

사과박 퇴비화에서의 미생물군집의 천이와 효소활성도의 변화

이영옥, 조익환*, 이용세*, 전하준*

대구대학교 생명과학부, *생명자원학부

The Succession of Microbial Populations and Variation of Enzyme Activities in Composting of Apple Pomace

Young-Ok Lee, Ik-Hwan Jo*, Yong-Se Lee*, Ha-Joon Jun*

Department of Life Science, *Department of Natural Resources, Taegu University

ABSTRACT

To verify the usefulness of enzyme activity as a index for the stability or maturity of apple pomace composting, the succession of microbial populations using viable count procedure, and V_{max} of β -glucosidase and cellobiohydrolase were measured, based on an increase in fluorescence as the nonfluorescent methylumbelliferyl substrates were enzymatically hydrolyzed, leading to the highly fluorescent methylumbelliferyl molecule 4-methylumbelliferone(MUF). The activities of these enzymes in the decomposition of carbohydrates were gradually decreased in the course of the time. Correlation between microbial population and enzyme activity was not significant with exception of fungi, and the fungi were represented in high density. This indicates that the fungi probably play a major role in composting of apple pomace.

Key Words : Apple pomace, Enzyme activity(V_{max}), β -glucosidase, Cellobiohydrolase, Fungi, Microbial populations, Compost stability/maturity

초 록

사과박의 퇴비화에서 효소활성도가 퇴비의 안정성 혹은 부숙도를 나타내는 지표로서의 사용가능성이 있는지를 검증하기 위해 배양계수법에 의한 미생물군집의 천이와, 무형광상태로 기질에 결합되어있던 형광물질(MUF)이 분해되면서 띠게 되는 형광정도가 해당효소의 활성도에 비례하여 높아지는 것을 이용하여 β -glucosidase와 cellobiohydrolase 활성도를 측정하였다. 탄수화물의 분해에 관여하는 두 효소의 활성도는 시간변

화에 따라 점점 낮아졌다. 미생물개체군과 효소활성도간의 상관성은 균류군을 제외하고는 없는 것으로 나타났고 또 균류가 높은 개체수를 나타내는 것으로 보아 균류가 사과박의 퇴비화에 지대한 역할을 담당할 것으로 사료된다.

주제어 : 사과박, 균류, 미생물개체군, 효소활성도(β -glucosidase, cellobiohydrolase), 퇴비의 안정성/부속도

1. 서론

농가에서 발생하는 볏짚·작물잔재류·유실수 전지 잔재 등의 농산부산물과 농산가공품의 대량생산에 따른 사과박·포도박 등의 유기성 폐기물량이 점차로 증가하여 현재 우리나라에서 발생하는 고품 폐기물량의 절반 이상을 차지한다고 한다(신 등 1998a). 고품 폐기물의 높은 비율(생활 폐기물의 30%: 환경처, 1993)을 차지하는 이들 유기성 폐기물은 분해되면서 악취, 오수의 누출 등 많은 환경문제를 야기시킬 뿐 아니라 자원으로서의 활용가능성도 크므로 이에 대한 연구의 필요성이 부각되고 있다(신 등, 1998a). 포도주를 대량으로 생산하는 유럽에서는 포도박을 퇴비화하는 과정에서 발생하는 열을 퇴비화시설의 유지에너지로 활용한다는 보고도 있다(Wessely, 1981). 음식쓰레기를 포함하는 생활쓰레기(Garcia et al., 1992; Herrmann et al., 1993; 신 등 1998b), 축산폐기물(Godden et al., 1983), 슬러지(Mckinley et al., 1984; Nakasaki et al., 1985)의 퇴비화에 관한 미생물학적 연구는 그 동안에도 많이 이루어져왔으나 순수한 유기물질인 과일박의 퇴비화에 관한 미생물학적 연구는 퇴비화에 관여하는 미생물군집의 천이(succession)에 관한 연구(Wessely, 1981; Streichsbier et al., 1982)와 퇴비화에서의 미생물의 식종 효과를 온도, pH, C/N비 등 이화학적인 지표변화에서 추적한 연구(Faure, 1991)에 국한되어 있을 뿐이다. 이에 본 연구에서는 탄수화물이 주종을 이루는 사과박의 퇴비화과정에서의 미생물군

