

## 剑湖摇蚊幼虫的空间分布与水质评价

丁煌英<sup>1</sup>, 宁鹏飞<sup>1,2</sup>, 张庆<sup>3,4</sup>, 李明会<sup>3</sup>, 甘萍<sup>3</sup>

(1. 天津市城市规划设计研究院, 天津 300201; 2. 天津市水产研究所, 天津 300221;

3. 西南林业大学林学院, 云南昆明 650224; 4. 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南昆明 650224)

**摘要:**通过研究云南剑湖摇蚊幼虫的种类组成和空间分布,结合水质生物学评价指数,分析其群落结构特征并评价水质现状,旨在为该湖泊水生生态系统健康评价和发展渔业生产提供基础数据。于2011年1月、4月、6月和10月分冬、春、夏、秋4个季节在剑湖设定11个采样点,进行摇蚊幼虫群落调查。结果表明,摇蚊幼虫共检出13种,隶属3亚科、6属,优势种为中华摇蚊(*Chironomus sinicus*)、溪流摇蚊(*Chironomus riparius*)、花纹前突摇蚊(*Procladius choreus*)和多足摇蚊(*Polypedilum* spp.);其中中华摇蚊为全湖性分布,其分布平均水深为162 cm,前突摇蚊属种类分布的平均水深最大,其它种类为局部性分布。摇蚊幼虫的平均密度冬季最高,为858.091个/m<sup>2</sup>,夏季最低,为154.182个/m<sup>2</sup>;冬季生物量最高,为15.741 g/m<sup>2</sup>,其它3季均处在较低水平,其中秋季最低,仅1.245 g/m<sup>2</sup>。根据水质生物学评价指数,目前剑湖的水质等级为中-重污染,已达富营养化水平;同时给出了剑湖水环境治理和控制建议。

**关键词:**摇蚊幼虫;空间分布;水质评价;剑湖

**中图分类号:**Q178.1;X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)03-0058-08

剑湖位于滇西北横断山脉中南段,云南大理州剑川县境内(99°55' ~ 99°59.5'E; 26°25' ~ 26°31.5'N),海拔2186 m,形如“元宝”。湖盆南北长3.35 km,东西最宽处3.25 km,平均水深2.7 m,最大水深6.0 m。湖水来源充沛,有金龙河、格美江、永丰河等河流汇入湖内,湖中心地带还有自涌泉水,湖水出口处在甸南区。湖面东南方凸突,西北方亏凹,呈不规则半圆型(剑川县党史地方志办公室,2005)。剑湖是进入老年期的高原断陷湖泊,由于湖水不断退缩,湖滨形成了大片沼泽,这片高原湖泊湿地与周围森林环境的存在与演替,对于滇西高原生物多样性的保护、生态环境的稳定与社会经济的可持续发展有着重要作用。

摇蚊是一类耐受性极强的水生昆虫,其幼虫种类丰富,个体众多,不同种类对水域生境要求以及对不同水质的敏感性各异,在环境生物学的研究中,被广泛应用于生物监测(李巧等,2011)。天然水体污染程度一旦加重,会使水体中溶解氧含量降低,直接导致底栖动物多样性降低,摇蚊幼虫能耐受有机物分解而形成的低氧甚至是缺氧环境,而其他底栖动

物在这种环境下生命活动往往受到抑制甚至死亡。这些特性使其成为监测水体环境和污染状况的优良指示生物(王俊才等,2000;宗兆伟,2004),在生态学和环境科学领域中有重要研究价值。本研究于2011年在剑湖按季度采集摇蚊幼虫标本,对全湖摇蚊幼虫种类、分布及相关环境因子进行了调查,旨在通过分析湖中摇蚊幼虫的分布特点和生物群落结构的变化趋势,对剑湖水水质进行分析与评价,为以后的相关研究提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 样点设置

根据剑湖的湖形、面积、水文特征及湖边周围的环境特点,采用GPS定位,在剑湖的3个入湖口(金龙河、格美江、永丰河)分别设置A<sub>右</sub>和A<sub>左</sub>、B<sub>右</sub>和B<sub>左</sub>、E<sub>右</sub>和E<sub>左</sub>6个采样点;在1个出湖口(海尾河)设置1个采样点G;在沿岸区设置D、F、H、I共计4个采样点(图1);分别于2011年1月、4月、6月和10月按冬、春、夏、秋四季对摇蚊幼虫进行采样。

#### 1.2 样品采集与处理

用面积为1/16 m<sup>2</sup>的彼得森采泥器,每个采样点采集2次。采集到的样品用40目(0.35 mm孔径)的分样筛去除泥砂,在解剖盘中逐一将摇蚊幼虫挑出,用75%乙醇固定,然后带回实验室计数和称量。用电子天平称湿重,精确到0.001 g,所得数

