

上海滴水湖两种枝角类对浮游植物群落 牧食的模拟研究

熊春晖 徐玉萍 李为星 张 玮 李典宝 王丽卿*

上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306

摘要: 于 2012 年 9 月通过浮游动物添加实验, 研究了大型溞 (*Daphnia magna*) 和隆腺溞 (*Daphnia carinata*) 对上海滴水湖浮游植物群落结构的影响。结果表明, 实验组氨氮和可溶性活性磷浓度与空白组相比显著增加, 大型溞组浮游植物密度较空白组降低了 70.3%, 隆腺溞组浮游植物密度较空白组降低了 80.0%, 叶绿素 a 浓度分别下降了 80.4% 和 75.2%, 叶绿素 a 与氨氮、可溶性活性磷呈显著相关性。浮游植物的群落结构较空白组也发生较大变化, 硅藻、蓝藻和绿藻密度比例明显降低, 隐藻、裸藻和甲藻在实验结束时没有检出, 说明大型溞和隆腺溞能有效控制水体中浮游植物密度, 并能够对浮游植物群落结构产生影响。同时, 附着藻类密度较空白组也有明显减少, 说明大型溞和隆腺溞对附着藻类也有一定的牧食作用。

关键词: 大型溞; 隆腺溞; 浮游植物; 河口性水体; 滴水湖

中图分类号: Q178.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 01-103-10

Grazing Effects of Two Cladoceran Species (*Daphnia carinata* and *D. magna*) on the Community of Phytoplankton in Dishui Lake in Shanghai

XIONG Chun-Hui XU Yu-Ping LI Wei-Xing ZHANG Wei LI Dian-Bao WANG Li-Qing*

College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The grazing effects of two cladoceran species (*Daphnia magna* and *D. carinata*) on the community structure of phytoplankton of Lake Dishui in Shanghai was studied in September 2012. The experimental water was taken from Dishui Lake, filtered out macrozooplankton by a 58 μm mesh and placed in 5 L polyethylene plastic bottles. The experiment was treated into 3 groups, the control group without zooplankton, one group with 10 *Daphnia magna* and one group with 10 *Daphnia carinata*, and each group with three parallel samples. 50 ml water was taken to study abundance and biomass of phytoplankton every 10 days and

基金项目 水体污染控制与治理科技重大专项 (No. 2012ZX07101-007), 上海市河道生态治理组合技术及评价指标体系研究项目 (沪水科 2012-02);

* 通讯作者, E-mail: lqwang@shou.edu.cn;

第一作者介绍 熊春晖, 男, 硕士研究生; 研究方向: 水域生态学; E-mail: xchshou@hotmail.com.

收稿日期: 2015-03-30, 修回日期: 2015-07-14 DOI: 10.13859/j.cjz.201601012

50 ml water was taken to measure the chemical indices. The data were analyzed with one-way ANOVA by SPSS 16.0 and the correlation was analyzed by the Pearson correlation coefficients. The results showed the concentration of NH_4^+ -N, soluble reactive phosphorus (SRP) and chlorophyll-a obviously increased comparing with the control. According to Fig. 1, the concentration of NH_4^+ -N increased 2.26-folds in the group of *D. magna* and 3.82-folds in the group of *D. carinata* comparing with the control. According to Fig. 2, the concentration of SRP increased 3.41 times in the group of *D. magna* and 3.32 times in the group of *D. carinata* comparing with the control. According to Fig. 4, the concentration of chlorophyll-a decreased 80.4% in the group of *D. magna* and 75.2% in the group of *D. carinata* comparing with the control. Meantime, the concentrations of NH_4^+ -N and SRP showed a significant relationship with chlorophyll-a in the *Daphnia* treatment with reference to Table 1. The community structure of phytoplankton significantly changed when the *Daphnia* were added. With reference to Fig. 3, the density of phytoplankton decreased 70.3% and 80.0% when the *D. magna* and the *D. carinata* were added respectively. The density of Chlorophyta, Cyanophyta and Bacillariophyta decreased 69.61%, 64.78% and 31.38% respectively in *D. magna* treatment. The density of Chlorophyta, Cyanophyta and Bacillariophyta decreased 96.41%, 62.65% and 66.84% respectively in *D. carinata* treatment. The Cryptophyta, Euglenophyta and Pyrrophyta were not found at the end of experimentation. The result indicated that the *D. magna* and the *D. carinata* can efficiently control the density and change the community structure of phytoplankton. With reference to Fig. 5, there were 439 *D. magna* and 424 *D. carinata* left in the end of the experiment. With reference to Fig. 6, the density of periphyton obviously decreased, which showed that *D. magna* and *D. carinata* can graze the periphyton.