집의 천이뿐 아니라 고분자물질인 셀룰로즈, 리그닌 등을 세균이나 균류가 이용할 수 있는 저분자성 유기물로 분해하는데 관여하는 세포외효소(extracellular enzyme)인 β -glucosidase와 cellobiohydrolase 효소의 활성도가 퇴비화과정에서 어떠한 변화양상을 나타내는지 알아보고자 한다. 이는, 생활쓰레기의 퇴비화에서는 효소 활성도가 퇴비화의 안정성을 나타내는 지표로서의 이용가능성이 있다는(Herrmann et al., 1993)보고대로 과일박과 같은 순수 유기성 폐기물에서도 효소활성도의 측정이 퇴비의 부속도 판정에 유효한지를 검증해보는 한 방편이기도 하다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 퇴비화조건

본 실험은 60(l) x 60(w) x 60(h)cm 크기의 나무상자에 농산가공품의 부산물인 사과박을 주재료로 하여 야적식으로 퇴비화하는데 요구되는 효율적인 조건을 설정하기 위하여 다음과 같이 조건을 다르게 설정하였다. 즉, 순 사과박만을 퇴비용재로 사용하거나(Run A), 순사과박의 낮은 질소함량을 감안하여 분교 양계장에서 수집한 계분과 사과박을 1:3(v:v)의 비율로 혼합하였고(Run B), Run C에서는 Run B와 동일한 퇴비용재를 균질화하기 위해 3시간 동안 고속발효기에서 분쇄한 후(강, 1987), 공극개선재로 우드칩을 33%의 부피비로 첨가하였다(유 등, 1998). 퇴비를 뒤집어주어도 주변의 기온과 별 차이를 보이지 않은 때를 퇴비가 완숙

단계에 이른 것으로 판단하여(진, 1994), 효소활성도 측정을 제외하고는 모든 실험을 7주 동안 행하였고 2-3일에 한번씩 뒤집기를 하였다.

2.2 이화학적 측정지표

온도는 현장에서 직접 측정하였고 pH는 시료와 멸균증류수(pH: 7)를 1:5(w:v)의 비율로 혼합하여 pH meter(Fisher Scientific, Accumet 930)로 측정하였다. 총유기탄소량은 TOC analyzer(TOC-5000, Shimadzu)로, C/N비는 elemental analyzer(Vario-EL)로 측정하였다. 아울러 건량과 회분량은 각각 105°C에서 24시간 건조, 550°C에서 3시간 가열하여 구하였다.

2.3 미생물군집의 측정

퇴비화가 진행되는 과정에서 주된 역할을 담당하는 균류와 세균군집의 천이를 측정하기 위하여 시료를 8000rpm에서 2분 동안 분쇄시킨 다음 적당한 농도로 희석하여 섬유소 분해 세균군을 제외하고는 모두 박막여과법(membrane filtration, filter pore size: 0.45 μ m)으로 아래와 같은 조건에서 분리, 배양하고 계수하였다: 균류(fungi)는 PDA(Merck)를 이용하여 30°C에서 3일간, 중온성·고온성세균은 Nutrient Agar(Difco)로 분리 배양하였는데 중온성인 경우, 30°C에서 이틀간, 고온성인 경우에는 55°C에서 24시간 배양하였다. 아울러 중온성 방선균은 Actinomycete Isolation Agar(Difco)배지를 이용하여 30°C에서 7일간 배양하였고 고온성 방선균의 경우에는 Wessely(1981)의 배지(yeast extract 4g, soluble starch 15g, K₂HPO₄ 1g, MgSO₄·7H₂O 0.5g, aqua. font. 250ml, d. w. 750ml, agar 20g)에서 55°C에서 3일 동안 배양하였는데 방선균들은 해부현미경으로 기균사체(aerial mycelium) 및 기질균사체(substrate mycelium)의 존재유무를 확인한 후 계수하였다. 섬유소 분해세균은 CMC배지를 이용

하여 27°C에서 3일간 배양한 후 섬유소 분해능이 확인된 콜로니만 계수하였다(신 등, 1998b).

