로 사용된다 (Garcia-Gil, 2000;

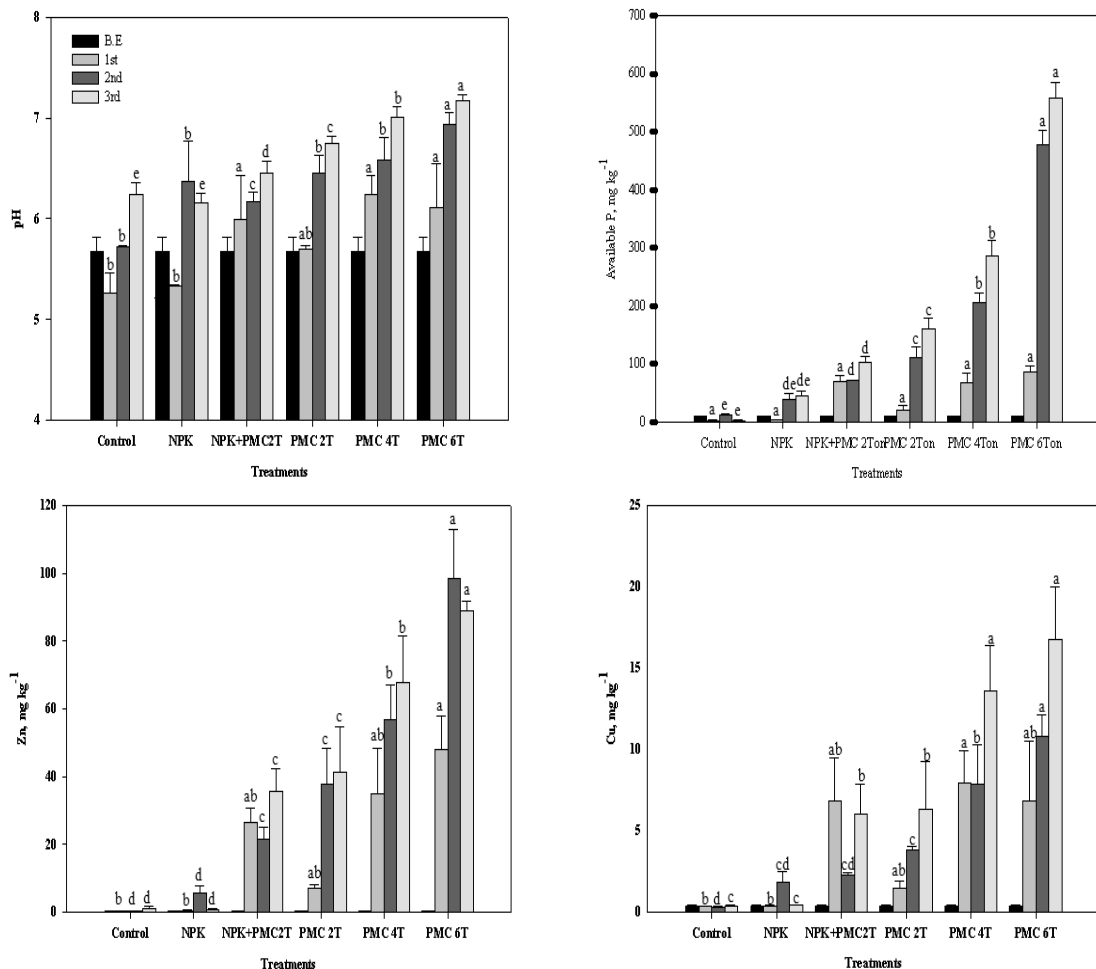


Fig. 1. The seasonal change of soil pH, available phosphate, Zn, and Cu contents according to PMC application rate during cultivation period in volcanic ash soil. (PMC 2T: Pig manure compost 2 ton $10a^{-1}$; PMC 4T: Pig manure compost 4 ton $10a^{-1}$; PMC 6T: Pig manure compost 6 ton $10a^{-1}$; DMRT P < 0.05).

