

돈분 퇴비화 중 공기 공급량에 따른 질소거동 특성

이동현, 김현종, 김종곤*
농촌진흥청 국립축산과학원

Characteristics of Nitrogen Transformation as Aeration Rate in Swine Manure Composting

Dong-Hyun Lee, Hyunjong Kim, Jung-Kon Kim*
National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

요약 본 연구에서는 현장규모의 돈분 퇴비화 과정 중에 공기공급량에 따라 퇴비 내에 있는 질소성분의 변화를 알아보고자 하였다. 공기공급을 하지 않은 Ref. 대조구, T1 처리구에는 100L/m³·min, T2에는 150L/m³·min 공기를 공급하였으며 시험 기간은 총 8주로 구성하였다. 공기공급을 실시한 T1, T2 처리구의 질소농도가 Ref. 대조구에 비해 상대적으로 TKN 함량이 높았다. 다만, 공기공급량을 다르게 하여도 처리구간 질산태 질소는 유의차가 존재하지 않았으며, 송풍하지 않은 Ref. 대조구의 암모니아태 질소 함량이 더 높은 것으로 나타났다. 공기공급을 실시한 T1, T2 처리구간에 온도를 제외한 전 분석항목(pH, C/N 비, TKN, 암모니아태 질소, 질산태 질소)에서 유의차는 존재하지 않았다. 이를 통해 본 연구에서는 송풍을 실시한 퇴비화 방법이 축산농가에서 실시하고 있는 관행적인 방법(무송풍)에 비해 질소함량(TKN)이 높고 부숙도가 높은 퇴비가 만들어진다는 것을 알 수 있었다. 또한, 축산현장에서 퇴비화를 실시할 때 표준설계도 해설서에 따라 적정 송풍량을 관행적으로 150L/m³·min로 설정하였으나, 산업적 이용이 아닌 농가 규모에서는 송풍량을 적게 설정하여도 퇴비의 품질을 중요한 요소 중 하나인 질소 함량에 영향이 없는 것으로 판단된다.

Abstract This study examined the change in nitrogen content in compost according to the amount of air supplied during a field-scale, approximately 5m³, pig manure composting process. Air was supplied as zero to the control group, 100L/m³·min to the T1 treatment group, and 150L/m³·min air to T2 the experiment period consisted of eight weeks. The TKN concentration of the T1 and T2 groups to which air was supplied was relatively higher than that of the control group. On the other hand, there was no significant difference in nitrate nitrogen in the treatment section, even when the air supply amount was varied. The ammonia nitrogen content of the non-ventilated control group was higher. There was no significant difference in the analysis items (pH, C/N ratio, TKN, ammonia nitrogen, and nitrate nitrogen) except for temperature in the T1 and T2 treatment sections where air was supplied. Through this, the composting method with aeration produced compost with a higher nitrogen content (TKN) and a higher degree of maturity compared to the conventional method (without aeration) carried out by livestock farms. In addition, when composting at livestock sites, the proper airflow volume was customarily set to 150L/m³·min according to the Korean standard design. Therefore, the nitrogen content, which is one of the critical factors for compost quality, is unaffected even if the airflow is set to a small amount on a farm scale, not for industrial use.

Keywords : Swine Manure, Composting, Nitrogen Transformation, Maturity Degree, Aeration

본 논문은 농촌진흥청 연구연구사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Jung-Kon Kim(National Institute of Animal Science)

email: kjk9207@korea.kr

Received June 19, 2023

Revised July 14, 2023

Accepted September 1, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

퇴비화 방법은 가축의 사육으로 인해 발생하는 분뇨를 가장 효과적이고 경제적으로 처리할 수 있는 방법이다. 그러나 부적절하게 관리하여 가축분뇨가 수계, 토양 등으로 환원되면 환경을 오염시키는 원인이 될 수 있다. 특히 양돈의 경우는 사육농가수가 크게 줄어든 반면 전체 사육두수는 오히려 늘고 있다. 이는 농가 호당 사육규모가 크게 증가하였음을 의미하며 분뇨처리도 고도화되어야 한다는 것을 의미한다.

