柴河水库浮游生物群落结构的时空格局及其渔产力研究

郭 凯[1], 赵 文[1], 焉鸿启[1,2]

(1. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁省水生生物学重点实验室, 辽宁 大连 116023;
2. 辽宁省沈阳市水产科学研究所, 辽宁 沈阳 111000)

摘要: 2008年对柴河水库浮游生物群落结构的时空格局及其渔产力进行了研究, 包括浮游生物的种类组成、密度、生物量、优势种及其多样性等。结果表明, 柴河水库共检出浮游植物135种, 组成上以绿藻门和硅藻门为主; 浮游植物平均密度为 11.58×10^6 个/L, 平均生物量为6.25 mg/L, 以小球藻(*Chlorella* sp.)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)为优势种; 共检出浮游动物42种, 种类组成以轮虫和原生动物为主; 浮游动物平均密度为358个/L, 平均生物量为3.49 mg/L, 以针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、卜氏晶囊轮虫(*Asplanchna brightwelli*)为优势种。浮游植物和浮游动物Shannon-Wiener多样性指数年均为4.27和3.15, 浮游生物垂直分布没有明显的规律。

关键词: 柴河水库; 浮游生物; 群落结构; 时空格局

中图分类号: Q145 **文献标志码**: A **文章编号**: 1674-3075(2013)06-0022-05

柴河水库位于柴河下游铁岭市城东12 km处, 控制面积1 355 km^2, 平均水深10 m, 总库容6.36亿 m^3, 是一座以防洪、城市供水为主, 兼顾农业灌溉、发电、养鱼等综合利用多年调节的大型水利枢纽工程(姜志文和刘树春, 2010)。流域内冬季寒冷干旱, 夏季温热多雨, 雨热同季, 日照丰富, 干湿季节分明; 多年平均气温8.1~9.3℃, 多年平均降雨量为737 mm。流域内多低山丘陵, 属长白山余脉, 以松、柞、桦、杨等天然次生林为主(姜志文等, 2011)。然而, 随着社会经济的发展, 水库周边植被遭到砍伐, 水土流失严重, 生态环境被破坏, 水库受到生活污水、工业废水及农药的严重污染, 柴河水库水质发生了明显变化。

目前已有对柴河水库研究的相关报道多数仅限于水质方面(元红, 2003; 2008; 张茹等, 2009; 杨金尉等, 2010; 吕兴娜和尚佰晓, 2011); 有关水库浮游生物的研究较少(董双林等, 1989)。为了全面了解柴河水库的水域生态系统特征, 合理开发利用自然资源, 并通过有效的方法和手段改善水库的水质状况, 减轻水体富营养化。本文对该水库生态系统的浮游生物群落进行了调查, 旨在为保护水库生态环境提供基础资料。

收稿日期: 2013-04-28

基金项目: 辽宁省自然科学基金(20072140)。

通讯作者: 赵文。E-mail: zhaowen@dlou.edu.cn

作者简介: 郭凯, 1981年生, 男, 博士研究生在读, 研究方向为养殖水域生态学。E-mail: guokaidl@163.com

1 材料与方法

1.1 采样点设置

于2008年的春季(5月)、夏季(7月)、秋季(10月)对柴河水库进行设点采样, 全库共设4个采样站位, 其中上游和下游各设1个采样点, 中游设2个采样点, 上游和中游采集混合样品, 下游采集表、底分层样品。具体设置如图1所示。

图1 柴河水库采样点

Tab. 1 Sampling position in Chaihe Reservoir

1.2 浮游生物测定

浮游植物、原生动物及轮虫定量样品用水生-80型采水器采集1 L, 加入15 mL鲁哥氏液摇匀, 放置在实验室内静置24 h以上, 然后浓缩定量至50 mL, 加5%甲醛固定。测定时充分摇匀, 用定量吸管吸取0.1 mL至浮游植物计数框内, 在Olympus-CX21FS1型显微镜10×40倍下全片计数100个视野; 原生动物定量用吸管0.1 mL注入计数框内, 在10×20倍镜下计数; 轮虫定量用1 mL吸管在10×10倍显微镜下计数; 浮游甲壳类(枝角类、桡足类)

用水生-80 型采水器采水 50 L,用 25 号浮游生物网(300 目)过滤,浓缩液用 5% 甲醛固定,测定时吸取 1 mL 在 10×10 倍显微镜下全片计数。浮游生物的种类鉴定及现存量计算参照有关文献(金相灿等,1990;董双林和赵文,2004;赵文,2005;胡鸿钧和魏印心,2006)进行。

