第 14 卷 第 4 期
2002 年 12 月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol.14,No.4
Dec.,2002

蓖齿眼子菜的光合速率及影响因素*

陈开宁[1,2] 强 胜[1] 李文朝[2]

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

提 要 本文研究了蓖齿眼子菜(*Potamogeon pectinatus* L)在滇池的光合速率、体内叶绿素季节变化及光和水温对其光合速率影响,并根据实验,计算出了蓖齿眼子菜生长的光补偿点.研究结果表明,蓖齿眼子菜 1~3 月份的净光合产氧量最大,为 1.82~1.83mg/(g·h),6 月份最低,为 0.63 mg/(g·h);植物体内 Chl.a 和 Chl.b 平均含量分别为 0.25~1.15mg/(g·h)和 0.28~0.85mg/(g·h),蓖齿眼子菜可以通过调节体内 Chl.a/Chl.b 值来适应不同季节生长;蓖齿眼子菜有较宽的水温适应范围,10℃时的净光合产氧量可达 0.88mg/(g·h),最高值出现在水温 25℃,为 1.16mg/(g·h),而 30℃以上的水温已表现出对其生长的不利影响;蓖齿眼子菜生长的光补偿点为 358~1256Lx,并随温度上升而逐渐增加.

关键词 光合速率 叶绿素 光补偿点 蓖齿眼子菜 滇池

分类号 Q948.112+.1

沉水植物是淡水湖泊生态系统中重要的组成部分,并在初级生产、净化水质、为一些水生动物提供庇护场所以及增加物种多样性等方面发挥着巨大作用.但近年来由于湖泊富营养化不断地加剧和对湖泊资源的过度开发,水生植物正迅速的从水体中消失.就云南滇池而言,水生植被的面积从 20 世纪 50~60 年代的 90% 下降到 1996 年的 1.8%,生物量由过去的 1363.1g/m^2 下降到 136.7g/m^2,群落结构严重退化,原有的优势物种如海菜花(*Ottelia acuminata*)、轮藻(*Chara vaillant*)等已绝迹,菹草(*Potamogeton crispus*)、马来眼子菜(*P. malaianus*)、苦草(*Vallisneria gigantea*)等已到消失的边缘,而耐污的沉水植物如蓖齿眼子菜(*P. pectinatus*)则仍在发展[1,2].目前,在水体中恢复水生植被已经被作为湖泊富营养化生态治理的重要手段,并已经或正在实践[3~5].蓖齿眼子菜由于其生态幅度宽、耐污和适阴性强、具较强净化和抗风浪的能力等使之能够在超富营养水体生存的特性已逐渐被多数学者所认识[6~8],并有可能成为较好的先锋物种在水生植被恢复方面发挥重要作用.因此,对蓖齿眼子菜的光合作用的研究作为其生长的关键参数可以为水生植物研究和在富营养水体中种植沉水植物提供科学依据.

1 材料与方法及试验区环境背景

1.1 试验区环境背景

试验于 2001 年 1~12 月在云南滇池西湖湾(102°42′E,24°53′N)进行.

试验区水深变幅为 0.7~4.55m,平均 2.49m.湖水的其他各项指标见表 1.从表 1 中可以看出,试验区水体浑浊,透明度低,蓝藻水花相当严重,对沉水植物生长构成很大的威胁.

* 科技部重大项目"滇池蓝藻水华污染控制技术研究"课题(K99-05-35-01-02)资助.
收稿日期:2002-03-12;收到修改稿日期:2002-05-17.陈开宁,男,1964 年生,硕士.

表1 试验区各水质指标含量

Tab.1 Water quality in the experimental area

月份	SD(cm)	Chl.a(μg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	COD_{Mn}(mg/L)	水温(℃)
1	24.5	52.2	2.91	0.364	13.00	12.9
2	34.8	29.6	2.75	0.158	8.85	14.3
3	26.5	26.7	2.98	0.100	12.10	16.2
4	35.3	90.7	2.84	0.269	15.37	20.6
5	21.6	321.7	4.85	0.510	22.17	20.0
6	20.0	4311.9	28.45	4.769	132.7	23.1
7	23.8	383.7	4.43	0.285	21.68	27.6
8	11.9	1555.8	13.92	0.442	37.06	27.2
9	10.2	3689.0	15.30	0.688	131.30	24.3
10	22.7	94.2	3.27	0.232	11.79	19.7
11	35.3	167.0	3.94	0.166	10.20	13.2
平均	24.2	974.8	7.79	0.726	37.84	19.9

1.2 材料与方法

(1)蓖齿眼子菜取自滇池北部湖湾.

