

신구저수지의 1차 생산 및 지방산 생성속도 결정을 위한 ^{13}C 추적자 활용 연구

이연정 · 김민섭 · 신경훈* · 황순진¹

(한양대학교 해양환경과학과, ¹건국대학교 환경과학과)

An Application of ^{13}C Tracer for the Determination of Primary Productivity and Fatty Acid Production Rate in Shingu Reservoir. Lee, Yeonjung, Min-Seob Kim, Kyung-Hoon Shin* and Soon-Jin Hwang¹ (Department of Environmental Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 425-791, Korea; ¹Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

The *in situ* incubation experiment was carried out using ^{13}C tracer to determine primary productivity and fatty acid production rate in the shallow, eutrophic Shingu reservoir on 4th July. Particulate organic matter (POM) accounted for 76% in suspended particulate matter (SPM), and average concentration of chlorophyll-*a* was $89 \mu\text{g L}^{-1}$ in the euphotic layer. Total amount of chlorophyll-*a* (Chl-*a*), primary productivity and Chl-*a* specific productivity in euphotic layer were $112 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-2}$, $3.53 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $32 \text{ mg C mg Chl-}a^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectively. The fatty acid composition in newly produced organic matter and suspended organic matter didn't show any significant difference, demonstrating that autochthonous organic matter should be a major source of POM pool. In addition, the fatty acids of bacterial origin were increased through extracellular release of newly photosynthesized DOC, and closely coupled with bacterial assimilation. This result suggests that organic carbon should be actively cycled through the microbial loop in Shingu reservoir in summer.

Key words : ^{13}C tracer method, primary productivity, fatty acid, Shingu reservoir

서 론

우리나라의 농업용 저수지는 농업용수 공급을 위해 1990년도부터 약 492개소가 수질측정망으로 운영되고 있으며, 이 중 약 40%가 부영양화 상태이다(농어촌연구원, 2005). 부영양화 현상은 조류 대발생과 같은 환경적인 문제를 야기시키므로 효과적이고 체계적인 관리를 통한 농업용 저수지의 수질개선이 필요하며, 수질악화의 원인이 되는 주요한 대상의 하나로서 저수지 내 자생기원 유기물 생산 등 수생태계 물질순환에 대한 이해가 절실

히 필요하다.

안정동위원소란 방사붕괴를 하지 않는 동위원소으로써 현장에서 사용이 가능하여 수생태계 내 물질순환에 관한 연구를 수행하는데 있어 유용하게 사용된다. 특히 안정동위원소 추적자 실험과 가스크로마토그래피-질량분석기 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) 방법을 함께 사용하면 식물플랑크톤의 광합성을 통해 새롭게 생성된 유기물의 종류 및 이들의 생성속도를 파악할 수 있다 (Hama *et al.*, 1983). 이에 대한 예로는 지방산과 같은 특정 유기물의 생성속도 측정에 관한 연구 (Shin *et al.*, 2000)와 특정 유기물의 생성속도 결정을 통한 식물플랑

* Corresponding author: Tel: 031) 400-5536, Fax: 031) 416-6173, E-mail: shinkh@hanyang.ac.kr

크론 생리상태 파악에 관한 연구(Hama, 1988; Shin *et al.*, 2003) 등이 있다.

지방산(fatty acid)은 모든 생물이 가지고 있는 생체 성분의 하나인 지질(lipid)의 중요한 성분이며, 수생태계 내에서 지방산 분석에 관한 결과는 상위 영양단계 생물들의 먹이원 판단, 유기물의 기원 판단 등 수생태계 물질순환을 이해하는 기초 자료로 사용된다(Pagano *et al.*, 2006; Zou *et al.*, 2006). 특히 eicosapentaenoic acid (EPA) 나 docosahexaenoic acid (DHA)와 같은 다중불포화 지방산(PUFA, polyunsaturated fatty acid)은 수생태계의 먹이질을 판단하는 지표로 사용된다.

