

# 日中洱海生态调查\*

杜宝汉

(大理州环境科学研究所, 云南 671000)

**提要** 于1992年5月中旬,日本琵琶湖研究所与中国大理州环科所联合对洱海进行生态调查,初步摸清了夏季末洱海水有关理化参数及生物的分布规律。分析表明,尽管湖区处于旱季末,洱海水质仍然保持良好状态。

**关键词** 生态 水位 洱海

洱海是云南省内第二大淡水湖泊,位于 $100^{\circ}05'—100^{\circ}17'E$ ,  $25^{\circ}36'—25^{\circ}58'N$ ,面积为 $250\text{km}^2$ ,容积为 $28.8 \times 10^9\text{m}^3$ ,最大水深为20.5m,平均为10.5m。

1992年5月,日本琵琶湖研究所与中国大理州环境科学研究所联合对洱海进行湖泊生态调查,以期对洱海生态环境的保护和水资源的合理开发利用提供科学依据。

## 1 调查方法

**1.1 观测点设置** 根据洱海水下地形特点,入湖河溪、湖湾分布及以往监测、科研成果分析,进行优化布点。在洱海内设置10个观测采样站,见图1。

**1.2 观测采样** 1992年5月13,18,19三天现场观测、采样。观测水深、水温、透明度(SD)、照度、pH、溶解氧(DO)、电导率(EC)、 $\text{CaCO}_3$ 、总硬度、底泥温度、氧化还原电位、水生维管束植物。采样分析总氮(T-N)、总磷(T-P)、底栖动物等。

**1.3 仪器和方法** (1) TANITA5473 温度计; (2) IPS360 便携式 GPS 接受器; (3) Li-188B 水下照度计; (4) Royal, RF-700 型声纳仪; (5) EIL 溶氧仪; (6) HORIBA 电导仪; (7) Toa pH/ORP 计; (8) Thommen 高

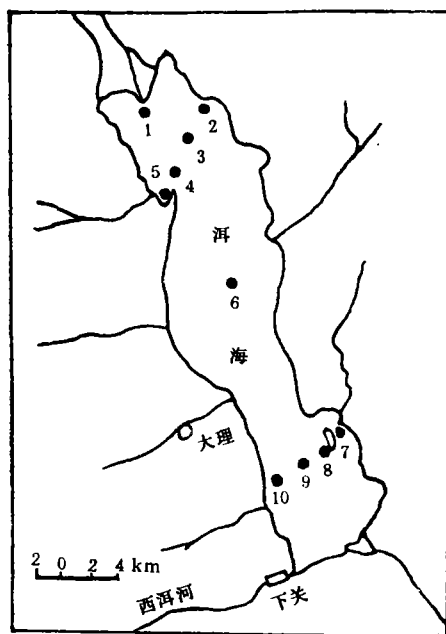


图1 洱海观测站位置图

Fig. 1 Observation stations in Erhai Lake

\* 日本琵琶湖研究所提供调查资金。参加调查的有吉良竜夫、浜端悦治、西野麻知子、中岛拓男、尚榆民、贺彬、杨为民、赵师明、李宁波、邹锐、段彪、刘滨、杨兆麟等,李时康清绘插图,在此一并志谢。

收稿日期: 1992年7月27日,接受日期: 1993年3月6日。

度计;(9)5141-A 底泥采样器 (Rigosha); (10) Olympus SZ6045 双筒显微镜。

室内水化项目分析方法见文献《水和废水监测分析方法》(1989)。

2 结果与讨论

2.1 照度 不同区域水中照度与空气照度的比例关系见表 1。可看出,北断面湖心( 3 号站)水中照度随水深衰减幅度最大;中部湖心( 6 号站)次之;南断面湖心( 9 号站)衰减最小。这是由于洱海北部为入湖河集中区,营养盐负荷大,风浪也较大,悬浮物质较多,而水生维管束植物又较少,对悬浮物质及营养盐的吸收作用也较小,该点透明度为 3.6m。中部湖心( 6 号站)是洱海的深水区,水容量大,水经过从北向南的缓慢流动, 悬浮物质沉淀净化以后大大减少,光在水中的传播条件较好,透明度达 6.1m。南断面湖心(9 号站)为水下隆起平台,水深仅 5—6m, 水生维管束植物生长茂盛,郁闭度达 90%左右, 对水的净化作用较强,透明度为 5.1m (到底)光的衰减最小。

