

영산강의 식물플랑크톤 군집 동태

김 용 재*

(대전대학교 생명과학과)

Dynamics of Phytoplankton Community in Youngsan River

Yong Jae Kim*

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

Dynamics of phytoplankton communities were investigated at five stations in Youngsan River from December 1995 to November 1996. Phytoplankton were identified to the total of 466 taxa, which were composed of 136 genera, 438 species, 27 varieties and 1 forma. The standing crops ranged 1,163-50,765 cells·mL⁻¹ during the investigation periods. The variation of classes was in order to Chrysophyceae — Bascillariophyceae — Chlorophyceae at St. 1 and was only Bacillariophyceae at the other stations. The dominant species were 12 taxa including *Aulacoseira ambigua*, *A. garnulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *C. pseudostelligera*, *Chlorella vulgaris*, *Dinobryon sertularia*, *Flagilaria elliptica*, *Monoraphidium contortum*, *Micractinium pusillum*, *Nitzschia palea*, *Scenedesmus grahneisii* and *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*. The standing crops of dominant species ranged from 10.6% to 94.7%. The genus *Dinobryon* in Chrysophyceae was dominant species at St. 1 in December 1995, but not recorded in the other months. The dominant species were composed with the planktonic diatoms from winter to spring and were the tycho planktonic and the benthic species at St. 2-5 from summer to fall. The relationships between total standing crops and water temperature, pH, NH₄, NO₂, NO₃ and PO₄ showed low positive or negative coefficients. *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* had low positive or negative coefficients with water temperature, NH₄, NO₂, NO₃ and PO₄. The fluctuations of standing crops in the Youngsan river phytoplankton community were not caused by a single factor but controlled by the complex factors with interaction between phytoplankton community and environmental factors.

Key Words: benthic species, dynamics, phytoplankton, tycho plankton, Youngsan river

서 론

인간의 문명은 하천에서 시작되었으며, 농업용수와 생활용수의 공급을 위한 인공 댐은 약 5,000년 전에 나일강에 건설되었다. 또한 하천은 음용수, 수산자원, 운하, 관개용수와 폐기물 처리 시스템의 자원으로 사용되어 왔다. 오늘날 대형 하천은 인간의 수요와 생태학적 보존사이의 균형이 요구된다(Edward 1995).

조류 군집은 식물플랑크톤, 저서와 부착 조류로 구성되어 있다. 이들은 하천의 유기 탄소의 주요 생산자이고, 플랑크톤 소비자를 위한 주요 공급원이며, 수중의 산소 공급원이기도 하다(Thorp and Delong 1994). 식물플랑크톤은 무기 영

양염의 과잉 공급에 의해 부영양화되어 bloom과 같은 문제를 일으킨다. 그러나 이들은 농업과 산업폐수에 의해 영향을 받은 하천의 수질을 정화하는 기능을 가지고 있다.

하천에 서식하는 식물플랑크톤은 진정부유성과 일시 부유성 그리고 저서성으로서 피부착물로부터 탈리되어 부유하는 종류가 있다(이 등 2002). 이와 같은 식물플랑크톤은 간단한 체제와 현미경적인 크기의 식물군으로 하천 생태계의 변화에 민감하게 반응하여 수 환경변화의 지표종으로 중요하게 활용되고 있다(Yang and Dickman 1993).

우리나라 하천에 대한 연구는 4대 강 중 한강과 낙동강에 집중되어 있으며(정과 이 1978; 김 등 1998a; 이 등 2002) 최근에는 금강, 영산강과 기타 하천연구도 진행되고 있다(김 등 1996; 이와 윤 2002; 김 2003). 영산강은 우리나라 4대 강의 하나로 전라남도 담양군 용면 용연리 용추봉에서 발원하여 황룡강, 지식천, 고막원천 등 지류들이 합류하여 나주평

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

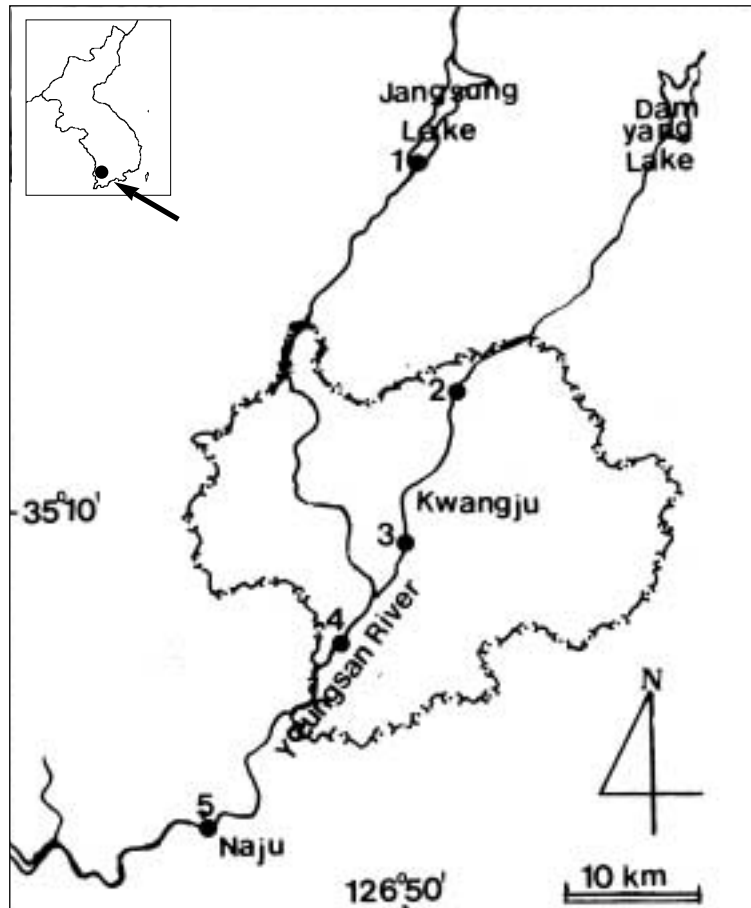


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Youngsan river.

