

## 青虾养殖池塘浮游植物的群落结构研究

盖建军, 王苗苗, 邹宏海\*, 黄春贵, 郭闯 (江苏省渔业技术推广中心, 江苏南京 210036)

**摘要** 2019年5—10月调查了江苏省溧阳市青虾养殖池塘浮游植物的群落结构。结果表明:共鉴定出浮游植物7门85种,其中优势种为平裂藻、小席藻、舟形藻、雨生红球藻、小球藻、四尾栅藻、二形栅藻。从空间来看,浮游植物的丰度为 $20.83 \times 10^3 \sim 43.81 \times 10^3$  cell/L,生物量为11.46~41.05 mg/L;从时间来看,浮游植物的丰度为 $8.42 \times 10^3 \sim 65.62 \times 10^3$  cell/L,生物量为5.9~41.6 mg/L,浮游植物丰度和生物量的时空差异显著。Margalef丰富度指数为1.82~3.79,Shannon-Wiener多样性指数为2.55~2.95,Pielou均匀度指数为0.74~0.83,物种多样性丰富。

**关键词** 青虾;养殖池塘;浮游植物;群落结构

中图分类号 S963.21<sup>3</sup> 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)24-0107-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.24.029



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Community Structure of Phytoplankton in the Culture Ponds of *Macrobrachium niopponens*

GAI Jian-jun, WANG Miao-miao, ZOU Hong-hai et al (Fishery Technology Promotion Center of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210036)

**Abstract** The community structure of phytoplankton in *Macrobrachium niopponens* culture ponds in Liyang City, Jiangsu Province were surveyed from May to October of 2019. The results showed that 85 species, 7 phyla of phytoplankton were identified, of which *Merismopedia* sp., *Phormidium tenus*, *Naviculaceae* sp., *Haematococcaceae pluvialis*, *Chlorella* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus dimorphus* were the dominant species. From the view of space, the abundance of phytoplankton was  $20.83 \times 10^3 \sim 43.81 \times 10^3$  cell/L, the biomass was 11.46~41.05 mg/L. From the view of time, the abundance of phytoplankton was  $8.42 \times 10^3 \sim 65.62 \times 10^3$  cell/L, the biomass was 5.9~41.6 mg/L, there were significant space-time differences. Margalef richness index was 1.82~3.79, Shannon-Wiener diversity index was 2.55~2.95, Pielou evenness index was 0.74~0.83, the species diversity was rich.

**Key words** *Macrobrachium niopponens*; Culture ponds; Phytoplankton; Community structure

青虾,学名为日本沼虾,拉丁学名 *Macrobrachium niopponens*,隶属节肢动物门甲壳纲十足目游泳亚目长臂虾科沼虾属。青虾肉质细嫩、味道鲜美、营养丰富,深受广大群众喜爱,故市场需求旺盛,养殖前景广阔。虽然青虾养殖技术水平和效益不断提高,但相关的基础研究略显薄弱,对养殖过程中物质、能量流动的了解掌握不足,此外还存在放养结构不合理、水质调控管理粗放、饲料投喂管理不科学、水体利用率低等问题,这些因素影响了青虾养殖产业的发展壮大<sup>[1]</sup>。

青虾属于杂食性动物,幼虾阶段以浮游生物、小型水生昆虫、有机碎屑等为食。成虾阶段则喜食水生植物的碎片及茎叶、有机碎屑、丝状藻类、水生昆虫及水丝蚓等,尤其喜食动物性饲料<sup>[2]</sup>。浮游植物作为池塘生态系统中的重要初级生产者,对于维持养殖水体的稳态和提供充足的适口饵料具有重要作用<sup>[3-6]</sup>。笔者通过在青虾养殖周期内跟踪监测养殖水体的理化指标、水体中浮游植物的种类组成、丰度以及种类多样性,旨在探明不同青虾养殖池塘之间浮游植物种类组成、优势种群多样性之间的差异性及其相关性,以期为青虾池塘养殖生态系统研究积累基础数据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验塘口选择** 在“青虾第一镇”——江苏省溧阳市社渚镇青虾养殖示范基地,选择面积为1.0 hm<sup>2</sup>的5口青虾池塘为试验监测对象,分别标注为S1、S2、S3、S4、S5,养殖模式

