

# 青岛三种海产红藻的光合和呼吸特性的初步研究\*

吴超元 张京浦 温宗存 彭作圣 刘海航

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

**摘要** 于1981年在青岛近海采集真江蕨、石花菜和角叉菜样品,用氧电极法测定它们在不同生长季节和发育阶段的光合和呼吸速率,并研究不同温度对其光合和呼吸速率的影响,同时计算出它们的呼吸温度系数。结果表明,3种红藻具有典型的潮间带海藻的光合特性,即高光饱和点为 $600-1000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,较高的光补偿点为 $12-40\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 和较高的光合适温 $\geq 25^\circ\text{C}$ 。温度对3种红藻的光合和呼吸的影响均很明显,在 $5, 15, 25^\circ\text{C}$ 下测试,它们的最高光合和呼吸速率都出现在 $25^\circ\text{C}$ 。3种红藻的呼吸温度系数( $Q_{10}$ ),在 $5-15^\circ\text{C}$ 较高,为 $1.4-5.5$ ;在 $15-25^\circ\text{C}$ 较低,为 $1.1-2.7$ 。说明它们在低温下的呼吸受温度变动影响较大。经计算3种红藻在适宜生长温度下的净光合速率:角叉菜和真江蕨在 $15^\circ\text{C}$ 分别为 $4.90\text{O}_2\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 和 $8.14\text{O}_2\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ;石花菜在 $25^\circ\text{C}$ 为 $11.87\text{O}_2\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ,在3种红藻中最高。这说明,石花菜的光合效率并不象人们预料的那样低,其秋季幼体在 $25^\circ\text{C}$ ,  $1000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 光强下,净光合速率达到 $19.19\text{O}_2\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。看来在自然界石花菜生长缓慢主要是由于生境中低光照强度和较低水温所致。

**关键词** 真江蕨 石花菜 角叉菜 光合速率 呼吸速率 呼吸温度系数( $Q_{10}$ )

产琼胶的江蕨和石花菜以及产卡拉胶的角叉菜都是海洋红藻胶工业的重要原料。随着世界范围的琼胶和卡拉胶工业的发展,这类海藻资源已经满足不了市场日益增长的需要。现在我国石花菜和江蕨资源短缺,已成为进一步发展琼胶工业急待解决的问题。我国生产卡拉胶一直是用一种叫琼枝(*Eucheuma gelatinae*)的麒麟菜为原料,但近几年已开始利用角叉菜进行制胶试验。因此,保护、增殖这类海藻资源在国内已引起有关方面的重视。从长远观点来看,为了保证藻胶工业的稳定发展,除合理开发天然产胶海藻资源外,发展其人工栽培是一条十分重要的途径。Yokohama (1973)和曾呈奎等(1981)对这类海藻的光合特性某些方面作过报道。本文着重介绍真江蕨、石花菜、角叉菜的光合和呼吸特性与生长季节、藻体发育阶段之间的关系,以及不同温度对它们的光合和呼吸速率的影响,为制定科学的栽培措施提供依据。

## 1 材料与方法

真江蕨(*Gracilaria asiatica*)于1981年2月、11月采自青岛湛山湾。石花菜

\* 自选课题。吴超元,男,出生于1925年10月25日,研究员。

收稿日期:1993年4月1日,接受日期:1995年5月25日。

(*Gelidium amansii* lamx.) 于1981年3月、11月采自青岛团岛湾。角叉菜(*Chondrus* sp.) 于1981年4月、11月采自青岛团岛湾。2月、3月、4月表示春季, 11月表示秋季。

把整棵藻体平铺于固着架上, 置于密闭系统内, 该系统用恒温水浴调控到所设计温度(5, 15, 25 °C)。测光合速率时, 用光源为1 000 W碘钨灯, 装置在平轨上, 通过移动光源距离调节光强。测呼吸速率时, 使该系统处于黑暗中。以蠕动泵驱动系统内的水, 使之循环, 以便水中溶解氧均匀, 保证测定结果可靠。测量装置见Wu等(1984)。

