

유기물 연용이 감자재배 비화산회토양의 화학성과 효소활성에 미치는 영향

좌재호* · 문경환 · 서형호 · 최경산 · 김성철

국립원예특작과학원

Effect of Consecutive Application of Organic Matter on Soil Chemical Properties and Enzyme Activity in Potato Cultivation Soil

Jae-Ho Joa*, Kyung-Hwan Moon, Hyeong-Ho Seo, Kyung-San Choi, and Seong-Cheol Kim

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA

This study was carried out to evaluate effect of consecutive application of organic matter on soil chemical properties and dehydrogenase, acid phosphatase activity in non-volcanic ash soil during three cropping season. Organic matter mixture and organic fertilizer (MOF, 2,000 kg 10a⁻¹), food waste compost (FWC, 2,000 kg 10a⁻¹), and pig manure compost (PMC, 2,000, 4,000, and 6,000 kg 10a⁻¹) were applied for each cropping season. Soil pH values were increased after three cropping season in all treatment. In the soils of the increased application of PMC, soil pH, total-nitrogen, available phosphate, exchangeable cations (K, Ca, and Mg), and heavy metal (Zn and Cu) contents were increased. In addition, Soil dehydrogenase activity was significantly increased in proportions to PMC application rate and cropping season during potato cultivation period. The activity was two times higher in PMC (4,000 kg 10a⁻¹) than control after the third cropping season. Soil dehydrogenase activity was in order of PMC>FWC>NPK+PMC>MOF. Acid phosphatase activity was higher in PMC (6,000 kg 10a⁻¹) than other treatment. Soil Zn content and dehydrogenase activity showed linearly correlation, which were MOF (R²=0.427), FWC (R²=0.427) and PMC (R²=0.411, p<0.01), respectively. This study demonstrated that soil chemical properties and enzyme activity could be affected greatly by consecutive application of different organic matter in the potato cultivation field.

Key words: Organic matter, Potato, Heavy metal content, Dehydrogenase, Acid phosphatase

서 언

제주지역에서 감자는 감귤 다음으로 소득이 높은 작물이다. 재배농가에서는 1년 2기작과 수량 증가를 위하여 토양특성을 고려하지 않고 많은 양의 화학비료를 시비하여 왔다. 최근에는 토양산성화로 화학비료보다 유기질비료나 가축분퇴비를 이용하는 농가가 증가하고 있다. 유기물 사용은 토양 pH를 개선하고, 양분을 공급하며 토양에서 중금속의 유해작용을 감소시키는 역할을 한다 (Tisdale et al., 1993). 하지만 화학비료를 대체하거나 다량의 유기물 사용은 돈분퇴비와 같이 유기물원이 갖고 있는 성분에 따라 토양에 중금속 축적 등을 야기 할 수 있다. 토양에서 미생물은 탄소, 질소, 인의 순환에 중요한 효소를 생산하며, 유기물을 사용하면 효소활성이 증가한다 (Crecchio et al., 2004; Dinesh et al., 1998; Klose and Tabatabai, 2000). 탈수소

효소활성은 토양에 유기물을 사용하면 유기물이 분해되는 과정에서 수소이온이 분리되면서 높아지며 (Dinesh et al., 1998; Tomoyoshi et al., 2005), 유해중금속의 미생물생장에 미치는 정도를 정량적으로 측정하여 토양 중금속 오염 정도를 평가하는 지표로 사용된다 (Chander and Brookes, 1991; Park, 1998; Wyszowska et al., 2005; Yang et al., 2005). Colin et al. (2007)은 토양중 Zn과 Cu의 중금속분포는 유기물함량에 의존하며, Lee et al. (1997)은 점토함량이 많을수록 Zn과 Cu함량이 증가하여 점토함량과 중금속함량은 정의상관관계를 나타낸다고 하였다. 토양 중금속함량은 중금속흡착특성 (Choi et al., 2002)과 존재형태 (McBride, 1994), 토양 pH (Choi et al., 2002; Sanders and Adams, 1987)에 영향을 받는다고 하였다. 돈분퇴비 사용은 토양의 Zn과 Cu를 축적시키는데 (Kwon et al., 2003), Zn과 Cu함량에 따라 토양효소활성이 증가하거나 불활성화되며 (Chaperon and Sauvé, 2007; Munson et al., 2000; Tomoyoshi et al., 2005), Xu et al. (2007)은 토양중 Cu함량이 많으면 acid phosphatase 활성이 증가한다고 하였다. Zn함량은 미

접수 : 2011. 5. 12 수리 : 2011. 7. 11

*연락처 : Phone: +82647412581

E-mail: choa0313@rda.go.kr

생물에 대한 아연의 독성효과를 평가하기 위한 유용한 생물지표가 된다 (Kunito et al., 2001). 돈분퇴비는 사용횟수와 사용량이 증가할수록 탈수소효소활성과 유효인산함량이 증가하였으며 (Gwag et al., 2003; Won et al., 2004), Lee et al. (2004)은 음식물퇴비 사용량이 증가할수록 탈수소 효소활성이 높았고, Kwon et al. (2009)은 토양 유효인산함량이 증가하였다고 하였다. Yang et al. (2005)은 토양 탈수소활성을 이용하여 토양의 Zn과 Cu의 함량의 생태학적독성에 대하여 평가한 바가 있으며, 최근 토양 중금속의 위해성에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구는 유기물 연용이 감자재배 토양의 화학성과 토양 효소활성에 미치는 영향을 평가하고자 수행 하였다.

