소규모 시험포에서의 비료처리별 오염배출 농도 특성 비교

Comparison of Pollutant Load Discharge Characteristics with Fertilizer Treatments from Small Scale Plot

류창원* · **신용철**** · **허성구*** · **한윤수**** · **임경재***** · **최중대******

Lyou, Chang Woun · Shin, Yong Cheol ·Heo, Sung Gu · Yun-Su Han · Lim, Kyoung Jae · Choi, Joongdae

abstract

Organic compost has been widely applied to the cropland because it has been thought as Environmentally Sound Agriculture (ESA) in Korea. In this study, two-year indoor rainfall experiments were performed. Surface runoff and groundwater volume from 10% and 20% slope plots were measured and water quality samples were collected and analyzed for BOD, COD, T-P and T-N. Flow weighted mean concentration (FWMC) values were computed to assess effects of various fertilizer treatments. FWMC BOD values for organic compost treated plots were higher than chemical fertilizer treated plots. FWMC BOD values for 20% slope plots were higher than those from those for 10% slope plots. The similar trends were found for COD and T-P. FWMC T-N values for chemical fertilizer treated plots were higher than organic compost treated plots. FWMC T-N values for 10% slope plots were higher than those for 20% slope plots. In Korea, excessive use of organic compost has caused extremely high levels of organic matter contents at the cropland. Since organic compost is very slow in releasing its nutrients to the soil, farmers usually apply excessive organic compost for immediate effects and maximum crop yields, which has been causing soil and water quality degradations. Therefore, thorough investigations for better nutrient management plans are needed to develop the ESA strategy in Korea.

Keywords : Chemical fertilizer, Organic compost, Indoor rainfall experiments, BOD, COD, T-P, T-N

1. 서 론

지난 40여년간 농약과 비료를 과다 투입하여 증산을 위주로 한 농업정책 지속되어 왔다. 이로 인해 농토는 작물을 생산하기 위한 조건에서 더욱 멀어져 갔고 더 많은 농약과 비료를 투입하지 않으면 농작물 수확을 원활히 진행시키기 어려운 실정으로 변화되어 토양오염과 수질오염의 심각한 악순환을 가져왔다(한국환경·사회정책연구소, 2004). 우리나라에서는 1992년에 환경농업의 개념이 도입되기 시작되어 1996년에 농림부에서 「21세기를 향한 농림수산환경정책」을 수립하면서 본격적인 친환경농업 육성정책이 추진되었다(농림부, 1999 ; 한국농촌경제연구원, 2002).

* 강원대학교 대학원 지역기반공학과
** 강원대학교 농업과학연구소
*** 강원대학교 농업공학부
**** Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6464 fax: +82-33-251-1518 E-mail address: jdchoi@kangwon.ac.kr

친환경농업과 관행농업에 따른 오염부하 특정을 조사하기 위하여 이 등 (1999)은 만경강 인근 화학비료 처리 시험포와 유기비료 처리 시험포 시설재배지에서의 지하수 수질변화를 비교·분석 하였다. 화학비료와 유기비료의 시용량은 작물별 시비처방기준(NIAST, 2000)에 따라 시비하였다. 화학비료 처리 시험포에서 BOD와 COD의 농도보다 유기비료 처리 시험포에서의 BOD와 COD 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 유기농업실천농가 포장 내 인산의 분포특성에 대한 연구에서는 친환경농업을 한 과수원에서 과량의 인산이 축적되어 이로 인한 토양환경 악화 초래 및 주변 수계의 부영양화유발 가능성이 있을 것으로 예측하였다(김 등, 2000).

경작지에서의 비료처리에 대한 오염부하 특성에 관한 연구는 많이 진행되었으나 경작지에서의 실험은 토성, 강우강도, 강우량, 경사도, 그리고 일정하지 않은 자연현상 등 많은 변수가 있어 정확한 실험이 이루어지기 어려운 실정이다. 본 연구에서 사용한 실내 인공강우시험기는 토성, 강우량, 강우강도, 경사도, 그리고 시비방법 등을 동일하게 조절할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 동일한 조건에서 비료처리가 유출수에 미치는 영향을 비교·분석하여 화학비료와 유기비료 시험포에서 오염농도와 부하량의 차이를 실험적으로 구명해 보는데 있다.

