

수분조절제를 이용한 음식물쓰레기의 사료화에 관한 연구

조종삼 · 김남찬

광운대학교 공과대학 환경공학과

A Study on the Feed Stuff of Food Waste by Bulking Agents

Jung-Sam Cho and Nam-Chan Kim

Dept. of Environ. Eng., Kwangwoon University, Wolgye-dong 447-1, Nowon-gu, Seoul, 139-701, Korea

The aim of this study is to find the optimum bulking agent and its feeding for fermentation of food waste into feed, and to conclude on the value of feed, according to it. Sawdust, wheat brand, dead leaf and bean curd dregs were used as bulking agents. The contents of crude fiber for sawdust, wheat brand, dead leaf and bean curd dregs were 31.97%, 4.71%, 13.15% and 8.02% respectively. This showed that there was a problem in digestion in sawdust and dead leaf. In the case of crude ash there was no problem in all the bulking agents with the contents of 6.76%, 7.49%, 6.87% and 7.08% respectively. The contents of crude fiber for sawdust, wheat brand, dead leaf and bean curd dregs were 31.97%, 4.71%, 13.15% and 8.02% respectively. This showed that there was a problem in digestion in sawdust and dead leaf. In the case of crude ash there was no problem in all the bulking agents with the contents of 6.76%, 7.49%, 6.87% and 7.08% respectively.

Key words: Feed Stuff, Food Waste, Bulking Agent

1. 서 론

1960년대와 1970년대에 걸쳐 진행된 산업화와 도시화는 폐기물 발생량의 급격한 증가를 가져왔다. 우리나라의 생활 폐기물 발생량은 1995년에 도입된 쓰레기 종량제 실시 이전까지는 매년 큰 폭으로 증가하였으나, 종량제 실시 후 줄어들기 시작한 생활 폐기물 발생량은 최근에 다시 약간씩 증가하고 있다. 음식물 쓰레기도 생활폐기물과 마찬가지로 변화를 보였으나 최근 들어 그 감소 추세가 둔화되고 있다. 현재 우리나라의 생활폐기물 발생량은 2002년말 현재 49,902톤/일이 발생되고 있으나 재활용품으로 분리수거된 양을 제외하면 35,302톤/일로 그 가운데 음식물 쓰레기는 11,397톤/일로 생활 폐기물 발생량의 약 32.3%나 된다.

음식물 쓰레기의 처리 방법으로는 사료화, 퇴비화, 가스 연료화 등 자원을 재이용하는 방법과 매립 또는 소각시키는 방법이 있다. 음식물 쓰레기는 자체내에 많은 양의 수분을 함유하고 있기 때문에 소각에 의한 처리에는 비용이 많이 들며, 음식물 쓰레기를 장기간 방치할 경우 침출수에 의한 토양오염 및 악취 발생 등의

문제점을 수반하고 있다. 또한 정부는 2002년도까지 수도권 및 대도시 지역에 음식물 쓰레기의 매립을 금지하고, 2005년도까지 전국적으로 직매립을 금지하기로 함으로써 자원화 방안이 절실히 요구되고 있다.

음식물 쓰레기의 자원화는 이로 인해 얻을 수 있는 경제적인 효과만을 고려한다면 효과적이지 못할 수도 있다. 그러나 국민소득의 증가와 함께 생활의 질이 향상되면서 보다 나은 삶을 영위하고자 하는 욕구가 증대되고 환경보전에 대한 관심이 높아진다면, 음식물 쓰레기를 어떻게 활용할 것인가 하는 문제를 현단계에서 심각하게 고려할 필요가 있다.

음식물 쓰레기의 자원화 방법 중 2000년까지 가장 널리 이용되고 있는 방법은 사료화(2000년 현재 약 60%)이다. 따라서 본 연구에서는 발효사료화에 필요한 최적의 수분 조절제를 찾아내는데 목적을 두고 있다.