재료 및 방법

암갈색 비화산회토 (동홍통)에서 봄과 가을에 1년 2기 작으로 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 무비구 (Control), 표준시비 (NPK)+돈분퇴비 (PMC) (2,000 kg 10a⁻¹) 구, 표준시비 (NPK)구, 질소기준 시비량의 음식물퇴비 (FWC)구와 혼합유기질비료 (MOF)구, PMC구 3수준 (2,000, 4,000, and 6,000 kg 10a⁻¹)을 두었으며, 봄감자 (10-10-12 kg 10a⁻¹)와 가을감자 (15-10-12 kg 10a⁻¹)의 표준시비량을 감자 파종 전에 시비하였다. 시험에 사용한 유기물원의 화학 성분은 Table 1에 나타냈다. 토양은 감자수확 후 채취하여 잘 혼합 한 다음 2 mm 체를 통과시켜 일부는 풍건 후 토양화학성과 탈수소효소활성을, 나머지는 습토상태에서 토양인산효소활성을 분석하였다.

토양화학성 감자수확 후 토양의 질소, 유효인산, 중금속 함량 등은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다 (NIAST, 2000). 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 측정하였고, 유기물은 Walkley-Black법, 전 질소함량은 Kjeldahl법, 유효 인산은 Bray. No-1법, 치환성 칼리, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1N NH₄OAc (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 (Integra XL, GBC)를 이용하여 분석하였다.

탈수소효소 (Dehydrogenase) 활성 풍건토 5 g에 CaCO₃ 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 추출하여 Ø 110 mm 여과지로 여과 후 485 nm에서 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 100, Varian)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

인산효소 (Acid phosphatase) 활성 토양 1 g을 25 mL 시험관에 취한 후 4 mL의 MUB 완충용액 (pH 6.5)과 1 mL의 0.025 M p-nitrophenyl phosphate용액을 가하고 밀봉을 하여 37°C에서 1시간 동안 배양 후 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 100, Varian)를 이용 400 nm에서 측정하였다 (NIAST, 2000). 대조구로 1 mL의 0.5 M CaCl₂ 용액과 4 mL의 0.5 M NaOH용액을 가한 후 배양 현탁액을 여과하기 직전에 1 mL의 0.025 M p-nitrophenyl phosphate용액을 가한 것을 사용하여 여액 중의 p-nitrophenol 함량을 계산하였다.

통계분석 SAS 통계분석 프로그램을 이용하여 유기물 원 처리별 단간 다중 범위 검정 (DMRT)으로 유의수준 5%에서 통계분석을 하였다.

결과 및 고찰

토양 화학성 변화 감자 3작기 후 토양의 화학성은 Table 2에 나타냈다. 시험전 토양 pH는 6.9였으나 3작기 후 모든 처리구에서 높았으며 PMC 6톤 시용구는 pH 7.6를 나타냈다. NPK+PMC 2톤 시용구는 NPK구보다 유효인산 함량이 373.1 mg kg⁻¹으로 6배, Zn과 Cu함량이 15.7 mg kg⁻¹, 3.2 mg kg⁻¹으로 각각 8배, 3배 정도 높게 나타났다. FWC구는 MOF구 보다 pH, 유기물함량, 토양질소, 치환성 칼슘함량이 약간 높았으나 큰 차이는 나타나지 않았으며, PMC 시용구 보다 치환성 칼륨, Zn, Cu 함량이 낮게 나타

Table 1. Chemical properties of organic materials used in this experiment.

	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Zn	Cu
	----- % -----					
	----- mg kg ⁻¹ -----					
PMC [†]	2.52 ± 0.5	1.61 ± 0.4	3.13 ± 0.3	2.67 ± 0.2	478.2 ± 23.2	332.1 ± 15.3
MOF	3.80 ± 0.4	1.71 ± 0.3	1.27 ± 0.2	3.13 ± 0.3	62.3 ± 5.2	21.3 ± 2.3
FWC	2.06 ± 0.5	1.07 ± 0.2	0.61 ± 0.1	5.65 ± 0.5	85.5 ± 7.5	42.1 ± 4.5

[†]PMC, Pig manure compost; MOF, Mixed Organic fertilizer; FWC, Food waste compost.

Table 2. Changes in soil chemical properties after three consecutive cropping seasons.