Key words: *Daphnia magna*; *D. carinata*; Phytoplankton; Estuarine water; Dishui Lake

湖泊富营养化的治理已成为当前淡水生态学研究的核心问题之一(戴莽等 1999)。以往通过生物操纵理论为核心的修复技术主要集中于利用滤食性鱼类(董双林 1994, 刘健康 2003), 依赖浮游动物, 放养螺、蚌类等方法, 直接或间接的抑制藻类生长以净化富营养化水体(石岩等 1998)。研究发现, 在大型浮游动物丰富的富营养化湖泊, 往往浮游植物密度较低, 透明度较高(张镇等 2009), 因此, 适当提高浮游动物密度可以在一定程度上遏制藻类“水华”的暴发。目前, 枝角类牧食已广泛应用于湖泊富营养化的治理, 然而, 大部分研究主要集中在淡水水域(操璟璟 2007, 郭匿春 2007, 管卫兵等 2012), 关于在半咸水中应用枝角类牧食治理湖泊富营养化的研究鲜有报道。

滴水湖位于上海浦东新区临港新城盐碱海滩上, 于 2004 年底完成挖掘蓄水, 滴水湖呈圆

型, 直径 2.66 km, 总面积 5.56 km², 平均水深 3.7 m, 是目前国内最大的人工湖。每年春季滴水湖会换水一次, 换水时间持续 1 星期左右, 平时主要靠雨水补给, 水量过多时通过开海闸放水进行调节。该水体盐度在 1.2‰ ~ 1.6‰ 之间波动, 基本无季节变化(陶晶晶 2013), pH 处于 8.50 ~ 8.80 之间(江敏等 2011), 自 2004 年 12 月引水入湖以来, 水体综合营养状态指数 54.3 ~ 60.4, 叶绿素 a 浓度从 2010 年夏季的 31.04 μg/L 上升到 2011 年的 58.90 μg/L, 正逐步向中度富营养化方向发展(汪海英等 2006, 景钰湘 2012)。

大型溞(*Daphnia magna*)和隆腺溞(*D. carinata*)是亚热带和温带地区常见的大型滤食性浮游动物, 习居于水草茂盛的富营养型小水域中, 可生活在海边低盐度的微咸水或半咸水中, 其中, 大型溞的耐盐度为 18‰ ~ 40‰, 隆腺溞耐盐度为 3‰ ~ 7‰(赵文 1991), 主要以

细菌、单细胞藻类、原生动物以及有机碎屑为食，滤食效率较高（蒋燮治等 1979），在野外调查中发现，这两种枝角类为滴水湖的常见物种，年平均密度为 2 个/L。因此，为本研究通过枝角类对浮游植物牧食来治理水体富营养化提供了可靠的保证。河口性水体，因经常受潮汐影响，水体易浑浊，加之具有一定盐度，一旦富营养化将极难治理（霍元子等 2010），本文以河口性水体滴水湖为研究对象进行模拟实验，研究了大型溞和隆线溞牧食对浮游植物群落的影响，探究河口性富营养化水体的生态修复方法，以期对河口性水体的水质调控和管理提供理论数据。

1 材料与方法

实验于2012年9月在上海滴水湖进行，利用 YSI-Professional Plus 多功能水质分析仪测得水体盐度为 1.4‰，温度为 24℃。实验用大型溞和隆腺溞源均采自于上海滴水湖及附近水域，在实验室进行分离培养。实验时，分别取同一母体的后代用滤除浮游动物的滴水湖湖水配合面包酵母（baker's yeast）做饵料连续培养，获得供实验用的成溞，放置于过滤的湖水（Whatman GF/C 滤膜过滤）中驯化排空肠道 4 h。

2012年9月13日，取滴水湖一号码头附近湖水，用250目筛网滤除大型浮游动物，然后将过滤好的湖水装入5 L透明聚乙烯塑料瓶里。实验设置3组，第一组不添加浮游动物（空白组），第二组每个瓶里放入10只大型溞（大型溞组），第三组每个瓶里放入10个隆腺溞（隆腺溞组），每组做3个重复。塑料瓶加盖后悬挂于湖中，实验共进行15 d，每隔3 d取瓶中的水样100 ml，其中50 ml水样用于测定浮游植物数量、生物量，剩余水样用于检测氨氮（NH₄⁺-N）、硝态氮（NO₃⁻-N）、亚硝态氮（NO₂⁻-N）和可溶性活性磷（soluble reactive phosphorus, SRT）的浓度。实验结束后，分别测定瓶中两种枝角类的数量；另外，剪取面积5.0 cm × 5.0 cm的桶壁，用干净牙刷将其上附着藻类刷下，用无藻水定

容到50 ml后，混匀取0.1 ml在Nikon Eclipse50i 显微镜下进行计数和种类鉴定。

氨氮指标用YSI-Professional Plus多功能水质分析仪进行测试，可溶性活性磷用钼锑抗分光光度法，叶绿素用丙酮法进行测定。浮游植物取水样50 ml，经鲁哥氏碘液固定后，取0.1 ml在显微镜下进行计数（胡鸿钧等 2006，王全喜等 2008）。

