

86-92

洱海富营养化研究

杜宝汉 P 343 3

(大理州环境科学研究所, 大理 671000)

摘要 通过 1985—1988 年对洱海水体的水质、生物等参数的观测分析, 研究其富营养现状及变化规律。结果表明, 洱海已从 1985 年的贫中营养型湖泊向中营养型湖泊过渡。其营养状况的变化与流域气候、湖水水位以及非点源污染有关。

关键词 富营养化, 非点源污染, 洱海, 气候, 湖泊

洱海是云南高原的第二大淡水湖泊, 位于大理白族自治州中心地带 ($100^{\circ}05' - 100^{\circ}17'E$ 、 $25^{\circ}36' - 25^{\circ}58'N$), 水位在海防高程 1974m 时, 面积约 250km^2 , 最大水深 20.5m, 平均水深 10.5m, 容积约 $28.8 \times 10^8\text{m}^3$ 。洱海风光秀丽(国家重点风景名胜区), 水质良好, 自然资源丰富, 具有供水、发电、灌溉、养殖、航运、旅游、调节气候等多种功能。随着人类开发活动不断加剧, 洱海生态环境正在发生变化, 富营养化水平逐步升级, 水生生物群落结构发生演化, 利用功能受到影响。研究其富营养现状及变化规律, 对于合理开发利用洱海, 防止过早老化、消亡, 有重要意义。

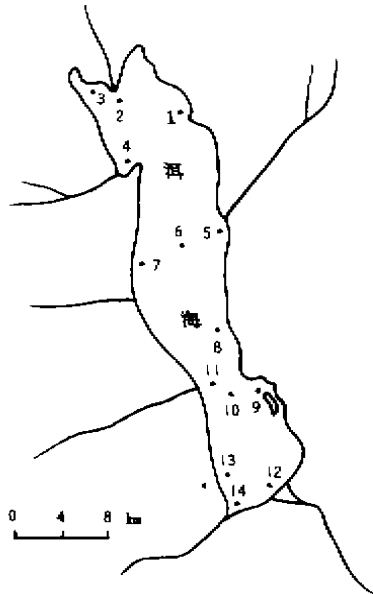


图1 洱海观测点位置图
Fig. 1 Sampling stations

一、工作方法

1. 布点原则

根据洱海形态、水文动力学特征、污染源分布、应用功能及水体多年监测结果进行优化布点(图 1)。

2. 采样时段

1985—1986 年, 每两月采样一次; 1987—1988 年每月采样一次。于当月 10 日晨采样, 并按 14、12、9、10、8、6、5、1、2、3、4、7、11、13 顺序进行。根据各个项目要求采取有关保存措施, 当晚进入实验室分析。

3. 分析方法

分析项目: SD、BOD₅、COD_{Mn}、TN、TP、优势浮游

植物、藻量、叶绿素 a 8 个项目。分别采用塞克板法、培养碘量法、过硫酸钾氧化联合测定

法、显微镜观察并计数和分光光度法测定。

4. 质控措施

TN、TP 作了空白、检出限试验、回收率试验、相关分析和截距检验。

对水样 TN、TP、COD_{Mn} 分别进行 1% 的空白、平行、加标回收率测定,测定值都在质控允许范围内。

除 1987、1988 两年在湖体增设 5 个观测点外,调查方法几年基本相同。由于洱海湖流特性及风扰动作用强烈,多年水质监测数据表明,在同一断面湖水水质差异不大,故认为两个时段可比。

5. 评价方法

参考美、日、苏、波兰等国家和国内太湖、东湖(武汉)、西湖(杭州)、滇池和大伙房水库等湖泊富营养化评价标准^[1-4],结合洱海多年观测资料,拟定出以 SD、BOD₅、TN、TP 等 8 项水质和生物参数为指标的富营养化评价标准(表 1)。