收稿日期:2016-04-04

基金项目:西南林业大学重点科研基金项目(XKZ200904)。

作者简介:丁煌英,1985年生,女,硕士,主要从事生态环境研究。E-mail:nanzhu44@163.com

据换算成密度 (个/m<sup>2</sup>) 和生物量 (g/m<sup>2</sup>)。参照相关文献对标本进行鉴定 (王俊才和王新华, 2010)。定量采集过程中, 记录各采样点的环境特征, 包括水温、水深、水草分布和透明度等。

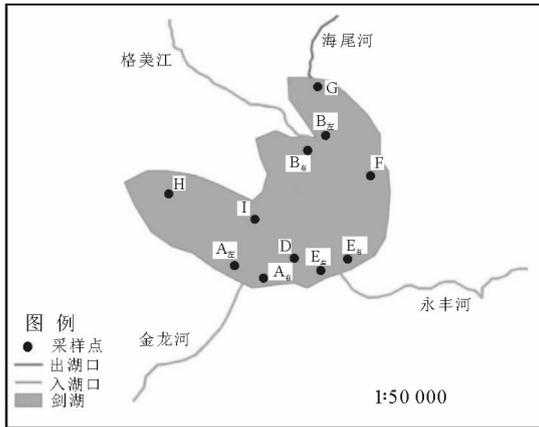


图 1 剑湖采样点分布

Fig. 1 Location of sampling sites in Jianhu Lake

### 1.3 数据分析

1.3.1 生物指标计算公式 优势种的确定采用 McNaughton 优势度指数 ( $Y$ ),  $Y > 0.02$  确定为优势种 (沈国英和施并章, 2002)。计算公式如下:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中:  $n$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种类总个体数,  $f_i$  为出现频率。

1.3.2 水质的生物学评价 Shannon-Wiener 香农-威纳指数 (Shannon-Wiener et al, 1949):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i; P_i = n_i/N$$

式中:  $n_i$  为种  $i$  的个体数,  $N$  为群落中全部物种的生物总个体数,  $P_i$  为属于种  $i$  的个体在全部个体中的比例。

Margalef 物种丰富度指数 (Margalef, 1951):

$$d_M = (S - 1) / \ln N$$

式中:  $N$  为样本总个体数,  $S$  为样品中物种种数总数。

Pielou 物种均匀度指数 (Pielou, 1975):

$$J = H' / \ln S$$

式中:  $H'$  为 Shannon-Wiener 多样性指数,  $S$  为样品中物种种数总数。

生物指数 (BI) (Graca & Coimbra, 1998):

$$BI = \sum s_i \times n_i / N$$

式中:  $s_i$  为每种动物相应的赋值,  $n_i$  为每种生物的个体数,  $N$  为样品中生物总数。各生物指数值与水质等级划分标准见表 1。摇蚊幼虫属级水平水质分类见表 2 (王俊才等, 2011)。

表 1 生物指数与水质等级标准

Tab. 1 Water quality rating criteria based on biological indices

生物指数	I 清洁	II 轻污染	III 中污染	IV 重污染	V 严重污染
香农-威纳指数 ( $H'$ )	>3	2~3	1~2	0~1	0
Margalef 丰富度指数 ( $d_M$ )	>3.5	2~3.5	1~2	0~1	0
均匀度指数 ( $J$ )	>0.8	0.5~0.8	0.3~0.5	0~0.3	-
生物指数 (BI)	>4	3~4	2~3	1~2	0~1

表 2 摇蚊幼虫属级水平水质分类

Tab. 2 Water quality grade as indicated by different species of Chironomid larvae

水质类别	指示生物 (摇蚊幼虫)	赋值
I	纳塔摇蚊、大粗腹摇蚊、流粗腹摇蚊、特突摇蚊、寡角摇蚊、北七角摇蚊、拉普摇蚊、同寡角摇蚊、异环足摇蚊、骑蚌摇蚊、浪突摇蚊、刺突摇蚊、罗摇蚊、流长跗摇蚊、瑟摇蚊	5
II	无突摇蚊、似波摇蚊、布摇蚊、心突摇蚊、棒脉摇蚊、双突摇蚊、沼摇蚊、矮突摇蚊、直突摇蚊、似突摇蚊、施密摇蚊、枝角摇蚊、拟隐摇蚊、内摇蚊、哈摇蚊、倒毛摇蚊、明摇蚊、特维摇蚊、毛胸摇蚊	4
III	菱跗摇蚊、环足摇蚊 (部分)、特氏摇蚊、真开氏摇蚊、直突摇蚊 (部分)、刀突摇蚊、趋流摇蚊、异三突摇蚊、枝角摇蚊、隐摇蚊、齿斑摇蚊、间摇蚊、小突摇蚊、枝长跗摇蚊、长跗摇蚊、锥昏眼摇蚊、伪摇蚊	3
IV	前突摇蚊、长足摇蚊、环足摇蚊 (部分)、水摇蚊、直突摇蚊 (部分)、多足摇蚊、二叉摇蚊	2
V	双线环足摇蚊、三带环足摇蚊、羽摇蚊	1

