第11卷 第2期
1999年6月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol.11, No.2
Jun., 1999

洱海富营养化影响因素分析*

潘红玺[1] 王云飞[1] 董云生[2]
(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008;2:云南省大理白族自治州洱海管理局,大理 671000)

提 要 水质富营养化评价表明,洱海现属中营养水平.根据全年平均状态下的某些单项指标评分或近年来某些时段的全湖营养类型综合评分,将洱海评价为从中营养状态向富营养状态过渡型的湖泊可能更为适宜.与历史资料相比,80年代至今富营养化进程较快,主要营养盐有递增趋势.其主要原因为,流域面源污染、湖水长期低水位运行、不适宜的资源开发等,从而导致洱海向富营养湖泊发展的趋势.

关键词 洱海 富营养化 影响因素
分类号 X524

洱海是云南省第二大淡水湖泊,位于东经100°05′-100°17′,北纬25°36′-25°58′,地处云南中部偏西、大理白族自治州中心地带,跨洱源、大理两县市,是沿湖人民生活、灌溉、工业用水的主要水源.

70年代,洱海水量充沛,水质良好,水生生物资源丰富,风景优美,享有高原明珠的美称.近年来随着社会经济的发展,人类对其开发活动的不断加剧,洱海生态环境逐渐退化.水质变差和富营养化升级是洱海面临的主要环境问题之一.通过1996-1997年洱海丰、枯期两次水环境调查研究,参考70-80年代水质监测资料和大理州洱海管理局、环境保护局90年代水质调查的资料综合分析如下:

1 水质富营养化评价与变动趋势分析

1.1 评价标准和方法

采用分级法评价,选择了与湖泊富营养化关系最为密切的藻类生物量、优势种、Chla, TN, TP, SD, COD作为评价参数;评价标准参考太湖的以百分数划分湖泊营养方法为基础[1],采用单项评分和综合计分方法,确定洱海某一水域的营养类型评价标准.

1.2 评价结果

评价结果表明(表1),全湖以藻类优势种和生物量对全湖营养类型的影响最大,其次TP, TN和反映湖水受有机污染的指标COD评分也较高.就其单项评分已属富营养类型(>55)或进入中营养类型的上限范围(50-55),但由于SD和Chla两项评分低,故根据丰、枯两期监测结果的全湖综合平均得分48,洱海总体上仍属中富营养类型的湖泊.另从1996-1997年各项水质监测资料显示,仅从全湖的平均状况有时还很真实的反映湖泊的富营养化趋势.据杜宝汉[2]资料,1996年9-10月间,洱海发生了全湖性的蓝藻水华暴发,最严重的大理市的饮用水源被污染,发生了全市性的环境缺水.该时段的各单项评价指标数据和全湖平均评分分别如下:SD0.6-1.8m, 70分;TN0.45-0.7mg·L^{-1}, 57分;TP0.01-0.04mg·L^{-1}, 48分;藻类数量212.8×10^4-1219.6×10^4个·L^{-1}, 87分;藻类优势为螺旋鱼腥藻(*Anabaeng spiroides* Klebahn)和水华微囊藻(*Microcystis flos-aguae*(Wittr.) Kirchn.),评分75.全湖综合平均得分高达64分,表明该时段洱海已短时期进入富营养化状态.从以上全年平均状态下的某些单项指标评分或近年来某些时段的全湖营养类型综合评分,将洱海评价为从中营养状态向富营养状态过渡型的湖泊可能更为适宜.

1.3 变动趋势分析

对洱海作全湖营养类型评价最见于1981年[3];1987-1988年在全国湖沼富营养化调查中,洱海作为一

* 中科院湖沼专项"湖沼系统影响与对策研究"资助项目.
收稿日期:1997-12-24;收到修改稿日期:1998-06-10.潘红玺,男,1950年生,高级工程师.

