

## 낙동강 중·하류의 식물플랑크톤 군집의 월 변화

김 용 재\*

(대전대학교 생명과학과)

### Monthly Variations of Phytoplankton Communities in the Mid and Lower Parts of the Nakdong River

Yong Jae Kim\*

Department of Life Science, Daejin University, Pochon 487-711, Korea

Monthly variations of phytoplankton communities were conducted to the investigation at five stations in mid and lower parts of the Nakdong River from December 1995 to November 1996. The phytoplankton communities were identified a total 456 taxa which were composed of 136 genera, 427 species, 27 varieties and 2 forma. The standing crops of phytoplankton communities ranged from 2.7 to 52.8 ( $\times 10^3$ ) cells·ml<sup>-1</sup> during the investigation periods. Bacillariophyceae was the dominant classes at all stations. The dominant species were 7 taxa and the standing crops of these ranged from 18.3 to 95.1% of the standing crops of phytoplankton communities. The dominant species in the mid parts (st. 1, 2) of this river system were benthic species such as *Navicula gregaria*, *N. viridula* var. *rostellata* and *Nitzschia palea*, however it was planktonic species (*Stephanodiscus hantzschii*, *Golenkinia radiata*) and meroplanktonic species (*Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*) in the lower parts (st. 3, 4, 5). The seasonal variations of the dominant species in the lower parts were appeared to the planktonic species (*S. hantzschii*) from winter to spring, and were the meroplanktonic species (*A. ambigua* and *A. granulata*) in from summer to fall. The lower parts of the Nakdong river were eutrophic states because the dominant species were composed *A. ambigua*, *A. granulata* and *S. hantzschii* which were indicators of eutrophic water quality. The interrelationships between total standing crops and environmental factors(water temperature, pH, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> and PO<sub>4</sub>) were low positive or negative coefficients. *S. hantzschii* had low positive or negative relations with water temperature, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> and PO<sub>4</sub>. As the result, the variations of standing crops of phytoplankton were not caused by a single factor but controlled by the complex factors.

**Key Words:** eutrophic water, indicator, meroplankton, Nakdong river, phytoplankton

#### 서 론

하천 생태계는 수심이 얕고 상류에서 하류까지 다양한 오염원에 노출되어 있어 여러 가지 자연과 인간 환경의 영향으로 인해 변화가 매우 심하다(Home and Goldman 1994). 하천 생태계의 구성원 중의 조류 군집은 식물플랑크톤, 저서와 부착 조류로 구성되어 있다. 이들은 하천의 유기 탄소의 주요 생산자이고, 플랑크톤 소비자를 위한 주요 공급원이며, 수중의 산소 공급원이기도 하다(Thorpe and DeLong 1994). 식물플랑크톤은 간단한 체제와 현미경적인 크기의 식물군으로

하천 생태계의 변화에 민감하게 반응을 함으로서 수 환경변화의 지표종으로 중요하게 활용되고 있다(Yang and Dickman 1993). 그러므로 수 환경 변화 경향을 파악하기 위해서는 식물플랑크톤 군집의 면밀한 조사가 요구된다.

특히 낙동강은 영남지역의 중요한 수자원으로서 장기적인 생태계 보전과 수질의 원활한 관리를 위해 식물플랑크톤의 조사는 더욱 그 중요도가 강조된다(이 등 2002). 영남지역의 생활용수와 농공업용수의 취수원인 낙동강에서 1992년 이후 매년 여름에 *Microcystis aeruginosa* 등의 남조류 물꽃발생과 겨울에 규조강의 *Stephanodiscus*속과 *Aulacoseira*속의 대발생은 정수처리를 비롯한 각종 수자원 이용에 극심한 장애를 일으키고 있다(최 등 2002). 이와 같은 낙동강의 효율적 수질관리 등의 목적으로 많은 관심을 가지고 연구를 하고 있으나

\*Corresponding author (yjkim@daejin.ac.kr)

대부분은 하류에 편중되고 있다(Kim and Lee 1991; Cho *et al.* 1993; Lee *et al.* 1994; 신 등 1996). 따라서 본 연구는 1995년 12월부터 1996년 11월까지 1년간 낙동강의 중류부터 하류까지의 정점에서 채집된 식물플랑크톤 자료를 정리하여 월별 식물플랑크톤 군집의 변화를 밝힘으로서 본 조사 이전 또는 이후의 식물플랑크톤에 관한 기본적인 비교 자료를 제공하고자 한다.

## 재료와 방법

본 연구는 1995년 12월부터 1996년 11월까지 1년간 낙동강 중, 하류에 5개의 정점을 선정하여 조사를 실시하였다. 조사 정점은 경상북도 선산군 일선교(정점 1), 경상북도 구미시 낙동대교(정점 2), 경상북도 달성군 화원읍(정점 3), 경상남도 양산시 물금(정점 4)과 부산시 사상구 낙동대교(정점 5)에 선정하였다(Fig. 1).

환경요인인 수온과 pH는 Orion 260 pH meter로 현장에서 측정하였으며, 영양염인  $PO_4\text{-P}$ 는 ascorbic acid법,  $NH_4\text{-N}$ 는 phenate법,  $NO_2\text{-N}$ 는 azaid 발색법, 그리고  $NO_3\text{-N}$ 는 salicylic acid법으로 분석한(APHA 1992) 자료를 이용하였다(환경부 1997). 식물플랑크톤의 시료는 1l 용 플라스틱 병을 이용하여 정량 채집하였으며 현장에서 3-5%의 중성 formalin으로 고정하였다. 출현종은 광학 현미경(Zeiss axioscop 20)으로 관찰하고 동정하였다. 현존량은 정량 채집한 시료를 42시간 이상 침전시킨 후 siphon으로 상등액을 제거하고 50 ml로 정량화하여 Sedgwick-Rafter chamber에서 계수하여 산출하였다. 부유성 규조류의 현존량은  $KMnO_4$ 법(Hendey 1979)으로 세정한 다음 영구표본을 제작하여 종을 동정하고 각 종의 상대빈도에 규조강의 총 현존량을 대입하여 산출하였다. 각 출현종의 현존량을 기본 자료로 하여 Shannon-Weaver(1963)의 종다양성 지수, Shimpson(1949)의 우점도 지수 그리고 각 정점간의 군집 유사성을 분석하기 위해 Sørensen(1948)의 유사도 지수를 산출하였다. 그리고 군집과 환경요인과의 상관관계를 구하였다.

