

# 洱海富营养化探析及防治建议

李杰君

(大理州环境监测站,大理 671000)

**提 要** 通过对洱海富营养化成因因子分析,初步探讨了洱海在中营养水平暴发蓝藻水华的原因,认为洱海富营养化不仅与营养盐的积累有关,而且与环境因子、生物因子密切相关,三者共同作用导致了洱海呈现富营养化的特征.并分析了洱海所面临的主要环境问题,提出防治洱海富营养化的对策和建议.

**关键词** 洱海 富营养化 因子分析 防治

**分类号** P343.3/X524

1996年秋季洱海蓝藻水华暴发,无疑是大自然向人类发出的严厉警告.至今洱海蓝藻大量生长的状况仍未能得到有效控制.从宏观面上分析,洱海富营养化的发展与历史上几次大的开发活动密不可分.从降低水位放水发电到网箱养鱼的发展,从旅游业的兴旺到机动渔船的泛滥,无不对洱海的生态环境产生了巨大的影响.

## 1 洱海富营养化成因分析

### 1.1 营养因子

氮、磷是水生生物生长所必需的营养元素,营养盐与生物量之间有一定的响应关系.因此氮、磷营养因子成为富营养化的决定性因素.洱海营养物质的大量输入可追溯到七十年代.化肥的使用改变了传统农业施肥的方式,湖区农田残余化肥经地表径流逐渐汇入湖中.八十年代湖水的氮磷营养盐并未明显增高,控制性因子总磷含量也仅为 $0.011\text{mg/L}$ ,洱海营养状况评价为贫—中营养级,但洱海的生态环境却发生了显著的变化.1957年调查洱海时湖水透明度为 $0.8\text{m}-0.9\text{m}$ ,沿岸带水草较丰富,在 $3\text{m}$ 以下深处无水草<sup>[1]</sup>;1982年调查发现水生植被逐渐扩大,植物群落密度增加,沉水植物群落占有显著地位,水草覆盖面积达到 $3/5$ ,透明度达到 $4\text{m}$ <sup>[2]</sup>.透明度增加是水生植物为适应生存而对环境因子进行的生物调节作用的结果.这一时期,输入的营养盐被逐渐扩大的沉水植物所消耗,洱海初级生产力大幅增加,营养盐进入水生植物以另一种状态积蓄起来,水中营养盐输入和输出暂时达到了平衡,同时沉水植物的竞争作用对浮游植物的生长产生了抑制作用.

九十年代以来,网箱养鱼面积大幅度增加,旅游业日渐兴旺,营养物质进入水体速度加快,同时由于过度打捞水草喂养网箱草鱼,水生植被遭到严重破坏,氮磷营养盐进入沉水植物的正常途径受到阻碍,水中营养物质的输入大于输出,洱海水中营养盐呈缓慢增高趋势,1996年全湖总磷平均值达到历史最高值(表1),1996年蓝藻暴发与营养盐浓度的增高有着直接的联系,洱海初级生产力增长的方式转为藻类大量繁殖.1996年禁止打捞水草后,适宜的环境条件使

• 收稿日期:1999-09-08;收到修改稿日期:2000-05-21. 李杰君,男,1962年生,高级工程师.

水生植被迅速得到恢复,到 1998 年水草覆盖率从 17% 增加到 30%,同时密度增加,水中大量营养物质被沉水植物所吸收,这一时期水体氮磷有所下降.由于未进行适度的打捞,沉水植物死亡后,又释放出氮、磷等营养元素重新进入水体形成二次污染.

表 1 洱海全湖总氮、总磷年度平均值

单位:mg/L

Tab. 1 TN and TP average annual of Dali-Lake Erhai

年 度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
总 氮	0.20	0.30	0.25	0.29	0.36	0.28	0.38
总 磷	0.014	0.017	0.016	0.015	0.022	0.019	0.022

衡量水体营养状态的指标主要有总磷、Chl. a、透明度等.对照营养状况指标,洱海营养状态为中营养级(表 2).1996 年 10 月洱海暴发蓝藻,藻类细胞平均数从 8 月丰水期的 698.1 万个/L 陡增到 4308.8 万个/L,藻类细胞平均数增加了 5.17 倍;优势种从钝脆杆藻突变为螺旋鱼腥藻.浮游植物量和质的变化,使洱海出现了富营养化特征,与其它湖泊相比,洱海在中营养级出现蓝藻水华现象,确实让人费解.从富营养化的另一个因素——环境因子的分析也许会有一些启示.

