

아산호의 생태학적 연구 2. 식물플랑크톤 군집 구조

신 윤 근* · 김 영 길¹

(상지대학교 환경공학과, ¹군산대학교 해양정보과학과)

Ecological Studies on the Asan Reservoir. 2. Phytoplankton Community Structure. *Shin, Yoon Keun* and Young Gil Kim¹ (Department of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea. ¹Department of Ocean Information Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea)*

To analyze the structure of phytoplankton community of the Asan Reservoir in Korea, samples were collected 6 times from March to November in 1997. A total of 204 phytoplankton species were identified from the samples of 19 stations. Green algae dominated the phytoplankton community, accounting for 51% of species number, followed by diatoms (29%), cyanobacteria (12%), dinoflagellates (2%), euglenoids (3%) and other flagellates (3%). Standing stocks of phytoplankton were very high in the range of 741-613,066 cells/ml, with the highest standing stock in July. Water Blooms seemed to occur in the Asan Reservoir regardless of seasons, with water bloom-causing species being *Micractium pusillum*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Dictyosphaerium pulchellum*, cryptomonad (>20 μm), *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria* sp., *Aphanocapsa* sp. *Euglena* sp., *Volvox aureus*. In the summer, cyanobacteria dominated algal bloom. Species diversity of phytoplankton community in the reservoir was in the range of 0.13~3.20, and showed much difference temporally and spatially. The cluster analysis identified two different regions of upstream area and downstream area for the Asan Reservoir.

Key words : Asan Reservoir, phytoplankton community structure, standing stock, water bloom-causing species, cyanobacteria

서 론

식물플랑크톤은 수계생태계의 중요한 구성원으로 일차생산자로서 먹이연쇄의 기반을 이루고 있어 생태계 내 에너지 순환에서 매우 중요하다. 일차생산자의 생산 능력은 상위영양단계를 구성하는 동물플랑크톤의 생물량에 영향을 미치고 나아가 어업 생산 능력을 결정하는 중요한 생물군이다. 이들은 주변환경의 물리·화학적 변화에 민감하게 반응하는 특성을 지니고 있어 환경오염의

지표성이 뛰어나기 때문에 육수역의 오염 지표로 널리 사용되고 있다 (Watanabe, 1962; Brook, 1965; Chapman, 1968; Dodge, 1975; Bold and Wynne, 1985; Hellawell, 1986). 일차생산이 증가하는 것은 어류생산에 긍정적인 경향을 보이거나 산소의 고갈과 독성물질을 내는 조류들 때문에 치명적인 피해를 일으키기도 한다 (Harper, 1992).

하천의 수질은 하류로 갈수록 악화되는 경향을 보이고 있는데 이는 경제성장과 도시화에 따른 인구의 집중 현상과 생활수준의 향상에 따른 물 사용량의 증가로 인

* Corresponding author: Tel: 033) 730-0441, Fax: 033) 730-0403, E-mail: ykshin@mail.sangji.ac.kr

해 각종 오수와 산업화에 따른 폐수가 유입되기 때문이다. 아산호로 유입되는 안성천은 유역면적 1,634 km²으로 경기도 및 충청북도 일부를 포함하고 있으며 넓은 경작지와 수원시, 평택시 등 대도시가 있어 인위적인 오염원들에 의해 부영양화가 우려되는 곳이다. 아산호에 대한 생물 상에 대한 연구는 아산호가 축조된 초기에 어류상에 대해 연구한 최 (1976a, b), 플랑크톤에 대해 연구한 조 (1976)의 연구가 있을 뿐이고 그 후에 아산호 생물상에 대해 연구한 논문이 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 상당히 부영양화 된 것으로 평가받고 있는 아산호에서 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 식물플랑크톤의 군집 구조를 파악하여 과거에 비해 얼마나 생태학적 변화가 있는지 파악하고자 수행되었다.

재료 및 방법

조사지점과 조사시기는 신과 전 (2002)와 동일하나 5월 일부 정점에서 식물플랑크톤을 추가 조사하였다. 식물플랑크톤 정성시료의 채집은 plankton net (구경 25 cm, 망목 70 m)를 사용하여 수직 예인하였고 채집된 시료는 200 ml 용기 (plastic bottle)에 넣어 1~3v/v% formalin 용액으로 고정한 후 광학 현미경하에서 동정하였다. 식물플랑크톤 정량시료는 현장에서 500 ml polyethylene bottle에 채수하여 Lugol's solution으로 고정한 후 빛과 차단시키기 위해서 알루미늄 호일로 감쌌다. 정량 분석을 위해 시료를 장시간 정치하여 침전시킨 후에 siphon으로 상등액을 제거하고 농축된 시료를 1 ml 취하여 Sedgwich-Rafter Chamber에 넣어 ×100배율하에서 계수한 후 각 종군의 현존량을 계산하였다. 식물플랑크톤의 군집분석을 위하여 출현된 종수와 현존량을 근거로 각 정점별 Shimpson의 우점도 지수 (Shimpson, 1949), Shannon and Wiener의 다양성 지수 (Shannon, 1963), 그리고 Shannon의 지수를 이용한 균등성 지수 (Pielou, 1966)를 산출하였다. 지역간의 식물플랑크톤 유사성을 파악하기 위해 유사도를 상관계수로 구하고 집괴분석을 하였으며 계산은 PC를 이용하였다. 규조류의 경우는 Hartley (1986)의 분류체계를, 그 밖의 종류는 廣瀨 등 (1977)체계에 의거하여 정리하였다. 검색참고문헌으로 정 (1993), 水野 (1977), 廣瀨 등 (1977), 山岸과 秋山 (1984~1989), 小島 등 (1995), Patrick and Reimer (1964; 1975), Prescott (1962), Cleve-Euler (1951~1955), Komarek (1991) 등을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 식물플랑크톤 종조성