2. 실험 및 재료

2.1. 실험 장치

음식물 쓰레기의 발효 사료화 실험에 사용된 실험장

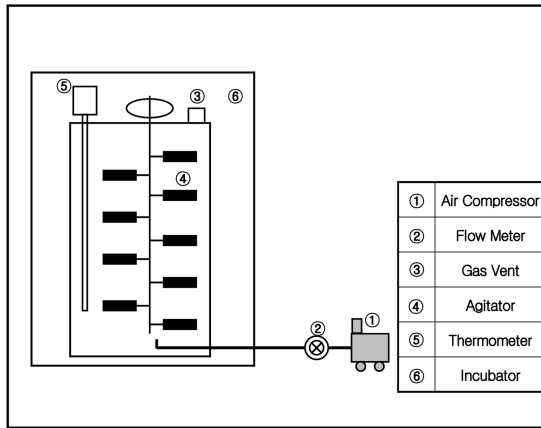


Fig. 1. Experimental apparatus.

치는 Fig. 1과 같다.

본 연구에 사용된 실험 장치는 5 mm 두께의 아크릴관을 사용하여 지름 200 mm, 길이 300 mm의 원통형으로 제작되었다. 내부를 호기성 상태로 유지하기 위해 공기를 가압하여 주입하는 강제 주입방식을 채택하였으며, 실험장치 외부의 온도를 균일하게 유지하기 위해 incubator안에 실험장치를 설치하였다. 그리고 장치내부의 균일한 혼합을 위해 교반기를 설치하였으며, 발효가 진행되는 동안의 온도를 관찰하기 위해 내부측정용 온도계를 설치하였다. 또한 장치상부에는 가스배출구를 설치하였다.

2.2. 시료

2.2.1. 음식물 쓰레기 및 수분조절제

K대학교 구내식당에서 발생하는 음식물 쓰레기를 당

Table 1. Physical and chemical characteristics of food waste and bulking agent

구분	시료	음식물 쓰레기	톱밥	낙엽	밀기울	두부박
*MC(%)	81.2	11.08	1.16	0.59	32.07	
pH	5.83	5.53	5.67	6.02	7.4	
NaCl(%)	2.10	0.51	0.9	0.28	0.42	
Ca(%)	1.72	0.18	0.22	0.97	0.26	
P(%)	0.78	0.37	0.58	1.83	1.36	
C/N	17.56	428.43	177.31	44.64	11.73	
**EE(%)	5.67	3.15	4.01	7.94	6.65	
+CP(%)	14.43	1.15	3.25	19.68	16.23	
++CF(%)	2.34	55.92	21.45	6.62	14.05	
+++CA(%)	7.29	6.12	6.48	7.91	6.85	

*MC: Moisture content, **EE: Ether Extract, +CP: Crude Protein, ++CF: Crude Fiber, +++CA: Crude Ash

Table 2. Composition of biofarm

종류	구성
락토바실러스, 아시도필루스	1.5×10^9 cfu/g
효모 등 합계	2.0×10^6 cfu/g
부형제	미강, 말분, 당밀

일 수거하여 실험에 사용하였다. 음식물 쓰레기는 10~20 mm의 크기로 파쇄 후 실험에 이용하였으며 수분조절제로는 기구제조 과정에서 발생하는 잣나무 톱밥, 낙엽, 밀기울 및 생두부박을 자연건조시켜 사용하였다.

본 실험에 이용된 음식물 쓰레기 및 수분조절제의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

2.2.2. 발효제

본 실험에 사용된 발효제는 (주)세농의 “가축용 BiofarmII”를 사용하였다. Biofarm의 구성은 Table 2에 나타내었다.

2.4. 운전

2.4.1. 실험 장치의 운전

본 연구에서는 톱밥, 낙엽, 밀기울 및 두부박을 각각 음식물 쓰레기와 혼합하여 호기성 발효사료화의 최적 함수율인 50~60%로 조절하였다. 또한 C/N비도 최적의 상태인 25~40으로 조정하였으며 공기공급량은 1 L/kg · min으로 유지하고 반응조의 교반은 1일 3회 실시하였다.¹⁾

2.5. 분석방법

반응조 내부 물질의 물리 화학적 성상 변화를 파악하기 위하여 반응 개시부터 3시간 간격으로 함수율, 온도, pH를 폐기물 공정시험법²⁾에 의거하여 측정하였다.