2.4 효소활성도

적당히 희석한 시료액에 형광물질인 methylumbelliferone(MUF)이 부착된 기질, β -glucoside(MUF- β -glucoside, Sigma), MUF-cellobiopyranoside(Sigma)을 첨가하여 β -glucosidase와 cellobiohydrolase의 활성도를 다음과 같은 방법으로 측정하였다: 시료액 4.5ml에 해당 기질인 MUF- β -glucoside, MUF-cellobiopyranoside를 최종농도가 0.5, 2.5, 5.0, 10, 25, 50, 100, 200 μ M이 되도록 첨가하였다. 현장은도에서 1시간 배양한 후 glycine-sodium hydroxide buffer (pH 10.5, 0.2M)를 0.5ml 첨가하여 반응을 정지시킨 다음, 형광분광 광도계(Hoefler, TKO 100; Excitation: 365nm, Emission: 460nm)로 효소, β -glucosidase와 cellobiohydrolase에 의해 시료 내 생성된 MUF의 농도를 정량 분석하였으며, Lineweaver-Burk식을 이용하여 Vmax(최대분해속도)를 구하였다(Christ, 1989). 이때 측정 결과는 3회 이상 측정된 평균값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이화학적 환경지표의 변화

각 실험의 온도, pH, 함수량, 총유기탄소량(TOC), 회분량의 시간적인 변화는 표 1에서 보는 바와 같다. 실험 기간동안 통기조건을 개선하기 위해 우드칩을 첨가한 Run C의 온도(29 - 59°C)는 미생물의 활성을 저해시키지 않는 범위에서 변화한(Mckinley et al., 1984; Strom, 1985)반면, 공극 개선제가 첨가되지 않은 Run B와 순사과박만을 함유한 Run A의 초기온도는 60°C 이상을 나타내었다. 이러한 초기의 고온현상은 약 10일간 지속되

었으며 그로 인한 수분 증발로 퇴비화 2주 전후부터 함수량이 급격히 떨어져 추가적으로 물을 뿌려 주어야했다.

Table 1. The changes of physicochemical parameters during the composting of apple pomace.

	Time (weeks)	Temp. (°C)	pH	Water-cont. (%)	TOC (%)	Ash-cont. (%)
Run A	1	63	6.8	68	38.3	3.9
	2	47	7.2	39	37.9	
	3	41	7.4	32	37.8	
	4	38	7.7	47	36.5	
	5	32	8.1	45	35.7	
	6	31	8.5	48	34.7	
	7	27	8.9	47	33.1	
Run B	1	67	7.2	54	28.4	21.1
	2	41	7.4	35	27.0	
	3	29	7.6	25	26.3	
	4	34	7.9	38	25.5	
	5	31	8.6	30	24.3	
	6	28	8.9	48	23.3	
	7	24	9.5	43	22.3	
Run C	1	59	7.2	55	26.3	21.1 36.5
	2	41	7.4	34	23.4	
	3	29	7.8	25	22.2	
	4	44	8.0	34	21.3	
	5	32	8.4	28	21.1	
	6	37	8.7	38	19.4	
	7	29	9.5	35	19.2	

pH은 모든 실험조건에서 퇴비화가 진행되는 동안 점차 높은 값을 보였는데 Run A가 Run B와 Run C에 비해 약간 낮은 값을 보였다. 이는 산소의 공급이 원활하지 못한 RunA에 생성된 유기산의 영향일 것으로 추정된다(Streichsbier et al., 1982). 퇴비화과정에서 회분량은 증가하는 반면, 총유기탄소량(TOC)은 점차 감소하는 추세를 보였다. Garcia 등(1992)도 도시의 생활쓰레기를 야적식으로 퇴비화하는 과정에서 축출한 유기물질을 4개월의 시차를 두고 분석한 결과, TOC와 C/N비의 최종값이 초기값의 절반에도 미치지 못하였다고

보고하였다. 퇴비화가 진행되는 동안 회분량이 증가하고 TOC와 C/N비가 감소한다는 것은 많은 연구자에 의해 보고되었다(Inbar et al., 1993; Garcia et al., 1992; Godden et al., 1983). 모든 실험조에서 C/N비는 실험을 개시하면서 측정하였다 (Run A: 17, Run B:10, Run C:9.6).