表 2 湖泊营养状态值表\*

Tab. 2 Lake trophic typer of Lake

指 标	总磷平均值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Chl. a 平均值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Chla 最大值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	SD 平均值 (m)	SD 最小值 (m)
贫营养	<10	<2.5	<8	>6	>3
中营养	10-35	2.5-8	8-25	3-6	1.5-3
富营养	35-100	8-25	25-75	1.5-3	0.7-1.5
洱 海	22	1.49	6.73	3.6	1.2

\* 1998 年洱海全湖数据

## 1.2 环境因子

环境因子是指生物生态水域的物理化学因子,其中光照和水温是植物进行光合作用的必要条件,前者决定细胞内酶反应的速度,后者提供代谢的能源,二者共同作用影响着水体的生产力水平.而生物量的季节变化,出现峰值的时间,主要取决于水温和光照.洱海属高原湖泊,海拔 1965.8m,气候温和,光照充足,给水生植物提供了良好的外部条件.该区域太阳辐射量明显高于平原地区,和洞庭湖区域辐射量  $459.8\text{kJ}/\text{cm}^2\cdot\text{a}$  相比,高出 27.3% - 36.4%;即使与海拔相近的滇池相比,也存在着差异(表 3),虽然洱海日照时数低于滇池,但太阳总辐射量却高于滇池,洱海湖区平均气温大于  $10^\circ\text{C}$  年积温也明显高于滇池湖区.洱海湖区环境因素为浮游植物的大量繁殖提供了极其有利的条件,夏秋季节适宜的水温和强烈的太阳辐射往往是蓝藻大规模暴发的时机.所以洱海呈现富营养化特征与洱海特殊的环境因子密切相关,是营养因子和环境因子共同作用的结果.同时也说明由于其特殊地域环境因子的作用,洱海生态脆弱,湖泊承载能力低.

## 1.3 生物因子

浮游植物的种群和生物量是湖泊生态系统的核心,它即受到营养盐的影响,又受到上级食物链的控制.多年来,洱海生物因子的变化主要表现在初级生产力迅猛增长,而上级食物链种

群数量相对不足. 1991 年引进以捕食浮游动物为主的太湖新银鱼 (*Neosalax taihuensis*), 1996 年分析结果显示轮虫、枝角类和桡足类的全湖平均数量比 1982 年减少 79%<sup>[3]</sup>, 太湖银鱼产量却达到了 600t; 八十年代一度增加了草鱼等的放养量, 1986 年草 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) 鱼上市量曾达到 35%, 为 1985 年的 7 倍, 鲫鱼 (*Carassius auratus*) 占 65%. 但九十年代以后食草性、食藻性鱼类相对减少, 鲫鱼却占了鱼产量的 80% 以上. 另外机动渔船过快增加和捕捞方式的改进使鱼产量急剧下降. 食物链种群数量和结构的变化使得上级食物链对浮游植物的控制能力减弱, 造成初级生产力生长速率与消费之间的平衡严重失调, 湖内营养盐输出路途受到阻隔. 洱海蓝藻暴发除了营养因子、环境因子等主要因素外, 湖内生物因子种群结构、数量失去平衡也是其重要原因.

表 3 洱海、滇池环境因子对照<sup>a</sup>

Tab. 3 Dianchi Lake environmental factor with different of Lake Erhai

	湖面高程 (m)	平均气温 (℃)	>10℃年积温 (℃)	日照时数 (h)	日照百分率 (%)	太阳辐射量 (kJ/cm <sup>2</sup> ·a)
滇池	1886.2	14.8	4561	2486	56	571.8
洱海	1965.8	16.2	5400-5500	2250-2480	52-56	585.2-627

