

## 우사의 깔짚과 퇴비에 있는 질소와 인의 형태적 변화와 저감 방안에 관한 연구

김연정 · 유건상<sup>†,\*</sup>

안동대학교 공동실험실습관

<sup>†</sup>안동대학교 응용화학과

(접수 2021. 4. 28; 게재확정 2021. 5. 13)

### Study on the Morphological Change and Reduction Plan of Nitrogen and Phosphorous in Litter and Manure of Cow House

Younjung Kim and Keon Sang Ryo<sup>†,\*</sup>

Center for Instrumental Analysis, Andong National University, Andong 36729, Korea.

<sup>†</sup>Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 36729, Korea.

\*E-mail: ksr@andong.ac.kr

(Received April 28, 2021; Accepted May 13, 2021)

**요 약.** 안동에 있는 한 가축 농가의 우사에서 깔짚과 퇴비를 채취하였다. 이들 시료로부터 질소(N)와 인(P)의 성상의 변화를 조사하고 이들을 유용하고 현실적으로 제거할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 시료의 조성 및 그 함량은 X-선 형광 분석기(XRF)로 확인하였다. 시료에서 용출되어 나오는 아질산성질소( $\text{NO}_2^-$ ), 질산성 질소( $\text{NO}_3^-$ ), 인산이온( $\text{PO}_4^{3-}$ )들은 이온 크로마토그래프로, 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+$ ), 총인(T-P), 총질소(T-N)는 자외선/가시광선 분광기를 이용하여 분석하였다. 연구의 결과로서, 소의 배설물 초기 상태에 있는 암모니아성 질소는 pH를 상승시켜 바로 휘발시킬 수 있는 암모니아 가스 상태로 만들 필요성이 있다. 녹조류 증식의 주요 영양원인 질소와 인은 퇴비의 발효를 촉진시킨 후 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)을 첨가하여 인은 인산칼슘( $\text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), 질소는 스트루바이트( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 형태의 난용성염을 생성 시킴으로서 제거 할 수 있다.

**주제어:** 질소, 인, 깔짚, 퇴비, 스트루바이트

**ABSTRACT.** Litter and manure were obtained at a cow house of a livestock farm in Andong city. We examined the change of formation of nitrogen and phosphorous from these samples and tried to suggest a more useful and realistic way for removing them. Constituent and its content of sample were identified by XRF.  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{PO}_4^{3-}$  ions and  $\text{NH}_4^+$ , T-P and T-N released from sample were analyzed using ion chromatograph and UV/Vis spectrometry, respectively. As the results of this study, the ammonia nitrogen in the early stage of cow excretion is a need to make an ammonia gas state that can be immediately volatile by increasing the pH. Nitrogen and phosphorous, the main source of nutrition in green algal bloom can be removed by transforming insoluble salts such as calcium phosphate ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) and struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), respectively, with addition of Ca and Mg after stimulating fermentation of manure.

**Key words:** N, P, Litter, Manure, Struvite

## 서 론

축산업은 생명산업이자 식량 주권의 최일선에 있는 산업으로서 우리나라의 축산업은 1980년대를 기점으로 하여 매우 빠른 속도로 발전하여 왔다. 2016년도 환경부 자료에 의하면 전국 농가에서 소는 대략 300만 마리가 사육되고 있으며 소에서 발생하는 분뇨가 하루에 130만 톤에 이르고 있다.<sup>1</sup> 우리나라 축산업의 문제점은 좁은 농경지와 초지 부족에 따라 가축 농장을 운영하기에는 어려움이

있으며 부적절한 가축분뇨처리와 배출에 따라 수질오염, 악취 등을 야기하고 있어 지역주민의 행정 민원이 증가하고 있는 상황이다.<sup>2</sup> 가축 분뇨에는 질소, 인, 박테리아 및 유기물 등과 같은 성분이 함유되어 있어 과잉 배출되거나 환경부하 기준치를 초과하면 환경문제(악취와 수질, 토양, 대기오염 등)가 발생하게 되고, 인체와 자연 생태계에도 부정적 영향을 미치게 된다. 특히 논이나 밭에 살포한 가축분뇨의 퇴·액비 이용이 토양이나 하천 등의 녹조류 발생의 주요염원으로 인식되기 시작함에 따라 가축분뇨법