个点开展了较系统的工作[4];1996－1997 年本研究也对洱海的营养状况进行了分析．对比这三段时期的研究成果中获得近 20 年来洱海湖水营养状况的大致变化过程和特点．1981 年以前洱海湖水的水质较好,污染程度轻．从 TN、TP 单项指标评价,属贫－中营养类型湖泊．虽然因藻类生物数量较大,但综合评分也刚跨入中营养类型(45－55 分).1982－1986 年间在水位急剧降低的背景下,洱海也成为大理市工业和生活污水排放场所,使湖水中 TN、TP 的含量急剧增加,其单项评分分别超过和接近富营养化的上限(＞55 分).由此 1987 年大理市建成了污水截流骨干工程,将大部分工业废水和城市生活污水直接排入西洱河,力图保护好洱海环境不再受损坏．1987－1988 年湖水营养指标的变化反映点源污染经控制后的状况,但 90 年代以后(表 2)数据表明洱海的富营养化又急剧发展[5],以 1996 年最严重[2]．其变化特点首先表现在藻类生物数量从 151.4×10^4 个·L^{-1}增高至 902×10^4 个·L^{-1}和 850×10^4 个·L^{-1},优势种也从隐藻、硅藻变化为硅藻和蓝藻、硅藻．水质监测资料显示优势种的变化远比生物数量的增减对湖水水质的危害大．水华蓝藻取代单个硅藻成为优势种群后极大的降低湖水透明度和水资源的使用价值,其次反映湖水受污染状况的 TN、TP 变化较大．1988 年 TN 和 TP 的全湖平均含量分别为 0.31mg·L^{-1}和 0.018mg·L^{-1};1996 年蓝藻暴发前夕和盛期 TN 由 0.35mg·L^{-1}增至为 0.052mg·L^{-1},TP 由 0.039mg·L^{-1}降低为 0.02mg·L^{-1},显示湖水的磷负荷与洱海营养水平和蓝藻暴发的关系更大．

表 1　洱海营养类型评定

Tab.1　Assessment of nutrient type of Erhai Lake (1996－1997)

测 点	SD	TP	TN	化学耗氧量	Chl.a	藻类生物量	优势种	平均得分	营养类型
1	44	54	51	55	34	73	60	53	中营养
2	41	55	48	53	31	39	60	47	中营养
3	38	52	50	54	31	52	60	48	中营养
4	36	53	49	56	26	69	60	50	中营养
5	37	55	52	53	26	71	60	50	中营养
6	34	52	49	52	27	45	60	46	中营养
7	39	57	55	59	24	31	60	46	中营养
8	40	53	52	59	27	52	60	49	中营养
9	38	53	56	54	28	40	60	47	中营养
10	36	56	55	55	24	40	60	46	中营养
平均	38	54	52	55	29	52	60	48	中营养

表 2　90 年代洱海水质营养类型的统计(平均结果/评分)*

Tab.2　Evaluation of nutrient type of Erhai Lake in 1990s(mean/index)

日期	SD/m	TN /mg·L^{-1}	TP /mg·L^{-1}	COD /mg·L^{-1}	Chl.a /μg·L^{-1}	生物数量 /万个·L^{-1}	优势种	平均得分
1996 年 8 月	4.51/39	0.35/51	0.039/56	2.93/56	2.15/32	902/89	硅藻/60	54.9
1996 年 9－10 月	0.73/70	0.52/57	0.02/48		1.55/47*	850/87	蓝藻、硅藻/75	64
1997 年 5 月	5.65/37	0.39/53	0.029/52	2.51/54	0.77/22	258.4/71	硅藻/60	49.9

* BOD_5.

2 影响因素分析

据前文,当前洱海水质的富营养化已严重威胁湖泊环境和水资源质量,因此科学的分析引起富营养化的人为影响是治理和调控的前提.湖泊富营养化的形成主要来自两个方面:一是湖泊的内源营养盐释放;二是外源输入负荷.据对水体中化学指标、底质、生物的采样分析及湖区环境的调查研究,洱海富营养化影响因素主要有以下几个方面:

2.1 流域地质背景影响

湖滨地带性自然土壤为山地红壤，夹杂着耕作土和水稻土．据分析土壤中有机质含量丰富，如阳南河水稻土为 13.04%、喜洲万花溪旱田高达 14.31%等；河道沉积物中最高为 8.95%（罗时江），最低含量也在 1.5%（大理东河）以上．有机质含量丰富的土壤土，N、P 含量也很高，如阳南河水稻土中 TN 为 0.5656%、TP 为 0.319%；喜洲万花溪旱田 TN 为 0.649%、TP 为 0.375%．近年来流域内的森林砍伐、破坏植被垦荒和采石等人类活动增大水土流失是洱海水体中营养盐增高的因素之一．

2.2 长时期维持在低水位运行

在湖水 N、P 等营养盐的净输入量大体相同的情况下，保持洱海较多的入湖水量和较高的水位具有营养盐的稀释作用．但近年来洱海的水资源开发强度增大，1990－1995 年的 6 年中，多年平均净入湖水量为 $9.08\times10^8 m^3a^{-1}$；但包括西洱河发用电用水和引洱入宾调出的多年平均净出流量已达 $8.76\times10^8 m^3a^{-1}$，加上湖区工农业用水损耗约 $0.5\times10^8 m^3a^{-1}$，实际水量平衡约有 $0.18\times10^8 m^3a^{-1}$ 的出超．表现在年平均水位逐渐降低，1991 年为 1973.07m 至 1995 年已减少到 1972.78m．尤其 1996 年上半年入湖水量少，6 月底时洱海水位已降低至 1971.92m 累计减少水资源量已达 $1.1\times10^8 m^3a^{-1}$，加上适宜的温度和光照配合，为 9－10 月蓝藻大爆发创造了有利的水文条件．