조사 기간동안 19개 정점에서 관찰된 식물플랑크톤은 총 204분류군이었다 (Appendix 1). 각 강별 출현비는 녹조류 51%, 규조류 29%, cyanobacteria 12%, 와편모조류가 2%, 유글레나류 3%, 기타 편모조류가 3%이었다 (Table 1). 가장 주요한 분류군은 녹조류로 45~65%의 높은 점유율을 나타내었으며 다음으로 규조류가 14~38%의 점유율을 보였다. 두 종군의 비율이 전체의 77~84%로 본 조사 지역의 식물플랑크톤은 규조류와 녹조류가 지배하고 있는 것으로 나타났다. 본 조사 결과 나타난 아산호의 식물플랑크톤 종수는 김 등 (1996)이 금강 중·하류에서 보고한 321분류군에 비해 상당히 적고 조 등 (1993)이 낙동강에서 조사한 227분류군보다 약간 적은 수준이었으며, 이와 장 (1997)이 한강하류에서 보고한 145분류군에 비해서는 높았다. 조 (1976)의 연구방법은 net를 이용하여 채집된 것을 대상으로 하여 식물플랑크톤의 종 수가 적은 것으로 나타나 비교할 수 없었다. 3월 출현종 중 아산호 전 지역에서 출현하는 보편종은 *Stephanodiscus hantzschii*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Crucigenia quadrata*, *Micractinum pusillum*, *Scenedesmus bernardii*, *S. quadricauda*, *Cryptomonas ovata* 등이고, 5월 보편종은 *Cyclotella* sp. *Ankistrodesmus falcatus* *Ankistrodesmus nanoselene* var. *nanoelene*, *Schroederia setigera* *Oscillatoria* sp. *Cryptomonas* sp. 이고, 6월 보편종은 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. quadricauda*, *Oscillatoria tenuis* 등이고, 7월의 보편종은 *Microcystis aeruginosa*, *Aphanocapsa* sp. *Oscillatoria* sp. *Phormidium mucicola*, *Nitzschia* sp. 등이고, 9월의 보편종은 *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria* sp. *Eudorina elegans*, *Cyclotella* sp. *Cryptomonas ovata*, *Nitzschia* sp., *Schroederia setigera* 등이고, 11월의 보편종은 *Stephanodiscus hantzschii*, *Scenedesmus acutus* var. *acutus*, *S. quadricauda*, *Chroococcus* sp. *Cryptomonas ovata*이었다.

2. 식물플랑크톤 현존량

식물플랑크톤의 현존량은 조사시기 전반에 걸쳐 매우 높은 수준으로 나타났다 (Table 2). 3월의 경우 6,580 cells/ml (정점 1 표층)에서 48,632 cells/ml (정점 11 표층)의 범위로 변화의 폭이 컸으며 평균은 19,467 cells/ml이

Table 1. Number of phytoplakton taxa in each phylum and relative proportion of total species richness.

Taxa	March		May		June		July		September		November		Total	
	NO.	Ratio	NO.	Ratio	NO.	Ratio	NO.	Ratio	NO.	Ratio	NO.	Ratio	NO.	Ratio
Chlorophyceae	49	56	34	53	58	45	56	65	52	61	48	47	103	51
Bacillariophyceae	25	28	19	30	49	38	12	14	14	16	31	30	59	29
Cyanophyceae	8	9	7	11	11	9	11	13	13	15	12	12	25	12
Dinophyceae	0	0	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	4	2
Euglenophyceae	4	5	1	2	4	3	4	5	4	5	6	6	8	3
Chyptophyceae	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	4	4	4	2
Chrysophyceae	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
sum	88	100	64	100	128	100	86	100	86	100	102	100	204	100

Table 2. Standing crops of phytoplankton in the study area.

(cells/ml)

Month\st.	1S	1M	1B	2S	3S	3B	4S	5S	6S	6M	6B	7S	7B
March	6580	9224	7467	12949	8866		22332	17936	8168		9515	20409	8914
May	974				741								
June	9425	7302	6582	13239	9107	3854	3817	11679	33854		61260	9632	397262
July	7381	2726	6820	14067	200491	6030	101200	119004	382396		4040	358500	20430
Sep.	101234	71090	19273	108278	22123	36778	80619	150503	291710	105883	34508	407701	278717
Nov.	5303		4877	36584	53630	2682	5215	4720	8632		5535	3058	7726

Month\st.	8S	8M	8B	9S	9B	10S	10B	11S	11B	12S	12B	13S	13M
March	8914		10490	28066	12756	27665		48632		18940	18982	13995	22892
May	8191		29724		7825		13526						14866
June	32735		48838	24124				20710	27587	21384	14413	84953	
July	331957			613066		466407	42167	388475	10850	516950	32551	137150	101089
Sep.	379971	120323	112420	384501		203813	33265	99710	93555	56847	49713	39994	
Nov.	19682		13797	36141		29084		23629	25028	28929	23066	24923	

Month\st.	13B	14S	14M	14B	15S	15B	16S	16B	17S	17B	18S	19S	Average
March	24592	31274	30236	24170	28044	23123	29906		28718	21931	23717	11569	19467
May													10835
June	20480	23766		19047	18736		13164		12175				36505
July	17427	495082		43561	226025	13935	103417	31932	59444	80062	51775	48200	152564
Sep.	31560	17998		22479	15148	24736	13911	11572	58628		40683	22905	104181
Nov.	24188	14961		14263	7487	47053	5820	7325	24740		11258	27669	18234

(S : surface M : middle B : bottom)

다. 아산호 하류에서는 낮은 현존량을 보인 반면 호수 중앙부분 상류에서는 상당히 높은 현존량을 나타냈다. 5월의 경우는 3월에 비해 다소 감소하여 조사시기 가운데 가장 낮은 현존량을 보여 741 cells/ml (정점 3 표층)에서 29,724 cells/ml (정점 9 표층)의 범위로 큰 변화를 나타내고 있으며 평균은 10,825 cells/ml로 상당히 높은 수준의 현존량을 보였다. 6월의 경우는 6,582 cells/ml (정점 1 저층)에서 397,262 cells/ml (정점 7 저층)의 범위로 변화의 폭이 컸으며 평균은 36,505 cells/ml이다. 7월의 경우 cyanobacteria의 대발생으로 녹조현상을 일으켜 조사기간 중 현존량이 가장 높았으며 2,726 cells/ml

(정점 1 중층)에서 613,066 cells/ml (정점 9 표층)의 범위로 변화의 폭이 컸으며 평균은 152,564 cells/ml이다. 9월에는 7월보다 다소 감소하여 11,572 cells/ml (정점 16 저층)에서 407,701 cells/ml (정점 7 표층)의 범위로 평균은 104,181 cells/ml로 나타났다. 11월에는 9월에 비해 상당히 감소하였으나 2,682 cells/ml (정점 3 저층)에서 53,630 cells/ml (정점 3 표층)의 범위로 여전히 높은 현존량을 유지하고 있으며 평균은 18,234 cells/ml이었다. 최대인 9월과 최소인 11월의 평균 현존량의 차이는 약 22배 정도였다. 본 연구의 결과는 아산 남방제의 현존량이 3×10^3 cells/ml에서 21×10^3 cells/ml인 것 (이와 부,

1998)과 비교할 때 약 19배 정도 높은 수준이었다. 국립 환경연구원 (1999)이 최근 수년간 분기별 식물플랑크톤 우점종과 현존량 및 엽록소 a에 대한 발생최대치를 발표한 것을 보면 여름철에 대청호에서 최대 2,700,000 cells/ml이었던 것과 비교해 보면 약 7배 낮은 수준이었고 금강하구연의 735,204 cells/ml에는 절반 수준이며 낙동강 하구연의 292,500 cells/ml은 1.5배 정도이고, 팔당호의 229,470 cells/ml보다는 약 1.7배 정도 높았다.

