DOI:10.15928/j.1674-3075.2019.01.008

安谷水电站施工期浮游植物群落特征

王文君[1],方艳红[1],李洪军[2],袁劲松[2]

(1.水利部中国科学院水工程生态研究所,水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,湖北 武汉 430079;
2.中国水电建设集团圣达水电有限公司,四川 乐山 614013)

摘要:为了探究水电站施工建设对浮游植物群落结构的影响,于2014年5月和10月对安谷水电站工程所在的大渡河河口进行了浮游植物采样调查,并与工程建设前进行了对比分析。结果表明,调查期间共采集到浮游植物7门、48属、115种,主要由硅藻(占总种数65.21%)、绿藻(20.00%)、蓝藻(9.57%)、裸藻(2.61%)组成;优势种有美丽星杆藻(*Asterionella formosa*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、双头针杆藻(*Synedra amphicephala*)、细小桥弯藻(*Cymbella pusilla*)、尖头舟形藻(*Navicula cuspidada*)、变异直链藻(*Melosirs varians*)等17种。8个采样点浮游植物密度和生物量有明显的季节变化,且变化趋势相同,即春季高于秋季。浮游植物现存量的水平分布以安谷库尾断面最高,平均密度为123.70×10^4个/L,平均生物量为1.1658 mg/L;安谷库区断面最低,平均密度为69.42×10^4个/L,平均生物量为0.4457 mg/L。研究显示,安谷水电站施工期浮游植物种类、优势种、密度、生物量组成及其季节分布趋势与施工前无明显差异,但这些指标的空间分布与施工前存在一定差异。主要是工程施工造成了河道地形结构的改变,特别是直接受影响的库区、坝下水体中,浮游植物的密度、生物量、多样性指数变化明显。

关键词:安谷水电站;施工期;浮游植物;群落结构

中图分类号:Q145 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2019)01-0048-07

大渡河发源于青海省境内的果洛山南麓,于乐山市左纳峨眉河、青衣江等支流后注入岷江,是长江上游岷江水系最大支流;干流全长1 062 km,天然落差4 175 m,四川省境内河长852 km,天然落差2 788 m。干流四川境内水能资源理论蕴藏量2 083万kW,是国家规划的十二大水电基地之一。安谷水电站是大渡河干流梯级开发中的最后一级,于2012年3月正式开工建设。枢纽上游距沙湾水电站35 km,下游距乐山市区15 km;属大(二)型水电站,主要功能为发电、防洪、航运、灌溉和供水;正常蓄水位398 m,总利用落差36 m,总装机容量为772 MW,多年平均年发电量32.93亿kW·h,为日调节运行水库。

水利水电工程在创造巨大经济效益和社会效益的同时,对水生态环境也会造成一定的负面影响;电站施工期对水生态环境的影响机理十分复杂,特别是像安谷水电站这种大型水电工程的建设,还有具有施工期长、工程量大、作业机械多、施工人员杂、影响源集中等特点。通过对安谷水电站施工期浮游植物群落结构的调查研究及演变趋势分析,可准确反映施工期水环境状态,积极应对施工带来的不利影响,避免对水生生物造成不可逆的伤害。本文于2014年对安谷水电站工程施工水域浮游植物的种类、密度、生物量等指标进行了全面调查,分析其群落结构特征及其时空分布特点,研究浮游植物的演变趋势,为安谷水电站建设过程的生态保护与管理提供数据支撑,同时为类似研究积累基础资料。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

大渡河河口沙湾区至乐山市原为网状开放型自然河道,安谷水电站坝址设置于该网状河道的中游。从安谷水电站施工期调查水域水流以及工程建设布置等方面考虑,浮游植物样点的设置既涉及了原河网结构直接受工程建设影响的电站库区和坝下段,又有仍保持了相对自然生态环境的左侧河网段,还包括了单一河道与网状河道间的过渡段,同时考虑了样点位置的可达性。在大渡河干流的安谷电站库尾(S_1)、库区(S_2)、坝下(S_3)、大渡河河口(S_4),左侧河网的许坝(S_5)、黄荆坝(S_6)、周陆坝(S_7)以及大渡

收稿日期:2016-11-13 **修回日期**:2018-10-15

基金项目:中国水利水电建设集团公司科研项目(AG2012/S-46-D);中国水利水电建设集团公司监测项目(AG2014/S-83);水利部公益性行业科研专项项目(201501002)。

