

Solid State Fermentation Reactor를 이용한 유기성 폐기물의 발효

홍운표¹ · 이신영*

¹셀 바이오텍(주) 발효미생물연구소, 강원대학교 환경·생물공학부

Composting of Organic Wastes by Solid State Fermentation Reactor. Hong, Oun-Pyo¹ and Shin-Young Lee*. ¹Cell Biotech Co., Ltd., Kimpo-kun, Kyunggi-do 415-870, Korea, Division of Environmental and Biological Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea – Leaves of *Aloe vera* Linne and bloods of domestic animal were composted in a solid state fermentation reactor (SSFR) by using microbial additive including a bulking and moisture controlling agent. From solid-culture of microbial additive, 10 species of bacteria and 10 species of fungi were isolated and, their enzyme activities including amylase, carboxy methyl cellulase CMCase, lipase and protease were detected. Optimum fermentation conditions of *Aloe* leaves and domestic animal bloods in SSFR were obtained from the studies of response surface analysis employing microbial additive content, initial moisture content, and fermentation temperature as the independent variables. The optimum conditions for SSFR using *Aloe* leaves were obtained at 9.45±73%(w/w) of microbial additives, 62.73±4.54%(w/w) of initial moisture content and 55.32±3.14 °C of fermentation temperature while those for SSFR using domestic animal bloods were obtained at 10.25±2.04%, 58.68±4.97% and 57.85±5.65 °C, respectively. Composting process in SSFR was initially proceeded through fermentation and solid materials were decomposed within 24 hours by maintaining higher moisture level, and maturing and drying steps are followed later. After the fermentation step, the concentrations of solid phase inorganic components were increased while that of organic components were decreased. Also, concentrations of total organic carbon(TOC), peptides, amino acids, polysaccharides, and low fatty acids in water extracts were increased. As fermentation in composting process depends on initial C/N ratio of raw material, solid phase total C/N ratio of *Aloe* leaves was decreased from 57.76 to 45.07 in composting process while that of domestic animal blood was increased from 2.47 to 5.41. However, organic C/N ratios in water extracts of two samples were increased because of increased water-soluble TOC. From these results, it was revealed that solid state fermentation reactor using microbial additives can be used in composting process of organic wastes with broad C/N ratio.

Key words : composting process, microbial additive, solid state fermentation reactor, C/N ratio, optimization

Composting process는 중온 및 고온의 조건하에서 각종 미생물 군락에 의해 이루어지는 호기적 발효현상을 이용하여 농업부산물, 축산폐기물, 산업폐기물, 잔반 등의 유기성 폐기물을 발효시키고 그 부산물을 토양개량제, 유기성비료 및 발효사료 등으로 재순환시키는 공정이다[3]. 이러한 퇴비화는 우리나라를 비롯한 중국, 일본 등의 농가에서 식물이나 동물의 배설물 등을 축적시키고 장기간(2-10일에서 2-3개월) 발효시키는 방법으로 수세기에 걸쳐 실시되어 왔다[7]. 그러나 최근에는 전용의 고체발효기(solid state fermentation reactor: SSFR)를 사용하여 호기적 조건하에서 기계적으로 24-48시간의 짧은 시간에 사료/퇴비화 하는 고속발효공정이 주로 개발되고 있다[27]. 이러한 고속발효공정에서는 퇴비화 장치로서 온도조절기, 교반기, 송풍기 등의 기본장치가 설계된 고체발효기가 요구되지만, 퇴비화 과

정은 미생물에 의한 유기물의 분해과정으로 이루어지므로 대부분 미생물 균주를 제제화하여 첨가하는 방법을 사용하고 있다[18, 25]. 아울러 적정 퇴비화를 위하여는 원료 폐기물의 수분함량이 60-80%, 탄소와 질소의 함량비(C/N비)가 20-30정도 되는 것이 요구되므로 수분조절제 및 팽화제(bulking agent)의 첨가도 필요하다[10]. 따라서 이들 고속 발효공정의 개발을 위해서는 다양한 형태와 기능의 발효기 설계와 함께 사용목적에 적합한 미생물 제제(microbial additive)의 선발이 필요하며, 효과적인 퇴비화를 위한 폐기물내의 함수율과 C/N비, 발효온도, 미생물, 공기공급 등 각종 발효공정변수의 조건 및 퇴비화의 중요 요소인 발효부산물의 숙성도 판정 등에 관한 이론적 근거가 제시되어야 한다[9, 12, 16, 23].

본 연구에서는 실험실 용량으로 자체 제작한 고체발효기 및 현재 일부 상업적으로 활용중인 발효 미생물제제를 사용하여 유기성 폐기물의 고속발효공정을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 선정된 발효 미생물제제의 효율성을 검토하여 고속발효공정의 사용 가능성을 판단하였으며,

*Corresponding author
Tel. 0361-250-6273, Fax. 0361-243-6350
E-mail: sylee @cc.kangwon.ac.kr

원료폐기물로서 유기질소원의 함량기준으로 탄질비가 높은 (C/N비=57.76) *Aloe vera* Linne의 외피와 탄질비가 낮은 (C/N비=2.47) 가축혈액을 선정하고 발효공정의 중요 변수인 원료물질의 수분함량, 발효온도 및 미생물제제의 첨가량을 독립변수로 한 반응표면분석법[17, 25]에 의하여 최적 발효조건을 결정하였다. 또 최적 발효조건하에서 발효공정의 경시변화를 통하여 고속발효공정의 진행과정을 해석하였으며, 원료물질과 발효후의 부산물에 대한 고형분 중의 구성 성분, 탄질비, 수용성 성분의 비교 정량 및 gel filtration에 의한 수용성 성분의 분포도 변화를 통해서 발효처리의 유효성을 제시하였다.

재료 및 방법

재료 및 장치

본 연구에 사용한 재료는 알로에(*Aloe vera* Linne) 제품의 제조후 폐기되는 알로에 외피와, 도축장에서 도축후 폐기되는 가축혈액으로서 각각 K알로에와 L산업으로부터 제공받아 사용하였다. 알로에 외피는 수세하여 직경 0.5 cm 이하로 분쇄, 압착하여 수분함량을 80% 이하로 제거하였으며, 가축혈액은 그대로 저온실에 보관하면서 실험에 사용하였다. 또, 수분조절제 및 팽화제로는 직경 1 cm 이하의 참나무 톱밥을 사용하였고, 발효 미생물제제는 농수산부산물, 광물질, 토양, 포도당, 인산칼슘 등을 첨가하

고 발효시켜 얻은 과립 또는 분말형태의 것으로 H산업으로부터 제공받아 사용하였다.

