

# 鄂尔多斯高原碱湖的螺旋藻与引进种 光合色素的比较研究\*

刘 华 乔 辰

西北农林科技大学资源与环境学院, 杨陵 712100 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019

**摘要** 对鄂尔多斯高原碱湖的钝顶螺旋藻( $S_1$ )、鄂尔多斯螺旋藻( $S_2$ )和国外引进的钝顶螺旋藻( $S_3$ )、极大螺旋藻( $S_4$ )的光合色素含量和吸收光谱进行比较研究。结果表明: $S_1$ 的光合色素总量和藻胆素含量均最高,分别为203.49和191.12 mg(gDW)<sup>-1</sup>; $S_2$ 的类胡萝卜素含量最高,为2.11 mg(gDW)<sup>-1</sup>; $S_3$ 的Chla含量最高,为13.87 mg(gDW)<sup>-1</sup>;4个样品的光合色素在吸收波形上一致,吸收值差异明显。

**关键词** 螺旋藻 光合色素 鄂尔多斯高原碱湖

螺旋藻是一类浮游植物,属蓝藻门(Cyanophyta),段殖藻目(Hormogonales),颤藻科(Oscillatoriaceae),螺旋藻属(*Spirulina*)(节旋藻属 *Arthrospira*)<sup>[1]</sup>。

螺旋藻体内富含优质蛋白(60%~70%)和多种生物活性物质<sup>[2]</sup>,氨基酸的组成平衡合理,因而受到了国内外的广泛关注。内蒙古的钝顶螺旋藻和鄂尔多斯螺旋藻是在鄂尔多斯高原毛乌素沙地碱湖首次发现的天然螺旋藻<sup>[3]</sup>。对它们的研究还处于起步阶段。本文以这两个种和引进种为材料,从光合色素的种类、含量及其吸收光谱方面进行了比较研究,探讨不同物种、不同种群之间的差异,为我国特有的螺旋藻种质资源的开发利用、优良品系的筛选及其产业化提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验材料见表1。

表1 实验材料

代号	藻种	产地(来源)
$S_1$	钝顶螺旋藻	鄂尔多斯高原碱湖
	<i>Spirulina</i> ( <i>Arthrospira</i> ) <i>platensis</i>	(内蒙古农业大学)
$S_2$	鄂尔多斯螺旋藻	鄂尔多斯高原碱湖
	<i>S.</i> ( <i>A.</i> ) <i>erdosensis</i>	(内蒙古农业大学)
$S_3$	钝顶螺旋藻	非洲 Chad 湖
	<i>S.</i> ( <i>A.</i> ) <i>platensis</i>	(南京大学生物科学与技术系)
$S_4$	极大螺旋藻	墨西哥 Sosa Texcoco 湖
	<i>S.</i> ( <i>A.</i> ) <i>maxima</i>	(南京大学生物科学与技术系)

### 1.2 螺旋藻培养

在室温自然光照条件下,用 Zarrouk 培养液在无色玻璃培养缸中通空气培养。

### 1.3 活体吸收光谱的测定

参考张学成等<sup>[4]</sup>的方法。将处于对数生长期的螺旋藻,用 UV-120-02 型紫外-可见光分光光度计,在 360~720 nm 范围内测定其光密度值并绘制吸收曲线。

### 1.4 叶绿素 a(Chla)吸收光谱和含量的测定

参考文献[5]的方法将 Chla 的提取液在 53W UV/VIS 紫外-可见光分光光度计上测定其在 360~720 nm 波长范围内的光密度值,绘制吸收曲线,并计算 Chla 的含量。

### 1.5 类胡萝卜素吸收光谱和含量的测定

参考文献[6]的方法取类胡萝卜素提取液,在 53W UV/VIS 紫外-可见光分光光度计上测定其在 360~560 nm 波长范围内的光密度值,绘制吸收曲线,并计算类胡萝卜素的含量。

### 1.6 藻胆素吸收光谱和含量的测定

参考张成武等<sup>[7]</sup>的方法,略有改动。将螺旋藻置于 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.0)中,反复冻融后,4000 r/min 离心 15 min,将上清液吸出,摇匀,在 53W UV/VIS 紫外-可见光分光光度计上测定其在