## 2 结果

### 2.1 摇蚊幼虫的种类组成

共鉴定出摇蚊科 (Chironomidae) 幼虫 6 属、13 种, 分别为花纹前突摇蚊 (*Procladius choreus*)、前突

摇蚊一种 (*Procladius* sp.)、长足摇蚊属 A 种 (*Tanyptu* ssp. A)、苍白摇蚊 (*Chironomus pallidivittatus*)、中华摇蚊 (*Chironomus sinicus*)、溪流摇蚊 (*Chironomus riparius*)、喜盐摇蚊 (*Chironomus salinarius*)、小云多足摇蚊 (*Polypedilum nubeculosum*)、拟踵突多足

摇蚊(*Polypedilum paraviceps*)、多足摇蚊一种(*Polypedilum* sp.)、特氏直突摇蚊(*Orthocladius thienemani*)、直突摇蚊一种(*Orthocladius* sp.)、浪突摇蚊属 B 种(*Zalutschia* sp. B)。

## 2.2 优势种

对不同季节各采样点的综合分析表明,剑湖摇蚊幼虫优势种为中华摇蚊、溪流摇蚊、花纹前突摇蚊和多足摇蚊(表3)。

表3 不同季节各采样点的优势种

Tab.3 Dominant species for each sampling site and season

采样点	春季	夏季	秋季	冬季
A <sub>左</sub>	中华摇蚊	中华摇蚊、溪流摇蚊、 花纹前突摇蚊	中华摇蚊、拟踵 突多足摇蚊	中华摇蚊、小云多足 摇蚊、花纹前突摇蚊
A <sub>右</sub>	-	花纹前突摇蚊	中华摇蚊、小云多足摇蚊	中华摇蚊
B <sub>左</sub>	溪流摇蚊	-	小云多足摇蚊、 拟踵突多足摇蚊	中华摇蚊、多足摇 蚊一种、小云多足摇蚊
B <sub>右</sub>	拟踵突多足摇蚊	花纹前突摇蚊	苍白摇蚊、中华摇蚊、 溪流摇蚊	中华摇蚊、多足摇蚊一种、 小云多足摇蚊
D	小云多足摇蚊、 拟踵突多足摇蚊	溪流摇蚊、小云多足摇蚊、拟 踵突多足摇蚊、花纹前突摇蚊	直突摇蚊一种	苍白摇蚊、中华摇蚊
E <sub>左</sub>	-	-	中华摇蚊、塞氏摇蚊、 特氏直突摇蚊	中华摇蚊、 花纹前突摇蚊
E <sub>右</sub>	苍白摇蚊、长足摇蚊属 A 种	-	-	中华摇蚊、花纹前突摇蚊
F	喜盐摇蚊	溪流摇蚊、拟踵突多 足摇蚊、花纹前突摇蚊	溪流摇蚊、拟踵 突多足摇蚊	中华摇蚊、溪流 摇蚊、小云多足摇蚊
G	中华摇蚊、溪流摇蚊	-	中华摇蚊、溪流摇蚊	中华摇蚊、溪流摇蚊
H	中华摇蚊、花纹前突摇蚊	花纹前突摇蚊	中华摇蚊	中华摇蚊、溪流 摇蚊、花纹前突摇蚊
I	花纹前突摇蚊	溪流摇蚊	溪流摇蚊	多足摇蚊一种、花纹前突摇蚊

## 2.3 摇蚊幼虫种类的空间分布

花纹前突摇蚊除 B<sub>左</sub> 点外,其余各点均有分布,且分布在 170 cm 以上水深。前突摇蚊一种春季只分布在 I、F 和 H 点,分布的平均水深最大,为 323.3 cm。多足摇蚊一种分布在 B<sub>左</sub>、B<sub>右</sub>、G 和 I 点,水深分布范围和花纹前突摇蚊相同,但平均水深略低。小云多足摇蚊除 E<sub>左</sub>、E<sub>右</sub>、H 和 I 点外,其余各点均有分布,拟踵突多足摇蚊除 E<sub>左</sub>、E<sub>右</sub>、H、I 点、A<sub>右</sub> 和 G 点外,其余各点均有分布,这 2 种摇蚊水深分布范围一致,但拟踵突多足摇蚊的平均水深略高。苍白摇蚊除 B<sub>左</sub> 和 G 点外,其余各点均有分布,中华摇蚊在各个采样点均有分布,为全湖性种类,溪流摇蚊除 A<sub>右</sub>、E<sub>左</sub> 和 E<sub>右</sub> 点外,其余各点均有分布,这 3 种摇蚊分布的水深范围都较广,平均分布水深表现为溪流摇蚊 > 苍白摇蚊 > 中华摇蚊。特氏直突摇蚊分布在 B<sub>右</sub>、D、E<sub>左</sub>、G 和 F 点,分布的水深范围较窄。溪流摇蚊、喜盐摇蚊、直突摇蚊一种、浪突摇蚊属 B 种和长足摇蚊属 A 种为局部性种类,只在个别采样点上出现,长足摇蚊属 A 种分布的平均水深最小。各幼虫的分布水深与平均密度情况见表 4。