본 연구에서는 ^{13}C 추적자를 사용한 현장 배양실험을 통해 부영양 상태의 신구저수지 내 식물플랑크톤에 의한 기초생산속도를 측정하고, 국내에서는 처음으로 ^{13}C -GC/MS 방법을 사용하여 광합성을 통해 새롭게 만들어진 지방산의 생성속도를 파악하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2006년 7월 4일 충청남도 보령시에 위치한 신구저수지 내 한 정점에서 실시되었다(Fig. 1). 신구저수지는 소규모(수표면적 0.1 km², 최대 수심 7 m, 유역면적 2.55 km²) 농업용저수지로 평균 수심은 약 4 m이고, 연평

균 엽록소-*a*의 농도가 25 $\mu\text{g L}^{-1}$ 를 상회하는 부영양 저수지이다(김과 황, 2004).

pH, 수온, 탁도, 전기전도도는 수질측정기(U-10, Horiba, Japan)로 현장에서 측정하였으며, 유광층의 깊이는 광량계(Li-1000, Li-COR, USA)를 이용하여 표층 광량의 1%가 도달하는 지점까지로 정의하였다.

엽록소-*a*는 mesh size가 100 μm 인 sieve로 거른 시료를 GF/F 여과지로 여과한 후 여과지를 90% 아세톤으로 추출하여 spectrophotometer(Cary 50, Varian, Australia)로 측정하였다. 입자성부유물질(SPM)의 농도는 미리 무게를 잰 GF/F 여과지에 시료를 여과한 후 건조하여 무게를 잰 후, 여과지의 무게를 빼고 여과한 양으로 나누어 구하였으며, 입자성유기물(POM)의 농도는 SPM을 측정 한 여과지를 450°C에서 4시간 정도 태운 후에 무게를 측정하여, 건조 후 무게와 태운 후 무게의 차이로 구하였다.

1차 생산성 측정을 위한 배양실험은 대형 동물플랑크톤을 제거하기 위해 100 μm sieve로 거른 후 시료에 $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ (98%)를 첨가하여 ^{13}C 의 존재 비를 현장보다 약 8%까지 올려준 후 6시간 동안 실시하였다. 배양이 끝난 후 시료는 미리 태운(450°C, 4시간) 25 mm GF/F 여과지로 여과한 후 진한염산 증기로 무기탄소를 제거하여 알래스카대학 물환경연구센터에 있는 원소-질량분석기(Delta V plus, Finnigan, Germany)로 분석한 후 Hama *et al.*(1983)의 계산식에 따라 1차 생산을 계산하였다.

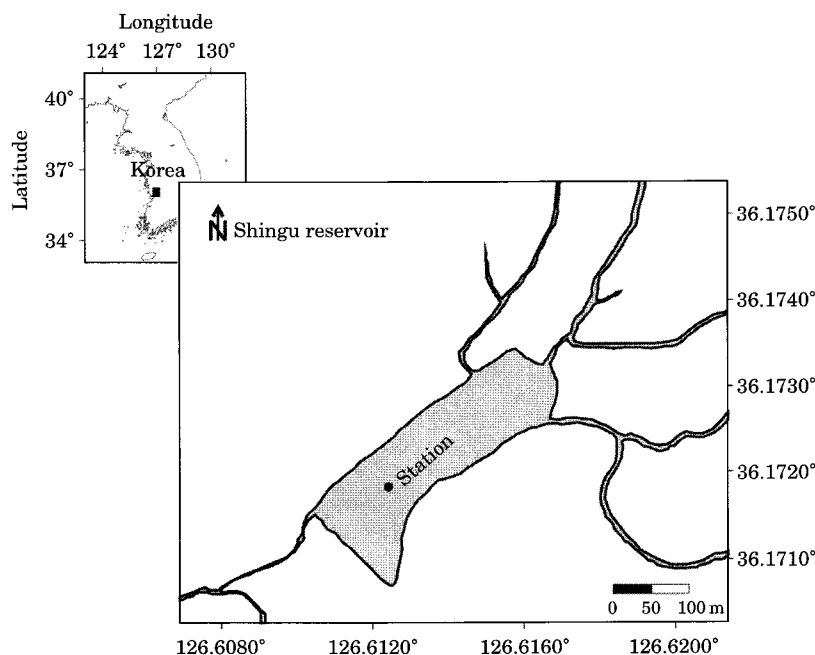


Fig. 1. A map showing a sampling station in Shingu reservoir.

