浙江千岛湖桡足类的群落结构

李兴国¹ 虞左明²

1 (浙江万里学院生物技术研究所, 宁波 315100)

2 (杭州市环境保护科学研究所, 杭州 310008)

摘要 : 1999 年 1 ~ 12 月 , 研究了贫 - 中营养型的大型深水湖泊——浙江千岛湖浮游桡足类的群落结构 , 包括其种类组成、现存量动态及群落多样性。在一年的研究中 , 共观察到 16 种桡足类 (5 种哲水蚤、1 种猛水蚤和 10 种剑水蚤)。根据各种桡足类 (桡足幼体 + 成体) 的年平均密度 , 哲水蚤的优势种为右突新镖水蚤 (*Neodiaptomus schmackeri*) 和球状许水蚤 (*Schmackeria forbesi*) , 剑水蚤的优势种为一种中剑水蚤 (*Mesocyclops notius*) 和近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*)。桡足类群落平均密度 46.81 个/L , 生物量 0.126 mg/L , 物种多样性指数 1.54。桡足类现存量的季节变化为夏 > 秋 > 冬 > 春 , 8 月份密度达 98.50 个/L , 生物量 0.333 mg/L , 5 月份密度仅 10.70 个/L , 生物量 0.017 mg/L。水平变化以 II 号站现存量最高 , 密度达 80.10 个/L , 生物量 0.289 mg/L ; V 号站的密度最低 , 仅 29.80 个/L ; IV 号站生物量最低 0.066 mg/L。多样性指数以 I 站为最高 3.21 , IX 站最低 , 仅 0.85。桡足类群落多样性随着水体透明度的增大呈下降的趋势。

关键词 : 千岛湖 , 桡足类 , 现存量 , 多样性指数

中图分类号 : Q958.8 文献标识码 : A 文章编号 : 1005 - 0094(2002) 03 - 0305 - 06

Community structure of Copepoda in Qiandao Lake , Zhejiang

LI Gong-Guo¹ , YU Zuo-Ming²

1 Institute of Biotechnology , Zhejiang Wanli University , Ningbo 315100 , China ;

2 Institute of Environmental Protection Science , Hangzhou 310008 , China

Abstract : The community structure of copepods , including species composition , standing crops dynamics and diversities , was studied in a oligo-mesotrophic , large , deep-water lake — Qiandao Lake , Zhejiang. During one year of study , 16 species of copepods (5 Calanoida , 1 Harpacticoida and 10 Cyclopoida) were found. In terms of mean annual density of various species of copepods (copepodids + adults) , the dominant species of Calanoida are *Neodiaptomus schmackeri* and *Schmackeria forbesi* , and the dominant species of Cyclopoida are *Mesocyclops notius* and *Cyclops vicinus*. The average density of copepods in the community is 46.81 ind./L , with biomass of 0.126 mg/L , and Margalef's diversity index of 1.54. The seasonal changes of standing crop of copepods is ranked summer > autumn > winter > spring , with the highest peak of copepod density (98.50 ind./L) and biomass (0.333 mg/L) in July to August , and the lowest copepod density (10.70 ind./L) and biomass (0.017 mg/L) in May. Station II has the highest copepod density (80.10 ind./L) and biomass (0.289 mg/L) , station V has the lowest copepods density (29.80 ind./L) , and station IV has the lowest copepods biomass (0.066 mg/L). Copepods diversity presents a maximum value of 3.21 in station I , and a minimum value of 0.85 in station IX. The higher the transparency of the lake water , the lower the community diversities of Copepoda.

