

대구지역 인공저수지 조류의 계절별 천이

이찬형* · 정윤숙 · 신상희 · 이순애 · 김용혜 · 홍성희
대구광역시 보건환경연구원

Seasonal Succession of Algae in Artificial Reservoirs in Daegu City. Lee, Chan-Hyung*, Yoon-Suk Jung, Sang-Hee Shin, Soon-Ae Lee, Yong-Hae Kim, and Sung-Hee Hong. *Public Health and Environment Institute of Daegu City, 706-090, Korea* – Seasonal succession of algae and water quality parameters were studied in artificial reservoirs in Daegu city from 2000 to 2001. The algal succession was evaluated with respect to dominant class and their frequencies. Succession order of algae in two reservoirs was : Bacillariophyceae → Chlorophyceae → Cyanobacteria → Bacillariophyceae → Bacillariophyceae → Cyanobacteria → Cyanobacteria → Cyanobacteria. This succession order was different from other studies. The local environment condition maybe affects the succession of algae in these reservoirs. As result of correlation analysis between algal biomass and water quality parameters, we got low correlation coefficients. Also we got low correlation coefficients between chlorophyll-a and algal biomass. Between chlorophyll-a and water quality parameters, we got high correlation coefficients. An approach having attention to cell biovolume rather than cell number is made to understand the algal community and the ecosystem of reservoir.

Key words: Algae, Seasonal Succession, Correlation

조류는 호소생태계에서 1차 생산자로서의 역할을 하기 때문에 호소의 생산능력과 생태계의 이해에 중요하다. 또한 질소나 인등의 영양염류가 많아지면 남조류의 대량번식이 일어나서 여러문제를 발생시키게 된다. 조류의 증식에 영향을 미치는 요인들은 수온, 일사량, 물의 혼합등의 물리적요인과 총인, 총질소등 영양염류, 유기물, 미량물질, 용존산소등의 화학적요인, 조류간의 상호관계, 세균과의 관계, 동물성플랑크톤과의 관계 등 생물적 요인으로 나눌 수 있다. 이러한 다양한 요인들이 직접, 복합적으로 작용하여 조류의 증식에 관여하게 된다[2]. 우리나라는 온대지역에 위치하여 4계절이 뚜렷하고 연 강수량의 대부분이 장마철에 집중하는 기후특성을 가지고 있다. 그러므로 계절마다 조류의 성장환경이 달라지고 달라진 환경에 최적생육조건을 가지는 조류종이 그 계절의 우점종이 되며 각 조류의 증식율은 계절에 따라 달라지게 된다. 또한 같은 지역이라도 호소별로 조류성장 영양분의 조성과 국지적 조건에 따라 조류의 군집구조와 우점종이 달라질 수 있다. 조류에 관한 연구는 국내에서도 활발하여 국내 주요 댐호와 주요 강 수계에 대한 조사 보고가 많이 되어 있다. 그러나 상대적으로 규모가 적은 지방의 저수지에 대한 연구보고는 많지 않은 편이다.

본 연구는 대구지역에 위치하는 대표적 인공저수지인 달

창지와 옥연지의 수질, 조류종류별 구성, 우점조류 및 조류 현존량의 계절별변동을 조사하고 수질항목과의 관계를 통계적방법으로 조사하여 조류의 변화와 수질과의 상관성을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

조사지점

옥연지는 대구시 달성군 옥포면 기세리에 위치하고 있으며, 유역면적이 0.226 km²이고 수변길이는 2.5km, 최고수심은 12.8 m, 연 평균 저수용량은 4만톤이다. 달창지는 대구시 달성군 유가면 가태리에 위치하며, 유역면적이 1.31 km², 수변길이 6.0 km, 최고수심 13.3 m, 연 평균 저수용량은 9만 3천톤이다.

조사기간 및 채수지점

조사기간은 2000년에서 2001년도까지 2년간 분기 1회로 실시하였으며, 채수지점은 저수지를 대표할 수 있는 지점(S1, S2, S3, S4, S5)의 시료를 채수하여 이화학적분석 및 조류분석을 하였다.

