

바이오순환림의 저농도액비 시용에 따른 지하수 수질 분석

Groundwater Quality Analysis from Low Concentration Liquid Manure Application in Bio-Circulation Experimental Forest

홍은미*, 최진용**, 유승환***, 남원호****, 최인규*****

Eun mi Hong, Jin Yong Choi, Seung Hwan Yoo, Won Ho Nam, In Gyu Choi

요 지

우리나라 가축분뇨 발생량 중 약 10%만이 정화방류 및 공공처리에 의해 처리되고 있으며 2012년 이후 해양투기가 전면 금지됨에 따라 가축분뇨의 자원화 및 육상처리에 대한 대책이 절실한 실정이다. 이에 최근 이에 대한 대안 중 하나로 산림지 및 조림지역에 축산분뇨 액비를 처리하자는 대안이 대두되고 있다. 가축분뇨로부터 생산된 액비는 화학비료를 대신하여 자연순환농업에 효과적으로 사용될 수 있으며, 가축분뇨를 비료로 재활용할 수 있는 장점이 있는 반면, 시용량이나 시용 시기, 시용대상에 따라 환경, 특히 수질 및 지하수에 미치는 영향이 있을 수 있다. 따라서, 저농도액비 시용이 지하수 수질에 미치는 영향 및 환경영향평가, 영향성분 수지의 균형여부 등에 대한 모니터링과 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 백합나무 조림지인 바이오순환림에 저농도액비를 시용하였을 때 지하수에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 매주 지하수의 수질 모니터링을 실시하였으며, 이를 수질항목에 대하여 분석한 후 액비시용에 따른 수질변화를 제시하였으며, 지하수 오염여부를 결정하는 대표항목인 질산성질소의 오염원을 판별하기 위하여 질소 동위원소비를 분석하였다. 추후 지속적인 지하수 모니터링을 통하여 다양한 수질항목에 대한 분석이 이루어진다면 바이오순환림을 비롯한 산림지에서의 저농도액비 시용에 따른 수질 영향 평가 및 모형 구축의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 저농도액비, 지하수, 질소 동위원소비, 산림유역

1. 서론

현재 우리나라의 가축분뇨 발생량의 10%만이 정화방류 및 공공처리에 의해 처리되고 있으며, 돈분뇨 발생량의 약 14%는 해양투기 등의 위탁처리를 하고 있으나 이 또한 2012년 이후 해양투기가 전면 금지됨에 따라 가축분뇨의 자원화 및 육상처리에 대한 대책이 절실한 실정이다 (RDA, 2007). 따라서, 가축분뇨에 의한 오염방지와 해양 투기 금지에 따른 대책의 일환으로 산림지 및 조림지역에 가축분뇨 액비를 처리하자는 대안이 대두되고 있다. 특히, 저농도액비는 고농도액비에 비해 비료 성분의 농축이 낮아 적용이 용이하고 냄새가 적어 조림지 등의 산림유역에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

가축분뇨로부터 생산되는 액비는 화학비료를 대신하여 자연순환농업에 효과적으로 사용될 수

* 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원·E-mail : silbern7@snu.ac.kr

** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원 겸임연구원·E-mail : iamchoi@snu.ac.kr

*** 서울대학교 농업생명과학연구원·E-mail : crom97@snu.ac.kr

**** 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원·E-mail : wh531@snu.ac.kr

***** 서울대학교 산림과학부 부교수·E-mail : cingyu@snu.ac.kr

있으며, 가축분뇨를 비료로 재활용할 수 있다는 장점이 있으나 사용량이나 사용 시기, 사용 대상에 따라 환경에 미치는 영향이 있을 수 있으며, 저농도액비 처리 역시 액비처리에 의한 환경영향, 수분 및 영양수지 불균형 등을 초래하여 수질오염 및 토양에 과잉영양분을 축적할 우려가 있어 이에 대한 모니터링과 분석이 필요할 것으로 판단된다.

