

## 南京玄武湖隆腺溞(*Daphnia carinata*)牧食对浮游植物的影响\*

张 镇<sup>1,2</sup>, 陈非洲<sup>1</sup>, 周万平<sup>1</sup>, 刘正文<sup>1\*\*</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 隆腺溞(*Daphnia carinata*)是许多湖泊的常见大型浮游动物, 习居于富营养的水域中, 以浮游植物为食, 且滤食效率较高. 通过浮游动物添加实验, 研究了隆腺溞对南京玄武湖叶绿素和浮游植物群落结构的影响. 结果表明, 在隆腺溞组, 浮游植物密度较对照组降低了 83%, 叶绿素较对照组下降了 81%, 氮、磷营养盐与叶绿素的相关性不显著. 浮游植物的群落结构较对照组也发生了很大变化, 蓝藻、绿藻和硅藻的比例有显著上升, 隐藻呈显著下降趋势, 金藻、甲藻和裸藻在实验结束时已没有检出. 说明隆腺溞的摄食能有效控制浮游植物的生物量, 可对浮游植物的群落结构产生显著影响.

**关键词:** 隆腺溞; 浮游植物; 牧食; 玄武湖

### Effects of *Daphnia carinata* grazing on the phytoplankton of Lake Xuanwu, Nanjing

ZHANG Zhen<sup>1,2</sup>, CHEN Feizhou<sup>1</sup>, ZHOU Wanping<sup>1</sup> & LIU Zhengwen<sup>1</sup>

(1: State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China)

(2: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R.China)

**Abstract:** *Daphnia carinata* is a large zooplankton in many eutrophic lakes and has a high efficiency to graze phytoplankton. The effects of *Daphnia carinata* on chlorophyll-*a* and the community structure of phytoplankton of Lake Xuanwu in Nanjing was studied experimentally. The results showed that the density of phytoplankton decreased 83% and the chlorophyll-*a* decreased 81% in the *Daphnia carinata* treatment comparing with the control. There is no significant relationship between nitrogen, phosphorus and chlorophyll-*a* in the *Daphnia* treatment. When *Daphnia* presented, the community structure of phytoplankton had changed. The proportion of Cyanophyta, Chlorophyta and Bacillariophyta obviously increased and the proportion of Cryptophyta obviously decreased. The Chrysophyta, Pyrrophyta, and Euglenophyta were not found at the end of the experimentation. Our experiments showed that *Daphnia carinata* can efficiently control the biomass of phytoplankton and change the community structure of phytoplankton.

**Keywords:** *Daphnia carinata*; phytoplankton; grazing; Lake Xuanwu

随着人类活动对湖泊生态系统的影响, 水体富营养化导致藻类异常增殖成为影响湖泊环境的主要问题. 在影响藻类生长繁殖的因素中, 氮、磷往往是限制性因子<sup>[1]</sup>. 同时也有一些研究表明, 生态系统中生物因子也可成为影响浮游植物生长的关键因子, 在这种情况下浮游植物生物量与氮、磷营养盐没有显著的关系<sup>[2]</sup>. 例如, 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. 因此, 提高浮游动物密度被广泛应用于富营养化湖泊的治理当中, 即所谓的生物操纵<sup>[3-4]</sup>.

南京玄武湖是城市小型浅水湖泊, 面积为 3.68km<sup>2</sup>, 湖水深度不超过 2.5m, 平均水深为 1.6m, 库容约

\* 中国科学院领域前沿课题(KZCX2-YW-419)和国家自然科学基金(30600069)联合资助. 2008-07-30 收稿; 2008-10-06 收修改稿. 张镇, 男, 1975 年生, 博士研究生; E-mail: im1206@163.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: zliu@niglas.ac.cn.

