

## 滇池蓝藻对沉水植物生长的影响\*

陈开宁<sup>1</sup> 李文朝<sup>1</sup> 吴庆龙<sup>1</sup> 强 胜<sup>2</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2: 南京农业大学, 南京 210095)

**提 要** 本文通过模拟生态系统和大型试验围隔, 研究了蓝藻 (Cyanobacteria) 胁迫下的菹齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*) 和竹叶眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 生长情况. 模拟生态系统研究结果表明, 菹齿眼子菜生长受蓝藻的影响不大, 其在有大量蓝藻胁迫的水体中生长 22d 后, 生物量为试验初始时的 91.6%, 在没有蓝藻胁迫的水体中, 其生物量增加了 27.7%, 差异不显著; 而竹叶眼子菜生长受蓝藻影响显著, 在有蓝藻胁迫的水体中生长 22d 后, 其生物量下降了 57.1%, 在没有蓝藻胁迫的水体中, 其生物量增加了 24.1%. 野外 10 hm<sup>2</sup> 大型围隔栽种试验结果显示, 在有蓝藻胁迫条件下菹齿眼子菜生长良好, 经过 5 个月生长其覆盖率达到 60%, 而竹叶眼子菜几乎全部死亡. 综合上述两方面试验结果表明菹齿眼子菜耐受蓝藻胁迫的能力比竹叶眼子菜强.

**关键词** 蓝藻 菹齿眼子菜 竹叶眼子菜 模拟生态系统 大型围隔 滇池

**分类号** X172 X524

目前, 我国多数浅水湖泊富营养化问题严重, 水体中滋生的大量蓝藻水华给沉水植物生存带来巨大威胁. 云南滇池已是超富营养化水体, 最突出的问题是蓝藻水华的污染. 由于大量蓝藻污染等环境因素, 滇池原有大多数沉水植物优势种类已消失, 而菹齿眼子菜是少数能够在滇池现有环境条件下生存的沉水植物之一<sup>[1]</sup>. 菹齿眼子菜能够在高度富营养化水体中生存, 除了与其自身的生物学特性有关外, 其是否具有较强的耐受蓝藻胁迫的能力? 蓝藻对其他沉水植物影响又如何? 针对这一问题, 本文设计了蓝藻水华胁迫沉水植物生长的实验, 目的是了解沉水植物对蓝藻影响的耐受能力, 并且解释为什么菹齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*) 可以在湖泊严重富营养化条件下生存原因.

### 1 材料与方 法

#### 1.1 模拟生态系统试验

试验所用的植物材料为菹齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*) 和竹叶眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 及蓝藻 (*Cyanobacteria*), 均采集于云南滇池北部海埂附近湖湾. 试验所用的培养水是植物立地原位水 (表 1) 经 300 目筛绢过滤后, 与自来水按 1:5 配得. 经过半个月的预备试验观察, 两种植物均生长良好, 发出新枝叶, 表明培养水适合此植物生长. 蓝藻用浮游植物网采集, 试验时, 将浓缩的蓝藻于 90L 塑料大桶稀释均匀,

\* 科技部重大项目“滇池蓝藻水华污染控制技术”课题 (K99-05-35-01-02) 资助.  
2002-12-05 收稿; 2003-08-17 收修改稿. 陈开宁, 男, 1964 年, 博士生.

长. 蓝藻用浮游植物网采集, 试验时, 将浓缩的蓝藻于 90L 塑料大桶稀释均匀, 然后取 3 个样品, 分析藻类种类组成, 再用量筒取等量, 添加到各桶. 采样点藻类的种类组成见表 2.

表 1 湖水营养物含量

单位: mg/L

Tab.1 The trophic content of culturing water body before dilution

TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	TP	PO <sub>4</sub> -P
2.43	0.161	0.145	0.069	0.183	0.005

表 2 采样点水体中藻类种类组成

Tab.2 Composing of algae of sampling area in Dianchi Lake

	藻类总数	蓝藻门	微囊藻属	鱼腥藻属	颤藻属	束丝藻属	绿藻门	硅藻门
数量 (×10 <sup>4</sup> ind./L)	23930	23092	22283	397	0	412	717	122
各类藻占总数百分比%		96.5	93.1	1.66	0	1.72	2.99	0.51

将从滇池采回的菹齿眼子菜分别种植在两组 (共 6 个, 每组 3 个) 模拟生态系统中, 其中一组加入蓝藻, 另一组不加蓝藻; 竹叶眼子菜栽种方法与菹齿眼子菜同样; 另外设一个有蓝藻而没有植物的模拟生态系统作为对照 (CK). 每个模拟生态系统中均有 8cm 左右厚的底泥 (取自滇池), 底泥表面覆盖有 2cm 厚的黄沙, 防止底泥悬浮, 并用小充气泵对水体充气, 使系统中水体微微循环运动.