用氧电极测量密闭系统内溶氧量的变化, 然后计算整棵海藻的光合和呼吸速率。所用仪器为改装的PO-100A型溶氧测定仪(日本造)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 3种红藻的光合作用光曲线

真江蓠、石花菜和角叉菜在15 °C条件下的光合作用光曲线分别见图1a、图1b和图1c。真江蓠幼体在春季和秋季的光饱和点分别为1 000和600  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。秋真江蓠幼体的最大净光合速率 $P_n^{\text{max}}$ 为10.47  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。春真江蓠幼体的 $P_n^{\text{max}}$ 为5.04  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ; 带果孢子的秋真江蓠雌配子体的 $P_n^{\text{max}}$ 为8.92  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 低于同期幼体的 $P_n^{\text{max}}$ 值。秋真江蓠的光补偿点大约在24  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 而春真江蓠的光补偿点接近40  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。真江蓠是潮间带种类, 春季大都生长在潮间带较高位置的石沼中, 加上青岛海区冬、春季节低潮落差大, 其光饱和点和光补偿点都比较高, 而秋真江蓠由于夏秋低潮落差小, 浸水时间长, 其光饱和点与春真江蓠无异, 但光补偿点比较低。

石花菜幼体在春季和秋季光饱和点为1 000  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在15 °C时, 春石花菜幼体的 $P_n^{\text{max}}$ 值为5.05  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ; 秋石花菜幼体的 $P_n^{\text{max}}$ 值为12.54  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ; 带四分孢子体的秋石花菜的 $P_n^{\text{max}}$ 值为9.17  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 比同期幼体的 $P_n^{\text{max}}$ 值低。春石花菜的光补偿点约在18  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 秋石花菜幼体的光补偿点约在12  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。青岛石花菜具有高光饱和点[1 000  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]和较高光补偿点[12—18  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ], 其光合特性很类似于潮间带种类。这与Yokohama(1973)的报道不同, 他的研究表明, 生长在潮下带1m深处的石花菜的光饱和点在600  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 而生长在潮下带10m深处石花菜的光饱和点在200  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。但与曾呈奎等(1981)、李宏基(1983)的研究结果近似。这可能与本研究中的石花菜样品是在潮间带采集的有关。至于生长在潮下带石花菜如何有待测定。

春、秋角叉菜成体的光饱和点都在800—1 200  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在15 °C时, 春角叉菜的 $P_n^{\text{max}}$ 值为4.76  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ; 秋角叉菜的 $P_n^{\text{max}}$ 值为4.06  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ; 带果孢子的秋角叉菜雌配子体的 $P_n^{\text{max}}$ 值为5.87  $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。春角叉菜的光补偿点在16  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 秋角叉菜的光补偿点在12  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。角叉菜的光合特性反映出潮间带种类的特点。

研究表明, 青岛3种红藻的光饱和点和光补偿点都比较高, 前者在600—1 000  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 后者在12—40  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。根据Tseng等(1981)报道, 青岛真江蓠和角叉菜的光饱和点也都在400—600  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间。Luning(1981)概括潮间带种类的光饱和点在500  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 潮下带种类在200  $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 和深水红藻