분석방법

물리화학적항목은 수질오염공정시험방법[5]을 기준으로 하였다. 용존산소(DO)는 윙클러-아지드화나트륨변법으로 측정하였고, 생물화학적산소요구량(BOD)은 5일동안 소비된 용존산소량으로부터 구하였다. 화학적산소요구량(COD)은 산성 100°C에서 과망간산칼륨에 의한 가열반응방법을 이용하

*Corresponding author

Tel. 042-760-1264, Fax. 053-760-1268

E-mail: chlee@daegumail.net

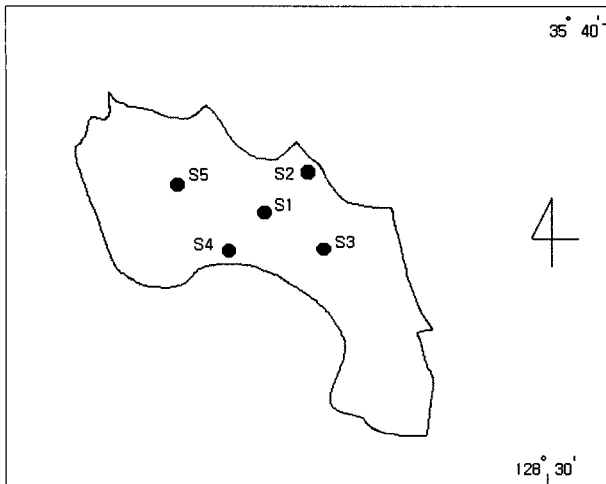


Fig. 1. Sampling positions of the Dalchangji.

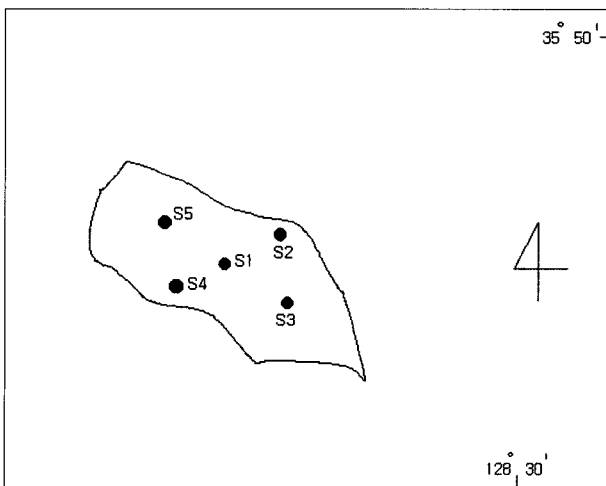


Fig. 2. Sampling positions of the Okyeonji.

였다. 총인(TP)은 아스코르빈산 환원법, 총질소(TN)는 알칼리성 과황산칼륨분해방법으로 측정하였다. 조류는 채수한 시료를 현장에서 Lugol solution으로 고정하고 실험실로 옮겨 72시간 이상 침전시킨 후 Sedgwick-Rafter chamber에 놓고 광학현미경(Olympus BH-2)으로 검경하여 조류종 및 세포수를 조사하였다. 분류체계는 Smith의 체계[10]를 따랐고 한국 담수조류도감[4]과 일본담수조류도감[12]을 참고하여 동정분류하였다. Chlorophyll-a 분석은 GF/C filter로 여과한 후 아세톤과 증류수를 9:1로 섞은 용액으로 추출하여 흡광광도법으로 분석하였다. 상관관계분석은 SPSS program(ver 8.0, SPSS Inc)[11]을 사용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

조류의 분포

조사기간동안 출현한 조류는 옥연지에서 27속, 달창지에서 31속이 출현하였다. 종류별로는 옥연지에서 규조류 9속,

Table 1. The seasonal variation of algal biomass and dominant genus.

Sampling date	Okyeonji		Dalchangji	
	Total Biomass (cells/)	Dominant genus (%)	Total Biomass (cells/)	Dominant genus (%)
2000.3	2932	<i>Synedra</i> (28.6%)	3065	<i>Synedra</i> (33.3%)
2000.6	2060	<i>Chlamydomonas</i> (70.4%)	9099	<i>Selenastrum</i> (83.0%)
2000.8	21980	<i>Phormidium</i> (86.9%)	13180	<i>Microcystis</i> (52.4%)
2000.12	1990	<i>Mellosira</i> (57.8%)	1040	<i>Mellosira</i> (46.6%)
2001.4	4155	<i>Cyclotella</i> (31.8%)	3710	<i>Aulacoseira</i> (28.3%)
2001.6	8740	<i>Phormidium</i> (48.1%)	9430	<i>Anabena</i> (40.3%)
2001.8	472871	<i>Anabena</i> (71.9%)	64100	<i>Anabena</i> (93.6%)
2001.11	15663	<i>Anabena</i> (24.6%)	1765	<i>Anabena</i> (40.1%)