본 실험에 사용한 퇴비화장치는 일종의 고체발효기 (solid state fermentation reactor: SSFR)로 온도조절, 교반 및 송풍기능을 갖도록 설계하고 주문제작하여 사용하였다. 고체 발효기는 Fig. 1의 장치도에서 보는 바와 같이, 폐기물을 넣는 원통형 실린더와 이의 외부에 물관과 가열장치를 부착하여 발효기 내부의 온도를 조절하였고, 실린더 내부에는 정회전 및 역회전이 가능한 교반기를 설치하여 호기적 발효 및 팽화작용을 용이하게 하였다. 또한, 수분이 많은 원료물질의 농축, 발효과정 중 발생하는 이산화탄소 및 암모니아 가스의 배출, 악취의 제거, 부산물의 건조 등을 위하여 fan 형식의 송풍기를 부착하였다.

발효 미생물제제의 효능

발효 미생물제제의 미생물상은 수분조절제 및 팽화제를 함유한 미생물제제 200 g을 목자상자에 넣고 수분함량이 60%되도록 조절한 후 30 °C에서 72시간 동안 정지배양한 다음, 배양물의 10% 현탁액으로부터 NB, YM, Benn:tt 및 Henneberg 배지를 사용하여 각각 세균, 효모, 방선균 및 곰팡이의 각 미생물 군락을 순수분리하였으며[1], 광학 현미경(Olympus CHS-213E) 또는 투과형 전자현미경

Table 1. Central composite design of experiments for composting process of organic wastes in solid state fermentation reactor

No	Input data			Transformed data ¹⁾		
	X ₁	X ₂	X ₃	X' ₁	X' ₂	X' ₃
1	13	70	64	1	1	1
2	13	70	48	1	1	-1
3	13	50	64	1	-1	1
4	13	50	48	1	-1	-1
5	5	70	64	-1	1	1
6	5	70	48	-1	1	-1
7	5	50	64	-1	-1	1
8	5	50	48	-1	-1	-1
9	9	60	56	0	0	0
10	9	60	56	0	0	0
11	17	60	56	2	0	0
12	1	60	56	-2	0	0
13	9	80	56	0	2	0
14	9	40	56	0	-2	0
15	9	60	72	0	0	2
16	9	60	40	0	0	-2

¹⁾ Linear transformation equation
 $X'_1 = (X_1 - 9) / 4$, $X'_2 = (X_2 - 60) / 10$, $X'_3 = (X_3 - 56) / 8$
 X_1 = Microbial additive content(w/w %)
 X_2 = Moisture content(w/w %)
 X_3 = Fermentation temperature(°C)

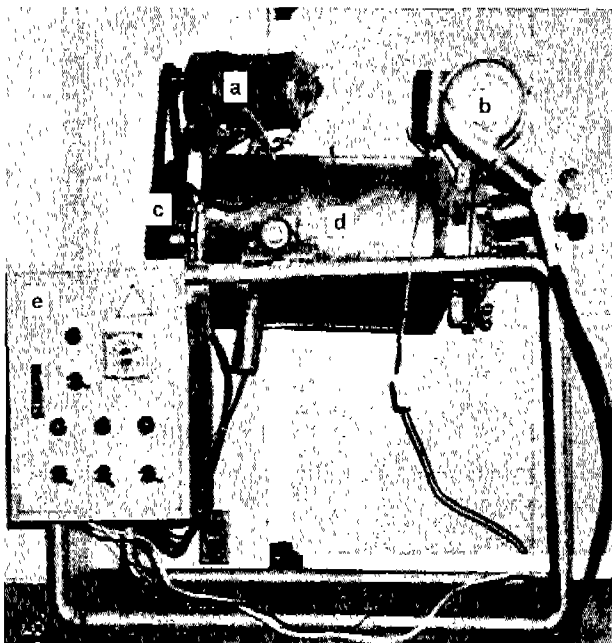


Fig. 1. Schematic diagram of solid state fermentation reactor for composting process.
 a: motor for agitation, b: ventilation fan, c: rotating axis, d: cylindrical jacket with water pipe, heating apparatus and temperature sensor for temperature control and agitator, e: control panel.

(TEM, Zeiss model EM 109)으로 사진 촬영하여 형태학적 관찰을 하였다. 한편, 가수분해효소의 활성은 수분함량(0-80%), 배양온도(20-70°C), 배양시간(10-60 hrs) 등을 달리 하고 정치배양한 다음, 이 배양물의 10% 현탁액을 저온에서 5분간 sonication(Fisher sonic dismembrator model 150)하고 효소를 용출시킨 후, 여지(Toyo 5A-110 mm)로 여과한 여액을 조효소액으로 사용하였으며, amylase, CMCase, lipase 및 protease의 활성을 각각 상법에 따라 측정하였다[6, 15, 19, 24].

반응표면분석에 의한 발효공정의 최적화

미생물제제 첨가량(X_1), 초기수분함량(X_2), 발효온도(X_3)를 독립변수로 하고, 발효공정 20시간 경과시의 이산화탄소와 암모니아가스의 배출농도, 시료채취시의 수분함량, pH 감소량($-\Delta pH$), 가수분해효소의 활성을 종속변수로 하여 3변수, 3수준의 중심합성계획(central composite design)에 의한 반응표면분석법[17, 25]으로 실험하였다(Table 1).

이때, 이산화탄소 및 암모니아가스의 배출농도는 진공법 가스검지기(Kitagawa Precision Gas Detectors AP-400)를 사용하여 ppm단위로 정량하였고, pH는 10% 현탁액을 60°C에서 30분간 물중탕한 후, 여액의 pH를 측정하였다. 가수분해효소의 활성은 발효처리물의 10% 현탁액으로 측

정하였다.