为  $5 \times 10^6 \text{m}^3$ 。玄武湖湖岸呈菱形, 周长约 10km, 湖内有 5 个岛, 把湖面分成 3 大片, 即东南湖、西南湖和北湖, 湖与湖之间有桥或堤相通。虽然对湖泊采取了截污、清淤等措施, 富营养化水平仍然较高, 浮游植物密度高, 时常出现水华。

隆腺溞(*Daphnia carinata*)是亚热带和温带地区常见的大型滤食性浮游动物, 春夏季数量大, 习居于富营养的水域中, 以浮游植物为食, 且滤食效率较高, 是玄武湖春季优势浮游甲壳动物种类。为探讨浮游动物对玄武湖浮游植物的影响以及控制浮游植物的途径。本文通过实验, 研究了玄武湖常见大型浮游动物隆腺溞牧食对浮游植物的影响。

## 1 材料与方法

2008 年 4 月 12 日, 取玄武湖东南湖区湖水, 用 250 目筛网滤除大型浮游动物, 然后装入 5L 广口瓶里。试验设置两个处理, 第一组不添加隆腺溞(对照组), 第二组每个瓶里加入 10 只隆腺溞(处理组)。每个处理做 2 个重复。广口瓶加盖后悬挂在湖中, 试验持续 15d, 每隔三天取瓶中的水样 100ml, 浮游植物数量、生物量和无机氮、活性磷的浓度。实验结束后测瓶中隆腺溞的数量。

溶解无机氮和可溶性活性磷用 skalar 测试仪进行测试。浮游植物取水样 50ml, 在倒置显微镜下进行计数和种类鉴定。浮游植物的鉴定主要参照中国淡水藻志<sup>[5]</sup>。叶绿素用丙酮法进行测定<sup>[6]</sup>。

试验数据用 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 相关系数法分析。

## 2 结果

### 2.1 不同处理中, 无机氮和活性磷的差异

2.1.1 溶解性无机氮 不同处理中, 溶解性无机氮(DIN)的变化情况(图 1)。滤除隆腺溞的对照组中, 溶解性无机氮在试验期间浓度增加较少。溶解性无机氮实验开始时为  $0.28 \text{mg/L}$ , 实验结束时为  $0.4 \text{mg/L}$ , 上升了 1.43 倍。

添加隆腺溞处理组中, 溶解性无机氮浓度在试验期间有明显增加, 从实验开始时的  $0.28 \text{mg/L}$  上升到实验结束时的  $0.96 \text{mg/L}$ , 上升了 3.43 倍。

2.1.2 可溶性活性磷 不同处理中, 可溶性活性磷(SRP)的变化情况(图 2)。对照组中, 可溶性活性磷浓度基本保持不变。可溶性活性磷实验开始时为  $3.85 \mu\text{g/L}$ , 实验结束时为  $3.6 \mu\text{g/L}$ , 有轻微下降。处理组中, 可溶性活性磷呈上升变化, 从实验开始时的  $3.85 \mu\text{g/L}$  上升到实验结束时的  $8.26 \mu\text{g/L}$ 。

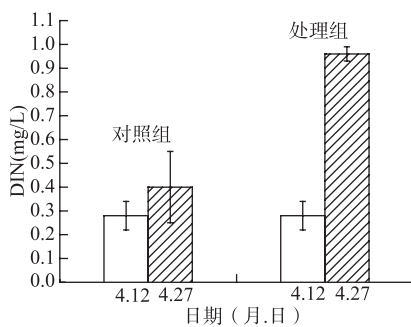


图 1 溶解性无机氮的比较

Fig.1 The comparison of dissolved inorganic nitrogen

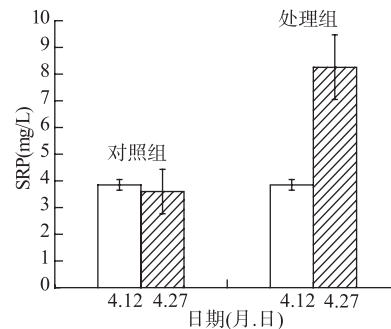


图 2 可溶性活性磷的比较

Fig.2 The comparison of soluble reactive phosphorus

### 2.2 不同处理中, 浮游植物组成、数量及生物量的变化

2.2.1 浮游植物种类组成变化 对照组中, 实验前后, 浮游植物的种类组成变化不大(图 3)。处理组中, 浮游植物的种类组成与实验开始时较大的变化(图 3)。实验开始时, 蓝藻占 30%、隐藻占 46%、金藻占

4.8%、甲藻占 5.3%、硅藻占 10%、绿藻占 4%。实验结束时, 蓝藻占 57%、隐藻占 13%、硅藻占 17%、绿藻占 13%。其中蓝藻、绿藻和硅藻的比例有显著上升, 隐藻呈显著下降趋势, 金藻、甲藻和裸藻在实验结束时已没有检出, 由此可见, 隆腺溞的摄食对浮游植物的种类组成产生较大的影响。