그리고 최종 산물인 발효사료에 대해서는 NaCl, Ca, P, 조단백질(Crude Protein), 조지방(Ether Extract), 조섬유(Crude Fiber) 및 조회분(Crude Ash)을 사료표준분석방법³⁾에 준하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 발효 상태

3.1.1. 함수율

발효 상태를 판단하기 위하여 3시간 간격으로 함수율을 측정한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 사료의

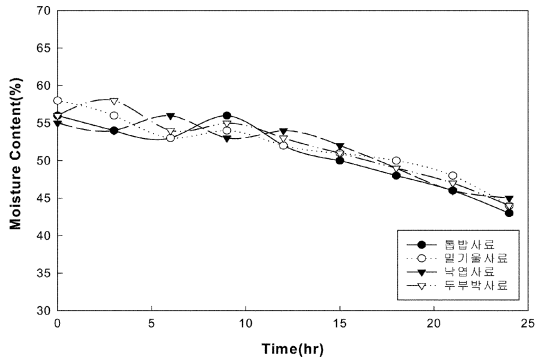


Fig. 2. Variation of moisture content with fermentation time.

초기 함수율은 55~58%로 조정하였다.

밀기울과 두부박 발효사료의 경우 발효시 열에 의해 9시간이 경과한 후부터 함수율의 감소가 상대적으로 급격히 나타나는 것을 볼 수 있다. 톱밥과 낙엽 사료의 경우 수분의 감소가 다소 늦게 나타나는 것은 이들 수분조절제의 높은 조섬유 함량에 기인되는 것으로 생각된다.

3.1.2. 온도

Fig. 3에서와 같이 톱밥, 밀기울, 낙엽 및 두부박을 이용하여 발효시키는 과정에서 초기의 온도는 22~24°C로 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 발효 시작후 3시간까지는 온도상승의 폭이 크지 않았으나 6시간이 지나면서 두드러지게 나타나고 있다.

그러나 반응 종료 시점인 21~24시간의 온도를 보면 밀기울과 두부박 사료의 경우는 발효가 종료되어 더 이상의 발효열이 발생되지 않아 점차 온도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 조섬유 성분의 비율이 큰 톱밥

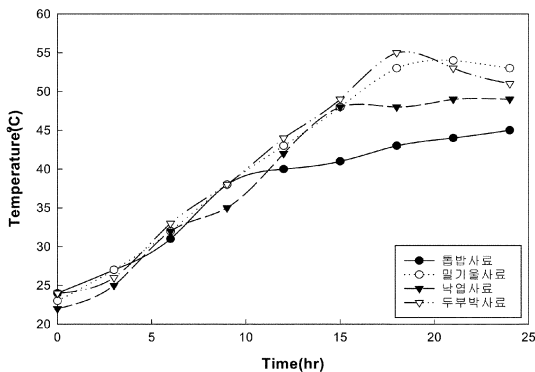


Fig. 3. Variation of temperature with fermentation time.

과 낙엽을 수분조절제로 이용한 사료의 경우에는 반응 종료시점에도 온도가 일정하게 유지되는 것으로 볼 때 발효의 속도가 다소 느리기 때문인 것으로 판단된다. 또한 이론적으로 볼 때 발효사료의 경우 반응 종료시점의 온도는 55~65°C이지만 본 실험에서 반응종료온도가 다소 낮게 나타난 것은 실험의 시기가 겨울철이므로 외부와의 열전달에 의한 단열의 문제인 것으로 사료된다.

3.1.3. pH

Fig. 4에는 발효가 진행되는 동안의 pH의 변화를 나타내었다.