表 1 洱海富营养化评价标准

Tab. 1 Comprehensive evaluation of eutrophication in Erhai Lake

参数 营养类型 评分	水 质					生 物			
	SD (m)	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	优势浮游 植 物	藻 量 (10 ⁴ /L)	Chl-a (mg/m ³)	
极 度 贫营养	0	48	0.06	<1.0	0.01	0.004	—	<5	0.01
	10	27	0.12	1.0	0.02	0.009	—	5	0.26
贫营养	20	15	0.24	1.5	0.04	0.002	—	10	0.66
	30	8	0.48	2.0	0.08	0.005	金藻纲	20	1.60
贫中营养	40	4.4	0.96	3.0	0.16	0.010	隐藻纲	3.0	4.10
中营养	50	2.4	1.80	4.0	0.31	0.023	甲藻纲	50	10.0
中富营养	60	1.3	3.60	5.0	0.65	0.050	硅藻纲	100	26.0
富营养	70	0.73	7.10	6.0	1.20	0.110	硅藻藻纲	200	64.0
重富营养	80	0.40	14.0	8.0	2.30	0.250	蓝绿藻纲	500	160.0
严重富营养	90	0.22	27.0	10.0	4.69	0.560	绿裸藻纲	1000	400.0
异常富营养	100	0.12	54.0	12.0	7.10	1.230	异祥性生物	2000	1000.0

二、结 果

1. 洱海富营养化年际变化

1985—1988 年洱海营养化观测参数及评价结果见表 2。从表 2 可以看出,洱海从 1985 年到 1988 年富营养化水平在逐步升级,其中以藻类数量的增加尤为明显。已从原来的贫中营养型湖泊上升到中营养型湖泊。

表 2 洱海富营养化年际变化
Tab. 2 Variation of eutrophication in Erhai Lake

参 数 年 份	水 质					生 物			平 均 营 养 级
	SD (m)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	藻 量 (10 ⁴ 个/L)	优 势 浮 游 植 物	
1985	3.3	0.490	0.034	2.11	1.88	1.83	22.4	胞、硅	
评分	46	55	54	31	50	31	32	50	42.4 贫中
1986	3.5	0.510	0.030	2.33	1.89	1.43	34.81	胞、硅	
评分	45	56	52	34	50	30	35	50	42.8 贫中
1987	3.2	0.330	0.021	2.54	1.21	1.42	114.6	硅、胞	
评分	46	50	48	36	43	30	61	50	45.8 中
1988	3.3	0.312	0.018	2.76	1.34	1.43	151.4	胞、硅	
评分	46	50	46	38	44	30	65	50	46.6 中

2. 营养盐和叶绿素等要素的年内变化

洱海营养盐和叶绿素等要素 1988 年各月变化规律见表 3。可以看出其年内变化规律为：上年 12 月至本年 5 月(冬春季节)测值较低,6 月至 11 月(夏秋季节)测值较高,其中 8 月份 Chl-a 及藻类数量最大、种类也较多。

表 3 洱海营养盐及叶绿素等要素逐月变化情况(1988 年)

Tab. 3 Annual change of TN, TP and Chl-a etc. in 1988

要素 月 份	SD (m)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	藻 量 (10 ⁴ 个/L)	优 势 浮 游 植 物
1	4.1	0.313	0.008	2.10	2.83	0.651	126.6	胞
评分	42	50	36	31	56	20	63	40
2	4.8	0.160	0.019	2.46	1.09	0.486	94.6	胞硅
评分	39	40	47	35	42	15	59	50
3	4.2	0.235	0.017	2.92	1.34	0.494	98.4	胞硅
评分	41	45	45	39	44	16	62	50
4	3.8	0.364	0.010	2.30	0.96	0.515	84.7	胞绿
评分	43	52	40	33	40	16	57	65
5	2.8	0.355	0.013	2.92	1.56	0.891	76.2	胞硅
评分	48	51	42	39	47	22	55	50
6	3.0	0.303	0.029	2.97	1.29	0.655	123.2	胞硅
评分	47	50	52	40	44	20	62	50
7	2.8	0.260	0.021	3.24	0.73	2.076	223.9	胞硅
评分	48	47	48	42	35	32	71	50
8	2.6	0.186	0.019	3.02	2.19	3.002	326.5	胞硅兰
评分	49	42	47	40	52	36	74	70
9	2.9	0.267	0.020	2.81	1.16	2.091	132.2	硅胞
评分	48	48	48	38	42	32	63	50
10	3.0	0.270	0.027	2.93	0.82	2.365	200.0	硅胞
评分	47	47	51	39	38	33	70	50
11	3.3	0.414	0.017	2.95	1.90	1.755	165.1	硅胞
评分	46	53	45	40	51	31	66	50
12	4.0	0.317	0.015	2.97	1.38	0.782	136.5	胞
评分	42	50	44	40	45	21	64	40

3. 洱海富营养化水平分布

洱海各观测点水质、生物参数统计结果及评价见表4。

表4 洱海水质一览表(1988年)

Tab. 4 The physico-chemical properties of water quality in erhai lake (1988)

