

우분과 피마자박을 이용한 퇴비화 과정 중 부숙도 평가

장기운¹ · 홍주화^{1*} · 이종진² · 한기필² · 김남천³

Evaluation of Compost Maturity during the Active Composting of Cow Manure and Castor Meal

Ki-Woon Chang¹ · Joo-Hwa Hong^{1*} · Jong-Jin Lee² · Ki-Pil Han² · Nam-Cheon Kim³

ABSTRACT

This study was conducted to find an optimal combination rate of castor meal for the good qualitative compost and to estimate the humification grade by physico-chemical characterization and phyto-toxicity test during composting of the mixture with cow manure and castor meal. The material ratios of the compost which was mixed with cow manure(C), castor meal(C), and saw dust(S) were 5 : 1 : 4(CCS-1), 5 : 2.5 : 2.5(CCS-2) and 5 : 4 : 1(CCS-3) by volume to volume, and they were decomposed for 60 days. In the result, the changes of temperature in all treatments during composting radically increased more than 63.6°C at the incipient stage, and gradually decreased around 42°C. At the 60 days after the treatment, pH was slowly increased from 7.0 to 8.0, and the C/N ratio was 12.3~13.8 at the final composting stage. The low C/N ratio value was caused by the castor meal with high nitrogen level(T-N 5.7%). G.I.(germination

이 논문은 산업자원부 기술표준원에서 시행한 학술연구용역사업(2007) 연구결과의 일부임.

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 응용생물화학식품학부(Division of Applied Biology, Chemistry & Food Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² (주) 판코리아(PANKOREA Co., Ltd, #458-7 Gung-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-335, Korea)

³ 을지대학교 보건환경학전공(The Faculty of Health & Environmental Science, Eulji University, Sunnam 461-713, Korea)

* 교신저자 : 홍주화(E-mail: ghdwnghk@hanmail.net, Tel: 042-821-7887)

index) showed in the range of 77.5 to 82.6 in all treatments. Among all treatments CCS-1 was appeared to be the best condition for composting. Therefore, the combination rate of castor meal which was used for compost humification improvement could be recommended 10% to manufacture the good qualitative cow manure compost.

Key words : Livestock manure, Castor meal, Humification

I. 서론

급격한 경제성장과 산업화에 따라 식생활 양식의 변화로 육류의 소비량이 꾸준히 증가하고 있으며, 이에 따라 축산업 또한 지속적으로 발전하게 되었다. 가축 사육두수는 매년 증가하고 있으며, 그에 따라 가축분뇨 발생량도 2004년 4,117만 톤에서 2006년 4,392만 톤으로 증가추세를 보이고 있다(농촌진흥청, 2007).

가축분뇨 발생량은 대부분 퇴·액비로 자원화(82%)되고 있지만, 돼지 분뇨의 경우 발생량의 14%가 해양배출 등 위탁처리 되고 있다. 해양배출 물량은 2005년 까지 급증하다가 2006년부터 자원화 및 이용촉진 등의 영향으로 감소되는 추세를 보이고 있다(농촌진흥청, 2007).

가축분뇨를 이용한 퇴비화는 가축분과 수분조절제 등으로 첨가하는 부재료의 배합비율에 따라 퇴비화 기간이나 이화학적 특성에 차이가 발생한다. 요즘 퇴비 생산업체에서는 유기질비료 원료로 대부분 이용되고 있는 대두박, 유박, 피마자박 등의 식물성박을 부산물비료인 그린1급퇴비 및 퇴비의 부재료로 사용하고 제품을 생산하고 있지만, 식물성박이 퇴비화에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 가축분뇨 발생량 중 약 30% 정도를 차지하는 우분과 유기질비료 원료로 사용되

고 있는 식물성박 중 피마자박을 이용한 퇴비화를 통해 피마자박을 첨가한 퇴비의 합리적인 배합비율과 배합비율에 따른 부숙도를 평가하기 위해 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료 및 퇴비화 시설

