

하수슬러지의 퇴비화과정 중 이화학적 및 미생물상 변동

이홍재·조주식¹⁾·반경녀·허종수·신원교²⁾
경상대학교 농화학과, ¹⁾순천대학교 농화학과, ²⁾경상도농촌진흥원

Changes of the Physico-Chemical and Microbiological Properties during Composting for Composting of Sewage Sludge

Hong-Jae Lee, Ju-Sik Cho¹⁾, Kyeong-Nyeo Bahn, Jong-Soo Heo and Won-Kyo Shin²⁾ (Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea ; ¹⁾Dept. of Agricultural Chemistry, Sunchon National University, Sunchon 540-742, Korea ; ²⁾Gyeongnam Provincial RDA, Chinju 660-370, Korea)

Abstract : To study the possibility of agricultural utilization of sewage sludge, the changes of the substances physico-chemical and microbiological properties composting periods such as inorganic matter, the form of organic matter and nitrogen and the kinds and the population number of microorganisms were investigated. The results were summarized as follows :

Temperature and CO₂ generation, they were the highest in the second day of composting periods and then were gradually fallen. pH value was not changed in first day during composting periods, but in second day was rapidly increased and then it was constant of the range of 8.4~8.6. The contents of P₂O₅, K₂O, CaO and Fe were a little increased during composting periods, while that of SO₄²⁻ and Mn were big increased with 253~331% and 191~208% in late composting periods in comparing with early composting periods, respectively. The contents of ether extracted materials, water soluble polysaccharides, hemicellulose and cellulose were decreased but that of resins and lignin were not changed during composting periods. The contents of total and organic nitrogen during composting periods were decreased with 15~20% and 22~35%, respectively, while that of inorganic nitrogen was decreased with 75~116%. The population numbers of microorganism during composting periods was much too changed according to the kinds of microorganism and composting periods.

Key Words : Sewage sludge, Composting, CO₂ generation, Microbiological.

서론

퇴비화과정에는 온도, 수분, 공기공급량, pH, C/N율, 수분 조절제의 종류 및 미생물의 종류 등이 영향을 미치는 중요한 인자로서¹⁾, 퇴비화과정중에는 퇴비재료중의 유기물, 질소, 지방산 및 미생물종 등이 변화하게 되며, 이중 유기물질은 분해 안정화되는 과정에서 최종적으로 CO₂, H₂O, NH₃ 및 휘발성물질 등이 생성된다²⁾.

Cai³⁾은 수분조절제의 종류에 따라 퇴비화과정중 CO₂ 발생량은 큰 차이가 없으나, NH₃ 발생량은 그 처리량이 증가할수록 증가하고, 온도가 45~53℃일때 CO₂ 발생량이 최대에 달한다고 하였으며, Ishii⁴⁾은 정체식 퇴비화과정중 유기물함량은 약 20% 이상 감소하였다고 하였고, 하수슬러지에 존재하는 cellulose나 hemicellulose는 퇴비화 8일 후 약 75% 이상 감소하였으나 수분조절제중의 cellulose나 hemicellulose의 감소는 적다고 하였고, Martinez⁵⁾도 퇴비화과정중 작물에 해를 줄 수 있는 환원당이나 phenol은 빠른 속도로 분해된다고 하였다.

퇴비화과정중 질소의 변화는 원퇴비재료의 C/N율과 밀접

한 관계가 있으며 톱밥이나 왕겨처리로 질소의 휘산을 최소화할 수 있고, C/N율 30부근에서 유기물질의 분해가 가장 잘되며, 퇴비재료의 C/N율은 퇴비화과정중 미생물에 의해 분해되기 쉬운 유기물이 감소됨으로써 C/N율은 점차 감소되며, 하수슬러지의 퇴비화에서는 질소함량이 높아 질소의 휘산으로 C/N율이 증가되는 것으로 알려져 있다³⁾.

