

# 澜沧江源区浮游植物群落特征及其对水质的指示作用

朱海涛<sup>1</sup>, 湛若云<sup>2</sup>, 彭玉<sup>3</sup>, 柴元冰<sup>1</sup>, 陆丹<sup>1</sup>, 闵敏<sup>1</sup>, 贾洁<sup>1</sup>, 周明春<sup>3</sup>, 王英才<sup>3</sup>

(1. 青海省水文水资源勘测局, 青海 西宁 810001;

2. 南水北调中线水源有限责任公司, 湖北 丹江口 442700;

3. 长江流域水环境监测中心, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**为了探究澜沧江源区水生态现状与变化趋势,在干流囊谦段布置多昌、扎曲大桥及香达3个监测点,支流选择子曲的下拉秀、尕麻和野吉尼玛3个监测点,共计6个监测点,于2016年7月(夏季)和10月(秋季)对澜沧江源区干流及其支流浮游植物进行了调查,以期三江源区水生态保护与管理提供科学依据。结果表明:(1)记录浮游植物7门、47种,其中硅藻(21种)和绿藻(14种)为主要成分,分别占总种类数的45%和30%;时空差异明显,夏季较秋季种类丰富,支流较干流种类丰富;优势种以硅藻为主,其中针杆藻(*Synedra* sp.)为两季度绝对优势种;(2)澜沧江源区浮游植物密度为 $5.4 \times 10^4 \sim 230 \times 10^4$ 个/L,平均密度为 $79 \times 10^4$ 个/L,硅藻贡献最大;时空差异明显,秋季高于夏季,支流高于干流;(3)浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )夏季为2.32,秋季为2.72, Pielou 均匀度指数( $J'$ )夏季为0.73,秋季为0.70。研究显示,澜沧江源区水质介于极贫营养至中营养之间,处于轻度污染至无污染状态,水生态状况整体优良。

**关键词:**澜沧江源;浮游植物;密度;多样性指数;水质评价

**中图分类号:**Q145, X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2020)01-0016-06

澜沧江发源于青海省唐古拉山,经西藏入云南,在西双版纳流出国境,中国境内总长度达2160 km,海拔高低差大,南北跨越13个纬度,上下游气候差异较大,横跨寒带、亚热带及热带等多个气候带,地形地貌较为复杂,生境变化也较为显著(雷欢等,2014)。澜沧江是我国重要的水源地和生态安全屏障,其干流在青海境内称为扎曲,全长448 km;支流有子曲、解曲和巴曲等,其中子曲为扎曲的一级支流(苟新京和陈孝全,2002;陈燕琴等,2012;唐文家等,2012)。因受特殊气候地理环境条件影响,澜沧江源区生态系统相对较为敏感和脆弱(殷大聪等,2017)。在以保护为核心的青海省生态文明建设总体布局中,澜沧江源区水生态监测工作需持续加强。

浮游植物是水生态系统重要组成成分之一,其作为生物监测指标在水环境评价中得到了广泛应用(况琪军等,2005;王勇等,2010)。澜沧江浮游植物

的先前研究主要以群落结构为主(李轶冰等,2007;陈燕琴等,2012;唐文家等,2012;张修玉等,2012;雷欢等,2014;殷大聪等,2017)。本文在澜沧江源区囊谦段开展了浮游植物调查,比较干流和支流差异,旨在进一步了解澜沧江源区浮游植物现状,并运用其密度、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数对水质进行了指示,以期三江源区水生态保护与管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样时间与样点布设

2016年7月(夏季)和10月(秋季)对澜沧江源干流和支流开展了浮游植物调查;其中,在干流囊谦段布置多昌、扎曲大桥及香达3个监测点,支流选择子曲的下拉秀、尕麻和野吉尼玛3个监测点,共计6个监测点(图1)。此次水生态监测点的选择主要是参考该区域多年的水质监测布点。

### 1.2 样品采集与分析

根据高原水体环境特征,浮游植物定量样品采集用1 L有机玻璃采水器在所测水层0.1~0.5 m处采水3 L,每升加入10~15 mL鲁哥氏液充分摇匀固定,带回实验室内静止48 h后浓缩至50 mL,待镜检;浮游植物定性样品采集用25号浮游生物网在水面下0.1~0.5 m处作“∞”形循环拖动,3~