개정 등 환경규제가 지속적으로 강화되고 있다.<sup>3,4</sup>

소의 배설물은 배설단계에서 1~3개월간 우사 바닥에서 정체 후 1개월 이상 발효과정을 거쳐 퇴비로 반출된다.<sup>5</sup> 이 과정에서 녹조의 원인이 되는 질소와 인의 형태적 변화가 일어난다. 우분은 섬유질을 주성분으로 하는 배설물로서 소화과정을 거치는 과정에서 질소는 유기성 질소와 암모니아성 질소 형태로 배출되고, 인은 유기성인과 인산염형태로 배출된다. 소화과정에서 이와 같은 성상 변화는 공기 중에 배설되었을 때 수분이 증발되고, 공기와 접촉되는 과정에서 자연 산화 또는 호기성 미생물에 의해 질소와 인의 성상이 변화한다. 또한, 수분이 증발되지 않은 상태에서는 혐기성 미생물에 의해 부패가 진행되는 과정에서도 질소와 인의 성상이 변화된다.<sup>6-9</sup>

본 연구는 배설물이 시간의 경과에 따라 발효가 진행되면서 다양한 성상의 질소와 인이 생성되므로 이들의 성상 변화 과정들을 정확히 분석하고, 질소와 인을 난용성으로 고정화시킬 수 있는 성상이 어떤 구조일 때 적합한지 조사하였다. 또한, 우분의 배설단계에서부터 호기성 또는 혐기성 과정으로 진행되는 동안 자연적으로 질소를 대기중으로 휘발시켜 저감시킬 수 있는 조건들도 규명하고자 하였다.

## 실험방법

### 시료 채취

실험에 사용할 시료는 바닥에 배설물이 쌓이는 육우 우사의 깔짚(litter)과 퇴비(manure)에서 각각 채취하였다(Fig. 1(a)와 1(b)). 육우는 깔짚으로 사용되는 일반 왕겨를 우사 바닥으로부터 10 cm 정도로 두께로 깔고 그 위에서 사육한 것이다. 깔짚은 1차 건조된 것이며, 퇴비는 사육이 끝난 이후에 깔짚을 퇴비장으로 이송하여 2차 건조 및 30일 정도 발효시킨 것이다.

### 시료 분석

X-선 형광분석기(XRF, ZSX Primus II, Rigaku, Japan)를

사용하여 시료의 성분과 그 함량을 조사하였다. 분석할 시료는 우선 800 °C에서 소성 시킨 후 생성된 회분을 펠렛으로 제작하였다. 시료중의 무기성분은 유도결합플라즈마-원자방출분광기(ICP-AES, 720 series, Agilent Technologies, USA)로 측정하였다. 시료는 분석에 앞서 120 °C에서 건조하여 분말로 만든 이후에 0.25 g의 질산-불산-과염소산을 혼합한 혼합산 6 mL에 넣고 220 °C의 고압초단파 용해장치를 이용하여 완전히 녹인 후, 테프론 용기에서 산을 휘발시키고 증류수를 넣어 최종부피 25 mL로 만들어 분석하였다. 시료에서 용출되어 나오는 아질산성질소( $\text{NO}_2^-$ ), 질산성 질소( $\text{NO}_3^-$ ), 인산이온( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 성분들은 이온 크로마토그래피(IC, DX-600, Dionex, USA)로, 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+$ ), 총인(T-P), 총질소(T-N)는 자외선/가시광선 분광기(UV/Vis, Carry-5000, Varian Technologies, USA)를 이용하였다. 이온 크로마토그래피(IC)에 의한 시료 분석은 건조된 분말 시료에 증류수를 첨가하여 믹서기로 분쇄한 후 4,000 rpm으로 5분간 원심분리하여 상등액을 분석하였다. 암모니아성 질소, 총질소, 총인은 수질 공정시험법에 의거하여 측정하였다. 암모니아성 질소는 흡광광도법인 인도페놀법으로 전처리하고 630 nm 파장에서 분석하였다. 총질소와 총인은 과황산칼륨으로 전처리하여 각각 220 nm와 880 nm 파장에서 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 성분 분석