퇴비화과정은 미생물에 의해 유기물을 분해 안정화시키는 과정으로서 퇴비화 관련 미생물과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며^{1,6)}, Strom⁷⁾은 bacteria가 퇴비화에 가장 중요하게 기여하며, 병원균을 사멸시키는 55℃ 이상에서의 퇴비화 활동은 주로 고온성 bacteria이며, 퇴비화과정중 50~60℃ 범위에서 퇴비화물질로부터 분리된 세균은 대부분이 Bacillus속이었고, 65℃ 이상에는 B. Stearothermophilus만 생존가능하다고 하였다. Henssen⁸⁾은 퇴비화 bacteria는 Bacillus, Clostridium 및 Pseudomonas라고 하였다. 퇴비화과정중 중요한 역할을 하는 Fungi은 Mucor, Chnetomian, Talaromyces, Aspergillus 및 Acetomycetes 등이며, Actinomycetes는 Stpaptomtces, Thermoactino 및 Thermomonospori 등이며 퇴비화 후반기에 유기물을 분해한

다고 하였다¹⁰⁾.

본 연구에서는 하수슬러지를 퇴비화하여 농지이용가능성을 조사하기 위하여 하수슬러지의 퇴비화과정중 온도, CO₂ 발생량, pH, 무기성분변화, 유기물 및 질소의 형태변화, 그리고 미생물종 및 개체수의 변화 등의 물질변화를 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

공시 하수슬러지는 경남 진주시 환경사업소의 하수종말처리장의 슬러지를 사용하였으며, 각 슬러지에 첨가재료로 사용한 어분슬러지는 경남 사천시 (주)범해물산의 수산가공폐수슬러지를 사용하였고, 수분조절제로 사용한 톱밥과 왕겨는 일반농가에서 구입하여 사용하였다.

공시 하수슬러지, 어분슬러지, 톱밥, 왕겨 및 미생물접종제제의 이화학적 특성은 Table 1, 2 및 3에서 보는 바와 같다.

퇴비화조 제작 및 운전

퇴비화조 제작 및 운전 전보¹¹⁾와 같은 방법으로 제작, 운전하였다.

분석방법

공시 하수슬러지, 톱밥, 왕겨, 미생물접종제제 및 혼합퇴비재료의 일반성분분석은 토양화학분석법¹²⁾ 및 비료분석법¹³⁾에 준하였다.

유기물의 분별정량은 Nakasaki등¹⁴⁾ 및 Inoko등¹⁵⁾이 제시한 Fig. 1와 같은 방법으로 분석하였다.

질소의 분별정량은 즉 시료 3g을 KCl용액으로 침출시킨 후 침출용액으로 무기태질소를 정량하였으며, 그 잔사는 유기태질소의 분별정량을 위하여 건조시켜 역류냉각 flask에 취하고 여기에 12N-HCl을 일정량 주입하여 48시간 실온에 방치한 후 증류수를 가해 최종 HCl의 농도가 6N이 되도록 조

정한 다음 95°C 수욕상에서 9시간 가수분해시켜 여액 일정량을 취하여 amino sugar-N를 정량하였다. Amino acid-N의 정량은 amino sugar-N정량용 여액중 일정량에 분해촉진제 (HgO+K₂SO₄+CuSO₄)를 넣은 다음 H₂SO₄로 가수분해시켜 질소를 정량한 다음 가수분해액의 전질소에서 amino sugar-N를 제외한 나머지를 amino acid-N으로 환산하였다. 미동정태질소의 정량은 amino sugar-N의 가수분해후 남은 잔사를 건조시켜 습식분해액(HClO₄ : H₂SO₄ : H₂O = 2 : 2 : 1)으로 가수분해시켜 Kjeldahl 증류장치에서 정량하였다.