在  $100\mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

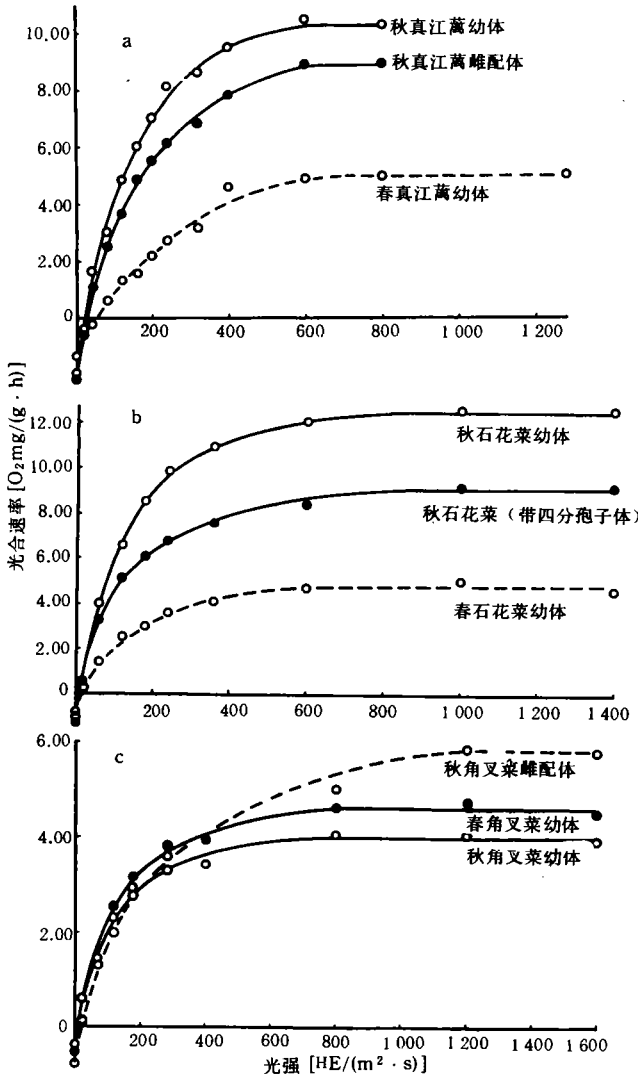


图1 真江蕨(a)、石花菜(b)、角叉菜(c)的光合作用光曲线

Fig.1 Photosynthetic curves of *Gracilaria asiatica* (a), *Gelidium amansii* Lamx. (b) and *Chondrus* sp. (c) as a function of irradiance

**2.2 温度对3种红藻的净光合速率的影响** 不同温度对真江蕨、石花菜和角叉菜净光合速率的影响结果见表1。在  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，秋真江蕨幼体的净光合速率约比春真江蕨幼体高50%；而在  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下，前者的净光合速率比后者高95%。带果孢子的秋江蕨雌配子体在3种温度下的净光合速率比秋真江蕨的幼体稍低。

在  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，秋石花菜幼体的净光合速率比春石花菜幼体高125%，而在  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，前者分别比后者高148%和258%。带四分孢子的秋石花菜在3种温度下的净光合速率都比秋石花菜幼体低。

表 1 温度对真江蕨、石花菜和角叉菜光合速率和呼吸速率的影响及其呼吸温度系数

Tab.1 Effect of temperatures on photosynthetic and respiratory rates and the temperature coefficients of respiration of *Gracilaria asiatica*, *Gelidium amansii* Lamx. and *Chondrus* sp.

| 种<br>类      | 发育状态                 | 采集<br>季节       | 光合速率<br>[O <sub>2</sub> mg/(g·h)] |                       |                        | 呼吸速率<br>[O <sub>2</sub> mg/(g·h)] |                       |                        | Q <sub>10</sub><br>(5—15℃) | Q <sub>10</sub><br>(15—25℃) |
|-------------|----------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|             |                      |                | 5℃                                | 15℃                   | 25℃                    | 5℃                                | 15℃                   | 25℃                    |                            |                             |
|             |                      |                | 真<br>江<br>蕨                       | 幼 体<br>幼 体<br>带果孢子囊   | 初春<br>秋季<br>秋季         | 2.42<br>3.66<br>2.95              | 5.04<br>10.47<br>8.92 | 7.83<br>14.35<br>12.25 | 0.56<br>0.43<br>1.47       | 1.34<br>1.98<br>2.12        |
| 石<br>花<br>菜 | 幼 体<br>幼 体<br>带四分孢子囊 | 春季<br>秋季<br>秋季 | 1.59<br>3.57<br>2.27              | 5.05<br>12.54<br>9.17 | 5.36<br>19.19<br>11.07 | 0.25<br>0.22<br>0.23              | 0.88<br>1.04<br>1.23  | 1.56<br>2.80<br>2.55   | 3.5<br>4.7<br>5.3          | 1.8<br>2.7<br>2.1           |
| 角<br>叉<br>菜 | 幼 体<br>幼 体<br>带果孢子囊  | 春季<br>秋季<br>秋季 | 1.67<br>0.66<br>1.06              | 4.76<br>4.06<br>5.87  | 6.72<br>5.19<br>9.49   | 0.32<br>0.13<br>0.15              | 0.72<br>0.53<br>0.82  | 0.78<br>1.00<br>2.25   | 2.3<br>4.1<br>5.5          | 1.1<br>1.9<br>2.7           |

