

刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫群落特征

禹娟红¹, 宁应之^{1,*}, 刘智峰², 王晓景¹, 张 超¹, 马正学¹

(1. 西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070; 2. 陕西理工学院化学与环境科学学院, 汉中 723001)

摘要: 2006 年 3 月至 2007 年 2 月, 用活体观察法和直接计数法对刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫群落进行了研究。共鉴定到 77 种纤毛虫, 其中包括 4 个未定名种, 隶属于 3 纲 11 目 34 科 43 属。下毛目为优势类群, 前口目为次优势类群, 异毛目为偶见类群。善变膜袋虫、长圆膜袋虫、珍珠映毛虫、钩刺斜管虫和大口瞬目虫为春季群落优势种; 善变膜袋虫、颗粒膜袋虫和珍珠映毛虫为夏季群落优势种; 颗粒膜袋虫和善变膜袋虫为秋季群落优势种; 冬季无明显优势种。纤毛虫物种数的周年动态呈单峰型, 8、9 月份物种数最多, 有 52 种, 3 月份最少, 只有 18 种; 物种数的季节动态为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。纤毛虫丰度的周年动态呈三峰型, 高峰分别出现在 4 月、6 月和 9 月份, 5 月份采样前夕水库调水导致丰度骤降是造成三峰型的主要原因; 纤毛虫丰度的季节动态为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。纤毛虫物种多样性指数的周年动态为: 8 月份最大, 3 月份最小。相关性分析结果表明, 对网箱养鱼场纤毛虫物种数影响最大的因子是水温, 其次是透明度和 pH 值, 投放饲料量的影响最小; 对网箱养鱼场纤毛虫丰度影响最大的是投放饲料量, 其次是水温和 pH 值, 透明度的影响最小。

关键词: 刘家峡水库; 网箱养鱼场; 纤毛虫群落特征

文章编号: 1000-0933(2009)01-0199-09 中图分类号: Q143, Q178, Q959.116 文献标识码: A

Characteristics of ciliate community in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

YU Juan-Hong¹, NING Ying-Zhi^{1,*}, LIU Zhi-Feng², WANG Xiao-Jing¹, ZHANG Chao¹, MA Zheng-Xue¹

1 College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 School of Chemistry and Environment Science, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0199 ~ 0207.

Abstract: The ciliate community in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir was studied using live observation and direct counting method from March 2006 to February 2007. A total of 77 species including four unnamed species were identified, belonging to 3 classes, 11 orders, 34 families and 43 genera, Hypotrichida was the dominant group, whereas Prostomatida was the subdominant and Heterotrichida the incidental group. *Cyclidium versatile*, *C. oblongum*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Chilodonella uncinata* and *Glaucoma macrostoma* were the dominant ciliates in spring, and *Cyclidium versatile*, *C. granulosum* and *Cinetochilum margaritaceum* in summer, and *Cyclidium granulosum* and *C. versatile* in autumn, while no distinct dominant species occurred in winter. The annual species richness fluctuated in a unimodal curve with the maximum value (52) in August and September and the minimum (18) in March, showing the seasonal succession of summer > autumn > spring > winter. The annual ciliate abundance showed a trimodal curve with three peaks in April, June and September, respectively. The valley value of ciliate abundance in May was mainly caused by the sudden drawdown due to water diversion of Liujiaxia Reservoir. The seasonal succession of the abundance showed the similar pattern as that of the species richness: summer > autumn > spring > winter. As concern the species diversity index, the maximum value

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30470208; 30870273); 陕西理工学院引进人才科研启动资助项目(SLGQD0710)

收稿日期: 2008-08-07; **修订日期:** 2008-10-22

致谢: 西北师范大学生命科学学院邹涛、李琦路、王业秋、申海香、王娟、康瑞琴等参与了本研究的野外采样工作, 刘家峡水库网箱养殖场为本研究的野外工作提供了方便, 中国科学院海洋研究所徐奎栋博士对本文写作给予帮助, 特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ningyz@nwnu.edu.cn

occurred in August and the minimum in March. Correlation analysis indicated that the species richness was mostly influenced by water temperature, and subsequently water transparency and pH value, while the amount of feed was the least important factor. By contrast, the amount of feed was the most important factor regulating the abundance, with water temperature and pH value in turn, while water transparency had the least influence.

