第 17 卷 第 1 期　　水 生 生 物 学 报　　Vol. 17, No. 1
1993 年 3 月　　ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA　　Mar., 1993

以浮游植物评价达赉湖水质污染及营养水平*

李宝林　王玉亭　张路增
(达赉湖水产科学研究所，满洲里　021410)

提　　要

1987—1988 年在 30 个样点，四季采样，对达赉湖的浮游植物进行了种类组成，生物量、种群数量、优势种、污染指示种、硅藻指数、综合指数等群落生态学的初步研究，应用后五项参数对达赉湖水质污染及营养水平进行了评价。

达赉湖浮游植物年均值达 54.7×10^6 个/L (细胞数，或个体数为 2.3×10^6 个/L)，硅藻指数为 149.3，综合指数为 5.6。群落组成中污染指示种占 65%，春季以绿藻的十字藻、卵囊藻为优势种，其它 3 个季节均以蓝藻中的微囊藻、鱼腥藻、腔球藻占优势，表明达赉湖已受到中等程度污染，属于蓝、绿藻型富营养湖。

关键词　达赉湖，浮游植物，富营养化

达赉湖位于内蒙古自治区，呼伦贝尔草原上，界于新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗、满洲里市之间。湖面积随水位的涨落而不断发生变化，当湖水位为海拔 544.5 m 时面积为 2268 km^2，平均水深 6 m，含盐量为 1.05 g/L。湖的东南与西南两岸分别有乌尔逊河、克鲁伦河，两条河水常年流入湖中，在北岸湖水经过达兰鄂罗木河与额尔古纳河相通。

冬天捕鱼工人每天在湖面上从事生产劳动，主要的生产工具之一是马，落到湖面上的马粪待到湖解冻后自行落入水中，加上湖周围居民的生活污水排放入湖，地面径流等因素，使湖水中营养盐日益增多，引起浮游植物大量繁殖，到了炎热的 7—8 月份湖面上常常漂着一层蓝绿色湖靛，湖靛较多的地方发生过鱼及牲畜死亡现象。

1987—1988 年我们承担了"湖泊富营养化调查"研究课题，其中的部分内容是浮游植物的监测。对达赉湖的浮游植物进行了四季定点采样测定，经过研究分析，对达赉湖水质营养程度进行了初步评价。

浮游植物终年生活在水中，其群落的种群数量、优势种、污染指示种等指标在不同营养水平的水环境中变化很大，是水质污染及营养水平的重要标志。以浮游植物作为生物监测、评价水质污染和营养水平的重要指标，国内外已广泛应用，但以其评价达赉湖还是第一次，并将为控制、治理达赉湖富营养化的进程提供科学依据。

---

* 本文经刘建康教授指导并提出修改意见，在此表示衷心地感谢。
1990 年 4 月 25 日收到。

材料与方法

全湖设 30 个采样点，其中湖心设 6 个采样点，其它 24 个分设在湖的东、西两岸。采水层次依水的深度而定，3 m 以内采表层(距湖面 0.5 m) 一个水样；3 m 以上采表层、中层、底层(距湖底 0.5 m) 3 个水样；5 m 以上采 5 层水样。明水期每月采样一次，结冰期每季采样一次，全年共采 232 个样品，其中 27、19、1 号样点分别为克鲁伦河、乌尔逊河、达兰鄂罗木河的入湖口处。定量水样用 5L 采水器采水，取其 1000 mL 于水样瓶里加 15 mL 鲁哥氏液固定。静止沉淀 24 h，抽出上清液浓缩至 30 mL。将水样摇均后取 0.1 mL 放到计数框内，在 640 倍显微镜下观察，一般定到属，优势种定到种。单细胞或定形群体按细胞计数，不定形群体先测量、计算出体积，再乘以比重 1 得其生物量，然后除以细胞湿重得其细胞数；个体计数按单细胞为一个体，定形群体一个群体为一个体，不定形群体按视野下分散状态，不论团块大小均各自定为一个体计数。微囊藻的中等群体，每个体约含 275 个细胞。