表4 剑湖摇蚊幼虫的分布水深和分布密度

Tab.4 Density and inhabiting water depth of different chironomid larvae species in Jianhu Lake

种类	水深/ cm	平均水深/ cm	平均密度/ 个·m <sup>-2</sup>
花纹前突摇蚊	80~420	209.3	96.0
前突摇蚊一种	170~400	323.3	64.0
长足摇蚊属 A 种	28~100	64.0	16.0
多足摇蚊一种	80~420	182.5	60.0
小云多足摇蚊	80~170	120.0	256.0
拟踵突多足摇蚊	80~170	131.3	86.0
苍白摇蚊	28~420	185.5	93.9
中华摇蚊	80~520	164.7	245.9
溪流摇蚊	80~520	149.5	188.9
喜盐摇蚊	80~170	130.0	64.0
直突摇蚊一种	80~250	140.0	48.0
特氏直突摇蚊	80~150	115.0	86.3
浪突摇蚊属 B 种	160	160.0	64.0

## 2.4 摇蚊幼虫现存量的分布

摇蚊幼虫的平均密度表现为冬季(858.091 个/m<sup>2</sup>) > 秋季(164.545 个/m<sup>2</sup>) > 春季(164.182 个/m<sup>2</sup>) > 夏季(154.182 个/m<sup>2</sup>); 平均生物量表现为冬季(15.741 g/m<sup>2</sup>) > 春季(2.008 g/m<sup>2</sup>) > 夏季(1.936 g/m<sup>2</sup>) > 秋季

( $1.245 \text{ g/m}^2$ )。可见冬季摇蚊幼虫的现存量最多。其中, 春季 G 点的摇蚊幼虫密度和生物量均为最高, D 点密度为其次。夏季 D 点的摇蚊幼虫密度最高, 其次为 I、A<sub>右</sub>、F、A<sub>左</sub> 点, 这 5 个点的平均密度为  $316.8 \text{ 个/m}^2$ , 大于全湖夏季平均密度; I 点生物量最高, 其次为 F、D 和 A 左点, 这 4 个点的平均生物量为  $5.039 \text{ g/m}^2$ , 大于全湖夏季平均生物量。秋季 A<sub>左</sub> 点的摇蚊幼虫密度最高, 其次为 B<sub>左</sub>、B<sub>右</sub>、G 和 E<sub>左</sub> 点, 这 5 个点的平均密度为  $278.8 \text{ 个/m}^2$ , 大于全湖秋季平均密度; G 点的生物量最高, 其次为 B<sub>右</sub>、A<sub>左</sub> 和 F 点, 这 4 个点的平均生物量为  $2.763 \text{ g/m}^2$ , 大于全湖秋季平均生物量。冬季 G 点的摇蚊幼虫密度最高, 其次为 D 点, 这 2 个点的平均密度为  $3176 \text{ 个/m}^2$ , 大于冬季全湖平均密度; 生物量最高也是出现在 G 点, 大于全湖冬季平均生物量, 冬季每个采样点都采集到摇蚊幼虫。剑湖四季各采样点摇蚊幼虫的密度和生物量情况见表 5。

## 2.5 剑湖摇蚊幼虫对湖水水质的指示作用

采用 Shannon-Wiener 指数、Margalef 物种丰富度指数、Pielou 物种均匀度指数和生物指数 (BI) 对

剑湖水质进行评价, 各季节评价结果见表 6~9。其中, 春季的 A<sub>右</sub> 点和 E<sub>左</sub> 点, 夏季的 B<sub>左</sub>、E<sub>左</sub>、E<sub>右</sub> 和 G 点, 秋季的 E<sub>右</sub> 点均未采集到摇蚊幼虫, 需结合各季节各采样点的水质分析结果进行综合评价。

从表 6 可以看出, 春季 A<sub>左</sub> 点为重-严重污染, D 点为轻-中污染, F 点为中-严重污染, G 点为轻-重污染, 其余各点均为中-重污染, 综合评价春季剑湖水质为中-重污染。