Key Words: Liujiaxia Reservoir; the cage fish culture farm; characteristics of ciliate community

水库水体中纤毛虫种类多、数量大、繁殖速度快。它们以原生动物、藻类、细菌和有机碎屑为食，同时又是该水体中鱼类和其他后生动物的重要天然饵料，因此是连接生产者和次级消费者之间的重要中间环节。此外，纤毛虫对水环境的各种胁迫反应敏感，并可通过群落的结构和功能参数表现出来，因而纤毛虫的群落结构特点可用于评价水体的营养水平和水环境质量。

迄今为止，对于刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫群落特征的研究，仅见刘智峰等 2006 年对其春季的特征有过初步报道^[1]，但有关纤毛虫群落周年特征的研究尚未见系统报道。为此，作者于 2006 年 3 月至 2007 年 2 月，用活体观察法和直接计数法对刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫群落进行了较系统的研究。

1 材料与方法

1.1 样区概况

刘家峡水库是甘肃省最大的水库，位于甘肃省永靖县境内，北纬 $35^{\circ}45'$ ，东经 $103^{\circ}3'$ ，海拔 1900 ~ 2300 m。水库面积 130 km²，多年库容 32 亿 m³，正常水位时水深 31.6 m^[2]。以大夏河、洮河及黄河为流入水源，出口于黄河。

研究地点位于永靖县东部祁家渡口水域的刘家峡水库网箱养鱼场(图 1)，属库湾网箱养殖，共有两组网箱，以虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、鲫鱼(*Carassius auratus*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)等为主要养殖种类，年产量约 50000 kg。

1.2 样地设置

选取其中一组网箱(150 m × 12.5 m)，在网箱边上设 5 个采样点，分别为 I ~ V 号采样点(图 2)。

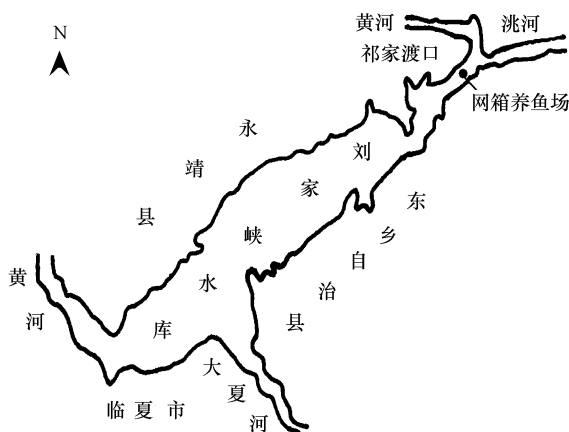


图 1 网箱养鱼场在刘家峡水库的位置

Fig. 1 Situation of the cage fish culture farm in Liujiaxia Reservoir

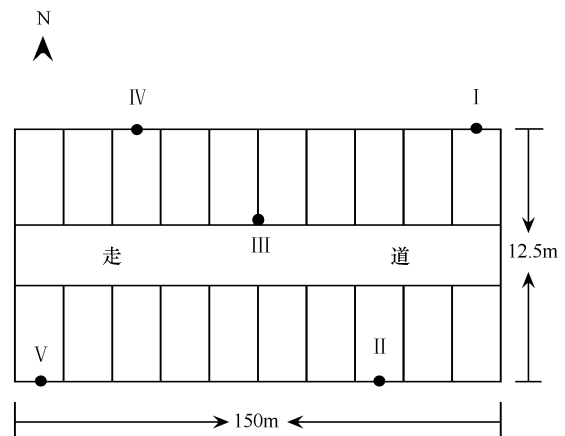


图 2 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫采样点示意图

Fig. 2 Sampling sites of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

1.3 研究方法

1.3.1 环境因子的测定

(1)温度 将刻度为 $-50 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度计固定在自制采水器内，采水过程中不将温度计取出，直接读取温度值，并现场记录。

(2)pH 值 用国产 PHS-2C 型精密酸度计测量。

(3)透明度 用塞氏罗盘测定,并现场记录。

1.3.2 样品的采集

(1)定性样品的采集 用 PFU (polyurethane foam unit) 法采集水样,实验所用的 PFU 人工基质孔径为 100 ~ 150 μm ,使用时将其制作成 5.5cm $\times$ 6.5cm $\times$ 7.5cm 的小块。每月月初在各样点水面下 1.5m 和 3m 处各悬挂 PFU 两块,7d 后把 PFU 取出装入塑料袋带回实验室,挤出 PFU 中的水样,在显微镜下进行种类鉴定及计数。

(2)定量样品的采集 用自制采水器在各样点水面下 1.5m 和 3m 处采取等量水样,混合后取 1L 带回实验室用直接计数法在显微镜下计数。

1.3.3 定性和定量研究

(1)定性研究 活体观察进行物种鉴定,鉴定资料见参考文献^[3~8]。

(2)定量研究 用直接计数法对 PFU 中的水样及定量样品分别进行计数,计数前先标定 1ml 定量吸管水滴数 m 。计数时,将水样摇匀,然后用该定量吸管吸取水样,滴在载玻片上,盖上盖玻片于 200 $\times$ 倍下计数,得到每滴水中的个体数 n ,最后换算成 1L 水中的个体数量(ind./L): $N = n \times m \times 1000$ ^[9]。实验中,每个水样随机取 5ml,每毫升观察 3 滴,取平均值。

1.3.4 优势类群和偶见类群划分

对鉴定到的各级分类单元及物种进行统计,将物种数最多的目(order)定义为优势类群,将物种数次多的目定义为次优势类群,将单种的目定义为偶见类群,其余目为常见类群。

