

云南高原湖泊調查*

黎尙豪 俞敏娟 李光正 曾繼綿 陈嘉佑 高宝云 黄宏金

(中国科学院水生生物研究所)

云南高原位于我国西南隅,北与四川西部及西藏东部相連,地势甚高,一般有2,000—3,000米以上,向东向南逐渐降低,但亦在2,000米上下;东面与贵州、广西相連;南部較低,在1,000米上下,与越南、老撾及緬甸接壤,西部与緬甸及印度接壤。境内地形复杂,气候温和。

云南高原境内湖泊不少,如滇池、洱海等以其风景佳丽、鱼类种类特殊而聞名于世,境内湖泊一般因其海拔較高,湖盆較深,且均在石灰岩、砂岩地区,故其湖泊特色与长江中下游浅水湖羣迥异,与分布我国西北、东北者更不相同。

过去对云南湖泊进行調查研究者不多,一些地理地质学者在考察云南地形时,尝論及某些湖泊的形成和地貌特点,如 Depart (1912)^[25]对滇池、阳宗海、撫仙湖、星云湖及杞麓湖, Credner (1932)^[24]对滇池及洱海等有所論述。国人吳尙时,张印堂^[11]亦曾对某些湖泊地形提出看法。关于云南湖泊生物学方面进行研究者,在鱼类方面有张春霖、张璽和成庆泰、伍献文^[5]以及 Regan 等;无脊椎动物方面有张璽与易伯魯^[14]、肖之的、陆鼎恆、沈嘉瑞、王家楫^[11]、Brehm 等;藻类方面有饒欽止、李良庆、Skuja^[31]等,水草方面有毕列爵之报导。至于湖泊学方面則仅有张璽^[13]对滇池之調查和肖之的^[26]对洱海之調查而已。

作者等于1957年7—10月在云南进行了主要湖泊的調查,共調查了撫仙湖、阳宗海、滇池、星云湖、异龙湖、杞麓湖、大屯海、洱海以及其它較小湖泊共11个。采用方法見以前的报导^[16]。因調查時間較短,工作未能深入,現將結果报导如后,仅对我国湖泊及其資源的了解,以及在国民經济开发利用上提供一些資料。

一、云南的自然特点

云南高原境内,几均为南北縱貫之高山和狹谷河川,河谷地区常形成冲积平坝。由于燕山运动和喜馬拉雅运动的影响,境内地形的褶皱和断裂,通常都作南北走向。一般习惯将云南地区分为迤东,迤南和迤西三部分。

云南境内主要水系可分为四部分。西部横断山脉地区的大川有怒江和瀾滄江,其上游部分通过本省向南流出国境,至印度洋入海;北部为金沙江水系,康滇地质及昆明凹陷北部狹谷河流,均北向流入金沙江东流归长江入海;东部为南盘江水系,自北向南折向东經西江、珠江入海;中南部諸水則归紅河流經越南入海。境内湖泊頗多,大部分集中在昆明凹陷地区。在横断山脉东部边缘地区亦有較小之湖羣。

* 参加調查工作的尙有姚涌、张揚康、张礼善,云南水产公司研究室陈士平、陈修荣、王华,云南大学生物系錢澄宇等同志; 調查期間承云南省水产公司及所屬江川、大屯、石屏等养殖场給予工作上的便利; 整理工作中有張金正、李万洲、黄恩宜、林坤二、鄺华根等同志协助进行,特此致謝。

由于云南境内地形较为复杂,其气象状况亦然。主要湖泊所在的地区,属于康滇中区亚热带湿润半干旱季风区^[4],常年平均气温在15℃左右,四季不明显,主要为春秋两季,仅在1月间有冬季气候出现。从昆明向南其平均气温逐渐上升,至滇南区北界之蒙自,年均温达20.3℃。各地年均温差在10—20℃,最冷月份均为12及1月,6—8月份温度最高,全年积温在4,500—6,000℃之间(表1)。降雨量在1,000毫米上下,12月及1月份雨量最少,大部分集中在5—8月份,尤以7,8月份为最高(表2)。蒸发量年平均为1,800多毫米,

表1 云南逐月平均气温变化情况(单位为℃)

Table 1. The monthly average air temperature in the Yunnan plateau

1) 月份 2) 地区	1) 月份												年平均 均温 差	10℃ 以上 月数	15℃ 以上 月数	20℃以上月份	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
3) 大理	9.5	11.3	14.0	16.7	18.9	20.1	20.4	19.7	18.6	15.9	12.2	9.8	15.6	10.9	10	7	6,7
4) 昆明	9.2	10.8	14.3	17.6	19.6	19.7	20.1	19.7	18.3	15.4	12.2	9.5	15.5	10.9	10	7	7
5) 澄江	9.8	13.5	15.6	18.9	20.4	20.9	20.8	19.7	19.3	15.9	12.1	12.1	16.5	11.1	11	8	5,6,7
6) 玉溪	11.7	13.3	17.4	19.7	22.1	23.6	22.6	22.9	21.8	17.7	15.0	12.4	18.4	11.9	12	9	5,6,7,8,9
7) 蒙自	14.6	15.9	18.7	22.8	24.6	24.4	24.4	24.4	23.0	19.5	16.7	14.8	20.3	10.0	12	10	4,5,6,7,8,9

1) Month; 2) Region; 3) Dali; 4) Kunming; 5) Tsangkiang; 6) Yuxi; 7) Mengzi.

其干燥度蒙自为1.30, 玉溪为1.11, 昆明为0.81, 大理为0.78。日照时数在2,000—2,500

表2 云南逐月降水量(单位为毫米)

Table 2. The monthly average rainfall in the Yunnan plateau

1) 月份 2) 地区	1) 月份												年平均 雨量 (毫米) ³⁾	>100 毫米 月数 ⁴⁾	>200 毫米 月数 ⁵⁾
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
6) 大理	19.6	38.4	67.1	30.3	98.1	208.3	232.8	253.7	172.8	130.1	34.3	7.4	1292.8	5	3
7) 昆明	8.4	14.9	16.7	20.2	98.1	181.0	225.3	223.1	126.3	82.7	41.1	11.8	1049.8	4	2
8) 澄江	11.3	0.7	16.8	16.9	116.6	146.9	154.9	208.3	79.6	63.6	50.1	97.7	876.5	4	1
9) 玉溪	7.9	12.0	28.0	47.1	91.4	136.9	213.4	131.5	101.2	76.9	27.8	11.3	885.4	4	1
10) 蒙自	7.0	16.7	29.4	41.8	113.3	136.6	183.0	203.6	98.8	52.9	56.1	13.3	952.7	4	1

1) Month; 2) Region; 3) Mean annual rainfall in mm; 4) No. of months over 100 mm; 5) No. of months over 200 mm; 6) Dali; 7) Kunming; 8) Tsangkiang; 9) Yuxi; 10) Mengzi.

表3 云南干、湿季相对日照(%)

Table 3. The relative sunshine in dry and rainy seasons in the Yunnan plateau (%)

1) 地区 6) 季节	2) 大理	3) 昆明	4) 玉溪	5) 蒙自
7) 干季	60	74	62	62
8) 湿季	33	43	32	36
9) 相差	27	31	30	26

1) Region; 2) Dali; 3) Kunming; 4) Yuxi; 5) Mengzi; 6) Season; 7) Dry season; 8) Rainy season; 9) Difference.

小时之间,平均日照率为50%左右,干、湿季相对日照相差较大,干季相对日照在60—74%之间,湿季则为32—43%之间(表3)。同时,因地势较高,云层较薄,辐射强度较大。

由于多次海侵和燕山运动与喜马拉雅运动的结果,云南高原成为多半是南北平行的褶皱和断层的陆台,在第三、四纪以后,形成云南水系由四个方向排出的特殊现象,因此水生生物在区系分布上的特化也较为突出;又因高原地势向南逐步下降,季候风影响较大,气候温和,生物的种类和数量都较丰富。

二、云南湖泊的分布和成因

云南高原的褶皱在东部和西部俱为南北向，在滇南則轉为东西向，环绕昆明凹地成为一特殊的类山字型褶皱（云南弧）^[2]，因此湖泊的分布和形态亦具有同样的特点。在昆明凹陷东部的湖泊俱为南北向的长形湖，如寻甸之車湖，嵩明之楊林湖，澄江及宜良間之阳宗海（又名明湖），澄江、江川、华宁間之撫仙湖（又名澄江湖），昆明之滇池（又名昆明湖），江川之星云湖（又名江川湖），其湖的长軸与褶皱之走向一致，在华宁以南，褶皱轉为东西趋向，湖泊长軸亦作东西向，如通海之杞麓湖（又名通海湖），石屏之异龙湖（又名石屏湖）。在横断山脉东緣，康滇地盾西部之湖泊，亦与褶皱之南北走向一致，为南北长形，如永胜之程海（又名黑烏海），剑川之剑湖，大理之洱海。

从分布上，可以看出云南高原之湖泊主要是集中在昆明凹陷地区，如楊林湖，滇池，阳宗海，撫仙湖，星云湖和杞麓湖等构成了昆明湖羣，其中除滇池属于金沙江水系外，俱属于西江、南盘江水系，蒙自的大屯海及长桥湖就在北回归綫南面属滇南区域湖泊，气象和地形条件与昆明湖羣有所不同，而和北回归綫稍北之异龙湖近似。洱海在高原西部，气象条件与昆明虽有类似处，因在横断山脉之东南緣，地形条件上相差則又頗大。

云南湖泊的成因可归为三类，即褶皱断层，侵蚀冲积和陷落冲积。每一湖泊的形成虽有一个主要因素，但常是几个因素同时作用所成的，大部分湖泊

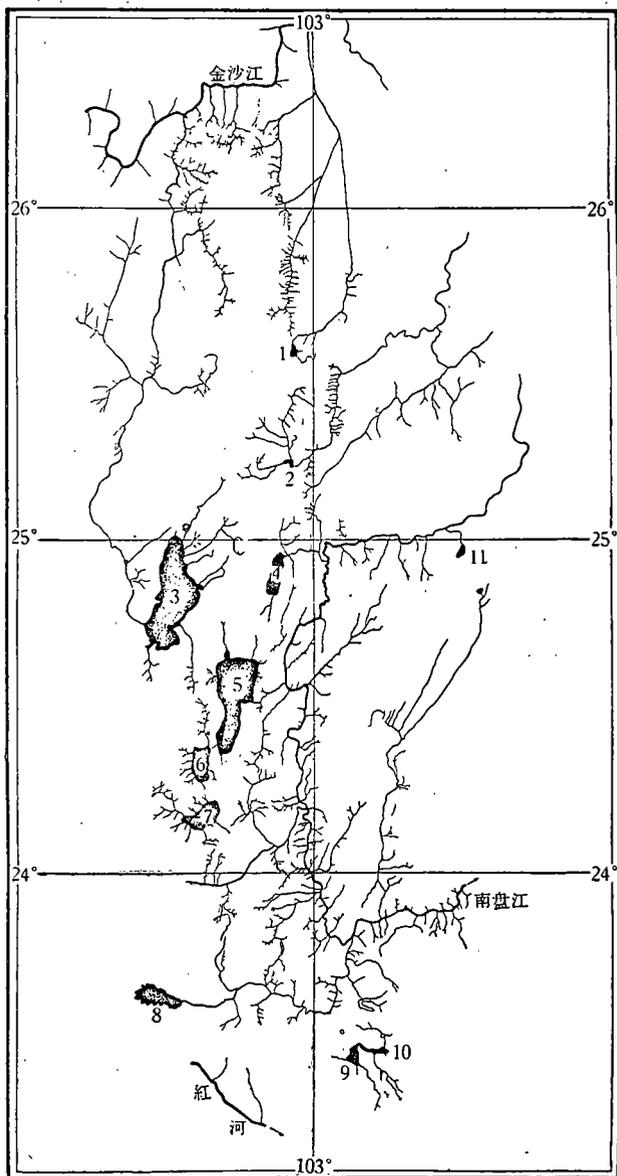


图1 云南高原东部湖泊分布图(依 Deprat 1912, 1:1225000 图修改)
1. 車湖; 2. 楊林湖; 3. 滇池; 4. 阳宗海; 5. 撫仙湖; 6. 星云湖; 7. 杞麓湖; 8. 异龙湖; 9. 大屯湖; 10. 长桥湖。

Fig. 1. Hydrological map, showing the lakes in the eastern part of the Yunnan plateau (after Depart, 1912, modified). 1:1225000.
1, Chūhu lake; 2, Yanglinhu lake; 3, Kunminghu lake; 4, Yangchunghai lake; 5, Fusienhu lake; 6, Singyunhu lake; 7, Ch'iluhu lake; 8, Ilunghu lake; 9, Dat'unhu lake; 10, Changchiaohu lake.