각각의 수분 조절제를 사용하여 발효시킬 때 반응시작 전인 초기 pH는 톱밥, 밀기울, 낙엽 사료의 경우는 각각 5.65, 5.97, 5.77로 유사하게 나타났으나, 두부박의 경우 pH가 6.61로 측정되었다. 이는 두부박 자체의 pH가 7.4로 원료에서 기인한 것으로 사료된다. 각 수분 조절제를 이용하여 발효시킬 때 발효 6시간까지는 유기산 생성의 원인으로 pH가 감소하는 것을 볼 수 있으나 6시간이 경과한 후부터는 반응조내 온도 상승으로 인해 단백질이 분해되어 NH₃의 생성으로 다시 pH가 상승하는 것을 볼 수 있다. 반응 종료 시점인 21~24시간의 pH의 변화는 뚜렷하게 나타나지 않는 것을 볼 수 있다.

3.2. 발효 종료 후 수분 조절제에 따른 사료성분 분석

발효 종료 후 사료의 성분을 분석하기 위하여 실시하였으며 음식물 쓰레기를 사료화함에 있어 가장 문제시 되는 NaCl의 함량과 사료의 영양성분 측정항목인 Ca, P, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분의 함량을 측정하였다.

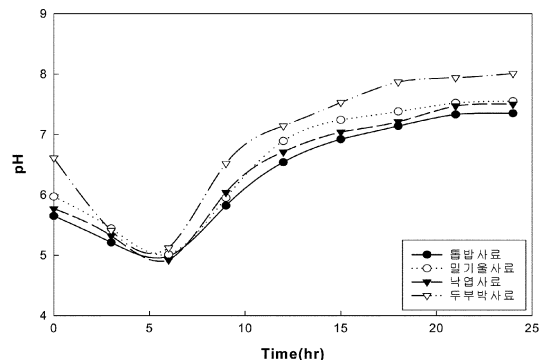


Fig. 4. Variation of pH with fermentation time.

3.2.1. NaCl

음식물 쓰레기를 발효하여 사료를 동물에게 먹이는데 있어 가장 문제시되는 것이 NaCl의 함량이다. 사료내의 NaCl의 적정량은 가축에 따라 조금씩 다르지만 0.5~1%로 알려져 있다. 본 실험에서 발효 종료시점의 함량은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 톱밥, 낙엽, 두부박을 수분 조절제로 사용한 사료는 각각 1.32%, 1.68%, 1.27%로 나타나 적정 NaCl 함량의 범위를 벗어나는 것을 볼 수 있다. 그러나 밀기울을 수분조절제로 사용한 사료의 경우는 0.87%로 적절한 NaCl 함량을 나타냈다. 그러므로 밀기울을 수분 조절제로 사용한 발효사료가 동물에게 있어서 안전성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

3.2.2. Ca

사료의 영양가치를 판단함에 있어 무기물 중 가장 중요시 여겨지는 것이 Ca이다. Fig. 6에서와 같이 발효 종료 후 Ca의 함량을 측정된 결과 톱밥, 낙엽, 두부박을 수분 조절제로 사용하여 발효시킨 결과 모두 1% 미만의 값으로 나타났으나, 밀기울의 경우는 1% 이상의 값을 보이고 있다.

동물에게 Ca는 생체내에서 여러 가지 중요한 기능을 가지고 있다. Ca는 발육기에 요구량이 많으며 성장 후에도 지속적인 공급이 요구된다. 일반적으로 동물에게 사료를 급여함에 있어서 Ca의 요구량은 약 1%이다.4) 본 실험에서 제조된 밀기울 사료의 경우는 1.33%의 값이 측정되어 사료로서 Ca의 함량이 적합한 것으로 판단된다.