均为青虾主养。

**1.2 采样及测定项目与方法** 2019年5—10月每个月对监测对象进行水质检测,测定项目包括水温、pH、溶解氧含量、高锰酸盐指数以及氨氮、亚硝酸盐、总氮、总磷浓度,同时采集浮游植物样品。

水温、pH、溶解氧含量等指标使用YSI proDSS-1多参数水质检测仪现场测定。其他指标:先用5 L采水器采集水样,然后现场装瓶固定保存在低温条件下带回,委托第三方检测机构进行相关指标测定。

浮游生物的采集:浮游植物定量样品于水面下20 cm用采水器采取1 L水样装瓶,样品现场用鲁哥试液固定<sup>[7]</sup>。

**1.3 样本处理** 将样本浓缩定容至20 mL。

定量分析:取0.1 mL样本于浮游生物计数板内计数,重复2次,结果取均值。

定性分析:参考图谱资料进行种类鉴定<sup>[8]</sup>。

## 1.4 数据处理

**1.4.1 浮游植物丰度及生物量。**

$$\text{丰度 } D(\text{cell/L}) = n/v \quad (1)$$

$$\text{生物量 } M(\text{mg/L}) = D \times R \quad (2)$$

式中, $D$ 为丰度, $M$ 为生物量, $n$ 为方格计数板中浮游生物个数, $v$ 为体积, $R_{\text{小型藻}} = 0.002 \text{ mg}$ , $R_{\text{中型藻}} = 0.02 \text{ mg}$ , $R_{\text{大型藻}} = 0.05 \text{ mg}$ <sup>[9]</sup>。

**1.4.2 生物多样性分析。**

$$\text{Margalef 丰富度指数 } D = (S-1)/\ln N \quad (3)$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数 } H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J' = H'/H_{\max} \quad (5)$$

$$\text{优势度 } Y = P_i \times f_i \quad (6)$$

**基金项目** 江苏现代农业产业技术体系建设项目(JATS[2019]351)。

**作者简介** 盖建军(1981—),男,山东烟台人,高级工程师,硕士,从事水生生物学研究。\*通信作者,高级工程师,从事水产养殖研究。

**收稿日期** 2020-08-14;修回日期 2020-08-31

式中,  $P_i$  为第  $i$  种占总个体的比例,  $f_i$  为第  $i$  种在各个站位出现的频率,  $S$  为群落中的总物种数,  $N$  为观察到的个体总数,  $H'$  为实际观察的物种多样性指数,  $H_{max}$  为最大的物种多样性指数,  $H_{max} = \ln S$ 。

2 结果与分析

2.1 水环境理化指标 研究期间调查塘口水温为 25.3 °C, pH 为 8.23, 溶解氧含量为 7.91 mg/L, 高锰酸盐指数为 8.78 mg/L, 氨氮浓度为 0.267 mg/L, 亚硝酸盐浓度为 0.040 mg/L, 总氮浓度为 1.42 mg/L, 总磷浓度为 0.203 mg/L (表 1)。

2.2 浮游植物种类组成及优势种 研究期间, 共鉴定出浮游植物 7 门 85 种, 其中蓝藻门 12 种, 占比 14.12%; 金藻门 1 种, 占比 1.18%; 黄藻门 1 种, 占比 1.18%; 硅藻门 12 种, 占比 14.12%; 甲藻门 1 种, 占比 1.18%; 裸藻门 8 种, 占比 9.41%; 绿藻门 50 种, 占比 58.82%; 依据优势度  $Y \geq 0.02$  的种类为优势种原则, 浮游植物的优势种为平裂藻 ( $Y=0.02$ )、小席藻 ( $Y=0.10$ )、舟形藻 ( $Y=0.03$ )、雨生红球藻 ( $Y=0.07$ )、小球藻 ( $Y=0.19$ )、四尾栅藻 ( $Y=0.06$ )、二形栅藻 ( $Y=0.03$ ) (表 2)。