Treatment	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Zn	Cu
				K	Ca	Mg		
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	-----	mg kg ⁻¹
Control	7.1 ± 0.1	31.8 ± 3.3	43.3 ± 2.4	0.8 ± 0.0	4.6 ± 0.7	1.6 ± 0.1	1.4 ± 0.0	0.7 ± 0.1
NPK [†]	7.0 ± 0.4	36.7 ± 0.0	59.6 ± 16.0	0.9 ± 0.1	4.9 ± 0.2	1.4 ± 0.1	1.8 ± 0.2	0.9 ± 0.1
NPK+PMC 2,000 kg 10a ⁻¹	7.1 ± 0.1	45.9 ± 2.5	373.1 ± 47.1	1.7 ± 0.2	5.7 ± 0.5	3.1 ± 0.4	15.7 ± 0.2	3.2 ± 0.1
PMC 2,000 kg 10a ⁻¹	7.4 ± 0.1	42.7 ± 4.9	439.8 ± 88.8	1.9 ± 0.2	6.7 ± 1.5	4.1 ± 0.6	54.9 ± 5.9	4.2 ± 0.8
PMC 4,000 kg 10a ⁻¹	7.5 ± 0.2	65.8 ± 14.2	962.8 ± 68.7	2.6 ± 0.3	7.6 ± 0.7	6.3 ± 0.3	106.7 ± 11.6	8.3 ± 2.0
PMC 6,000 kg 10a ⁻¹	7.6 ± 0.0	73.4 ± 18.7	1,102.4 ± 225.3	2.8 ± 0.4	7.1 ± 2.0	7.0 ± 2.6	109.3 ± 10.4	9.3 ± 1.8
MOF 2,000 kg 10a ⁻¹	7.2 ± 0.3	37.7 ± 6.6	106.9 ± 11.0	0.9 ± 0.1	6.3 ± 2.5	1.7 ± 0.1	2.1 ± 0.6	1.0 ± 0.2
FWC 2,000 kg 10a ⁻¹	7.4 ± 0.1	43.0 ± 9.0	102.7 ± 38.7	0.9 ± 0.1	8.1 ± 1.7	1.5 ± 0.2	2.2 ± 0.4	0.9 ± 0.1

[†]NPK : Recommend application of chemical fertilizer.

[‡]Mean ± Standard deviation.

났다. Seong et al. (2004)은 FWC가 토양에 시용될 경우 Na⁺이온에 의하여 토양 내 수분이동이 저해 될 수 있다고 보고 한바가 있는데 FWC구의 Na함량은 0.15 cmol_c kg⁻¹으로 낮았고 처리간에 차이가 없었다. PMC 시용수준이 높을수록 토양질소, 유효인산, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘함량은 증가하였으며, PMC 6톤 시용구는 유효인산 1,102.4 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 2.8, 치환성칼슘 7.1, 치환성 마그네슘 7.0 cmol_c kg⁻¹을 나타냈다. 제주지역 약 70%가 화산회토양으로 대부분의 농가에서 화산회토양에 준하여 시비관리를 하고 있어 같은 양의 PMC를 사용하더라도 비화산회토가 화산회토양보다 유효인산함량이 높기 때문에 (Joa et al., 2010) 인산질비료나 PMC 시용은 토양특성과 작물별 적정양분함량범위를 고려하여 사용하는 것이 필요할 것으로 판단된다. PMC 시용수준이 증가할수록 토양중 Zn과 Cu의 중금속 함량도 증가하여 PMC 6톤 시용구는 각각 109.3, 9.3 mg kg⁻¹을 나타냈다. Sanders and Adams (1987)는 Zn과 Cu는 pH에 영향을 받아 Zn함량은 pH 6.2-7.0일때 증가한다고 보고한 결과와 일치하는 경향을 나타냈으나, Cu는 pH 4.7-5.7일때 증가한다는 보고와 다르게 나타났다. 이것은 시용량이 많을수록 시용된 유기물에 포함된 Zn과 Cu함량이 많았기 때문으로 생각된다. 유기물시용량이 많을수록 유기탄소함량이 증가하여, Colin et al. (2007)이 보고한 토양중 Zn과 Cu의 중금속분포는 유기물함량에 의존한다는 결과와 일치하였으며, 토양 중금속 함량은 토양 pH에 영향을 받는 것으로 사료된다 (Choi et al., 2002).

