

수피·돈분 부산물 비료의 부숙단계별 특성 변화

양재의*, 박창진, 용석호¹⁾, 김정제
강원대학교 자원생물환경학부; ¹⁾경기도 양평 축산협동조합

Changes in Characteristics of Bark and Piggery Manure By-Product Fertilizers During the Composting

Jae E. Yang, Chang-Jin Park, Seok-Ho Yong¹⁾ and Jeong-Je Kim (Division of Biological Environment, Kangwon National University Chunchon, 200-701, Korea; ¹⁾Yang Pyoung Livestock Cooperatives, Kyunggi, Korea, *yangjay@cc.kangwon.ac.kr)

ABSTRACT : Objective of this research was to draw the basic criteria of the compost maturity evaluation, by assessing the stability of chemical and physical properties of the bark and piggery manure by-product composts during the composting. Colors of the mature composts were black and dark brown for the bark and piggery manure by-product composts, respectively. Good earthy odor was detected for both by-product composts after approximately 40 days composting, by which odors of the original raw materials were disappeared. pH and EC of the mature bark compost were stabilized at 6.5 and 1 dS/m, respectively. The respective values for the piggery compost were stabilized at 7.2 and 6 dS/m. Organic matter contents were decreased with time to be stabilized at about 60 % at the end of composting. During composting, total N contents of the bark and piggery composts were maintained at 1.1~1.5%, and 1.5~2.2%, respectively. For both fertilizers, NH₄-N contents were increased at the initial stage but decreased after the middle stages of decomposition, resulting in the increase of NO₃-N contents. Total inorganic N contents were increased with time. C/N ratios of both mature composts were stabilized at 25~27. CEC of the bark compost was increased logarithmically with time and that of mature compost was 87 cmol(+)/kg. CEC of the piggery manure compost was hyperbolic function with time and reached at 70 cmol(+)/kg at the mature stage. Crude fiber analysis indicated that relative contents of lignin were increased with composting by compensating for the decreases of cellulose and hemicellulose contents.

Key words: compost, maturity, bark, piggery manure, by-product fertilizers

서론

농업을 비롯한 각 종 산업의 생산활동을 통해 다양한 종류의 유기성 부산물이 다량 배출되고 있는 실정이다. 이들은 식물에 필요한 영양소를 함유하고 있기 때문에 자원화시켜, 소각과 매립에 따른 경제적 부담과 환경오염을 줄이려고 노력하고 있다. 국내에서도 여러 종류의 부산물을 이용하여 부산물 비료를 제조하는 업체가 1998년을 기준으로 312개소에 달하고 있고¹⁾, 이는 1995년에 비해 100여 개소가 증가되었다.

우리 나라 비료관리법에는 부산물 비료란 “농업, 임업, 축산업, 수산업, 제조업을 영위하는 과정에서 나온 부산물, 인분뇨, 음식물류 폐기물, 토양미생물제제 (토양효소제제를 포함한다), 토양활성제, 기타 비료성능이 있는 물질로서 농림부장관이 지정하는 것을 말

한다”라고 정의되어 있다.²⁾

부산물 비료를 토양에 사용하여 자원화 할 경우 영양소 및 수분을 지속적으로 식물에 공급할 수 있을 뿐 아니라 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 개량하여 작물 및 미생물 생육에 좋은 환경을 제공할 수 있다.^{3,4)} 현재 우리 나라에서는 화학비료의 과다 사용으로 인해 토양의 비옥도가 악화된 실정이고, 1997년부터 환경농업 육성법이 시행되면서 유기성 부산물 비료의 사용은 더욱 증가되고 있는 실정이다.⁵⁾ 그러나 대부분의 부산물 제조업체가 영세 규모이고, 퇴비화 공정에 관한 규격과 기술이 미비할 뿐 아니라, 비료공정 규격에 의한 관리의 한계성으로 인해 불량 부산물 비료가 난립하고 이들에 의한 농가의 피해 사례가 빈번히 발생되고 있다.

