

酵素處理 糞尿液肥를 利用한 作物栽培의 實驗的 研究

李秀桓 · 金政炫 · 金福賢
慶熙大學校 大學院 環境學科

A Study of Greenstuff Cultivation Using Enzyme Treated Nightsoil Liquid Manure

Soo Hwan Lee, Jung Hyun Kim and Bok Hyun Kim

Department of Environmental Science, Graduate School of Kyunghee University

ABSTRACT

The cultivation efficiencies of enzyme treated nightsoil liquid manure were investigated. As a result of applying the liquid manure prepared by the nightsoil digestion due to aerobic or anoxic conditions with enzyme treatment to cultivate greenstuffs as compared with the controls (conventional cultivation) due to application of none enzyme treated fertilizer, the yield was markedly increased. In the cases of kidney bean, seedleaves were increased over 2~4 times and stem growth and diameter was increased 40% as compared the controls. Finally, cultivation yield of liquid manure prepared by the nightsoil aerobic or anoxic digestion with enzyme treatment were more increased as compared with the controls.

Keywords : Nightsoil, Enzyme, Manure, Greenstuff Cultivation.

I. 서 론

환경오염이 점차 심화됨에 따라 이에 따른 법규와 규제가 강화되고 있어 이를 수용하기 위해서는 고도의 처리기술이 절실히 요구되고 있다. 1991년 3월 새로이 제정된 “오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법”을 보면 1996년 1월 1일을 시점으로 분뇨 처리시설의 경우 BOD가 40 mg/l에서 30 mg/l로, 부유물질의 경우는 70 mg/l 이하에서 30 mg/l 이하로 규제가 강화되며, 그리고 새로이 총질소 및 총인의 규제를 포함시키고 있어¹⁾ 보다 더욱 엄격해지고 있는 실정이다. 따라서 이들 기준에 적합하게 하기위한 처리시설의 효율제고 및 영양염류 제거에 대한 기술적인 면에 대해 보다 많은 관심과 노력을 기울여야 할 것으로 생각된다.

전형적인 생물학적인 분뇨처리 방법은 크게 호기성 소화처리 및 혐기성 소화처리로 구분할 수 있으며 처리의 주 목적은 최종 처리수의 농도 저감과 처리 잔여물의 안정화 및 감량화, 탈취 등에 있다고 할

수 있다.^{2,3)} 이 때 처리 잔여물의 안정화라함은 토양 투기(land disposal)나 재활용(recycling)이 가능함을 의미한다고 할 수 있다. 한편 국내의 분뇨처리는 주로 호기성 소화, 혐기성 소화 및 회석 활성오니법 등⁴⁾에 의존하여 왔으나 이의 처리수에는 질소, 인 등 하천 및 호소의 부영양화 물질이 대량으로 함유된 상태에서 그대로 방류되고 있어 수질오염을 가중시키고 있으며 잠재적인 사회문제로 대두되고 있다.^{5,6)} 또한 처리수에 발생하는 폐슬러지는 강한 악취를 유발함으로 주로 매립 및 소각처리를 하는 복잡한 처리공정을 거치는 불편함을 가지고 있다.⁷⁾ 또한 회석 활성오니법의 경우도 회석수를 사용하는 관계로 이에 따른 처리시설이 대형화되는 규모를 갖추어야 하며 다량의 전기 및 운전비를 필요로 하는 단점이 있다.⁸⁾ 그러나 이러한 분뇨처리에 대해 새로이 대두되고 있는 연구 동향은 기존의 화학비료를 대체할 가용 자원으로서의 적극적인 재활용화(再活用化) 개념으로 검토되고 있으나 처리 후 혐오성 악취의 지속적인 발생 및 미안정화 등으로 아직까

지는 널리 실용화 되지 않는 실정이다.⁹⁾ 최근에는 이러한 단점을 보완하기 위한 방안으로 분뇨처리시 미생물의 기질섭취를 활성화하며 특정성분의 악취도 제거 할 수 있는 복합효소제재를 첨가함으로써 잔여물의 안정화는 물론 악취도 동시에 제거할 수 있는 효소투입의 응용적 처리방식^{10,11)}이 새로이 도입되고 있으며, 이러한 효소미생물제재를 적용할 경우 악취 및 슬러지의 발생이 극소화되며 농지개량제로서 비료성분이 많아 우수한 비료로 사용할 수 있으며 처리상등액을 취급 및 운반이 용이한 분말화가 가능하며 특히 하천으로의 오염물의 방류가 없으므로 수질오염을 예방할 수 있는 이점을 얻을 수 있다.¹²⁾ 즉, closed system에 의한 전량을 유기질 비료화가 가능하며 비료성분의 전량 회수로 농지에 환원할 수 있기 때문에 화학비료 사용시의 농약오염이나 토양 오염 등의 염려가 거의 없다. 또한 이를 보다 발전시킬 경우 지방 중·소도시의 분뇨처리에도 적합할 뿐 아니라 농경지를 보유하고 있는 지역에서는 매우 유용하게 적용할 수 있다. 한편 본 연구와 유사한 분뇨 액비화에 관한 연구는 지방자치가 잘 발달된 일본에서 주로 진행되어 왔으며 기존의 연구에서는 효소접촉 및 활성첨가제 투입처리 액비의 농지투여는 농작물의 성장에 있어서 세균 및 주근의 발달에 많은 영향을 준다고 하였으며 약 2배 이상의 수확을 얻을 수 있다고 하였다.^{13, 15)}