발효공정의 경시변화

반응표면분석에 의해서 결정된 최적 발효조건으로 발효 시키면서 12시간 간격으로 이산화탄소 및 암모니아가스의 배출농도, pH, 수분함량, 가수분해효소의 활성 및 총유기탄소(TOC; total organic carbon)와 총질소(TN; total nitrogen)를 정량하여 얻은 탄질비의 변화로부터 발효공정의 경시변화를 검토하였다. 이때, 수분함량은 105°C 건조법으로, 총유기탄소량은 Walkley-Black법[20]으로, 총질소량은 macro-Kjeldahl법[2]으로 정량하였다.

발효부산물의 특성

발효부산물의 특성은 구성성분 및 수용성 성분의 정량, gel filtration에 의한 UV흡광도 및 수용성 성분의 분포도, 탄질비 및 유기성 탄질비의 변화를 구하여 다음과 같이 검토하였다.

구성성분의 변화는 원료물질과 발효공정의 완료(48시간) 후 발효산물의 건조분말 시료로부터 조단백, 조지방, 조섬유소, 가용성 무질소물(nitrogen free extract)을 정량하여 검토하였으며, 수용성 성분의 변화는 10% 현탁액을 물중탕하고 여과하여 얻은 수용성 성분의 용출액으로부터

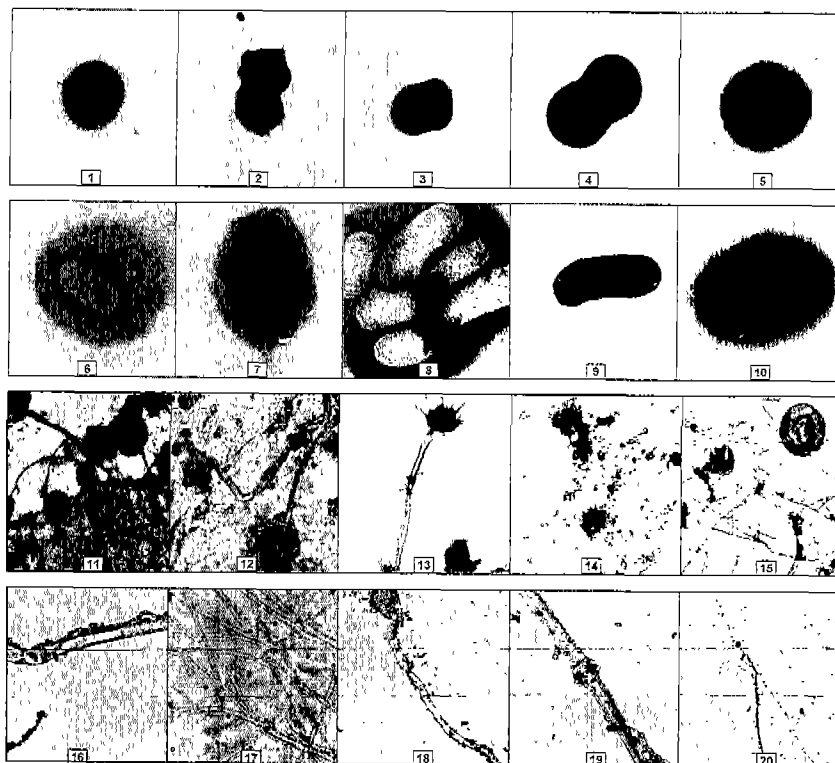


Fig 2. Optical and transmission electron micrographs of microbial flora in microbial additive for composting.

Medium : -NB; 2,3,4,5,9,11,12,14. -YM; 8,7,15,19. -Bennet; 6,20,17. -Henneberg; 1,10,13,16,18

Magnification : $\times 100$; 20. $\times 400$; 11,12,13. $\times 7000$; 5. $\times 1200$; 1,2,3,4,5,6,8,9. $\times 2000$; 7,10.

peptide, amino acid, polysaccharide 및 저급 지방산을 각각 상법[5, 8, 14]에 따라 정량하여 검토하였다.

Gel filtration에 의한 UV흡광도 및 수용성 성분의 분포도는 Sephadex G-15(Pharmacia Biotech) 40 g을 증류수에 24시간 헹타시켜 column(1.85×60 cm)에 충전시키고 원료 물질 및 발효부산물의 수용성 성분의 용출 시료액 1 ml를 첨가한 후, 0.1 M NH₄OH 용액을 사용하여 25 ml/hr의 유속으로 용출시켜 tube 당 6 ml씩 분획하여 조사하였다. 즉 각각의 분획에 대하여 280 nm에서의 흡광도를 측정하여 UV 흡광도 분포도의 변화를 조사하였으며, TOC, peptide, amino acid 및 polysaccharide를 정량하여 수용성 성분의 분포도 변화를 검토하였다. 이때, 아미노산의 정량을 위한 분획은 증류수로 용출시켜 NH₄OH 용액의 발색반응에 대한 간섭을 배제시켰다[8].

한편, 고형분 중의 탄질비 변화와 물중탕으로 용출시킨 액체시료 중의 수용성 성분의 탄질비 및 유기 탄질비는 각

각 총 질소량 및 총 유기탄소량을 측정하여 구하였다. 이때, 유기질소량은 단백태 질소, 아미이드태 질소, 아미노태 질소량의 합으로부터 구하였으며[8, 21, 22], 유기 탄질비는 총 질소량 대신에 유기질소량으로 총유기탄소량을 나누어서 구하였다.

결과 및 고찰

발효 미생물제제의 효과

유기성 폐기물의 고속발효공정에 사용되는 미생물제제는 퇴비화 과정중의 증온 및 고온에 적합한 다양한 각종 미생물 군락이 분포되어 있어야 하며, 경질의 고분자 물질을 효율적으로 저분자 또는 수용성 물질로 분해시켜야 하므로 단백질, 지질, 탄수화물 등 고분자물질에 대한 각종 가수분해효소의 활성이 뛰어나야 한다. 본 연구에서는 예비실험을 통하여 선정된 발효 미생물제제의 미생물 flora를 조사한 결과, Fig. 2에서와 같이, 정치배양물로부터 곰팡이 10 종(방선균 포함) 및 세균 10 종(간균 5종, 구균 5종)이 순수 분리되었다.

또 각종 가수분해효소 활성을 조사한 결과에서도 Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이, 40%-80%의 초기 수분함량, 30°C-60°C의 배양온도 범위에서 amylase, CMCcase, protease 및 lipase 등 4종의 가수분해효소 활성이 비교적 높게 관찰되었으며, 배양 30-50시간에 효소활성이 증가되었다. 따라서 본 연구에 사용한 발효 미생물제제는 발효기를 이용한 고속발효공정에 적합한 특성을 갖는 것으로 판단되었다.