$$\text{Production rate (pc(t))} = \frac{\Delta\text{POC}(t)}{t} = \frac{a_{is} - a_{ns}}{a_{ic} - a_{ns}} \times \frac{\text{POC}(t)}{t}$$

a_{is} : ^{13}C atomic percent of particulate matter at the end of the incubation

a_{ns} : ^{13}C atomic percent in natural (nonincubated) sample

a_{ic} : ^{13}C atomic percent in dissolved inorganic carbon in the incubation bottle

t : Incubation time

$\Delta\text{POC}(t)$: Increase in POC (Particle Organic Carbon) concentration during the incubation

$\text{POC}(t)$: Concentration of POC (Particle Organic Carbon) at the end of the incubation

입자성유기탄소의 농도 역시 원소-질량분석기로 분석하였으며, 용존성 유기탄소의 농도는 현장수를 GF/F 여과지로 여과한 후 여과된 시료에 1N 염산을 첨가하여 pH를 약 2 정도로 조정 한 후 한국수자원공사 시화환경연구소에 있는 총 유기탄소 분석기 (Apollo 9000, Teledyne tekmar, USA)로 분석하였다.

입자성물질의 지방산 생성속도를 측정하기 위하여 표층수 9 L를 채수하여 100 μm sieve로 거른 후 시료에 $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ (98%)를 첨가하여 ^{13}C 의 존재 비율 약 16%까지 올려준 후 6시간 동안 배양하였다. 그 후 미리 태운 (450°C, 4시간) GF/F 여과지로 여과한 후 동결 건조하여 내부표준물질 (C19 : 0 사용) 첨가 후 dichloromethane-methanol (2 : 1 v/v) 용액으로 추출하고, dichloromethane 층을 취해 sodium-methanol 용액으로 비누화 반응을 시켜준 후 BF_3 -methanol 용액을 첨가시켜 80°C에서 30분간 반응시켜 fatty acid를 fatty acid methyl ester형태로 전환시켰다.

지방산 농도 분석을 위한 시료는 capillary column (DB-5, 30 m \times 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness, Agilent, USA)을 이용하여 분리시킨 후, 불꽃 이온화 검출기가 장착된 gas chromatography (GC-2010, Shimadzu, Japan)를 이용하여 농도 분석을 하였다. 시료도 입부와 검출부의 온도는 300°C로 설정하였으며, oven의 승온 조건은 40°C에서 1분간 유지시킨 후, 200°C까지 1분당 10°C씩, 250°C까지는 1분당 2°C씩, 300°C까지 1분당 10°C 상승시킨 후 10분간 유지시켰다. Carrier gas는 헬륨을 사용하였으며, 피크 동정은 GC/MS (GCMS-QP2010 plus, Shimadzu, Japan)를 이용하였다.

지방산의 생성속도 측정을 위한 시료 분석은 GC/MS를 이용하였으며, isobutane을 사용하여 chemical ioniza-

tion시켰다. Ion source의 온도는 200°C로 설정하였으며 모든 분석조건은 위에서 언급한 GC 분석조건과 동일하다. 각 지방산의 ^{13}C 원자 백분율은 GC/MS를 통해 얻어진 결과를 Kouchi 식 (1982)을 이용하여 계산하였으며, 지방산의 생성속도는 Hama *et al.* (1987)의 식을 통해 계산하였다.

$$\Delta\text{FAC} = \text{FAC} \times \frac{a_{is} - a_{ns}}{a_{ic} - a_{ns}}$$

ΔFAC : The amount of each fatty acid carbon photo-synthetically produced during the incubation

a_{is} : ^{13}C atom % in each fatty acid of incubated sample

a_{ns} : ^{13}C atom % in each fatty acid of natural sample

a_{ic} : ^{13}C atom % in ^{13}C enriched inorganic carbon

FAC : Concentration of each fatty acid carbon at the end of incubation

결과 및 고찰

1. 환경요인

본 연구는 2006년 7월 4일에 실시되었으며, 조사 당시 유광층 깊이는 1.2 m, 최고 수심은 3.8 m였으며, pH의 값은 평균 6.6, 유광층 내 탁도의 평균은 57 NTU, 수온은 23.5°C, 전기전도도는 130 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 의 값을 보였다.