가축분뇨를 퇴비화하게 되면 영양분 안정화, 병원균과 잡초 종자의 사멸, 토양의 보수력 향상 등의 효과가 있다. 또한, 퇴비를 토양에 사용하면 토양 중 유기물 함량, 수분과 영양분 보유 능력을 증가시키고, 토양 침식을 줄이며, 토양에 다량의 영양소를 공급한다. 가축이 배설한 분뇨에는 질소, 인산, 칼리 성분이 포함되어 있어 적절하게 처리하면 화학비료를 대체할 수 있는 유용한 자원이 될 수 있다[1,2]. 이 중 질소는 식물의 생장에 필요한 필수요소로 퇴비화 과정 중 유기물이 분해됨에 따라 발생하는 질소 중 암모니아태 질소(NH_4^+)는 암모니아(NH_3) 형태로 휘산되어 축사 주변에 악취를 유발하며 공기 중의 황화합물과 만나 PM2.5 미세먼지인 황산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)을 생성하게 된다[3]. 또한 암모니아태 질소는 질산화 작용(Nitrification)을 통해 질산태 질소(NO_3^-)의 형태로 바뀌게 되는데, 질산태 질소는 퇴비 내 박테리아에 의해 아산화질소(N_2O)와 질소(N_2)로 대기 중으로 휘산되는데 이 중 아산화질소는 이산화탄소보다 296배 강력한 온실효과가 있는 물질로 보고된 바 있다[4].

본 연구에서는 축사 현장에서 실제로 이용되고 있는 규모(약 5m^3)의 돈분 퇴비화 과정에서 공기공급을 하지 않는 기존방법 대비 공기공급량에 따라 퇴비 내에 있는 질소성분(켈달 질소, 암모니아태 질소, 질산태 질소)이 어떻게 변하는지 알아보고자 하였으며, 기존 단순퇴적식 퇴비화 방법과 퇴비단 하단에 공기공급량을 조절하며 산소를 공급하면서 퇴비화하는 과정에 따라 질소성분이 어떻게 변하는지에 대한 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1 퇴비단 조성

돈분의 퇴비화시 질소거동 특성을 분석하기 위하여 돈분과 톱밥을 2:1로 고르게 혼합한 후 Fig. 1와 같이 3개

의 퇴비단을 조성하였다. 각각의 퇴비단의 적재 용량은 약 5m^3 이다. 퇴비단 Ref.는 대조구이며 공기를 공급하지 않은 단순퇴적식 퇴비단이다. 퇴비단 T1, T2는 시험구이며 퇴적송풍식 퇴비단이다. 공기를 공급하는 시험구 T1, T2의 퇴비단 중앙에는 20L 버킷에 5mm 드릴로 뚫면, 옆면에 약 100여개의 구멍을 뚫은 후 얹어 놓았다. 공기 공급을 위해 버킷에 연결된 관에 링브로워(Blower)를 연결하여 공기를 주입하였다. 시험 기간은 총 8주로 구성하였으며 T1에는 $100\text{L}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$, T2에는 $150\text{L}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ 의 공기를 퇴비단 조성 직후부터 송풍해주며 부숙을 4주간 실시하였다. 4주 후에는 송풍을 멈추고 후숙하는 기간으로 설정하였다.



Fig. 1. piles of swine manure for experiment

2.2 온도 측정 및 퇴비 샘플채취

퇴비화 과정 중 온도의 변화는 퇴비화의 정도를 판단하는 중요한 요소로 사용된다. 본 연구에서도 퇴비화 전 과정의 퇴비단 온도 변화를 측정하기 위하여 온도센서를 설치하였다. 온도 센서는 퇴비단의 표면으로부터 약 40cm 깊이에 설치하였다. 온도센서는 TMC6-HD(측정 범위 : $-4\sim 100^\circ\text{C}$, USA)를 사용하였으며 데이터로거는 HOBO temp/RH/2 ext channels을 사용하였다. 온도

Table 1. Properties of the sawdust and swine manure

| | Sawdust | Swine manure |
|---------------------|---------|--------------|
| Moisture content(%) | 18.7 | 69.1 |
| Organic matter(%) | 72.2 | 27.4 |
| pH | 5.13 | 7.9 |
| C/N ratio | 528 | 33 |
| Total nitrogen(%) | 0.087 | 1.285 |

센서에서 측정된 온도는 데이터로거에 매 30분 간격으로 기록하였다. 또한 퇴비화 과정 중 돈분의 물리적, 화학적 변화를 분석하기 위하여 매주 간격으로 퇴비의 샘플을 채취하였다. 지상으로부터 약 50cm 위 쪽에 있는 퇴비의 표면을 5cm 정도 파낸 다음 3곳에서 퇴비를 시료를 채취하였다.

