

음식폐기물의 양돈사료 자원화를 위한 처리공정 및 사료가치 평가*

정우진 · 이정채¹⁾ · 김태환* · 임계택¹⁾

전남대학교 농과대학 동물자원학과, ¹⁾전남대학교 생물공학연구소 생물방어물질그룹

Processing Method and Feed Value of Food Wastes as Swine Feed Resources

Woo-Jin Jung, Jeong-Chae Lee¹⁾, Tae-Hwan Kim* and Kye-Taek Lim¹⁾ (Department of Animal Resource, Chonnam National University, Kwangju, 300 Youngbong-Dong, 500-757, Korea, ¹⁾Biodefensive Substances Group, Institute of Biotechnology, Chonnam National University, Kwangju, 300 Youngbong-Dong, 500-757, Korea, *E-mail: grassl@chonnam.ac.kr)

ABSTRACT : This study was carried out to get the basic data on the efficient processing method of food wastes for utilizing as the resources of swine feeds composition, mineral and toxic elements of food waste were estimated in relation to the steps of processing and fermentation with MS (Miraculous soil-bacteria) microorganism complex. The chemical composition of food wastes was largely varied according to disposing sites, collection time and season. Offensive odor was reduced by anaerobic fermentation with MS microorganism complex. Food wastes fermented with MS microorganism complex have high contents in crude protein (24.1% D.M) and crude fat (12.9% D.M). Mineral composition was to be relatively well balanced compared to other plant or animal feed resources. Particularly the content of sodium was slightly higher than that of grains or agricultural byproducts. In food wastes fermented with MS microorganism complex, heavy metals such as Hg, As or F were not detected. Pb or Cd were detected in small quantities but their levels were below the dose s-permitted feeding standard of permitted dose in feeding standard. These results indicated that food wastes could be efficiently used for the resources of swine feeds through proper processing and fermentation.

Key words : Food wastes, Swine feeds, Chemical composition, Mineral, Heavy metal

서 론

오늘날 인간의 식생활은 산업화의 발달에 따라 다양한 양상을 보이고 있으며, 예전에는 볼 수 없었던 수많은 식품이 생산되고 가공되어져 우리의 식탁에 올려지고 있다. 그러나 이 중 8% (15,075톤) 정도가 매일 음식폐기물로 버려지고 있으며, 이는 전체 생활쓰레기의 31.6%에 해당한다^{1,2)}. 발생된 음식폐기물의 대부분은 채소류, 육류, 및 어패류와 같은 영양소가 다량 함유된 유기성 물질이다. 그럼에도 불구하고 현재 우리나라의 음식폐기물 처리는 대부분 매립이나 소각에 의존하고 있기 때문에 귀중한 자원의 낭비는 물론이고 음식폐기물의 비위생적 측면 때문에 생활환경에 미치는 영향이 매우 크다고 여겨진다. 특히 음식폐기물은 시각적인 불쾌감과 후각적 혐오감을 주며 쉬운 부패성으로 인해 취급과 보관의 어려움 있고, 매립지에서의 침출수 발생으로 인한 수원지 유입, 또는 각종 부패가스나 악취의 유발 등 오늘날 환경오염의 큰 요인으로 부각되고 있다^{3,4)}.

따라서 정부에서는 1990년대 중반부터 쓰레기종량제시대라 하여 원천적인 음식폐기물 감량에 힘쓰면서 한편으로는 재활용 차

원에서 많은 노력을 하고 있음에도 현재의 우리나라 음식폐기물의 재활용율은 10% 미만인 것으로 알려져 있다. 이러한 재활용에 대한 저 효율성의 원인은 90년대에 갑작스레 떠오른 음식폐기물의 처리에 대한 사회적 문제발생을 최소화하기 위한 일시적 계획이었지 장기적 안목과 체계적이지 못했었던 것에 기인된다고 보여지며, 또 하나는 우리나라 음식폐기물을 퇴비나 사료로서 재활용시 음식폐기물만이 갖는 특수성을 감안하지 못했다는 데 그 큰 원인이 있다고 여겨진다.

특히 사료화 방안에 있어서 우리나라의 음식폐기물만의 특성 즉, 고 염분함유, 계절에 따른 식생활의 변화, 여름철의 고온다습으로 인한 쉬운 부패, 그리고 퇴비화로도 어려울 만큼의 고 수분 (약 80%)이 큰 문제이며 또한 음식폐기물과 함께 버려지는 수저, 비닐과 같은 이물질 함유는 음식폐기물을 자원화 하는데 가장 우선적으로 해결해야 할 문제이다⁵⁾.

따라서 음식폐기물로부터의 환경오염을 예방하고 가축의 사료로서 재활용하기 위해서는 음식폐기물의 완전 분리수거체계확립을 통한 수거상의 문제점을 해결하고 계절적 요인이나 배출원에 따른 음식폐기물의 상이한 수분과 염분함량의 조절과, 사료로서

의 가축의 기호성 및 영양적 균형을 고려한 적절한 처리와 가공 기술이 필요하다⁶⁷⁾.