1.3　数据处理

用 Excel 2000 软件对数据进行统计分析。浮游生物多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数(赵文,2005)。

(1)Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = -\sum_{i=1}^{s}(P_i \log_2 P_i)$$

式中:H'为多样性指数;P_i 为浮游植物总种数种第 i 种的个体数与该群落观察到的总个体数 N 的比值。

(2)均匀度指数(J):

$$J = H'/\log_2 S$$

式中:H'为多样性指数;S 为总种数。

2　结果与分析

2.1　种类组成与分布

柴河水库共检出浮游植物 65 属、135 种(仅鉴定到属的按 1 个种计算,后同);其中,绿藻门 58 种,占 42.96%,硅藻门 37 种,占 27.41%,蓝藻门 16 种,占 11.85%,裸藻门 13 种,占 9.63%,金藻门 4 种,占 2.96%,隐藻门 3 种,占 2.22%,甲藻门 3 种,占2.22%,黄藻门 1 种,占 0.07%;组成上绿藻门和硅藻门占优势,表层种类组成较底层丰富,春季浮游植物出现种类较多。

浮游动物 37 属、42 种;其中,轮虫 20 种,占 47.62%,原生动物 14 种(属),占 33.33%,桡足类 6 种(属),占 14.29%,枝角类 2 种(属),占4.76%;从组成上看,轮虫占优势,其次是原生动物,浮游动物在夏季出现种类较多。

2.2　密度和生物量

柴河水库浮游植物平均密度为 11.58 × 10^6 个/L;绿藻门最多,占总量的 48.91%,硅藻门次之,占 28.68%,蓝藻门占 11.80%,隐藻门占 5.69%,裸藻门占 3.89%,甲藻门占 0.83%,金藻门占 0.44%,黄藻门占 0.29%。生物量平均为 6.25 mg/L,以硅藻门最高,占总量的 33.99%,隐藻门次之,占 23.28%,绿藻门占 19.92%,裸藻门占 12.34%,甲藻门占 6.14%,蓝藻门占 3.91%,金藻门占 0.39%,黄藻门占 0.02%。浮游植物密度及生物量具有春季 > 夏季 > 秋季的变化规律,空间分布上表现为下游 > 中游 > 上游(图 2)。

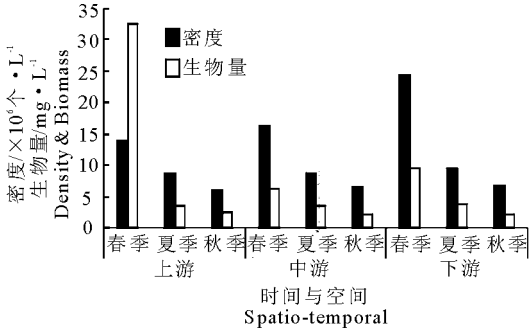

图 2　柴河水库浮游植物密度和生物量的时空变化

Fig. 2　Spatio-temporal changes of density and biomass of phytoplankton in Chaihe Reservior

浮游动物平均密度为 358 个/L,轮虫密度最大,占 60.63%,原生动物占 26.83%,枝角类占6.62%,桡足类占 5.92%。生物量平均为3.49 mg/L,轮虫最多,占 69.78%,枝角类占 17.94%,桡足类占 12.13%,原生动物占 0.15%。浮游动物密度及生物量有秋季 > 夏季 > 春季的变化规律,其水平分布为中游 > 下游 > 上游(表 1)。

表 1　柴河水库浮游动物密度和生物量的时空变化

Tab. 1　Spatio-temporal changes of density and biomass of zooplankton in Chaihe Reservior

季节	位置	密度/个·L⁻¹	密度占比/%				生物量/mg·L⁻¹	生物量占比/%			
			原生动物	轮虫	枝角类	桡足类		原生动物	轮虫	枝角类	桡足类
春季	上游	226.25	8.84	82.87	5.52	2.76	1.44	0.17	67.22	26.02	6.59
	中游	153.13	19.59	55.92	14.29	10.20	1.56	0.22	33.88	42.02	23.89
	下游	147.50	15.68	61.86	12.29	10.17	2.89	0.13	62.70	18.81	18.36
夏季	上游	208.75	43.11	51.50	4.19	1.20	1.51	0.22	81.92	17.36	0.50
	中游	331.88	34.46	51.41	8.47	5.65	3.37	0.21	52.27	25.03	22.49
	下游	123.75	13.13	73.23	7.58	6.06	2.00	0.03	84.27	14.05	1.66
秋季	上游	356.25	36.84	59.30	0.70	3.16	3.15	0.11	79.89	2.38	17.62
	中游	765.00	47.63	47.88	0.65	3.84	6.81	0.14	88.34	2.20	9.32
	下游	767.50	27.52	66.12	1.79	4.56	6.47	0.10	86.59	6.38	6.94

