

白洋淀轮虫群落结构特征

刘存歧^{1,*}, 邢晓光², 王军霞¹, 张亚娟¹

(1. 河北大学生命科学学院, 保定 071002; 2. 河北省水利技术试验推广中心, 石家庄 050061)

摘要:选取白洋淀 8 个采样点于 2005 年 9 月—2006 年 12 月对轮虫群落进行定性定量分析, 共检出轮虫 110 种, 采蒲台种类数最多, 其次是枣林庄, 南刘庄最少; 从季节来看, 春、秋轮虫种类数量最多, 夏季其次, 冬季最少; 根据优势种比较, 臂尾轮虫科、迈氏三肢轮虫、针簇多肢轮虫、龟甲轮虫属等甲型-中污性和乙型-中污性水体种类分布在污染较严重的南刘庄, 而单趾轮属、腔轮属、鬼轮属等清洁种类则分布在采蒲台、枣林庄、烧车淀等淀区。除端村外, 各采样点轮虫密度和生物量于 2006 年 4 月出现最大值。根据 $Q_{(B/T)}$ 指数评价白洋淀各采样点水质, 南刘庄属富营养, 圈头属寡营养, 其它样点属中营养水质。白洋淀轮虫的 Shannon-Wiener 指数以及均匀度指数则在夏秋季较高, 春季较低, 而物种多样性指数并不能完全反映白洋淀各采样点的水质。

关键词:白洋淀; 轮虫; 群落结构; 水质

Characteristics of rotifera community structure in the Baiyangdian Lake

LIU Cunqi^{1,*}, XING Xiaoguang², WANG Junxia¹, ZHANG Yajuan¹

1 College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China

2 Experimental & Extension Center of Hydrotechnics of Hebei Province, Shijiazhuang 050061, China

Abstract: The Baiyangdian lake is the biggest shallow freshwater lake in north China, which provides important ecosystem services. In recent years, due to reduced precipitation and sewage discharge from upstreams, the Baiyangdian ecosystem is experiencing a rapid decline and degradation, resulting in the lower species diversity, and ecosystem services are being lost. It is urgent task to protect the biological resources currently. In order to understand status of biological resources of the Baiyangdian lake, the community structures of rotifera and environmental characteristics at 8 stations of the Baiyangdian lake were investigated from september, 2005 to December, 2006. The results showed that sampling stations were subject to different degrees of pollution according to water quality index (PI and Pb/n). Three stations (Nanliuzhuang station, Wangjiazhuai station and Guangdian station) were in a very seriously polluted state, one station (Shaochedian station) was serious polluted, three stations (Quantou station, Duancun station and Zaolinzhuang station) were moderately polluted, and only one station (Caiputai station) was lightly polluted. 110 species of rotifera belonging to 38 genera, 12 families and 2 orders were identified, in which there was the most species at Caiputai station accounting for 73.9% of total species, and then Zaolinzhuang station, Shaochedian station, Duancun station, Quantou station, and the least at Nanliuzhuang station accounting for 35.2% of total species. Compared to survey data in 1990, total species number was 13 less than that and 47 species were identified only in this survey. Rotifera displayed higher species number in Spring and Autumn than in Summer and Winter. The dominant species showed temporal and spatial changes. *Filinia maior*, *Polyarthra trigla* and the species of Brachionidae and *Keratella* that indicated α and β type of medium pollution distributed at Nanliuzhuang station, but the species of *Monostyla*, *Lecana* and *Trichotria* living in clean water distributed at Caiputai station, Zaolinzhuang station and Shaochedian station, which indicated the water quality in different stations. Except Duancun station, cell density and biomass of rotifera at other stations displayed the peak in April or May, another smaller peak appeared in September or October. According to $Q_{(B/T)}$ which are ratio of species number of *Brachionus* and *Trichocerca*, Nanliuzhuang station was

基金项目:水体污染控制与治理科技重大水专项资助项目(2008ZX07209-007-06);河北省科学技术研究与发展指导计划资助项目(06276905)

收稿日期:2009-06-30; **修订日期:**2010-01-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liucunqi@sina.com.cn

eutrophic, Quantou station was Oligotrophic and the others were medium trophic. The Shannon-Weaver index and evenness index were higher in summer and autumn and lower in spring and winter. As the Baiyangdian lake was subject to frequent human activities in recent years, such as tourism, aquaculture, dredging and water diversion projects, the ecosystem was difficult to reach a steady state, the rotifer community structure was also constantly changing. Biodiversity index changed significantly in same station in different sampling time, which resulted in not indicating the water quality in the Baiyangdian lake completely. In conclusion, most of the water bodies of the Baiyangdian lake were in moderate pollution and severe pollution, rotifera community structure existed larger temporal and spatial heterogeneity.

Key Words: Baiyangdian Lake; rotifera; community structure; water quality

白洋淀地处华北平原中部,北纬 $38^{\circ}43'—39^{\circ}02'$,东经 $115^{\circ}38'—116^{\circ}07'$,总面积 366km^2 ,是华北平原最大、最典型的淡水湖泊,在滞洪滞沥、蓄水灌溉、水产养殖以及维护华北地区的生态平衡和调节当地气候等方面有着重要的生态系统服务功能^[1]。近 20a 来,由于降水量减少和上游污水的排放,白洋淀水域生态系统正处于急剧衰败与退化之中,水质逐年恶化,水生生物群落也发生了显著变化,生态系统服务功能正在转变或丧失。因此,对白洋淀生物资源进行有效保护显得尤为迫切^[2]。

20 世纪 50 年代至 90 年代,许多学者对白洋淀浮游生物各类群的分布与变化特征进行了广泛深入的研究^[3-8],积累了丰富的资料,但对轮虫的研究相对较少^[9]。为了充分了解白洋淀轮虫资源现状,本文于 2005 年 9 月至 2006 年 12 月对白洋淀 8 个采样点进行了 8 次轮虫群落调查研究,分析了轮虫群落结构、生物量、分布等特征,以期为白洋淀生态恢复、资源保护和功能分区提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点的设置

根据不同人工干扰条件及功能区划分原则,以污染性河流水入口、城郊易污区、旅游区、养鱼区、畜禽养殖区、静水蓄积区、代表性大淀、村落生活区等因素共布设了 8 个站点,站点采用 GPS 定位,以保持各次采样站点位置的同一性。位置分布如图 1 所示。于 2005 年 9、11 月,2006 年 4、5、7、9、10、12 月 8 次采样,可分别代表春夏秋冬 4 个季节。