Key words : Qiandao Lake , copepods , standing crops , diversity index

千岛湖位于浙江淳安 , 是著名的旅游风景湖泊 , 178 亿 m³ , 集饮用、旅游观光、水产养殖及工农业用水面积 573 km² , 平均水深 34 m , 蓄水量 等多种功能于一体 , 对当地经济发展起着重要的

基金项目 : 杭州市环境保护局课题 : 千岛湖浮游生物群落动态分析及控制对策研究 (199901)
收稿日期 : 2001 - 07 - 30 ; 接受日期 : 2002 - 04 - 05
作者简介 : 李兴国 , 男 , 1964 年出生 , 副教授 , 主要研究方向为浮游动物生态学。 E-mail : ligongguo@ 163. net

作用。桡足类是湖泊、水库浮游动物的重要组成部分，也是鱼类主要天然饵料之一，由于桡足类鉴定较困难，过去对它的研究往往停留在种类组成，或把桡足类作为整个种群来研究，很少涉及种群丰度(陈受忠，1965)。国内对中小型湖泊、浅水草型湖泊桡足类的群落结构已有报道(谢平，高村典子，1996a；Xie & Noriko，1998)，但对于大型深水湖泊、水库中桡足类的群落结构未见报道。本文系统调查了千岛湖浮游桡足类群落的种类组成、种群密度、生物量、优势度以及物种多样性指数，从时空异质性分析千岛湖浮游桡足类群落结构的变化规律，以期对千岛湖水环境监测建立背景资料和湖泊的综合治理提供依据。

1 材料和方法

在千岛湖设置 10 个浮游动物采样点，分别为 I 号：街口；II 号：威萍；III 号：小金山；IV 号：航头岛；V 号：织岭口；VI 号：茅头尖；VII 号：三潭岛；VIII 号：密山；IX 号：大坝；X 号：排岭水厂。1999 年 1~12 月逐月采样，采样和计数按《淡水浮游生物研究方法》(章宗涉，黄祥飞，1991)进行，定性样品用 25 号筛绢制成的浮游生物网(网孔孔径 64 μm)拖捞获取，定量样品用 2 L 采水器分别于该样点水表至透明度 2 倍深度间均匀分 5 个水层，每层各采 2 L 水样，用上述浮游生物网过滤浓缩，当即用鲁哥氏溶液(Lugol's solution)固定，带回实验室镜检。桡足类种类按《中国动物志》(淡水桡足类)(中国科学院动物研究所甲壳动物研究组，1979)鉴定，每个样品的个体数全部计数，桡足类成体和幼体生物量(湿重)按体长-体重回归方程式(陈雪梅，1981)计算。

种类出现频率按出现该种桡足类的样本数与样本总数之比值计算，其中样本总数为 120 个(10 个采样站，每月采样一次)。桡足类多样性按 Margalef (李共国等，1998)指数公式 $d = (s - 1) / \ln N$ 计算，优势度指数 $D = N_{\max} / N$ 。其中， s 为采样站全年出现种类数， N 为采样站年平均密度(个体数/升)， $N_{\max}$ 为优势种的密度(个体数/升)。

2 结果与分析

2.1 桡足类群落种类组成及其优势种

通过 1 年调查，共鉴定桡足类 4 科 11 属 16 种，其中哲水蚤 2 科 4 属 5 种，猛水蚤 1 科 1 属 1 种，剑

水蚤 1 科 6 属 10 种。根据桡足类(桡足幼体 + 成体)的年平均密度，哲水蚤的优势种为右突新镖水蚤(*Neodiaptomus schmadkeri*)、球状许水蚤(*Schmackeria forbesi*)和特异荡镖水蚤(*Neutrodiaptomus incongruens*)；而剑水蚤的优势种为一种中剑水蚤(*Mesocyclops notius*) (Xie & Noriko，1997)和近邻剑水蚤(*Cyclops vicinus*) (表 1)。

桡足幼体和成体年平均密度的水平分布，以 II 站(威萍)各种桡足类(桡足幼体 + 成体)的密度均较高；以 V 号站(织岭口)最低，主要由 2 种剑水蚤优势种组成。

图 1 显示了 4 种优势种(桡足幼体 + 成体)生物量的季节变化，除近邻剑水蚤出现在冬季外，其他 3 种主要出现在夏秋季，一种中剑水蚤(*Mesocyclops notius*)在 7~8 月和 11 月分别形成生物量高峰和次高峰；右突新镖水蚤和球状许水蚤均在 9 月份形成一个生物量高峰。