발효공정의 최적화 및 최적 발효공정의 경시변화

예비 실험결과 수분조절제 및 팽화제를 포함한 미생물제제가 첨가되지 않은 경우는 고속 발효가 일어나지 않았으므로 발효공정의 최적화를 위하여 수분조절제 및 팽화제를 포함한 미생물제제 첨가량(X₁), 초기 수분함량(X₂) 및 발효온도(X₃)를 독립변수로 하고, 각각의 독립변수에 대한 반응량(CO₂, NH₃, -ΔpH, enzyme activity)을 정량하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

16개 처리구에 따라 각 반응량은 서로 다른 값을 나타내어 미생물제제 첨가량(X₁), 초기 수분함량(X₂) 및 발효온도(X₃)에 따라 발효반응의 변화를 보였으므로 최적 발효조건을 얻기 위하여 반응표면분석법으로 정상점을 구하였다. 자료로서 나타내지는 않았으나 정상점은 최대값을 나타내었으므로, 정상점에서의 각 독립변수들의 값을 평균하여 최적 발효조건을 결정하였는데, 알로에 외피의 경우에는 발효 미생물제제의 첨가량 9.45±1.73%, 초기 수분함량 62.73±4.54% 및 발효온도 55.32±3.14°C에서 최적이었고, 가축혈액의 경우에는 각각 10.25±2.04%, 58.68±4.97% 및 57.85±5.65°C에서 최적으로 결정되었다. 알로에 외피와 가축혈

Table 2. Hydrolytic enzyme activity in solid culture of microbial additive

	Enzyme activity (Unit)			
	Amylase	CMCase	Protease	Lipase
Initial moisture content(w/w %) ¹⁾				
10	1.4	3.3	1.8	4.9
20	1.5	3.8	3.3	4.6
40	2.8	4.3	2.4	4.4
60	2.0	2.9	2.3	5.5
80	2.2	2.2	0.5	4.8
Culture temperature(°C) ²⁾				
20	2.2	6.8	0.9	2.2
30	2.8	4.4	2.3	5.4
40	2.2	3.9	4.2	6.4
50	2.3	4.0	4.1	5.4
60	2.4	3.0	3.8	2.0
70	2.2	2.8	1.8	1.4
Culture time(hrs) ³⁾				
0	1.2	3.0	1.5	1.8
10	1.3	4.1	1.4	2.1
20	1.2	4.1	1.6	2.6
30	2.6	4.2	1.5	3.6
40	4.0	4.2	2.2	4.0
50	3.9	5.0	2.9	3.8
60	3.8	5.7	5.2	3.9
70	5.0	5.6	6.0	5.1

¹⁾Temperature and culture time were fixed at 30°C and 48 hrs, respectively. ²⁾Initial moisture content and culture time were fixed at 60%(w/w) and 48 hrs, respectively. ³⁾Temperature and initial moisture content were fixed at 30°C and 60%(w/w), respectively.

Table 3. Result of central composite experiments and optimized composting condition of *Aloe vera* leaves(A) and bloods of domestic animal(B)

No	CO ₂ (ppm)		NH ₃ (ppm)		- Δ pH		Enzyme activity(unit)									
	A	B	A	B	A	B	Amylase		CMCase		Protease		Lipase			
							A	B	A	B	A	B	A	B		
1	775	1450	-	35	0.9	-	1.65	3.50	2.40	2.09	1.76	0.90	2.60	4.50		
2	800	1180	-	34	1.0	-	1.30	2.90	1.60	1.34	2.75	0.42	1.60	2.60		
3	800	1500	-	44	1.0	-	1.78	3.50	3.30	2.21	1.30	0.75	2.80	5.20		
4	600	1450	-	23	0.5	-	3.54	7.30	2.90	2.18	0.56	1.00	1.80	2.10		
5	850	1400	-	17	1.0	-	1.50	3.90	2.30	1.39	0.60	0.75	1.60	0.80		
6	850	1350	-	37	1.2	-	0.88	3.90	2.10	1.97	0.64	0.50	3.10	1.20		
7	900	1350	-	32	1.2	-	1.44	2.10	1.90	1.50	1.67	0.67	2.30	3.10		
8	725	1500	-	22	0.8	-	3.31	4.60	2.10	1.67	0.40	1.07	3.30	3.00		
9	950	1900	-	45	1.5	-	4.30	7.90	2.40	1.45	0.81	0.82	2.40	4.20		
10	960	1900	-	48	1.6	-	4.00	8.50	2.40	1.94	0.82	0.90	2.20	4.60		
11	705	1540	-	38	0.6	-	1.74	8.40	2.30	1.48	0.44	0.46	1.70	2.40		
12	700	1550	-	27	0.5	-	0.98	1.40	1.40	1.36	0.00	0.57	2.50	0.60		
13	830	940	-	15	1.0	-	0.83	1.70	2.40	1.83	2.30	0.95	2.40	1.20		
14	650	1150	-	20	0.6	-	2.44	1.90	3.30	1.38	2.57	1.10	3.00	1.60		
	Variables in the stationary points														Average	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
X1 ¹⁾	8.5	9.0	-	13.7	8.7	9.5	12.1	-	7.2	8.3	10.6	9.3	9.6	11.7	9.45±1.73	10.25±2.04
X2 ²⁾	63.5	58.8	-	54.3	62.4	52.5	57.0	-	67.1	66.5	58.2	60.8	68.2	59.2	62.73±4.54	58.68±4.97
X3 ³⁾	55.9	55.9	-	66.4	55.8	49.9	54.0	-	49.8	54.9	58.2	59.2	58.2	60.8	55.32±3.14	57.85±5.65

¹⁾Content of microbial additive, w/w %, ²⁾Initial moisture content, w/w %, ³⁾Fermentation temperature, °C, - : not detected.