작기별 토양 pH, 유효인산, Zn, Cu함량 변화 작기별 토양 pH, 유효인산, Zn, Cu함량 변화는 Fig. 1에 나타났다. 작기가 증가 할수록 Control과 NPK구보다 유기물 연용구에서 토양 pH, 유효인산, Zn, Cu함량은 증가하였다. 토양 pH는 유기물종류에 상관없이 증가하였으며, PMC 시

용량이 많을수록 pH가 높게 나타났다. 유효인산, Zn, Cu 함량은 2 작기 후 까지 증가하였으나, 3 작기 후에는 감소하는 양상을 나타냈다. 이 결과는 FWC 연용과 PMC 시용량이 많을수록 유효인산함량 (Gwag et al., 2003; Kwon et al., 2009)이, PMC 시용량이 많을수록 Zn, Cu 함량 (Gwag et al., 2003; Joa et al., 2010; Won et al., 2004)이 증가한다는 보고와 일치하는 경향을 나타냈다. Joa et al. (2010)은 화산회토양의 인산 고정력이 높아 PMC 시용량이 증가 할수록 토양에 유효인산이 축적된다고 보고한 바 있는데 같은 양의 PMC 시용시 화산회토양보다 약 2배 이상 축적되는 것으로 나타났다. 또한 PMC 시용수준별 Zn과 Cu 함량은 작기와 비례하여 증가하였으나 화산회토양보다는 축적되는 양이 적었다. 이는 Colin et al. (2007)이 토양의 Zn과 Cu 분포는 유기물함량에 의존한다고 보고한바가 있어 화산회토양의 높은 유기물함량 (Song, 1990)에 의하여 중금속이 축적되기 때문으로 생각된다. 시험토양은 점토함량이 많은 토양으로 유기물을 연용 할수록 Zn과 Cu 함량이 증가하는 경향을 보였으나 Cu함량의 증가폭은 낮아 유기물 시용으로 토양 pH가 높아졌기 때문으로 보인다. Lee et al. (1997)이 점토함량과 중금속함량은 정의상관관계를 나타낸다고 보고한 결과와 일치하였으나, Joa et al. (2010)이 화산회토양에서 Cu함량이 많고 Zn함량이 낮았다고 보고한 바 있어 시용유기물에 포함된 중금속함량, 토양 이화학적 특성, 중금속존재형태와 흡착특성 (Choi et al., 2002; McBride, 1994)에 따라 토양중 중금속의 함량이 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 중금속함량은 분석방법에 따라 차이가 나타나지만, 토양에 과다한 농도가 존재할 경우 인간이나 식물에 독성피해를 일으킨다 (Choi et al., 2002). 따라서 PMC의 계속적인 연용은 토양에 중금속을 축적시키거나 유효인산 등의 토양양분 축적을 초래할 수가 있어 토양특성과 작물별 양분요구량을 감안하여 농경지에 사용할