实验数据用 SPSS16.0 进行 One-way ANOVA分析， $P < 0.05$ 认为有显著性；相关性分析采用Pearson相关系数计算。

2 结果

2.1 氨氮和活性磷的差异

2.1.1 氨氮的差异 3组中，空白组氨氮浓度变化不大，从实验开始时的1.31 mg/L，到实验结束时的1.22 mg/L，略有下降。而大型溞组和隆腺溞组的氨氮浓度在实验期间有明显增加，从实验开始时的1.31 mg/L分别上升到实验结束时的3.35 mg/L和3.96 mg/L，分别上升了2.26倍和3.02倍，实验组氨氮浓度均显著高于空白组（ $P < 0.01$ ）。大型溞组和隆腺溞组氨氮浓度在整个实验过程中均呈上升趋势，且隆腺溞组从实验第6天开始上升速率大于大型溞组（图1）。

2.1.2 可溶性活性磷的差异 3组中，空白组活性磷浓度实验开始时为 0.013 8 mg/L，实验结束时为 0.012 5 mg/L，略有下降。大型溞组和隆腺溞组的活性磷浓度在实验期间有明显上升，从开始时的 0.013 9 mg/L，分别增加到实验结束时的 0.047 5 mg/L 和 0.046 1 mg/L，分别增长了 3.41 和 3.32 倍，实验组可溶性磷含量显著高于空白组（ $P < 0.01$ ）。大型溞组在实验期间一直是平缓上升，而隆腺溞组则在实验第 9 天有下降趋势，之后又快速上升（图 2）。

2.2 各组藻类数量和生物量的变化

2.2.1 浮游藻类数量的变化 空白组浮游植物数量变化不大，从刚开始的 160.65×10^5 cell/L 到实验结束时的 152.39×10^5 cell/L，数量略有下降。大型溞组和隆腺溞组的浮游植物数量下

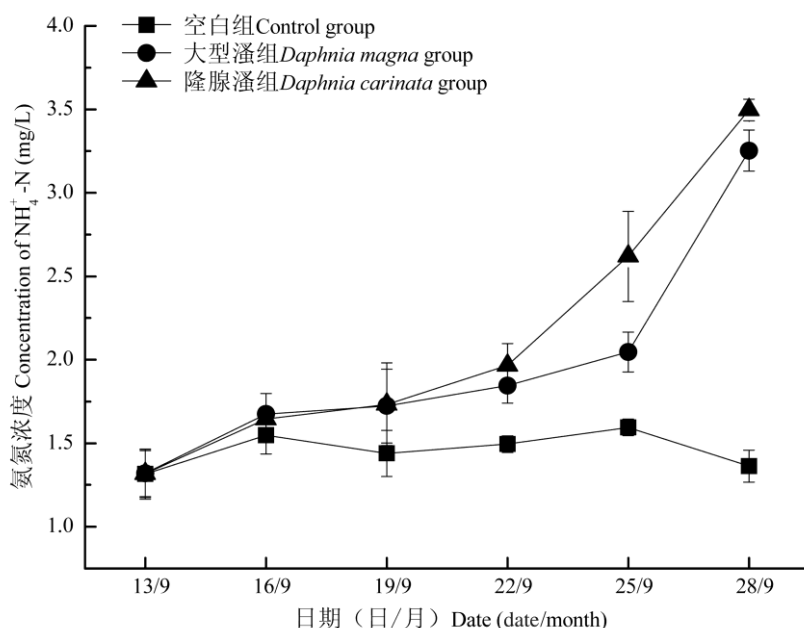


图 1 两种枝角类对培养液中氨氮的影响

Fig. 1 The effects of two cladoceran species on the concentration of NH₄⁺-N in experimental solutions

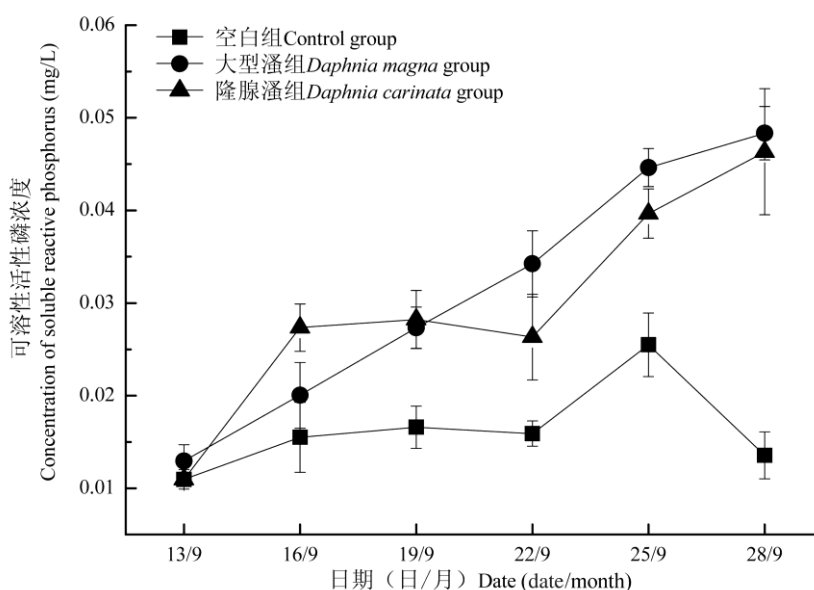


图 2 两种枝角类对培养液中可溶性活性磷的影响

Fig. 2 The effects of two cladoceran species on the concentration of soluble reactive phosphorus in experimental solutions