녹조류 11속, 남조류 4속, 편모조류 2속, 기타조류 1속이 나타났고 달창지에서는 규조류 10속, 녹조류 13속, 남조류 4속, 편모조류 2속, 기타조류 2속으로 조사되었다. 조류현존량은 Table 1에 나타난 바와 같이 옥연지가 달창지보다 많은 것으로 조사되었고, 두 호소 모두 8월에 가장 많은 현존량을 보이고 있다. 최대현존량은 2001년 8월에 옥연지에서 472,871 cells/ml 이었으며, 2000년 12월 달창지에서 가장 적은 1040 cells/ml로 나타났다. 현존량변화는 수온과 관련이 있는데, 겨울철 저온상태에서는 수온이 조류의 성장을 제한하여 전체 현존량이 적어지고 우점속이 차지하는 비율도 적어지며, 수온이 증가할수록 전체 현존량이 증가하고 우점속이 차지하는 비율이 높게 나타나 변화하는 환경요인에 적합한 종류는 선택이 되어 증식이 활발하여 우점속이 되지만 다른 종류는 증식에 저해를 받아 개체수가 감소하게 된다는 연구결과[6]와 일치한다.

우점속 변화는 두 저수지에서 규조류→녹조류→남조류→규조류→규조류→남조류→남조류→남조류의 순서로 변화되어졌다. 2000년, 2001년 8월 조사에서는 두 저수지에서 모두 남조류가 대량번식하였으며 남조류중 특히 독성물질을 분비하고 물의 수화현상을 일으키는 *Microcystis*와 *Anabena*가 우점속이었다. 2001년 11월 조사에서도 *Anabena*가 여전히 우세하게 나타난 것은 8월의 증식한 남조류가 서서히 사멸하고 규조류가 우점하는 과정으로 보여지나 11월의 저수온시기까지 남조류가 우점속인 것은 수질이 갈수록 악화되는 것으로 판단된다.