이러한 취지로부터 무공해 영농의 일환으로 한국 MS균 연구소에서는 환경오염의 주범인 각종 음식폐기물을 유효토착미생물 (Miraculous soil-bacteria; MS)로 특수가공처리하여 유기질 비료를 만드는데 성공하여 무공해 영농선두주자로 평가받고 있다. MS균은 80 ~ 100여종의 미생물군이 하나의 집합체로서 존재하면서 각각 독특한 기능을 갖는 것으로 알려져 있으나 그에 대한 과학적 규명은 현재 연구중에 있는 것으로 알려져 있다⁶⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 광주지역에서 발생하는 음식폐기물의 양돈사료화에 의한 재활용 증진과 환경오염으로부터의 보호측면에서 음식폐기물의 배출원과 시기에 따른 사료성상과 MS균에 의한 발효공정에 따른 조성분을 비교 분석하므로써 음식폐기물의 사료자원화의 가능성과 음식폐기물의 사료화 처리공정을 검토하고자 한다.

재료 및 방법

시 약

K₂SO₄, CuSO₄, KCN, Triethanolamine, EDTA, ammomium molybdate, potassium phosphate, oxalic acid 등은 Sigma 사로부터 구입하였으며, H₂SO₄, NaOH, ethanol, acetone 등은 Duksan Chemical Co., LTD.로부터 구입하였다. 광물질 분석을 위한 표준용액은 Aldrich사로부터 구입하였으며, Miraculous Soil-bacteria (MS균)는 한국 MS균 연구소로부터 준비되었으며, 그 외의 시약은 높은 순도를 가진 것을 사용하였다.

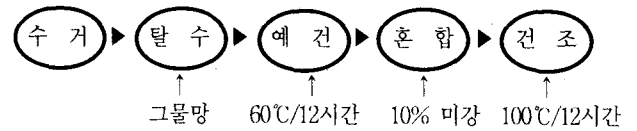
공시재료

본 연구에 사용된 음식폐기물은 광주광역시 북구전역에서 수집되었으며, 배출원에 따른 음식폐기물의 성상을 분석하기 위하여 구내식당, 한식당 및 패스트푸드점으로 구분하여 각각 3회 수집하여 60℃에서 24시간 건조 후 재료로 사용하였다. 또한 수집시기에 따라 성상 및 사료성분의 변화가 클 것으로 사료되어 음식폐기물 집하장 (광주광역시 광산구 소재)에서 각각 3월, 4월, 5월 및 7월에 주기적으로 5회 동안 시료를 수집하여 분석하였다.

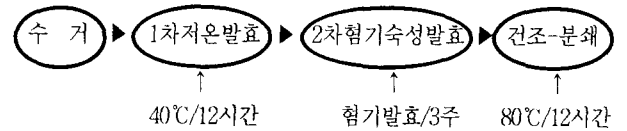
음식폐기물의 사료화 공정검토

음식폐기물의 MS균에 의한 발효공정을 수립하기 위한 처리과정으로서, 광주광역시 집하장에서 수거된 다량의 수분을 함유하고 있는 시료를 아래와 같이 실험실 조건에서 단순처리 및 MS균에 의한 발효 처리하여 각 처리단계별 성상의 변화 및 조성분 함량을 조사하였다.

1. 단순처리 (탈수 → 예건 → 혼합건조)



2. MS균에 의한 발효처리



MS균의 처리와 숙성발효

수거된 음식폐기물의 MS균에 의한 사료화 공정을 검토하고, 공정 단계별에 있어서 MS균이 시료의 성상 및 성분에 미치는 영향을 분석하기 위하여 MS균 첨가 후 각 발효과정(3단계)에 따른 음식폐기물의 성상변화 및 조성분 분석을 실시하였다.

- 1) MS균에 의한 1차 저온발효 : 수집된 음식폐기물에 소량의 MS균을 살포하고 그물망 탈수 및 이물질 선별을 한 후 100 kg의 음식폐기물당 1l의 MS균을 첨가하여 40℃에서 12시간 저온발효 시켰다.
- 2) MS균에 의한 2차 숙성발효 : 1차 발효된 음식폐기물에 10% 째겨, 5% 어분을 혼합하여 수분을 조정된 다음 40℃에서 5시간 동안 교반 및 발효를 시키고 3주간 혐기발효를 시켰다.
- 3) 건조 및 분쇄 : 3주 동안 혐기숙성발효된 시료의 보관성과 다른 사료원과의 혼합을 용이하게 하기 위해 80℃에서 12시간 건조시킨 다음 분쇄하여 각 발효과정에 따른 음식폐기물의 사료성분 분석을 실시하였다.

