

学校编码: 10384  
学 号: 33120120153555

分类号\_\_密级\_\_  
UDC\_\_

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

束毛藻固碳和固氮作用对环境变化的生理学响应

Physiological Responses of Carbon and N<sub>2</sub> fixation of  
*Trichodesmium* IMS101 to Environmental Changes

蔡晓霓

指导教师姓名: 高坤山 教授  
专 业 名 称: 环 境 科 学  
论文提交日期: 2015 年 5 月  
论文答辩时间: 2015 年 6 月

2015年05月

# 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(高坤山 教授)课题(组)的研究成果,获得(高坤山 教授)课题(组)经费或实验室的资助,在(海洋环境生理)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要.....	I
Abstract.....	IV
缩略词 (Abbreviations).....	VIII
第一章 文献综述与研究意义 .....	1
第一节 束毛藻的生物学研究进展 .....	1
1.1 生态学特性 .....	1
1.2 生理学特性 .....	5
1.2.1 固氮作用.....	5
1.2.2 碳浓缩机制 (CCM).....	7
1.3 环境因子对束毛藻的影响 .....	9
1.3.1 光.....	9
1.3.2 磷.....	10
1.3.3 铁.....	11
1.3.4 温度.....	12
1.3.5 氧气.....	12
第二节 海洋酸化和紫外辐射对浮游植物的影响 .....	14
2.1 海洋酸化 .....	14
2.1.1 海洋酸化对浮游植物的影响.....	15
2.2 紫外辐射 .....	18
2.2.1 紫外辐射对浮游植物的影响.....	18
2.3 海洋酸化和紫外辐射的耦合效应 .....	20
第三节 研究方法 .....	21
3.1 固氮速率的测定 .....	21
3.1.1 样品分析.....	22

3.1.2 解谱.....	22
3.1.3 工作曲线的制定.....	23
3.1.4 固氮速率的计算.....	23
3.2 碳酸盐系统的调控手段 .....	24
3.3 紫外辐射的研究方法 .....	24
<b>第四节 研究意义和方案 .....</b>	<b>25</b>
<b>第 2 章 束毛藻的光生物学特性 .....</b>	<b>27</b>
<b>第一节 光强对束毛藻生理学影响 .....</b>	<b>27</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>27</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>27</b>
2.1 藻种培养.....	27
2.2 生长速率和藻丝长度的测定.....	28
2.3 细胞吸收光谱和细胞色素含量的测定.....	28
2.4 细胞 POC 和 PON 含量的测定.....	29
2.5 叶绿素荧光参数的测定.....	29
2.6 光化学参数的日变动与状态转换荧光动力学曲线的测定.....	30
2.7 数据处理与统计学分析.....	30
<b>3 结果 .....</b>	<b>31</b>
3.1 生长和 C:N.....	31
3.2 叶绿素 <i>a</i> 特征吸收光谱.....	33
3.3 叶绿素荧光参数.....	36
3.4 状态转化动力学参数.....	39
3.5 PSII 电子传递速率 .....	41
3.6 细胞捕获的光能与生长的关系.....	43
<b>4 讨论 .....</b>	<b>45</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>47</b>
<b>第二节 不同光周期对束毛藻生理学影响 .....</b>	<b>48</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>48</b>

<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>48</b>
2.1 藻种培养.....	48
2.2 实验设计.....	48
2.3 叶绿素 <i>a</i> 浓度和生长速率的测定.....	48
2.4 光合固碳的测定.....	49
2.5 固氮的测定.....	49
2.6 叶绿素荧光的测定.....	50
2.7 数据处理与统计学分析.....	50
<b>3 结果 .....</b>	<b>50</b>
3.1 生长.....	50
3.2 固氮速率.....	51
3.3 光合固碳速率.....	52
3.4 叶绿素荧光参数.....	52
3.5 生长、固碳、固氮与日辐射量的关系.....	59
<b>4 讨论 .....</b>	<b>59</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>61</b>
<b>第 3 章 束毛藻对海洋酸化和低氧的生理学响应 .....</b>	<b>62</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>62</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>62</b>
2.1 藻种培养.....	62
2.2 实验设计.....	62
2.3 碳酸盐系统参数.....	63
2.4 相对电子传递速率(rETR)的测定 .....	63
2.5 无碳海水的配制.....	64
2.6 固碳速率的测定 (P-C 曲线).....	64
2.7 固氮速率的测定 (N-C 曲线).....	64
2.8 数据处理与统计学分析.....	65
<b>3 结果 .....</b>	<b>65</b>