\* 数据引自《云南高原“四湖”的生态问题与生态后果》

## 2 洱海面临的主要环境问题

### 2.1 人口压力过大

截止 1997 年底, 大理市人口达到 48 万人, 比 1985 年的 39 万人, 增长了 23%. 随着人口增长和生活水平提高的双重影响, 生活废弃物将成倍增加. 城市居民中每人每天可排放总氮 10g, 总磷 2g 进入水体<sup>①</sup>, 按大理市总人口计算每年可排放总氮 1828t, 总磷 345.6t. 另外洗衣粉和含磷洗涤剂用量迅速增长, 1980 年含磷洗衣粉全国人均用量仅为 0.3kg/a, 到 1996 年人均用量达到 1.6kg/a, 增长了近 6 倍<sup>[4]</sup>. 发达国家湖泊中磷含量的 90% 来自于生活废水<sup>[4]</sup>, 因此许多国家都采取了禁磷措施. 采取对生活废水集中处理的方法存在一定的困难, 经过二级生物处理, 有机物去除率可达到 90%, 而营养盐中氮磷的去除率却只有 30%<sup>[4]</sup>. 虽然废水能达标排放, 但无助于防止水体富营养化, 必须采取三级生物处理才能奏效. 何况废水处理只能解决相对集中的城镇污染, 湖区分散居住的村民占湖区总人口的 65% 以上, 这部分生活废水不可能集中处理. 人口压力的增大, 使洱海的防治任务更加沉重.

### 2.2 水源受到截流和污染

洱海的水源主要有茭碧湖、西湖、海西海和苍山十八溪. 随着社会的发展和工农业的需要, 洱海入湖水量和水质发生了很大的变化. 上游水库的兴建, 阻截了部分水源, 十八溪优质的水源也逐渐被截取作为饮用水源和工农业用水. 水资源被截流带来的环境问题, 一方面使人湖水量减少, 另一方面优质水源被利用后成为污水排入洱海, 加重了洱海的负荷, 水资源被截流和污染, 将造成洱海优质水源减少, 湖水循环速度减慢, 形成恶性循环.

① 任久长. 环境生态学. 北京大学环境科学中心. 研究生课程进修班教材, 1998

### 2.3 旅游业的危害

洱海的资源功能多种多样,概括起来主要有饮用水资源、工农业用水资源、电力资源、渔业资源和旅游资源。旅游资源举足轻重,目前大理旅游业已进入高速增长期,1998年共接待国内外游客427万人次,比1997年同期增长了16.0%,旅游业收入比上年同期增长了28.0%,高速增长的势头仍将持续,大理旅游业的经济价值已凸现出来。洱海是大理旅游资源的最重要组成部分,旅游业在获取经济效益的同时,却表现出环境负效益的增加。1996年游船取消了船上用餐,增设了粪便、垃圾存贮设施,使流动污染源初步得以控制。但是旅游业不仅限于游船的污染。近年来大理旅游设施和景点的建设方兴未艾,遍布苍洱风景区,“无烟工业”的污染已令人堪忧。旅游人口排放的生活废弃物是普通居民的数倍,旅游服务业生活污水的增加以及含磷洗衣粉的普遍使用使洱海不堪负重。旅游业的高速发展是建立在消耗自身赖以生存的资源为代价而取得的,滇池深刻的教训已是前车可鉴。旅游资源消耗殆尽时,意味着经济的停滞和衰退。那时只能望湖兴叹:苍山碧空尽,洱海浊水流。

### 2.4 湿地系统欠缺

湿地是湖泊生态系统中不可缺少的环节。湿地不仅表现出对有机物去除能力高,还表现出生产力水平高,合理利用能产生较好的经济效益。洱海湿地的历史变迁、功能、分布如何均未见过系统的介绍。洱海湿地的构成也仅能从有限的资料中看到它的雏形。历史上芦苇(*Phragmites communis*)群落原在沙村一带大面积分布,后因水位下降垦为农田,现耕作层中遗留有黑色泥炭层,当地农民挖取作为肥料和燃料。目前芦苇群面积已极小,主要分布在喜洲沙村湾的浅水区及人工坝堤内的沼泽地中,下关团山及沙坪湾等有分布,但不成群落。茭草(*Zizania caduciflora*)群落分布东南村湾、沙村湾和沙坪湾之处,其中以沙村湾和沙坪湾二地分布面积较大<sup>[5]</sup>,洱海湿地先天不足。历史上洱海湿地分布较少,形成规模的也仅限于沙村一带。现在洱海湖岸周围大部分都围建成农田和鱼塘,一些地方被石墙和混凝土代替,湖泊岸边带人工化严重,使水陆交错带生态系统被大大简化。缺乏湿地屏障的洱海等于失去了自我防护的能力。