为直观地比较各个采样点的水污染状况,采用林宗振^[10]提出的水环境质量综合指数的混合加权模式对白洋淀水环境质量进行了评估。根据同步采样的各样点水质化验结果,采用溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、总氮、总磷、氨氮、大肠杆菌等 7 项指标的年平均值,依据 GB3838-2002 III 类和 II 类水质标准计算 PI 指数和 Pb/n 指数,对各样点水质进行综合评价,年平均结果见表 1。

1.2 样本的采集与鉴定

轮虫定性样品用 25 号浮游生物网采集,定量样品用 HQM-1 型有机玻璃采水器从 0.5 m 处(白洋淀水深平均约 1.5 m)取 1 L 水样,加入碘液固定,在实验室中用沉淀法定容到 30 mL。

种类鉴定根据《淡水浮游生物研究方法》^[11]。轮虫的计数:摇匀 30mL 定量标本,吸取均匀标本 1mL,注入 1mL 计数框中显微镜进行全片计数,然后换算成每升水中的个数,两次计数,求其平均值。每升水的轮虫生物数量 = $30 \times \text{计数所得生物数量} / \text{计数的标本水量}(\text{mL})$,单位为个/L。轮虫生物量(湿重)按黄祥飞体积

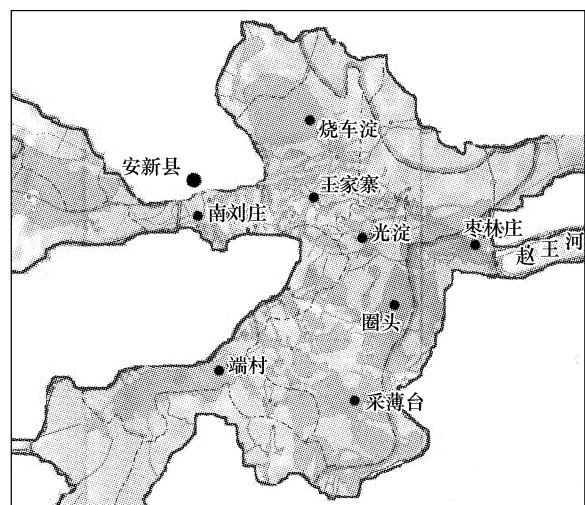


图 1 白洋淀采样点的布设

Fig. 1 Sampling stations in the Baiyangdian Lake

法实测统计^[12]。

表 1 白洋淀各采样点 PI 和 Pb/n 值
Table 1 Value of PI and Pb/n at each station of the Baiyangdian Lake

指数 Index	采样点 Station							
	南刘庄 Nanliuzhuang	王家寨 Wangjiazhai	光淀 Guangdian	烧车淀 Shaochedian	圈头 Quantou	端村 Duancun	枣林庄 Zaolinzhuang	采蒲台 Caifutai
PI	214.120	7.619	6.710	5.714	4.210	3.065	4.482	2.128
Pb/n	134.322	4.806	6.720	3.213	2.825	2.368	2.251	1.3695
污染级别 Degree of pollution	1	1	1	2	3	3	3	4

1:极严重污染;2:严重污染;3:中度污染;4:轻度污染

1.3 数据处理

根据优势度 Y 值确定优势种, Y 值大于 0.01 的确定为采样区域的优势种:

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

式中, n_i 为 i 种的个体数, N 为所有种类总个体数, f_i 为出现频率。

轮虫群落物种多样性指数按 Shannon-Wiener 指数:

$$H = - \sum (P_i) (\ln P_i)$$

式中, P_i 为物种 i 的个体占总个体数的比例;均匀度指数:

$$J = H / \ln S$$

式中, H 为 Shannon-Wiener 指数, S 为种数。

$Q_{(B/T)}$ 指数, Q 值是指所检出臂尾轮虫种类数/异尾轮虫种类数。

2 结果与分析

2.1 轮虫种类数量

8 次采样共发现轮虫 2 目,3 亚目,12 科,38 属,110 种(附录)。其中采蒲台种类数最多,达 82 种,占所发现总种类数的 73.9%,其次是枣林庄、烧车淀、端村、圈头、光淀、王家寨,南刘庄最少,仅 39 种,占所发现总种类数的 35.2%(图 2)。季节变化表现为春、秋轮虫种类数最多,夏季、冬季较少(表 2)。

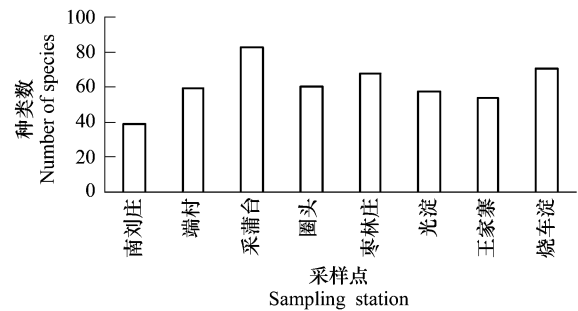


图 2 各采样点轮虫种类数对比

Fig. 2 Species number of rotifera in each station of the Baiyangdian lake

表 2 白洋淀各采样时期轮虫种类数

Table 2 Species number of rotifera in the Baiyangdian Lake in each sampling time

	采样时间 Sampling time							
	2005-09	2005-11	2006-04	2006-05	2006-07	2006-09	2006-10	2006-12
种类数 Species number	42	38	29	48	40	44	43	26

2.2 白洋淀轮虫群落的优势种及其时空变化

根据各种轮虫在群落中优势度 Y 值大小确定优势种,共确定 13 个优势种。白洋淀轮虫优势种存在明显的时空变化(表 3)。南刘庄优势种为长足轮虫(*Rotaria neptunia*)、角突臂尾轮虫(*Brachionus Angularis*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella vagla*)、螺形龟甲轮虫(*K. cochlearis*)、针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、迈氏三肢轮虫(*Filinia maior*)、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*),这些种类中大多数为生活在寡污性-“乙型”-中污性水体中的种类、“乙型”-中腐性水体种类(角突臂尾轮虫)、“乙型”-中腐性-寡污性水体种类(曲腿龟甲轮虫)、“乙