연구정점에서의 입자성부유물질 (SPM)과 입자성유기물 (POM)의 결과는 Fig. 2와 같다. 표층에서의 SPM, POM의 농도는 각각 18.55 mg L^{-1} , 13.73 mg L^{-1} , 0.73 m 깊이 (표층 광량에 대한 상대적인 광도가 10%인 깊이)에서는 각각 18.75 mg L^{-1} , 14.50 mg L^{-1} , 2.5 m 깊이에서는 각각 15.65 mg L^{-1} , 10.10 mg L^{-1} 의 값을 보였다. SPM 중 POM이 차지하는 비율은 표층에서는 약 74%, 0.73 m에서는 약 77%, 2.5 m에서는 약 65%였다.

연구정점 내 유기탄소 pool을 크기 (GF/F 여과지 기준)로 나누었을 때, 입자성유기탄소 (POC)와 용존성유기탄소 (DOC)의 농도분포는 Fig. 3과 같다. 표층에서의 POC와 DOC의 농도는 각각 4.96 mg L^{-1} , 3.96 mg L^{-1} 이며, 0.73 m의 깊이에서는 각각 6.68 mg L^{-1} , 3.88 mg L^{-1} 의 값을, 2.5 m 깊이에서는 각각 5.70 mg L^{-1} , 3.82 mg L^{-1} 의 값을 보였다. POC와 DOC의 비는 약 6 : 4로 입자성 유기탄소가 좀 더 높은 비율로 존재하고 있었다. 입자성 유기물 중 유기탄소가 차지하는 비율은 표층에서 약 36%, 0.73 m 깊이에서 약 46%, 2.5 m 깊이에서 약 56%였다.

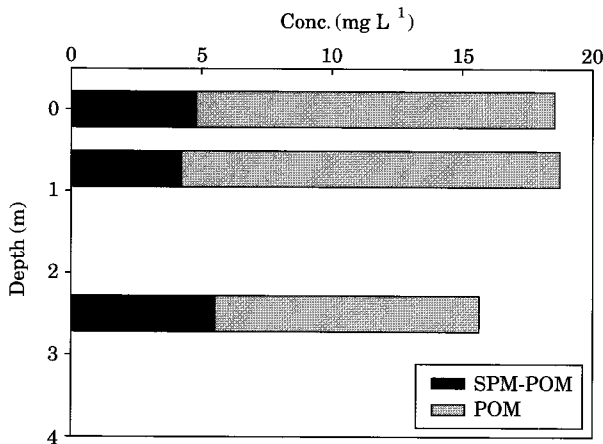


Fig. 2. Vertical distribution of SPM and POM concentrations.

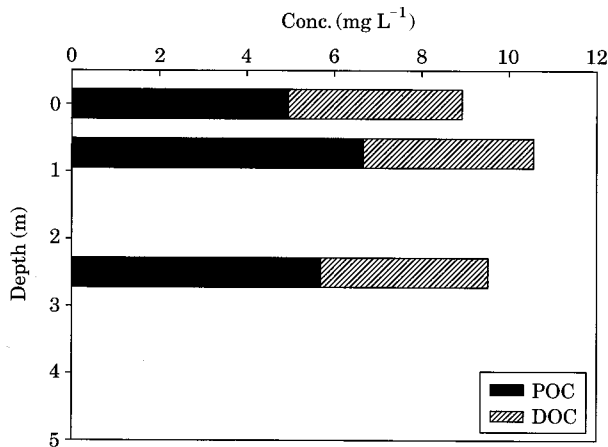


Fig. 3. Vertical distribution of POC and DOC concentrations.