千岛湖有 11 种桡足类的出现频率低于 0.1，其余 5 种出现频率在 0.1~0.6 之间(图 2)。

2.2 桡足类群落现存量的季节变化

图 3~4 显示了哲水蚤(桡足幼体 + 成体)、剑水蚤(桡足幼体 + 成体)以及它们的无节幼体密度和生物量的月变化，千岛湖桡足类密度和生物量均以夏季的 7~8 月份最高，秋冬季次之，春季最低。

桡足类密度主要由于其无节幼体(Nauplius)组成，大量出现于 7~12 月，占桡足类总密度的 66%；其次为剑水蚤(桡足幼体 + 成体)，并在 1 月、7 月和 11 月各有一个高峰出现，哲水蚤(桡足幼体 + 成体)密度最低，仍在 8~9 月份形成明显的种群。

桡足生物量主要由剑水蚤(桡足幼体 + 成体)组成，除在 7~8 月份生物量有较高的峰值外，在 1 月和 11 月各有一个次高峰，哲水蚤(桡足幼体 + 成体)在桡足类生物量中也占有相当的份量，高峰期 8~9 月份；无节幼体在桡足类生物量中仍占 22%。

2.3 桡足类群落现存量的水平变化

图 5~6 显示了哲水蚤(桡足幼体 + 成体)、剑水蚤(桡足幼体 + 成体)以及它们的无节幼体密度和生物量的水平分布，千岛湖桡足类密度和生物量均以 II 站最高。

除无节幼体密度在各采样站波动较大外，哲水蚤(桡足幼体 + 成体)和剑水蚤(桡足幼体 + 成体)

表 1 千岛湖 10 个采样站桡足类年平均密度(个/升)
Table 1 Mean annual density of various copepods at ten sampling stations in Qiandao Lake (ind./L)

种类 Species	采样站 Sampling station									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
哲水蚤目 Calanoida										
右突新镖水蚤 <i>Neodiaptomus schmackeri</i>	1.40	1.98	1.70	1.36	0.94	2.01	1.54	0.28	0.43	2.83
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	0.47	1.24	0.85	0.58	0.24	—	1.02	0.28	0.28	0.94
特异荡镖水蚤 <i>Neutrodiaptomus incongruens</i>	0.93	1.49	0.85	0.58	0.47	1.01	1.28	1.12	0.57	1.41
长江新镖水蚤 <i>N. Yangtsekiangensis</i>	—	—	—	0.19	0.24	—	—	—	—	—
大型中镖水蚤 <i>Sinodiaptomus sarsi</i>	0.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
猛水蚤目 Harpactioida										
沼泽叶颚猛水蚤 <i>Phyllognathopus paludosa</i>	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
剑水蚤目 Cyclopoida										
一种中剑水蚤 <i>Mesocyclops notius</i>	4.40	6.50	3.73	5.52	7.26	5.22	10.10	9.15	10.96	6.52
近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	1.47	2.78	2.49	2.76	1.82	—	3.37	1.53	—	4.35
白色大剑水蚤 <i>Macrocyclops albidus</i>	—	—	—	—	—	—	—	1.53	—	—
锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	0.98	1.86	—	—	—	—	—	—	—	—
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	0.98	2.78	2.49	—	—	—	—	—	—	—
蒙古温剑水蚤 <i>T. mongolicus</i>	0.49	—	—	—	—	2.61	—	—	—	1.09
短尾温剑水蚤 <i>T. brevifurcatus</i>	—	1.86	—	—	—	—	—	—	—	—
透明温剑水蚤 <i>T. hyalinus</i>	0.98	0.93	1.24	2.76	—	2.61	—	—	—	—
粗壮温剑水蚤 <i>T. dybowskii</i>	—	—	—	—	—	—	—	3.05	—	—
草绿刺剑水蚤 <i>Acanthocyclops viridis</i>	0.98	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(桡足幼体 + 成体) (copepodids + adults)	13.78	21.41	13.33	13.75	10.96	13.46	17.30	16.93	12.24	17.14
无节幼体 Nauplius	18.04	58.72	37.53	30.10	18.92	44.12	24.80	38.27	22.56	25.77