Table 1은 깔짚과 퇴비를 XRF로 분석한 결과로서 깔짚과 퇴비에 있는 성분들의 각각의 함량(wt.%)은 거의 유사한 수치를 나타내었다. 이들의 주요 성분은  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ 이었으며, 미량의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 도 확인되었다. 나트륨(Na), 염소(Cl), 칼륨(K), 인(P), 황(S)은 깔짚 자체에 일부 포함되어 있으나 대부분 분뇨에서 다량 유입되어 누적된 것이며, 그 외의 성분들은 깔짚(일반 왕겨)과 분뇨에 공통적으로 포함되어있는 성분들이다. 특히 다른 성분에 비해 규소의 함량이 높은 것은 일반



(a) litter

(b) manure

Figure 1. Sampling of (a) litter and (b) manure.

**Table 1.** Constituents and their content of litter and manure (wt.%) by XRF

| Metal Oxide                    | Litter | Manure |
|--------------------------------|--------|--------|
| Na <sub>2</sub> O              | 6.96   | 7.43   |
| MgO                            | 9.67   | 9.92   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.27   | 1.10   |
| SiO <sub>2</sub>               | 20.52  | 18.11  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 11.24  | 12.62  |
| SO <sub>3</sub>                | 2.44   | 2.61   |
| Cl                             | 9.05   | 10.05  |
| K <sub>2</sub> O               | 20.98  | 20.87  |
| CaO                            | 16.18  | 15.58  |
| MnO                            | 0.34   | 0.26   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.33   | 1.45   |

적으로 왕겨는 규소가 많이 존재하기 때문이다. 나트륨과 염소의 함량은 먹이원과 관련 있는 것으로서 육우의 섭취 성분들이 대부분 곡물류와 짚을 혼합하여 섭취하고 있어, 유사 성분들을 먹이원으로 사용함에 따라 깔짚과 퇴비에서 소화 기능에 영향을 주는 나트륨(Na)과 염소(Cl) 성분 함량에는 큰 차이점을 보이지 않았다.

#### ICP-AES 분석

Table 2는 ICP-AES를 사용하여 건조된 깔짚과 퇴비 시료 중의 무기원소 성분들과 그들의 함량(wt.%)을 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이, 무기원소들의 함량은 발효 전과 후에도 큰 차이를 보이지 않았다. 깔짚과 퇴비에서 타 무기원소들 중에서 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)이 높은 수준을 보였으나 망간(Mn)과 아연(Zn)은 미량으로 나타났다. 칼슘과 마그네슘은 인과 결합하는 경향이 있는 원소로서 다량 함유 시 인(P)의 제거효율이 탁월하다고 알려져 있으나 이들 원소들이 난용성 형태로 존재 시에는 인을 제거하는 효과가 없다. 따라서 인(P)을 침전 제거하기 위해서는 인을 물에서 잘 이온화하는 인산이온 형태로 바꾸어 준 후 칼슘, 마그네슘, 알루미늄, 철 등을 첨가하여 수중의 인산성 인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)을 난용성염 형태로 바꾸어 줄 필요성이 있다.

**Table 2.** Inorganic components of litter and manure (wt.% based on dry sample) by ICP-AES

| Sample | Ca    | Mg    | Al    | Fe    | Mn    | Zn    |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Litter | 1.522 | 0.993 | 0.102 | 0.163 | 0.025 | 0.019 |
| Manure | 2.772 | 0.695 | 0.164 | 0.101 | 0.004 | 0.017 |

**Table 3.** Nitrogen components of litter and manure (wt. % based on dry sample)

| Sample | NO <sub>2</sub> -N                | NO <sub>3</sub> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | T-N   |
|--------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------|
|        | Value based on dry sample (mg/kg) |                    |                                 |       |
| Litter | 31                                | 99                 | 5,280                           | 6,740 |
| Manure | 8                                 | 453                | 4,960                           | 6,920 |