降明显, 分别从实验初的 207.70×10^5 cell/L 和 177.50×10^5 cell/L 下降到实验结束时的 61.69×10^5 cell/L 和 35.54×10^5 cell/L, 下降了 70.3% 和

80.0%。从图 3 中可以看出, 空白组中绿藻变化不大, 蓝藻和硅藻数量有所上升, 分别从实验初的 382.53×10^4 cell/L 和 206.60×10^4 cell/L

上升到结束时的 $503.06 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 和 $339.55 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，上升了 45.99% 和 32.50%，隐藻从 $176.56 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到了 $67.62 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，实验结束后裸藻和甲藻均未检测到。大型溞组的绿藻从 $984.97 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到了 $299.35 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，减少了 69.61%，蓝藻从 $393.35 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到了 $138.53 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，减少了 64.78%，硅藻从 $261.06 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到了 $179.14 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，减少了 31.38%。隆腺溞组的绿藻从 $907.91 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到了 $32.62 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，减少了 96.41%，蓝藻从 $328.32 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到了 $122.64 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，减少了 62.65%，硅藻从 $294.61 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 降到 $97.68 \times 10^4 \text{ cell/L}$ ，减少了 66.84%。另外，两实验组中的隐藻、裸藻和甲藻在实验结束后均未检测到。

由此可见，在空白组浮游植物数量变化不太明显，而加入大型溞和隆腺溞的实验组数量明显下降，这说明大型溞和隆腺溞对浮游植物的牧食均可造成浮游植物数量的明显下降，其中，隆腺溞组绿藻和硅藻的减少百分比比大型溞组更大。据此推断，可能隆腺溞比大型溞更偏向于滤食绿藻和硅藻，说明大型溞和隆腺溞对浮游植物存在选择性牧食。

2.2.2 叶绿素 a 浓度的变化 实验初期，水体叶绿素 a 浓度平均为 $27.24 \mu\text{g/L}$ ，空白组叶绿素 a 浓度在前 9 天中呈上升趋势，之后有所回落，至实验结束时，其浓度为 $24.82 \mu\text{g/L}$ ，略有下降。大型溞组和隆腺溞组的叶绿素 a 浓度下降明显，从刚开始的 $27.23 \mu\text{g/L}$ 下降为实验结束时的 $5.34 \mu\text{g/L}$ (80.4%) 和 $6.75 \mu\text{g/L}$

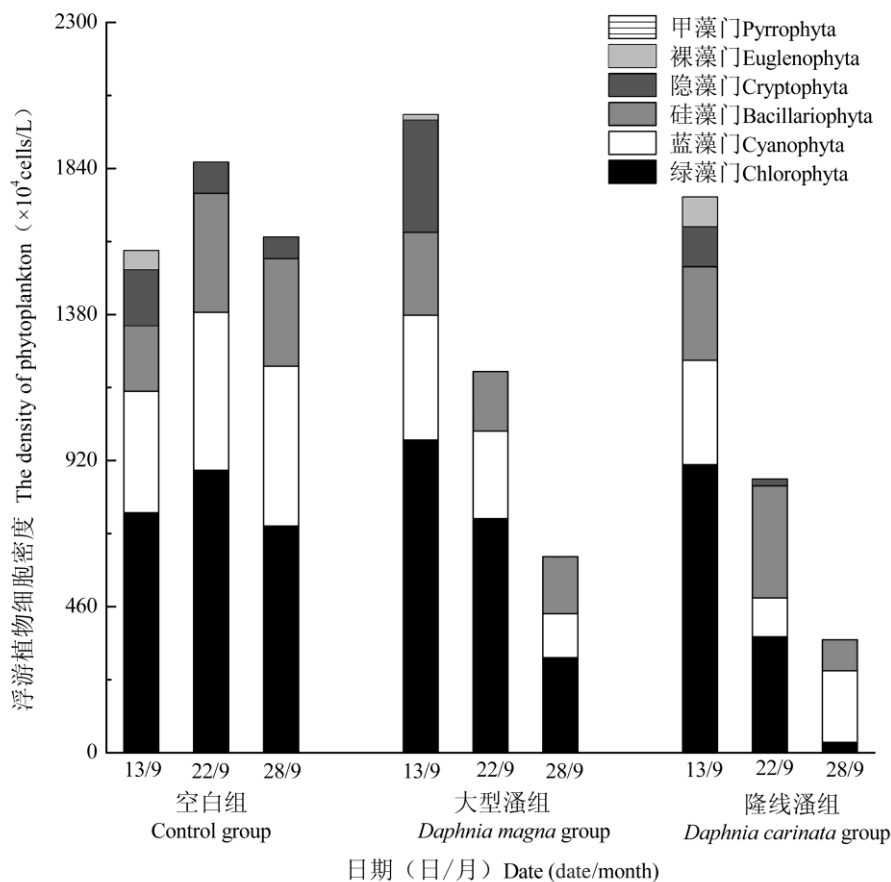


图 3 两种枝角类对培养液中浮游植物密度的影响

Fig. 3 The effects of two cladoceran species on the density of phytoplankton in experimental solutions