분석방법

- 1) 조성분분석 : 일반조성분으로서 수분, 조단백질, 조지방, 조회분 및 조섬유는 상용적인 Weende 분석법에 따라 실시되었다⁶⁹⁾. 먼저 조단백질은 Kjeldahl 법을 통해 boric acid법으로 계산하였으며, 조지방은 Soxhlet extractor를 이용하였고, 조섬유의 정량은 조지방을 추출한 3g 정도의 시료를 550℃에서 3시간 동안 회화시킨 후 계산하였다.
- 2) 광물질 정량분석 : Ca, K, Na 및 Mg의 함량은 시료분말 약 500 mg을 H₂O₂-H₂SO₄로 습식분해하여 무기질화 시킨 후 유도결합 플라즈마 발광 광도계 (ICP Emission Spectrometer; Jobin Yvon Inc. Co., LTD. JY 38 plus)에서 정성-정량분석을 하였다. 각 광물질 원소의 표준용액은 10 ppm으로 하여 혼합된 표준용액 (Aldrich사)의 파장별 분광된 빛의 강도와 시료의 그 것을 대비하여 정량하였다. 인은 파장별 표준용액의 정량에 대한 재현성이 낮아 ammonium meta vanodate 용액에 의해 발색시켜 470 nm에서 흡광도를 측정한 후 표준곡선

에 대비하여 정량하였다¹⁰⁾. 분석된 결과는 다량원소인 Ca, K, Na, P 및 Mg에 대해서는 건물당 %, 미량원소인 Cu, Fe, Mn, Zn, Co 등은 ppm으로 나타내었다.

- 3) 유해물질 성분분석 : 음식폐기물내 유해물질의 함유정도를 조사하기 위하여 중금속 원소로서 Cr, Hg, Pb, As, Cd 및 F 등의 정량을 ICP를 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

음식폐기물의 배출원에 따른 조성분 함량

음식폐기물의 배출원에 따라 성상 및 사료성분이 상이리라 예상하고 생활 주변에서 배출량이 많고 흔히 수집할 수 있는 구내 식당, 분식점 및 한식당을 대상으로 음식폐기물을 수집하였다. 수집된 음식폐기물을 60°C에서 24시간 건조 후 시료로 제조하여 분석한 결과는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

배출원에 따라 수분 함량은 53.1%에서 79.3%까지 변이폭이 컸으며, 펠스트푸드점에서 배출되는 폐기물의 수분함량이 상대적으로 낮았다. 동일한 배출처에서 수거일자에 따른 수분 및 사료 조성분의 함량 역시 변이폭이 높게 나타났다. 조단백질 함량은 15.5%에서 25.8%까지 각 배출처의 수거일에 따라 상당한 변이가 있었다. 조지방 함량에 있어서도 배출원에 따라 7.9%에서 17.1% 범위로 나타났으며, 그 중에서도 펠스트푸드점의 음식폐기물이 가장 높았다. 이와같은 배출원에 따른 조성분함량의 변화는 조섬유 및 조회분 함량에 있어서도 유사한 결과를 보였다(Table 1).

이러한 결과는 음식폐기물의 사료화를 통한 재활용에 있어서 수분 및 조성분함량의 큰 변화 등 지금까지 문제점으로 제시되어왔었던 바와같이 본 연구결과도 이를 증명하고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 수거된 음식폐기물의 성분 균일화 방안이 요구된다. 이를 위해서는 음식폐기물의 처리 규모별 수거 및 집하 후 적절한 혼합과 가공이 필요한 것으로 보여진다.

음식폐기물의 수거시기에 따른 조성분 함량

Table 1에서 본 바와 같이 배출원에 따른 조성분의 변이가 매우 심하기 때문에 사료화를 위한 기초작업으로서 우선 사료성분의 균일화가 요구되었던 바 음식폐기물 집하처리장에서 99년 3월부터 7월까지 매월 5회 동안 시료를 수집하여 분석한 결과는 Table 2와 같다.

수집시기에 따른 수분 및 조성분함량에는 다소 차이가 있었으며, 특히 하계인 7월에 수거된 음식폐기물의 조단백질 함량은 다른 시기에 비해 낮았다. 그러나 전반적인 경향으로서 집하장에서 수거된 음식폐기물의 조성분함량은 Table 1에서 볼 수 있었던 배출원에 따른 조성분함량 변화에 비해 비교적 성분의 변이폭이 낮았다. 이러한 경향은 다양한 배출원으로부터 음식쓰레기가 다량으로 유입되어 섞여지게 됨으로써 변화요인이 절감되는 데서 기인되는 것으로 사료된다. 각 조성분별 함량은 조단백질 함량이 17.3%부터 22.6%, 조지방이 9.9%에서 12.3%, 그리고 조섬유가 5.4%에서 8.7% 정도로 나타났다(Table 2). 이러한 결과를 종합할 때 음식폐기물의 조단백질 함량은 유박류나 어분과 같은 단백질 사료에 비해 낮으나 일반 곡류나 강피류에 비해서는 그 함량이 높다는 것을 보여주며, 특히 조지방의 함량은 매우 높다는 것을 알 수 있었다¹¹⁾.