作者简介:王文君,1980年生,女,高级工程师,主要从事水生态保护与修复工作。E-mail:wangwj@mail.ihe.ac.cn

河汇入后的岷江（S_8）设置采样点。采样时间为 2014 年 5 月（春季）和 10 月（秋季）对安谷水电站工程所在的大渡河河口进行采样。

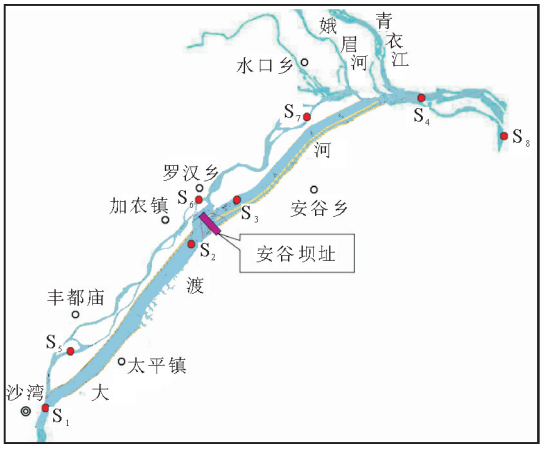

图 1　大渡河河口采样点布置

Fig.1　Location of sampling sites in Dadu River

1.2　浮游植物采集与检测

采集 0.5 m 处的表层水，收集浮游植物定性样品 50 mL，用鲁哥氏液固定，浓度为 15%。采集定量样品 2 000 mL，加入 30 mL 鲁哥氏液固定。浮游植物种类的鉴定主要参考《中国淡水藻类》（胡鸿钧等，1980）和《淡水浮游生物图谱》（韩茂森，1980）。定量样品的数量统计及指标计算主要参考《淡水浮游生物研究方法》（章宗涉和黄祥飞，1991）和《内陆水域渔业自然资源调查手册》（张觉民和何志辉，1991）。

浮游植物密度和生物量计算：将采集到的经过固定和浓缩的 30 mL 定量样品摇匀后，迅速吸取 0.1 mL样品置于 0.1 mL 计数框内，在 10×40 倍的光学显微镜下，按视野法进行浮游植物定量计数，每片观察 100 个视野，每瓶样品计数 2 片，取其平均值，每次计数结果与平均值之差应在 15%以内，否则增加计数。根据浮游植物细胞体积的大小换算其生物量（Hillebrand et al，1999；孙军等，1999）。

1.3　数据处理

优势度指数（Y）：

$$Y = N_i / N \times f_i$$

Shannon-Wiener 多样性指数（H'）：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} (n_i / N) \cdot \log_2 (n_i / N)$$

式中：N_i 为样品中第 i 种的个数；N 为样品中全部浮游植物的总个数；f_i 为第 i 种在各样品中出现的频率；S 为样品中游植物总种数。

2　结果与分析

2.1　浮游植物种类组成

通过 2014 年春秋两季的采样调查，共检出浮游植物 7 门、48 属、115 种（表 1）。其中硅藻的种数最多，75 种，占总种数的 65.21%；其次是绿藻，23 种，占 20.00%；蓝藻居第 3 位，共 11 种，占 9.57%；裸藻，3 种，占 2.61%；红藻、甲藻、金藻各 1 种，分别占总种数的 0.87%。

表 1　大渡河河口浮游植物种类组成

Tab.1　Species composition of phytoplankton in Dadu River cove

浮游植物	春季		秋季		合计	
	属	种	属	种	属	种
硅藻门	21	65	19	65	21	75
绿藻门	12	17	11	20	13	23
蓝藻门	7	9	7	9	9	11
裸藻门	2	3	1	1	2	3
红藻门	1	1	1	1	1	1
甲藻门	1	1	1	1	1	1
金藻门	0	0	1	1	1	1
共计	44	96	41	98	48	115