(75.2%), 呈现出持续下降现象, 实验结束后实验组叶绿素 a 浓度明显低于空白组 ($P < 0.01$)。大型溞组在 9 月 19 日时间点叶绿素 a 含量略有回升, 之后又急剧下降。而隆腺溞组在 9 月 16 日至 9 月 22 日有一个平缓期, 之后也急剧下降, 但下降速率小于大型溞组 (图 4)。可见, 在瓶内营养盐条件不变的情况下, 叶绿素 a 在空白组浓度变化不明显。但是在大型溞组和隆腺溞组, 叶绿素 a 浓度下降明显, 这说明大型溞和隆腺溞的牧食明显降低了浮游植物的生物量。

2.3 三个组中叶绿素 a 浓度与氮、磷营养盐的关系分析

空白组中, 叶绿素 a 浓度与活性磷、氨氮浓度呈极显著相关关系, 与硝态氮、亚硝态氮浓度相关性不显著。大型溞组叶绿素 a 浓度与活性磷浓度呈显著相关, 与氨氮、硝态氮、亚硝态氮浓度相关性不显著。隆腺溞组叶绿素 a 浓度与氨氮、活性磷浓度呈显著相关关系, 与硝态氮和亚硝态氮浓度相关性不显著 (表 1)。

2.4 枝角类对附着藻类的影响

实验结束后枝角类的数量也有所变化, 大

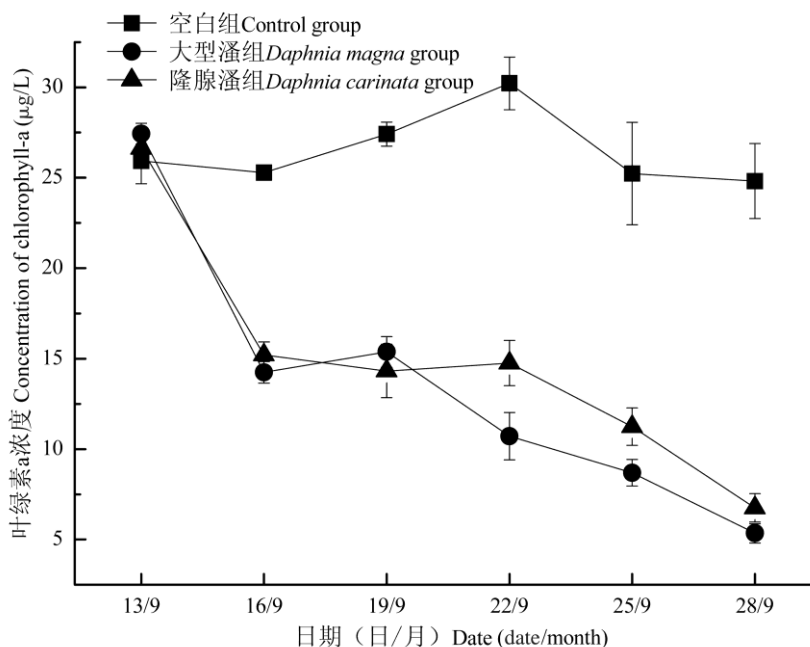


图 4 两种枝角类对培养液中叶绿素 a 的影响

Fig. 4 The effects of two cladoceran species on the concentration of chlorophyll-a in experimental solutions

表 1 叶绿素 a 浓度与氮、磷的相关系数

Table 1 The relationship between chlorophyll-a and nitrogen and phosphorus

		可溶性活性磷 Soluble reactive phosphorus	氨氮 NH ₄ -N	硝态氮 NO ₃ -N	亚硝态氮 NO ₂ -N
叶绿素 a 浓度 Chl-a concentration	空白组 Control group	0.886**	0.863**	0.317	0.165
	大型溞组 <i>D. magna</i> group	- 0.775*	0.364	0.175	0.225
	隆腺溞组 <i>D. carinata</i> group	- 0.625*	0.771*	0.236	0.182

* 表示显著相关, $P < 0.05$; ** 表示极显著相关, $P < 0.01$ 。

* Significant correlation, $P < 0.05$; ** Very significant correlation, $P < 0.01$.