收稿日期:2019-02-22

基金项目:青海省水资源费专项资金项目“青海省三江源地区重点湖泊河段水生态调查”。

作者简介:朱海涛,1966年生,男,高级工程师,主要从事水文学水资源水环境研究。E-mail:zhuht6669@163.com

通信作者:彭玉,女,主要从事水生态监测与评价研究。E-mail:pydaisy@163.com

5 min后将网慢慢提起,随后将浓缩的水样放入标本瓶中,取样 30~50 mL,用 1%~1.5%样品体积的鲁哥试液固定,待镜检(王骥和王建,1982)。样品由专业技术人员参考相关文献进行鉴定与计数(黎尚豪和毕列爵,1998;朱蕙忠和陈嘉佑,2000;胡鸿钧和魏印心,2006)。

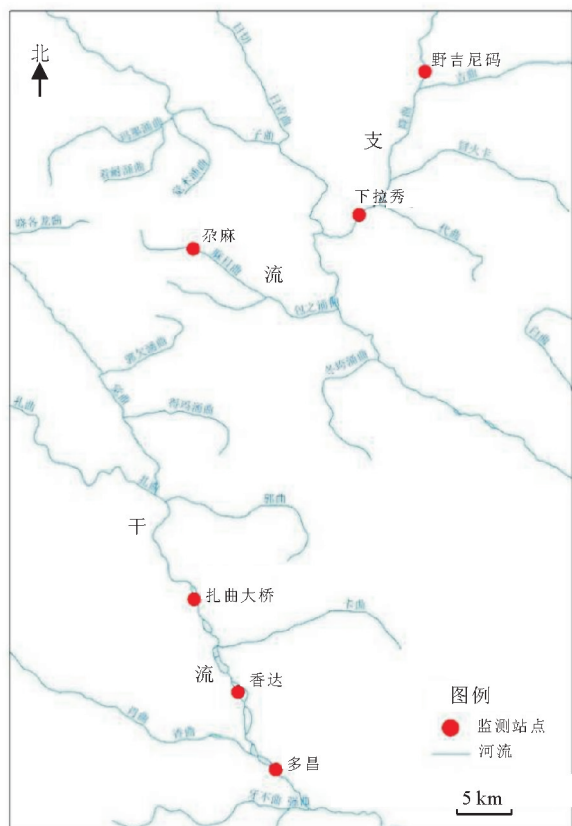


图 1 澜沧江源采样点分布

Fig.1 Location of sampling sites in the source region of Lancang River

在采集样品的同时,用 GPS 记录各个采样点的经纬度和海拔高度;用水质多功能参数仪(YSI)测

定水温、pH、溶解氧、电导率、浊度、叶绿素等参数;用透明度盘测定其透明度。采样点分布及基本环境参数见表 1 所示。

### 1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2010 对所获得数据进行相关处理和分析。优势度(Mcnaughton, 1967)、多样性指数和均匀度指数(隋战鹰,2002;况琪军等,2005)计算公式如下:

(1)优势度( $Y$ ):

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

式中: $n_i$  - 某种个体数量; $N$  - 所有种的个体总数; $f_i$  - 第  $i$  种类出现的样点数与总样点数的比值;以  $Y \geq 0.02$  为优势种。

(2)Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ ):

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中: $S$  - 整个生物样所包含的种数; $P_i$  - 第  $i$  种个体数在全部群落总个体数中的占比。多样性指数( $H$ )对应的水质评价标准如下: $H = 0 \sim 1$ , 多污带; $H = 1 \sim 2$ ,  $\alpha$ -中污带; $H = 2 \sim 3$ ,  $\beta$ -中污带; $H > 3$ , 寡污带。

(3)Pielou 均匀度指数( $J$ ):

$$J = H / \log_2 S$$

式中: $H$  - Shannon-Wiener 多样性指数值; $S$  - 物种数。Pielou 均匀度指数( $J$ )对应的水质评价标准如下: $J = 0.8 \sim 1.0$ , 清洁; $J = 0.5 \sim 0.8$ , 轻污染; $J = 0.3 \sim 0.5$ , 中污染; $J = 0.0 \sim 0.3$ , 重污染。

## 2 结果

### 2.1 浮游植物种类组成

定性和定量调查分析结果显示,澜沧江源区干流及其支流浮游植物共记录 7 门、47 种(表 2)。

表 1 澜沧江源采样点现场基本参数

Tab.1 Environmental parameters for each sampling site in the source region of Lancang River