都是由于几次造山运动的褶皱断层和陷落所成。如滇池是由于断层下陷后受侵蚀冲积所成,在西山还可以明显地看到大的断层面。在阳宗海之西岸陡坡和抚仙湖之东西两岸山坡上,可看出明显的断层面(照片1和2)。归纳起来,我们调查的云南主要湖泊的成因如下:以断层褶皱为主的有阳宗海,抚仙湖;以断层冲蚀为主的有滇池,星云湖;以沉降、侵蚀为主的有洱海,异龙湖,大屯海;仅以侵蚀为主的有杞麓湖。

三、湖盆之形态

湖盆的测值除深度以外¹⁾,大部分是依据测量地图计算的,湖盆形态测量数值如表4。

表4 云南湖泊湖盆形态测量数值*

Table 4. Morphometric data for the lake basins in Yunnan plateau

¹⁾ 湖名	²⁾ 滇池	³⁾ 阳宗海	⁴⁾ 抚仙湖	⁵⁾ 星云湖	⁶⁾ 杞麓湖	⁷⁾ 异龙湖	⁸⁾ 大屯湖	⁹⁾ 洱海
¹⁰⁾ 测量数值								
¹¹⁾ 面积 (km ²)	321.2	30.75	196.59	39.0	47.12	52.18	18.2	248.57
¹²⁾ 面积 (亩)	481807.5	46125	294885	58500	70686	78262.7	27300	372855
¹³⁾ 长轴 (km)	40.8	12.15	31.4		14.7	14.35		40.45
¹⁴⁾ 宽度 (km)	最宽 ¹⁵⁾	12.8	3.0	11.7		5.2	5.76	8.625
	最狭 ¹⁶⁾	2.448	1.45	2.725		0.725	2.325	3.275
	平均 ¹⁷⁾	7.624	2.225	7.2125		2.9625	4.0425	5.95
¹⁸⁾ 平均宽/长轴	0.187	0.183	0.229		0.202	0.281		0.147
¹⁹⁾ 湖岸长(km)	199.5	32.27	90.545	36.31	63.885	86.03	19.14	116.85
²⁰⁾ 湖岸发育率	3.14	1.64	1.81	1.64	2.62	3.29	1.27	2.11
²¹⁾ 湖面海拔高度(m)	1885	1770	1875	1873	1820	1414	1280	2000
²²⁾ 最大深度(m)	6	28	160	9.8	5.9	5.5	3	20
²³⁾ 平均深度(m)	4.714	20.27	88.27	2.85	4.11	4.33	2.61	11.903
²⁴⁾ 平均深度/最大深度	78.6	72.3	55.2	29.1	69.7	78.7	87	59.515
²⁵⁾ 最大深度/√面积	33.5 × 10 ⁻⁵	505 × 10 ⁻⁵	1140 × 10 ⁻⁵	156.8 × 10 ⁻⁵	85.9 × 10 ⁻⁵	74.9 × 10 ⁻⁵	70.3 × 10 ⁻⁵	127 × 10 ⁻⁵
²⁶⁾ 平均深度/√面积	26.3 × 10 ⁻⁵	366 × 10 ⁻⁵	629 × 10 ⁻⁵	45.6 × 10 ⁻⁵	59.8 × 10 ⁻⁵	58.9 × 10 ⁻⁵	61.1 × 10 ⁻⁵	75.5 × 10 ⁻⁵
²⁷⁾ 容 积(m ³)	15 × 10 ⁸	6.2 × 10 ⁸	173.5 × 10 ⁸	1.1 × 10 ⁸	1.9 × 10 ⁸	2.1 × 10 ⁸	0.47 × 10 ⁸	29.5 × 10 ⁸

1) Name of lake; 2) Kunminghu; 3) Yangchunghai; 4) Fusienu; 5) Singyunhu; 6) Ch'iluhu; 7) Ilunghu; 8) Dar'unhu; 9) Erhai; 10) Morphometric data; 11) Area; 12) Area (in "mou"); 13) Long axis; 14) Width; 15) Maximum; 16) Minimum; 17) Average; 18) Ave. width/Long axis; 19) Length of shoreline; 20) Rate of shore development; 21) Altitude of lake surface; 22) Maximum depth; 23) Average depth; 24) Average depth/Maximum depth; 25) Maximum depth/√Area; 26) Average depth/√Area; 27) Volume.

* 除星云湖和大屯湖面积及湖形图是根据水产部门的资料外,其余的湖都是根据实测地图计算,其中滇池和洱海是根据 1:25000 地图,抚仙湖和杞麓湖 1:10000,异龙湖和阳宗海 1:5000。湖的深度都是根据锤测数据。

1) 这次测量湖盆深度和 Depart 1909 年测量数值相差颇大,除抚仙湖深度尚一致外,阳宗海、滇池、杞麓湖、星云湖等都浅了许多,阳宗海相差最大。

从表中可以看出大部分湖泊的深度是在 20 米以内，其中仅阳宗海及撫仙湖深度在 20 米以上。撫仙湖深达 160 米（图 2），为我国已知的第二深湖（第一深湖为东北长白山頂之天池火口湖，深达 315 米）。因为大部分湖泊都是由于地質构造和侵蝕形成，故湖岸較为弯曲，湖岸发育率大部分在 2 以上，在較深湖泊——阳宗海和撫仙湖的湖岸发育率則在 2 以下，尤其是阳宗海几为两岸平行之长方形（图 3）。湖床大部都較为平坦，滇池（图 4），异

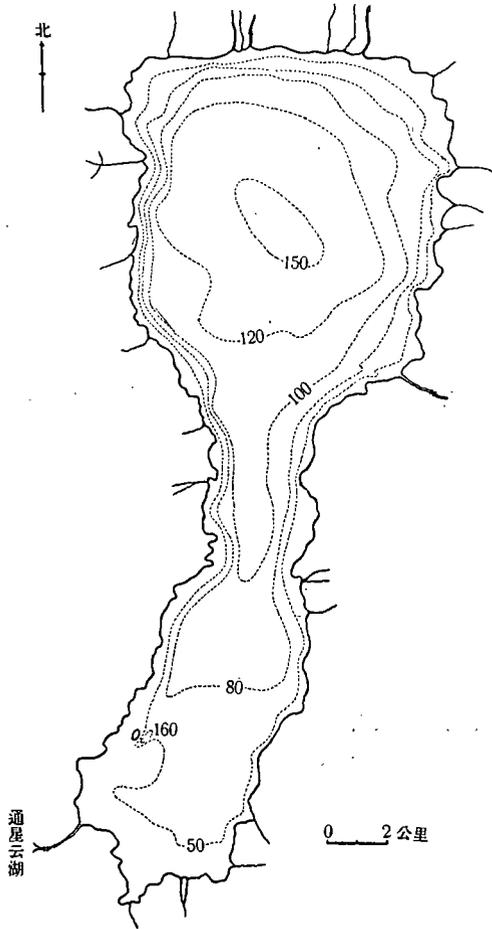


图 2 撫仙湖形态图(依 1:10,000 地图)
Fig. 2. Morphological features of the Fushihu Lake (based on 1:10,000 map).

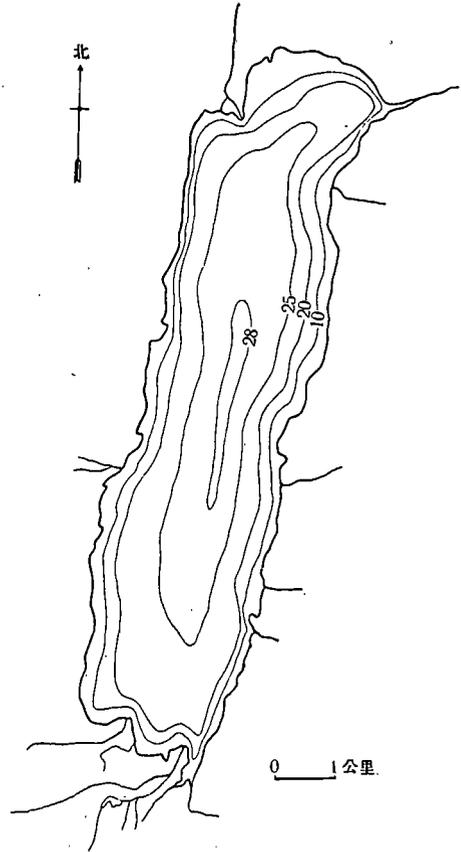


图 3 阳宗海形态图(依 1:5,000 地图)
Fig. 3. Morphological features of the Yangchunghai Lake (based on 1:5,000 map).

龙湖（图 5），大屯海（图 6）湖床坡度极緩，有机物沉积較厚，湖泥为灰黑色，杞麓湖（图 7）是侵蝕类型，湖床傾斜亦平緩，湖中尚有侵蝕遺留的石梁。在湖东南端有較大的溶洞（喀斯特），水位上升时，水从溶洞排出，如加深水沟，全湖的湖水均可从此溶洞放出，据当地居民称：此溶洞的出口在三十里外的南盘江水系狭谷中。星云湖（图 8）与撫仙湖相邻，为高山隔断，中間有一长 5 市里的夹谷沟相連；星云湖水位較高，湖水經水沟流入撫仙湖中（1957 年 8 月 20 日实测流量为 5.5 立方米/秒）。星云湖深度在 10 米以内，湖底有机物沉积很厚，湖东西岸山坡上尚可見較厚的軟体动物（斧足类）壳的沉积。撫仙湖为一面积較

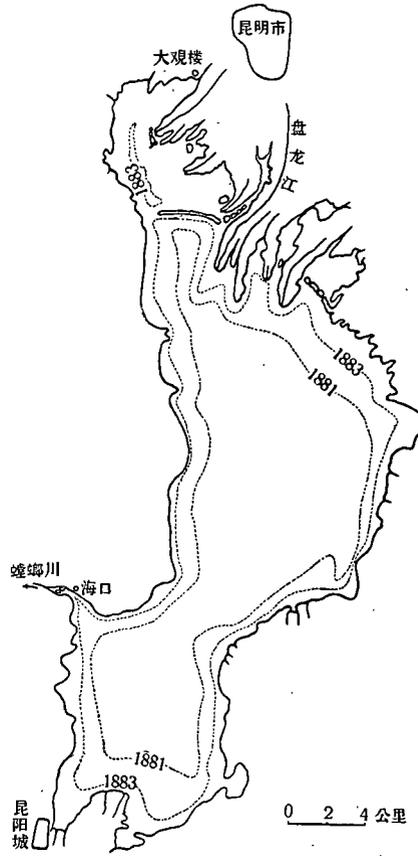


图 4 滇池形态图(依 1:25,000 地图)
 Fig. 4. Morphological features of the Kunminghu Lake (based on 1:25,000 map).

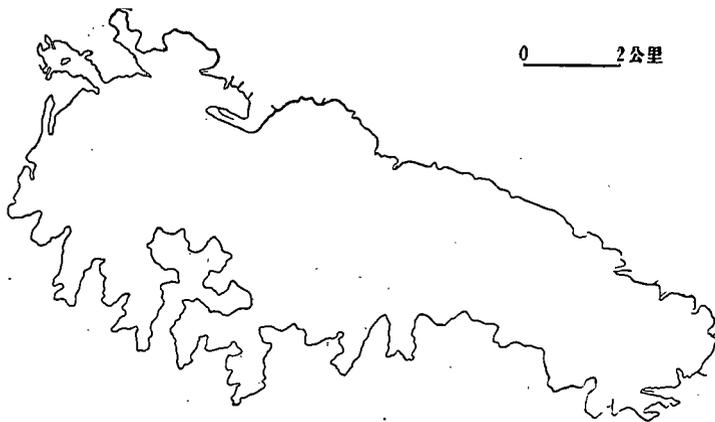


图 5 异龙湖形态图(依 1:5,000 地图)
 Fig. 5. Outline of the Ilunghu Lake (based on 1:5,000 map).

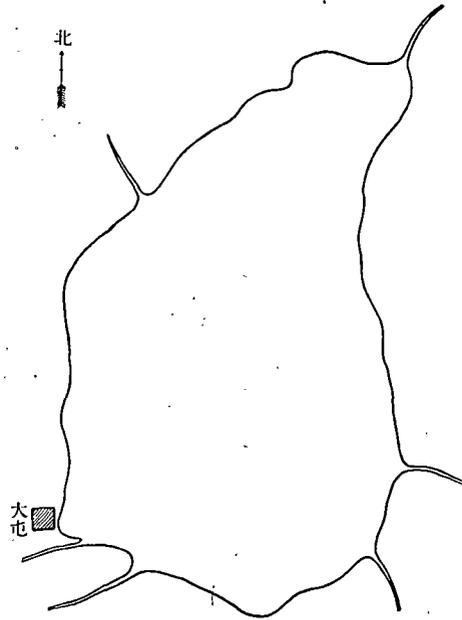


图 6 大屯湖形态图(依大屯湖养殖场草图)

Fig. 6. Outline of the Dat'unhu Lake (based on a sketch made by the Datunhu Fishculture Station).



图 7 杞麓湖形态图(依 1:10,000 地图)

Fig. 7. Outline of the Ch'iluhu Lake (based on 1:10,000 map).

大之深水湖,湖床坡度极陡(图 9)。在 20 米以内的湖盆仅占全湖面积的 8.89%,平均深度 88.27 米,南端稍浅,北端较深,南部靠近星云湖口处有一孤山(湖中唯一小島),島东侧有溶洞型深凹,深达 160 米。洱海(图 10)是由于点苍山的上升而形成的沉降低地,陷落积水成湖,又由于洱河的侵蚀和东部石灰岩地区的溶解,因此湖床的西部、南部和北部较浅,湖东部较西部深,以中部偏北湖床为最深,达 20 米。湖底有机物质含量颇高,淤泥亦较

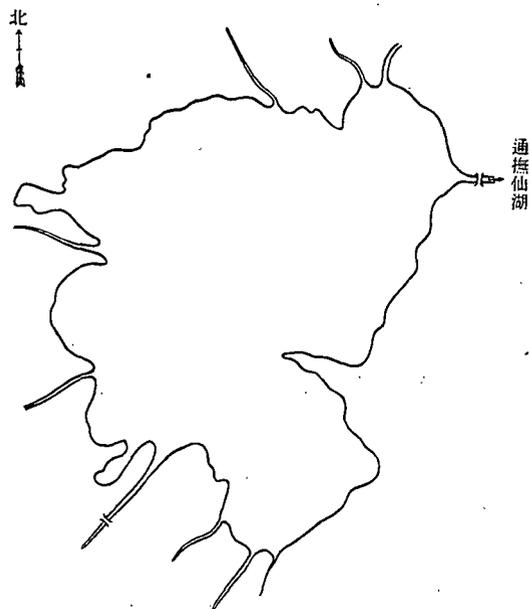


图8 星云湖形态图(依江川县图)
Fig. 8. Outline of the Singyunhu Lake
(based on the map of Chiangchuan district).

