

유기성폐기물 연용이 토양 내 진균 분포에 미치는 영향

이강효^{1*} · 원항연¹ · 석순자² · 장갑열¹ · 권순익³ · 김승환¹ · 김완규⁴

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 버섯과, ²국립농업과학원 농업유전자원센터,
³국립농업과학원 기후변화생태과, ⁴국립농업과학원 농업미생물과

Effects of Successive Organic Wastes Treatment on Fungal Flora in Agricultural Upland Lysimeter

Kang Hyo Lee^{1*}, Hang Yeon Weon¹, Soon Ja Seok², Kab Yeul Jang¹,
Soon Ik Kwon³, Seung Hwan Kim¹ and Wan Gyu Kim⁴

¹Mushroom Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

²National Agrobiodiversity Center, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

³Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

⁴Agricultural Microbiology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

(Received November 11, 2008. Accepted December 12, 2008)

ABSTRACT: Fungal floras were investigated for the lysimeter soil treated with municipal sewage sludge (MSS), pig manure compost (PMC), industrial sewage sludge (ISS), leather processing sludge (LS), and alcohol fermentation processing sludge (FS). Fungal populations were higher in the FS, ISS, LS, or MSS-treated soil than in the chemical fertilizer-treated soil. Isolated fungi from the sewage sludge were identified as *Penicillium* spp., *Gliocladium* spp., *Acremonium* spp., *Trichoderma* spp., *Aspergillus* spp., *Blastomyces* spp., and *Phoma* spp.

KEYWORDS : Biological assessment, Fungal flora, Heavy metals, Organic wastes

인구증가와 산업화로 인해 발생하는 오염원이 농업생태계 내로 유입되면서 농경지 오염이 우려되고 있는 실정이다. 또한 지속적으로 증가되고 있는 폐기물의 소각, 매립 등과 같은 처리방법이 한계에 도달하면서 폐기물의 재활용 필요성이 대두되고 있는 상황에서 유기성 폐기물의 농업적 활용이 거론되고 있다. 농업분야에서는 농경지에 과부하를 유발하지 않고 작물생육을 해치지 않을 뿐만 아니라 생산된 농산물의 안전성이 확보될 수 있는 재료만을 선택적으로 활용해야 할 상황이다. 따라서 농경지의 건전성을 유지하기 위해 폐자원의 농업적 활용에 따른 생물학적 위해성 평가기법의 개발이 요구되고 있다.

토양의 건전성은 서술적 개념과 물리적, 화학적, 생물학적인 분석적 개념들을 포함하며, 물리, 화학, 생물학적인 3가지 상호의존적인 요인들에 의해 좌우된다. 토양 건전성의 물리적, 화학적 평가요소는 상대적으로 많이 구명되어 있고 평가가 용이한데 비해, 생물적 평가요소들은 분석적인 평가와 해석이 어렵기 때문에 좀 더 모호하고 이해가 부족한 실정이다. 토양 건전성을 나타내는 생태적 지표는 특정 조건에서 존재하거나 존재하지 않는 식물 또는 동물

이 될 수 있으며, 지표로 선정된 특정한 생물 종(species)은 변화에 민감해야 하고 시스템의 기능을 정확하게 반영해야 하며, 일반적이면서도 일시적 또는 공간적 경향을 보여야 하고, 비용이 적고 측정이 상대적으로 쉽고 실용적이어야 한다. 모든 지표가 이 범주에 포함되는 것은 아니며, 한 가지 지표가 한 시스템에서 모든 변화를 나타내는 것은 어렵다(Kennedy and Papendick, 1995).

미생물은 농업환경에 따라 다양한 분포와 변동을 보이고 있어 환경평가 지표로서의 활용 가능성이 크다. 종 다양성, 핵산지문, 지방산조성 등을 이용한 군집분석, 그리고 효소활성, 기질이용도, 호흡량 등을 이용한 미생물활성 분석 등과 같이 다양한 미생물적 평가기법이 개발되어 다양한 분야에 적용되고 있으나, 생물학적 평가요소들에 대한 분석적인 평가와 해석이 어려운 실정이다(Edwards, 2002; Ibekwe *et al.* 2002; Karen *et al.* 2002; Kennedy, 1998). 미생물 자료의 효과적인 활용을 위해서는 미생물의 역할과 기능 뿐만 아니라 환경요인들간의 상호작용에 대한 종합적인 고찰이 필요하다(Baldrian, 2003). 국내에서도 중금속 오염지와 건전지에서 담자균을 수집하여 중금속과 버섯분포와의 관련성을 분석하였으며(장갑열 등, 2005), 중금속이 진균의 성장과 균사체의 형태적 변화 등에 대한 연구(Lilly

*Corresponding author <E-mail : khlee66@rda.go.kr>

et al., 1992; Gabriel *et al.*, 1996)와 미생물을 이용한 토양의 건전성 평가연구가 수행되어 왔다(Kennedy, 1998).