1.3.5 多样性指数计算

多样性指数计算依据 Margalef 多样性指数公式:

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

式中, d 为多样性指数; S 为种类数; N 为个体总数。 d 值的大小表明物种多样性的^[10, 11]。

1.3.6 统计学分析

相关性分析采用统计学软件 SPSS 13.0。

2 结果与分析

2.1 环境因子

从表 1 看出,水温和气温变动均较大(2 ~ 23 $^{\circ}\text{C}$, -8 ~ 25 $^{\circ}\text{C}$),并分别在 8 月份(23 $^{\circ}\text{C}$)和 7 月份(25 $^{\circ}\text{C}$)出现一次最高值;pH 值周年变幅小(6.64 ~ 7.88),这主要是因为该水体水容量大,沉淀和自净作用强,水生态系统比较稳定;透明度变幅较大(1.90 ~ 5.35 m),最大值出现在 2 月份,最小值出现在 7 月份。

表 1 刘家峡水库网箱养鱼场环境因子

Table 1 Environmental factors in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

月份 Month	环境因子 Environmental factors			
	气温($^{\circ}\text{C}$) Air temperature	水温($^{\circ}\text{C}$) Water temperature	pH 值 pH value	透明度(m) Transparence
3	6	2	7.63	4.68
4	12	5	7.43	3.51
5	16	9	7.14	2.60
6	20	17	7.06	1.95
7	25	19	6.89	1.90
8	24	23	6.64	3.05
9	20	21	7.27	2.50
10	18	12	7.41	3.70
11	13	12	7.49	5.10
12	2	6	7.88	5.20
1	-4	4	7.82	5.30
2	-8	3	7.67	5.35

2.2 纤毛虫物种的分布

通过对 5 个样点 240 块 PFU 的镜检,共鉴定到 77 种(包括 4 个未定名种)纤毛虫,其分布和相对数量见表 2。从物种的时间分布看,8、9 月 2 个月份为全年物种出现最多的月份,均为 52 种。3 月份为全年物种出现最少的月份,为 18 种。由此可见,物种在各个月份的分布存在明显的差异。

表 2 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫物种分布

Table 2 Distribution of species of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

物种 Species	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	1 月 January	2 月 February
腔裸口虫 <i>Holophrya atra</i>			+	+	+	+	+		+		+	+
武装尾毛虫 <i>Urotricha armatus</i>		+				+						
毛板壳虫 <i>Coleps hirtus</i>		+	+	+	+	++	+	+	+	+		
纵长毛板壳虫 <i>Coleps elongatus</i>				+	+	+	+	+	+	+		
卵形前管虫 <i>Prorodon ovum</i>							+			+		
天鹅长吻虫 <i>Lacrymaria olor</i>						+	+					
扭曲管叶虫 <i>Trachelophyllum sigmoides</i>			+	+	+	+	+					
智利管叶虫 <i>Trachelophyllum chilense</i>									+			
卑怯管叶虫 <i>Trachelophyllum pusillum</i>			+	+	+	+	++	+		+	+	+
蛹形斜口虫 <i>Enchelys pupa</i>							+		+			
简单斜口虫 <i>Enchelys simplex</i>						+	+			+		
卵圆口虫 <i>Trachelius ovum</i>		+	+	+	+	+					+	
小单环带毛虫 <i>Didinium balbianii nanum</i>	+											
裂口虫属一种 <i>Amphileptus</i> sp. ◆				+	+	+		+	+	+	+	
纺锤裂口虫 <i>Amphileptus fusidens</i>			+	+		+	+	+	+			
龙骨漫游虫 <i>Litonotus carinatus</i>		+	+		+			+		+		
钝漫游虫 <i>Litonotus obtusus</i>		+	++	+	+	++	++	++	++	+	+	+
天鹅漫游虫 <i>Litonotus cygnus</i>		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
片状漫游虫 <i>Litonotus fasciola</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
薄片漫游虫 <i>Litonotus lamella</i>		+	+	+	+	+	+	+			+	+
粘液篮环虫 <i>Cyrtolophosis mucicola</i>					+	+	+					+
长篮环虫 <i>Cyrtolophosis elongata</i>					+	+	+					
金色篮口虫 <i>Nassula aurea</i>							+			+		
水藓薄咽虫 <i>Leptopharynx sphagnetorum</i>			+	+		+		+				
大口薄咽虫 <i>Leptopharynx eurystoma</i>		+	+	++	+	+	+	+				
绿色小胸虫 <i>Microthorax viridis</i>								+	+	+	+	+
尾斜管虫 <i>Chilodonella caudata</i>			+				+			+		
巴维利亚斜管虫 <i>Chilodonella bavariensis</i>	+											
僧帽斜管虫 <i>Chilodonella cucullus</i>			+	+	+	+	+					
钩刺斜管虫 <i>Chilodonella uncinata</i>	+	+++	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+
非游斜管虫 <i>Chilodonella aplanata</i>		+	++	+	+	+	+	+	+	+		
弯豆形虫 <i>Colpidium campylum</i>												+
吻四膜虫 <i>Tetrahymena rostrata</i>	+	+	++	+	+	+	+	+	++	+	+	+
大口瞬目虫 <i>Glaucoma macrostoma</i>	++	+++		+	++	+			+	+		
闪瞬目虫 <i>Glaucoma scintillans</i>		++		+							++	++
黑睫杆虫 <i>Ophryoglena atra</i>						+	+					
尾草履虫 <i>Paramecium caudatum</i>		+				+	+					
绿草履虫 <i>Paramecium bursaria</i>		+	+	+	+						+	+
旋毛草履虫 <i>Paramecium trichium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
凹扁前口虫 <i>Frontonia depressa</i>				+	+	+	+	+	+	+		