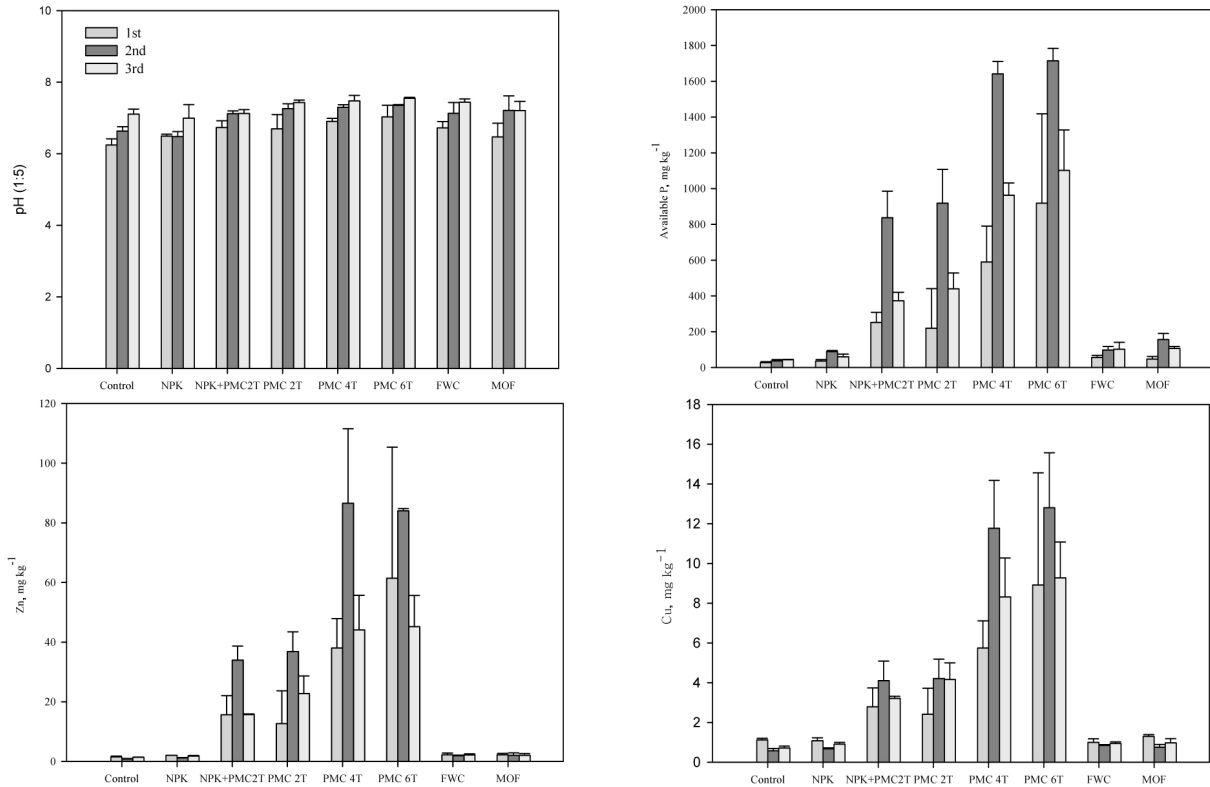


Fig. 1. Changes in pH, available phosphate, Zn, and Cu content as affected by organic material application rate after each cropping season in non-volcanic ash soil (PMC 2T, PMC 2,000 kg 10a⁻¹; PMC 4T, PMC 4,000 kg 10a⁻¹; PMC 6T, PMC 6,000 kg 10a⁻¹; MOF 2T, MOF 2,000 kg 10a⁻¹; FWC 2T, FWC 2,000 kg 10a⁻¹). Error bars show standard deviation.

Table 3. Changes in dehydrogenase activity as affected by organic material application rate after each cropping season in non-volcanic ash soil.

Treatment	Dehydrogenase activity		
	1st [†]	2nd	3rd
	----- μg TPF g ⁻¹ 24h ⁻¹ -----		
Control	2.7 ± 0.5 c [‡]	3.8 ± 1.3 c	4.3 ± 0.4 d
NPK	3.8 ± 1.3 bc	3.9 ± 0.6 c	5.7 ± 0.3 cd
NPK+PMC 2,000 kg 10a ⁻¹	4.5 ± 1.0 bc	5.3 ± 2.2 bc	6.3 ± 0.4 bcd
PMC 2,000 kg 10a ⁻¹	4.0 ± 1.4 bc	6.2 ± 2.4 abc	8.1 ± 1.4 abc
PMC 4,000 kg 10a ⁻¹	6.3 ± 0.9 ab	9.1 ± 0.9 a	9.9 ± 2.8 a
PMC 6,000 kg 10a ⁻¹	7.3 ± 2.7 a	8.2 ± 1.2 ab	9.1 ± 2.0 ab
MOF 2,000 kg 10a ⁻¹	3.8 ± 0.8 bc	6.5 ± 1.5 abc	5.8 ± 0.7 cd
FWC 2,000 kg 10a ⁻¹	5.2 ± 0.9 abc	7.3 ± 2.9 abc	7.3 ± 1.4 abc

[†]1st, 2006 spring season; 2nd, 2006 fall season; 3rd, 2007 spring season.

[‡]DMRT : p<0.05.

[§]Mean ± Standard deviation.

필요가 있다. 금후 PMC 등 유기물 장기 연용에 따른 토양 종류별 중금속 축적양상에 대하여 검토가 필요 할 것으로 사료된다.

토양 효소활성 변화 토양 탈수소효소는 토양의 중금속 오염정도를 평가하는 지표로 사용된다 (Tomoyoshi et

al., 2005; Wyszowska et al., 2005; Yang et al., 2005). 감자수확 후 각 작기별로 토양 탈수소효소 활성변화를 측정 한 결과는 Table 3에 나타냈다. Control과 NPK구는 3 작기 후에 각각 4.3, 5.7 μg TPF g⁻¹ 24 h⁻¹로 작기가 계속 될수록 증가하였으나 작기간에 차이가 없었다. NPK+PMC 2톤구는 3 작기 후에 6.3 μg TPF g⁻¹ 24 h⁻¹로 NPK구 5.7 μg

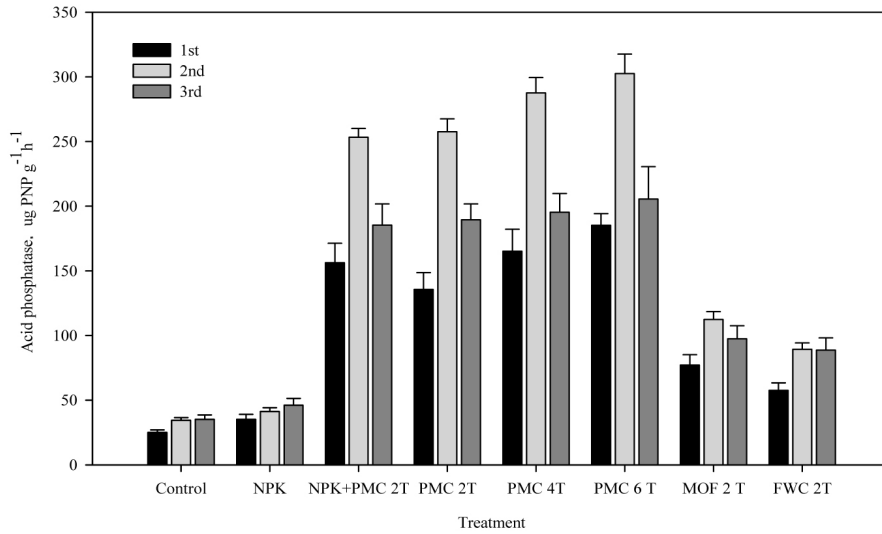


Fig. 2. Changes in acid phosphatase as affected by organic material application rate after each cropping season in non-volcanic ash soil. See Fig. 1.