表 1 洱海不同区域水中照度与空气照度的比率(%)

Tab. 1 Ratio (%) of illumination in Water and air in different area of Erhai Lake

| 站位 | 水 深 (m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    | 0       | 0.5  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12.5 |
| 3  | 3.01    | 2.90 | 2.33 | 2.04 | 1.12 | 0.83 | 0.64 | 0.47 | 0.32 | 0.28 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 6  | 3.92    | 2.99 | 2.60 | 1.85 | 1.34 | 0.97 | 0.70 | 0.56 | 0.43 | 0.37 | 0.26 | 0.21 | 0.16 |      |
| 9  | 4.32    | 3.56 | 2.96 | 2.76 | 1.44 | 1.20 | 0.54 |      |      |      |      |      |      |      |
| 2  | 8.88    | 5.48 | 1.69 | 1.30 | 0.56 | 0.14 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5  | 3.68    | 2.93 | 2.45 | 1.66 | 1.48 | 0.70 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7  | 4.46    | 4.02 | 3.13 | 2.41 | 1.59 | 1.36 | 0.56 |      |      |      |      |      |      |      |
| 10 | 3.78    | 3.07 | 2.49 | 2.40 | 1.82 | 1.14 | 0.68 |      |      |      |      |      |      |      |

湖湾照度随水深衰减幅度的大小是: 湖东北(2 号站)>湖西北(5 号站)>湖东(7 号站)。这是因为,东北部湖湾内山地流失淤积湖底的红土层较厚,风浪荡起悬浮物质较多,水的透明度仅 2.7m;西北部,湖湾水生维管束植物茂盛,对水的净化作用大,透明度在 4—5m;东部湖湾(7 号站)前有金梭岛挡住风浪,水较平静,悬浮物质较少,加之水生维管束植物丰富,所以,光照衰减最小。西岸为水下深槽,水深在 7—10m,底质多为砾石沙质,水中悬浮物质较少,透明度在 5m 左右,光照条件较好,光照衰减幅度也较小。

2.2 水温 调查期间,上午湖面气温低于水温 1—2℃; 中午以后, 气温高于水温 1—2℃气温变幅在 17.5—20.5℃,水温变幅在 17—19℃。各断面水温垂直变化见图 2。可看出,北断面(3 号站)表层到底层水温一致; 中断面开敞水域(6 号站), 表、中、底层水温相差 1℃,没有测到逆温层;南断面开敞水域(9 号站),表层与底层水温相差 1—2℃。

从北到南不同断面水温的差别与洱海湖流有关。洱海大体分为北、中、南 3 个湖区,每个湖区都表现有以反时针为主的环流区。南北两个束狭处, 南北两股水流相遇形成为较强的水平辐合区。洱海北部水较浅,表层的水平压力梯度随水深的变化较小,底层驱动力与表层流相反的补偿流,在铅直断面形成一个环流,所以, 表层水温与底层水温基本一致。 中部深水区表层的水平压力梯度稍有变化, 形成表层与下层水温相差 1℃。南部束狭湖区, 水流速度较大,交换较快,表层的水平压力梯度随深度变化较大,因而形成表层与底层水温相差较大(1—2℃)。

