

SL401 The nitrogen cycle in eutrophic, North German lakes

Karl-Paul WITZEL

Max-Planck-Institute for Limnology, P.O.Box 165, 24306 Plön, Germany Tel.: +49 4522 763 265; FAX: +49 4522 763 310; email: witzel@mpil-ploen.mpg.de

We studied the nitrogen cycle in the two naturally eutrophic lakes: Lake Plußsee and Lake Belauer See. Both lakes are situated in North Germany (about 54°10N 10°20E) and have been formed after the last glaciation of the Northern Hemisphere (about 12,000 years ago). The morphometric characteristics are as follows (Belauer See/Plußsee): Surface area 1.13/0.14 km²; volume 10.2 x 10⁶/1.3 x 10⁶ m³; max. depth 25.6/29.2 m; catchment area 26.4/4.2 km². While Belauer See ist part of a system of several lakes that are connected by a river, Plußsee has no major tributary, and is influenced mainly by precipitation and other non-point sources. The catchment area of both lakes is dominated by agricultural activities with low human population density. Due to natural geological influences and nutrient input from the surrounding land, both lakes are eutrophic with the characteristic values: maximum primary production 1200/900 mg C m⁻² d⁻¹; maximum chlorophyll a content 70/30 mg m⁻³; mean total inorganic N 1,100/800 mg N m⁻³. The lakes water body is stratified during summer (Jul/Aug) and mixes during winter (Dec/Jan). This annual cycle has significant influence on all biological processes, including elemental cycling. The nitrogen cycle comprises the following characteristic steps: (1) During winter at low temperature (4°C) oxidation of all inorganic nitrogen from NH₄⁺ to NO₃⁻ in the whole water column. (2) With the onset of stratification in May/June successive depletion of O₂ and NO₃⁻ in the deeper hypolimnion (3) During summer stratification

depletion of inorganic nitrogen in the epilimnion, while NH₄⁺ and eventually H₂S accumulate in the deeper hypolimnion; accumulation of NO₂⁻ NO₃⁻ and N₂O in the metalimnion. The distribution of nitrifying and denitrifying bacteria, as studied by MPN counts in microtiter plates, follows the described chemical pattern. Nitrification and denitrification processes (studied by dark H¹⁴CO₃⁻ uptake, acetylene inhibition test and ¹⁵N transformation) were most active at aerobic/anaerobic interfaces, like epi-/hypolimnion; sediment/overlying water; surfaces of submerged macrophytes or rocks. On average, nitrification rates of the whole lake fulfill the NO₃-demand of denitrification. N₂-fixation (measured as acetylene reduction) does not contribute significantly to the nitrogen budget of the whole lake, but is measurable in anaerobic zones, like hypolimnion and sediment. These patterns are stable over many years. The major nitrifying bacteria are hitherto undescribed species with a phylogenetic position between *Nitrosomonas* and *Nitrosospira* spp.

SL402 인공습지를 이용한 농촌유역의 오염부하 저감

윤 춘 경

건국대학교 지역생태시스템공학과

농촌지역의 점오염원 제어에는 도시지역의 기존 하수처리방식의 도입은 처리효율이나 에너지이용 효율면에서 불합리하다는 결점을 가지고 있으며, 처리장의 구조도 농촌이라는 특수한 환경을 고려할 때 유지관리가 간편함이 절대적으로 요구되는 소규모 처리시설이 적합하다. 또한, 우리나라에서는 도시지역을 중심으로 점원오염에 대한 처리시설이 점차 늘어나고 있음에도 불구하고, 비점원오염의 관리부족으로 인하여 국내의 전반적인 하천과 호소의 수질에는 가시적인 개선이 나타나지 못하고 있는 실정이다. 수질보전을 위해서는 외부오염부하량을 저감이 필수적인데, 전체 오염부하량

상당부분을 차지하는 비점원오염과 같이 상대적으로 저농도 고유량인 상태의 오염부하량을 현실적으로 저감시킬 수 있는 방법이 제한적이다. 이 글에서는 농촌유역에서 점원오염원과 비점오염원을 제어하기 위해 인공습지를 이용한 자연정화시설의 적용타당성을 검토하였으며 그 결과를 요약하여 발표하고자 한다.

1. 점오염원 제어

(1) 인공습지에 의한 오수처리실험

실험에 사용된 인공습지는 2m(폭)×8m(길이)×1m(높이)의 concrete box에 모래를 60cm 높이로 채운 후 갈대를 심었다. 건국대학교 농업생명과학대학 별관에서 나오는 오수를 이용하여 실험을 하였으며, 이때의 수리부하율은 약 6.25cm/day, 체류기간은 약 3.5일이었다. 이와 같은 시설을 이용하여 농촌유역의 수질개선에 인공습지시설의 적용가능성을 검토하기 위한 오수처리실험을 약 4년 동안 수행하였으며 실험결과를 요약하였다.