2.3 분석항목

퇴비화 시간 경과에 따른 퇴비의 물리적, 화학적 특성 조사를 위하여 온도, pH, C/N 비, TKN(Total Kheldal Nitrogen), 암모니아태 질소, 질산태 질소, 종자발아지수(Germination index)를 분석하였다. 농촌진흥청의 '비료의 품질검사 및 시료채취기준', '농업과학기술 연구 조사 분석기준'에 준하여 분석하였다.

2.4 통계분석

처리구별로 유의성을 분석하기 위하여 One-Way ANOVA를 이용하여 유의성을 검증하였으며, 처리구간의 유의차를 확인하기 위한 사후검정으로 Games-Howell Post-Hoc Test를 실시하였다. 유의차 분석에 사용된 프로그램은 R package(version 4.30)이다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 온도

퇴비화는 유기성 폐기물을 호기적 방법으로 분해하는 것이며, 퇴비화 과정동안 미생물이 산소를 소비하며 유기물을 분해하면서 열, CO₂, 수분 등을 방출한다[5]. 온도 상승은 가축분뇨의 퇴비화 중 미생물의 유기물 분해에 의해 발생하고 퇴비화 과정을 가장 잘 나타내는 지표이며, 최적의 퇴비화 온도는 50~55℃라고 하였다[6]. 대조구의 경우 퇴비단 조성 직후부터 약 10일간 온도 상승 기울기가 크게 나타났으며 그 이후 28일까지 60~65℃의 온도가 지속적으로 유지되었다. T1 시험구의 경우 퇴비단 조성 직후부터 온도가 급격하게 상승하여 최고온도 약 75℃에 도달한 후, 60℃ 이상의 온도가 8일 정도 유지되다가 점차 온도가 하강하여 28일에는 외기온도 보다 약간 높은 수준을 보였다(Fig. 2). T2 시험구의 경우는 T1 시험구에 비해서 최고 도달 온도가 약 67℃로 약간 낮았으며, 60℃ 이상 온도의 지속기간도 약 6일 정도로 T1에 비해 다소 짧았다. 또한 최고 온도 도달 후 온도 강하가 빠르게

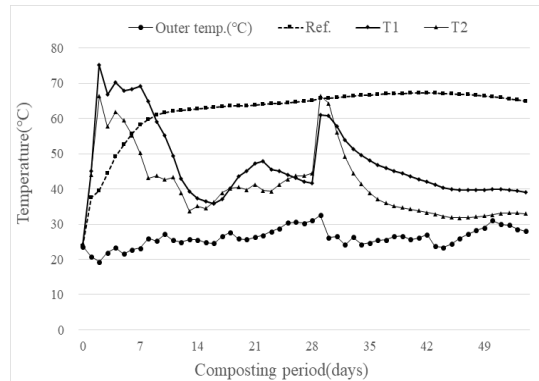


Fig. 2. variation in temperature of composting piles during composting with the mixture of swine manure and saw dust

발생하는 것으로 나타났다. 그 이후 외기온도보다 약 10~15℃ 높은 상태로 외기온도의 변화 패턴에 따라 온도가 변화하면서 유지되었다. 하지만 4주가 경과하고 공기 공급을 중단한 후에 T1과 T2에서 급격한 온도 상승이 일어났으며, 시간이 지남에 따라 크게 낮아져 7주 경과 후에는 외기온도보다 약간 높은 상태로 유지되었다. T1과 T2 시험구에서 퇴비단의 온도가 발효 시작 직후 급속하게 상승한 것은 퇴비단에 공기를 공급함으로 인해 퇴비단 속 미생물의 활성이 급속히 늘어났기 때문으로 판단되었다. 효과적인 퇴비화를 위해서 55~60℃의 온도가 3일 정도 유지되어야 한다고 하였다[5]. 퇴비화는 호기성 미생물에 의해 발생하는 자체 발열과 부숙과정 시 중온성 및 고온성균의 활성화 온도를 60℃ 나누며 온도상승 단계, 고온 단계 및 안정화 단계의 3단계로 구분된다. 퇴비화 기간 중 일일평균 온도에서 전일 평균 온도를 뺀 온도차를 보면 송풍을 한 시험구에서 퇴비화 초기에는 일간 평균 온도변화가 크다가 퇴비화 후반으로 갈수록 작아지는 것으로 나타났으나, 송풍을 하지 않은 대조구에서는 일간 평균 온도변화가 매우 작은 것으로 나타났다.

