

亚热带富营养型湖泊中磷对附着藻类的影响

刘玉超^{1,2}, 刘正文^{1,3}

(1 暨南大学水生生物研究中心, 广东 广州, 510632; 2 枣庄学院 生命科学系, 山东 枣庄, 277160;
3 中国科学院 地理湖泊研究所, 江苏 南京, 210008)

摘要:选择亚热带富营养化浅水湖泊,研究了不同磷供给对人工附着基上附着藻类的影响.结果表明,磷供给的增加显著促进了附着藻类的丰度和生物量的增加.附着藻类群落优势种类为硅藻和绿藻,硅藻优势种为直链藻 *Melosira* sp.、针杆藻 *Synedra* sp. 和脆杆藻 *Fragilaria* sp.,绿藻优势种为四尾栅藻 *Scenedesumus quadricauda*、二角盘星藻 *Pediastrum duplex* 和鼓藻 *Cosmarium* sp.. 磷供给的增加对硅藻群落的种类组成影响不大,但增加了绿藻的种类数量.结果显示,磷是附着藻类群落发展的关键因子,要控制附着藻类以保护沉水植被必须减少磷的输入.

关键词:附着藻类; 人工基质; 富营养型湖泊; 磷

中图分类号: Q178.513

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2011)03-0119-03

Impact of Phosphorus on Periphyton Communities in A Subtropical Eutrophic Lake

LIU Yu-chao^{1,2}, LIU Zheng-wen^{1,3}

(1 Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2 Department of Life Science, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China; 3 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

Abstract: This paper investigated the impact of phosphorus on periphyton communities in a subtropical eutrophic lake. The results showed that increase in phosphorus supply significantly increased the abundance and biomass of periphyton. Dominant groups of periphyton were Bacillariophyta and Chlorophyta. Dominant species included *Melosira* sp., *Synedra* sp., *Fragilaria* sp., *Scenedesumus quadricauda*, *Pediastrum duplex* and *Cosmarium* sp. The increase in phosphorus had no effect on species number of Bacillariophyta, but increased the species number of Chlorophyta. The study suggests that phosphorus is the key factor controlling the development of periphyton, and reduction in phosphorus input is needed in order to protect submerged macrophytes.

Key words: periphyton; artificial substrates; eutrophic lake; phosphorus

浅水湖泊富营养化过程中,过多的外源营养盐输入会促进沉水植物表面附着藻类的过渡繁殖和生长^[1-2].而大量积累的附着藻与沉水植物之间存在着对营养盐和碳源的竞争,并产生强烈的遮蔽作用而使沉水植物受到光抑制^[3-4],对沉水植物的生长产生不利影响^[5-6].这被认为是富营养化浅水湖泊中沉水植物逐渐消失的主要原因之一^[3-4].同时,附着藻还可以通过多种途径对营养盐,特别是磷营养盐的循

环产生影响,如通过直接吸收降低水中的磷浓度^[7];还可以通过脱落、分解、以及呼吸消耗、光合作用改变底泥界面理化条件(pH、溶解氧、氧化还原电位等)等机制影响磷营养盐的循环^[8].而已有的研究表明,在多数淡水环境中,磷是限制藻类生物量积累和生长的最主要因子之一^[9-10],较高浓度的磷会促进附着藻生长、生物量积累和叶绿素 a(Chl a)含量的增加^[10-14].本研究通过配制不同磷浓度的人工基质,研

收稿日期: 2010-10-18

作者简介: 刘玉超(1976—),男,讲师,博士;通信作者: 刘正文(1963—),男,教授,博士, E-mail: zliu@niglas.ac.cn

基金项目: 国家水专项(2008ZX07211-003);广东省科技计划项目(2006B36703003)

究不同浓度外源磷的加入对富营养化浅水湖泊中附着藻生长和群落结构变化的影响,探讨附着藻生长和群落结构发展的控制因子,为富营养浅水湖泊的生态修复和管理提供依据。

1 材料与方 法

研究场地位于广州暨南大学校园内的明湖,面积约5 000 m²,平均深度 1.5 m,总氮和总磷质量浓度分别为 1.99 和 0.16 mg · L⁻¹,叶绿素 a(chl a)质量浓度为 81.67 μg · L⁻¹,透明度为 40 cm。

试验设计借鉴了 Ludwing 等^[15]的方法,利用 250 mL 塑料瓶作为营养池加入琼脂和磷。培养基中每 1L 水中加入琼脂 5 g 以及不同量的磷,加热至全部溶解,倒入 250 mL 塑料瓶中。塑料瓶口径 10 cm,瓶口面积 78.5 cm²。培养基冷却后,用 300 目(孔径 0.48 μm)尼龙膜封口。用尼龙膜作为附着藻类的附着基。设磷的添加质量浓度为 0.07、0.10、0.15 和 0.22 mg · L⁻¹共 4 个处理。每处理 4 个重复。