야를 관류하며, 하구언을 통해 서해로 유입된다. 본 하천 본류의 총 유역면적은 3371.4 km²이고, 유로연장은 136.0 km이다. 영산강은 유량의 변화가 많고 여름에는 홍수의 피해를 주는 경우가 많아 상류에 장성댐, 광주댐, 담양댐과 나주댐을 축조하여 수량을 조절하고 있다. 영산강 유역의 연 강우량은 1,400-1,500 mm 정도로서 6월부터 9월까지 4개월간 총 강우량의 62%가 집중되고 있다.

영산강 수계에 대한 육수 생물학적 조사는 1974년부터 시작되어 최근까지 수편에 불과하다(위 1974; 김과 최 1988; 최 등 1995). 이들 중에 대부분은 영산호에 한정되어 있을 뿐이며, 영산강 본류에 대한 식물플랑크톤과 부착조류에 대한 연구는 단지 최 등(1995)만 있을 뿐이다. 이와 같이 육수 생물학적 연구의 관점에서 본 하천은 국내 4대강 중에 한강과 낙동강보다 관심이 매우 미흡한 실정에 있다.

본 연구는 식물플랑크톤 군집에 대한 조사가 미흡한 영산강 본류 중에 최상류에 위치하는 장성댐 호부터 나주시까지 5개의 정점을 선정하여 1995년 12월부터 1996년 11월까지 1년간 매월 식물플랑크톤의 시료를 채집하여 군집의 동태를 조사하였다.

재료와 방법

본 연구는 1995년 12월부터 1996년 11월까지 1년간 영산강에 5개의 정점을 선정하여 매월 1회 조사를 실시하였다. 각 정점은 호수의 북쪽에 내장산국립공원이 인접되어 있는 장성댐(정점 1), 광주시 용두교(정점 2), 광주시 송정리(정점 3), 광주시 송정교(정점 4) 그리고 나주시 영산대교(정점 5)에 선정하였다(Fig. 1). 수온과 pH는 orion 260 pH meter로 현장에서 측정하였으며, 영양염인 PO₄-P는 ascorbic acid법, NH₄-N는 nesslerization법, NO₂-N는 colorimetric법 그리고 NO₃-N는 ultraviolet spectrophotometer screening법으로 분석하였다(APHA 1992). 식물플랑크톤의 시료는 1 l용 플라스틱 병을 이용하여 정량 채집하였으며 현장에서 3-5%의 중성 formalin으로 고정하였다. 출현종은 광학 현미경(Zeiss axioscop 20, 320-1600배)에서 동정하였다. 현존량은 정량 채집한 시료를 42시간 이상 침전시킨 후 siphon으로 상등액을 제거하고 50 ml로 정량화하여 Sedgwick-Rafter chamber에서 계수 하여 산출하였다. 부

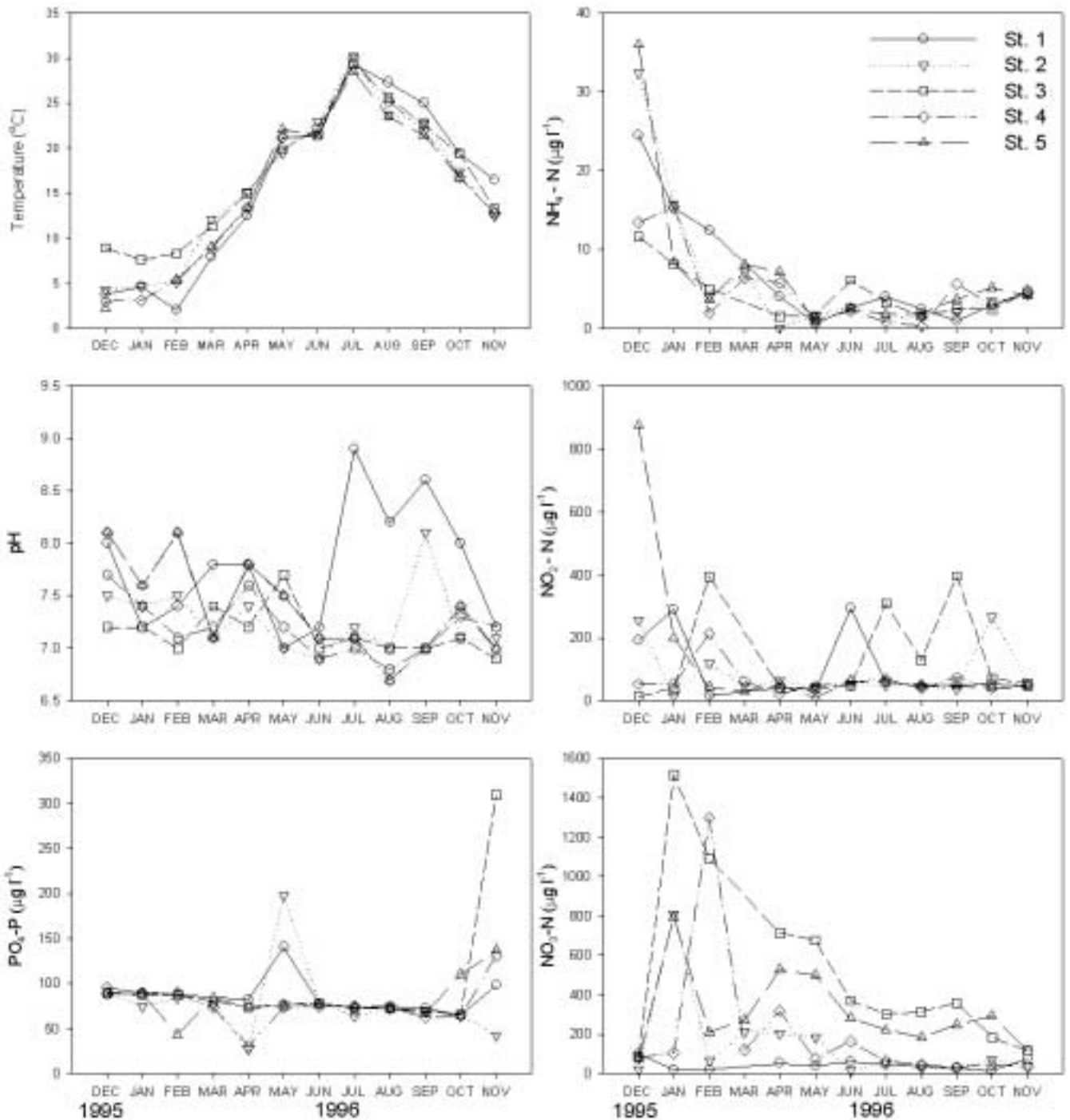


Fig. 2. Monthly variation of the environmental factors in Youngsan River. (St. 1 -○-; St. 2 -▽-; St. 3 -□-; St. 4 -◇-; St. 5 -△-)