采样点	地理坐标	海拔/m	水温/°C	pH	电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	透明度/cm	溶解氧/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
多昌	32°10'30.0"N 96°31'7.38"E	3615	9.2~15.7	8.2~8.3	682.1~777.1	8~10	7.4~8.5
香达	32°14'28.38"N 96°29'12.06"E	3672	8.8~15.4	8.0~8.3	707.4~785.2	10	7.5~8.6
扎曲大桥	32°19'13.56"N 96°26'58.14"E	3676	15.1	8.1	706.2	10	7.6
杂麻	32°37'48.90"N 96°26'52.50"E	3898	5.1~16.0	8.2~7.6	267.2~271.5	25	7.5~9.2
下拉秀	32°38'20.22"N 96°35'43.80"E	3916	4.7~10.9	8.3~8.5	270.2~271.4	25	8.3~9.3
野吉尼玛	32°46'14.16"N 96°38'45.06"E	4100	5.2~10.6	8.2~8.4	426.5~428.9	20~25	8.2~9.1

表2 澜沧江源区浮游植物种类名录

Tab.2 Phytoplankton species list for each sampling site in the source region of Lancang River

种类	干流			支流		
	多昌	扎曲大桥	香达	尕麻	下拉秀	野吉尼玛
<b>蓝藻门 Cyanophyta</b>						
颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.	+	+	+	+	+	+
浮鞘丝藻 <i>Planktolyngbya</i> sp.					+	
伪鱼腥藻科 <i>Pseudanabaenaceae</i>			+			+
微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>				+		
平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.	+					+
<b>硅藻门 Bacillariophyta</b>						
针杆藻 <i>Synedra</i> sp.	+	+	+	+	+	+
脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	+			+	+	
异极藻 <i>Gomphonema</i> sp.	+	+		+	+	+
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	+	+		+	+	+
直链藻 <i>Melosira</i> sp.		+		+	+	
变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	+					
桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.	+	+	+	+	+	+
菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.		+		+	+	+
等片藻 <i>Diatoma</i> sp.	+	+	+	+	+	+
小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.				+		
卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.	+			+		+
曲壳藻 <i>Achnanthes</i> sp.	+	+	+	+	+	+
布纹藻 <i>Gyrosigma</i> sp.				+		
茧形藻 <i>Amphiprora</i> sp.					+	
弯楔藻 <i>Rhoicosphenia</i> sp.				+		
双菱藻 <i>Surirella</i> sp.					+	
蛾眉藻 <i>Ceratoneis</i> sp.				+	+	
双眉藻 <i>Amphora</i> sp.	+					+
双生双楔藻 <i>Didymosphenia geminata</i>				+	+	
波缘藻 <i>Cymatopleura</i> sp.	+					
<b>绿藻门 Chlorophyta</b>						
栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.	+					
四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>				+		
十字藻 <i>Crucigenia</i> sp.	+					
四角十字藻 <i>Crucigenia tetrapedia</i>				+		
卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp.	+			+		
葡萄藻 <i>Botryococcus braunii</i>	+			+		
浮球藻 <i>Planktosphaeria</i> sp.				+		
鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp.	+			+		
新月藻 <i>Closterium</i> sp.					+	+
单角盘星藻 <i>Pediastrum simplex</i>	+					
双星藻 <i>Zygnema</i> sp.	+			+		
转板藻 <i>Mougeotia</i> sp.	+		+			
毛枝藻 <i>Stigeoclonium</i> sp.	+			+	+	
水绵 <i>Spirogyra</i> sp.	+			+	+	
<b>甲藻门 Pyrrophyta</b>						
裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp.	+					
飞燕角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	+			+		
坎宁顿拟多甲藻 <i>Peridiniopsis cumingtonii</i>	+					
二角多甲藻 <i>Peridinium bipes</i>	+					
<b>金藻门 Chrysophyta</b>						
锥囊藻 <i>Dinobryon</i> sp.				+		
<b>裸藻门 Euglenophyta</b>						
裸藻 <i>Euglena</i> sp.				+		+
<b>隐藻门 Cryptophyta</b>						
隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.			+			

注：“+”表示有该种记录。

Note: “+” means that the species was recorded here.