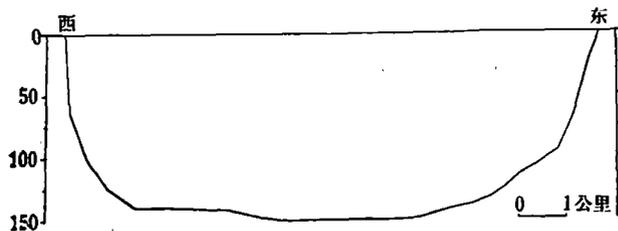


图9 撫仙湖北部湖盆断面图
Fig. 9. Cross section of the lake basin in the
northern part of the Fusienu Lake.

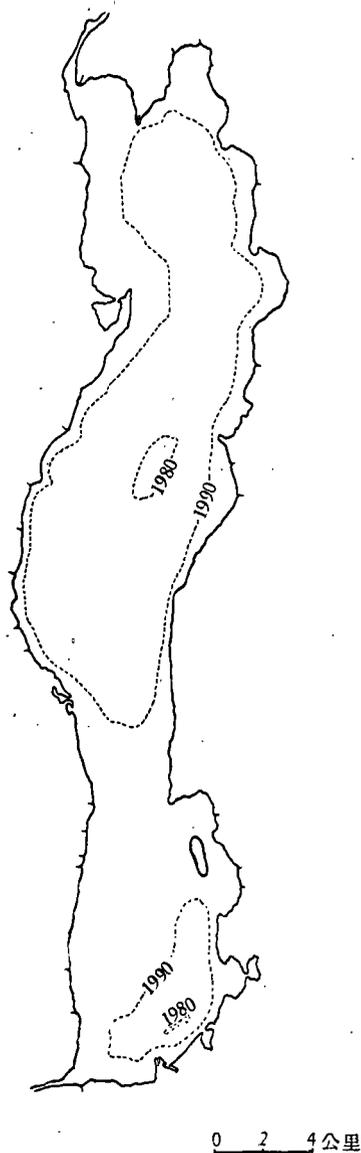


图10 洱海形态图(依1:25,000地图)
Fig. 10. Morphological features of the
Erhai Lake (based on 1:25,000 map).

厚。

一般湖泊年水位差在1—2米左右,每年5月間水位最低,这与云南降雨季节及春季日照率較高有关。

根据上述情况,可以看出,云南湖泊从形态上可分为两大类型:一类是湖水較浅、湖床傾斜度較平緩、湖岸弯曲度較大、湖底有机物淤积較厚的浅水型湖泊,大部分湖泊属于这一类;另一类型是湖盆較深、湖床傾斜度較大、湖岸綫較平直的深水型湖泊,像阳宗海,撫仙湖是。洱海是界于两者之間而偏于前一类型。

四、湖水的理化特性

1. 温度条件

(1) 表层水温

云南昆明湖羣地区和洱海地区的气温年变幅較小(10—20℃), 年平均温度都在 15℃ 以上, 日平均气温最高为 20—24.6℃; 因此, 湖泊水温的变化幅度亦不大。在調查期間, 日間湖水表层水温在 18.4—26.5℃ 之間, 湖面气温在 16.5—31℃。从表层水温和气温的关系上, 可以看出: 在午前水温普遍高于气温, 午間則水温和气温相差不大, 午后水温和气温几相等或气温稍高于水温; 在深水湖(如撫仙湖和阳宗海)水温比較稳定, 在 7—9 月間湖面气温常高于水温 0.6—2.9℃; 在 10 月初則表层水温在午前稍高于气温。在夜間、阴天或雨天則水温常高于气温。

从我們在 1957 年 7 月 30 日至 31 日在阳宗海、8 月 26 日至 27 日及 9 月 29 至 30 日在撫仙湖測定湖面气温和表层水温昼夜变动情况看来, 在晨 4 时水温和气温的温差最大, 可达 6.3℃; 水温的日变化小于 1℃, 气温日变化則在 4℃ 左右。

1956 年每月平均气温和水温的动态, 以阳宗海、撫仙湖、滇池为例, 可以看出: 全年中除 3、4 月份外, 月平均表层水温均較气温高。温差自 5 至 11 月逐月上升, 2 月份下降, 3、4 月份稍低于气温(图 11)。这种现象的产生和云南昆明凹陷地区年温差較小, 冬季日照率較高, 湖水較深, 貯藏热量較大有关。

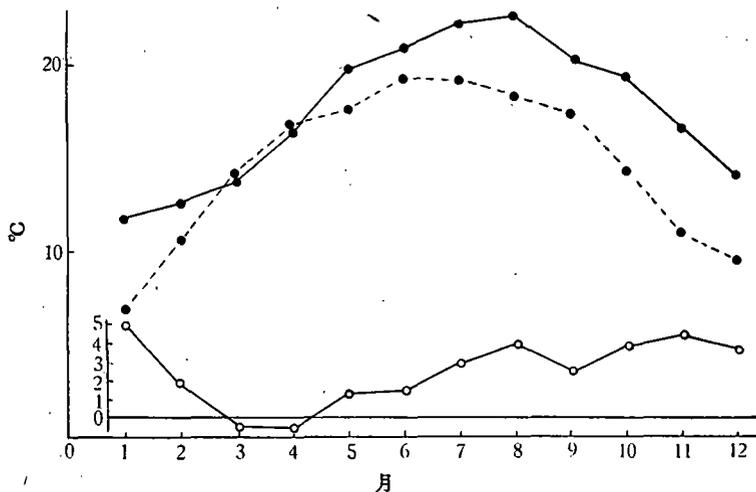


图 11 撫仙湖湖水表层水温和气温的年动态

Fig. 11. Seasonal variation of the average air temperature and subsurface water temperature of the Fusienu Lake.

(2) 水温的垂直分布

在平均水深 15 米以內的湖泊中表层水温和底层水温基本上是一致的, 在絕大多数情况下, 表层水温稍高于底层 (<1℃, 其中一个达 3.3℃); 少数水域亦有底层水温高于表层 (<1℃, 其中一个达 3.1℃)。个别的差异較大, 可能是由于測定前天气骤变的影响所致。在水深 20 米以上湖泊, 表、底层水温差較大, 如阳宗海南部为 4℃, 北部为 7.1℃, 撫仙湖

南部(深 45 米处)为 7.3℃,中部(深 100 米处)为 8.8℃,北部(深 150 米处)为 9.6℃。但在所有深湖中各站均未发现明显的温跃层(Thermocline)。在阴雨天气,阳宗海北部 11—13 米之間曾出現短暫温跃层,温差最高达 2.5℃/米。

水温分层现象的昼夜变动亦頗明显,如阳宗海在 7 月下旬測定結果,从表面至 5 米間水温昼夜波动甚微($<1^{\circ}\text{C}$),15 米以下变动亦小($<1.5^{\circ}\text{C}$),在 5—15 米間变动較大,温差达 3.5℃,从白天至午夜在 12—13 米处出現水温跃层,在午夜至翌日上午水温跃层又消失。在撫仙湖 8 月下旬和 9 月下旬測定結果,各层水温昼夜变动极小($<1^{\circ}\text{C}$),只在 8 月下旬于 20 米处水温在午夜前比下午高 1.6℃。从季节变动上看,撫仙湖的 20 米以上水温在 9 月下旬較 8 月下旬低約 1—2℃,在 20 米以下則是一致的,在阳宗海 10 月上旬測定的水温比 7 月下旬的低,表层水温相差 3—4℃,底层較一致(差約 0.5℃)。

从温度分布和变动状况来看,云南湖泊的水温与当地气象特点是完全一致的。根据气象分析,在湖区一年中有 10—11 个月是属于春、秋季天气,1—2 个月是冬季天气,只在南部地区有短暫之夏季,和在各地有短时间的温度特高的个别现象。因此,反映在水温上的情况是:虽在 7—10 月間,20 米以內湖泊基本上是处于湖水循环期,水温分层极不明显,就是在 20 米以上,甚至 150 米深的湖泊,其水温虽有显著分层,但水温是依深度逐渐下降,沒有显著的水温跃层,或只在一昼夜間,由于气温的驟变而出現短暫的温跃现象。

(3) 热量差

由于云南高原湖泊的水温終年較高,因此年热量差亦較大,依 Birge (1915)^[23]公式計算(年热量差 = $Dm(Tm' - Tm'')$),阳宗海的年热量差为 24,000 cal/cm²,撫仙湖为 107,000 cal/cm²(均以年表面水温計算),滇池的年热量差为 6,835 cal/cm²,洱海为 12,000—18,000 cal/cm²)。欧洲湖泊的年热量差大部分在 20,000—40,000 cal/cm²,北美洲的湖泊年热量差平均值为 36,000 cal/cm²^[23],以高原湖泊而論,云南湖泊的年热量差是不高的。

2. 光条件

(1) 水色和透明度

云南的湖泊,依水色和透明度可分为两大类。在平均水深 15 米以內的湖泊,水色在 Forel-Ule 11—19 号之間,大部分在 15—18 号,在 15 米以上的湖泊,其水色在 5—9 号之間,大部分为 5—8 号。

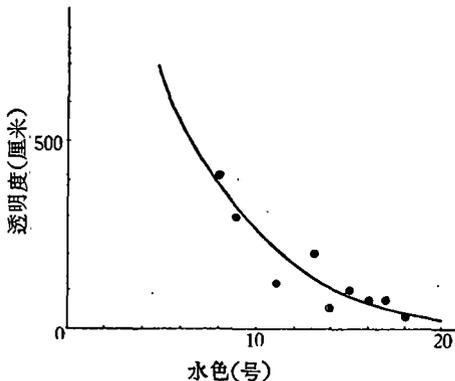


图 12 水色和透明度的关系曲线
Fig. 12. Correlation between colour and transparency of lake water.

在平均水深 15 米以內的湖泊,透明度都在 200 厘米以內,其中星云湖和滇池則在 25—80 厘米之間。阳宗海的透明度在 300—600 厘米之間,8 月底和 10 月初的透明度高于 7 月下旬的。撫仙湖的透明度最大,为 780—850 厘米,为我国目前已知透明度最大的湖泊。星云湖与撫仙湖仅一山之隔,但两者之水色和透明度相差极大,就在有大量星云湖水流入的撫仙湖南部,透明度亦达 780 厘米。

2) 洱海材料系依肖之的^[20]資料計算。

从水色和透明度两者的关系上来看,可以看出透明度在 100 厘米以內者,其水色在 14—20 号之間,100—200 厘米者,其水色在 11—15 号之間,个别可达 18 号,透明度在 300—400 厘米者,在 8—9 号之間,400 厘米以上者都为 5 号,它們的关系为一曲线关系(图 12)。

3. 湖水中溶解气体状况

(1) 溶解氧含量

云南湖泊中的表层水中溶解氧含量是較高的(表 6),在平均水深 15 米以內的 8 个湖泊的 23 个站測定結果,有 6 站是饱和或过饱和的(饱和度已依水温和气压换算),溶解氧饱和度在 90—99.1% 的占 11 个,80—89% 的 4 个,80% 以下的 2 个。其中面积較大的湖泊,如洱海,表层水中溶解氧饱和度在 98.8% 以上,高的达 118.00%,滇池外湖測定的三站都在 99.1% 以上,內湖(即草海)因面积小,腐泥很厚,低至 45.2%。在深 20 米以上的 2 个湖泊測定 12 站次的結果,表层水溶解氧饱和度在 100% 以上的占一半,89—98% 的占一半。湖面积的大小和溶解氧含量之間的关系并不那么显著,而风力的大小影响較大,如阳宗海虽面积为撫仙湖的 1/6,因风大,在 7 月下旬和 10 月上旬溶解氧量除一站为 97.7% 外,都在 100% 以上,最高达 125.5%。撫仙湖則在 94.52—99.56% 之間。

溶解氧含量的分层現象也頗为显著,平均水深 15 米以內湖泊,深度在 5 米以內的水层,溶解氧含量基本一致,这和湖中水草茂盛有密切关系;在 5 米以下則溶解氧含量有所降低,如星云湖深 9.5 米处仅为其表层水的 78.4%,即降低約 1/4;在洱海更为显著,在 19 米深处仅为表层溶解氧含量的 39.7% (表 5)。在深水湖中,溶解氧分层現象比浅水湖泊

表 5 洱海湖溶解氧含量水平和垂直分布状况

Table 5. Horizontal and vertical distributions of the dissolved oxygen content in the Erhai lake

1) 采样站 6) 深度(米)	I. 2) 湖南部水域 (1957年9月7日9时)			II. 3) 湖中部偏南 (1957年9月7日 11时30分)			III. 4) 湖中部偏北 (1957年9月7日18时)			IV. 5) 湖北部 (1957年9月9日11时)		
	水温℃	O ₂ 毫克/升	O ₂ %	℃	O ₂ 毫克/升	O ₂ %	℃	O ₂ 毫克/升	O ₂ %	℃	O ₂ 毫克/升	O ₂ %
0.5	22.4	6.95	98.80	23.7	6.95	100.02	25.0	7.95	118.00	24.5	7.09	104.38
5	22.5	6.59	92.16	22.7	6.22	88.92	23.7	7.09	103.08	24.3	7.09	104.03
8	22.7	6.05	86.48	22.7	6.05	86.48						
10							23.1	7.26	104.48	23.5	5.19	75.20
15							23.1	5.19	74.69			
19							22.7	3.28	46.88			

1) Sampling station; 2) Southern part; 3) Southern half of middle part; 4) Northern half of middle part; 5) Northern part; 6) Depth (m).