유성 규조류의 현존량은 $KMnO_4$ 법(Hendey 1979)으로 세정한 다음 영구표본을 제작하여 종을 동정하고 각 종의 상대빈도에 규조강의 총현존량을 대입하여 산출하였다. 각 출현종의 현존량을 기본 자료로 하여 Shannon-Weaver(1963)의 종다양성 지수, Simpson(1949)의 우점도 지수 그리고 각 정점간의 군집 유사성을 분석하기 위해 Sørensen(1948)의 유사도 지수를 산출하였다. 그리고 군집과 환경요인과의

상관관계를 구하였다.

결과와 고찰

환경요인

영산강 수계의 상류인 장성호부터 나주까지 5개의 정점에서 조사된 수온은 2.0-30.2°C의 범위였으며 전형적인 우리

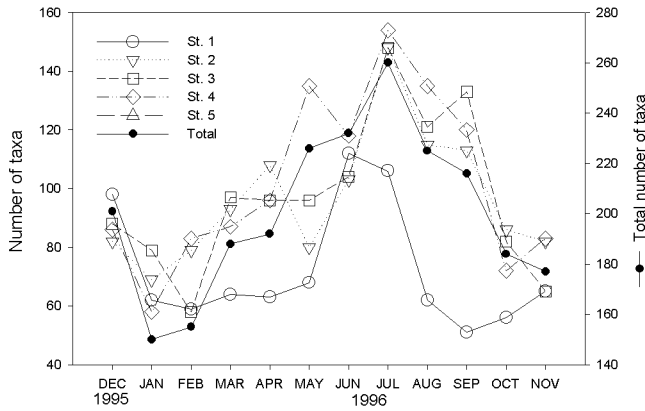


Fig. 3. Monthly variations of species number of phytoplankton communities in Youngsan river (St. 1, -○-; St. 2, -▽-; St. 3, -□-; St. 4, -◇-; St. 5, -△-; -●-, total)

나라의 온도변화 경향과 동일하였다(Fig. 2). 96년 전반기에 수온이 정점 1에서 낮은 반면에 후반기에는 다른 정점보다 높았다. pH는 6.7-8.9의 범위였다. 인산염의 농도는 30.9-309.0 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위로서 전체 정점에서 겨울에 낮았으며 정점 1과 2에서 봄에 일시적으로 증가하였다. 식물플랑크톤의 활동이 많은 여름에 감소한 반면에 식물플랑크톤의 활동이 낮아지는 시기에 정점 2를 제외한 모든 정점에서 증가하였다(Fig. 2). 암모니아성 질소는 0.02-36.5 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위로서 모든 정점에서 95년 12월에 최고였으며 이후 감소하였다. 96년 4월 이후부터 암모니아성 질소 농도는 매우 낮았으며 변화폭도 작았다(Fig. 2). 암모니아성 질소는 유기물의 분해의 일차적 산물로서 기온이 낮은 겨울에 높고 기온이 높은 여름에 낮은 경향을 나타내었다. 아질산성 질소의 농도는 9.39-874.6 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위로 암모니아성 질소의 농도가 높은 시기에 높았으며 96년 2월 이후부터 감소하였으며 정점 1, 2와 3에서 증가와 감소를 반복하였다. 정점 1과 2에서는 여름에 변화 폭이 컸으나 다른 정점에서는 변화 폭이 작았다(Fig. 2). 질산성 질소는 130-1517.5 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위로서 암모니아성 질소와 아질산성 질소가 높았던 95년 12월 이후인 96년 1월과 2월에 높았으며, 수온의 증가와 식물플랑크톤의 생육 활성 등의 영향으로 본 요인은 감소하였다(Fig. 2). 질소의 농도는 국내외의 호수 등에서 장마 등의 원인으로 여름에 높아지며 이후에 낮아지는 경향을 나타내지만(Pollinger 1981; Barone and Flores 1994; 김 등 1998a) 본 조사 수역에서는 겨울에 최고였고, 이후에 감소하였다.

식물플랑크톤 군집

종조성: 본 조사 대상지인 영산강 상, 중류 수역의 5개 정점에서 식물플랑크톤은 총 466종류로서 7강 15목, 6아목, 40과, 136속, 438종, 27변종, 1품종으로 구성되어 있다. 정점별