1) 우점종

3월의 주요 우점종들은 호수 중앙에 위치한 정점들에서 50% 전후의 높은 점유율을 나타내고 전체 점유율 평균이 23.1%인 *Micrarium pusillum*, 호수의 상류와 하류부분에서 높은 점유율을 보이고 전체적으로 17.8%의 점유율을 보인 *Stephanodiscus hantzschii*, 호수 중앙부분에서 상류부분에서 점유율이 높고 전체 점유율이 16.7%의 *Dictyosphaerium pulchellum*, 하류에서 점유율이 높고 전체에서 13.8% 점유율을 보인 cryptomonad (>20 µm) 등이고 (Table 3) 정점에 따라 *Euglena* sp., 구형 편모조류 등도 우점종으로 나타났다. 5월에 경우는 *Euglena* sp.가 전체에서 평균 42.6%의 점유율을 보여 가장 중요하였고, *Dictyosphaerium pulchellum* 은 호수 하류에서 *Micrarium pusillum*은 호수 중앙부분에서 높은 점유율을 나타냈다 (Table 3). 6월에는 *Oscillatoria* sp.가 14.5%의 점유율을 보여 가장 우점하는 종으로 나타났다 *Oscillatoria tenuis*가 12.2%, *Stephanodiscus hantzschii*는 7.3%의 점유율을 보였다. 7월에는 *Microcystis aeruginosa*가 전 수역에서 평균 33.7%의 점유율을 나타내 가장 중요한 우점종이었고 *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria* sp., *Aphanocapsa* sp.도 우점종으로 cyanobacteria에 의한 녹조현상이 있었음을 시사해 주고 있다. 9월에는 7월과 마찬가지로 *Microcystis aeruginosa*가 21.7%의 점유율을 나타내 가장 중요한 우점종인데 주로 호수 중앙부분과 상류에서 높은 점유율을 나타냈고 호수하류에서는 *Volvox aureus*가 식물플랑크톤 현존량의 대부분 (90% 전후)을 점유하나 호수 중앙부분 상류부분에서는 출현되는 정도가 낮아 전체적으로는 18.1%의 점유율을 보였다. 9월에 이어 *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria* sp.이 우점종으로 나타났고 일부 정점에서는 *Merismopedia elegans*, *Stephanodiscus hantzschii* 등이 우점종으로 나타났다. 11월에는 전체적으로 *Stephanodiscus hantzschii*가 14.4%의 점유율을 보여 가장 우점하였고 정점에 따라 *Chroococcus* sp., *Oscillatoria tenuis*, *Dictyosphaerium pulchellum*, cryptomonad

(>20 µm) 등이 우점종으로 나타났다 (Table 3).

전국의 호수들이 부영양화 되면서 (Kim *et al.*, 1997) cyanobacteria가 전국의 호수에서 우점종으로 나타나는 현상은 일반화되어 있는 것으로 보인다 (김 등, 1995; 김 등, 1999). 본 연구에서도 cyanobacteria가 우점종으로 나타나고 있는데 가장 큰 이유는 아산호 자체가 과영양 상태로 되어 cyanobacteria가 대량 발생할 수 있는 환경을 조성하고 있기 때문으로 사료된다. 담수조류 중 *Microcystis aeruginosa* 등 cyanobacteria외에도 *Stephanodiscus hantzschii*는 오염지표종의 하나로 간주되고 있다 (Reynolds, 1984). 조 등 (1998)의 연구에 의하면 *Stephanodiscus hantzschii*는 국내 강과 호수에서 저온 갈수기에 대 발생하여 이 기간 동안 수질을 악화시키는 주요 원인이 되고 있는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 이 종이 3월과 11월 뿐 아니라 9월에도 우점종으로 나타나 상당히 오염된 수역임을 나타내고 있다. 조 (1976)의 연구 결과를 보면 6월부터 아산호 전 수역에서 크게 번식하고 있고 8월에는 가장 우점하고 있어 녹조현상의 원인이 될 수 있다고 예측하고 있다. 이와 같은 현상은 유역으로부터 호수 내로 질소와 인이 많기 때문으로 추정하였는데 그 근거로 하류보다는 상류에서 오염 지표종이 더 많이 나타나는 현상을 들고 있다. 이

Table 3. The seasonal change of dominant phytoplankton species in the Asan reservoir. (%)

Month	Dominant species	Mean (range)
March	<i>Micrarium pusillum</i>	23.1 (3.1 ~ 67.9)
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	17.8 (0.0 ~ 59.5)
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	16.7 (0.0 ~ 48.0)
	Cryptomonad (nanoplankton)	13.8 (0.5 ~ 40.3)
May	<i>Euglena</i> sp.	42.6 (0.0 ~ 58.5)
	Round Flagellates	9.8 (0.9 ~ 31.6)
	<i>Micrarium pusillum</i>	6.7 (0.0 ~ 40.9)
June	<i>Oscillatoria</i> sp.	14.5 (0.0 ~ 53.4)
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	12.2 (0.0 ~ 67.7)
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	6.2 (0.0 ~ 13.5)
July	<i>Microcystis aeruginosa</i>	33.7 (0.0 ~ 88.9)
	<i>Oscillatoria</i> sp.	21.4 (0.0 ~ 89.0)
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	13.7 (0.0 ~ 57.7)
	<i>Aphanocapsa</i> sp.	7.3 (0.0 ~ 33.6)
Sep.	<i>Microcystis aeruginosa</i>	21.7 (0.0 ~ 69.5)
	<i>Volvox aureus</i>	18.1 (0.0 ~ 98.0)
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	16.7 (0.0 ~ 58.3)
Nov.	<i>Oscillatoria</i> sp.	10.4 (0.0 ~ 49.6)
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	14.4 (0.0 ~ 62.2)
	<i>Chroococcus</i> sp.	10.2 (0.0 ~ 81.5)
	Cryptomonad (nanoplankton)	8.5 (0.7 ~ 40.1)

미 아산호 생성 초기부터 오염지표종들이 우점종으로 나타나기 시작하였고 현재는 과영양 상태에 이르게 되어 녹조현상이 계절에 관계없이 나타나는 상황에 이른 것으로 보인다.