## 결 과

### 환경요인

수온은 2.8-32°C의 범위였으며 전형적인 우리나라의 온도 변화 경향과 동일하였다(Fig. 2). pH는 5.0-7.8의 범위였다. 인산염의 농도는 31.3-216.1  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 의 범위로서 전체 정점에서 겨울에 낮았으며 정점 1에서 봄에 일시적으로 증가하였다. 암모니아 농도는 0.02-33.3  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 의 범위로서 모든 정점에서 겨울에 높았으며 이후에 감소하였다. 7월의 정점 2를 제외한 96년 4월 이후부터 10월까지 암모니아 농도는 전반적

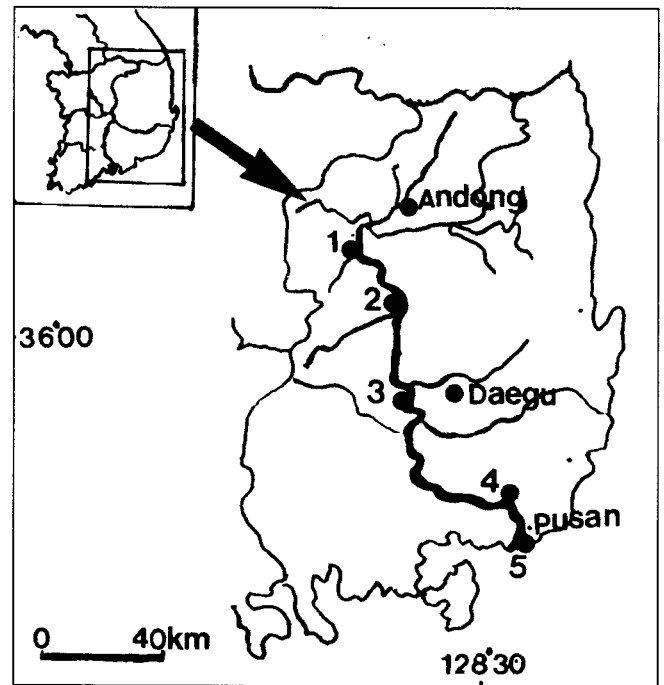


Fig. 1. A map showing the sampling stations in the mid and lower parts of the Nakdong River.

으로 낮았으며 변화 폭도 작았다. 아질산의 농도는 2.4-1392.9  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 의 범위로서 암모니아 농도의 변화 폭이 큰 1995년 12월 이후부터 1996년 6월까지와 11월에 감소하였으며 8월에 최대로 증가하였다(Fig. 2). 질산 농도는 0.1-10.34  $\times 10^3$   $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 의 범위로서 1995년 12월부터 1996년 3월까지 변화 폭이 컸으며 4월부터 낮은 농도이면서 변화 폭이 작았다(Fig. 2).

### 식물플랑크톤 군집

종조성: 낙동강 중·하류 수역의 5개 정점에서 식물플랑크톤은 총 456종류가 동정되었으며, 이들은 7강 15목, 6아목, 40과, 136속, 427종, 27변종, 2품종으로 구성되어 있었다. 각 강별 출현 종수는 녹조강이 205종류, 규조강이 148종류, 남조강이 45종류, 유글레나강이 36종류, 황갈조강이 15종류, 와편모조강이 6종류 그리고 황녹색조강이 1종의 순이었다. 녹조강과 남조강의 종수는 7월과 8월로 갈수록 점차 증가하였으며 가을에 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 규조강과 기타 강들의 종수는 계절 차이는 없지만 정점별 차이가 있었다(Fig. 4). 월별 각 강들의 종수는 녹조강이 56-134종류, 유글레나강이 7-20종류, 남조강이 11-27종류의 범위로서 겨울에서 여름으로 갈수록 2배 이상 증가하였으며, 규조강이 74-86종류의 범위로서 월별 차이는 크지 않았다(Fig. 4). 녹조강의 *Chlamydomonas pseudopertyi*, *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus opoliensis* 등 3 종류, 규조강의 *Achnanthes minutissima*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella*