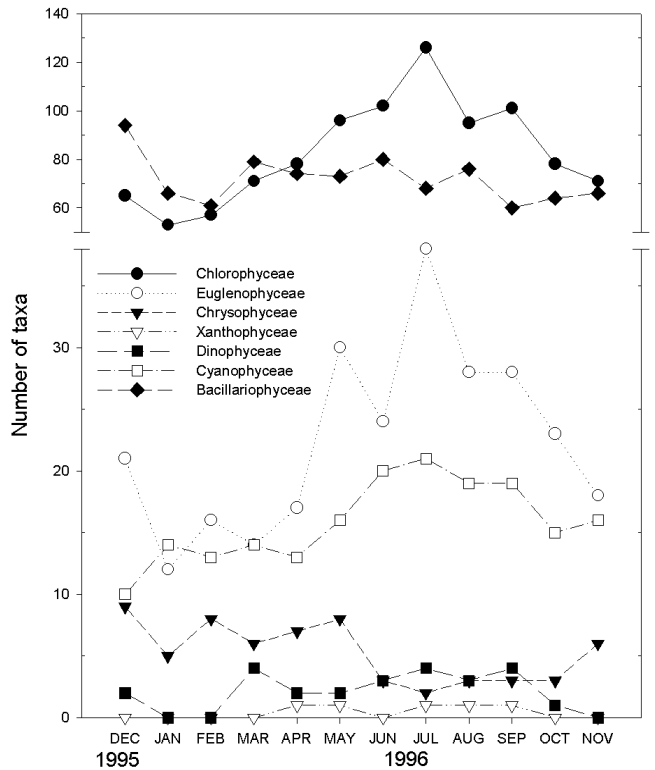


Fig. 4. Monthly variations of taxa number of each classes of phytoplankton communities in Youngsan river. (Chlorophyceae, -●-; Euglenophyceae, -○-; Chrysophyceae, -▼-; Xanthophyceae, -▽-; Dinophyceae, -■-; Cyanophyceae, -□-; Bacillariophyceae, -◆-)

출현 종수는 정점 1에서 51-112종류, 정점 2에서 69-148종류, 정점 3에서 58-133종류, 정점 4에서 58-154종류 그리고 정점 5에서 67-158종류의 범위였다. 정점간의 출현 종수의 차이는 작았지만 월별 출현종수는 약 2배 정도의 차이가 났다. 96년 1월, 2월, 3월과 11월과 12월에 출현 종수가 200종류 이하였으며 이것은 겨울과 초봄에 수온이 낮아 식물 플랑크톤의 생육에 대한 제한 요인으로 작용한 것으로 추정된다. 그러나 여름에 식물플랑크톤 군집은 200종류 이상으로 다양한 종수가 조사되었다(Fig. 3). 각 강별 출현 종수는 녹조강이 200종류, 규조강이 141종류, 유글레나강이 63종류, 남조강이 39종류, 황갈조강이 15종류, 와편모조강이 7종류 그리고 황녹색조강이 1종의 순이었다. 겨울에는 규조강의 종수가 많은 반면에 봄과 여름으로 갈수록 녹조강의 종수가 증가하였다(Fig. 4). 장성호내의 정점 1에서 황갈조강의 *Dinobryon*속, *Mallomonas*속, *Synura*속 등이 겨울에 출현하였으나 여름으로 갈수록 급속하게 감소하였다. 또한 호수 등의 정수역에 출현되는 *Monoraphidium*속, *Chlamydomonas*속, *Micractinium*속, *Golenkinia*속, *Scenedesmus*속 등의 녹조강과 규조강의 *Stephanodiscus*속, *Cyclotella*속과 *Navicula*속 등이 군집의 주요 조성 종이였다. 이와 같은 종들은 우리

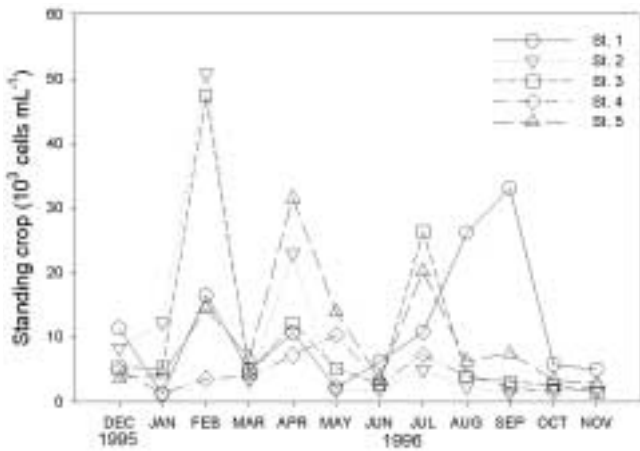


Fig. 5. Monthly variations of phytoplankton community standing crops (cells · mL⁻¹) in Youngsan river. (St. 1, -○-; St. 2, -▽-; St. 3, -□-; St. 4, -◇-; St. 5, -△-)

나라 호수에서 보고 된 주요 종 구성과 유사하였다(조 등 1993; 정 등 1994; 김과 이 1996). 정점 2에서는 축산폐수가 유입되는 정점으로서 호수나 청정수역에서 출현하는 종보다는 영양염이 풍부한 수역에서 출현하는 *Trachelomonas*속이나 하천의 광적응성인 *Achnanthes minutissima*, *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia frustulum*과 *Fragilaria elliptica* 등의 규조강 등으로서 한강의 종조성과 유사하였다(김 등, 1998a). 정점 3, 4와 5에서도 광주시를 관류한 이후 가장 하수와 각 종 폐수들이 유입된 이후의 정점들로서 전반적으로 오염에 내성이 강하거나 영양염이 풍부한 곳에서 생육하는 녹조강의 *Scenedesmus grahnisii*, *Micractinium pusillum*, 규조강의 *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella pseudostelligera*와 *Nitzschia palea* 등이 군집의 주요 종으로 구성되어 있다. 본 정점들의 군집은 우리나라의 오염된 하천의 식물플랑크톤 군집의 특성과 유사하였다(김 등 1998(a); 이 등 2002).