따라서 본 연구에서는 폐기물 연용지 토양내 진균분포를 조사하고, 토양의 물리·화학적 특성과 작물 수량 및 진균분포 특성과의 상호관련성을 분석함으로써 농경지 유입(폐기물)의 기준설정을 위한 미생물학적 지표 설정에 대한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

시험토양

공시토양은 1994년부터 2000년까지 매년 생활하수오니(MSS: Municipal sewage sludge), 공단하수오니(ISS: Industrial sewage sludge), 피혁오니(LSS: Leather processing sludge), 주정오니(FSS: Alcohol Fermentation processing sludge), 돈분퇴비(PMC: Pig manure Compost)가 매년 12.5, 25, 50 Ton ha⁻¹(dry weight)씩 처리된 사양질 토양이다(권순익 등, 2001). 시험구에서 1994년부터 2000년까지는 봄에는 총각무, 가을에는 김장무를 재배하였고, 2001년부터 상추, 배추 등이 재배되었으며, 이 시험구내 토양의 화학적 특성이나 중금속 함량 등은 Table 1에 나타나 있는 바와 같으며, 폐기물이 토양과 재배작물, 그리고 토양생물에 미치는 영향에 대한 연구결과는 이미 보고된 바 있다(권순익 등, 2003; 이상범 등, 2003; 박병용 등, 2003).

진균분리, 밀도조사 및 동정

토양 10 g 을 완충용액 90 ml에 넣고 1시간 동안 진탕한

후, 용액을 Rose-bengal agar배지에 희석 도말하여, 25°C에서 배양한 후 진균을 분리하였다. 진균밀도는 Rose-bengal agar배지에 배양된 콜로니 수를 조사하여 처리별로 조사하였으며, 근권토양과 비근권토양을 구분하여 조사하였다(원향연 등, 2004). 토양내에서 분리된 진균은 균총의 배양적 특성과 형태적 특성을 조사하여(Barnett and Hunter, 1998) 속(Genus)을 동정하였다.

PLFAs 분석법을 이용한 진균의 경시적 군집변동 조사

진균의 경시적 군집변동을 분석하기위해 3개월 간격으로 채집된 동결건조 토양샘플을 2 mm 체로 친 후 Klammer (1998) 방법에 준하여 Phospholipid Fatty Acids(PLFAs)를 조사하였다. 토양의 지방산을 가스크로마토그래피를 이용하여 측정된 후, 진균과 관련된 18:1과 18:2 지방산 분획을 분석하여 진균의 밀도를 추정하여 경시적 변화를 분석하였다.

결과 및 고찰

폐기물연용 토양 내 진균의 밀도

각 처리구의 토양내 진균밀도를 조사한 결과, 대조구보다 진균밀도가 낮은 처리구는 돈분퇴비처리구(PMC)이었으며, 반면에 공단하수오니처리구와 피혁오니 처리구의 진균밀도는 다른 처리구에 비해 높게 나타났다(Fig. 1). 폐기물처리량에 따른 진균밀도의 변화양상을 살펴본 결과, 생활하수오니(MSS)와 주정오니(FS)의 처리량에 비례하여 진균밀도가 증가하는 경향이었으며, ISS처리구의 진균 밀도는 처리량이 증가되면서 진균밀도가 증가하였으나

Table 1. Yield of Chinese Cabbage and chemical properties of successive organic waste-treated soil

Treatments (Mg ha ⁻¹ Yr ⁻¹)	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. K	Ex.-Ca (cmol kg ⁻¹)	Ex.-Mg	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Yield (kg/pot)
Control	5.1	8.0	0.6	176	0.14	0.42	0.28	0.9	1.8	26.0	1.1	4.8	3.3	8.5
MSS ^a	12.5	5.0	12.0	1.1	739	0.07	0.64	0.36	0.2	5.5	25.6	0.2	5.0	19.0
	25	4.1	21.0	1.4	1491	0.09	0.39	0.24	0.5	9.5	28.2	0.2	6.2	18.8
	50	4.5	27.0	2.3	2256	0.11	0.43	0.27	1.0	14.7	24.4	0.4	6.6	24.9
ISS	12.5	4.9	23.0	1.6	360	0.10	0.31	0.21	6.0	186.8	28.4	4.5	9.9	32.3
	25	5.0	30.0	2.6	567	0.08	0.23	0.16	9.9	246.0	29.5	5.9	12.5	33.1
	50	4.8	49.0	4.1	820	0.08	0.26	0.17	17.6	419.6	13.0	9.4	14.2	44.2
LS	12.5	6.5	21.0	2.3	34	0.05	2.44	1.25	10.5	5.2	54.4	2.0	8.0	15.5
	25	6.9	29.0	4.7	35	0.06	3.28	1.67	20.0	3.5	83.1	1.8	10.2	27.7
	50	6.8	49.0	6.2	41	0.08	4.86	2.47	49.1	3.9	162.9	3.8	12.3	60.1
FS	12.5	5.3	22.0	2.3	408	0.07	0.23	0.15	0.6	5.7	23.2	0.4	3.8	3.9
	25	4.3	37.0	4.6	717	0.11	0.29	0.20	0.1	7.8	15.3	0.2	2.9	2.4
	50	3.9	57.0	8.3	1057	0.16	0.39	0.28	0.0	13.8	11.0	0.6	1.2	5.0
PMC	12.5	6.5	15.0	1.0	647	0.29	2.17	1.23	0.3	9.4	44.5	0.3	3.6	21.0
	25	6.6	23.0	1.5	1184	0.45	2.47	1.46	0.2	13.0	61.4	0.4	2.6	47.7
	50	6.9	39.0	3.0	2139	0.74	3.42	2.08	0.2	16.0	77.1	0.5	1.5	85.5