2.3 优势种

根据浮游生物的密度及出现频率来确定其优势度在20%以上的为优势种类,在整个调查时间内均为优势种的有小球藻(*Chlorella* sp.)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)和钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*),出现频率分别为100%、100%和87%。依据浮游植物密度和生物量,柴河水库的优势种有小球藻、梅尼小环藻、钝脆杆藻。浮游动物优势种主要是针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、卜氏晶囊轮虫(*Asplanchna brightwelli*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、长额象鼻溞(*Bosmina longirosthis*)、桡足类无节幼体(*Nauplii*)、王氏拟铃虫(*Tintionnopsis wangi*),出现频率分别为100%、100%、100%、100%、87%、87%。

2.4 生物多样性

浮游植物Shannon-Wiener多样性指数年均为4.27,均匀度指数年均为0.82;无论是多样性指数还是均匀性指数均为表层略大于底层,多样性指数春、秋季高于夏季,中、下游高于上游;均匀性指数夏季高于春、秋季,上游高于中、下游。浮游动物多样性指数年均为3.15,均匀度指数年均为0.74,无论是多样性指数还是均匀度指数都是上、中游大于下游,春季略高于夏、秋季。

2.5 垂直分布

浮游植物的密度和生物量垂直分布没有明显规律。从全年平均值看,表层高于底层;浮游动物的密度底层高于表层,生物量没有明显规律;从年均值看,表层的生物量高于底层(图3~4)。

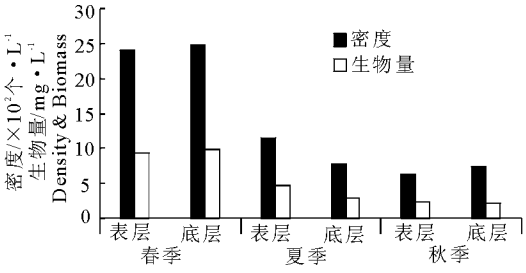

图3 柴河水库浮游植物密度和生物量的垂直变化

Fig.3 The vertical changes of biomass and density of phytoplankton in Chaihe Reservoir

3 讨论

3.1 柴河水库的浮游生物量及时空变化

2008年对柴河水库浮游生物群落结构的调查结果与20世纪80年代相比(董双林等,1989),浮游植物密度增大了2倍多,但生物量降低了1/3;浮游植物的种类组成也发生了变化,由原来的硅藻-隐藻占优势演变为绿藻-硅藻,说明柴河水库的水质有富营养化程度加剧的趋势,浮游植物密度总体水平上有增加,但硅藻门数量的相对减少会导致浮游植物生物量的降低。浮游动物的生物量增加了,种类组成也发生了变化(表2)。与辽宁省内其他几个水源水库(大伙房、汤河、观音阁、桓仁、碧流河、英那河)相比,柴河水库浮游生物的密度、生物量均处于中等水平,浮游动物的生物量相对较高。

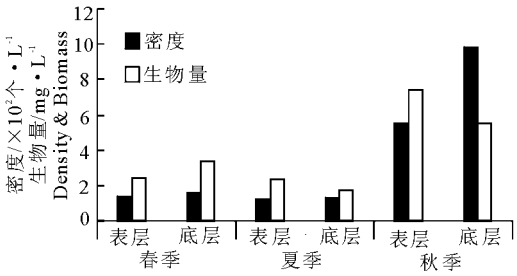

图4 柴河水库浮游动物密度和生物量的垂直变化

Fig.4 The vertical changes of biomass and density of zooplankton in Chaihe Reservoir

浮游植物密度及生物量具有春季>夏季>秋季的变化规律,空间分布表现为下游>中游>上游;浮游动物的密度及生物量有秋季>夏季>春季的变化规律,空间上表现为中游>下游>上游,这与刘丙阳等(2011)的研究结果相近,但略有区别,应该与水库放养鱼的种类、数量及水库深度有关。