表 1 虾塘水环境理化指标

Table 1 Physical and chemical indices of aquatic environment in shrimp pond

塘口 Pond	水温 Water tempera- ture//°C	pH	溶解氧含量 Dissolved oxygen content mg/L	高锰酸 盐指数 Permang- anate index mg/L	氨氮浓度 Ammonia nitrogen concentration mg/L	亚硝酸盐浓度 Nitrite concentration mg/L	总氮浓度 Total nitrogen concentration mg/L	总磷浓度 Total phosphorus concentration mg/L
S1	25.4	8.04	7.23	9.13	0.271	0.012	1.51	0.252
S2	25.5	7.98	7.09	8.18	0.187	0.081	1.63	0.262
S3	25.0	8.30	7.49	8.32	0.293	0.024	1.48	0.181
S4	25.1	8.39	9.47	9.82	0.193	0.020	1.37	0.171
S5	25.4	8.44	8.27	8.43	0.392	0.062	1.13	0.147
均值 Mean	25.3	8.23	7.91	8.78	0.267	0.040	1.42	0.203

表 2 浮游植物的种类组成

Table 2 The species composition of phytoplankton

序号 No.	门名 Phylum name	种名 Species name	拉丁学名 Latin name	S1	S2	S3	S4	S5	
1	蓝藻门 Cyanophyta	平裂藻	<i>Merismopedia</i> sp.	++++	+	+	+		
2		细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>	+		+			
3		微囊藻	<i>Microcystis</i> sp.	+	+	+	++++	+++	
4		铜绿微囊藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>			+			
5		不定微囊藻	<i>Microcystis incerta</i>			+			
6		阿那颤藻	<i>Oscillatoria agardhii</i>				+		
7		颤藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	+++	++	+++	++		
8		小席藻	<i>Phormidium tenue</i>	++++	++	+++	++++	+++	
9		皮状席藻	<i>Phormidium corium</i>		+				
10		念珠藻	<i>Nostoc</i> sp.				++	+	
11		色球藻	<i>Chroococcus</i> sp.	+		+	+		
12		微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>			+			
13	金藻门 Chrysophyta	黄群藻	<i>Synura</i> sp.			+		+	
14	黄藻门 Xanthophyta	黄丝藻	<i>Tribonema</i> sp.				+		
15	硅藻门 Bacillariophyta	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>	+	++		+++++	+	
16		针杆藻	<i>Synedra</i> sp.			+++	++	++	
17		菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.			+			
18		双头菱形藻	<i>Nitzschia amphibian</i>	+					
19		舟形藻	<i>Naviculaceae</i> sp.	+++++	+++++	+++++	+++++	+++	
20		放射舟形藻	<i>Navicula radiosa</i>	+	+	+		+	
21		普通肋缝藻	<i>Frustulia vulgaris</i>		+				
22		羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.			+		+	
23		草鞋形波缘藻	<i>Cymatopleura solea</i>				+		
24		纤细异极藻	<i>Gomphonema gracile</i>		+				
25		线形双菱藻	<i>Surirella linearis</i>				+		
26		布纹藻	<i>Gyrosigma</i> sp.		+			+	
27	甲藻门 Pyrrophyta	二角多甲藻	<i>Peridinium bipes</i>				+		
28	裸藻门 Euglenophyta	弯曲袋鞭藻	<i>Peranema deflexum</i>	+					
29		裸藻	<i>Euglena</i> sp.	++			+		
30		尾裸藻	<i>Euglena caudate</i>	+		+			
31		长尾扁裸藻	<i>Phacus longicauda</i>			+			
32		桃形扁裸藻	<i>Phacus stokesii</i>		+				
33		卵形磷孔藻	<i>Lepocinclis ovum</i>	+					
34		囊裸藻	<i>Trachelomonas</i> sp.	+				++	
35		尾棘囊裸藻	<i>Trachelomonas armata</i>						
36		绿藻门 Chlorophyta	雨生红球藻	<i>Haematococceaceae pluivalis</i>	++++	++++	+++++	+++	+++
37			球囊藻	<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	+			+	
38			空球藻	<i>Eudorina elegans</i>			+	+	
39			球团藻	<i>Volvox globator</i>	+				
40	实球藻		<i>Pandorina morum</i>	+		+			