Tomoyoshi et al., 2005; Wyszowska et al., 2005; Yang et al., 2005). 감자재배 후 각 작기별로 토양 탈수소효소 활성변화를 측정된 결과는 Table 2에 나타냈다. 무비구와 표준시비구는 작기간에 차이가 없었으며, 표준시비+돈분퇴비구는 표준시비구보다 약간 높게 나타났으나 작기간에 차이는 없었다. 돈분퇴비구는 사용수준이 증가하고 작기가 많아질수록 증가하여 3작기 후 돈분퇴비 2톤은 3.5 ± 0.6 , 4톤은 6.3 ± 0.7 , 6톤은 $8.0 \pm 1.4 \text{ ug TPF g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ 를 나타냈으며 1작기 후 보다 2배 이상 증가하였다. 이것은 토양에 사용된 유기물이 분해가 되고 돈분 유래의 Cu와 Zn의 중금속함량이 증가하였기 때문으로 판단되며 (Park, 1998; Dinesh et al., 1998; Won et al., 2004), 돈분퇴비 사용구는 토양 탈수소효소활성이 증가한다 (Gwag et al., 2003; Yang et al., 2005)는 보고와 일치하는 경향을 나타냈다. 표준시비+돈분퇴비 2톤 사용구는 1작기 후 돈분퇴비 2톤 사용구보다 높았고, 2, 3작기 후는 낮게 나타났으나 처리간에 유의적인 차이는 없었다. 1작기 때는 표준시비+돈분퇴비 2톤 사용시 토양에 시비된 양분에 의하여 미생물의 밀도증가로 토양에서 퇴비가 분해되는

과정에서 탈수소효소활성이 높은 것으로 판단되었다. 돈분퇴비의 사용량이 많고 사용횟수가 증가할수록 토양 탈수소효소활성이 높아 사용된 유기물이 분해가 되어 작물이 이용가능한 양분형태로 전환되는 것으로 판단되기 때문에 화산회토양에서 유기물의 질 변화를 평가하는 지표 (Zagal et al., 2009)로 이용이 가능 할 것으로 사료된다.

토양의 Cu, Zn함량과 탈수소효소활성 돈분퇴비 연용에 따른 3작기 후 토양의 Cu, Zn 함량과 dehydrogenase 활성의 상관관계를 분석한 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 처리구의 Cu와 Zn함량이 증가함에 따라 dehydrogenase활성이 직선적으로 증가하였으며 Cu는 $R^2=0.907$, Zn은 $R^2=0.859$ 의 상관관계를 나타냈다. Kwon et al. (2003)은 Cu와 Zn을 함유한 돈분퇴비를 장기간 다량으로 연용 할 경우 중금속이 집적되어 토양 오염을 유발시킬 가능성이 있다고 보고 한바 있다. 토양 중 Cu와 Zn의 일정수준 함량은 dehydrogenase활성을 높이지만 많으면 활성을 억제하기 때문에 (Munson et al., 2000; Kunito et al., 2001; Tomoyoshi et al.,

Table 2. The change of soil dehydrogenase activity during cultivation period in volcanic ash soil.

Treatment	Dehydrogenase activity ($\text{ug TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$)		
	1st	2nd	3rd
Control	0.6 ± 0.2	1.2 ± 0.3	1.0 ± 0.1
NPK [†] PMC 2 Ton 10a^{-1}	2.2 ± 0.8	2.2 ± 0.1	3.2 ± 1.0
NPK	1.2 ± 0.4	1.9 ± 0.5	1.6 ± 0.9
PMC 2 Ton 10a^{-1}	1.4 ± 0.7	3.1 ± 1.1	3.5 ± 0.6
PMC 4 Ton 10a^{-1}	2.9 ± 0.1	3.9 ± 1.0	6.3 ± 0.7
PMC 6 Ton 10a^{-1}	3.4 ± 0.7	6.4 ± 0.9	8.0 ± 1.4

[†] See table 1.