미생물의 계수는 생시료 10g을 1% NaCl이 함유된 멸균 식염수에 현탁시킨 다음 1시간 진탕하여 그 여액을 Trypticase-soy, Malt-yeast extract 및 Potato-dextrose배지에 각각 Bacteria, Actinomycetes 및 Fungi를 배양하여 토양미생물실험법¹²⁾에 따라 회석평판법으로 구하였다. 중온미생물은 30°C에서 그리고 고온미생물은 50°C에서 각각 배양하였다. Bacteria는 중온 및 고온균 모두 2일간 배양하였으며 actinomycetes 및 fungi는 중온 및 고온균 모두 7일간 배양하여 생성된 colony수를 각각 조사하였다. 육안으로 각 미생물의 colony의 계수가 어려울 경우에는 현미경을 이용하여 형태 및 색깔 등을 관찰 판단하여 bacteria,

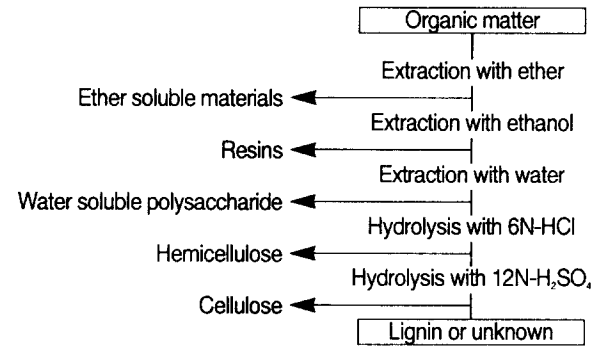


Fig. 1. Analytical method for fractionation organic matter.

Table 1. Characteristics of the sludges, bulking agents and seeding materials used in the experiment.

	pH (1:5)	Moisture (%)	T-C (%)	T-N	C/N ratios	Av.- P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	Fe	Mn
								(%)			(mg/kg)	
Sewage sludge	7.8	76.3	28.8	3.07	9.38	1.64	0.12	1.75	0.16	0.44	2,561	379
Fish sludge	7.2	80.9	46.4	5.26	8.82	6.46	0.74	0.37	0.05	0.10	1,369	17
Sawdust	-	-	50.2	0.11	456	-	-	-	-	-	-	-
Rice hull	-	-	45.3	0.21	216	-	-	-	-	-	-	-
Seeding materials	7.6	67.2	46.3	4.26	10.9	1.56	0.41	0.12	0.08	0.21	37	12

Table 2. Contents of organic matter in materials used in the experiment.

	Organic matter (mg/100g)					
	Ether soluble materials	Resins	Water soluble polysaccharide	Hemicellulose	Cellulose	Lignin and unknown
Sewage sludge	1,580	5,604	616	14,427	13,470	19,170
Fish sludge	9,800	13,183	4,900	8,317	11,600	46,100

Table 3. Microbial population in materials used in the experiment. (CFU/g · dry weight)

	Mesophilic			Thermophilic		
	Bacteria	Actinomycetes	Fungi	Bacteria	Actinomycetes	Fungi
Sewage sludge	3.1 × 10 ⁶	2.7 × 10 ⁵	3.6 × 10 ⁵	10 ² >	4 × 10 ⁶	2.6 × 10 ⁷
Fishes sludge	2.9 × 10 ⁶	1.1 × 10 ⁷	1.8 × 10 ⁶	4.8 × 10 ⁶	10 ³ >	2.5 × 10 ⁷
Seeding materials	2.0 × 10 ¹⁰	5.0 × 10 ⁸	3.5 × 10 ⁸	1.9 × 10 ⁸	3 × 10 ⁸	2.4 × 10 ⁷

actinomycetes 및 fungi로 구분하여 계수하였다.

결과 및 고찰

온도, CO₂발생량, pH 및 C/N율의 변화

하수슬러지의 퇴비화과정중 온도, CO₂발생량, pH 및 C/N율의 변화를 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다.

Table 4. Changes of temperature, CO₂ generation, pH and C/N ratios in composting materials during composting period.