2. 엽록소-a의 농도 및 1차 생산력

100 μm보다 작은 입자의 엽록소-a 농도 분포는 Table 1과 같다. 엽록소-a의 농도는 표층에서 약 76 μg L⁻¹, 0.73 m에서는 약 102.2 μg L⁻¹의 값을 보였으며, 1차 생산 속도는 표층에서 5.85 mg L⁻¹ d⁻¹, 0.73 m 깊이에서는 2.32 mg L⁻¹ d⁻¹의 값을 보였다. 엽록소-a의 농도는 표층이 0.73 m에 비해 약 1.3배 정도 높았지만, 1차 생산 속도는 표층이 약 2.5배 높게 나타났다. 따라서 엽록소-a에 의한 탄소고정 능력은 표층에서 약 77 mg C mg Chl-a⁻¹ d⁻¹, 0.73 m 깊이에서 약 23 mg C mg Chl-a⁻¹ d⁻¹으로 표층 식물플랑크톤의 활성도가 더 높은 것으로 사료된다.

Fig. 4는 유광층 내에서의 엽록소-a 총량 및 1차 생산

Table 1. Chlorophyll-a, production rate and chlorophyll-a specific productivity at two depths at the euphotic layer in Shingu reservoir.

Depth (m)	Chl-a conc. (μg L ⁻¹)	Production rate (mg C L ⁻¹ d ⁻¹)	Chl-a specific productivity (mg C mg Chl-a ⁻¹ d ⁻¹)
0	76.0	5.85	77
0.73	102.2	2.32	23

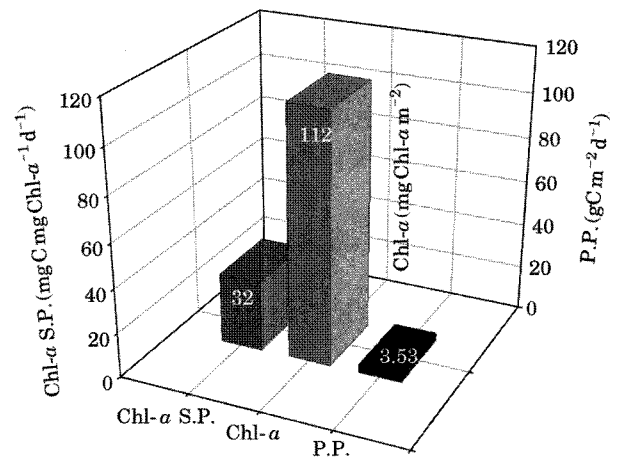


Fig. 4. Depth integrated chlorophyll-a (Chl-a), primary productivity (P.P.) and Chl-a specific productivity (Chl-a S.P.).

력, 엽록소-a에 의한 탄소고정 능력의 결과를 보여주고 있다. 유광층의 단위면적 당으로 계산한 결과는 각각 112 mg Chl-a m⁻², 3.53 g C m⁻² d⁻¹, 32 mg C mg Chl-a⁻¹ d⁻¹의 값을 보였다. 신구저수지의 7월 1차 생산력은 약 3,530 mg C m⁻² d⁻¹으로, 소양호(100~1,800 mg C m⁻² d⁻¹, 김 등, 1989)나 팔당호(500~1,000 mg C m⁻² d⁻¹, 김과 김, 1990), 대청호(200~2,500 mg C m⁻² d⁻¹, 황 등, 1994)의 값보다 훨씬 높은 값을 보였다. 또한 이 시기에 신구저수지에서 가장 우점하는 식물플랑크톤은 남세균인 *Phormidium* sp.였다.

조사 당시 입자성 탄소는 하루에 표층에서 100%, 0.73 m 깊이에서 약 40%가 순환(turnover)되는 것으로 나타났다. 이 때, 탄소의 순환속도는 입자성 유기탄소의 생성 속도를 농도로 나누어 계산하였다.