接下表

续表 2

序号 No.	门名 Phylum name	种名 Species name	拉丁学名 Latin name	S1	S2	S3	S4	S5
41		球衣藻	<i>Chlamydomonas globose</i>			+		
42		小球藻	<i>Chlorella</i> sp.	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
43		蛋白核小球藻	<i>Chlorella pyrenoidesa</i>	+				
44		蹄形藻	<i>Kirchneriella lunaris</i>	+				
45		月牙藻	<i>Selenastrum bibraianum</i>	++	++	+	++	++
46		纤维藻	<i>Ankistrodesmus</i> sp.	+	+	++	+	
47		针形纤维藻	<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	+				
48		螺旋纤维藻	<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	+	+	+	+	
49		集星藻	<i>Actinastrum hantzschii</i>			+++	++	
50		盘星藻	<i>Pediastrum</i> sp.				+	+
51		单角盘星藻	<i>Pediastrum simplex</i>			++	+	
52		短棘盘星藻	<i>Pediastrum boryanum</i>			+		
53		二角盘星藻	<i>Pediastrum duplex</i>	+++	+	++	++	
54		多棘栅藻	<i>Scenedesmus abundans</i>			+		
55		被甲栅藻	<i>Scenedesmus armatus</i>	+		+	++	+
56		被甲栅藻博格变种双尾变型	<i>Scenedesmus armatus</i> var. <i>bogleriensis f. bicaudatus</i>			+		
57		四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	+++++	++++	+++++	++++	++++
58		二形栅藻	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	+++++	++	+++++	++++	++++
59		尖细栅藻	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	+	+	+	+	
60		龙骨栅藻	<i>Scenedesmus carinatus</i>			+		
61		弯曲栅藻	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	+				
62		双列栅藻	<i>Scenedesmus bijugatus</i>	++++	++	++		
63		斜生栅藻	<i>Scenedesmus obliquus</i>	++++	++	+++	+	
64		栅藻	<i>Scenedesmus</i> sp.	++		+	+	+
65		短刺四星藻	<i>Tetrastrum staurogeniaforme</i>					+
66		韦斯藻	<i>Westella botryoides</i>	+				
67		十字藻	<i>Crucigenia</i> sp.	+				+
68		四角十字藻	<i>Crucigenia quadrata</i>	+				
69		小齿凹顶鼓藻	<i>Euastrum denticulatum</i>				+	
70		鼓藻	<i>Cosmarium</i> sp.	+				
71		角星鼓藻	<i>Staurostrum</i> sp.					+
72		新月藻	<i>Closterium</i> sp.	+++	+++	+	+	+
73		埃伦新月藻	<i>Closterium ehrenbergii</i>			+		
74		拟菱形弓形藻	<i>Schroederia nitzschoides</i>	+		+	+	
75		硬弓形藻	<i>Schroederia robusta</i>	+		+		
76		弓形藻	<i>Schroederia</i> sp.			+		
77		浮球藻	<i>Planktosphaeria</i> sp.	+		+		
78		四刺顶棘藻	<i>Chodatella quadriseta</i>			+		
79		四角藻	<i>Tetraedrom</i> sp.	+				
80		三角四角藻	<i>Tetraedrom trigonum</i>	+		++		
81		胶网藻	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>				+	
82		美丽胶网藻	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	+		+		
83		丝藻	<i>Ulothrix</i> sp.				+	
84		拟新月藻	<i>Closteriopsis</i> sp.	+				
85		小空心藻	<i>Coelastrum microporum</i>			+		

注：“+”的多少表示该物种出现的频次

Note: The number of “+” indicated the frequency of occurrence of the species

**2.3 浮游植物种类数** 研究期间,被调查虾塘浮游植物种类数量为 23~50,其中 S3 的种类最多,达 50 种;其次为 S1,种类数为 47;再次为 S4,S2,种类数分别为 37 和 24;S5 的种类数最少,为 23 种(图 1)。