2. 재료 및 방법

1. 실내 인공강우실험기의 실험

본 연구에서는 2년에 걸쳐 실내 인공강우 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 인공강우실험시설인 Norton rainfall simulator는 연구목적에 따라 20 mm/hr에서 100 mm/hr까지 인공강우를 모의할 수 있다. 본 실험에서는 시험포의 경사도와 비료처리가 지표수와 지하수의 수질에 미치는 영향을 모의하기 위하여 두 대(강우기 A와 B)를 사용하였다. 각 강우기별 4개의 노즐로 유입되는 물의 압력을 일정하게 조절하기 위하여 중간밸브와 압력게이지를 설치하였다.

본 연구에서는 최근 빈번하게 발생하는 호우와 비교하여 한강 상류지역에서 30년에 1회 1시간동안 내릴 수 있는 확률우량과 비슷한 60 mm/hr 강우강도를 모의하여 실험하였다(건설교통부, 2003). 4개의 노즐에서 분사되는 강우량을 균일하게 60 mm/hr로 맞추기 위해서 인공강우시험기 컨트롤러와 펌프 배출구에 설치한 밸브, 그리고 호스 중간에 설치한 밸브를 이용하여 강우시험기의 강우량을 캘리브레이션하였다. 또한 각 노즐로부터 발생되는 인공강우가 토양상자 표면에 균일하게 강우되는지 조사하기 위하여 노즐 아래에 4곳 (북서쪽, 북동쪽, 남서쪽, 남동쪽)에 4개의 간이우량계를 설치하고 강우강도를 조사하였다. 강우기 A의 노즐 4는 여러 번의 캘리브레이션에서도 다른 노즐에서 분사되는 강우에 비해 그 양이 15%가량 적었다. 따라서 결과 분석시 부하량 대신 농도를 이용하여 시험포별 오염배출부하 특성을 분석하였다.

2. 유출시험포의 제작과 실험처리

1차년도에 실내 인공강우시험기와 함께 사용될 크기 1.00 m × 1.00 m × 0.65 m (L×W×H), 경사도 10%와 20%의 소형 유출시험포를 제작하였다. 인공강우 실험시 발생되는 직접유출량을 측정하기 위하여 토양상자 상단에 거터를 붙여 제작하였다. 또한 심토 아래로 침투되어 지하로 이동되는 물과 오염물질의 양을 측정하기 위하여 토양상자 바닥면에 철망과 필터를 깔아 침투수량과 수질을 측정할 수 있게 만들었다.

토양상자 중 하부 40 cm는 10 cm 간격으로 흙을 채우며 일정하게 다짐을 했다. 채움이 끝난 후에는 표면에 부직포를 깔고 충분한 양의 물을 공급하여 자연적으로 물다짐이 이루어지고 또한 토양이 원래의 성질을 갖도록 일주일 이상 기다린 후 실험하였다. 물이 충분히 배수된 후 토양상자의 표토 10 cm는 경작지의 표토 상태와 유사하게 하기 위해 다짐 없이 흙으로 채웠다. 1차년도 실험에서 비료처리는 강원도 고랭지 지역의 주생산 작물인 배추의 농촌진흥청 권장량을 시용하였으나 대부분의 농가가 권장량보다 많은 비료를 시용하는 것으로 나타나(이, 2004) 2차년도 실험에서는 농촌진흥청 배추재배 권장량의 3배를 시용하였다. 비료는 한강 상류에서 많이 소비되고 있는 요소비료, 용과린, 염화칼륨, 유기비료를 시용하였다. 실내인공강우 유출시험포는 작물재배 없이 나지상태에서 실험하였으므로 작물에 의한 영양물질의 섭취는 고려되지 않았다. 각 토양상자에 필요한 화학비료와 유기비료는 정확하게 계량하여 실험처리에 따라 표토층 10 cm에 골고루 혼합하였다.

1차년도에는 2004년 9월 9일 유기비료와 화학비료 실험처리 후 5일 (2004년 9월 14일), 25일 (2004년 10월 4일), 42일 (2004년 10월 21일), 그리고 67일 (2004년 11월 15일) 경과 후에 각각 인공강우 실험을 실시하였다. 2차년도에는 2005년 4월 4일 퇴비와 화학비료 실험처리 후 5일 (2005년 4월 9일), 10일 (2005년 4월 19일), 20일 (2005년 5월 10일), 30일 (2004년 6월 10일), 그리고 60일 (2005년 7월 10일) 경과 후에 각각 인공강우 실험을 실시하였다. 한 노즐에서 분사된 강우가 옆 토양상자의 전체강우에 영향을 미치지 않게끔 토양상자간 거리를 유지시켰다. 실내 인공강우실험은 토양내 함수비가 유출 및 오염부하특성에 미치는 영향을 평가하고자 전반 30분, 30분 휴지시간, 그리고 후반 30분으로 나누어 실시하였다.