#### 용출액 분석

Table 3은 건조 시료들에 함유되어 있는 질소(N)의 성상 별 분석결과를 나타낸 수치이다. 일반적으로 육우 먹이원에서 단백질에 포함되어 있는 질소는 소화 기관을 거치는 과정에서 대부분 암모니아성 질소로 변화하여 배설된다. 암모니아성 질소로 배설된 분뇨는 대기 중에서 공기와 접촉하는 가운데 질소산화물로 변화되어 최종적으로 대기 중의 질소로 변화한다. 깔짚과 퇴비에서 총질소는 각각 6740과 6920 mg/kg이었고, 질소 성분 중의 대부분은 암모니아성 질소였다. 표에서 보는 바와 같이, 암모니아성 질소가 아질산성과 질산성으로 성상 변화가 이루어지면서 질소의 함량이 저감되었다. 우분에서 질소의 함량이 발효 과정을 거쳐 급격하게 저감되지는 않았으며, 발효 기간 중에 미생물 작용에 의해서 질소산화물 형태로 성상 변화된 양은 50% 이하로 나타났다.

초기 대부분의 질소는 암모니아성 형태로 존재하며 미생물 작용에 의한 질산화 반응 효율은 낮기 때문에 생물학적인 제거보다는 물리, 화학적인 제거 방안의 검토가 필요하다. 배설과 동시에 암모니아성 질소 형태로 다량 존재하므로 분뇨의 pH를 알칼리화하는 것만으로도 암모니아성 질소를 쉽게 대기 중으로 기화시킬 수 있다. 우분은 다량의 수분을 항상 함유하고 있어 질산성 질소로 성상 변화되는 효율이 낮아 탈질화시켜 질소함량을 낮추는 것보다 분뇨의 pH를 상승시켜 대기 중으로 휘발시키는 방법이 더욱 효율적이다.

Table 4는 건조 시료에 들어 있는 인(P)의 성상 별 분석 결과를 나타낸 표이다. 깔짚과 퇴비에서 총인(T-P)과 인산성인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)은 각각 542와 460 mg/kg, 14.36과 48.93 mg/kg

**Table 4.** Phosphorous components of litter and manure (wt.% based on dry sample)

| Sample | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P  | T-P |
|--------|-----------------------------------|-----|
|        | Value based on dry sample (mg/kg) |     |
| Litter | 14.36                             | 542 |
| Manure | 48.93                             | 460 |

으로 나타난 것으로 보아 이들 총인이 대부분 인산이온 형태로 존재하는 것은 아니다. 육우의 초기 배설단계에서의 인은 유기염 형태의 인으로 존재하다가 미생물 활동과 공기와의 접촉을 통하여 산화반응이 유도되어 물 속에 용해되는 인산이온 형태로 변화하였다. 결과적으로, 초기 깔짚에 들어 있는 분뇨에 비하여 발효가 잘 진행된 퇴비에서 인산이온 형태가 많이 나타났다.

우분에서 인(P)을 난용성 형태로 만들어 주기 위해서는 배설 직후 유기인 상태에서 바로 처리하기는 어려우며, 미생물 작용과 공기와의 접촉 시간을 증가시켜 유기염 형태의 인을 인산이온 형태로 성상 변화시킬 줄 필요성이 있다. 인산이온 형태로 성상 변화된 인은 물에 잘 용해되며 쉽게 이온화가 가능하여 칼슘과 마그네슘 등의 첨가 시 난용성 물질로 바뀔 수 있는 조건이 된다.<sup>10,11</sup>

**우분에서의 질소와 인의 형태적 변화**

우분의 경우 건조 및 발효 과정을 거치면서 수분의 함량이 줄어들게 되고 이 과정에서 수분에 용해되어 있는 각종 염(salt)들이 이온결합을 통하여 고형화되고, 고형화된 상태에서 물이 다시 첨가되었을 경우 염들이 물에 용해되어 이온화되는 특성이 있다. 일반적으로 우분에서는 수분이 건조되면서 아질산성질소( $\text{NO}_2^-$ ), 질산성질소( $\text{NO}_3^-$ ), 인산이온( $\text{PO}_4^{3-}$ )들의 경우 나트륨이온( $\text{Na}^+$ ) 또는 칼륨이온( $\text{K}^+$ )과 주로 이온결합을 형성한다. 암모니아성 질소이온( $\text{NH}_4^+$ )은 주로 염화이온( $\text{Cl}^-$ )과 결합되어  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 염으로 존재한다.