3.1 碳酸盐系统参数.....	65
3.2 生长.....	65
3.3 相对电子传递速率.....	67
3.4 固碳速率与 DIC 浓度关系.....	69
3.5 固氮速率与 DIC 浓度关系.....	69
3.6 高低氧浓度下固碳差值与固氮的关系.....	72
3.7 三天低氧培养实验结果.....	73
<b>4 讨论 .....</b>	<b>77</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>78</b>
<b>第 4 章 束毛藻对 UV 辐射的生理学响应 .....</b>	<b>79</b>
<b>第一节 束毛藻对短期 UV 辐射的响应 .....</b>	<b>79</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>79</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>79</b>
2.1 藻种培养.....	79
2.2 实验设计.....	79
2.3 甲醇提取液吸收光谱及细胞色素含量的测定.....	81
2.4 叶绿素荧光参数的测定.....	81
2.5 光合固碳的测定.....	81
2.6 固氮速率的测定.....	81
2.7 数据处理与统计学分析.....	82
<b>3 结果 .....</b>	<b>83</b>
3.1 对光化学效率的影响.....	83
3.2 对光合固碳的影响.....	87
3.3 对固氮的影响.....	89
3.4 对色素的影响.....	90
<b>4 讨论 .....</b>	<b>93</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>94</b>
<b>第二节 束毛藻对长期 UV 辐射的响应 .....</b>	<b>95</b>

<b>1 前言 .....</b>	<b>95</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>95</b>
2.1 藻种培养.....	95
2.2 太阳辐射的测定.....	96
2.3 生长速率的测定.....	96
2.4 细胞色素含量的测定.....	96
2.5 光合固碳的测定.....	97
2.6 固氮速率的测定.....	97
2.7 叶绿素荧光的测定.....	97
2.8 数据处理与统计学分析.....	97
<b>3 结果 .....</b>	<b>97</b>
3.1 生长和色素.....	98
3.2 叶绿素 <i>a</i> 特征吸收光谱.....	100
3.3 光合固碳速率.....	101
3.4 固氮速率.....	103
3.5 叶绿素荧光参数的日变化.....	105
3.6 低辐射强度处理组生长、固碳和固氮参数.....	102
<b>4 讨论 .....</b>	<b>108</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>109</b>
<b>第三节 不同 UV 辐射强度对束毛藻的短期效应 .....</b>	<b>111</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>111</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>111</b>
2.1 藻种培养.....	111
2.2 实验设计.....	111
2.3 光合固碳的测定.....	112
2.4 固氮速率的测定.....	112
2.5 细胞色素含量的测定.....	113
2.6 数据处理与统计学分析.....	113
<b>3 结果 .....</b>	<b>113</b>



3.1 固氮和固碳速率.....	113
3.2 滤除可见光后的固氮和固碳速率.....	115
<b>4 讨论 .....</b>	<b>117</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>118</b>
<b>第四节 不同 UV 辐射强度对束毛藻的长期效应 .....</b>	<b>120</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>120</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>120</b>
2.1 藻种培养.....	120
2.2 实验设计.....	120
2.3 太阳辐射的测定.....	120
2.4 藻丝长度和生长速率的测定.....	121
2.4 光合固碳的测定.....	121
2.5 固氮速率的测定.....	121
2.6 细胞色素含量的测定.....	121
2.7 POC 与 PON 的测定.....	121
2.8 数据处理与统计学分析.....	121
<b>3 结果 .....</b>	<b>121</b>
3.1 生长和藻丝长度.....	122
3.2 固氮和固碳速率.....	124
3.3 POC、PON 生产速率和 C:N.....	126
<b>4 讨论 .....</b>	<b>128</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>129</b>
<b>第 5 章 海洋酸化和 UV 辐射的耦合效应 .....</b>	<b>130</b>
<b>1 前言 .....</b>	<b>130</b>
<b>2 材料与方法 .....</b>	<b>130</b>
2.1 藻种培养.....	130
2.2 实验设计.....	130
2.3 叶绿素荧光参数的测定.....	131

2.4 光合固碳的测定.....	131
2.5 固氮速率的测定.....	131
2.6 细胞色素含量的测定.....	131
2.7 数据处理与统计学分析.....	131
<b>3 结果 .....</b>	<b>131</b>
3.1 对光化学效率的影响.....	131
3.2 对光合固碳的影响.....	137
3.3 对固氮的影响.....	140
<b>4 讨论 .....</b>	<b>143</b>
<b>5 小结 .....</b>	<b>144</b>
<b>总结与创新点 .....</b>	<b>145</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>148</b>
<b>论文发表情况 .....</b>	<b>178</b>
<b>致谢.....</b>	<b>180</b>