액비 사용이 수질에 미치는 영향에 관한 연구는 다음과 같이 진행되었다. Yun et al. (2001)은 토양에 비료자원으로 이용하는 가축분은 사용량과 시기, 사용 방법에 따라 비료효과를 증대할 수 있으나 환경에 대한 영향을 고려하지 않을 경우 오히려 가축분에 함유된 성분들에 의하여 작물생산기반인 토양과 수질 등 농업환경에 나쁜 영향을 초래할 수 있다고 전제하고 돈분을 밭토양에 사용하였을 때 질산태 질소가 유거하여 손실되는 양을 측정하여 돈분 사용에 따른 지표수 수질 영향을 분석하였다. Yun et al. (2001)과 유사한 연구로는 Kim et al. (2006)이 사료용 피 재배에 있어서 돈분 액비를 사용하였을 때 토양 특성 및 용탈수의 화학적 조성에 미치는 영향을 분석한 예가 있다. 하지만, 산림이나 조림지 등에 대한 액비처리 시 수질영향 평가에 관한 연구가 많이 이루어지지 않은 상황이다. 이에 최근의 농촌진흥청에서는 돈분뇨 액비의 산림지 사용에 대한 연구를 시도하고 있다. 이는 액비의 사용 대상지를 확대하는 효과가 있으며, 이 연구를 통하여 유실수, 조림지 또는 시험림에 액비를 사용하였을 때 액비 사용시 생육 효과를 분석할 수 있을 것으로 기대하고 있으나 산림지나 시험림에 액비를 사용하였을 때 밭토양이나 벼재배에 액비를 사용하였을 때와 유사하게 토양수나 지하수 수질에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 바이오순환림에서 저농도액비 처리에 따른 수질 영향 분석을 위하여 지하수에 대한 수질 모니터링을 실시하였다. 다양한 분석 항목 중 질산태 질소 중심으로 SCB액비 처리에 의한 지하수의 수질 영향을 분석하고, 질소 동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 지하수의 질산태 질소오염원을 판별하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 저농도액비

기존에 사용되는 관행액비는 고농도로써 악취가 심하고 성분이 불균일하며, 분뇨 이외성분이 함유되어있지 않는 반면, 저농도액비는 악취가 없고 균질하며 사용방법이 간편하고 신속하고 분뇨 성분 이외의 부식질 및 유익미생물을 함유시킬 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 저농도액비 중 SCB (Slurry Compositing-Biofiltration) 액비를 사용하였다.

2.2. 연구대상지역

본 연구는 경기도 화성시에 위치한 국립산림과학원 어천시험림 내의 목질계 바이오매스로써 우리나라 기후풍토에 적합하고 생장이 우수한 것으로 알려진 백합나무 (*Liriodendron tulipifera*) 시험림에서 수행하였다. 본 시험림의 면적은 약 758 m²이며, 평균고도 74.1 m, 평균경사 13.5 degree의 배수가 매우 양호한 암쇄토, 산성암, 사양질 내지 식양질 (개략토양도 mac) 토양으로 구성되어 있다.

2.3. 시험구 설정 및 저농도액비 처리

본 연구에서는 저농도액비 (low concentration liquid manure)처리에 따른 영양오염물질의 수질 분석 및 평가를 하기 위하여 무처리구 (control treatment)와 저농도액비 처리구를 시험구별 영향

을 배제하기 위하여 일정 간격으로 구분시켜 구축하였다. 저농도액비 처리 시험구에서 2008년 7월 11일 ~ 9월 26일, 2009년 6월 4일 ~ 9월 18일까지 매주 백합나무 한 개체당 20 L의 저농도액비를 처리하였다.

2.4. 시료 샘플링 및 분석

저농도액비 시용에 따른 토양수 및 지하수의 오염가능성을 판단하고 분석하기 위하여 본 연구에서는 2008년 6월 11일 ~ 11월 5일, 2009년 4월 30일 ~ 10월 7일까지 시험립의 상류 및 하류지역에서 2008년에는 40개, 2009년에는 39개 총 79개의 지하수 샘플링을 실시하였으며, 지하수 분석결과와 지하수 수질기준과 비교하였다. 지하수 분석항목 및 생활용수와 농·어업용수의 지하수 수질기준은 표 1과 같다.

표 1 지하수 분석 항목 및 수질기준

unit : mg/L									
항목	오염물질		특정유해물질						기타 분석항목
분석 항목	pH (-)	NO ₃ -N	Cd	As	CN	Hg	Pb	Cr6+	T-N, NH ₄ -N, T-P,
생활 용수	5.8 ~ 8.5	≤ 20	≤ 0.01	≤ 0.05	ND	ND	≤ 0.1	≤ 0.05	-

또한, 지하수 오염여부를 결정하는 대표 항목인 질산성 질소 (NO₃-N)의 기원을 판별하기 위하여 질소 동위원소비 ($\delta^{15}\text{N}$)를 분석하였다. 질소동위원소비 산정방법은 식 (1), (2)와 같으며, 오염원에 따른 지하수 중 질소동위원소 값의 범위는 주 오염원이 화학비료의 경우 -3 ~ +5%, 화학비료와 분뇨가 혼합된 경우는 +5 ~ +8%, 분뇨인 경우는 +8 ~ +20%이다.