2002-08-06 收稿,2002-10-09 收修改稿

\* 国家自然科学基金(批准号:39960062)和内蒙古自然科学基金(批准号:990303-4)资助项目

E-mail: liuhuanmg@yahoo.com.cn 或 Qiao-chen@sohu.com

360~720 nm 波长范围内的光密度值, 绘制吸收曲线, 并按张薇君<sup>[8]</sup>的公式计算藻胆素各组分的含量。

## 2 实验结果

### 2.1 活体吸收光谱

螺旋藻活体吸收光谱见图 1.  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  表现出基本相同的吸收光谱, 其吸收峰和吸收值的高低不尽相同. 曲线有 4 个吸收峰, 分别位于红光区的 680 和 620 nm 及蓝紫光区的 490 和 440 nm 附近. 叶绿素 a 的吸收峰分别位于 680 和 440 nm 波长附近, 与文献<sup>[9]</sup>的报道一致. 在红光区的 680~688 nm 范围内,  $S_1$ ,  $S_3$  和  $S_4$  的吸收峰均在 688 nm 处,  $S_2$  在此处的吸收峰的波长略短于前三者, 为 680 nm; 在 440~448 nm 范围内,  $S_1$  和  $S_3$  的吸收峰一致, 都为 443 nm, 与  $S_4$  的 448 nm 相比向蓝紫光区移了 5 nm,  $S_2$  的 440 nm 与  $S_4$  相比也向蓝紫光方向移动了 8 nm. 螺旋藻在 616~623 nm 处的吸收是由藻蓝素的吸收引起的,  $S_1$  的吸收峰 620 nm 介于  $S_2$  和  $S_4$  (619 nm) 与  $S_3$  (623 nm) 之间;  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  在 490 nm 处的吸收峰和  $S_2$  在 494 nm 处的吸收峰都是源于类胡萝卜素, 前者与文献<sup>[9]</sup>的描述相一致. 在吸收光谱范围内, 吸收值的排列均是  $S_4 > S_1 > S_3 > S_2$ .

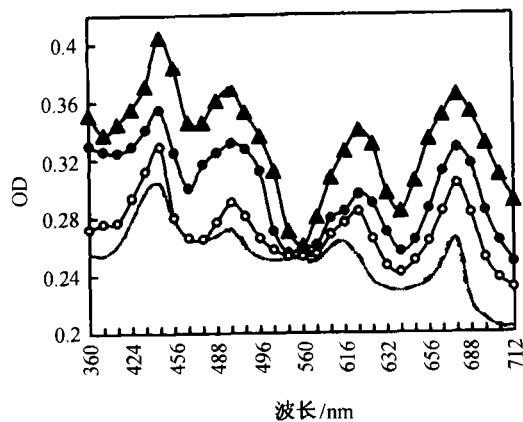


图 1 螺旋藻活体吸收光谱

●为  $S_1$ ; -为  $S_2$ ; ○为  $S_3$ ; ▲为  $S_4$

### 2.2 Chla 吸收光谱

螺旋藻 Chla 的吸收光谱见图 2.  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  和  $S_4$  的 Chla 吸收波形基本相同, 在红光区 666 nm 处和蓝紫光区 440 nm 出现了吸收峰. 在蓝紫光区的吸收峰比红光区的吸收峰高. 在红光区和蓝紫光区的吸收峰排列均是  $S_3 > S_1 > S_4 > S_2$ . 在 380~400, 470~480 和 620 nm 附近都有小的肩峰.

