

호기발효와 펠릿 처리가 육계분의 사료영양적 성분에 미치는 영향 및 소형 펠릿기의 육계분 성형 가능성 평가

곽 완 섭

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 축산학전공

Evaluation on Effects of Composting and Pelleting on Nutritional Composition of Broiler Litter and Feasibility of Use of a Small-scale Pelletizer

Kwak, W. S.

Animal Science, School of Life Resource and Environmental Science, College of Natural
Sciences, Konkuk University, Danwol-dong 322, Chung-Ju, Chung-Buk, Korea 380-701

Summary

This study was conducted to determine changes in internal temperature and chemical composition during the composting of broiler litter(BL) and to evaluate the feasibility of use of a small-scale pelletizer for the pelleting of composted BL. BL was composted for 4 weeks in an wooden cell with a size of 1 m length × 1 m width × 1.2 m height. Internal temperature reached to peak(68℃) at the fourth day and thereafter gradually reduced. Among chemical components in BL, composting reduced organic matter content and increased dry matter and indigestible protein(ADF-CP) contents. When BL was pelleted using an economical small-scale pelletizer, the proper die diameter was 8~18 mm and the proper moisture content of composted BL was 20~25%. Beyond these proper conditions, addition of heat and pressure or pellet aids may be necessary. Pelleting of BL resulted in nearly threefold increase of bulk density, significant moisture evaporation, and little change in chemical components except for increased indigestible protein. In conclusion, BL may be converted into a feed with low to medium nutrition by the composting and pelleting process.

(Key words : Broiler litter, Composting, Pelleting, Pellets, Feed)

서 론

축분 중 육계분은 오래 전부터 국내외적으로 사료화 되어져 왔다. 미국과 이스라엘에

서는 육계분을 단독(다른 사료와 혼합하지 않고) 발효시켜 사료로 이용하고 있고(Brosh 등, 1993; Rankins, 1995), 우리 나라에서는 대부분 다른 사료원료와 혼합 발효하는 방식

본 연구는 농림부 연구지원에 의해 수행되었음.

으로 연구되어져 왔다(고와 안, 1987; 고와 안, 1988). 육계분 단독 발효 시 우리 나라 육계분은 외국의 것과 물리화학적 특성이 달라서 독자적인 발효 공법이 연구 개발되어져 왔고(곽 등, 1999), 현재 개발된 육계분 단일물의 발효사료는 TMR사료회사 또는 일반 비육우 농장에서 효과적인 원료사료로 이용되고 있다(Kwak 등, 2000).

육계분은 사료로의 급여 전에 반드시 가공처리 되어져야 하는데 이는 축분에 잔존 가능한 병원성 미생물을 완전 사멸시키기 위해서 반드시 필요하다. 경제적이고 효과적인 가공처리 방법으로는 혐기발효법(Caswell 등, 1978; Abdelmawla 등, 1988), 퇴적발효법(Chester-Jones와 Fontenot, 1981), 호기발효법(CAST, 1978; Abdelmawla 등, 1988; Naber, 1988) 등을 들 수 있다. 이 중 호기발효법은 혐기발효법 또는 퇴적발효법과 비교해서 공정 기간이 빠르고(CAST, 1978; Sweeten, 1988), 공정 중에 자연적 수분 증발을 가장 많이 유도하는 장점이 있다(Evans 등, 1978). 이에 따라서 최종 제품 함수율의 경제적 감소는 건조비용 절감과 저장성 향상 등의 실용성 증대 효과를 가져다 준다. 또한 펠렛 처리는 최종 사료의 부피와 물류비를 대폭 절감하고, 비육우에 의한 기호성을 향상시키는 효과(Kwak 등, 2000)가 있으나, 일반적으로 조사료의 펠렛 처리는 영양적 특성을 크게 향상시키지는 못하는 것으로 알려져 있다(Colleman 등, 1978; Fannesbeck 등, 1981; Anderson 등, 1988). 육계분의 혐기발효와 퇴적발효 또는 이의 펠렛 처리에 따른 사료영양적 가치에 관한 연구는 수행되었으나(곽과 노, 1999), 육계분의 호기발효와 펠렛 처리에 따른 사료영양적 가치에 대한 연구는 현재 보고된 바 없다. 아울러 값비싼 대형 펠렛기의 이용보다는 경제적인 소형 펠렛기를 이용하여 축분 발효물을 펠렛 처리할 때 이의