续表

物种 Species	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	1 月 January	2 月 February
钝舟形虫 <i>Lembadion bullinum</i>		+		+	+		+	+	+			+
光明舟形虫 <i>Lembadion lucens</i>	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+		
纺锤康纤虫 <i>Cohnilembus fusiformis</i>			+	++	+	+	+					
珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i>	+	++++	++++	++++	++++	++++	++	++	++	++	+	+
冠帆口虫 <i>Pleuronema cornatum</i>		+	+	+	+	+	+	+		+		
帆口虫属一种 <i>Pleuronema</i> sp. ◆									+		+	
善变膜袋虫 <i>Cyclidium versatile</i>	++++	++++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	+	+
长圆膜袋虫 <i>Cyclidium oblongum</i>	+++	+	++	+	+	+	+					
颗粒膜袋虫 <i>Cyclidium granulosum</i>		++	++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
单一膜袋虫 <i>Cyclidium singulare</i>			+		+	+	+	+	+			
苔藓膜袋虫 <i>Cyclidium muscicola</i>				+	+		+	+		+		
点钟虫 <i>Vorticella picta</i>	+	+		+								
沟钟虫 <i>Vorticella convallaria</i>					+	+	+				+	
天蓝喇叭虫 <i>Stentor coeruleus</i>			+									
大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i>			+	++	+	+	+	++	++	++	++	++
旋回侠盗虫 <i>Strobilidium gyrans</i>						+		++	++	++	++	++
矛形圆纤虫 <i>Strongylidium lanceolatum</i>	+		+									
圆纤虫属一种 <i>Strongylidium</i> sp. ◆		+	+									
绿尾枝虫 <i>Urostyla viridis</i>		+										
念珠角毛虫 <i>Keronopsis monilata</i>					+	+	+		+	+		
纺锤全列虫 <i>Holosticha kessleri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
绿全列虫 <i>Holosticha viridis</i>			+	+			+					
尾瘦尾虫 <i>Uroleptus caudatus</i>						+	+	+	+	+		
近缘殖口虫 <i>Gonostomum affine</i>			+		+							
叶绿尖毛虫 <i>Oxytricha chlorelligera</i>			+	+	+	+	+			+		
伪尖毛虫 <i>Oxytricha fallax</i>	++	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	
水藓尖毛虫 <i>Oxytricha sphagni</i>				+		+						
膜状急纤虫 <i>Tachysoma pellionella</i>			+	+	+	+	+	+	+	+		
贻贝棘尾虫 <i>Stylonychia mytilus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
背状棘尾虫 <i>Stylonychia notophore</i>	+	+	+	+	+	+	+					
齿楯纤虫 <i>Aspidisca dentata</i>						+						
锐利楯纤虫 <i>Aspidisca lynceus</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
有肋楯纤虫 <i>Aspidisca costata</i>	+		+		+				+			
阔口游仆虫 <i>Euplotes eurystomus</i>		+			+		+		+			
粘游仆虫 <i>Euplotes muscicola</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
近亲游仆虫 <i>Euplotes affinis</i>		+		+								
游仆虫属一种 <i>Euplotes</i> sp. ◆						+	+		+			
种类数(总计 77)												
species numbers (total: 77)	18	35	43	45	47	52	52	35	37	35	23	20

◆ 未定名种; +、+、+、+、+ 分布及相对频次 ◆ Unnamed species; +、+、+、+、+ Distribution and relative frequency

2.3 纤毛虫群落特征

2.3.1 纤毛虫群落结构

已鉴定到的 77 种纤毛虫分别隶属于 3 纲、11 目、34 科、43 属(表 3), 其中动基片纲(Kinetofragminophorea) 31 种, 占纤毛虫物种总数的 40.3%; 寡膜纲(Oligohymenophorea) 22 种, 占 28.6%; 多膜纲(Polyhymenophorea) 24 种, 占 31.2%。在目级水平上, 下毛目(Hypotrichida) 21 种, 占纤毛虫物种总数的 27.3%, 为优势类