结果与讨论

(一) 以浮游植物群落生态学指标对达赉湖水质污染及富营养化的评价

达赉湖浮游植物数量年均值达 54.7×10^6 个/L(细胞数或个体数为 2.3×10^6 个/L)，硅藻指数为 149.3，综合指数为 5.6，群落组成中污染指示种平均占 65%，春季以绿藻中

表 1 浮游植物量及其组成 (10^4/L)

Tab. 1 Densities and composition of phytoplankton

时间 Sampling date		总量 Total number	蓝藻 Cyan.	绿藻 Chlor.	硅藻 Bac.	裸藻 Eug.	甲藻 Pyr.	隐藻 Cryp.	黄藻 Xanth.	金藻 Chrys
2 月 Feb.	A*	4914.7	4822.4	47.9	13.7	1.1	0.04	18.3	7.5	3.8
	B*	73.97	17.53	12.0	13.7	1.1	0.04	18.3	7.5	3.8
6 月 Jun.	A	6558.1	5474.2	813.5	68.7	6.0	9.6	5.1	167.2	13.8
	B	493.7	19.91	203.4	68.7	6.0	9.6	5.1	167.2	13.8
7 月 Jul.	A	4231.4	3892.3	229.6	16.0	1.4	2.7	15.1	70.2	4.1
	B	181.1	14.15	57.4	16.0	1.4	2.7	15.1	70.2	4.1
8 月 Aug.	A	3919.7	3586.3	202.6	32.0	3.3	6.6	8.4	76.9	3.6
	B	194.54	13.04	50.7	32.0	3.3	6.6	8.4	76.9	3.6
9 月 ep.	A	7732.5	7249.8	391.1	24.3	2.7	5.6	47.7	6.1	5.2
	B	215.76	26.36	97.8	24.3	2.7	5.6	47.7	6.1	5.2
年均 Mean	A	5471.3	5005	336.9	30.9	2.9	4.9	18.9	65.6	6.1
	B	231.8	18.2	84.3	30.9	2.9	4.9	18.9	65.6	6.1

* A = 细胞数 Number of cells; B = 个体数 Number of individuals.

的十字藻、卵囊藻为优势种，其它 3 季均以蓝藻中的微囊藻、鱼腥藻、腔球藻为优势种。属蓝、绿藻型富营养湖。

1. 种群数量　达赉湖年平均藻量其细胞数与个体数分别达到 54.7×10^6 个/L 及 2.3×10^6 个/L（表 1），按国内有关评价湖泊富营养化标准[4,5]，从各样点监测结果（表 5）可看出达赉湖无论是表层、还是中层、底层都已达到富营养水平。

2. 群落优势种　从藻类分布频度（表 2）来看，蓝藻、绿藻占优势，绿藻在四个季节各个样点都有分布，但数量较少；蓝藻的分布频度除春季为 96.2 外，其余全为 100。从种群多度来看，蓝藻全年都占绝对优势，各样点中蓝藻细胞数占全体细胞数的 90% 左右，其优势种是铜绿微囊藻（*Microcystis aeruginosa*）、水华微囊藻（*M. flos-aquae*）、二种腔球藻（*Coelosphaerium*）、螺旋鱼腥藻（*Anabaena spiroides*）、类颤鱼腥藻（*A. osicellariordes*）、水华鱼腥藻（*A. flos-aquae*），这些藻具伪空泡或异形胞浮在水面上，在炎热的 7—8 月大量繁殖，形成片状水华。藻类死后分解放出有毒物质，顺风时在岸边可闻到一种难闻的气味。这种以微囊藻、鱼腥藻、腔球藻为主的蓝藻优势，标志着湖泊的富营养水平。

3. 污染指示种　根据已报道的污染指示藻种及指示污染等级[1-7]，结合实际观察情况对各样点的浮游植物群落组成种类进行了评价（表 3）。污染指示种平均占 65%，其中指示重污染（ps）及 α-中度污染（α-ms）的种类如素衣藻（*Polytoma uvella*），少数样