사료화 실용성과 보급을 증대를 한층 용이하게 해 줄 임은 자명한 사실이다.

따라서 본 연구는 호기발효 및 펠렛 처리에 따른 육계분의 발효온도 변화 및 물리화학적 변화를 구명하고, 발효물 펠렛 처리 시 경제적인 소형 펠렛기의 이용 가능성을 평가하고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 발효사료 및 펠렛사료 제조와 시료 채취

두 번의 시행에 걸쳐 실시된 육계분 호기발효 실험은 건국대학교 충주캠퍼스 자연과학대학 부속 실습농장에서 다음과 같이 수행되었다. 충주시 주변의 육계농장에서 트럭(4.5 ton 규모)으로 운송된 육계분(왕겨 깔개)을 바닥에 깔 두꺼운 비닐 위에 쏟아 붓고, 계분 윗 표면도 비닐로 덮어 비에 노출되지 않도록 하루동안 보관하였으며, 전 실험(곽과 박, 1999)에서와 같이 선별한 육계분을 두꺼운 베니어판을 이용하여 $1 \times 1 \times 1.2$ m(가로 \times 세로 \times 높이) 크기로 제작된 각각의 칸막이 내에서 4주 간 호기발효 시켰다.

호기발효 시 호기성 미생물 활성화를 위해 필수적인 공기 주입(Sweeten, 1988)은 하수 슬러지의 호기발효 시(CAST, 1978)와 같이 본 실험에서도 발효 첫 일주일간은 1일 1회씩, 둘째 주 동안은 2일에 1회씩, 이 후는 주 1회씩 미니로터를 이용한 교반 작업을 통하여 실시하였다. 발효물 중앙 부위(표면에서 50 cm)와 상층 부위(표면에서 30 cm)에는 센서가 달린 온도계를 삽입하여 매일 발효온도를 측정하였고, 이때 환경온도도 함께 측정하였다. 발효 전과 후 및 펠렛의 시료는 5반복으로 채취되었고, 특히 발효 후 시료는 발효물의 중앙 부위와 주위의 네 방향에서 채취되었다.

과관심 : 호기발효와 펠렛 처리가 육계분의 사료영양적 성분에 미치는 영향 및 소형 펠렛기의 육계분 성형 가능성 평가

호기발효 후 펠렛 사료 제조를 위해 이용된 펠렛기는 옥토개발(주)과 대구상공사(주)의 것이었다. 시행은 3회에 걸쳐서 실시되었으며, 첫 번째와 두 번째 시행은 성공적인 펠렛화를 위한 적정 조건들이 탐색되었고, 이를 통하여 세 번째 시행에서는 성공적인 펠렛화가 이루어 졌다. 이때 이용된 펠렛 die의 직경은 8~18 mm 였으며, 펠렛 촉진제는 전혀 이용되지 않았다. 채취된 시료들은 바로 pH를 측정하고, 향후 화학적 분석을 위해서 -20℃ 냉동고에 보관되었다.