2.2　浮游植物种类的季节变化

春秋两季浮游植物种类组成变化不大（表 1）。其中，春季共检出浮游植物 6 门、44 属、96 种，以硅藻最多，65 种，占总种数的 67.71%；其次是绿藻，17 种，占 17.71%；蓝藻居第 3 位，有 9 种，占 9.38%；裸藻 3 种，占 3.13%；红藻和甲藻各 1 种，未见金藻。秋季共检出浮游植物 7 门、41 属、98 种，同样以硅藻、绿藻、蓝藻 3 门种类数较多，其中硅藻最多，65 种，占总种数的 66.33%；其次是绿藻，20 种，占 20.41%；蓝藻居第 3 位，有 9 种，占 9.18%；裸藻、红藻、甲藻和金藻各 1 种。不论是春季还是秋季，浮游植物的种类组成均以硅藻为主且占绝对优势，其次是绿藻和蓝藻较多，其它门类的藻类极少，仅 1～3 种。

浮游植物种类数在各样点多呈现出春季高于秋季的分布规律见图 2。可以看出，研究河段内的中上游河段，包括左侧河网的许坝和黄荆坝样点以及干流的安谷库尾、库区、坝下样点，其浮游植物种类数的季节分布规律一致，春季高于秋季；而下游河段，包括左侧河网的周陆坝、干流的大渡河河口以及岷江的大渡河汇口下样点，其浮游植物种类数的季节分布规律一致，秋季高于春季，但差异不大，以上样点秋季比春季仅多 1～2 种。

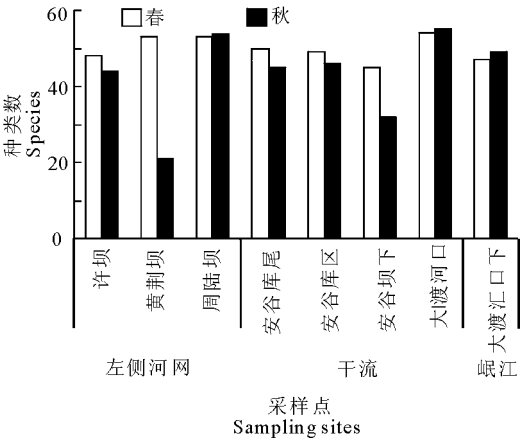

图2 大渡河河口浮游植物种类数的季节分布

Fig.2 Seasonal variation of phytoplankton species number at each sampling site in Dadu River cove

2.3 浮游植物种类组成与水平分布

干流共检出浮游植物102种(图3)。其中安谷坝下样点浮游植物种类数最低,为57种;其次是安谷库尾和库区样点浮游植物均为71种;大渡河河口样点浮游植物种类数最高,为79种。干流各样点浮游植物种类组成均以硅藻为主,占比为67.61%~74.68%,其次是绿藻和蓝藻,合计占比22.78%~28.17%。其中大渡河河口硅藻所占比最高,安谷库尾硅藻所占比例最低;安谷库尾绿藻和蓝藻合计占比最高,大渡河河口绿藻和蓝藻合计占比最低。

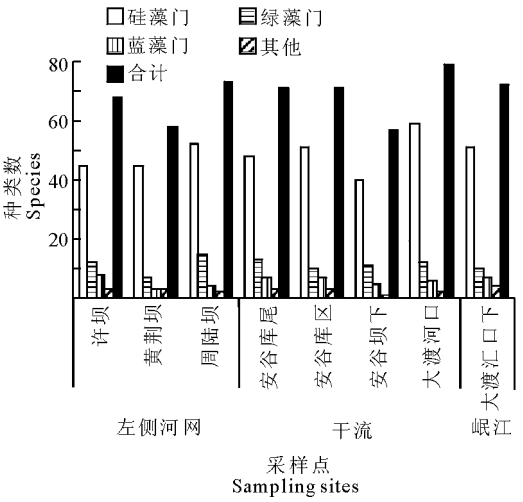

图3 大渡河河口浮游植物种类组成水平分布

Fig.3 Horizontal variation of phytoplankton species composition in Dadu River cove

左侧河网共检出浮游植物97种。其中左侧河网中游的黄荆坝样点浮游植物种类数最低,为58种;其次是左侧河网上游的许坝样点浮游植物为68种;左侧河网下游的周陆坝样点浮游植物种类数最高,为73种。左侧河网各样点浮游植物种类组成均以硅藻为主,占比66.18%~77.59%;其次是绿藻和蓝藻,合计占比17.24%~29.41%;其中左侧河网中游黄荆坝硅藻占比最高,上游许坝硅藻占比最低;上游许坝绿藻和蓝藻合计占比最高,左侧河网中游黄荆坝绿藻和蓝藻占比最低。大渡河汇入的岷江样点共检出浮游植物72种,硅藻最多,占比70.83%;其次是绿藻和蓝藻,分别为13.89%和9.72%。