注: 溶解氧饱和度系依温度和海拔高度标准换算。

更为明显,如阳宗海在 7 月下旬調查时,在 5 米以上的表层水中溶解氧饱和度都达饱和或过饱和,在 15 米处,除南部水域因山溪水从南部流入,溶解氧还达到饱和外,中部及北部溶解氧饱和度分别为 80.6% 及 78.0%,在 23—25 米处则为 31—32%,为表层的 27.9% 和 25.0%;在 8 月下旬和 10 月上旬,溶解氧含量都下降,除表层达饱和外,在 20 米以下水层中溶解氧含量为表层的 25% 以下,个别达到 9% (实际溶解氧含量为 0.69 毫克/升),这是温带型湖泊夏季停滞期常有的現象,也是热带型湖泊全年大部分時間所有的現象。

表 6 云南湖泊水质物理

Table 6. Physical and chemical data

1) 湖 名	2) 时 间	3) 气温 °C	4) 水温 °C	5) 透明度 厘米	6) 水色号	7) pH	8) 溶解氧 毫克/升	9) CO ₂ 毫克/升
18) 滇 池	9 月 26 日	16.1—18.0	18.2—20.9	25—80	17—20	8.3—8.5	2.94—8.13	0—3.06
(一)	7 月 26 日	24.1—28.0	18.3—25.4	300—480	7—8	8.5	2.46—8.46	0—2.29
19) 阳宗海 (三)	10 月 4 日	19.8—25.1	18.6—20.8	450—600	7—8	7.8—8.6	0.69—7.95	0—2.29
20) 撫 仙 湖	8 月 23—25 日	25.9—26.8	14.9—24.9	700—850	5	8.1—8.7	2.51—6.92	0—1.53
21) 星 云 湖	8 月 20 日	22—25.2	22.6—24.5	50—60	14—15	8.4—8.7	5.16—6.57	0
22) 杞 麓 湖	8 月 16 日	25—31	23.2—26.5	120—200	13—15	8.3—9.0	5.99—7.54	0
23) 异 龙 湖	8 月 10 日	20.8—26	25.4—28.8	90—130	11—18	8.9—9.2	5.35—5.84	0
24) 大 屯 湖	8 月 4 日	25.2—25.5	25—25.7	110—120	11	8.4—8.5	5.77—6.92	0—0.76
25) 个旧人工湖	8 月 7 日	20	21.3—22	90	—	6.6—6.9	2.62—5.84	0—3.82
26) 洱 海	9 月 7—9 日	19.6—24.9	22.4—25	80—190	12—16	7.9—8.5	3.28—7.95	0—2.29

1) Name of lake; 2) Date; 3) Air temperature; 4) Water temperature; 5) Transparency in cm; 6) Water Chloride; 7) pH; 8) Dissolved oxygen; 9) CO₂; 10) Chloride; 11) Organic matter; 12) Total hardness; 13) NO₃-N; 14) NO₂-N; 15) NO₂-N; 16) PO₄-P; 17) SiO₂; 18) Gujiurengonghu; 19) Erhai.

撫仙湖的深度虽較阳宗海大,但湖面大,平均深度也大,因此水层中溶解氧分层现象虽极显著,但相差却不如阳宗海突出,底层溶解氧饱和度在 100 米以内尚有 56.85% 以上,在 150 米深处亦尚有 32.47%,为表层的 32.5%。

溶解氧含量的昼夜变动,以撫仙湖在 8 月下旬和 9 月下旬调查结果来看,以清晨 7—8 时的含量最低,午后 18—20 时的含量最高,因此在夜间亦有 10 米处溶解氧含量略高于 5 米处的逆转现象。在阳宗海则以中午前后溶解氧含量较高,午夜较低,这可能是测定时天气阴雨所致。

(2) 二氧化碳和硫化氢

我们是采用酚酞作指示剂来测定 CO₂ 的。测定结果,在云南湖泊中,除在湖水底层有少量外,大部分水层中都不含游离 CO₂ (表 6),这可能和湖水的总硬度极高、pH 在 8.3 以上有关。我们没有进行 HCO₃ 及 CO₃ 的测定,但从硬度极高情况来看, HCO₃ 及 CO₃ 含量是会较高的。

硫化氢的含量很低(表 6),有些浅水湖,虽湖底淤泥较厚,但由于溶解氧含量较高,有机物残骸是在有氧情况下进行分解的, H₂S 含量较少也是很必然的。

4. pH 值

除个别小型浅水湖和人工湖外,表层湖水 pH 都在 8.3 以上,最高达 pH 9.2,很显然,云南湖泊都是属于微碱性水型(表 6)。

在大多数湖泊中, pH 值的水平分布上差别不大(>1),各水层的 pH 值也基本上是一致的。在深水湖如撫仙湖中,表、底水层间 pH 值稍有变化,但亦在 pH 0.4 以内。昼夜间亦仅有极微的差别,这些差别不大的原因看来是与湖泊大部分是在石灰岩地区,湖水偏碱性,有较高的缓冲能力有关;深水湖泊中生物量较少和呼吸率较低,亦有一定关系。

5. 盐类

湖水普遍地硬度很高,除星云湖外,都属于极硬水范围(表 6),总硬度都在 60° 以上;最高的为异龙湖,高达 117.23°—134.47°。这种总硬度很高的现象,和湖泊的地理地质环

化学性質分析表 (1957 年)
for the lakes of Yunnan plateau (1957)

¹⁰⁾ H ₂ S 毫克/升	¹¹⁾ 氯化物 毫克/升	¹²⁾ 有机物 毫克/升	¹³⁾ 总 硬 度	¹⁴⁾ 硝 酸 盐 毫克/升	¹⁵⁾ 亚硝酸盐 毫克/升	¹⁶⁾ 磷 酸 盐 毫克/升	¹⁷⁾ 硅 酸 盐 毫克/升
—	9.52—11.42	2.62— 6.37	54.48— 67.24	0—0.133	0—0.42	0.09—0.13	0— 6.44
0—0.54	2.85— 3.80	4.00— 8.80	58.52— 77.58	0—0.033	0	0—0.015	0— 2.4
0	5.71— 7.62	1.92— 2.68	74.13— 81.03	0.004—0.011	0	0.054—0.064	0— 4.36
0	7.62—19.02	5.25—12.45	68.96— 75.86	0—0.066	0	0.017—0.041	微— 3.16
0—0.36	8.51— 9.52	11.6—19.20	73.58— 84.48	微—0.073	0—0.014	0.012—0.024	0— 1.28
0—1.09	11.42—13.32	13.60—14.80	70.68—101.72	0.005—0.072	0	0.040—0.059	0.72— 2.34
0	13.32—15.22	12.00—19.44	117.23—134.47	微—0.01	0	0	4.22—10.59
0—0.37	9.52	13.6	39.65	0.007—0.013	0—0.005	0.025	2.52— 3.07
0	26.66	6.8—26.8	48.27— 55.17	0.70—0.72	0.34—0.39	0.55—0.61	3.80— 4.60
0	3.80— 5.71	0.74— 4.87	58.62— 63.79	0.0054—0.055	0	0.026—0.217	1.84— 2.82

colour in Forcl scale; 7) pH; 8) Dissolved oxygen; 9) Dissolved carbon dioxide; 10) Hydrogen sulfide; 18) Kunminghu; 19) Yangchunghai; 20) Fusienhu; 21) Singyunhu; 22) Chiluhu; 23) Ilunghu; 24) Datunhu;

境有密切联系,一方面由于湖泊是属于石灰岩地区的同时水源的补给又主要是依赖于四周的高山地表径流,因此 Ca 的含量就显著地增加,湖水应属于钙型碱性水。

6. 生源元素

因为是在野外条件下进行的,只测定 NO₃, NO₂, P₂O₅ 和 SiO₂ 的含量。从测定结果来看,生源元素的含量是較低的(表 6),硝酸态氮的含量除面积很小的个旧人工湖达到 0.70—0.72 毫克/升以外,其余湖泊中的硝酸态氮含量都小于 0.13 毫克/升,其中以滇池的含量較高(0.01—0.133 毫克/升),在 7 月下旬調查阳宗海时,硝酸态氮含量除部分底层水中尚有少量外,各层水中均在测量不出的范围内,但在 10 月上旬第三次調查时,硝酸态氮含量有所提高(0.004—0.11 毫克/升),在硝酸态氮少的水体中,亚硝酸盐亦极少,大部分都在测定不出的范围内,只滇池的部分地区达到 0.42 毫克/升。从湖泊中溶解氧含量都很高的情况表明,湖水的氧化力较强, NH₄-N 的含量也不会高的。因此,无机态氮的总量是較低的。

磷酸盐磷的含量在浅水湖中还是比较高的(表 6),其中洱海和滇池的含量較高,分别为 0.026—0.217 毫克/升和 0.09—0.13 毫克/升,个旧人工湖最高达 0.55—0.61 毫克/升;其余湖泊,除异龙湖少至测不出外(其 pH 为 8.9—9.2),皆在 0.012—0.059 毫克/升之間,深水湖泊中,阳宗海在 7 月下旬除北部湖水含有微量外,其余各水层中均测定不出;但在 10 月上旬亦显著上升,达到 0.054—0.064 毫克/升。撫仙湖各层水中均有一定量的磷酸磷(0.017—0.041 毫克/升),也可以看出它的分层现象;該湖南部水域中表层含量比中层稍高,中部水域则中层較高,北部水域又为中层稍低,即各水域垂直分布情况稍有差异。

硅酸盐含量在浅水湖中一般都较为丰富,>1 毫克/升(表 6)。但在深水湖中,如阳宗海、表层水中测不出来,在底层則较多,在 10 月上旬底层硅酸盐含量高达 3.52—4.36 毫克/升,撫仙湖水中大部分含量小于 1 毫克/升,仅在 150 米深层处則达到 3.16 毫克/升。

从生源元素的含量来看,云南湖泊中作为生物营养元素的含量一般都是較低的,依照吉村(1939)^[24]綜合日本湖泊調查分析結果,在生源元素含量上 N 含量为 0.2 毫克/升和

P_2O_5 为 0.05 毫克/升的湖泊属于富营养型,低于此的为贫营养型。在云南湖泊中,除个旧市内人工湖和滇池达到富营养型水平外,仅洱海及杞麓湖的磷酸盐含量在 0.05 毫克/升以上。浮游生物和鱼产量都最丰富的星云湖的生源元素含量也在此水平以下,同时,从阳宗海 10 月上旬的含量比 7 月下旬高,磷酸盐磷为 0.054—0.064 毫克/升,有显著的季节差异。因此,以生源元素作为湖泊类型的分类标准时应特别注意,必须和各方面的情况结合起来看才能获得较正确的判断。

有机物质的含量是以高锰酸钾测定耗氧量来计算的。在平均水深 15 米以内的湖泊中,有机物耗氧量除洱海为 0.74—4.87 毫克/升和滇池为 2.62—4.87 毫克/升外,都在 10—20 毫克/升之间,星云湖的有机物耗氧量则高达 73.38—84.48 毫克/升。深水湖中,阳宗海为 8.8 毫克/升以下,抚仙湖的含量稍高,达 12.45 毫克/升,其南部和中部略高于北部水域,这多少受到星云湖水流入的影响。

五、云南湖泊的生物学特性

由于云南高原自然环境的复杂,生物种类极为丰富,在湖泊中的生物亦无例外。在此次调查中收集到的生物资料极为丰富,本文中仅就有关湖泊的特点加以综述,种量变化和区系方面的研究将另文报导。

1. 浮游生物

从浮游生物的种类和数量上看,云南湖泊显然可分为两种情况:在较深的湖——阳宗海和抚仙湖,不论在种类上或数量上都较贫乏;在平均水深在 15 米以内的浅水湖泊,种类和数量都较为丰富。

(1) 浮游生物的种类和数量³⁾

在阳宗海与抚仙湖中,浮游植物的主要种类为硅藻门的圆盘硅藻属(主要为菱形圆盘硅藻 *Cyclotella rhamboideo-elliptica* Skuja 和其他种类),隐藻类中的蓝隐藻(*Chroomonas* sp.),甲藻门中的飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella* (Muller) Schrank),黄藻中的勃氏黄被藻(*Botryococcus Braunii* Kuetz.)和绿藻门中的伸臂角星鼓藻(*Staurastrum paradoxom* Meyer)。但其中值得特别注意的是抚仙湖在 8 月下旬在湖的北部曾发现大量的水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs),每升水中可达 10,000 个。水华束丝藻是乙型中污性种类,喜生长在营养物质较丰富,有机物质较多的水体中;抚仙湖水中生源物质含量较低,有机物耗氧量亦不过 10 毫克/升,因此,水华束丝藻在抚仙湖的较大数量的出现值得我们重视。

在水深 15 米以内的湖泊中,浮游植物的组成上和前面两个深水湖有所不同。硅藻门、蓝藻门、绿藻门和甲藻门的植物在种类和数量上都较多,其中最突出的是这些湖泊的网捞标本中,单凸板星藻(*Pediastrum simplex* Meyer)为主要的种类,飞燕角甲藻、微孔空星藻(*Coelastrum microsporum* Naeg.),铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa* Kuetz.),点状蓝板藻(*Merismopedia punctata* Meyer)等亦极普遍。此外,在各湖中除上述的共有种类外,也有其特有的数量较多的种类。如异龙湖西部水域中铜绿微囊藻形成水华,水草上附

3) 承王家楫教授代为鉴定轮虫种类,陈受忠同志鉴定橈足类和枝角类种类,特此志謝。

着大量的胶刺藻(*Gloeotrichia natans* (Hedco.) Rabenh.), 囊球藻(*Coelosphaerium dubium* Grun.), 双形栅藻(*Scenedesmus bijugatus* Kuetz.), 微突空星藻(*Coelastrum cambricum* Arch.) 亦常見。杞麓湖中泥污颤藻(*Oscillatoria limosa* Ag.), 小颤藻(*O. tenuis* Ag.), 尖形新月藻(*Closterium aciculare* Tuffen West), 此外, 鼓藻属(*Cosmarium*) 和角星鼓藻属(*Staurastrum*) 的种类, 以及圆盘硅藻(*Cyclotella*) 和龙骨硅藻(*Surirella*) 的种类亦常見。星云湖中的飞燕角甲藻的数量比其他湖为多, 四分十字藻(*Crucigenia tetrapedia* W. et G. West), 双形栅藻、毛角角星鼓藻(*S. chaetoceras* G. M. Smith) 亦多, 其中最突出的为大量的菱形圆盘硅藻(*Cyclotella rhomboideo-elliptica* Skuja), 这种硅藻是 Skuja 在 1937 年报导^[31]的 Handell-Mazzetti 在云南昆明附近的西龙坝急流处采集到的新种, 在撫仙湖、阳宗海和滇池中亦有相当多的数量。在滇池的本湖中, 除大量的单凸板星藻外; 鼓藻綱植物显然是較多(主要为鼓藻、新月鼓藻和角星鼓藻三属的种类), 硅藻类植物也較多, 尤其是大量出現龙骨硅藻(*Surirella robusta* E. var. nov.), 在角甲藻属中, 除飞燕角甲藻外, 还出現較稀有的富营养型的短角角甲藻(*C. cornutum* (E.) Clap. et Laclm.), 这是在我国的首次发现。在洱海中除单凸板星藻数量很大外, 水华束絲藻很多, 云南飞燕角甲藻(*C. hirundinella* v. *yunnanensis* H. P. = *C. Handellii* Skuja 1937) 也大量出現, 这是 Skuja 在 1937 年首次报导的洱海的特有种, 硅藻数量也不少(以圆盘硅藻为主), 此外, 还出現暗絲藻(*Psephonema aenigmaticum* Skuja)(亦是云南特有单种属), 勃氏黄被藻, 湖生鞘絲藻(*Lyngbya limnetica* Lemm.), 尖形新月鼓藻变种(*C. aciculare* v. *subprorum* W. et G. Wert), 球空星藻(*C. sphaericum* Naeg.) 等。