2. 화학 분석

화학적 성분 분석 시 건물은 60℃ dry oven에서 48시간 건조한 후 측정하였고, 조단백질, 조지방, 조회분은 AOAC(1990) 방법에 따라 분석하였다. 특히 육계분과 발효물의 조단백질은 풍건 상태에서 분석한 다음 건물로 보정하여 계산하였다. 순단백질(true protein)은 5% trichloroacetic acid 용액에서 침전되는 양으로, non-protein N(NPN)은 조단백질에서 순단백질을 뺀 양으로 구하였다. 중성세제불용성섬유소(NDF)와 산성세제불용성섬유소(ADF)는 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 분석하였다. ADF - CP는 ADF 분석 후 남은 시료의 조단백질을 측정하여 구하였다. 용해성 회분은 조회분에서 비용해성 회분(acid-insoluble ash)을 뺀 양으로 구하였다. pH는 pH meter(HI 9321, Hanna Instrument, Portugal) 상에서 측정하였다.

3. 통계 분석

통계 처리 시 General Linear Model procedure를 이용한 one way analysis of variance를 실시하였고, 평균간 비교는 Tukey's multi-

ple range test로 실시되었다(Statistix7, 2000).

결과 및 고찰

1. 호기발효에 따른 발효온도 변화

발효 공정간의 발효물의 내부온도와 환경온도는 Fig. 1에 제시되어져 있다. 늦겨울에서 초봄사이의 환경온도가 -2.4℃에서 13℃사이의 분포를 보였을 때, 호기 발효물의 내부온도는 발효 4일째에 중앙 부위 66℃, 상층 부위 68℃로 최고에 달한 다음 이 후 서서히 떨어졌다. 전반적으로 발효 전반기에는 중앙 부위보다는 상층 부위의 온도가 1~7℃ 정도 높게 유지되다가 발효 후반기에는 거의 비슷하여 졌다. 3주의 발효기간 동안 위생적 발효 유효 온도인 50℃ 이상(곽 등, 1999)의 발효 온도를 유지한 일수는 13일이었고, 60℃ 이상을 유지한 일수는 5일이었다. 동일한 조건에서 실시된 전 실험(곽과 노, 1999)에서의 퇴적발효 시와 비교해서 호기 발효물의 내부 최고 온도는 3~4℃ 더 높았으며, 3주의 발효 전기간 동안 더 높게 유지되었다. 일반적으로 발효온도가 60℃ 이상에서 장시간 유지되면 총 coliform, 분성 coliform, salmonella, shigella, proteus, e-coli, e-coli O157:H7(CAST,

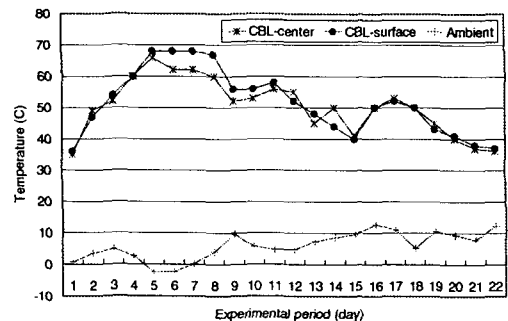


Fig. 1. Temperature change according to composting broiler litter.

1978; 곽 등, 1999), virus, protozoan cysts, 기생충란(anonymous, 1976), 파리 유충, 병원성 균, 잡초씨앗(Sweeten, 1988) 등이 효과적으로 사멸된다. 본 실험에서 육계분의 호기발효 시 발생된 이 수준도의 고열은 육계분을 이용한 위생적 사료 생산을 위해 요구되는 필요 조건을 충분히 만족시킨 것으로 사료되었다.

2. 호기발효에 따른 물리 화학적 특성 변화

육계분 호기발효물은 부식토(humus)와 같은, 냄새가 거의 없는 갈색을 띤 물질로 전환되었다. 호기발효와 펠렛 처리에 따른 육계분의 화학적 성분 변화는 Table 1에 제시되어져 있다. 동일한 조건에서 2회에 걸쳐 실시된 시행에서 첫 번째 시행의 경우 육계분의 호기발효 후에는 발효 전과 비교해서 수분은 8.1% 포인트 증발하였고($P < 0.05$), 조단백질과 조지방 성분들이 감소하였으며($P < 0.05$), ADF, 조회분 및 유기물 성분들과 pH는 차이가 없었다. 조지방 성분의 감소는 발효 미생물에 의한 지방 분해 작용에 따른 손실에 기인한 것으로, 조단백질 성분의 감소는 발효 미생물에 의한 단백질 분해에 따라 생성된 암모니아의 교반에 따른 대기로의 손실에 기인한 것으로 사료되었다.