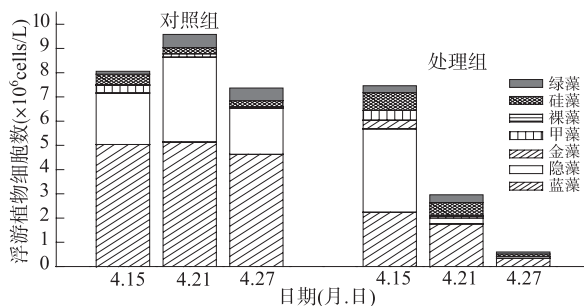


图 3 浮游植物种类组成与数量变化的对比  
Fig.3 The variation of phytoplankton composition and density

2.2.2 浮游植物数量变化 对照组中, 浮游植物的种类组成以蓝藻门的蓝纤维藻、席藻和隐藻门的蓝隐藻为优势种。蓝藻和隐藻在实验结束时数量上有一个下降, 分别从 4 月 15 日的  $5.04 \times 10^6$  cells/L 和  $2.12 \times 10^6$  cells/L 下降到实验结束时的  $4.63 \times 10^6$  cells/L 和  $1.9 \times 10^6$  cells/L。而绿藻在数量上有一个增加, 从 4 月 15 号的  $0.12 \times 10^6$  cells/L 上升到实验结束时的  $0.52 \times 10^6$  cells/L。

处理组中, 浮游植物数量有明显的下降, 蓝藻从 4 月 15 号的  $2.24 \times 10^6$  cells/L 下降到实验结束时的  $0.34 \times 10^6$  cells/L; 隐藻从 4 月 15 号的  $3.44 \times 10^6$  cells/L 下降到实验结束时的  $0.08 \times 10^6$  cells/L; 绿藻从 4 月 15 号的  $0.28 \times 10^6$  cells/L 下降到实验结束时的  $0.08 \times 10^6$  cells/L, 金藻、甲藻和裸藻在实验结束时没有检出。

2.2.3 叶绿素 a 浓度变化 在对照组中, 实验开始时, 叶绿素 a 浓度为  $45.47 \mu\text{g/L}$ ; 实验结束时, 叶绿素 a 浓度为  $38.67 \mu\text{g/L}$ 。整个实验过程中, 叶绿素 a 浓度平均为  $37.8 \mu\text{g/L}$ 。处理组中的叶绿素 a 浓度含量呈逐渐下降趋势, 实验开始时为  $45.47 \mu\text{g/L}$ , 实验结束时为  $7.05 \mu\text{g/L}$  (图 4)。

由此可见, 在营养盐条件不变的情况下, 叶绿素 a 浓度在没有隆腺溞存在的条件下, 本身的变化不明显。而当添加隆腺溞后, 叶绿素 a 浓度明显下降, 说明隆腺溞可以对浮游植物生物量进行有效控制。

2.3 不同处理中, 叶绿素 a 浓度与氮、磷的关系分析

表 1 是叶绿素 a 浓度与氮、磷相关性分析结果。对照组中, 叶绿素 a 浓度与氨氮、亚硝态氮、活性磷呈显著相关性, 而硝态氮、溶解性无机氮与叶绿素 a 浓度相关性不显著。处理组中, 叶绿素 a 浓度与亚硝态氮、硝态氮、溶解性无机氮、活性磷相关性不显著, 与氨氮呈显著负相关关系。

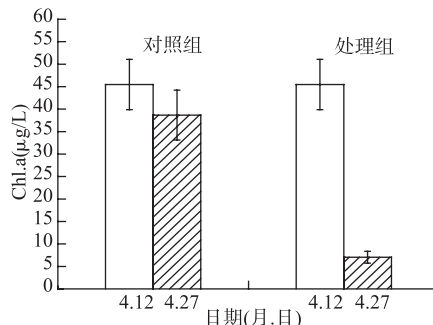


图 4 叶绿素 a 浓度的变化  
Fig.4 The variation of chlorophyll-a concentration

表 1 叶绿素 a 浓度与氮、磷的统计分析

Tab.1 The relationship between chlorophyll-a and nitrogen and phosphorus

	氨氮	亚硝态氮	硝态氮	活性磷
叶绿素 a 浓度(对照组)	0.890**	0.661**	0.129	0.890**
叶绿素 a 浓度(处理组)	-0.899**	0.182	0.113	0.275

\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ .

### 3 讨论

#### 3.1 隆腺溞对氮、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<sup>[7-8]</sup>。本试验中,在无浮游动物牧食的情况下,叶绿素与氨氮、亚硝态氮、活性磷呈现出显著相关关系,而硝态氮与叶绿素相关性不明显。一些研究表明,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<sup>[9]</sup>,这就是在氨氮充足的条件下,浮游植物对其它氮源吸收较少的原因<sup>[10]</sup>。这可能是硝态氮与叶绿素不呈现显著相关的原因。同时,在某些情况下,浮游植物的生物量与氮、磷等营养盐并没有显著相关关系<sup>[11]</sup>。浮游植物的生物量是由其它方面因素决定,如光照、水温<sup>[12]</sup>、水体的流动性、风浪作用等因素<sup>[13]</sup>。本实验中,在添加隆腺溞的处理中,叶绿素与营养盐就呈现不同的关系,亚硝态氮、硝态氮、活性磷与叶绿素间不存在显著相关关系,只有氨氮与叶绿素呈现出负显著相关关系。

由本试验两组处理结果的对比可知,在没有隆腺溞牧食的情况下,浮游植物的生物量由氮、磷营养盐决定,即上行效应为主;但当隆腺溞存在时,氮、磷营养盐就不是浮游植物的限制因子,浮游植物的生物量主要由隆腺溞控制,即下行效应为主。

#### 3.2 隆腺溞对浮游植物数量和群落结构的影响

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,溞属等大型植食性浮游动物能把藻类生物量控制在极低的水平<sup>[14]</sup>。大型溞、平突船卵溞、多刺裸腹溞等大型植食性浮游动物都能有效地减少藻类生物量。浮游动物(主要是 *Daphnia* 种类)的过度牧食在许多湖泊春季清水期形成的主要原因。本实验中,在无浮游动物的处理中,浮游植物的数量和生物量在整个实验期间变化不大。而在添加隆腺溞的实验中,浮游植物的数量和生物量有明显的下降,这说明隆腺溞对浮游植物有很好的控制作用。在隆腺溞大量存在情况下,可以有效控制浮游植物的增长,维持湖泊的清水态。由于浮游动物对浮游植物存在选择性摄食,浮游动物的摄食能对浮游植物的群落结构产生影响。一些不可食性的藻类由于可食性藻类数量的减少,可以更多的利用湖泊中的氮、磷营养盐,导致不可食性藻类数量有较大的增加<sup>[15]</sup>。大型浮游动物的摄食较小型浮游动物的要广,不仅能控制狭形纤维藻、单角盘星藻、小形月牙藻、栅列藻等绿藻,而且能控制硅藻(如直链藻)、蓝藻(如优美平裂藻)等<sup>[16]</sup>,这也是生物操纵中多选择大型浮游动物的原因。

在本实验的处理组中,实验前后,浮游植物的群落结构发生了大的改变,不可食的蓝藻比例在整个浮游植物种群结构中上升明显,金藻、甲藻、裸藻在试验结束后没有检出,说明隆腺溞的摄食对浮游植物群落结构产生明显的影响。从整个藻类数量而言,各种藻类的数量都有明显下降,说明在各种食物都存在的情况下,隆腺溞优先摄食适口藻类。

由此可见,隆腺溞不仅能显著影响浮游植物的群落结构,同时可以有效降低浮游植物的密度。如果能有效恢复玄武湖隆腺溞的种群数量,将可以降低湖泊浮游植物生物量,降低水华发生的可能性,同时提高透明度,改善湖泊景观。

### 4 参考文献

- [1] Schelller D. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, 1977, **195**: 260-262.
- [2] Howarth RB, Swaney D, Marino R *et al.* Turbulence does not prevent nitrogen fixation by plankton in estuaries and coastal seas creply to the comment by Pearl. *Limnology and Oceanography*, 1995, **40**, 639-643.
- [3] Isabelle Domaizon, Jean Devaux. A new approach in biomanipulation techniques-use of a phytoplanktivorous fish, the silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Annee Biologique*, 1999, **38**: 91-106.
- [4] Perrow MR, Meijer M, Dawidowicz P *et al.* Biomanipulation in shallow lake: state of the art. *Hydrobiologia*, 1997, **342/343**: 355-356.
- [5] HuszarVL, Caraco NF. The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional descriptors in six temperate lakes. *Freshwater Biology*, 1998, **40**: 679-696.
- [6] 齐雨藻,李家英. 中国淡水藻志. 北京: 科学出版社, 1995.