퇴비화에 사용된 우분은 충남 논산지역의 우사에서 채취하였다. 톱밥은 충남 논산시 광석면에 위치한 논산축산업협동조합 퇴비공장에서 자체 파쇄한 톱밥을 사용하였으며, 피마자박은 유기질비료 업체인 H회사를 통해 구입하였다. 우분 퇴비화 과정 중 우분과 피마자박 및 톱밥의 사용량에 따른 합리적인 배합비율을 설정하고, 배합비율에 따른 부숙도를 평가하기 위해 처리구를 우분과 피마자박 및 톱밥을 부피비로 5 : 1 : 4(CCS-1), 5 : 2.5 : 2.5(CCS-2), 5 : 4 : 1(CCS-3)로 배합하여 처리구를 설정하였으며, 약 60일 정도 퇴비화를 진행하였다.

표 1, 2에 원료의 화학적 특성과 중금속함량을 분석한 결과를 나타냈다. 퇴비화 시설은 충남 논산시 광석면에 위치한 논산축산업협동조합 퇴비공장의 도움으로 1m³정도의 사각 PVC 통을 이용하여 정체식으로 퇴비화를 진행하였다. PVC통

아랫 부분에 파이프를 연결하여 매일 1시간 씩 송풍을 실시하였으며, 퇴비화 기간은 60일로 1, 3, 7, 15, 20, 40, 60일째(총 7회)에 시료를 채취하였다. 퇴비화 기간 동안 15일(1차)과 20일(2차)에 뒤집기를 2회 실시하였다.

2. 퇴비의 이화학적 특성 분석

퇴비화 기간 중의 온도는 Digital Thermometer (HY-550)를 이용하여 퇴적더미의 약 30cm 부위의 3곳에서 매일 측정하여, 평균값을 구하였다. 공시재료인 우분과 피마자박 및 톱밥의 무기원소 분석은 HClO₄로 분해한 후 ICP(PE-Optima 3300DV)와 원자흡수분광도계(SHIMADZU AA-6800)로 측정하였다. 또한 퇴비시료의 화학성 분석은 pH 및 EC는 1:10법(Jackson, 1958)으로 1시간 진탕 후 pH는 MP 220, EC는 CM-11P로 측

정하였다. 총탄소(T-C)는 dry-ash법(Karam, 1986), 질소는 Kjeldahl법(농촌진흥청, 2000), 양이온치환용량(CEC)은 1N-NH₄OAc법(Hendershot et al., 1993)을 이용하였다.

3. 식물독성시험

퇴비 부숙도를 평가하기 위한 방법으로 식물독성시험을 수행하였으며, 이는 퇴비시료를 약 70°C에서 2시간 증류수로 환류냉각 추출하여 여과한 후, 여과지(Watman No. 42, Φ 9 cm)가 깔린 petri dish에 여과액 7 ml를 넣고 건설한 배추종자를 파종하여 배양기(growth chamber: 상대습도 50%, 온도 28°C)에서 5일간 생육시켜 발아된 종자의 발아율과 뿌리길이를 조사하여 G.I. (germination index) 값을 구하였다(Zucconi et al., 1981).

Table 1. Chemical properties of raw materials used in the experiment

Materials	pH	EC	T-N	T-C	W.C.*	C/N	CEC
	1:10	dS m ⁻¹		%		ratio	cmol _c kg ⁻¹
Cow manure	7.4	23.9	1.86	41.8	48.6	22.5	42.4
Castor meal	6.3	16.6	5.69	49.2	9.85	8.6	24.0
Saw dust	5.3	3.13	0.32	55.9	22.1	175	16.5

* W.C. : Water content.

Table 2. Content of heavy metals of raw materials used in the experiment

Materials	As	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
	mg/kg							
Cow manure	<0.01	<0.01	7	14	35	<0.01	119	<0.01
Castor meal	<0.01	1	5	1	52	<0.01	509	<0.01
Saw dust	<0.01	<0.01	3	9	2	<0.01	12	<0.01