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right] \times 1000 \quad (1)$$

$$R = \frac{^{15}\text{N}}{^{15}\text{N} + ^{14}\text{N}} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

그림 1은 지하수 pH, T-N의 수질분석결과의 평균, 최대값 및 최소값을 나타낸 것이다. pH의 경우 2008년 지하수 상류에서의 평균은 6.65, 하류에서의 평균은 6.51로써 하류지역보다 상류지역에서 더 높게 나타났으며, 2009년도 역시 상류에서 평균이 7.06으로 하류 7.02보다 높게 나타났다. 2008년에 비하여 2009년 지하수의 pH는 상·하류 모두 높아지는 경향을 보였으나 pH 농업용수 수질기준인 6.0 ~ 8.5 및 생활용수 수질기준인 5.5 ~ 8.5에 포함되는 것으로 나타났다. T-N은 지하수 하류에서 2008년 평균 5.00 mg/L, 2009년 3.76 mg/L로 상류 (2008년 3.61 mg/L, 2009년 1.91 mg/L)보다 높았으며 편차도 컸다. 하지만, 2009년 T-N 농도는 상·하류 모두 2008년보다 평균적으로 감소하였다.

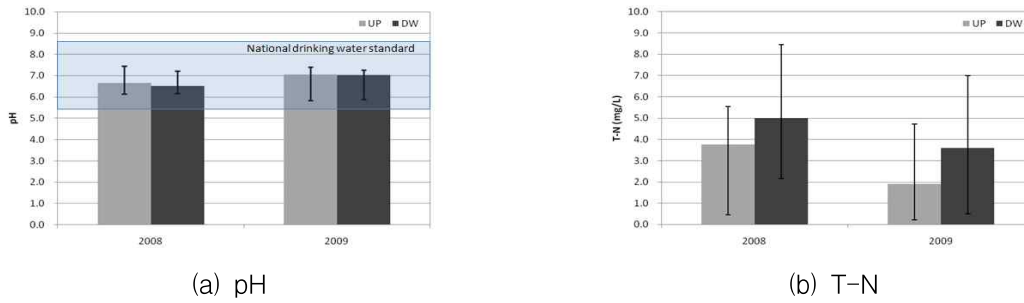


그림 1 지하수 모니터링 결과 (pH, T-N)

유아 청색증 등을 유발하는 오염으로써 지하수 오염 여부를 판단하는 주요 수질기준 중 하나인 질산성 질소의 경우 2008년 지하수 상류에서 평균 1.99 mg/L, 하류에서는 3.59 mg/L로 하류에서 상류보다 높게 나타났으며, 2009년 역시 하류 평균이 3.26 mg/L로써 상류 1.57 mg/L 보다 높게 나타났다. 하지만, 2008년에 비하여 2009년 질산성 질소의 평균 농도는 감소하였으며, 지하수 상·하류 모두 생활용수 수질기준인 10 mg/L 및 농업용수 수질기준인 20 mg/L 보다 낮게 나타나 수질기준에 만족하였다.

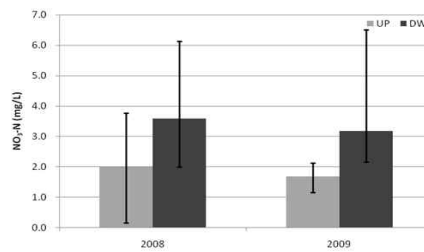


그림 2 NO₃-N의 평균 및 편차

비록 바이오순환림에서 질산성 질소 수질기준에 만족하긴 하였으나, 지하수 하류에서는 상류에 비하여 질산성 질소의 변화가 크게 나타났으며, 평균도 높게 나타나 일부 액비시용의 영향을 받았을 가능성을 배제할 수 없어 바이오순환림에서의 질산성 질소의 오염원을 밝히기 위하여 질산성 질소의 농도가 높았던 시기에 대하여 동위원소 분석을 실시하였다. 질산성 질소의 오염원을 판별하기 위하여 질소 동위원소비 ($\delta^{15}\text{N}$)를 분석한 결과는 그림 3과 같다.