表 2　浮游植物类群分布频度及多度

Tab. 2　Distribution frequency and abundance of various phytoplankton groups

项目 Item	时间 Sampling date	蓝藻 Cyan.	绿藻 Chlor.	硅藻 Bac.	裸藻 Eug.	甲藻 Pyr.	隐藻 Cryp.	黄藻 Xanth	金藻 Chrys
频度* Freguency (%)	2 月 Feb.	100	100	92.3	26.9	5.8	84.6	21.2	69.2
	6 月 Jun.	96.2	100	100	80.8	61.5	28.8	55.8	67.3
	7 月 Jul.	100	100	82.7	23.1	32.7	46.2	23.1	32.7
	8 月 Aug.	100	100	92.6	29.6	22.2	61.1	22.2	40.7
	9 月 Sep.	100	100	95.5	59.1	100	100	63.6	68.2
	平均 Mean	99.2	100	92.6	43.9	44.4	64.1	37.2	55.6
多度** Abundance (%)	2 月 Feb.	98.12	0.98	0.28	0.02	0.001	0.37	0.15	0.08
	6 月 Jun.	84.23	11.83	1.00	0.09	0.14	0.08	2.43	0.2
	7 月 Jul.	91.99	5.43	0.38	0.03	0.06	0.36	1.66	0.1
	8 月 Aug.	91.49	5.17	0.82	0.09	0.17	0.21	1.96	0.09
	9 月 Sep.	93.76	5.06	0.31	0.03	0.07	0.62	0.08	0.07
	平均 Mean	91.92	5.69	0.56	0.05	0.09	0.33	1.26	0.11

* 含某一藻类类群的采样点占总采样点的百分比。
Perceutage of sampling stations Containing a specific algal group.

** 某一藻类类群的细胞数占藻类细胞总数的百分比。
Number of cells of a specific algal group as a perceutage of total number of algal cells.

点有少量分布；啮蚀隐藻（*Cryptomonas erosa*）秋季分布广泛且数量较多；球形衣藻（*Chlamydomonas globosa*）、长绿梭藻（*Chlorogonium elongatum*）、椭圆波缘硅藻（*Cymatopleura elliptica*）、变形裸藻（*Euglena variabilis*）、镰形纤维藻（*Ankistrodesmus falcatus*）等少数样点有少量分布。指示 α-中度污染和 β-中度污染（β-ms）的种类较多，各样点平均有 12.5 种，如铜绿微囊藻（*M. aeruginosa*）、水华微囊藻（*M. flos-aquae*）、柔软腔球藻（*Coelosphaerium kuetzingianum*）、含糊腔球藻（*C. dubium*）等分布频度和多度都很高，此外主要种类还有水华束丝藻（*Aphanizomenon flos-aquae*）、梅尼小环藻（*Cyclotella meneghiniana*）、旋转囊裸藻（*Trachelomonas volvocina*）、二形

表 3 浮游植物污染指示种类数在各样点分布情况

Tab. 3 The number of saprobic indicators in phytolankton communities at each sampling station

样点 Sampling station	种数 Number of species	指示种数 Number of indicators			污染指示种数 Number of saprobic indicators	污染指示种% Percent number of saprobic indicators
		α-ms	α-ms β-ms	β-ms.os		
1	30	2	22	4	24	80.0
2	73	1	38	8	39	53.4
3	52		34	6	34	65.3
4	39		27	4	27	69.2
5	42	1	25	9	26	61.9
6	42		32	4	32	76.1
7	76	1	50	9	51	67.1
8	77	1	50	12	51	66.2
9	60	1	34	11	35	58.3
10	47		31	9	31	65.9
11	65		44	7	44	67.6
12	52		40	7	40	76.9
13	55		39	7	39	70.9
14	36	1	25	5	26	72.2
15	66	1	46	7	47	71.2
16	47		31	9	31	65.9
17	68	2	49	9	51	75.0
18	89	2	51	18	53	59.5
19	71	1	38	16	39	54.9
20	56	1	33	10	34	60.7
21	66	1	40	12	41	62.1
22	57	1	35	14	36	63.1
23	65	3	35	11	38	58.4
24	70	1	48	11	49	70.0
25	59		40	9	40	67.7
26	66		40	11	40	65.5
27	58	1	28	12	29	50.0
28	62	1	35	15	36	58.0
29	21		12	4	12	57.1
30	48		28	9	29	60.4