인공강우시 발생되는 지표유출량과 수질은 토양상자 상단부 거터를 이용하여 수집하고 분석하였다. 지하유출수는 상당히 오랜 시간동안에 걸쳐 이동되기 때문에 인공강우 실험 종료 시간부터 24시간 경과 후 지하수 유출량을 측정하고 수질 샘플을 채취하여 분석하였다. 지표 및 지하 유출수 수질의 분석은 BOD, COD, T-P, 그리고 T-N을 환경부 제정 수질공정시험법의 제반규정에 따라 분석하였다(환경부, 2000). 화학비료 처리 시험포 유출수와 유기비료 처리 시험포에서의 BOD, COD, T-P, 그리고 T-N의 유량가중 평균농도를 경사도별로 비교·분석하였다.

3. 결과 및 고찰

1. 화학비료와 유기비료 시비후 BOD, COD, T-P 농도 비교

1차년도 실험과 2차년도 실험에서 화학비료를 처리한 시험포보다 유기비료를 처리한 시험포에서의 BOD 농도가 높게 나타났다(Fig. 1, Fig. 2). 1차년도 화학비료를 처리한 시험포에서의 평균 BOD 농도는 3.69 mg/L로 나타났고 유기비료를 처리한 시험포에서의 평균 BOD 농도는 5.58 mg/L로 나타났다. 2차년도 화학비료를 처리한 시험포에서의 평균 BOD 농도는 5.27 mg/L로 나타났고 유기비료를 처리한 시험포에서의 평균 BOD 농도는 8.08 mg/L로 나타났다. 2차년도 화학비료를 처리한 시험포에서의 평균 BOD 농도는 1차년도에 비해 30% 증가했고 2차년도 유기비료를 처리한 시험포에서의 평균 BOD 농도는 1차년도에 비해 30.1% 증가했다. 이는 2차년도에 농촌진흥청 배추재배 권장시비량의 300%를 사용하였기 때문이다.

경사도 20% 시험포는 경사도 10% 시험포보다 유출수의 오염물질 농도가 높게 나왔다. 1차년도 실험에서 화학비료처리 시험포 경사도 20% 시험포는 경사도 10% 시험포에 비해 33.6% 높았고 2차년도 실험에서 화학비료 처리 시험포 경사도 20% 시험포는 경사도 10% 시험포에 비해 5.22% 높았다. 1차년도 실험에서 유기비료 처리 시험포 경사도 20% 시험포는 경사도 10% 시험포에 비해 30.7% 높았고 2차년도 실험에서 유기비료 처리 시험포 경사도 20% 시험포는 경사도 10% 시험포에 비해 17.2% 높았다. 따라서 경사도가 높아질수록 유출수의 BOD 농도가 높아지는 경향을 보였다. 1차년도 실험에서 경사도 10% 시험포 유기비료 처리 시험포는 화학비료 처리 시험포에 비해 35.6% 높았고 2차년도 실험에서 경사도 10% 시험포 유기 비료 처리 시험포는 화학비료 처리 시험포에 비해 29.9% 높았다. 1차년도 실험에서 경사도 20% 시험포 유기비료처리 시험포는 화학비료 처리 시험포에 비해 32.8% 높았고 2차년도 실험에서 경사도 20% 유기비료 처리 시험포는 화학비료 처리 시험포 보다 38.8% 높았다.

유기비료 처리 시험포 유출수의 BOD 농도가 높은 이유는 퇴비의 유기물 함량이 80.0%로(이, 2005) 화학비료(요소)의 유기물 함량 21%보다 높기 때문으로 판단되었다. COD 농도와 T-P 농도 또한 BOD 농도와 비슷한 경향을 보였다.

COD 농도는 수중의 전 산화성 물질의 양을 측정하는 것으로서 퇴비에 함유되어 있는 많은 유기물들이 COD 농도를 높이는 것으로 판단되었다(Williams, 1980). T-P 농도의 경우 농촌진흥청 배추기준 P_2O_5의 권장시비량은 39.0 g/m^2 이다. 유기비료의 경우 권장 시비량이 P_2O_5의 양이 아닌 퇴비량으로 3000 g/m^2 으로 제시되어 있다. (한강수계관리 위원회, 2003). 이 (2005)는 유기비료의 성분을 분석한 결과 P_2O_5 가 전체 퇴비량의 2.9%를 차지한다고 하였다. 이는 87 g/m^2 에 해당하는 양으로서 농촌진흥청 P2O5 권장시비량 39.0 g/m^2 보다 2.2배 많다. 따라서 유기비료에 포함되어 있는 P_2O_5의 양이 많기 때문에 권장시비량에 따라 유기비료를 처리한 서험포에서 T-P의 농도가 권장시비량에 따라 화학비료로 처리한 시험포에서의 T-P 농도보다 높은 것으

로 판단된다.