^aMSS, Municipal sewage sludge; ISS, Industrial sewage sludge; LS, Leather processing sludge; FS, Alcohol Fermentation processing sludge; PMC, Pig manure Compost; Control, Chemical Fertilizer.

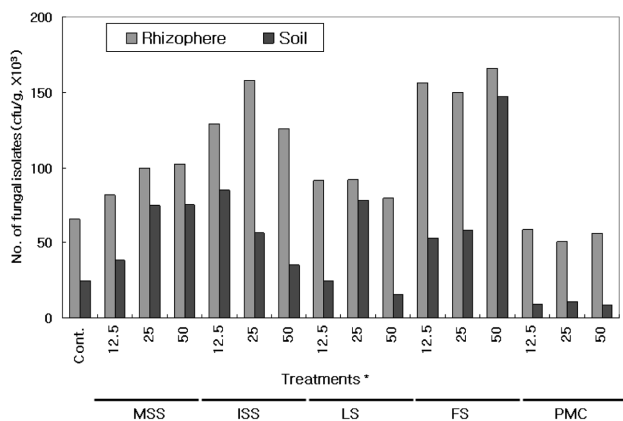


Fig. 1. Fungal distribution in the waste-treated soil and rhizosphere.

12.5~50 Ton ha⁻¹(dry weight) 수준이상에서는 진균밀도가 감소되는 경향이였다(Fig. 2). 돈분퇴비처리구에서는 모든 처리구에서 일정한 수준의 진균밀도 양상을 보였다.

폐기물연용지에서 배추의 수량(권순익 등, 2003)과 진균의 밀도와의 관련성을 분석한 결과, 폐기물연용이 배추의 수량에 크게 영향을 주지 않는 LS, PMC 처리구에서의 진균밀도는 폐기물처리수준에 따라 비교적 일정한 수준을 유지하였다(Fig. 3). 폐기물처리량이 증가되면서 배추수량이 점차적 감소되는 경향을 보이는 MSS, FS 처리구에서는 처리량이 증가되면서 진균밀도가 증가되는 경향이였다. 반면에 폐기물연용에 의해 배추수량이 급격히 감소된 ISS에서는 진균의 밀도가 급격히 감소되었다.

배추수량과 진균분포는 전체적으로 부(-)의 상관관계를 보였으며 토양진균밀도($R^2 = 0.344$)보다는 근권토양내 진

균분포($R^2 = 0.565$)와 더 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다(Fig. 3). 특히 처리구별 배추수량과 진균밀도의 관련성을 분석한 결과, 돈분퇴비처리구에서 배추수량과 진균밀도분포의 관련성($R^2 = 0.934$, $R^2 = 0.980$)이 가장 높은 것으로 나타났으며, 피혁오니처리구에서의 배추수량과 토양진균밀도도 비교적 높은 관련성($R^2 = 0.719$)을 보였다. 이외의 처리구에서는 배추수량과 진균밀도간의 관련성이 낮은 것으로 나타났으며, 공단하수처리구에서는 배추수량과 진균밀도가 정의 상관관계($R^2 = 0.870$)를 보여 다른 처리구에서와는 다른 양상을 보였다. 따라서 진균밀도와 같은 미생물의 양적자료만으로는 토양의 건전성(배추의 수량)을 평가하는데 다소 무리가 있는 것으로 생각된다.

폐기물연용 토양내 지방산분획 분포

처리토양의 지방산 중 진균을 나타내는 분획으로 알려져 있는 18:1, 18:2 분획을 조사한 결과, 지방산 분획 18:1은 생활하수오니(MMC)처리구에서는 전혀 관찰되지 않았으며, 주정오니(FS)와 피혁오니(LS) 처리구에서는 대조구와 비슷한 수준으로 폐기물처리수준에 따른 변화는 상대적으로 적었다(Fig. 4). 공단하수오니(ISS)와 돈분퇴비(PMC)의 지방산 분획 18:1은 12.5 수준에서는 대조구에 비해 현저히 낮았으나 25 처리수준이상에서는 급격히 증가하여 대조구 수준의 지방산 분포양상을 보였다. 지방산 분획 18:2는 지방산 분획 18:1에 비해 대조구에서의 농도가 낮은 수준이었다. 돈분퇴비(PMC)와 생활하수오니(MSS) 처리수준 12.5에서는 대조구보다 높은 지방산 함량을 보였으며, 공단하수오니(ISS)처리구를 제외한 나머지 처리구에서 폐기물처리가 증가하면서 점차 감소하는 경향이였다. 특히 배추의 수량이 현저히 감소한 공단하수