두 번째 시행에서는 육계분의 호기발효 후에는 발효 전과 비교해서 수분은 8.5% 포인트 증발하였고, 조회분 및 용해성 회분 성분들과 ADF-CP 성분은 증가하였으며($P < 0.05$), 유기물, NDF, ADF 성분은 감소하였다($P < 0.05$). 조단백질, NPN : true protein - N 비율(Fig. 2)과 불용성(unsoluble) 회분 성분은 변화가 없었다. 일반적으로 호기성미생물에 의한 발효 작용에 의해서 유기물은 CO_2 와 H_2O 로 분해된다(Sweeten, 1988). 전 실험(곽과 노, 1999)에서의 육계분의 퇴적 발효물과 비교해서 본 실험에

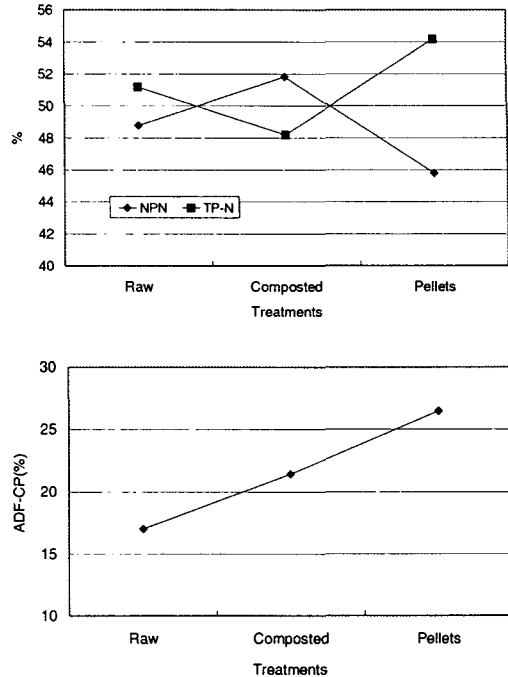


Fig. 2. Changes in NPN : TP(true protein)-N ratios and ADF-CP/CP contents depending upon composting and pelleting of broiler litter [(Means with different letters in the same line differ($P < 0.05$))].

서의 호기발효물은 건물, NPN, ADF, 조회분 성분이 높은 편이었고, 유기물, 조단백질 성분은 낮은 편이었으며, NDF 성분은 차이가 없었다. 산란계분의 호기발효 시에 유기물 성분의 감소와 건물과 조회분 성분의 증가가 보고되어(Evans 등, 1978) 본 연구의 시행 1 또는 2에서 나타난 결과를 뒷받침해 주고 있다. ADF-CP 성분의 증가는 호기발효에 따른 고온의 발효열이 Maillard 반응(Van Soest, 1987)을 유발하여 육계분내의 비소화성 단백질 함량이 증가하였음을 의미한다. 비슷한 연구(Kwak 등, 1998)에서 육계분의 혐기발효와 퇴적발효 시와 비교해서 호기발효는 육계분 단백질 중 soluble fraction을 감소시키고, degradable 및 undegradable fractions는 증가시키는 편이었다.

곽완섭 : 호기발효와 펠릿 처리가 육계분의 사료영양적 성분에 미치는 영향 및 소형 펠릿기의 육계분 성형 가능성 평가

미국에서 주로 이용되는 대패밥 깔개의 육계분 호기발효물의 일반 조성분(Abdelmawla 등, 1988)과 비교해서 본 실험에서의 왕겨 깔개의 육계분 호기발효물은 건물 함량은 비슷하였고, 조단백질과 조회분 함량은 상당히 낮았으며, 섬유소 성분은 약간 높은 편이었다. 이는 우리나라에서 배출되는 육계분은 미국의 것과 비교해서 화학적 특성이 상의함을 의미한다.