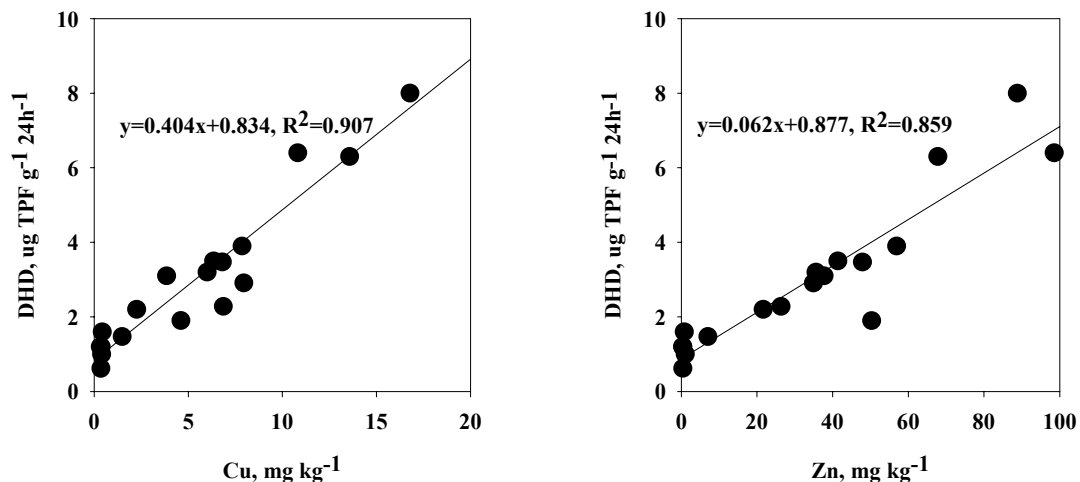


Fig. 2. Correlation of between soil heavy metal (Cu and Zn) content and dehydrogenase activity by PMC application rate during cultivation period in volcanic ash soil. (DHD:Dehydrogenase).

Table 3. The change of potato yield during the third cultivation period in volcanic ash soil (kg 10a⁻¹).

Treatment	2006, Spring	2006, Fall	2007, Spring	Mean
	1rd	2nd	3rd	
Control	153±64	157±55	151±30	154±3c [†]
NPK+ PMC 2 Ton 10a ⁻¹	1,437±282	1,137±281	875±72	1,150±281a
NPK	1,240±185	1,030±28	805±50	1,025±218ab
PMC 2 Ton 10a ⁻¹	950±154	773±267	548±27	757±201b
PMC 4 Ton 10a ⁻¹	1,017±67	940±276	667±21	875±184ab
PMC 6 Ton 10a ⁻¹	1,057±129	953±263	750±55	920±156ab

[†]D.M.R.T. p < 0.05.

2005), 돈분퇴비 시용으로 유기물이 공급되었지만 Cu와 Zn의 함량이 토양오염 우려수준 (Cu : 50 mg kg⁻¹, Zn : 300 mg kg⁻¹)보다 낮아 dehydrogenase 활성이 증가한 것으로 판단된다 (Lee, 2008). 하지만 장기간 돈분퇴비 연용시 Cu와 Zn의 중금속이 축적됨에 따라 토양의 dehydrogenase 활성은 낮아질 것으로 추정되었다. Chander and Brookes (1991)는 중금속이 오염된 토양에서 dehydrogenase 활성이 35%정도가 낮았고, 토양의 Zn함량은 미생물에 대한 아연의 독성효과를 평가하기 위한 유용한 생물지표가 된다 (Kunito et al., 2001)고 보고한 바가 있어 토양중 Cu와 Zn의 함량에 따른 토양탈수소 효소활성과 미생물밀도 등에 대하여 생태학적독성을 평가 할 수 있을 것으로 사료된다 (Yang et al., 2005).