3.2 미생물군집의 천이

Fig. 1, 2에서 보는바와 같이 실험초기인 퇴비화 1주 후에는 각 실험조의 온도가 60°C전후의 고온에서 고온성 세균(thermophilic bacteria), 고온성 방선균(thermophilic actinomycetes)의 집락수(c.f.u.)는 온도가 떨어지는 2주 후까지 증가하다가 점차적으로 감소하였다. 반면에 중온성 방선균(mesophilic actinomycetes)과 중온성 세균(mesophilic bacteria)은 초기에는 고온성 방선균과 비슷한 집락수를 나타내다가 온도의 감소와 함께 점점 증가하였고 다시 7주가 지난 후에 감소하는 추세를 보였다. 이처럼 퇴비화의 초기에 방선균이 낮은 집락수를 나타내는 것은 Nakasaki 등(1985)의 보고대로 균류나 대부분의 다른 세균군에 비해 방선균이 더디게 성장하고 퇴비와 같이 고농도의 유기물질이 함유된 환경에서는 다른 미생물군과의 경쟁에서 배제되었다가 영양염류의 농도가 낮아지면 방선균의 생장이 활성화되기 때문으로 사료된다. 퇴비화 3주 후의 중온성 방선균, 섬유소분해세균(cellulolytic bacteria) 등, 세균개체군의 전반적인 감소는 낮은 함수량(25-32%)으로 인해 미생물의 활성이 저해되었기 때문(Jones et al., 1983)으로 생각된다. 30°C에서 분리 배양한 섬유소 분해세균의 집락수는 후반기에 약간 증가하였으나 비교적 큰 변화를 나타내지 않았는데 그 이유는 우선, 사과박의 주성분이고 고분자물질인 셀룰로즈, 리그닌 등이 분해가 용이한 저분자성 유기물의 농도가 낮아지면 분해되므로 퇴비화 후반기에 섬유소 분해세균군이 다소 증가하는 양상을 보이니 미생물의

피드백 억제기작(feed-back inhibition)에 의해 물질대사에 요구되는 정도만이 분해되기 때문에 추정된다(Fig.2).

30°C에서 분리 배양한 균류(fungi)가 모든 실험 조에서 퇴비화 초기의 고온에서도 다른 세균군들보다 10-1000배가 많은 개체수를 나타내는 것으로 보아(Fig. 1), 고온내성균으로 추정된다. 초기의 균류를 현미경으로 관찰한 결과, 그 대부분이 효모균(yeast)이었다.

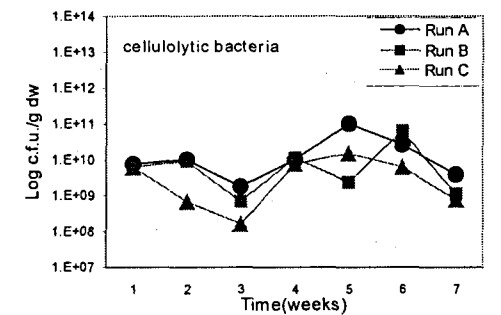
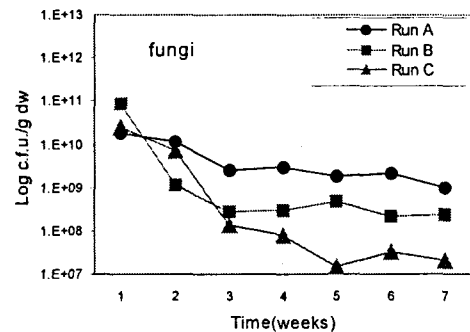
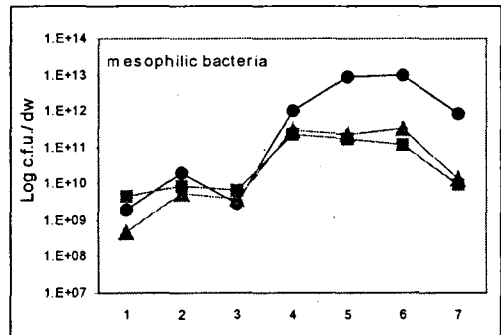
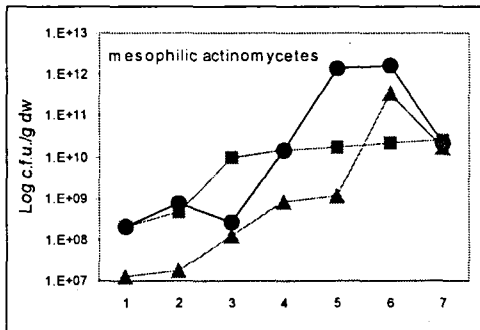
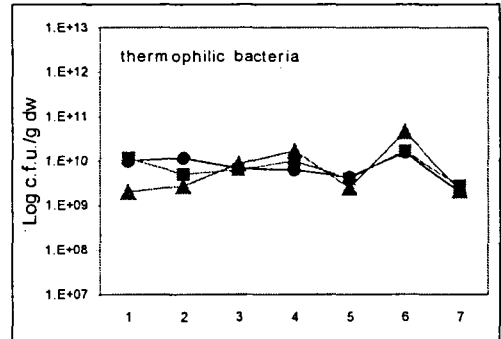
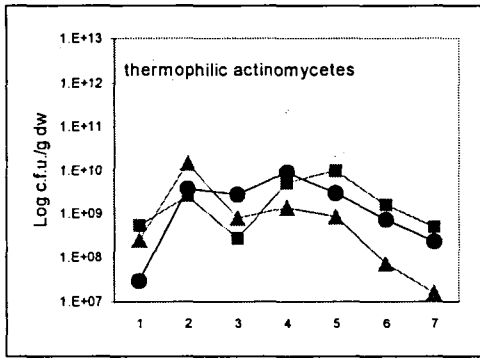