III. 결과 및 고찰

1. 온도변화

우분과 피마자박 및 톱밥의 사용량에 따른 정체식 퇴비화 기간 동안의 온도변화는 그림 1에 나타낸 바와 같다. 초기 원료배합 후 퇴비더미의 온도는 약 44~53°C로 외부 온도보다 다소 높게 나타났으며, 초기 이후 모든 처리구에서 온도가 급격히 상승하였다. 퇴비화 3일째에는 64~67°C로 최고점을 나타냈으며, CCS-2 처리구가 67°C로 가장 높은 결과를 보였다. 최고점을 지난 온도는 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 퇴비화 15일째와 20일째에 뒤집기를 2회 실시 후 온도가 약간 상승하였다. 퇴비화 60일째에는 모든 처리구가 42°C 내외로 안정한 상태를 유지하였으므로, 이 기간부터 부숙화가 이루어진 것으로 판단하여 온도 측정을 중단하였다. 그리고 피마자박 사용량에 따른 온도 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. Poincelot(1975)는 퇴비화 과정 중 65°C에서 1일간 유지되면 *Salmonella*종 등의 병원균이 완전히 사멸된다는 연구결과와 같이 본 퇴비화 과정 중에도 모든 처리구가 65°C 이상에서 3일 정도 유지 하였으므로, *Salmonella*종 등의 병원균은 사멸된 것으로 판단된다.

2. pH 변화

퇴비화 과정 중 pH는 퇴비더미의 산도(acidity)와 알칼리도(alkalinity)를 측정하고자 실시하는 조사항목으로, 퇴비화에서 pH변화는 미생물의 활성화와 직접적인 관련이 있다.

우분과 피마자박 및 톱밥의 사용량에 따른 퇴비화 과정 중 pH 변화를 그림 2에 나타내었다. 퇴비화 초기의 pH는 약 7.0~7.2 정도를 보였다. 퇴비화가 진행될수록 모든 처리구에서 pH가 급

격히 증가하는 경향을 보였는데, 이는 암모니아 발생량 증가가 그 원인이라 볼 수 있다(이종은 등, 2005). 뒤집기를 실시한 20일째 이후 pH 증가폭은 감소하는 경향을 나타냈다. 퇴비화 과정이 완료되는 시기인 60일째에 모든 처리구가 7.8~8.0 정도의 결과를 보였으며, 피마자박 사용량이 가장 적은 CCS-1 처리구가 7.8로 가장 낮은 결과를 보였다. 모든 처리구가 퇴비의 적정 pH인 6.5~8.5 범위내에 들었다(정재춘, 1993).

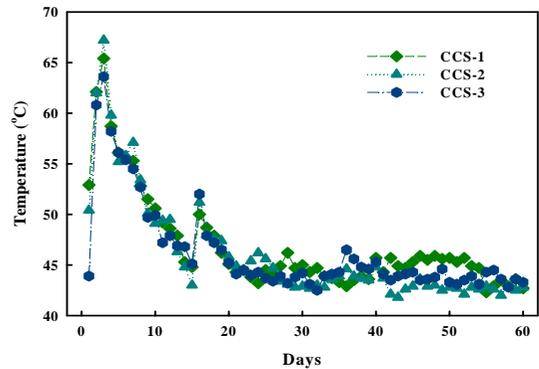


Fig. 1. Changes of the temperatures of the mixture during composting

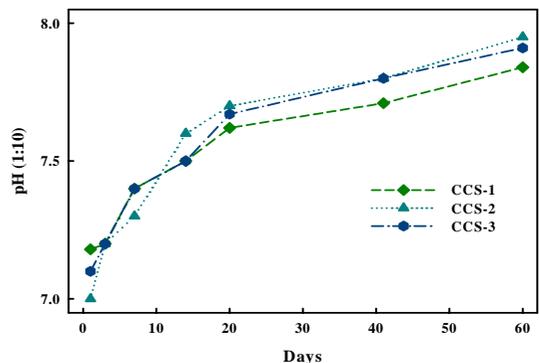


Fig. 2. Changes of the pH during composting

3. 총질소와 총탄소함량 및 C/N을 변화

퇴비화 과정 중 미생물은 유기물질의 분해에 필요한 에너지원으로서 탄소를 이용하며, 미생물의 생장에 필요한 단백질 합성 등의 영양원으로 질소를 이용한다. 영양원으로서의 질소는 미생물의 단백질합성에 필수적인 중요한 인자로 쓰인다 (Garcia *et al.*, 1993).