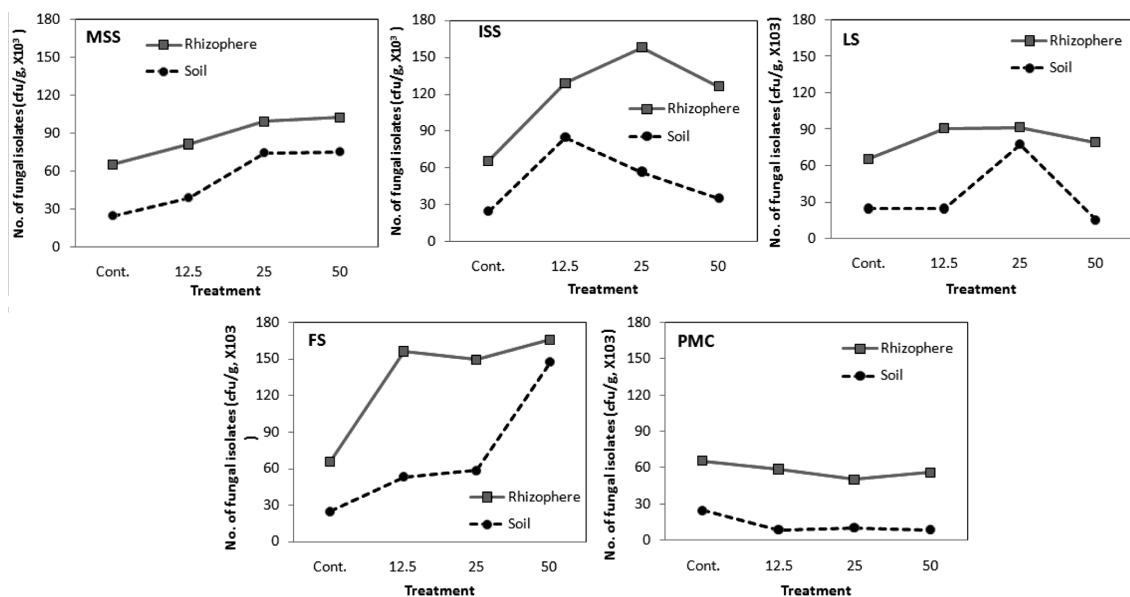


Fig. 2. Change of fungal density in the waste-treated soil and rhizosphere.

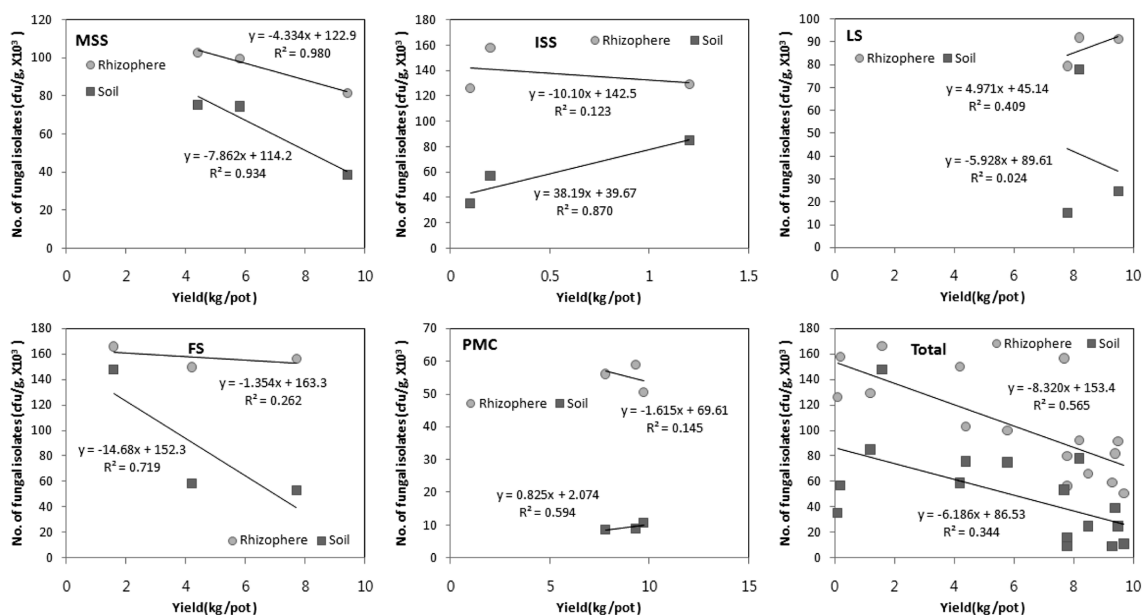


Fig. 3. Correlation between fungal density and yield of chinese cabbage.