在浮游植物的数量上, 云南高原湖泊也可分为两个类型: 湖水較深的阳宗海和撫仙湖的浮游植物数量較少, 总数在 196,000—278,000 个/升之間。在撫仙湖中, 硅藻和綠藻的个体数量占大部分, 甲藻次之, 藍藻又次之, 金藻及其他类极少。从垂直分布中的組成关系来看, 在 5 米以上水层中綠藻和藍藻的数量比硅藻、甲藻和金藻多(在 0.5 米处为 2:1), 但在 10 米和 20 米以下則反之。在撫仙湖南部水域中, 可能受星云湖水流入的影响(在 8 月間每天約有 50 万吨水量从星云湖流入撫仙湖中), 在 10 米以上的水层中綠藻和藍藻的数量較多。阳宗海中除北部靠近出口处綠藻和藍藻在 0.5 米水层中較多外, 其余部分各层水中都以硅藻、甲藻和金藻較多。

湖盆平均深度在 15 米以內的湖泊, 如滇池、洱海、星云湖、异龙湖、大屯湖和杞麓湖, 浮游植物的数量都較丰富, 数量在 649,000—8,413,000 个/升之間, 其中以异龙湖最多, 星云湖次之, 在 8 月間調查时有水华現象出現, 藍藻、綠藻和硅藻的数量都較大; 洱海的数量最低, 組成中以云南角甲藻和硅藻为主。在南部亦出現水华束絲藻的水华。

在浅水湖中, 浮游动物的种类和数量都丰富。除原生动物較多外, 有大量的輪虫和橈足类。輪虫中主要为龟甲輪虫属(*Keratella*) 的种类, 常見的为螺形龟甲輪虫(*K. cochlearis* (Gosse)) 和曲腿龟甲輪虫(*K. valga* (Ehr.)), 对棘同尾輪虫(*Diurella stylata* (Gosse)), 角突臂尾輪虫(*Brachionus angularis* Gosse), 奇异巨腕輪虫(*Pedalia mira* (Hudson)) 和針簇多肢輪虫(*Polyarthra trigla* Ehr.) 等亦常見。橈足类中以剑水蚤(*Cyclopoida*) 較多, 鏢水蚤(*Calanoida*) 次之, 猛水蚤(*Harpacticoida*) 亦有时見到, 但数量最多的还是无节幼体(*Nauplius*)。枝角类中以象鼻蚤属(*Bosmina*), 蚤属(*Daphnia*), 秀体蚤属(*Diaphanosoma*),

低額溞属 (*Simocephalus*), 盘腸溞属 (*Chydorus*) 和薄皮溞 (*Leptodora kindtii*) 较为普遍。在阳宗海和撫仙湖中, 种类较少, 其中橈足类较多, 大部分为无节幼体, 北鏢水溞 (*Acetodiaptomus* sp.), 短枝近劍水溞 (*Tropocyclops breviramus* Hsiao), 刘氏中劍水溞 (*Mesocyclops leuckarti* (Claus)) 等亦常见。其次为輪虫类, 主要为曲腿龟甲輪虫和独角聚花輪虫 (*Conochilus unicornis* Rouss.)。撫仙湖中还见到较多的沟痕泡輪虫 (*Pompholyx sulcata* Hudson), 大肚鬚足輪虫 (*Euchlanis dilatata* Ehr.) 和小鬚足輪虫 (*E. parva* Rouss.) 亦常见; 在阳宗海还发现自由胶鞘輪虫 (*Collotheca liberta* (Zacharis)) 是在我国首次发现。枝角类的种类和数量都不多, 主要为长刺溞 (*Daphnia longispina* (O. F. Mueller)), 柴氏秀体溞 (*Diaphanosoma sarsi* Richard) 和柯氏象鼻溞 (*Bosmina coregoni* Baird)。原生动物主要为生长于寡污性水体中的急游虫 (*Strombidium*) 和狭盜虫 (*Strobilidium*) 的种类。

从浮游动物的数量上来看, 平均水深在 15 米以内的湖泊, 原生动物的数量以星云湖为最多, 每升 2,575 个; 大屯湖次之 (1,725 个/升), 滇池、洱海和异龙湖很相似 (1,200—1,400 个/升), 杞麓湖仅为 550 个/升。阳宗海在 7—8 月間較撫仙湖稍多, 为 1,840 个/升, 撫仙湖为 1,425 个/升。輪虫⁴⁾以大屯湖最丰富, 平均达到 576 个/升, 异龙湖次之 (365 个/升), 滇池的数量比异龙湖稍逊 (330 个/升), 但在草海 (即滇池北部湖湾) 輪虫数目竟达到 1,307 个/升 (表层) 和 393 个/升 (底层), 星云湖为 220 个/升, 杞麓湖较少为 54 个/升, 洱海中的輪虫亦有相当数量。阳宗海稍多于撫仙湖, 但平均每升水中都在 10 个以下, 大部分是分布在 5 至 20 米之間。枝角类的数量是較少的, 在数量最大的异龙湖中, 平均每升为 55 个; 其次为星云湖 (41 个/升), 表层水中数量比底层大, 在湖的南部最多达到 110 个/升; 大屯湖为 36 个/升; 洱海和杞麓湖較少, 都在 10 个/升以下。阳宗海和撫仙湖則更少 (每升 1 个左右), 主要是分布在 10 米左右的水层中。橈足类的数量虽不及輪虫, 但較枝角类多得多。在大屯湖、滇池和洱海中, 平均达到 120—135 个/升, 滇池湖中央部分表层水中达到 371 个/升, 洱海中部亦达到 200 个/升以上; 异龙湖和星云湖的数量次之 (92—96 个/升), 在星云湖的表层水中每升数量为 103—114 个, 底层数量稍少; 杞麓湖的数量較少, 和阳宗海与撫仙湖相似, 平均 < 20 个/升, 杞麓湖个别地区也有达到 38 个/升的。从垂直分布上来看, 阳宗海以 5—24 米, 撫仙湖以 5—50 米之間的水层中数量較多, 撫仙湖北部 20 米深处水层中, 橈足类数量高达 87 个/升, 在阳宗海的北部湖底的无节幼体数量曾达到 91 个/升。

总的来看, 云南高原湖泊的中型的浮游动物中, 輪虫与橈足类的数量是普遍地較多, 枝角类的数量在大多数湖泊都较为稀少。在深水的阳宗海和撫仙湖中, 中型浮游动物的数量是比較少 (原生动物数量差别不大)。在浅水湖中, 大屯海、异龙湖、星云湖和滇池的浮游生物数量都較高, 杞麓湖是明显地比其它湖泊少, 洱海虽在輪虫数量上較少, 但橈足类的数量却还是較多的。

(2) 浮游生物的垂直分布和昼夜迁移

在浅水湖中, 表、底层水层的浮游生物的垂直分层的現象是不很明显的, 如星云湖南

4) 輪虫、枝角类、橈足类系以一升水样浓缩为 30 ml 后全部計数。

部水域中,水深 6.8 米的表层浮游植物为 4,521,000 个/升,底层为 5,443,000 个/升,而中部水深 8 米,表层浮游植物为 4,413,000 个/升,底层为 4,250,000 个/升,虽有一些差异,但并非显著分层;在滇池也有类似现象,其数量差异比星云湖稍大,因此分层的现象也逐渐明显。在洱海湖中央最深水域部分,浮游植物垂直分层很明显。在下午 5—6 时采样中,0—0.5 米为 1,317,950 个/升,5 米为 1,154,550 个/升,10 米为 479,450 个/升,15 米为 216,050 个/升,19 米为 430,000 个/升。浮游动物的垂直分布较浮游植物明显,如星云湖轮虫类在南部水域的表层为 400 个/升,底层为 13 个/升(在上午 11 时 30 分),中部表层为 406 个/升,底层为 243 个/升(在上午 10 时 35 分),东北部表层为 208 个/升,底层为 58 个/升(在下午 3 时);枝角类表层分别为 110、29 和 56 个/升,而底层分别为 11、25 和 18 个/升;橈足类在表层分别为 103、110 和 114 个/升,底层分别为 15、128 和 81 个/升。可以看出,中型浮游动物在南部水域和北部水域中,表层和底层的数量差异很大,而中部水域表、底层却相差不大,它们的分层是不均匀的。在洱海中部水域中,原生动物在表层最多,10 米处最少,底层(19 米)则又较多,中型浮游动物(轮虫、枝角类和橈足类)在 5 米处最多,0.5 米处次之,10 米处又次之,15 米处最少,枝角类在 15 米以下没有发现,轮虫和橈足类在水底部分数量却又稍有增加。

在深湖中,浮游生物的垂直分布是较为明显的,在阳宗海南部水域的水层中,浮游植物的总量在 0—0.5 米水层中最多,逐层递减,在 10 米处仅有表层的 1/2,20 米中为 1/10;中型浮游动物的垂直分层情况较为一致,橈足类在全湖都是底层最多,表层最少,轮虫类在 5—10 米处较多,在 20 米以下很少。枝角类则仅在 5—15 米之间少量出现。在抚仙湖中的垂直分布也是很明显的,浮游植物以 10 米处较多,10 米以上和 10 米以下均逐渐递减,在 100 米以下则没有发现;浮游动物中,轮虫在 0—5 米间较少,5—20 米间较多,20 米以下极少,50—100 米尚发现一些种类如曲腿龟甲轮虫、胶鞘轮虫和独角聚花轮虫,100 米以下则未发现。枝角类数量很少,其分布情况亦相似。橈足类在 5—20 米之间数量较多,尤其是在 10—20 米之间最多,但在 100 米以下尚有少数,甚至出现较大量的无节幼虫,这种情形的出现,可能是由于橈足类的卵沉降湖底后,因底层溶解氧量较高,温度亦不低(14—15°C),尚适于发育使然。

浮游生物的昼夜垂直迁移亦颇明显,尤其是在深水湖泊中,如抚仙湖北部深 100 米处,在白天中午我们很难用浮游生物网捞到中型浮游生物标本,然而在夜间则在表层中大量出现,其昼夜垂直分层的变化情况如图 13。在阳宗海中也是有类似的现象。

浮游生物的垂直分层和昼夜迁移情况,对我们了解和掌握鱼类的食料数量和鱼类觅食活动有着极重要的关系。也可以避免仅从表层水了解到的一些情况,对鱼类食料生物的多寡和鱼类生产潜力作出不恰当的估计。

2. 水草和底栖动物

云南湖泊中的水生维管束植物和轮藻植物是很丰富的。各湖的水草种类很相似,常见的有以下十四种:苦草(*Vallisneria spiralis* L.), 轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata* Royle), 马来眼子菜(*Potamogeton malaiianus* Miq.), 黄丝藻(*P. Maackianus* A. Beun.), 菹草(*P. crispus* L.), 篦齿眼子菜(*P. pectinatus* L.), 水竹叶(*P. cristatus* Regel et Maack), 大茨藻(*Najas major* All.), 小茨藻(*N. minor* All.), 轮生薹(*Myriophyllum verticellatum*