2) 종다양성지수, 균등도지수 및 우점도지수

여러 지수들은 Table 4에 나타났다.

3월의 종다양성지수는 1.14 (정점 9 표층)~2.55 (정점 15 표층)의 범위이고, 균등도지수는 0.38 (정점 9 표층)~0.77 (정점 15 표층), 우점도 지수는 0.10 (정점 15 표층)~0.49 (정점 9 표층)의 범위로 나타났다. 5월의 종다양성지수는 0.89 (정점 9 표층)~2.39 (정점 10 표층)의 범위이고, 균등도지수는 0.27 (정점 9 표층)~0.70 (정점 10 표층), 우점도 지수는 0.17 (정점 10 표층)~0.67 (정점 9 표층)의

범위로 나타났다. 6월의 종다양성지수는 0.15 (정점 7 저층)~3.20 (정점 12 저층)의 범위로 정점 7 저층과 정점 13 표층을 제외하고는 2.00 전후의 높은 다양성지수를 나타내고 있다. 균등도지수는 0.05 (정점 7 저층)~0.86 (정점 12 저층), 우점도 지수는 0.06 (정점 12 저층)~0.96 (정점 7 저층)의 범위로 나타났다. 7월의 종다양성지수는 0.46 (정점 8 표층)~2.44 (정점 2 표층)의 범위이고, 균등도지수는 0.22 (정점 8 표층)~0.76 (정점 2 표층), 우점도 지수는 0.12 (정점 2 표층)~0.80 (정점 8 표층)의 범위로 나타났다. 9월의 종다양성지수는 0.13 (정점 1 표층)~2.43 (정점 16 저층)의 범위로 아산호 하류에서는 1.00 이하의 낮았고 상류로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며 상류에서는 2.00 전후의 비교적 높은 다양성을 보였다. 균등

Table 4. Indices of species diversity, evenness and dominance in the each station.

St.	March			May			June			July			September			November		
	SDI	EI	DI	SDI	EI	DI	SDI	EI	DI	SDI	EI	DI	SDI	EI	DI	SDI	EI	DI
1s	1.57	0.59	0.30	1.64	0.53	0.35	1.81	0.78	0.19	1.78	0.68	0.21	0.13	0.06	0.96	2.03	0.71	0.19
1m	1.77	0.59	0.23	-	-	-	2.82	0.82	0.08	1.83	0.70	0.26	0.14	0.06	0.96	-	-	-
1b	1.79	0.59	0.25	-	-	-	2.36	0.74	0.17	1.06	0.48	0.44	0.88	0.37	0.47	2.47	0.78	0.13
2s	1.91	0.75	0.18	-	-	-	1.88	0.62	0.23	2.44	0.76	0.12	0.90	0.33	0.56	1.54	0.45	0.39
3s	1.47	0.67	0.28	1.95	0.85	0.18	1.29	0.59	0.34	0.57	0.21	0.74	0.76	0.48	0.49	1.24	0.39	0.49
4s	1.59	0.69	0.28	-	-	-	2.22	0.93	0.12	0.88	0.35	0.57	1.16	0.35	0.43	1.52	0.48	0.45
5s	1.56	0.68	0.29	-	-	-	2.35	0.87	0.13	0.53	0.17	0.79	1.05	0.35	0.51	2.02	0.62	0.27
6s	1.66	0.69	0.26	-	-	-	1.90	0.70	0.22	0.60	0.25	0.68	0.97	0.34	0.53	2.46	0.71	0.14
6b	1.88	0.62	0.23	-	-	-	2.43	0.68	0.16	1.40	0.56	0.34	1.31	0.46	0.37	2.70	0.79	0.10
7s	1.25	0.54	0.43	-	-	-	2.44	0.82	0.12	1.07	0.43	0.44	1.08	0.34	0.51	2.64	0.81	0.10
7b	1.55	0.55	0.35	-	-	-	0.14	0.05	0.96	0.90	0.34	0.52	1.30	0.41	0.44	2.68	0.75	0.12
8s	1.73	0.64	0.22	1.95	0.61	0.30	0.47	0.26	0.82	0.46	0.22	0.80	1.51	0.51	0.30	2.81	0.83	0.09
8b	1.41	0.49	0.42	-	-	-	2.20	0.62	0.23	-	-	-	1.05	0.34	0.49	2.98	0.82	0.07
9s	1.53	0.66	0.27	0.89	0.27	0.67	2.41	0.76	0.15	0.57	0.29	0.71	1.62	0.48	0.24	1.86	0.73	0.23
9b	1.68	0.53	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10s	1.96	0.79	0.17	2.39	0.70	0.17	-	-	-	0.81	0.31	0.63	1.50	0.44	0.32	2.26	0.81	0.13
11s	1.41	0.64	0.35	1.89	0.54	0.36	2.49	0.85	0.10	1.39	0.48	0.42	1.53	0.49	0.30	1.88	0.78	0.20
12s	0.69	0.33	0.71	-	-	-	2.14	0.77	0.17	1.45	0.44	0.40	1.92	0.60	0.20	1.50	0.84	0.29
13s	1.04	0.45	0.57	2.13	0.66	0.21	1.89	0.65	0.21	1.78	0.54	0.22	1.84	0.57	0.25	0.86	0.33	0.68
13m	1.86	0.56	0.28	-	-	-	-	-	-	1.23	0.40	0.49	-	-	-	-	-	-
13b	1.71	0.53	0.28	-	-	-	2.99	0.83	0.07	1.22	0.46	0.39	1.86	0.63	0.20	2.98	0.81	0.09
14s	1.22	0.51	0.49	-	-	-	1.92	0.66	0.25	0.67	0.22	0.74	1.88	0.62	0.24	1.63	0.65	0.31
14m	1.93	0.61	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14b	1.90	0.59	0.22	-	-	-	2.88	0.79	0.08	1.31	0.40	0.38	1.79	0.60	0.25	2.74	0.77	0.13
15s	1.59	0.64	0.31	-	-	-	1.93	0.64	0.30	1.00	0.31	0.57	2.11	0.68	0.18	1.71	0.74	0.26
15b	1.79	0.54	0.30	-	-	-	-	-	-	2.15	0.70	0.23	2.07	0.63	0.18	1.64	0.47	0.43
16s	1.76	0.80	0.22	-	-	-	2.23	0.84	0.16	1.57	0.46	0.35	1.98	0.63	0.26	1.10	0.68	0.47
17s	1.30	0.63	0.36	-	-	-	2.30	0.83	0.14	1.65	0.48	0.33	1.63	0.50	0.37	2.53	0.74	0.16
17b	2.10	0.62	0.19	-	-	-	-	-	-	1.64	0.49	0.36	-	-	-	-	-	-
18s	1.79	0.78	0.23	-	-	-	-	-	-	2.03	0.55	0.29	2.14	0.64	0.20	1.17	0.73	0.43
19s	2.11	0.85	0.15	-	-	-	-	-	-	0.58	0.20	0.79	1.28	0.42	0.45	1.57	0.81	0.30
Avg	1.91	0.61	0.24	1.83	0.59	0.32	2.47	0.71	0.17	1.15	0.39	0.52	1.42	0.46	0.39	2.43	0.70	0.18
SD	0.35	0.09	0.09	0.48	0.18	0.17	0.46	0.13	0.14	0.60	0.17	0.22	0.53	0.15	0.20	0.55	0.14	0.13