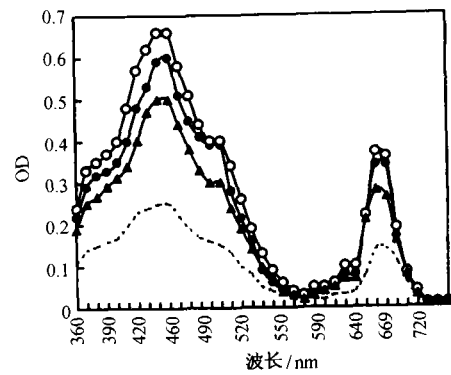


图 2 螺旋藻 Chla 吸收光谱

●为  $S_1$ ; ---为  $S_2$ ; ○为  $S_3$ ; ▲为  $S_4$

### 2.3 类胡萝卜素吸收光谱

螺旋藻类胡萝卜素的吸收光谱见图 3. 类胡萝卜素吸收波长的范围为 400~600 nm, 比 Chla 在长光波的吸收波长要短一些, 这拓宽了螺旋藻对不同波长光利用的范围.  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  的类胡萝卜素吸收在蓝紫光波段, 且 4 条曲线走向相似. 最大的吸收峰出现在 433~434 nm 处且波形较宽, 在 482~490 nm 处有明显的肩峰, 同时在 410 nm 处有弱的肩峰, 这与文献<sup>[6]</sup>的结论一致.  $S_1$ ,  $S_3$  和  $S_4$  的最大吸收在 434 nm 处, 而  $S_2$  的却在 433 nm 处;  $S_1$  和  $S_3$  的大肩峰波长为 488 nm,  $S_4$  的为 490 nm,  $S_2$  的在 482 nm 处. 在相同浓度下,  $S_2$  在整个波谱范围内的吸收值是最大的,  $S_1$ ,  $S_3$  和  $S_4$  的值比较接近, 但在 410 和 433~434 nm 处吸收值顺序为  $S_2 > S_3 > S_4 > S_1$ , 在 482~490 nm 处为  $S_2 > S_4 > S_1 > S_3$ .

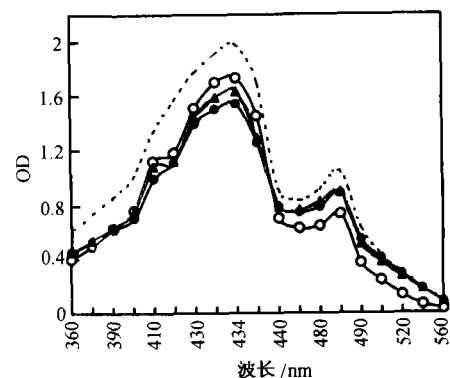


图 3 螺旋藻类胡萝卜素吸收光谱

●为  $S_1$ ; ---为  $S_2$ ; ○为  $S_3$ ; ▲为  $S_4$

### 2.4 藻胆素的吸收光谱

螺旋藻藻胆素含藻红素(PE), 藻蓝素(PC)和别藻蓝素(APC). 它们的吸收光谱见图 4. 从图 4 中可以看出,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  的吸收光谱相似, 有 3

个明显的吸收峰。S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> 的藻蓝素的吸收峰都在 622 nm 处; 别藻蓝素的吸收峰分别在 675, 677, 676 nm 处; 藻红素的吸收峰分别在 494, 496, 490 nm 和 560, 568, 560 nm 处。这与文献[10]的论述基本一致。S<sub>2</sub> 则没有出现明显的藻红素和别藻蓝素的吸收峰, 只出现了藻蓝素在 620 nm 处的吸收峰。藻红素, 藻蓝素和别藻蓝素的存在填补了 Chla 的吸收光谱空白, 并能高效地将吸收的光能传递给 Chla, 大大增强了螺旋藻对光的吸收和利用。藻蓝素和在 560 nm 处的藻红素吸收值的排列为 S<sub>1</sub> > S<sub>3</sub> > S<sub>4</sub> > S<sub>2</sub>; 在 490 ~ 496 nm 处的藻红素和别藻蓝素吸收值的排列均为 S<sub>3</sub> > S<sub>1</sub> > S<sub>4</sub> > S<sub>2</sub>。

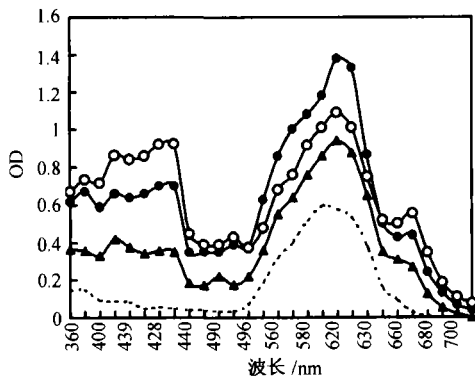


图4 螺旋藻藻胆素吸收光谱  
●为 S<sub>1</sub>; ---为 S<sub>2</sub>; ○为 S<sub>3</sub>; ▲为 S<sub>4</sub>

### 2.5 光合色素的含量

螺旋藻光合色素的组成与含量见表 2。从表 2 可以看出, 光合色素的总含量以 S<sub>1</sub> 为最高, 按 S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>2</sub> 依次递减; 藻胆素的含量也以 S<sub>1</sub> 为最高, 按 S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>2</sub> 依次递减; 藻胆素中藻蓝素的含量最高, 含量排列为 S<sub>1</sub> > S<sub>3</sub> > S<sub>4</sub> > S<sub>2</sub>; 别藻蓝素的含量排列为 S<sub>1</sub> > S<sub>3</sub> > S<sub>4</sub> > S<sub>2</sub>; 藻红素的含量排列为 S<sub>1</sub> > S<sub>3</sub> > S<sub>4</sub> > S<sub>2</sub>; 类胡萝卜素的含量以 S<sub>2</sub> 为最大, 按 S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>1</sub> 的顺序依次递减; Chla 的含量以 S<sub>3</sub> 为最大, 按 S<sub>1</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>2</sub> 依次递减。