要素 测点	SD (m)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	藻量 (10 ⁴ /L)	优势浮 游植物	评分	营养级
1	3.7	0.301	0.011	2.57	1.13	1.434	174.2	隐绿	44	贫中
2	3.3	0.325	0.015	2.60	1.64	1.296	147.6	隐绿	48	中
3	2.1	0.330	0.023	3.29	1.73	2.342	185.1	隐蓝	51	中
4	2.7	0.372	0.015	3.35	1.66	2.470	211.6	隐蓝	50	中
5	3.7	0.279	0.021	2.68	1.54	1.263	131.3	隐绿	45	中
6	4.6	0.304	0.021	2.60	1.12	1.188	125.0	隐绿	44	贫中
7	3.8	0.277	0.015	2.80	0.84	1.088	135.6	隐绿	44	贫中
8	3.5	0.273	0.019	2.48	1.24	1.895	138.3	隐绿	45	中
9	2.5	0.328	0.013	2.68	1.13	0.945	130.4	隐绿	45	中
10	3.9	0.299	0.017	2.72	1.10	1.189	143.2	隐绿	45	中
11	3.5	0.345	0.023	2.62	1.46	1.695	153.4	隐绿	46	中
12	3.1	0.288	0.016	2.69	1.11	1.148	133.4	隐绿	45	中
13	3.5	0.307	0.022	2.67	1.36	1.013	149.6	隐绿	46	中
14	2.9	0.382	0.017	3.10	1.53	1.154	132.2	隐绿	47	中

对洱海水体富营养化观测点周年观测分析计算、评价结果,营养化分区情况如下:从东部红山到西部海舌为西北界,东部康廊至西部梅溪为东南界的深水区处于贫中营养状态;其余大部分水域处于中营养状态。从总体来看,贫-中营养状态水域占全湖面积约40%,中营养状态占60%左右(见图2)。

4. 洱海营养盐及叶绿素等要素的垂直变化

6号点代表深水区,水位1974m时,水深20.5m,分四层采样分析。

12号点代表浅水区,水深6m时,分三层采样。监测结果见表5。

从表5和图3可以看出,深水区TN含量随水深而逐渐增大,TP含量垂直分布无明显规律,COD_{Mn}垂直分布变化也不大,BOD₅随水深而减少,Chl-a随水深至12m逐渐增大,到底层又减少,藻量亦然。浅水区TN底层少于中、表层,TP中层少于表、底层,COD_{Mn}随水深减少,BOD亦然,Chl-a中层大于表层,表层又大于底层。但以上数值都在同一数量级上变化。

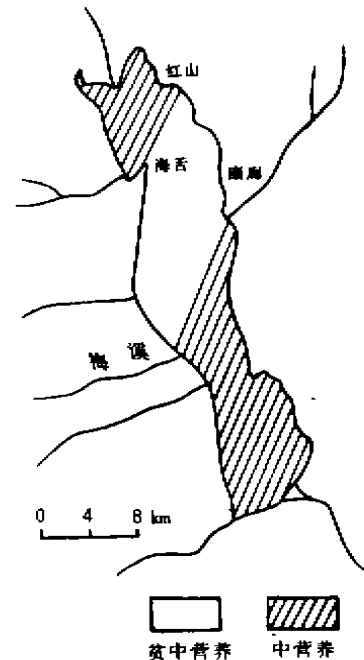


图2 洱海富营养化分区

Fig. 2 The distribution of eutrophication in Erhai Lake

表 5 1988 年营养盐及叶绿素等要素的垂直分布

Tab. 5 Vertical Profiles of TN, TP and Chl-a etc. in Stations 6, 12 in 1988

要素 点 层	水深 (m)	SD (m)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	藻量 (10 ⁴ /L)	优势浮 游植物
6-1	0.5	4.6	0.224	0.026	2.55	1.35	1.076	115.2	隐、链
6-2	6.0		0.284	0.017	2.44	1.34	1.250	135.3	隐、链
6-3	12.0		0.287	0.023	2.68	1.02	1.303	132.0	隐、链
6-4	18.0		0.419	0.019	2.71	0.76	1.125	117.0	隐、链
12-1	0.5	3.1	0.294	0.017	2.86	1.23	1.142	133.6	隐、链
12-2	2.5		0.294	0.014	2.70	1.25	1.256	123.8	隐、链
12-3	5.5		0.275	0.018	2.51	0.85	1.045	142.8	隐、链

三、讨 论

1. 1985—1988 年, 洱海富营养化从原来的贫中营养状态上升到中营养状态。在目前洱海点污染源不十分严重的情况下, 其富营养化变化及蓄水位密切相关, 见图 4。