(St. : Station, SDI : species diversity index, EI : evenness index, DI : dominance index, Avg: average, SD: standard deviation)

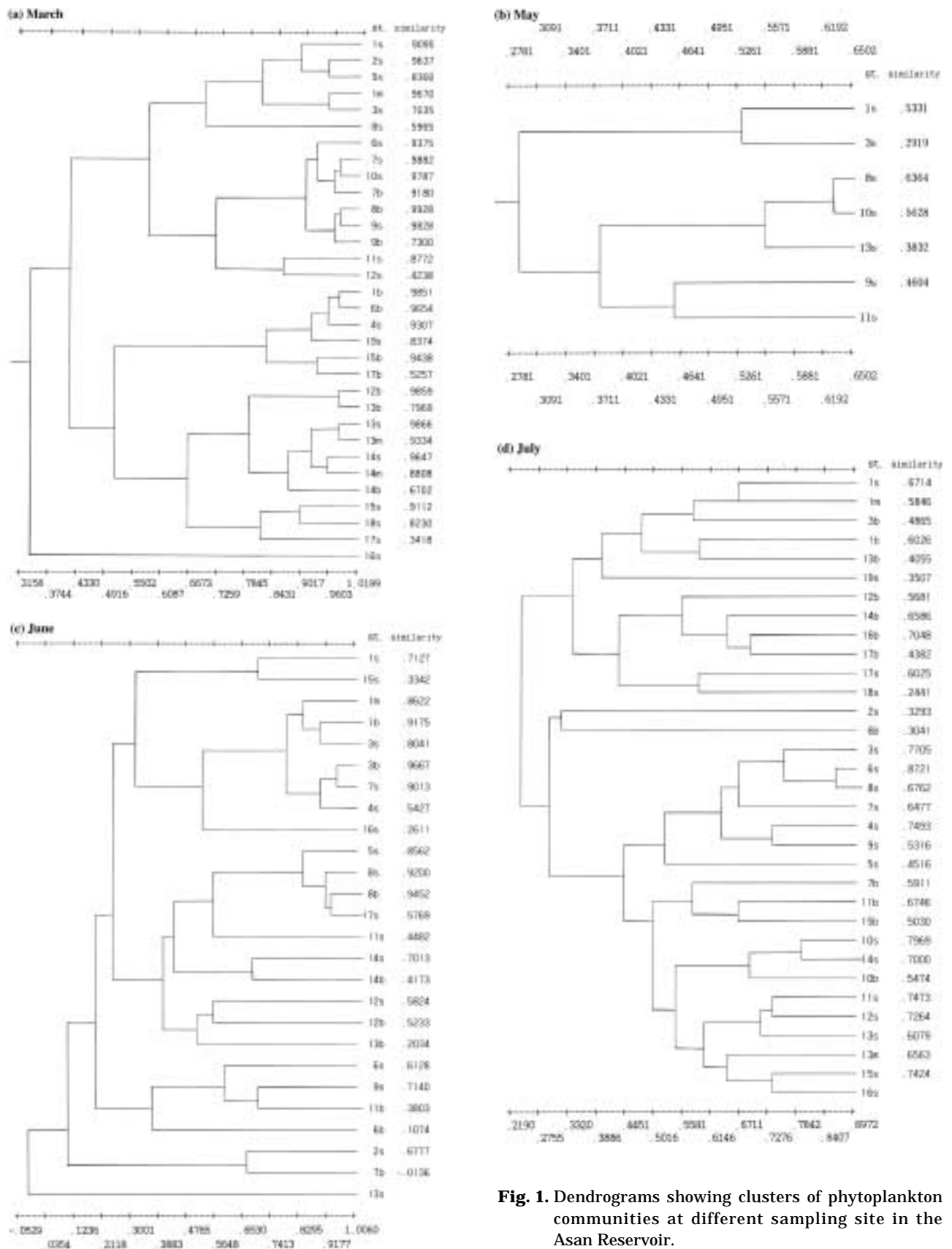


Fig. 1. Dendrograms showing clusters of phytoplankton communities at different sampling site in the Asan Reservoir.