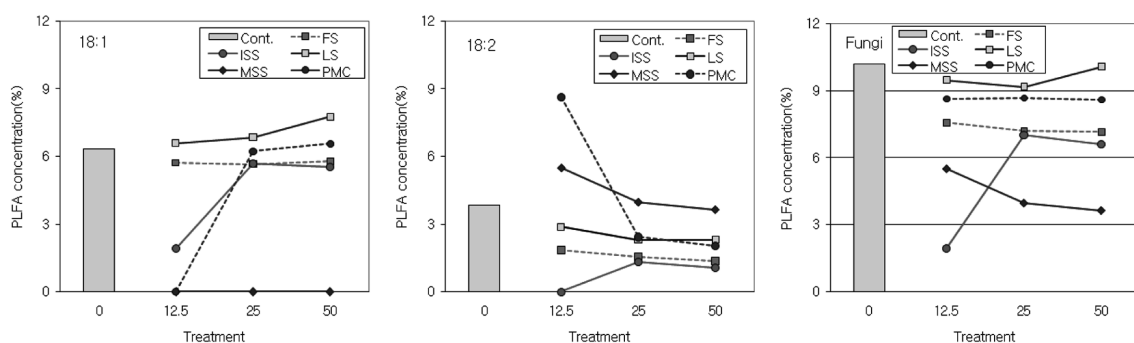


Fig. 4. Change of fungal density in the plots with different treatments examined by PLFAs.

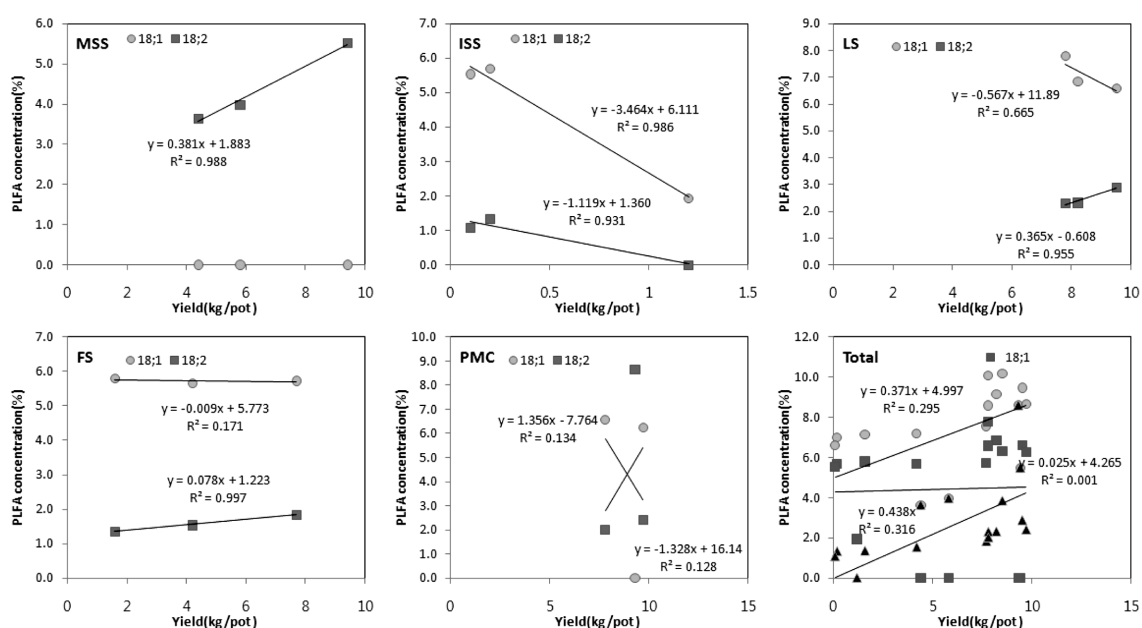


Fig. 5. Correlation between PLFA concentration and yield of chinese cabbage.

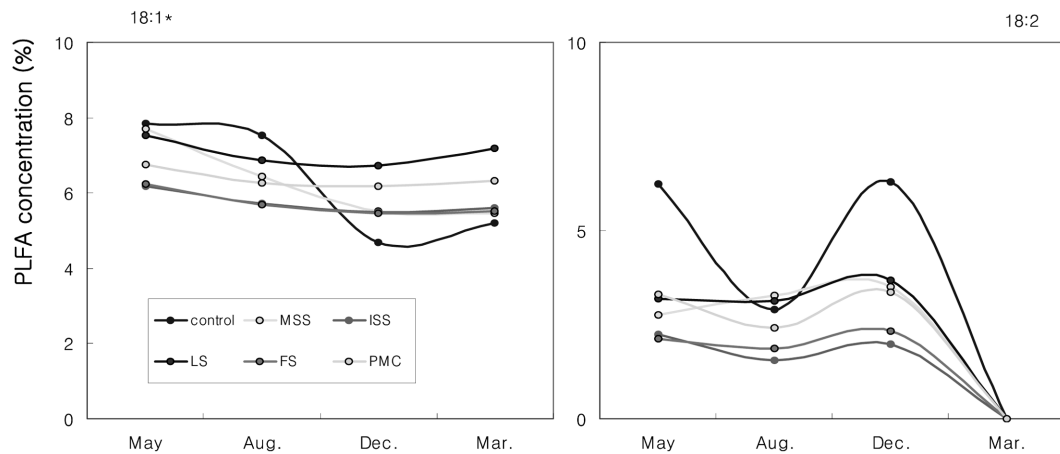


Fig. 6. Seasonal change of fungal density in the plots with different treatments examined by PLFAs.