3.2.3. P

발효가 종료된 시점에서의 P의 함량을 측정된 결과

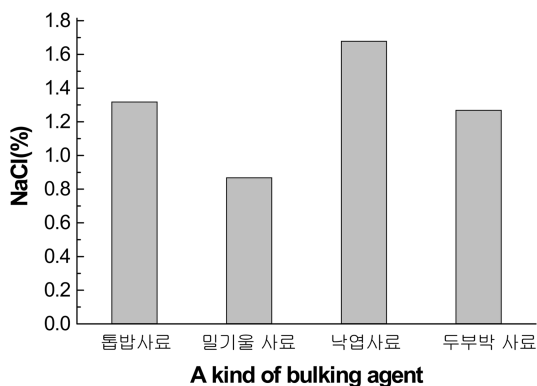


Fig. 5. Concentration of NaCl after fermentation for different bulking agents.

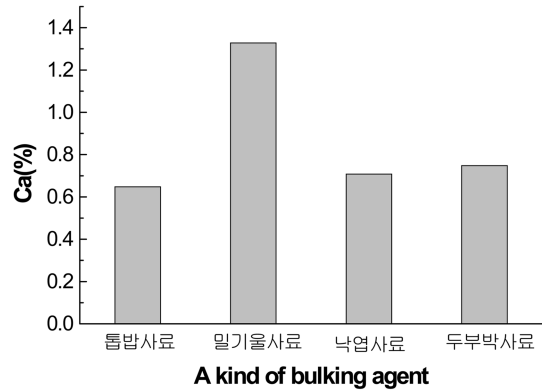


Fig. 6. Concentration of Ca after fermentation for different bulking agents.

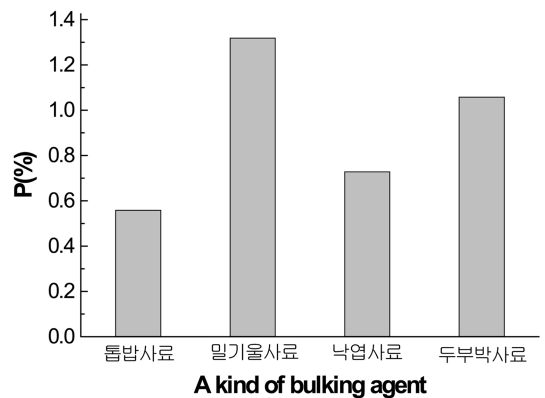


Fig. 7. Concentration of P after fermentation for different bulking agents.

를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7과 같이 톱밥, 낙엽을 수분 조절제로 사용한 경우는 각각 0.56%, 0.73%로 나타났으며, 밀기울과 두부박을 수분 조절제로 사용한 경우는 1.32%, 1.06%로 1%를 상회하는 것으로 나타났다. P는 사료내에 약 0.4~0.5%로 요구되는데 실험에 쓰인 수분 조절제는 모두 이를 상회하여 문제가 되지 않을 것으로 사료된다.

3.2.4. 조단백질

발효 종료시점에서의 각 수분 조절제를 사용한 발효 사료의 조단백질을 분석한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 톱밥과 낙엽 사료의 경우는 각각 8.29%, 8.91%로 모두 10% 미만의 값이 나타나 사료로서 부적당한 것으로 판단된다. 두부박과 밀기울을 수분조절제로 사용하여 발효하였을 때 최종 산물의 조단백질은 각각 13.97%, 16.89%의 값을 보였다. 이러한 값은 수분조절

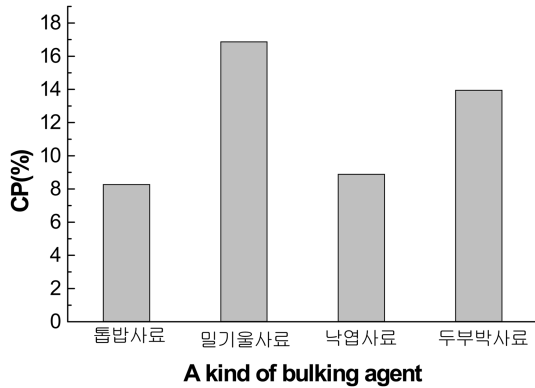


Fig. 8. Concentration of CP after fermentation for different bulking agents.