미부숙된 부산물 비료 중 C/N 비가 매우 높을 경우 토양 중

유효태 질소를 고정화하여 일시적 질소기아현상을 초래할 수 있고, C/N 비가 매우 낮을 경우 암모니아 독성, pH 증가 등으로 인해 작물 생육에 악 영향을 줄 수 있다.⁴⁾ 또한 미생물 활성의 급증으로 인해 산소 결핍이 초래되어 강 환원상태의 조성, 유해한 유기산 함량 증가, 환원형 중금속의 용해도 증가 등으로 인해 뿌리의 성장이 피해를 받을 수 있는 것으로 보고되고 있다.⁶⁾ 부숙되지 않은 퇴비의 경우, 냄새, 종자 발아 문제, 병원균 등 세균 감염, 외인성 잡초의 도래, 일시적 아질산의 축적 문제들을 초래할 수 있게 된다.^{7,8)} 그러므로 부산물 비료의 부숙도는 폐기물의 자원화 측면에서 뿐 아니라 부산물 비료가 농업생산성에 효율적으로 활용될 수 있고, 환경에 미치는 영향을 결정하는 중요한 요인으로 작용하게 된다.

부산물 비료의 부숙도는 부산물의 물리적, 화학적, 생물학적 특성이 안정화되는 정도를 평가하는 개념으로 이해될 수 있다.^{10,11,12)} 부산물 비료의 물리적, 화학적 특성들은 원재료가 미생물의 공격을 받아 분해되는 부숙과정에 따라 변화하게 된다. 우리나라의 경우 부산물 비료의 부숙도 판정에 관한 연구가 미비한 실정이다. 부숙도 판정기준을 설정하는데 가장 걸림돌이 되는 것은 유기성 부산물을 퇴비화(composting)하는 과정에서 원료의 특성이 다를 뿐 아니라 단일 재료를 부숙시키는 것이 아니고, 다양한 부재료를 혼합하기 때문이다. 그러나 주된 원료가 부숙되는 과정에서 미생물의 활성이 낮아지게 되면, 퇴비화 과정에서 변화되던 특성이 안정한 값을 갖게 된다.^{10,11,12)} 그러므로, 부숙과정에서 부산물 비료의 특성변화를 측정하는 것은 부숙도의 판정 기준을 설정하는 중요한 단계이다.

본 연구의 목적은 부산물 비료의 부숙도 판정 기준 설정을 위한 기초자료를 구축하기 위하여 우리나라에서 가장 널리 사용되고 있는 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료를 대상으로 원재료로부터 완제품 생산까지 부숙단계 별 시료의 물리적·화학적·생물학적 특성의 변화를 측정하는 것이다.

재료 및 방법

공시 재료

수피 부산물 비료는 pulp 생산의 원료로 사용되는 wood chip을 생산할 때 발생하는 소나무(*Pinus densiflora*) 수피를 주원료로 하였다. 이에 요소, 건계분, 미생물효소제 등의 부원료를 첨가, 혼합하고 수분 조절을 한 후 통기성 야적 발효조(원주 그린산업 시설 활용)에서 부숙시켰다. 돈분 부산물비료는 양돈 농가로부터 수거한 돈분을 톱밥과 혼합하여 수분을 65% 내외, C/N 비를 25 전후로 조절한 후 강제송풍 교반식 호기성 발효 시스템(양평 축협 축분비료 공장 시설 활용)에서 부숙시켰다. 매일 1회씩 뒤집기를 하였고, Blower를 이용하여 일정하게 공기를 공급하였다. 야적장에서 후숙시킨 시료는 분쇄기로 파쇄한 후 선별기를 통과시켜 완제품으로 생산하였다. 부산물 비료의 특성변화를 분석하기 위

한 공시재료는 원재료(수피와 돈분)로부터 시작하여 완제품이 생산되는 공정에서 부숙 단계별로 채취하여 음건 한 후 1mm이하로 분쇄하여 사용하였다.