유입수와 유출수의 수온은 대기온도의 영향을 받았으나, 동절기에 일평균기온이 영하 10°C이하인 경우에도 오수는 얼지 않고 흐르며 습지운영에 지장이 없었다. DO의 경우는 유입수 평균농도가 0.35mg/L이고 유출수 평균농도가 2.12mg/L로서 처리조를 통과하면서 증가하였고 처리조가 호기성을 유지하고 있음을 알 수 있었다. BOD, COD, 그리고 SS는 약 70% 가까운 제거율을 나타내며 안정적으로 처리되었으나, 영양물질인 인이나 질소의 제거율은 상대적으로 낮았는데, T-P의 제거율은 약 50%, 그리고 T-N은 그보다 낮은 20%대에 머물렀다. 특히 T-N의 제거율이 낮은 이유는 유입수의 T-N의 농도가 매우 높았고, 체류시간 또한 3.5일로 짧았기 때문이라 생각된다. BOD, COD는 시간이 지남에 따라 처리조가 안정화되어 제거율이 소폭 증가하였고, SS와 T-P는 큰 변화를 나타내지 않은 반면, T-N은 처리조에 누적되어있던 유기질소의 분해로 인해 2년차보다 3, 4년차에 절반정도 낮은 제거율을 나타냈다.

습지 유출수의 BOD와 SS 농도는 방류수 수질기준을 초과하는 경우도 있었다. T-P와 T-N과 같은 영양물질이 수계로 직접 유입될 경우에는 부영양화의 원인이 될 수 있지만, 농업적으로 활용되면 자원화가 가능한 성분들이다. 따라서, 농촌지역의 오수처리에서는 가능하

면 공공수역에 방류를 억제하고 주변의 농지 등 자연자원과 연계하여 최종 처리하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

(2) 오수처리수를 이용한 벼재배 실험

벼재배실험시설은 폭 0.9m×길이 1.1m×높이 0.7m의 규모의 표면적이 약 1m²인 합성수지용기를 작물재배를 위한 인공포트로 사용하였으며, 포트의 바닥에는 약 10cm의 자갈을 채우고 그 위에 부직포를 덮은 후에 미세질양토(silt loam)의 토양을 50cm정도 채웠다. 공시품종 일품 벼를 1주 1본씩 포트 당 22개체씩, 대조구 1개와 처리구 4개에 각각 3반복 처리하여 총 15개 포트에 이양하였으며, 재식밀도는 30cm×15cm이었다. 오수처리수의 관개용수로의 재이용 가능성을 시험하기 위해 인공습지를 통해 처리한 오수처리수를 관개용수로 사용하여 인공포트에서 벼재배실험을 2년간 수행하였다.

처리구별 수확량 비교에서 오수처리수의 관개에 따른 수확량 감소는 없었고 오히려 증가하는 경향이 나타났다. 오수처리수를 희석하지 않고 관개한 처리구가 그렇지 않은 처리구보다 오히려 비교 항목에서 좋은 결과를 나타냈는데, 이는 영양물질 추가 공급으로 벼의 생육상태가 상대적으로 양호하였기 때문으로 생각된다. 실험결과에 의하면 벼 생육에서는 시비량보다는 관개용수의 농도가 크게 영향을 미치며, 적어도 본 실험에서 조사한 범위내에서는 관개용수에 의한 작물생육 및 수확에 부정적인 영향은 없는 것으로 판단된다.

이양 전과 수확 후에 토양을 채취·분석한 결과 pH가 다소 증가했으나 이는 약알칼리성 상태이었던 관개용수의 pH때문으로 우려할 정도는 아니었다. EC는 1년차에서는 증가하였다가 2년차에서는 감소하여 염류집적의 우려도 적을 것으로 생각된다. OM과 CEC는 약간씩 증가하며 점차 작물생육에 유리한 환경으로 변화되어 갔으며, TN에는 뚜렷한 변화가 없었다. 유효인산은 작물이 직접 이용하는 인의 형태로 모든 처리구에서 수확 후 감소하였으며, 총인에서 유효인산을 제외한 값은 오히려 증가하여 인성분의 누적가능성을 나타내었다.

결론적으로 인공습지를 통해 처리된 오수처리수를 관개용수로 재이용하여 2년간 벼 재배를 실시한 결과, 수확량의 감소나 토양의 질적 저하는 없었으며, 오히려 긍정적인 효과를 관

측할 수 있었다. 그러나, 고농도의 오수처리수를 장기적으로 관개하였을 때 작물생육 및 토양에 악영향을 줄 가능성이 있으므로, 이러한 오수처리수를 농업용수로 그대로 사용하기보다는 보조관개용수로 사용하는 것이 보다 바람직할 것으로 생각된다.