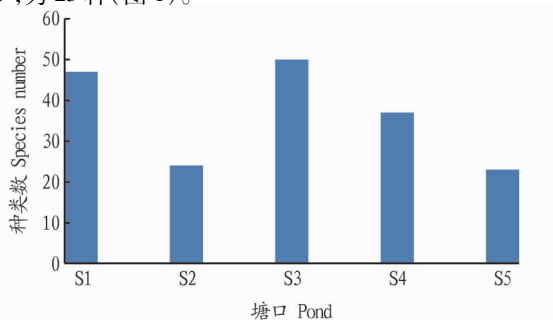


图 1 青虾养殖池塘浮游植物种类数

Fig.1 The species number of phytoplankton in the culture pond of shrimp

**2.4 浮游植物生物指标的时空变化** 从空间来看,虾塘浮游植物的丰度为  $20.83 \times 10^3 \sim 43.81 \times 10^3$  cell/L,其中 S3 的浮游植物丰度最大,S2 的浮游植物丰度最小;浮游植物的生物量与丰度呈正相关,丰度越大,生物量越大;浮游植物生物量为  $11.46 \sim 41.05$  mg/L,S3 最大,S2 最小(图 2,3)。

从时间来看,浮游植物的丰度为  $8.42 \times 10^3 \sim 65.62 \times 10^3$  cell/L,其中高峰期出现在为 6 月份,低谷值出现在 7 月份;浮游植物的生物量为  $5.9 \sim 41.6$  mg/L,其与丰度呈正相关(图 4)。

**2.5 生物多样性指数** 各调查塘口 Margalef 丰富度指数为 1.82~3.79,均值为 2.70,其中 S3 最高,S5 最低;Shannon-Wiener 多样性指数为 2.55~2.95,均值为 2.75,其中 S3 最高,S2 最低;Pielou 均匀度指数为 0.74~0.83,均值为 0.78,其中 S5 最高,S1 最低(图 5)。