현존량과 우점종: 식물플랑크톤의 현존량은 1,126-50,726 cells · mL⁻¹의 범위로서 96년 1월에 정점 4에서 최저였고 1996년 2월에 정점 2에서 최고였다(Figs 5, 6). 본 조사 동안 현존량은 정점 2와 3에서 최대 peak를 나타내며 월별 현존량의 차이가 가장 컸다. 이것은 다른 계절과 정점보다 규조강의 현존량이 급격하게 증가함으로서 나타나는 현상이다. 그리고 4월(정점 2와 5), 7월(정점 3과 5)과 9월(정점 1)에서도 peak를 나타내었는데, 이것은 4월에 규조강, 7월에 녹조강과 규조강 그리고 9월에 녹조강의 현존량이 증가함으로서 나타나는 경향이다(Figs 5, 6). 각 정점의 우점 강은 정점 1에서 황갈조강(95. 12월)-규조강(96. 1-3월)-녹조강(96. 7-11월)의 순이었다. 황갈조강은 국내 호수에서 우점으로 보고되는 경우는 드물며 옥천 저수지(김과 정 1993), 가창댐호에서 96년 7월과 97년 3월에 높은 현존량으로 조사되었고(김

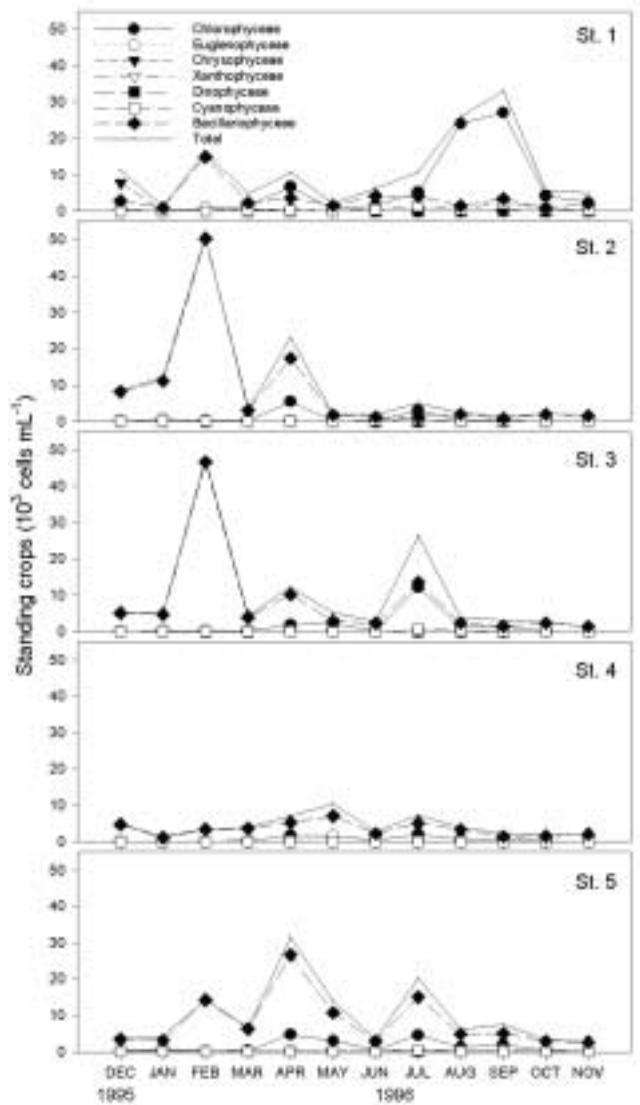


Fig. 6. Monthly variations of standing crops of the dominant classes in Youngsan river phytoplankton communities. (Chlorophyceae, -●-; Euglenophyceae, -○-; Chrysochyceae, -▼-; Xanthophyceae, -▽-; Dinophyceae, -■-; Cyanophyceae, -□-; Bacillariophyceae, -◆-; Total, -+-)

등 1998(b)) 시화 인공습지중 반월천으로부터 유입되는 습지에서 우점으로 보고 된 바가 있다(한국수자원공사 2002). 황갈조강은 북유럽의 산간호수에서 우점종으로 조사되거나(Thomasson 1955) 또는 생산성이 높은 호수에서도 출현하는 것으로 보고되었다(Hutchinson 1967). 또한 이들은 국내, 외의 여러 호수에서 bloom을 일으키며 상수원에 불쾌한 맛이나 냄새를 유발하며 심각한 문제를 야기 시킴에 따라 이들에 대한 관심과 연구가 진행되고 있다(Kristiansen 1971; Nicholls and Gerrath 1985; 이 1990). 정점 2-5에서 우점강은 정점에 따라 차이가 있지만 수온이 낮은 겨울과 봄에 규조강이었고, 수온이 높아지는 시기에 녹조강으로 변화되

Table 1. Monthly variations of diversity and dominant indices in Youngsan river

Factor\ Month Station	95. 12	96. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Diversity	1	1.39	1.00	0.41	1.07	0.76	1.00	1.11	1.36	0.73	0.62	0.89	1.11
	2	0.65	0.76	0.20	1.19	1.09	1.11	1.43	1.29	1.35	1.58	1.09	0.99
	3	0.88	0.64	0.14	1.51	1.10	1.47	1.29	1.07	1.61	1.56	1.33	1.31
	4	1.21	1.36	1.32	1.06	1.37	1.55	1.35	1.47	1.55	1.34	1.32	1.31
	5	1.05	1.05	0.38	1.28	0.97	1.29	1.46	1.18	1.58	1.33	1.44	1.37
Dominance	1	0.07	0.15	0.67	0.13	0.27	0.18	0.16	0.06	0.23	0.41	0.23	0.11
	2	0.44	0.37	0.86	0.11	0.19	0.12	0.06	0.11	0.10	0.05	0.18	0.29
	3	0.30	0.54	0.89	0.04	0.22	0.05	0.11	0.18	0.04	0.05	0.09	0.11
	4	0.09	0.07	0.06	0.19	0.08	0.04	0.09	0.08	0.05	0.09	0.08	0.09
	5	0.15	0.19	0.79	0.12	0.28	0.09	0.06	0.20	0.05	0.13	0.06	0.07

었다. 이것은 낙동강과 다른 조사 수역에서 수온이 낮은 시기에 규조강이 우점이 되는 경향과 유사하며, 여름에 남조강이 우점을 이루는 것과는 상이하였다(Hutschinson 1967; Bailey-Watts 1988; 이 등 2002).