Fig. 1. The variations of thermophilic actino-mycetes (upper), mesophilic actinomy-cetes(middle) and fungi(bottom) during the composting of apple pomace.

Fig. 2. The variations of thermophilic bacteria(upper), mesophilic bacteria(middle) and cellulolytic bacteria(bottom) during the composting of apple pomace.

Streichsbier 등(1982)도 포도박의 퇴비화과정에서 효모들이 초기의 우점종이었고 그 이유는 포도박이 고농도의 당과 유기산을 함유하고 있어 효모의 성장을 촉진하고 또한 그들에 의해 생성되는 알코올이 다른 세균군의 성장을 저해하기 때문이라고 보고하였다. 효모이외에도 *Thermo-momyces lanuginosus* 등과 같은 고온성 균류의 왕성한 성장으로 균사체가 포도박을 뒤덮는다는 Streichsbier 등(1982)의 보고대로 본 실험에서도 초기 2주 간에는 육안으로도 퇴비용재 표면을 뒤덮는 잿빛의 균사체를 관찰할 수 있었다. 따라서 균류가 높은 개체수를 나타내고 세균에 비해 균류의 생체량(biomass)이 월등히 큰 것을 감안할 때 사과박의 분해에 균류가 기여하는 바가 클 것으로 생각된다.

3.3 효소활성도

세균 및 균류들은 저분자성 유기물질만을 흡수하여 물질대사에 이용하므로 셀룰로즈 등 고분자상태의 유기물질은 세균의 체외효소들에 의해 단단계에 걸쳐 분해된 후 이용된다.

즉, 세균의 체외효소 활성도는 해당환경의 물질순환과 에너지 흐름에 지대한 영향을 미치므로 (Chr st, 1989) 효소활성도의 측정은 퇴비화의 안정성을 나타내는 지표로서 유용하게 이용될 수 있다고 하였다(Godden et al., 1983).

β -glucosidase는 cellobiohydrolase의 분해산물인 이당류(disaccharide)를 분해하고 이때 생성된 glucose를 세균 및 균류가 이용하는데 시간적으로는 퇴비화초기인 1주 후에 모든 실험조에서 최고치를 나타내었고 또 Run C에서 가장 높았다(Run A:79.6, Run B: 112.8, Run C: 149.2 μ mol/h/g dw). 마찬가지로 고분자탄수화물을 cellobiose, cello-triose, cellotetraose, cello-pentose 등 cello-oligosaccharide((glucose)_n, n=2-5)로 분해하는 cellobiohydrolase 활성도(van Tilbeurgh et al., 1985)도 퇴비화 1주 후에, Run C에서 가장 높

았다(Run A:18.1, Run B: 14.8, Run C: 44.5 μ mol/h/g dw).

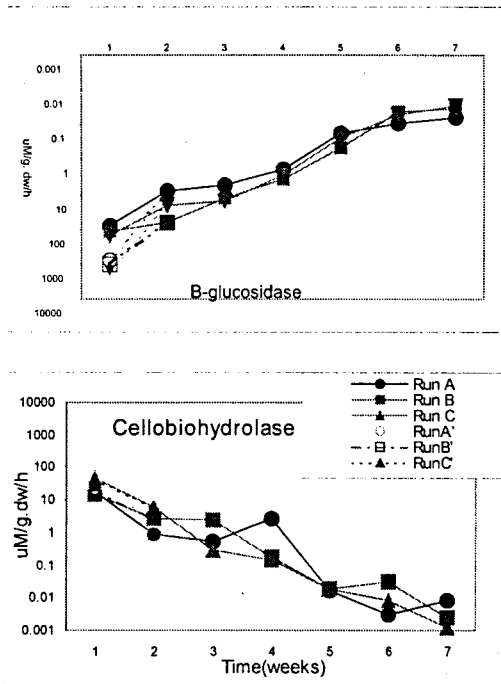


Fig. 3. The variations of enzyme activities (β -glucosidase, cellobiohydrolase) during the composting of apple pomace.