型溞组枝角类为 439 只,隆腺溞组枝角类为 424 只(图 5)。本研究中发现,各处理组桶壁均有附着藻,且不同处理组之间差异较大。空白组桶壁上附着藻平均密度为 $3.11 \times 10^5 \text{ cell/cm}^2$,大型溞组为 $1.98 \times 10^5 \text{ cell/cm}^2$,隆腺溞组为 $1.70 \times 10^5 \text{ cell/cm}^2$,实验组附着藻密度明显低于空白组 ($P < 0.01$),尤其是实验组的绿藻密度明显低于空白组 ($P < 0.01$),而蓝藻密度 ($P > 0.05$) 和硅藻密度 ($P > 0.05$) 与空白组差异不显著(图 6)。实验结束后,实验组浮游藻类密度明显处于较低水平,实验组附着藻类密度明显低于空白组,与此同时实验组枝角类数量明显增加,且在实验期间可以观察到枝角类贴壁的现象,因此推断枝角类可能对附着藻类也有一定的牧食作用,尤其是附着绿藻类。

3 讨论

3.1 两种溞对氮、磷营养盐和浮游植物关系的影响

在一些淡水湖泊中氮、磷往往是浮游植物

生长的限制因子(Nalewajko et al. 2001, 秦伯强等 2007)。本研究的空白组中,叶绿素与氨氮和活性磷呈现极显著相关关系,而与硝态氮和亚硝态氮相关性不显著。研究表明,在氮源充足的情况下,浮游植物一般先利用氨氮,后利用硝态氮(Guerrero et al. 1987)。这可以解释本实验中空白组的叶绿素 a 浓度与活性磷、氨氮呈极显著正相关,而与硝态氮和亚硝态氮无显著相关性。McQueen 等在 1986 年提出了“上行/下行”(bottom-up/top-down)理论,该理论认为浮游植物生物量是由上行力与下行力共同决定的。本研究中空白组并无浮游动物,因此浮游植物生物量是由上行力决定的,在大型溞实验组,叶绿素 a 浓度仅与活性磷呈现显著负相关,与氨氮、硝态氮和亚硝态氮无相关性,隆腺溞组浮游植物生物量与氨氮、活性磷呈显著相关性,说明浮游植物生物量主要是由上行力和下行力共同作用的,其中,实验处理组中下行效应表现更加明显,这与张镇等(2009)的研究结果是一致的。有研究表明(李宽意等

