

## 云南省重点湖库水体透明度和叶绿素 a 建议控制指标的探讨\*

王立前, 张榆霞

(云南省环境监测中心站, 昆明 650034)

**提 要:** 为了控制云南省高原湖泊的富营养化, 切实改善湖库的水环境质量, 本文在通过调查统计云南省辖区内的典型湖库和国内外相关指标分析评价研究的基础上, 提出了云南省重点保护湖库水中透明度、叶绿素 a 环境控制指标的标准限值: I 类 5.0 m、II 类 2.5 m、III 类为 1.0 m、IV 类和 V 类均为 0.5 m; 叶绿素 a 为: I 类 2  $\mu\text{g/L}$ 、II 类 10  $\mu\text{g/L}$ 、III 类 20  $\mu\text{g/L}$ 、IV 类 40  $\mu\text{g/L}$ 、V 类 60  $\mu\text{g/L}$ 。这两项控制指标能与国家标准有较好的衔接, 可作为云南省执行 GB3838–2002《地表水环境质量标准》时重点湖库的地方补充标准限值。

**关键词:** 湖泊; 透明度; 叶绿素 a; 标准

## Suggestions on the SD and chl. a control standards in major lakes of Yunnan Province

WANG Liqian & ZHANG Yuxia

(Yunnan Environmental Monitoring Center, Kunming 650034, P. R. China)

**Abstract:** Lakes in Yunnan Plateau have undertaken tremendous change due to human activities, especially since 1980s. For the sake of the environmental protection, especially eutrophication control on the main lakes in Yunnan Plateau, the thresholds of different indexes such as transparency and chl. a concentration in lakes are suggested, two of which are not explicitly included in national water quality standards (GB3838–2002) of China. The suggestions offered are obtained based upon document analysis on relevant standards from local and abroad and investigations from typical lake regime in Yunnan Province. For water transparency, the values could be 5.0 m for Grade I, 2.5 m, 1.0 m and 0.5 m for Grade II, III, IV–V (according to GB 3838–2002) respectively. For chl. a, they could be 2  $\mu\text{g/L}$ , 10  $\mu\text{g/L}$ , 20  $\mu\text{g/L}$ , 40  $\mu\text{g/L}$  and 60  $\mu\text{g/L}$  for Grade I, II, III, IV, V respectively. The thresholds suggested could be a substantial implementation of national standard (GB3838–2002) for local management guidance.

**Keywords:** Lakes; SD; chl. a; standards

云南是全国湖泊集中分布的地区之一, 现有湖泊 40 多个, 总容积水量  $290 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 大中小型水库 5296 座, 总库容  $96 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中湖面大于  $30 \text{ km}^2$  的有滇池、洱海、抚仙湖、程海、异龙湖、杞麓湖、阳宗海、星云湖和泸沽湖九大高原湖泊。众多湖泊和水库分布在高原的六大水系中, 自然地带性特征鲜明。由于经济发展、人口膨胀与不合理的开发利用, 越来越多的湖泊走向富营养化, 湖泊生态系统结构破坏、功能退化, 蓝藻水华频繁暴发, 水质性缺水日趋严重, 并造成巨大经济损失。通过这些年的治理, 湖泊水环境恶化的态势仍未得到根本性的控制和改观, 直接制约了经济发展和影响了人们的生活。随着云南省湖泊治理与保护工作的深入开展, 自 2002 年 10 月以来各级环保部门加大了对九大高原湖泊的监测力度, 并规定了透明度、叶绿素 a 为每月必测的指标, 但现行有效的 GB3838–2002 标准与云南省控制湖泊富营养化的现实要求不适应以及自身存在的缺陷逐渐显现出来, 主要表现为: GB3838–2002《地表水环境质量标准》缺少反映透明度、叶绿素 a 等湖泊特征项目的指标, 无相关的国家标准和行业标准对其进行评价。因此, 对这两项指标进行探讨, 目的是为了将这两项指标作为云南省的水环境质量地方标准, 以便为控制云南省重点保护湖库的富

\* 2005–04–19 收稿; 2005–09–06 收修改稿。王立前, 男, 1966 年生, 工程师; E-mail: wangliqian401@sohu.com.