### 3 讨论

**3.1 浮游植物的群落结构特征** 研究期间,共鉴定出浮游植

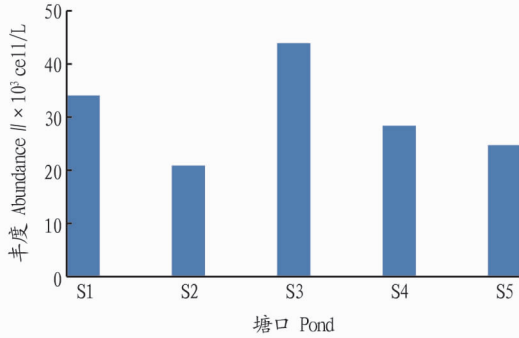


图2 青虾养殖池塘浮游植物的丰度

Fig.2 The abundance of phytoplankton in culture pond of shrimp

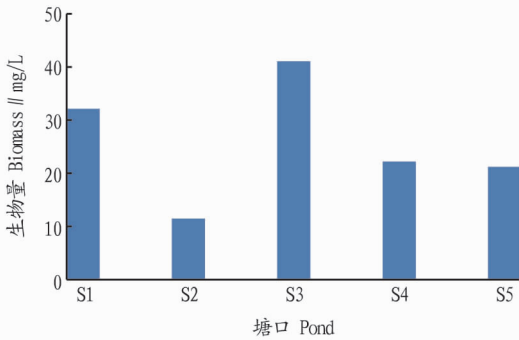


图3 青虾养殖池塘浮游植物的生物量

Fig.3 The biomass of phytoplankton in culture pond of shrimp

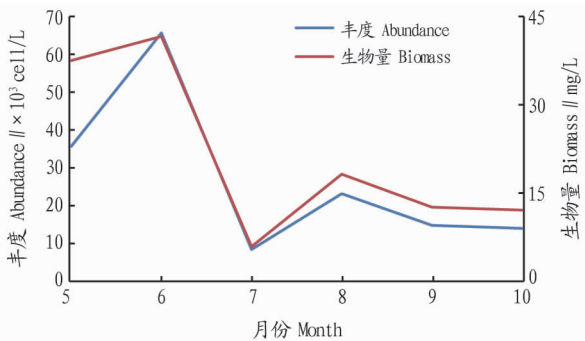


图4 浮游植物生物学指标的月变化

Fig.4 Monthly variation of biological indices of phytoplankton

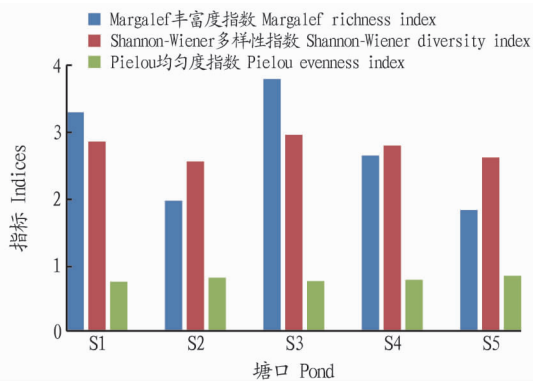


图5 各塘口生物多样性指数

Fig.5 The diversity indices of each pond

同<sup>[10]</sup>,优势种为平裂藻、小席藻、舟形藻、雨生红球藻、小球藻、四尾栅藻、二形栅藻;多样性指数表明调查塘口的浮游植物群落组成较为稳定。

**3.2 浮游植物丰度的时空分布** 浮游植物丰度的时空分布表现:从空间来看,S3的浮游植物丰度最大,S2的丰度最小,差异显著;从时间来看,浮游植物丰度的高峰期出现在6月份,低谷值出现在7月份,差异显著。

浮游植物并不是青虾的主要食物来源<sup>[11-12]</sup>,但它们是水体浮游动物的主要饵料来源。社渚镇青虾主养模式一般于4月肥水,5月投放抱卵虾,充足的外源营养物质使浮游植物丰度在6月份达到峰值,与此同时,随着浮游动物的牧食,所以在7月快速进入谷值;此后,随着外源饵料的投入,幼虾对浮游动物的下行效应趋向平稳,塘口浮游植物的丰度也随之趋向稳定。

**3.3 青虾养殖水体浮游植物群落结构与理化因子的相关分析** 研究期间,浮游植物的丰度、生物量以及种类数与水温呈正相关(表3),浮游植物尤其是蓝藻对水温的反应比较敏感,随着水温的升高,极易暴发蓝藻形成水华<sup>[13-14]</sup>;浮游植物的丰度和生物量与pH呈正相关,随着水体酸碱平衡向偏碱方向移动,促进了水体吸收空气中的CO<sub>2</sub>,加速了藻类的光合作用,相关研究也表明偏碱的水体更利于藻类的生长<sup>[15]</sup>;与营养盐(N、P)呈正相关,营养盐的增加会引起浮游植物的快速增殖,此外一些微量元素(如铁、锌、钴、铜、钼等)的增加也会促进藻类的生长<sup>[16]</sup>,这可能是在水源、放养模式、管理模式等均一致的情况下不同青虾养殖塘口的浮游植物群落结构存在显著差异的重要原因。

表3 浮游植物的丰度、生物量、种类数与环境因子的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between abundance, biomass and species number and environmental factors of phytoplankton

指数 Index	丰度 Abundance	生物量 Biomass	种类数 Species number
水温 Water temperature	0.12	0.01	0.26
pH	0.19	0.20	-0.10
溶解氧含量 Dissolved oxygen content	-0.01	-0.02	-0.08
氨氮浓度 Ammonia nitrogen concentration	-0.02	-0.01	-0.05
亚硝酸盐浓度 Nitrite concentration	0.17	0.24	-0.30
总氮浓度 Total nitrogen concentration	0.36	0.27	0.01
总磷浓度 Total phosphorus concentration	0.08	0.13	0.28

4 结论

江苏省社渚青虾主养池塘总体水体理化指标较为理想,浮游植物的群落组成以绿藻和蓝藻为主,物种多样性丰富,生物量充足,适宜青虾生长需要。但是,江苏省溧阳市养殖水体中有机质浓度相对偏高,在生产管理过程中仍需密切关注水质、水色(浮游生物含量)、青虾生长状况,避免损失发生。

