

박실지와 정양지의 식물플랑크톤 군집의 계절 변동

이경락 · 최재신 · 김한순

(경북대학교 생물학과)

Seasonal Changes of Phytoplankton Communities in the Paksil and Jungyang Marshes

Kyung Lak Lee, Jae Shin Choi and Han Soon Kim

Department of Biology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

The physico-chemical characteristics and seasonal variations of phytoplankton community were investigated in the Paksil and Jungyang marshes. Water and phytoplankton samples for analyses were collected monthly from April 2002 to March 2003. A total of 421 taxa of phytoplankton belonging to eight classes identified. The number of taxa was highest in Bacillariophyceae, followed by Chlorophyceae, Euglenophyceae, Cyanophyceae, Chrysophyceae, Dinophyceae, Xanthophyceae and Cryptophyceae. The standing crops ranged from 1.25×10^6 to 5.85×10^6 cells $\cdot l^{-1}$ in Paksil marsh and 0.25 to 9.63×10^6 cells $\cdot l^{-1}$ in Jungyang marsh. The highest algal density at Paksil marsh was recorded in October during the high development of Chlorococcales while the lowest value occurred in July. In the Jungyang marsh, the maximum algal density was recorded in October when *Cryptomonas* sp. and *Mallomonas* sp. accounted for 64% to total cell numbers and the lowest cell density was observed in January due to the decrease of Chlorophyceae. The dominant species were represented by *Euglena proxima*, *Trachelomonas oblonga*, *Trachelomonas volvocina* of Euglenophyceae, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Monoraphidium griffithii*, *Oocystis parva* of Chlorophyceae, *Dinobryon sertularia*, *Kephyrion rubri-claustris* of Chrysophyceae, *Achnanthes minutissima* of Bacillariophyceae and *Cryptomonas* sp. of Cryptophyceae in the Paksil and Jungyang marshes. Phytoplankton diversity (H') and dominance index varied rather irregularly throughout the sampling period but they were significantly correlated. The highest diversity ($H'_{\text{Paksil}} = 3.68$, $H'_{\text{Jungyang}} = 3.63$) coincided with the lowest values of dominance ($D_{\text{Paksil}} = 0.05$, $D_{\text{Jungyang}} = 0.05$)

Key Words: diversity, dominance, Jungyang marsh, Paksil marsh, phytoplankton community

서 론

21세기에 접어들어 수질오염 및 토지이용의 증가와 기후 변화 등은 수계생태계에 있어 가장 큰 위협이 되고 있으며, 그 중에서 습지(자연늪) 생태계는 가장 취약한 상태에 놓여 있다(Finlayson and Moser 1992; Dugan 1993). 잘 보존된 습지는 생물 다양성을 높여 줄 뿐만 아니라 심미적, 경제적 가치를 제공해 주며, 수많은 희귀종과 멸종 위기종을 보호하는 서식처로서의 기능을 수행한다(Barbier et al. 1994). 우리나라에서 중요하게 기록된 습지는 낙동강 하구 유역 등의 18개

지역이 알려져 있으나, 그 중 14개 지역이 오염이 심하거나 공업용지나 농경지로 매워짐으로써 심하게 훼손되고 있는 실정이며(한 1995), 대부분의 습지들은 주변의 농경작지와 인간 활동에 의한 오염물질에 의해 심각한 부영양화의 위험에 놓여 있다. 따라서 홍수조절, 오염된 수질의 정화, 레크리에이션 등으로서의 직접적인 경제적 가치를 지닌 습지는 국가적 차원에서 보호될 필요성이 있을 뿐만 아니라 습지 내 생물상의 생태적 특성과 천이과정에 대한 지속적인 모니터링이 요구되고 있다. 이러한 시점에서 수계생태계 내에서 저차 기초생산자로서 중요한 역할을 담당하고 있는 식물플랑크톤에 대한 조사의 중요성은 매우 높다고 하겠다. 남한 지역의 습지에 대한 식물플랑크톤의 조사는 강원도 양구군의 대암산 용늪(정 1974; 정과 김 1987)과 경남 함안군의 배달

*Corresponding author (algaekl@yahoo.co.kr)

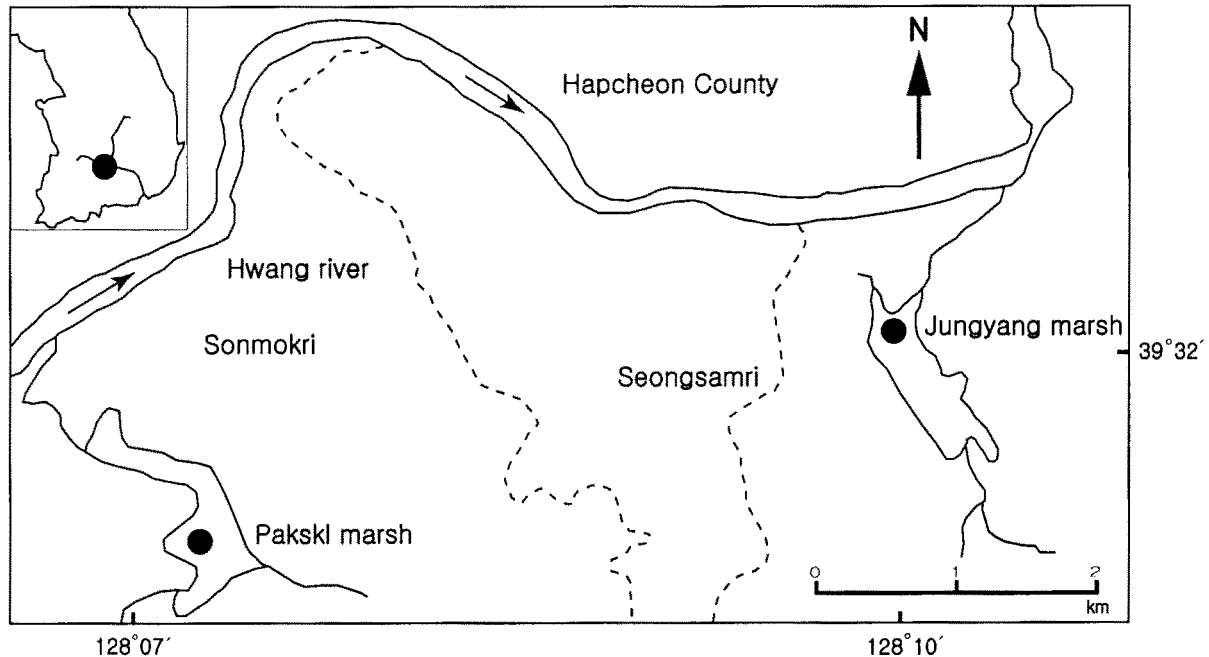


Fig. 1. A map showing the Paksil and Jungyang Marshes with sampling stations.