부숙단계별 시료의 냄새 및 색 변화

부숙단계별 부산물 비료 시료의 냄새는 오감을 이용하여 측정했고, 색은 Munsell soil color chart를 이용하여 색상(hue), 명도(value), 채도(chroma)의 변화를 조사하였다. 부숙이 완료된 퇴비는 원재료의 냄새가 없어야 하고, 좋은 흙 냄새(good earthy odor: 퇴비취)가 나고, 암갈색에서 검정색을 띠는 특성을 기초로 하여 부숙도의 판정 기준으로 활용하였다.^{9,10)}

부숙단계별 시료의 화학적 특성 변화

각 부숙단계별 시료의 pH와 전기전도도(Electrical Conductivity: EC)는 1:5(중류수)로 추출하여 측정하였고, 유기물은 회화법과 Walkley-Black법을 사용하였다. 총 질소와 총 인, 양이온(K, Ca, Mg, Na)은 산으로 가수분해한 후 총질소는 Kjeldahl법, 총인은 Bray No.1법, 양이온(K, Ca, Mg, Na)은 Atomic Absorption Spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 양이온 치환용량(CEC)은 1M NH₄OAc법으로 분석하였다.^{13,14)}

부숙단계별 시료의 조섬유 변화

부숙단계별 부산물 비료 중 hemicellulose, cellulose, lignin, 수용성 유기물(soluble organic matter) 등의 조섬유 함량 변화는 Goering과 Van Soest법에 의해 분석하였다.¹⁵⁾

결과 및 고찰

부숙단계별 시료의 냄새 및 색 특성 변화

표 1은 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙단계별 시료의 색과 냄새의 변화를 보여주고 있다. 수피 부산물 비료의 색 변화는 부숙이 진행될수록 붉은색에서 흑갈색으로 변화되었으며, 이것으로 보아 수피비료는 120일경과 후 부숙이 거의 완결되었음을 알 수 있었다. 수피비료의 원재료의 냄새는 40일 이후부터 상당히 감소하였으며, 48일 이후부터 원재료의 냄새가 사라지고 퇴비취를 느낄 수 있었다. 돈분 부산물 비료의 색은 부숙이 진행됨에 따라 회갈색에서 암갈색으로 변화되었으며, 40일 이후부터 원재료의 냄새가 사라져 부숙이 거의 완결된 것으로 판단되었다.

부산물 비료의 부숙이 완료됨에 따라 색은 암갈색에서 흑(갈)색을 강하게 띠고,^{10,16)} 이는 부산물의 종류에 크게 구애를 받지 않는다.³⁾ 냄새는 원 재료의 냄새가 없어지고 퇴비취 또는 흙냄새가 나는 것으로 보고되고 있다.^{9,10,17)} 이러한 특성의 변화는 부산물비료의 부숙도를 판정할 수 있는 기준의 일부로 활용될 수 있다고 판단된다.

Table 1. Changes of color and odor of bark and piggery manure by-product composts in various stages of decompositions.

Composting Days	Hue	Value/ Chroma	Color	Odor
Bark (raw material)	2.5 YR	4/6	red	+++
0	5 YR	3/4	dark reddish brown	+++
2	5 YR	3/3	dark reddish brown	++
11	7.5 YR	3/4	dark brown	+
23	7.5 YR	3/2	dark brown	+
29	10 YR	3/2	very dark reddish brown	+
48	7.5 YR	3/2	dark brown	-
67	10 YR	2/2	very dark brown	-
120	10 YR	2/1	black	-
manure (raw material)	7.5 YR	4/0	dark gray	+++
0	2.5 Y	5/4	light olive brown	+++
2	2.5 Y	5/2	grayish brown	++
3	2.5 Y	4/4	olive brown	++
5	10 YR	4/4	dark yellowish brown	++
7	10 YR	4/2	dark grayish brown	++
10	10 YR	4/3	dark brown	++
16	10 YR	4/3	dark brown	+
40	10 YR	3/3	dark brown	-

+++ : odor of the raw material is detected strongly
 ++ : odor of the raw material is detected fairly
 + : odor of the raw material is detected slightly
 - : odor of the raw material is not detected (good earthy odor is detected)

부숙단계별 시료의 pH와 EC의 변화

그림 1은 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙 단계별 pH와 EC의 변화를 나타낸 것이다. 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙 초기 pH는 약산성~중성이었으나 부숙이 진행될수록 pH는 변화하여 완숙 퇴비의 pH는 중성에 근접했다. 부숙초기의 pH 변화는 일정한 경향이 없었다. 퇴비화 초기의 미부숙된 비료의 경우 유기산 등의 방출로 인해 pH가 낮아지나 호기