녹조의 주 영양원인  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 경우는 우분의 수분이 건조되면서  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 와  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  형태로 존재한다.  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 와  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 로 존재하다가 물과 접촉시 다시  $\text{PO}_4^{3-}$  이온 상태로 쉽게 용출된다. 특히, 인(P)의 경우 pH가 강산성에서는  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 로 존재하고 약산성 상태에서 인산은  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  형태로 존재한다. 중성과 약알칼리 상태에서는  $\text{HPO}_4^{2-}$ 로 존재하고 강알칼리에서는  $\text{PO}_4^{3-}$ 로 존재한다. 따라서 칼슘이나 마그네슘을 첨가하여 인을 난용성염으로 침전시키기 위해서는 pH를 중성이나 약염기 상태로 조절해 주는 것이 중요하다. 암모니아성 질소의 경우 우분에서는 암모니아이온과 염화이온 상태로 존재하다가 발효 건조가 진행됨에 따라 염화암모늄 형태의 염으로 존재한다. 여기에 물이 다시 첨가되면 암모니아이온과 염화이온으로 이온화된다. 그러나 암모니아이온과 인산이온이 공존하고 있는 상태에서 마그네슘 이온을 첨가할 경우 이들 3가지 이온이 화학결합하여 난용성염의 형태인 Struvite염( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )이 생성된다.

Fig. 2는 우사 내 깔짚과 퇴비 중의 질소 성분들을 성상 별로 분석한 결과이다. 그림 에서 보는 바와 같이, 육우 우

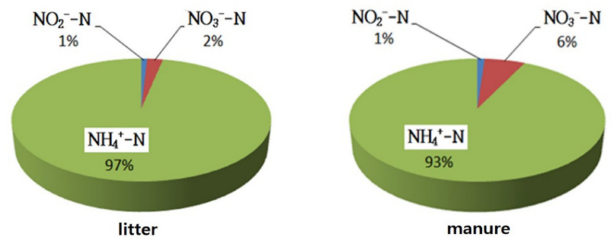


Figure 2. Percentage of morphological content of nitrogen in litter and manure.

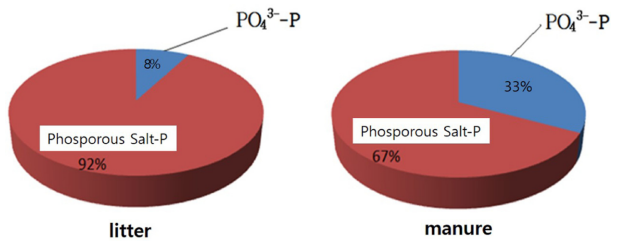


Figure 3. Percentage of morphological content of phosphorous in litter and manure.

사 내 깔짚에는 총질소에서 암모니아성 질소가 97%, 아질산성질소와 질산성 질소가 3%를 차지하였으며, 퇴비에서는 93%와 7%를 보였다. 이와 같이 질소는 시간이 지남에 따라 초기에 과량으로 존재하는 암모니아성 질소가 질산성 질소로 성상 변화를 이루고는 있으나 그 반응 속도가 느리며 발효가 정상적으로 이루어지지 않을 경우 잔류 암모니아성 질소가 그대로 존재하여 작물의 가스 장애와 같은 피해는 물론 우수 시 비에 그대로 녹아서 하천으로 흘러 들어 감으로써 녹조의 영양원으로 직접 작용한다. 또한 암모니아성 질소는 분뇨가 발효가 아닌 건조되는 과정을 거치더라도 휘발하지 않고 물에 잘 녹을 수 있는 암모니아성 염의 형태로 존재하므로 제거하기가 더욱 어려워진다.