春、秋角叉菜在 15℃ 和 25℃ 的净光合速率比较接近。但在 5℃，秋角叉菜的净光合速率只有春角叉菜的 40%，表现对低温的敏感。然而带果孢子的秋角叉菜雌配子体在 5℃ 下的净光合速率则有所增加，为春角叉菜的净光合速率的 60%，并且在 15℃ 和 25℃ 条件下的净光合速率超过春秋角叉菜。

从 3 种红藻在不同温度下的光合速率，可以看出真江蕨、石花菜和角叉菜的光合适温都较高(≥25℃)。但从 3 种红藻生长与温度关系来看，真江蕨生长最适温度在 12—20℃ (Li Ren-zhen et al., 1984)。石花菜生长最适温度是 20—25℃ (李宏基等, 1983)。角叉菜在秋季水温 15℃ 左右时生长比较好。海藻生长涉及的因素比较复杂，毫无疑问，温度是重要因子。为此，根据表 1 计算出 3 种红藻在适宜生长温度下的净光合速率的平均值。角叉菜和真江蕨在 15℃ 分别 4.90 O<sub>2</sub> mg/(g·h) 和 8.14 O<sub>2</sub> mg/(g·h)，石花菜在 25℃ 为 11.87 O<sub>2</sub> mg/(g·h)。秋石花幼体在 25℃ 和 1000 μE/(m<sup>2</sup>·s) 光强下，其净光合速率达到 19.19 O<sub>2</sub> mg/(g·h)。通常石花菜大多生长在潮下带 5—30m 岩石上，生长很慢，平均一年只长 10—13cm，但在青岛地区的潮间带石沼中也时有发现。本实验的石花菜样品就是采自潮间带。因此，生长在潮下带石花菜光合速率如何有待进一步研究。

**2.3 温度对 3 种红藻的呼吸速率的影响及其呼吸温度系数** 实验结果见表 1。可以看出，在 5℃ 春、秋真江蕨幼体的呼吸速率数值接近，但带果孢子的秋真江蕨雌配子体的呼吸速率比同季节的幼体高 194%。在 15℃ 和 25℃ 秋真江蕨幼体的呼吸速率与同期带果孢子的江蕨雌配子体接近，分别比春真江蕨幼体高 53% 和 97%。

春、秋石花菜幼体和秋石花菜的四分孢子体在 5℃ 和 15℃ 的呼吸速率数值很接近。但在 25℃，春石花菜幼体的呼吸速率大约为秋石花菜幼体的 44%。

在 5℃ 和 15℃，春角叉菜的呼吸速率比秋角叉菜稍高，但在 25℃ 反而较低。带

果孢子的秋角叉菜雌配子体在 5℃ 与秋角叉菜呼吸速率接近; 但在 15℃ 和 25℃, 则比它要高。

春季真江蓠和石花菜幼体, 以及角叉菜的呼吸温度系数  $Q_{10}$  (5—15℃) 在 2 与 4 之间,  $Q_{10}$  (15—25℃) 在 1 与 2 之间。而秋季真江蓠和石花菜幼体, 以及角叉菜的呼吸温度系数  $Q_{10}$  (5—15℃) 在 4 与 5 之间,  $Q_{10}$  (15—25℃) 在 2 左右。

总之, 温度对 3 种红藻呼吸的影响基本上相同。在测试的 5, 15, 25℃ 中, 最高呼吸速率是在 25℃。在 5—15℃ 它们的呼吸温度系数较高, 为 1.4—5.5; 在 15—25℃ 呼吸温度系数较低, 为 1.1—2.7。这说明 3 种红藻在低温下呼吸速率受温度变动影响较大。