### 2.5 网箱养鱼污染的转移

网箱养鱼的危害已被人们认识。当网箱养鱼被取缔以后,洱海又兴起了大规模的鱼塘养鱼,鱼塘一般建在湖岸边或有水源附近,鱼塘置换出的污水最终又汇入洱海,湖边的鱼塘甚至抽取洱海水作为置换用水。1998年对9家鱼塘水质监测结果表明:总磷浓度在0.224—1.07 mg/L之间,平均值为0.549 mg/L,高于洱海水质20倍以上;总氮浓度在2.827—8.481 mg/L之间,平均值为4.79 mg/L,高于洱海水质10倍以上。经调查计算,洱海湖滨区鱼塘面积达到147 hm<sup>2</sup>,每年向洱海换排水661.4 m<sup>3</sup>,输出氮32.7 t,输出磷3.77 t。鱼塘的危害就象网箱养鱼从水面搬到了陆地,鱼塘的污染应引起高度的重视。

## 3 防治对策及建议

### 3.1 加强水资源保护,加快引漾入洱工程的论证

洱海水资源受到截流和污染的严重困境是其最重要的环境问题。加大水资源保护力度的同时,应加快引漾入洱工程的论证,工程约需投资9亿元,可引入水量 $3 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,新增加10.8%的补给量。引入优质水源后不仅可保持洱海水位稳定运行,加快湖水交换速度,稀释营养盐,还可以增加西洱河电站发电能力,提高引漾入洱工程效率,是一举多得的措施。增加补给

系数对缓解洱海水资源紧张的矛盾、减轻洱海富营养化的压力意义重大。但对跨流域的引水应进行充分论证,避免带来新的生态问题。

### 3.2 加强环保教育,成立渔业协会

环境保护离不开大众的支持。人口素质和环保意识的提高,可以转化为人们保护环境的自觉行动。国外实践证明,环境保护宣传和教育是投入最小,效益最高的一项措施。在生产生活中自觉的环保行为才是防止富营养化的最佳途径。在湖区各村组织成立渔业协会,形成自我约束、自我管理的机制,在休渔期严禁任何形式的捕捞,规范渔业行为,走生态渔业的道路,恢复洱海生态平衡。

### 3.3 采取生态学策略,维护水生生态系统健康发展

多年来由于酷渔滥捕,洱海水生生态系统中上级食物链种群结构失衡,种群数量严重不足,使水生生态系统发生严重故障。在洱海渔业资源遭到破坏的同时,也使水生植物失去制约因素而大量生长。调整鱼类种群放养结构,也是防治富营养化的重要途径。鱼类含有水生生态系统中磷含量的一半<sup>①</sup>,并且易于捕捞而能有效输出营养物质。采取生物控制技术,适度投放食草性、食藻性鱼类,如草、鲢、鳙鱼等,可增加上级食物链种群数量,维持食物链种群结构平衡。太湖围圈放养实验表明:鱼类的放养对藻类种群的大小及结构方面的影响是巨大的,鲢、鳙鱼的放养直接或间接地降低了水华的种群<sup>[6]</sup>。虽然这些鱼类经济价值相对较低,但是对于维持水生生态系统平衡,抑制水生植物生长,缓解富营养化进程有着积极的作用。应引起注意的是,大量放养草鱼也会造成水生植被的严重破坏,带来新的失衡。