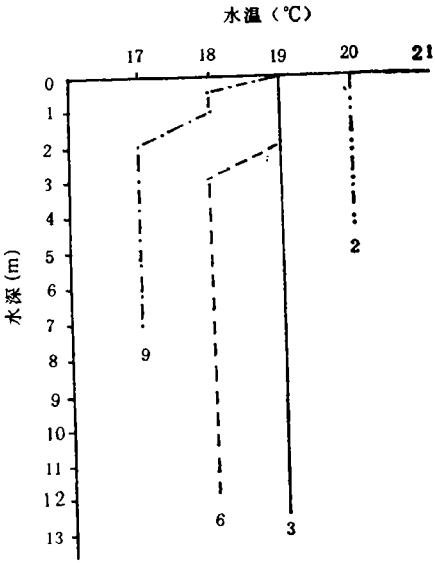


图 2 洱海水温垂直变化

Fig. 2 Vertical change of water temperature in Erhai Lake

**2.3 pH 值** 调查期间,洱海 pH 在 8.3—8.6 之间,平均值 8.4,变异系数 1.38%。2,3,4,6,8,10 号站,测值均较低,在 8.30—8.40 之间;1,5,7,9 号站,测值均较高,在 8.50—8.60 之间(见图 3)。从 pH 值的水平分布可以看出,水深的开敞水域,

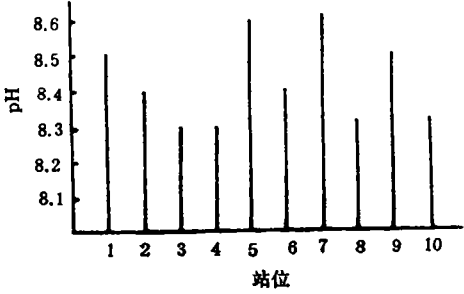


图 3 洱海 pH 水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of pH Value in Erhai Lake

水生维管束植物少,pH 值较低。相反,浅水区,水生维管束植物丰富,pH 值也较高。如 5 号站水生维管束植物生物量最高( $2.4\text{kg}/\text{m}^2$ ),pH 值也最高(8.6);7,9 号站次之( $0.32, 0.48\text{kg}/\text{m}^2$ ),pH 值在 8.5 左右;4,8 号站最低( $0.16, 0.128\text{kg}/\text{m}^2$ ),pH 在 8.30 左右:说明湖泊 pH 值与水生维管束植物的量关系十分密切。

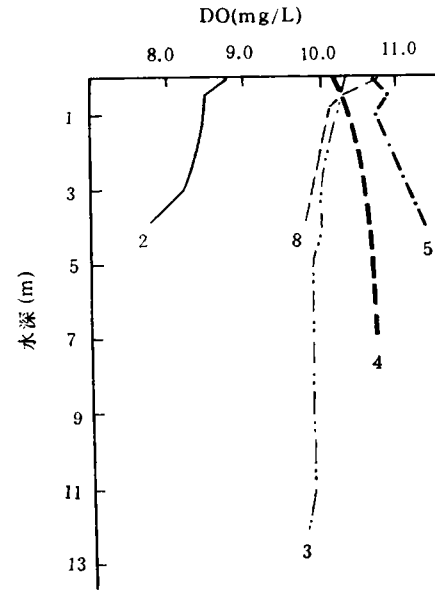


图 4 洱海溶解氧(DO)的垂直变化

Fig. 4 Vertical Change of dissolved oxygen (DO) in Erhai Lake

湖泊 pH 值主要取决于水中游离二氧化碳的含量及其与碳酸盐、碳酸氢盐的关系。水生维管束植物多,光合作用大量吸收游离二氧化碳,引起重碳酸根分解,pH 值升高。

**2.4 溶解氧(DO)** 溶解氧测值在 7.7—11.4 mg/L 之间。5 号站的值最高,为 10.7—11.4 mg/L;2 号站的最低,为 7.7—8.8mg/L;其它各站的居中(图 4)。从图 4 看出,洱海 5 月份溶解氧垂直变化表现为,开敞水域溶解氧含量随水深逐渐减少(3 号站、8 号站),水浑浊,悬浮物多的水域(2 号站)亦然;而水浅,水生维管束植物丰富的湖湾,溶解氧随水深逐渐增加(4 号站、5 号站)。溶解氧昼夜变化,最高值出现在 18—20 时,最低值出现在 6—8 时。