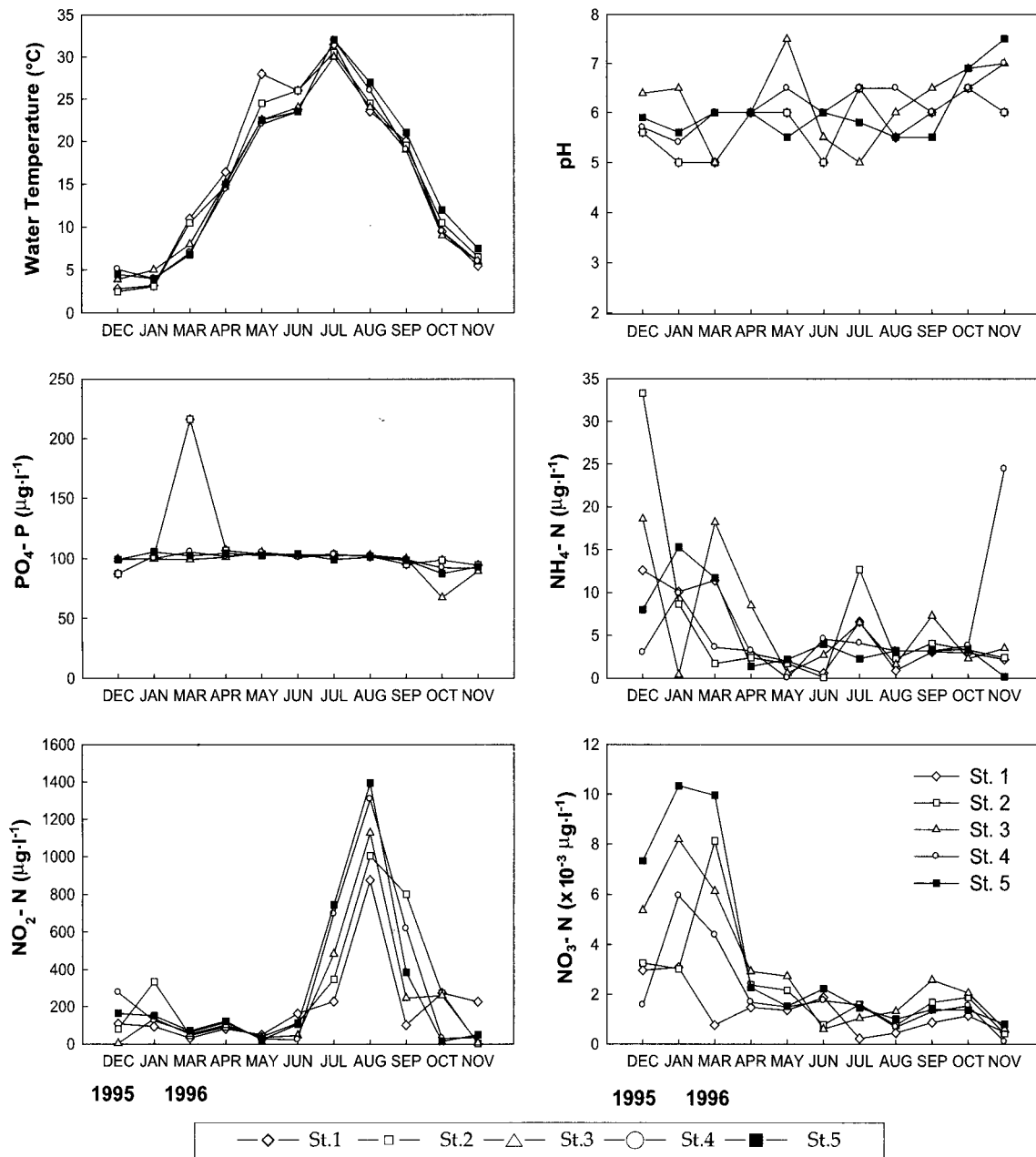


Fig. 2. Monthly variation of the environmental factors in the mid and lower parts of the Nakdong River.

*meneghiniana*, *Cyclotella pseudostelligera*, *Nitzschia palea*와 *Stephanodiscus hantzschii* 등 7종류가 모든 조사 시기와 정점에서 출현하였다. 전자의 종류를 제외한 규조강의 많은 종류들도 출현율이 높았으며, 녹조강은 Volvocales목의 *Chlamydomonas pseudopetyi*와 Chlorococcales 목의 *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus opoliensis* 등이 높은 출현빈도를 나타내었다. 또한 유글레나강 중의 *Euglena viridis*, *Trachelomonas oblonga*가 출현율이 높았으며 황색편모조강의 *Kephyrion ovale* 역시 출현빈도가 높았다. 남조강의 *Gomphosphaeria lacustris*, *Microcystis aeruginosa*가 여름에 높은 출현율을 나타내지만 황갈조강은 수온이 낮은 계절에 출현빈도가 높았다.

정점별 출현 종수는 정점 1에서 62-173종류, 정점 2에서 77-181종류, 정점 3에서 75-150종류, 정점 4에서 65-146종류 그리고 정점 5에서 69-148 종류의 범위였다(Fig. 3). 식물플랑크톤의 종수는 수온이 증가하는 3월 이후부터 증가하여 7월과 8월에 최대였으며 이후 수온의 변화 경향과 같이 감소하였다(Fig. 3).

현존량과 우점종: 식물플랑크톤의 현존량은 2.7-97.7 × 10<sup>3</sup> cells·ml<sup>-1</sup>의 범위로서 96년 1월에 정점 1에서 최저였고 1995년 12월과 1996년 11월에 정점 4에서 두 번의 peak를 나타내었다(Fig. 5). 현존량은 종수의 변화 경향과 다르게 겨울에 peak를 나타내었다. 각 정점의 우점 강은 단지 8월에 정

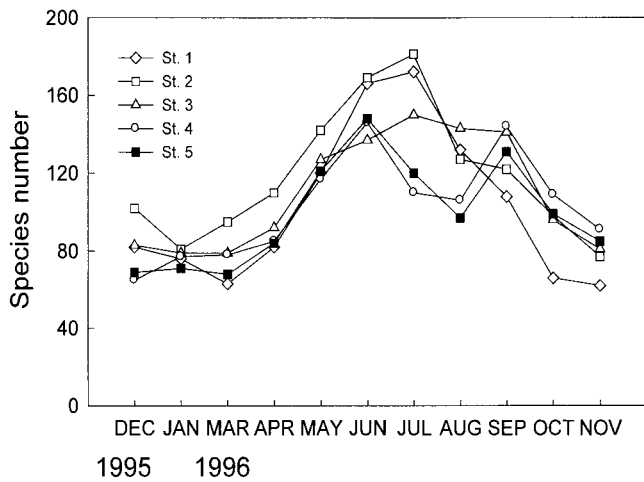


Fig. 3. Monthly variations of species number of phytoplankton communities at each station in mid and lower parts of the Nakdong River.