감자 수량의 변화 돈분퇴비 연용에 따른 3작기 동안 더댕이병 이병 감자를 제외한 상품성 감자 수량의 변화는 Table 3에 나타났다. 감자수량은 돈분퇴비 사용 수준이 증가할수록 증가하였으며 무처리구는 작기간에 차이가 없었으나 무처리구를 제외한 모든 처리구에서 작기가 증가 할수록 감소하였다. 3작기 평균 감자수량은 무비구 154 kg, 표준시비+돈분퇴비 2톤구 1,150 kg, 표준시비구 1,025 kg, 돈분퇴비 2톤구 757 kg, 돈분퇴비 4톤구 875 kg, 돈분퇴비 6톤구 920 kg 10a⁻¹을 나타냈으며, 표준시비+돈분퇴비 2톤구의 수량은 무비구보다 7배, 돈분퇴비 2톤구 보다 1.5배 많았다. 돈분퇴비 사용량이 증가할수록 방울토마토 (Cho et al., 1999)와 배추수량 (Won et al., 1999)이 증가 한다는 보고와 비슷하였지만, 돈분퇴비 단용구의 감자수량은 표준시비+돈분퇴비 2톤 사용구보다 낮았다. 작기가 증가 하면서 수량이 감소한 것은 더댕이병 발생과 돈분퇴비 사용구의 경우 감자생산에 필요한 표준시비량보다 적은 양분공급 등에 의한 것으로 생각된다. 돈분퇴비 사용은 토마토 수량증가와 화학비료 절감효과가 있다 (Min et al., 1995)고 하였으나 화학비료를 대체하기 위한 많은

양의 돈분퇴비 사용보다는 중금속의 집적을 막고 목표 수량을 생산하기 위하여 토양검정을 실시 후 부족한 양분에 대하여 유기물을 사용하는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

요 약

화산회토양에서 돈분퇴비 연용이 감자재배 토양의 토양화학성과 탈수소 효소활성 및 감자수량에 미치는 영향을 평가하고자 수행 하였다. 돈분퇴비 사용량이 증가할수록 점차적으로 토양 pH, 토양질소, Avail.-Phosphate, Exch.-K, Exch.-Ca, Exch.-Mg, Zn, Cu 함량이 증가하였다. 돈분퇴비 사용량이 많고 작기가 많아질수록 토양 탈수소효소활성은 증가하였다. 3작기 후 Dehydrogenase활성은 돈분퇴비 2톤구 3.5, 4톤구 6.3, 6톤구 8.0 ug TPF g⁻¹ 24h⁻¹를 나타냈으며 1작기 후 보다 2 배 이상 증가하였다. 3작기 동안 Cu와 Zn함량이 증가 함에 따라 dehydrogenase활성이 직선적으로 증가하였으며 Cu는 R²=0.907, Zn은 R²=0.859의 상관관계를 나타냈다. 돈분퇴비 사용량이 많을수록 감자수량은 증가 하였으나 표준시비+돈분퇴비 2톤구에서 가장 많았다.

인 용 문 헌

- Chander, K. and P.C. Brookes. 1991. Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper-contaminated soils. *Soil Biol. Biochem.* 23: 909-915.
- Cho, S.H., Lee, I.B., and Chang, K.W. 1998. Study on the improvement of soil for high efficient and sustainable agriculture-I. effect of repeated application of chicken and pig manure composts on tomato growth and soil physico-chemical properties. *J. K. Soc. Agri. Chem. Biotech.* 41: 451-456.
- Garcia-Gil, J.C., C. Plaza, P. Soler-Rovira, and A. Polo.