群;前口目(Prostomatida)13种,占16.9%,为次优势类群。常见类群包括:膜口目(Hymenostomatida)11种,占总物种数的14.3%;盾纤目(Scuticociliatida)9种,占11.7%;侧口目(Pleurostomatida)7种,占9.1%;管口目(Cyrtophorida)5种,占6.5%;篮口目(Nassulida)4种,占5.2%;肾形目(Colpodida)、缘毛目(Peritrichida)和寡毛目(Oligotrichida)各2种,占2.6%。异毛目(Heterotrichida)为罕见类群,只有1种,占物种总数的1.3%。

表3 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫群落结构

Table 3 Community structure of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

门 Phylum	纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	百分比 Percentage(%)
纤毛门 Ciliophora	动基片纲 Kinetofragminophorea	前口目 Prostomatida	6	9	13	16.9
		侧口目 Pleurostomatida	2	2	7	9.1
		肾形目 Colpodida	1	1	2	2.6
		篮口目 Nassulida	2	3	4	5.2
		管口目 Cyrtophorida	1	1	5	6.5
	寡膜纲 Oligohymenophorea	膜口目 Hymenostomatida	7	7	11	14.3
		盾纤目 Scuticociliatida	4	4	9	11.7
		缘毛目 Peritrichida	1	1	2	2.6
	多膜纲 polyhymenophorea	异毛目 Heterotrichida	1	1	1	1.3
		寡毛目 Oligotrichida	2	2	2	2.6
		下毛目 Hypotrichida	7	12	21	27.3
共计 Total	3	11	34	43	77	100

下毛目能够成为优势类群,一方面与它们多为食细菌者(B型)有关,另一方面与使用PFU采样方法有关。养鱼场每月投放蛋白酵母饲料,这为水体细菌的繁殖提供良好的营养条件,从而有利于下毛目纤毛虫的生长繁殖。同时,PFU人工基质具有多维空间结构,而下毛目种类的体形呈蠕虫状,腹面体纤毛特化成为强壮的触毛,能够匍匐“行走”,容易附着在PFU提供的微小孔径中而被采集到。

2.3.2 纤毛虫优势种

将每月相对出现频次较高的物种作为优势种,可得到表4。从优势种的季节动态来看,善变膜袋虫(*Cyclidium versatile*)、长圆膜袋虫(*Cyclidium oblongum*)、珍珠映毛虫(*Cinetochilum margaritaceum*)、钩刺斜管虫(*Chilodonella uncinata*)和大口瞬目虫(*Glaucoma macrostoma*)为春季(3、4、5月份)群落优势种;善变膜袋虫(*Cyclidium versatile*)、颗粒膜袋虫(*Cyclidium granulosum*)和珍珠映毛虫(*Cinetochilum margaritaceum*)为夏季(6、7、8月份)群落优势种;颗粒膜袋虫(*Cyclidium granulosum*)和善变膜袋虫(*Cyclidium versatile*)为秋季(9、10、11月份)群落优势种;冬季(12、1、2月份)无明显优势种。

表4 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫优势种

Table 4 Dominant species of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

季节 Season	优势种 Dominant species
春季 Spring	善变膜袋虫 <i>Cyclidium versatile</i> ; 长圆膜袋虫 <i>Cyclidium oblongum</i> ; 珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i> ; 钩刺斜管虫 <i>Chilodonella uncinata</i> ; 大口瞬目虫 <i>Glaucoma macrostoma</i>
夏季 Summer	善变膜袋虫 <i>Cyclidium versatile</i> ; 珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i> ; 颗粒膜袋虫 <i>Cyclidium granulosum</i> ;
秋季 Autumn	颗粒膜袋虫 <i>Cyclidium granulosum</i> ; 善变膜袋虫 <i>Cyclidium versatile</i>
冬季 Winter	无明显优势种

从优势种的分类阶元上看,盾纤目(善变膜袋虫、颗粒膜袋虫、长圆膜袋虫、珍珠映毛虫)种类最多,Pace, Hecky 研究发现,盾纤类常在营养性水体中占优势^[12,13]。该养鱼场水体投放蛋白酵母饲料,而且投放量随水温的升高而增加,随水温的降低而减少。在温度较高,投放饲料量较大的夏季和秋季,水体营养水平

较高,群落优势种都为盾纤目(善变膜袋虫、颗粒膜袋虫、珍珠映毛虫);冬季水库处于枯水期,水温降低,投放饲料量也由原来每天 200kg 减少到 100kg,加之自身的沉淀作用,水体营养水平明显下降,因此该季节无明显优势种。

从优势种的食性来看,都属于食菌型(B 型),这是由于养鱼场水体投放蛋白酵母饲料养鱼,使得细菌数量相当丰富,非常有利于 B 型纤毛虫的生长繁殖。由此可见,优势种的出现与物种的生境有密切的关系。