(2)采用黑白瓶法测定植物的光合产氧和呼吸耗氧量[9,10].取长约10cm鲜嫩植物顶枝0.5g鲜重,放入盛满湖水的250mL具塞溶解氧瓶中,分层挂于湖中反应,同时设有对照,反应时间2h,碘量法测定溶解氧变化值,用上海学联仪器厂生产的2D-614照度计测定水下照度.

(3)室内光照和温度对蓖齿眼子菜光合作用影响的测定.考虑到滇池的水下光照强度一般在20000Lx以下和水温周年变化在11~28℃之间,试验共设7组不同光强度,分别为14778、1720、1000、897、650、500、300、200Lx,5组温度,分别为10、15、20、25、30℃.试验用水为自来水,在进行试验前,先将从野外采回的植物放入自来水中培养2d,以免植物在实验用水中表面会产生气泡而影响测定值的准确性.光源为两个40W和200W白炽灯泡,光强度用可调开关控制,用可调水下恒温加热棒调节温度;同样用黑白瓶法测定植物的光合产氧和呼吸耗氧量.

(4)植物体叶绿素a、b含量的测定:取0.5g植物叶片,在5mL水和少许$CaCO_3$的研钵中研磨成浆状,定容至10mL,取2.5mL加入10mL丙酮提取,用751分光光度计分别测定其光密度①(663nm,645nm).

(5)计算:净生产力(O_2mg/(g·h)) = {(白反应瓶O_2浓度 - 白对照瓶O_2浓度)/(反应时间×材料重量)}×反应瓶容积.呼吸率(O_2mg/(g·h)) = (O_2mg/(g·h)) = {(黑反应瓶O_2浓度 - 黑对照瓶O_2浓度)/(反应时间×材料重量)}×反应瓶容积. $Chl.a = 0.1(12.7D_{663} - 2.69D_{645})$; $Chl.b = 0.1(22.9D_{645} - 4.68D_{663})$;

不同生长阶段蓖齿眼子菜叶的绿素含量及光合能力比较采用Duncan[a]检验[11].用SPSS统计软件计算光照强度与温度对光合产氧量影响的曲线估计P值.

2 结果与分析

2.1 蓖齿眼子菜净产氧和呼吸耗氧的季节变化

① 倪乐意,1988.黄丝藻的生态学、水体光学性质研究(硕士论文).中国科学院水生生物研究所.

蓖齿眼子菜在滇池可以全年生长.1～3 月份水温逐渐升高,蓖齿眼子菜的地下块茎和少量的种子发芽生长.蓖齿眼子菜在滇池中的净光合产氧率和呼吸耗氧率见图 1.据野外观察,蓖齿眼子菜种群 1～3 月份增长速度较快,到 3 月初大多数新植株已长到水面,4 月份其生物量已有大量积累,中旬植株开花结果;5 月份蓖齿眼子菜种群生物量达最大,并维持到 11 月初至 12 月份.这一观察的结果也验证了蓖齿眼子菜光合能力季节变化的测定值.

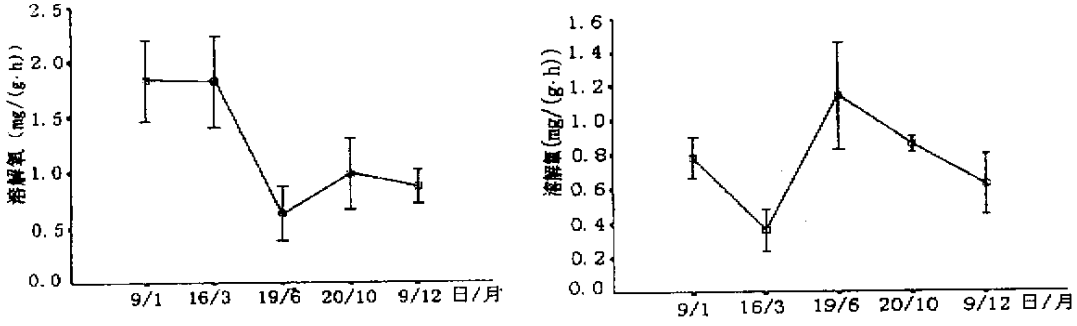

图 1　蓖齿眼子菜净光合产氧率(左)和呼吸耗氧率(右)的季节变化

Fig.1　A seasonal variety of net photosynthetic rate(right) and respiration rate(left) in *P. pectinatus*

2.4 不同生长阶段蓖齿眼子菜的叶绿素含量及光合速率

表 2　不同生长阶段蓖齿眼子菜的叶绿素含量及光合速率

Tab.2　Chlorophyllous content and net photosynthetic ability in the phases of life of *P. Pectinatus*