유지, 질낚벌과 유전늪(정과 이 1986; 정과 노 1987)에 대한 연구가 수행된 바 있으며, 창녕군 소재의 자연늪(김과 정 1993) 등이 보고 된 바 있다. 최근에는 창녕군의 우포늪(김 2001)과 경기도 연천군의 자연늪에 대한 조사(이와 최 2001)가 수행되었다. 본 조사지인 박실지와 정양지에서는 수생유 관속 식물에 대한 연구(오 1988; 김 2000)는 수행된 바 있으나, 식물플랑크톤에 대한 연구는 수행된 바 없다. 우리나라에서는 1997년 3월에 람사협약(Ramsar Convention)에 가입한 이후 1998년에 습지보전에 대한 법률이 제정되고, 지금까지 버려진 땅으로만 여겨지던 습지에 대한 관심과 경제적 가치 또한 새롭게 인식되고 있다. 본 연구에서는 경남 합천군에 위치한 두 자연늪(박실지와 정양지)의 식물플랑크톤 군집의 특성과 이화학적 요인들을 조사함으로써 습지의 생태적 특성을 파악하고 그 보호를 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

재료와 방법

조사지 개황

박실지는 경남 합천군 용주면 평상리와 선목리(35° 32' 20" N, 128° 07' 70" E)에 걸쳐 있으며, 남북의 길이 3.3 km, 동서 폭이 200 m이고 면적은 39.9 ha이며, 평균수심은 1.02 m이다. 정양지는 경남 합천군 대양면 정양리와 아천리(35° 32' 30" N, 128° 10' 00" E)에 걸쳐 위치하며, 남북의 길이 1.4 km, 동서 폭이 350 m, 면적은 31.6 ha, 평균수심은 1.4 m이다(Fig. 1). 두 조사지역은 홍수 때 황강이 역류하여 토사를 퇴적하여 자

연 제방이 형성되면서 물이 고여 형성된 자연늪이며, 한국자연보존협회(1989)와 자연보호중앙협의회(1996)가 지정한 특별 관리 식물들인 통발(*Utricularia japonica*), 가시연꽃(*Euryale ferox*), 자라풀(*Hydrocharis dubia*) 등을 포함한 다량의 수생식물이 번성하고 있다. 특히, 박실지는 환경부 지정 멸종위기종인 고니도래지로서 보존 가치가 매우 높은 곳이다(합천군 1997).

이화학 환경요인 분석

수온, 전기전도도와 pH는 Checkmate 90을 이용하여 현장에서 측정하였으며, TP, TN, NO₃-N 및 NH₄-N는 Standard Method에 의하여 측정하였다(APHA-AWWA-WPCF 1985). Chlorophyll (chl) a 분석은 Whatman GF/C filter로 여과하여 냉암소에서 90% acetone으로 24시간 추출한 후 흡광도계(UV-VIS 1240)로 흡광도를 측정한 후 Marker 등(1980)의 방법에 기초하여 계산하였다.

식물플랑크톤

식물플랑크톤의 정성채집은 플랑크톤 넷트(Rhigosha NXXX25, Mesh size 40 μm)를 수평방향으로 7-8회 잡아당겨 표층수를 채집하였으며, 정량채집은 1 l용 폴리에틸렌 병을 이용하여 수심 20-30 cm 사이에서 채수하였다. 정량 채집한 시료는 3-5% 중성 포르말린 용액으로 고정하였으며, 고정한 시료는 48시간 이상 침전시켜 식물플랑크톤 현존량의 농도에 따라 50-100 ml로 농축한 후 1 ml을 취해 Sedgwick-Rafter Chamber에 넣어 독립현미경(Zeiss Axiovert 25) 400배하에서

Table 1. Air temperature (A.T., °C) and precipitation (Prec., mm) from April 2002 to March 2003 in Hapcheon County area

		2002									2003		
		Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
A.T.(°C)	Mean	14.2	17.6	22.1	25.1	24.4	20.5	13.3	5.5	3.0	-0.8	3.4	7.2
	Max.	19.7	22.0	25.8	29.0	29.3	26.5	18.9	12.7	9.5	4.6	5.9	13.1
	Min.	9.9	11.6	15.5	20.4	20.7	16.7	5.2	0.9	-2.6	-5.9	0.2	0.9
Prec.(mm)		54	111	122	241	815	162	41	5	33	22	48	45

Table 2. Seasonal variations of water temperature (W.T., °C), pH, conductivity (EC, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), ammonium-nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), chlorophyll *a* (Chl. *a*, $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), total-nitrogen (TN, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), total-phosphate (TP, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and TN:TP values from April 2002 to March 2003 in the Paksil (P) and Jungyang (J) marshes.