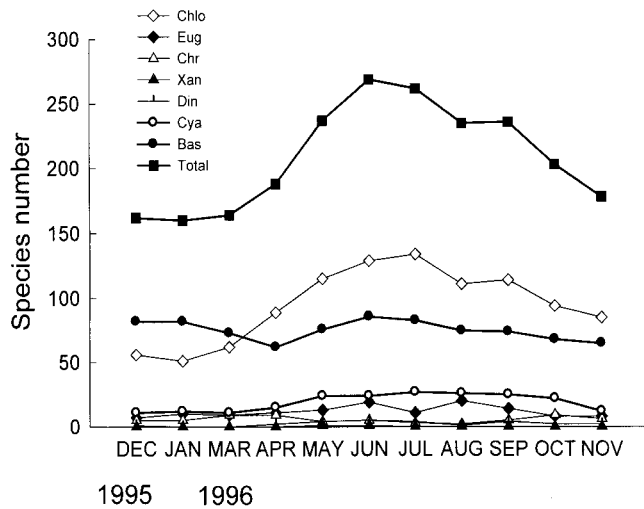


Fig. 4. Monthly variations of species number of each classes of phytoplankton communities in mid and lower parts of the Nakdong River.

점 4에서 녹조강이 1회 우점한 것을 제외한 모든 정점에서 규조강이었으며 전체 현존량의 변화를 결정하였다(Fig. 6). 규조강이 전체 현존량의 변동을 결정하는 경향과 같이 규조강의 *Stephanodiscus hantzschii*는 6-9월까지를 제외한 총 현존량의 월 변화 경향과 일치하였다. 또한 *Aulacoseira*속의 현존량은 *S. hantzschii*의 현존량이 적은 여름에 높은 현존량을 나타내었다. 그러므로 두 속의 현존량의 변화 경향은 규조강 현존량 변화 경향과 일치하였다(Fig. 7).

낙동강의 종류 정점인 정점 1과 2에서 우점종은 *Navicula gregaria*, *Nitzschia palea*, *Aulacoseira granulata* 등으로서 규조강의 종으로 구성되어 있다. 정점 3-5에서 우점종은 겨울에서 봄까지 규조강의 *S. hantzschii*였고 여름으로 갈수록 *A.*

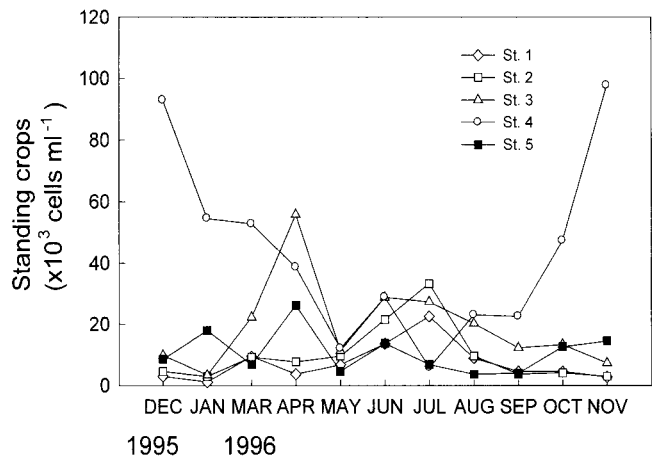


Fig. 5. Monthly variations of standing crops( $\times 10^3$  cells  $\cdot$  ml $^{-1}$ ) of phytoplankton communities in the mid and lower parts of the Nakdong River.

*ambigua*와 *A. granulata*가 교대로 조사되었다. 그러나 다시 겨울이 되면서 *S. hantzschii*로 변화하였다. 우점종 중에 녹조강의 *Golenkinia radiata*가 9월에 1회 조사 되었으며 기타 다른 종류는 조사된 바 없다. 단지 여름에 남조강의 *Microcystis aeruginosa*가 정점 5에서 1425 cells  $\cdot$  ml $^{-1}$ 로서 식물플랑크톤 군집의 현존량의 24%를 나타내었다.

우점도, 다양도와 균등도 지수: 다양도 지수는 정점 1에서 1996년 8월에 0.62로서 최저였고 5월에 1.39로서 최대였다. 정점 2에서는 0.31-1.33의 범위이며 정점 3은 0.24-1.16의 범위이고 정점 4에서는 0.14-1.12, 정점 5에서는 0.14-1.25의 범위를 나타내었다(Fig. 8). 우점도 지수는 정점 1에서는 0.04-0.47, 2에서는 0.07-0.36, 정점 3에서는 0.11-0.82, 정점 4에서는 0.16-0.91, 정점 5에서는 0.11-0.89의 범위로서 정점 1, 2에서는 변화폭이 매우 작았으며 정점 3, 4와 5에서는 변화폭이 크고 높아지는 경향을 나타내었다(Fig. 8).

정점간의 유사성: 1995년 12월에는 정점 1과 2에서 0.89, 정점 4와 5가 0.92로서 유사도가 가장 높았다. 1996년 1월에는 정점 1과 2, 정점 4와 5가 각각 0.81과 0.97로서 유사도가 높았으며 후자의 정점 4와 5에서 조사된 우점종은 전체 현존량의 94% 이상이었다(Table 2).

3월에는 정점 1과 3에서 0.82로서 전월의 두 달과는 상이 하였으며, 정점 3과 4가 0.90으로서 높은 유사도를 나타내었는데 3정점 모두 우점종이 *Stephanodiscus hantzschii*로 구성되어 있다(Table 1). 4월에는 정점 3과 4, 정점 3과 5, 정점 4와 5는 각각 0.94, 0.80, 0.82의 높은 유사성을 나타내었다(Table 2). 이들 정점들에서 우점종은 *S. hantzschii*로서 높은 비를 차지하였다(Table 1).