따라서 본 연구는 이러한 점에 착안하여 국내의 분뇨처리에 주로 이용되고 있는 호기성 소화와 앞으로 탈질, 탈인의 고도처리에 주로 이용될 무산소 소화시 효소미생물제재를 투여한 후 생성된 액비를 이용하여 식용작물에 대해 유기질 비료화의 여부 및 유기질 비료로서의 재활용 가치를 파악하기 위하여 실시하였으며, 본 연구의 결과는 작물 생산시에 적극 활용할 수 있으리라 생각된다.

II. 실험재료 및 방법

1. 효소제재

본 연구에 적용된 효소제재는 일본 東洋크린株式會社에서 제조된 효소미생물 배합제품을 이용하였으며 구성성분은 다음 Table 1과 같다.¹⁶⁾

2. 분뇨 액비화 실험

실험에 사용된 분뇨시료는 수원시 분뇨 종말처리장의 폭기조 유입구에서 취하였으며 수거 후 실험실로 즉시 옮겨 sieve tray(25~30 mesh)를 이용하여 잔사 및 부유협잡물을 여과제거한 후 냉장고에서 4

Table 1. Characteristics of enzymes¹⁶⁾

Enzymes	Components of enzymes
淨化クリーン (정화크린)	Cellulase Protease Lipase Amylase Macerating enzymes Minerals, etc.

Table 2. Characteristics of applied nightsoil

Analysis item	Concentration (mg/l)
pH	7.80-8.52 (8.11)
Alkalinity	1475-1824 (1636)
TCOD _{Cr}	4560-5960 (5335)
MLSS	2530-3950 (3220)
FSS	1170-2610 (1882)
VSS	1210-1450 (1338)
NH ₃ -N	476-505 (496)
Org.-N	33.1-39.7 (35.4)
TKN	510-541 (531)
NO ₂ -N	1.99-3.04 (2.51)
NO ₃ -N	0.78-1.19 (0.95)

*() Mean

℃ 이하로 냉장보관하였으며 이를 증류수를 이용해 50%의 비율로 희석을 실시하여 실험에 사용하였다. 한편 이의 성상 및 분석방법은 Table 2, 3과 같다.

분뇨의 호기성 및 무산소 소화의 효소접촉 처리 실험을 위하여 Acryl재질(16 cm * 20 cm * 20 cm)의 4각 회분식 반응조(유효용적 : 3.5 l)를 제작하였으며 이는 Fig. 1과 같다. 호기성 소화 실험에서는 용존 산소의 공급을 위하여 반응조의 하부에 원형 산기석을 내장하여 폭기를 실시하였으며 이 때의 유량은 10~15 l/min(평균 10.0 l/min)로 충분한 산소의 공급이 이루어질 수 있도록 하였으며 반응조의 DO는 약 3.0 mg/l 이상을 유지하였다. 무산소식 소화에서는 폭기를 실시하지 않고 반응조 수면의 난류를 이용한 용존산소의 공급 및 접촉계면의 증대를 실시하였다. 이를 위해 약 150~200 rpm의 속도로 4각 peddle에 의한 교반만을 실시하여 반응조내의 상태가 혐기성도 아니며 완전한 호기성도 아닌 0.0~2.0 mg/l의 용존산소가 유지되도록 하였다.

효소투여는 반응조 용적대비 0.10%(1.05 g), 0.30%(3.50 g)의 효소투여균 및 비투여균(대조균)으로 하여 운전 초기 1주일간 계속적으로 투입한 후 각 조건별

Table 3. Analytical method of sample^{17, 18)}

Items	Analytical method	Remark
Temperature	환경오염공정시험법 (직접측정법)	봉상온도계
pH	환경오염공정시험법 (이온전극법)	pH meter
Alkalinity	Standard method (alkalinity)	pp 269-273
MLSS	Standard method (solids)	pp 93- 94
FSS & VSS	Standard method (solids)	pp 97- 98
TCOD _{Cr}	Standard method (closed reflux method)	pp 535-537
NH ₃ -N	Standard method (titrimetric method)	pp 383-384
NO ₂ -N	환경오염공정시험법 (디아조화법)	pp 265-266
NO ₃ -N	환경오염공정시험법 (부루신법)	pp 268-269
Org.-N	Standard method (macro-kjeldahl method)	pp 408-410
TKN	Standard method (nitrogen-organic)	pp 406-407