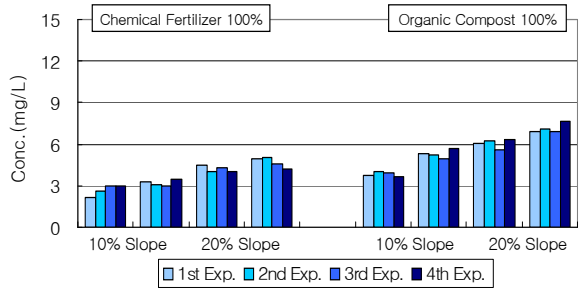

Fig. 1. Comparison of BOD concentration from chemical fertilizer and organic compost treated plot (1st year)

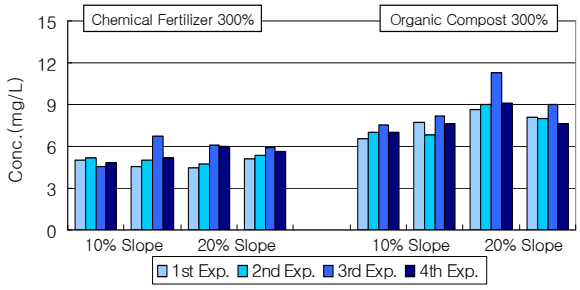

Fig. 2. Comparison of BOD concentration from chemical fertilizer and organic compost treated plot (2nd year)

2. 화학비료와 유기비료 시비후 T-N 농도 비교

1차년도 실험과 2차년도 실험에서 유기비료를 처리한 시험포보다 화학비료를 처리한 시험포에서의 T-N 농도가 높게 나타났다(Fig. 3, Fig. 4). 1차년도 화학비료를 처리한 시험포에서의 평균 T-N 농도는 14.48 mg/L로 나타났고 유기비료를 처리한 시험포에서의 평균 T-N 농도는 8.41 mg/L로 나타났다. 2차년도 화학비료를 처리한 시험포에서의 평균 T-N 농도는 63.79 mg/L로 나타났고 유기비료를 처리한 시험포에서의 평균 T-N 농도는 50.37 mg/L로 나타났다. 2차년도 화학비료를 처리한 시험포에서의 평균 T-N 농도는 1차년도에 비해 77.3% 증가했고 2차년도 유기비료를 처리한 시험포에서의 평균 T-N 농도는 1차년도에 비해 83.3% 증가했다. 이는 2차년도에 농촌진흥청 배추재배 권장시비량의 300%를 사용하였기 때문이다.

경사도 10% 시험포는 경사도 20% 시험포보다 유출수의 오염물질 농도가 높게 나왔다. 1차년도 실험에서 화학비료처리 시험포 경사도 10% 시험포는 경사도 20% 시험포에 비해 19.5% 높았고 2차년도 실험에서 화학비료 처리 시험포 경사도 10% 시험포는 경사도 20% 시험포에 비해 28.2% 높았다. 1차년도 실험에서 유기비료 처리 시험포 경사도 10% 시험포는 경사도 20% 시험포에 비해 5.7% 높았고 2차년도 실험에서 유기비료 처리 시험포 경사도 10% 시험포는 경사도 20% 시험포에 비해 10.6% 높았다. 따라서 경사도가 낮아질수록 유출수의 T-N 농도가 높아지는 경향을 보였다. 1차년도 실험에서 경사도 10% 시험포 화학비료 처리 시험포는 유기비료 처리 시험포에 비해 72.2% 높았고 2차년도 실험에서 경사도 10% 화학비료 처리 시험포는 유기비료 처리 시험포에 비해 26.7% 높았다. 1차년도 실험에서 경사도 20% 시험포 화학비료처리 시험포는 유기비료 처리 시험포에 비해 58.3% 높았고 2차년도 실험에서 경사도 20% 화학비료 처리 시험포는 유기비료 처리 시험포 보다 46.6% 높았다.