5월의 유사도는 전월과 같이 하류 정점인 정점 4와 5에서는 0.82로서 높았다. 정점 3의 우점종이 *Aulacoseira ambigua*로 정점 4와 같았으나 점유비가 낮기 때문에 정점 5보다 낮은

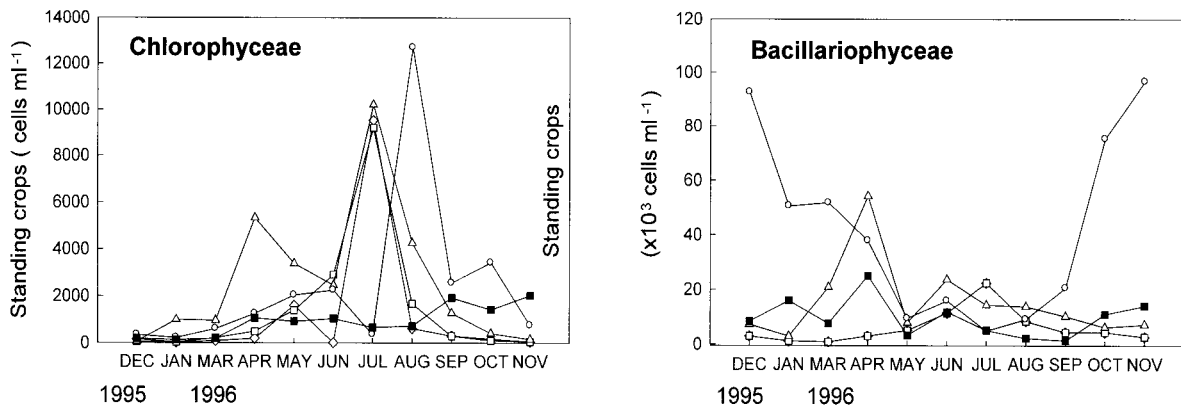


Fig. 6. Monthly variations of standing crops ( $\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ ) of Chlorophyceae and Bacillariophyceae in the mid and lower parts of the Nakdong River.

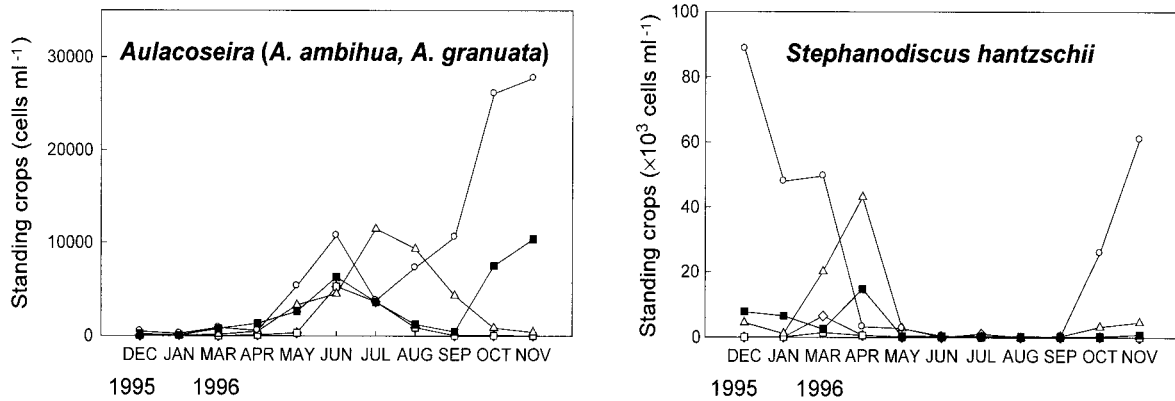


Fig. 7. Monthly variations of standing crops ( $\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ ) of *Stephanodiscus hantzschii* and the genus *Aulacoseira* (*A. ambigua* and *A. granulata*) in the mid and lower parts of the Nakdong River.

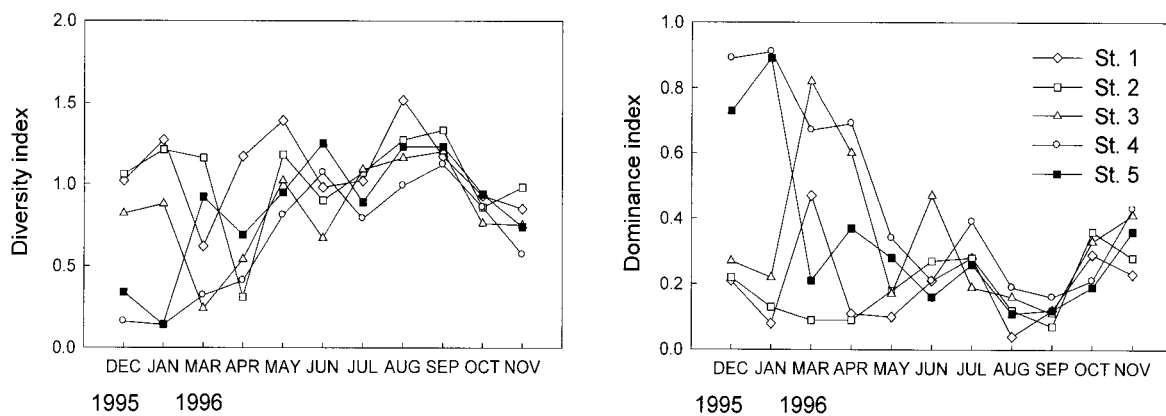


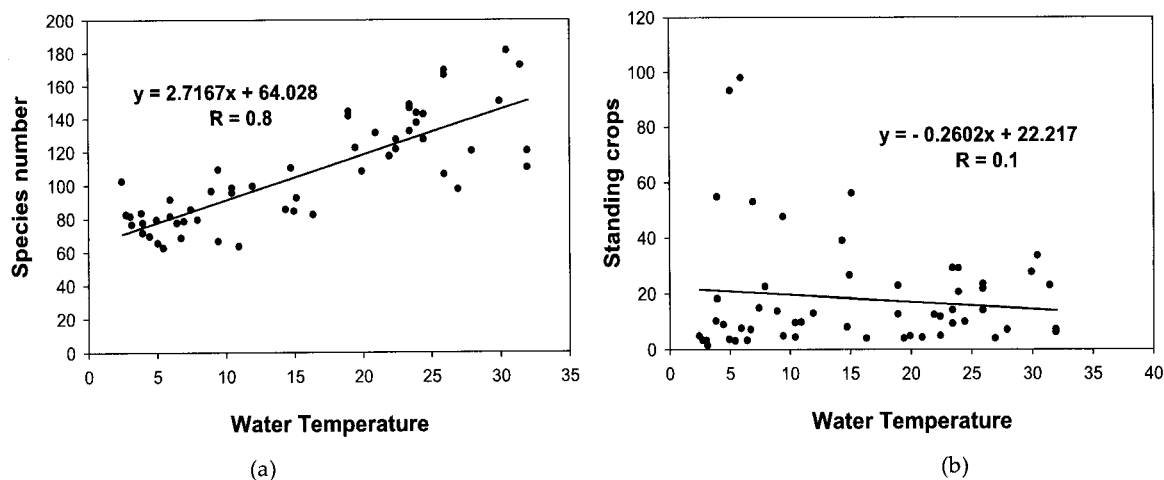
Fig. 8. Monthly variations of diversity index and dominance index in the mid and lower part of the Nakdong River.