2.4 纤毛虫物种数的时间动态

从图 3 可以看出,纤毛虫物种数的周年动态呈单峰型分布。8、9 月份物种数最多,均为 52 种,3 月份最少,只有 18 种。徐润林认为水温和食物是影响纤毛虫物种数的重要因素^[14],Finlay, Beaver 也发现纤毛虫群落多样性和物种数随营养的增加而增加^[15,16]。8、9 月 2 个月份是该水体在一年中水温最高、投放饲料量最大及在该地区降水量最大的月份。这可能是纤毛虫物种数在该月份达到了全年最大的原因。相反,3 月份是一年中水温最低、投放饲料量最小的月份,物种数也最少。

从物种数的季节动态来看,其顺序为:夏季(65 种) > 秋季(63 种) > 春季(60 种) > 冬季(48 种)。夏季 3 个月(6、7、8 月份)平均水温为 19.7℃,冬季 3 个月(12、1、2 月份)平均水温为 4.3℃,分别为一年中水温最高和最低的季节。可见,物种数的季节动态与水温的季节变化之间存在着较强的相关性。

2.5 纤毛虫丰度的时间动态

在所有影响原生动物生长、繁殖的因素中,水温是最重要的生态因子之一^[1,14]。在北半球水体中,冬季是原生动物生长的低潮,春季是原生动物生长的高峰期,夏季由于高温、种内竞争等因素抑制了原生动物的生长,秋季的气温下降,原生动物的数量又会增加,出现丰度高峰^[17]。Beaver 等在 Francis 湖和 Holden 塘的纤毛虫丰度的周年动态研究中也发现纤毛虫丰度在春末夏初和秋末各出现一个高峰^[18,19]。但是,在本实验中纤毛虫丰度的周年动态却呈 3 峰型:第 1 个高峰出现在 4 月份(28980 ind./L),第 2 个高峰出现在 6 月份(41400 ind./L),第 3 个高峰出现在 9 月份(32200 ind./L)(图 4)。这是因为 5 月份采样前夕水库调水,水位下降 3~4 m,表层水中浮游纤毛虫大量流失,丰度骤降,使得原本从 3 月份到 6 月份呈逐月上升的丰度变化趋势被破坏,产生了 4 月份和 6 月份两个峰值。

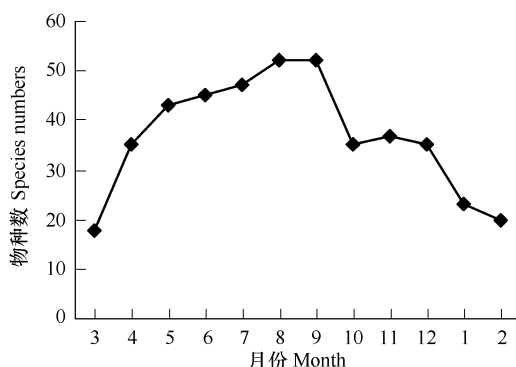


图 3 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫物种数的周年动态

Fig. 3 The annual dynamics of species numbers of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

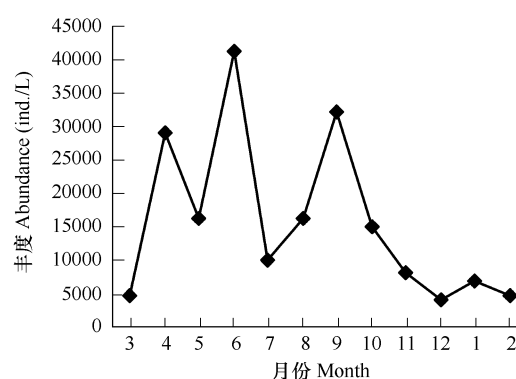


图 4 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫丰度的周年动态

Fig. 4 The annual dynamics of individual abundance of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

同时,对 PFU 人工基质中采集到的纤毛虫丰度进行计数发现,PFU 中纤毛虫丰度的周年动态呈双峰型,分别在春末夏初(6 月份)和秋初(9 月份)出现峰值(图 5)。这一结果与前人的报道基本吻合^[18,19]。从 3 月份到 6 月份丰度逐月升高,期间未出现高峰期,这是因为 PFU 人工基质具有多维空间结构,当纤毛虫定殖其中后不会因为水库调水而大量流失。两种基质中丰度变化的差异进一步说明了 5 月份人工调水是导致纤毛虫丰度的周年动态由双峰型变为三峰型的重要原因。

纤毛虫丰度的季节动态顺序为:夏季(22540 ind./L) > 秋季(18400 ind./L) > 春季(16600 ind./L) > 冬

季(5213 ind./L)。该动态顺序和物种数的季节动态是相同的。

2.6 物种多样性指数

多样性指数直接反映了生物群落本身结构的复杂程度和稳定性大小,也间接地反映了生态环境质量的优劣^[20]。从图6看出,物种多样性指数的周年动态为:8月份最大(5.27);3月份最小(2.01)。本实验中多样性指数受物种数影响较大,8月份是一年中水温最高、投放饲料量最大的月份,也是该地区降水量最大的月份,物种数最多,因而该月份纤毛虫多样性指数也达到了全年最高水平。3月份是一年中水温最低、投放饲料量最小的月份,物种数最少,多样性指数也为全年最低水平。可见,物种数多的月份,多样性指数就大,因此多样性指数更多地反映了纤毛虫群落的复杂程度和稳定性。