3.2 柴河水库渔产力评估

利用基础饵料法计算柴河水库浮游生物能提供的渔产力,按照浮游生物供饵能力、腐殖质牧食链提供渔产力的50%、水库面积2 423 hm^2计算,浮游植物、浮游动物及腐殖质能提供滤食性鱼类的渔产力可达35.40万kg(表3)。近些年,柴河水库的实际年均鱼产量在40万kg左右,其中鲢、鳙产量占80%以上(32万kg以上),与理论上渔产力基本接近,因此柴河水库总体渔产力上升空间不大,但可适量增加底层鱼类放养量。

3.3 柴河水库的浮游生物组成特征

浮游植物的种类组成以绿藻、硅藻门占优势,与很多学者的研究结果一致(董双林等,1989;何志辉和王喜庆,1992;邱春刚等,2000;史玉强等,2003;赵文等,2009);其中小球藻(*Chlorella* sp.)和梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)是浮游植物中的优势种类,按照金相灿(1990)对水体营养状态的划分标

表 2　柴河水库与辽宁省内其他水库浮游生物群落结构的比较

Tab. 2　Comparison of plankton community between Chaihe Reservoir and other reservoirs in Liaoning province

水库名称	调查年份	浮游植物			浮游动物			文献来源
		密度/万个·L^{-1}	生物量/mg·L^{-1}	种类组成	密度/个·L^{-1}	生物量/mg·L^{-1}	种类组成	
大伙房	1991	1 252		绿藻、硅藻				史玉强等,2003
大伙房	2002				17 677	2.06	原生动物、轮虫	綦志仁等,2004
汤河	1992 – 1994		3.49	硅藻、绿藻		1.40		邱春刚等,2000
汤河	2007				1521	1.78	轮虫、原生动物	刘丙阳等,2011
观音阁	2004	4 466	6.19	隐藻、硅藻		0.47	轮虫	石俊艳等,2006
桓仁	1982 – 1983	3 208	5.92	绿藻、硅藻		2.00	枝角类	董双林等,1989
碧流河	1988 – 1991		3.44	硅藻、绿藻		1.10	轮虫、原生动物	何志辉等,1992
英那河	2002 – 2003	2 500	10.58	硅藻、绿藻	992	4.21	轮虫、原生动物	赵文等,2009
柴河	1982 – 1983	688	9.81	硅藻、隐藻		2.17	桡足类、轮虫	董双林等,1989
柴河	2008	1 158	6.25	绿藻、硅藻	358	3.49	轮虫、原生动物	郭凯等,2010

表 3　柴河水库渔产力估算

Tab. 3　The estimate of productivity in Chaihe Reservoir

饵料生物	现存量/g·m^{-2}	*P/B*	生产量/kg·hm^{-2}	利用率/%	鱼类利用量/kg·hm^{-2}	饵料系数	渔产力/kg·hm^{-2}	鱼产量/万 kg
浮游植物	6.25	100	6250	20	1250	20	62.5	15.14
浮游动物	3.49	20	698	50	349	10	34.9	8.46
腐殖质								11.80
总计								35.40

准,柴河水库已属于富营养型水体;根据何志辉(1987)浮游植物生物量的划分标准,柴河水库也属于富营养型水体,表明其水质有富营养化加剧的趋势,这应与库区周围生态环境遭到破坏有关,应该引起足够的重视(姜志文和刘树春,2010;姜志文等,2011)。浮游动物种类组成上以个体相对较小的轮虫及原生动物为主,而个体相对较大的枝角类和桡足类很少成为水库浮游动物的优势种类,其原因是轮虫和原生动物主要以水中的藻类、细菌及碎屑为食,其食物来源较为充足,同时轮虫和原生动物个体较小,繁殖较快,容易在水中大量繁殖;另外,鱼类的摄食也是产生这种现象的主要原因,鲢、鳙等滤食性鱼类一般首先选择个体较大的浮游动物(刘丙阳等,2011)。

刘丙阳等(2011)研究发现,针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)和螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)经常以浮游动物优势种出现。柴河水库浮游动物种类组成以轮虫为主,而优势种中也有这 2 种轮虫出现;其主要原因是针簇多肢轮虫游泳速度较快,较易捕获食物和逃避敌害生物;而螺形龟甲轮虫对水环境适应能力较强,尤其在富营养型水体中仍能保持较高的密度,因此容易成为水库浮游动物的优势种类(郭凯等,2010)。

参考文献

董双林,史为良,王玉柱,等. 1989. 辽宁省水库的浮游生物[J]. 大连水产学院学报,4(1):1 – 9.