조류 현존량 변화

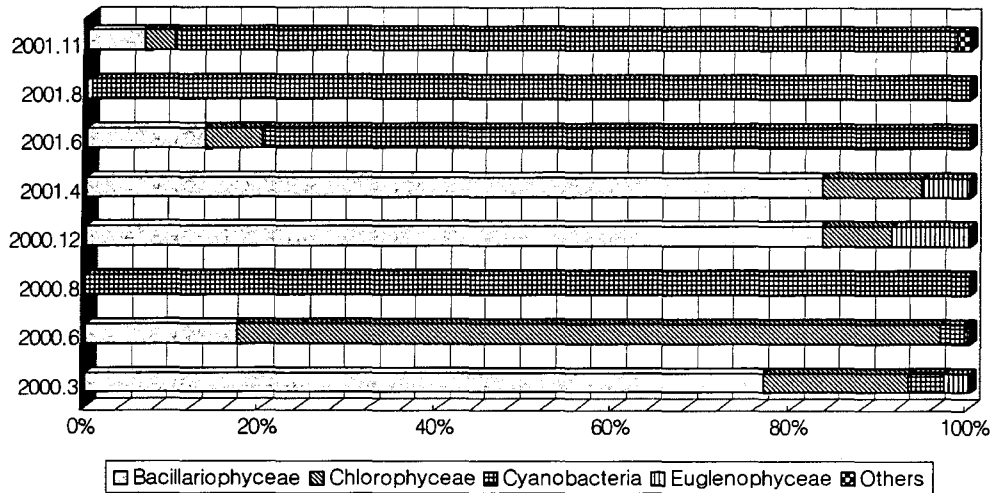


Fig. 3. Composition ratio of each class of algae in Okyeonji

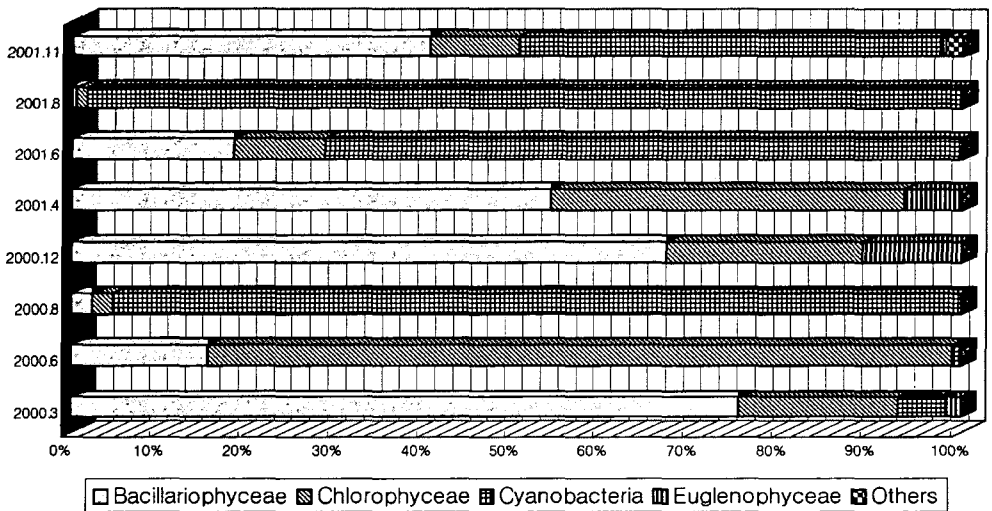


Fig. 4. Composition ratio of each class of algae in Dalchangji

조류종류별 현존량변화는 우점속의 변화순서와 같다. Fig. 1-2에 나타난 바와 같이, 옥연지와 달창지 모두 봄철에는 규조류가 70%이상을 차지하며, 남조류는 8월에 90%이상을 점유한다. 겨울에는 규조류가 다시 우세를 보이는데 2001년 11월의 옥연지 경우는 남조류가 89%를 차지하여 수질이 나빠짐을 알수있다. 녹조류는 2000년 6월에는 우점속이나 2001년 6월은 10%정도로 감소함으로 수질환경이 녹조류의 증식에는 불리해지는 것으로 나타났다.

이러한 천이순서는 다른 지역에서의 경향과는 다른 두 저수지의 특징적인 현상으로 국지적 환경조건에 의해 조류의 천이가 영향을 받는 것을 보여준다. 기존의 연구보고와 비교하면 담수환경의 조류가 주로 규조류, 남조류, 녹조류의 천이에 의하여 조류의 계절적변화가 이루어진다는 것과 일치하였으나 봄과 여름에 녹조류, 늦여름 가을에 남조류 그리고 겨울을 전후하여 규조류가 높은 구성비율을 차지한다

[3]는 것과는 다소 다르게 나타난다. 계절의 구분이 뚜렷한 온대수계에서 일어날 수 있는 이상적인 조류종의 계절적인 변동으로 Reynolds[8]가 제안한, 겨울에 낮은 온도에 적응력이 강한 규조류가 자라 봄철 규조대발생을 일으키고 초여름 성층이 형성되면서 규조류는 침강되어 사라지고 한여름의 조건에서 남조류가 증식하고 수온이 낮은 가을이 되면 다시 봄철 규조가 증식하게 된다는 것과도 일치하지 않았다. 늦봄에 규조류에서 남조류로의 천이는 Shapiro[9]의 설명에 따르면, 수온상승으로 성층이 형성되고 수체의 수직혼합이 불완전하게 일어나서 햇빛이 비추는 표면층에 영양염농도가 증가하게되고 수온과 광량이 증가함에 따라 저수지내 1차생산력이 증가하여 수체내 CO₂소비가 증가하게 된다. 호소내 CO₂농도가 감소하게 되면 pH가 증가하게 된다. 이러한 높은 수온, 높은 pH, 강한 빛의 환경에서 적응할 수 있는 조류종류는 남조류이다. 남조류는 광량에 따라 수체의 상하로

Table 2. Correlation coefficients among water quality, algal biomass and chlorophyll-a.