试验于室外自然条件下共进行 22d (2001 年 6 月 16 日至 7 月 8 日), 光强度变化范围为 0-78200 Lx. 试验开始和结束时分别测定系统中栽种植物的生物量 (FW)、植物体和水体中 Chl. a 的含量, 观察其变化, 每个模拟生态. 测定方法见文献<sup>[2,3]</sup>.

## 1.2 大型围隔试验

于 2002 年 5 月, 在滇池北部海埂附近湖湾建立一个 6667m<sup>2</sup> 试验围隔, 然后采用营养钵的方法, 于围隔中分别栽种菹齿眼子菜 3500 株和竹叶眼子菜 3700 株, 观察其生长至 2002 年 11 月.

## 2 结果

### 2.1 模拟生态系统试验

试验结果如表 3. 可以看出, 在同等试验条件下无沉水植物的对照中蓝藻生长情况良好, 经过 22d, 水中 Chl. a 含量仅下降了 18.1%. 经统计分析, 培养菹齿眼子菜的水中 Chl. a 含量于试验初和试验结束时的差异不显著, 而有竹叶眼子菜生长的水中 Chl. a 含量下降了 54.7%. 试验中还发现, 试验结束时已有超过半数的竹叶眼子菜死亡, 是否竹叶眼子菜残体腐烂后释放出物质或分泌的次生物质对蓝藻有抑制作用造成的还需要进一步研究.

试验结束时, 菹齿眼子菜仍然保留原有生物量的 91.6%, 说明其生物量受蓝藻影响不大; 在无蓝藻胁迫的条件下, 生物量则增加到原有的 127.7%, 但试验前后差异不显著. 而竹叶眼子菜的生长受蓝藻影响显著, 试验结束时的生物量仅为原生物量的 42.9%; 而没有蓝藻影响的系统中生物量则增加到原有的 124.1%, 实验前后生物量差异也不显著.

从植物体含的 Chl.a 变化方面来看, 受蓝藻影响的菹齿眼子菜和竹叶眼子菜在 22d 的试验中, 植物体的 Chl.a 含量分别下降 50%和 56%, 差异显著; 而无蓝藻影响的菹齿眼子菜变化不大, 竹叶眼子菜的 Chl.a 含量反而增加了 34.5%. 这说明在有大量蓝藻胁迫时, 菹齿眼子菜和竹叶眼子菜生长均受到影响; 而在没有蓝藻胁迫的情况下, 菹齿眼子菜和竹叶眼子菜均生长良好. 从生物量和 Chl.a 两方面分析, 菹齿眼子菜耐受蓝藻能力比竹叶眼子菜强. 尽管如此, 若菹齿眼子菜长期生活在有大量蓝藻水体中, 也极有可能死亡.

## 2.2 野外大型围隔种植试验

野外大型围隔水体中存有大量蓝藻, Chl.a 含量为 128.3-2851mg/m<sup>3</sup>, 平均为 625 mg/m<sup>3</sup>, 严重影响沉水植物生长. 从 10hm<sup>2</sup> 围隔试验的结果可看出 (表 3), 2002 年 5 月份栽种的菹齿眼子菜存活率较高, 至 11 月达 60.9%, 其覆盖率也达 60%; 但竹叶眼子菜却仅存活 6 株, 其覆盖率为零. 这一结果与微生态系统的试验有较好吻合.

表 3 沉水植物在有大量蓝藻水体中生长的试验结果 (2001 年 6 月 16 日-7 月 8 日)