음식폐기물의 사료화 공정 검토

음식폐기물 집하장에서 수거한 시료를 실험실조건에서 소규모 처리하여 성상의 변화 및 조성분 함량을 조사하였다. 먼저 집하장에서 수거 후 탈수와 파쇄 및 압착하여 시료를 준비하였으며, 이 때 수분 함량은 80% 정도였다. 제 2차 공정으로서 탈수 처리된 시료를 열풍건조기를 이용하여 60°C에서 12시간 건조하였으며, 이 때 시료의 수분 함량은 33 ~ 39% 정도로 크게 줄었다. 그리고 3차 공정으로서 열풍 건조된 시료에 미강을 약 10% 혼합하여 다시 100°C에서 12시간을 건조시켜 각 처리단계별 조성분 함량을 측정하였다. 음식폐기물의 건조 처리과정중의 조성분 함량의 변화를 Table 3에 제시하였다.

Table 1. Chemical composition of food wastes collected from different disposing sites. Each value is given with the mean \pm S.E of 3 independent samples.

| Sources of collection | Collection date | Moisture % | Crude protein % | Crude fat % | Crude fiber % | Crude ash % |
|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | | | | | |
| Refectory in CNU | 1 | 70.9 \pm 4.22 | 25.4 \pm 2.04 | 8.2 \pm 0.82 | 9.2 \pm 0.71 | 11.2 \pm 0.73 |
| | 2 | 69.9 \pm 3.55 | 24.9 \pm 1.83 | 7.9 \pm 0.71 | 6.5 \pm 0.55 | 10.0 \pm 0.58 |
| | 3 | 64.8 \pm 6.05 | 15.5 \pm 3.24 | 10.7 \pm 0.84 | 6.1 \pm 0.64 | 9.5 \pm 0.91 |
| Korean restaurant | 1 | 66.3 \pm 8.40 | 22.1 \pm 3.88 | 12.1 \pm 1.68 | 8.1 \pm 0.91 | 8.7 \pm 1.21 |
| | 2 | 68.1 \pm 5.06 | 19.2 \pm 2.62 | 11.4 \pm 0.82 | 6.7 \pm 0.54 | 11.2 \pm 0.86 |
| | 3 | 79.3 \pm 6.71 | 18.8 \pm 3.35 | 8.5 \pm 1.41 | 5.3 \pm 0.64 | 9.6 \pm 0.95 |
| Fast food | 1 | 69.5 \pm 3.11 | 19.2 \pm 1.82 | 12.3 \pm 0.41 | 6.4 \pm 0.21 | 13.4 \pm 0.64 |
| | 2 | 53.1 \pm 4.45 | 25.8 \pm 2.36 | 17.1 \pm 1.10 | 5.1 \pm 0.48 | 15.5 \pm 0.84 |
| | 3 | 64.4 \pm 4.05 | 22.1 \pm 2.30 | 13.0 \pm 0.76 | 5.8 \pm 0.55 | 13.1 \pm 0.78 |

* ; Chonnam National University

Table 2. Changes in chemical composition affected by collecting times. Each value is given with the mean \pm S.E of 3 independent samples.

| Collecting time | Components (%/DM) | Moisture | Crude protein | Crude fat | Crude fiber | Crude ash |
|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | March | | 68.1 \pm 5.01 | 19.2 \pm 1.04 | 9.9 \pm 0.91 | 7.9 \pm 0.41 |
| April | | 73.9 \pm 9.04 | 22.6 \pm 3.12 | 12.3 \pm 2.04 | 8.2 \pm 0.63 | 15.3 \pm 1.10 |
| May | | 78.8 \pm 6.11 | 21.6 \pm 2.05 | 11.8 \pm 1.07 | 8.7 \pm 0.55 | 13.6 \pm 0.51 |
| July | | 82.4 \pm 4.06 | 17.3 \pm 3.07 | 10.9 \pm 1.08 | 5.4 \pm 0.84 | 8.9 \pm 0.71 |

Table 3. Changes in amount of chemical component in relation to processing of food wastes. Each value is given with the mean \pm S.E of 3 independent samples.

| Process of treatment | Crude protein | Crude fat | Crude fiber | Crude ash | Nitrogen free-extract |
|---|---------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| | ----- % (D.M) ----- | | | | |
| Dehydration* | 21.7 \pm 2.03 | 11.9 \pm 1.02 | 8.3 \pm 0.51 | 7.9 \pm 0.46 | 39.2 \pm 4.04 |
| Dehydration→Air drying** | 23.3 \pm 1.84 | 13.2 \pm 1.41 | 8.5 \pm 0.54 | 7.1 \pm 0.34 | 36.2 \pm 3.03 |
| Dehydration→Air drying→ Mixing & drying*** | 24.1 \pm 1.93 | 13.9 \pm 1.21 | 9.1 \pm 0.72 | 7.4 \pm 0.61 | 33.5 \pm 4.50 |

* refers to removing water by passing through a 5 mm mesh.