Table 4. Time course of the composting process for *Aloe vera* leaves(A) and bloods of domestic animal(B) at optimum condition

	Time(hrs)	Temp.(°C)	CO ₂ (ppm)	NH ₃ (ppm)	M.C. ¹⁾	pH	Enzyme activity (unit)			
							Amylase	CMCase	Protease	Lipase
A)	0	30	0	-	63.0	5.6	0	0	0	0
	12	55	600	-	39.1	5.2	1.12	0	0.54	0.70
	24	56	750	-	13.9	5.3	1.27	1.93	0.85	1.80
	36	56	700	-	5.5	5.4	1.35	1.62	0.22	0
	48	56	550	-	3.9	5.4	1.27	2.04	0	0
B)	0	30	0	0	59.4	6.8	0	0	0	0
	12	59	1450	27.0	29.5	6.4	2.21	6.32	0.62	0.4
	24	59	800	22.0	9.2	6.0	1.27	4.66	0.85	1.1
	36	59	450	7.5	3.4	6.2	1.80	3.38	0.57	0
	48	59	400	4.0	3.0	6.4	1.79	2.83	0.71	0

¹⁾Moisture content of compost, w/w %.

액의 탄질비는 각각 57.76 및 2.47로 시료간의 큰 차이를 보이나 두 시료의 최적 발효조건은 거의 비슷하였다. 이는 가축혈액의 경우 탄질비가 낮아 발효가 어려우므로 톱밥을 사용하여 탄질비를 비슷하게 조절하였기 때문이라 생각되었다. 통상 원료의 적정 탄질비는 20-30으로서 이로부터 벗

어나면 탄질비의 조정이 필요하다[2].

한편, 반응표면분석으로 결정된 최적 발효조건에서 발효 시키면서 발효과정중 각 반응량의 경시변화를 조사한 결과는 Table 4 및 Fig. 3과 같다.

알로에 외피의 발효과정에서 이산화탄소의 배출은 24시

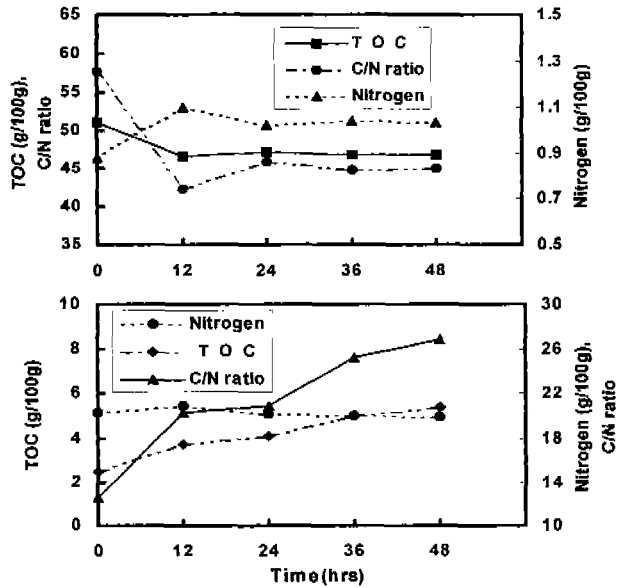


Fig. 3. Time course in the composting process of Aloe leaves (top) and bloods of domestic animal(bottom)

간에서 최대값을 보였고, 이후에는 감소하였으며, 암모니아 가스는 검지되지 않았다. 수분 함량은 24시간까지 일정한 감소를 보여 10% 이하로 떨어졌고, 반응물의 온도는 반응 초기에 조절해 준 값으로 평형을 이루었다. 반응물의 용출 pH는 12시간까지 소폭 감소한 후 다시 증가하였으나, field의 퇴비화 과정에서 발생하는 것과 같은 큰 폭의 변화는 없었다. Amylase와 CMCCase의 활성은 24시간까지 증가한 후 일정한 활성을 유지하였고, lipase와 protease 활성은 24시간 경과 후에 급격히 감소하였다. 또 반응물의 건조 시료의 총 질소량은 12시간까지 증가한 후 일정한 값을 유지하였다. 총 유기탄소량은 12시간까지 감소한 후 일정한 값을 유지하였으며, 그 결과로 탄질비도 12시간까지 감소한 후 일정한 값을 유지하였다. 이상의 결과에서 반응기 내의 수분함량이 감소하는 과정이 전체 발효공정을 지배하고 있음을 알 수 있었으며, 수분활성이 유지되고 있는 24시간까지는 고형분을 발효 및 분해시키는 과정으로, 그리고 이후의 단계는 숙성 및 건조의 과정으로 볼 수 있어 고체 발효기를 매개로한 고속 발효공정의 특성을 잘 나타내었다.

한편, 기질의 성분 구성에 따라 효소의 활성도 달라져 질소성분함량이 매우 낮은 알로에 외피의 발효공정은 주로 섬유소나 가용성 무질소물의 분해쪽으로 진행되어 고형분 내의 총 유기 탄소량이 감소한 반면, 총 질소량은 증가해 나감으로써 본 발효공정은 반응물질의 탄질비가 일정한 상수값에 도달하도록 변화시켜 나가는 과정의 특성을 나타내었다. 가축혈액의 발효공정에서도 수분함량 및 반응물질의 온도, pH는 알로에 외피의 경우와 같은 경향을 보였으나 이산화탄소와 암모니아가스의 배출은 발효초기에 더욱 집중되었으며, amylase와 protease의 활성은 12시간의 경과후에

도 안정한 반면, CMCCase와 lipase의 활성은 감소하는 경향을 나타내었다. 고형분 내의 총 질소량은 감소하였으나 총 유기 탄소량은 증가하여 탄질비가 증가함으로써 알로에 외피의 경우와는 반대의 경향을 보였다. 이것은 가축혈액의 경우는 구성성분 내에 질소원 함량이 매우 높기 때문에 발효공정이 주로 유기 질소원의 분해쪽으로 진행된 결과로서 탄질비가 일정한 상수값을 향해 변화해 가는 경향에 부합되었다.

Yoshida와 Kubota[26]는 퇴비화 실험을 통해 고형분의 탄질비는 반응물질의 구성 성분에 큰 영향을 받기 때문에 숙성도 판정의 척도로서 부적합하다고 하였으나 본 실험의 결과에서는 반응물질과 발효산물의 탄질비를 직접 비교함으로써 발효의 경향과 진행결과를 검토할 수 있었다. 즉, 유기 질소원이 풍부하여 탄질비가 낮은 시료는 주로 유기 질소원의 발효쪽으로 진행되어 탄질비를 증가시켜 나갔으나 유기 질소원의 함량이 낮아 탄질비가 높은 시료는 유기 질소원의 발효쪽으로 진행되어 탄질비를 감소시켜 나갔으며, 이것은 양 극단의 탄질비 사이에는 탄질비의 평형점이 존재하고 있다는 것을 의미하고 있다. 따라서 고형분 내의 탄질비 변화의 검토는 발효공정의 경향 및 정도의 판단과 발효사료, 유기성비료 및 토양개량제라는 발효목적에 따른 산물의 수확시기와 발효산물의 유효성 판단에 매우 유용한 수단인 것으로 생각되었다.