제 자체의 조단백질 함량에서 기인한 것으로 사료되며 일반적으로 사료에서 조단백질의 함량은 18~23% 가량이 요구되는데⁴⁾ 각 발효사료는 모두 이 값을 만족시키지 못하는 것으로 미루어 볼 때 밀기울을 수분 조절제로 사용해 발효된 음식물 쓰레기를 동물에게 100% 급여하는 것은 가축의 영양학적인 측면에서 볼 때 영양의 불균형을 가져올 것으로 판단된다.

3.2.5. 조지방

발효 종료시점에서 각 수분 조절제를 사용한 발효사료의 조지방을 분석한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 두부박을 수분 조절제로 사용한 경우 6.24%로 가장 높게 나타났고, 밀기울은 5.71%로 나타났다. 그 밖에 톱밥사료가 4.52%, 낙엽사료가 5.24%로 나타났다.

일반적으로 조지방 요구량은 대상 동물에 따라 큰 차이가 있지만 약 2% 이상이 요구된다.⁴⁾ 지방은 동물에게 있어서 정상적인 유지와 생산기능을 위한 에너지의

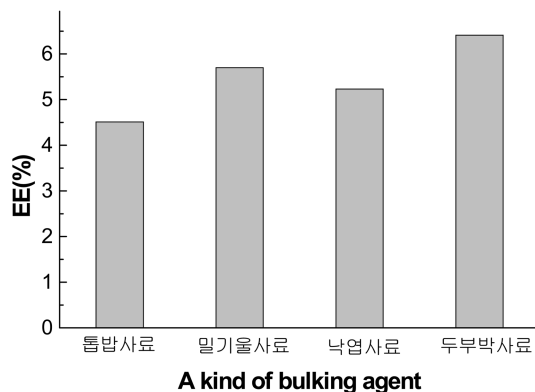


Fig. 9. Concentration of EE after fermentation for different bulking agents.

공급, 지방산과 글리세롤 등의 필수지방산의 공급원, 지용성 비타민의 공급 등 중요한 기능을 담당한다.

본 실험에서 발효된 사료들은 지방에 대한 함량은 동물에게 급여함에 있어서 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

3.2.6. 조섬유

발효사료의 최종 산물 중 조섬유를 분석한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 톱밥을 첨가하여 발효시킨 사료의 경우는 31.97%, 낙엽의 경우는 13.15%로 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 톱밥과 낙엽은 조섬유의 주된 구성물질이 산성세제 섬유소(ADF: acid detergent fiber)로서 리그닌(Lignin), 셀룰로오스(Cellulose) 등이 주를 이루기 때문으로 보여진다. 조섬유는 ADF에 헤미셀룰로오스(Hemicellulose)를 합하였을 때를 일반적으로 의미하는데, 반추동물일 경우에는 조섬유의 함량이 27~30% 이상이 요구된다. 그렇기 때문에 톱밥발효사료의 경우는 적당하다고 할 수 있으나 음식물 쓰레기를 반추동물에게 급여할 때에는 광우병 등의 안전성 문제로 최근에는 반추동물을 제외한 동물에게 급여하는 추세다. 따라서 이를 제외한 돼지, 닭, 오리 등의 동물에게 급여하는 사료에 조섬유의 함량이 높게 되면 소화율이 떨어지며 기호성도 떨어져 육질 및 생산성에 지장을 주게 되어 약 4~8%가 적절한 양으로 알려져 있다.⁵⁾ Fig. 10에서 보는 바와 같이 밀기울과 두부박 발효사료의 경우는 각각 4.71%, 8.02%로 적절한 수치를 만족하고 있다.