型”-中污性-寡污性水体种类(针簇多肢轮虫)、甲型-中污性-“乙型”-中污性水体种类(迈氏三肢轮虫);富营养化水域代表种类臂尾轮属在南刘庄出现有 8 种,疣毛轮属(*Synchaeta*)也较为常见。端村的轮虫优势种为角突臂尾轮虫、尾突臂尾轮虫(*B. caudatus*)、曲腿龟甲轮虫、螺形龟甲轮虫、裂痕龟纹轮虫、冠饰异尾轮虫(*Trichocerca lophoessa*)、裂足轮虫(*Schizocerca diversicornis*)、针簇多肢轮虫,与南刘庄近似。臂尾轮属种类在采蒲台则不成为优势种,曲腿龟甲轮虫、螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫为优势种,另外鬼轮属(*Trichotria*)、鞍甲轮虫属(*Lepadella*)、腔轮属(*Lecana*)、单趾轮虫属(*Monostyla*)在采蒲台较为常见,种类也较多。圈头的优势种为裂痕龟纹轮虫、针簇多肢轮虫、角突臂尾轮虫、蓼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)、曲腿龟甲轮虫、裂足轮虫、迈氏三肢轮虫、前节精囊轮虫(*Asplanchna priodonta*),其中裂痕龟纹轮虫、裂足轮虫在春末和秋初成为优势种。在枣林庄,角突臂尾轮虫早春和冬季为优势种,螺形龟甲轮虫早春、秋末、冬季为优势种,裂痕龟纹轮虫在春末夏季为优势种,针簇多肢轮虫、迈氏三肢轮虫在早春为优势种。光淀,角突臂尾轮虫早春和秋、冬季为优势种,曲腿龟甲轮虫、螺形龟甲轮虫秋末、春末和冬季成为优势种,裂痕龟纹轮虫和针簇多肢轮虫在春末、夏季和秋初为优势种。王家寨,角突臂尾轮虫全年除夏季外均为优势种,而尾突臂尾轮虫仅在夏季成为优势种,蓼花臂尾轮虫在初春和秋季成为优势种,曲腿龟甲轮虫夏季为优势种,螺形龟甲轮虫在春末夏初和冬季成为优势种,裂痕龟纹轮虫在春末、秋初为优势种,针簇多肢轮虫在春秋为优势种,迈氏三肢轮虫在早春为优势种。烧车淀,角突臂尾轮虫早春和秋、冬季为优势种,曲腿龟甲轮虫、螺形龟甲轮虫秋末、冬季成为优势种,裂足轮虫在秋末为优势种,蓼花臂尾轮虫在早春成为优势种,裂痕龟纹轮虫在春末、夏季和秋初为优势种,针簇多肢轮虫在早春、夏季、秋冬季为优势种。长圆疣毛轮虫在秋末为优势种,迈氏三肢轮虫在早春为优势种。

表 3 白洋淀轮虫群落优势种的时空变化
Table 3 Temporary and spatial changes of dominant species of rotifera communities of the Baiyangdian Lake

优势种 Dominant species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
长足轮虫 <i>R. neptunia</i>			南刘庄	南刘庄
角突臂尾轮虫 <i>B. angularis</i>	南刘庄、端村、圈头、枣林庄、王家寨、烧车淀	南刘庄、端村	南刘庄、端村、圈头、枣林庄、王家寨、烧车淀	南刘庄、王家寨、烧车淀
尾突臂尾轮虫 <i>B. caudatus</i>		端村、圈头、王家寨		
蓼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	南刘庄、王家寨、烧车淀		王家寨	
曲腿龟甲轮虫 <i>K. vagla</i>	南刘庄、采蒲台、圈头、	王家寨	南刘庄、烧车淀	端村、光淀、烧车淀
螺形龟甲轮虫 <i>K. cochlearis</i>	除烧车淀外	王家寨	圈头、烧车淀	除南刘庄外
矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>	采蒲台			
裂足轮虫 <i>S. diversicornis</i>	圈头		圈头、烧车淀	
前节晶囊轮虫 <i>A. priodonta</i>	南刘庄			
冠饰异尾轮虫 <i>T. lophoessa</i>	端村、圈头			
针簇多肢轮虫 <i>P. trigla</i>	全部	端村、圈头、光淀、烧车淀	南刘庄、圈头、光淀、王家寨、烧车淀	圈头、王家寨、烧车淀
迈氏三肢轮虫 <i>F. maior</i>	南刘庄、圈头、枣林庄、王家寨、烧车淀			
裂痕龟纹轮虫 <i>A. fissa</i>	端村、圈头、枣林庄、光淀、王家寨、烧车淀	采蒲台、光淀、烧车淀	全部	

2.3 轮虫生物密度和生物量

除端村外,各采样点轮虫密度和生物量季节变化具有相同的趋势(图 3),在 2006 年 4 月出现最大值。而在端村生物量和生物密度达到最低值,这是因为在 2006 年 3—4 月份从白洋淀上游王快、安各庄水库调水冲污,端村位于入水口附近,水质清新,导致密度和生物量降低。调水完成后,5 月份采样,浮游动物生物密度达到最高值,随后下降;圈头和枣林庄由于受调水影响,虽然 4 月份生物密度水平也较高,但最高值也出现在 2006 年 5 月。夏季轮虫生物密度下降,7 月份达到最低值,随后各点有不同程度的上升。光淀、王家寨、烧车

淀、枣林庄、圈头、采蒲台于2006年9月或10月出现第2次小的峰值。

采样点变化对比表明,南刘庄生物密度和生物量最高,最高值出现在2006年4月,分别达到12176个/L和8.73 mg/L,随后依次是烧车淀、王家寨、圈头、端村、光淀、枣林庄和采蒲台,采蒲台2005年9月的生物密度和生物量仅为22个/L和0.0034 mg/L。