Parameter	Okyeonji			Dalchangji		
	Total Biomass (cells/ml)	Dominant genus(cells/ml)	Chl-a (mg/m ³)	Total biomass (cells/ml)	Dominant genus(cells/ml)	Chl-a (mg/m ³)
Total Biomass(cells/ml)	1.000			1.000		
Dominant genus(cells/ml)	0.996**	1.000		0.995**	1.000	
Chl-a (mg/m ³)	-0.010	0.005	1.000	0.235	0.172	1.000
Temperature(°C)	0.450	0.459	0.544	0.582	0.521	0.669
pH	-0.155	-0.136	0.689	0.093	0.093	0.672
DO (mg/l)	-0.340	-0.320	0.696	-0.554	-0.561	0.273
BOD (mg/l)	0.123	0.140	0.981**	0.536	0.473	0.906**
COD (mg/l)	0.140	0.155	0.984**	0.251	0.188	0.993**
TN (mg/l)	-0.116	-0.100	0.952**	-0.130	-0.044	0.553
TP (mg/l)	-0.040	-0.024	0.867**	0.064	0.061	0.362

** Correlation is significant at the 0.01 level.

이동할수있으며, 수면에 부상한 남조류는 CO₂를 획득할 수 있는 유리한 조건을 가지고있어 광합성속도를 매우 빠르게 진행하여 수화를 형성하고 하층으로의 빛 투과를 방해함으로 다른 조류의 광합성속도를 저해하며, 독소를 발생하여 물고기나 다른 생물로부터 자신을 보호함으로 우점조류로서의 경쟁력을 갖는다[7]. 이번 조사에서도 여름철 수온이 증가할 때 pH가 증가하고 남조류가 우점하였다. 그러나 같은 종류라도 우점속의 경우는 두 저수지에서 다르게 나타나는 경우가 많았다. 이러한 현상은 두 저수지의 수질과 환경이 달라서 발생하는 것으로 영양분의 분포등 저수지별 수질환경에 의해 조류종류별 증식에 영향을 받고, 증식한 조류에 의해 수질이 영향을 받아 다시 조류종류별 증식에 영향을 미치기 때문으로 사료된다.

이화학적 수질

두 저수지의 이화학적수질을 나타낸 Fig. 3에서 보듯이 두 저수지의 영양단계는 Forsberg와 Ryding[1]이 제시한 T-N 0.6~1.5 mg/l와 T-P 0.025~0.1 mg/l의 범위, Vollenweider[13]이 제시한 T-N 0.5~1.5 mg/l와 T-P 0.03~0.1 mg/l의 농도범위에 해당하므로 부영양 단계에 해당한다. 수질항목과 조류와의 상관관계를 밝히기위하여 수질항목중 수온, pH, DO, COD, BOD, TN, TP, chlorophyll-a와 조류의 총 현존량 및 우점속 현존량의 상관관계를 실시하였다.

상관관계분석은 둘 또는 그 이상의 변수들에 있어서 한 변수가 변동함에 따라 다른 변수가 어떻게 변동하는 것과 같은 변동의 연관성정도, 변동의 크기의 정도와 방향을 분석하는 방법이다. 한 변수의 값이 증가할 때 다른 변수의 값도 같이 커지는 경향을 보일 때 두 변수간에는 양의 상관관계가 있다고 하고, 반대로 한 변수의 값이 증가할 때 다른변수의 값이 감소하면 두 변수는 음의 상관관계가 있다고 한다. 두 변수간의 상관관계의 강도를 나타내 주는 것을 상관계수

(correlation coefficient; r)라 하며, 상관계수는 $-1 \leq r \leq 1$ 사이의 값을 갖는다. 일반적으로 두 변수들간의 상관계수가 0.4 이상이면 두 변수간에 상관관계가 높다고 하며 0.7이상을 넘으면 상관관계가 매우 높다고 한다. 상관관계분석에 의하면 옥연지는 조류현존량과 우점속현존량이 수온과는 0.4이상의 양의 상관을 나타내지만 pH와 총인, 총질소등 영양염류와는 음의 상관을 나타낸다. 달창지는 수온, 오염정도를 나타내는 BOD와 총인, pH와 양의 상관을 나타낸다. 이러한 결과는 옥연지에서는 조류의 천이가 Shapiro의 설명과는 다름을 나타내고 달창지에서는 수온증가시 영양염류가 표층에 모여서 조류의 광합성이 활발함으로 pH가 높아지고 이러한 환경에 적응하는 남조류가 집단증식함으로 Shapiro의 설명과 일치한다.