Tab.3 Influence of Cyanobacteria on submerged macrophytes growth

	试验初始			试验结束			水中 Chl.a 为初始的百 分比	W <sub>t</sub> /W <sub>0</sub>	Chl.a/ Chl.a <sub>0</sub>
	水中 Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	植物 生物量 W <sub>0</sub> (g)	植物体 Chl.a (mg/g)	水中 Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	植物 生物量 W <sub>t</sub> (g)	植物体 Chl.a (mg/g)			
对照(CK)	1978.7			1620.2			81.9%		
竹叶眼子菜 (有藻)	1440.4±	5.63±	1.25±	652.8±	2.43±	0.55±	45.3%	0.429*	0.440*
竹叶眼子菜 (无藻)	103.7	1.15	0.187	81.83	0.40	0.449			
菹齿眼子菜 (有藻)	1.52±	7.96±	1.13±	1.62±	9.76±	1.52±	106.6%	1.241	1.345
菹齿眼子菜 (无藻)	0.46	1.65	0.196	0.12	3.48	0.172			
菹齿眼子菜 (有藻)	1447.5±	21.57±	0.76±	1480.5±	19.73±	0.38±	102.3%	0.916	0.500*
菹齿眼子菜 (无藻)	67.18	4.46	0.181	70.62	5.78	0.095			
菹齿眼子菜 (有藻)	1.68±	26.1±	0.72±	1.56±	33.2±	0.66±	92.9%	1.277	0.917
菹齿眼子菜 (无藻)	0.59	4.68	0.120	0.17	7.26	0.176			

\*表示试验前后差异显著, P<0.01.

## 3 讨论

完整的水体生态系统包含种类及数量恰当的生产者、消费者和分解者, 具体地说包括水生植物, 鱼、螺、虾、贝类、大型浮游动物等水生动物以及种类和数量众多的微生物和原生动物等. 其中大型沉水植物作为水生态系统的初级生产者, 其在浅水湖泊中分布范围广, 对整个湖泊生态系统的结构与功能以及稳定性有决定性的影响. 沉水植物不仅可以为水体复杂的食物网提供食物, 同时还可以抑制生物和非生物性悬浮物, 改善水下光照和溶解氧条件, 有效增加水体空间生态位, 为其它水生动物提供生存空间和产卵栖息地, 是水体生物多样性赖以维持的基础, 因而沉水植物具有较高的环境价值. 然而, 保护沉水植被资源必须建立在充分认识其与环境相互影响的基础之上, 因此加强环境因素对沉水植物生长影响研究具有重要意义.

沉水植物被称之为真水生植物, 其具有完全水生的特点, 因此在水生植物各生活型中对水环境胁迫的反应最为敏感. 近几十年来, 由于湖泊富营养化不断加重, 许多大型水生植物已从湖泊水体中消失. 就云南滇池而言, 50 年代时, 滇池的水生植物多达 100 多种, 其中沉水植物就有 42 种; 到 70 年代末, 水生植物为 46 种, 分布面积由原来的 90% 下降到 12.6%; 到 1995-1997 年调查时只发现 22 种水生植物, 分布面积仅 1.8%, 规模迅速减小; 而现在滇池的水生植物还在进一步衰退, 原有沉水植物优势种只剩下较耐污的莼齿眼子菜和狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) 能在水体中形成群落规模, 竹叶眼子菜等已基本消亡<sup>[3]</sup>. 究其原因, 除了围湖造田使部分水生植物栖息地丧失等因素外, 滇池生态系统已严重退化, 水体中滋生的大量蓝藻水华使得光照在水下迅速衰减, 以及大量丝状藻缠绕在植物体上也是水生植物迅速减少的重要因素. Ozimek Teresa 等<sup>[4]</sup> 通过模拟生态系统研究了 *Cladophora glomerata* 对大型沉水植物影响, 认为莼齿眼子菜的生长受丝状藻影响不大, 而伊乐藻 (*Elodea canadensis*) 在有丝状藻的水体中生长 20d 后其生物量损失了 35%-57%. 滇池尽管植物立地也存在大量丝状藻, 但最突出的环境问题是蓝藻水华污染, 因此本文设计了蓝藻水华对沉水植物生长胁迫试验, 进一步阐明了滇池沉水植被消亡的原因.

试验采用滇池植物立地原位湖水稀释 5 倍作为模拟生态系统植物培养水, 并且整个试验过程是在滇池边自然条件下完成的, 其生长所需的光照、温度、营养及微量元素等环境条件均与其在自然条件下差异不大, 避免对试验结果造成干扰.

