

밭 토양에서 가축분퇴비 연용시 토양 유기물 Fraction

윤홍배* · 이 연 · 유창연¹ · 양재의¹ · 이용복 · 이기상

농업과학기술원, ¹강원대학교

Soil Organic Matter Fractions in Upland Soil under Successive Application of Animal Manure Composts

Hong-Bae Yun,* Youn Lee, Chang-Yeon Yu¹, Jae-E Yang¹, Yong-Bok Lee, and Kee-Sang Lee

National Institute Agriculture Science & Technology, RDA, Suwon, 441-707, Korea

¹Kangwon National University, Chunchon, Korea

The objective of this study was to analyze change of soil organic matter fraction from a range of livestock manure compost that differed in their total C, N content and C quality, to gain a better understanding of their influence on soil organic matter. The chicken (CHM), pig (PIM), and cow (COM) manure-based composts, and manure-sawdust-based composts (CHMS, PIMS, and COMS) were applied annually to the upland soil with 3 Mg C ha⁻¹ during 4 years. After 4 years, the soil carbon content was increased to 25-30 and 40% for manure-based compost and manure-sawdust-based compost compared to control. In the all treatments, the content of light fraction C was sharply increased after second year. The content of light fraction C in the manure-sawdust-based compost was higher than in the manure-based compost. By contrast, the content of heavy fraction C was higher in the manure-based compost than in the manure-sawdust-based compost. These results indicate that stabilization of carbon applied from microbiological process was faster in the manure-based compost than in the manure-sawdust-based compost.

Key words : Light-Heavy Fraction, Animal Compost, Soil Organic Matter

서 언

농경지 토양에서 토양 유기물이 차지하는 비율은 매우 적지만, 이것이 토양의 이화학적 및 생물적 특성에 미치는 영향은 매우 크다. 즉, 토양유기물은 토양의 물리성 개선, 양이온 치환용량 증대, 양분공급, 미생물 활성화 촉진 등 다양한 기능을 가짐으로써, 지속적인 작물 생산을 위한 토양 비옥도 증진에 중요한 요인 중 하나라고 할 수 있다.

농경지에 가해진 유기물은 유기물의 조성적 특성, 재배조건, 지역적 환경조건, 경작형태 등 다양한 요인에 의해서 분해 및 집적되는 양상이 달라지기 때문에 토양 중 적정 유기물 함량을 유지하는 것은 쉽지 않다. 한편, 토양에 가해지는 유기물은 분해되는 과정에서 생물, 화학, 물리적 작용을 수반하기 때문에 분해 특성에 따라 토양환경에 미치는 영향도 상이하다. 특히, 가축분퇴비와 같은 유기물질을 장기연용 할 경우, 퇴비특성에 따른 토양 유기물 함량 변화는 합리적인

토양 비옥도 관리를 위해서 구명 되어져야 될 것으로 생각된다.

토양 유기물은 분해되는 전환점에 근거하여 밀도 (density) 차이에 따른 물리적 분획에 의해서 Light 및 Heavy Fraction 두 종류로 나눌 수 있다 : (I) Light fraction (LF)은 동·식물잔사가 일부 분해되어 이뤄진 광물질이 없는 것으로 구성되어 있으며, 토양 광물보다 상당히 낮은 비중(밀도)을 가지며, (II) Heavy fraction (HF)은 더욱 분해가 진전된 산물로 이뤄져 있으며, 토양 광물과 복합체를 형성하기 때문에 높은 비중(밀도)를 가진다 (Christensen, 1992; Barrios et al., 1996). LF와 HF를 구분하는 비중은 2.0 g cm⁻³ (Greenland and Ford, 1964), 1.59 g cm⁻³ (Scheffer, 1977; Ladd et al., 1977), 및 1.65 g cm⁻³ (Spycher et al., 1983) 등이 토성에 상관없이 이용되고 있다. 그러나 Strickland and Sollins(1987)에 의해서 개선된 흡입법은 실험방법이 간편하고, 사양토와 같은 거친 구조를 가진 토양에서 유용하게 이용할 수 있는 방법이다.