注：“—”表示无 Means nothing

图 1 千岛湖桡足类优势种生物量月变化
Fig.1 Monthly variations in biomass of dominant species of Copepoda in Qiandao Lake

密度在各采样站的变动不大。

桡足类生物量以 II 站(威萍)最高,达 0.191 mg/L,主要以剑水蚤为主,总生物量为 0.289 mg/L。另外,I 站(街口)、III 站(小金山)和 X 站(排岭水

图 2 千岛湖桡足类种类数出现频率分布
Fig.2 Frequency distributions of species numbers of Copepoda in Qiandao Lake

厂)桡足类的生物量亦较高。

2.4 桡足类群落特征

千岛湖桡足类群落密度变幅为 29.88 ~ 80.13 个/L,平均 46.81 个/L,生物量变幅为 0.066 ~ 0.289 mg/L,平均 0.126 mg/L,多样性指数变幅为 0.99 ~ 3.21,平均 1.54。桡足类群落特征以 I 站(街口)的种类数最多、密度和优势度较低而多样性

图3 千岛湖哲水蚤(桡足幼体+成体)、剑水蚤(桡足幼体+成体)和无节幼体密度月变化
Fig.3 Monthly variations in density of Calanoida (copepodids + adults), Cyclopoida (copepodids + adults) and nauplius in Qiandao Lake

图5 千岛湖哲水蚤(桡足幼体+成体)、剑水蚤(桡足幼体+成体)和无节幼体密度水平变化
Fig.5 Spatial variation in density of Calanoida (copepodids + adults), Cyclopoida (copepodids + adults) and nauplius in Qiandao Lake

指数最高,以IX站(大坝)种类数最少、生物量最低、优势度最大,其多样性指数也最低(表2)。

3 讨论

1) 千岛湖属于我国东部平原湖区,因在新安江筑坝兴建水电站使湖面加宽、水深增大而具典型水库生态系统的特点,因此,它与长江中下游地区因长江泛滥冲击而成的浅水湖泊不同:初级生产力低,水生高等植物缺乏,水体有分层现象。但千岛湖内有众多的岛屿,低水位时岛屿面积更大,岛屿的沿岸带

图4 千岛湖哲水蚤(桡足幼体+成体)、剑水蚤(桡足幼体+成体)和无节幼体生物量月变化
Fig.4 Monthly variation in biomass of Calanoida (copepodids + adults), Cyclopoida (copepodids + adults) and nauplius in Qiandao Lake

图6 千岛湖哲水蚤(桡足幼体+成体)、剑水蚤(桡足幼体+成体)和无节幼体生物量水平变化
Fig.6 Spatial variation in biomass of Calanoida (copepodids + adults), Cyclopoida (copepodids + adults) and nauplius in Qiandao Lake

更长。本次调查千岛湖栖息有桡足类16种,与浅水草型湖泊扁担塘中有14种桡足类相当(Xie & Noriko, 1998),比长江中下游典型的中-富营养型浅水湖的鄱阳湖23种少得多(谢钦铭,李长春,1998)。从桡足类的种类数而言,千岛湖的水域环境较为单纯,但此类研究还有待进一步深入。

谢平等(1996)研究了中-富营养型的武汉东湖浮游动物群落多样性与水体富营养化的关系后认为,桡足类等多数浮游生物类群的多样性随着水体营养水平的上升而下降。这在不同营养水平湖泊的

表 2 千岛湖 10 个采样站桡足类群落特征的年平均值
Table 2 Mean annual characteristic values of copepods community at ten sampling stations in Qiandao Lake

	采样站 Sampling stations									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
种类数 No. of species	12	9	7	7	6	5	5	7	4	6
密度 Density (ind. /L)	30. 82	80. 13	50. 86	43. 85	29. 88	57. 58	42. 10	55. 20	34. 80	42. 91
生物量 Biomass (mg/L)	0. 112	0. 289	0. 171	0. 104	0. 068	0. 097	0. 107	0. 081	0. 066	0. 168
优势度 Dominance	0. 32	0. 30	0. 28	0. 40	0. 66	0. 39	0. 58	0. 54	0. 90	0. 38
Margalef index (d)	3. 21	1. 82	1. 53	1. 59	1. 47	0. 99	1. 07	1. 50	0. 85	1. 33