** refers to drying at 60°C for 12 hrs after dehydration.

*** refers to mixing with 10% (W/W) rice bran and drying at 100°C for 12 hrs.

탈수 후 예건에 따른 사료 조성분의 함량에는 유의적 변화가 없었으나 예건 후 미강 10%를 혼합하여 건조시킨 결과 조단백질의 함량이 24.1%, 조지방은 13.9%, 그리고 조섬유는 9.1%로 증가되었다(Table 3). 사료의 성장측면에서도 10% 미강으로 혼합하여 100°C에서 건조시켰을 때 그 성장이나 화학적 성분의 함량이 매우 안정하게 유지되어 6개월 경과후에도 성상의 변화나 부패현상이 나타나지 않았다.

따라서 음식폐기물의 단순처리공정으로서 탈수-예건-혼합건조의 과정을 통한 처리는 소규모 양돈장에서 충분히 활용할 수 있으리라 사료되며, 혼합건조 처리된 음식폐기물의 사료조성분 함량 (특히 일반 곡류 사료나 부산물 단미사료에 비해 조단백질, 조지방 함량이 높음)을 고려하면 에너지나 단백질 공급용 단미사료원으로서의 활용 가치가 충분하다는 것을 알 수 있다. 또한 탈수 후 60°C의 예건과정은 미강 뿐만아니라 다른 농산 부산물 등의 첨가에 의한 조성분 조정 및 수분조절과 음식폐기물의 처리공정의 용이성을 위한 필요한 단계라고 사료된다. 차 후 음식폐기물의 수분함량조절 및 영양소 보안을 위한 다양한 농산부산물의 혼합재 활용에 대한 심도있는 연구가 요구된다.

MS균 첨가 후 발효과정에 따른 음식 폐기물의 성상 변화

이상의 결과로부터 탈수→예건→혼합건조의 비교적 간단한 공정을 통해서도 음식폐기물은 양돈사료자원으로서 활용될 수 있다는

가능성이 확인되었다. 그러나 음식폐기물은 수거 당시 배출원에 따라 차이가 있으나 일반적으로 65 - 80% 정도의 높은 함수율과 쉽게 부패되는 성질을 갖고 있어 처리, 가공까지의 보관에 문제가 생기기 쉽기 때문에 재활용에 대한 안정성이 유지될 수 있는 처리공정과 사료효율의 증진방안이 강구되어야 한다. 따라서 음식폐기물의 발효에 대한 MS균의 효능 및 MS균에 의한 사료화공정을 검토하기 위해 음식폐기물 집하장에서 수집된 음식폐기물의 각 처리 공정에 따른 성상을 비교 검토하였다.

수거된 음식 폐기물을 그물망으로 탈수 및 이물질을 제거한 후 음식폐기물 100kg 당 MS 균을 1l 첨가하여 소형 회전 발효기에서 40°C 조건으로 12 시간 발효시킨 결과 수분 함량은 60 ~ 65% 정도였으며 입자간의 응착되는 현상이 많이 줄어들었다. 또한 음식 폐기물의 악취가 많이 감소되었으며 시큼한 발효취가 발생하였다. MS균에 의한 2차 혐기 숙성 발효 후 음식 폐기물의 함량을 기준으로 하여 쌀겨 및 어분을 각각 10% 및 5% 첨가한 후 회전 발효기에서 혼합, 교반하여 혐기상태로 유지시키면서 3주간 숙성 발효시킨 결과 시큼한 산취 냄새가 많이 줄어들었으며 잘 발효된 사일레지 냄새를 풍겼다. 이 때 수분함량은 약 45 ~ 50% 정도였으며 사료입자의 연성이 많이 개방된 것을 알 수 있었다. 이러한 과정을 통해 숙성발효된 시료는 혐기통에서 공기의 접촉이 없이 잘 유지-보관되었을 때 성상과 보관상태가 매우 양호하였다. 그러나 한번 개방된 혐기통내의 시료는 공기와 접촉된

부분의 변패현상이 부분적으로 관찰되어 장기적 보관에 문제점이 우려되므로 개봉된 시료는 1 주일 이내에 전부 소모시키는 것이 바람직 할 것으로 판단되었다. 한편 MS균에 의한 숙성발효 후 다른 사료원과의 혼합을 용이하게 하기 위해 80°C에서 고온건조 후 분쇄한 최종산물의 성상을 본 결과 수분함량은 10% 내외로 입자가 매우 고운 진한 황색의 분말형태를 보였으며, 산취와 발효취도 거의 발생되지 않았다 (data not shown).