3. 입자성유기물의 지방산 농도 조성 및 생성속도

Fig. 5(A)는 조사 당시 표층 입자성유기물의 지방산 농도를 보여주고 있다. 가장 높은 농도를 보이는 것은 C14

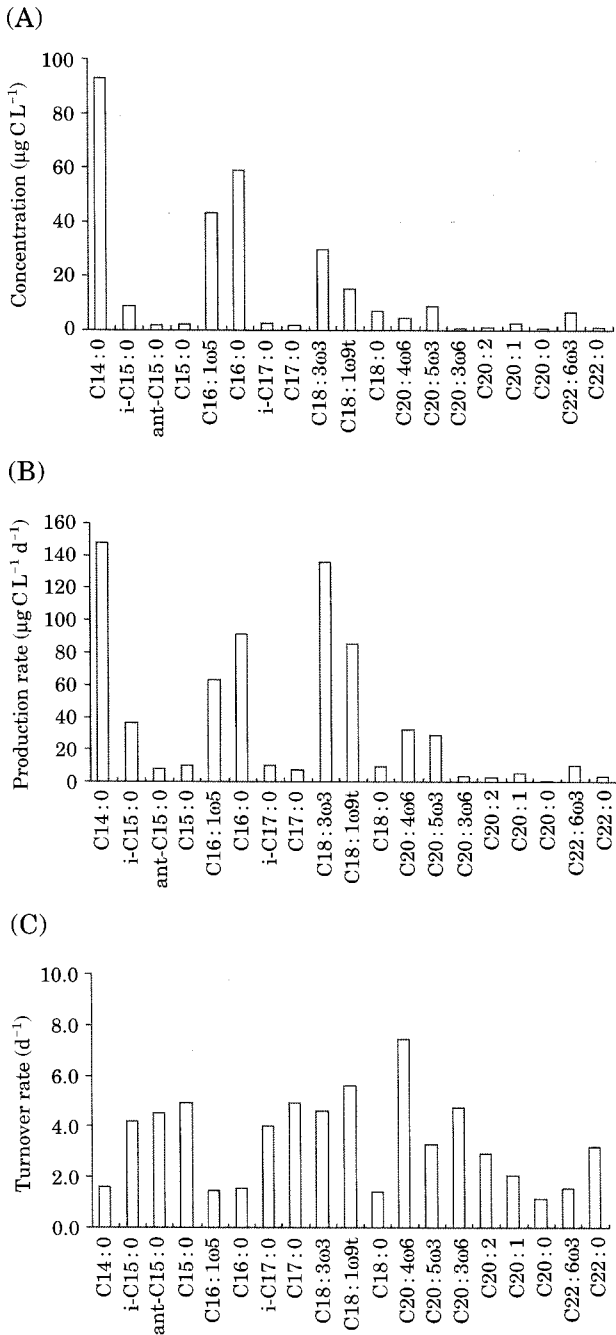


Fig. 5. Fatty acids in particulate organic matter: (A) concentration; (B) production rate; (C) turnover rate.

:0 (93 µg C L⁻¹)이며, 그 다음으로는 C16:0 (59 µg C L⁻¹), C16:1ω5 (43 µg C L⁻¹), C18:3ω3 (29 µg C L⁻¹), C18:1ω9trans (15 µg C L⁻¹)의 순서이다. C14:0이나 C16:0는 대부분 모든 생물체가 쉽게 만들어 낼 수 있는 지방산이기 때문에 높은 농도를 보이는 것으로 사료된다. Matsunaga *et al.* (1995)은 *Phormidium sp.*내에서 cis-palmitoleic

acid (C16:1c)의 농도가 높게 나타났음을 보고한 바 있다. 이번 연구에서 C16:1ω5가 cis형태인지는 확인하지 못하였으나, 본 연구기간동안 우점한 *Phormidium sp.*가 이 지방산에 큰 기여를 한 것으로 추측 된다. C18:3ω3은 Chlorophytes나 Cryptomonads 내에서 높은 농도로 존재하는 것으로 보고되고 있다 (Volkman, 2006). 따라서 이들이 C18:3ω3의 농도 분포에 영향을 끼쳤을 것으로 사료된다. 일반적으로 먹이질의 지표로 쓰이는 EPA (C20:5ω3)나 DHA (C22:6ω3)는 비교적 낮은 농도를 보였다.