2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Bioch.* 32:1907-1913.
- Dinesh, R., R.P. Dubey, and G.S. Prasad. 1998. Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by organic manure incorporation into soils of a rice-rice system. *J. Agro. Crop Sci.* 181:173-178.
- Gwag, H.G., G.S. Seong, N.J. Lee, S.B. Lee, M.S. Han, and G.A. No. 2003. Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure. *K. J. Soil Sci. Fert.* 36:304-310.
- Kwon, S.I., D.K. Lim, S.B. Lee, and J.J. Nam. 2003. Plant uptake and distribution of toxic elements by consecutive organic wastes application in soil-plant system. NIAST. Annual report.
- Kunito, T., K. Saeki, S. Goto, H. Hayashi, H. Oyaizu, and S. Matsumoto. 2001. Copper and zinc fractions affecting microorganisms in long-term sludge-amended soils. *Biore. Tech.*:135-146.
- Lee, K.Y. 2008. Evaluation of ecological toxicity for heavy metals contamination soil in an abandoned mine used by microbial dehydrogenase activity. Master Thesis, Catholic University. Seoul, Korea.
- McBride, M.B. 1994. Trace and toxic elements in soils. *Enviro. Chem. Soils.* Oxford Univ. Press, New York. pp. 308-341.
- Min, K.B., H.S. Cho, J.I. Lee, and Y.K. Nam. 1995. Effects of fermented pig manure-sawdust compost on the yield and mineral nutrition of tomato in the plastic film house. *K. J. Soil Sci. Fert.* 28:88-94.
- Ministry of Environment. 2003. Soil environmental conservation act. 3-23.
- Munson, G.P., D.L. Lam, F.W. Outten, and T.V. O'Halloran. 2000. Identification of a copper-responsive two-component system on the chromosome of *Escherichia coli* K-12. *J. Bacteriol.* 182:5864-5871.
- Netherlands Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. 1991. Environmental quality standards for soils and water. The Netherlands.
- Park, H. 1998. Investigation on forest soil dynamics at Onsan industrial estate and Mt. Mani by the assay of dehydrogenase activity, denitrifying and sulfur reducing bacteria. *J. K. For. Soc.* 87:106-112.
- RDA. 1988. Methods for chemical analysis of soil. Institute of Agricultural Technology.
- Song, K.C. 1990. Andic properties of major soils in Cheju island. Ph. D. Thesis, Seoul National University. Suwon, Korea.
- Tiquia, S.M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Micro.* 99:816-828.
- Tomoyoshi M., K.K. Masami, and T. Takejiro. 2005. Effects of Pb, Cu, Sb, In and Ag contamination on the proliferation of soil bacterial colonies, soil dehydrogenase activity, and phospholipid fatty acid profiles of soil microbial communities. *Water Air soil poll.* 164: 103-118.
- Won, H.Y., J.S. Kwon, J.S. Suh, and W.Y. Choi. 1999. Soil microbial flora and chemical properties as influenced by the application of pig manure compost. *K. J. Soil Sci. Fert.* 32:76-83.
- Won, H.Y., J.S. Kwon, Y.G. Sin, S.H. Kim, J.S. Seo, and W.Y. Choi. 2004. Effects of composted pig manure application on enzyme activities and microbial biomass of soil under chinese cabbage cultivation. *K.J. Soil Sci. Fert.* 37:109-115.
- Wyszkowska, J., J. Kucharski, and W. Lajszner. 2005. Enzymatic activities in different soils contaminated with copper. *P. J. Environ. Stu.* 14:659-664.
- Yang, J.E, K.Y. You, W.I. Kim, G.B. Jung, and S.P. Lee. 2005. Ecotoxicological assessment of soil contaminated and remediation effect. NIAST. Annual report.
- Yruela, I. 2005. Copper in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17: 145-156.
- Zagal, E., C. Muñoz, M. Quiroz, and C. Córdova. 2009. Sensitivity of early indicators for evaluating quality changes in soil organic matter. *Geoderma.* 151:191-198.