**2.5 电导率(EC)** 测值范围在 220—270  $\mu\text{s}/\text{cm}$  之间,平均值为 243 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,变异系数为 6.71%。北断面测值为 240 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ;中断

面湖心(6号站)的为  $250\mu\text{S}/\text{cm}$ ; 南断面湖心的为  $220\mu\text{S}/\text{cm}$ , 其中8号站测值最高为  $270\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

电导率的高低与水中离子浓度大小有关。洱海旱季, 北部主要入湖河流弥苴河等断流, 随河水输入的物质大量减少, 水溶液中的离子浓度较低, 电导率也较低; 南断面湖水水生维管束植物大量吸收水中溶解盐类, 离子浓度低, 电导率最低; 东岸属石灰岩山地, 植被特差, 人为开山炸石破坏严重, 流失溶于水中的离子浓度大, 电导率相应最高(8号站)。

**2.6 碳酸盐 ( $\text{CaCO}_3$ )** 各站位测值范围在  $115\text{--}126\text{mg}/\text{L}$  之间, 平均值为  $119.7\text{mg}/\text{L}$ , 变异系数为  $3.4\%$ 。2, 5, 7 号站  $\text{CaCO}_3$  含量分别为  $123, 126, 125\text{mg}/\text{L}$ ; 居高值, 由于这3个测站位于湖湾, 水生维管束植物丰富, pH 值高, 有丰富的无机盐类, 碳酸钙过饱和值达 25 倍, 导致碳酸盐化学沉积, 含量升高。3, 6, 8, 10 号站含量分别为  $115, 118, 117, 119\text{mg}/\text{L}$ 。因这几个测站水深并为开敞水域, 水生维管束植物少, 水中游离  $\text{CO}_2$  较多, 重碳酸盐分解较少, 碳酸钙化学沉积也较少, 因而含量也较低。

**2.7 总硬度 (TH)** 10 个站的测值在  $4.84\text{--}5.24\text{me}/\text{L}$  之间, 平均值为  $5.06\text{me}/\text{L}$  (介于  $4\text{--}8\text{me}/\text{L}$ , 属软水), 变异系数为  $2.6\%$ , 各站含量较均匀。其中高值出现在 9 号站, 为  $5.24\text{me}/\text{L}$ ; 低值出现在 2 号站, 为  $4.84\text{me}/\text{L}$ ; 其它测站都在  $5.0\text{me}/\text{L}$  左右。

**2.8 总氮 (T-N)** 测值范围在  $0.114\text{--}0.260\text{mg}/\text{L}$ , 平均值为  $0.177\text{mg}/\text{L}$ , 变异系数为  $27.4\%$ , 各测站含量相差较大(图5)。4号站( $0.260\text{mg}/\text{L}$ ) > 3号站 ( $0.230\text{mg}/\text{L}$ ) > 2号站 ( $0.223\text{mg}/\text{L}$ ) > 10号站( $0.211\text{mg}/\text{L}$ ) > 1, 6号站 ( $0.175\text{mg}/\text{L}$ ) > 5, 7号站 ( $0.138\text{mg}/\text{L}$ ) > 9号站 ( $0.119\text{mg}/\text{L}$ ) > 8号站 ( $0.114\text{mg}/\text{L}$ )。T-N 分布规律与 pH, DO 恰相反, 水生维管束植物丰富水域 T-N 含量低; 反之则高。

**2.9 总磷 (T-P)** 测值范围在  $0.008\text{--}0.019\text{mg}/\text{L}$ , 平均值为  $0.012\text{mg}/\text{L}$ , 变异系数为  $34.7\%$ , 各站测值相差大(图5)。其分布规律与总氮大体相似。