3.2 pH

퇴비화 기간 중 pH는 퇴비화 초기에는 유기산 생성 때문에 감소한다. 이후 퇴비화가 본격적으로 진행되면 암모니아(NH₃)의 생성으로 pH가 증가하다가 일정기간 경과 후 퇴비화 안정기에 도달하면 7~8정도로 유지된다고 하였다. 단백질의 탈 아미노화는 암모니아 때문에 pH를 급격하게 상승시키며, 반대로 탄수화물과 지질의 분해동안 유기산의 생성은 pH를 감소하게 한다[9]. Fig. 3은 양돈 분뇨 퇴비화 과정 중의 퇴비단 pH 변화를 나타낸 것이다.

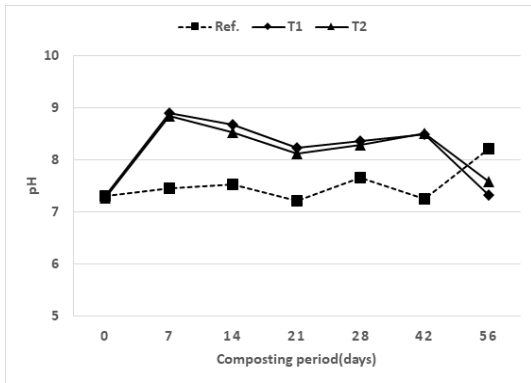


Fig. 3. variation in pH of composting piles during composting with the mixture of swine manure and sawdust

시험구 T1과 T2는 퇴비화 개시 후 첫 주째 되는 시점에 pH가 약 9까지 상승하였다가 낮아지기 시작하여 21일 이후에 안정화되는 것으로 나타났으며, 송풍을 하지 않은 Ref. 대조구의 경우 시험 개시후 56일째를 제외하고 pH가 7.2~7.6을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 pH가 7.5 이상이 되면 퇴비 내 암모니아의 휘산이 증가하기 때문에 암모니아태 질소 농도를 나타낸 Fig. 5c에서와 같이 pH가 8.2~8.9 인 T1과 T2 처리구보다 암모니아태 질소의 휘산이 상대적으로 적게 일어난 것으로 나타났다[7].

3.3 C/N 비

C/N 비가 20:1보다 낮으면 탄소원의 최대이용으로 인해 암모니아와 다른 악취를 유발시키며, C/N 비가 40:1을 초과하면 질소원 부족으로 유기물의 퇴비화가 지연된다. 탄소는 퇴비화 과정에서 미생물의 유기물 분해를 위한 에너지원으로 이용되며, 질소는 미생물의 생장에 필요한 단백질 합성을 위해 필요하다. C/N 비는 최종 산물의 특성뿐 아니라 퇴비화 과정에 영향을 주는 중요한 요인이며, 퇴비화를 위한 최적의 C/N 비는 25~30:1 이라고 하였다[8]. Fig. 4는 퇴비화 과정 중 C/N 비 변화를 나타낸 것이다. 퇴비화 시작시 C/N율은 Ref. 대조구가 34이었으며, T1 시험구는 32, T2 시험구는 28로 퇴비화가 진행되면서 일부 시점에서 C/N 비가 약간 증가한 경향이 있었으나 Ref. 대조구와 처리구 모두 퇴비화 초기에 비해서 낮아지는 경향을 보였다. 대조구와 처리구들간의 유의차가 있는 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 이는 퇴비화가 진행됨에 따라 C/N 비는 감소하게 되지만 송풍을 실시한 처리구 T1, T2에 비해 Ref. 대조구에서의 C/N 비가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 그 이유