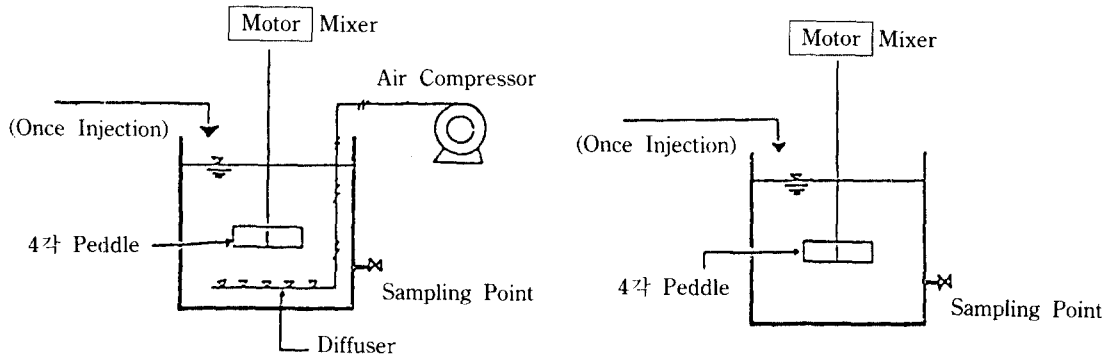


Fig. 1. Aerobic and anoxic batch digester.

처리능 및 질소분의 전환을 측정하였다.

3. 작물재배 실험

본 실험은 소화처리 후 생성된 처리상등액의 유기질 비료화가 과연 이루어졌는지 또한 유기질 비료로서의 적용가능성에 대해 어느 정도의 효과가 있는지를 알아보기 위하여 실시한 것으로 호기성 소화 및 무산소 소화 효소접촉 실험의 조건별 처리상등액을 유기질 비료로 하여 작물의 발아 및 성장시기에 따라 정기적으로 주입하면서 작물 먹잎(子葉) 및 잎 크기와 수량, 성장률, 줄기 직경, 뿌리의 발달 등을 측정하였으며 이의 내용은 Table 4와 같다.

작물재배조는 온상에서 주로 이용되고 있는 저부에 동수망이 있는 직사각형의 재배조(15 cmW*60 cmL*17 cmH)를 이용하였으며 대상작물로는 가정에서도 손쉽게 구입 및 재배가 가능한 고추, 오이, 배추, 강낭콩, 무우의 5가지를 택하여 실시하였다.

Table 4. Measurement of greenstuff cultivation

Greenstuffs	Analytical items
Red pepper	Size of seedleaf (cotyledon)
Cucumber	Size and numbers of leaves
Cabbage	Stem length and diameter
Kidney bean	Roots length and diameter
Radish	etc.

실험대상군으로는 효소 1.05 g 투입 호기성 소화처리 액비군 및 무산소식 소화처리 액비군, 효소 3.50 g 투입 폭기식 호기성 소화처리 액비군 및 무산소식 소화처리 액비군과 비투여군(control)의 5개군으로 나누어 전술한 내용을 측정하였다.

액비 투여량은 100 ml/씩 주 2회를 시비하였으며, 충분한 수분의 공급을 위하여 액비 투여일 외의 날을 택하여 100~150 ml/씩 주 1회 물을 공급하였다. 한편 작물의 재배시 충분한 조도를 유지하기 위하여 실

험용 화분 전체를 창가쪽으로 위치하였으며 작물재배 실험이 종료된 후 뿌리의 발달을 살펴보기 위하여 모근의 길이 및 직경을 각 작물별로 측정하였다.

4. 자료의 분석

실험 후 도출된 자료의 분석은 personal computer를 이용하여 전산처리화 하였으며 통계분석에 적용된 package는 SPSS(statistical package for the social sciences)를 적용하였다.^{19, 21)}

III. 결과 및 고찰

1. 분뇨 액비화 실험

효소를 이용한 분뇨 소화처리 후의 각 조건별 상등액(액비)의 경상은 Table 5, 6과 같다.

호기성 소화의 pH 변화는 시간이 경과됨에 따라 감소되는 경향을 나타내었으며 12~15일경 효소투여 전체군에서 약 2.0 이상의 급격한 pH 감소를 나타냈다. 반면 대조군의 경우 초기의 감소를 제외 하고는 급격한 pH 저하없이 지속적인 감소를 관찰할 수 있었다. pH 변화를 alkalinity와 연관지어 보면 대조군의 경우 pH 감소와 연관지을 수 없었으나 효소투여군에서는 증감의 양상이 pH의 변화와 거의 유사하게 나타나 질산화에 따른 alkalinity의 소모를 파악할 수 있었으며 또한 반응종료 후 잔류 alkalinity는 대조군보다 효소투여군에서 더 높게 나타나 효소의 투여가 유기물 제거 및 질산화 반응에 필요한 알칼리도의 유지도 가능케함을 알 수 있었다.

온도 변화는 소화기간이 경과됨에 따라 증가되었으며, 각 효소투여군에서 대조군과 0.5~1.0°C의 이상의 차이를 볼 수 있었다. 이는 강제폭기가 계속적으로 진행되고 있어 수분증발에 의한 온도의 저하가 나타날 것으로 생각하였으나 오히려 효소의 투여 및 소화가 진행됨에 따라 생성되는 발열이 폭기시의 수분증발에 의한 감열보다 크게 나타남을 알 수 있었으며 효소투여가 반응의 엔탈피 증가에 영향을 끼친다고 생각되었다. 그러나 이러한 양상은 반응기외벽에 보온을 실시하지 않은 관계로 지속적인 증가가 이루어지지는 않았으며 중온소화의 범위까지 상승하지 못하였다.