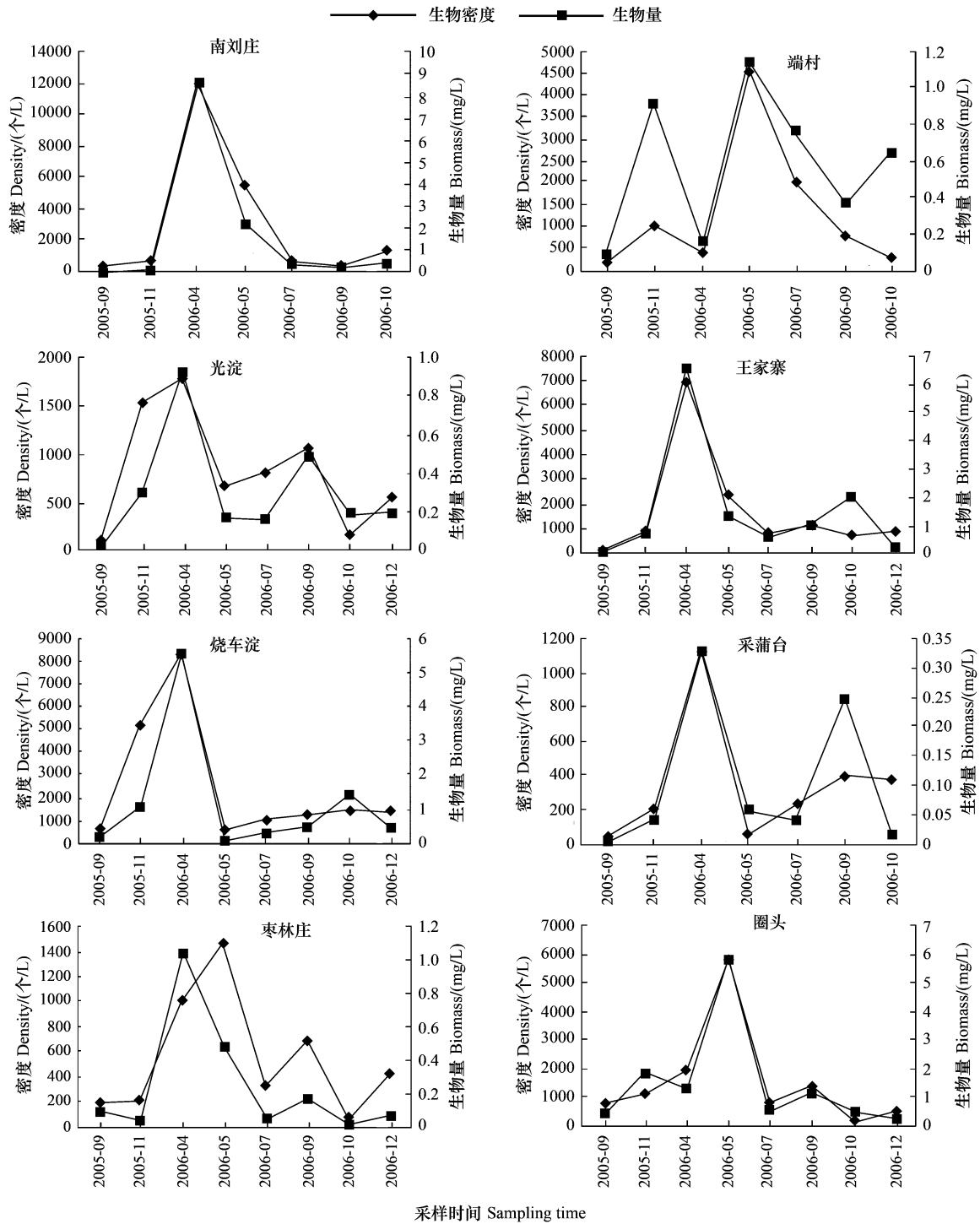


图3 白洋淀各采样点轮虫生物密度和生物量时间变化

Fig. 3 Temporal variations of density and biomass of rotifera in the Baiyangdian Lake

2.4 物种多样性指数

2.4.1 Shannon-Wiener 多样性指数

调查期间 Shannon-Wiener 多样性指数结果见表 4,平均值为 2.36,最低值在南刘庄,2005 年 11 月仅为 0.074,最高值出现在 2005 年 9 月的枣林庄,达到 4.195。全淀轮虫 Shannon-Wiener 多样性指数平均值的季节变化在 2005 年 9 月最高,为 3.131,同年 11 月迅速下降到最低值 1.698,后逐渐升高,至 2006 年 9 月、10 月达到最高,后又开始下降,总体表现为夏秋高而冬春低。具体到各采样点,南刘庄、采蒲台、光淀、烧车淀均是在 2005 年 11 月达到最低值,后开始逐渐升高,到 2006 年夏秋季(7 月、9 月、10 月份)达到最高,后下降,冬季最低。端村、王家寨最低点在 2006 年 4 月,端村因水质较为清洁,多样性指数较低,之后逐渐升高,至 7 月份升至最高,10 月份之后开始下降。圈头和枣林庄的最低点则在 2006 年的 5 月,后开始上升,至 9 月、10 月份最高点后下降。

表 4 2006 年 9 月—2006 年 12 月白洋淀各采样点 Shannon-Wiener 多样性指数

Table 4 Shannon-Wiener index of rotifera community of each station in the Baiyangdian Lake from Sep. 2005 to Dec. 2006									
站点 Sampling station	2005-09	2005-11	2006-04	2006-05	2006-07	2006-09	2006-10	2006-12	平均值 Mean
南刘庄	1.50	0.07	1.45	2.19	2.98	1.83	2.96	—	1.85
端村	2.67	2.10	1.77	2.27	2.13	3.26	2.97	—	2.46
采蒲台	2.12	1.37	2.41	2.44	1.75	3.05	1.13	—	2.04
圈头	2.27	2.73	2.39	0.89	3.17	3.33	2.73	2.60	2.51
枣林庄	3.74	2.46	2.26	2.05	2.45	2.86	3.18	2.11	2.64
光淀	3.37	0.90	1.17	2.62	2.60	3.34	2.81	2.07	2.36
王家寨	2.72	2.70	1.36	2.60	3.33	3.30	3.45	2.19	2.71
烧车淀	2.74	0.77	1.72	1.31	2.53	3.11	3.40	2.43	2.25
平均值	2.64	1.64	1.82	2.05	2.62	3.01	2.83	2.28	2.36

2.4.2 均匀度指数变化

全年均匀度指数平均值为 0.5948,南刘庄最低,为 0.5050,枣林庄最高,为 0.6741。从季节变化来看,2005 年 9 月最高,至 11 月份最低,其次是在 2005 年 4 月,随后升高,至 2006 年 10 月达到最高,表现为夏秋季较高,冬春季降低(表 5)。

表 5 各采样时间白洋淀浮游动物均匀度指数

Table 5 Evenness index of zooplankton in the Baiyangdian Lake in each sampling time									
站点 Sampling station	2005-09	2005-11	2006-04	2006-05	2006-07	2006-09	2006-10	2006-12	平均值 Mean
南刘庄	0.4729	0.0421	0.4035	0.5472	0.7816	0.5777	0.7097	—	0.5050
端村	0.7450	0.5260	0.5596	0.5562	0.5026	0.7433	0.7425	—	0.6250
采蒲台	0.9122	0.4874	0.6020	0.7704	0.4722	0.7468	0.2828	—	0.6105
圈头	0.5178	0.6219	0.6450	0.1946	0.7470	0.7256	0.6985	0.6821	0.6041
枣林庄	0.8389	0.6147	0.6305	0.5006	0.6446	0.6243	0.8359	0.7033	0.6741
光淀	0.8254	0.2512	0.3164	0.6719	0.5661	0.6945	0.7597	0.5594	0.5806
王家寨	0.6791	0.6594	0.3469	0.5838	0.7701	0.7188	0.7865	0.5611	0.6382
烧车淀	0.6230	0.1680	0.4297	0.3439	0.5323	0.6625	0.7422	0.6217	0.5154
平均值	0.7018	0.4213	0.4917	0.5211	0.6270	0.6867	0.6947	0.6255	0.5948

