

# 空间环境对微藻种群增长及其 生理特性的影响\*

陈浩峰 宋立荣 刘永定 林惠民  
邹永东 吴天福 雷腊梅 李敦海

(中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

## 摘 要

利用返回式卫星进行了微型蓝藻暹罗鱼腥藻的搭载实验, 卫星在轨飞行共 15 天. 通过卫星的遥测装置对微藻种群增长进行了观测, 获得了暹罗鱼腥藻在空间飞行期间的实时生长曲线. 其生长速度慢于地面对照; 卫星返地后, 对回收样品的气体组成、生理特性进行了分析, 发现其气体组成与地面对照有很大的不同, 搭载样品返地后的生长比对照明显减慢, 但传代培养后两者生长速率趋同, 搭载样品固氮酶活性明显高于对照, 但光合放氧速率及光合荧光效率与对照差异不显著.

**关键词** 空间环境 — 暹罗鱼腥藻 — 种群增长 — 生理特性

利用 1996 年 10 月 20 日在酒泉卫星发射中心发射的科学实验卫星进行了微藻的搭载实验, 目的在于对微型光合生物——微藻在空间的种群生长动力学规律做深入的了解, 从而为进一步的封闭生命系统 (CLS) 和受控生态生命保障系统 (CELSS) 的研究提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 藻种及培养方法

藻罗鱼腥藻 (*Anabaena siamensis*) 藻种来自中国科学院典型培养物保藏委员会淡水藻种库. 这是一种具有异形胞的蓝藻, 能以水为电子供体进行光合放氧作用, 同时其异形胞可固定大气中的氮气. 藻种的无菌纯化方法依据参考文献 [1], 培养基采用液体培养基 BG11.

### 1.2 搭载实验的条件

本次搭载的硬件支撑装置是具有基本生命保障功能和遥测功能的“空间通用生物培养

\* 国家载人航天工程资助项目

箱”,该装置由中国科学院上海技术物理研究所承制,中国科学院水生生物研究所在功能定位、初样设计和关键技术攻关中提供了生物学方面的协作.该装置可以实时遥测样品盒内藻类生长的光密度变化,从而保证了本实验的完成.

搭载样品暹罗鱼腥藻培养在空间通用生物培养箱内的透明样品盒中,培养箱中的温度控制为  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,光照为  $12\text{--}16\ \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ .地面设一对照,其光照条件、温控条件与搭载样品相同.卫星在轨飞行 15 天,微重力水平为  $10^{-4}\text{--}10^{-5}\text{g}$ .

### 1.3 返地后暹罗鱼腥藻的生长及生理特性分析

利用 752 型紫外光栅分光光度计测定微藻的  $\text{OD}_{665}$ (叶绿素 a 的吸收峰),叶绿素 a 含量的测定依据参考文献 [2] 的方法.

利用连续氧电极法测定藻细胞的光合放氧速率,并用 Hanstech 植物光合效率分析仪 (PEA) 测定其光合荧光效率,测定条件:测定温度  $28^{\circ}\text{C}$ ,光照强度  $300\ \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,光照程度 100%,记录时间 5 s,室温  $16^{\circ}\text{C}$ ,暗适应 10 min.

### 1.4 微藻固氮酶活性的测定方法

依据参考文献 [3],取处于对数生长期的搭载及地面对照藻样置于反应瓶内,注入乙炔,恒温照光振荡.用上海分析仪器厂 103 型气相层析仪进行测定,根据反应后生成的乙烯计算固氮酶活性.

## 2 结果与讨论

### 2.1 空间飞行期间 *Anabaena siamensis* 生长曲线

通过遥测装置发到地面测控中心的数据,获得样品盒内光照强度的变化,经转换,可得 *Anabaena siamensis* 的空间种群生长曲线,如图 1 所示.这一生长曲线是我国空间生

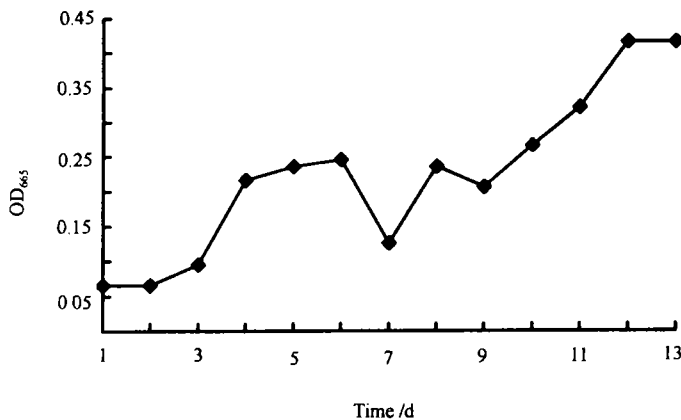


图 1 *Anabaena siamensis* 在空间飞行期间的生长曲线  
Fig.1 The growth curve of *Anabaena siamensis* during the space flight