栅藻（*Scenedesmus dimorphus*）、卵形隐藻（*Cryptomonos ovata*）等。指示 β-中等污染的种类最多，并且各样点都有一定数量的分布，各样点平均有 36.8 种如螺旋鱼腥藻（*Anabaena spiroides*）、多变鱼腥藻（*A. variabilis*）、类颤藻鱼腥藻（*A. osicellariorides*）、水华鱼腥藻（*A. flos-aquae*）、螺旋林氏藤（*Lyngbya contarta*）、泥污颤藻（*Oscillatoria limosa*）、阿氏项圈藻（*Anabaenopsis arnoldii*）、颗粒直链藻（*Melosira granulata*）、尖布纹藻（*Gyrosigma acuminatum*）、菱形藻（*Nitzschia*）、尖异极藻（*Gomphonema acuminatum*）、栅藻（*Scenedesmus*）、空星藻（*Coelastrum*）、十字藻（*Crucigenia*）、卵囊藻（*Oocystis*）、盘星藻（*Pediastrum*）、弓形藻（*Schroederia*）、梭

表 4　浮游植物群落硅藻指数及污染评价

Tab. 4　Diatom biotic index of phytoplankton communities at each sampling station and assessment of saprobic degree

样点 Sampling station	采样时间 Sampling date						污染评价 Assessment of saprobity
	2 月 Feb.	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	年均 Mean	
1	133	171.4		183.3		162.5	os
2	166.6	180	175	166.7		172	os
3	100	150	166.6	160	150.0	145.3	β-ms
4	100	183.3	150	200	0	106.6	β-ms
5	100		0	157		85.6	α-ms
6	150	100	133.3	166.7	200	150	β-ms
7	166.6	166.7	150	133.3	166.7	156.6	os
8	100	177.8	133.3	164.2	150	145.1	β-ms
9	150	166.7	0	185.7	166.7	133.8	β-ms
10	142	177.7	0	183.3	200	140.6	β-ms
11	162	158.3	166.7	150	200	167.4	os
12	200	150	175	133.3		164.4	os
13	150	154.5	160	150		153.6	os
14	200			150		175	os
15	150	162.5	158.4	150	200	164.1	os
16	200		200	0		133.3	β-ms
17	150	166.7	133.3	200	166.7	143.3	β-ms
18	200	164.2	140	175	150	165.8	os
19	200	157.1	160	166.7	200	176.7	os
20	200	185.7	200	166.7		138.1	β-ms
21	0	160	200	162.5		130.6	β-ms
22	150	145	133.3	180	183.3	158.3	os
23	150	157.1	183.3	150	166.7	161.4	os
24	150	171.4	150	200	171	168.4	os
25	100	175	180	150		151.2	os
26	200	166.7	166.7	200	157.1	158.1	os
27	0	166.7	175			113.9	β-ms
28	200	160	166.7	200		146.6	β-ms
29	166.7		200	175		147	β-ms
30	125	162.5				143.7	β-ms

注：0- —200 ps，0—100 α-ms，100—150 β-ms，150—200 os.

形裸藻（*Euglena acus*）、扁裸藻（*Phacus*）、裸甲藻（*Gymnodinium*）、空球藻（*Eudorina elegans*）、实球藻（*Pandorina morum*）、囊裸藻（*Trachelomonas*）、尖尾蓝隐藻（*Chroomonas acuta*）、韦斯藻（*Westella botryoides*）等在各样点也都有一定数量的分布。从全湖各样点群落优势种及其普见种来看均属于 α-ms 或 β-ms 性指示种。

4. 硅藻指数 根据各样点浮游植物群落硅藻指数值(表 4)计算，全湖 30 个样点全年平均为 149.3。各样点评价结果为 os 15 个，α-ms 1 个，β-ms 14 个，为 β-中等污染。Sladeček 认为营养状态与污染程度有着特殊的联系，他将 β-ms 与 α-ms 等级与富营养水平相一致。

5. 综合指数 综合指数$=\frac{(\text{蓝藻门}+\text{绿球藻目}+\text{中心纲硅藻}+\text{裸藻})\text{种数}}{\text{鼓藻目种数}}$ 此指数<1 为贫营养型，1—3 之间为中营养型，>3 为富营养型。通过计算达赉湖浮游植物综合指数为 5.6，属于富营养型。