2.5 $Q_{(B/T)}$ 指数

$Q_{(B/T)}$ 指数常用于评价水质, $Q_{(B/T)}$ 值是指所检出臂尾轮虫种类数与异尾轮虫种类数的比值。结果见表 6,在南刘庄 Q 值最大,为 2,圈头最低,小于 1,其它值均在 1—1.5 之间。根据 Sladeck^[13] 提出的 $Q_{(B/T)}$ 指数评价水质的标准,南刘庄为富营养,圈头属寡营养,其他点属中营养水质。

3 讨论

轮虫是淡水水体中浮游生物的重要类群之一,虽然个体较小,但其具有数量大、种类多、发育时间短、周转快、生产量高、对环境反应敏感等特点,在水生态系统结构和功能、生物生产力以及水质评价等方面具有重要意义^[13-14]。对贫营养、中营养和富营养湖泊、水库和池塘中轮虫的群落结构及其与水环境关系的研究,国外已有很多报道^[14-16]。国内也有许多学者用轮虫群落评价水质污染和水体营养状况,包括作为污染指示生物种、生物多样性指数、 E/O 和 $Q_{B/T}$ 指数,表明轮虫的种群动态以及群落结构与功能的变化能够直接或间接地反映水体的水质状况及其发展趋势^[17-22]。

表 6 白洋淀各采样点轮虫 $Q_{B/T}$ 指数

Table 6 $Q_{B/T}$ index of Rotifer at each station in the Baiyangdian Lake

采样点 Sampling station	南刘庄 Nanliuzhuang	端村 Duancun	采蒲台 Caiputai	圈头 Quantou	枣林庄 Zaolinzhuang	光淀 Guangdian	王家寨 Wangjiazhai	烧车淀 Shaochedian
臂尾轮虫属种类 Species number of <i>Brachionus</i>	8	9	9	8	9	9	8	9
异尾轮虫属种类 Species number of <i>Trichocerca</i>	4	8	7	9	8	8	7	7
$Q_{B/T}$	2.00	1.13	1.29	0.89	1.13	1.13	1.14	1.29

阎书民等^[9]在 1990 年发现白洋淀共有轮虫 123 种,而本研究调查期间共发现轮虫 110 种,与之相比较,有 60 种本次采样未发现,而新发现种类为 47 种。这些种类差异,可能是因为采样点布设差异所引起,或是因为白洋淀历经干涸,频繁引水的水文变化过程,使得轮虫种类变化显著。另外,白洋淀地区水产养殖业发达,渔业种质多从外地调入,一些种类很可能随渔业种质的调入而从其他流域引入白洋淀。

在一定的范围内,水体富营养化使物种多样性降低^[22]。参考各样点的水环境质量综合指数 PI 和 Pb/n 指数,轮虫生物量、生物密度、Shannon-Wiener 多样性指数、均匀度指数以及 Q/T 指数在白洋淀各采样点大小排序不尽相同,但 Shannon-Wiener 多样性指数、均匀度指数都是在南刘庄最低,其 $Q_{B/T}$ 指数最高,也表明南刘庄淀区由于受城郊和府河污染,水质最差,水环境质量综合指数分析为极严重污染,优势种为角突臂尾轮虫和长足轮虫等污染指示种。采蒲台由于远离污染源,水草茂盛,净化功能较强,水质较好,水环境质量综合指数分析为轻度污染,轮虫种类最多,但由于单位水体内存取轮虫数量较少,计算所得多样性指数并不高,并不能准确反映该采样点的水质状况,此样点优势种为螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫等污染指示种类,但喜好清洁水质的鬼轮属、鞍甲轮虫属、腔轮属、单趾轮虫属在采蒲台较为常见,显示此处水质有很大好转。王家寨受当地村镇生产生活以及旅游影响,水环境质量综合指数分析为极严重污染,其轮虫生物量和生物密度也较高,所检出的种类数较少,但均匀度指数和 Shannon-Wiener 指数却较高;圈头、枣林庄和端村水质主要受当地村镇生产生活污染,水环境质量综合指数分析为中度污染,轮虫生物量和生物密度也较低,均匀度指数和 Shannon-Wiener 指数较高;光淀也分析为极严重污染,但其轮虫生物量和生物密度较低,种类数少,均匀度指数和 Shannon-Wiener 指数较低。烧车淀是位于白洋淀北部的较大淀区,分析为严重污染,轮虫生物量和生物密度很高,均匀度指数和 Shannon-Wiener 指数较低,但种类数较多。

由于白洋淀多数淀区水草茂盛,水生植物的净化功能强烈,水质一般在夏季最好,轮虫的种类数、生物量和生物密度则在春季最多,秋季次之,夏季较少,生物量高峰出现在 4—5 月份,第二次小高峰出现在 9—10 月份,这与武汉东湖、大兴凯湖和道观河水库类似^[23-25];与大兴凯湖不同^[24]的是,白洋淀轮虫的 Shannon-Wiener 指数以及均匀度指数则在夏秋季较高,春季较低。

冯建社等^[7]也指出利用不同生物指数对水体进行评价有时会存在一定差异,因此实际评价中不能单从一种指数结果就轻易下结论,经综合考虑并结合理化监测结果,才能得到符合实际的结论。白洋淀由于近年来人类活动频繁,许多区域都不同程度、不同频次受到外界的干扰,水体很难达到稳定的状态,轮虫的群落结

构也在不断地变化。多样性指数各采样时间变化显著,采用 8 次采样平均值,所得结果仍不甚理想,可见在白洋淀利用轮虫多样性指数评价水质有很大的局限性。

References:

- [1] Chorographic office of Anxin county. Chorography of the Baiyangdian Lake. Beijing: Chinese Bookstore Press, 1996:1-5.
- [2] Li J G, Li G B, Cui H M, Wang D W. Degradation of reed wetland and protection study in Baiyangdian. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 2(3): 35-38.
- [3] Shen J R, Zhang C Z. Cladocera in the Baiyang lake, Hebei province. Chinese Journal of Zoology, 1964, (3): 128-132.
- [4] Shen J R, Song D X. Copepods in the Baiyang lake, Hebei province. Acta Zoologica Sinica, 1965, 17(2): 167-183.
- [5] Yan S M, Mao W D, Gao Y Q, Zhang J, Yang Z. Cladocera in the Baiyangdian lake after water restoring. Chinese Journal of Zoology, 1992, 27(4): 8-12.
- [6] Xu M Q. Evaluation of self-purification efficiency of Fuhe stream-Baiyangdian lake through zooplankton. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(3): 212-220.
- [7] Feng J S, Zhang L Y. Investigation on the composition of copepods in Lake Baiyangdian. Transaction of Oceanology and Limnology, 1997, (4): 43-47.
- [8] Zhang Y K, Zhang X S, Tian Y M. Study on assessment of water quality of the lake Baiyangdian using phytoplankton community structure. Journal of Hebei University(Natural Edition), 1997, (4): 39-46.
- [9] Yan S M, Zhang J, Mao W D, Gao Y Q, Li J B. The preliminary report on rotatoria in the Baiyangdian lake after water restoring. Transactions of Oceanology and Limnology, 1991, (1): 42-53.
- [10] Lin Z Z. Mixing weight model for calculating comprehensive index of environmental quality. Environmental Science, 1985, 6(2): 67-69.
- [11] Zhang Z S, Huang X F. Research Methods for Freshwater Plankton. Beijing: Science Press, 1991: 252-288.
- [12] Chen W M, Huang X F, Zhou W P. Observational Methods of Lake Ecosystem. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2004: 185-192.
- [13] Sladeck V. Rotifera as indicators of water quality. Hydrobiology, 1983, 100: 169-201.
- [14] Herzig A. The analysis of planktonic rotifer populations: A plea for long-term investigations. Hydrobiologia, 1987, 147: 163-180.
- [15] Maemets A. Rotifers as indicators of lake types in Estonia. Hydrobiologia, 1983, 104: 357-361.
- [16] Haberman J, Laugaste R. On characteristics reflecting the trophic state of large and shallow Estonian Lakes (Lake Peipsi, Lake Vortsjarv). Hydrobiologia, 2003, 506-509, 737-744.
- [17] Margatritora G F, Fumanti B, Alfinito S, Tatrtari G, Vagaggini D, Seminara M, Cavacini P, Vuillermoz E, Rosati M. Trophic condition of the volcanic lake Nemi (Central Italy) environmental factors and planktonic communities in a changing environment. Journal of Limnology, 2005, 64, 119-128.
- [18] Lin Y Z, Li Y X, Guo P Y, Xu S G. The rotifers' community and evaluation of water quality in Dongping lake. Journal of Shangdong Normal University(Natural Edition), 1998, 13(1): 63-67.
- [19] Rao X Z, Xu Y Q, Chen Y C. A study on rotifers and water quality assessment of the Fuzhou inland river. Journal of Fujian Normal University (Natural Edition), 2000, 16(1): 71-75.
- [20] Li G G, Yu Z M. Community Structure of Zooplankton in Lake Qiandaohu. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(2): 156-162.
- [21] Li G G, Yu Z M. Community structure of rotifera and ecological assessment of water quality in Qiandao Lake. Journal of Lake Science, 2003, 15(2): 169-176.
- [22] Qian F P, Xi Y L, Wen X L, Huang L. Eutrophication impact on community structure and species diversity of rotifers in five lakes of Anhui. Biodiversity Science, 2007, 15(4): 344-355.
- [23] Liu J K. Research on Ecology of Donghu(1). Beijing: Science Press, 1990: 1-407.
- [24] Jiang Z F, Dong C Z, Zhan P R. The population structure of zooplankton in Daxingkai Lake. Journal of Dalian Fishries University, 2003, 18(4): 292-295.
- [25] Ma X F, Xiong B X, Wang W M, Wang M X, Liu X L. Community Structure and Species diversity of Zooplankton in Daoguanhe Reservoir, Hubei Province. Journal of Huazhong Agricultural University, 2005, 24(1), 63-67.

参考文献:

- [1] 安新县地方志办公室. 白洋淀志. 北京:中国书店出版社,1996:1-5.
- [2] 李建国,李贵宝,崔慧敏,王殿武. 白洋淀芦苇湿地退化及其保护研究. 南水北调与水利科技,2004,2(3):35-38.

- [3] 沈嘉瑞, 张崇洲. 河北省白洋淀的枝角类. 动物学杂志, 1964, (3): 128-132.
- [4] 沈嘉瑞, 宋大祥. 河北省白洋淀的桡足类. 动物学报, 1965, 17(2): 167-183.
- [5] 阎书民, 毛卫东, 高艳芹, 张军, 杨振. 河北省白洋淀蓄水后的枝角类. 动物学杂志, 1992, 27(4): 8-12.
- [6] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果. 水生生物学报, 1996, 20(3): 212-220.
- [7] 冯建社, 张丽艳. 白洋淀桡足类种类组成的调查. 海洋湖沼通报, 1997, (4): 43-47.
- [8] 张义科, 张雪松, 田玉梅. 利用浮游植物群落评价白洋淀水质的研究. 河北大学学报(自然科学版), 1997, (4): 39-46.
- [9] 阎书民, 张军, 毛卫东, 高艳芹, 李京彬. 白洋淀重新蓄水后的轮虫. 海洋湖沼通报, 1991, (1): 42-53.
- [10] 林宗振. 计算环境质量综合指数的混合加权模式. 环境科学, 1985, 6(2): 67-69.
- [11] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 252-288.
- [12] 陈伟民, 黄祥飞, 周万平. 湖泊生态系统观测方法. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 185-192.
- [18] 林育珍, 李玉仙, 郭沛涌, 许士国. 东平湖轮虫群落与水质评价. 山东师范大学学报(自然科学版), 1998, 13(1): 63-67.
- [19] 饶小珍, 许友勤, 陈寅出. 福州内河的轮虫与水质评价. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(1): 71-75.
- [20] 李共国, 虞左明. 千岛湖浮游动物的群落结构. 生态学报, 2002, 22(2): 156-162.
- [21] 李共国, 虞左明. 千岛湖轮虫群落结构及水质生态学评价. 湖泊科学, 2003, 15(2): 167-176.
- [22] 钱方平, 席貽龙, 温新利, 黄林. 湖泊富营养化对轮虫群落结构及物种多样性的影响. 生物多样性, 2007, 15(4): 344-355.
- [23] 刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990: 1-407.
- [24] 姜作发, 董崇智, 战培荣. 大兴凯湖浮游动物群落结构及生物多样性. 大连水产学院学报, 2003, 18(4): 292-295.
- [25] 马徐发, 熊邦喜, 王卫民, 王明学, 刘小玲. 道观河水库浮游动物的群落结构与物种多样性. 华中农业大学学报, 2005, 24(1): 63-67.