96년 8월 이후부터 장성담호인 정점 1을 제외한 정점들에서 현존량이 감소하였다. 이것은 강우 등의 원인으로 서식하고 있던 식물플랑크톤의 군집이 유실되고, 즉시 회복되지 않은 것으로 김 등(1998(a))의 한강과 유사한 경향을 나타내었다. 7월 이후부터 규조강의 *Cocconeis placentula*, *Fragilaria elliptica*, *Navicula subminuscula*와 *Nitzschia palea* 등이 우점 또는 아우점을 차지하였다. 이들 규조강의 종들은 저서성의 생태적 특성을 가지지만 강우의 영향으로 피부착물에서 탈리되어 부상된 결과로 사료되며 이와 같은 경향은 낙동강, 한강과 섬진강 등 하천 생태에서 보고 된 바 있다(신 1996; 이와 장 1997; 이와 윤 1999; 이 등 2002).

우점종은 정점 1에서 황갈조강의 *Dinobryon sertularia*, 녹조강의 *Chlorella vulgaris*, *Micractinium pusillum*, *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus grahneisii* 그리고 규조강의 *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella pseudostelligera*와 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis* 등 10종류였다. 이들 중에 황갈조강의 *Dinobryon sertularia*는 95년 12월에 1,100 cells · ml⁻¹로 우점을 하였다. 본 종은 매우 제한된 시기에 우점종으로 출현하였을 뿐이며 연중 거의 출현하지 않았다. *Dinobryon*속은 보편적으로 수온이 최고 16°C 이하, 평균 수온 약 8°C 그리고 pH 4.5-8의 범위에서 생육하며 (Kalf and Knoechel 1978), 수온이 낮은 초봄에 풍부하게 생육한다 (Reynolds 1984; Hecky et al. 1986). *D. setularia*는 부영양호에서 생육하는 것으로 보고되었으나 (Huber-Pestalozzi 1941) 국내의 저수지 조사에서 빈영양 수역에서 출현하는 것으로 보고되었다(김과 정 1993). 그러나 황갈조강 중에 *Synura*속과 *Mallomonas*속은 우점종으로 보고 된 바 있지만

이들 역시 우점 시기는 매우 제한되어 있다(김 등 1998(b); 한국수자원공사 2002). 다른 조사 동안 규조강-녹조강-규조강의 순서로 우점을 하였다.

하천에 선정 된 정점 2-5까지의 우점종은 95년 12월부터 96년 7월까지 대부분 부유성의 규조류인 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*와 *Cyclotella meneghiniana* 등이었다. 그러나 96년 8월부터 11월까지 우점종은 부착성 또는 저서성인 *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia stagnorum*과 *Fragilaria elliptica* 등의 규조강과 녹조강의 *Scenedesmus grahneisii* 등으로 구성되어 있다. 이것은 강우 등의 영향으로 피부착물로부터 부착성 규조류의 탈리에 의한 것으로 이와 같은 경향은 국내 하천에서 나타나는 경향이 있다(김 등 1998(a); 이 등 2002).

*Stephanodiscus*속은 95년 12월부터 96년 4월까지 모든 정점에서 우점종 또는 아우점종으로 조사되었다. 본 속이 전체 현존량의 80% 이상을 차지하는 96년 2월의 현존량은 약 40,000 cells · ml⁻¹ 이상으로서 bloom을 나타내었으며 이 시기에 전체 현존량이 최대였다(Fig. 5). 이와 같은 경향은 낙동강, 한강 그리고 외국의 호수 조사에서 보고되었다 (Bailey-Watts 1988; 김 등 1998a; 조와 신 1998). 본 속은 늦가을부터 이듬해 봄까지 단독으로 bloom을 유발시키며 갈수기에 수질을 악화시키는 원인이 되고 있다(Reynolds 1984; Bailey-Watts 1988). 규조강중의 *Cyclotella*속, *Fagillaria*속과 *Stephanodiscus*속 등이 bloom을 일으키는 시기에 수계의 인산염, 질산염과 규소의 농도가 감소되는 경향이 있다. 이것은 소형 규조류가 인산염, 질산염과 규소 등의 영양염을 왕성하게 흡수하기 때문이다(Reynolds 1973; Bailey-Watts 1988).

우점도, 다양도와 균등도 지수: 우점도 지수는 0.04-0.89의 범위로서 정점 1, 2, 3, 5에서 변화 폭이 컸으나, 정점 4에서는 변화 폭이 작았다(Table 4). 종다양도 지수는 0.14-1.58

Table 2. Monthly variations of similarity indices between each station in Youngsan river

1	1.00					1	1.00					1	1.00								
2	0.18	1.00				2	0.52	1.00				2	0.91	1.00							
3	0.31	0.41	1.00			3	0.53	0.86	1.00			3	0.91	0.97	1.00						
4	0.31	0.15	0.23	1.00		4	0.49	0.61	0.58	1.00		4	0.25	0.36	0.22	1.00					
5	0.25	0.49	0.46	0.44	1.00	5	0.44	0.69	0.77	0.68	1.00	5	0.86	0.92	0.91	0.37	1.00				
St.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5					
		95년 12월						96년 1월						2월							
1	1.00					1	1.00					1	1.00								
2	0.29	1.00				2	0.30	1.00				2	0.27	1.00							
3	0.38	0.65	1.00			3	0.30	0.78	1.00			3	0.30	0.56	1.00						
4	0.29	0.58	0.51	1.00		4	0.29	0.62	0.65	1.00		4	0.33	0.67	0.67	1.00					
5	0.34	0.49	0.51	0.76	1.00	5	0.20	0.72	0.84	0.69	1.00	5	0.22	0.48	0.56	0.49	1.00				
St.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5					
			3월					4월					5월								
1	1.00					1	1.00					1	1.00								
2	0.34	1.00				2	0.27	1.00				2	0.11	1.00							
3	0.43	0.68	1.00			3	0.17	0.55	1.00			3	0.18	0.52	1.00						
4	0.47	0.52	0.57	1.00		4	0.31	0.56	0.46	1.00		4	0.15	0.61	0.57	1.00					
5	0.36	0.67	0.70	0.49	1.00	5	0.23	0.63	0.79	0.62	1.00	5	0.10	0.55	0.66	0.60	1.00				
St.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5					
			6월					7월					8월								
1	1.00					1	1.00					1	1.00								
2	0.10	1.00				2	0.16	1.00				2	0.13	1.00							
3	0.13	0.60	1.00			3	0.13	0.35	1.00			3	0.14	0.52	1.00						
4	0.04	0.60	0.43	1.00		4	0.04	0.65	0.47	1.00		4	0.22	0.76	0.55	1.00					
5	0.07	0.52	0.58	0.51	1.00	5	0.10	0.50	0.72	0.52	1.00	5	0.19	0.62	0.56	0.69	1.00				
St.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5					
			9월					10월					11월								