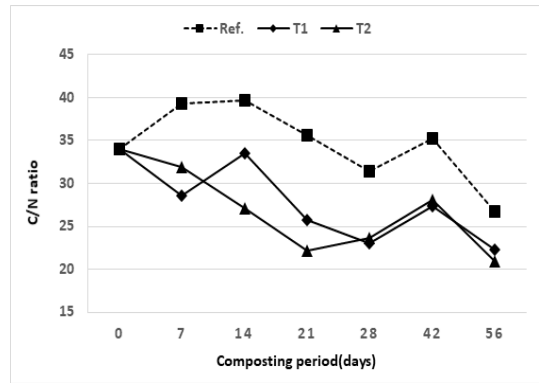


Fig. 4. variation in C/N ratio of composting piles during composting with the mixture of swine manure and sawdust

로는 위에서 언급되었던 온도 및 pH 농도변화와 함께 미루어볼 때 다른 시험구에 비해 퇴비화가 늦게 일어나기 때문인 것으로 판단되어진다[9].

3.4 질소거동

식물은 토양으로부터 질산태(NO_3^-) 질소의 형태로 질소를 흡수한다. 경작 토양에서는 암모니아태(NH_4^+) 질소 비료를 시비하더라도 토양 내 질산화 박테리아에 의해 NO_3^- 형태로 바뀌어서 토양 용액에 녹아있다. NH_4^+ 가 NH_3 로 전환되는 비율은 주로 온도, pH 및 NH_4^+ 의 농도에 영향을 받는다. 대부분의 NH_3 손실은 퇴비화 과정 중 pH와 온도가 높은 초기에 발생한다. 호기성 퇴비화시 NH_4^+ 는 NO_2^- 로 산화되고, 이어서 NO_3^- 로 산화된 뒤에는 안정화된 상태로 유지된다[10].

Fig. 5a는 퇴비화 기간에 따른 TKN 함량 변화를 나타낸 것이다. Ref. 대조구의 경우에는 퇴비화 기간동안 1.1~1.3% 수준을 유지한 것으로 나타났으며, T1, T2 시험구의 경우, 초기에 농도가 점점 상승하여 퇴비화 개시 후 21일에 1.9%로 가장 높은 TKN 함량을 보였으며, 그 이후에는 점차 줄어드는 것으로 경향을 보였다. 이는 수분의 감소로 인해 생기는 집적효과(Concentration effect)에 기인한 것으로 보인다[7].

Fig. 5b는 퇴비화 기간에 따른 질산태 질소의 변화를 나타낸 것이다. 3개 시험구 모두 시험 개시 14일째부터 증가하는 경향을 보였으며 시험구들간의 유의차는 존재하지 않았으나, 시험이 종료된 56일째 Ref., T1, T2 시험구의 질산태 질소의 농도는 각 515, 585, 579mg/L이었으며 퇴비단에 송풍을 하지 않은 Ref. 대조구에서의 질산태 질소의 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