Fig. 5(B)는 ¹³C 추적자를 사용한 현장 배양실험동안 생성된 입자성 유기물의 지방산 생성속도를 보여주고 있다. 생성속도가 가장 빠른 지방산은 농도가 가장 높았던 C14:0으로 148 µg C L⁻¹ d⁻¹의 값을 보이고 있으며, 그 다음으로는 18:3ω3 (136 µg C L⁻¹ d⁻¹), C16:0 (92 µg C L⁻¹ d⁻¹), C18:1ω9trans (85 µg C L⁻¹ d⁻¹), C16:1ω5 (63 µg C L⁻¹ d⁻¹)이다. Fig. 5(A)에서 보여지는 수층 내 입자성 유기물의 지방산 농도조성과 Fig. 5(B)에서 보여지는 식물플랑크톤 광합성 활동에 의해 만들어진 입자성 유기물의 지방산 농도조성이 거의 비슷한 것으로 미루어 보아, 본 연구기간동안 신구저수지 내에서의 수층 입자성 유기물은 대부분 식물플랑크톤에 의해 유래된 것이라 사료된다. 이는 Fig. 5(C)에서 보는 바와 같이 C14:0과 C16:0이 하루에 한번 이상 식물플랑크톤 광합성에 의해 순환되는 것을 통해 알 수 있다. C18:3ω3의 생성속도가 C14:0과 비슷하게 나타나는 것으로 보아 Chlorophytes나 Cryptomonads 중 광합성을 하는 종들에 의해 만들어지는 지방산이 전체 식물플랑크톤 광합성을 통해 만들어지는 지방산에 크게 기여하고 있다고 사료된다. 여기에서 특이한 사실은 iso-C15:0, ant-C15:0, C15:0, iso-C17:0, C17:0과 같은 박테리아성 지방산에도 ¹³C 백분율(%)이 증가되었다는 점이다. 이는 광합성을 통해 만들어진 유기물이 세포외배출 (extracellular release) 등을 통해 용존유기물 pool로 이동된 후 박테리아에게까지 빠르게 전달되었음을 의미 한다 (Nalewajko *et al.*, 1980).

Fig. 5(C)는 수층의 입자성 유기물이 식물플랑크톤의 광합성을 통해 하루 동안 순환(turnover)되는 속도를 보여주고 있다. 여기서 순환속도(turnover rate)는 입자성 지방산의 생성속도를 농도로 나누어 계산하였다. 모든 지방산은 순환속도가 1 이상으로, 하루에 일회 이상 순환되고 있는 것으로 나타났다. 한편 전체적으로 불포화지방산과 더불어 탄소수가 15개나 17개인 박테리아성 지방산이 C14:0이나 C16:0, C18:0과 같은 포화지방산에 비해 빠르게 순환하는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 하절기 신구저수지에서 박테리아에 의한 유기물의 소비가

활발하게 일어나고 있음을 시사한다.

본 연구는 하계 신규저수지 자체생성유기물의 순환을 이해하는데 있어 유용한 정보를 제공하고 있으며, 향후 ^{13}C 안정동위원소 추적자를 사용하여 현장 메소코즘 실험을 수행하게 된다면 저수지 내 식물플랑크톤 광합성에 의한 에너지 및 영양물질 순환을 이해하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 ^{13}C 추적자를 사용하여 신규저수지 내 식물플랑크톤에 의한 1차 생산속도를 계산하고, ^{13}C -GC/MS 기법을 사용하여 광합성을 통해 새롭게 만들어진 지방산의 생산속도를 분석하였다. 유광층 내의 SPM 중 POM이 차지하는 비율은 약 76%였으며, 엽록소-*a*의 평균 농도는 약 $89 \mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 유광층 단위면적당 엽록소-*a* 총량, 1차 생산력, 엽록소-*a*에 의한 탄소 고정 능력은 각각 $112 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-2}$, $3.53 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $32 \text{ mg C mg Chl-}a^{-1} \text{ d}^{-1}$ 이었다. 수층 내 입자성유기물의 지방산 조성과 식물플랑크톤 광합성에 의해 새롭게 만들어진 입자성유기물의 지방산 조성이 거의 비슷한 것으로 미루어 보아, 본 연구기간 동안 수층의 입자성유기물은 대부분 식물플랑크톤에 의해 유래된 것으로 판단되었다. 또한 광합성을 통해 만들어진 유기물은 세포외배출 등의 과정을 통해 용존유기물 pool로 이동된 후 박테리아에게까지 빠르게 전달됨으로써, 박테리아에 의한 유기물 소비가 활발하게 일어나고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림부 핵심 전략 연구과제 “생물조절(먹이연쇄)을 통한 농업용저수지 수질관리 기법개발”(306009-03-2-CG000)에 의해 수행되었음.