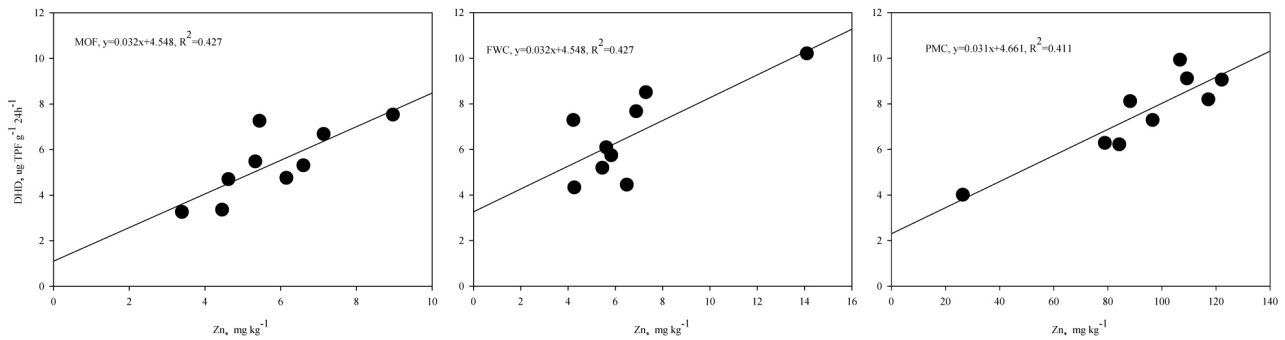


Fig. 3. Correlation of between soil Zn content and dehydrogenase activity as affected by organic material application rate during three consecutive potato cropping seasons. in non-volcanic ash soil (DHD, Dehydrogenase).

TPF $g^{-1} 24 h^{-1}$ 보다 약간 높게 나타났으나 작기간 차이는 없었다. FWC 2톤구는 1작기 후 $5.2 \mu g TPF g^{-1} 24 h^{-1}$ 에서 3작기 후 $7.3 \mu g TPF g^{-1} 24 h^{-1}$ 으로 작기가 증가할수록 조금씩 증가하였으나 작기 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 작기가 계속될수록 누적 사용되는 FWC의 양이 증가함에 따라 탈수소효소활성이 증가하여, Lee et al. (2004)이 FWC 사용량이 증가할수록 탈수소 효소활성이 높다고 보고한 결과와 일치하는 경향을 나타냈다. MOF 2톤구는 2작기 후 $6.5 \mu g TPF g^{-1} 24 h^{-1}$ 로 증가하였다가 3작기 후 $5.8 \mu g TPF g^{-1} 24 h^{-1}$ 로 감소하는 경향을 나타냈다. PMC구는 사용량이 많을수록 높았으며, 3작기 후 PMC 2톤구 8.1, 4톤구 9.9, 6톤구 9.1 $\mu g TPF g^{-1} 24 h^{-1}$ 를 나타냈다. 이것은 토양에 사용된 유기물이 분해가 되면서 유기물 함량 (Masciandaro et al., 2000)과 돈분 유래의 Zn과 Cu 중금속함량이 증가하였기 때문으로 판단되며 (Dinesh et al., 1998; Park, 1998; Won et al., 2004), PMC 사용구는 토양 탈수소효소활성이 증가한다 (Yang et al., 2005)는 보고와 일치하였다. 1작기 후는 Control 보다 PMC 6톤구가, 3작기후는 PMC 4톤가 2배 이상 높았으며 처리간에 유의

적인 차이를 나타냈다. 유기물원별 토양 탈수소효소활성은 PMC>FWC>NPK+PMC>MOF 순으로 증가하여 유기물원이 갖고 있는 Zn, Cu의 중금속 함량과 사용량이 많을수록 높았으며, FWC구가NPK+PMC구 보다 높은 것은 FWC가 PMC 보다 கட습 함량이 높았기 때문으로 판단되며 (Quilchano and Teodoro, 2002), 처리간에 통계적인 유의성은 나타나지 않았다.