表 3 4 个不同营养水平湖泊桡足类多样性指数比较
Table 3 Comparison of diversity indices of copepods in four lakes with different trophic levels

	千岛湖 Qiandao Lake	扁担塘 Biabdantang Lake	东湖 Donghu Lake	西湖 West Lake
面积 Area (km ²)	573. 0	3. 3	32. 0	5. 6
水深 Water depth (m)	34. 0	1. 9	21. 0	1. 6
营养水平 Trophic level	贫 - 中营养型 Oligo-mesotrophic	中营养型 Mesotrophic	中 - 富营养型 Meso-eutrophic	富 - 超富营养型 Eu-hypertrophic
多样性指数 Margalef index	1. 54	2. 55	1. 76	0. 45
资料来源 Data source	本文 This paper	谢平等 ,1998 Xie & Noriko ,1998	谢平等 ,1996 Xie & Noriko , 1996	魏崇德 ,俞大维 ,1983 Wei & Yu , 1983

桡足类多样性中也有反映 ,但当水体从中营养型向贫营养型过渡时 ,多样性却有降低的趋势。如中营养型扁担塘的桡足类多样性指数最高 ,随着水体营养水平的提高 ,武汉东湖和杭州西湖的桡足类多样性指数逐渐下降 ,但贫 - 中营养型千岛湖的桡足类多样性指数也低于中营养型的湖泊(表 3)。并且 ,千岛湖中水体透明度最低的 I 站其桡足类多样性指数最高 ,而水体透明度高的 IX 站其多样性指数却最低。

2) 浅水湖泊由于渔业的发展增加了对浮游动物的摄食压力 ,使浮游甲壳动物特别是枝角类的优势种明显的小型化甚至消失。如武汉东湖 20 世纪 80 年代较大型的枝角类优势种透明 溞(*Daphnia hyalina*) 雌体体长 1. 30 ~ 3. 04 mm)和隆线 溞(*D. carinata* ssp.) 雌体体长 1. 30 ~ 3. 71 mm) ,逐渐被 90 年代较小型的枝角类优势种微型裸腹 溞(*Monia micura*) 雌体体长 0. 65 ~ 0. 83 mm)所代替(谢平 ,高村典子 ,1996b) ;而较大型的桡足类优势种特异 糠水蚤(*Neutrodiaptomus incongruens*) 雌体体长 1. 47 ~ 1. 68 mm)和长江新 糠水蚤(*Neodiaptomus yangtsekiangensis*)的种群在东湖消失(杨宇峰等 ,1994) ,由于鱼类的捕食还使这两种桡足类退出鄱阳湖浮游动物优势种的地位(谢钦铭 ,李长春 ,1998)。而千岛湖中的特异 糠水蚤和比长江新 糠

水蚤略小的右突新 糠水蚤(*N. schmackeri*) 雌体体长 1. 11 ~ 1. 48 mm)仍为哲水蚤主要的优势种。可见 ,千岛湖桡足类受鱼类的摄食压力还比较轻。

3) 谢平等研究浅水草型湖泊——扁担塘桡足类群落结构后认为 :每个湖泊中桡足类的优势种都非常相似地集中到少数几个属或种 ,其他均为偶见种类(Xie & Noriko , 1998)。千岛湖的桡足类种类大多也为出现频率低的偶见种 ,出现频率高的几乎都集中在几个优势种上(图 2)。千岛湖桡足类的现存量以剑水蚤为主 ,其密度和生物量均大于哲水蚤 ,这不同于浅水草型湖泊扁担塘剑水蚤密度大于哲水蚤 ,而生物量却比哲水蚤小。另外 ,千岛湖桡足类无节幼体密度和生物量占桡足类的比率均比扁担塘小 ,可见桡足类的生产量也相应比扁担塘低。

Li *et al.* (1999)研究富营养型杭州西湖的浮游动物群落结构发现 :浮游动物群落多样性随着水域污染程度的加重而下降 ,并随着采样站间群落生物量的增大而显著下降 ,两者之间呈显著的负相关关系。但贫 - 中营养型千岛湖桡足类群落的多样性指数与其生物量之间无明显的相关关系 ,这又是贫营养型湖泊生物群落结构的特征之一。