지수를 나타내었다. 6월의 조사에서는 정점 1과 2, 정점 1과 4의 유사도 지수는 0.80-0.88의 범위로서 군집간의 높은 유사성을 나타내지만 정점 5와의 관계는 0.5로서 낮은 관계를 나타내고 있다. 8월에는 다른 월과는 달리 하류 정점에서 낮은 유사도로 조사되었다(Table 2).

10월의 조사에서는 유사도는 정점 1과 2가 0.84, 정점 3과 4가 0.87로서 높은 유사성이 조사되었으나 다른 정점들과의 관계는 매우 낮은 관계를 나타내었다. 10월에는 정점 1과 2에서 0.9로서 매우 높은 지수가 조사되었으며 다른 정점에서는 매우 유사성이 낮았다. 우점종과 아우점종들도 역시 다

**Table 1.** Dominant species of phytoplankton communities in the mid and lower part of the Nakdong River (%)

Month \ Station	Dominant species	Month \ Station	Dominant species
Dec. 1995.	1 <i>Navicula gregaria</i> (41.8)	Jul.	1 <i>Aulacoseira granulata</i> (52.6)
	2 <i>Navicula gregaria</i> (45.0)		2 <i>Aulacoseira granulata</i> (51.2)
	3 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (85.5)		3 <i>Aulacoseira ambigua</i> (41.2)
	4 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (94.4)		4 <i>Aulacoseira granulata</i> (61.4)
	5 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (47.9)		5 <i>Aulacoseira granulata</i> (45.7)
Jan. 1996.	1 <i>Navicula gregaria</i> (18.3)	Aug.	1 <i>Aulacoseira granulata</i> (9.6)
	2 <i>Navicula gregaria</i> (33.1)		2 <i>Nitzschia palea</i> (31.3)
	3 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (33.7)		3 <i>Aulacoseira ambigua</i> (36.8)
	4 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (95.1)		4 <i>Aulacoseira granulata</i> (29.2)
	5 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (94.7)		5 <i>Aulacoseira granulata</i> (27.1)
Mar.	1 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (68.4)	Sep.	1 <i>Navicula gregaria</i> (27.4)
	2 <i>Navicula gregaria</i> (18.8)		2 <i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i> (16.9)
	3 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (90.6)		3 <i>Aulacoseira ambigua</i> (22.9)
	4 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (81.3)		4 <i>Aulacoseira ambigua</i> (32.7)
	5 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (34.1)		5 <i>Golenkinia radiata</i> (23.3)
Apr.	1 <i>Navicula gregaria</i> (23.6)	Oct.	1 <i>Navicula gregaria</i> (52.8)
	2 <i>Navicula gregaria</i> (24.5)		2 <i>Nitzschia palea</i> (22.6)
	3 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (77.3)		3 <i>Navicula gregaria</i> (59.6)
	4 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (83.2)		4 <i>Aulacoseira granulata</i> (52.0)
	5 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (56.3)		5 <i>Aulacoseira granulata</i> (32.6)
May	1 <i>Navicula gregaria</i> (28.3)	Nov.	1 <i>Diatoma vulgare</i> (36.9)
	2 <i>Nitzschia palea</i> (39.9)		2 <i>Navicula gregaria</i> (52.4)
	3 <i>Aulacoseira ambigua</i> (27.4)		3 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (63.4)
	4 <i>Aulacoseira ambigua</i> (56.7)		4 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (62.8)
	5 <i>Aulacoseira ambigua</i> (52.0)		5 <i>Aulacoseira ambigua</i> (58.4)
Jun.	1 <i>Aulacoseira granulata</i> (37.7)		
	2 <i>Aulacoseira granulata</i> (49.7)		
	3 <i>Aulacoseira granulata</i> (67.2)		
	4 <i>Aulacoseira granulata</i> (43.7)		
	5 <i>Aulacoseira granulata</i> (37.9)		

**Fig. 9.** Interrelationships between (a) species number, (b) standing crops and water temperature in the mid and lower parts of Nakdong River.

**Table 2.** Monthly variations of similarity indices between each station in the mid and lower parts of the Nakdong River

1	1.00					1	1.00					1	1.00									
2	0.89	1.00				2	0.82	1.00				2	0.55	1.00								
3	0.39	0.43	1.00			3	0.35	0.35	1.00			3	0.83	0.38	1.00							
4	0.13	0.14	0.70	1.00		4	0.24	0.20	0.47	1.00		4	0.75	0.31	0.90	1.00						
5	0.10	0.11	0.73	0.92	1.00	5	0.21	0.19	0.52	0.97	1.00	5	0.57	0.55	0.58	0.52	1.00					
St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5					
	December 1995						January 1996						March									
1	1.00					1	1.00					1	1.000									
2	0.71	1.00				2	0.64	1.00				2	0.89	1.00								
3	0.26	0.40	1.00			3	0.38	0.50	1.00			3	0.66	0.77	1.00							
4	0.20	0.30	0.95	1.00		4	0.29	0.45	0.77	1.00		4	0.74	0.81	0.82	1.00						
5	0.17	0.30	0.81	0.82	1.00	5	0.28	0.44	0.67	0.83	1.00	5	0.43	0.43	0.31	0.47	1.00					
St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5					
	April						May						June									
1	1.00					1	1.00					1	1.00									
2	0.77	1.00				2	0.73	1.00				2	0.85	1.00								
3	0.62	0.82	1.00			3	0.53	0.69	1.00			3	0.37	0.47	1.00							
4	0.81	0.85	0.77	1.00		4	0.36	0.40	0.54	1.00		4	0.30	0.38	0.87	1.00						
5	0.63	0.68	0.62	0.77	1.00	5	0.49	0.46	0.54	0.67	1.00	5	0.21	0.22	0.54	0.60	1.00					
St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5					
	July						August						September									
1	1.00					1	1.00					1	1.00									
2	0.90	1.00				2	0.65	1.00				2	0.65	1.00								
3	0.23	0.25	1.00			3	0.22	0.35	1.00			3	0.22	0.35	1.00							
4	0.08	0.10	0.45	1.00		4	0.13	0.19	0.84	1.00		4	0.13	0.19	0.84	1.00						
5	0.08	0.08	0.59	0.52	1.00	5	0.08	0.14	0.40	0.68	1.00	5	0.08	0.14	0.40	0.68	1.00					
St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5	St.	1	2	3	4	5					
	October						November															