결과적으로 두 번의 시행에 걸쳐서 육계분의 호기발효에 따른 조단백질 및 ADF 성분들의 변화는 일정치 않았으나, 유기물 성분 감소 즉 조회분 성분 증가와 비소화성 단백질 증가 현상은 일정하게 나타나는 편이었다. 조회분 성분 증가는 불용성 회분 성분보

다는 용해성 회분 성분의 증가에 기인하였다 (Table 1). 전반적으로 육계분의 호기발효는 혐기발효 또는 퇴적발효(곽과 노, 1999)와 비교해서 화학적 성분상의 더 큰 변화를 초래하였다.

3. 펠릿 처리에 따른 적정 조건 및 물리·화학적 특성 변화

처음 두 번의 제조 시행에서는 펠릿화를 위한 적정 조건을 탐색하였다. 첫 번째 시행에서는 이용된 펠릿 die의 직경이 7 mm 이하로서 너무 작았고, 공정 중에 원료와 die간의 물리적 마찰로 인한 과부하가 발생되었으

Table 1. Change in chemical composition of broiler litter depending upon composting and pelleting for two trials^{1,2}

Item	Composting			SE
	Pre	Post	Pelleted	
 %			
Trial 1				
Dry matter	72.5 ^a	80.6 ^b	82.9 ^c	0.2
Organic matter	78.5 ^a	76.7 ^{a,b}	75.1 ^b	0.7
Ether extract	0.64 ^a	0.42 ^b	0.41 ^b	0.08
Crude protein	20.2 ^a	18.0 ^b	18.3 ^b	0.3
Acid detergent fiber	34.8	38.6	33.7	0.6
Crude ash	21.5 ^a	23.3 ^{a,b}	24.9 ^b	0.7
pH	7.8 ^a	7.7 ^a	8.1 ^b	0.04
Trial 2				
Dry matter	68.2 ^a	76.7 ^b	82.0 ^c	0.4
Organic matter	81.7 ^a	79.0 ^b	77.1 ^b	0.7
Crude protein	18.2	19.0	19.2	0.5
Neutral detergent fiber	53.1 ^a	47.7 ^b	48.9 ^b	0.7
Acid detergent fiber	37.8 ^a	32.4 ^b	32.9 ^b	0.4
Crude ash	18.3 ^a	21.0 ^b	22.9 ^b	0.7
Soluble ash	11.7 ^a	14.1 ^b	15.5 ^b	0.5
Insoluble ash	6.5	6.9	7.4	0.5

¹ On DM basis.

² Means of 5 observations for each trial.

^{a,b} Means with different superscripts within the same row for each trial differ(P<0.05).

며, 두 번째 시행에서는 펠렛 전 원료의 너무 낮은 함수율(19% 이하)로 인해 회전축이 부러지는 현상이 발생되었다. 세 번째 시행에서는 성공적인 펠렛화가 이루어졌는데 이때 펠렛 die의 적정 직경은 8~18 mm 였고, 원료의 적정 함수율은 20~25% 수준인 것으로 판단되었다. 전반적으로 펠렛 원료의 함수율이 19% 이하에서는 펠렛 die가 막혀버리는 현상이 나타났고, 함수율이 30% 이상으로 높아지면 die 통과는 쉬워지나 성형이 쉬워지는 단점이 있었다. 결과적으로 육계분 호기발효물의 성공적인 펠렛화의 관건은 함수율이었다. 동일한 함수율에서 육계분의 구성 성분인 왕겨는 성형을 어렵게 하고, 생분 성분은 성형을 위한 점착성을 제공하는 것으로 확인되었다. 그리고 펠렛 제조 과정에서 자연적으로 발생하는 순간적 고온, 고압으로 인해 뜨거운 증기가 생겨나며, 이 때 제품의 온도는 74℃ 정도로 매우 뜨겁고, 발생된 고온으로 인해 제품의 2차 미생물 박멸 효과가 수반되는 것으로 예측되었다.