总体上看,干流检出浮游植物种类数最高,岷江大渡河汇口下最低。其中,干流和左侧河网水域均以下游河段,包括左侧河网的周陆坝和干流的大渡河河口样点浮游植物种类数最高;中游河段,包括左侧河网的黄荆坝和干流的安谷坝下样点最低。调查水域各样点浮游植物种类组成差异不大。

2.4 浮游植物优势种

以优势度指数 $Y>0.02$ 定位优势种(徐兆礼和陈亚瞿,1989)。大渡河河口春秋两次采样共发现优势种3门、17种,分别为硅藻门的美丽星杆藻(*Asterionella formosa*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、双头针杆藻(*Synedra amphicephala*)、细小桥弯藻(*Cymbella pusilla*)、尖头舟形藻(*Navicula cuspidada*)、变异直链藻(*Melosirs varians*)、双头舟形藻(*Navicula dicephala*)、大羽纹藻(*Pinnularia maior*)、矮小辐节藻(*Stauroneis pygmaea*)、扁圆舟形藻(*Navicula placentula*)、双头辐节藻(*Stauroneis anceps*)、偏凸针杆藻(*Synedra vaucheriae*)、平板藻(*Tabellaria* sp.)、细条羽纹藻(*Pinnularia microstauron*)、广缘小环藻(*Cyclotella bodanica*),绿藻门的细丝藻(*Ulothrix tenerrima*)和裸藻门的尖尾裸藻(*Euglena oxyuris*)。

从季节分布上看,大渡河河口春季采样发现优势种12种,均为硅藻;秋季共发现优势种37种,包括硅藻33种、绿藻3种、蓝藻1种。可见秋季优势种的种类数明显高于春季。

2.5 浮游植物现存量

2.5.1 密度和生物量 2014年两次采样,大渡河河口浮游植物密度平均为924 690个/L。硅藻密度最高,占总密度的97.39%。各样点浮游植物生物量平均为0.7726 mg/L,仍以硅藻生物量为最高,占总生物量的88.68%。

2.5.2 季节变化 大渡河河口两次调查浮游植物现存量差异明显(表2)。春季浮游植物密度明显高于秋季,达到了秋季的6.74倍;其中,春季浮游植物密度组成中,硅藻占绝对优势,占总密度的98.69%;秋季浮游植物密度组成同样以硅藻为主,占比

88.58%；其次是绿藻，春季绿藻密度占总密度的 0.73%，秋季则占 6.04%。硅藻密度所占比例春季高于秋季，但绿藻密度占比秋季较春季明显增加。

表 2　大渡河河口浮游植物密度与生物量

Tab.2　Phytoplankton density and biomass in Dadu River cove

浮游植物	春季		秋季		平均	
	密度/个·L⁻¹	生物量/mg·L⁻¹	密度/个·L⁻¹	生物量/mg·L⁻¹	密度/个·L⁻¹	生物量/mg·L⁻¹
硅藻门	1589250	1.0894	211770	0.2809	900510	0.6851
蓝藻门	4680	0.0785	8970	0.0641	6825	0.0713
绿藻门	11700	0.0077	14430	0.0041	13065	0.0059
裸藻门	4680	0.0117	3510	0.0088	4095	0.0102
金藻门	0	0	390	0.0002	195	0.0001
合计	1610310	1.1873	239070	0.3580	924690	0.7726

春季浮游植物生物量也明显高于秋季，为秋季的 3.32 倍；其中，春季和秋季浮游植物生物量组成均以硅藻为主，占总生物量的 91.76%和 78.46%；其次是蓝藻，春季蓝藻生物量占总生物量的 6.61%，秋季占 17.91%。春季硅藻生物量所占比例明显高于秋季，但蓝藻生物量所占比例则秋季明显升高。