양하게 출현하였다. 11월에는 정점 3과 4에서 0.84로 높은 유사성이 조사되었다(Table 2).

식물플랑크톤 군집과 이화학 요인과의 상관관계( $p < 0.05$ ,  $n = 55$ ): 식물플랑크톤 군집의 종수와 수온과의 관계는  $r = 0.8$ 로서 수온에 영향을 받는 것으로 나타났다. 종수와 인산염과의 관계도  $r = 0.7$ 로서 높았으나 pH, 질산염, 아질산염, 암모니아와 N/P비와의 관계는  $r = 0.5$  이하로 낮은 정의 관계였다. 현존량과 수온은  $r = -0.1$ 로서 수온의 변화가 식물플랑크톤 군집의 현존량에 영향을 미치지 않았다. 현존량과 질산염은  $r = 0.8$ 로서 높았으나 pH, 아질산염과는  $r = 0.2$  이하로 낮은 정의 관계였고 암모니아와의 관계는  $r = -0.5$ 로서 역의 관계를 나타내었다. 현존량과 N/P 비와의 관계는  $r = -0.8$ 로서 역의 관계를 나타냄으로서 현존량은 질소에 의해 제한되는 것으로 나타났다.

또한 우점종인 *Stephanodiscus hantzschii*와 수온과의 관계는  $r = -0.35$ 의 낮은 역의 관계였고 다른 환경 요인과는 매우 낮은 관계를 나타내었다. *Aulacoseira*속과 환경요인과의 관계는 매우 낮은 정 또는 역의 관계를 나타내었다.

## 고 찰

수중 생태계에서 식물플랑크톤의 종조성이나 현존량은 수중환경에 따라 변화하기 때문에 수질을 판정하는 지표로 이용할 수 있다(Harper 1992) 그러므로 식물플랑크톤의 현존량과 우점종의 변화에 따라 조사 수역의 영양상태를 파악할 수 있다.

수환경의 변화의 지표가 되는 식물플랑크톤의 현존량은  $2.7-97.7 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 범위로서 월과 정점간의 차이가 매우 크다. 특히 겨울에 두 번의 peak는 낙동강 수계의 특성을 나타내는 주요한 지표가 된다. 이와 같이 겨울에 peak를 나타내는 것은 영산강(김 2003), 한강(김 등 1998)의 조사와 유사한 현상이었다. 또한 본 하천의 평균 현존량은  $18.14 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 이며, 각 정점별 평균 현존량이  $7.35-43.31 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 범위로서 모든 정점에서 일반적인 수화발생 기준인  $5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-1}$ 을 상회함으로써(Horne and Goldman 1994) 부영양화에 따른 식물플랑크톤의 대발생하였다. 이와

같은 경향이 정 등(2003)의 한강하류의 조사에서 나타난 바 있다.

식물플랑크톤의 군집은 수온이 상승할수록 증가하는 경향을 보이거나(Heinle 1969), 여름철의 집중강우로 많은 유량과 짧은 체류시간에 의해 식물플랑크톤의 현존량이 희석되어 현존량이 낮아지며, 상대적으로 건기인 겨울에 대발생을 나타내는 것은 한강(정 등 2003)과 동일한 결과를 본 조사에서 나타냈다.

낙동강의 식물플랑크톤의 대발생을 유도하는 원인은 금호강의 유입 직후부터 특히 총질소와 총인의 농도가 증가한 것으로 보고하였는데 이것은 대구시와 주변 도시로부터 각종 하·폐수의 대량유출에 따른 것으로 유추하였다(송 등 1995; 이 1998; 이 등 2002). 그러나 이들 조사 시기와 본 조사 시기의 차이 때문에 조사 결과가 다소 다른 결과를 나타내었다.

낙동강의 연중 식물플랑크톤 군집의 종구성은 주로 여름에는 남조강의 종들이, 그리고 나머지 계절에는 규조강의 종들이 우점을 하는 경향이 있는 것으로 보고 되어 왔다(이 등 2002). 그러나 본 연구에서는 여름에도 대부분 규조강의 종들이 우점종으로 조사되었지만 하류 정점에서 남조강의 *Microcystis aeruginosa*의 현존량이 식물플랑크톤 군집의 전체 현존량의 24%를 차지할 정도로 증가한 적이 있었다. 이것이 95년 이후 여름에 낙동강의 남조강 대발생을 하기 시작하는 초기단계로 추정된다.

본 수계의 중류수역인 정점 1과 2에서 우점종은 *Navicula gregaria*, *Nitzschia palea*와 *Navicula viridula* var. *rostellata* 등으로 조성되어 있다. 이들 종들은 모두 저서성 생태 특성을 가지는 점을 고려할 때 주로 수심이 얇은 강바닥과 그 주변의 피부착물에 서식하는 저서성 규조강의 종들이 유속 등의 원인에 의해 탈리되어 부상한 결과로 높은 출현율을 나타내는 것은 이 등(2002)의 결과와 일치한다.