		2002									2003				
		St.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Mean
W.T.	P	21.2	27.3	30.5	31.7	28.1	23.1	13.2	5.1	2.6	3.1	11.2	14.7	17.7	
	J	23.3	29.6	31.8	34.3	27.5	23.3	15.5	5.3	2.7	3.6	12.6	15.4	18.7	
pH	P	8.6	8.2	6.3	7.3	6.9	7.8	7.1	8.2	7.1	7.1	6.9	6.2	7.3	
	J	8.7	7.6	7.2	7.3	8.1	8.3	7.4	8.9	6.9	6.9	6.7	7.5	7.6	
EC	P	185	136	167	149	160	126	163	172	169	159	134	197	160	
	J	314	276	320	162	147	149	201	242	344	366	383	362	272	
$\text{NO}_3\text{-N}$	P	0.13	0.32	-	0.12	0.16	0.12	0.20	0.14	0.30	0.27	0.62	0.11	0.14	
	J	0.16	2.33	0.18	0.01	0.01	0.10	0.12	0.13	0.01	0.14	0.24	0.50	0.33	
$\text{NH}_4\text{-N}$	P	0.10	0.05	0.31	0.03	0.04	0.03	0.28	0.34	0.13	0.16	0.03	0.30	0.22	
	J	0.12	0.11	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.34	4.30	3.43	0.90	1.86	0.94	
Chl. <i>a</i>	P	11.4	6.1	88.3	8.3	38.1	120.4	34.4	15.2	8.1	7.7	5.4	15.0	29.9	
	J	10.4	31.7	24.1	48.6	19.8	13.1	26.7	20.5	17.7	4.2	40.7	14.9	22.7	
T-N	P	0.62	0.66	0.50	0.44	0.50	0.95	0.64	0.69	0.57	0.59	1.32	0.85	0.69	
	J	0.66	6.11	0.75	0.70	0.51	0.40	0.77	1.61	4.56	4.10	3.10	2.46	2.1	
T-P	P	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05	0.09	0.05	0.05	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	
	J	0.04	0.38	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.02	0.05	0.08	
TN:TP	P	31.0	22.0	25.0	22.0	10.0	10.6	12.8	13.8	28.5	19.7	26.4	21.3	20.3	
	J	16.5	16.1	15.0	11.7	8.5	10.0	12.8	32.2	114.0	82.0	155.0	49.2	43.6	

100개 이상의 strip을 선정한 후 현존량을 산출하였다. 식물 플랑크톤의 동정은 광학현미경(Nikon Labophot) 100-1000배 하에서 검경하고, Abbe's 묘화장치로 스케치하거나 현미경 사진을 촬영하여 동정하였다. 구조류는 Hendy (1974)의 방법에 따라 시료를 세정하고 pleurax로 봉입하여 영구표본을 제작하여 광학현미경(Nikon Labophot) 400-1,000배하에서 현미경 사진촬영을 하여 동정하였다. 종 다양성 및 우점도 지수는 Shannon-Weaver(1963)와 Simpson (1949)의 방법을 따라 산출하였으며, 균등도 지수는 Pielou의 방법(1966)에 기초하여 계산하였다.

결 과

기후요인

조사기간 중 함천지역의 기온은 1월에 평균 -0.8°C 로 가장 낮았으며, 7월에 25.1°C 로 가장 높았다. 강수량은 11월에 5 mm로 가장 적었고 8월에 가장 많은 815 mm를 기록 했으며, 연강수량의 70%가 하계에 집중되는 경향을 나타내었다 (Table 1).

환경요인(이화학 요인)

박실지와 정양지에서 조사된 이화학 요인들은 Table 2와 같다. 수온은 두 지역에서 12월에 가장 낮았고, 7월에 31.7-34.3°C로서 가장 높게 나타났으며, 조사 시간에 따른 차이가 존재하였다. pH는 박실지와 정양지에서 각각 6.2-8.6과 6.7-8.9의 범위로서 약산성에서 약알칼리성을 나타내었다. 전기 전도도는 연평균 160 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 값을 나타낸 박실지보다 정양지에서 272 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 훨씬 높게 나타났으며, 월 변화 또한 주변에 인가와 농경지가 많은 정양지에서 훨씬 높게 나타났다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 박실지에서 0.11-0.62 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$, 정양지에서 0.01-2.33 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고, $\text{NH}_4\text{-N}$ 는 박실지에서 0.03-0.34 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$, 정양지에서 0.01-4.30 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위로 나타났다. TN은 박실지에서 7월에 가장 낮은 0.44 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 에서 2월에 가장 높은 1.32 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위로 나타났으며, 정양지에서는 9월에 가장 낮은 0.4 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 에서 5월에 가장 높은 6.11 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다. TP는 정양지에서 0.02-0.38 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위로서 0.02-0.09 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위를 나타낸 박실지보다 훨씬 높은 변화폭을 나타내었다. Chl. a는 박실지에서 6.1-120.4 $\mu\text{g}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 4.2-48.6 $\mu\text{g}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위를 나타낸 정양지보다 큰 변화폭을 보였다. 두 지역에서 조사된 이화학적 요인들 중 연평균 TP와 Chl. a는 박실지에서는 각각 0.04 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 와 29.9 $\mu\text{g}\cdot\text{I}^{-1}$ 이었으며, 정양지에서는 0.08 $\text{mg}\cdot\text{I}^{-1}$ 와 22.7 $\mu\text{g}\cdot\text{I}^{-1}$ 로 각각 조사되었다. 그리고 최대 Chl. a는 박실지와 정양지에서 각각 120.4 $\mu\text{g}\cdot\text{I}^{-1}$ 와 48.6 $\mu\text{g}\cdot\text{I}^{-1}$ 로 조사되어 OECD 기준(1982)으로 볼 때 부영양에서 과영양 상태를 나타내었다(Table 2).

식물플랑크톤의 군집구성

종조성: 조사 기간동안 박실지와 정양지에서 출현한 식물플랑크톤은 규조류 149종류, 녹조류 133종류, 유글레나류 99종류, 남조류 21종류, 기타 19종류로서 총 421종류가 동정되었다. 박실지에서 출현한 식물플랑크톤은 총 364종류로서 이들은 규조류 140종류(38.5%), 녹조류 102종류(28.0%), 유글레나류 90종류(24.7%), 남조류 20종류(5.5%), 기타 12종류(3.3%)로 구성 되었으며, 정양지에서는 총 321종류가 출현하여 규조류 129종류(40.2%), 녹조류 88종류(27.4%), 유글레나류 76종류(23.7%), 남조류 9종류(2.8%), 기타 19종류(5.9%)로 구성되어 정양지보다 박실지에서 보다 많은 종이 출현 하였으나, 두 지역에서 모두 규조류와 녹조류가 가장 중요한 분류군으로 조사되었다. 월별 출현 종 수의 변화는 박실지에서 6월에 가장 많은 183종류가 출현하였고 1월에 80종류로 가장 적었으며, 정양지에서는 6월에 가장 많은 172종류, 1월에 가장 적은 29종류가 출현하였다. 전반적으로 두 지역에서 수온이 낮은 동계에 출현 종 수가 가장 적었으며, 봄부터 종 수가 증가하여 수온이 높게 유지된 하계에 평균적