토양 유기물 중 LF는 미생물의 탄소원으로 이용되는 이분해성 유기물로서 탄소 무기화와 깊은 연관이

접수 : 2007. 9. 3 수리 : 2007. 10. 3

*연락처 : Phone: +82312900325,

E-mail: hbaeyum@rda.go.kr

있으며 (Janzen et al., 1992), 신선한 유기물 투입량이 많은 산림토양에서 농경지 토양보다 그 함량이 높다 (Greenland and Ford, 1964; Sollins et al., 1983, Strickland and Sollins, 1987; Boone, 1994). 특히, LF는 토양구조를 형성하고 안정화 시키는데 크게 관여하는 것으로 잘 알려져 있다 (Miller and Jastrow, 1990; Kay, 1998). 그러나 HF는 이미 미생물의 의해서 어느 정도 분해가 이루어져서 토양입자와 복합체를 형성하고, 토양 중 탄소 저장에 중요한 역할을 하며, 탄소함량이 LF에 비해 낮다 (Golchin et al., 1995). Zhang et al. (2007) 의 보고에 의하면 농경지 토양 탄소 변동은 비교적 짧은 시간 (5년 이하)에는 주로 LF에 영향을 받고, 긴 시간 (5년 이상)에는 HF에 영향을 받는다고 하였다. 따라서 퇴비 사용 후 농경지 토양 유기물의 LF와 HF의 조성 변화는 시간과 퇴비의 종류에 크게 영향을 받을 것이며, 이들의 조성 변화에 대한 조사는 금후 농경지 토양 유기물 관리에 있어 중요한 자료가 될 것으로 판단된다. 그러나 우리나라에서 여러 가지 종류의 가축분 퇴비가 사용되고 있지만 이들에 관한 연구는 작물의 생산성과 양분공급 측면에 국한되어 왔다.

따라서 본 연구는 톱밥을 혼합한 가축분 퇴비 3종과 부재료를 혼합하지 않은 가축분 퇴비 3종을 4년간 연용한 밭 토양에서 토양 유기물의 Light- Heavy fraction의 변화를 분석하여 금후 토양유기물 관리에 있어 기초자료로 활용 하고자 한다.

재료 및 방법

공시토양 및 공시재료 본 연구는 경기도 수원시 농업과학기술원 밭 포장에서 실시하였으며, 시험 전 토양의 화학성분은 Table 1에 나타난 바와 같다. 총 질소와 탄소의 함량은 각각, 1.04 g kg⁻¹, 8.62 g kg⁻¹로 토양 비옥도가 다소 낮은 미사질 양토였다.

공시 가축분 퇴비는 부재료를 혼합하지 않은 계분 (Chicken Manure : CHM), 돈분 (Pig Manure : PIM), 우분퇴비 (Cow Manure : COM) 및 톱밥을 부재료로 혼합한 계분톱밥 (Chicken Manure Sawdust : CHMS), 돈분톱밥 (Pig Manure Sawdust : PIMS), 우분톱밥퇴비 (Cow Manure Sawdust : COMS) 6종을 사용하였다. 이들 퇴비는 초년도 시험전에 일정기간

부숙 기간 (가축분 퇴비는 2개월, 톱밥혼합퇴비는 6개월)을 경과한 것으로, 이를 비닐 포대에 넣어 보관하면서 4년간 연속 사용하였다. 이때, 톱밥을 부재료로 사용한 퇴비는 가축분과 톱밥을 5:5(v/v)로 혼합하여 부숙시킨 퇴비이다. 퇴비 사용량은 퇴비 중 총 탄소함량을 분석하여 T-C 함량으로 3 Mg ha⁻¹ 해당량을 매년 사용하였으며, 그 결과 4년 동안 포장에 사용된 총 양분함량은 Table 2에 나타난 것과 같다. 작물재배는 4년에 걸쳐 고추-배추-옥수수-고추를 윤작한 포장이다.