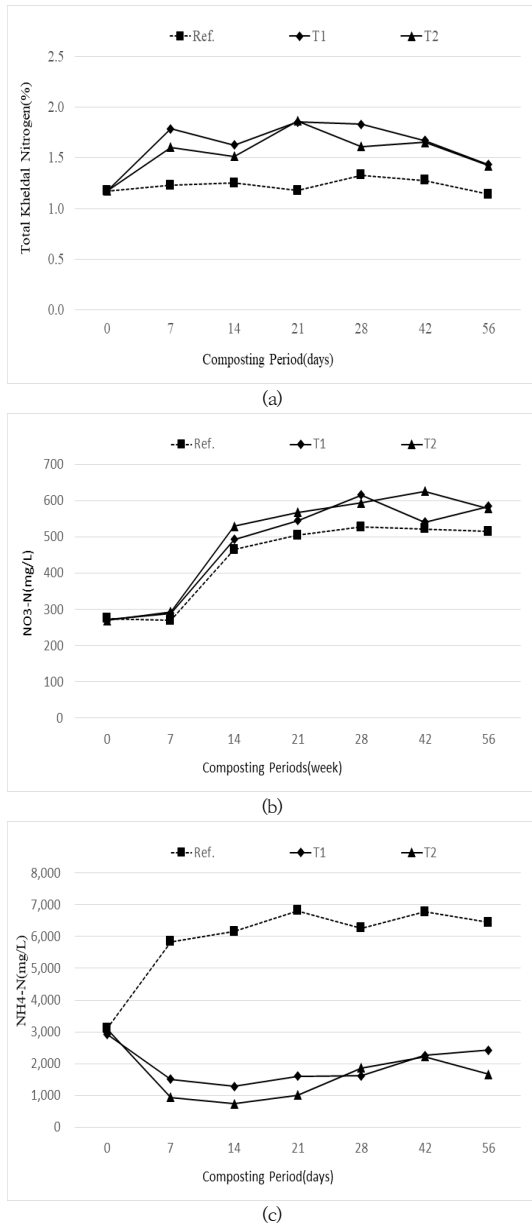


Fig. 5. variation in nitrogen of composting piles during composting with the mixture of swine manure and sawdust
 (a) Total kheldal nitrogen (b) Nitrate nitrogen, (c) Ammonial nitrogen

Fig. 5c는 퇴비화 기간에 따른 암모니아태 질소의 변화를 나타낸 것이다. Ref. 대조구의 퇴비화초기 암모니아태 질소는 퇴비화가 진행됨에 따라 급격하게 증가하여 21일에는 6,800mg/L까지 상승한 후 시험을 종료한 56일에는 6,450mg/L로 약간 낮아지는 경향을 보였다. T1,

T2 시험구의 경우는 대조구와 반대로 퇴비화 개시 14일 후에 각 1,286, 733mg/L까지 낮아졌으며 이후 서서히 증가하여 시험 종료시점인 56일에는 각 2,422, 1,665mg/L로 나타났다.

3.5 종자발아지수

퇴비화 시험을 완료한 56일째에 퇴비의 품질을 알아보기 위해 검사를 실시하였다. 종자발아지수는 Ref. 대조구는 2, 송풍을 실시한 T1과 T2는 각 114, 99로 나타났다. 종자발아지수가 70 이상이면 완전히 부숙된 것으로 판정하기 때문에 송풍을 실시한 T1, T2 처리구는 공기공급이 되지 않은 Ref. 대조구에 비해 높은 품질의 퇴비가 되었다고 판단할 수 있다. 종자발아지수에 영향을 미치는 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있지만 그 중 NH_4^+ 의 영향을 많이 받기 때문에 Fig. 5에서와 같이 Ref. 대조구의 NH_4^+ 농도는 시험이 종료된 시점에도 감소되지 않고 고농도로 유지된 결과로 미루어 퇴비의 종자발아지수가 다른 시험구에 비해 높지 않았던 것으로 사료된다[11].

Table 2. Result of measuring maturity at the final phase of experiment

| | Ref. | T1 | T2 |
|-----------------|------|-----|----|
| Final (56 days) | 2 | 114 | 99 |

4. 결론

본 연구는 돼지를 사육하는 축산농가 내 퇴비장에서 수행되는 실제 규모(약 5m³)의 돈분을 퇴비화 시킬 때 공기공급량이 퇴비터미 내 질소에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 실험으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 공기공급을 실시한 T1, T2 처리구의 질소농도가 Ref. 대조구에 비해 상대적으로 TKN 함량이 높았다. 다만, 공기공급량을 다르게 하여도 처리구 간 질산태 질소는 유의차가 존재하지 않았으며, 송풍하지 않은 Ref. 대조구의 암모니아태 질소 함량이 더 높은 것으로 나타났다.
- (2) 공기공급을 실시한 T1, T2 처리구간에 온도를 제외한 전 분석항목(pH, C/N 비, TKN, 암모니아태 질소, 질산태 질소)에서 유의차는 존재하지 않았다.

이를 통해 본 연구에서는 송풍을 실시한 퇴비화 방법이 축산농가에서 실시하고 있는 관행적인 방법(무송풍)에 비해 질소함량(TKN)이 높고 부숙도가 높은 퇴비가 만들어진다는 것을 알 수 있었다. 또한, 축산현장에서 퇴비화를 실시할 때 표준설계도 해설서에 따라 적정 송풍량을 관행적으로 150L/m³·min로 설정하였으나, 산업적 이용이 아닌 농가 규모에서는 송풍량을 100L/m³·min로 설정하여도 퇴비의 품질을 중요한 요소 중 하나인 질소 함량에 영향이 없는 것으로 판단된다[12]. 더 나아가 퇴비화 공정 중에 휘산되는 암모니아(NH₃) 및 아산화질소(N₂O)의 함량을 측정하여 질소의 전체적인 물질수지(Mass balance)를 산정할 수 있는 연구가 추가적으로 수행되어야 한다고 생각된다.