2.5.3　水平分布　从水平分布上来看，左侧河网两次调查检出浮游植物密度平均为 95.57×10^4 个/L，左侧河网从上游至下游浮游植物密度逐渐升高（图 4-a），其中左侧生态河道上游段最低，为 93.29×10^4 个/L；左侧生态河道下游段最高，为 99.68×10^4 个/L。干流两次调查检出浮游植物密度平均为 96.25×10^4 个/L，其中干流主河道库区浮游植物密度最低，为 69.42×10^4 个/L；电站库尾浮游植物密度最高，为 123.70×10^4 个/L。岷江样点浮游植物密度在调查水域最低，为 68.02×10^4 个/L。

左侧河网两次调查检出浮游植物生物量平均为 0.8010 mg/L，左侧生态河道从上游至下游浮游植物生物量也呈逐渐升高的趋势（图4-b），其中左侧生态河道上游段最低，为 0.5287 mg/L；左侧生态河道下游段最高，为 1.0270 mg/L。干流两次调查检出浮游植物生物量平均为 0.7788 mg/L，干流主河道库区浮游植物生物量最低，为 0.4457 mg/L；电站库尾浮游植物生物量最高，为 1.1658 mg/L。岷江样点浮游植物生物量较低，为 0.6627 mg/L。

总体上看，左侧河网浮游植物现存量的分布呈从上游至下游逐渐升高的趋势。干流安谷库尾至河口段浮游植物现存量分布波动明显，安谷库尾和安谷坝下样点浮游植物现存量较高，而安谷库区和大渡河河口样点则较低。岷江的大渡河河口样点浮游植物现存量在整个研究河段相对较低。

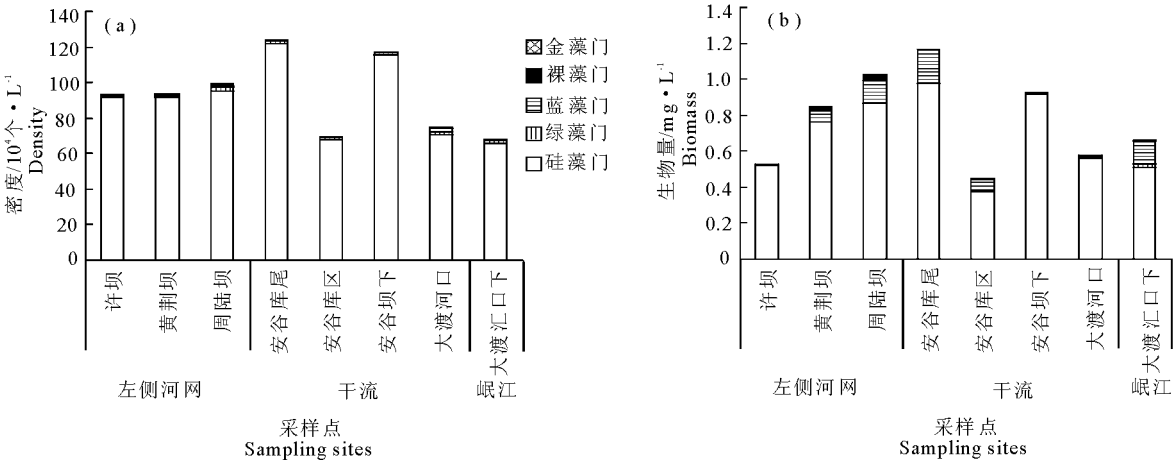

图 4　大渡河河口浮游植物密度(a)和生物量(b)的水平分布

Fig.4　Horizontal variation of phytoplankton density (a) and biomass (b) in Dadu River cove

2.6　浮游植物多样性

2014 年大渡河河口浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数计算结果见表 3。左侧河网多样性指数为 1.7158～2.9048，年均为 2.4288；干流多样性指数为 2.3232～3.0731，年均为 2.5692；岷江大渡河汇口下多样性指数年均为 3.0818。

浮游植物多样性的水平分布，左侧河网以中游的黄荆坝多样性指数最低，上游的许坝和下游的周陆坝多样性指数较高且差值不大；干流安谷坝下多样性指数最高，其它样点多样性较低且差值不大。

浮游植物多样性指数存着明显的季节差异，秋季指数高于春季；其中，左侧河网中游的黄荆坝多样性指数秋季仅稍高于春季，为春季的 1.23 倍，而上游的许坝和下游的周陆坝多样性指数秋季明显高于春季，达到了春季的 3.10～3.17 倍。干流的安谷库区多样性指数秋季明显高于春季，为春季的