Light-Heavy Fraction 방법 본 연구에서는 Strickland and Sollins(1987)가 제안한 흡입법을 이용하여 Light-Heavy fraction 분석 하였다. 포장에서 채취한 시료 30g을 유리 비이커에 넣은 후 여기에 NaI용액 (density=1.70 g cm⁻¹) 200 ml을 가하여 유리막대로 고루 저어준다 (Fig. 1). 그 후 48시간을 실온에서 방치한 다음 상등액 (Light fraction)을 진공펌프를 이용하여 진공플라스크로 흡입시킨다. 이때 침전물 (Heavy fraction)이 흡입되지 않도록 주의하며 침전물의 약 5cm 높이에서 흡입을 멈춘다. 각각 분리한 물질은 Whatman no. 50 여과지로 여과하며, 여과 후 3회 1.0 M NaCl (50 ml)세척, 그리고 증류수로 3회 세척과정을 거친다. 일련의 과정을 거친 시료를 건조하여 무게를 측정 후 탄소와 질소를 분석한다. 탄소와 질소분석은 원소분석기 CHN 분석기 (LECO Co.)를 이용하였다.

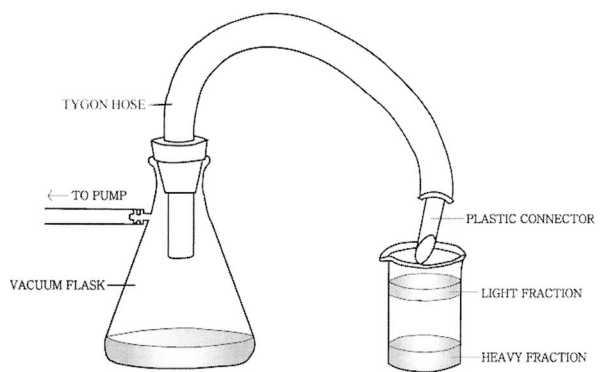


Fig. 1. Apparatus for removal of light fraction by suction.

Table 1. The chemical properties of experiment used soil.

pH	T-N	T-C	Av.P ₂ O ₅	Ex.cations		
				K	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹	----- cmol kg ⁻¹ -----		
6.0	1.04	8.62	254	0.30	6.08	1.04

결과 및 고찰

총 질소와 탄소함량 변화 가축분 퇴비의 양분함량은 축종별, 사료 종류별, 계절별 등 여러 요인에 의해 달라지므로 일정하지 않으며, 특히 퇴비화 과정에서 퇴적기간 및 부자재 종류 등에 의해서 크게 달라질 수 있다. 본 연구에서 퇴비 사용량은 탄소를 기준으로 했기 때문에 가축분 퇴비에 의해서 사용된 질소함량은 CHM에서 가장 높았으며, 사용된 퇴비 중 C/N 율이 가장 높은 COMS에서 가장 낮았다 (Table 2).

토양중 총 질소함량은 시험 개시전에 비해 1년 차에 최소 7% (COMS) - 최대17% (CHM) 증가 하였으나, 4년 연용 후 증가율은 우분 톱밥 퇴비구 (COMS)에서 가장 낮았다 (Table 3). 한편 토양 중 총 탄소함량의 변화는 모든 처리구에서 1년차의 증가율은 미미하였으나, 2년차에서 20-30%의 급격한 증가율을 보였다. 그리고 4년 연용 후 토양 중 총 탄소 증가율은 톱밥을 혼용하지 않은 계분, 돈분 및 우분퇴비 사용구는 25-30%의 증가율을 나타낸 반면, 우분 톱밥 퇴비구 (COMS)를 비롯한 톱밥혼용 퇴비 처리구는 약 40%의 증가율을 나타내었다.