클로로필 a는 모든 조류에 포함되어 있으며 조류에서 유기물 건조중량의 약 1~2%를 구성함으로 조류의 생물체 평가를 위한 우선적인 지표가 됨으로 조류의 양을 평가하는데 많이 이용되고 있다. 클로로필 a와 조류현존량, 우점속 현존량과의 상관관계에서 달창지의 경우는 현존량과 양의 상관관계가 나타나지만 그 정도는 적으며, 옥연지에는 음의 상관을 나타냄으로 두 저수지에서 Chlorophyll-a로 조류의 현존량을 예측하기는 어렵다. 다른 연구에서 Chlorophyll-a와 조류현존량과는 상관정도가 높다고 보고된점을 감안하면 두 저수지의 특이한 현상으로 판단된다. 조류현존량은 조류세포수를 나타낼뿐이며 조류종류별, 영양상태에 따라 세포체적이 차이가 있음을 고려하지않음도 원인이 될것으로 사료되므로, 세포수와 세포체적을 포함한 조류의 군집분석이 호소생태계의 이해에 도움이 된다고 판단된다.

요 약

대구지역 인공저수지 조류군집의 계절적 천이와 수질을 조사하여 상호관련성을 알아보고자 하였다. 조류의 계절적

천이는 규조류→녹조류→남조류→규조류→규조류→남조류→남조류→남조류의 순서다. 이러한 천이순서는 다른 지역의 경향과는 다른 두 저수지의 특징적인 현상으로 국지적 환경조건에 의해 조류의 천이가 영향을 받는 것 같다. 2001년은 여름철 발생한 남조류가 저수온시기까지 남아있는 것으로 보아 저수지의 영양상태가 갈수록 악화되는 것으로 판단된다. 조류현존량과 수질항목과의 상관분석에서는 대부분의 경우 상관계수가 낮게 나타났다. Chlorophyll-a는 수질항목과의 상관분석에서는 상관계수가 높게 나타났지만, 조류현존량과의 상관계수는 낮게 나타났지만 조류현존량은 세포수만 나타낼뿐 조류종이나 영양상태에 따른 세포체적이 차이가 있음을 고려하지 않음도 원인이 될것으로 사료됨으로 세포수와 세포체적을 고려한 조류의 군집구조를 파악하는 방식으로의 접근이 요구된다.

REFERENCES

1. Forsberg, C. and S. O. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* **89**: 189-207.
2. Hae-Kyung Park, Se-Uk Cheon, Seung-Ik Park, Mun-Ho Lee, and Jae-Keun Ryu. 1992. Seasonal succession of phytoplankton in some artificial lakes of Korea. *J. KSWPRC.* **8**: 150-158.
3. Hutchinson, G. E. 1967. *A treatise on limnology*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
4. Jung, J. 1993. *Illustration of the freshwater algae of Korea*. Academy Press. Seoul.
5. MOE. 2001. *Water quality pollution examination method*. Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
6. Moss, B. 1973. Diversity in freshwater phytoplankton. *Am. Midl. Nat.* **10**: 341-355.
7. Paerl H. W. and J. F. Ustach. 1982. Blue-green algae scums : An explanation for their occurrence during freshwater blooms. *Limnol. & Oceanogr.* **27(2)**: 212-217.
8. Reynolds, C. S. 1984. Phytoplankton periodicity : Interactions of function and environmental variability. *Freshwater Bio.* **14**: 111-142.
9. Shapiro, J. 1973. Blue-green dominance in lakes ; The role and management significance of pH and CO₂. In *Lake Restoration, protection, and Management. Proc. 2nd Annu. Conf. N. Am. Lake Manage. Soc.* EPA, Washington, D.C.
10. Smith, G. M. 1950. *The fresh-water algae of the United States*. 2nd ed. McGraw-Hill. Inc. New York.
11. SPSS. 1998. *SPSS Base 8.0 Application Guide*. SPSS Inc., Chicago.
12. Toshihiko M. 1972. *Illustrations of the freshwater plankton of Japan*. Hoikusha Publishing Co, Ltd. Tokyo.
13. Vollenweider, R. A. 1968. *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. OECD Technical Report. Paris.

(Received Apr. 22, 2002/Accepted Aug. 29, 2002)