### 3 结语

从上述研究结果可以看出, 在青岛海区真江蓠、石花菜和角叉菜具有典型的潮间带藻类的光合特性, 即高光饱和点、较高的光补偿点和光合适温 ( $\geq 25^\circ\text{C}$ )。不同的温度、季节和藻体发育阶段对 3 种红藻的光合速率有明显的影响, 对呼吸速率也有一定的影响。其中温度的作用最显著。在测试的 3 种温度中, 3 种红藻的最高光合速率和呼吸速率都出现 25℃。但它们的呼吸温度系数在 5—15℃ 较高, 在 15—25℃ 较低, 说明低温条件下 3 种红藻呼吸速率受温度变动影响较大。3 种红藻的净光合速率石花菜最高, 真江蓠次之, 角叉菜较低。石花菜在适宜生长温度 (25℃) 和  $1000 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强下, 其净光合速率为  $11.87 \text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 其秋季幼体的净合速率高达  $19.19 \text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。这说明, 石花菜有较高的光合效率, 并不像人们预料的那样低 (Luning; 1981)。在自然界石花菜生长缓慢, 看来主要是由于生境中光照强度低和水温较低造成的。如果在适温期控制生长水层, 增加光照强度, 再结合其他措施, 估计石花菜产量可以进一步提高。

### 参 考 文 献

- 李宏基, 1983, 水产学报, 7(4): 373—383.  
 Hata, M., 1976, *Bull. Jap. Soc. Phycol.*, 24: 1—7.  
 Li Ren-zhi, 1984, *Hydrobiologia*, 116/117: 252—254.  
 Luning, K., 1981, *Light*, ed by Lobban, C.S. et al., Scientific Publications (Oxford), pp. 326—355.  
 Tseng, C.K., 1981, *Pro. Int. Seaweed Symp.*, 10: 515—520.  
 Wu, C.Y. et al., 1984, *Chinese J. Ocean. Limnol.*, 2(1): 97—101.  
 Yokohama, Y., 1973, *Bull. Jap. Soc. Phycol.*, 21: 119—124.

## A STUDY ON THE PHOTOSYNTHETIC AND RESPIRATORY PROPERTIES OF THREE RED SEAWEEDS IN QINGDAO

Wu Chaoyuan, Zhang Jingpu, Wen Zongcun,  
Peng Zuosheng, Liu Haihang

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

**Abstract** Photosynthetic and respiratory rates of three red seaweeds, *Gracilaria asiatica*, *Gelidium amansii* Lamx. and *Chondrus* sp. collected from the coast of Qingdao in 1981, were studied by using oxygen electrode technique in relation with different growing seasons and development stages of the plants. The effect of temperature on photosynthesis and respiration was also investigated, and the temperature coefficient of respiration was calculated.

The results showed that the three red seaweeds were similar to the eulittoral species in photosynthetic properties, having higher light saturation points  $600 - 1\,000 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  and light compensation points  $12 - 40 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  of photosynthesis as well as higher temperatures ( $\geq 25^\circ\text{C}$ ) for photosynthesis. Their photosynthetic and respiratory rates were significantly affected by temperature, with the high values at  $25^\circ\text{C}$ . The temperature coefficients of respiration of the red seaweeds were  $1.4 - 5.5$  at  $5 - 15^\circ\text{C}$  and  $1.1 - 2.7$  at  $15 - 25^\circ\text{C}$ , and at the favourable growth temperatures, the net photosynthetic rates were  $4.90 \text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$  for *Chondrus* sp. and  $8.14 \text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$  for *Gracilaria asiatica* at  $15^\circ\text{C}$ , and  $11.87 \text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$  for *Gelidium amansii* at  $25^\circ\text{C}$ . The net photosynthetic rate of the immature *G. amansii* in autumn was  $19.19 \text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$  at  $25^\circ\text{C}$  and  $1\,000 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Therefore, *Gelidium amansii* has an unexpectedly high efficiency of photosynthesis and it seems as if the low growth rate in its habitat is caused by low light intensity and low temperature, so the productivity might be raised even higher under certain artificial culture conditions of higher light intensity and favourable temperature.

**Key words** *Gracilaria asiatica* *Gelidium amansii* Lamx. *Chondrus* sp.  
Photosynthetic rate Respiratory rate Temperature coefficient of respiration ( $Q_{10}$ )