퇴비화 과정 중 총질소와 총탄소함량 및 C/N을 변화는 그림 3, 4, 5와 같다. 초기 총질소 함량은 2.5~2.9%이었으며, 퇴비화가 진행될수록 모든 처리구에서 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 피마자박 사용량이 가장 많은 CCS-3 처리구가 3.5%로 가장 높은 결과를 보였으며, 이것은 피마자박의 총질소 함량이 5.7%로 다소 높았기 때문인 것으로 판단된다.

초기 총탄소 함량은 50~52% 정도를 보였으며, 총탄소 함량 변화는 총질소 함량 변화와는 반대로 퇴비화가 진행될수록 서서히 감소하는 경향을 나타냈으며, 퇴비화 20일째를 기점으로 감소폭이 증가하는 경향을 보였다. 퇴비화 초기보다 퇴비화가 진행될수록 총탄소 함량은 감소하는 경향을 보였으며, 퇴비화가 완료되는 60일째의 총탄소 함량은 43~45% 정도를 보였다.

퇴비화 초기 C/N율은 17.4~20.8 정도를 보였으며, CCS-1 처리구가 20.8로 가장 높았다. 퇴비화 과정 중 탄소의 감소 경향과는 대조적으로 질소의 함량은 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 지속적인 C/N율의 감소를 가져왔으며, 피마자박 사용량이 가장 적은 CCS-1 처리구가 13.8로 가장 높은 결과를 보였다. 본 실험에서는 퇴비화 초기부터 모든 처리구의 C/N율이 20 이하를 보였는데, 이는 피마자박의 높은 질소함량 때문인 것으로 판단된다. 퇴비화에서 C/N율이 20 이하일 때 퇴비의 부숙도를 결정하

는 지표라고 많은 연구자들이 보고하였으며, Juste(1980)는 C/N율이 15 이하일 때를 부숙이 되었다고 주장하였다. 그런데 본 연구에서는 C/N율 값이 초기부터 20 이하를 보였으므로, C/N율만으로 부숙의 완료점을 판단하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

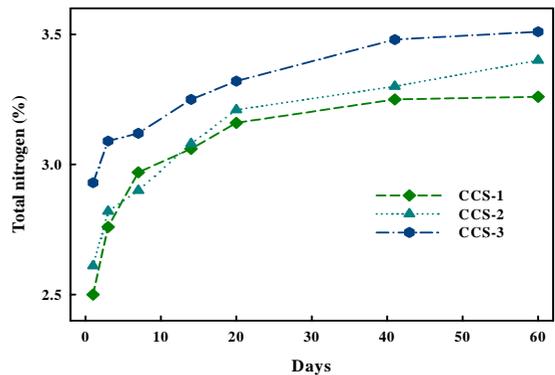


Fig. 3. Changes of the total nitrogen concentration of the mixture during composting

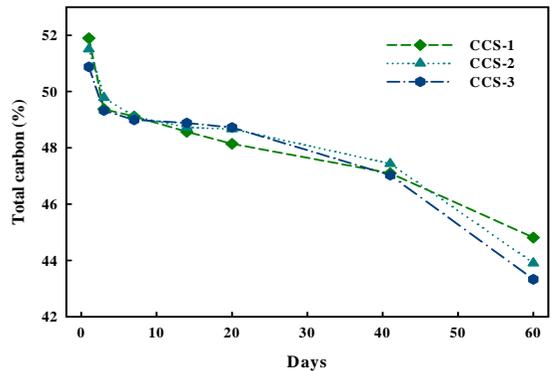


Fig. 4. Changes of the total carbon concentration of the mixture during composting