따라서 MS균의 음식폐기물에 대한 처리는 음식폐기물에서 발생하는 산패나 악취 같은 문제점을 억제할 수 있을 것으로 사료되며, 양돈사료로서도 일반 단미사료나 배합사료와 혼합 급여 할 경우 가축의 기호성을 개선할 수 있으리라 사료된다.

MS균 첨가 후 발효과정에 따른 음식 폐기물의 조성분 함량변화

수거된 음식 폐기물을 그물망으로 탈수 및 이물질을 제거한 후 음식폐기물 100kg 당 MS 균을 1l 첨가하여 소형 회전 발효기에서 40°C 조건으로 12 시간 발효시킨 시료 (1차 저온발효), 1차 발효된 음식 폐기물을 수분조절, 발효 및 영양소 함량의 제고를 위해 음식 폐기물의 함량을 기준으로 하여 쌀겨 및 어분을 각각 10% 및 5% 첨가한 후 회전 발효기에서 혼합, 교반, 발효 후 3 주간 혐기 숙성 발효시킨 시료 (2차 혐기 숙성발효), 및 혐기조건에서 2차 숙성 발효 후 건조, 분쇄한 시료 (건조, 분쇄)들에 대해 사료성분을 분석하였다.

MS균에 의한 최종 발효산물에 대한 조성분 함량은 조단백질 24.1%, 조지방 12.9%, 조섬유 7.3%, 조회분 9.9% 및 가용무질소물 35.8% 정도였으며, MS균 첨가 후 각 발효과정에 따른 조성분 함량에는 유의적 차이가 없었다 (Table 4). 이는 쌀겨(10%)와 어분(5%)를 첨가하여 발효시키더라도 사료의 일반 조성분에는 유의적인 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 또한 음식폐기물에 MS균을 첨가하지 않은 상태에서 건조한 시료의 조성분 (Table 3) 과도 커다란 차이를 보이지 않았다. 그러나 사료의 수분함량과 발효 정도 및 발효 후 성상은 발효과정에 따라 많은 차이를 보여주었으며, 양돈사료로서 적합한 성상은 MS균 처리 후 혼합건조에 있어서 가장 좋게 나타났다. 따라서 탈수 후 MS균을 투입 하고 1 차 저온 발효 후 쌀겨, 어분 등 부형제의 혼합은 발효에 적합한 수분함량을 조절하기 위해 매우 중요한 단계라고 사료된다.

이상의 다양한 공정을 거쳐 분석된 사료성분 함량을 기준으로 비교할 때 MS균에 의해 발효제조된 시료의 조지방 함량은 곡류, 유박류, 강피류 및 대부분의 가공 부산물보다 3 ~ 6배 정도 높은 수준이었으며, 조단백질 함량 역시 콩과를 제외한 대부분의 곡류 또는 강피류보다 그 함량이 훨씬 높은 것으로 나타나 양돈 사료자원으로서 가치가 충분하다고 보여진다^{12,13}.

차 후 강피류, 유박류, 및 가공부산물 등과 같이 농가 주변에서 쉽게 구할 수 있는 농산 부산물을 다양하게 혼합하여 수분조절 및 MS균에 의한 발효효율 개선, 사료성분표 및 사료배합을 개발에 대한 연구가 뒤따라야 할 것이며, MS균에 의한 음식폐기물 발효사료의 아미노산이나 지방산 그리고 열량 같은 영양적 측면의 가치를 심도있게 파악하므로서 환경친화적 유효토착미생물의 효율적 이용방안을 모색해야 할 것으로 사료된다.

MS균 첨가 후 발효과정에 따른 음식 폐기물의 광물질 함량

MS균에 의한 발효과정에 따른 음식 폐기물의 광물질 함량을 분석한 결과는 Table 5에 나타난 바와 같다. MS균에 의한 발효과정에 따른 광물질함량은 유의적인 차이가 없었으나 전반적인 경향으로서 인, 칼슘, 칼륨의 함량은 발효과정에 따라 증가되었으나, 나트륨은 크게 줄어들었으며, 마그네슘의 함량에는 변화가 없었다.

결과로서 인의 함량은 평균 0.75%로 일반곡류보다는 높고 유박류나 강피류에서의 함량과 비슷한 수준이었다. 칼슘함량은 평균 2.7%로 곡류, 강피류, 유박류 혹은 기타 농산 부산물보다는 훨씬 높고 동물질 단미사료보다 낮은 수준이었다. 칼슘의 함량은 평균 0.8%로 동물질사료와 비슷한 수준이었다. 나트륨은 평균 0.7%로 일반곡류(0.03-0.08%), 강피류 및 유박류(대개 0.1% 미만)에 비해 매우 높은 수준으로 나타났다. 이는 어분 등의 수산폐기물의 함량에 비해서는 비슷하거나 약간 낮은 수준이었다(Table 5). 한편 임신돈의 NRC 사양표준에 따르면 사료내 광물질로서 칼슘은 0.75%, 인은 0.5%, 그리고 나트륨은 0.5% 수준을 권장하고 있으며, 하루 급여량으로 나트륨은 10g에서 27.5g의 섭취가 허용된다. 마그네슘은 평균 0.2%로 강피류, 유박류, 혈분, 골분과 같은 동물질 사료에 비해 낮은 편이나 일반적인 수산 부산물의 함량과는 비슷한 수준이었다^{13,14}.