인산효소는 토양의 유기태 인산을 무기태 인산으로 전환하는 역할을 한다. 유기물연용에 따른 수확후 작기별 토양의 산성 인산효소활성은 Fig. 2에 나타났다. 작기가 증가할수록 산성 인산효소활성은 증가하는 경향을 보였으며 PMC>MOF>FWC순으로 PMC구가 가장 높았다. 3작기후 NPK+PMC구는 $185.4 \mu g PNP g^{-1} h^{-1}$ 로 NPK구 $46.2 \mu g PNP g^{-1} h^{-1}$ 보다 약 4배정도 높았으며 PMC 6톤 사용구가 $205.5 \mu g PNP g^{-1} h^{-1}$ 로 가장 높았다. PMC 유래 인산함량이 높아 인산함량이 많고 PMC 사용량이 많을수록 인산효소활성이 높아진다 (Kizilkaya et al., 2007, Won et al., 2004)는 보고와 일치하는 경향을 보였다. 하지만 Sarapatka et al. (2004)이 보리, 밀 등을 MS배지에 파종하여 pH와 인산함

량에 따른 산성인산효소활성을 조사한 결과 pH와 인산함량이 높을수록 산성인산효소활성이 낮아졌으며, lupin (*Lupinus albus* L, cv. Kievskij mutant)을 이용한 시험에서 인산농도가 부족하면 산성인산효소 활성이 증가한다 (Wasaki et al., 2003)는 결과와는 일치하지 않았다. Rojo et al. (1990)이 산성토양에서 산성인산효소활성이 높다고 하였는데 처리구별 토양 pH가 3작기 후 7.0이상으로 알칼리성 토양을 나타내 pH 조건보다는 토양에 분포하는 인산의 존재형태, Ca-P 등 인산염의 종류가 산성 인산효소활성에 영향을 준 것으로 사료된다. Xu et al. (2007)은 토양중 Cu함량이 많으면 산성 인산효소활성이 증가한다고 하였는데 PMC 사용량이 증가할수록 토양중 Cu함량이 조금씩 증가하여 일치하는 경향을 보였다. 토양효소활성은 토양 온도와 수분함량의 변화에 영향을 받는다 (Sardans et al., 2008). 인산효소활성이 2작기가 1, 3작기 보다 높았는데 이는 1작기후 여름철 휴경기에 높은 지온으로 유기물 분해가 활발하게 진행되었기 때문으로 사료된다. Crecchio et al. (2004)이 6년간 퇴비를 포장시험한 결과 dehydrogenase (9.6%)와 phosphatase (9.7%)활성이 증가하였다고 하였는데 PMC구와 NPK+PMC구가 Control구 보다 토양효소활성이 높아 일치하는 경향을 보였다.

토양 Zn 함량이 탈수소 효소활성에 미치는 영향
유기물원 연용에 따른 3작기 후 토양의 Zn 함량과 탈수소 효소 활성의 상관관계를 분석한 결과는 Fig. 3에 나타냈다. 유기물 처리구의 Zn함량이 증가함에 따라 탈수소효소활성은 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. MOF ($R^2=0.427$)와 FWC ($R^2=0.427$)구는 높은 상관관계를 나타냈지만 통계적인 유의성은 없었다. 유기물과 음식물퇴비가 분해될 때 탈수소효소활성이 증가한다 (Crecchio et al., 2004; Lee et al., 2004)는 보고와 일치하였으나 Zn함량 증가 보다는 유기물의 분해로 토양중 수소이온의 증가 (Dinesh et al., 1998; Tomoyoshi et al., 2005)에 기인하는 것으로 생각된다. PMC구는 $R^2=0.411$ 로 상관관계가 높았으며 통계적으로 유의성을 나타냈다 ($p<0.01$). 이는 돈분퇴비 사용이 증가함에 따라 토양의 Zn함량이 증가하는 것에 기인하는 것으로 생각되며 Won et al. (2004)의 보고와 일치하는 경향을 보였다. 토양의 Zn 함량은 탈수소효소활성에 영향을 주며 (Chaperon and Sauvé, 2007), 미생물에 대한 독성 평가 생물지표가 된다 (Kunito et al., 2001)고 보고한 바가 있어 지속적인 PMC의 사용은 토양에 Zn함량을 높여 탈수소효소활성을 감소시킬 것으로 생각된다. Chander and Brookes (1991)는 중금속이 오염된 토양에서 탈수소효소 활성이 35%정도 낮았다고 보고한 바 있어 토양탈수소효소 활성은 중금속이 오염된 토양의 생태학적 독성 평가지표로 이용할 수 있을 것으로 사료된다 (Fig. 3).

요 약

유기물 연용이 감자재배 토양의 토양화학성과 효소활성에 미치는 영향을 평가하고자 비화산 암갈색 토양에서 1년 2기작으로 3 작기 동안 감자재배를 하였다. 유기물은 작기당 유기질비료와 음식물퇴비는 2,000 kg 10a⁻¹, 돈분퇴비는 2,000, 4,000, and 6,000 kg 10a⁻¹을 기준으로 사용하였다. 토양 pH는 3 작기 후 모든 처리구에서 높았다. PMC 사용량이 많을수록 토양 pH, 토양질소, 유효인산, 치환성 양이온 (칼륨, 칼슘 및 마그네슘), Zn, Cu 함량이 증가하였다. 토양 탈수소효소활성은 PMC 사용량이 많고 작기가 증가할수록 대조구 보다 3작기 후는 PMC 4톤구가 2배 이상 높았으며, PMC>FWC>NPK+PMC>MOF 순으로 증가하였다. 토양인산효소활성은 PMC 6톤구에서 가장 높았다. 3작기 동안 유기물 처리구의 Zn함량이 증가함에 따라 탈수소효소 활성이 직선적으로 증가하였으며 MOF구 $R^2=0.427$, FWC구 $R^2=0.427$, PMC구 $R^2=0.411$ ($p<0.01$)의 상관관계를 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청 시험연구사업비 (과제번호 PJ906988)에 의해 수행되었음.