References

- [1] K. H. Jeong, J. K. Kim, M. A. Khan, D. W. Han, J. H. Kwag, "A Study on the Characteristics of Livestock Manure Treatment Facility in Korea", Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association, Vol. 22, No. 4, pp. 28-44, Dec. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.17137/Korrae.2014.22.4.028>
- [2] Y. S. Kim, T. S. Lee, S. H. Cho, J. Y. Jeong, J. Y. An, J. J. Lee, J. H. Hong, "Plant Growth Responses and Characteristics of Composting of Poultry Manure with Peatmoss and Cocopeat as Bulking Agent", Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, Vol. 25, No. 1, pp. 79-86, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.17137/KORRAE.2017.25.1.79>
- [3] S. C. Viney P. Aneja, Jessica Blunden, Kristen James, William H. Schlesinger, Raymond Knighton, Wendell Gilliam, Greg Jennings, Dev Niyogi, "Ammonia Assessment from Agriculture: U.S. Status and Needs", Journal of Environmental Quality, Vol. 37, No. 2, pp. 515-520, Mar. 2008.
DOI: <https://doi.org/10.2134/ieq2007.0002in>
- [4] D. W. Shin, H. S. Joo, E. Seo, C. Y. Kim, "Management strategies to reduce PM-2.5 emission: emphasis-ammonia. Ministry of Environment, Korea, 2017, 1-89.
- [5] K. R. Atalia, D.M. Buha, K. A. Bhavsar, N. K. Shah, "A review on composting of municipal solid waste", Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, Vol. 9, No. 5, pp. 20-29, May 2015.
- [6] M. A. Bustamante, C. Paredes, F. C. Marhuenda-Egea, A. Pérez-Espinosa, M. P. Bernal, R. Moral, "Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability", Chemosphere, Vol. 72, No. 4, pp. 551-557, Jun. 2008.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.030>
- [7] M. P. Bernal, J. A. Albuquerque, R. Moral, "Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review", Bioresource Technology, Vol. 100, No. 22, pp. 5444-5453, Nov. 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- [8] M. Kumar, Y. L. Ou, J. G. Lin, "Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio", Waste Management, Vol. 30, No. 4, pp. 602-609, Apr. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023>
- [9] W.-K. Wang, C.-M. Liang, "Enhancing the compost maturation of swine manure and rice straw by applying bioaugmentation", Scientific Reports, Vol. 11, No. 1, pp. 6103, Dec. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85615-6>
- [10] X. Hao, Mônica B. Benke, "Nitrogen Transformation and Losses during Composting and Mitigation Strategies", Dynamic Soil, Dynamic Plant, Vol. 2, No. 1, pp. 10-18, Nov. 2008.
- [11] Y. Yang, G. Wang, G. Li, R. Ma, Y. Kong, J. Yuan, "Selection of sensitive seeds for evaluation of compost maturity with the seed germination index", Waste Management, Vol. 136, No. 1, pp. 238-243, Dec. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.037>
- [12] Ministry of Environment, Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, NongHyup, "Guidebook of standard design drawings for construction of livestock manure recycling facilities", Ministry of Environment, Korea, 2009, 54-60.

이 동 현(Dong-Hyun Lee)

[정회원]



- 2015년 8월 : 충남대학교 낙농학과 석사 (농학석사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 국립축산과학원 축산환경과 연구사

<관심분야>

축산환경, 가축분뇨

김 현 종(Hyunjong Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 서울대학원 동물자원과학과 (축산학석사)
- 2000년 2월 : 서울대학교 서울대학원 동물자원과학과 (농학박사)
- 1998년 2월 ~ 현재 : 국립축산과학원 연구직 (연구사, 연구관)

<관심분야>

가축번식학, 축산 스마트팜, 가축분뇨 자원화

김 중 곤(Jung-Kon Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 조선대학교 생물신소재학과 (환경미생물학, 공학박사)
- 2008년 10월 ~ 2009년 10월 : Iowa State University (Post-doc.)
- 2009년 11월 ~ 2012년 12월 : 농촌진흥청 국립식량과학원 (Post-doc.)
- 2013년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과 농업 연구사

<관심분야>

가축분뇨처리, 바이오에너지