6.84倍，而干流的其它样点多样性指数秋季为春季的1.68～2.46倍。岷江大渡河汇口下多样性指数秋季为春季的2.58倍。

表3 大渡河河口浮游植物多样性指数

Tab.3 Shannon-Wiener diversity indices of the phytoplankton community at each sampling site in Dadu River cove

采样点		春季	秋季	平均
左侧河网	许坝	1.2780	4.0537	2.6659
	黄荆坝	1.5396	1.8920	1.7158
	周陆坝	1.4169	4.3927	2.9048
干流	安谷库尾	1.7846	2.9988	2.3917
	安谷库区	0.5926	4.0537	2.3232
	安谷坝下	2.0819	4.0643	3.0731
	大渡河河口	1.4387	3.5392	2.4890
岷江	大渡河汇口下	1.7193	4.4442	3.0818

3 讨论

3.1 浮游植物种类组成的时空分布及施工影响

通常情况下，河流、湖泊、水库水体中的浮游植物种类组成结构有一定的差异，这与浮游植物所在水域的水体混合程度有密切关系。稳定的湖泊、水库等水域中蓝藻、绿藻容易形成竞争优势，而硅藻由于较高的沉降损失并不占优势；河流等混合度较高的不稳定水体中硅藻所占比例会增加（An & Jones，2000）。本次调查各样点采集到的浮游植物种类组成均以硅藻为主，占比均超过60%，与现场观测到河流流态的水环境高度吻合。其中，施工期的安谷水电站库尾、库区以及坝下水域，由于电站还未蓄水发电，以上水域仍保持一定流速（0.4 cm/s），其浮游植物种类组成与调查范围内的其他样点相似，差异不大。不同季节的调查则未见明显差异，不论是浮游植物种类数还是组成均比较接近。

调查到的优势种以硅藻占绝对优势，且多为一般水体中的常见种，对变化的环境适应性较强。两次调查综合统计到优势种的种类数达到了总种类数的14.78%，未发现较为单一的优势种；其中春季优势种占春季调查到总种类数的12.50%，而秋季优势种更是高达总种类数的37.76%。

安谷电站工程施工对大渡河河口水生态系统造成最严重的影响来自于水环境污染，其主要影响源是施工开挖、填筑围堰、冲洗骨料、灌浆等产生的生产废水以及施工人员日常生活产生的生活污水（周宗敏和李小波，2011）。生产废水和生活污水中大量的固体颗粒进入水体，使水体透明度降低。研究表明，水体中悬浮物浓度过大，将导致水生生物停止生长甚至死亡，当水体中固体悬浮物浓度超过200 mg/L就会造成鱼类死亡（常理等，2007）。

2011年安谷水电站未施工建设前，曾在沙湾区至乐山市的网状大渡河河口段进行了浮游植物采样调查，其调查范围与本项目一致（王文君等，2012）。对比发现，本项目调查到的浮游植物种类（115种）比施工前2011年调查到的浮游植物种类（157种）明显减少，其主要原因是由于施工期产生的生产废水和生活污水造成水体透明度降低，抑制了浮游植物的生长，但施工期与施工前（2011年）浮游植物种类组成、季节分布、优势种组成及其季节分布特征等均极为相似，说明工程施工对浮游植物种类及组成的影响并不明显。

3.2 浮游植物密度和生物量的时空分布规律

调查水域浮游植物密度和生物量在季节和水平分布上的变化上几乎保持一致。首先，浮游植物的密度和生物量春季高于秋季，且硅藻所占比例春季较高，蓝藻和绿藻所占比例则秋季较高。浮游植物的生长和分布通常会受光照、营养盐、水文情势、温度、动物摄食等多重环境因子的影响（Montecino et al，1982；Ascioti et al，1993）。调查水域春季水体清澈透明度高（平均82 cm），适宜的环境因子促进了浮游植物的生长和繁殖；至秋季，由于刚经过汛期，河道水体流量较大，且浑浊含沙量高，透明度低（平均48 cm），这些变化影响了浮游植物的生长，使浮游植物密度和生物量呈现春季高于秋季的分布规律。相对来说，硅藻与水体流速和透明度的关系更紧密（林秋奇等，2003），而蓝藻和绿藻则对水温的反应更强烈（Reynolds et al，1984；赵孟绪等，2005；张婷等，2009）。因此，调查水域浮游植物密度和生物量，春季硅藻占绝对优势，而秋季水温（平均18.03℃）相比春季（平均15.99℃）高，蓝藻和绿藻占比明显升高。施工期浮游植物密度和生物量种类组成的季节变化趋势与施工前无明显差异。

