

学校编码: 10384
学号: 22620081151526

密级

带格式的: 左侧: 3.17 厘米, 右侧: 3.17 厘米

删除的内容:

带格式的: 无下划线

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

厦门大学

硕士学位论文

基于荧光高度的浮游植物遥感研究

Phytoplankton research based on fluorescence height of remote sensing

删除的内容: 基于荧光高度的浮游植物遥感研究
Phytoplankton research based on fluorescence height of remote sensing

李军

指导教师姓名: 商少凌 教授

专业名称: 环境科学

论文提交日期: 2011 年 7 月

论文答辩时间: 2011 年 7 月

2011 年 7 月

厦门大学学位论文原创性声明

删除的内容:

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）》。

删除的内容:

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）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）：

2011 年 7 月 27 日

摘要

叶绿素荧光高度(F LH)算法是通过太阳激发的荧光信号遥测叶绿素浓度的一个手段,相对传统的叶绿素蓝绿比值法,较少受到其他有色成分的干扰。该算法自建立始,研究历经几十年,已有长足发展。然而其应用仍然有限,尤其相对于传统的叶绿素蓝绿比值法而言。目前持续发布中的标准 MODIS 卫星 FLH 产品的可应用空间如何,应用中可能出现哪些具体问题,仍值得探讨。为此,本论文就基于 FLH 的中国海水华监测与研究展开讨论。

针对影响遥感 FLH 质量的大气校正问题,本论文结合现场和遥感数据,比较和分析 SWIR 和 NIR 大气校正算法的差异。在本研究关注的中国东南沿海有害藻华(HAB)高发海域,SWIR 和 NIR 校正结果,没有显著差异。对比相应的现场实测数据可以看出,NIR 校正之后的遥感反射率(R_{rs})相对于实测 R_{rs} ,呈现高估的倾向,然而均方根误差低于 SWIR 校正结果,故此我们认为标准 NIR 大气校正方法适用于中国东南沿海 HAB 高发海域。同时我们也注意到在长江口高浊区,显然需要采用 SWIR 算法。

采用 NIR 校正之标准 MODIS FLH 产品,我们首先研究如何有效应用之于近岸水华监测。基于福建近岸浮游植物水华期获得的 35 组实测遥感反射率和叶绿素 a 数据,提出 MODIS FLH 差值法,即当日 FLH 与前 14 d 平均 FLH 差值 $\geq 0.06 \text{ mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ 时(叶绿素差值 $\geq 10 \text{ mg m}^{-3}$),判别为水华发生。取 2003 年 5 月、2005 年 6 月和 2009 年 1 月三个赤潮案例,处理获得 MODIS 卫星 FLH 时间差值产品,依据 FLH 差值 $\geq 0.06 \text{ mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ 的判据,判别水华影响区域与实际报道吻合,说明这一方法对于本研究水体行之有效。适用其他水体的情况尚未知,且具体的判据可能随水域而变化,进一步的研究与实例检验,将是必要的。

其次应用 MODIS FLH 产品,研究南海吕宋海峡水华之发生、发展与机制。FLH 与传统的蓝绿比值法叶绿素产品和半分析浮游植物吸收系数产品一致,揭示了冬季吕宋海峡水华自 10 月发端、12 月达到顶峰、2 月衰退的过程,以及顶峰期水华与黑潮入侵吻合的弯曲结构,特别是吕宋岛北部沿岸的水华,第一次得到呈现。结合其他遥感及现场海洋学参数,分析黑潮入侵南海产生的中尺度涡可能是产生冬季吕宋水华的首要因素;此外,卡加延河的流量与水华强度的高度相

带格式的: 字体颜色: 自动设置

删除的内容: (

删除的内容:)

删除的内容: (

删除的内容:)

带格式的: 字体: 非倾斜

删除的内容: (

带格式的: 字体: 非倾斜

删除的内容:)

带格式的: 字体: 非倾斜

带格式的: 字体: 非倾斜

删除的内容: 天平均

删除的内容: $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$

删除的内容: mg/m^3

删除的内容: $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$

关表明河流的贡献使得吕宋岛北部沿岸的水华得到增强。

总之，本论文围绕叶绿素荧光高度产品的应用，从 HAB 高发的沿岸高叶绿素浓度区到寡营养盐的吕宋海峡水域，具体呈现 FLH 产品的优势与限制。诚然，本研究深度尚浅，更多的研究是必要的。

关键字：MODIS；叶绿素 *a*；荧光高度；大气校正；赤潮；水华；吕宋海峡

删除的内容：；

带格式的：字体：宋体

删除的内容：(FLH)

Abstract

Pioneering studies showed a nice correlation between chlorophyll-a concentration and natural fluorescence. Fluorescent Light Height (FLH) was a good way to detect chlorophyll under some conditions. It was tens years after the FLH algorithm had been developed.