从表 7 可以看出, 夏季 B<sub>右</sub> 为中-严重污染, D 点为轻-中污染, 其余各点均为中-重污染, 综合评价夏季剑湖水质为中-重污染。

从表 8 可以看出, 秋季 D 点为轻-严重污染, G 点为轻-重污染, 其余各点均为中-重污染, 综合评价秋季剑湖水质为中-重污染。

从表 9 可以看出, 冬季 A<sub>右</sub> 为重-严重污染, D 和 G 点为轻-重污染, 其余各点均为中-重污染, 综合评价冬季剑湖水质为中-重污染。综合各季节各采样点的水质状况, 剑湖的水质为中-重污染, 评价结果见表 10。

表 5 剑湖四季各采样点摇蚊幼虫的密度和生物量

Tab. 5 Seasonal density and biomass of chironomid larvae at each sampling site of Jianhu Lake

采样点	春季		夏季		秋季		冬季	
	密度/ 个·m <sup>-2</sup>	生物量/ g·m <sup>-2</sup>						
A <sub>右</sub>	0	0	272	0.806	160	0.574	16	0.428
A <sub>左</sub>	16	0.014	160	3.121	352	2.207	288	3.357
B <sub>右</sub>	16	0.014	48	0.144	320	3.234	704	3.797
B <sub>左</sub>	48	0.498	0	0	336	0.361	192	2.653
D	558	1.419	496	3.194	16	0.038	1056	14.325
E <sub>右</sub>	48	0.065	0	0	0	0	224	1.124
E <sub>左</sub>	0	0	0	0	178	0.31	320	2.003
F	32	0.076	256	3.223	96	1.723	560	6.037
G	896	19.515	0	0	208	3.889	5296	135.649
H	48	0.075	64	0.192	48	0.455	624	3.476
I	144	0.412	400	10.619	96	0.902	159	0.307

表 6 剑湖春季各采样点水质评价

Tab. 6 Water quality assessment based on the spring biological index at each sampling site in Jianhu Lake

采样点	H'	d <sub>M</sub>	J	BI	综合评价
A <sub>右</sub>	-	-	-	-	-
A <sub>左</sub>	0/V 类	0/V 类	0/IV 类	1.00/V 类	重-严重污染
B <sub>右</sub>	0/V 类	0/V 类	0/IV 类	2.00/III 类	中-重污染
B <sub>左</sub>	0.63/IV 类	0.26/IV 类	0.48/III 类	2.00/III 类	中-重污染
D	1.57/III 类	1.11/III 类	0.76/II 类	2.03/III 类	轻-中污染
E <sub>右</sub>	0.63/IV 类	0.26/IV 类	0.32/III 类	1.33/IV 类	中-重污染
E <sub>左</sub>	-	-	-	-	-
F	0/V 类	0/V 类	0/V 类	2.00/III 类	中-严重污染
G	1.03/III 类	0.44/IV 类	0.74/II 类	1.95/IV 类	轻-重污染
H	0.63/IV 类	0.26/IV 类	0.48/III 类	1.33/IV 类	中-重污染
I	0.63/IV 类	0.20/IV 类	0.41/III 类	2.00/III 类	中-重污染

表7 剑湖夏季各采样点水质评价

Tab.7 Water quality assessment based on the summer biological index at each sampling site in Jianhu Lake

采样点	$H'$	$d_M$	$J$	BI	综合评价
A <sub>右</sub>	0.22/IV类	0.18/IV类	0.32/III类	2.00/III类	中-重污染
A <sub>左</sub>	1.02/III类	0.39/IV类	0.46/III类	1.80/IV类	中-重污染
B <sub>右</sub>	0/V类	0/V类	0/IV类	2/III类	中-严重污染
B <sub>左</sub>	-	-	-	-	-
D	1.73/III类	1.33/III类	0.62/II类	2.39/III类	轻-中污染
E <sub>右</sub>	-	-	-	-	-
E <sub>左</sub>	-	-	-	-	-
F	1.36/III类	0.72/IV类	0.49/III类	2.00/III类	中-重污染
G	-	-	-	-	-
H	0/V类	0/V类	0/IV类	2.00/III类	中-重污染
I	0.43/IV类	0.17/IV类	0.42/III类	1.84/IV类	中-重污染

表8 剑湖秋季各采样点水质评价

Tab.8 Water quality assessment based on the autumn biological index at each sampling site in Jianhu Lake