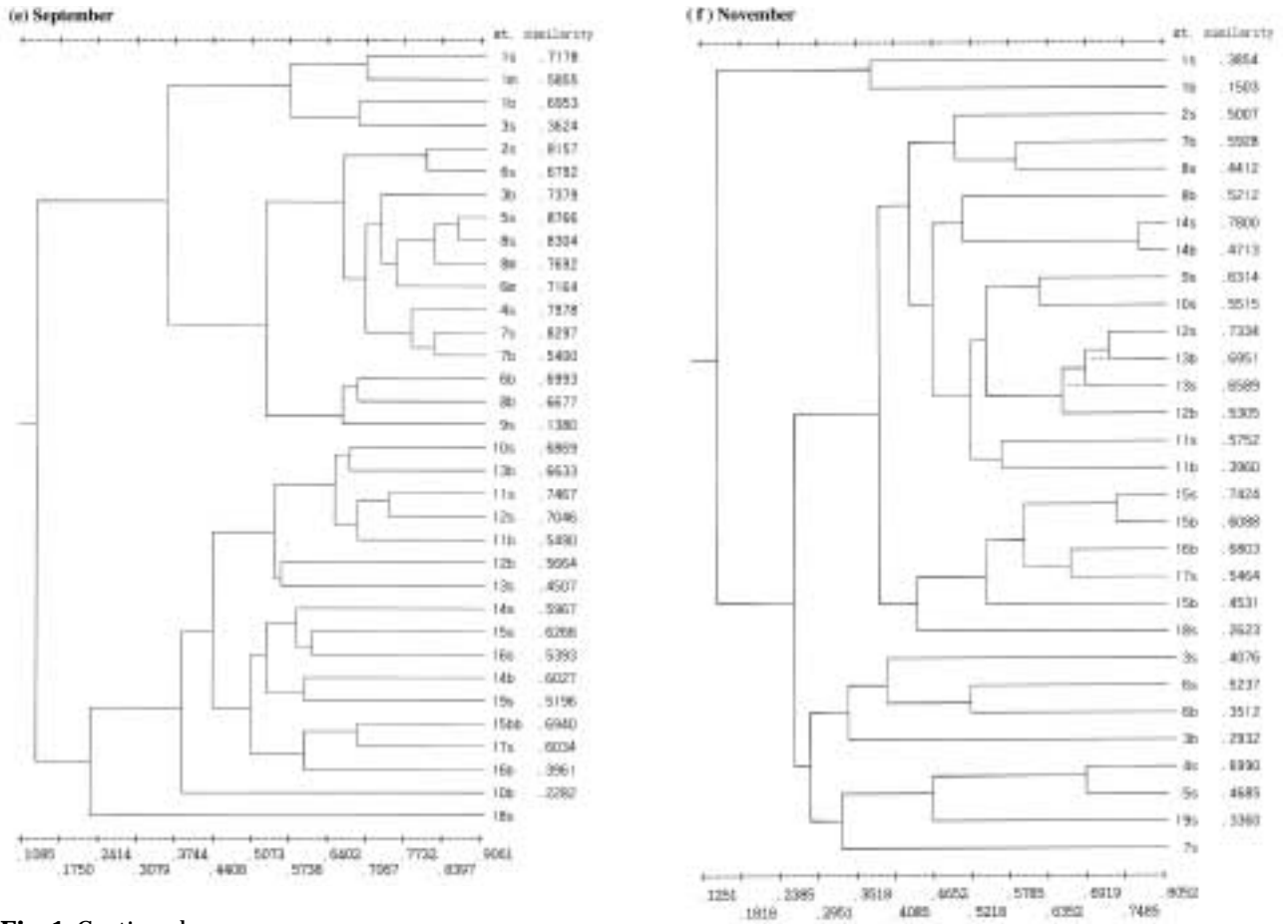


Fig. 1. Continued.

도지수는 0.06 (정점 1 표층)~0.77 (정점 16 저층), 우점도 지수는 0.13 (정점 16 저층)~0.96 (정점 1 표층)의 범위로 나타났다. 11월의 종다양성지수는 1.24 (정점 3 표층)~3.09 (정점 13 표층)의 범위이고, 균등도지수는 0.39 (정점 3 표층)~0.84 (정점 13 표층), 우점도 지수는 0.08 (정점 13 표층)~0.49 (정점 3 표층)의 범위로 나타났다.

3) 집괴분석에 의한 지역간 유사성

각 정점에서 출현한 종과 현존량을 근거로 상관계수를 구해 집괴 분석한 결과 전반적으로 아산호 하류수역과 상류수역 두 개의 수역으로 구분이 되었다 (Fig. 1a-f). 어느 수역에도 포함되지 않는 독립적인 정점들이 나타나는 경우가 있어 상당히 외부환경변화에 민감하게 반응하고 있는 것으로 여겨졌다. 3월의 경우에는 대체로 정점 1에서 정점 12까지가 한 그룹을 이루고 상류지역이 묶이는 양상을 보였다 (Fig. 1a). 5월의 경우는 정점 1과 3의 하류지역과 호수 중앙부분으로 구분되었고 (Fig. 1b), 6월의 경우에는 정점 1, 3, 4, 6, 7, 9가 묶이고 나머

지 상류가 묶이는 등 크게 둘로 나뉘었다 (Fig. 1c). 7월 경우는 호수 중앙부 표층 수역, 정점 1, 정점 3, 정점 13의 저층, 의 정점 17, 18, 중앙부분 저층 수역으로 크게 나누어졌다 (Fig. 1d). 9월의 경우 크게 정점 9까지의 하류 수역과 상류수역으로 크게 나뉘고 하류수역은 정점 1과 3표층 수역과 나머지로, 상류수역은 정점 10, 11, 12, 13의 중앙수역과 상류지역으로 각각 세분할 수 있다 (Fig. 1e). 11월의 경우는 정점 1이 완전히 다르게 나타났고 하류의 정점 3, 4, 5, 6과 나머지 정점들로 나뉘었다 (Fig. 1f).

집괴분석 결과는 아산호의 지역적 특성이 상류에서 유입되고 있는 유입수에 의해 가장 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 많은 비가 내린 6월의 경우 3월에 비해 상류지역이 확장한 경향을 보이고 있고 녹조 현상이 전 수역에 걸쳐 나타났던 7월을 제외하고 9월과 11월 모두 상류와 하류 지역으로 크게 구분되는 것이 이를 뒷받침한다. 9월과 11월에는 정점 1과 3부분의 방조제 인접 수역이 다소 다른 특성을 보이는 것은 약하지만 해양의

영향을 다소 받고 있는 것으로 보인다. 7월에 표층지역과 저층이 다르게 나타나는 것은 녹조 원인 조류들이 표층으로 떠올라 수층 간에 식물플랑크톤 종조성에 차이가 생겨난 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

적 요

아산호에서 1997년 3월부터 1997년 11월까지 6회에 걸쳐 식물플랑크톤 군집구조를 파악하기 위한 연구를 수행하였다. 19개 정점에서 관찰된 식물플랑크톤 분류군은 총 204종군으로, 각 분류군별 출현비는 녹조류 51%, 규조류 29%, cyanobacteria 12%, 와편모조류가 2%, 유글레나류 4%, 기타 편모조류가 2% 이었다. 식물플랑크톤의 현존량은 741 cells/ml에서 613,066 cells/ml의 범위로 매우 높은 수준으로 나타났다. 현존량은 7월에 가장 높았고 9월, 6월, 3월, 11월, 5월 순으로 나타났다. 계절에 관계없이 지속적으로 녹조상태인 것으로 판단되며, 녹조원인생물은 *Micractium pusillum*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Dictyosporium pulchellum*, cryptomonad (>20 µm), *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria* sp., *Aphanocapsa* sp., *Euglena* sp., *Volvox aureus* 이었다. 여름철에 cyanobacteria에 의한 녹조현상이 현저하였다. 식물플랑크톤의 종다양성은 0.13~3.20의 범위로 시·공간적으로 차이가 매우 컸다. 집괴 분석한 결과 전반적으로 아산호 하류수역과 상류수역 두 개의 수역으로 구분이 되었다.