성 조건이 되면 유기산 등이 부숙에 다시 이용되어 pH가 증가하다가 완숙에 가까워질수록 중성부근에서 안정화되기 때문에 판단된다.¹⁸⁾ 또한 부숙이 진행됨에 따라 미생물 활성이 증가되면서 암모니아의 발생 등에 의해 pH가 증가하다가 후기에는 질산태 질소의 증가와 더불어 pH가 중성쪽으로 안정된다고 보고되고 있다.¹⁹⁾ EC는 부숙 초기에 증가하다가 부숙이 진행됨에 따라 감소하였으며, 완숙에 가까워질수록 수피의 경우 1 dS·m⁻¹, 돈분의 경우 6 dS·m⁻¹ 정도에서 안정화되는 것으로 나타났다. 이는 부숙화 과정에서 유기물의 무기화 작용으로 인해 무기태 질소(NH₄-N, NO₃-N)와 다른 이온들이 유기물로부터 용액으로 해리되기 때문으로 간주된다. 수피 부산물 비료에 비해 돈분 부산물 비료의 pH와 EC는 더 급격한 변화를 보였는데, 이는 수피의 유기물 분해 속도보다 돈분의 유기물 분해 속도가 더 빠르기 때문인 것으로 판단된다.

부숙단계별 시료의 유기물과 질소의 변화

표 2는 부숙단계별 시료의 유기물 및 질소 함량의 변화를 보여주고 있다. 생수피의 유기물 함량은 70%였고, 계분과 미생물제제 등을 혼합한 후 부숙 초기의 유기물 함량은 최고 82% (8일경과)였으나, 120일 경과 후에는 62%로 감소하여 안정화되는 경향이였다. 돈분의 유기물 함량은 42%였고, 톱밥을 혼합하였을 때의 유기물 함량은 62%였으며, 40일경과 후에는 59% 정도에서 안정화되는 경향이였다. 총 질소의 양은 부숙 전기간에 걸쳐 수피의 경우 1.1~1.5%, 돈분의 경우 1.5~2.2%사이였으나, 수피와 돈분 모두에서 암모늄태 질소는 부숙 초기에 증가하다 이후 점차 감소하였고, 질산태 질소는 암모늄태 질소가 감소하는 시기부터 증가하였다. 초기 암모늄태 질소의 증가는 질소의 무기화 작용에 의한 것이며, 중반 이후의 감소는 고온 등에 의한 휘산이나 미생물에 의한 질산화 작용에 때문인 것으로 설명될 수 있다.^{3,4,20)} 유기탄소 함량의 감소로 인해 C/N 비는 생수피의 경우 107에서 120일 경과 후 25로 부숙이 진행됨에 따라 감소하였으나, 돈분의 경우 질소함량이 상대적으로 높고, 탄소함량이 낮아 5일까지 증가하다 이후 감소하여 40일경과 후 27부근에서 안정화되었다.