두 번의 시행 공히(Table 1) 육계분 호기발효물과 비교해서 이의 펠렛 처리는 수분을 각각 2.3% 및 5.3% 포인트 증발시킨 것을 제외하고는 일반 조성분 상의 유의한 변화를 초래하지는 않았다. 화분과 목초(Coleman 등, 1978)와 알팔파(Lindahl과 Reynolds, 1959)의 펠렛화 연구에서도 펠렛 처리는 일반 조성분에 별 다른 영향을 미치지 않았다. 그러나 NPN : true protein - N 비율(Fig. 2)은 암모니아성 질소의 휘발에 따라서 유의하게($P < 0.05$) 감소하였고, ADF - CP 성분(Fig. 2)은 뚜렷이($P < 0.05$) 증가하였다. ADF - CP 성분의 증가는 펠렛 처리 시의 고온에 의해 영향을 받은 것으로 사료되었다.

결과적으로 펠렛 처리는 육계분 단일 발효물의 밀도(중량/부피)를 3배정도 증가시켰고,

공정간의 화학적 성분상의 변화는 거의 초래하지 않았다. 그리고 적정 함수율과 적정 die 직경 등의 조건하에서 육계분의 소형 펠렛기를 이용한 성형이 이루어질 수 있으나 적정 함수율을 인위적으로 맞추기가 쉽지 않기 때문에 성형 보조제의 이용이 고려되어 진다.

적 요

본 연구는 호기발효 및 펠렛 처리에 따른 육계분 단일물의 발효온도 및 물리화학적 성분 변화를 구명하고, 육계분 단일 발효물 펠렛 처리 시 경제적인 소형 펠렛기의 이용 가능성을 평가하고자 실시되었다. 육계분의 호기발효 시 발효온도는 발효 4일째에 최고 68℃에 달한 다음 이 후 서서히 떨어졌다. 육계분의 호기발효 처리는 화학적 성분 중 특히 유기물 성분을 감소시키고, 비소화성 단백질 성분(ADF - CP)을 증가시켰다. 소형 펠렛기 이용 시 육계분 단일 발효물의 성공적인 펠렛화를 위한 펠렛 die의 적정 직경은 8~18 mm 였고, 펠렛 전 원료의 적정 함수율은 20~25% 수준이었다. 펠렛 처리는 육계분 단일 발효물의 밀도(중량/부피)를 3배정도 증가시켰고, 수분을 유의하게 증발시켰으며, 일반 조성분의 유의한 변화를 초래하지는 않았고, 특히 비소화성 단백질 성분은 증가시켰다. 본 연구 결과는 육계분 단일물은 호기발효와 펠렛화를 통하여 영양성과 실용성이 높은 가축용 사료로 전환될 수 있음을 시사한다.

사 사

본 연구의 화학 분석을 도운 건국대학교 폐자원사료화 실험실의 강준석군, 김영일군과 김원경양에게 특별히 감사를 드린다.