附录 白洋淀轮虫种类与分布

Appendix Rotifera species and distribution of the Baiyangdian Lake

种类 Species	采样点 Sampling station							
	南刘庄	端村	采蒲台	圈头	枣林庄	光淀	王家寨	烧车淀
双巢目 Digonota								
1. 蛭态亚目 Bdelloidea								
1.1 轮虫属 Rotaria								
长足轮虫 <i>R. neptunia</i>	+	+	+	-	-	-	-	-
转轮虫 <i>R. rotatoria</i>			-					
1.2 间盘轮虫属 Dissotrocha								
尖刺间盘轮虫 <i>D. aculeata</i>			-		-		-	-
单巢目 Monogononta								
2. 游泳亚目 Ploima								
2.1 臂尾轮虫科 Brachionidae								
2.1.1 臂尾轮虫属 Brachionus								
镰状臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>		+	-		-	-		+
角突臂尾轮虫 <i>B. angularis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
尾突臂尾轮虫 <i>B. caudatus</i>	+	+	+	+	-	+	+	+
花筐臂尾轮虫 <i>B. capsuliflorus</i>	+	+	-	-	-	-	-	+
萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
剪形臂尾轮虫 <i>B. forficulata</i>	-	+	-	+	+	+	+	+
壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i>	+	+	-	-	+	-	+	+
蒲达臂尾轮虫 <i>B. budapestiensis</i>	+	-	-	-	-	-	+	+
矩形臂尾轮虫 <i>B. leydigii</i>	-	-	-	-	+	-	-	+
2.1.2 龟甲轮虫属 Keratella								
矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>	-	-	+	+	-	-	+	-
曲腿龟甲轮虫 <i>K. vagla</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
螺形龟甲轮虫 <i>K. cochlearis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1.3 叶轮虫属 Nothoca								
鳞状叶轮虫 <i>N. squamula</i>			-					

续表

种类 Species	采样点 Sampling station							
	南刘庄	端村	采蒲台	圈头	枣林庄	光淀	王家寨	烧车淀
尖削叶轮虫 <i>N. acuminata</i>			-					
2.1.4 裂足轮虫属 <i>Schizocerca</i>								
裂足轮虫 <i>S. diversicornis</i>	-	+	-	++	-	+	+	++
2.1.5 棘管轮虫属 <i>Mytilina</i>								
双刺三角棘管轮虫 <i>M. trigona</i>			-	-				-
腹棘管轮虫 <i>M. ventralis</i>					-			
2.1.6 鬼轮虫属 <i>Trichotria</i>								
台杯鬼轮虫 <i>T. pocillum</i>		-	-					
方块鬼轮虫 <i>T. tetractis</i>		-	-	-	-	-		
2.1.7 鞍甲轮虫属 <i>Lepadella</i>								
盘状鞍甲轮虫 <i>L. patella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
半圆鞍甲轮虫 <i>L. apside</i>			-	-				
欧式鞍甲轮虫 <i>L. ehrenbergi</i>			-					
卵形鞍甲轮虫 <i>L. ovalis</i>			-					
尖尾鞍甲轮虫 <i>L. acuminata</i>					-	-		
冠突鞍甲轮虫 <i>L. cristata</i>							-	
2.1.8 平甲轮虫属 <i>Platyas</i>								
四角平甲轮虫 <i>P. quadricornis</i>	-		-	-		-	-	
十指平甲轮虫 <i>P. militaris</i>	-					-		-
2.1.9 合甲轮虫属 <i>Diplois</i>								
台氏合甲轮虫 <i>D. daviesiae</i>	-		-					-
2.1.10 水轮虫属 <i>Epiphanes</i>								
椎尾水轮虫 <i>E. senta</i>		-	-	+	-	-		
2.1.11 须足轮虫属 <i>Euchlanis</i>								
大肚须足轮虫 <i>E. dilatata</i>		-	-		-			-
透明须足轮虫 <i>E. pellucida</i>	-	-	-	-	+	-		-
梨状须足轮虫 <i>E. piriformis</i>			-					
三翼须足轮虫 <i>E. triquetra</i>			-		-			
2.1.12 龟纹轮虫属 <i>Anuraeopsis</i>								
裂痕龟纹轮虫 <i>A. fissa</i>	++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++
2.1.13 鳞冠轮虫属 <i>Squatinella</i>								
吻突鳞冠轮虫 <i>S. rostrum</i>		-		-	-			-
2.1.14 多棘轮虫属 <i>Macrochaetus</i>								
近距多棘轮虫 <i>M. subquadratus</i>					-			-
绢多棘轮虫 <i>M. serica</i>							-	
2.1.15 狭甲轮虫属 <i>Colurella</i>								
钩状狭甲轮虫 <i>C. uncinata</i>		-			-	-	-	
钝角狭甲轮虫 <i>C. obtusa</i>			-		-	-		+
偏斜钩状狭甲轮虫 <i>C. deflexa</i>					-			-
2.2 晶囊轮虫科 <i>Asplanchnidae</i>								
2.2.1 晶囊轮虫属 <i>Asplanchna</i>								
前节晶囊轮虫 <i>A. priodonta</i>	++	+	-	+	-	+	+	+
盖氏晶囊轮虫 <i>A. girodi</i>	+	-	-	-		-	+	-
西式精囊轮虫 <i>A. sieboldi</i>		-		-				
卜氏精囊轮虫 <i>A. brightwelli</i>	+	-	-	+	-	-	+	+
2.2.2 囊足轮虫属 <i>Asplanchnopus</i>								