**Contents**

**Abstract..... I**

**Abbreviations ..... VIII**

**Chapter 1 Literature review and research purpose .....1**

**1 Research progress on *Trichodesmium* biology ..... 1**

**1.1 Ecological characters ..... 1**

**1.2 Physiological characters .....5**

    1.2.1 Nitrogen fixation ..... 5

    1.2.2 CO<sub>2</sub> concentrating mechanism (CCM) ..... 7

**1.3 Environmental factors on *Trichodesmium* ..... 9**

    1.3.1 Light ..... 9

    1.3.2 Phosphorus ..... 10

    1.3.3 Iron ..... 11

    1.3.4 Temperature ..... 12

    1.3.5 Oxygen ..... 12

**2 Combined effects of OA and UV radiation ..... 14**

**2.1 Ocean acidification ..... 14**

    2.1.1 Effects of OA on phytoplankton ..... 15

**2.2 Solar UV radiation ..... 18**

    2.2.1 Effects of UV radiation on phytoplankton ..... 18

**2.3 Combined effects of OA and UV radiation ..... 20**

**3 Methods ..... 21**

**3.1 Methods for measuring N<sub>2</sub> fixation rate ..... 21**

    3.1.1 Analysis procedure ..... 22

    3.1.2 Spectrum analysis ..... 22

    3.1.3 Making work curve ..... 23

3.1.4 Calculation .....	23
<b>3.2 Methods for carbonate system perturbation .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Methods for UV studies .....</b>	<b>24</b>
<b>4 Research objectives and scheme .....</b>	<b>25</b>
<b>Chapter 2 Photobiological characteristics of <i>Trichodesmium</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>1 Effects of light intensity on <i>Trichodesmium</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>27</b>
<b>2 Materials and Methods.....</b>	<b>27</b>
2.1 Cultures conditions .....	27
2.2 Determine of growth rate and trichome length .....	28
2.3 Determine of absorption spectrum and Chl contents .....	28
2.4 Determine of POC and PON .....	29
2.5 Fluorescence parameters .....	29
2.6 Determine of diel variations and kinetics of state transition .....	30
2.7 Statistical analysis .....	30
<b>3 Results .....</b>	<b>31</b>
3.1 Growth and C:N .....	31
3.2 Light absorption spectra.....	33
3.3 Chlorophyll fluorescence parameters .....	36
3.4 Kinetics of state transtion.....	39
3.5 Electron transport rate of PSII .....	41
3.6 Relationship between growth and capture of light energy.....	43
<b>4 Discussion.....</b>	<b>45</b>
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>47</b>
<b>2 Effects of light regimes on <i>Trichodesmium</i> .....</b>	<b>48</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>48</b>
<b>2 Materials and Methods.....</b>	<b>48</b>
2.1 Cultures conditions .....	48

2.2 Experimental design.....	48
2.3 Determine of growth and Chl content.....	48
2.4 Determine of carbon fixation .....	49
2.5 Determine of N <sub>2</sub> fixation.....	49
2.6 Determine of flurescence parameters.....	50
2.7 Statistical analysis .....	50
<b>3 Results .....</b>	<b>50</b>
3.1 Growth .....	50
3.2 N <sub>2</sub> fixation rate.....	51
3.3 Carbon fixation rate .....	52
3.4 Flurescence parameters .....	52
3.5 Relationship with daily light doses .....	59
<b>4 Discussion.....</b>	<b>59</b>
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>61</b>

### Chapter 3 Combined effects of OA and deoxygenation on

#### *Trichodesmium*.....62

<b>1 Introduction.....</b>	<b>62</b>
<b>2 Materials and Methods.....</b>	<b>62</b>
2.1 Cultures conditions .....	62
2.2 Experimental design.....	62
2.3 Perturbation of carbonate system.....	63
2.4 Determine of rETR .....	63
2.5 Preparation of DIC free medium.....	64
2.6 Determine of carbon fixation (P-C curve) .....	64
2.7 Determine of N <sub>2</sub> fixation (N-C curve) .....	64
2.8 Statistical analysis .....	65
<b>3 Results .....</b>	<b>65</b>
3.1 Carbonate chemistry system .....	65