(下转第114页)

物7门85种,以绿藻门为主,蓝藻门次之,硅藻门再之,其他藻类较少,其优势种群组成与泗阳县青虾养殖池塘的基本相

目前,水生昆虫的食用、药用等资源化利用,基本全是依靠野外采集,极大地影响着野生水生昆虫资源。任何昆虫的资源化利用都是建立在昆虫较成熟的人工(规模化)养殖技术之上,但由于水生昆虫的特殊性和人们对水生昆虫研究的不足,目前国内外对水生昆虫的人工养殖技术掌握得非常有限。

现代城市中的水生昆虫除了具有上述开发利用价值外,还有很多其他价值值得深入挖掘。比如,蜻蜓还可用于地质灾害、天气预报、刑事案件侦破<sup>[29]</sup>等方面研究,水生昆虫化石对于恢复远古时代水生环境有着重要意义<sup>[31]</sup>。除了挖掘水生昆虫的利用价值为人类服务外,更重要的是要加大对水生昆虫资源的保护力度,尤其是在脆弱的城市水域环境中。

## 参考文献

- [1] 武正成,武文卿,李川.城市化过程中的昆虫生态[J].山西农业科学,2008,36(2):35-37.
- [2] 张宏宇.城市昆虫学[M].北京:中国农业出版社,2009.
- [3] 邓望喜.城市昆虫学[M].北京:农业出版社,1992.
- [4] 津田松苗.水生昆虫学[M].东京:北隆馆出版社,1962.
- [5] 刘健康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,2002.
- [6] 杨蓬芳,田立新.中国水生昆虫研究史梗概[J].昆虫知识,1994,31(5):308-311.
- [7] 李金国.低级溪流中水生昆虫的群落特征及水质生物评价[D].哈尔滨:东北林业大学,2007.
- [8] 颜忠诚,ZHONG H.水生昆虫[J].生物学报,2004,39(1):15-18.
- [9] 张学祖.水域生态系统中的水生昆虫[J].昆虫知识,1988,25(4):241-246.
- [10] MORE J C, YANG L F, TIAN L X. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality [M]. Nanjiang: Hohai University Press, 1994.
- [11] MERRITT R W, CUMMINS K W. An introduction to the aquatic insects of north America [M]. Third Edition. Dubuque, Iowa: Kendall-Hunt Publishing Company, 1996.
- [12] 王薛婷,徐可成,阮超静,等.湿地昆虫多样性与保护研究进展[J].中国农学通报,2013,29(3):196-198.
- [13] 叶水送,方燕,李恺.城市化对昆虫多样性的影响[J].生物多样性,

2013,21(3):260-268.