따라서 음식폐기물의 사료화에 큰 문제가 되는 고 농도의 염분함량은 탈수과정을 통해 많이 배출되고, 또한 농후사료와의 배

Table 4. Chemical composition in relation to the process of fermentation with MS. Each value is given with the mean ± S.E of 3 independent samples.

| Proximate (%/DM) | Fermentation process | Fermentation at low temperature (40°C/12hr) | Fermentation under anaerobic condition (three weeks) | Drying and grinding after fermentation (80°C/12 hr) |
|-----------------------|----------------------|---|--|---|
| Crude protein | | 23.1 ± 2.03 | 24.2 ± 1.41 | 24.1 ± 1.33 |
| Crude fat | | 12.2 ± 1.02 | 12.5 ± 1.41 | 12.9 ± 1.22 |
| Crude fiber | | 7.8 ± 0.50 | 7.6 ± 0.53 | 7.3 ± 0.20 |
| Crude ash | | 8.3 ± 0.70 | 9.8 ± 0.81 | 9.9 ± 0.30 |
| Nitrogen free extract | | 36.6 ± 2.61 | 34.9 ± 3.04 | 35.8 ± 1.57 |

Table 5. Mineral composition in relation to the process of fermentation with MS. Each value is given with the mean \pm S.E of 3 independent samples.

| Elements | Fermentation process | Fermentation in low temperature (40 °C/12hr) | Fermentation under anaerobic condition (three weeks) | Dry and grinding after fermentation (80 °C/12 hr) |
|---------------------------------|----------------------|--|--|---|
| Major elements (% , D.M) | | | | |
| Phosphorus | | 0.7 \pm 0.05 | 0.8 \pm 0.03 | 0.8 \pm 0.01 |
| Calcium | | 2.5 \pm 0.20 | 2.7 \pm 0.10 | 2.8 \pm 0.10 |
| Potassium | | 0.7 \pm 0.04 | 0.8 \pm 0.06 | 0.8 \pm 0.02 |
| Sodium | | 0.8 \pm 0.06 | 0.7 \pm 0.04 | 0.7 \pm 0.03 |
| Magnesium | | 0.2 \pm 0.01 | 0.2 \pm 0.02 | 0.2 \pm 0.01 |
| Trace elements (ppm) | | | | |
| Copper | | - | 0.2 \pm 0.10 | 0.2 \pm 0.02 |
| Iron | | 741 \pm 36.28 | 654 \pm 41.08 | 671 \pm 21.07 |
| Manganese | | 185 \pm 20.11 | 202 \pm 19.02 | 198 \pm 12.11 |
| Zinc | | 99 \pm 9.12 | 90 \pm 5.14 | 89 \pm 3.08 |
| Cobalt | | 1.2 \pm 0.10 | 1.2 \pm 0.20 | 1.1 \pm 0.09 |

합비 조절, 각종 부형재의 첨가 등에 의해 염분문제가 충분히 해결될 수 있을 것으로 사료된 바 양돈사료로의 활용에는 큰 문제가 없을 것으로 여겨진다. 결국 전반적인 경향으로서 음식폐기물 내 광물질 함량을 비교할 때 식물성과 동물성 단미사료원에 나타나는 특정원소의 과부족 현상이 없는 광물질 구성 및 함량을 가지는 것으로 분석되었다.

MS균에 의해 발효된 음식폐기물의 유해물질 함량

MS균에 의해 발효된 음식폐기물의 최종사료에 대한 유해중금속 유무와 함량을 ICP를 이용하여 배합사료내 유해중금속 허용함량의 기준과 비교한 결과 MS균을 처리하기전 사료와 유사한 결과를 보여주었다. 즉, MS균 처리 없이 10% 미강 혼합건조 처리하여 100°C에서 12시간동안 건조처리 후 가공한 음식폐기물내 유해물질로서 수은, 비소, 불소 및 크롬은 미검출되었고 납과 카드뮴은 각각 0.03 ~ 0.07 ppm과 0.30 ~ 0.51 ppm으로서 배합사료내 유해 중금속의 허용함량의 기준에 훨씬 미치지 못한 것으로

나타났다(Table 6). 이러한 경향은 MS균을 첨가 후 최종 건조 분쇄된 사료의 분석결과와 같았으며, 이는 MS균 투입 후 발효과정에서 중금속의 유입은 없다는 것과 사료화에 대한 중금속 문제로부터 음식폐기물의 안정성을 의미하는 것이다.