物学研究中首次获得的微藻种群在空间的实时生长曲线。从图 1 可以看出, 该曲线符合微藻生长动力学的基本规律, 但该曲线的曲率与地面过程略有不同, 这是由于空间条件的限制所造成的。曲线上第 7 天向下的拐点, 经核查遥测操作记录和遥测数据, 确认是光源在程控操作光暗切换时其时序颠倒导致信号不正常引起的。经遥控修正后所反映的藻种群生长恢复正常。这说明微藻光合系统的空间运转是可以通过遥控手段进行操纵的。地面对照试验盒因在卫星飞行期间被静置于相应的条件下, 其中的藻体受重力影响而下沉, 故对照样品培养盒上的光敏装置没有测出变化, 其透光率为一平稳直线。但在回收后测得对照样品的  $OD_{665}$  为 0.937, 比搭载样品高了一倍以上, 而其起始值与搭载样品相同, 说明在对照样品盒内藻的生长很显著, 其生长速度高于搭载样品。

## 2.2 气体成份分析

搭载样品取回实验室后, 立即测定了样品盒内的气体成份组成, 主要气体成份的百分比示于表 1。结果说明, 搭载样品中氧气的含量和二氧化碳的含量都比地面样品高得多, 而同时, 氮的含量大大下降。这一结果提示微藻封闭系统在空间运转有很强的气体循环能力。

表 1 搭载返地后样品盒内的主要气体组成成份数值 (%)

	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
搭载样品	40.1	57.7	1.23
对照样品	19.6	79.0	0.38

## 2.3 回收初始阶段微藻的生长和光合生理参数

测定了实验组和对照组的光密度值及叶绿素 a 含量。从表 2 可以看出, 搭载样品比对照生长速度明显减慢, 光密度和叶绿素 a 值只及对照一半。但是, 对照组和实验组在光合放氧速率和光合荧光效率 (可变荧光与极大荧光的比值) 上差别并不明显。上述结果表明, 微重力对 *Anabaena siamensis* 的作用方式可能主要是改变细胞的生长繁殖速率, 而对藻细胞的生理活性影响不大。

表 2 对照组和试验组回收初始阶段的生长和光合生理特性

处理	光密度值 ( $OD_{665}$ )	叶绿素 a 含量 $\mu\text{g/mL}$	光合放氧速率 $\mu\text{mol O}_2/\text{mg Chl}\cdot\text{h}$	光合荧光效率 $F_v/F_m$
对照组	0.973	7.60	135	0.664
实验组	0.405	3.05	142.5	0.577

## 2.4 经继代培养后微藻的光合放氧活性、固氮酶活性和荧光效率的比较

样品经地面继代培养后, 用连续氧电极法测定了搭载与地面对照样品细胞的光合放氧活性, 结果见表 3。从表中结果可以看出, 虽然空间飞行后的微藻光合放氧活性与地面

对照相近,但其固氮酶活性却比对照高出一倍左右.

表 3 搭载与地面对照样品细胞的光合放氧活性及固氮酶活性比较

	搭载实验	地面对照
光合放氧活性 ( $\mu\text{mol O}_2/\text{mg Chl}\cdot\text{h}$ )	340.2	444.8
固氮酶活性 ( $\text{nmol C}_2\text{H}_2/\text{mg Chl}\cdot\text{min}$ )	932.5	474.1

用植物效率分析 (PEA) 进一步测得搭载微藻和对照的植物荧光效率,见表 4. 两者植物荧光效率  $F_v/F_m$  基本一致.

表 4 搭载返地微藻与对照的荧光效率比较

	$F_o$	$F_m$	$F_v$	$T_m$	$F_v/F_m$
搭载	0.134	0.736	0.602	0.0373	0.817
对照	0.151	0.887	0.736	0.0354	0.829

从以上结果中可以看出,在继代培养后,搭载返地微藻与对照在生理活性上逐渐趋于接近,光合放氧活性基本一致,固氮酶活性却显著高于对照,这说明固氮活力的提高不是由于 ATP 供应增强,而可能是固氮酶本身的效率或固氮酶基因有所变化.这与前期工作的结果一致 [4].