3.2.7. 조회분

사료내의 조회분을 측정하는 것은 광물질 즉 무기물

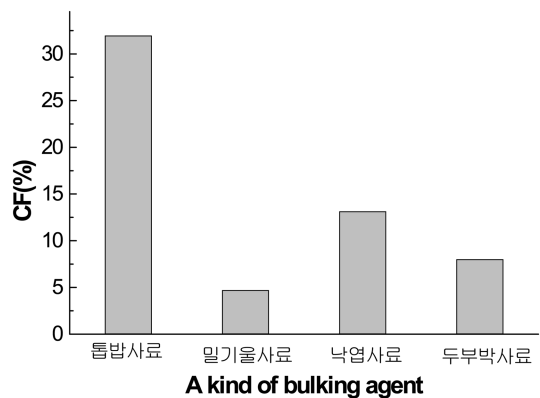


Fig. 10. Concentration of CF after fermentation for different bulking agents.

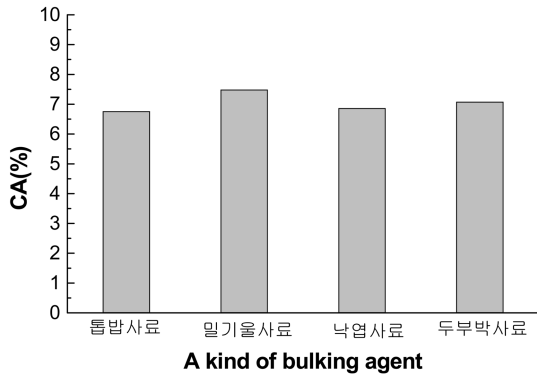


Fig. 11. Concentration of CA after fermentation for different bulking agents.

(mineral)의 함량을 파악하고자 하기 위함이다. 발효사료의 최종 산물의 조회분을 분석한 결과 Fig. 11에서와 같이 각각의 수분 조절제는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 음식물 쓰레기 발효사료화에 필요한 최적의 수분 조절제를 찾아내는데 있다. 수분 조절제로 톱밥, 밀기울, 낙엽 및 두부박을 선택하여 발효사료 제조시 각 발효 사료의 성분 분석한 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 발효 사료 제조시 NaCl의 함량은 톱밥, 밀기울, 낙엽 및 두부박 사료가 각각 1.32%, 0.87%, 1.68%, 1.27%로 나타나 밀기울 사료가 상대적으로 가장 안정적인 것으로 판단된다.

2. Ca의 경우 톱밥, 밀기울, 낙엽 및 두부박 사료가 각각 0.65%, 1.33%, 0.71%, 0.75%로 측정되었고 P의 경우 0.65%, 1.32%, 0.73%, 1.06%로 나타났다. Ca,

P 모두 밀기울을 수분 조절제로 사용하였을 때 영양적인 면에서 적합한 것으로 판단된다.

3. 톱밥, 밀기울, 낙엽 및 두부박 사료의 조단백질은 8.29%, 16.89%, 8.91%, 13.97%로 나타났으며, 조지방은 4.52%, 6.32%, 5.24, 6.42%로 두부박 발효사료가 가장 큰 값을 보였으나 밀기울 발효사료와 유사한 값을 보이는 것을 알 수 있다.

4. 톱밥, 밀기울, 낙엽 및 두부박 사료의 조섬유 함량은 31.97%, 4.71%, 13.15%, 8.02%로 나타났다. 따라서 톱밥과 낙엽 사료는 소화율에 문제가 있을 것으로 판단된다. 조회분의 경우는 6.76%, 7.49%, 6.87%, 7.08%로 밀기울이 상대적으로 큰 값을 보였으나 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

5. 실험에 선택한 수분 조절제 중 밀기울이 최적의 수분 조절제라 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 광운대학교 교내학술연구비의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박진식, “남은 음식물의 사료화를 위한 최적 발효공정”, 1999, 동아대학교 환경공학과
2. 김삼권 외 5인, “폐기물 공정시험법 해설”, 1998, 동화기술
3. 농촌진흥청 축산기술연구소 “사료표준분석방법”, 2001, 제2판
4. 정기환, 장기호 외 3인, 폐기물자원화, 1999, 7(2), 65~71
5. 고영두 외 12인 “기축영양학”, 2002, 유한 문회사