발효부산물의 특성

구성성분 및 수용성 성분 48시간의 발효공정을 거친 후 원료물질과 발효산물 고형분중의 구성성분의 변화는 Table 5와 같다.

알로에 외피의 발효공정(R1, P1)에서는 가용성 무질소물(nitrogen free extract)이 크게 감소한 반면에 조단백질, 조지방, 조섬유소, 회분량은 다소 증가하여, 전체적으로는 유기성 성분의 감소와 무기성 성분의 증가를 나타내었다. 가축혈액의 발효공정(R2, P2)에서는 조단백질, 조지방, 조섬유소는 감소한 반면, 가용성 무질소물과 회분량은 증가하여 Aloe vera 껍질과는 상반되는 결과를 보여 반응물질의 고형

Table 5. Solid phase composition of raw materials and their compost product¹⁾

	Protein	Fat	Fiber	Nitrogen free extract	Ash	Organic	Inorganic
R1 ²⁾	5.5	3.2	21.2	58.2	11.9	88.1	11.9
R2 ³⁾	32.4	1.9	37.5	18.8	9.4	90.6	9.4
P1 ⁴⁾	6.5	4.8	34.9	41.0	12.8	87.2	12.8
P2 ⁵⁾	31.4	0.5	35.4	22.3	10.4	89.6	10.4

¹⁾dry weight %. ²⁾Aloe vera leaves 494 g + microbial additive 135 g + water 871 g. ³⁾bloods 135 g + microbial additive 160 g + sawdust 264 g. ⁴⁾compost of R1. ⁵⁾compost of R2

Table 6. Organic carbon balance in extracts from raw materials with water and their compost product¹⁾

	TOC	Peptides	Amino acids	Polysaccharides	Low fatty acids	Total ²⁾
R1	Concentration ³⁾	-	24.55	0.63	5.63	18.62
	Carbon content ⁴⁾	21.97	13.66	0.25	2.25	7.45
	Weight fraction	100	59.90	1.14	10.24	33.91
R2	Concentration	-	9.58	0.16	1.41	3.60
	Carbon content	5.78	5.14	0.06	0.56	1.44
	Weight fraction	100	88.93	0.78	7.29	24.91
P1	Concentration	-	31.41	1.98	8.89	19.82
	Carbon content	31.41	16.84	0.77	3.56	7.93
	Weight fraction	100	53.61	2.45	11.33	25.25
P2	Concentration	-	12.1	60.25	1.43	4.20
	Carbon content	7.65	6.52	0.10	0.57	1.68
	Weight fraction	100	85.23	1.31	7.45	21.96

¹⁾mg/g. ²⁾Some errors exist. ³⁾Reference materials: ovalbumin, lysine, glucose and lactate. ⁴⁾Carbon content against TOC content.

분 내의 탄질비에 발효의 경향이 의존하는 현상을 잘 보여 주었다. 즉, 알로에 외피의 경우에는 반응 물질내에 유기 질소원 함량이 매우 낮아 질소성분을 포함하고 있는 성분 보다는 무질소물의 분해쪽으로 진행된 결과이며, 가축혈액의 경우에는 유기 질소원이 매우 풍부하여 무질소물의 분해보다는 질소를 포함하고 있는 성분의 분해쪽으로 진행된 결과로 볼 수 있어, 탄질비의 경시 변화에서의 결과와 잘 일치하였다. 따라서 원료물질의 고형분내의 탄질비, 특히 유기 질소원의 함량은 발효의 경향에 결정적인 영향을 주는 것으로 볼 수 있으며, 원료물질과 발효산물의 고형분내의 탄질비의 직접적인 비교 또한 발효공정의 유효성 및 속성도 판정에 매우 유용한 수단임을 확인할 수 있었다. 그러나 무기성분에 있어서는 모두 증가하는 경향을 나타내었다. Frederick 등[11]은 실험실 용량(2L)의 발효기를 이용하여 목초, 야채의 잎, 덩굴 등의 농촌 폐기물을 52일간 발효시킨 후 남아 있는 성분의 분석을 통해 유기성 물질은 감소하지만 회분질은 일정한 값으로 남아 있는 것을 보고한 바 있는데, 진조무게 %로 표시한 본 실험의 결과와 잘 일치하였다. 또한, Frederick 등[11]의 실험에서 발효공정후에 총 탄소량은 감소하고 질소량은 증가하였는데, 이때 사용된 원료 물질은 유기 질소원의 함량이 적어 탄질비가 높은 시료로, 탄질비가 높았던 본 실험의 알로에 외피에 대한 발효공정의 결과와 역시 잘 일치하였다.

또, 48시간의 발효공정을 거친 후 고형분중의 수용성 성분의 변화는 Table 6과 같다.

총유기탄소 및 각 수용성 성분은 원료 물질에 관계없이 모두 증가하였고, 따라서 발효에 의해서 물에 용출되기 쉬운 저분자들이 많이 생성되었음을 나타내었다. 총 유기탄소량에 기여하는 각 성분 내의 탄소량 및 탄소 분율은 원료 물질에 관계없이 단백질과 저급 지방산의 경우는 감소한 반면에 아미노산과 전당은 증가하였다. Chanyasak과 Kubota

[4]는 수용성 성분중에서 아미노산과 저급지방산의 감소가 총유기탄소의 감소에 기여한다고 보고하였는데, 본 실험에서도 총유기탄소에 기여하는 탄소분율에 있어 저급지방산의 감소 및 전당의 증가 경향은 잘 일치하였다. 이상의 결과에서 수용성 성분은 원료물질의 구성에 관계없이 발효공정을 통해 증가하는 것으로 볼 수 있으며, 이것은 미생물 및 가수 분해효소의 작용에 의해 결정성의 고분자들이 수용성의 저분자로 변화해 나가는 과정으로 이해할 수 있다.