화학비료에서 농촌진흥청 배추재배 권장량 N의 양은 71.3 g/m^{2}으로 화학비료 전체양의 50.1%를 차지하고 있다. 반면에 유기비료에서 농촌진흥청 배추재배 권장량 N의 양은 30~60 g/m^{2}으로 유기비료 전체양의 1~2%를 차지하고 있다(이, 2005). 따라서 화학비료 내에 있는 N의 양으로 인해 화학비료 처리 시험포에서 T-N의 농도가 높게 나온 것으로 판단된다.

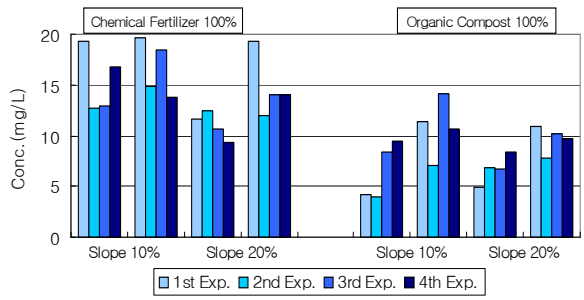

Fig. 3. Comparison of T-N concentration from chemical fertilizer and organic compost treated plot (1st year)

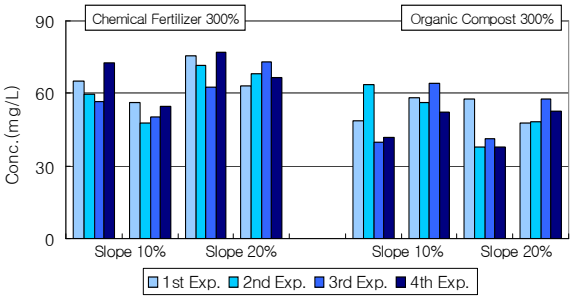

Fig. 4. Comparison of T-N concentration from chemical fertilizer and organic compost treated plot (2nd year)

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 화학비료 처리 시험포와 유기비료 처리 시험포에서의 유출수 농도 특성을 분석하기 위해 실내 인공강우실험을 수행하였다. 2년에 걸쳐 1차년도, 2차년도 실험을 수행하였고 유출수의 BOD, COD, T-P, 그리고 T-N의 농도를 비료처리별, 경사도별로 분석하였다.

본 연구결과에서 보이는 바와 같이 그동안 친환경 농업이라고 인식되어 왔던 퇴비를 이용한 유기농법은 화학비료를 사용하는 농법에 비해 주변수계의 부영양화를 유발시킬 가능성이 큰 것으로 평가되었다. 그러나 본 연구는 양질사토, 경사도 10%와 20%, 그리고 강우강도 60 mm/hr 를 사용한 단순한 실험결과로 유기농업의 친환경성 여부를 판단하기는 어렵다. 따라서 유기농업의 친환경성 여부를 평가하기 위해서는 보다 다양한 토성, 강우강도, 및 비료(유기 및 화학비료)시비량을 처리하여 심도 깊은 연구가 이루어질 필요가 있다.

사 사

본 연구는 2005년도 한강수계관리위원회(한강유역환경청)에서 시행한 환경기초조사사업 연구결과의 일부로 연구지원에 감사한다.

참 고 문 헌

1. 김필주, 이상민, 박양호, 이주영, 김석철, 윤홍배, 최두희, 2000, 유기농업실천 농가 포장내 인 산의 분포특성, 한국토양비료학회지, 33(4), pp.234-241.
2. 건설교통부, 2003, 통계연보.
3. 농림부, 1999, 친환경농업 시범마을 조성사업지침.
4. 이경보, 이덕배, 강종국, 김재덕, 1999, 만경강과 그 인근 시설재배지 지하수의 시기별 수질 변화, 한국토양비료학회, 32(3), pp.223-231.
5. 이원정, 2005, 강원도 고령지 농경지에 시용되는 부산물 퇴비의 특성 및 평가, 강원대학교 석사학위 논문
6. 이춘수, 2004, 고랭지 여름배추 재배농가의 시비실태, 토양과비료, 18, pp.9-15.
7. 한국농촌경제연구원, 2002, 지속가능한 농업발전 전략.
8. 한국환경·사회정책연구소, 2004, 친환경농업시민모니터링.
9. 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법.
10. NIAST, 2000, methods of soil and crop plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
11. Williams Horwitz, 1980, Methods of analysis of the association of official analytical chemists, A.O.A.C, pp.550-552.