Bulking agents	Composting period (Days)						
	0	1	2	3	4	5	6
Temperature (°C)							
Sawdust	20.7	31.4	74.3	66.0	49.7	35.8	28.6
Rice hull	25.0	42.1	76.2	59.6	45.3	24.1	18.7
CO ₂ (mg/100g · hrs)							
Sawdust	74.6	175	232	110	74.6	38.8	26.7
Rice hull	50.4	104	175	92.1	62.5	47.5	35.8
pH							
Sawdust	8.05	8.12	8.81	8.94	9.01	8.78	8.57
Rice hull	6.79	7.42	8.37	8.68	8.89	8.70	8.42
C/N ratios							
Sawdust	20.7	21.8	23.8	24.5	22.6	22.6	22.5
Rice hull	20.5	21.1	22.1	21.7	20.2	22.9	24.3

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

퇴비화과정중 온도변화는 수분조절제로 톱밥을 처리하였을 경우 퇴비화 2일까지 급격히 상승하여 최고온도인 74°C에 도달하였고 그후 약 2일 동안 50°C이상 유지한 다음 감소하여 퇴비화 6일 후 29°C였고, 수분조절제로 왕겨처리시에는 온도변화 경향은 톱밥처리와 비슷한 경향이였으나 최고온도는 76°C로써 더 높았으며 온도감소단계에서는 더 급격히 감소하였다.

퇴비화과정중 CO₂발생량은 수분조절제로 톱밥 및 왕겨처리 공히 퇴비화 2일 후 각각 약 232 및 175 mg/100g · hrs로 최고에 달했으며 그후부터 점점 감소하는 경향이었고 톱밥처리에서 왕겨처리에 비하여 CO₂발생량이 많았다.

퇴비화과정중 pH변화는 수분조절제로 톱밥 또는 왕겨를 사용한 모든 처리구에서 pH는 퇴비화 1일까지 초기 pH와 비슷하였으며 그후 4일까지 급격히 증가하였고 그후부터 서서히 조금씩 감소하는 경향이였으며, 퇴비화 후기의 pH는 약 8.4~8.6범위였다. 전반적으로 퇴비화 초기에 pH가 가장 낮았으며, 이와같이 초기에 pH가 낮은 것은 초기에 유기산 또는 CO₂발생으로 pH가 낮은 것으로 생각되었으며 그후 pH가 증가한 것은 NH₃가 생성되었기 때문인 것으로 생각되었다²⁶⁾.

퇴비화과정중 C/N율의 변화는 원하수슬러지의 C/N율이 약 10이었으며, 이들 하수슬러지에 톱밥 또는 왕겨를 혼합하였을 때의 C/N율이 약 21이었다. 퇴비화과정중 C/N율은 모든 처리에 있어서 전반적으로 퇴비화 시일이 경과함에 따라 약간 증가하는 경향이였다. 퇴비화과정중 C/N율의 변화는 원퇴비화재료중의 유기물의 성상 및 질소의 휘산과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 윤등¹⁷⁾ 및 이등

¹⁸⁾은 퇴비화과정중 C/N율은 시일이 경과할수록 점점 낮아진다고 하였으나, Chino등¹⁹⁾은 하수슬러지의 퇴비화과정중에는 C/N율이 증가한다고 하였으며 본 실험은 이와 비슷한 경향이였다. 따라서 퇴비화과정중 C/N율의 변화는 퇴비화공법, 슬러지의 종류 및 수분조절제의 종류에 따라 다른 것으로 생각되었다.

무기성분의 변화

하수슬러지 퇴비화과정중 무기성분의 변화를 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 수분조절제의 종류에 따라서 무기성분 함량은 큰 차이가 있었고 퇴비화과정중 퇴비화 초기에 비하여 후기에 P₂O₅, K₂O, CaO, MgO 및 Fe 함량은 약간 증가하였고, SO₄ 및 Mn은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 각각 약 253~331 및 191~208% 증가하였다. 이와같이 퇴비화과정중 무기성분 함량이 퇴비화 초기에 비하여 후기에 대체적으로 증가한 것은 퇴비화과정중 퇴비재료중의 유기물이 분해 소실됨으로써 상대적으로 무기성분함량이 증가한 것으로 생각되었다.

Table 5. Inorganic elements contents in composting materials during composting period.