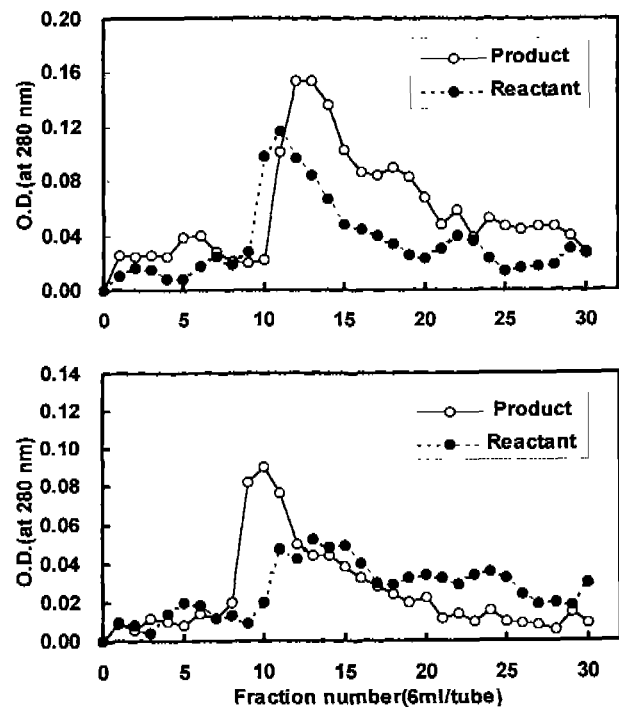


Fig. 4. UV absorbance in gel chromatograms of the raw materials and their compost products.

Top: *Aloe* leaves. Bottom: Bloods of domestic animal.

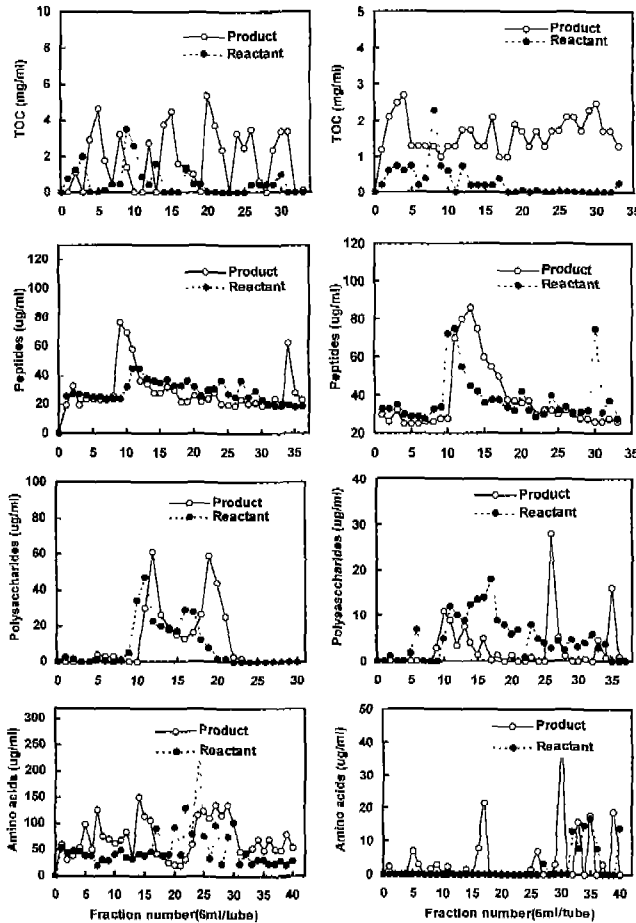


Fig. 5. TOC, peptides, polysaccharides and amino acids distribution in gel chromatograms of raw materials and their compost products. Left : Aloe leaves. Right : Bloods of domestic animal

Fig. 4의 gel filtration (Sephadex G-15)에 의한 UV 흡광도 분포에서도 구성성분과 관계없이 모두 흡광도 증가의 경향을 보여 저분자 물질의 증가를 보여주었다.

Yoshida와 Kubota[26]는 잘 숙성된 발효산물은 48 ml-85 ml의 분획 영역에서 흡광도 peak가 나타난다고 하였는데, 본 실험의 경우도 알로에 외피와 가축혈액에서의 흡광도 peak 영역이 서로 상반된 방향으로 이동하는 경향을 보여 원료물질의 구성성분의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 5의 gel filtration에 의한 총유기탄소, 펩타이드, 당류 및 아미노산의 각 분획에서는 두 시료 발효부산물에서 총유기탄소의 증가경향이 뚜렷하였고, 발효산물의 분획에서는 원료물질분획보다 상대적으로 저분자에 해당하는 분획에서 peak를 나타내어 본 발효과정에서 경질의 고분자가 수용성의 저분자로 효율적으로 변환되어짐을 보여주었다.

탄질비 및 유기 탄질비 고형분 성분중의 탄질비 및 유기탄질비 변화는 Table 7과 같다.

알로에 외피의 고형분 중 탄질비는 57.76에서 45.07로

Table 7. C/N ratio of raw materials and their compost product

	Water extracts		Solid phase
	Organic ¹⁾	Total ²⁾	Total ³⁾
R1	8.23	5.92	57.76
R2	2.04	1.97	2.47
P1	13.09	9.35	45.07
P2	2.31	2.28	5.41

¹⁾TOC/organic nitrogen. ²⁾TOC/total nitrogen.

감소하였고, 가축혈액의 경우에는 2.47에서 5.41로 증가하였다. 이것은 Frederick 등[11], Chanyasak과 Kubota[4] 및 Yoshida와 Kubota[26]의 탄질비의 변화 경향과 잘 일치하는 결과이며, 발효경과가 매우 양호함을 의미한다. 또 수용성 성분 중의 탄질비 및 유기탄질비는 모두 증가하는 경향을 나타내었는데, 이것은 용출되기 쉬운 저분자의 물질들이 발효공정을 통해 크게 증가하여 수용성 성분내의 총유기탄소의 증가에 기여하였기 때문인 것으로 생각되며, 이러한 수용성 성분의 증가는 토양 미생물 및 식물체의 생육에 일조하여 과도한 화학비료의 사용으로 산성화된 토양의 개량에 크게 기여할 수 있을 것으로 예측된다.