由上可看出, 1992 年旱季末, 洱海各项水质参数都处在国家二级地面水标准范围内。这是由于 1991 年湖区处在丰水年, 年降雨量为  $1129.3\text{mm}$ , 年最高水位为  $1974.16\text{m}$  (海防高程), 蓄水多。进入 1992 年旱季, 除满足发电、工农业、生活用水外, 洱海蓄水还较多, 到旱季末仍保持较高水位 ( $1971.63\text{m}$ ), 洱海生态环境处于良性循环状态, 水质也较好。而以往平水年或枯水年的旱季, 为满足发电、工农业用水, 往往使洱海处于低水位状态运行, 生态恶化, 水质变差。

**2.10 底泥温度** 底泥温度与水温的关系见表 2。可看出, 浅水区域 (2, 10号站) 水温与底泥温度接近; 随着水深加大, 底泥温度与水温相差加大, 如 3, 4, 6 号站。水温与底泥温度相关系数为  $0.929$ 。

**2.11 底泥氧化-还原电位 (Eh)** 从底泥氧化-还原电位的分布来看, 沙质底的 Eh 最高, 如 6 号站的 Eh 值为  $113\text{mV}$ ; 粘土底次之, 如 2, 3 号站的 Eh 值分别为  $82, 83\text{mV}$ ; 腐

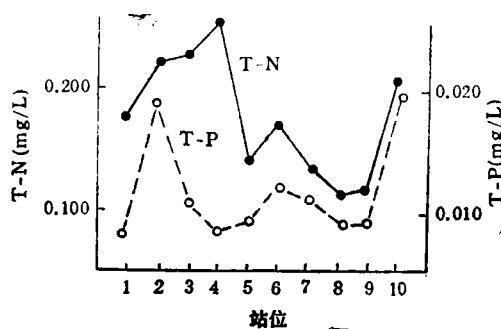


图5 洱海 T-N, T-P 水平分布  
Fig. 7 Horizontal distribution of T-N and T-P in Erhai Lake

表 2 洱海水温与底泥温度关系

Tab. 2 Relationship between Water temperature and sediment temperature in Erhai Lake

| 站位    | 2    | 3    | 4    | 6    | 8    | 9    | 10   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 水温(℃) | 19.9 | 18.8 | 18.7 | 18.7 | 20.4 | 19.1 | 18.0 |
| 底泥(℃) | 20.0 | 18.4 | 18.2 | 17.8 | 20.0 | 19.0 | 18.0 |

植淤泥底 Eh 值较低,如 4,7,8,10 号站, Eh 值分别为 49,14,34,38mV。所有站位底泥 Eh 值均为正值,说明湖底氧气条件不利于底栖生物生长。

2.12 底栖动物 调查中采集并鉴定了底栖动物共 44 种,包括海绵动物、软体动物、环节动物、有触毛类和节肢动物。其中 37 种采集于沿岸区,占采集种数的 84%;只有 20 种采集于深水区,占 45%。洱海沿岸区底栖动物区系要比深水区丰富。

底栖动物中水丝蚓分布较广,数量也多,优势种为苏氏水丝蚓、霍甫水丝蚓;摇蚊幼虫分布狭窄,优势种是异腹鳃摇蚊;软体动物分布也较广,数量也较多,优势种是螺蛳和斯氏萝卜螺;瓣鳃类的优势种是河篮蚬。主要种类的分布数量见表 3。

表 3 洱海底栖动物主要种类分布(个/m<sup>2</sup>)