2.3 流域内面源污染增强

据 90 年代初研究，排入洱海的 47.8%的氮，58.5%的磷来自入湖河溪，均大于其它各污染源入湖量[4]．大理州工业布局，主要工业区配置在洱海下游西洱河流域，洱海的大型点污染受到控制．但随着人口增加和城镇规模扩大，受湖泊资源的开发深度和强度增大以及经济发展和居民生活习惯的变化等影响，面源污染增强是导致洱海富营养化许多外部原因中最根本的原因之一．

洱海的北部大部分地区为农业用地．该区主要通过弥苴河、罗时江、永安江等向洱海排水，输入的氮、磷，约占入洱海总量的 50%左右，成为洱海最大营养源．南部有波罗江，面源污染主要表现为农田径流，乡镇企业及村落污染；东部有玉龙河、下河等，主要污染为海东、挖色村镇的生活污水；西部有苍山 18 溪，而源污染主要为大理古城、周城、喜洲镇的乡镇企业污染、村镇和旅游景点污水及低地坝区农田污染．出水口西洱河流域内主要的工矿企业集中在这里，有建筑、金属、水泥、石灰、造纸、印染、化工、酿酒等，设备简单、工艺落后的中小型企业，年排放工业废水 1694.81×10^4t，废气 38.81 亿标 m^3，西洱河的水质已严重污染．近年来农业使用化肥、农药量增大．据调查洱海西部地区 $1hm^2$ 均施用有机肥 36150kg，尿素 378－450kg，普钙 379.5kg，硫酸钾 58.5kg．北部地区 1994 年达到 $240kg\cdot hm^{-2}$ 化肥总使用量为 4037t．湖的南部和东部地区亩均化肥使用量尿素 $750kg\cdot hm^{-2}$ 碳氨 $300kg\cdot hm^{-2}$，磷肥 $300kg\cdot hm^{-2}$，钾肥 $37.5kg\cdot hm^{-2}$．农作物对化肥的利用率一般氮为 25%－50%、磷为 10%－20%，其余均挥发到大气中或流失进入地表水．例如：湖北部地区农田径流使 60%－80%的颗粒态磷和 20%－30%的颗粒态氮迁移进入地表水．其次居民生活习惯的改变，含磷洗涤剂被广泛使用，根据流域内含磷洗涤剂的实测结果：1g 洗涤剂（普通洗衣粉）里磷的含量按低标准约为 0.021g，流域内人口以 69 万计算，按平均 4 人为 1 户，每户每月用 2 袋（$450g\cdot$袋$^{-1}$）计算，经估算每年仅使用的洗涤剂里就约有 39g 磷在洱海流域内流失．面源污染通过环湖农田“跑马式”的灌溉汇入入湖河流．河道已成为人们生活中的“垃圾箱”．从几条主要入湖河道的水质检测结果分析，河道污染严重（表 3）．尤其靠近下关的阳南河化学耗氧量高达 $18.04mg\cdot L^{-1}$，总磷含量最达 $0.66mg\cdot L^{-1}$，总磷、总氮指标都已达严重富营养型．另从 DO、COD 和 TP 的年变化（图 1、图 2）看出，面源污染物主要由丰水期进入湖区，造成丰水期湖区水质较其它季节溶解氧偏低，化学耗氧量、总磷高于其它季节．

据测算洱海的氮、磷每年允许负荷（WS）约分别为 1254.8t 和 62.72t．但近年来每年入湖的氮和磷总量分别达 989t 和 108t，其中磷已超过允许负荷的 1.7 倍．因此削减面源污染应列为人工调控的首选措施．

2.4 资源开发中的湖内消极因素

洱海的网箱养鱼由 1984 年的 $0.45hm^2$，发展到今天的沿湖 11 个乡（镇）、28 个村公所，面积约 $10hm^2$．鱼产量上升了，渔民的收入也增加了，同时使湖水污染增强．

表 3　河道、湖区化学指标的对比　　单位:$mg\cdot L^{-1}$

Tab.3　Comparison between open water and inflows ($mg\cdot L^{-1}$)

项　目	阳南河	大理南河	大理东河	罗时江	波罗江	弥苴河	湖　区
COD_{Mn}	18.04	9.7	3.96	5.51	4.17	3.55	2.72
TN	2.56	6.34	2.54	3.26	1.21	0.64	0.37
TP	0.66	0.51	0.62	0.32	0.13	0.38	0.03