采样点	$H'$	$d_M$	$J$	BI	综合评价
A <sub>右</sub>	1.19/III类	0.59/IV类	0.46/III类	1.50/IV类	中-重污染
A <sub>左</sub>	1.28/III类	0.51/IV类	0.42/III类	1.64/IV类	中-重污染
B <sub>右</sub>	1.23/III类	0.52/IV类	0.39/III类	1.30/IV类	中-重污染
B <sub>左</sub>	1.01/III类	0.34/IV类	0.42/III类	2.57/III类	中-重污染
D	0/V类	0/V类	0/IV类	3.00/II类	轻-严重污染
E <sub>右</sub>	-	-	-	-	-
E <sub>左</sub>	0.65/IV类	0.19/IV类	0.44/III类	2.28/III类	中-重污染
F	0.63/IV类	0.22/IV类	0.41/III类	2.00/III类	中-重污染
G	1.09/III类	0.37/IV类	0.79/II类	1.38/IV类	轻-重污染
H	0.63/IV类	0.26/IV类	0.41/III类	1.30/IV类	中-重污染
I	0.63/IV类	0.22/IV类	0.46/III类	1.33/IV类	中-重污染

表9 剑湖冬季各采样点水质评价

Tab.9 Water quality assessment based on the winter biological index at each sampling site in Jianhu Lake

采样点	$H'$	$d_M$	$J$	BI	综合评价
A <sub>右</sub>	0/V类	0/V类	0/IV类	1/V类	重-严重污染
A <sub>左</sub>	1.08/III类	0.35/IV类	0.48/III类	1.61/IV类	中-重污染
B <sub>右</sub>	1.57/III类	0.61/IV类	0.48/III类	1.95/IV类	中-重污染
B <sub>左</sub>	1.01/III类	0.38/IV类	0.42/III类	1.50/IV类	中-重污染
D	1.27/III类	0.86/IV类	0.65/II类	1.23/IV类	轻-重污染
E <sub>右</sub>	0.89/IV类	0.37/IV类	0.41/III类	1.21/IV类	中-重污染
E <sub>左</sub>	0.80/IV类	0.35/IV类	0.33/III类	1.10/IV类	中-重污染
F	1.27/III类	0.63/IV类	0.49/III类	2.00/III类	中-重污染
G	0.88/IV类	0.47/IV类	0.55/II类	1.56/IV类	轻-重污染
H	0.75/IV类	0.47/IV类	0.44/III类	1.97/IV类	中-重污染
I	1.02/III类	0.39/IV类	0.43/III类	1.71/IV类	中-重污染

表10 剑湖四季各采样点水质综合评价

Tab.10 Comprehensive evaluation of water quality for each sampling site in all four seasons

采样点	春季	夏季	秋季	冬季	综合评价
A <sub>右</sub>	-	中-重污染	中-重污染	重-严重污染	中-重污染
A <sub>左</sub>	重-严重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染
B <sub>右</sub>	中-重污染	中-严重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染
B <sub>左</sub>	中-重污染	-	中-重污染	中-重污染	中-重污染
D	轻-中污染	轻-中污染	轻-严重污染	轻-重污染	轻-重污染
E <sub>右</sub>	中-重污染	-	-	中-重污染	中-重污染
E <sub>左</sub>	-	-	中-重污染	中-重污染	中-重污染
F	中-严重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染
G	轻-重污染	-	轻-重污染	轻-重污染	轻-重污染
H	中-重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染
I	中-重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染	中-重污染

### 3 讨论

#### 3.1 摇蚊幼虫的分布

剑湖摇蚊幼虫鉴定出共有摇蚊科(Chironomidae)幼虫 14 种,与武汉东湖的 20 种(邬红娟等, 2005)、杭州西湖的 18 种(俞大维等, 1991)相比,种类偏少。可能是由于上述湖泊大都为中-富营养的浅水湖泊,生境多样性较高,适合不同种类的摇蚊幼虫生存。剑湖水质属于富营养化,摇蚊幼虫种类相对偏少;抚仙湖为贫-中营养的深水湖泊(熊飞等, 2007),生境较单一,大部分为敞水区域,缺乏大型水生植物,导致摇蚊幼虫的种类组成简单,只有 6 种;同时,滇池由于严重富营养化(王丽珍, 2004),摇蚊幼虫也只有 6 种。上述情况符合摇蚊幼虫种类数与水体营养呈单峰分布关系的结论。