요 약

자체 제작한 고체발효기(SSFR)에서 발효 미생물제제, 수분조절제 및 팽화제를 사용하여 알로에 외피와 가축혈액을 비교하면서 발효처리하였다. 발효 미생물제제는 10종의 곰팡이와 10종의 세균을 함유한 복합미생물 제제로서, 고체배양에 수분함량 40-80%, 온도 30-60 °C 범위에서 30-50시간에 amylase, CMCase, lipase 및 protease 등의 가수분해효소 활성이 유도되어 고속발효공정에 적합한 것으로 판단되었다. 고체발효기에서 발효 미생물제제의 첨가량, 초기 수분함량 및 발효온도를 독립변수로 한 중심합성계획에 의한 반응표면분석법으로 구한 최적 발효조건은 알로에 외피의 경우에는 발효 미생물제제의 첨가량 9.45±1.73%, 초기 수분함량 62.73±4.54% 및 발효온도 55.32±3.14°C이었고, 가축혈액의 경우에는 각각 10.25±2.04%, 58.68±4.97% 및 57.85±5.65°C이었다. 고체발효기에서의 발효공정은 수분활성이 유지되는 24시간까지의 발효 및 경질 고분자의 분해과정과, 이후의 숙성 및 건조과정으로 진행되어 고속 발효공정의 특성을 나타내었다. 이 발효공정에 있어서 알로에 외피의 탄질비는 57.76에서 45.07로 감소하는 반면, 가축혈액의 탄질비는 2.47에서 5.41로 증가하는 경향을 나타내어 원료물질의 초기 탄질비에 따라서 발효의 경향이 결정됨을 알 수 있었다. 발효처리 후에 고형분에서의 유기물질은 감소한 반면, 무기성 물질은 증가하였고, 수용성 총유기탄소의 증가때문에 용출액에서의 유기탄질비는 증가하였다. 또

한 펩타이드, 아미노산, 당류 및 저급지방산 등의 수용성 성분도 크게 증가하여 두 시료에서 모두 양호한 발효경과를 나타내어서 본 연구에서 사용한 고체발효기와 발효 미생물제제에 의하여 매우 광범위한 탄질비를 갖는 유기성 폐기물의 발효처리가 가능함을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Atlas, R. M. 1993. *Handbook of Microbiological Media*. CRC Press, Boca Raton.
2. Aurand, L. W., A. E. Woods, and M. R. Wells. 1987. *Food Composition and Analysis*, pp. 269-282. AVI, New York.
3. Biddlestone, A. J. and K. R. Gray. 1985. Composting, pp. 1059-1070. In M. Moo-Young(ed.), *Comprehensive Biotechnology*, vol. 4. Pergamon Press, Oxford.
4. Chanyasak, V. and H. Kubota, 1981. Carbon/organic nitrogen ratio in water extracts as measure of composting degradation. *J. Ferment. Technol.* **59**: 215-219.
5. Chanyasak, V., T. Yoshida, and H. Kubota. 1980. Chemical components in gel chromatographic fractionation of water extract from sewage sludge compost. *J. Ferment. Technol.* **58**: 533-539.
6. Colowick, S. P. and N. D. Kaplan. 1954. Amylases, α and β , p. 149. In P. C. Sidney(ed.), *Methods in Enzymology*, vol. 1. Academic Press, N.Y.
7. Crawford, J. H. 1983. Composting of agricultural wastes -A review. *Process Biochemistry* **2**: 14-18.
8. Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* **28**: 350-356.
9. Elserafy, Z. M., H. A. Sonbol, and I. M. Eltantawy. 1980. The problem of water hyacinth in rivers and canals. I. Production of compost from plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* **26**: 135-138.
10. Finstein, M. S. and M.C. Morris. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. *Adv. Appl. Microbiol.* **19**: 113-151.
11. Frederick, C., J. Michael, C. A. Reddy, and L.J. Forney. 1993. Yard waste composting: Studies using different mixes of leaves and grass in a laboratory scale system. *Compost Science and Utilization* **1**: 85-96.
12. Golueke, C. G. and L. F. Diaz. 1987. Composting and the limiting factor principle. *BioCycle* **28**: 22-25.
13. Lowry, O. H., N. R. Rosebrough, A. L. Farr, and R. J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193**: 265-275.
14. Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* **31**: 426-428.
15. Miyauchi, S. and T. Imoto. 1993. Garbage composting. *J. KOWREC* **1**: 199-208.
16. Myers, R. H. 1971. *Response Surface Methodology*. Allyn and Bacon, Inc., Boston.
17. Nakasaki, K. and T. Akiyama. 1988. Effect of seeding on thermophilic composting of household organic waste. *J. Ferment. Technol.* **66**: 37-42.
18. Park, H. J. 1986. A study of lipase produced by *Pseudomonas aeruginosa*. M. S. Thesis, Yonsei University, Korea.
19. Park, J. Y. and D. S. Kim. 1988. *Chemical Analysis of Soil*, pp. 38-47, The Institute of Industrial Technology, Rural Development Administration, Korea.
20. Pharmaceutical Society of Japan. 1990. *Standard Methods of Analysis for Hygienic Chemists with Commentary*, pp. 330. Keumwon Press Co. Ltd., Tokyo.
21. Pharmaceutical Society of Japan. 1990. *Standard Methods of Analysis for Hygienic Chemists with Commentary*, pp. 272-286. Keumwon Press Co. Ltd., Tokyo.
22. Shin, H. S., E. J. Hwang, and Y. K. Jeong. 1994. Optimum mixing ratio of bulking agent for garbage composting. *J. KOWREC* **2**: 75-86.
23. The Society for Fermentation and Bioengineering, Japan. 1994. *Experiments in Biotechnology*(in Japanese), pp. 194-195. Paepungkwon Co. Ltd, Tokyo.
24. Tatsuo, N., Y. Masakazu, and O. Takashi. 1996. Composting technology for organic wastes; Present status and problems. *Biosci. Industry* **54**: 264-269.
25. Thompson, D. 1982. Response surface experimentation. *J. Food Process. pres.* **6**: 155-188.
26. Yoshida, T. and H. Kubota. 1979. Gel chromatography of water extract from compost. *J. Ferment. Technol.* **57**: 582-584.
27. Yurasi, T. 1992. Recycle and development of instrument for environmental protection. *Machinery and Equipment for Food Industry*(in Japanese) **29**(9): 75-80.

(Received March 12, 1999)