（二）不同湖区污染程度比较

达赉湖以东河渔场—红光渔场为界划分为南、北两大湖区。北湖区有乌尔逊河、达兰鄂罗木河两条河流，乌尔逊河发源于中蒙公共湖泊——贝尔湖，在我国境内的河段上没有工业污染，主要污染源是生活污水和牲畜粪便，据 1982 年水质监测结果，有机物、氮、磷含量较高，氟化物、砷、汞、酚均有检出。达兰鄂罗木河是一条调节性的河流，达赉湖经过这条河与海拉尔河相通，当海拉尔河水位高于湖水位时，河水经过达兰鄂罗木河流入湖中，当海拉尔河水位较低时，湖水又经过这条河流出，这条河是达赉湖唯一的一条出水河。海拉尔河主要接纳造纸厂、皮革厂、毛纺厂、发电厂、煤矿等行业的工业废水，主要污染物是氮、磷，毒物污染以碱、氰化物、砷、铬、酚为主。虽然污染负荷较高，但因这条河离达赉湖较远，水在流程中有一定的净化作用，加之达兰鄂罗木河是间断性的向湖中流水，一年中多半时间河水处于停滞状态，因此对达赉湖的污染较轻。

南湖区有克鲁伦河常年向湖中流水，克鲁伦河发源于蒙古人民共和国，在我国境内仅其下游约长 206 km。河两岸是牧民集中放牧处、河上游有熟皮厂和硝矿，河的主要污染物是氨氮、农药，毒物污染以氟化物、砷、汞、酚为重，是达赉湖的主要污染源。

1. 南、北湖区比较 北湖区总氮含量为 1.717 mg/L、磷为 0.07 mg/L，浮游植物种群数量其细胞数达 4260.1 万个/L，结合群落优势种及生化耗氧量值综合评价，属富营养型。硅藻指数值平均为 150.5，18 个样点中有 10 个点为 os，占 55.6%，故认为北湖区受到轻度污染。南湖区总氮含量为 1.627 mg/L、总磷含量为 0.126 mg/L，浮游植物种群数量达 4750.6 万个/L（细胞数），结合群落优势种及水平分布情况评价，属富营养型。硅藻指数值平均为 145.9，12 个样点中 7 个点为 β-ms，占 58.3%，受到 β-中度污染。

2. 湖的东、西岸带比较 湖东岸带总氮为 1.61 mg/L、总磷为 0.08 mg/L，硅藻指数值平均为 144.1，11 个样点中有一个点为 α-ms，6 个点为 β-ms，占 63.6%，表明已受到 β-中度污染。湖西岸带总氮含量为 1.74 mg/L、总磷为 0.09 mg/L，硅藻指数值平均为 133.8，11 个样点中有 6 个为 β-ms，占 54.5%，故认为受到 β-中度污染。