本次调查表明,剑湖中中华摇蚊、溪流摇蚊的出现率和现存量均占绝对优势,花纹前突摇蚊和多足摇蚊次之。中华摇蚊和花纹前突摇蚊也是大部分湖泊和水库的优势种,如富营养化的杭州西湖、武汉东湖、长春南湖和云南滇池(龚志军等, 2001;孙刚等, 2001;王丽珍等, 2002;俞大维等, 1991)。在长江中下游地区,富营养化湖泊摇蚊群落的常见优势种为中华摇蚊、红裸须摇蚊(*Prosilocerus akamusi*)、中国长足摇蚊(*Tanytus chinensis*)、刺狭长足摇蚊(*Tanypus puncti pennis*)等(王银东等, 2005;龚志军等, 2001)。可见,中华摇蚊是富营养型水体的指示生物,主要分布在重度污染水体,能忍受长期缺氧环境;花纹前突摇蚊、长足摇蚊、多足摇蚊、直突摇蚊主要分布在轻度-中度污染水体,这些种类在剑湖均有分布,进一步说明剑湖水质可能处于富营养状态。

肖宏现(2011)研究表,剑湖的 3 条入湖河流金龙河末、格美江末和永丰河末的水质级别分别为Ⅲ类、Ⅱ类和Ⅴ类,出湖口水质级别为Ⅱ类。生物学评价结果表明,剑湖的 3 条入湖河流金龙河末、格美江末、永丰河末和出湖口水的水质级别分别为中-重污染、中-重污、中-重污染和轻污染。除格美江末采样点 B<sub>右</sub>、B<sub>左</sub> 剑湖水质理化评价与生物评价结果差距较大外,其余各点 2 种评价结果较吻合;同时也表明了剑湖水源已受到破坏,其水质已受到影响。

#### 3.2 剑湖的水环境质量控制

通过摇蚊幼虫对剑湖水质进行分析,显示剑湖水体污染已较为严重。在采样过程中发现 E<sub>右</sub> 点水面漂浮着较多杂物,有少量的浮萍和菱草,周围有鱼网, E<sub>左</sub> 水面被植物覆盖,有菱草,浮萍特别多,无鱼

网;D 点的水则相对较清;B<sub>左</sub> 点周围有菱草和鱼网,鱼网附近有较多漂浮物。因此污染原因可能与水域周边环境、水体用途和水文环境特点相关。由于村落环保设施滞后,环境监管能力薄弱,生活和工业中的污水、垃圾任意排放,大量的外源营养物质输入剑湖后,加速了水生植物的繁衍,就可能出现初级生产力过剩,大量的有机物质沉积于湖底,其分解造成湖水下层溶氧降低,环境变差,使一些水生动物逐渐消亡,而水生植物的生物量则越来越大,导致物质与能量的循环不能正常进行,水质不断恶化。在剑湖进行水产品养殖,特别是网箱养鱼,对水质的影响更大,是湖泊水体富营养化的重要因素之一;同时由于剑湖自身环境容量小,敏感性强,稳定性和抵抗外界干扰能力差,生态环境极其脆弱,在人为活动的强烈干扰下,湖泊功能衰减,生态环境已逐渐恶化(肖宏现, 2011)。为解决剑湖的水环境问题,应做好以下几个方面的工作:

(1) 加强环境监管能力,设置多处垃圾处理场、生活污水处理厂;

(2) 适量投放或圈养利用水草的鱼类,降低死亡植物造成的有机物积累,进而达到控制水体富营养化的目的。摇蚊幼虫在维持物质与能量的正常循环过程中也能起到一定的作用,例如通过吞食大量藻类尤其是蓝藻和绿藻来净化水体,通过分解湖水中有机物降低生化需氧量,水中有机物被摇蚊幼虫摄食后,一部分可以分解为植物可吸收的营养无机盐类,加速水体中物质循环的有机物矿化作用(王丽珍等, 2004);

(3) 加强对剑湖渔业养殖容量的研究,科学确定剑湖的渔业养殖容量,鼓励大水面人工或自然增殖名特优鱼类和不投饵网箱养殖,限制投饵式网箱养殖,禁止肥水性拦网养殖和长江以外的外来物种养殖。采取一切必要的手段防止运输的物料进入场区道路和河道,并安排专人及时清理。

志谢: 本文承蒙南开大学王新华教授的悉心指导,在此表示衷心地感谢。

#### 参考文献

- 龚志军, 谢平, 唐汇娟, 等, 2001. 富营养化对大型底栖动物群落结构和多样性的影响[J]. 水生生物学报, 25(3): 210-216.
- 剑川县党史地方志办公室, 2005. 剑川年鉴(1991-2000)[M]. 昆明: 云南民族出版社.