하류수역에서 규조강의 중심규조목인 *Stephanodiscus*속, *Cyclotella*속 그리고 *Aulacoseira*속 등의 종들이 겨울부터 이듬해 11월까지 지속적으로 대발생하였다. 이 중 *Stephanodiscus hantzschii*는 수온이 낮은 시기에 대발생을 하였으나 수온이 증가한 여름에 감소하였다. *Stephanodiscus hantzschii*의 최대 성장온도는 5-15°C의 범위이고 *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*는 25°C에서 최대 성장을 한다(Poulickova 1993). 그리고 수온이 4°C 정도이며 역성층이 끝난 후 규소와 질산염 등의 영양염이 최고로 증가하는 1월말 이후에 중심규조목의 종들인 *S. hantzschii* 등의 현존량이 증가하기 시작하여 4월에 감소하는 경향이 있다(Reynolds 1985). 또한 정 등(2003)은 전자의 최적온도는 각각 13°C이지만 다른 적정 환경요인의 유입이 되면 수온이 3°C로 감소하여도 충분한 성장을 한다고 하였다. 이와 같이 겨울에 5°C 이하인 12월과 1월 그리고

15°C 이하인 3, 4월과 11월에 *S. hantzschii*가 우점하여 결과가 일치하였다.

*Aulacoseira granulata*, *A. ambigua* 등은 25°C에서 최대생장을 하지만(Poulickova 1993) 본 조사에서는 20°C 이상인 5월부터 우점종으로 출현하여 7월까지 증가하였다. 그러나 8월에 감소하는 것은 부유물질 등에 의한 개체군의 성장 방해 때문이며 이후 정점 4에서 10월과 11월에 급격히 증가하였다.

따라서 부영양 수역인 낙동강 하류는 수온이 낮은 겨울-봄에 *Stephanodiscus hantzschii*, 봄-여름까지 규조강의 *Stephanodiscus hantzschii*와 녹조강의 *Monoraphidium contortum*, *Chlamydomonas pseudopertyi*, 여름에 남조강의 *Microcystis aeruginosa*와 규조강의 *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*, 여름-가을에 *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*와 녹조강의 *Golenkinia radiata* 그리고 가을-겨울에 규조강의 *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*와 *Stephanodiscus hantzschii* 등의 우점종 또는 아우점종 등이 계절적 변화를 하였다. 이와 같은 종류들은 부영양수역의 대표적인 지표종으로 알려져 있으므로(Poulickova 1993; 신과 조 1999) 본 수역의 중, 하류는 계절과는 관계없이 지속적인 부영양 상태인 것으로 확인되었다.

## 사 사

본 논문은 2004년도 대전대학교 학술지원과제 연구비 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- 김용재 2003. 영산강의 식물플랑크톤 군집 동태. 한국조류학회지 **18**: 207-215.
- 김용재, 김명운, 김상중. 1998. 한강 중·하류에서 식물플랑크톤의 생태학적 특성. 한국조류학회지 **13**: 331-338.
- 신성교, 박청길, 이수용. 1996. 낙동강에서 chlorophyll-*a*와 BOD의 상관관계. 한국환경과학회지 **8**: 101-106.
- 신재기, 조경제. 1999. 낙동강에서 AGP에 의한 수질평가. 한국육수학회지 **32**: 349-357.
- 이정호, 권정남, 양상용. 2002. 낙동강의 식물플랑크톤 군집의 계절 변화. *Algae* **17**: 267-273.
- 정승원, 이진환, 유종수. 2003. 한강하류의 환경학적 연구. V. 식물플랑크톤 군집 대발생의 특징. *Algae* **18**: 255-262.
- 최애란, 오희목, 이진애. 2002. 낙동강 하류 수계의 독성 *Microcystis* 생태 연구. *Algae* **17**: 171-185.
- 환경부. 1997. 수계에서의 유해물질 조기검출기법 개발. 연구보고서 450 pp.
- APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association. Washington. 1133 pp.
- Cho K.J., Chung I.K. and Lee J.A. 1993. Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Nakdong River estuary. *Kor. J. Phycol.* **8**: 15-28.



- Harper D. 1992. *Eutrophication of Freshwaters: Principles, problems and restoration*. Chapman & Hall, London. 327 pp.
- Heinle D.R. 1969. Effects of elevated temperature on zooplankton. *Chesapeake Sci.* **10**: 186-209.
- Hendey N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426.
- Horne A.J. and Goldman C.R. 1994. *Limnology*. McGraw-Hill, Inc., New York. 576 pp.
- Kim J.W. and Lee H.Y. 1991. A study on phytoplankton communities in the reservoir of Nakdong River estuary. *Kor. J. Limnol.* **23**: 143-151
- Lee J.A., Cho K.J., Kwon O.S., Chung I.K. and Moon B.Y. 1994. Primary production of phytoplankton in Nakdong estuarine ecosystem. *Kor. J. Limnol.* **27**: 69-78
- Poulickova A. 1993. Ecological study of seasonal maxima of centric diatoms. *Algol. Studies* **68**: 85-106
- Reynolds C.S. 1985. The atypical seasonality of phytoplankton in Crose Mere, 1972: an independent test of the hypothesis that variability in the physical environment regulates community dynamics and structure. *Br. phycol. J.* **20**: 227-242
- Shannon E. and Weaver W. 1963. *The mathematical theory of communication*. Illinois Univ. Press, Urbana. 177 pp.
- Shimpson E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 1-688.
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. *K. Danske Vidensk. Selsk.* **5**: 1-34.
- Thorp H.H. and DeLong M.D. 1994. The riverine productivity model: an large river ecosystem. *Oikos* **70**: 305-308
- Yang J.R. and Dickman M. 1993. Diatoms as indicators of Lake Trophic Status in Central Ontario, Canada. *Diatom Res.* **8**: 179-193.
- 

Received 12 November 2004

Accepted 10 December 2004