- [7] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [8] Nalewajko C, Murphy TP. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: an experimental approach. *Limnology*, 2001, **2**: 45-48.
- [9] Guerrero MG, Lara C. Assimilation of inorganic nitrogen. In: Fay P, van Baalen C eds. *The cyanobacteria*. Amsterdam: Elsevier, 1987: 163-186.
- [10] Turpin DH. Effects of inorganic N availability on algal photosynthesis and carbon metabolism. *J Phycol*, 1991, **27**: 14-20.
- [11] Bucka H. Ecology of selected planktonic algal causing water blooms. *Acta Hydrobiol*, 1989, **31**(3/4): 207-258.
- [12] Howarth RB, Swaney D, Marino R *et al*. Turbulence does not prevent nitrogen fixation by plankton in estuaries and coastal seas creply to the comment by Pearl. *Limnology and Oceanography*, 1995, **40**: 639-643.
- [13] 李小平. 美国湖泊富营养化的研究和治理. 自然杂志, 2002, **24**(2): 63-68.
- [14] Benndorf J. Conditions for effective biomanipulation; conclusions derived from whole-lake experiments in Europe. *Hydrobiologia*, 1990, **200/201**: 187-203.
- [15] Queimalinos CP, Modenutti BE. Phytoplankton responses to experimental enhancement of grazing pressure and nutrient recycling in a small Andean lake. *Freshwater Biology*, 1998, **40**: 41-49.
- [16] 陈济丁, 任久长, 蔡晓明. 利用大型浮游动物控制浮游植物过量生长的研究. 北京大学学报(自然科学版), 1995, **31**(3): 373-383.

### 《翻阅巢湖的历史——蓝藻、富营养化及地质演化》等专著出版

《翻阅巢湖的历史——蓝藻、富营养化及地质演化》最近由科学出版社出版, 这是一部从淡水生态学、湖沼学、遥感、水文学、古环境演化等视点分析巢湖的蓝藻、富营养化及地质演化历史的专著. 全书共分 10 章, 分别从巢湖蓝藻的历史演变和空间格局、湖水和水产品中囊藻毒素的污染现状、沉积物和流域表层土壤中的氮磷分布格局、氮磷输入和湖水中氮磷浓度的历史变化、泥沙淤积的历史变化、生态系统变化、地质历史变迁等角度对巢湖进行了较系统的分析, 并通过和太湖及其它湖泊的比较分析, 探讨了巢湖富营养化问题的特性. 巢湖是我国水环境领域重点治理的“三湖三河”之一, 而有关巢湖的资料、文献、研究积累均相对薄弱, 本书的出版, 将为从事湖泊学、环境生物学、藻类学、生态学、生态水文学、水环境遥感、水产学、古湖沼学、环境地球化学、水环境工程等相关领域的研究人员和管理人员、大专院校师生提供及时的帮助和参考.

专著作者谢平研究员, 来自中国科学院水生生物研究所, 主要研究方向为淡水生态学和环境毒理学; 目前是中国科学院东湖湖泊生态系统试验站站长, 淡水生态与生物技术国家重点实验室副主任, 华中农业大学水产学院讲座教授; 1999 年获国际湖泊生态学大奖“琵琶湖奖”, 2003 年获国家杰出青年基金资助. 目前担任 *Ecological Research*、*Limnology*、*Freshwater Systems* 等 SCI 收录杂志的编委及《湖泊科学》副主编. 2003 年以来, 他陆续编著出版了《鲢、鳙与藻类水华控制》、《水生动物体内的微囊藻毒素及其对人类健康的潜在威胁》、《论蓝藻水华的发生机制》、《太湖蓝藻的历史发展与水华灾害》等 4 部著作, 均为科学出版社《当代杰出青年科学文库》系列出版物.

上述 5 本专著的详细内容摘要在《湖泊科学》网站([www.jlakes.org](http://www.jlakes.org))均可查阅. 具体购买事宜请和科学出版社发行处联系(100717 北京市东黄城根北街 16 号).