试验于 2008 年 11 月 7 日开始,分别于第 7、14 和 23 天进行采样,期间平均水温 22 ℃。采样时将塑料瓶和附着基带回实验室,用剪刀将尼龙膜附着基沿塑料瓶口剪下,在 500 mL 蒸馏水中用软毛刷刷取,后倒入 1 L 容器中,测定附着藻类的生物量并分析种类组成。生物量用玻璃纤维膜抽滤后 80 ℃烘干直接称量测定。剩余附着生物悬浮液加固定剂浓缩后进行种类鉴别。

不同浓度磷与附着藻类相关性利用 Spss16.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 附着藻类优势类群种类组成和丰度变化

藻类共鉴定出 6 个门:硅藻门、绿藻门、蓝藻门、甲藻门、隐藻门和裸藻门,优势类群为硅藻和绿藻(表 1)。硅藻优势种为直链藻 *Melosira* sp.、针杆藻 *Synedra* sp. 和脆杆藻 *Fragilaria* sp.,绿藻优势类群为四尾栅藻 *Scenedesmus quadricauda*、二角盘星藻 *Pediastrum duplex* 和鼓藻 *Cosmarium* sp. (表 2)。

表 1 不同磷供给下的附着藻类优势类群种数变化

Tab.1 The changes in species number of the dominant group of periphyton in different supply of phosphorus

$\rho(P)/$ (mg · L ⁻¹)	硅藻			绿藻		
	7 d	14 d	23 d	7 d	14 d	23 d
0.07	5	5	6	4	7	10
0.10	5	5	5	4	8	16
0.15	6	5	5	5	10	16
0.22	5	6	6	11	14	17

从表 1 可以看出,基质中磷供给的增加对硅藻种数影响不明显,平均为 5 种;而绿藻门从第 7 和 14 天的 4 和 7 种分别增加到 11 和 14 种,第 23 天,在磷质量浓度为 0.10 mg · L⁻¹时已增加到 16 种,此后随磷浓度的升高种类增加不明显。由表 2 可知,硅藻优势类群丰度随基质中磷浓度的升高明显增加,其中脆杆藻尤为显著;绿藻优势类群丰度总体上也呈增加趋势,二角盘星藻在第 7 和 14 天趋势不明显,第 23 天明显增加;而四尾栅藻和鼓藻呈明显增加趋势。

表 2 不同磷供给下的附着藻优势类群丰度变化

Tab.2 The abundance changes of the dominant species of periphyton in different supply of phosphorus

$t_{\text{采样}}/d$	$\rho(P)/$ (mg · L ⁻¹)	硅藻门			绿藻门		
		直链藻	针杆藻	脆杆藻	二角盘星藻	四尾栅藻	鼓藻
7	0.07	0.72	3.82	3.84	1.91	2.87	0.48
	0.10	0.48	2.39	6.21	1.91	2.15	0.54
	0.15	4.30	5.49	12.90		5.73	3.58
	0.22	5.49	27.23	27.71	2.73	4.54	4.06
14	0.07	2.87	15.76	24.12	1.91	2.15	1.91
	0.10	4.78	21.02	26.27	1.91	3.11	1.91
	0.15	7.26	18.34	48.54	3.06	13.38	9.94
	0.22	6.69	47.77	66.88	1.91	8.12	12.87
23	0.07	5.35	25.61	31.72	3.06	6.88	3.06
	0.10	8.22	38.73	25.99	12.23	11.08	8.79
	0.15	10.91	37.88	150.48	19.11	27.77	12.63
	0.22	14.33	55.41	162.42	15.29	23.41	15.29

2.2 不同磷供给量对附着藻类生物量的影响

附着藻生物量变化如图 1 所示。在整个试验期间的 3 次采样中,附着藻生物量均随基质中磷浓度的升高而增加;回归分析表明,3 次采样的附着藻生物量与磷质量浓度之间具有较高的相关性($R_{7d}^2 = 0.60$; $R_{14d}^2 = 0.48$; $R_{23d}^2 = 0.76$)。这表明外源磷的输入显著促进了附着藻的生长和发展。

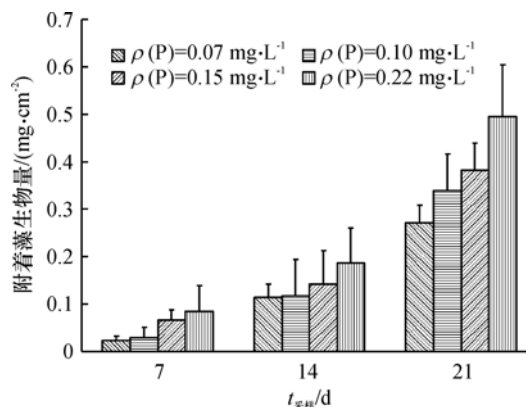


图 1 附着藻生物量对不同质量浓度磷的响应
Fig. 1 Response of periphyton biomass to different mass concentration of phosphorus

3 讨论

本试验结果表明基质中磷浓度的增加明显促进湖附着藻类生物量的积累,与磷浓度间具有较高的相关性.而生物量的变化趋势则反应了附着藻类群落的发展与种类组成的变化,这与磷浓度的增加促进硅藻和绿藻的丰度以及绿藻多样性增加相一致.