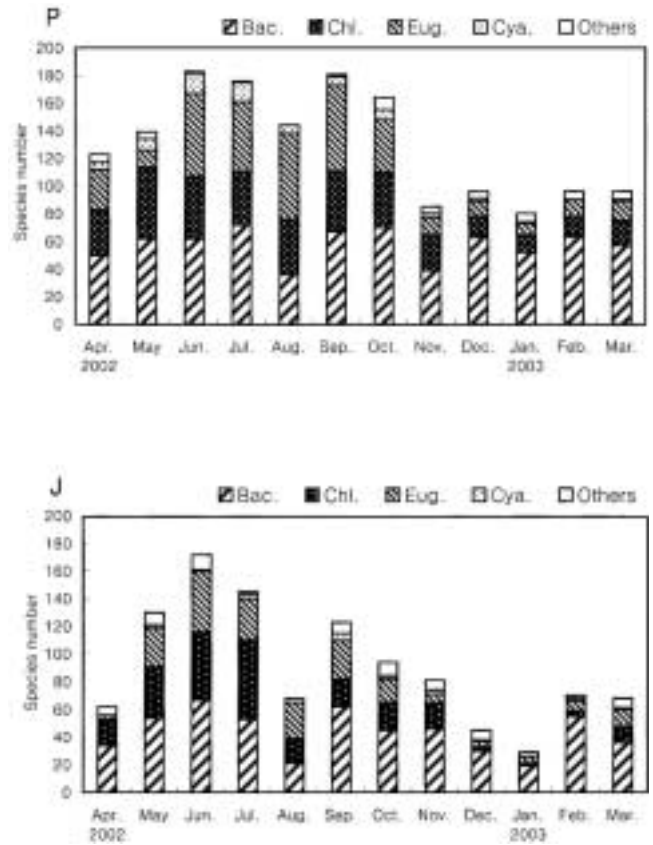


Fig. 2. Seasonal variations of the species numbers of different algal groups in the Paksil(P) and Jungyang(J) marshes. Bac., Bacillariophyceae; Chl., Chlorophyceae; Eug., Euglenophyceae; Cya., Cyanophyceae.

으로 높은 종 수를 나타내었다. 각 강의 계절별 출현 종 수와 구성비는 두 지역이 약간의 차이를 보였으며, 녹조류는 박실지에서 5월에 가장 많은 종 수와 높은 구성비를 나타내었으나, 정양지에서는 종 수와 구성비가 7월에 가장 높게 나타났다. 규조류의 출현 종 수는 박실지와 정양지에서 각각 7월과 6월에 가장 높게 나타났으나, 그 구성비율은 모두 12월과 2월에 가장 높게 나타났다. 유글레나류는 여름에 비교적 많은 출현 종 수와 높은 구성비를 나타내었다(Figs 2, 3).

현존량: 박실지에서 7월에 가장 적은 $1.25 \times 10^6 \text{ cells}\cdot\text{I}^{-1}$ 에서 10월에 가장 많은 $5.85 \times 10^6 \text{ cells}\cdot\text{I}^{-1}$ 의 범위를 나타내었으며, 정양지에서는 1월에 가장 적은 $0.25 \times 10^6 \text{ cells}\cdot\text{I}^{-1}$ 에서 10월에 가장 많은 $9.63 \times 10^6 \text{ cells}\cdot\text{I}^{-1}$ 를 나타내었는데, 두 지역에서 현존량의 최고값이 기록된 10월에는 *Cryptomonas* sp.가 박실지에서 $0.92 \times 10^6 \text{ cells}\cdot\text{I}^{-1}$, 정양지에서 $4.63 \times 10^6 \text{ cells}\cdot\text{I}^{-1}$ 로서 가장 높은 밀도를 나타내었다. 또한 식물플랑크톤 현존량은 전 조사기간 동안 두 지역 사이에서 계절에 따른 차이가 존재하였다. 현존량과 Chl. a의 월 변화 비교에서 박실지에서는 4월부터 9월까지는 유사한 월 변화를 보였으나, 이후 10월과 1월에 상당한 차이를 보였으며, 정양지에서는 10월과 2

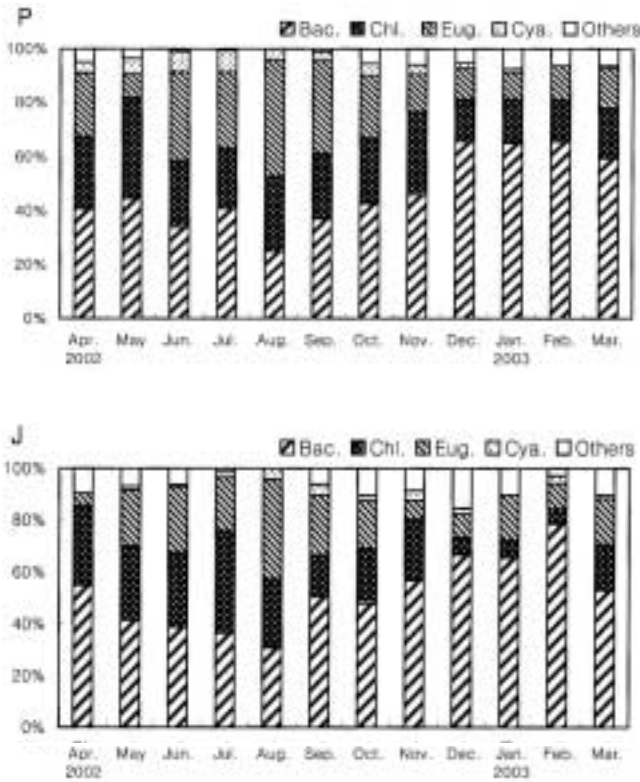


Fig. 3. Seasonal variations of percentage contribution of different algal groups in the Paksil(P) and Jungyang(J) marshes. Bac., Bacillariophyceae; Chl., Chlorophyceae; Eug., Euglenophyceae; Cya., Cyanophyceae.