3. 湖心带 湖心周围总氮含量为 1.32 mg/L、总磷为 0.069 mg/L，硅藻指数值平均

表 5　浮游植物在各样点监测结果

Tab. 5　Densities of phytoplankton at various sampling stations

样点 Sampling station	细胞数(万个/升) Number of cells [×10⁴ per litre]					
	2 月 Feb.	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	年均 Mean
1	8995.2	358.1		477.5		3276.9
2	7253.6	1111.9	6569.9	3840.5		4694.0
3	4652.4	3187.0	4685.1	1380.5	9992.6	4779.5
4	4761.2	2620.6	1463.9	4662.9	6435.0	3988.7
5	5484.0		3033.4	2861.2		3792.9
6	926.4	3474.5	2198.2	3042.4	8558.9	3640.1
7	4033.2	6215.4	2297.6	8036.1	6930.1	5502.5
8	5594.1	4927.6	4396.0	3528.8	8876.4	5464.6
9	10922.8	3289.2	1448.3	5466.4	5235.0	5272.3
10	8427.6	1041.9	1690.1	1431.8	1610.7	2840.4
11	7975.9	3222.2	2711.3	1493.4	8394.1	4759.4
12	6705.2	2113.9	1233.8	3891.9		3486.2
13	8221.7	2406.4	15338.4	7385.9		8338.1
14	2146.6		1370.5	7235.3		3584.1
15	5088.0	2501.4	6687.5	4449.6	12508.1	6246.9
16	1681.6		14315.4	5833.5		7276.8
17	1183.2	2489.4	1728.8	4156.0	4418.1	2795.1
18	277.2	3123.6	952.6	4390.4	4144.9	2577.7
19	50.8	2916.2	1009.8	204.4	4028.2	1641.9
20	39.2	1849.9	1638.2	721.9		1062.3
21	2917.7	20389.4	2845.3	6654.7		8201.8
22	1675.5	1227.9	4238.2	5243.2	10803.4	4637.6
23	4502.1	660.1	2497.7	4333.9	8523.4	4103.4
24	4110.3	36122.4	1468.5	3303.1	9725.0	10945.9
25	4104.0	3965.6	4522.2	5904.4		4624.1
26	3437.3	2429.3	5426.7	3995.1	6747.0	4407.1
27	6551.6	2336.3	7653.9			5513.9
28	1158.8	5205.7	1421.4	9097.1		4220.8
29	460.7	7184.4	56.3	352.5		2013.5
30	379.3					

为 157.6，8 个样点中有 6 个点为 os，占 75%，污染程度均低于沿岸带，受到轻度污染。

20 年来达赉湖浮游植物的总藻量及蓝藻、绿藻的数量都有大幅度增加，群落种类组成也发生了一定的变化，1981 年为 8 门 88 属到 1988 年增加到 8 门 187 种属，而且绿藻、裸藻、隐藻的种类增多、数量增大都说明水体中营养物质丰富。水体中的有毒物质也在逐渐增多，1974 年水质监测结果有毒物质仅有少量酚，到 1983 年氟化物、砷、汞、酚均有检出，这些均表明水体污染在增加，人为的富营养化进程在加速。

参　考　文　献

[1]　大连水产学院。淡水生物学。北京：农业出版社，1983：212—254。

[2] 李汉卿等。环境污染与生物。哈尔滨：黑龙江出版社，1985：106—114。
[3] 周永欣等。水生生物与环境保护。北京：农业出版社，1983：99—109。
[4] 胡鸿钧等。中国淡水藻类。上海：上海科技出版社，1979。
[5] 蒙仁宪等。以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化。水生生物学报，1988，12(1)14—19。

AN EVALUATION OF WATER POLLUTION AND EUTROPHICATION IN THE DALAIHU LAKE USING PHYTOPLAKTON COMMUNITIES

Li Baoling Wang Yuting and Zhang Luzheng
(*Dalaihu Lake Fisheries Research Laboratory, Manzhouli* 021410)

Abstract

The seasanal changes in the ecological features of phytoplankton community including species composition, population size, dominant species, saprobic indicators, diversity index, diatom biotic index, comprehensive index ect, were preliminarily studied at 30 sampling stations in the Dalaihu Lake, Manzhouli. By using population densities (individuals and cells per litre), dominant species, saprobic indicators, diatom biotic indices and compre hensive index as the important biological parameters, the trophic level and saprobic degree were evaluated for both the whole and subareas of the lake. In the Dalaihu Lake, the annual mean density of phytoplankton reached 54.7×10^6 cells per litre or 2.3×10^6 individuals per litre. The diatom biotic index was 149.3, the comprehensive index was 5.6 and the saprobic indicators comprised 65% of the total species in the community. In Spring, the dominant species of planktonic algae were almost entirely composed of green algae, especially *Crucigenia quadrata* and *Oocystis*. In Summer, Autumn and Winter, the dominant species of planktonic algae were almost entirely composed of blue-green algae, especially *Microcystis* (*M. aeruginosa* and *M. flos-aquae*) and *Anabaena* (*A. spiroides* and *A. flos-aquae*).

All these features indicate that the lake has suffered from moderate pollution and can be regarded as a blue-green and green algae-eutrophic lake.

Key words Dalaihu Lake, Phytoplank on, Eutrophication