의 범위로서 정점 4와 5에서 상대적으로 높았다(Table 1). 우점도와 다양도 지수는 월별 매우 불규칙한 변화를 나타내었다. 이것은 조사 동안 환경의 변화에 따라 새로운 식물플랑크톤 종의 천이양상을 나타내는 것이다. 낮은 다양도 지수는 수온이 낮은 시기에 *Stephanodiscus*속 등이 전체 현존량의 80% 이상을 점유한 시기로서 생태적 특이성을 잘 반영하고 있다(Reynolds 1984; Bailey-Watts 1988).

정점간의 유사성: 95년 12월에는 대부분의 정점에서 매우 낮은 유사성을 나타내고 있으며 각 군집은 독립된 종조성을 이루고 있다. 96년 1월에는 정점 2와 3(0.8), 정점 3과 5(0.77)에서 다른 정점보다 높았다(Table 2). 이것은 우점종인 *Stephanodiscus*속이 전체 현존량의 각각 60%, 73%와 41%의 높은 비를 점유하였기 때문이다. 정점 2와 3에서 높은 유사도 지수는 우점종의 현존량 점유율에 의해 결정된 반면 정점 3과 5는 우점종과 아우점종 등의 종조성에 의한 것이다. 96년 2월에 정점 4와의 관계를 제외한 모든 정점 간에

지수가 0.9 이상이었다(Table 2). 이것은 우점종인 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*가 전체 현존량의 80% 이상으로 구성되어 있기 때문이다. 그러나 정점 4에서 유사성이 낮은 것은 우점종이 *Fragilaria vaucheria*였으며 아우점종은 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*, *Fragilaria crotenensis* var. *veneta*와 *Achnanthes subhudsonii* 등으로 다른 종조성 때문이다 3월에는 전월의 조사 결과와는 상이하게 정점 4와 5의 유사도 지수가 0.7로서 다른 정점과의 관계보다 높았다. 이것은 아우점종들의 종조성이 다르지만 우점종인 *S. hantzschii f. tenuis*의 현존량이 각각 36%와 28%의 점유율을 나타내었기 때문이다. 4월의 조사에서는 정점 3과 5에서는 우점도의 점유율이 비슷함으로서 두 정점간의 유사도 지수가 0.84로 높게 나타났지만 다른 정점들은 다른 계절과 같이 낮은 유사성을 나타내었다(Table 2). 96년 5월부터 11월까지의 유사도 지수는 정점 3과 5에서 상대적으로 높았다. 이것은 우점종과 아우점종의 종조성과 현존량의 점유율이

유사하였기 때문이다.

군집과 이화학 요인과의 상관관계: 식물 플랑크톤의 전체 현존량과 수온과의 관계($p < 0.05$)는 $r = -0.02$, pH는 $r = 0.22$ 의 관계를 나타내었다. 전체현존량과 암모니아와의 관계는 $r = -0.05$ 로 매우 낮았으며, 아질산과 질산염과의 관계는 각각 0.11과 0.18로 역시 낮았다. 또한 인산염과의 관계는 -0.13 으로 낮은 역의 관계를 나타내었다. 녹조강, 남조강, 유글레나강, 황갈조강, 외편모조강, 규조강과 수온과의 관계는 $-0.35-0.03$ 의 범위로 낮았다. 이중에 유글레나강만이 낮은 정의 관계이지만 다른 강들은 낮은 역의 관계를 나타내었다. pH와 각 강과의 상관관계는 $r = -0.02 - 0.19$ 범위로서 매우 낮았다. 암모니아와 유글레나강 그리고 규조강과의 관계는 각각 -0.05 와 -0.12 로 낮은 역의 관계였고 녹조강 등 다른 강은 0.36 이하의 낮은 정의 관계였다. 아질산염과 질산염 역시 매우 낮은 정의 관계를 나타내었다. 인산염은 낮은 역과 정의 관계를 나타내었다.

우점종의 현존량과 수온과의 관계에 있어서 *Dinobryon sertularia*, *Fragilaria elliptica*, *Scenedesmus grahneisii*, *Cyclotella pseudostelligera*는 각각 $r = 0.1$, 0.43과 0.77로서 다양한 상관관계를 나타내었다. *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*와 수온의 관계는 $r = -0.32$ 로 역의 상관성을 나타내었다. 그리고 암모니아와, 아질산염과 질산염의 관계는 각각 0.02, 0.15와 0.24의 낮은 정의 관계였으며 인산염은 -0.09 로서 낮은 역의 관계를 나타내었다. 이와 같이 하천 수계의 물리화학적 요인과 분류군의 강과 종간의 상관관계가 다양하고 전반적으로 낮게 나타났다. 호수 환경은 정체되어 있고 수심이 깊으며 하천의 환경보다는 변화의 정도가 적기 때문에 상관성을 추이하거나 결정하기가 쉽다. 그러나 본 조사 수계와 같이 호수 정점과 하천 정점들로 구성되어 있는 수역의 식물플랑크톤과 각 환경요인과의 상관관계는 일정한 관계를 유지하지 못한다. 식물플랑크톤은 여러 환경 요인과 복합적인 상호 관계 하에 있으며, 종간, 개체군 또는 군집간의 상호작용에 의해 영향을 받을 수 있다. 또한 식물플랑크톤은 수중의 N, P와 같은 영양염이 내, 외부적인 복합요인의 작용에 의해 변화됨으로서 이들 농도에 대해 다양한 관계를 나타낸다 (Schelsk and Stoermer 1972).