参考文献

陈受忠, 1965. 武昌东湖桡足类数量的周年资料. 水生生物

学集刊, 5(2): 202 ~ 219

陈雪梅, 1981. 淡水桡足类生物量的测算. 水生生物学集刊, 7(3): 397 ~ 408

李共国, 魏崇德, 裴洪平, 1998. 引水对杭州西湖轮虫群落结构的影响. 动物学杂志, 33(5): 1 ~ 4

魏崇德, 俞大维, 1983. 杭州西湖浮游动物的研究. 杭州大学学报(自然科学版), 10(增刊): 1 ~ 17

谢平, 高村典子, 1996a. 武汉东湖桡足类群落结构与生物多样性的变化. 水生生物学报, 20(增刊): 24 ~ 29

谢平, 高村典子, 1996b. 滤食性鲢、鳙对东湖枝角类群落结构长期变化的影响. 水生生物学报, 20(增刊): 47 ~ 59

谢平, 诸葛燕, 戴莽, 高村典子, 1996. 水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响. 水生生物学报, 20(增刊): 30 ~ 37

谢钦铭, 李长春, 1998. 鄱阳湖桡足类的群落组成与现存量季节变动的初步研究. 江西科学, 16(3): 180 ~ 187

杨宇峰, 陈雪梅, 黄祥飞, 1994. 武汉东湖桡足类生态学演变. 水生生物学报, 18(4): 334 ~ 339

章宗涉, 黄祥飞(编), 1991. 淡水浮游动物研究方法, 北京: 科学出版社

中国科学院动物研究所甲壳动物研究组(编), 1979. 中国动物志(淡水桡足类), 北京: 科学出版社

Li G G, C D Wei, H Zhou and H P Pei, 1999. Ecological studies on zooplankton of the West Lake and the inflows. Report of the Suwa Hydrobiological Station Shinshu University, 11: 41 ~ 49

Xie P and T Noriko, 1998. Community structure of planktonic Copepoda in a shallow, macrophytic lake, Lake Biandantang. Acta Hydrobiologica Sinica, 22(2): 135 ~ 142

Xie P and T Noriko, 1997. Morphological and ecological studies on a cyclopoid copepod, Mesocyclops notius Kiefer in a subtropical chinese lake. Acta Hydrobiologica Sinica, 21(4): 334 ~ 340

(责任审稿人 :黄祥飞 ,责任编辑 :闫文杰)

生物多样性研究丛书

1. 《生物多样性科学 :原理与实践》
定价 :44.00 元 陈灵芝、马克平(主编)

2. 《保护生物学》
定价 35.00 元 蒋志刚、马克平(主编)

3. 《物种多样性研究与保护》
定价 38.50 元 宋延龄、杨亲二等(主编)

4. 《中国动植物遗传多样性》
定价 :35.00 元 胡志昂、张亚平(主编)

5. 《遗传多样性研究的原理与方法》
定价 38.80 元 季维智、宿兵(主编)

6. 《系统与进化植物学中的分子标记》
定价 35.00 元 邹喻苹、葛颂等(主编)

7. 《中国重点地区与类型生态系统多样性》
定价 :43.80 元 马克平(主编)

8. 《中国森林多样性及其地理分布》
定价 35.00 元 陈灵芝(主编)
9. 《人类活动对生态系统多样性的影响》
定价 :42.00 元 陈灵芝、王祖望(主编)

10.《生物多样性与人类未来——第二届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集》
定价 :80.00 元

11.《面向 21 世纪的中国生物多样性保护》——第三届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集
定价 :80.00 元

12.《生物多样性译丛(三)》
定价 :41.00 元

13.《生物多样性公约指南》(又名《生物多样性译丛(四)》)
定价 30.00 元
- 邮购请汇款到编辑部 ,并请另加书款 10% 的邮挂费。
本刊 E-mail 地址 :biodiv@ caf. forestry. ac. cn