董双林,赵文. 2004. 养殖水域生态学[M]. 北京:中国农业出版社:272 – 297.

郭凯,赵文,殷守仁,等. 2010. 北京官厅水库轮虫群落结构与水体富营养化状况[J]. 湖泊科学,22(2):256 – 264.

何志辉. 1987. 中国湖泊和水库的营养分类[J]. 大连水产学院学报,(1):1 – 10.

何志辉,王喜庆. 1992. 碧流河水库的水化学、浮游生物和初级生产力[J]. 大连水产学院学报,7(2 – 3):1 – 18.

胡鸿钧,魏印心. 2006. 中国淡水藻类[M]. 北京:科学出版社.

姜志文,刘树春. 2010. 柴河水库水环境质量现状与改善对策[J]. 现代农业科技,(9):255 – 256.

姜志文,陈响,汪兆生. 2011. 柴河水库水生态环境保护的探索与实践[J]. 水生态学杂志,32 (4):145 – 148.

金相灿,刘鸿亮,屠清瑛. 1990. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社:21 – 25.

刘丙阳,赵文,郭凯,等. 2011. 辽宁汤河水库浮游动物的群落结构及其时空格局[J]. 大连海洋大学学报,26(6):526 – 531.

吕兴娜,尚佰晓. 2011. 降雨径流对柴河水库总磷、总氮的水质影响分析[J]. 中国环境管理干部学院学报,21(2):64 – 66.

綦志仁,谢文星,黄道明,等. 2004. 大伙房水库的浮游动物[J]. 水利渔业,24(4):57-59.
邱春刚,刘丙阳,刘景祯,等. 2000. 汤河水库的浮游生物与鲢鳙生产潜力估算[J]. 水产科学,19(3):27-29.
石俊艳,于伟君,解涵,等. 2006. 观音阁水库渔业资源调查报告[J]. 水利渔业,26(3):109-112.
史玉强,李树莹,崔双发,等. 2003. 辽宁大伙房水库水质及水生生物群落结构的研究[J]. 大连水产学院学报,18(1):23-28.
杨金尉,郭金典,李楠. 2010. 柴河水库富营养化状况评价及综合防治对策[J]. 城乡与环境,(7):131.
元红. 2003. 柴河水库水体富营养化现状调查及分析[J]. 辽宁城乡环境科技,23(3):46-48.
元红. 2008. 柴河水库饮用水源地水质现状调查及评价[J]. 内蒙古环境科学,20(3):48-50.
张茹,宓永宁,郭海军. 2009. 柴河水库水质演变趋势分析[J]. 人民黄河,31(4):68-69.
赵文. 2005. 水生生物学[M]. 北京:中国农业出版社:499-510.
赵文,殷旭旺,王吉桥,等. 2009. 英那河水库渔业生态学调查[J]. 大连水产学院学报,24(3):221-230.

(责任编辑 万月华)

Study on the Spatio-temporal Pattern of Plankton Community Structure and its Productivity in Chaihe Reservoir

GUO Kai[1], ZHAO Wen[1], YAN Hong-qi[1,2]

(1. Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Provincial, College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, P. R China;
2. Fisheries Research Institute of Shenyang City, Shenyang 111000, P. R. China)

Abstract: The Spatio-temporal pattern of plankton community structure and the productivity in Chaihe Reservoir were studied in 2008. It studied species composition, density, biomass, dominant species and diversity index of plankton. The results shown that 135 species of phytoplankton were detected, and Bacillariophyta and Chlorophyta were the dominant species composition; The annual average density and biomass of phytoplankton were 11.58×10^6 ind./L and 6.25 mg/L, respectively, and the dominant species were *Chlorella* sp., *Cyclotella meneghiniana* and *Fragilaria capucina*. 42 species of zooplankton, dominated by Rotifera and Protozoa, were detected; The annual average density and biomass of zooplankton were 358 ind./L and 3.49 mg/L, respectively, and the dominant species were *Polyarthra trigla*, *Keratella cochlearis* and *Asplanchna brightwelli*. The annual average diversity index of phytoplankton and zooplankton were 4.27 and 3.15, respectively. There was no obvious regularity in vertical distribution of plankton in the reservoir.

Key words: Chaihe Reservoir; plankton; community structure; spatio-temporal pattern