2. 비점오염원 제어

본 연구를 위한 실험시설은 충청남도 당진군에 위치한 석문간척지구내에 논 20ha, 인공습지 0.8ha×4ea, 저류지 0.08ha×4ea와 부대시설을 포함하여 총면적 약 30ha에 가까운 자연정화실험단지를 2001년도에 조성하여 실험에 착수하였다. 인공습지는 자유흐름형으로 수심 30~50cm, 체류시간 15일, 식생은 갈대를 중심으로 자연식생을 유지하였으며, 저류지는 수심 1.5m, 체류시간 5일을 유지하였다. 이러한 시설을 이용하여 농지배수 및 오염된 하천수를 처리하고자 한다.

이와 같은 자연정화수질개선방안은 농지배수와 오염하천 등과 같은 비점원오염억제를 통한 하천 및 호소 수질 개선효과뿐만 아니라, 수변에 자연정화시설의 조성으로 친수환경 조성, 자연정화시설의 조성으로 수변생태계 복원 등의 효과도 기대할 수 있을 것이다.

3. 맺음말

우리나라에서 근래에 점원과 비점원 오염억제를 위하여 인공습지시스템에 관하여 본격적으로 실용화 연구가 수행됨을 다행스럽게 생각하며, 앞으로 이 분야에 보다 많은 관심과 노력을 기울여 수질문제와 생태계복원에 기여할 수 있는 인공습지시스템이 널리 보급될 수 있기를 기대한다.

SL403 Impacts of global climatic changes on wetland biogeochemistry

Hojeong Kang

Ewha Institute of Science and Technology, Ewha Womans University, Seoul, Korea

Abstract

Wetlands are transitional zones between terrestrial and aquatic ecosystems, having many distinguishing features. In spite of high diversity of wetland types, they are often characterized by the presence of standing water, a unique type of soil (e.g., hydric soils), and the dominance of hydrophilic vegetation. From a global perspective, wetlands cover only 4 - 6 % of the earth's surface. However, they are of great importance in global as well as local biogeochemistry, which is closely related to various environmental issues. First, many wetlands, northern peatlands in particular, are a net carbon sink. It was reported that boreal and subarctic peats alone contain 455 Pg of carbon, which is comparable to the total atmospheric carbon storage of 670 Pg. As the atmospheric concentration of CO₂ is increasing continually, carbon dynamics of wetlands is of great importance in global carbon cycling. Secondly, wetlands are a substantial source of other greenhouse gases such as CH₄ and N₂O, which are 25 times and 300 times more radiatively active gases, respectively, than CO₂ on molar basis. For example, approximately 25% of annual CH₄ emissions are originated from wetlands including rice paddies. Likewise, more than 30% of annual N₂O emission is contributed by humid tropical forests which are rich in wetland areas. Thirdly, riparian systems (natural) or constructed wetlands (artificial) have been widely studied and applied for water quality amelioration. The physical location and ecological functions allow them to sequester and transform various nutrients which might induce eutrophication of lower aquatic ecosystems. Recent global circulation models suggest that conditions which ensure the integrity of wetlands may eventually be compromised as a consequence of global climatic changes, such as elevated CO₂ concentrations in the atmosphere, increased temperature, and increased frequency of droughts. Impacts of such changes are of great importance in the

stability and persistence of wetlands themselves as well as other ecosystems (e.g., aquatic systems). Several experiments were conducted to reveal possible impacts and consequences of such global climatic changes on wetland biogeochemistry.

First, elevated CO₂ conditions induced significantly higher biomass (root + shoot + algal mat), higher emissions of N₂O and CO₂, and higher concentration of pore-water DOC (dissolved organic carbon) in the wetland cores. However, no significant differences were found in CH₄ emission or soil enzyme activities (β -glucosidase, phosphatase, and N-acetylglucosaminidase) in the bulk soil. Overall results of my study suggest that elevated CO₂ will induce higher primary production and DOC input in northern peatlands, which then may result in a positive feedback to global climatic changes by releasing more greenhouse gases back to the atmosphere. Secondly, higher temperature would accelerate microbial decomposition in the northern wetlands resulting in higher trace gas emissions and DOC supply to aquatic ecosystems. This result indicate that northern wetlands may lose their role as a net carbon sink, turning into carbon source from a global perspective.

Finally, water table draw-down may create conditions where CO₂ emission increases while CH₄ emission decreases. Detailed biochemical analysis revealed that the regulation of CH₄ flux occurs primarily through decrease in CH₄ production rather than enhanced CH₄ oxidation.