	Composting period (Days)						
	0	1	2	3	4	5	6
Sawdust							
P ₂ O ₅ (%)	1.15	1.28	1.11	1.26	1.28	1.20	1.25
SO ₄ (%)	0.15	0.27	0.29	0.35	0.43	0.43	0.38
K ₂ O (%)	0.21	0.19	0.19	0.20	0.17	0.17	0.18
CaO (%)	0.95	0.78	0.98	0.85	0.67	0.77	0.82
MgO (%)	0.10	0.09	0.11	0.11	0.07	0.10	0.11
Fe (%)	0.23	0.25	0.21	0.25	0.25	0.26	0.26
Mn (mg/kg)	170	274	250	250	299	219	354
Rice hull							
P ₂ O ₅ (%)	1.03	1.12	1.11	1.14	1.25	1.17	1.30
SO ₄ (%)	0.13	0.25	0.35	0.47	0.45	0.42	0.43
K ₂ O (%)	0.37	0.37	0.35	0.36	0.37	0.36	0.38
CaO (%)	0.79	0.78	0.78	0.73	0.75	0.80	0.76
MgO (%)	0.11	0.11	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10
Fe (%)	0.24	0.22	0.22	0.19	0.20	0.21	0.18
Mn (mg/kg)	249	390	406	306	412	483	476

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

유기물의 형태변화

퇴비화과정중 퇴비중의 유기물질을 분별정량한 결과 Table 6에서 보는 바와 같이 유기물 총량은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 약 5.3~8.2% 감소하였으며, 유기물질중 ether추출물질은 약 37~50%, 수용성 polysaccharide는 약 12~8.5%, hemicellulose는 약 15~16%, 그리고 cellulose는 약 9~25% 감소하였다. 그러나 resins 및 lignin은 퇴비화과정중 별 변화가 없었다. 서등²⁰⁾은 가정쓰레기 퇴비화과정중 유기물 및 hemicellulose함량은 감소하고 cellulose 및 lignin함량은 증가한다고 하였으나, 본 실험에서는 Nakasaki등¹⁴⁾의 연구결과와 같이 cellulose 및 hemicellulose는 감소하였으나 lignin은 별 변화가 없었다.

Table 6. Fractionation of organic matter in composting materials during composting period.

(unit : g/100g)

Bulking agents	Period (Days)	Ether soluble materials	Resins	Water soluble polysaccharide	Hemicellulose	Cellulose	Lignin or unknown	Total
Sawdust	0	1.20	4.48	7.35	13.5	24.9	24.6	76.0
	1	0.93	3.53	6.26	14.3	24.4	24.6	74.0
	2	0.77	4.02	7.75	13.1	23.1	23.6	72.3
	3	0.67	4.01	6.61	13.8	23.9	22.9	71.9
	4	0.37	3.90	6.63	13.5	22.4	23.6	70.4
	5	0.40	3.78	5.81	12.6	22.6	24.8	70.0
	6	0.60	4.10	6.47	11.5	22.7	24.4	69.8
Rice hull	0	1.23	4.47	8.20	15.4	20.0	21.0	70.3
	1	0.97	4.08	7.15	16.0	21.2	20.2	70.0
	2	0.73	4.06	7.22	16.2	20.4	19.9	68.5
	3	0.67	3.89	7.79	14.9	19.6	20.7	67.6
	4	0.69	3.35	8.49	14.8	19.1	20.8	67.2
	5	0.67	4.42	8.12	13.3	19.1	20.8	66.4
	6	0.77	4.79	9.15	12.9	18.6	20.4	66.6

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

질소의 형태변화

퇴비화과정중 질소를 분별정량한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다. 총질소는 퇴비화 초기에 비하여 후기에 약 15~20% 감소하였으며, 총질소중 무기태질소는 약 75~166% 증가하였으나, 유기태질소는 약 22~35% 감소하였다. 그리고 유기태질소중 amino sugar태 질소는 약 5.7~63% 감소하였고, amino acid태 질소는 약 33~37% 감소하였으

나 미동정태질소는 별 변화가 없었다. 퇴비화과정중 총질소가 감소한 것은 Kurihara등²¹⁾이 퇴비화과정 중 주로 아미노태 질소의 손실에 의해 총질소가 감소된다고 한 연구결과와 비슷하였다. 또한 수분조절제로 왕겨를 처리하였을 경우가 톱밥을 처리하였을 경우에 비하여 무기태질소의 함량이 높게 나타났으며, 이는 수분조절제가 무기태질소함량과 밀접한 관계가 있다고 한 기보고⁹⁾와 비슷한 경향이었다.