Light-Heavy Fraction LF의 탄소함량 변화는 가축분 퇴비를 사용한 모든 처리구에서 2년차 이후 급격히 증가하는 추세를 나타냈다 (Table 4). 한편, 4년간 연용 후 분석결과는 우분 톱밥 (COMS) > 돈분 톱밥 (PIMS) > 순수우분 (COM) 순으로 높았으며, 이는 톱밥 혼용퇴비구의 경우 톱밥이 쉽게 분해가 이뤄지지 않음을 간접적으로 시사한다고 생각된다. Janzen et al.(1992)과 Hassink(1995)은 농경지 토양에서 LF의 C/N 비율은 13~36의 범위라고 보고한바 있다. 그러나 본 연구에서는 톱밥을 혼용한 퇴비를 연속 사용구구의 경우 LF의 C/N 비율은 40이상으로 컸으며, 특히 우분 톱밥퇴비구의 경우 4년 후에는 약 76을 나타내어 분해가 다소 어려운 상태의 유기물로 많은 양이 존재하게 됨을 알 수 있었다

반면, HF의 탄소함량은 톱밥혼용 퇴비보다 부자재가 혼용되지 않은 가축분 퇴비를 연용한 처리구 (CHM, PIM)가 증가량이 높았다 (Table 4). 이러한 결과는 분해가 빠른 유기물이 토양에 가해지면 비교적 안정된 부식형태로 전환이 빨라짐을 나타낸다고 사료되며, 반면 톱밥이 혼용된 가축분 퇴비의 경우는 HF 탄소함량 증가가 순수 가축분퇴비에 비하여 저조함을 보임에 따라 톱밥의 경우는 토양 중 진정부식함량 증가 기여에는 다소 미미할 것으로 판단된다. 한

Table 2. Amount of applied manure and nutrients during 4 years.

Treatments	Amount of added manures	Amount of nutrients by added manures				
		T-N	T-C	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
----- kg ha ⁻¹ -----						
39,950	39,950	1,371	12,000	1,484	1,001	2,421
40,670	40,670	1,010	12,000	1,822	671	1,725
41,400	41,400	733	12,000	888	532	1,320
41,980	41,980	536	12,000	1,355	884	2,219
42,810	42,810	640	12,000	1,475	478	1,577
42,850	42,850	476	12,000	714	457	997

CHM: Chicken manure compost, PIM: Pig manure compost, COM: Cow manure compost, CHMS: Chicken manure+Sawdust compost, PIMS: Pig manure+Sawdust compost, COMS: Cow manure+Sawdust compost

Table 3. Changes of total nitrogen and carbon content in soil with different manures application.

Treatments	Total Nitrogen				Total Carbon			
	1st.	2nd.	3rd.	4th.yr.	1st.	2nd.	3rd.	4th.yr.
----- g kg ⁻¹ -----								
CHM	1.22	1.24	1.29	1.3	8.6	10.4	10.5	10.4
PIM	1.17	1.22	1.27	1.3	8.7	10.5	10.6	11.0
COM	1.20	1.21	1.23	1.2	9.3	11.0	10.9	11.1
CHMS	1.13	1.15	1.21	1.3	9.2	11.0	11.5	12.2
PIMS	1.14	1.14	1.19	1.2	9.0	11.3	11.6	11.6
COMS	1.12	1.13	1.20	1.2	10.0	11.3	11.7	12.4

CHM: Chicken manure compost, PIM: Pig manure compost, COM: Cow manure compost, CHMS: Chicken manure+Sawdust compost, PIMS: Pig manure+Sawdust compost, COMS: Cow manure+Sawdust compost

Table 4. Changes of Light-Heavy Fraction in soil with application of different animal manures.