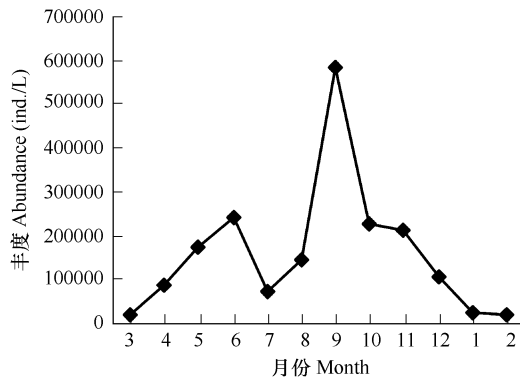


图5 刘家峡水库网箱养鱼场 PFU 中纤毛虫丰度的周年动态

Fig. 5 The annual dynamics of individual abundance of ciliates in PFU in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

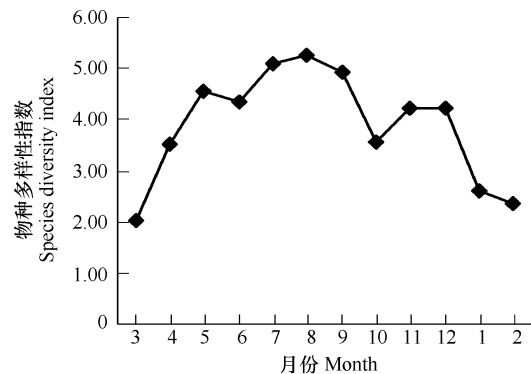


图6 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫多样性指数的周年动态

Fig. 6 The annual dynamics of diversity index of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiaxia Reservoir

2.7 环境因子与群落结构参数的关系

应用 SPSS13.0 统计软件将全年的环境因子(水温, pH 值, 透明度, 投放饲料量)和群落结构参数(物种数, 丰度)作为源变量, 进行二元变量的相关性分析, 得出以下结论:

物种数与水温、pH 值、透明度及投放饲料量之间的相关性系数依次为 0.892、-0.790、-0.800 和 0.598。该结果表明物种数与水温呈极显著的正相关($p < 0.01$), 与透明度和 pH 值呈极显著的负相关($p < 0.01$), 与投放饲料量呈显著的正相关($p < 0.05$)。依据各自相关性系数的大小可知, 对物种数影响最大的是水温, 其次是透明度和 pH 值, 投放饲料量的影响最小。

5 个样点平均丰度与水温、pH 值、透明度及投放饲料量之间的相关性系数依次为 0.497、-0.463、-0.414 和 0.796。该结果表明丰度与水温呈显著的正相关($p < 0.05$), 与 pH 值和透明度呈显著的负相关($p < 0.05$), 与投放饲料量呈极显著的正相关($p < 0.01$)。依据各自相关性系数的大小可知, 对 5 个样点平均丰度影响最大的是投放饲料量, 其次是水温和 pH 值, 透明度的影响最小。

3 结论

(1) 刘家峡水库网箱养鱼场共鉴定到 77 种纤毛虫, 其中包括 4 个未定名种, 隶属于 3 纲 11 目 34 科 43 属。

(2) 纤毛虫物种分布具有明显的时间异质性。

(3) 对纤毛虫群落结构的研究结果表明, 下毛目为优势类群; 前口目为次优势类群; 常见类群包括: 膜口目、盾纤目、侧口目、管口目、篮口目、肾形目、缘毛目和寡毛目; 异毛目为偶见类群。善变膜袋虫、长圆膜袋虫、珍珠映毛虫、钩刺斜管虫和大口瞬目虫为春季群落优势种; 善变膜袋虫、颗粒膜袋虫和珍珠映毛虫为夏季群落优势种; 颗粒膜袋虫和善变膜袋虫为秋季群落优势种; 冬季无明显优势种。

(4) 纤毛虫物种数的周年动态呈单峰型, 8、9 月份物种数最多, 有 52 种, 3 月份最少, 只有 18 种; 物种数的季节动态为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。纤毛虫丰度的周年动态呈三峰型, 高峰分别出现在 4 月、6 月

和9月份;纤毛虫丰度的季节动态为夏季>秋季>春季>冬季。纤毛虫物种多样性指数的周年动态为:8月份最大,3月份最小。

(5)相关性分析结果表明,在该特定的水体中,水温、pH值、透明度和投放饲料量是影响纤毛虫生长发育和繁殖的重要环境因子。其中,对网箱养鱼场纤毛虫物种数影响最大的是水温,其次是透明度和pH值,投放饲料量的影响最小;对网箱养鱼场纤毛虫丰度影响最大的是投放饲料量,其次是水温和pH值,透明度的影响最小。