참고문헌

김광용, 최정일. 1988. 영산호의 식물플랑크톤 현존량. 한국조류학회지 3: 183-192.
 김용재, 김명운, 김상중. 1998(a). 한강 중·하류에서 식물플랑크톤의 생태학적 특성. Algae 13: 331-338.
 김용재, 이정호. 1996. 낙동강 수계의 6개 댐호의 식물플랑크톤 군집 구조 비교. 한국육수학회지 29: 347-362.
 김용재. 2003. 한탄강의 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화. 한

국육수학회지 36: 191-199.
 김한순, 정준. 1993. 수계의 저수지(창녕군)에 대한 식물성 플랑크톤의 생태학적 연구. 한국육수학회지. 26: 203-221.
 김준태, 박유라, 조현실, 부성민. 1996. 금강 수계에서 식물플랑크톤 군집 구조. 한국육수학회지 29: 187-195.
 김한순, 최재신, 김용재. 1998(b). 가창댐의 식물플랑크톤 군집의 동태. 한국육수학회지 31: 337-344.
 신윤근. 1996. 섬강 상류의 식물플랑크톤상 연구. 한국육수학회지 29: 143-158.
 위인선. 1974. 영산강의 저서생물에 대한 생물학적 수질 판정. 한국육수학회지 7: 29-43.
 이갑숙. 1990. 한국산 인편성 황갈조식물에 대한 분류학적 연구. 동국대학교 박사학위논문 136pp.
 이경, 윤숙경. 1999. 섬진강 중류 수역에 있어서 식물플랑크톤과 부착조류 군집의 계절 변화. 한국육수학회지 32: 319-330.
 이경, 윤숙경. 2002. 임진강 수계의 식물플랑크톤 군집의 계절 변화. 한국육수학회지 35: 111-122.
 이정호, 권정남, 양상용. 2002. 낙동강의 식물플랑크톤 군집의 계절 변화. Algae 17: 267-273.
 이진환, 장만. 1997. 한강하류의 환경학적 연구 II. 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지 30: 51-40.
 정영호, 심재형, 이민재. 1965. 한강의 Microflora에 관한 연구 (제1보): 한강 하류의 식물플랑크톤과 해수의 영향. 한국식물학회지 4: 47-69.
 정영호, 이경. 1978. 남한강 상류 임계댐 축조예정지역의 식물플랑크톤에 대한 분류와 구계. 한국자연보존협회조사보고서 13: 183-204.
 정준, 김한순, 김용재. 1994. 낙동강 하구댐의 식물플랑크톤 군집 구조. 한국육수학회지 27: 33-46.
 조경제, 신재기. 1998. 낙동강 중·하류에서 동, 하계 무기 N·P 영양염류와 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지 31: 67-75.
 조경제, 정익교, 이진애. 1993. 낙동강 하구 식물플랑크톤 군집의 계절변동. 한국조류학회지 8: 15-28.
 주홍규, 박봉현. 1991. 영산호 주변의 수질 및 생물군집 구조에 관한 연구. 한국수질보전학회지 9: 31-46.
 최민규, 김백호, 최규철. 1995. 영산강 상류의 담수조류 분포에 관한 연구(I) — 광주지역 상수 원을 중심으로 — 대한위생학회지 10: 45-65.
 한국수자원공사. 2002. 시화호 인공습지 운영관리 방안 연구. 550pp.
 APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association. Washington. 1133 pp
 Bailey-Watts A.E. 1988. Studies on the control of the early spring diatom maximum in Loch Leven 1981. In: Round E.F. (ed.) Algae and the Aquatic Environment. Biopress, pp.53-87.
 Barone R. and Flores L.N. 1994. Phytoplankton dynamics in a shallow, hypertrophic reservoir (Lake Arancio, Scicily). Hydrobiol. 289: 199-214.
 Edwards R. 1995. The ecological basis for the management of water quality. In: Harper D.M. and Ferguson A.J.D. (eds). The Ecological Basis for River Management. Wiley, New York. pp.135-146.

- Hecky R., Kling H. and Brunskill G.J. 1986. Seasonality of phytoplankton in relation to silicon cycling and interstitial water circulation in large, shallow lakes of central Canada. *Hydrobiol.* **138**: 117-126.
- Hendey N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426.
- Huber-Pestalozzi G. 1941. *Das Phytoplankton des S wassers. Systematik und Biologie.* 2. Teil. Chrysophyceen Farblose Flagellaten Heterokonten. E. Schweizerbart'sche Verlg. Stuttgart. 365pp.
- Hutchinson G.E. 1967. *A Treatise on Limnology.* Vol. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons, New York. 1115 pp.
- Kalff J. and Knoechel R. 1978. Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes. *Ann. Rev. Syst.* **9**: 475-495.
- Kristiansen J. 1971. A *Mallomonas* bloom in a Bulgarian mountain lake. *Nova Hedwigia* **21**: 877-882.
- Nicholls K.H. and Gerrath J.F. 1985. The taxonomy of *Synura* (Chrysophyceae) in Ontario with special reference to taste and odor in water supplies. *Can. J. Bot.* **63**: 1482-1493.
- Pollinger U. 1981. The structure and dynamics of the phytoplankton assemblages in Lake Kinneret, Israel. *J. Plankton Res.* **3**: 93-105.
- Reynolds C.S. 1973. The seasonal periodicity of planktonic diatoms in a shallow eutrophic Lake. *Freshwat. Biol.* **3**: 89-110.
- Reynolds C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton.* Cambridge Univ. Press, London. 384 pp.
- Schelske C.L. and Stoermer E.F. 1972. Phosphorus, silica and eutrophication of Lake Michigan. *Nat. and Eutrophicat. Spec. Symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr.* **1**: 157-171.
- 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.
- Thomasson K. 1955. A plankton sample from lake Victoria. *Svensk. Bot. Tidsker.* **49**: 259-270.
- Thorp J.H. and DeLong M.D. 1994. The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in 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 Research* **8**: 179-193.

Received 19 July 2003

Accepted 5 August 2003