左侧河网、干流和大渡河汇入后的岷江水域浮游植物密度和生物量差异不大，但安谷水电站建设施工区所在的干流水域，浮游植物密度和生物量水平分布的波动较大。安谷库尾密度和生物量在干流水域最高，而安谷库区最低。分析其原因，安谷库尾河段紧邻乐山市沙湾镇，周边城镇人口密集，工矿产业发达，使得河流外来营养源丰富，因此该样点浮游植物密度和生物量较高；另外，采样时安谷水库正在形成中，原有的狭窄河道演变为宽阔的库区，河道水量剧增，水体浮游植物被“稀释”，导致安谷库区浮游植物密度和生物量较低。

3.3　河道结构变化对浮游植物多样性指数的影响

生物群落在不稳定的环境条件下不容易形成单一优势种群，此时的生物多样性一般比较高（Connel，1978）。从本次调查的浮游植物多样性空间分布看，大渡河汇入后的岷江样点多样性指数最高，其次是库区来水下泄的安谷坝下样点和左侧河网将要汇入大渡河干流的周陆坝样点，以上样点多位于生境条件差异较大的河流汇合处，不稳定的生态环境形成了较高的生物多样性；同时，流量和水位变化波动作为引起水域环境扰动的重要因素，被认为与浮游植物多样性的季节性和短期性的变化关系密切（Cleber et al，2001）。因此，在降雨较丰沛的秋季，调查水域河道水位波动较大，采集到的浮游植物多样性指数要高于春季。

安谷水电站位于从山区向平原过渡的大渡河河口，在山区河流出口的冲积扇平原上。该河段承接着上游的来水来沙以及下游岷江和青衣江的顶托，形成了十分复杂的平面形态，水流散乱，心滩漫滩极为发育，洲岛遍布。本项目调查时间是安谷水电站正式开工建设的第 3 年，工程规模已基本形成，左侧为坝上库区和坝下渠化的泄洪渠与尾水渠，右侧原有河道进行疏浚与顺直化处理。原有的河网结构受到严重影响，工程建设影响的河心洲数量占调查河段河心洲总数的 59.5%，河心洲数量明显减少，河网密度降低，生境多样性显著降低。对比历史资料，工程施工期调查水域浮游植物多样性指数（施工期平均 2.5806，工程建设前平均 3.2362）降低。分析其原因，主要是由于工程的施工建设使原有复杂不稳定的网状河道变为了较单一且顺直渠化的库区与泄洪渠、尾水渠的结构，生态环境多样性降低，浮游植物多样性也随之降低。

综上所述，安谷电站施工期浮游植物种类数、现存量、多样性指数较工程建设前有所降低，但并未造成不可逆的影响，且其组成结构变化不明显，在安谷水电站工程施工期结束后，调查河段的浮游植物群落结构将逐渐得到恢复。

参考文献

常理，纵霄，张磊，2007.光照水电站水库水温分析预测及分层取水措施[J].水电站设计，23(3)：30－32，51.

韩茂森，1980.淡水浮游生物图谱[M].北京：中国农业出版社.

胡鸿钧，李尧英，魏印心，等，1980.中国淡水藻类[M].上海：上海科学技术出版社.

林秋奇，胡韧，韩博平，2003.溪流河水库水动力学对营养盐和浮游植物分布的影响[J].生态学报，23(11)：2278－2284.

孙军，刘东艳，钱树本，1999.浮游植物生物量研究：浮游植物生物量细胞体积转化法[J].海洋学报，(2)：75－85.

王文君，黄道明，方艳红，等，2012.2011 年春秋季大渡河河口浮游植物群落结构特征研究[J].水生态学杂志，33(6)：69－75.

徐兆礼，陈亚瞿，1989.东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐䲢渔场的关系[J].生态学杂志，8(4)：13－15.