	2001－03－20			2001－06－19			2001－06－19	
	Chl.a (mg/g)	Chl.b (mg/g)	a/b	Chl.a (mg/g)	Chl.b (mg/g)	a/b	净光合产氧 (mg/(g·h))	呼吸耗氧 (mg/(g·h))
新植株叶	1.15±0.095	0.44±0.035	2.6	0.94±0.040	0.85±0.050	1.1	0.63±0.046	1.14±0.017
老植株叶	0.33±0.044	0.41±0.029	0.8	0.25±0.030	0.10±0.051	2.5	0.28±0.000	0.45±0.050
新植株叶(弱光)				0.69±0.060	0.64±0.071	1.1	0.33±0.030	0 .78±0.000
新植株茎	0.67	0.28	2.4					

测定的结果显示(表 2),蓖齿眼子菜 Chl.a 的含量为 0.25～1.15mg/g,Chl.b 的含量为 0.28～0.85 mg/g,新生植株叶的叶绿素含量明显高于衰老植株,且光合作用也相应高于衰老植株,差异极显著($P<0.01$).从 a/b 值来看,3 月份新生植株 Chl.a 的含量远高于 Chl.b 的含量,这有利于蓖齿眼子菜在生长初期,快速生长;6 月份蓖齿眼子菜种群的生物量最大,大部分植株,生长速度减缓,此时衰老植株叶绿素进一步降低,而新植株则增加了 Chl.b 的含量,较 3 月份差异显著($P<0.05$).这是因为茂密的植物常处于漫射光中,漫射光中较短波长占优势,而 Chl.a 在红光部分的吸收带偏向长光波方面,而 Chl.b 在蓝紫光部分的吸收带较宽,植物增加 Chl.b 的含量能够更加充分利用水下漫射的蓝紫光,从而使植物适应于遮阴处或茂密生长.此外,蓖齿眼子菜的茎也含有一定量的叶绿素,可以增加整株的光合能力.

从净光合产氧和呼吸率方面看，新植株与衰老、经弱光驯化植株有显著差异，新生植株明显高于其它两种植株，但衰老和经弱光驯化植株之间没有显著差异；3 种植株呼吸率有显著差异，新生植株呼吸率最高，而衰老植株呼吸率最低.

2.3 光照强度和温度的影响

试验结果表明，光照强度在 1720Lx 以下，蓖齿眼子菜光合净产氧随光强的增加几乎呈直线上升，200 ~ 14778Lx 范围内呈对数增加（表 3，4）. 蓖齿眼子菜最大的净光合产氧率出现在 25℃、14778lx，水温在 10℃时，蓖齿眼子菜仍然有较大的生产力，而且在光强 1000Lx 以下时，10℃水温的净光合产氧率最大. 这一结果反映了蓖齿眼子菜有较广泛的温度适应幅度，在低温时表现出对弱光的适应，有利于其在早春时的生长. 30℃时各光照强度均为最低，表现出对水温的不适应. 这一结果与 Madsen，J. D. 等[12] 测定的结果不一致（最大光合常出现在 30℃，最低出现在 35℃），这可能是因为蓖齿眼子菜所长期生存的环境不一样所致. 蓖齿眼子菜在滇池生活的水体水温最大不超过 28℃，湖水全年平均在 20℃左右，因此最大的净光合产氧率出现在 25℃是对其所处环境的长期适应的结果.

此外，从试验所得到的直线方程计算，蓖齿眼子菜的光补偿点随水温的增加而升高，最低的光补偿点为 358Lx，最高的为 1256Lx. 这表明在冬季和早春时，水下光照低于 358Lx 对蓖齿眼子菜发育生长不利；春末到秋季，滇池的蓝藻水花发生量相当大，如果水下照度低于 1256Lx 则对蓖齿眼子菜生长产生不利影响.