TCOD 제거율은 약 97~99% 이상의 매우 양호한 제거율을 보여 주었으며 효소투여군의 경우가 대조군에 비해 높은 제거 양상을 보여주었다. 특히 3.50 g 효소투여군의 경우는 다른 반응과는 달리 반응 19일 후 99% 이상의 유기물 제거가 계속적으로 이루어져 높은 TCOD 제거율을 나타내 5~10일 사이에 거의

Table 5. Components of liquid manure using aerobic treatment (unit : mg/l)

Item	Control	Enzyme	
		1.05 g dosage	3.50 g dosage
pH	7.75-7.70	7.05-7.12	7.00-7.02
Alkalinity	134- 174	188- 376	376- 537
COD _{Cr}	120- 190	105- 150	15.00*
TMLSS	1880-1930	2143-2669	4656-7373
MLFSS	1410-1450	1808-2385	3257-4627
MLVSS	470- 480	284- 336	1399-2746
TKN	51.62-64.42	21.63-23.43	28.84-30.64
Org.-N	20.82-23.60	7.21- 9.01	12.62-14.42
NH ₃ -N	30.80-40.82	14.42**	14.42-18.03
NO ₂ -N	69.76-73.22	93.88-94.24	73.55-82.62
NO ₃ -N	1.21- 1.73	1.95- 2.14	1.91- 2.09

* This concentration was maintained for the end of experimental period after 19 days.

** This concentration was maintained for the end of experimental period after 17 days.

Table 6. Components of liquid manure using anoxic treatment (unit : mg/l)

Item	Control	Enzyme	
		1.05 g dosage	3.50 g dosage
pH	6.25-6.30	8.00-8.08	7.10-7.82
Alkalinity	134- 174	926- 939	1475-1610
COD _{Cr}	120- 190	761- 996	2145-2170
TMLSS	1880-1930	2803-3009	4626-6113
MLFSS	1410-1450	1878-2075	3507-3747
MLVSS	470- 480	926- 934	1119-2366
TKN	51.62-64.42	164.03-173.04	281.19-327.24
Org.-N	20.82-23.60	12.62- 18.03	14.42- 24.42
NH ₃ -N	30.80-40.82	151.41-158.62	266.77-302.82
NO ₂ -N	69.76-73.22	0.47- 0.51	5.49- 5.67
NO ₃ -N	1.21- 1.73	0.63- 0.71	0.86- 0.93

대부분 분해가 발생되어 무산소 소화의 실험보다 빠른 분해가 일어난 것으로 사료되었다.

Ammonification에 있어서의 NH₃-N 변화는 대조군의 경우 약 93.8%의 제거율을 나타냈으며 효소투여군의 제거율도 95% 이상을 나타내어 높은 제거 및 진화를 나타냈다. 또한 유기질소 변화는 대조군의 경우 약 39.2%의 제거율을 나타냈으며 1.05 g 효소투여군은 79.1%, 3.50 g 효소투여군은 약 60.0%의 제거율을 나타내 대조군보다는 높았으나 NH₃-N의 제거율보다는 낮게 나타났다. 이는 효소의 작용이 유기질소의 NH₃-N으로의 변환에 관계되는 미생물

보다는 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 질산염으로의 변환에 관계되는 미생물의 효소활성 보조에 더 많은 역할을 하고 있다고 생각되었다. 또한 nitrification에 대한 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 각 조건별 변화양상은 반응초기 10~12일경까지는 농도의 변화가 적었으나 15일부터 급격한 질산화 양상을 나타내 $\text{NO}_2\text{-N}$ 경우 약 79.5~148.5 mg/l의 농도를 나타내었으며 3.50 g 효소투여군에서 제일 높은 약 148.5 mg/l의 농도까지 나타내 대조군의 79.5 mg/l의 약 1.86배 정도 이상의 높은 질산화율을 보여주었다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우는 $\text{NO}_2\text{-N}$ 에 비해 다소 늦게 발생되어 15~20일 후 매우 낮은 농도 증가를 나타냈으며 대조군에 비해서는 약 20% 정도 이상의 높은 변환을 나타냈다. 이는 효소의 투여가 $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 전환에 영향을 주는 전형적인 질산화의 양상을 보여주었으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 gas phase nitrogen으로 변환이 다소 늦게 발현되는 것으로 생각되었다.