Table 7. Fractionation of nitrogen in composting materials during composting period.

(unit : mg/100g)

Bulking agents	Period (Days)	Total nitrogen	Inorganic-N	Organic-N			Total
				Amino sugar-N	Amino acid-N	Unknow-N	
Sawdust	0	1,942(100)	133(6.8)	227(11.7)	1,106(60.0)	476(24.5)	1,653(92.1)
	1	1,795(100)	142(7.9)	214(11.9)	1,033(57.6)	406(26.6)	1,809(93.2)
	2	1,607(100)	189(11.8)	203(12.6)	735(45.7)	480(29.9)	1,418(88.2)
	3	1,548(100)	201(13.0)	214(13.8)	732(47.3)	401(25.9)	1,347(87.0)
	4	1,647(100)	219(13.3)	196(11.9)	819(49.7)	413(25.1)	1,428(86.7)
	5	1,567(100)	217(13.8)	200(12.8)	723(46.2)	427(27.2)	1,350(86.2)
	6	1,641(100)	233(14.2)	214(13.0)	697(42.5)	497(30.3)	1,408(85.8)
Rice hull	0	1,811(100)	137(7.6)	250(13.8)	1,138(63.8)	286(15.8)	1,674(92.3)
	1	1,744(100)	154(8.8)	232(13.3)	1,087(62.4)	271(15.5)	1,590(91.2)
	2	1,639(100)	179(10.9)	203(12.4)	1,015(61.9)	242(14.8)	1,460(89.1)
	3	1,649(100)	366(22.2)	203(12.3)	812(49.2)	268(16.3)	1,283(77.8)
	4	1,761(100)	387(22.0)	207(11.7)	910(51.7)	257(14.6)	1,374(78.0)
	5	1,531(100)	368(24.0)	113(7.4)	803(52.4)	247(16.2)	1,163(76.0)
	6	1,453(100)	365(25.1)	92(6.3)	757(52.2)	239(16.4)	1,088(74.9)

() : Index

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

미생물의 변화

퇴비화과정중 bacteria, actinomycetes 및 fungi 등의 미생물의 변화를 조사한 결과는 각각 Fig. 2, 3 및 4에서 보는 바와 같다. 퇴비화과정중 고온 bacteria수는 퇴비화 2일까지 증가한 다음 서서히 감소하였고 중온 bacteria수는 퇴비화 3일까지 급격히 증가한 다음 서서히 감소하였다. 고온

actinomycetes수는 퇴비화 1일까지 변화가 없었으며 그후 서서히 증가하였고 중온 actinomycetes수는 퇴비화 시기별 큰 변화가 없었다. 중온 fungi수는 퇴비화과정이 진행됨에 따라 서서히 증가하였으며 고온 fungi수는 약간 증가하거나 큰 변화가 없었다.

일반적으로 폐·하수슬러지의 퇴비화는 미생물에 의해 분

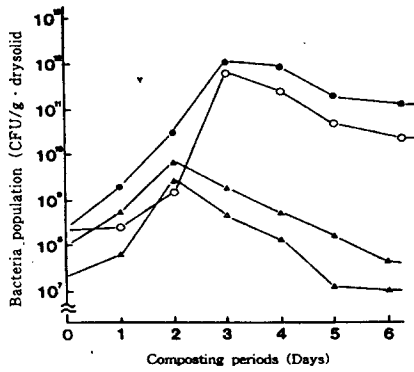


Fig. 2. Changes of bacteria population in composting materials during composting period.

Medium was adjusted to pH 7.0. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

○ : Mesophilic, sawdust △ : Thermophilic, sawdust
● : Mesophilic, rice hull ▲ : Thermophilic, rice hull

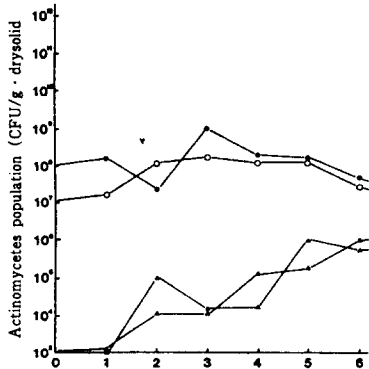


Fig. 3. Changes of actinomycetes population in composting materials during composting period.