이처럼 Run C의 활성도가 재료조성이 동일한 Run B보다 높은 것은 우드칩의 영향도 있지만 퇴비용재의 분쇄에 의한 기질의 표면적증가로 미생물의 기질이용가능성이 높아졌기 때문으로도 생각된다(강, 1987). 55 $^{\circ}$ C 혹은 60 $^{\circ}$ C이상의 온도는 미생물의 활성을 저해한다는 보고(Mckinley et al., 1984)되었으나 본 실험결과에서는 최대치를 나타내 주었다(Fig. 3). 온도가 미생물의 효소활성에 미치는 영향을 알아 보기 위해 동일한 실험재료로 30-31 $^{\circ}$ C에 재측정한 결과를 보면 대략 효소활성도가 고온에서보다 β -glucosidase의 경우, 10배 가량 높았고(Run A':780, Run B':1020, Run C':1420 μ mol/h/g dw), cellobiohydrolase의 경우, 순

사과박인 Run A'에서는 28.4 μ mol/h/g dw, Run B'에서는 20.8 μ mol/h/g dw, 그리고 Run C'에서는 48.8 μ mol/h/g dw으로, 고온에서보다는 높았으나 큰 차이는 없었다. Mckinley 등(1984)은 슬러지를 이용한 퇴비화 과정에서, [14C]acetate를 흡수하여 생성되는 lipids의 양([14C]acetate-incorporation), 14CO₂-호흡량 등의 미생물 활성도를 측정된 결과를 토대로, 퇴비화의 최적 온도는 55 $^{\circ}$ C이하라고 했다. 그러나 실험초기에는 60 $^{\circ}$ C이상의 온도에서보다 34-45 $^{\circ}$ C의 온도범위에서 더 높은 [14C]acetate-incorporation율을 나타내지만 10여 일이 경과된 후에는 고온에서도 상당히 높은 활성도를 보였고 또한 저온의 시료보다 고온의 시료에서 채취한 미생물들이 고온에서 더 높은 활성도를 나타냈다고 하였다. 본 실험결과에 나타난 초기의 높은 활성도는 우선, 실험용재인 사과박이 실험을 시작하기 전에 장기간 상온에서 포장된 채 방치되어 있었으므로 발효가 상당히 진행된 상태여서 중간대사산물인 유기산, 알코올이 상당량 존재했을 것이고 그로 인해 효모 등의 고온내성 균류들이 산소가 공급됨에 따라 왕성한 활성을 보인 결과로 추정된다. Herrmann 등(1993)은 생활쓰레기의 퇴비화과정에서 효소활성도를 측정된 결과, 초기 50여일 동안에는 효소활성도의 증감이 반복되다가

100여일이 경과 된 후 β -glucosidase, cellulase활성도등이 큰 폭으로 증가하는데 이는 저분자성 유기물이 고갈되어 고분자인 셀룰로즈를 탄소원으로 이용하는것을 의미하므로 효소 활성도의 변화는 퇴비 안정화 또는 부숙도를 나타내는 지표로서 사용될 수 있다고 하였으나, 본 실험에서는 15주가 지난 후에 측정된 Run C의 β -glucosidase (0.0097 μ mol/h/g dw)와 셀룰로즈의 중간대사물질을 분해하는 cellobiohydrolase (0.0007 μ mol/h/g dw)활성도가 모두 7주 후의 측정치보다 더 낮았다. 이와 같은 차이는 생활쓰레기와 사과박의 조성과 환경이 다른 것에서 기인하는 것으로 생각된다. 미생물 개체군의 크기와 효소활성도의 상관성을 산출한 결과에서도 보듯이(Table 2), Run B에서의 중온성 방선균과 β -glucosidase 활성도 간에 상관성이 있는 것을 제외하고는 세균군집의 개체군들과는 효소활성도가 상관성을 나타내지 않는 반면, 효소 β -glucosidase와 cellobiohydrolase의 활성도가 균류와는 유의성있는 상관성을 나타냈다. 미생물군집과 효소활성도간의 상관성에 관한 타 연구자들의 연구결과(Godden et al., 1983; Jones et al., 1983)와 마찬가지로 본 실험 결과에서도 상관성이 없는 것으로 나타났다. Jones 등(1983)은 MPN방법으로 분리 배양한 단백질분해세균, 아밀로즈분해