表 2 螺旋藻光合色素含量 (mg(gDW)<sup>-1</sup>)

光合色素	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
Chla	10.8496	7.7026	13.8719	10.6358
类胡萝卜素	1.5178	2.1079	1.5397	1.5258
藻红素(PE)	10.4549	4.1329	9.8897	6.8707
藻蓝素(PC)	131.1975	72.9226	87.1122	81.7458
别藻蓝素(APC)	49.4717	20.8050	46.5474	34.8062
藻胆素	191.1241	97.8605	143.5493	123.4227
光合色素总量	203.4915	107.6710	158.9609	135.5843

### 3 讨论

目前国内外进行螺旋藻产业化的藻种主要有钝

顶螺旋藻和极大螺旋藻。我们所用的实验材料中 S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub> 和 S<sub>4</sub> 均为产业化藻种, S<sub>2</sub> 为非产业化藻种。这两类藻的光合色素种类完全相同, 但含量存在明显差异。产业化藻种的光合色素总量, Chla 和藻胆素(PE, PC, APC)含量均高于非产业化藻种, 类胡萝卜素的含量却低于非产业化藻种; 它们的吸收波形和吸收峰一致, 吸收值差异明显。

在螺旋藻光合作用的光反应中, 藻胆素吸收并传递光能的顺序为 PE→PC→APC→P<sub>680</sub>或 P<sub>700</sub>(PS II 或 PS I)。Mohanty 等<sup>[11]</sup>认为 PC/APC 值控制着能量从藻胆体(PBsome)向 P<sub>680</sub>, P<sub>700</sub> 的传递, 在实验室连续光照条件下培养钝顶螺旋藻的 PC/APC 值为 2.8~3.0, 且 PC/APC 值的高低随其生长条件的不同而不同。我们在实验室自然光照条件下培养的 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> 和 S<sub>4</sub> 的 PC/APC 值分别为 2.65, 3.51, 1.87 和 2.35, 它们的培养条件相同, 但 PC/APC 值却存在差异, 同是钝顶螺旋藻 S<sub>1</sub> 和 S<sub>3</sub> 的 PC/APC 值也不同, 而且都低于文献[11]的值。这说明 PC/APC 值的高低不仅与培养条件有关, 也与物种和种群的不同有关。

### 参 考 文 献

- 郭宝江, 等. 用于工业化生产的微藻——螺旋藻. 见: 陈峰等主编, 微藻生物技术. 北京: 中国轻工业出版社, 1999. 103
- 汪志平, 等. 螺旋藻遗传育种研究进展. 微生物学通报, 2000, 27(4): 288
- Qiao C, et al. A new species and a species new to China of *Arthrospira* (*Spirulina*) In: The Asia-Pacific Conference on Algae Biotechnology, Abstracts. Hong Kong, 2000. Hong Kong: The University of Hong Kong, 2000 232
- 张学成, 等. 龙须菜研究的新进展. 见: 曾呈奎主编, 经济海藻种质种苗生物学. 济南: 山东科学技术出版社, 1999. 91
- 徐黎, 等. 蓝藻叶绿素 a 提取方法的比较. 植物学通报, 1988, 5(4): 246
- 王业勤, 等. 天然类胡萝卜素——研究进展、生产、应用. 北京: 中国医药科技出版社, 1997
- 张成武, 等. 钝顶螺旋藻藻胆蛋白的分离、纯化及理化特性. 天然产物研究与开发, 1996, 8(2): 29
- 张薇君, 等. 出口螺旋藻粉中的藻胆蛋白测定方法的研究. 光谱仪器与分析, 1999, (3): 8
- 邱丽岚, 等. 大螺旋藻一些生理特性的研究. 植物研究, 1998, 18(3): 356
- 何新安, 等. 三种藻胆蛋白在复合累积 LB 膜中的能量传递. 生物化学与生物物理进展, 1996, 23(5): 427
- Mohanty P, et al. The Photosynthetic Apparatus of *Spirulina*: Electron Transport and Energy Transfer. In: *Spirulina platensis* (*Arthrospira*) Physiology, Cell-Biology and Biotechnology. London: Taylor & Francis Ltd, 1997. 28