### 3.4 强化禁磷措施,加强旅游业管理

洱海流域自采取禁磷措施以来收效甚微,对禁磷措施的可操行分析不难发现,禁磷措施实际上是禁止销售,禁销是国外禁磷通常采用的方法,需要有强制的法律保障和民众高度的环保意识,因此洱海流域实现禁销还会有一个较长的过程。目前在洱海湖区采取禁销与禁用相结合的方法不失为当务之急。首先应选择旅游业作为禁用对象,这是基于其特殊地位而决定的,其一,大理旅游业的发展是依托苍洱独特的自然风光,保护自身的资源义不容辞;其二,洱海面临着旅游人数迅猛增加的沉重压力,且旅游人口消耗洗衣粉的数量大大超过普通居民;其三,旅游业点多面广,能起到很好的宣传教育作用。具体操作中可根据旅游服务单位的规模(床位或就业人数)强制其定期、定量购买无磷洗衣粉。同时对限用含磷洗衣粉的单位进行监督监测,并对违规排放进行处罚。

### 3.5 建立人工湿地和土地处理系统

农业地表径流和农村生活污水形成的面源是湖泊防治富营养化的难点,人工湿地在去除面源中的氮磷营养盐有着很好的作用。实验表明,挺水植物对氮、磷的吸收效率较高,其中芦苇含磷率为0.17%,高于沉水植物含磷率的4-5倍<sup>[7]</sup>。人工湿地对有机污水中总磷的去除率最高可达90%以上<sup>[8]</sup>。在洱海水陆交错带建立人工湿地,对于恢复湖泊生态功能防止富营养化方面有着显著的功效。洱海生态恢复工程应在小流域环境规划的基础上,开展人工湿地示范工程试点,逐步退田还湖、退塘还湖,在湖岸建立挺水植物净化带,把不当的索取还给洱海。

岛屿和湖岸村庄生活废水直接排入湖中危害极大。由于缺乏完善的排水系统,进行废水治

① 任长久,环境生态学.北京大学环境科学中心,研究生课程进修班教材,1998

理有一定的难度.根据磷在土壤中不易流失的特点,采用土地处理技术能起到很好的效果.

### 3.6 成立苍洱管理委员会

在苍洱自然保护处的基础上,组建由环境保护部门牵头,有各部门参加的统一管理机构——苍洱管理委员会.把水资源保护、苍山生态保护和洱海环境保护统一纳入其中,负责制定发展与保护的綜合对策,对开发活动进行綜合管理.执行自然资源开发项目的生态环境影响评价制度,收取资源开发生态补偿费和水资源费,增加生态保护资金投入.对洱海的管理必须具备綜合性和权威性,同时真正体现出环保“一票否决权”.

### 参 考 文 献

- 1 黎尚豪,俞敏娟,李光正等.云南高原湖泊调查.海洋与湖沼,1963,5(2):87-114
- 2 尚榆民,林桂珍,董文汉等.过量放水发电对洱海生态的影响.见:史青,单沛尧主编,云南高原“四湖”的生态问题与生态后果.昆明:云南科技出版社,1987.72-94
- 3 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
- 4 舒金华,黄文钰,高锡芸等.发达国家禁用(限用)含磷洗衣粉的措施.湖泊科学,1998,10(1):90-94
- 5 钱德仁.洱海水生植被考察.云南洱海科学论文集.昆明:云南民族出版社,1989.45-67
- 6 刘学君,谢平,王少梅等.武汉东湖微囊藻水华形成及消失原因的探讨—围圈放养实验.湖泊科学,1994,6(3):245-256
- 7 杨清心.东太湖水生植被的生态功能及调节机制.湖泊科学,1998,10(1):67-72
- 8 成水平,夏宜静,香菊,灯心草人工湿地的研究—Ⅲ.净化污水的机理.湖泊科学,1998,10(2):66-77

## Research and Countermeasures for Erhai Lake Eutrophication

Li Jiejun

(Dali Environmental Monitoring station, Yunnan 671000, P. R. China)

### Abstract

Erhai Lake, known as a “bright pearl” on Yunnan Plateau, the second largest plateau lake in Yunnan, is located in the central part of Dali prefecture. In 1996, blue algal bloom was first observed in Erhai Lake, which showed that Erhai Lake had undergone overwhelming eutrophication. The possible causes of eutrophication in Erhai Lake were analysed in detail. Investigations revealed that the blue algal bloom was on the mid-trophic status, indicating that nutrient accumulation was not the only factor. Some environmental and biological changes were observed especially in 1990s, due much to the human activities interruption. Finally, some countermeasures for eutrophication control are put forward.

**Key Words** Erhai Lake, eutrophication factor, analysis, countermeasures