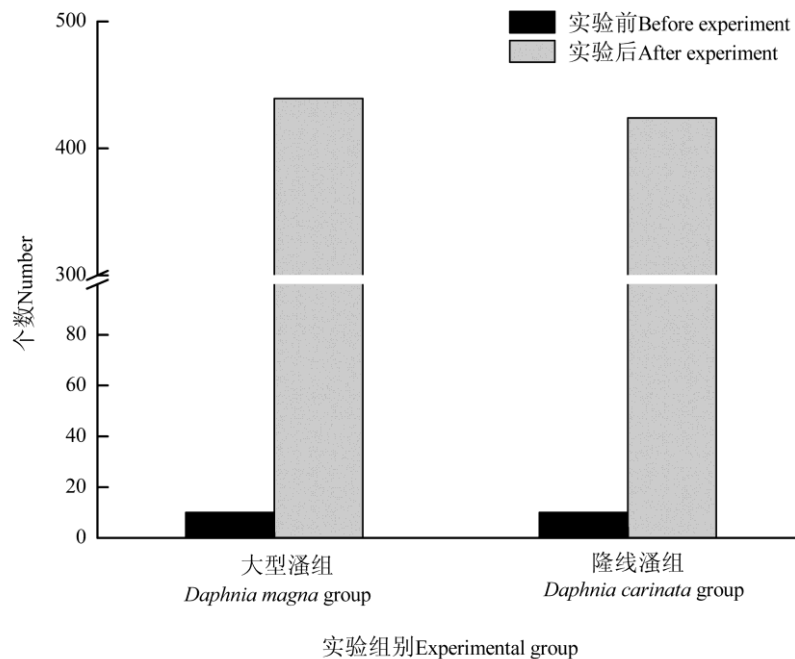


图 5 实验前后枝角类数量变化

Fig. 5 The variation of the amount of cladoceran before and after the experiment

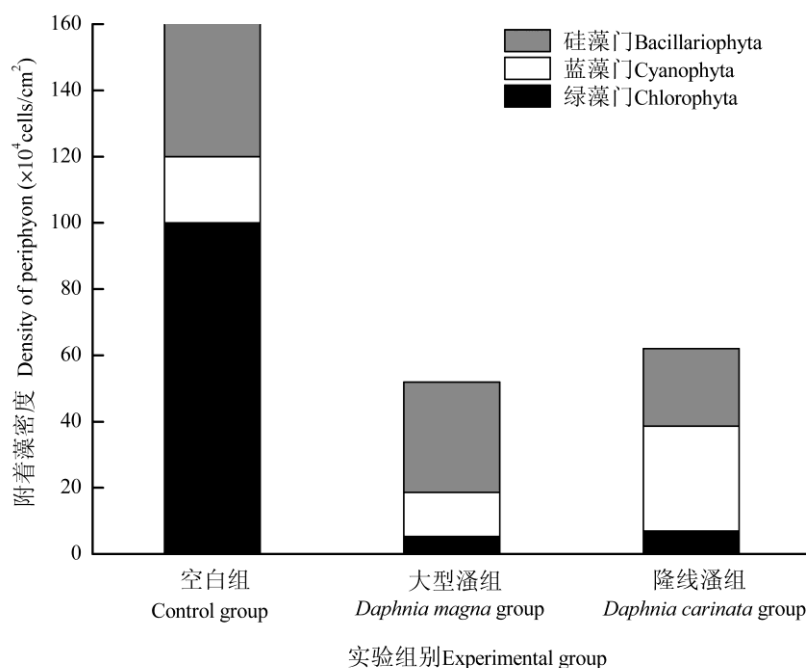


图 6 两种枝角类对培养液中附着藻类密度的影响

Fig. 6 The effects of two cladoceran species on the concentration of periphyton in experimental solutions

2007) 水生动物的活动、代谢能引起水体营养盐的增加。本研究中, 实验组氨氮和可溶性活性磷的持续上升也可能与枝角类密度持续增长及其活动代谢有关。

3.2 两种溞对浮游植物数量群落结构的影响

在大多数淡水水体中, 浮游动物通常是浮游植物最重要的牧食者, 溞属大型植食性浮游动物能把藻类生物量控制在极低的水平 (Benndorf 1990)。本实验中, 空白组浮游植物的密度和生物量变化不大, 实验组浮游植物的密度和生物量明显下降, 说明大型溞和隆线溞对浮游植物有很好的控制效果。在实验组中, 浮游植物群落结构发生了很大的改变, 蓝藻、绿藻和硅藻比例在整个浮游植物群落结构中明显下降, 并且裸藻、隐藻和甲藻在实验结束后均未检测到, 说明两种溞的牧食对浮游植物群落结构产生了明显的影响。

枝角类种类和个体大小对摄食影响很大 (王岩 1997)。不同种类摄食习性不同, 对食物的性质和颗粒大小要求也不同 (赵文等

2010)。一般较大的溞倾向摄食较大的食粒 (Knoechel et al. 1986), 其摄食藻类范围也相应更广。本实验中, 大型溞的首选藻类是具鞭毛、个体大小在 10 μm 左右的隐藻, 其次是绿藻门和蓝藻门中的中小型藻类。隆腺溞刚毛间距较小, 对于个体较小的小球藻的截留作用较大, 而对于个体较大的蓝藻则阻在体外, 隆腺溞组对绿藻摄食最多, 尤其是小型绿藻, 其次为隐藻和硅藻。说明两种溞在藻类牧食的选择上有所不同, 并且都会优先选择牧食适口藻类, 因此控制不同优势类群的藻类时可以考虑投放不同的枝角类。

3.3 枝角类与附着藻类之间的关系

目前对于附着藻类牧食的报道, 多以螺类 (李宽意等 2008)、虾类 (吴志新等 1995)、两栖动物 (Cattaneo et al 1995) 和鱼类为研究对象 (姚洁 2012), 对于浮游动物枝角类牧食附着藻类的研究少有报道。在本研究中, 实验组中的附着藻类密度明显低于空白组, 说明大型溞和隆线溞的牧食对附着藻类有很好的控制

效果。研究表明，附着藻类生物量的增加会降低沉水植物的生长率，机理可能是因为在沉水植物的叶片表面形成了一个高氧、高 pH、低二氧化碳的环境，从而抑制沉水植物的光合作用（Jones et al. 2002, Liboriussen et al. 2003）。然而，通过改变鱼类种类组成或多度来操纵植食性浮游动物群落结构，进而降低藻类生物量，改善水质的研究中，大型沉水植物、微生物以及一些理化因素也起着不可忽视的作用（刘春光等 2004）。由此推测，大型溞和隆线溞在清除或降低附着在沉水植物上的附着藻类上具有一定的潜能，这有利于植被对光照的吸收，促进沉水植物的生长，一方面可大量吸收水体营养盐，对藻类生长产生营养缺乏性胁迫，另一方面释放大量氧气致使水体二氧化碳气压降低从而抑制藻类生长繁殖（张玮等 2012）。而沉水植被的恢复反过来会为枝角类提供有利庇护，因此可以一定程度上解决河口水体透明度低、水华难治理的问题。当然，枝角类清除附着藻类的效能究竟有多大，其与附着藻类、沉水植物之间的相互关系具体如何，还有待进一步的研究。