- 李巧,涂璟,熊忠平等,2011. 节肢动物生物指示研究综述[J]. 西北林学院学报, 26(4):155-161.
- 沈国英,施并章,2002. 海洋生态学[M]. 北京:科学出版社.
- 孙刚,盛连喜,李明全,2001. 长春南湖底栖动物群落结构特征与环境因子关系[J]. 应用生态学报, 12(2):319-320.
- 王俊才,方志刚,鞠复华,2000. 摇蚊幼虫分布及其与水质的关系[J]. 生态学杂志, 19(4):27-37.
- 王俊才,王新华,2010. 中国北方摇蚊幼虫[M]. 北京:中国言实出版社.
- 王丽珍,徐小清,周文博,等,2002. 云南滇池马村湾、海东湾底栖动物本底调查研究[J]. 云南大学学报, 24(2):134-139.
- 王丽珍,李砥,刘永定,等,2004. 滇池摇蚊科幼虫和水丝蚓属的生物学特性分析[J]. 水利渔业, 24(2):48-50.
- 王银东,熊邦喜,杨学芬,2005. 武汉南湖大型底栖动物群落结构研究[J]. 湖泊科学, 17(4):327-333.
- 邬红娟,崔博,吕晋,2005. 武汉湖泊底栖动物群落结构及水质生态评价[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 33(10):96-98.
- 熊飞,李文朝,潘继征,2007. 云南抚仙湖摇蚊幼虫的空间分布及其环境分析[J]. 应用生态学报, 18(1):179-184.
- 俞大维,虞左明,1991. 杭州西湖底栖动物群落结构研究[J]. 水生生物学报, 15(1):63-72.
- 宗兆伟,邢树威,王俊才,等,2009. 大伙房水库的指示生物水蚯蚓和摇蚊幼虫[J]. 环境保护科学, 35(2):86-87.
- Graca M A S, Coimbra C N, 1998. The elaboration of indices to assess biological water quality: a case study [J]. Water Research, 32:380-392.
- Margalef D R, 1951. Diversidad de Especies en las comunidades naturales [J]. Proceedings Inst. Biol Apl, 9(5):5-27.
- Pielou E C, 1975. Ecological Diversity [M]. New York: John Wiley:160-165.
- Shannon-Wiener C E, Weaver W W, 1949. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press.

(责任编辑 万月华)

## Spatial Distribution of Chironomid Larvae and Water Quality Assessment in Jianhu Lake

DING Huang-ying<sup>1</sup>, NING Peng-fei<sup>2</sup>, ZHANG Qing<sup>3,4</sup>, LI Ming-hui<sup>3</sup>, GAN Ping<sup>3</sup>

(1. Tianjin Institute of Urban Planning and Design, Tianjin 300201, P. R. China;

2. Fisheries Research Institute of Tianjin, Tianjin 300221, P. R. China;

3. Faculty of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, P. R. China;

4. Key Lab of Forestry Disaster Warning and Control of Yunnan Province,  
Southwest Forestry University, Kunming 650224, P. R. China)

**Abstract:** Jianhu Lake, located in Jianchuan County of Dali Bai Autonomous Prefecture, Yunnan Province, is a typical plateau fresh water lake. To date, no research had been reported on the community structure of chironomid larvae in Jianhu Lake and basic ecological information on chironomid larvae is lacking. In this study, we investigated the community structure of chironomid larvae in Jianhu Lake, focusing on species composition, density, biomass and spatial distribution. The results were used to determine the biological index of the chironomid community, which was then used to assess the water quality of Jianhu Lake. The research provides base data for evaluating the ecosystem health and fishery management of Jianhu Lake. A seasonal investigation of the chironomid larvae community was carried out at 11 sampling sites in January, April, June and October of 2011. A total of 13 chironomid species from 6 genera and 3 subfamilies were identified, dominated by *Polypedilum* sp., *Chironomus sinicus*, *Chironomus riparius*, and *Procladius choreus*. *Chironomus sinicus* was distributed throughout the lake at an average depth of 162 cm. *Procladius* spp. was found at an average maximum depth of 323.3 cm and the other species were found higher in the water column. The average density of chironomid larvae was 335.25 ind/m<sup>2</sup>, with a maximum density of 858.091 ind/m<sup>2</sup> (winter) and a minimum density of 154.182 ind/m<sup>2</sup> (summer). The highest average chironomid larvae biomass occurred in winter (15.741 g/m<sup>2</sup>) and the lowest occurred in autumn (1.245 g/m<sup>2</sup>). The ranges of the Shannon-weaver index, Margalef richness index, Pielou evenness index and biological index of the chironomid larvae community were, respectively, 0 – 1.73, 0 – 1.33, 0 – 0.79, and 1 – 3. The biological evaluation indices, based on chironomid diversity and community structure, indicate that the water in Jianhu Lake is moderately-seriously polluted and eutrophic. The primary pollutant sources are wastewater from aquaculture and municipal sewage. To improve water quality in Jianhu Lake, we suggest that the management department strengthen environmental controls, construct more garbage disposal and sewage treatment plants, introduce herbivorous fish and scientifically set the stocking density for cage culture.

**Key words:** chironomid larva; spatial distribution; water quality evaluation; Jianhu Lake