Table 2. Correlations(represented by r^2) between several microbial populations and enzyme activities. *; significant (Prob>F; 0.05>F)

	Run A		Run B		Run C	
	β -glucosidase	cellobiohydrolase	β -glucosidase	cellobiohydrolase	β -glucosidase	cellobiohydrolase
mesophilic bacteria	0.1274	0.1251	0.2885	0.2211	0.1379	0.1764
thermophilic bacteria	0.0414	0.0280	0.0191	0.0683	0.0687	0.0880
mesophilic actinomycetes	0.1019	0.1070	0.7337*	0.4889	0.0332	0.0430
thermophilic actinomycetes	0.1181	0.0593	0.1159	0.1430	0.0002	0.0139
cellulolytic bacteria	0.0564	0.0567	0.0442	0.0395	0.0064	0.0011
fungi	0.7841*	0.7224*	0.7171*	0.9565*	0.9216*	0.9770*

세균, 지질분해세균 등의 생리적 세균군과 protease, cellulase, lipase의 활성도간의 상관성을 분석해본 결과, 초기에 protease활성도가 3배 증가했을 때 단백질분해세균도 30배 증가했으나 amylase활성도가 1000배 증가했을 때에는 그에 상응하는 아밀로즈분해세균이 그와 비례하여 증가하지 않았다고 하였다.

이와 같은 상관성의 결여는 측정방법에 기인하는 것일 수도 있다. 즉, 세균 및 균류개체군의 크기를 측정하는 배양계수법(viable count procedure)은 배지의 선택성, 온도 및 시간 등의 배양방법에 따른 제한성과 실제로는 불활성상태인 포자로 존재했던 방선균, 포자형성 세균, 균류 등의 포자들까지도 포함해서 계수하게 되는 실험방법상의 오류를 반영하는 결과인지도 모른다. 또한 모든 세균 및 균류의 활성도가 동일한 개체라도 생리적 나이에 따라 다르고 종에 따라 다른데 이러한 차이도 배양계수법에 의한 미생물군집측정에서는 반영되어 있지 않다. 이와 같은 요인들이 효소활성도와 미생물개체군간의 상관성을 추적하는 데에 많은 문제점을 야기시킬 것으로 사료된다.

4. 결론

사과주스생산에 따른 부산물 사과박을 퇴비화하는 경우, 퇴비화의 최적조건을 설정하기 위해 순사과박(Run A), 순사과박과 계분의 혼합물(3:1, Run B), 순사과박+계분에 공극개선제인 우드칩을 첨가(9:3:4, Run C))하여 퇴비화하는 과정에서 이화학적 측정지표, 미생물군집의 천이 및 효소활성도의 변화를 측정된 결과는 다음과 같다.

1. 총유기탄소량(TOC)과 회분량의 변화로 볼때, 순 사과박 만을 퇴비화하기 보다는 계분을 첨가하고 더 나아가 공극개선제 인 우드칩의 첨가했을 경우, 미생물에 의한 분해율이 높아짐을 알 수 있었다. 이 때 퇴비용재의 분쇄는 기질의 표면

적을 증가시켜 미생물의 기질이용가능성을 높이는 효과가 있는 것으로 사료된다.

2. 세균군집의 천이를 관찰한 결과를 요약하면, 고온성세균과 고온성 방선균은 초기에 조금 증가하다가 감소하는 추세를 보였고 중온성 세균과 중온성 방선균은 온도가 하 강함에 따라 증가하였다. 섬유소 분해세균 은 후반기에 약간 증가하였으나 비교적 큰 변화는 없었다. 이와는 달리 효모 등 균류 는 초기에 다른 세균군들보다 많은 개체수를 보였는데 그들의 생체량이 세균보다 큰 것을 감안하면 균류가 사과박과 같은 유기산을 함유한 유기물질의 분해에 지대한 역할을 담당할 것으로 사료된다.
3. 모든 실험조에서 β -glucosidase와 cellobiohydrolase의 활성도는 초기에 가장 높았다 가 점점 낮아지는 경향을 나타냈다. 따라서 순유기물의 퇴비화에서는 효소활성도를 안정성의 지표로서의 사용가능성 여부는 불분명하다. 그러나 효소활성도의 변화는 퇴비화 진행과정을 미생물의 천이보다 잘 반영한다고 판단된다. 아울러 효소활성도와 미생물개체군간의 상관성이 균류를 제외하고는 거의 없는 것으로 나타났다(표 2).