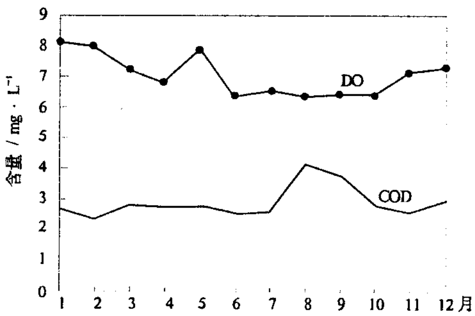

图 1　洱海水体中 DO、COD 月变化曲线

Fig.1　Annual evaluation of DO and COD of Erhai Lake(1996－1997)

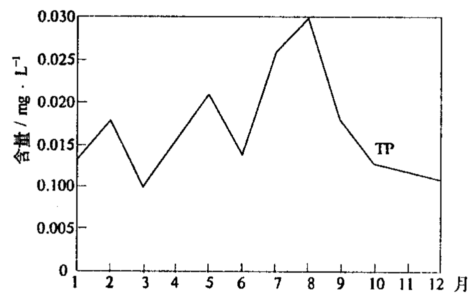

图 2　洱海水体中 TP 月变化曲线

Fig.2　Annual evaluation of TP of Erhai Lake (1996－1997)

据几个网箱区与敞水区取样分析,其结果证实网箱区的污染指标要高于敞水区(表 4).洱海属于吞吐型湖泊,因湖水本身有自净的作用,小范围的网箱养鱼对湖水的水质影响不大,但盲目扩大面积或网箱过于集中则会造成水质恶化.

洱海湖区的旅游事业近年来发展比较快.湖区旅游景点已有 10 余个,湖内拥有的各类船只已达 5488 只,小船改大船、木质改铁质、人力改机动,严重失控.据估算机动船只年流入洱海的油污染总量已达 30 多吨.旅游业的发展,水质受污染的威胁日趋严重.湖内旅游景点的水质污染指标与湖区其它测点相比都很高.例如金梭岛,COD、TP 的含量为全湖最高,分别为 $4.26mg\cdot L^{-1}$、$0.089mg\cdot L^{-1}$,P 的指标已达富营养型.DO 的含量为全湖最低,为 $5.68mg\cdot L^{-1}$.因此在旅游业发展的同时,应制定保护水环境的各项法规.

表 4　网箱区与敞水区污染指标的对比　　单位:$mg\cdot L^{-1}$

Tab.4　Comparison of pollution index between open water and area with fish penculture ($mg\cdot L^{-1}$)

取　样　点	COD_{Mn}	TN	TP
网　箱　区	5.06	0.64	0.065
敞　水　区	3.85	0.53	0.058

3　结论

为了防止洱海水质继续恶化,缓减富营养化进程,提出以下几点建议:

(1) 合理开发和科学利用水资源.

(2) 禁止湖面网箱养鱼,保护水生高等植物;控制湖面旅游船尤其个体小旅游船的盲目发展,禁止废弃物排入湖中.

(3) 削减河道上游点源和面源污染排放量,控制环湖河道主要污染物的入湖总量.

(4) 湖滨和流域内荒山、荒坡植树造林,防止水土流失和减少氮、磷流失;禁止使用含磷洗涤和减少减肥

使用量,降低水体磷的污染负荷;城镇工业及生活污水需经处理方能排入河道,确保河道水质洁净.

以上几点建议也许是保护洱海生态环境和遏制富营养化发展的较为切实的举措.

参 考 文 献

1 孙顺才,黄漪平等.太湖.北京:海洋出版社,1993.229

2 杜宝汉.洱海富营养化研究.云南环境科学,1997,16(2):30-34

3 中国科学院南京地理与湖泊研究所等.云南断陷湖泊环境与沉积.北京:科学出版社,1989

4 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛等.中国湖泊富营养化.北京:中国环境科学出版社,1990.373-389

5 王云飞,潘红玺,吴庆龙等.人类活动对洱海的影响及对策分析.湖泊科学, 1999,11(2):123-128

Factor Analysis of Eutrophication in Erhai Lake

PAN Hongxi[1] WANG Yunfei[1] DONG Yunsheng[2]

(1: *Nangjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008;
2: *Erhai Administration Bureau of Yunnan Province, Dali* 671000)

Abstract

Analysis of water quality and evaluations show that the Erhai Lake is in a mesotrophic state. According to evaluations on some annual average state and on all lake nutrition types at some period of recent years, it is feasible that Erhai Lake now is assessed to the transition type between mesotrophic and eutrophic state. Compared with historical data, from the 1980s the pace of eutrophication was a little fast and the nutrients elements concentration increased gradually. Factors that result the changes are: (1) increasing of contaminants within the catchment; (2) lake being at low water level for a long time, and (3) unreasonable exploring of natural resources.

Key Words Erhai Lake, eutrophication, factor