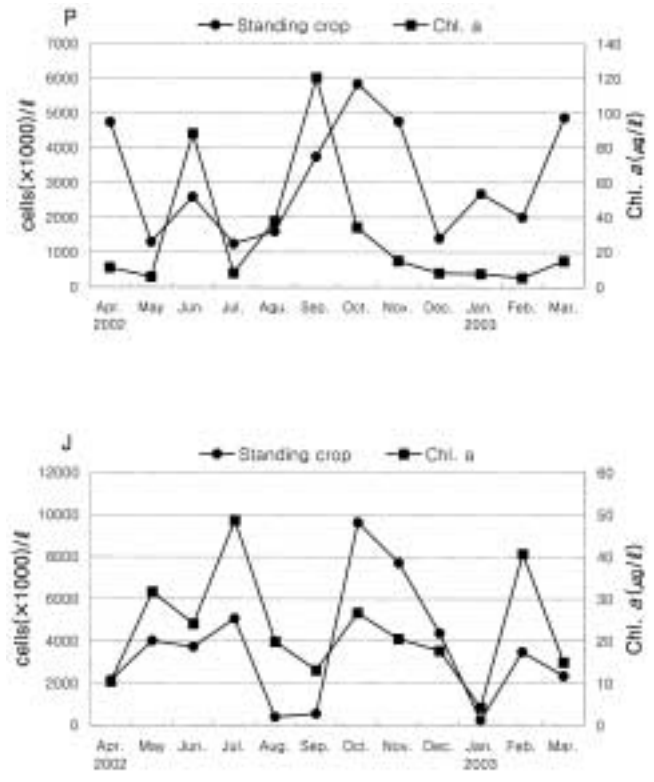


Fig. 4. Seasonal variations of phytoplankton standing crops and chlorophyll a concentration in the Paksil(P) and Jungyang(J) marshes.

월을 제외하고는 현존량과 Chl. a가 대체로 비슷한 월변화 양상을 나타내었다(Fig. 4). 현존량의 강별 구성은 박실지에서 4월에 황갈조류가, 5월, 7월, 10월에는 녹조류의 구성비율이 가장 높게 나타났으며, 11월, 2월, 3월에는 규조류가 우점강으로 출현했으며, 나머지 기간은 모두 유글레나류가 우점하는 양상을 나타내었다. 정양지에서는 녹조류가 4월-8월, 3월에 우점 하였으며, 9월, 1월, 2월에 유글레나류가 대표적인 우점강으로 출현 하였고, 10월에는 은편모조류가, 11월, 12월에는 황갈조류가 가장 높은 구성비를 나타내었다. 계절별 식물플랑크톤 현존량 구성의 변화에 있어서 박실지에서는 유글레나류가 우점 분류군으로 출현하는 빈도가 높았고, 정양지에서는 녹조류의 우점 빈도가 높게 나타났으나, 전 조사 기간 동안 두 지역에서 녹조류와 유글레나류가 가장 중요한 분류군이라는 점에서는 일치하는 양상을 보였다(Fig. 5).

우점종의 천이: 우점종의 계절적 변화는 두 지역에서 유글레나류(3종류), 녹조류(3종류), 황갈조류(2종류), 규조류(1종류), 은편모조류(1종류)에 속하는 소수의 종이 주도하는 양상을 나타내었다. 박실지에서는 황갈조류 *Dinobryon sertularia*가 4월에, 규조류 *Achnanthes minutissima*가 5월과 2월에 우점하였고, 유글레나류인 *Trachelomonas volvocina*와

*Euglena proxima*는 각각 6월과 8-9월, *Trachelomonas oblonga*는 11-1월, 3월에 우점 하였으며, 녹조류 *Oocystis parva*는 7월, 은편모조류 *Cryptomonas sp.*는 10월에 우점하는 양상을 보이며 총 현존량의 15.6-56.7%의 범위를 나타내었다. 정양지에서는 유글레나류인 *Trachelomonas volvocina*가 4월과 7-9월에, *Trachelomonas oblonga*가 2월에 우점종으로 출현하여 전 계절에 걸친 고른 우점양상을 보였으며, 5월에 규조류 *Achnanthes minutissima*가 우점하였고, 녹조류인 *Dictyosphaerium pulchellum*과 *Monoraphidium griffithii*는 각각 6월과 3월에 우점 하였으며, 은편모조류인 *Cryptomonas sp.*는 10월에, 황갈조류인 *Dinobryon sertularia*와 *Kephyrion rubri-claustri*는 11-12월과 1월에 우점하는 양상을 보였다. 또한 정양지에서의 출현 우점종들은 총현존량의 12.7-81.4%의 범위를 차지하여 박실지보다 평균적으로 높은 우점율을 나타내었다(Fig. 6).

지수분석: 두 조사지역에서의 다양도 지수와 우점도 지수는 조사 기간동안 계절에 따른 뚜렷한 차이를 나타내었다. 다양도 지수는 박실지에서 1월에 가장 낮은 1.76에서 10월에 가장 높은 3.68의 범위로 나타났으며, 정양지에서는 2월에 가장 낮은 0.76에서 5월에 가장 높은 3.63의 범위로 나타나 정양지가 박실지 보다 더 큰 변동폭을 보였다. 우점도 지수는 박실지에서 10월에 가장 낮은 0.05에서 1월에 가장 높은 0.35

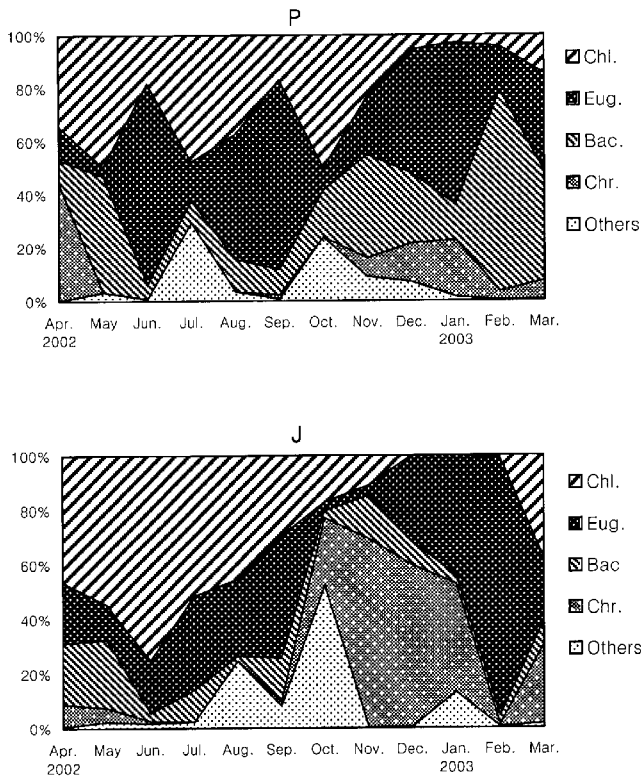


Fig. 5. Percentage contribution of different algal groups to total standing crops in the Paksil(P) and Jungyang(J) marshes. Bac., Bacillariophyceae; Chl., Chlorophyceae; Eug., Euglenophyceae; Chr., Chrysophyceae.