营养化和改善水环境质量起到积极的作用。

1 思路与方法

1.1 注重与相关标准的协调与衔接

现行 GB3838－2002 标准适用于具有使用功能的地表水域,而探讨制订的透明度和叶绿素 a 控制指标系与国家 GB3838－2002《地表水环境质量标准》衔接和配套执行的云南省地方环境质量标准,仅适用于云南省主要湖泊和水库等具有使用功能的地表水水域。

1.2 继续保持原有地表水五类环境水质标准的框架

凡 GB3838－2002《地表水环境质量标准》中已作规定的项目执行国家标准,如总磷、总氮和高锰酸盐指数等;对地表水环境质量标准中未作规定的透明度和叶绿素 a 标准限值,将通过以制订地方标准的形式,同样将其划分为五类五级执行。

1.3 实事求是,科学严谨的原则

结合云南省湖库水环境质量的现状特点和保护要求,借鉴美国国家环保局( EPA )制订湖泊营养物基准指南思路和国内外相关指标,力求所制定的标准具有一定的可操作性、代表性和前瞻性。

2 指标的调查统计、分析与评价

2.1 透明度控制指标

透明度是指水样的澄清程度,清洁水是透明的,当水中存在悬浮物和胶体时透明度便降低。在云南省的富营养湖中,以藻类为主的悬浮物越多,其透明度就越降低。调查结果表明,深水湖的透明度要大于浅水湖,如抚仙湖最大水深 157.3 m,平均水深 87.0 m,泸沽湖最大水深 94 m,平均水深 39 m,两湖的水质均为 I 类。人口密度小地区的湖泊透明度远高于人口密度较大的城市湖泊。如青藏地区湖水的透明度高达 12－14 m,居全国之冠,我省泸沽湖的透明度也高达 10 m。而城市湖泊的透明度则大多在 0.5 m 以下,如滇池、长春南湖、南京玄武湖、武汉墨水湖、杭州西湖、广州流花湖和荔湾湖等<sup>[1]</sup>。国内湖库透明度的调查统计分布情况见表 1、表 2。

表 1 省内外湖库透明度的调查统计分布情况

Tab.1 Statistics on the SD data in lakes and reservoirs in and outside Yunnan Province

资料来源	调查时间	透明度的分布状况( % )			
		>0.5 m	>1.5 m	>2.5 m	>4.0 m
中国 44 个湖库 <sup>[2]</sup>	1990 年前	66	27	14	9
云南 16 个湖库	1994－2003 年	85.5	43.8	31.2	12.5

表 2 云南省 1994－2003 年主要湖库水的透明度统计结果

Tab.2 Statistics on the SD data in lakes and reservoirs in Yunnan Province, 1994－2003

湖库名	滇池草海	滇池外海	阳宗海	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	异龙湖	洱海
范围	0.37－0.64	0.42－0.73	2.30－3.53	4.33－6.69	0.82－1.66	0.46－1.16	0.24－0.79	2.25－3.63
平均	0.50	0.52	3.03	5.33	1.09	0.64	0.54	3.13
湖库名	泸沽湖	程海	个旧湖	杞碧湖	长桥海	东风水库	南湖	北庙水库
范围	6.50－10.5	1.59－5.30	0.46－0.98	0.90－3.00	0.28－1.02	0.98－2.40	0.20－0.66	1.10－4.00
平均	8.34	3.51	0.69	1.81	0.59	1.41	0.33	2.15

国际上通常认为 <0.5 m 是富营养化湖泊的重要特征。为制定合理的标准值,现将国内外相关的富营养化评价依据和迄今国内外有关透明度的水质标准列举如下(表 3、表 4)。

应当注意的是,对水体着色或有有机悬浮性固体的湖库而言(如雨季浑水流入的湖库,无机浊度较高),仅靠透明度的测定值不适宜对其进行营养等级的评价。在此情况下,应以叶绿素 a、总磷和总氮的测

定值评价为主.