Fig. 3은 우사 내 깔짚과 퇴비의 인 성분들을 성상 별로 분석한 결과로 깔짚에서 인산이온 형태는 8%, 발효가 진행된 퇴비에서는 인산이온 형태가 33%의 비중을 차지하였다. 인의 경우, 배설 단계에서는 유기인 형태로 존재하다가 발효가 진행되면서 인산이온으로 성상 변화가 원활히 이루어졌다. 인이 미생물에 의한 발효과정을 거치지 않고 바로 건조가 될 경우에는 물에 쉽게 용해되지 않는 불용성 유기인의 형태로 존재하다가 농토에 뿌려진 이후에 발효가 진행되면 인산 이온으로 변화하여 빗물에 용해된다.

**결 론**

우분의 배설 초기에 질소는 대부분 암모니아성 질소 형태로 존재하며, 발효가 진행됨에 따라 질산성 질소가 높

아지기는 하나 성상의 변화는 크지 않았다. 발효가 진행되지 않고 단지 건조만 행한 경우에는 암모니아성 질소는 염(salt)의 형태로 남아 있다가 물과 접촉 시 쉽게 용해되는 특성이 있다. 또한, 측정된 시료의 pH는 7.1~7.3으로 이 조건에서는 암모니아성 질소의 휘발율이 낮아 대부분 깔짚과 퇴비에서 성상의 변화가 일어나지 않는다. 인은 배설 초기에 물에 잘 녹지 않는 유기성 인산염 형태로 존재한다. 미생물에 의한 발효가 진행됨에 따라 대부분의 인은 인산이온으로 성상이 변화한다. 우분이 발효과정 없이 바로 건조되는 경우, 인은 인산이온으로 변화하지 않고 물에 잘 녹지 않는 유기성인의 형태로 유지하다가 농토에 살포 시 발효가 진행되어 용존성 인산이온으로 변화되어 우수 시 유출된다. 우분의 발효성이 클수록 암모니아성 질소의 탈질화 효율이 높아졌으며, 유기인도 인산이온으로 변화되었다. 육우의 초기 배설 단계에서 질소를 제거하기 위해서는 pH를 상승시켜 암모니아성 질소를 암모니아성 가스 상태로 바로 휘발시킬 수 있는 조건을 확립할 필요성이 있다. 퇴비 중의 질소와 인은 시간을 연장하여 발효를 촉진시켜 우분에 포함된 유기인을 인산이온으로 변화시킨 이후에 칼슘(Ca)이나 마그네슘(Mg) 등을 첨가하여 Struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )나 인산칼슘( $\text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 형태의 난용성 화합물을 생성시킴으로서 물 속에서도 용출되지 않도록 하는 것이 효율적 방법이다.

**Acknowledgements.** This research was supported by the Basic Science Research Program (NRF-2019R1F1A1042413) through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology.

## REFERENCES

1. Yu, S. H. *Legislative Policy* **2016**, *10*, 121.
2. Seo, B. Y.; Kim, T. O.; Whang, H. Y. *J. Kor. Soc. Urban Environ.* **2013**, *13*, 129.
3. Zao, W.; Zheng, Z.; Zheng, J.; Roger, S.; Luo, X. *Science of the Total Environ.* **2019**, 667, 412.
4. Kim, T. G.; Kim, T. C.; Lim, H. B. *J. Applied Subtle Energy* **2018**, *16*, 21.
5. Lowe, D. E.; Steen, R. W. J.; Beattie, V. E.; Moss, B. W. *Livest. Prod. Sci.* **2001**, *69*, 33.
6. Hong, G. H. *Science of the Total Environ.* **2009**, *9*, 9.
7. Lee, Y. S.; Lee, H. J.; Hong, S. C.; Oh, D. M. *Wet Land Society of Korea* **2009**, *11*, 81.
8. Hong, G. H. *Science of the Total Environ.* **2005**, *5*, 13.
9. Hong, G. H. *Science of the Total Environ.* **2009**, *9*, 1.
10. Won, S. Y.; Park, S. K. *J. Kor. Soc. Environ. Engineers* **2000**, *22*, 599.
11. Yeon, S. J.; La, C. S. *Journal of Animal Science and Technology* **2003**, *45*, 875.