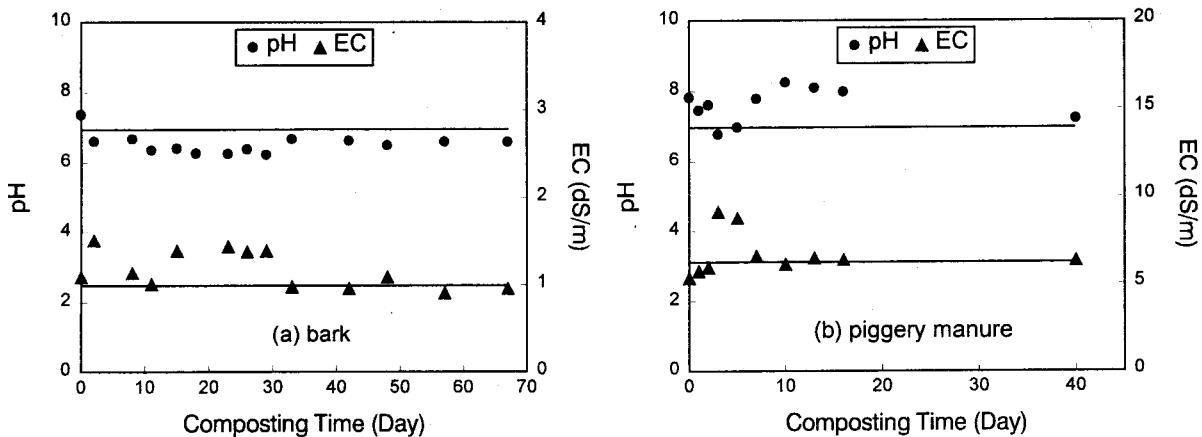


Figure 1. Changes of pH and EC of (a) bark and (b) piggery manure by-product fertilizers during the composting.

Table 2. Changes of carbon, organic matter, and nitrogen contents of the by-product fertilizers during the composting.

Composting Days	T-C	OM	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	C/N	OM/N
	---- % ----		-- mg/kg --				
Bark (raw material)	40.69	70.15	0.38	44.0	253.5	107.10	184.61
0	39.83	68.67	1.24	610.4	1190.6	32.12	55.37
2	40.69	68.43	1.03	508.1	1190.6	39.50	68.11
8	47.56	81.99	1.46	665.3	1224.5	32.58	56.17
23	37.68	64.96	1.43	707.0	1394.1	26.35	45.43
29	38.54	66.44	1.49	792.2	1122.8	25.87	44.59
48	37.90	65.34	1.16	527.0	1190.6	32.67	56.33
67	37.47	64.60	1.13	422.9	1461.9	33.16	57.17
120	35.75	61.63	1.43	326.3	2631.8	25.00	43.10
manure (raw material)	24.15	41.63	2.92	1506.3	1377.1	8.27	14.26
0	35.96	62.00	2.62	424.7	1309.3	13.73	23.66
2	39.62	68.31	1.78	479.7	1241.5	22.26	38.38
3	36.18	62.37	1.86	761.9	1343.2	19.45	33.53
5	38.76	66.82	1.70	769.5	1427.9	22.80	39.31
7	34.68	59.78	1.59	348.9	1377.1	21.81	37.60
10	35.75	61.63	1.73	157.7	1377.1	20.66	35.62
16	38.97	67.18	1.62	142.5	1241.5	24.06	41.48
40	34.25	59.05	2.19	377.4	1394.1	15.64	26.96

탄소(C)와 질소(N)는 식물체와 미생물의 생육 및 활성을 위해 필수적인 영양소로서 에너지원 및 생명현상의 유지에 필요한 유기물질 합성에 중요한 기능을 보여주고 있다.⁴²⁾ C/N 비는 부산물 자체의 부숙도를 결정하는 척도이며, 미생물에 의한 유기물질의 분해과정 중 질소의 무기화 작용과 고정화 작용을 결정하는 중요한 인자이다.^{22,23)} C/N 비가 35이상일 경우 질소는 고정화 작용에 의해 무기태 질소의 결핍현상이 일어나고, 25이하일 경우 빠른 속도로 무기화 작용이 일어나게 된다. 두 반응이 평형을 이루는 C/N 비는 25~35사이며, 유기물질의 분해는 이 값에서 안정화하는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 이러한 특성은 부산물 비료의 부숙도를 판정할 수 있는 지표의 일부로 활용될 수 있다고 사료된다.

부숙단계별 시료의 양이온 치환용량(CEC)의 변화

양이온 치환용량(CEC)은 부산물 비료의 영양소 함량, 완충능력, 토양개량능력 등을 나타낼 수 있는 중요한 인자이다. 그림 2는 부숙시간에 따른 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 CEC 변화를 나타낸 것이다. 수피의 경우 부숙시간이 증가함에 따라 CEC는 초기 21cmol(+) \cdot kg⁻¹에서 120일경과 후 87cmol(+) \cdot kg⁻¹로 증가하였으며, 부숙 초기의 증가율이 후기의 증가율보다 높았다. 이는 수피 중 함유된 물질 중 비교적 분해되기 쉬운 Hemicellulose와 Cellulose가 분해되면서 생성된 유기산 등의 작용기가 증가되었기 때문으로 판단된다.²³⁾ 부숙단계에 따른 수피비료의 CEC 증가가 점진적인 것은 수피 원료의 특성상 유기물질의 분해가 서서히 일어나기 때문으로 판단된다.