인 용 문 헌

김범철, 김은경, 표동진, 박호동, 허우명. 1995. 국내 호수에서 남조류의 독소 발생. 한국수질보전학회지 **11**: 231-237.

김범철, 김호섭, 박호동, 최광순, 박종근. 1999. 국내 호수에서 발생한 남조류의 microcystin 함량과 독성평가. 한국육수학회지 **32**: 288-294.

김준태, 박유라, 조현실, 부성민. 1996. 금강 수계에서 식물플랑크톤 군집 구조. 한국육수학회지 **29**: 187-195.

신윤근, 전상호. 2002. 아산호의 생태학적 연구 1. 이화학적 특성과 영양상태. 한국육수학회지 **35**(3): 181-186.

이진환, 장만. 1997. 한강 하류의 환경학적 연구 II. 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지 **30**(3): 193-202.

정 준. 1993. 韓國淡水藻類圖鑑. 아카데미서적. pp. 496.

조경재, 신재기, 박승국, 이옥희. 1998. 담수산 *Stephanodiscus* 속 규조류의 오염지표성 평가. 한국육수학회지 **31**(3): 204-210.

조경재, 정익교, 이진애. 1993. 낙동강하구 식물플랑크톤의 계절동태. 한국조류학회지 **8**: 15-28.

조규승. 1976. 담수화 과정에 있는 아산호 및 담양호의 육수학적 양상에 관하여. 과학교육연구(춘천교대) **2**: 67-80.

최기철. 1976a. 아산호산 어류에 관한 생태학적 연구. 1. 안성천의 어류상에 관하여. 한국육수학회지. **9**(1-2): 31-44.

최기철. 1976b. 아산호산 어류에 관한 생태학적 연구. 2. 아산호 담수화에 따르는 어류상의 천이에 관하여. **9**(1-2): 45-53.

廣瀬 弘幸 등, 1977. 日本淡水藻類圖鑑, 内田老鶴圃. pp. 933.

山岸 高旺, 秋山 優, 1984-1989. 淡水藻類寫真集. 内田老鶴圃.

小島貞男, 須 隆一, 千原光雄, 1995 環境微生物圖鑑. 講談社. pp. 758.

水野壽彦. 1977. 日本淡水プランクトン圖鑑. 保育社. pp. 353.

환경부. 1995. 전국호소환경현황조사 및 주요호소영향구역 설정 (2차) 보고서.

Bold, H.C. and M.J. Wynne. 1985. Introduction to the algae. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. pp. 720.

Brook, A.J. 1965. Planktonic algae as indicators of lake types, with special reference to the Desmidiaceae. *Limnology and Oceanography*. **10**: 403-411.

Calson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 361-369.

Chapman, V.J. 1968. The Algae. Macmillan London, Melbourne, Toronto St Martis Press. New york. pp. 472.

Cleve-Euler, A. 1951-1955. Die diatomeen von Schweden and Finnland. I-V.K. Svenska Vetenskad, Handl., Ser. 4, I. Vol. 2, No.1, 1-163 P. figs.1-294, pl.1-6 (1951) II. Vol. 3, No. 3, 1-153 p. figs. 1318-1538 (1952) III. Vol.4, No.5, 1-158 p. figs 292-483 (1953a) IV. Vol. 4, No.4,1-255 p. figs. 484-970 (1953b) V. Vol. 4, No. 5,1-232 p. figs. 971-1306 (1955).

Dodge, J.D. 1975. The fine structure of Algal cells. Academic Press. Inc. London. pp. 261.

EPA. 1979. Quantitative techniques the assessment of lake quality. EPA 440/5-79-015.

Forsberg, C. and S.O. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 swedish waste-receiving lakes. *Archiv fur Hydrobiologie*. **89**: 189-207.

Harper, D., 1992. Eutrophication of freshwater. Principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London. pp. 329.

Hartley, B. 1986. A check-list of fresh water, brackish and marine diatoms of the British Isles and adjoining Coastal Waters. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **66**: 531-610

Hellawell, J.M. 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier

- Applied Science Publishers, p. 546.
- Kim, B., H.H. Park, G. Hwang and K. Choi. 1997. Eutrophication of large freshwater ecosystem in Korea. *Korean J. Limnol.* **30**: 512-517.
- Komarek, J. 1991. A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. *Arch. Hydrobiol./suppl.* **92**, *Algological studies.* **64**: 115-127.
- Odum, E.P. 1989. *Ecology and Our Endangered Life-support Systems*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. pp. 283.
- Patrick, R. and C.W. Reimer. 1966. *The Diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii*. Vol. 1. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia # 13. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- Patrick, R. and C.W. Reimer. 1975. *The Diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii*. Vol. 2 (Part 1). Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia #13. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* **13**: 131-144.
- Prescott, G.W. 1962. *Algae of the Western Great Lakes Area*. Otto Koeltz Science Publishers, Konigstein.
- Reynolds, C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 112-120.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. *The mathematical theory of communication*. Illinois Univ. Press. Urbana. pp. 177.
- Shimpson, E.H. 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih.* **7**. *Ergebn. Limnol.* **7**: 218.
- Smith, G.H. 1950. *The freshwater algae of Illinois States*. McGraw-Hill. New York. pp. 719.
- Watanabe, T. 1962. On the Biotic Index of Water Pollution based upon the species Number of Bacillariophyceae in the Tokoro River in Hokkaido (in Japanese). *Jap. Jour. Ecol.* **12**: 216-222.