Medium was adjusted to pH 7.0. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

○ : Mesophilic, sawdust △ : Thermophilic, sawdust
● : Mesophilic, rice hull ▲ : Thermophilic, rice hull

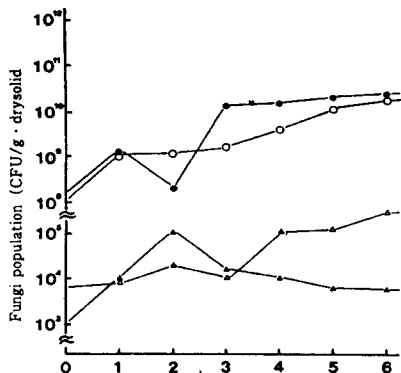


Fig. 4. Changes of fungi population in composting materials during composting period.

○ : Mesophilic, sawdust △ : Thermophilic, sawdust
● : Mesophilic, rice hull ▲ : Thermophilic, rice hull

Medium was adjusted to pH 5.0. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

해 안정화되는 과정으로서 퇴비화 즉 유기물의 분해는 미생물의 활성과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며¹⁰⁾, 본 실험의 퇴비화과정중에는 전반적으로 bacteria의 수가 fungi나 actinomycetes의 수에 비하여 변화가 심한 것으로 미루어 볼 때 bacteria가 퇴비화의 주 미생물인 것으로 사료되었다¹²⁾.

요 약

하수슬러지를 퇴비화하여 농지이용가능성을 조사하기 위하여 하수슬러지에 수분조절제로 톱밥 또는 왕겨를 처리하여 퇴비화과정중 무기성분변화, 유기물 및 질소의 형태변화, 미생물종 및 개체수의 변화 등의 물질변화를 조사하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

퇴비화과정중 온도 및 CO₂발생량은 퇴비화 2일에 최고에 달하였으며 그후 감소하였다. C/N율은 퇴비화가 진행됨에 따라 약간 증가하는 경향이었고, pH는 퇴비화 1일까지는 큰 변화가 없었으나, 그후 2일까지 급격히 증가하였으며 그후부터는 pH 약 8.4~8.6범위를 유지하였다. 퇴비화과정중 P₂O₅, K₂O, CaO, MgO 및 Fe함량 약간 증가하였으나, SO₄ 및 Mn은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 각각 약 253~331% 및 191~208% 큰 폭으로 증가되었다. 퇴비화과정중 ether추출물질, 수용성 polysaccharides, hemicellulose 및 cellulose는 감소하였고, resins 및 lignin은 큰 변화가 없었다. 퇴비화과정중 총질소 및 유기태질소는 각각 약 15~20% 및 22~35% 감소하였으며, 무기태질소는 약 75~166% 증가하였다. 퇴비화과정중 미생물 수는 미생물종 및 퇴비화 기간에 따라 변화가 심하였다.

참고문헌

1. Chung, Jae-Chun and Ji-Heang Hong. (1994). Physico-chemical indicators composting and process control. J. of KOWREC. 2(2) : 99~127.
2. Tadaihiro, M.T., A. Narita, A. Toshilhiro and C. Mitsuo. (1981). Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls. Soil Sci. Plant Nutr. 27(4) : 477~ 486.
3. Cai, H. and M. Tadaihiro. (1992). Production of high quality composting from sewage sludge. Shimane Univer in Japan.
4. Ishii, H., K. Tanaka, T. Aoki, T. Murakami and M. Yamada. (1991). Sewage sludge composting process by static pile method. Wat. Sci. Tech. 23 : 1979~1989.
5. Martinez-Inigo, M. J. and G. Almendros. (1994). Kinetic study of the composting of evergreen oak forestry waste. Waste Manag. and Res. 12 : 305~314
6. Habil, I., J. Brummack. (1995). Treatment of organic wastes by biological decomposition, composting possibilities and experiences. J. of KOWREC. 3(2) : 1-23
7. Strom, P. f. (1985). Identification of thermophilic bacteria in solid bacteria in solid waste composting. Environ. Microbial. 50(4) : 906~913.
8. Henssen, A. (1957). Aechive furmikrobiologie. 27 : 63~70.
9. Furnor, T. R., P. E. Randle and J. F. Smith. (1985). In the biology and technology of the cultivated mushroom, eds, P. B. Flegg 81~96.