Tab. 3 Benthonic species and their distribution in Erhai Lake

| 种 类                                               | 站 位 |     |       |     |     |     |     |
|---------------------------------------------------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
|                                                   | 3   | 4   | 6     | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 寡毛类 Oligochaeta                                   |     |     |       |     |     |     |     |
| 苏氏尾丝蚓 <i>Brachiura sowerbyi</i> (Claparedi)       | 267 | 792 |       |     | 176 | 176 | 220 |
| 霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparedi) | 308 | 440 | 968   |     | 264 | 220 | 88  |
| 克拉泊水丝蚓 <i>L. clapedianus</i> (Ratz)               | 352 | 660 |       | 176 |     | 264 |     |
| 管水丝 <i>Aulodrilus</i> sp.                         | 88  |     |       | 132 |     |     | 176 |
| 昆虫类 Insecta                                       |     |     |       |     |     |     |     |
| 异腹鳃摇蚊 <i>Einfeldia insolita</i> Kieffer           |     | 44  | 1 144 |     |     |     |     |
| 细长摇蚊 <i>Tendipes attenuatus</i>                   |     | 44  |       |     |     |     |     |
| 腹足类 Gastropoda                                    |     |     |       |     |     |     |     |
| 螺蛳 <i>Margarya melanoides</i> Mevill              | 32  |     |       |     |     | 30  | 96  |
| 方氏螺蛳 <i>M. francheti</i> (Mabille)                |     |     |       |     |     |     | 224 |
| 斯氏萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i> (H. Adams)            |     | 176 |       |     |     | 44  | 32  |
| 绘环稜螺 <i>Bellamya limnophila</i> (Mabille)         |     |     |       |     |     |     | 16  |
| 瓣鳃类 Lamellib ranchia                              |     |     |       |     |     |     |     |
| 河篮蚬 <i>Corbicula fluminea</i> (Müller)            | 88  | 40  |       |     | 376 |     | 224 |
| 圆背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana pacifica</i> (Heude)  |     |     |       |     |     | 16  | 96  |

2.13 水生维管束植物 调查期间,采集到 14 种沉水植物,采到的主要种类及生物量见表 4。另外还有眼子菜科的两个种,轮藻 (*Chara* sp.)、丽藻 (*Nitzella* sp.) 均采集于 5 号站;在东岸浅滩采到穿叶眼子菜 (*P. perfoliatus*)。优势种是苦草、黑藻及微齿眼子菜。

表 4 洱海水生维管束植物种类及分布

Tab. 4 Species and their distribution of aquatic macrophytes in Erhai Lake

| 种 类                                 | 站 位 |       |   |      |     |   |      |       |      |      |
|-------------------------------------|-----|-------|---|------|-----|---|------|-------|------|------|
|                                     | 1   | 2     | 3 | 4    | 5   | 6 | 7    | 8     | 9    | 10   |
| 苦草 <i>Vallisneria spiralis</i>      |     | +     |   | +    |     |   | +    | +     | +    |      |
| 黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>     |     |       |   | +    |     |   |      |       | +    |      |
| 微齿眼子菜 <i>Potamogeton maackianus</i> |     |       |   |      | +   |   |      | +     | +    | +    |
| 菹草 <i>P. crispus</i>                |     |       |   |      | +   |   |      |       | +    | +    |
| 马来眼子菜 <i>P. malainus</i>            |     |       |   |      | +   |   | +    |       |      | +    |
| 光叶眼子菜 <i>P. lucens</i>              |     |       |   |      | +   |   |      |       |      |      |
| 篦齿眼子菜 <i>P. pectinatus</i>          | +   |       |   |      |     |   |      |       |      |      |
| 金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>   |     |       |   |      | +   |   |      |       | +    | +    |
| 穗状狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>  |     |       |   |      |     |   | +    |       | +    |      |
| 湿重 (kg/m <sup>2</sup> )             | —   | 0.576 | — | 0.16 | 2.4 | — | 0.32 | 0.128 | 0.48 | 0.18 |