透明度如果参考原 GHZB1 - 1999《地表水环境质量标准》的标准值,势必造成标准偏严,保护目标实现不了而失去意义;而参考原 GB12941 - 91 景观娱乐用水水质标准,则不利于改善与保护高原湖泊的水环境质量. EPA 认为不同的地理、气候条件和耕作的差异造成水体富营养化程度和营养物的自然本底水平不同,营养物基准需要建立在各区域内历史和现状调查统计的基础上,而不是用实验的方法来确定. 因此期望各州以 EPA 提供的指南为基础来制订区域或单个水体水平上的营养物基准<sup>[3]</sup>. 其做法是从已知的参照湖泊( 该区域所有湖泊中质量最高或是受影响最小的湖泊 )的被测变量的分布中选择出一个百分点. 因为这些参照湖泊已处于近似理想的状态,选择湖泊分布中较低的营养物质量的代表作为参照状态是合理的, EPA 通常推荐上 25 个百分点来确定安全合适的边界值,见图 1( a ). 再将此参照状态值进一步与大量的监测数据统计、文献报道类比和进行评价,最终确定其标准限制.

表 3 温带湖泊营养分类系统中透明度的具体边界值<sup>[2]</sup>

Tab. 3 Limits of SD for classification of nutrient level in subtropical lake system

营养类型		寡营养	贫营养	中营养	富营养	超富营养
透明度 <sup>(注)</sup>	平均值	>12.0	6.0	6-3	3-1.5	<1.5
	最小值	6.0	3.0	3-1.5	1.5-0.7	0.7

1) 表中数值是世界经济合作与开发组织( OECD )于 1982 年在国际内陆水域监测合作项目的基础上提出的.

表 4 国内外有关透明度的水质标准

Tab. 4 Relevant criteria/ standards for SD

标准	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
原 GHZB1 - 1999 地表水环境质量标准	≥15	4	2.5	1.5	0.5
原 GB12941 - 91 景观娱乐用水水质标准	A 类和 B 类均为 ≥1.2 m			C 类为 ≥0.5 m	
原东德技术标准 <sup>[2]</sup>	6	4	1	0.5	0.5

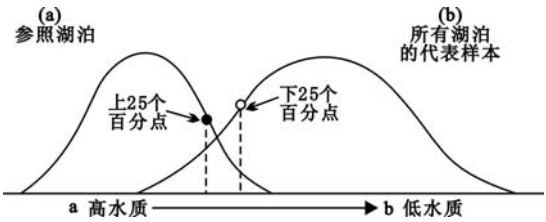


图 1 建立参照状态值的 2 种方法

Fig. 1 Two methods for the setup of reference status

图中的百分点是以序列统计为基础,对透明度的类似分析要求数据由高到低排序,叶绿素 a 的浓度则是由低到高的排序.

参考 EPA 的做法,将水体受污染相对最小泸沽湖和抚仙湖的作为参照湖泊,其平均浓度水平向上 25 个百分点约为 5.1 m,结合云南省主要湖泊近十年来的污染水平、控制湖泊富营养化和景观上的要求,将 I 类水订为 5.0 m, II 类水订为 2.5 m, III 类 - V 类等效采用原东德技术标准的限值. 即 III 类水为 1.0 m, IV 类水为 0.5 m, V 类水为 0.5 m. 若按该指标对云南省 1999 - 2003 年 16 个湖泊的透明度统计结果进行评价, I 类水占 12.50%, II 类水占 18.75%, III 类水占 25.00%, IV 类( 含 V 类水 )占 37.50%, 劣 V 类水占 6.25%, 各湖库的水质评价类别详见表 5.