참고문헌

1. Chung, Jae-Chun and Ji-Heang Hong. (1994). Physico-chemical indicators composting and process control. J. of KOWREC. 2(2) : 99~127.
2. Tadaihiro, M.T., A. Narita, A. Toshilhiro and C. Mitsuo. (1981.) Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls. Soil Sci. Plant Nutr. 27(4) : 477~ 486.
3. Cai, H. and M. Tadaihiro. (1992). Production of high quality composting from sewage sludge. Shimane Univer in Japan.
4. Ishii, H., K. Tanaka, T. Aoki, T. Murakami and M. Yamada. (1991). Sewage sludge composting process by static pile method. Wat. Sci. Tech. 23 : 1979~1989.
5. Martinez-Inigo, M. J. and G. Almendros. (1994). Kinetic study of the composting of evergreen oak forestry waste. Waste Manag. and Res. 12 : 305~314
6. Habil, I., J. Brummack. (1995). Treatment of organic wastes by biological decomposition, composting possibilities and experiences. J. of KOWREC. 3(2) : 1-23
7. Strom, P. f. (1985). Identification of thermophilic bacteria in solid bacteria in solid waste composting. Environ. Microbial. 50(4) : 906~913.
8. Henssen, A. (1957). Aechive furmikrobiologie. 27 : 63~70.
9. Furnor, T. R., P. E. Randle and J. F. Smith. (1985). In the biology and technology of the cultivated mushroom, eds, P. B. Flegg 81~96.
10. Cooney, D. G and Emerson, E. (1964). Thermophilic fungi : an account of their biology, activities and classification, W. H. Freeman, San Francisco
11. 이홍재, 조주식, 최형섭, 허종수. (1997). 도시 생활하수슬러지의 퇴비화를 위한 부숙 공정지표 설정. 한국환경농학회지. 16(4) : 382~389
12. 토양화학분석법, (1989). 농촌진흥청 농업기술수련소.
13. 비료분석법 해설, 김영일. (1985).
14. Nakasaki, K., N. Aoki and H. Kubota. (1994). Accelerated composting of grass clipping by controlling moisture level. Waste Manag. and Res. 12 : 13~20
15. Inoko, A., K. Sugahara and Y. Harada. (1979). On some organic constituents of city refuse composts produced in japan. Soil Sci. and Plant Nutrition. 25 : 225~234.
16. Back, Y. M. and J. C. Chung. (1994). Study of some process parameters in food waste composting. J. Korean Solid Wastes Engineering Society. 11(1) : 29~40.
17. Yoon, S. J., M. B. Ki and S. H. Lee. (1988). Basic Study of Composting on Night-Soil Sludge. J. Korean Solid Wastes Engineering Society. 5(2) : 127-133
18. Lee, C. K., Y. R. Kim. (1987). Aerobic Composting of Waste Water Sludge. J. of Korean Civil Engineering. 7(3) : 71-76
19. Chino, M., C. K. Shinhiro, M. Tadaihiro, A. michio and K. Bunzaemon. (1983). Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull. Soil Sci. plant Nutr. 29(2) : 159~173
20. Seo, J. Y. and W. H. Joo, (1995). Decentralized composting od garbage in a small composter for dwelling house ■. Laboratory composting of the household garbage in a small bin with the double layer walls. Korean J. Environ. Agric. 14(2) : 232~245.
21. Kurihara, K. (1982). Urban and industrial wastes as fertilizer materials. International conference on organic matter and rice. The Interinational Rice Res. Inc.