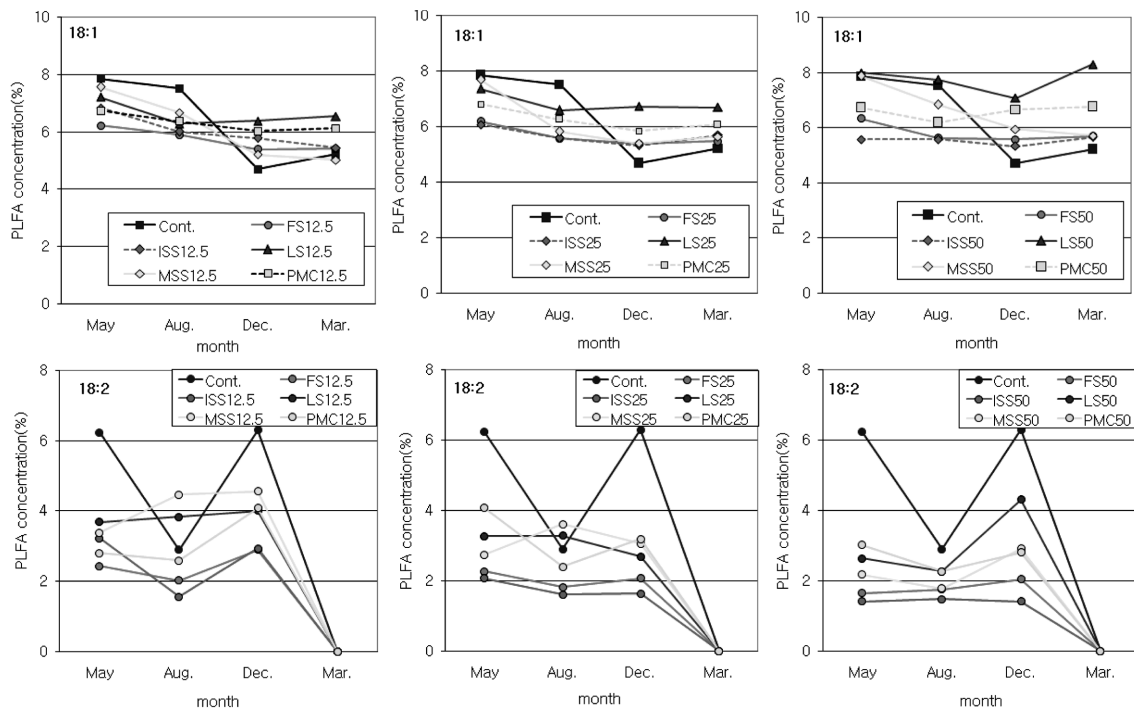


Fig. 7. Seasonal change of fungal density in the plots with different treatments examined by PLFAs.

오니(ISS)처리구에서는 두 종류의 지방산 분획 모두 증가하는 경향을 보여 토양오염과 밀접한 관련이 있는 것으로 추정되었다. 돈분퇴비(PMC)처리구에서는 지방산 18:1 분획은 증가하는 반면 지방산 18:2 분획은 감소하는 경향을 보였다.

지방산분획과 배추수량과의 상관관계를 조사한 결과, 지방산 분획 18:1보다 지방산 분획 18:2가 배추수량과 밀접한 정(+)의 상관관계를 보였다(Fig. 5). 처리구별 지방산 분획과 배추수량간의 상관관계는 공단하수오니(ISS)의 지방산분획 18:2만이 다소 높은 상관관계($R^2 = 0.988$)를 보였다.

토양 지방산의 경시적인 변화를 조사한 결과, 지방산

18:1 분획은 생활하수오니 처리구에서는 점차 감소하였으며, 대조구에서 12월에는 처리구의 지방산 함량수준 이하로 감소된 후 회복되는 경향이있으며, 이외의 처리구에서는 비교적 일정한 수준을 유지하였다(Fig. 6). 지방산 18:2 분획은 5월부터 12월까지 일정한 수준을 유지한 후 이듬해 3월경까지 감소하는 경향을 보였으며, 대조구의 지방산 분획은 8월경에 감소하였다가 12월경까지 증가된 후 다시 감소되었다.

시기별로 지방산의 변화양상을 분석한 결과, 지방산 18:1 분획은 큰 변화가 없는 편이었으며, 피혁오니(LS) 50 처리구에서 3월경에 처리구중 가장 높은 수준으로 증가하였다(Fig. 7). 지방산 18:2 분획은 대부분의 처리구

와 조사기간 중 대조구의 지방산이 처리구의 지방산 함량보다 높은 수준이었으나, 생활하수오니(MSS)와 폐혁오니(LS)처리구에서 12.5와 25 처리수준에서는 대조구에 비해 높은 지방산 함량을 보였으나 50 처리수준에서는 대조구의 지방산 함량보다 낮은 수준으로 감소되었다.