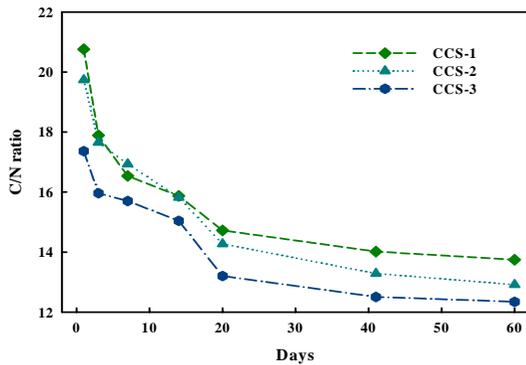


Fig. 5. Changes of the C/N ratio of the mixture during composting

4. 식물독성(발아지수)시험

식물독성시험은 퇴비의 부숙도와 식물에 대한 안정성을 최종적으로 동시에 평가할 수 있는 유용한 생물학적 검정방법이며 가장 정확한 수단으로 평가받고 있다. 장 등(1995, 1996)은 음식물쓰레기 퇴비화 연구에서 휘발성 유기산에 의한 식물독성을 야기한다고 하였고, 발아율에 영향을 미치는 인자는 휘발성 유기산뿐만 아니라 염분함량에 의한 식물독성 가능성도 높다고 보고하였다. Saviozzi(1992)와 Zucconi 등(1985)은 퇴비추출물에서 발아지수 값이 80 이상일 때는 식물독성이 소실하는 시기로 판정할 수 있고, Jimenez(1989)와 Garcia 등(1991)은 50 이상일 때를 퇴비로서 사용이 가능하다고 보고하였다.

배추종자를 이용한 식물독성(발아지수)시험 결과는 그림 6에 나타낸 것과 같다. 퇴비화 초기에는 발아지수는 7.5~10.4 정도를 보였으며, 퇴비화가 진행될수록 급격히 증가하는 경향을 나타냈다. 퇴비화 20일째 이후에는 서서히 증가하는 경향을 보였으며, 60일째의 최종 발아지수는 77.5~82.6 정도를 보였다. 피마자박 사용량이 많아질

수록 발아지수는 감소하는 경향을 보였으며, 피마자박 사용량이 가장 적은 CCS-1 처리구가 82.6으로 가장 높은 발아지수를 보였다. 이는 피마자박에 함유되어 있는 ricin, allergen, ricinin 등의 유독성분에 의한 것으로 판단된다(김규호 등, 1978). 식물독성이 소실되는 발아지수 80 내외의 결과지만, 퇴비로 사용함에 있어 문제는 없을 것으로 판단된다.

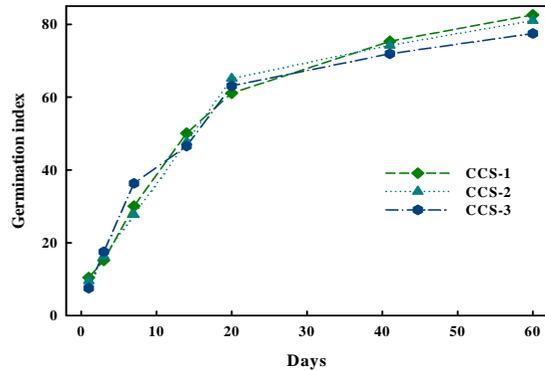


Fig. 6. Changes of the germination index during composting

IV. 결 론

우분과 피마자박 및 톱밥의 사용량에 따른 퇴비화를 통하여 퇴비화 특성 변화 등을 통해 피마자박 첨가 퇴비의 합리적인 배합비율과 피마자박의 사용량이 퇴비의 부숙도에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구를 수행하였다.

우분과 피마자박 및 톱밥의 사용량에 따른 퇴비화 과정 중 이화학적 특성 변화를 살펴보면, 온도 변화는 초기 44~53℃에서 시작하였으며, 급격히 상승하였다. 최고점인 67℃ 이후 서서히