表 5 云南省 1999 – 2003 年主要湖库水的透明度评价结果表

Tab. 5 Results of SD assessment in major lakes and reservoirs in Yunnan Province, 1994 – 2003

湖库名	滇池草海	滇池外海	阳宗海	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	异龙湖	洱海
平均	Ⅳ或Ⅴ	Ⅳ或Ⅴ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ或Ⅴ	Ⅳ或Ⅴ	Ⅱ
湖库名	泸沽湖	程海	个旧湖	茈碧湖	长桥海	东风水库	博尚水库	北庙水库
平均	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ或Ⅴ	Ⅲ	Ⅳ或Ⅴ	Ⅲ	劣Ⅴ	Ⅲ

2.1 叶绿素 a 的控制指标

叶绿素 a 是所有藻类的主要光合色素,是富营氧化湖泊藻类中量最大的色素,因此把它作为最具代表性和测定简便的藻类现存量指标. 分析其含量与动态可以了解生物量状况及变化趋势;经研究分析表明,叶绿素 a 与湖水透明度之间存在一定的负相关关系. 据抚仙湖水质监测资料分析评价,20 年的湖水水质呈缓慢下降趋势,其中叶绿素 a 增加了 3 倍,透明度减小了将近 1 倍<sup>[4]</sup>. 要防止湖泊富营养化,应当制订叶绿素 a 指标来控制水体初级生产力营养性物质的负荷量.

根据 1986 – 1990 年期间对我国 50 个湖泊调查的结果及其它资料,湖泊的叶绿素 a 年均值范围为 0.7 – 240  $\mu\text{g/L}$ ,参照世界经济合作与开发组织( OECD )所规定的关于评定湖泊营养状态的叶绿素 a 划分标准,以  $\geq 78 \mu\text{g/L}$  为重富营养型,11 – 78  $\mu\text{g/L}$  为富营养型,3.0 – 11  $\mu\text{g/L}$  为中营养型, < 3.0  $\mu\text{g/L}$  为贫营养型. 1999 – 2003 年期间对我省 16 个湖泊的调查结果年均值范围为 0.5 – 191  $\mu\text{g/L}$ ,按上述划分标准进行统计,属重富营养型的占 12.50%,属富营养型的占 31.25%,属中营养型的占 31.25%,属贫营养型的占 25.00%.

叶绿素 a 含量随季节变化较为明显,在富营养化程度较低的湖泊,其年变化幅度很低,仅在夏秋生长及内出现一个小高峰;中营养湖泊和中 – 富营养湖泊,其变化幅度较大,在一年中有两个高峰. 为制订合理标准值,下面将国内外相关湖泊叶绿素 a 的调查统计结果和富营养化评价依据列出( 表 6 – 表 8 ).

表 6 云南省 1999 – 2003 年主要湖库水的叶绿素 a (  $\mu\text{g/L}$  )统计结果

Tab. 6 Statistics on the chl. a in major lakes and reservoirs of Yunnan Province, 1994 – 2003

湖库名	滇池草海	滇池外海	阳宗海*	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	异龙湖	洱海
范围	104 – 191	62 – 108	0 – 13	0.6 – 1.7	16.8 – 66.4	20.1 – 51.4	26.4 – 33.0	0.5 – 6.0
平均	146	79.1	3.1	1.2	38.7	35.0	29.5	2.5
湖库名	泸沽湖	程海	个旧湖**	茈碧湖	长桥海	南湖	西湖	海西海
范围	1.2 – 2.0	3.0 – 4.6	–	0.8 – 2.1	5.7 – 14.1	26.8 – 70.2	22.24 – 19.3	1.7 – 13.1
平均	1.6	3.8	40.0	1.4	10.3	42.2	10.1	5.7

\* 4 年数据; \*\* 2002 年数据.