토양 진균의 밀도를 추정할 수 있는 지방산 분석은 폐기물의 종류와 계절에 따라 변화되었다. 이러한 토양지방산은 분석방법이 확립되어 있을 경우 비교적 간편하고 정확한 자료를 얻을 수 있으므로 토양의 건전성 평가를 위한 중요한 질적인 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 토양지방산 조성 및 변화와 토양의 건전성과의 관련

성을 추정하기 위해서는 보다 다양한 분석이 더 필요할 것으로 사료된다.

토양내 진균의 속별 분포

폐기물 처리 토양에서 분리된 384 균주의 진균에 대한 속(genus)을 동정한 결과, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Blastomyces*, *Phoma* 등이 우점하였다(Table 2). *Penicillium* 속균은 모든 처리구에서 분리되었으며, *Trichoderma* 속균은 대조구를 제외한 모든 처리구에서 분리되었다. *Gliocladium* 속균은 대조구에서 가장 많이 분리되었으며, *Aspergillus* 속균은 돈분퇴비 처리구에서,

Table 2. Fungal flora in the waste-treated soil

Fungal genus	No. of fungal isolates																Total
	MSS ^a			ISS			LS			FSS			PMC			Control	
	12.5	25	50	12.5	25	50	12.5	25	50	12.5	25	50	12.5	25	50	0	
<i>Blastomyces</i>	3						4	6	3	5	1	1	6	3	7	1	40
<i>Penicillium</i>	12	15	7	15	34	18	11	1	4	5	15	4	7	5	3	4	160
<i>Phoma</i>							2	11	12					1	2		28
<i>Acremonium</i>		1	2					1								3	7
<i>Aspergillus</i>													1	3	1		5
<i>Gliocladium</i>	7	3	7	1				1		1	1	3			4	30	58
<i>Trichoderma</i>	2		12	1	22	14	1	1	4	4	1	17	6		1		86
Total	24	19	28	17	56	32	18	21	23	15	18	25	20	12	18	38	384

^aMSS, Municipal sewage sludge; ISS, Industrial sewage sludge; LS, Leather processing sludge; FS, Alcohol Fermentation processing sludge; PMC, Pig manure Compost; Control, Chemical Fertilizer.

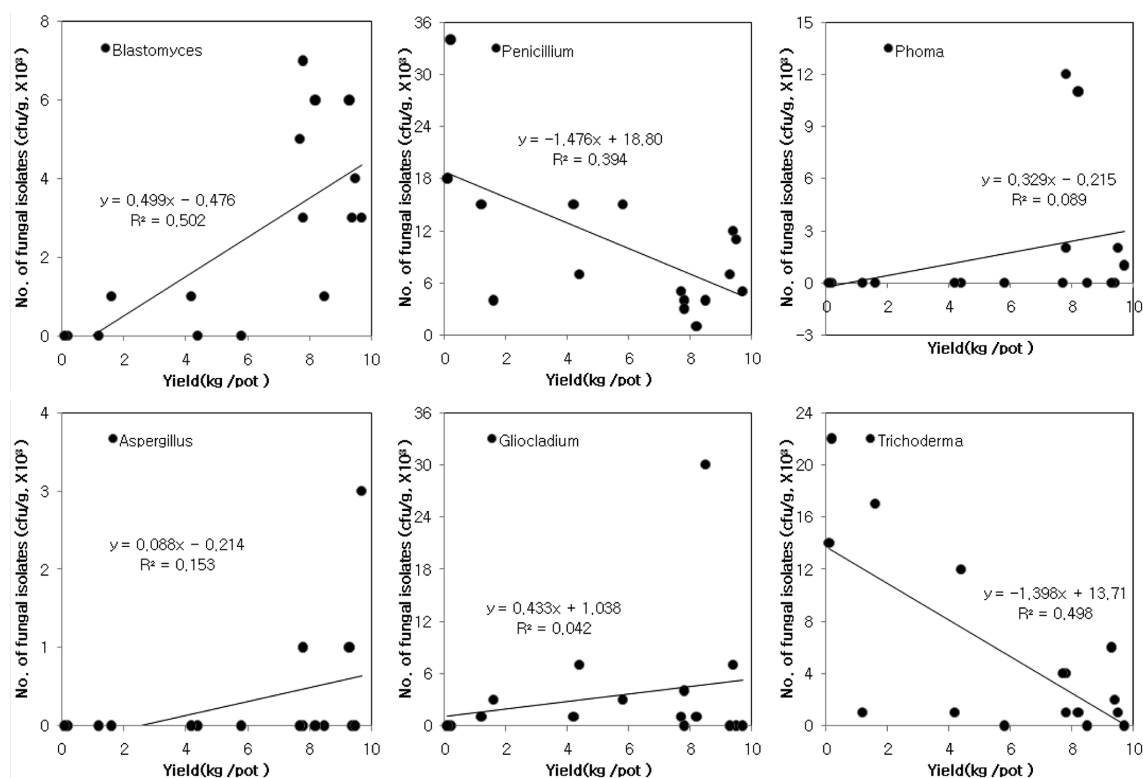


Fig. 8. Correlation between fungal flora and yield of chinese cabbage.