감소하여, 60일째에 42°C내외에서 안정화 되었다. 퇴비화 초기 pH는 7.0~7.2에서 시작하여, 서서히 증가하는 경향을 보였다. 모든 처리구가 약알칼리성을 보였으며, CCS-2 처리구가 pH 8.0으로 가장 높은 결과를 보였다. 총질소 함량은 퇴비화가 진행될수록 증가하는 경향을 보였으며, 피마자박 사용량이 가장 많은 CCS-3 처리구가 3.5%로 가장 높은 결과를 보였다. 이는 질소 함량이 높은 피마자박을 가장 많이 사용했기 때문인 것으로 판단된다. 모든 처리구에서 탄소 함량은 퇴비화가 진행될수록 감소하는 경향을 보였다. 초기 C/N율은 17.4~20.8 정도였으며, 퇴비화가 진행될수록 감소하는 경향을 보였다. 피마자박을 가장 적게 배합한 CCS-1처리구가 13.8로 가장 높은 결과를 보였다. 초기 발아지수는 7.5~10.4 정도의 결과를 보였으며, 퇴비화가 진행될수록 서서히 증가하는 결과를 보였다. 퇴비화 60일째에는 77.5~82.6의 결과를 나타냈으며, 피마자박의 사용량이 가장 적은 CCS-1 처리구가 가장 높은 82.6의 결과를 보였다. 식물독성이 거의 소실되는 80 내외의 결과를 보였으므로, 퇴비로 사용함에 있어 문제가 없을 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 종합하여 볼 때 질소함량이 높은 피마자박의 사용량이 많아질수록 퇴비의 부숙이 약간 지연되는 결과를 보였으므로, 피마자박을 이용한 우분 퇴비화시 피마자박 배합비율을 10% 정도로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김규호, 한인규, 정천용, 정운익. 1978. 국산박류의 사료적 가치에 관한 연구 ; 8. 피마자박

의 제독처리방법에 관한 시험. 한국축산학회, 20(2):139~146.

2. 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.

3. 농촌진흥청. 2007. 가축분뇨 자원화 기술 연구성과.

4. 이종은, 홍주화, 장기운, 황준영. 2005. 목초액 처리가 돈분퇴비의 부숙도에 미치는 영향. 한국토양비료학회지, 38(2):101-107.

5. 장기운, 이인복, 임재신. 1995. 음식물찌꺼기를 이용한 퇴비의 부숙과정 중 이화학적 특성 및 유식물 생장에 의한 부숙도 평가. 한국유기성폐기물학회, 79-96.

6. 장기운, 이인복, 임재신, 임현택. 1996. 부숙과정 중 음식물찌꺼기의 식물독성 평가. 한국토양비료학회지, 29(3):312-320.

7. 정재춘. 1993. 축산 폐기물의 퇴비화 및 운용지표 개발 : I. 우분의 퇴비화에 있어서 최적 공정운용지표의 개발. 유기성폐기물학회지, 1(1): 69-84.

8. Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa. 1991. Study on water extract of sewage sludge composts. Soil Sci. Plant Nutr., 37(3): 409-417.

9. Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa, B. & G. Masciandaro. 1993. Kinetics of phosphatase activity in organic wastes. Soil Biol, Biochem., 25(5):561-565.

10. Hendershot, W., H. Lailande, and M. Duquette. 1993. Ion exchange and exchangeable cations. Soil Sampling and Methods of Analysis. M. R. Carter. ed., Canadian Society of Soil Science, p. 167-176. Lewis Publishers.

11. Jackson, M.L. 1958. Soil Chemistry Analysis. Prentice-Hall.

12. Jimenez, E.I., and V.P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity : A review. *Biological Wastes*, 271:115-142.
13. Juste, C. 1980. Advantages et inconvenients de : utilisation des composts d'ordures menageres comme amendement organique des sols ou supports de culture. International Conference on Compost, p.22-26 January, Madrid, Spain. Min. Obras Publicas.
14. Karam, A. 1993. Chemical properties of organic soil. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, M. R. Carter. ed., Canadian Society of Soil Science, p.459-471. Lewis Publishers.
15. Poincelot, R.P. 1975. The biochemistry and methodology of composting. *Bull.* 754. The Connecticut Agr. Expt. Station, New Haven, CT.
16. Saviozzi, A., R. Levi-Minzi, R. Riffaldi, and A. Benetti. 1992. Evaluating garbage compost : Part II. Biological transformation, *BioCycle*: 72-75.
17. Zucconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M. de Bertoldi. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In *Composting of agricultural and other wastes*, Ed. JKR Gasser, p.73-85. Elsevier Applied Science Publ., London.
18. Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. de Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, Mar./Apr : 54-57.