(Received 10 Jun. 2002, Manuscript accepted 20 Aug. 2002)

Appendix 1. List of phytoplankton species observed in the Asan Reservoir.**BACILLARIOPHYCEAE : 59 taxa**

Achnanthes sp.
Amphora sp.
Asterionella formosa
Aulacoseira granulata
Aulacoseira granulata v. *angustissima*
A. granulata v. *angustissima* f. *spiralis*
A. granulata v. *Valida* f. *curvata*
Bacillaria paradoxa
Chaetoceras sp.
Cocconeis sp.
Coscinodiscus sp.
Cyclotella kuetzingiana
Cyclotella meneghiniana
Cyclotella sp.
Cyclotella striata
Cylindrotheca closterium
Cymbella sp.
Diatoma vulgare
Eunotia sp.
Fragilaria crotonensis
Fragilaria sp.
Frustulia sp.
Gomphonema sp.
Gyrosigma sp.
Melosira varians
Melosira sp.
Navicula amphibola
Navicula sp. (1)
Navicula sp. (2)
Navicula sp. (3)
Neidium sp.
Nitzschia acuminata
Nitzschia clausii
Nitzschia delicatissima
Nitzschia holsatica
Nitzschia linearis
Nitzschia longissima
Nitzschia obtusa var. *scalpelliformis*
Nitzschia palea
Nitzschia paleacea
Nitzschia seriata
Nitzschia sigma
Nitzschia sp. (1)
Nitzschia sp. (2)
Nitzschia vermicularis
Pinnularia sp.
Pleurosigma sp.
Dictyosphaerium ehrenbergianum
Dictyosphaerium pulchellum
Didymogenes anomala var. *anomala*
Elakatothrix sp.
Eudorina elegans
Eudorina unicocca
Golenkinia radiata
Gonium sp.

Stauroneis sp.
Stenopterobia intermedia
Stephanodiscus hantzschii
Stephanodiscus sp.
Surirella elegans
Surirella robusta var. *splendida*
Surirella sp.
Synedra acus
Synedra ulna
Synedra sp.
Thalassiosira excentrica
Thalassiosira sp.

CHLOROPHYCEAE : 103 taxa

Actinastrum hantzschii
A. hantzschii var. *elongatum*
A. hantzschii var. *fluvatile*
Ankistrodesmus falcatus
A. falcatus var. *mirabilis*
Ankistrodesmus gracilis
A. nanoselene var. *nanoselene*
Ankistrodesmus spiralis
Asterococcus limneticus
Centritractus belonophorus
Characium limneticum
Chlamydomonas sp.
Chlorella sp.
Chlorella vulgaris
Chodatella chodatii var. *chodatii*
Chodatella subsalsa
Closteriopsis longissima
Closterium acerosum
Closterium aciculare
Closterium diana
Closterium gracile
Closterium juncidum
Closterium strigosum
Closterium sp.
Coelastrum astroideum var. *astroideum*
Coelastrum cambricum
Coelastrum sphaericum var. *sphaericum*
Coelastrum sp.
Cosmarium sp.
Crucigenia crucifera
Crucigenia fenestrata
Crucigenia quadrata
Crucigenia rectangularis
Crucigenia sp.
Scenedesmus quadricauda
Scenedesmus quadricauda var. *westii*
Scenedesmus quadrispinus
Scenedesmus sp.
Schroederia setigera
Selenastrum gracile
Selenastrum sp.
Selenastrum westii

Appendix 1. Continued.

Haematococcus sp.
Kirchneriella lumaris
Kirchneriella sp.
Lagerheimia ciliata
Lagerheimia sp.
Micractinium pusillum
Micractinium quadrisetum
Monoraphidium irregulare var. *irregulare*
Monoraphidium sp.
Oocystis parva
Oocystis sp.
Pandorina morum
Pandorina sp.
Pediastrum biradiatum var. *longecornutum*
Pediastrum biwae
Pediastrum duplex
Pediastrum duplex var. *gracilimum*
Pediastrum duplex var. *reticulatum*
Pediastrum simplex var. *simplex*
Pediastrum simplex var. *duodenarium*
Pediastrum tetras var. *tetraodon*
Quadrigula chodatii
Quadrigula sp.
Scenedesmus abundans
Scenedesmus acuminatus var. *acuminatus*
Scenedesmus acuminatus var. *elongatus*
Scenedesmus acuminatus var. *tortuosus*
Scenedesmus acutus f. *alternans*
Scenedesmus acutus f. *costulatus*
Scenedesmus acutus var. *acutus*
Scenedesmus arcuatus var. *arcuatus*
Scenedesmus armatus var. *bicaudatus*
Scenedesmus bernardii
Scenedesmus denticulatus
Scenedesmus ecornis var. *ecornis*
S. ellipsoideus var. *flagellispinosus*
Scenedesmus longispina
Scenedesmus maximus
Scenedesmus microspina
Scenedesmus opliensis
Oscillatoria sp. (2)
Oscillatoria tenuis
Phormidium mucicola
Euglena sp.

DINOPHYCEAE : 4 taxa

Ceratium hirundinella
Gonyaulax sp.
Gymnodinium sp.
Gyrodinium sp.

CHYPTOPHAECAE : 4 taxa

Cryptomonas ovata
Cryptomonas sp. (1)
Cryptomonas sp. (2)
Rhodomonas sp.

Spirogyra sp.
Staurastrum sp.
Stigeoclonium sp.
Tetraedron arthrodesmiforme f. *elongata*
Tetraedron minimum
Tetraedron pentaedricum
Tetraedron sp.
Tetraedron trigonum
Tetrastrum staurogeniaeforme
Tetrastrum sp.
Ulothrix sp.
Volvox aureus
Westella botryoides

CHRYSOPHYCEAE : 1 taxa

Uroglena sp.

CYANOPHYCEAE : 26 taxa

Anabaena sp.
Aphanizomenon flos-aquae
Aphanocapsa delicatissima
Aphanocapsa rivularis
Aphanocapsa sp.
Aphanothece sp.
Arthrospira platensis
Chroococcus dispersus
Chroococcus limneticus
Chroococcus minutus
Chroococcus sp.
Dactylococcopsis sp.
Merismopedia elegans
Merismopedia sp.
Merismopedia tenuissima
Micocystis incerta
Microcystis aeruginosa
Microcystis ichthyoblade
Microcystis viridis
Microcystis wesenbergi
Oscillatoria brevis
Oscillatoria sp. (1)

EUGLENOPHYCEAE : 8 taxa

Euglena acus
Euglena gracilis
Phacus longicarda
Phacus sp.
Trachelomonas crebea
Trachelomonas sp. (1)
Trachelomonas sp. (2)