*Phoma*속 균은 피혁오니 처리구와 돈분퇴비 처리구에서만 분리되었다. *Blastomyces*속 균은 공단하수오니 처리구를 제외한 처리구에서 분리되었으며, 피혁오니와 돈분퇴비 처리구에서 상대적으로 높은 밀도를 보였다.

주요 우점균과 배추수량과의 관련성을 분석한 결과, *Penicillium*, *Trichoderma* 속균은 배추수량과 부(-)의, *Blastomyces* 속균은 정(+)의 경향을 보였으나 충분한 분리균을 확보하여 상관관계를 분석할 필요가 있는 것으로 사료된다(Fig. 8).

적 요

유기성폐기물의 연속적인 시용이 토양내 진균의 밀도에 미치는 영향을 조사한 결과, 진균밀도는 화학비료가 처리된 대조구에 비해 생활하수오니, 공단하수오니, 피혁오니, 주정오니 처리구에서 높게 나타났다. 폐기물 처리 토양에서 분리된 진균은 *Penicillium*, *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Blastomyces*, *Phoma* 등으로 동정되었다. 폐기물과 중금속이 토양내 진균밀도에 미치는 영향을 분석하기 위해 분리균주를 폐기물과 중금속이 첨가된 배지에 25°C에서 7일 배양하여 조사한 결과, 선발 진균의 균총생육은 첨가된 폐기물과 중금속에 따라 다양하게 나타났다. 이러한 배양특성은 농경지에 유입되는 오염물질의 생물학적 위해성 평가를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 권순익, 임동규, 소규호. 2001. 유기성 폐기물 장기연용 토양의 오염도 해석. 농업과학기술원 시험연구사업보고서(2000) 농업환경연구편. pp. 67-81.
- 권순익, 임동규, 이상범, 남재작. 2003. 폐기물연용에 따른 유해물질의 토양 및 작물이행 연구. 농업환경연구 109-120.
- 박병용, 이재국, 최동로. 2003. 토양선충을 이용한 오염농경지 환경평가 기술개발. 농업환경연구 554-563.
- 원항연, 권순우, 송재경, 남재작, 장갑열. 2004. 폐기물연용지의

- 세균분포조사. 농업과학기술원 농업환경연구.
- 이상범, 임동규, 권순익. 2003. 발농사의 폐기물 유입에 따른 토양생물 평가. 농업환경연구 536-553.
- 장갑열, 원항연, 최선규, 권순익, 김규현, 공원식, 유영복, 성재모. 2007. 담자균류를 이용한 폐기물연용 발토양의 건전성 간이평가. 한국버섯학회지 5(1):43-49.
- 장갑열, 최선규, 이강효, 석순자, 정종천, 정구복, 김규현. 2005. 중금속 오염지 및 건전지역에서 수집된 담자균류의 분포. 한국버섯학회지 3(4):145-153.
- Baldrian, P. 2003. Interactions of heavy metals with white-rot fungi. *Enzyme and Microbial Technology* 32:78-91.
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Macmillan Publishing Company, New York, U.S.A.
- Edwards, C. A. 2002. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. *European J. of Soil Biology* 38:225-231.
- Gabriel, J., Kofronova, O., Rychlovsky, P. and Krenzelok, M. 1996. Accumulation and effect of cadmium in the wood-rotting basidiomycete *Daedalea quercina*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57:383-390.
- Ibekwe, A. M., Kennedy, A. C., Frohne, P. S., Papiernik, S. K., Yang, C. H. and Crowley, D. E. 2002. Microbial diversity along a transect of agronomic zones. *FEMS Microbiology Ecology* 39:183-191.
- Karen, P. D., Whittaker, G. W., Banowetz, G. M., Azevedo, M. D., Kennedy, A. C., Steiner, J. J. and Griffith, S. M. 2002. High resolution characterization of soil biological communities by nucleic acid and fatty acid analyses. *Soil Biology & Biochemistry* 34:1853-1860.
- Kennedy, A. C. and Papendick, R. I. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *J. of Soil and Water Conservation* 50(3):243-248.
- Kennedy, A. C. 1998. Microbial diversity in agroecosystem quality. In: Biodiversity in Agroecosystems, ed. by W. W. Collins, and C. O. Qualset, pp. 1-17. CRC Press, Davers, USA.
- Klamer, K. and Baath, E. 1998. Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis. *FEMS Microbiology Ecology* 27:9-20.
- Lilly, W. W., Wallweber, G. J. and Lukefahr, T. A. 1992. Cadmium absorption and its effects on growth and mycelial morphology of the basidiomycete fungus, *Schizophyllum commune*. *Microbios* 72:227-237.