Treatments	Light Fraction			Heavy Fraction			
	T-C	T-N	C/N	T-C	T-N	C/N	
----- mg kg ⁻¹ -----							
Before experiment	36.6	0.8	45.7	7.8	0.7	11.1	
CHM	1 yr.	60.0	2.8	21.4	8.2	1.0	8.2
	2 yr.	441.7	12.6	35.0	10.8	1.0	10.8
	3 yr.	397.7	14.4	27.6	11.4	1.1	10.4
	4 yr.	388.6	14.9	26.1	11.9	1.3	9.2
PIM	1 yr.	62.5	2.8	22.3	8.3	0.9	9.2
	2 yr.	467.2	12.4	37.7	10.4	1.1	10.4
	3 yr.	437.3	13.1	33.4	11.2	1.3	9.5
	4 yr.	398.5	15.2	26.2	12.2	1.4	8.6
COM	1 yr.	42.4	1.8	23.6	8.0	0.9	8.9
	2 yr.	559.8	9.6	58.3	10.4	1.0	10.4
	3 yr.	570.3	11.5	49.6	11.0	0.9	12.2
	4 yr.	569.3	12.8	44.5	11.1	0.9	12.3
CHMS	1 yr.	70.8	1.3	54.5	8.4	0.8	10.5
	2 yr.	436.2	11.3	38.6	9.8	0.9	11.9
	3 yr.	486.5	12.0	40.5	10.4	1.0	10.4
	4 yr.	512.4	12.7	40.3	10.9	1.3	8.4
PIMS	1 yr.	89.0	2.0	44.5	8.2	0.8	10.3
	2 yr.	496.9	10.8	46.0	10.0	1.0	10.0
	3 yr.	596.1	11.9	50.1	10.7	1.1	9.7
	4 yr.	612.7	13.6	45.1	10.8	1.2	9.0
COMS	1 yr.	70.5	1.3	54.2	8.4	0.8	10.5
	2 yr.	454.6	7.7	59.0	9.5	0.9	10.6
	3 yr.	672.7	9.0	74.7	10.1	0.9	11.2
	4 yr.	712.4	9.4	75.8	10.4	1.1	9.5

CHM: Chicken manure compost, PIM: Pig manure compost, COM: Cow manure compost, CHMS: Chicken manure+Sawdust compost, PIMS: Pig manure+Sawdust compost, COMS: Cow manure+Sawdust compost

편, HF의 C/N비는 모든 처리 공히 시험 개시 전 공 시도양과 비교해 보면 다소 감소 또는 증가될 뿐 큰 변화폭을 보이지 않았으며, 처리간에 일정한 경향을 나타내지 않았다.

토양 중 총 탄소함량과 LF 및 HF의 총 탄소함량과의 상관관계는 모두 유의한 상관이 있음을 나타냈으며, LF의 탄소함량의 상관계수($r=0.92^{**}$)가 HF의 탄소함량 상관계수($r=0.67^{**}$)에 비해 높았다 (Fig. 3). 이 결과로써 토양 중 탄소 함량의 일시적 변화는 토양 유기물중 LF의 탄소함량이 크게 좌우하며, 시간 경과에 따른 토양 유기물 함량의 절대적인 변화는 HF의 탄소함량에 의해 좌우되며, 이는 곧 급격한 변화가 없이 토양 유기물의 안정적인 상태를 유지하는 근원이라 사료된다.

따라서 퇴비 시용이 토양 유기물 함량에 미치는 영향을 평가 하는데 있어 단순히 토양 중 총 탄소로서 평가하기 보다는 토양 탄소의 물리적 분획에 의한 평가가 보다 합리적일 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 밭 토양에 계분, 돈분, 우분 및 톱밥을 혼용하여 부숙시킨 계분톱밥, 돈분톱밥 및 우분톱밥퇴비 등 성상이 상이한 가축분퇴비 6종을 각각 매 년 3 ton C ha⁻¹를 4년간 연용한 토양에서 탄소 분획 변화를 파악하고자 실시하였다. 가축분퇴비 4년 연용 후 토양 탄소함량의 증가율은 톱밥을 혼용하지 않은 계분, 돈분 및 우분퇴비 시용구는 25-30% 증가 한 반면, 우분톱밥퇴비구(COMS)를 비롯한 톱밥혼용퇴비 처리구 증가율은 40%를 상회하였다.