- [14] HARRIS H J, SAGER P E, YARBROUGH C J, et al. Evolution of water resource management: A Laurentian great lakes case study [J]. International journal of environmental studies, 1987, 29(1): 53-70.
- [15] JONES R C, CLARK C C. Impact of watershed urbanization on stream insect communities [J]. Journal of the American water resources association, 1987, 23(6): 1047-1055.
- [16] 刘东晓,于海燕,刘翔,等.城镇化对钱塘江中游支流水质和底栖动物群落结构的影响[J].应用生态学报,2012,23(5):1370-1376.
- [17] 张汲波.城镇化对溪流底栖动物物种多样性和功能多样性影响的研究[D].南京:南京农业大学,2013.
- [18] 常晓丽.农业面源水污染对水生昆虫的波动性不对称的影响[D].南京:南京农业大学,2007.
- [19] 郑晓团.水库建设对生态环境的影响[J].河南水利与南水北调,2017(4):7-8.
- [20] LONGCORE T, RICH C. Ecological light pollution [J]. Frontiers in ecology and the environment, 2004, 2(4): 191-198.
- [21] ELBANNA S M, ZALAT S M, GILBERT F, et al. Patterns of resource use by milkweed insects in Sinai [J]. Egyptian journal of biology, 2009, 11: 58-70.
- [22] 黄小清,蔡程程.水生昆虫在水质生物监测与评价中的应用[J].华南热带农业大学学报,2006,12(2):72-75.
- [23] 徐希莲.水生昆虫与水质的生物监测[J].莱阳农学院学报,2001,18(1):66-70.
- [24] 王备新,杨蓬芳.大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展[J].南京农业大学学报,2001,24(4):107-111.
- [25] 薛建,安正帅,牛长缨,等.水生双翅目昆虫监测水体重金属污染的研究[J].昆虫知识,2008,45(3):378-383.
- [26] 刘玉升,骆洪义,叶保华.餐厨废弃物的环境昆虫处理途径及资源化利用探讨[J].再生资源与循环经济,2013,6(4):35-37.
- [27] 薛瑞德.水生昆虫与人类健康的关系[J].中国媒介生物学及控制杂志,1992,3(6):408-410.
- [28] 付新华.中国大陆两种水栖萤火虫生物学及行为学研究[D].武汉:华中农业大学,2005.
- [29] 朱翠,李力.蜻蜓目昆虫在生态及应用方面的研究[J].西安文理学院学报(自然科学版),2013,16(1):44-46.
- [30] 曹成全.中国爬沙虫资源的开发利用现状及物种问题[J].湖北农业科学,2014,53(21):5061-5064.
- [31] 刘平娟,黄建东,任东,等.中国北方中生代晚期水生昆虫群落演替与环境变迁[J].动物分类学报,2009,34(4):836-846.

(上接第110页)

## 参考文献

- [1] 陆建珍,邢丽荣,袁新华,等.青虾池塘养殖环境效率分析[J].长江流域资源与环境,2014,23(8):1097-1104.
- [2] 邹宏海,龚培培.青虾高效养殖致富技术与实例[M].北京:中国农业出版社,2016.
- [3] 买占,李诗琦,郭超,等.汉江中下游浮游植物群落结构及水质评价[J].生物资源,2020,42(3):271-278.
- [4] 朱浩,刘兴国,陈晓龙,等.大蓬湖湿地修复区浮游植物群落结构与水质环境因子分析[J].江苏农业科学,2020,48(11):270-274.
- [5] 王晓清,曾亚英,吴含含,等.湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析[J].水生生物学报,2013,37(3):488-494.
- [6] 李云梦,郑侠飞,王岩,等.绍兴市凡纳滨对虾围垦滩涂养殖池塘的理化环境和浮游植物[J].渔业现代化,2017,44(6):1-8.
- [7] 张觉民,何志辉.内陆水域渔业自然资源调查手册[M].北京:农业出版社,1991.
- [8] 胡鸿钧,魏印心.中国淡水藻类——系统、分类及生态[M].北京:科学出版社,2006.

- [9] 徐润林,白庆笙,谢瑞文.珠江广州市段 PFU 原生动物群落特征及其与水质的关系[J].生态学报,2002,22(4):479-485.
- [10] 唐金玉,覃宝利,叶建勇,等.江苏泗阳青虾养殖中期水体的理化环境和浮游植物[J].渔业现代化,2019,46(3):41-51.
- [11] 刘军,龚世园,何绪刚,等.武湖日本沼虾食性的研究[J].淡水渔业,2005,35(1):25-28.
- [12] 温周瑞,谢平.太湖日本沼虾与秀丽白虾的食性与食物碳源分析[J].长江大学学报(自然科学版),2013,10(29):36-42.
- [13] NALEWAJKO C, MURPHY T P. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: An experimental approach [J]. Limnology, 2001, 2(1): 45-48.
- [14] 黄钰铃,陈明曦,刘德富,等.不同氮磷营养及光温条件对蓝藻水华生消的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(9):93-100.
- [15] 刘春光,金相灿,孙凌,等.水体 pH 和曝气方式对藻类生长的影响[J].环境污染与防治,2006,28(3):161-163.
- [16] BOYD P W, LAW C S, WONG C S, et al. The decline and fate of an iron-induced subarctic phytoplankton bloom [J]. Nature, 2004, 428: 549-553.