무산소 소화의 pH변화는 대조군의 경우 초기 5일간 증가된 후 pH 8.1~8.3 정도를 계속 유지하다가 반응 15~17일에 pH 6.25로 급격히 저하되어 이를 계속 유지하였으며 alkalinity의 감소도 관찰되었다. 그러나 효소투여군의 경우는 호기성 소화와 달리 급격한 pH의 저하없이 일정 수준을 유지하여 1.05 g 효소투여군은 8.0~8.2의 범위를 유지하였으며 3.50 g 효소투여군은 이보다 낮은 pH 7.2~7.9를 나타내었다. 효소투여군의 alkalinity변화도 증감을 반복하였으며 이는 반응조내의 질산화에 의한 소비 및 효소투여에 의한 공급으로 계속 반복되는 것으로 생각되었다. 한편 이러한 차이가 바로 효소투여의 효과로 생각되며 미생물의 활성화에도 어느 정도의 영향을 끼쳤다고 생각되었다. TCOD제거율은 약 75.3% 정도를 보여 주었으며 호기성 소화에 비해 약 10~20% 정도 낮은 제거율을 보였으나 이는 기존의 연구^{22, 23)}에서 나타난 바와 같이 간헐폭기(intermittent aeration)나 무산소 상태를 유지한 무산소 소화의 경우 호기성 소화보다 약 50~70% 이상의 전력을 절감할 수 있는 장점을 가지고 있으며 유기물 제거효율도 유기질 비료화에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 생각되었다. MLSS의 변화는 초기농도에 비해 오히려 증가되어 1.05 g 효소투여군은 1.1배, 3.50 g 효소투여군은 약 2배 이상까지 증가하였다가 감소 후 재증가의 양상을 보였다. 이는 호기성 소화와 마찬가지로 효소투여시 분해효소의 불용성분이 회분식 반응조내에 지속적으로 잔류되어 대조군의 제거보다 오히려 효소투여군에서 증가됨을 알 수 있었으며 이는 岩井²⁴⁾의 연구와도 일치하였다.

이러한 MLSS의 증감은 유기질 비료화 후 농지주입시 작물에 대해 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 생각되었으며 실제로 작물 재배실험에서도 커다란 악영향을 찾아 볼 수는 없었다. $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 변화는 초기농도에 비해 감소되었으나 이의 정도는 호기성 소화에 비해 낮았다. 한편 유기질소 변화는 대조군의 경우 약 56.4%의 제거율을 나타내었으며 1.05 g 효소투여군은 63.8%, 3.50 g 효소투여군은 63.6%의 제거율을 나타내 전 효소투여군에서 대조군보다 높게 나타나 효소투여의 결과를 알 수 있었으나 투여량에 따른 차이는 발견할 수 없었다. 즉, 이는 효소의 작용이 호기성 소화시에는 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 질산염으로의 변환에 관계되는 미생물의 활성보조에 더 많은 역할을 한 반면 무산소 소화에서는 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 질산염으로의 변환만이 아니라 유기질소의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 으로의 변환에 관계되는 미생물에 대해서도 활성보조의 역할을 하였다고 생각되었다. Nitrification에 대한 $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 경우 대조군에서는 반응 17일경 약 260 mg/l 이상 고농도의 $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 검출되었으나 효소투여군에서는 낮은 $\text{NH}_3\text{-N}$ 제거율로 인해 $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 생성은 매우 낮은 편으로, 1.05 g 효소투여군은 반응 15일경 5.0 mg/l로 가장 높았으며 3.50 g 효소투여군의 경우는 17일경 7.3 mg/l로 가장 높은 수치를 기록하였다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 효소투여군의 경우는 초기 농도에 비해 거의 변화가 없었으며 대조군의 경우는 반응시작 17일 후 9.8 mg/l의 농도를 나타낸 후 점차 감소하였다.

2. 액비 효능실험

(1) 떡잎성장에 따른 크기변화

Table 7은 각 작물의 최종 떡잎크기 및 초기 떡잎크기 대비 성장배율을 측정된 것으로 고추의 경우 전 효소처리 액비군에서 높은 성장을 관찰할 수 있었다. 파종 후 13일부터 발아가 시작된 대조군의 떡잎(cotyledon)은 초기발아 크기의 2.31배가 증가한 반면 효소처리 액비군의 경우는 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군은 약 3.40배, 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군은 약 3.25배의 증식을 보여주었으며 1.05 g 효소투여 무산소 소화처리 액비군은 약 2.66배, 3.50 g 효소투여 무산소 소화처리 액비군은 약 2.57배의 순으로 나타나 이 중 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군의 성장이 가장 촉진되었음을 알 수 있었다.

대부분 작물의 떡잎발전은 씨앗 자체의 배젖(胚乳)의 영양에 의해 일어나며 발아후의 성장은 뿌리의 모근 및 세균의 영양원 흡수와 잎의 광합성에 의한

Table 7. Variation of cotyledon in greenstuffs
(unit : cm)

Greenstuff Control	Aerobic digestion		Anoxic digestion		
	Enz 1.05 g	Enz 3.50 g	Enz 1.05 g	Enz 3.50 g	
Red pepper	1.82 (2.31)*	2.11 (3.25)	2.55 (2.57)	2.13 (2.66)	2.18 (3.40)
Cabbage ^c	1.03 (1.72)	1.35 ^b (1.93)	3.12 ^a (4.16)	1.69 ^b (2.41)	1.21 (2.02)
Cucumber	4.11 (2.74)	4.37 (2.91)	4.78 (3.41)	4.54 (3.24)	—**
Kidney bean	9.40 (5.22)	9.70 (5.39)	10.15 (5.97)	10.20 (5.67)	10.60 (5.89)
Radish	0.76 (1.52)	0.99 (1.10)	1.03 (1.14)	1.07 (1.18)	1.06 (1.29)

* () Growth multiple constant contrast to initial cotyledon size.

** Not germination.

^{a,b} Statistical significant by oneway ANOVA ($p < 0.01$, $p < 0.05$).