돈분의 경우 수피보다 분해속도가 빠른 것으로 나타났으며, CEC는 부숙 초기에 급격하게 증가되고 10일이 경과된 후 약 80 cmol(+)/kg에서 안정화되는 경향이였다. 이런 결과는 돈분에 함유되어 있는 유기물질이 수피에 비해 쉽게 분해되어 CEC가 비교적 초기에 안정화되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조섬유 성분의 변화에서도 확인할 수 있었다. 부숙단계별 시료의 CEC 변화는 일정한 경향을 보여줄 수 있기 때문에 이러한 특성변화는 부산물 비료의 부숙도 판정을 위한 지표로 활용될 수 있다고 판단된다.

부숙단계별 시료의 조섬유 변화

유기물질은 분해과정을 거쳐 CO₂와 H₂O로 산화되는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 Cellulose와 Hemicellulose 같은 물질은 쉽게 분해되는 반면 Lignin과 같은 물질은 분해가 매우 느린 것으로 알려져 있다.²³⁾ 그림 3은 돈분 부산물 비료의 부숙단계별 조섬유 함량의 변화를 나타낸 것이다. 돈분 부산물 비료의 경우 부숙 13일경과 후에 乾物(dry weight) 중 약 50% 정도가 분해되었다. Lignin과 수용성 유기물질이 乾物 中 차지하는 비율은 40일경과 후 부숙 초기보다 각각 33%, 57% 증가하였고, Cellulose와 Hemicellulose는 감소하였다. 이러한 현상은 수피 부산물의 경우에서도 비슷하게 나타났으나, 수용성 유기물질의 비율은 감소하였

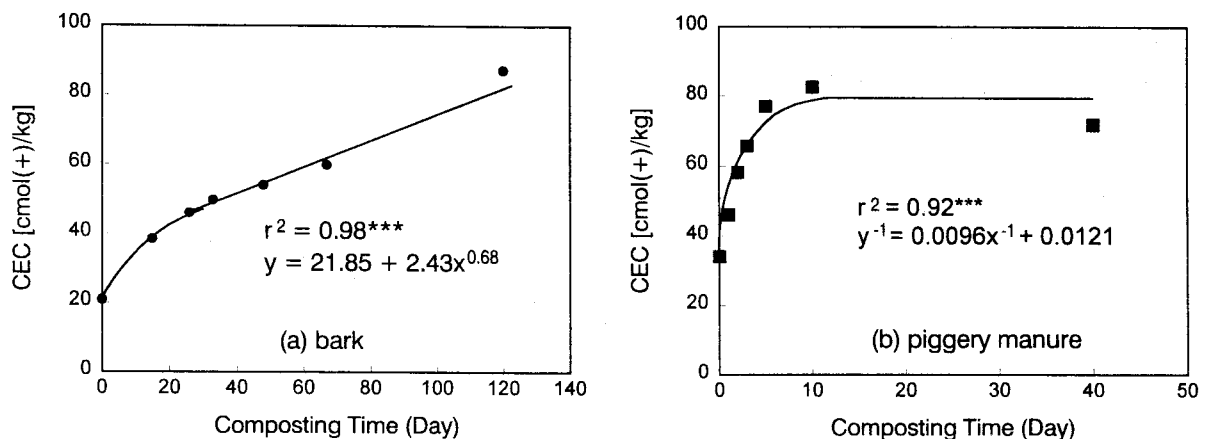


Figure 2. Changes of CEC of (a) bark and (b) piggery manure by-product fertilizers during the composting (***: significant at p<0.001).