硅藻门种类最多, 达 21 种, 占总种类数的 45%; 其次为绿藻门 14 种, 占 30%; 蓝藻门 5 种, 占 11%; 甲藻门 4 种, 占 9%; 金藻门、裸藻门、隐藻门均仅记录 1 种, 其种类组成比例如图 2 所示。

澜沧江源浮游植物多样性时空差异明显, 夏季 (34 种) 记录的浮游植物种类数要高于秋季 (28 种), 干流 (31 种) 记录的浮游植物种类低于支流 (37 种)。各季节干流和支流浮游植物组成如图 3 所示。

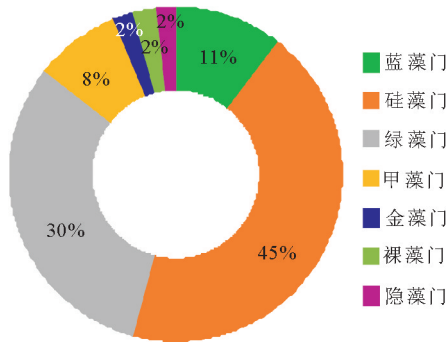


图 2 澜沧江源区浮游植物各门种类数比例

Fig.2 Species composition (%) for different phytoplankton phyla in the source region of Lancang River

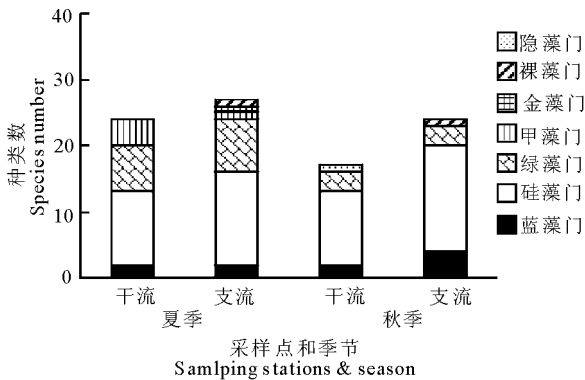


图 3 澜沧江源区浮游植物种类数比较

Fig.3 Comparison of species composition, by season, in the main stem and primary tributary in the source region of Lancang River

澜沧江源夏季浮游植物优势种为硅藻门的针杆藻、异极藻 (*Gomphonema* sp.)、桥弯藻 (*Cymbella* sp.)、等片藻 (*Diatom* sp.) 和曲壳藻 (*Achnanthes* sp.); 秋季优势种为蓝藻门的颤藻 (*Oscillatoria* sp.) 和硅藻门的针杆藻、舟行藻 (*Navicula* sp.)、桥弯

藻、等片藻和曲壳藻 (*Achnanthes* sp.)。硅藻门的针杆藻为夏季和秋季的绝对优势种, 优势度依次为 0.45 和 0.43; 其次为夏季的曲壳藻、秋季的等片藻、桥弯藻, 优势度在 0.1~0.3。

## 2.2 浮游植物密度

调查结果显示, 澜沧江源区浮游植物密度为  $5.4 \times 10^4 \sim 230 \times 10^4$  个/L, 平均密度为  $79 \times 10^4$  个/L, 硅藻贡献最大。澜沧江源区浮游植物密度时空差异显著, 其中夏季平均密度为  $19 \times 10^4$  个/L, 秋季平均密度为  $140 \times 10^4$  个/L, 秋季明显高于夏季; 干流密度整体偏低, 两季度均低于支流, 具体组成如图 4 所示。

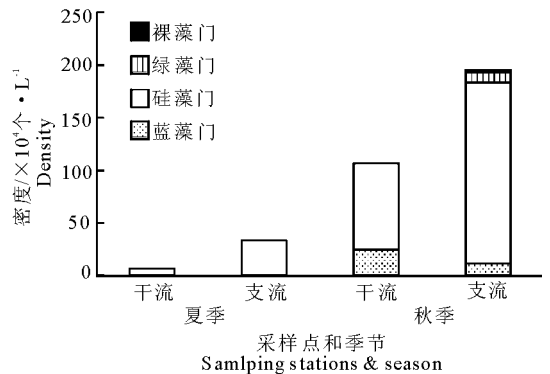


图 4 澜沧江源区浮游植物密度比较

Fig.4 Comparison of phytoplankton density composition, by season, in the main stem and primary tributary in the source region of Lancang River

## 2.3 浮游植物对水质的指示作用

基于浮游植物密度、Shannon-Wiener 多样性指数以及 Pielou 均匀度指数对澜沧江源区的水质进行评价, 结果显示, 该地区水质状况整体较为优良 (表 3); 其中, 夏季藻类密度为  $5.4 \times 10^4 \sim 41.0 \times 10^4$  个/L, 参照评价标准, 水质处于极贫营养状态; 秋季藻类密度为  $29 \times 10^4 \sim 230 \times 10^4$  个/L, 参照评价标准, 水质处于极贫营养至中营养状态。夏季 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H$ ) 为 2.32, Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 为 0.73, 参照评价标准, 水质处于轻污染到无污染状态; 秋季 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H$ ) 为 2.72, Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 为 0.70, 参照评价标准, 水质处于寡污染到无污染状态。