^c Statistical significant between treatment group using by ANOVA ($p < 0.05$).

작용을 주 성장원으로 한다. 따라서 시비의 효과를 판정하기 위해서는 발아 후의 성장을 측정하여야 하며 이의 차이를 비교하여 보아야 할 것이다.²⁵⁾ 배추의 경우 대조군은 초기 떡잎발아 크기의 1.72배의 성장을 나타내고 있는데 비해 효소처리 액비군 중 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군은 약 4.16배의 성장을 보였으며 영가설(H_0)을 기각할 수 있는 유의수준을 0.01로 하였을 때 통계학적으로 매우 유의하였다($p < 0.01$). 또한 1.05 g 효소투여 무산소식 소화처리 액비군은 대조군 대비 2.41배, 3.50 g 효소투여 무산소 소화처리 액비군은 2.02배의 성장을 나타냈으며 영가설(H_0)을 기각할 수 있는 유의수준을 0.05로 하였을 때 이 또한 통계학적으로 유의하였다($p < 0.05$). 그러나 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군은 대조군에 비해 약 1.93배의 성장을 보여 주었으나 통계학적으로 유의하지는 못하였다.

강낭콩의 재배에 있어서 전일 측정대비 평균성장률(%)은 대조군의 경우는 139%이었으며 효소투여 액비군은 각각 145%, 148%, 139%, 148%의 순으로 나타나 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군 및 3.50 g 효소투여 무산소식 소화처리 액비군이 동일하게 가장 높은 성장률을 보여주었다.

(2) 줄기 길이의 변화

Table 8. Variation of stem growth in greenstuffs
(unit : cm)

Greenstuff Control	Aerobic digestion		Anoxic digestion		
	Enz 1.05 g	Enz 3.50 g	Enz 1.05 g	Enz 3.50 g	
Red pepper	3.02 (100)	4.08 (135)	4.50 (149)	3.45 (114)	3.65 (120)
Cabbage ^c	2.97 (100)	3.15 (106)	4.18 ^a (141)	4.27 ^a (144)	3.07 (104)
Cucumber	8.54	13.04 ^b	11.58	12.12 ^b	—**
Kidney bean	31.20 (100)	67.10 (215)	33.20 (106)	38.00 (122)	40.50 (130)
Radish	9.40 (100)	13.42 ^b (143)	11.40 (121)	12.96 (138)	13.20 (141)

* () Comparision growth rate (%) contrast to control growth is 100.

** Not germination.

^a Statistical significant by oneway ANOVA ($p < 0.01$).

^b Statistical significant by oneway ANOVA ($p < 0.05$).

^c Statistical significant between treatment group using by ANOVA ($p < 0.05$).

각 작물의 떡잎발아 후 줄기의 최종 성장크기 및 대조군을 100으로 하였을 때의 비교성장률(%)을 측정된 결과는 Table 8과 같다. 대조군의 최종 성장을 1.0으로 하였을 때 고추재배 효소처리 액비군의 경우 전체에서 대조군보다 높은 성장을 관찰할 수 있었으며 廣谷²⁶⁾의 연구와 같이 시비 효과가 대조군에 비해 뛰어난 것을 알 수 있었다. 가장 높은 성장을 보인 것은 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군으로 대조군에 비해 약 49% 이상의 성장을 보였으며, 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군은 34.9%, 3.50 g 효소투여 무산소 소화처리 액비군은 19.9%, 1.05 g 효소투여 무산소 소화처리 액비군의 14.2%의 순으로 높은 성장을 나타냈으며 떡잎크기의 발달과 같이 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군의 경우에서 가장 높은 성장을 보였고 효소투여 호기성 소화처리 액비군의 경우가 대조군 및 무산소 소화처리 액비군에 비해서 더 높은 성장을 나타냈으나 통계학적으로 유의하지는 못하였다.

배추재배의 경우 대조군에 비해 효소투여 액비의 성장이 떡잎의 크기와 마찬가지로 전체적으로 높았으며 통계학적으로도 매우 유의하였다. 1.05 g 효소투여 무산소식 소화처리 액비의 성장이 43.8%로 가장 높았으며($p < 0.01$) 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비가 40.9%($p < 0.01$), 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비가 6%, 3.50 g 효소투여 무산소식

Table 9. Variation of stem diameter in greenstuffs (unit : cm)

Greenstuff Control	Aerobic digestion		Anoxic digestion		
	Enz	Enz	Enz	Enz	
	1.05 g	3.50 g	1.05 g	3.50 g	
Cucumber	0.216 (100)*	0.310 (144)	0.296 (137)	0.310 ^b (144)	—**
Kidney bean	0.550 (100)	0.590 (107)	0.450 (82)	0.640 ^b (116)	0.640 (116)

* () Comparison growth rate (%) contrast to control growth is 100.
 ** Not germination.
^b Statistical significant by oneway ANOVA (p<0.05).
^c Statistical significant between treatment group using by ANOVA (p<0.05).