续表

种类 Species	采样点 Sampling station							
	南刘庄	端村	采蒲台	圈头	枣林庄	光淀	王家寨	烧车淀
多突囊足轮虫 <i>A. multiceps</i>	-				-	-	-	
2.3 腹尾轮科 <i>Gastropodidae</i>								
2.3.1 无柄轮属 <i>Ascomorpha</i>								
无柄轮虫 <i>A. sp.</i>					-			
2.4 鼠轮科 <i>Trichocercidae</i>								
2.4.1 同尾轮虫属 <i>Diurella</i>								
罗氏同尾轮虫 <i>D. rousseleti</i>	-	-		-	-	-	-	-
粗壮同尾轮虫 <i>D. sp.</i>		-		-				
对棘同尾轮虫 <i>D. stylata</i>		+	-	+	-	-	-	+
尖头同尾轮虫 <i>D. tigris</i>						-	-	
田奈同尾轮虫 <i>D. dixon-nuttalli</i>			-					
纤巧同尾轮虫 <i>D. tenuior</i>		-	-		-			-
韦氏同尾轮虫 <i>D. weberi</i>						-		
2.4.2 异尾轮虫属 <i>Trichocerca</i>								
二突异尾轮虫 <i>T. bicristata</i>		-		-	-	-	-	-
冠饰异尾轮虫 <i>T. lophoessa</i>	+	++	-	++	-	-	-	+
长刺异尾轮虫 <i>T. longiseta</i>		-	-	-	-	-	-	-
园筒异尾轮虫 <i>T. cylindrica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
纵长异尾轮虫 <i>T. elongata</i>		+	-	-	-	-		
刺盖异尾轮虫 <i>T. capucina</i>			-	-				
暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i>		+		-	+	+	-	-
鼠异尾轮虫 <i>T. rattus</i>	-	-	-	-	-	+	-	-
细异尾轮虫 <i>T. gracilis</i>	-	+	-	+	-	+	-	-
2.5 疣毛轮科 <i>Synchaetidae</i>								
2.5.1 多肢轮虫属 <i>Polyarthra</i>								
针簇多肢轮虫 <i>P. trigla</i>	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++
真翅多肢轮虫 <i>P. euryptera</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
2.5.2 疣毛轮属 <i>Synchaeta</i>								
梳状疣毛轮虫 <i>S. pectinata</i>	+	+	-	+	+	+	+	+
颤动疣毛轮虫 <i>S. tremula</i>		-	-	+	+	-	+	+
细长疣毛轮虫 <i>S. sp.</i>			-					-
尖尾疣毛轮虫 <i>S. stylata</i>	+	+	+	-	+	-	-	-
长圆疣毛轮虫 <i>S. oblonga</i>	+	+	+	+	+	+	+	++
2.6 腔轮虫科 <i>Lecanidae</i>								
2.6.1 腔轮虫属 <i>Lecane</i>								
月形腔轮虫 <i>L. luna</i>		+	-	-	-			-
蹄形腔轮虫 <i>L. unguolata</i>		-	-	-	-			-
罗氏腔轮虫 <i>L. ludwigii</i>			-		-			
突纹腔轮虫 <i>L. hornemanni</i>			-					
共趾腔轮虫 <i>L. sympoda</i>			-					
短趾腔轮虫 <i>L. glypta</i>			-	-				
无甲腔轮虫 <i>L. inermis</i>			-					
真胫腔轮虫 <i>L. eutarsa</i>			-	-				
柔韧腔轮虫 <i>L. flexilis</i>			-	-		-		-
无甲腔轮虫 <i>L. inermis</i>			-					
圆约腔轮虫 <i>L. niothis</i>						-		-

续表

种类 Species	采样点 Sampling station							
	南刘庄	端村	采蒲台	圈头	枣林庄	光淀	王家寨	烧车淀
瘤甲腔轮虫 <i>L. nodosa</i>							-	
2.6.2 单趾轮虫属 <i>Monostyla</i>								
囊形单趾轮虫 <i>M. bulla</i>		-	-	-	-	+	-	-
梨形单趾轮虫 <i>M. pyriformis</i>	-	+	-	-	+	-	-	-
月形单趾轮虫 <i>M. lunaris</i>	-	-	-		-	-	-	-
爪形单趾轮虫 <i>M. unguitata</i>		-	-	-	-		-	
尖爪单趾轮虫 <i>M. cornuta</i>		-	-	-	-		-	-
尖趾单趾轮虫 <i>M. closteroerca</i>			+		-	-		-
精致单趾轮虫 <i>M. elachis</i>			-					-
索纹单趾轮虫 <i>M. tethis</i>			-					
四齿单趾轮虫 <i>M. quadridentata</i>			-					-
钝齿单趾轮虫 <i>M. crenata</i>				-				
叉爪单趾轮虫 <i>M. furcata</i>					-			
2.7 椎轮虫科 <i>Notommatidae</i>								
2.7.1 椎轮虫属 <i>Notommata</i>								
耳叉椎轮虫 <i>N. aurita</i>	-				-		-	+
2.7.2 高桥轮属 <i>Scardium</i>								
高桥轮虫 <i>S. longicaudum</i>					-	-		+
2.7.3 晓柱轮属 <i>Eothinia</i>								
纵长晓柱轮虫 <i>E. elongata</i>		+	-	-	-	-	-	-
2.8 猪吻轮科 <i>Dicranophoridae</i>								
2.8.1 猪吻轮属 <i>Dicranophorus</i>								
钳形猪吻轮虫 <i>D. forcipatus</i>		-	-	-	-	-	-	-
3. 簇轮亚目 <i>Flosculariacea</i>								
3.1 镜轮科 <i>Testudinellidae</i>								
3.1.1 三肢轮虫属 <i>Filinia</i>								
迈氏三肢轮虫 <i>F. maior</i>	+++	+	+	++	++	+	++	+++
长三肢轮虫 <i>F. longiseta</i>	+	-		-	-		-	-
跃进三肢轮虫 <i>F. passa</i>	+		-		+		-	+
臂三肢轮虫 <i>F. brachiata</i>	-		-		-	-	+	+
3.1.2 镜轮属 <i>Testudinella</i>								
微凸镜轮虫 <i>T. mucronata</i>								-
3.1.3 球轮属 <i>Trochosphaera</i>								
至点球轮虫 <i>T. solstitialis</i>			-					-
3.2 簇轮科 <i>Flosculariidae</i>								
3.2.1 巨冠轮属 <i>Sinantherina</i>								
半圆巨冠轮虫 <i>S. semibullata</i>		-	-		-			
3.3 聚花轮科 <i>Conochilidae</i>								
3.3.1 聚花轮属 <i>Conochilus</i>								
独角聚花轮虫 <i>C. unicornis</i>		-	-	+	+	-	-	-
3.3.2 沼轮属 <i>Limnias</i>								
金鱼藻沼轮虫 <i>L. ceratophylli</i>		-	+	-	+	+	-	-
3.3.3 细簇轮属 <i>Ptygur</i>								
粘管海神细簇轮虫 <i>P. mucicola</i>						-		
3.2.4 柱头轮属 <i>Eosphora</i>								
眼镜柱头轮虫 <i>E. najas</i>								-

注:“-”:很少;“+”:少;“++”:多;“+++”:很多