主要种类的分布特点：苦草、微齿眼子菜、黑藻、金鱼藻和穗状狐尾藻，能形成密集群落。以苦草为优势种形成的群落分布最广，水深也最深，底质有沙质也有泥质。微齿眼子菜分布在较深水中的肥沃的泥质底上，浅水中有时也有分布。穗状狐尾藻主要分布在浅水区，不受底质特性的限制，不论砾石、沙质或泥质底质上都可生存。黑藻及马来眼子菜主要分布在腐植质丰富的底质上。

水深 8m 以下没有沉水植物分布。

近年，洱海网箱养鱼发展过快，从 1988 年的 71.21 亩网箱发展到 200 多亩网箱。洱海网箱养鱼饵料以捞水草为主，对洱海水生植被破坏相当严重，水草的单位面积产量从 1989 年的 10.2—24.0kg/m<sup>2</sup> 减少到 0.16—2.4kg/m<sup>2</sup>。沉水植物从 18 种减少到 14 种。发展下去，水生维管束植物对湖水的净化作用减弱，进而导致藻类数量增加，水质恶化，使用功能受到影响。因此，应控制网箱养鱼的数量。

参 考 文 献

杜宝汉,1992,洱海富营养化研究,湖泊科学,4(2): 86—92。  
国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会,1989,水和废水监测分析方法,中国环境科学出版社(北京), 609。  
南京地理与湖泊研究所等,1989,云南断陷湖泊环境与沉积,科学出版社(北京),175—176。

# SINO-JAPANESE JOINT SURVEY ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF ERHAI LAKE

Du Baohan

(Dali Prefecture Environmental Science Institute, Yun nan Province 671000)

## ABSTRACT

Erhai Lake, the second large freshwater lake in Yunnan Province is located at  $100^{\circ}05' - 100^{\circ}17'E$  and  $25^{\circ}36' - 25^{\circ}58'N$ , has a surface area of  $250\text{km}^2$ , capacity of  $28.8 \times 10^8\text{m}^3$ , and mean and maximum depths of 10.5m and 20.5m.

A middle of May, 1992, joint investigation by the lake Biwa Institute of Japan and the Dali Prefecture Environmental Science Institute on the ecological condition of Erhai Lake showed that although it was the end of the dry season then, the physical and chemical aspects of the water quality of the lake were still good because there was a rich water period last year, so ever if it was the end of dry season then, the lake water level was still relatively high. The study results provide scientific basis for the protection of the lake environment and rational management of Erhai Lake whose ecological condition had been somewhat adversely affected by too large scale culture of fish.

**Key words** Ecological Water level Erhai Lake

## 欢迎订阅《海洋与湖沼》学报

《海洋与湖沼》学报遵循科学技术要面向经济建设的宗旨,倡导不同学术观点的争鸣,开展国内外学术交流,以繁荣学术、提高研究水平;报道最新科研成果,为促进科学技术的发展和加速社会主义现代化建设服务;发挥老科学家的指导作用、中年科技人员的骨干作用,热情扶植青年学者,以利于科技人才的尽快成长,从而不断壮大科技力量。《海洋与湖沼》学报,系海洋湖沼科技领域综合性的学术刊物,以报道基础研究、应用基础研究论文为主,同时重视应用研究、开发研究成果的发表;论文涉及水圈范围内的物理学、化学、地质学、环境学、生物学等学科及其分支学科的研究报告、简报、综述(还另设学术争鸣、学术简讯、书评等栏目)。对于发明创造和同国计民生有重大关系的研究成果、带有崭新学术观点的论文,特别是青年学者的优秀论文,将予以优先刊登。

《海洋与湖沼》学报由中国海洋湖沼学会主办,于1957年创刊,双月刊,国内外发行(国内邮发代号为2—421,国外刊号为BM69,每期定价8.00元,全年48.00元)。由于一向注重高水平、高质量,为学术交流、国家建设、人才成长作出引人注目的贡献,因而在国内外均享有较高声誉。1988—1993年获省部级以上优秀科技期刊奖7项,最高为国家科委二等。

《海洋与湖沼》学报愿同国内外广大科技工作者携手进步。

1994