의 범위로 나타났으며, 정양지에서는 5월에 가장 낮은 0.05에서 2월에 가장 높은 0.68을 나타내었다. 우점도 지수의 최고값은 박실지와 정양지에서 *Trachelomonas oblonga*가 총현존량의 56.7%와 81.4%를 각각 차지한 1월과 2월에 가장 높게 조사됨으로써 다양도 지수는 이 시기에 모두 최소값을 기록하였다. 또한 균등도 지수는 두 지역에서 모두 다양도 지수와 거의 일치하는 양상을 보였다. 따라서 전 조사 기간 동안 두 지역에서 다양도 지수는 공히 균등도 지수와 높은 양의 상관관계를 나타낸 반면에 우점도 지수와의 명확한 역의 상관관계를 보여주었다(Fig. 7).

고 찰

본 연구에서는 경남 합천군에 위치한 자연늪인 박실지와 정양지에서 식물플랑크톤 군집의 천이, 현존량과 우점종 등을 살펴보기 위해 2002년 4월부터 2003년 3월까지 채집조사를 실시하였다. 수계생태계에 있어 일차생산자인 식물플랑크톤의 군집구조는 특정 범위내의 영양물질의 농도, 빛의 강도, pH 등의 이화학적 요인들의 영향을 받게되는데 (Denman 1994; Reynolds 1994; Köhler and Hoeg 2000), 두 지역에서의 이화학적 요인들이 계절에 따른 큰 변화를 보인

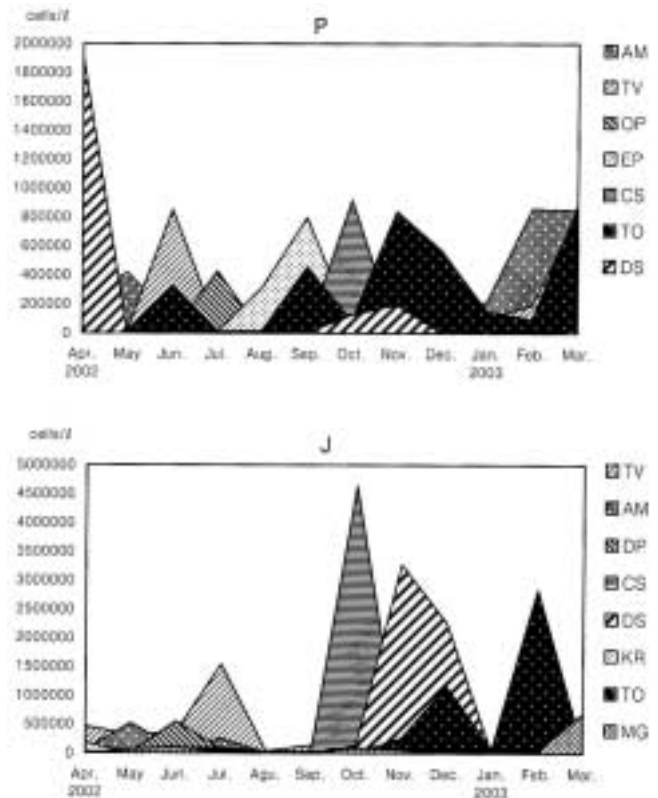


Fig. 6. Seasonal succession of dominant species of phytoplankton in the Paksil(P) and Jungyang(J) marshes. AM, *Achnanthes minutissima*; CS, *Cryptomonas* sp.; DP, *Dictyosphaerium pulchellum*; DS, *Dinobryon sertularia*; EU, *Euglena proxima*; KR, *Kephyrion rubri-claustri*; MG, *Monoraphidium griffithii*; OP, *Oocystis parva*; TO, *Trachelomonas oblonga*; TV, *Trachelomonas volvocina*.

것은 기후요인과 수생식물의 영향에 의한 것으로 생각된다. 평균 TP와 Chl. a의 농도와 최대 Chl. a 농도값에 기초했을 때 OECD(1982)의 기준 내에서 두 지역은 모두 부영양 이상의 상태를 나타내었다. 출현 종의 구성에 있어서 박실지는 정양지에 비해 풍부한 양상을 나타내었으나, 두 지역에서 모두 규조류와 녹조류가 가장 중요한 분류군으로 조사되었으며, 규조류는 우상규조목의 출현빈도가 높았고, 녹조류는 알고 부영양화된 수역을 선호하는 *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Coelastrum*속 등이 중심이 된 무편모성의 *Chlorococcales*가 가장 많이 출현하였다(Reynolds et al. 2002). 박실지와 정양지에서 계절별 출현 종 수는 대체로 여름철에 높은 종수를 보여 온대 지역의 호소에서 여름철에 종 수가 증가한다는 일반적인 현상과 유사하였다(Hutchinson 1967). 본 조사에서 나타난 규조류와 녹조류의 높은 종 다양성과 구성비율은 경남 우포늪에서 조사한 김(2000)의 결과와 매우 유사했으며, 규조류가 녹조류 보다 출현종 수의 비율이 높다는 점에서는 함안군 자연늪에서 규조류 87종류와 녹조류 61종류를 보고한 정(1983)과 대암산 용늪에서 규조류 77종류와 녹조류 18종류가