张觉民，何志辉，1991.内陆水域渔业自然资源调查手册[M].北京：农业出版社.

张婷，李林，宋立荣，2009.熊河水库浮游植物群落结构的周年变化[J].生态学报，29(6)：2971－2979.

章宗涉，黄祥飞，1991.淡水浮游生物研究方法[M].北京：科学出版社.

赵孟绪，雷腊梅，韩博平，2005.亚热带水库浮游植物群落季节变化及其影响因素分析—以汤溪水库为例[J].热带亚热带植物学报，13(5)：386－392.

周宗敏，李晓波，2011.水利水电工程施工期水污染防治对策探讨[J].水资源保护，27(5)：123－126.

An K G，Jones J R，2000.Factor regulating bluegreen dominance in a reservoir directly influenced by the Asian monsoon[J].Hydrobiologia，432(1/3)：37－48.

Ascioti F A，Beltrami E，Carroll T O，et al，1993.Is there chaos in plankton dynamics[J].J Plankton Res，15(7)：613－617.

Cleber C F，Giani A，2001.Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir[J].Hydrobiologia，445：165－174.

Connel J，1978.Diversity in tropical rain forest and coral reefs[J].Science，199：1304－1310.

Hillebrand H，Durselen C D，Kirschtel D，et al，1999.Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae[J].J Phycol，35：403－424.

Montecino V，Cabrera S，1982.Phytoplankton activity and standing crop in all impoundment of central Chile[J].J Plankton Res，4(4)：943－950.

Jungo E，Visser P M，Stroom J，et al，2001.Artificial mixing to reduce growth of the blue-green alga Microcystis in Lake Nieuwe Meer，Amsterdam：an evaluation of 7 years of experience[J].Water Sci Techn：Water Supply，1(1)：17－23.

Reynolds C S，1984.The Ecology of Freshwater Phytoplankton[M].Cambridge：Cambridge University Press.

（责任编辑　万月华）

Phytoplankton Community Structure Upstream and Downstream of Angu Hydropower Station During Construction

WANG Wen-jun[1], FANG Yan-hong[1], LI Hong-jun[2], YUAN Jin-song[2]

(1.Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China;
2.China Hydropower Construction Group Shengda Hydropower Company, Leshan 614013, P.R.China)

Abstract: Angu Hydropower Station is the last of the cascaded power stations on Dadu River and construction began in March 2012. In this study, we analyzed the phytoplankton community structure in Dadu River cove during the construction of Angu Hydropower Station. Results were compared with those from a previous survey of the same area before the project, aiming to explore the effect of construction on phytoplankton community structure and provide data to support habitat protection and management during construction. The survey included phytoplankton species composition, density, biomass, spatial distribution and community diversity in May and October 2014 at sampling sites upstream and downstream of the dam. Samples were collected at eight sites: S1, reservoir backwater; S2, reservoir open area; S3, downstream of dam; S4, Dadu River cove; S5 - 7, river-left bank; S8, Minjiang River downstream of Dadu River confluence. A total of 115 phytoplankton species belonging to 48 genera and 7 phyla were recorded, dominated by Bacillariophyta (75 species, 65.21%), followed by Chlorophyta (23 species, 20.00%), Cyanophyta (11 species, 9.57%) and Euglenophyta (3 species, 2.61%). The dominant species were *Asterionella formosa*, *Melosira granulata*, *Synedra amphicephala*, *Cymbella pusilla*, *Navicula cuspidada* and *Melosirs varians*. Phytoplankton density and biomass at the eight sites varied markedly, but the seasonal dynamics were similar; the phytoplankton density and biomass in spring were higher than in autumn. The standing stock was highest in the backwater area of Angu Reservoir, with a mean density of 123.70×10^4 ind/L and mean biomass of 1.1658 mg/L, and lowest in the open area of Angu Reservoir with a mean density of 69.42×10^4 ind/L and mean biomass of 0.4457 mg/L. There was no significant difference in phytoplankton species composition, dominant species, density, biomass or seasonal distribution before and during construction. However, the spatial distribution of these indicators did display differences during construction, due primarily to changes in river channel structure, especially in the reservoir and downstream, where phytoplankton density, biomass and diversity changed markedly.

Key words: Angu Hydropower Station; construction phase; phytoplankton; community structure