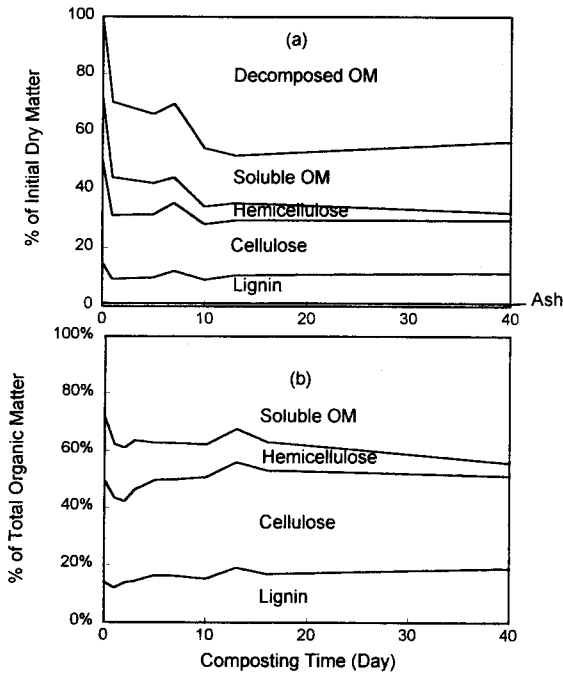


Figure 3. Changes in the relative content of organic constituents of separated piggery manure by-product compost taking place during 40days composting process as measured by crude fiber analysis: (a) percent of initial dry matter; (b) percent of total organic matter.

다(표 3). 부숙단계 별 시료의 조성유 함량 변화는 측정하기가 매우 번거로운 뿐 아니라 시간이 오래 걸리기 때문에 이 항목을 부산물 비료의 부숙도 평가 지표로 활용하는데는 실용적인 측면에서 한계가 있다고 생각된다. 부숙에 따른 조성유 함량의 변화의 경향을 통해 학술적인 유기물 함량의 변화과정을 추적하는데는 유의한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Changes in the relative content (percent of total organic matter) of organic constituents of separated bark by-product compost taking place during 120days composting process as measured by crude fiber analysis.

Composting Time (days)	SOM*	%		
		Hemicellulose	Cellulose	Lignin
0	27.23	9.51	51.78	11.47
2	22.81	8.54	51.18	17.45
8	18.44	8.85	55.80	16.89
15	12.49	8.92	59.60	18.98
26	20.09	10.13	55.54	14.24
33	10.26	9.09	61.19	19.46
42	9.78	9.25	62.24	18.73
57	16.35	9.89	57.31	16.65
67	15.42	10.22	56.11	18.24
120	19.71	6.40	52.28	21.62

SOM* : Soluble Organic Matter

요 약

본 연구는 부산물 비료의 부숙도 판정 기준 설정을 위한 기초 자료를 구축하기 위하여 우리 나라에서 가장 널리 사용되고 있는 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료를 대상으로 원재료로부터 완제품 생산까지 부숙단계 별 시료의 물리적·화학적·생물학적 특성의 변화를 측정하기 위해 수행되었으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 부숙이 완료됨에 따라 수피 부산물 비료의 경우 흑색(black)으로, 돈분 부산물의 경우 암갈색으로 변화되었으며, 수피 부산물의 경우는 43일경과 후에, 돈분 부산물의 경우는 40일 경과 후에 원 시료의 냄새가 사라지고 퇴비취가 나는 것으로 나타났다. 완숙된 수피 부산물 비료의 pH와 EC는 각각 pH 6.5와 1 dS · m⁻¹에서 안정화되었으며, 돈분 부산물 비료의 경우는 pH 7.2와 6 dS · m⁻¹에서 안정화되었다. 부숙이 진행됨에 따라 유기물 함량은 점차 감소하여 수피 부산물 비료의 경우 120일 경과 후 62%, 돈분 부산물 비료의 경우 40일경과 후 59%로 안정화되었다. 부숙 기간 중 총 질소의 함량은 수피 부산물 비료의 경우 1.1~1.5%, 돈분 부산물의 경우 1.5~2.2%를 유지하였다. 두 가지 비료 모두에서 암모니아태 질소는 초기에 증가하다 중기 이후 감소하였고, 질산태 질소는 계속적으로 증가하였으며, 무기태 질소의 전체 함량은 증가하였다. 부숙이 완료된 퇴비의 유기물/질소 비는 수피 부산물 비료의 경우 25에서, 돈분 부산물 비료의 경우 27에서 안정화되었다. 부숙이 진행됨에 따라 CEC는 증가하였는데, 완숙단계에서 수피 부산물 비료의 경우 87 cmol(+) · kg⁻¹으로, 돈분 부산물 비료의 경우 70 cmol(+) · kg⁻¹으로 증가하였다. 조성유 중 Cellulose와 Hemicellulose는 부숙이 진행됨에 따라 감소하였으나, Lignin의 비율은 점차 증가하였다. 부산물비료의 부숙단계 별 시료의 특성변화는 부산물 비료의 부숙도를 평가하는 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 1995년도 한국과학재단 핵심전문연구비 (과제번호: 951-0604-089-2) 지원에 의한 결과임.