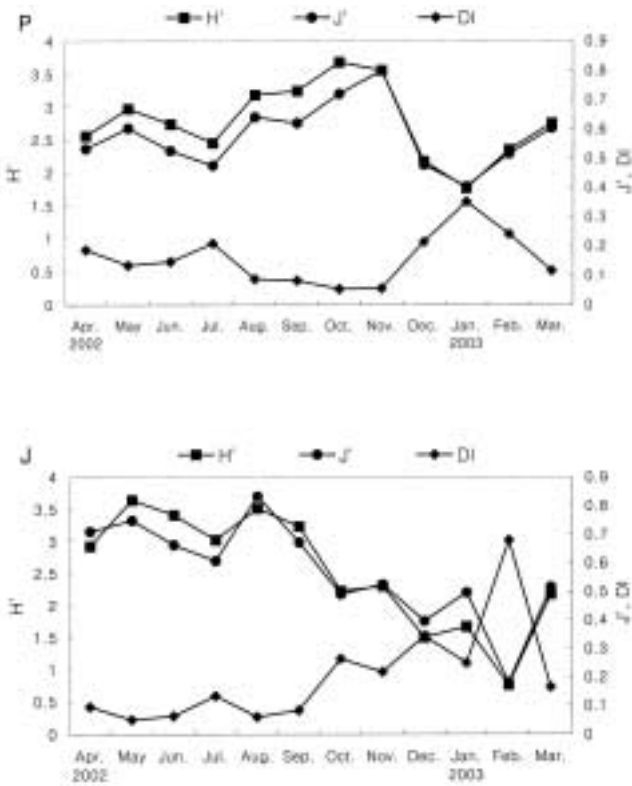


Fig. 7. Seasonal variations of phytoplankton species diversity (Shannon-Weaver index, H'), dominance index (Simpson's index, DI) and evenness (Pielou index, J') in the Paksil (P) and Jungyang (J) marshes.

출현한 정과 김(1987)의 결과와 비슷했으나, 출현 종 수에 있어서는 큰 차이를 보였다. 또한 김과 정(1993)이 경남 창원군의 자연늪 사지포와 쪽지벌에서 중요한 분류군으로 보고한 Chlorococcales와 유글레나류를 비교했을 때, 녹조류 중 Chlorococcales는 박실지에서 75종류와 정양지에서 67종류로 총 출현종의 20.6%와 20.9%를 차지하여 사지포의 91종류(29.3%), 쪽지벌의 85종류(29.1%)에 비해 출현종 수와 구성비가 적었으며, 유글레나류는 박실지에서 90종류(24.7%), 정양지에서 76종류(23.7%)로서 사지포의 97종류(31.2%), 쪽지벌의 80종류(27.4%)와 약간의 차이를 보였는데, 출현종의 구성비율에서 차이를 보인 것은 사지포와 쪽지벌에서의 규조류를 제외시킨 결과로 생각되며, 두 조사지역에서 Desmids류는 우포늪에서와 같이 매우 낮게 조사되어 전체적으로 형성 기원이 비슷한 우포늪과 유사한 식물플랑크톤 군집의 특성을 나타내었다. 현존량의 계절적 변화는 박실지에서는 봄과 가을에 현존량이 높게 나타나 김(2001)의 결과와 유사하였으나, 정양지에서는 여름과 가을에 현존량이 높게 나타나 다른 양상을 나타내었다. 현존량 변화에 있어서 특히 4월에 박실지와 10월-12월에 정양지에서 *Dinobryon*속을 중심으로 한 황갈조류가 최대 현존량을 나타내었는데, 이러한 양

상은 국내의 인공호에서는 보고된 바 있으나(김 등 1997; 김 등 1998; 김 등 1998), 자연늪에서는 알려진 바가 없다. 황갈조류는 일반적으로 빈영양 수역에서 주로 발견되지만 영양물질이 고갈되는 시기에 부영양호에서 우점한다고 보고된 바 있다(Hutchinson 1967). 전 조사기간에 걸쳐 식물플랑크톤의 현존량은 chlorophyll 농도의 변화와 유사한 양상을 나타내었으나, 박실지에서 10월과 1월에, 정양지에서는 10월과 2월에 서로 다른 변화양상을 보인 것은 그 달에 높은 현존량을 나타낸 식물플랑크톤의 세포의 크기, 세포내 chlorophyll 함량의 차이와 광합성 세균 등에 의한 것으로 추정된다. 우점종 변화는 두 조사지역에서 모두 유글레나류가 대표적인 우점종으로 나타났으며, 이외에 녹조류, 황갈조류, 규조류, 은편모조류에 속하는 종들이 우점종으로 출현하였다. 계절에 따른 우점종의 뚜렷한 분포양상은 나타나지 않았으나, 은편모조류인 *Cryptomonas* sp.의 경우 10월에 두 지역에서 모두 일시적인 우점종으로 출현하였다. 그리고 국내의 다른 호소(김과 정 1993; 정 등 1994; 박과 권 1998)와 자연늪(김 2001; 이와 최 2001)에서 여름에 우점하는 것으로 보고된 남조류가 본 조사에서는 우점종으로 출현하지 않는 특징을 나타내었는데, 남조류는 TN:TP가 16-20 이하이고 수온이 21°C 이상일 때 수화(bloom)를 일으키는 것으로 보고되고 있으며(Sakamoto 1966; McQueen and Lean 1986), Rhee & Gotham(1980)은 TN:TP의 비가 10이하일 때 *Microcystis*가 우점하는 것으로 보고하였고, Smith(1986)는 TN:TP의 비가 29 이하일 때 남조류의 우점을 보고하였다. 두 조사지역은 앞서 설명한 모든 조건을 충족시키고 있음에도 불구하고 여름철에 남조류의 우점양상이 나타나지 않은 것은 여름철에 집중된 강우가 수표면의 불안정을 야기하여 남조류의 우점을 억제했기 때문인 것으로 생각된다(Padisak et al. 1990). 또한 본 조사에서 나타난 우점종 출현양상은 시기에 따른 차이가 있었으나, 유글레나류의 우점 빈도가 높다는 점에서는 창원군 자연늪(김 1993)과 유사하였으며, 대부분의 다른 자연늪과는 상이한 결과를 나타내었다. 종 다양성은 군집의 안정성과 천이과정의 특성을 이해하는 척도로 이용되고 있으며, 안정된 군집일수록 높은 다양성을 나타낸다(Reynolds 1988; Flores and Barone 1998). 박실지와 정양지에서의 종 다양성 지수는 각각 1.76-3.68과 0.76-3.63의 범위로 나타나 박실지가 정양지에 비해 종 다양성이 높고 월변화의 폭이 적게 나타났는데 이것은 박실지가 정양지보다 비교적 안정된 군집 구조를 갖추고 있음을 의미하며, 수생식물이 보다 번성하여 다양한 종이 생육할 수 있는 환경조건을 제공한 결과라 생각된다. 반면에, 정양지는 박실지와 달리 주변의 인가와 밀접해 있을 뿐만 아니라 특히, 1월부터는 경작지로의 개간작업이 진행되는 과정에서 황토가 축적되면서 다양도 지수가 급격하게 감소되는 양상을 나타내었다.