洱海水位及蓄水的变化又与流域的降水量、入流水量及人为对水资源的开发利用密切相关, 见表 5。

由表 5 看出, 1985、1986 两年洱海流域处于丰水年(20%保证率), 入流量大于出流量, 全年保持较高水位; 通过地表径流、农田径流、湖面降水、工业、生活废水、养殖投饵、航运、旅游等入湖的氮为 1145.7t/a, 未超过在 20%保证率情况下的允许负荷(1569.5 t/a), 入湖磷为 123.8t/a, 超过在该保证率下允许负荷(69.1t/a)54.7t。但由于水位较高, 且在植物生长的旺盛的夏秋季节(6—10月), 降雨集中, 光照相对不充足, 水生植物的光合作用相对枯水年为弱, 对 N、P 的吸收也不够充分。所以, 尽管水中 N、P 含量高于枯水年, 但浮游植物的生物量却较低, 综合评价结果为贫中营养。而 1987 年流域处于 50%保证率, 入湖氮 989.1t/a、磷 108.1t/a, 氮未超过该保证率情况下的允许负荷, 磷超过 54.5t/a, 1988 年为 95%保证率, 入湖氮、磷分别为 670.2t/a、76.2t/a, 氮未超过该保证率情况下允许负荷, 磷超过 46t/a。由于降雨少, 出湖水量超过入湖水量, 蓄水少, 水位低, 光照充足, 水生植物光合作用强烈, 对氮、磷吸收充分, 水中 N、P 含量虽低于丰水年, 但浮游植物生物量猛增了 5—6 倍, 水体营养状

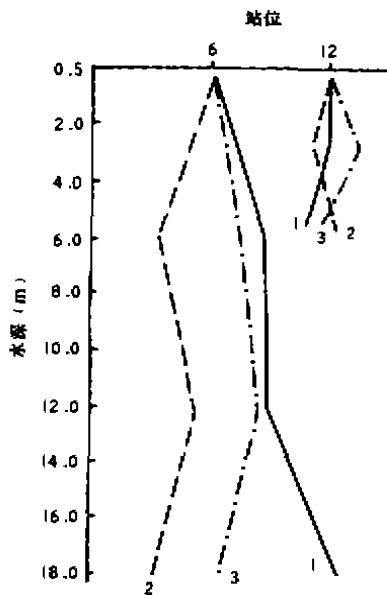


图 3 营养盐及叶绿素垂直分布

1—TN 2—TP 3—Chl-a

Fig. 3 Vertical profiles of TN, TP and Chl-a in Stations 6, 12 in 1988

态上升到中营养。因此, 在当前点源污染不突出的情况下, 防止洱海富营养化的关键措施是根据不同水情保证率年份, 合理开发利用洱海水资源, 使其保持合理水位、扼制水生植

物的剧烈增长,这也是合理开发利用保护洱海所面临的课题。

表6 洱海水位、蓄水与富营养化的关系

Tab. 6 Relationship between eutrophication and water storage, water level of Erhai Lake

年份	1985	1986	1987	1988
项目				
降雨(mm)	1078.9	1321.0	906.4	745.0
入流(10^8m^3)	10.39	9.92	6.68	3.03
出流(10^8m^3)	8.77	9.72	8.61	5.27
平均水位(m)	1972.83	1972.83	1972.54	1971.74
蓄水(10^8m^3)	25.8	25.8	25.2	23.0
营养级	贫中	贫中	中	中

2. 洱海夏秋季节营养盐份及叶绿素等要素测值较高,表现出营养状态也较高,是由于6—10月份洱海流域85%的降雨集中在该时段,大量营养盐份随地表径流、农田径流汇入洱海,增加水体营养盐负荷;加之气温较高,光照较强,水生植物生长旺盛,生物量猛增,耗氧增加,水体透明度下降。冬春季节降雨少、气温低,水生生物生命活动减弱,生物量减少,耗氧也少,水体透明度增高,表现出营养状态降为贫中营养。而评价一个湖泊所处营养状态不是用一年中的低值状态来评价,而是以一年中Chl-a高峰期相应的数值来综合评价。洱海一年中Chl-a高峰期在8月,与其它要素综合评价为中营养,作为代表洱海所处的营养状态。