从试验的结果看, 莼齿眼子菜在有大量蓝藻胁迫的条件下其生物量变化不大, 而竹叶眼子菜的生物量损失超过一半, 但从植物体含的叶绿素变化方面来看, 受蓝藻胁迫的两种受试验植物体所含的 Chl. a 含量均有较大幅度地下降, 分别下降了 50% 和 56%. 作者曾就莼齿眼子菜叶内 Chl. a 和 Chl. b 季节变化进行过观测, 发现 3 月份植株 Chl. a 的含量远高于 Chl. b 的含量, 这有利于莼齿眼子菜在生长初期充分利用光照进行快速的营养生长; 而夏季有大量蓝藻及莼齿眼子菜种群的生物量较大时, Chl. b 的含量则有较大幅度增加. 这是植物于不同生长阶段适应环境的结果<sup>[5]</sup>. 因此, 在此试验过程中莼齿眼子菜 Chl. a 含量虽有较大幅度地下降, 并且植物体颜色由绿转为黄绿, 但观察其仍然可以生存, 说明莼齿眼子菜对有蓝藻水华的水体有较强的耐受能力, 从而使之能够在滇池现有的环境条件下生存下来; 而竹叶眼子菜耐受蓝藻水华的能力较低, 因此大部分已在滇池水体中消失. 不过, 尽管莼齿眼子菜对有蓝藻水华有较强的耐受能力, 但植物耐受能力毕竟是有限的, 目前滇池的蓝藻污染并没有减轻, 仍然有发展的趋势, 尤其是每年的 5-9 月份是滇池蓝藻水华暴发期, 大量的蓝藻水华聚集在湖面表层厚达几十厘米, 局部地区水体的 Chl. a 含量超过  $7 \times 10^4 \text{mg/m}^3$ , 如此多的蓝藻将阳光完全阻隔, 同时也阻断了湖水的大气复氧, 湖泊下层转变为厌氧环境, 这样, 沉水植物既不能进行光合作用, 水体下层又缺氧, 易使沉水植物发生断根漂浮, 并在短期内全部消亡, 这是值得注意的.

从野外大型围隔种植的试验结果来看, 在有大量蓝藻胁迫的情况下种植或恢复竹叶眼子菜效果不理想, 应在种植沉水植物之前, 采取切实有效措施, 诸如利用机械除藻、环境生物修复等技术, 减轻蓝藻水华的胁迫, 降低沉水植物被恢复与重建风险.

此外, 试验过程中发现, 培养竹叶眼子菜的微型生态系统中, 有部分植物残体在水体中腐烂分解, 同时蓝藻的生物量有较大的下降. 据万宏等报道<sup>[6]</sup>, 稻草在水体中腐烂分解所释放出的物质可以抑制蓝藻的生长, 是否竹叶眼子菜或其它水生植物残体腐烂分解所释

放的物质也有同样的功效, 值得进一步研究.

### 参 考 文 献

- 1 余国营, 刘永定等. 滇池水生植被演替及其与水环境变化关系. 湖泊科学, 2000, 12 (1): 73-79
- 2 山东农学院, 西北农业学院编. 植物生理学实验指导. 济南: 山东科学技术出版社, 1980:60-63
- 3 Wetzel R G , Likens G E. Limnological Analyses(Third Edition). New York: Springer, 2000:163-172
- 4 Ozimek Teresa, Pieczyńska Ewa, Hankiewicz Anna. Effects of filamentous algae on submerged macrophyte growth: a laboratory experiment. Aquat Bot, 1991,41(4): 309-315.
- 5 陈开宁, 强 胜, 李文朝. 莼齿眼子菜的光合速率及影响因素. 湖泊科学, 2002, 14 (4): 357-362
- 6 万 宏, 张 昀. 降解稻草对蓝藻生长的抑制作用. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(4): 485-488

## Impacts of Cyanobacteria on the Growth of Submerged Macrophytes, Dianchi Lake

CHEN Kaining<sup>1</sup>, LI Wenchao<sup>1</sup>, WU Qinglong<sup>1</sup> & QIANG Sheng<sup>2</sup>

(1: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China;

2: Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, P.R.China)

### Abstract

The growth of *Potamogeton pectinatus* and *P. malaianus* in waters with a great number of cyanobacteria was studied through some micro-ecosystems and a large enclosure (6667m<sup>2</sup>). The results of the micro-ecosystems experiment showed that influence of cyanobacteria on *P. pectinatus* was not Significant. Biomass of *P. pectinatus* only decreased 8.4% when it grew in waters with a great number of cyanobacteria in 22 days, but biomass of *P. pectinatus* increased 27.7% in waters without cyanobacteria. And that of cyanobacteria on *P.malaianus* was Significant. Biomass of *P. malaianus* decreased 57.1% when it grew in waters with a great number of cyanobacteria in 22 days, whereas Biomass of *P. malaianus* in waters without increased 24.1%. The results of the large enclosure experiment showed that the cover rate of was up to 60% under the condition of pressure with a great number of cyanobacteria. However, *P. malaianus* diedont under the same condition. Therefore, the results of above indicated that impact of cyanobacteria on *P. pectinatus* was less pronounced than that on *P. malaianus*.

Keywords: *Potamogeton pectinatus*; *P. malaianus*; Cyanobacteria; micro-ecosystems; large enclosure; Dianchi Lake