References:

- [1] Liu Z F, Ning Y Z, Ma Z X, *et al.* Community structure of ciliates in the cage fish culture farm of Liujiayia Reservoir in spring. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 2007, 43(2): 77–92.
- [2] Liu Y G. *Fishery resources and division of Gansu*. Lanzhou University Press, 2000. 117–140.
- [3] Sheng Y F, Zhang Z S, Gong X J. *Modern biomonitoring techniques using freshwater microbiota*. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990. 231–348.
- [4] Jiang X Z, Shen X F, Gong X J. *Aquatic invertebrates of the Tibetan plateau*. Beijing: Science Press, 1983. 39–334.
- [5] Song W B. *Conspectus of Protozoology*. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1999. 6–25.
- [6] Colin R Curds. *British and other Freshwater ciliated Protozoa. Part I ciliophora: Kinetofragminophora keys and notes for the identification of the free-living genera*. London: Cambridge University Press, 1982. 76–200
- [7] Colin R Curds, Michaela Gates, David McI Roberts. *British and other Freshwater ciliated Protozoa. Part II ciliophora: Oligohymenophora and Polyhymenophora keys and notes for the identification of the free-living genera*. London: Cambridge University Press, 1983. 146–316
- [8] Lee J J, Leedale G F, Bradbury P. *An Illustrated Guide to the Protozoa(2nd Edition)*. Lawrence: Allen Press Inc, 2000.
- [9] Rao Q Z, Wang J J, Li S H, *et al.* *Basic knowledge of lake survey*. Beijing: Science Press, 1956. 295–298.
- [10] Xu M Q. A study on applying PFU protozoan community to monitor the self-purification effectiveness of the Beijing wastewater canal. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(1): 80–85.
- [11] Xu M Q. The relationship between the protozoan community diversity and the water quality in the Baiyangdian Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 21(1): 1114–1120.
- [12] Pace M L. Planktonic ciliates: their distribution, abundance and relationship to microbial resources in a monomictic lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, 39:1106–1116.
- [13] Hecky R E, Kling H J. The phytoplankton and protozoan plankton of the eutrophic zone Lake Tanganyika: species composition, biomass, chlorophyll content and spatiotemporal distribution. *Limnol & Oceanogr*, 1981, 26: 548–564.
- [14] Xu R L, Zheng Y L. Seasonal Changes of Planktonic Ciliate Communities in Yuexiu Lake, An Urban Lake of Guangzhou City. *Journal of Lake Science*, 2000, 12(2): 124–131.
- [15] Finlay B J, Fenchel T, Gardner S. Oxygen perception and O₂ toxicity in the freshwater ciliates protozoa Loxodes. *J. Protozool*, 1988, 33: 157–165.
- [16] Beaver J R, Crisman T L. Seasonality of planktonic ciliated protozoa in 20 subtropical Florid lakes of varying trophic state. *Hydrobiologia*, 1990, 190: 127–135.
- [17] Laybourn-Parry J. *Protozoan plankton ecology*. New York: Chapman & Hall, 1992
- [18] Beaver J R, Crisman T L. The trophic response of ciliated protozoans in freshwater lakes. *Limnol. Oceanogr*, 1982, 22: 246–253.
- [19] Beaver J R, Crisman T L. The role of ciliated protozoa in pelagic freshwater ecosystems. *Microbial Ecology*, 1989, 17: 111–136.
- [20] Ning Y Z, Shen Y F. Community structure and its characteristics of soil protozoa in typical zones of China. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 1999, 35(2): 50–54.

参考文献:

- [1] 刘智峰, 宁应之, 马正学, 等. 刘家峡水库网箱养鱼场春季纤毛虫群落结构. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 43(2): 77–92
- [2] 刘阳光. *甘肃渔业资源与区划*. 兰州: 兰州大学出版社, 2000. 117–140.
- [3] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩. *微型生物监测新技术*. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990. 231–348.
- [4] 蒋燮治, 沈韞芬, 龚循矩. *西藏水生无脊椎动物*. 北京: 科学出版社, 1983. 39–334.
- [5] 宋微波. *原生动物学概论*. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1999. 6–25.
- [9] 饶钦止, 王家楫, 黎尚豪, 等. *湖泊调查基本知识*. 北京: 科学出版社, 1956. 295–298.
- [10] 许木启. 利用 PFU 原生动物群落监测北京排污河净化效能的研究. *生态学报*, 1991, 11(1): 80–85.
- [11] 许木启. 白洋淀原生动物群落多样性变化与水质关系研究. *生态学报*, 2001, 21(1): 1114–1120.
- [14] 徐润林, 郑永利. 广州市区越秀湖浮游纤毛虫群落的变化. *湖泊科学*, 2000, 12(2): 124–131.
- [20] 宁应之, 沈韞芬. 中国典型地带土壤原生动物群落结构及特征. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1999, 35(2): 50–54.