磷浓度的增加也显著改变附着藻类的群落结构. Fairchild 等^[16]研究发现,基质中磷浓度的增加促进了窗纹藻属 *Epithemia* sp.、弯棒杆藻 *Rhopalodia gibba* 以及鱼腥藻 *Anabaena* sp. 的增加. 本研究结果显示,附着藻类优势类群为硅藻和绿藻,硅藻优势类群为直链藻、针杆藻和脆杆藻,绿藻优势类群为四尾栅藻、二角盘星藻和鼓藻. 这与温带湖泊和亚热带湿地中研究结果^[16]差异较大,其原因可能与研究地点较高的温度、光照以及高速的营养再生速率等环境条件有关^[17]. 而种类和丰度的变化表明,磷浓度的增加对硅藻种类组成的影响不大,与 Pringle 等^[18]及 Pringle^[19]结果不一致,但丰度显著增加,其中脆杆藻尤为明显,绿藻多样性和丰度呈增加趋势. 本研究的结果表明,亚热带富营养型湖泊附着藻类群落结构对磷的增加比较敏感,磷是促进附着藻类群落发展的关键因子. 由此可见,亚热带湖泊要控制附着藻类的发展,保护沉水植被,必须控制磷的输入.

参考文献:

- [1] EMINSON D, PHILLIPS G L, MOSS B. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters[J]. *Aquatic Botany*, 1978, 4: 103-126.
- [2] JONES J I, YOUNG J O, HAYNES G M, et al. Do submerged aquatic plant influence their periphyton to enhance the growth and reproduction of invertebrate mutualists[J]. *Oecologia*, 1999, 120: 463-474.
- [3] JONES J I, EATON J W, YOUNG J O. Do submerged aquatic plants influence periphyton community composition for the benefit of invertebrate mutualist[J]. *Freshwater Biology*, 2000, 43: 591-604.
- [4] JONES J I, YOUNG J O, EATON J W, et al. The influence of nutrient loading dissolved inorganic carbon and higher trophic levels on the interaction between submerged plants and periphyton[J]. *Journal of Ecology*, 2002, 90: 12-24.
- [5] DALDORPH P W G, THOMA J D. Factors influencing the stability of nutrient-enriched macrophyte communities: The role of stickleback *Pungitius pungitius* and freshwater snail[J]. *Freshwater Biology*, 1995, 33(2): 271-289.
- [6] HOUGH R A, FORNWALL M D, NEGELE B J, et al. Plant community dynamics in a chain of lakes: Principal factors in the decline of rooted macrophytes with eutrophication[J]. *Hydrobiologia*, 1989, 173: 199-217.
- [7] BLUMENSHIN S C, VADENBONCOEUR Y, LODGE D M, et al. Benthic-pelagic links: Responses of benthos to water-column nutrient enrichment[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1997, 16(3): 466-479.
- [8] DODDS W K. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems[J]. *Journal of Phycology*, 2003, 39(5): 840-849.
- [9] SCHINDLER D W. Evolution of phosphorus limitation in lakes[J]. *Science*, 1977, 195: 260-262.
- [10] HANSON L A. Factors regulating periphyton algal biomass[J]. *Limnology and Oceanography*, 1992, 33: 121-128.
- [11] CARRICK H J, LOWE R L, ROTENBERRY J T. Guides of benthic algae along nutrient gradients: Relationships to algal community diversity[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1988, 7(2): 117-128.
- [12] MUNDIE J H, SIMPSON K S, PERRIN C J. Response of stream periphyton and benthic insects to increase in dissolve inorganic phosphorus in a mesocom[J]. *Canada Journal of Fisheries Aquatic Science*, 1991, 48(11): 2061-2072.
- [13] MOELLER R E, BURKHOLDER J M, WETZEL R G. Significance of sedimentary phosphorus to a rooted submerged macrophyte (*Najas flexilis*) and its algal epiphytes[J]. *Aquatic Botany*, 1988, 32: 261-281.
- [14] DeNICOLA D M, DE EYTO E, WEMAERE A, et al. Periphyton response to nutrient addition in 3 lakes of different benthic productivity[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2006, 25(3): 616-631.
- [15] LUDWING A, MATLOCK M, HAGGARD B E, et al. Identification and evaluation of nutrient limitation on periphyton growth in headwater streams in the Pawnee Nation, Oklahoma[J]. *Ecological Engineering*, 2008, 32: 178-186.
- [16] FAIRCHILD G W, LOWE R L, RICHARDSON W B. Algal periphyton growth on nutrient-diffusing substrates: An in situ bioassay[J]. *Ecology*, 1985, 66(2): 465-472.
- [17] WETZEL R G. *Limnology: Lake and River Ecosystem* [M]. 3rd ed. New York: Academic Press, 2001.
- [18] PRINGLE C M, BOWERS J A. An in situ substratum fertilization technique: Diatom colonization on nutrient-enriched, sand substrata[J]. *Canada Journal of Fisheries Aquatic Science*, 1984, 41(8): 1247-1251.
- [19] PRINGLE C M. Nutrient spatial heterogeneity: Effects on community structure, physiognomy, and diversity of stream algae[J]. *Ecology*, 1990, 71(3): 905-920.