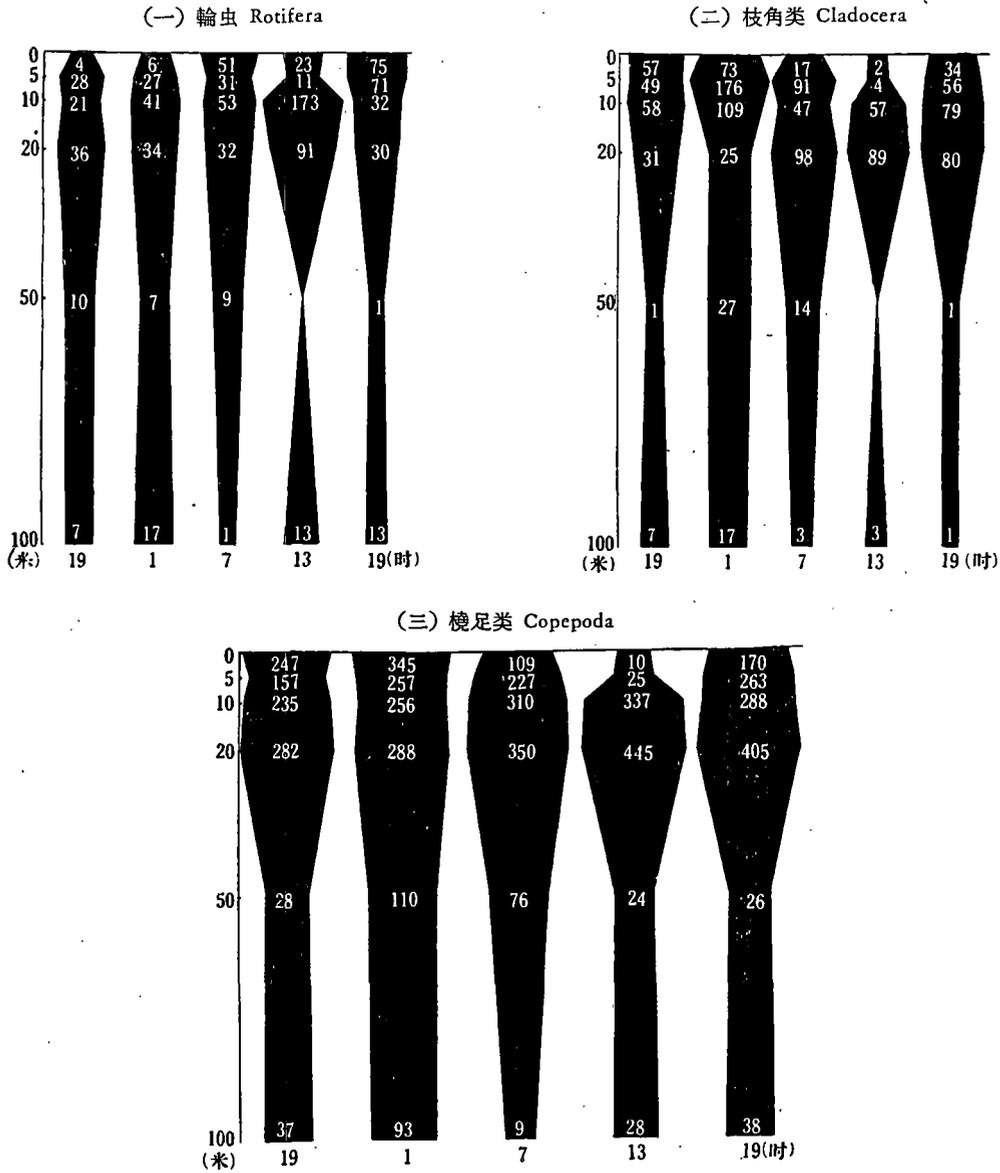


图 13 撫仙湖浮游动物昼夜垂直迁移状况(球体曲线图)(1957年8月26至27日)

Fig. 13. "Spherical curves" showing the diurnal vertical migrations of the zooplanktons of the Fushienhu Lake.

L.), 聚草 (*M. spicatum* L.), 水車前 (*Ottelia alismoides* Royle), 金魚藻 (*Ceratophyllum demersum* L.)和菰(茭草) (*Zizania latifolia* Turcz.)。

在浅水湖中,水草都較茂密。南部的几个湖中,馬來眼子菜、輪叶黑藻、小茨藻、水車前、篳齿眼子菜特別多,大屯湖由于水草多,湖中央底部淤泥特別厚。异龙湖西部泥埂以內湖区几乎全部长滿水草,在水草上还附着大量胶刺藻,水色亦呈茶色 (Forel-Ule 18—19号),湖底为黑色淤泥,有許多螺蛳碎片,底栖生物亦极少,沼泽化較严重;在泥埂以外的大湖中情况迥异,除靠近岸处水草較多外,湖中甚为稀少,水色为 11—16 号,底部为黑色淤

泥,有大量螺壳,底栖动物亦少;东部湖底活螺蛳較多。杞麓湖主要水草种类除上述者外,尚有大量輪藻植物,湖底腐植质亦多,硫化氢含量略高(調查时湖中水車前正在开花,当地人采花梗作菜蔬,称为海草)。星云湖沿岸水草較多,在水深 1—3 米水域中,苦草为优势种,湖西部水深 1 米以内处馬来眼子菜、輪叶黑藻、小茨藻亦多,南部有大片芦葦;湖水較深处則水草稀少,在 6 米以上的水域中除个别地点有聚草外,均无草;湖泥多呈黄褐色,腐植质較少,有数量較多的螺蛳,海螺和搖蚊幼虫。滇池北部土埂內的草海中,水草十分丰富,輪藻植物的种类和数量亦多,底泥为黑色腐植淤泥;土埂外湖中央部分水草很少,沿岸带較多,在出口处(海口),水草特別丰富,主要为馬来眼子菜、水車前、小茨藻、聚草、輪叶黑藻、菹草和金魚藻等,湖底烏螭(*Semisulcospira cancellata* Benson)和螺蛳(*Margarya melanioides* D. et F.)頗多,据 1943 年資料,年产达 192 万斤^[12]。洱海沿岸带水草亦較丰富,在 3 米以上深处无水草,湖底为灰黑色淤泥,有大量烏螭和螺蛳,北部湖中每平方米有 20—30 个,为当地羣众所喜食,可与滇池产者媲美。

阳宗海在浅水沿岸部分水草頗多,尤其是北端出口处,主要为黄絲草、馬来眼子菜、水車前、小茨藻等,水車前有长达 1 米的;在湖水深 10 米处,尚发现有相当数量的黄絲草和輪藻,这和湖水的透明度达 300 厘米有关。在撫仙湖中除海口出口处河道中有大量的水草(以苦草为主,亦有眼子菜、聚草、輪叶黑藻等)以及在牛魔湾和明星乡沿岸有少数水草外,沿岸带大部分为砂质,水草极少,湖底生物亦极少。

3. 云南湖泊中的魚类⁵⁾

云南湖泊中的魚类种类頗不少,在調查中共采集到 42 种,其中有許多是有地区特点的,因此,从每个湖泊来看种类就很少了。如滇池是种类最为丰富的,亦不过 17 种,其余湖泊大都在 10 种左右(表 7)。各湖都有的魚类为鯉、鯽、云南泥鳅、鱖等几种。依照湖泊的自然条件特点和水系关系,北回归綫附近的大屯湖和异龙湖为一类,它們虽属西江水系,但由于气候上和古地理上的特点,湖中的魚类与其南边的紅河水系較为接近;大屯湖因个旧矿山的洗矿废水的影响,魚类发展受到較大的影响。杞麓湖虽是属于昆明湖羣之一,但因地質构造上它是在“云南弧”褶皱的南端,和星云湖、撫仙湖之間有东西向的高山阻隔,魚类种类亦有其独特之处(如杞麓鯉即为杞麓湖产)。星云湖、撫仙湖、阳宗海和滇池虽属于两个水系(西江和金沙江),由于海拔高度和緯度相近,气象条件上的类似,基本情况是一致的。

然而,由于在湖泊形成时,地壳的南北向褶皱使它們彼此在开始时即隔断,或由于褶皱和断层陷落程度的不同,湖泊的大小和深度差异很大,因此,魚类种类組成也就有很大的差异。如星云湖和撫仙湖有一天然渠道相通,当地羣众相传是“两湖相通,魚不来往”,实际上两湖深度相差极大,水质迥异,作为魚类的食料生物亦有很大差异,在撫仙湖之主要經濟魚——抗浪白魚(*Anabarilius grahmi* (Regen.))和特有的湖鯽(*Barbodes lacustris* Wu)在星云湖就沒有,而星云湖的柏氏鯉(大头魚)(*Cyprinus pellegrini* Tchang)在撫仙湖內亦未發現。阳宗海的云南鋸倒齿鯽(云南青魚)(*Spinibarbichthys denticulatus yunnanensis* Wu)也是很具特色的。在滇池中的魚类也有許多是地区性的,如云南鯿(*Xanocypris*

5) 承伍献文教授校正魚类名录,特此志謝。

表7 云南湖泊中的鱼类及其分布

Table 7. Distribution of species of fishes in lakes of the Yunnan plateau

10) 魚种名	1) 湖名	2) 大屯湖	3) 异龙湖	4) 杞麓湖	5) 星云湖	6) 撫仙湖	7) 阳宗湖	8) 滇池	9) 洱海
<i>Mesocyprinus micristius</i> Regan	中 鯉				+			+	
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus	鯉 魚	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>C. carpio shilio</i> Y. et H.	杞 麓			+					
<i>C. carpio yunkiang</i> Y. et H.	元 江		+						
<i>C. carpio megalophthalmus</i> Yang et Hwang	大 眼								+
<i>C. yunnanensis</i> Tchang	云 南			+					
<i>C. pellegrini</i> Tchang	柏 氏 鯉 (大头魚)				+				
<i>Carassius auratus</i> Linnaeus	鯽 魚	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Barbodes gregorii</i> (Norman)	貫 氏 四 鬚 魮							+	+
<i>B. lacustris</i> Wu	湖 四 鬚 魮					+			
<i>B. yunnanensis</i> (Regan)	云 南 四 鬚 魮								
<i>Spinibarichthys denticulatus nigripinnis</i> Wu	黑 鱗 鋸 刺 倒 齒 魮				+	+			
<i>S. d. yunnanensis</i> Wu	云 南 鋸 倒 齒 魮 (青魚)					+	+		
<i>Percocypris grahami</i> (Regan)	格 氏 魮 鯉 (金縷魚)						+	+	
<i>P. regani</i> (Tchang)	波 罗 魚								+
<i>Discogobio yunnanensis</i> (Regan)	云 南 东 波 魚							+	
<i>Acrossocheilus yunnanensis</i> (Regan)	云 南 重 唇 魚 (馬魚)				+	+	+		
<i>Anabarilus alburnops</i> (Regan)	銀 白 魚			+				+	
<i>A. grahami</i> (Regan)	抗 浪 白 魚					+			
<i>A. andersoni</i> (Regan)	安 氏 白 魚				+				
<i>A. polylepis</i> (Regan)	多 鱗 白 魚							+	
<i>Rohanus transmontana</i> (Nichols)	罗 汉 魚	+							
<i>Acanthorhodeus elongatus</i> Regan	长 体 刺 鱗 鰕				+	+	+		
<i>Fustis vivus</i> Lin	拟 麦 穗 魚		+				+		
<i>Pseudorasbora parva</i> (T. & S.)	麦 穗 魚	+							
<i>Opsariichthys uncirostris</i> Bidens	馬 口 魚		+						
<i>Xenocypris yunnanensis</i> Nichols	云 南 鯰							+	
<i>Schizothorax yunnanensis</i> Norman	云 南 裂 腹 魚							+	
<i>Sch. grahami</i> Regan	格 氏 裂 腹 魚							+	+
<i>Sch. taliensis</i> Regan	大 理 裂 腹 魚								+
<i>Misgurnus mohoi</i> yunnan Nichols	云 南 泥 鰍			+					
<i>Nemacheilus nigromacalatus</i> Regan	黑 斑 条 鰍 (花魚)							+	
<i>N. salmonoides</i> Chaudhuri	似 鮭 条 鰍								+
<i>N. pleurotaena</i> Regan	橫 紋 条 鰍								+
<i>Barbatulus grahami</i> (Regan)	葛 氏 四 鬚 魮							+	
<i>P. mento</i> (Regan)	鯰 魚			+				+	
<i>Liobagrus nigricauda</i> Regan	黑 尾 缺 鰍							+	
<i>Leiocassis medianalis</i> (Regan)	中 臀 缺 鰍							+	
<i>Clarias fuscus</i> (Lacepede)	鬍 子 鰱	+	+						
<i>Aplochilus latipes</i> (T. & S.)	青 鱒		+				+		
<i>Ophiocephalus argus</i> Cantor	烏 體 鱒		+	+				+	
<i>Monopterus alba cinerea</i> (Richardson)	黃 鱓		+	+			+		
共 計	42 种	5	9	9	8	8	9	17	9

1) Name of lake; 2) Dat'unhu; 3) Ilunghu; 4) Ch'iluhu; 5) Singyunbu; 6) Fusienhu; 7) Yangchunghai; 8) Kunminghu; 9) Erhai; 10) Species of fishes.

yunnanensis Nichols), 多鱗白魚 (*Anabarilus polylepis* (Regan)), 金綫魚 (*Percocypris grahami* (Regan)), 油魚 (*Barbodes* sp.) 等。洱海由于地理和地質的条件不同, 其魚类区系又有其特色, 湖中盛产大理裂腹魚(弓魚) (*Schizothorax taliensis* Regan), 为該湖及其水源河流的特产。

因此, 特別值得注意的是: 云南湖泊中魚类的区域化甚为突出。以鯉属魚类而言, 普通鯉魚在各湖中均有, 但各湖有其区域种, 如异龙湖有元江鯉 (*Cyprinus carpis yuankiang* Y. et H.), 杞麓湖有杞麓鯉 (*Cyprinus carpio chilio* Y. et H.), 洱海有大眼鯉 (*Cyprinus carpio megalophthalmus* Y. et H.), 星云湖有柏氏鯉 (*C. pellegrini* Tchang), 滇池及星云湖有中鯉 (*Mesocyprinus micristeus* Regan)。这种情形, 在白魚属 (*Anabarilus*)⁶⁾ 的分布上也很显著, 銀白魚 (*A. alburnops* (Regan)) 分布在滇池和杞麓湖, 多鱗白魚 (*A. polylepis* (Regan)) 分布在滇池, 安氏白魚 (*A. andersoni* (Regan)) 在星云湖, 抗浪白魚 (*A. grahami* (Regan)) 在撫仙湖, 后者且为該湖之主要經濟魚类。这种特化的形成和云南地形的几次变迁有关。在燕山运动云南凹陷上升之后, 形成弧形褶皱, 在喜馬拉雅运动时又加强了褶皱和断裂, 使河流的改道和水体的分隔更为显著; 由于地区气候和土地冲积关系, 湖泊的自然环境就发生較大的差异, 魚类在不同的隔离区域长期适应的结果, 形成了显著的地区化的种类; 同时在石灰岩地区湖中, 溶洞(喀斯特)較多, 不少魚类长期在洞穴中栖息, 也是影响其形体和习性的一个因素。江川漁民有的說“大头魚在清水中成为鯉”, 虽缺乏試驗証明, 但也可反映出羣众对于这些特化情况和营养环境之間的看法。