인 용 문 헌

1. Abdelmawla, S. M., J. P. Fontenot and M. A. El-Ashry. 1988. Composted, deep-stacked, and ensiled broiler litter in sheep diets : Chemical composition and nutritive value study. Va. Polytech. Inst. & State Univ. Anim. Sci. Res. Rep. No. 7:127-132.
2. Anderson, S. J., J. K. Merrill, M. L. McDonnell and T. J. Klopfenstein. 1988. Digestibility and utilization of mechanically processed soybean hulls by lambs and steers. J. Anim. Sci. 66:2965-2976.
3. Anonymous. 1976. Compost: From waste to resource. Agricultural research, pp 7-11.
4. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C., USA.
5. Brosh, A, Z. Holzer, Y. Aharoni and D. Levy. 1993. Intake, rumen volume, retention time and digestibility of diets based on poultry litter and wheat straw in beef cows before and after calving. J. Agric. Sci. 121:103-109.
6. CAST. 1978. Feeding Animal Waste. Report No. 75. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, IA, USA.
7. Caswell, L. F., J. P. Fontenot and K. E. Jr. Webb. 1978. Fermentation and utilization of broiler litter ensiled at different moisture levels. J. Anim. Sci. 46:547-561.
8. Chester-Jones, H. and J. P. Fontenot. 1981. Growing cattle fed differing levels of ensiled and deep stacked broiler litter. Va. Agric. Exp. Sta. Anim. Sci. Res. Rep. No. 1:178-182.
9. Coleman, S. W., O. Neri-Flores, R. J. Jr. Allen and J. E. Moore. 1978. Effect of pelleting and of forage maturity on quality of two sub-tropical forage grasses. J. Anim. Sci. 46(4):1103-1112.
10. Evans, E., E. T. Jr. Moran and J. P. Walker. 1978. Laying hen excreta as a ruminant feedstuff. I. Influence of practical extremes in diet, waste management procedure and storage of production on composition. J. Anim. Sci. 46:520-526.
11. Fannesbeck, P. V., J. L. Christiansen and L. E. Harris. 1981. Factors affecting digestibility of nutrients by sheep. J. Anim. Sci. 52(2):363-376.
12. Kwak, Wansup, Fontenot, Joseph P. and Herbein, Joseph H. 1998. Effect of processing method on ruminal solubility and degradability of broiler litter. Bioresource Technology 66:13-18.
13. Kwak, W. S., S. C. Roh and J. M. Park. 2000. Feeding of poultry wastes to cattle in Korea. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13 (Suppl.):175-177.
14. Lindahl, I. L. and P. J. Reynolds. 1959. Effect of pelleting on the chemical composition and digestibility of alfalfa meal. 18(3):1074-1079.
15. Naber, E. C. 1988. Poultry waste utilization and management in Europe. Proc. Nat. Poult. Waste Manage. Symp. pp. 19-25. The Ohio State Univ. Columbus, USA.
16. Rankins, D. L. 1995. Processing options for broiler litter. Feed Mix 3(1):8-11.
17. Statistix7. 2000. User's Manual. Analytical Software, Tallahassee, FL, USA.
18. Sweeten, J. M. 1988. Composting manure and sludge. In: Proc. Nat. Poult. Waste Manage. Symp. pp. 38-44. The Ohio State Univ., Columbus, USA.
19. Van Soest, P. J. 1987. Nitrogen meta-

- bolism. In *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, New York, pp. 230-248.
20. Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
21. 고영두, 안병관. 1987. 옥수수 - 계분 silage 제조시험 I. Silage 발효의 화학적, 미생물적 특성. *한축지* 29(11):501-508.
22. 고영두, 안병관. 1988. 옥수수 - 계분 silage 제조시험 II. Silage의 소화율 및 기호성. *한축지* 30(2):98-102.
23. 곽완섭, 박종문. 1999. 사료용 선별 육계분의 혐기발효시 보리 부산물 첨가가 발효물의 물리·화학적 및 발효 성상에 미치는 영향. *한국낙농학회지* 21(4):263-268.
24. 곽완섭, 허정원, 정동관. 1999. 현장규모로 제조된 육계분 발효사료의 일반적 특성 및 위생적 안전성 평가. *한국낙농학회지* 21(4):269-278.
25. 곽완섭, 노순창. 1999. 육계분 발효사료의 영양적 특성 및 펠렛화 가능성 평가. *건국대학교 자연과학연구지* 10(2):125-130.