소화처리 액비가 3.4%의 순으로 나타났다. 오이재배는 대조군에 비해서 효소투여 액비군의 성장이 모두 높았으며 그 중 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비가 52.7%로 가장 높았고(p<0.05) 1.05 g 효소투여 무산소식 액비의 성장이 41.9%(p<0.05), 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비가 35.6%의 순으로 나타났다. 강낭콩의 경우도 대조군에 비해서 모두 성장이 증가되었으며 특히 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비의 경우는 대조군성장에 비해 약 11.5%의 성장률을 나타냈다. 3.50 g 효소투여 무산소식 소화처리 액비는 29.8%, 1.05 g 효소투여 무산소식 소화처리 액비는 21.8%, 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비는 6.4%의 성장을 나타냈으나 통계학적으로 유의하지는 않았다.

(3) 줄기의 직경 변화

본 실험은 각 작물에 있어 떡잎발아 후 생성된 줄기의 최종 측정 크기 및 비교성장배율(%)을 측정된 결과로 재배기간의 제한성으로 인하여 줄기가 미세한 세지(細枝)의 경우는 제외하고 측정이 가능하였던 오이와 강낭콩에 대해서만 실시하였으며 이의 결과는 Table 9와 같다.

오이 줄기의 직경 변화는 초기 직경에 비해 대조군은 약 1.96배 성장한 반면 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비의 경우는 2.21배였으며 1.05 g 효소투여 무산소식 소화처리의 경우는 2.38배로 나타났다. 통계학적으로 유의하였다(p<0.05). 강낭콩의 경우 대조군은 초기 직경에 비해 약 1.38배의 성장을 나타냈으며 액비군의 경우는 3.50 g 효소투여 무산소식 소화처리 액비가 1.78배로 가장 큰 성장을 기록했고 1.05 g 효소투여 호기성 소화처리 액비가

Table 10. Variation of root length in greenstuff cultivation (unit : cm)

Greenstuff Control	Aerobic digestion		Anoxic digestion		
	Enz	Enz	Enz	Enz	
	1.05 g	3.50 g	1.05 g	3.50 g	
Red pepper	4.32	4.83	4.95	4.60	—*
Cabbage	3.13	4.70	6.26	4.83	—*
Cucumber	6.66	6.40	7.02	6.62	—*
Kidney bean	26.30	44.60	34.20	30.00	33.50

* Not germination.

Table 11. Variation of number of leaves in greenstuff cultivation (unit : cm)

Greenstuff Control	Aerobic digestion		Anoxic digestion		
	Enz	Enz	Enz	Enz	
	1.05 g	3.50 g	1.05 g	3.50 g	
Red pepper	3.4	4.0	4.5	3.8	—*
Cabbage	4.0	4.0	5.2	4.7	—*
Cucumber	4.0	4.2	4.0	4.2	—*
Kidney bean	8.0	14.0	9.0	11.0	12.0

* Not germination.

1.60배의 성장으로 유의하였다(p<0.05).

(4) 뿌리의 길이 및 잎의 수량

작물 재배실험 후 액비의 투여가 뿌리의 발달에도 영향을 끼치는 것을 파악하기 위해 뿌리의 모근 및 세근발달 양상과 떡잎발아 후 작물 생육관정을 가늠할 수 있는 잎의 수량을 관찰하였으며 이의 결과는 Table 10, 11과 같다.

Table에서 보는 바와 같이 뿌리의 길이에서 고추는 효소투여 호기성 소화처리 액비군의 경우가 1.05 g 및 3.50 g에서 각각 대조군에 비해 12.0%, 14.6% 신장되었으며 무산소 소화처리 액비군은 약 6.5%의 신장을 보여주었다. 배추의 경우도 대조군보다 뿌리(모근)의 길이가 더욱 신장된 양상을 볼 수 있었으며 특히 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비의 경우 무려 99.8%나 신장되었다. 오이의 경우는 대조군과 큰 차이를 발견할 수 없었으며 다만 3.501 g 효소투여군에서 대조군에 비해 약 15% 정도의 신장률 볼 수 있었다. 강낭콩의 경우도 대조군보다 모근의 신장됨을 발견할 수 있었으며 1.05 g 효소투여 호

기성 소화처리 액비가 69.6%로 가장 높은 성장을 기록했다.

吉田 등²⁷⁾의 연구에 의하면 분뇨퇴비를 이용한 수도작의 수확실험에서 모근 길이의 신장 및 세근의 왕성한 발달을 관찰할 수 있었다고 하였으며, 이는 본 연구와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

잎의 수량에 있어서도 측정된 모든 작물의 대조군과 같거나 그 이상의 수량을 나타냈으며 강낭콩의 효소투여 액비군의 경우가 가장 많은 수량을 나타냈다. 즉, 모든 효소처리 액비군의 투여가 대조군에 비해 높은 성장을 나타냈음을 알 수 있었으며 이는 분뇨의 소화처리 후 유기질 비료화(액비화)가 원활히 진행되었음을 나타낸 것으로 사료된다.