表 7 OECD 提出的温带湖泊固定营养分类系统中叶绿素 a (  $\mu\text{g/L}$  ) 的具体边界值<sup>[2]</sup>

Tab. 7 Limits of chl. a (  $\mu\text{g/L}$  ) for classification of nutrient level in subtropical lake system, OCED

营养类型		寡营养	贫营养	中营养	富营养	超富营养
叶绿素 a	平均值	1.0	2.5	2.5 – 8	8 – 25	> 25
	最小值	2.5	8.0	8 – 25	25 – 75	> 75

由 EPA 推荐方法估算泸沽湖和抚仙湖叶绿素 a 的参照状态值为 1.8  $\mu\text{g/L}$ . 结合云南省主要湖泊中叶绿素 a 的浓度水平、技术经济能力和控制湖泊富营养化的要求,将 I 类水订为 2  $\mu\text{g/L}$ , II 类水订为 10  $\mu\text{g/L}$ , III 类水订为 20  $\mu\text{g/L}$ , IV 类水订为 40  $\mu\text{g/L}$ , V 类水订为 60  $\mu\text{g/L}$ . 若按该指标对云南省 1999 – 2003 年 16 个湖泊的叶绿素 a 统计结果进行评价, I 类水占 18.75%, II 类水占 25.00%, III 类水占 12.50%, IV 类水占 25.00%, V 类水占 6.25%, 劣 V 类水占 12.50%, 各湖库的水质评价类别详见表 9.

表 8 国内外有关叶绿素 a(  $\mu\text{g/L}$  )的水质标准  
Tab. 8 Relevant criteria/ standards for chl. a(  $\mu\text{g/L}$  )

标准	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
原 GHZB1 – 1999 地表水环境质量标准	1	4	10	30	65
太湖流域监测网水质同步监测评价标准	1	2.5	8	25	> 25
原东德技术标准 <sup>[2]</sup>	3	10	40	60	60

表 9 云南省 1999 – 2003 年主要湖库水的叶绿素 a 评价结果表  
Tab. 9 Results of chl. a assessment in major lakes and reservoirs in Yunnan Province,1994 – 2003

湖库名	滇池草海	滇池外海	阳宗海 *	抚仙湖	星云湖	杞麓湖	异龙湖	洱 海
水质类别	劣 V 类	劣 V 类	II 类	I 类	IV 类	IV 类	IV 类	I 类
湖库名	泸沽湖	程 海	个旧湖 **	茈碧湖	长桥海	南 湖	西 湖	海西海
水质类别	I 类	II 类	IV 类	I 类	III 类	V 类	III 类	II 类

\* 4 年数据; \*\* 2002 年.

3 结 论

针对湖库水在执行 GB3838 – 2002《地面水环境质量标准》时无透明度和叶绿素 a 的控制标准,为了适应云南省湖库水环境保护和治理工作的要求,在借鉴 EPA 制订湖泊营养物基准指南思路和国内外相关指标、标准的基础上,通过调查统计云南省辖区内的典型湖库和国内外相关指标分析评价研究,提出了云南省重点湖库水环境质量的透明度控制指标为: I 类 5.0 m、II 类 2.5 m、III 类为 1.0 m、IV 类和 V 类均为 0.5 m; 叶绿素 a 为: I 类 2  $\mu\text{g/L}$ 、II 类 10  $\mu\text{g/L}$ 、III 类 20  $\mu\text{g/L}$ 、IV 类 40  $\mu\text{g/L}$ 、V 类 60  $\mu\text{g/L}$ . 这两项控制指标能与国家标准有较好的衔接,可作为云南省执行 GB3838 – 2002《地面水环境质量标准》时重点湖库的地方补充标准限值. 对于其它湖库是否执行,可参照 GB3838 – 2002 中关于特定项目的规定,视湖库的具体情况,由县级以上人民政府环境保护行政主管部门选择确定.

4 参 考 文 献

[ 1 ] 国家环境保护总局科技标准司编. 中国湖泊富营养化及其防治研究. 北京:中国环境科学出版社, 2001:10.  
[ 2 ] 夏 青,陈艳卿,吴舜泽等. GHZB1 – 1999 中国地表水环境质量标准导引. 北京:中国环境科学出版社, 2000:104 – 108.  
[ 3 ] 夏 青,陈艳卿,刘宪兵. 水质基准与水质标准. 北京:中国标准出版社, 2004:275 – 376.  
[ 4 ] 李荫玺,刘 红,陆 娅等. 抚仙湖富营养化初探. 湖泊科学,2003,15( 3 ):285.