表 3 澜沧江源区浮游植物水质评价

Tab.3 Water quality assessment based on phytoplankton community characteristics in the source region of Lancang River

季节	密度/ $\times 10^4$ 个 $\cdot$ L $^{-1}$	水质评价	$H$ 值	水体状态	$J$ 值	水体状态
夏季	5.4~41.0	极贫营养	2.32	$\beta$ -中污带	0.73	轻污染
秋季	29~230	极贫-中营养	2.72	寡污带	0.70	轻污染

### 3 讨论

#### 3.1 澜沧江干流的藻类多样性和密度低于支流

澜沧江源地处青藏高原腹地,受人类活动干扰较小,则其所处的生境状况决定着生物群落结构(洪松和陈静生,2002;潘保柱等,2012)。澜沧江源区浮游植物群落整体发展趋势较好,呈现以河流性硅藻为主、优势种相对较丰富、耐污种较少、密度偏低等群落结构特征,这主要是受高原气候、水体营养以及河流本身条件的影响(洪松和陈静生,2002;Allan & Castillo, 2007)。澜沧江源区干流水体流速较急,泥沙含量较多,透明度低,不适宜藻类生长;而支流则水流较缓,底质以砂石为主,透明度高,这为藻类生长提供了适宜的条件,因而干流藻类多样性和密度均低于支流。

#### 3.2 澜沧江流域的水生态基本保持稳定

陈燕琴等(2012)于2011年夏季和秋季在囊谦段记录藻类4门、57种,其中硅藻门33种,绿藻门13种,密度为 $13 \times 10^4 \sim 380 \times 10^4$ 个/L,平均密度为 $99 \times 10^4$ 个/L;分析比较显示,藻类多样性和密度均高于本次调查结果,这在一定程度上反映了澜沧江流域水体状况总体较为稳定,没有出现藻类异常增殖现象。

基于对澜沧江干流(中国境内)浮游植物的调查与历史资料的收集(雷欢等,2014),将澜沧江上游、中游及下游夏季藻类进行了对比。分析结果显示,澜沧江夏季上游、中游及下游藻类均以河流性硅藻为主,其次为绿藻和蓝藻,种类组成较为相似,密度整体偏低,这符合自然河流的藻类群落结构特征(洪松和陈静生,2002)。澜沧江水系平均海拔高,气候寒冷,水源为冰山融雪,水温低,底质以砂砾石为主,适合喜低温的硅藻生长(陈燕琴等,2012)。澜沧江中、下游的小湾、漫湾等受建坝影响,人为干扰较大,江段环境发生明显变化,水体流速变缓,泥沙沉积,营养盐累积增多,藻类多样性和密度均有一定程度增加(雷欢等,2014)。

基于藻类密度、Shannon-Wiener多样性指数以及Pielou均匀度指数评价均显示,水体状况整体优良,局部呈现轻度污染,可能与该地区过度放牧、水土流失等因素有关。未来需关注澜沧江源区放牧业、旅游业等对水生态环境的影响,扩大监测断面,增加水生生物监测类群,以期为源区水生态保护与管理提供更可靠的理论依据和数据支撑。