참고문헌

- 김용재, 정준. 1993. 임하호의 식물플랑크톤 군집 분석. 한국육수학회지 **26**: 175-196.
- 김용재, 최재신, 김한순. 1997. 임하호의 식물플랑크톤 군집 구조. 한국육수학회지 **30**: 307-324.
- 김지환, 김영환, 이인규. 1998. 충주호 식물플랑크톤 군집의 동태. 한국조류학회지 **13**: 339-354.
- 김철수. 2000. 박실늪의 퇴적과 교란에 따른 수생 및 습생 관속식물의 군집 동태와 생산성. 경상대학교 박사학위논문. 164 pp.
- 김한순, 정준. 1993. 창녕군 자연늪의 담수조류상. 한국육수학회지 **26**: 305-319.
- 김한순, 최재신, 김용재. 1998. 가창늪의 식물플랑크톤 군집의 동태. 한국육수학회지 **31**: 337-344.
- 김한순. 2001. 우포늪과 목포늪의 식물플랑크톤 군집의 계절적 변동. 한국육수학회지 **34**: 90-97.
- 박정원, 권덕기. 1998. 함천호에서 남조류 수화현상의 초기발생에 대한 연구. 수계에서 *Microcystis aeruginosa* Kuetz.의 밀도 증가와 K^+ , Na^+ , Mg^{2+} 및 Ca^{2+} 농도와의 관계. 한국육수학회지 **31**: 97-102.
- 이진환, 최정은. 2001. 경기도 연천군 자연늪지에 있어서 식물플랑크톤의 구조와 동태. 한국조류학회지 **16**: 157-163.
- 오경환. 1988. 정양호 생태계에 있어서 수생관속식물의 군집구조와 생산성 및 영양염류의 순환. 서울대학교 박사학위논문. 141 pp.
- 정영호. 1974. 한강의 Microflora에 관한 연구(제8보)-남한의 유일한 고층습원인 대암산 용늪의 기증조류에 대하여. 한국식물학회지 **17**: 63-68.
- 정영호. 1983. 함안 범수면 소재 자연늪의 식물성플랑크톤. 자연보호 **44**: 41-48.
- 정영호, 김기태. 1987. 북한강의 수원인 대암산 용늪(고층습원)의 식물성 플랑크톤. 한국환경생물학회지 **5**: 1-16.
- 정영호, 노경희. 1987. 함안 자연늪산 구조류의 분류. *Proc. Coll. Natur. Sci. SNU*. **12**: 75-100.
- 정영호, 이옥민. 1986. 함안 자연늪산 물면지말류의 분류학적 연구. *Proc. Coll. Natur. Sci. SNU*. **12**: 75-100.
- 정준, 김한순, 김용재. 1994. 낙동강 하구댐의 식물플랑크톤의 군집 구조. 한국육수학회지 **27**: 33-46.
- 한상훈. 1995. 습지생태계와 그 중요성. 자연보존 **91**: 42-50.
- 함천군. 1997. 함천군통계연보. pp. 43-139.
- APHA, AWWA, WPCF. 1985. *Standard method for the examination of water and waster*. 16th. APHA, NewYork. 1268pp.
- Barbier E.B., Burgess J.C. and Folke C. 1994. *Paradise lost? The ecological economics of biodiversity*. Earthscan, London. 267pp.
- Denman K.L. 1994. Scale-determining biological-physical interaction in oceanic food webs. In: Giller P.S., Hildrew A. G. and Raffaelli D.G. (eds), *Aquatic ecology-scale, pattern and process*. Blackwell, Oxford. pp. 377-402.
- Dugan P.J. 1993. *Wetlands in danger*. Beazley M., London. 187pp.
- Finlayson M. and Moser M. 1992. *Wetlands, facts on file*. Oxford University Press, Oxford. 224 pp.
- Flores L.N. and Barone R. 1998. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Italy). *Hydrobiologia* **369/370**: 163-178.
- Hendy N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426.
- Hutchinson G. E. 1967. *A Treatise on Limnology*. Vol. 2. John Wiley & Sons, Inc., NY. 1115 pp.
- Köhler J. and Hoeg S. 2000. Phytoplankton selection in a river-lake system during two decades of changing nutrient supply. *Hydrobiologia* **424**: 13-24.
- Marker A.F.H., Nusch E. A., Rai H. and Reimann B. 1980. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusions and recommendation. *Arch. Hydrobiol.* **14**: 91-106.
- McQueen D.J. and Lean D.R.S. 1986. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ration on the dominant blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **44**: 598-604.
- OECD. 1982. *Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control*. OECD, Paris. 154pp.
- Padisák J., Tóth L.G. and Rajczy M. 1990. Stir up effect of wind on a more-or-less stratified shallow lake phytoplankton community, Lake Balaton, Hungary. In: Biró P. & Talling J. F. (eds), *Trophic relations inland waters. Developments in Hydrobiology* **53**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 249-254. Reprinted from *Hydrobiologia* **191**.
- Pielou E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* **13**: 131-144.
- Reynolds C.S. 1988. The concept of ecological succession applied to seasonal periodicity of freshwater phytoplankton. *Verh. Int. Ver. Limnol.* **23**: 683-691.
- Reynolds C.S. 1994. The role of fluid motion in the dynamics of phytoplankton in lakes and rivers. In: Giller P.S., Hildrew A.G. and Raffaelli D.G. (eds), *Aquatic ecology-scale, pattern and process*. Blackwell, Oxford. pp. 141-187.
- Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L. and Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* **24**: 417-428.
- Rhee G.Y. and Gotham I.J. 1980. Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae. *J. Phycol.* **16**: 486-489.
- Sakamoto M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Arch. Hydrobiol.* **62**: 1-28.
- Shannon E. and Weaver W. 1963. *The mathematical theory of communication*. Illinois Univ. Press, Urbana. 177pp.
- Simpson E. H. 1949. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih. 2. Erhrig. limnol.* **7**: 218pp.
- Smith V. H. 1986. Prediction the proportion of blue-green algae in lake phytoplankton. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* **43**: 148-153.

Received 29 September 2003

Accepted 14 October 2003