3.2 Growth .....	65
3.3 rETR.....	67
3.4 Relationship between carbon fixation and DIC concentration .....	69
3.5 Relationship between N <sub>2</sub> fixation and DIC concentration.....	69
3.6 N <sub>2</sub> fixation as a function of changes in carbon fixation (LO-HO).....	72
3.7 Low oxygen culture results.....	73
<b>4 Discussion.....</b>	<b>77</b>
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>78</b>
<b>Chapter 4 Physiological responses of <i>Trichodesmium</i> to UV radiation</b>	
.....	<b>79</b>
<b>1 Short-term effects of UV radiation.....</b>	<b>79</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>79</b>
<b>2 Materials and Methods.....</b>	<b>79</b>
2.1 Cultures conditions .....	79
2.2 Experimental design.....	79
2.3 Determine of absorption spectra and Chl content.....	81
2.4 Determine of fluorescence parameters.....	81
2.5 Determine of carbon fixation .....	81
2.6 Determine of N <sub>2</sub> fixation.....	81
2.7 Statistical analysis .....	82
<b>3 Results .....</b>	<b>83</b>
3.1 Fluorescence parameters .....	83
3.2 Carbon fixation rate .....	87
3.3 N <sub>2</sub> fixation rate.....	89
3.4 Chl content.....	90
<b>4 Discussion.....</b>	<b>93</b>
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>94</b>
<b>2 Long-term effects of UV radiation .....</b>	<b>95</b>

<b>1 Introduction</b> .....	<b>95</b>
<b>2 Materials and Methods</b> .....	<b>95</b>
2.1 Cultures conditions .....	95
2.2 Determine of solar radiation .....	96
2.3 Determine of growth rate .....	96
2.4 Determine of Chl content.....	96
2.5 Determine of carbon fixation .....	97
2.6 Determine of N <sub>2</sub> fixation.....	97
2.7 Determine of fluorescence parameters.....	97
2.8 Statistical analysis .....	97
<b>3 Results</b> .....	<b>97</b>
3.1 Growth and pigments .....	98
3.2 Absorption spectra .....	100
3.3 Carbon fixation rate .....	101
3.4 N <sub>2</sub> fixation rate.....	103
3.5 Diel changes of fluorescence parameters.....	105
3.6 Parameters of low UV radiation treatments .....	102
<b>4 Discussion</b> .....	<b>108</b>
<b>5 Conclusion</b> .....	<b>109</b>
<b>3 Short-term effects of different UV intensities on <i>Trichodesmium</i></b> .....	<b>111</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>111</b>
<b>2 Materials and Methods</b> .....	<b>111</b>
2.1 Cultures conditions .....	111
2.2 Experimental design.....	111
2.3 Determine of carbon fixation .....	112
2.4 Determine of N <sub>2</sub> fixation.....	112
2.5 Determine of Chl content.....	113
2.6 Statistical analysis .....	113
<b>3 Results</b> .....	<b>113</b>

3.1 Carbon fixation and N <sub>2</sub> fixation rate .....	113
3.2 Carbon fixation and N <sub>2</sub> fixation rate in the absent of PAR .....	115
<b>4 Discussion.....</b>	<b>117</b>
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>118</b>
<b>4 Long-term effects of different UV intensities on <i>Trichodesmium</i> .....</b>	<b>120</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>120</b>
<b>2 Materials and Methods.....</b>	<b>120</b>
2.1 Cultures conditions .....	120
2.2 Experimental design.....	120
2.3 Determine of solar radiation .....	120
2.4 Determine of growth rate and trichome length .....	121
2.4 Determine of carbon fixation .....	121
2.5 Determine of N <sub>2</sub> fixation.....	121
2.6 Determine of Chl content .....	121
2.7 Determine of POC and PON.....	121
2.8 Statistical analysis.....	121
<b>3 Results .....</b>	<b>121</b>
3.1 Growth and trichome length .....	122
3.2 Carbon fixation rate and N <sub>2</sub> fixation rate.....	124
3.3 POC, PON production rate and C:N .....	126
<b>4 Discussion.....</b>	<b>128</b>
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>129</b>
<b>Chapter 5 Combined effects of OA and UV radiation .....</b>	<b>130</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>130</b>
<b>2 Materials and Methods.....</b>	<b>130</b>
2.1 Cultures conditions .....	130
2.2 Experimental design.....	130
2.3 Determine of fluorescence parameters.....	131



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.