IV. 결 론

호기성 및 무산소 소화를 적용한 분뇨처리시 효소미생물제제를 투여할 경우에 대한 유기물 제거 및 영양염류 성분의 변환여부 규명과 아올러 유기질 비료로서의 재활용의 가치 및 경제성을 보다 향상시키기 위해 실험하였으며 연구결과에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 분뇨 액비화 실험의 경우 호기성 소화의 효소 투여가 무산소 소화에 비해 높은 유기물 제거를 보였으며 보다 뚜렷한 질산화의 경향을 나타냈다.
2. 액비 효능실험의 경우 떡잎성장의 크기변화는 전 효소처리 액비군에서 대조군보다 높은 성장을 관찰할 수 있었으며 특히 배추재배의 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군은 대조군에 비해 4.16배의 높은 성장을 나타냈다($p < 0.01$).
3. 줄기 길이 및 직경 변화는 각 작물의 효소처리 액비군이 대조군보다 높은 성장을 나타내 분뇨 소화처리시 효소투여에 의한 유기질 비료화가 비투여에 비해 원활히 진행되었다고 생각되었다. 배추재배시 1.05 g 효소투여 무산소 소화처리 액비군의 성장은 대조군에 비해 약 40% 이상 증가되는 양상을 나타냈다($p < 0.01$).
4. 뿌리길이도 효소처리 액비군의 경우가 대조군보다 더욱 발달된 양상을 나타냈으며 특히 3.50 g 효소투여 호기성 소화처리 액비군의 경우 대조군에 비해 약 2배 이상 신장되었다. 잎의 발달은 측정된 모든 작물이 대조군과 같거나 그 이상의 잎의 수량을 나타냈으며 특히 강낭콩의 경우가 가장 많은 잎의 발달을 나타냈다.

감사의 글

본 논문은 1990년도 문교부지원 학술진흥재단 자유공모과제 학술연구조성비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 국제환경문제연구소, 환경관계법규(1991년 개정), 동화기술 (1992).
- 2) WPCF, Wastewater Treatment Plant Design (MOP 8), pp. 502-514 (1977).
- 3) Reece, C. S., Roper, R. E. and Grady Jr., C. P., Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge, Journal of The Environmental Engineering Division, Proc. ASCE, Vol. 105, No. EE2 (1979).
- 4) 김갑수, 하수슬러지의 퇴비화(Compost) 방안, 건식기술정보 (1989).
- 5) 이찬기, 김영래, 슬러지의 호기성 퇴비화, 대한토목학회지, 7(3) (1987).
- 6) 김정현, 이승무, 폐기물처리공학, 동화기술 (1991).
- 7) Theodore, L. and Reynolds, J., Introduction to Hazardous Waste Incineration, John Wiley & Sons (1987).
- 8) 김동민, 김수생, 폐수처리, 녹원출판사 (1990).
- 9) 中西 弘, し尿處理技術の展望, 環境技術, 18(11) (1989).
- 10) 田畑忠行, 有機廢棄物の堆肥化技術, 環境技術, 20(5) (1991).
- 11) 日本國宮崎縣綾町, 農業指導センター, し尿液肥の肥料的效果 確認試驗成績書 (1980).
- 12) 日本國宮崎縣綾町, 農業指導センター, 産業振興課, 液肥, 堆肥利用作物の生育 (1985).
- 13) 日本國宮崎縣綾町, 農業指導センター, 液肥展示圖成績 (1988).
- 14) 岸 政美, 對馬正人 他, 枯葉有機水の道路散布試驗に關する研究, 環境技術, 20(10) (1991).
- 15) 李明圭, 小林達治, 西村和雄, 光合成細菌利用による養豚廢棄物處理の最先端技術, 環境技術, 20(10), 10 (1991).
- 16) 東洋クリーン(株), 淨化クリーン(酵素微生物配合)取扱書 (1985).
- 17) 동화기술, 환경청고시 수질오염공정시험법 (1992).
- 18) APHA, AWWA, WPCF, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 16th, ed. (1985).
- 19) Noursis, M. J., SPSS (Statistics Package for the Social Sciences), SPSS, Inc., Co. (1986).
- 20) Raymond, R. W. and Myers, H., Probability and

- Statistics for Engineers and Scientists, Macmillan Publishing Co. (1985).
- 21) 한국과학기술원, PC를 이용한 공정품질관리 및 SPSS/PC와 Minitab을 이용한 통계적 데이터 처리(산학협동공개강좌) (1986).
- 22) Matsuda, A., Ide, T. and Fujii, S., Behavior of Nitrogen and Phosphorous During Batch Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge of Waste Activated Sludge-Continuous Aeration and Intermittent Aeration by Control of DO, Water Research, **22**(12), 1495-1501 (1988).
- 23) van Haandel, A. C., Ekama, G. A. and Maraias, G. V. R., The Activated Sludge Process-III, Single Sludge Denitrification, Water Research, **15** (1981).
- 24) 岩井重久, 生物酸化處理の精密理論とその活性助劑添加の好氣性消化, 活性汚泥處理法への適用例, 環境技術, **20**(5) (1991).
- 25) 한기학, 박창규외 8인, 농업환경화학, 동화기술 (1989).
- 26) 廣谷博史, 有機廢水の資源化處理, 環境技術, **20**(5) (1991).
- 27) 吉田忠宰, 田畑忠行他 2人, 有機廢棄物の資源化處理と水稻多收穫, 環境技術, **20**(10) (1991).

(Received February 4, 1993)