#### 参考文献

- 陈燕琴, 申志新, 刘玉婷, 等, 2012. 澜沧江囊谦段夏秋季浮游植物群落结构初步研究[J]. 水生态学杂志, 33(3):60-67.
- 苟新京, 陈孝全, 2002. 三江源自然保护区生态环境[M]. 西宁:青海人民出版社.
- 洪松, 陈静生, 2002. 中国河流水生生物群落结构特征探讨[J]. 水生生物学报, (3):295-305.
- 胡鸿钧, 魏印心, 2006. 中国淡水藻类:系统、生态及分类[M]. 北京:科学出版社.
- 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等, 2005. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, (2):87-91.
- 雷欢, 愁雪莹, 谢文星, 等, 2014. 澜沧江干流(中国境内)2011年夏季浮游植物群落结构特征[J]. 水生态学杂志, 35(6):67-74.
- 黎尚豪, 毕列爵, 1998. 中国淡水藻志:绿藻门[M]. 北京:科学出版社.
- 李铁冰, 易华, 杨改河, 等 2007. 江河源区生物多样性问题研究[J]. 中国生态农业学报, 15(2):193-196.
- 潘保柱, 王兆印, 余国安, 2012. 长江源和黄河源的大型底栖动物群落特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 21(3):369-374.
- 隋战鹰, 2002. 浮游藻类与水质污染监测[J]. 生物学通报, (8):49.
- 唐文家, 崔玉香, 赵霞, 2012. 青海省澜沧江水系水生生物资源的初步调查[J]. 水生态学杂志, 33(6):20-28.
- 王骥, 王建, 1982. 浮游植物的采集、计数与定量方法[J]. 水库渔业, (4):58-63.
- 王勇, 王海军, 赵伟华, 等, 2010. 黄河干流浮游植物群落特征及其对水质的指示作用[J]. 湖泊科学, 22(5):700-707.
- 殷大聪, 许继军, 金燕, 等, 2017. 长江源与澜沧江源区浮游植物组成与分布特性研究[J]. 长江科学院院报, 34(1):61-66.
- 张修玉, 许振成, 黄生志, 等, 2012. 澜沧江下游水生生态环境特征分析[C]. //中国环境科学学会学术年会论文集(第2卷). 北京:中国环境科学学会.
- 朱惠忠, 陈嘉佑. 2000. 中国西藏硅藻[M]. 北京:科学出版社.
- Allan J D, Castillo M M, 2007. Stream Ecology: Structure and function of running waters[M]. Springer Netherlands.
- Mcnaughton S J, 1967. Relationships among Functional Properties of Californian Grassland[J]. Nature, 216:168-169.

## Phytoplankton Structure and Water Quality Assessment in the Source Region of Lancang River

ZHU Hai-tao<sup>1</sup>, ZHAN Ruo-yun<sup>2</sup>, PENG Yu<sup>3</sup>, CHAI Yuan-bing<sup>1</sup>, LU Dan<sup>1</sup>,  
MIN Min<sup>1</sup>, JIA Jie<sup>1</sup>, ZHOU Ming-chun<sup>3</sup>, WANG Ying-cai<sup>3</sup>

1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, P.R.China;
2. Water Sources Company of South-to-North Water Diversion, Danjiangkou 442700, P.R.China;
3. Water Environment Monitoring Center of Yangtze River Basin, Wuhan 430010, P.R.China)

**Abstract:** The source region of Lancang River, on the Tibetan Plateau of Qinghai province, is part of the famous Sanjiangyuan. While the region is an important water resource and ecological reserve for China, its ecology is fragile due to the severe climate and geography. Monitoring water quality and ecology in this sensitive area is necessary for effective management. We investigated the phytoplankton assemblage in the Lancang River source region and compared the main stem community with a tributary community. Water quality was then assessed based on three phytoplankton community parameters obtained from the investigation: cell density, Shannon-Wiener biodiversity index and Pielou evenness index. The aim of the study was to assess the hydroecology and explore trends in the source region of Lancang River and provide a reference for conserving and managing the ecology of the Sanjiangyuan region. In July (summer) and October (autumn) of 2016, quantitative and qualitative sampling of phytoplankton were carried out at 6 sites: three main stem sites in the Nangqian area (Duochang, Zhaqu bridge and Xiangda) and three tributary sites in the Ziqu area (Xialaxiu, Gama and Yejinima). The sampling sites were existing water quality monitoring sites that had been used for many years. Water environmental parameters measured at each sampling site included water temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity and transparency. A total of 47 phytoplankton species from 7 phyla were identified, dominated by Bacillariophyta (21 species) and Chlorophyta (14 species), accounting for 45% and 30% of the total species. The dominant species were mostly diatoms, and *Synedra* sp. was the absolute dominant species in both summer and autumn. Spatiotemporal differences in species richness were obvious; phytoplankton species diversity was higher in summer than in autumn and higher in the tributary than in the main stem. The range of phytoplankton density in the study area was  $5.4 \times 10^4 - 230 \times 10^4$  cells/L and averaged  $79 \times 10^4$  cells/L. Phytoplankton density was higher in autumn than in summer and higher in tributaries than in the main stem. The Shannon-Wiener biodiversity index (summer 2.32, autumn 2.72) and Pielou evenness index (summer 0.73, autumn 0.70) of the phytoplankton community in the source region of Lancang River indicates extremely oligotrophic to mesotrophic conditions with little or no pollution and generally good water quality.

**Key words:** source region of the Lancang River; phytoplankton; cell density; species diversity; water quality assessment