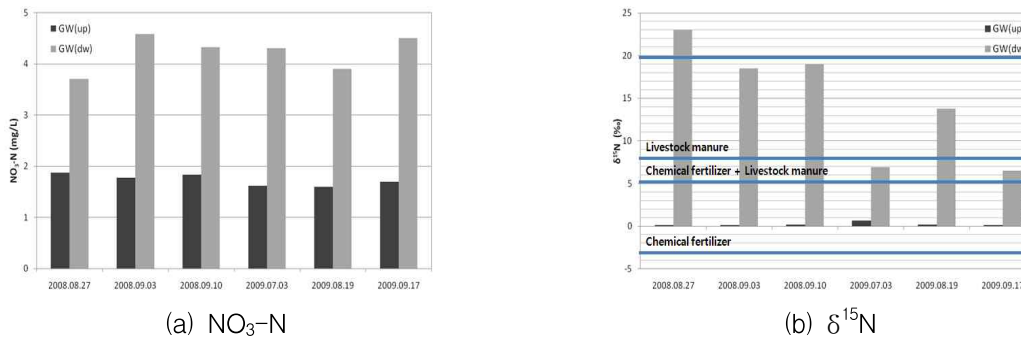


그림 3 지하수 NO₃-N 농도 및 $\delta^{15}\text{N}$ 분석 결과

바이오순환림의 지하수 상류지역의 경우 2009년 7월 3일 제외한 5개 시료 모두 토양에서의 질소 동위원소비에 해당하는 0.1 ~ 0.2‰ 값을 나타내었다. 하지만 동위원소 분석 결과 지하수 하류의 경우 2008년에는 질소 동위원소비가 +8 ~ +20‰ 사이 값으로써 액비의 영향을 받은 것으로 판단되며, 2009년의 경우 2008년에 비하여 동위원소비가 낮게 나타났으나, 7월과 9월 결과는 +5 ~ +8‰ 사이 값으로 화학비료와 분뇨가 혼합된 경우의 범위 내에 포함되었으며, 8월의 결과는 일부 질산성 질소가 액비로 온 것으로 판단되었다.

4. 결론

최근 산림지 및 조림지역에의 축산분뇨 액비 처리가 해양투기 금지에 따른 대책으로 대두되고 있다. 하지만, 액비시용이 수분 및 영양성분 수지 불균형을 초래하여 수질 오염 및 토양에 과잉 영양분이 축적될 우려가 있어 이에 지하수 및 토양수의 지속적인 모니터링과 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 바이오순환림에서 저농도액비 처리에 따른 수질 영향을 분석하기 위하여 지하수 모니터링을 실시하여 다양한 분석항목에 대하여 수질분석을 실시하였다. 또한, 지하수 오염의 지표가 되는 질산성질소의 오염원을 판별하기 위하여 질소 동위원소비 ($\delta^{15}\text{N}$)를 분석하였다. 바이오순환림에서의 지하수 모니터링 결과 pH는 2009년 2008년보다 높게 나타났지만, 상·하류 모두 농업용수 및 생활용수 수질기준에 만족하였다. 유아 청색증 등을 유발하는 지하수 오염여부를 판단하는 수질기준중 하나인 질산성질소의 경우 2008년보다 2009년 감소하였으며, 수질기준에 만족하였다. 하지만 지하수 하류에서 상류보다 질산성질소의 변화폭이 크게 나타나 액비시용의 영향을 받았을 가능성을 배제할 수 없어 질산성질소의 동위원소 분석을 실시한 결과 일부는 액비로 온 것으로 판단되었다. 추후 SCB액비 시용에 따른 산림유역에 대해서 지속적인 모니터링과 샘플링을 실시하여 다양한 항목에 대한 조사 및 분석을 이루어진다면 조림지와 같은 산림지역에서의 SCB액비 시용에 따른 수질 영향 모델링 및 모형 구축의 기초 자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 「자연순환형 친환경 유기농업 기술 개발」의 「저농도액비 처리에 의한 산림유역 영양물질 오염영향 분석」 과제의 일환으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Kim, M. C., S. T. Song, K. G. Hwang, and H. C. Lim, 2006. The Effects of Liquid Pig Manure Application on the Production of Japanese Millet (*Echinochloa crusgalli*), Soil Properties, and the Chemical Characteristics of Leaching Water. *Korean Journal Grassland and Forage Science* 26(4): 257-266 (in Korean).
2. Yun, S. G., K. L. Park, M. K. Kim, W. I. Kim, and S. H. Yoo, 2001, Runoff Loss of $\text{NO}_3\text{-N}$ Derived from Pig Manure Under Upland Condition. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 34(3): 158-164 (in Korean).