감사의 글

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 대구대학교 농산물 저장·가공 및 산업화 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- 강창민(1987). "농수산폐기물의 기계식 퇴비 화에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 전국 일반폐기물 발생 및 처리현황(1992). 환경처

- 신항식, 황응주(1998a), "유기성 폐기물의 자원화 가능성 및 퇴비 이용 전망 평가", 폐기물자원화, 제6권, 제2호, pp7-30.
- 신항식, 정연구, 황응주(1998b), "음식쓰레기 의 실험실 규모 퇴비화에서 셀룰로즈 분해 에 대한 퇴비 식중효과, 폐기물자원화, 제6 권, 제1호, pp 21-30.
- 유영석, 장기운(1998), "공극개선택재의 혼합 비율에 따른 제지·하수슬러지의 퇴비화과 정 중 이화학 성 변화", 폐기물자원화, 제6 권, 제2호, pp45-57.
- 전학문(1994). 유기질 폐기물의 발효처리와 퇴비 화. 아카데미서적.
- Chr st. R. J.(1989), "Characterization and Significance of β -glucosidase Activity in Lake Water", *Limnol. Oceanogr.*, 34, pp660-672.
- Faure. D. and Deschamps, A.M.(1991), "The Effect of Bacterial Inoculation on the Initiation of Composting of Grape Pulps, *Bioresource Technol.*, 37, pp235-238.
- Garcia, C., Hernandez, T. and Costa F. (1992), "Comparison of Humic Acids Derived from City Refuse with More Developed Humic Acids", *Soil Sci. Plant-Nutr.*, 38(2), pp339-346.
- Godden, B., Penninckx, M., Pi rard, A. and Lannoye. R.(1983), "Evolution of Enzyme Activities and Microbial Populations During Composting of Cattle Manure", *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 17, pp306-310.
- Herrmann, R. F. and Shann, J. R.(1993), "Enzyme Activities as Indicators of Municipal Solid Waste Compost Maturity", *Compost Sci. Utilization*, 1(4), pp54-63.
- Inbar Y., Hadar Y. and Chen, Y.(1993), "Recycling of Cattle Manure: The Composting Process and Characterization of Maturity," *J. Environ. Qual.*, 22, pp857-863.
- Jones, K. L. and Grainger, J. M.(1983), "The Application of Enzyme Activity Measurements to a Study of Factors Affecting Protein, Starch and Cellulose Fermentation in Domestic Refuse, *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 18, pp181-185.
- Mckinley, V. L. and Vestal, R.(1984). "Biokinetic Analyses of Adaptation and Succession: Microbial Activity in Composting Municipal Sewage Sludge", *Appl. Environ. Microbiol.*, 47(5), pp933-941.
- Nakasaki, K., Sasaki, M., Shoda, M. and Kubota, H.(1985), "Change in Microbial Numbers during Thermophilic Composting of Sewage Sludge with Reference to CO₂ Evolution Rate", *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(1), pp37-41.
- Strom, P.F.(1985). "Effect of Temperature on Bacterial Species Diversity in Thermophilic Solid-Waste Composting", *Appl. Environ. Microbiol.*, 50, pp899-905.
- Streichsbier, F., Messner, K., Wessely, M. and R hr, M.(1982), "The Microbiological Aspects of Grape Marc Humification", *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 14, pp 182-186.
- Sugahara, K., and Inoko, A.(1981), "Composition Analysis of Humus and Characterization of Humic Acid Obtained from City Refuse Compost", *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(2), pp213-224.
- van Tilbeurgh, H., Pettersson, G., Bhikabhai, R., Boeck, H.D. and Claeysens, M.C.(1985), "Studies of the cellulolytic sys-

tem of *Trichoderma reesei* QM 9414", Eur. J. Biochem., 148, pp.329-334.

Wessely M. (1981). "Methodische Untersuchungen zur Taxonomie und ko-

physiologie von Actinomyceten bei der Kompostierung von Traubenrestern". Univ. TU Wien, Ph. D. Thesis.