Light Fraction(LF)의 탄소함량 변화는 모든 처리구에서 2년차 이후 급격히 증가하는 추세를 보였으며, 반면, Heavy Fraction(HF)의 탄소함량은 톱밥 혼용 퇴비보다 순수 가축분퇴비를 연용한 처리구가 증가량이 많았다. 이러한 결과는 톱밥이 혼용된 가축분 퇴비보다 톱밥을 혼용하지 않은 순수가축분 퇴비가 분해보다 빠름으로 인해 비교적 안정된 탄소형태로의 전

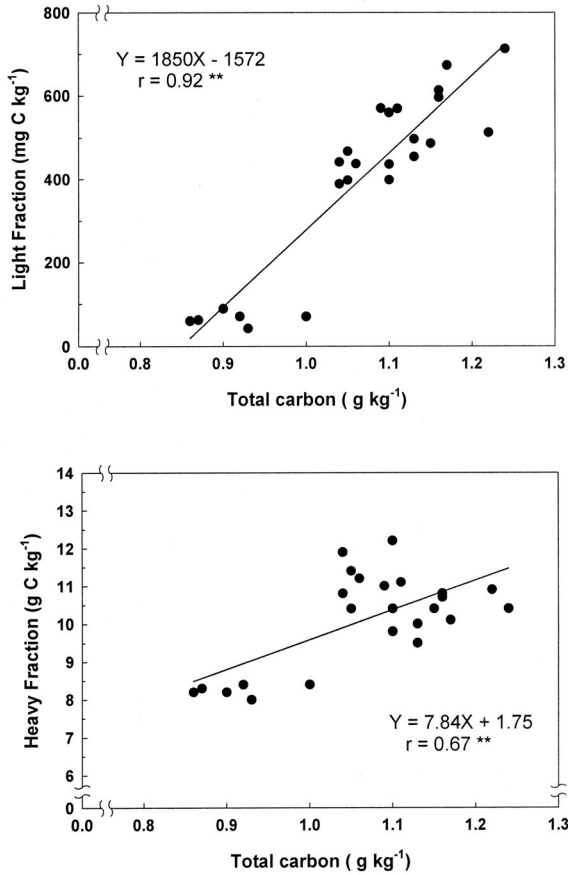


Fig. 2. The relationship between total carbon and fraction carbon contents.

환도 많아졌다고 사료된다.

인 용 문 헌

Barrios, E., Buresh, R.J. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry* 28: 1459-1465.
 Boone, R.D. 1994. Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biology &*

Biochemistry 26:1459-1468.
 Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:1-90
 Greenland, D. J. and G. W. Ford. 1964. Separation of partially humified organic materials from soil by ultrasonic vibration. 8th Int. Congr. Soil Sci. Trans. 3:137-148
 Golchin, A. P. Clarke, J.M. Oades, and J.O. Skjemstad. 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Aust. J. Soil res.* 33:975-993.
 Hassink, J. 1995. Density fractions of macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N mineralization. *Soil Biology & Biochemistry.* 27: 1099-1108.
 Janzen, H.H., C.A. Campbell, S.A. Brandt, G.P. Lafond and L. Townley-Smith. 1992. Light fraction organic matter in soils from long term crop rotations. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 56:1799-1806.
 Kay, B.D. 1998. Soil structure and organic carbon, a review. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds). *Soil processes and the carbon cycle.* CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 169-197.
 Miller, R.M. and J.D. Jastrow. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 22:579-584.
 Sollins, P., G. Spycher, and C. Topik. 1983. Processes of soil organic matter accretion at a mudflow chronosequenc, Mt Shasta, California. *Ecology* 64: 1273-1282.
 Sollins, P., G. Spycher, and C.A. Glassman, C.A. 1984. Net nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction forest soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry.* 16:31-37.
 Spycher, G., P. Sollins, and S. Rose. 1983. Carbon and Nitrogen in the light fraction of a forest soil : vertical distribution and Seasonal patterns. *Soil sci.* 135(2):79-87
 Strickland, T.C., and P. Sollins. 1987. Improved method for separating light and heavy fraction organic matter from soil. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 51:1390-1393.
 Zhang, J., S. Changchun, and Y. Wenyan. 2007. Tillage effects on soil carbon fractions in the Sanjiang Plain, Northeast China. *Soil Tillage Res.* 93:102-108.