인 용 문 헌

- 김동섭, 김범철. 1990. 팔당호의 일차생산. *육수지* **23**: 167-179.
 김범철, 조규승, 허우명, 김동성. 1989. 소양호 부영양화의 추이. *육수지* **22**(3): 151-158.
 김호섭, 황순진. 2004. 얕은 부영양 저수지의 육수학적 특성-계절에 따른 수질변화. *육수지* **37**(2): 180-192.
 농어촌연구원. 2005. 농업용수 수질개선 실용화 연구 1차년도 보고서. 1p.

- 황길순, 김동섭, 허우명, 김범철. 1994. 대청호의 일차생산과 가두리양어장 및 유역으로부터의 유기물부하량. *육수지* **27**(4): 299-306.
 Hama, T. 1988. ^{13}C -GC-MS analysis of photosynthetic products of the phytoplankton population in the regional upwelling area around the Izu Islands, Japan. *Deep-Sea Res. Part I* **35**: 91-110.
 Hama, T., N. Handa and J. Hama. 1987. Determination of amino acid production rate of a marine phytoplankton population with ^{13}C and gas chromatography mass spectrometry. *Limnol. Oceanogr.* **32**: 1144-1153.
 Hama, T., T. Miyazaki, Y. Ogawa, T. Iwakuma, M. Takahashi, A. Otsuki and S. Ichimura. 1983. Measurement of photosynthetic production of marine phytoplankton population using a stable ^{13}C isotope. *Mar. Biol.* **73**: 31-36.
 Kouchi, H. 1982. Direct analysis of ^{13}C abundance in plant carbohydrates by gas chromatography mass spectrometry. *J. Chromatogr.* **241**: 305-323.
 Matsunaga, T., H. Takeyama, Y. Miura, T. Yamazaki, H. Furuya and K. Sode. 1995. Screening of marine cyanobacteria for high palmitoleic acid production. *FEMS Microbiol. Lett.* **133**: 137-141.
 Nalewajko, C., K. Lee and P. Fay. 1980. Significance of algal extracellular products to bacteria in lakes and in cultures. *Microb. Ecol.* **6**(3): 199-207.
 Pagano, M., G. Champalbert, M. Aka, E. Kouassi, R. Arfi, P. Got, M. Troussellier, E.H. N'Dour, D. Corbin and M. Bouvy. 2006. Herbivorous and microbial grazing pathways of metazooplankton in the Senegal River Estuary (West Africa). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **67**: 369-381.
 Shin, K.H., T. Hama and N. Handa. 2003. Effect of nutrient conditions on the composition of photosynthetic products in the East China Sea and surrounding waters. *Deep Sea Res. Part II* **50**(2): 389-401.
 Shin, K.H., T. Hama, N. Yoshie, S. Noriki and S. Tsunogai. 2000. Dynamics of fatty acids in newly biosynthesized phytoplankton cells and seston during a spring bloom off the west coast of Hokkaido Island, Japan. *Mar. Chem.* **70**: 243-256.
 Volkman, J.K. 2006. Marine organic matter: biomarkers, isotopes and DNA. Springer Berlin/Heidelberg, New York. 38p.
 Zou, L., M.Y. Sun and L. Guo. 2006. Temporal variations of organic carbon inputs into the upper Yukon River: Evidence from fatty acids and their stable carbon isotopic compositions in dissolved, colloidal and particulate phases. *Org. Geochem.* **37**: 944-956.

(Manuscript received 31 December 2007,
 Revision accepted 4 February 2008)