## 2.5 生长潜能恢复实验

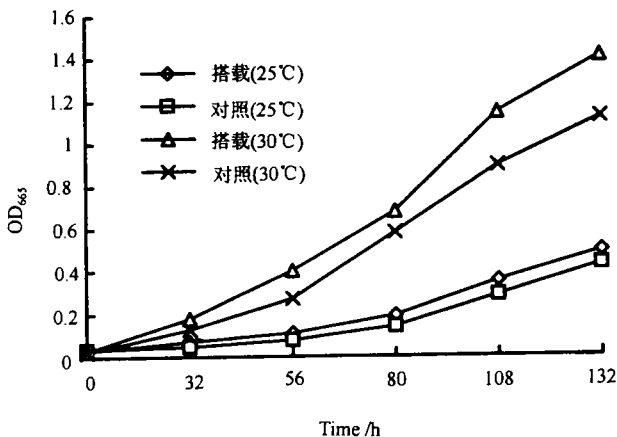


图 2 搭载回收后第一次接种暹罗鱼腥藻的生长曲线

Fig.2 The growth curve of *Anabaena siamensis* at the first time inoculation after space flight

我们除测定了样品回收时细胞的生长和生理参数外,还进一步比较了对照和搭载实验组在实验室培养条件下恢复生长的潜能.直接取样品盒内的藻细胞接种在  $25^{\circ}\text{C}$  和  $30^{\circ}\text{C}$

下分别培养. 结果表明, 在 25°C 和 30°C 下实验组生长速度均高于对照组 (见图 2), 实验组对数生长速率为 0.801 和 0.858, 而对照组为 0.606 和 0.708. 而利用在实验室条件下已培养数代的细胞作接种源, 对照组和实验组在生长速度上趋于接近, 如图 3 所示.

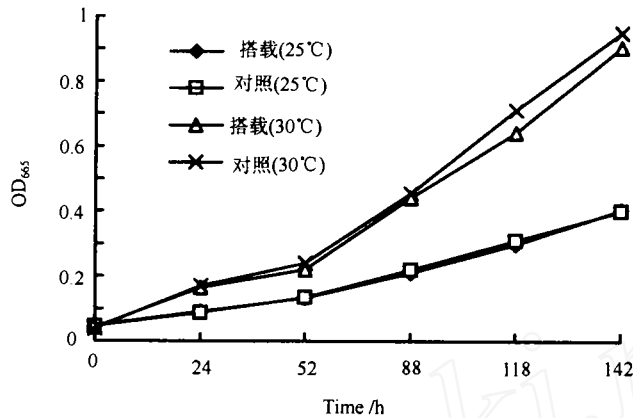


图 3 搭载回收后第二次接种暹罗鱼腥藻的生长曲线

Fig.3 The growth curve of *Anabaena siamensis* at the second time inoculation after space flight

如表 2 所述, 对照组和实验组在光合荧光效率方面的差别并不明显, 空间搭载对微藻的生理活性影响不大. 而生理活性在细胞外环境的限制或促进下, 在封闭系统中的表现, 则应连同细胞的生长繁殖和生态条件控制结合起来加以考虑. 这一结果对设计空间微藻生物反应器提供了依据.

在此之前, 我们曾成功地搭载过稻田鱼腥藻并且分析了其生理特征的变化<sup>[4]</sup>, 本次实验进一步验证了前期的工作结果.

本次实验首次获得了微藻在空间的实时生长曲线, 在我国的航天生物学领域是第一次; 后续实验所得的微藻培养系统中气体成份的变化及微藻的生理特性的变化, 为藻类空间生物学效应研究提供了资料, 这些结果对设计空间微藻生物反应器, 从而进一步建立受控生态生命保障系统 (CELSS) 将提供理论依据.

### 参 考 文 献

- [1] Rippka R. Isolation and purification of cyanobacteria. *Meth. Enzymol.*, 1988, **167**: 3—27
- [2] Hansmann E. Pigment analysis. In: Stein J R ed. *Handbook of Phycological Methods (Culture Methods and Growth Measurements)*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1973. 359—368
- [3] Almon H, Boger P. Nitrogen and hydrogen metabolism: Induction and measurement. *Meth. Enzymol.*, 1988, **167**:459—466
- [4] 刘永定等. 返地卫星搭载对鱼腥藻和小球藻的影响. *科学通报*, 1993, **38**(2): 177—180

# EFFECT OF SPACE-FLIGHT ON THE POPULATION INCREASE AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF MICROALGA *Anabaena siamensis*

CHEN Haofeng      SONG Lirong      LIU Yongding      LIN Huimin  
ZUO Yongdong      WU Tianfu      LEI Lamei      LI Dunhai

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072*)

## Abstract

A strain of microalga-*Anabaena siamensis* has been carried in retrievable satellite for 15 days. By means of remote sensing, the instant growth curve on microalga population in space which was obtained for the first time in the studies of space biology in China. The growth curve showed that the growth rate of the alga was slower than that of the ground control. After retrieved, the gas composition of the flighted culture has high O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub>. The first culture of the flighted microalga showed slower growth, but after several days the growth rates of the next cultures were similar. The activity of nitrogenase of the flighted *Anabaena* was about 2 times higher than that of the control, but the rate of oxygen release and photosynthesis fluorescence were of no difference.

**Key words** Space environment, *Anabaena siamensis*, Population growth, Physiological features