在魚的产量方面, 根据 1956 年云南省水产公司^[9]調查和当地养殖场統計, 在 10 万亩以下的湖泊中, 星云湖的单位产量最高, 每亩 5.13 斤, 异龙湖 (5.00 斤/亩), 杞麓湖 (4.95 斤/亩) 次之, 阳宗海 (1.63 斤/亩), 大屯湖 (1.28 斤/亩) 最低。10 万亩以上湖泊以洱海为最高, 每亩 4.18 斤, 其次为滇池 2.39 斤/亩, 撫仙湖为 1.80 斤/亩。在 1941 年的报导中^[3]以杞麓湖最高为 9.34 斤/亩, 大屯湖为 1 斤/亩, 异龙湖为 0.99 斤/亩, 星云湖为 0.51 斤/亩。大型湖泊中洱海产量最高, 为 2.33 斤/亩, 撫仙湖为 2.05 斤/亩, 滇池为 0.25 斤/亩。从前后产量的对比, 可以看出云南湖泊的漁获量除原来产量較高的杞麓湖和撫仙湖外, 都有所提高, 其中最显著的为星云湖, 通过湖泊管理, 定期保护魚类繁殖, 产量迅速增加 (1955 年为 4.27 斤/亩, 1956 年为 5.13 斤/亩), 从原来产量最低而进为产量最高。撫仙湖因在捕捞和保护关系上没有加强管理, 漁产量逐年有所下降。大屯湖虽进行管理, 因矿山废水的影响, 产量提高較少。

六、云南湖泊的类型及生物生产特性和漁业发展前景

1. 云南高原湖泊类型

綜上所述, 云南高原湖泊从成因上来说, 它們都是属于高原上的石灰岩砂岩地区的构造湖, 主要是由于褶皱断层, 侵蚀冲积和陷落冲积几种因素形成, 如前所述。从湖盆的深度上可分为两类, 即平均深度在 15 米以內的浅水湖和平均深度在 20 米以上的深水湖, 除撫仙湖和阳宗海为深水型外, 其余都属浅水湖型, 依 Thienemann 的划分, 湖盆平均深度在

6) 依成庆泰(1959)^[6]报导, 在异龙湖有白魚 (*A. transmontana* (Nichols))。

18 米以内者属于富营养型的范围。从水化学性质上来分则所有的湖泊都是属于钙型的硬水微碱性湖,除滇池及个旧人工湖外,其生源元素含量都属于贫营养型范围($N < 0.2$ 毫克/升, $P < 0.05$ 毫克/升,溶解氧含量丰富),但从有机物耗氧量 > 10 毫克/升来说,又大部分为富营养型(Yoshimura, 1939)^[21]。从温度的变动规律来看,依 Yoshimura (1938^[20])报导,日本温带深湖夏季的表层水温为 20—26.6°C, 20 米深处为 4.27—12.4°C, 150 米处为 3.7—10.51°C,温差达 16—21.7°C; Thienemann(1932)^[33], 和 Ruttner (1931, 1937)^[29,30], 在小巽他群岛热带高原湖泊的调查中报导,表、底层水温相差极小,在 80 米深湖表底层温差最大为 5.5°C,最小为 0.4°C,如 Toba 湖深达 450 米,温差仅为 2.5°C; 云南湖泊的表底层水温差在 10°C 以内,长年水温在 4°C 以上,湖水全循环年约一次,因此应属于亚热带型(Yoshimura 1936^[19], Hutchinson 1957^[27])。

从水生生物的种类和数量上来看,则阳宗海和抚仙湖是生物数量较贫乏的贫营养型,其它湖泊则属于富营养型,其中,杞麓湖虽浮游生物数量较少,但水草及鱼产量颇丰;大屯湖是受矿山废水影响逐渐在转化,部分地区不适于渔业生产。

虽然从不同的角度上我们可以将云南高原湖泊分为几种不同类型,若综合地分析云南高原湖泊,拟分为两类,并定名为:高原构造型亚热带石灰岩贫营养型湖和高原构造型亚热带石灰岩富营养型湖。前者包括阳宗海和抚仙湖,后者包括星云湖,异龙湖,滇池,洱海,杞麓湖⁷⁾和大屯湖等。

2. 生物生产量和鱼产量

云南高原构造型亚热带石灰岩富营养型湖泊的生物生产力是比较高的。首先可以从水生生物的数量看出来,在 8—9 月中,浮游植物的数量为 649,000—8,413,000 个/升,浮游动物除杞麓湖外,原生动物为 1,237—2,575 个/升,中型浮游动物为 141—746 个/升;和一般长江中下游浅水湖群相比,其数量是较高的。江苏省无锡五里湖夏季和秋季浮游植物数量平均为 220,100 个/升和 95,800 个/升(饒欽止 1962^[18]),浮游动物分别为 5,496 个/升和 9,483 个/升(白国栋 1962^[6]); 湖北省武昌东湖浮游植物年平均数量为 563,775 个/升,浮游动物为 2,475 个/升(夏文才等 1961^[15]); 安徽省长江沿岸湖泊和江苏北部里下河区湖泊中的浮游植物平均为 200,000—500,000 个/升,浮游动物平均为 600—3,000 个/升(黎尚豪等 1954^[17])。在湖底生物中,浅水区沉水植物极为丰富,其上着生的藻类数量很多,湖底动物虽不十分丰富,但螺类的产量还是很高的。生源元素,尤其是 N 和 P 的含量,虽较 Yoshimura (1939)^[21] 拟订的富营养型标准为低,但在浮游植物数量稍低的洱海和杞麓湖,湖水中磷酸盐的含量都高于 0.05 毫克/升,而在浮游植物数量最高的异龙湖(8,413,000 个/升)的磷酸盐含量为测不出的微量,星云湖(浮游植物 4,000,000 个/升)的磷酸盐含量亦只在 0.02—0.024 mg/l 之间。不难看出,生源元素的含量和生物的发展情况应联系起来考虑,浮游生物的大量繁殖势必会消耗大量的生源元素,有时生源元素的降低正是生物生产量提高的指示^[32]。

其次是湖泊的生物源初产量,我们在这方面进行的测定不多。在浮游生物较多、鱼类产量较高的星云湖,1957 年 8 月 21 日我们曾用黑白瓶进行原初产量的测定,在深 5.5 米

7) 杞麓湖虽侵蚀较为严重,但系因地壳东西向褶皱所成,故仍列入构造湖范围。

处,分别采 0.5 米, 2.5 米和 5 米水层中的水样,盛入黑瓶和白瓶中,悬在原各水层深处,进行 8 小时光照(自 10 时 50 分至 18 时 50 分),取样时当即测定各层水中原有溶解氧量作为对照,结果如表 8,这可以说明: ① 在 0.5 米水层中,白天 8 小时光照时间可同化 0.405 克

表 8 星云湖中黑白瓶内氧量测定值(1957 年 8 月 21 日 10 时 50 分至 18 时 50 分)

Table 8. O_2 produced in clear and dark bottles in the Singyunhu lake

	¹⁾ 开始时湖水含氧量 (毫克/升)	²⁾ 结束时白瓶含氧量 (毫克/升)	³⁾ 结束时黑瓶含氧量 (毫克/升)	⁴⁾ 黑、白瓶含氧量之差 (毫克/升)
0.5 米	6.77	7.54	6.46	1.08
2.5 米	6.46	6.46	6.05	0.41
5 米	5.69	4.74	3.36	1.38

1) Oxygen content of lake water at the start (mg/l); 2) Oxygen content in clear bottle at the end (mg/l); 3) Oxygen content in dark bottle at the end (mg/l); 4) Difference in oxygen content between clear and dark bottles (mg/l).

的碳(C),或产生 1.0125 毫克葡萄糖,或 1.44 卡热量; ②在 5 米深水层中产生的氧气量为 1.38mg/l,但不论是在黑瓶或白瓶中溶解氧都比对照少,也就是说在 8 小时内于生物的呼吸和有机物的分解耗去的氧气达 2.33 mg/l。因为没有进行生物耗氧[BOD]的单独测定,细菌的活动状况不詳; ③由于透明度仅为 50 cm,依照透明度(t)和光合作用的补偿点(Xc)的关系为: $Xc = 2.4t$ (Ichimura 1956^[13]),其补偿深度应为 1.20 cm,由于云南高原云层薄,测定时日照较强,故在 2.5 米深处尚保持原来的耗氧量,因此 Xc 应在 2.5 米或稍低于 2.5 米,实际生产水层应为 0—2.5 米。④由 0—2.5 米的氧气产生量来计算,在 8 小时間生物贮存热量为 3.141 卡/升,即 7,902.5 卡/平方米/8 小时,每小时将近 1,000 卡/平方米,或产生相当于葡萄糖 1,746.25 mg/m²/8 小时,即每小时为 218 mg/m²^[22],其生产量低于山东省微山湖南部水域的产量(朱树屏等 1960^[7])。依粗略计算,在强光照下,每小时全湖可生产相当于 8,502 公斤的葡萄糖。按日照率为 50% 计算,全年 180 天,每天 10 小时光照,共可生产相当于葡萄糖量 15.303 吨的有机物质。其中有許多是作为生物本身活动的能量所消耗,以及作为构成纤维素等的物质,但可作为次级生产用的物质还是极丰富的。星云湖的鱼产量较高,看来是有足够的物质基础,而且还可以提高不少。

再者,从水生生物生产的各个环节——浮游植物和水草,浮游动物和湖底动物,鱼类——以及湖泊理化条件方面,各湖的数量的大小比较一下,可以找出如下的关系:

浮游植物 异龙湖>星云湖>大屯湖>滇池>洱海>杞麓湖

浮游原生动物 星云湖>大屯湖>异龙湖>洱海>滇池>杞麓湖

中型浮游动物 大屯湖>异龙湖>滇池>星云湖>洱海>杞麓湖

鱼获量 星云湖>异龙湖>杞麓湖>洱海>滇池>大屯湖

磷酸盐 滇池>洱海>杞麓湖>大屯湖>星云湖>异龙湖

硝酸盐 滇池>星云湖>杞麓湖>洱海>大屯湖>异龙湖

有机物耗氧量 星云湖>异龙湖>杞麓湖>大屯湖>滇池>洱海

虽然从上表中,生物生产环节并不完全,但浮游生物的数量差异和鱼产量是基本一致的。大屯湖的鱼产量较低,很明显地受到矿山废水的影响,杞麓湖的鱼产量较高和它的水草及其上丛生的生物数量有关,和湖水较浅易于捕捞作业亦有关系,同时在产量上也有向

下的趋势。从环境条件上来看,磷酸盐的含量和鱼产量以及食料生物的数量成相反的关系(大屯湖为例外),我们认为这是由于云南高原湖区在气候上是从2月至11月份都属于春秋季节气候,而且在5—8月份气温较高,光照较强,又因雨季由地表径流携带大量营养物质至湖中,因此,生物生长十分繁茂,生源物质消耗较多,致成相反的关系。

最有意义的是湖水中有机物耗氧量的大小和水生物,尤其是鱼类的产量上基本一致;当然,有机物耗氧量的大小是因季节而有一定的变动,但在云南高原全年气候温和,水温在10℃以上,周年有机物分解均较活跃,年变动幅度应较小,因此有机物耗氧量的大小,在云南地区可作为湖泊生产力的一个简易指标。pH值的变动常由于生物,尤其是植物的生命活动的影响,昼夜变动较强烈,生物愈多,变动幅度愈大,虽在石灰岩地区湖水缓冲力较强,pH变动较小,亦应以晴天18时(下午6时)测定为准,我们这次调查的测定时间不一,比较自较困难。

在云南高原构造型亚热带石灰岩贫营养型湖泊中,生物生产力是比较低的,浮游植物的数量为196,000—278,000个/升,浮游原生动物为1,425—1,396个/升,轮虫为10个/升,枝角类为1—2个/升,橈足类稍多,每升可达38—41个/升,沿岸带数量比敞水带稍多;水草和底栖动物稀少,在阳宗海中10米以内湖盆中尚有水草,在抚仙湖则除靠近出口处水草较多外,其它湖岸沿岸带为砂质,水草不生,生源元素含量很低,鱼产量亦低。抚仙湖主要出产抗浪白鱼,在生殖季节即向湖岸凹地波浪冲击处涌集,逆水冲至湖岸积水浅凹中,当地渔民利用此生殖生态特性,人工挖沟引水,创造类似条件,大量诱捕,产量较大。然捕捞多、保护少,产量已逐渐下降。抚仙湖因湖水较深,中型浮游动物在午夜至清晨间麇集在5—20米水层间,有利于鱼类觅食,故鱼产量较阳宗海高;如在生殖季节适当保护特产鱼种,产量还可以增长。阳宗海北部水草较多,尤其是汤池出口处尤为丰盛,引入草食鱼类,尽量利用此大量水草,鱼产亦将有所提高。

3. 对云南湖泊渔业发展的几点意见

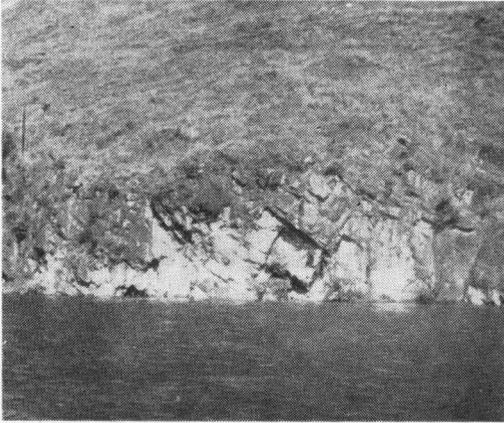
从云南湖泊的形态、水质和生物生产性能来看,渔业生产的发展是蕴藏着不小潜力的,在富营养型的湖泊中,每亩鱼产量提高至10斤以上是有可能的,但提高产量途径,不能只从改善捕捞方法,加强劳动力方面着手,而应加强繁殖保护,充分利用天然食料,增殖鱼类,使鱼产丰富;“竭泽而渔”,虽可收目前之效,但为长久之计,则遗害甚大。现根据1957年调查的结果,对渔业生产方面提出如下的初步建议:

(1) 加强繁殖、充分发展当地鱼类

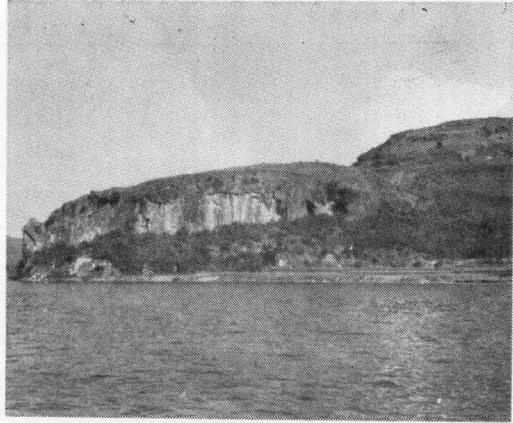
云南高原湖泊中有许多地区性很强而经济价值颇高的鱼类,除一般的鲤、鲫外,尚有柏氏鲤(大头鱼)、元江鲤、云南锯倒齿鲃(云南青鱼)等,云南青鱼大者可达30—40斤,以水草及轮虫为食,都适于进行人工繁殖(抗日战争期间,张璠教授等曾在阳宗海进行青鱼催产产卵成功),在湖中放养肥育。在池鱼养殖上亦可采用,以减少向远地求购鱼苗,节省人力、财力、物力。利用当地鱼种进行放养,可以大量提高鱼产量。

(2) 加强繁殖保护,严禁滥捕

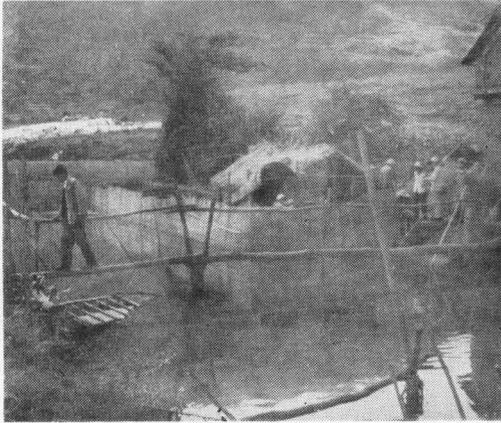
在未放养湖泊中自然繁殖的鱼类常为决定鱼产的主要因素。在云南的湖泊,由于构造和气候关系,各有其特产鱼类,如抚仙湖之抗浪白鱼,星云湖之大头鱼,阳宗海之云南青鱼,大理之弓鱼,异龙湖之白鱼以及各湖中之鲤,鲫等,大都产量较大,对各湖产量具有决



照片 1 撫仙湖靠近海口处的东部湖岸(一)
Photo 1. The shore feature near Haikow in the eastern part of the Fusienhu Lake, (1).



照片 2 撫仙湖靠近海口处的东部湖岸(二)
Photo 2. The shore feature near Haikow in the eastern part of the Fusienhu Lake, (2).



照片 3 洱海西坝河上用竹箬拦断面进行捕鱼
Photo 3. Bamboo-screen set across the Sibaho brook of Erhai lake for catching the fish, *Schizothorax taliensis*.



照片 4 洱海西坝河上捕鱼情况
Photo 4. Do.



照片 5 洱海湖滨村庄的渔民、农民捕食螺蛳后、遗壳堆积状况
Photo 5. Dump of shells of *Margarya melanioides*, which had been used as food by the peoples living around the Erhai Lake.

定性的意义。但在渔业生产上对繁殖保护不够重视,因而维持产量稳定上升受到一定的影响。如抚仙湖之抗浪白鱼年产量在降低。我们在洱海调查时,适值大捕弓鱼季节,渔民在西坝河上用竹箔拦断,生殖迴游鱼类悉加捕捞(照片3、4),产量虽甚可观,但对鱼类繁殖影响殊大,洱海因水源河道较多,邓川一带和水源河道相连的小水体亦多,湖水较深,鱼类尚有迴轉余地,产量的变化一时尚不显著,如不适当加以保护,对产量的继续提高是有很大影响的,甚至导致产量下降,反之,如星云湖能加强管理保护,产量提高,将是立竿见影的,如1955年产25万斤,1956年产30万斤。因此,对繁殖保护方面必需拟定措施,严加管理,使鱼类有可能大量繁殖。

(3) 引进良种,充分利用食料

云南湖泊中水草丰富,浮游动物数量亦大,若能繁殖一些以水草为食料的鱼类,如草鱼和以浮游生物为食料的鲢、鳙以及鲂鱼,使在湖泊中定居,对提高鱼产量将会起一定作用的。从云南南部湖泊的水温年变动状况来看,在南部诸河常年水温在10°C以上,年平均温度在20度以上,尚适于放养以浮游植物为主要食料之非洲鲫鱼(*Tilapia mossambica* (Peters))^[10],而且鲂和非洲鲫鱼俱能在湖中产卵繁殖,对提高鱼产量是有利的。

(4) 发展其它水产品

滇池及洱海中螺类产量极丰,且为人们所喜食,仅滇池年产即达192万斤,多处每平方米有29个^[12],滇海虞冲志云“滇池多巨螺,池人贩之,遗壳名螺絲湾”,可以概见。我们在洱海调查时,在湖中部用1/20平方米采泥器采集,每平方米可达20—30个,在龙湖边小村旁亦发现渔民捕食后所遗螺壳堆积成层(照片5)。在杞麓湖、星云湖岸上尚可发现厚达一米以上的古代螺壳沉积。云南湖泊多螺为时已久,亦可考虑作为发展对象之一。因此,对螺类之生物学和繁殖方法需进行研究,适当加以管理发展。

(5) 控制鱼类疾病,使鱼类能正常生长

云南湖泊中鱼类寄生虫病颇为严重,对鱼的生长影响颇大,在我们调查中发现大部分鱼类均有寄生虫,其中鱼怪病最为普遍(在鱼胸腔里有鲤怪(*Ichthyoxenus geei* Boone)寄生),在阳宗海出口处汤池镇市场中,我们检查了大量的鱼,几乎都有一至二个鱼怪,滇池及杞麓湖的鲫鱼,腹内的寄生条虫病亦极普遍。在洱海中也曾发生鱼类大量死亡的现象,影响鱼产量。因此,开展鱼病防治的研究也是很重要的。

主要参考文献

- [1] 王家楫,1961。中国淡水轮虫志。科学出版社。
- [2] 王超翔,1944。云南东北部地质构造及其与云南弧之关系。地质论评 9:41—58。
- [3] 云南经济,1941。11K:120—122。
- [4] 中国科学院自然区划工作委员会,1959。中国气候区划。科学出版社。
- [5] 仇献文,中国鲤科鱼类志(未刊稿)。
- [6] 白国栋,1962。五里湖1951年湖泊学调查。四、浮游动物。水生生物学集刊1962年(1):93—108。
- [7] 朱树屏、王培,1960。山东微山湖南部黄山岛附近水域的形态及湖水的理化性和生物情况。海洋与湖沼 2(3):61—85。
- [8] 成庆泰,1958。云南的鱼类研究。动物学杂志 2:153—165。
- [9] 陈士平,1957。云南湖泊情况介绍。云南省水产公司研究室(未刊稿)。
- [10] 李重华等,1961。池塘养鱼。中国淡水鱼类养殖学。科学出版社。311—356页。
- [11] 张印堂,云南地形。云南史地辑要 7。
- [12] 张翼,1943。云南的水生经济动物及其应用,云南建设。2:88—92。

- [13] 張蠶, 1948. 云南昆明湖形質及其動物的研究. 北平研究院動物研究所叢刊 4 (1): 1—24.
- [14] 張蠶, 易伯魯, 1954. 滇池枝角類及橈足類的研究. 北平研究院動物研究所匯刊 22 号.
- [15] 夏文才等, 1961. 湖泊河道養魚. 中國淡水魚類養殖學. 科學出版社. 357—404.
- [16] 黎尙豪, 1956. 湖泊調查技術. 湖泊調查基本知識. 科學出版社. 261—302 頁.
- [17] 黎尙豪, 1954. 安徽和江蘇湖泊調查(未刊稿).
- [18] 饒欽止, 1962. 五里湖 1951 年湖泊學調查, 三、浮游植物. 水生生物學集刊 1962 年(1): 74—92.
- [19] 吉村信吉 (Yoshimura, S.), 1936. 湖泊學.
- [20] 吉村信吉, 1938. 日本的深い湖沼の夏季深層水溫. 科學(東京) 7: 531—32.
- [21] 吉村信吉, 1939. 日本の湖沼の標式と生産力. 樂水會志 29: 407.
- [22] Винберг, Г. Г., 1960. Первичная продукция водоемов. Минск.
- [23] Birge, E. A., 1915. The heat budgets of American and European Lakes. Trans. Wisc. Acad. Sci. 18: 166.
- [24] Credner, W., 1932. Observation of geology and morphology of Yunnan. Sp. publ. No. 10. Sunyetsen University, China.
- [25] Depart, G. Fe., 1912. Etude geologique du Yunnan oriental. 1^{re} partie (Geologique generale) et atlas. Mem. Ser. Geol. de l'Indochine 1(1).
- [26] Hsiao, S. C. (蕭之的), 1946—49. A limnological study of Erh-Hai. 1 and 2. J. Animal Ecology 15: 1—8; 18: 89—98.
- [27] Hutchinson, G. E., 1957. A treatise on limnology. vol. 1. Geography, Physics and Chemistry. New York.
- [28] Ichimura, S., 1956. On the ecological meaning of transparency for the production of matter in phytoplankton community of lake. Bot. Mag. Tokyo 69: 219—226.
- [29] Ruttner, F., 1931. Die Schichtung in tropischen Seen. Verhandl. Intern. Limnol. 5: 44—67.
- [30] Ruttner, F., 1937. Stabilität und Umschichtung in tropischen und temperierten Seen. Ark. Hydrobiol. Suppl. 15: 178—186.
- [31] Skuja, H., 1937. Algen, in Handell Mazzetti's Symbolae Sinicae, 1 Teil.
- [32] Sverdrup, H. U., et al., 1942. The Oceans: Their physics, chemistry and general biology. New York.
- [33] Thienemann, A. 1932. Tropische Seen und Seetypenlehre. Ark. Hydrobiol. Suppl. 9: 205—231.

LIMNOLOGICAL SURVEY OF THE LAKES OF YUNNAN PLATEAU

LEY SHANG-HAO, YU MIEN-KUAN, LI KUANG-CHENG, TSENG CHI-MIEN,

CHEN CHIA-YIU, KAO PAO-YUN AND HUANG FONG-CHIN

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica*)

There are many lakes upon the Yunnan Plateau of South-western China, with an elevation of about 2,000 metres above sea level. They are mostly distributed over the eastern part of the Plateau, surrounding the Kunming region and forming the Kunming lake group, which consists of 7 lakes, namely Kunminghu Lake, Chühu Lake, Yanglinhu Lake, Yangchunghai Lake, Fusienhu Lake, Singyunhu Lake and Ch'iluhu Lake. All but the last mentioned lake have their maximum-length axes run south and north, thus coincident with the orientation of the orographic foldings of the Yunnan Plateau thrown up during Yanshanian and Himalayan orogenesis.

In 1957, from July to October, we made a general limnological survey of most lakes of the Kunming lake group, as well as Ilunghu Lake and Dat'unhu Lake to the south

and Erhai Lake to the west. The morphometric aspects of the lake basins, the physical and chemical properties of lake waters, and the biological conditions, including phytoplankton and zoo-plankton, benthos, aquatic vascular plants, fishes and the production of lakes have been investigated.

In this paper, only the general features of the lakes are given. Detailed report for each lake will be published separately elsewhere.

Most of the lakes are shallow, with mean depths less than 15 metres. Yangchunghai Lake is deeper, having a mean depth of 20.27 m and a maximum depth of 28 m. Outstanding among the group is Fusienhu Lake; its mean depth of 88.7 m and maximum depth of 160 m make it the second deepest lake in China, next to Tiench'ih Lake in Kirin Province.

The thermoregime of the lake water is very characteristic. The water temperature is higher than 15°C year-round in the lakes of southern part, higher than 10°C in the Kunming Lake group and in Erhai Lake. During July to October, thermo-stratification is not so conspicuous in the shallow lakes, but is very distinct in those with mean depth over 15 m. However, no thermocline has been observed, except for those that temporarily occur at certain period of day time. The transparency of the lake water is less than 200 cm in shallow lakes, but reaches 300—600 and 700—850 cm in Yangchunghai Lake and Fusienhu Lake respectively.

The dissolved oxygen content is very high and generally has a stratified distribution. pH values are more than 8.3, since the lakes are mostly localized in limestone region. The hardness of water is extraordinarily high, mostly higher than 60° (German unit), some even as high as 117.23—134.47° (Ilunghu Lake). Therefore it is very clear that the lakes of Yunnan Plateau possess the nature of alkaline water of calcium-type.

Dissolved biogenic elements are low in content. The NO₃-N is mostly below 0.13 mg/l, PO₄-P between 0.012—0.059 mg/l. Erhai Lake and Kunminghu Lake have higher PO₄-P concentration, amounting to 0.026—0.217 and 0.09—0.13 mg/l respectively.

The horizontal and vertical distributions of phyto-plankton and zoo-planktons have been studied quantitatively. In some of the lakes, such as Fusienhu Lake and Yangchunghai Lake, diurnal vertical movement of planktons has been observed. Planktons are abundant in shallow lakes, but very poor in deep lakes. The benthos and aquatic plants exhibit the same phenomenon.

The fish fauna of these lakes is also very characteristic. A total of 42 species has been collected. The regional distribution is very distinct, especially with reference to the subspecies of the genus *Cypinus* and the species of the genus *Anabarilius*. It is clear that the speciation is closely related to the isolation of the water systems concerned. The natural production of fishes of the lakes is less than 40 kg/hectare.

Based upon the results of this investigation, we suggest that the lakes of the Yunnan Plateau may be classified into two types, namely, Eutrophic type of subtropic limestone region in tectonic basin and Oligotrophic type of subtropic limestone region in tectonic basin.

Suggestions on fish-management have also been given.