表 3 不同水温下水下光强（200 ~ 1720 Lx）与蓖齿眼子菜净光合产氧关系及其光补偿点

Tab.3 Variety of net photosynthetic rate and respiration rate and light compensation point with temperature

水温 ℃	水下光强与净光合产氧回归方程	n	R^2	光补偿点 (Lx)			
10	$y = 0.0008x - 0.2869$	5	0.9827	358	0.88	−0.02	0.62
15	$y = 0.0005x - 0.1996$	6	0.9816	399	0.96	−0.02	0.82
20	$y = 0.0006x - 0.2437$	6	0.9438	406	0.99	−0.08	0.77
25	$y = 0.0011x - 0.8716$	6	0.9973	792	1.16	−0.55	1.17
30	$y = 0.0008x - 1.0045$	6	0.8635	1256	0.54	−0.85	0.74

表 4 不同水温下蓖齿眼子菜净光合产氧随光强变化（200 ~ 14778 Lx）的曲线方程（$P < 0.01$）

Tab.4 Equations of net photosynthetic rate of *P. pectinatus* under different light intensity and temperature

水温（℃）	水下光强与净光合产氧曲线方程	n	R^2
10	$Y = 0.2238Ln(x) - 1.2013$	7	0.8725
15	$Y = 0.2729Ln(x) - 1.5636$	7	0.8779
20	$Y = 0.2895Ln(x) - 1.6844$	7	0.8961
25	$Y = 0.4649Ln(x) - 3.0719$	7	0.8320
30	$Y = 0.3623Ln(x) - 2.7254$	7	0.7716

3 结论

（1）滇池的蓖齿眼子菜净光合产氧率最大值出现在 1 ~ 3 月，6 月份最低，这主要是因为 6

月份滇池水体蓝藻水华严重,阻碍了光向水下照射,以及植物自身生理状况不同所造成.呼吸率最低值出现在生长旺季的 3 月,这有利于其在生长初期体内干物质的积累.

(2) 蓖齿眼子菜在不同生长季节可以通过调节其体内的叶绿素量及叶绿素 a、b 的配比来最大限度地利用光能.

(3) 蓖齿眼子菜有较宽的温度适应范围,在水温 10 ~ 25℃范围内,蓖齿眼子菜均表现出较高的光合产氧率.

(4) 在水温 10 ~ 25℃范围内,蓖齿眼子菜的光补偿点在 358 ~ 1256Lx 之间变化,并随温度上升而增加的.因此,在初春水温较低时其对水体的透明度要求相对不高,夏季高温时则要采取措施提高水体透明度,有利于蓖齿眼子菜生长,这对恢复水体中水生植被的研究具有重要的意义.

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 ~ 80

2 黄文成. 沉水植物在治理滇池草海污染中的作用. 植物资源与环境, 1994, **3**(4) :29 ~ 33

3 许木启,黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建研究. 生态学报, 1998, **18**(5) :

4 Moss, B. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components. *Hydrobiologia* , 1990, **200/201** : 367 ~ 378

5 宋碧玉, 王建等. 利用人工围隔研究沉水植被恢复的生态效应. 生态学杂志,1999, **18**(5) :21 ~ 24

6 刁正俗. 中国眼子菜科调查报告. 渝洲大学学报(自然科学版), 1996,**13**(4) :1 ~ 11

7 李　伟, 钟扬编译. 水生植被研究的理论与方法.武汉 :华中师范大学出版社, 1992. 113

8 Ozimek T, Pieczynska E. And Hankiewicz A. Effects of filamentous algae on submerged macrophyte growth :a laboratory exeriment. *Aquat Bot*, 1991, **41** :309 ~ 315

9 陈洪达. 11 种沉水植物的生产力. 海洋与湖沼,1988, **19**(6) :525 ~ 531

10 陈洪达.武汉东湖水下光照对水生植物的影响.湖北渔业, 1990,(2)20 ~ 24

11 杜荣骞.生物统计学.北京.高等教育出版社. 2001.126 ~ 128

12 Madsen J D, Adams M S. The light and temperature dependence of photosynthesis and respiration in *Potamogeton pectinatus* L. *Aquat Bot*, 1989, **36** :23 ~ 31

Photosynthetic Rate in *Potamogeton pectinatus* L. and Factors of Influence

CHEN Kaining[1,2] QIANG Sheng[1] LI Wenchao[2]

(1 :*Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *P. R. China* ;

2 :*Nanjing Institute of Geography and Limnology*, *Chinese Academy of Sicences* , *Nanjing* 210008, *P. R. China*

Abstract

Potamogeton pectinatus L., with extensive adaptability, is a perennial submerged aquatic macrophyte. It can survive in hyer-eutrophic waters. The results show that net photosynthetic rate at 10℃ was 0.88mg/(g·h), and its optimum temperature was at 25 ℃. Poor growth was found at 30℃. In Dianchi Lake, the maximal net photosynthetic rate fell in January to March and minimal value occurred in June. This species can regulate content of chlorophyll a and b to use light better. The light compensation point in *P. pectinatus* 358 to 1256Lx, depends on temperature.

Keywords :Photosynthetic rate ; Chlorophyll, light compensation point ; *Potamogeton pectinatus* L. ; Dianchi Lake