参 考 文 献

- Benndorf J. 1990. Conditions for effective biomanipulation; conclusions derived from whole-lake experiments in Europe. *Hydrobiologia*, 200–201(1): 187–203.
- Cattaneo A, Mousseau B. 1995. Empirical analysis of the removal rate of periphyton by grazers. *Oecologia*, 103(2): 249–254.
- Guerrero M G, Lara C. 1987. Assimilation of inorganic nitrogen//Fay P, van Baalen C. *The Cyanobacteria*. Amsterdam: Elsevier, 163–186.
- Jones J I, Young J O, Eaton J W, et al. 2002. The influence of nutrient loading dissolved inorganic carbon and higher trophic levels on the interaction between submerged plants and periphyton. *Journal of Ecology*, 90(1): 12–24.
- Knoechel R, Holtby L B. 1986. Construction and validation of a body-length-based model for the prediction of Cladoceran community filtering rates. *Limnology and Oceanography*, 31(1): 1–16.
- Liboriussen L, Jeppesen E. 2003. Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology*, 48(3): 418–431.
- McQueen D J, Post J R, Mills E L. 1986. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(8): 1571–1581.
- Nalewajko C, Murphy T P. 2001. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: an experimental approach. *Limnology*, 2(1): 45–48.
- 操璟璟. 2007. 枝角类浮游动物对水体富营养化和蓝藻水华影响的初步研究. 芜湖: 安徽师范大学硕士学位论文.
- 戴莽, 倪乐意, 谢平, 等. 1999. 利用大型围隔研究沉水植被对水体富营养化的影响. *水生生物学报*, 23(2): 97–101.
- 董双林. 1994. 鲢鱼的放养对水质影响的研究进展. *生态学杂志*, 13(2): 66–69.
- 管卫兵, 陆锋, 许维岸, 等. 2012. 大型枝角类引导的沉水植物生态修复对太湖围隔水质的净化效果. *湖南农业科学*, (5): 56–60.
- 郭匡春. 2007. 浮游动物与藻类水华的控制. 武汉: 中国科学院水生生物研究所硕士学位论文.
- 胡鸿钧, 魏印心. 2006. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态. 北京: 科学出版社.
- 霍元子, 何文辉, 罗坤, 等. 2010. 大型溞引导的沉水植被生态修复对滴水湖水质的净化效果. *应用生态学报*, 21(2): 495–499.
- 江敏, 卢柳, 邢斌, 等. 2011. 滴水湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析. *上海海洋大学学报*, 20(3): 451–456.
- 蒋燮治, 诸南山. 1979. 中国动物志: 淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 41–43.
- 景钰湘. 2012. 上海滴水湖浮游藻类群落结构特征及水质评价. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文.
- 李宽意, 刘正文, 李传红, 等. 2007. 螺类牧食损害对沉水植物群落结构的调节. *海洋与湖沼*, 38(6): 576–580.
- 李宽意, 刘正文, 李传红, 等. 2008. 太湖椭圆萝卜螺的食物来源分析. *湖泊科学*, 20(3): 339–343.
- 刘春光, 邱金泉, 王雯, 等. 2004. 富营养化湖泊治理中的生物操纵理论. *农业环境科学学报*, 23(1): 198–201.
- 刘建康, 谢平. 2003. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖

- 泊实践. 生态科学, 22(3): 193-198.
- 秦伯强, 王小冬, 汤祥明, 等. 2007. 太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机——原因与对策. 地球科学进展, 22(9): 896-906.
- 石岩, 张喜勤, 付春艳, 等. 1998. 浮游动物对净化湖泊富营养化的初步探讨. 东北水利水电, (3): 31-33.
- 陶晶晶. 2013. 滴水湖及其外围水体浮游植物群落结构与水质评价. 上海: 上海师范大学硕士学位论文.
- 汪海英, 周敏杰. 2006. 临港新城——滴水湖富营养化现状评价及调控对策. 上海水务, 22(4): 24-26.
- 王全喜, 曹建国, 刘妍, 等. 2008. 上海九段沙湿地自然保护区及其附近水域藻类图集. 北京: 科学出版社.
- 王岩. 1997. 枝角类摄食生物学研究中的几个问题. 动物学杂志, 32(6): 45-49.
- 吴志新, 陈孝焯, 张群宝. 1995. 池养澳大利亚红螯螯虾的食性. 湖北农业科学, (1): 56-59.
- 姚洁. 2012. 罗非鱼、附着藻类与沉水植物苦草关系的研究. 广州: 暨南大学硕士学位论文.
- 张玮, 郑小燕, 王丽卿, 等. 2012. 沉水植被构建对上海辰山植物园景观湖水质的影响. 环境工程学报, 6(1): 178-184.
- 张镇, 陈非洲, 周万平, 等. 2009. 南京玄武湖隆腺溞 (*Daphnia carinata*) 牧食对浮游植物的影响. 湖泊科学, 21(3): 415-419.
- 赵文. 1991. 内陆盐水体枝角类研究述评. 大连水产学院学报, 6(2): 31-41.
- 赵文, 王巧晗, 张琳, 等. 2010. 温度、盐度和食物条件对西藏拟溞摄食强度的影响. 生态学报, 30(11): 3065-3072.