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.
- Chaperon, S. and S. Sauvé. 2007. Toxicity interaction of metals (Ag, Cu, Hg, Zn) to urease and dehydrogenase activities in soils. *Soil Biol. Biochem.* 39:2329-2338.
- Choi, I.S., J.Y. Park, and J.M. Oh. 2002. The distribution characteristics of heavy metals at field and upland soils. *J. Kor. Earth Sci. Soc.* 23:406-415.
- Colin, M.S., C. Neel, H. Bril, C. Grosbois, and L. Caner. 2007. Geochemical behaviour of Ni, Cr, Cu, Zn and Pb in an Andosol-Cambisol climosequence on basaltic rocks in the French Massif Central. *Geoderma* 137:340-351.
- Crecchio, C., M. Curci, M.D.R. Pizzigallo, P. Ricciuti, and P. Ruggiero. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36:1595-1605.
- 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.
- Joa, J.H., D.G. Moon, H.Y. Won, S.W. Koh, H.N. Hyun, and C.E. Lee. 2010. Effect of consequent application of pig manure compost on soil chemical properties and dehydrogenase activity in volcanic ash soil. *K. J. Soil Sci. Fert.* 43:283-288.
- Kizilkaya, R., F. Bayrakli, and A. Surucu. 2007. Relationship between phosphatase activity and phosphorus fractions in agricultural soils. *Int. J. Soil Sci.* 2:107-118.
- Klose, S. and M.A. Tabatabai. 2000. Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. *Biol. Fertil. Soils* 31:191-199.
- 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.* 79:135-146.
- 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. *In* Research report of agro-environment research. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, K.S. Seong, W.K. Park, K.R. Kim, D.B. Lee, and K.Y. Jung. 2009. The continuous application effect of the food waste composts on the cultivated upland soils and plants. *J. Kor. Org. Res. Rec. Ass.* 17:71-81.
- Lee, D.B., B.J. Carter, N.T. Basta, and B. Weaver, 1997. Factors influencing heavy metal distribution in six Oklahoma Benchmark soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 61:218-223.
- Lee, J.J., R.D. Park, Y.W. Kim, J.H. Shim, D.H. Chae, Y.S. Rim, B.K. Sohn, T.H. Kim, and K.Y. Kim. 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Biore. Tech.* 93:21-28.
- Masciandaro, G., B. Ceccanti, V. Ronchi, and C. Bauer. 2000. Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilisers. *Biol. Fertil. Soils* 32:479-483.
- McBride, M.B. 1994. Trace and toxic elements in soils. *Enviro. Chem. Soils.* p. 308-341. Oxford Univ. Press, New York, NY, USA.
- 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.
- 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. Forest. Soc.* 87:106-112.
- Quilchano, C. and Teodoro M. 2002. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 35:102-107.
- Rojo, M.J., S.G. Carcedo, and M.P. Mateos. 1990. Distribution and characterization of phosphatase and organic phosphorus in soil fractions *Soil Biol. Biochem.* 22:169-174.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Sanders, J.R. and T.M. Adams. 1987. The effects of pH and soil type on concentrations of zinc, copper and nickel extracted by calcium chloride from sewage sludge-treated soils. *Environ. poll.* 43:219-228.
- Sarapatka, B., Dudova, L. and Krskova, M., 2004. Effect of pH and phosphate supply on acid phosphatase activity in cereal roots. *Biologia, Bratislava*, 59:127-131.
- Seong, K.S., K.H. So, D.K. Lim, M.C. Seo, and J.S. Suh. 2004. Influence on agricultural environment by application of food waste compost. *In* Research report of agro-environment research. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Song, K.C. 1990. Andic properties of major soils in Cheju island. Ph. D. Thesis, Seoul National University. Suwon, Korea.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton, and J. L. Havlin. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed. P. F. Corey, ed. MacMillan Publishing Co., New York, NY.
- 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, 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.
- Xu, D.M., W.L. Liu, G.S. Liu, and W.P. Liu. 2007. Effects of Hg and Cu on the activities of soil acid phosphatase. *J. Zhejiang Uni. Science A.* 8:1157-1163.
- Wasaki, J., T. Yamamura, T. Shinano and M. Osaki. 2003. Secreted acid phosphatase is expressed in cluster roots of lupin in response to phosphorus deficiency. *Plant and Soil* 248:129-136.
- 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. *In* Research report of agro-environment research. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.