요 약

MS균을 이용한 음식폐기물의 효율적인 처리 방법의 모색과 양돈사료 자원화를 위한 기초자료를 확보하고자 처리방법에 따른 사료성상, 조성분, 광물질 및 유해 중금속을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. MS균을 처리하기전 수거된 음식폐기물은 그 배출원과 수집일에 따라 성상 및 조성분 성분이 다양하였으며, 음식폐기물 집하장에서 건조처리된 수거된 사료의 수분 함량은 계절적 요인에 크게 영향을 받았다. MS균에 의한 발효 공정을 거친 후 음식폐기물의 악취가 거의 소멸되었고, 사료로서의 좋은 성상을 보여주었다. 특히, 조지방 및 조단백질 함량이 높은 사료자원으로 평가되었다. MS균 처리 후 음식폐기물의 광물질 함량 분석결과 다량원소 (특히 칼슘)의 함량이 곡류나 농산부산물보다 높았다. 전반적으로 다른 식물성 및 동물성 단미사료원에 비해 균형있는 광물질 구성 및 함량을 가지는 것으로 분석되었다. MS균 처리 전과 후 처리과정 중 음식폐기물내의 중금속 분석결과 수은, 비소, 불소 및 크롬은 미검출되었고 납과 카드뮴은 미량존재하나 배합사료내 허용범위에 훨씬 낮은 수준을 함유하고 있어 사료자원으로의 재활용함에 있어 안전한 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 음식폐기물의 성상 및 사료성분을 고려할 때, 적절한 처리 및 발효공정을 통해 양돈사료자원으로서 재활용될 수 있는 충분한 가치가 있음을 제시한다.

Table 6. Amount of heavy metal in the finally processed food wastes with or without MS.

| Elements | Levels of permitted dose in feeding standard (ppm) | Amounts of heavy metal in food wastes (ppm) | |
|----------|--|---|----------------------|
| | | Fermentation without MS | Fermentation with MS |
| Hg | 0.4 | ND | ND |
| Pb | 10 | 0.03~0.07 | 0.03~0.08 |
| As | 15 | ND | ND |
| Cd | 1.0 | 0.30~0.51 | 0.28~0.50 |
| F | 50 | ND | ND |
| Cr | 100 | ND | ND |

ND ; not detected.

감사의 글

이 논문은 1998년도 농림부 농림기술개발 연구비에 의해 수행되었음.

참고 문헌

1. Jung, J.C. (1996) Treatment of waste. Sinkwang Ltd. co Press, Seoul, Korea. pp. 19-45.
2. Timothy, R.K. and P.M, Walker, (1999) Bacterial concentration reduction of food waste amended animal feed using a single-screw dry-extrusion process. *Bioresource Technology*. 67 : 247-253.
3. Hong, S.C. (1997) Biological treatment of leachate from municipal refuse landfill. *J. Korea Solid Wastes Engineering Society*. 14 (7) : 822-831.
4. Koh, S.C., Song, Y.C. and Kim, I.S. (1997) Efficient treatment of food wastes by EM(Effective Microorganism) and their recycling. *J. Korea Solid Wastes Engineering Society*. 14 (7) : 729-740.
5. Park, K.Y. (1998) Problem and utility of food wastes. Green Suncheon, Press, Suncheon, Korea.
6. Westendor, M.L., Dong, Z.C. and Schoknecht, P.A. (1998) Recycled cafeteria food waste as a feed for swine: Nutrient content, digestibility, growth, and meat quality. *J. Ani. Sci*. 76 (12) : 2976-2983.
7. Myer, R.O., Brendemuhl, J.H. and Johnson, D.D. (1999) Evaluation of hedydrated restaurant food waste products as feedstuffs for finishing pigs. *J. Ani. Sci*. 77 (3) : 685-692.
8. Kim, M.S. (1998) Miraculous soil-bacteria (MS). Institute of MS, Press, Changsung, Korea. pp. 4-13.
9. Association of Official Analytical Chemists (1980) Official Methods of Analysis, 13th edition, Assoc. Offic. Agr. Chem, Washington D.C.
10. Christian, G.D., Feldman, F.J. (1970) Atomic absorption spectroscopy: Applications in Agriculture, Biology and Medicine, Wiley-Interscience, New York and London.
11. Walker, P. and Kelley, T. (1997) Selected fractionated composition and microbiological analysis of institutional food waste, pre- and post-extrusion. Final Report, Illinois Council in Food and Agricultural Research (CFAR)
12. Cullison, A.E. (1975) Feeds and feeding. Reston Publishing Co., Inc. Va.
13. NRC Feeding Standard (1978) Nutrient Requirement of swine. pp. 1-56.
14. Barth, K.M., Vander, N.G., MacGrath, W. and Kornegay, E. (1996) Nutritive value of garbage as a feed for swine. II. Mineral content and supplementation. *J. Ani. Sci*. 25 : 52-58.