참 고 문 헌

1. Fertilizer Yearbook (1998) Korea Fertilizer Industry Association.
2. Fertilizer Yearbook (1999) Korea Fertilizer Industry Association.
3. Stevenson, F. J. (1994) Humus chemistry: Genesis, composition, and reactions. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, USA.
4. Paul, E. A. and Clark, F. E. (1996) Soil Microbiology and

- biochemistry. 2nd ed., Academic Press. New York, USA.
5. Yang, J.E., Eom, K.C., Jung, K.Y. and Yun, S.G. (1999) Environmentally Sound Agriculture and Fertilizers. 1999 Fall Symposium on "Fertilizer · Food · Environment" Cosponsored by Korean Soc. Soil Sci. and Fertilizer, and Institutes of Natural Resources, and Natural Environment Conservation, Korea University (in Korean).
 6. Zucconi, F., Forte, M. and Bertoli, M. De. (1981) Evaluating toxicity of immature compost. *Bicycle*, 22 : 54-57.
 7. Hadar, Y., Inbar, Y., and Chen, Y. (1985) Effect of compost maturity on tomato seeding growth. *Scientia Horticulturae*, 27 : 199-208.
 8. Hoitinik, H.A.J., and Fahy, P.C. (1986) Basis for control of soilborne plant pathogens with composts. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 24 : 93-114.
 9. He, X.T., Traina, S.J. and Logan, T.J. (1992) Chemical properties of municipal solid waste composts. *J. Environ. Qual.*, 21 : 318-329.
 10. Rynk, R. (ed.) (1992) On-farm composting handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Cooperative Extension, Cornell University, Ithaca, N.Y., USA.
 11. Haug, R.T. (1993) The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
 12. Hue, N.V. and Liu, J. (1995) Predicting compost stability. *Compost Science and Utilization*, 3 : 8-15.
 13. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Agency (1988) Methods of Soil Chemical Analyses-Soil · Plants · Soil Microbiology-(in Korean).
 14. National Institute of Agricultural Science and Technology (1996) Analytical methods and sampling guideline of fertilizers. Rural Development Agency Publication No. 1996-6(in Korean).
 15. Goering, H.K., and van Soest, P.S. (1971) Forage fiber analysis. *USDA-ARS Agric. Handbook*, pp. 387-598.
 16. 河田, 弘. (1981). 樹皮肥料. 博友社.
 17. Jumenez, E.I. and Garcia, V.P. (1989) Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological Wastes*, 27 : 115-142.
 18. Inbar, Y., Chen, Y. and Hadar, Y. (1990) Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 : 1316-1323.
 19. Lee, K.P. (1992) Optimum conditions of the municipal solid wastes composting. Master's Thesis, Graduate School of Industry, Dong-A University, pp.32 (in Korean).
 20. Seo, J.Y. (1988) Changes of chemical compounds in compost of municipal refuse. 2. Changes in nitrogen compounds. *Korean J. Environ. Agric.*, 7(2): 146-152 (in Korean).
 21. Colueke, C.G. (1982) When Is Compost "Safe"? *Biocycle*. Mar. pp.28-38.
 22. Seo, J.Y. (1989) Changes of chemical compounds in compost of municipal refuse. 3. Changes of C/N ratios in compost. *Korean J. Environ. Agric.*, 8:55-59 (in Korean).
 23. Inbar, Y., Chen, Y. and Hadar, Y. (1989) Solid state C-13 NMR and IR spectroscopy of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 1695-1701.