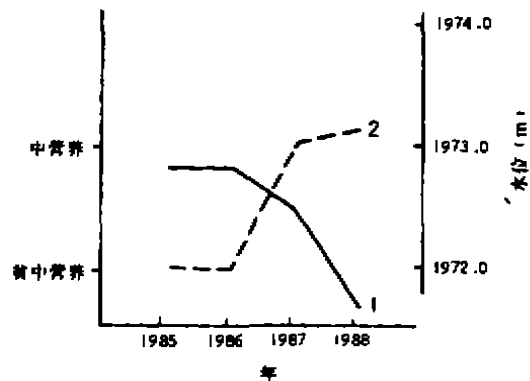


图4 洱海水位与富营养化的关系

1—水位 2—富营养化

Fig. 4 Interrelationship of eutrophication with water level in Erhai Lake

3. 洱海西北部水域营养状态较高(中营养),是由于该区有主要水源河——弥苴河等入湖,年入流量占全湖入流量的50%以上(20%保证率情况下为 $5.119 \times 10^8\text{m}^3$,占年入湖量的56.8%),沿河村镇、农田非点源负荷量大。50%保证率下入湖氮、磷分别为238.6t/a、26.1t/a;该区又是洱海网箱养鱼最集中的水域,养殖投饵年入湖氮、磷分别为62t/a、9t/a,且该区又属浅水地带,水生生物在营养盐充足的情况下生长十分茂盛,透明度也较低,故营养状态较高。

南部大片水域,由于湖滨人口密集,工农业生产较发达,捕鱼、航运、旅游等人为活动频繁,营养盐负荷大。仅生活污水、工业废水、捕鱼航运、养殖等年入湖氮、磷分别为69t/a、12.6t/a,该区水浅,且腐殖质层厚,底质向湖水释放的氮、磷较丰,水生生物繁茂,透明度较低,故营养水平高。

中部属深水区,底质为砂质,这里人为活动较少,营养盐负荷也较小,水生生物生长受到水深及营养盐的限制,生物量较小,透明度高,营养水平较低,水质较好。

4. 洱海水体营养盐及叶绿素等垂直分布规律不明显,是由于洱海地区风大、风期长,年平均风速2.3m/s,最大风速40m/s,大于17m/s的大风天数56d,最长达110d,风对湖

水的扰动强烈;湖南部有一个气旋式环流区,中部有一个反时针环流区,北部也有一个环流区;湖流垂直分布表层与底层流向相反,风成表层流在水平压力梯度垂直变化不大,在垂直断面形成底层驱动与表层流向相反的补偿流。

以上诸因素的作用下使湖水在同一区域混合均匀,相对稳定,水体中营养盐及叶绿素等要素的垂直变化不甚明显。

参 考 文 献

- [1] 舒金华. 第一次湖泊环境保护学术讨论会文集. 1982, 13—17.
- [2] Vollenweider, R. A and Dillon P. J., Tech. Rep. 42, 1974.
- [3] Carlson, R. E., A Trophic State Index for Lakes, *Limn. and ocean.* 1977, 22(2): 361—369.
- [4] 李跃青、杨臻. 滇池富营养化调查. 云南环保(增刊), 1987, 47—50.
- [5] 杜宝汉. 大理州湖泊营养化及对策研究. 环境科学, 1987, 8(5), 16—21.
- [6] 《全国主要湖泊水库富营养化调查研究》课题组. 湖泊富营养化调查规范. 北京, 中国环境科学出版社, 1987, 271—282.
- [7] 杜宝汉. 云南洱海科学论文集, 洱海营养化及趋势预测研究. 昆明, 云南民族出版社, 1989.

STUDY ON EUTROPHICATION OF ERHAI LAKE

Du Baohan

(Dali Prefecture Environmental Science Institute, Yunnan 671000)

Abstract

Erhai Lake, located in the central part of the Dali Bai National Autonomous Prefecture, extending from Eryuan County to Dali City, at $100^{\circ}05' - 100^{\circ}17'E$ and $25^{\circ}36' - 25^{\circ}58'N$, is the second largest fresh water lake in Yunnan Province with a surface area of 250km^2 , catchment area of 2565km^2 , and mean and maximum depths of 10.5m and 20.5m, respectively and capacity of $28.8 \times 10^8\text{m}^3$.

The eutrophication conditions of Erhai Lake is studied by analyzing the data obtained from 1985 to 1988 on water quality and biology properties. The results indicate that in 1985 Erhai Lake began to be from the oligotrophic to mesotrophic due to climate of the catchment, water level fluctuation and pollution of nonpoint sources.

Key words Eutrophication, pollution of nonpoint sources, Erhai Lake