In order to know that how to use the standard FLH product and what is the problem, we found out the relationship between FLH and chlorophyll. At the same time, we thought about the atmospheric correction which may influence FLH. Understood the limitation and feasibility of FLH, we chose two case (Fujian and Luzon) for study.

删除的内容: thinked

To find the difference of SWIR and NIR model in alongshore, we compared FLH products from each model. The difference was little in our study area. Viewing the result data, the NIR model was greater than SWIR. But the SWIR model underestimated in all band and added the scatter. So we chose NIR model in our study area. We also discussed the applicable conditions of SWIR model.

In alongshore, we used the relationship between FLH and chlorophyll in remote sensing. Follow previous, we used difference value to detect the red tide by FLH from MODIS. Then the model was found and used in a few case.

In offshore, we studied the development and mechanism of Luzon bloom used FLH and a_{ph} . It is demonstrated that Kuroshio intrusion plays a critical role in the offshore bloom formation. The Kuroshio does not carry nutrients to the SCS, but to stir the water and then fuel intensive bloom. Nutrients are from below which is pumped up by basin scale upwelling (nutricline uplift) and then is mixed up to the surface water by frontal mixing. A nearshore bloom in the Babuyan Channel is also documented. Nutrients come from the Cagayan river runoff. Most importantly, timing of both offshore and nearshore blooms coincides with the northeast monsoon, which is the primary forcing that driving dynamic processes involved in the bloom formation-Kuroshio intrusion, upwelling and coastal advection along the northern Luzon. However, more intensive studies are required.

Keyword: Fluorescence line height; Chlorophyll; Atmosphere correction; Red tide;
Blooms; Luzon upwelling

删除的内容:

厦门大学博硕士学位论文摘要库

缩略语

IOPs	固有光学特性(Inherent Optical Properties)	
AOPs	表观光学特征(Apparent Optical Properties)	
CDOM	有色溶解有机物(Chormophoric Dissolved Organic Mater)	
a_w	纯水的吸收系数	m^{-1}
a_g	有色溶解有机物吸收系数	m^{-1}
a_d	非藻类颗粒吸收系数	m^{-1}
a_{dg}	非藻类颗粒与有色溶解有机物吸收系数	m^{-1}
a_{ph}	浮游植物吸收系数	m^{-1}
Chl	叶绿素 a 的浓度(Chlorophyll a)	$mg \cdot m^{-3}$
OD	光学密度(Optical Density)	
β	颗粒吸收系数测量方法中的光程放大系数	
R_{rs}	遥感反射率	sr^{-1}
FLH	叶绿素荧光高度(Fluorescent Light Height)	$mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$
SICF	太阳激发叶绿素荧光(Sun Induced Chlorophyll Fluorescence)	$mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$
L_w	离水辐射率	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$
nL_w	归一化离水辐射率	$mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$
SST	海表面温度(Sea Surface Temperature)	$^{\circ}C$
MSS	悬浮矿物颗粒(Mineral Suspended Solids)	$g \cdot m^{-3}$
NADPH	高能磷酸键	
QAA	固有光学特性的半分析算法(Quasi-Analytical Algorithm)	
ABI	区域水华指数(Areal Bloom Index)	
IOCCG	国际水色协调工作组(International Ocean Colour Coordinating Group)	
MODIS	卫星传感器: 中分辨率成像光谱仪(The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	
HAB	有害水华(Harmful Algae Bloom)	

带格式的: 字体颜色: 自动设置

带格式表格

删除的内容: Mg/

带格式的: 上标

删除的内容: c

带格式的: 字体: 非倾斜

带格式的: 非上标/ 下标

删除的内容: $mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$

带格式的: 非上标/ 下标

删除的内容: $mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$

删除的内容: i

删除的内容: c

删除的内容: f

删除的内容: m

删除的内容: c

带格式的: 上标

删除的内容: $^{\circ}$

带格式的: 非上标/ 下标

删除的内容: μm^{-1}

带格式的: 上标

删除的内容: $^{\circ}$

带格式的: 非上标/ 下标

带格式的: 上标

带格式的: 字体: 五号

删除的内容: $mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$

删除的内容: G

删除的内容: /

带格式的: 上标

带格式的: 默认段落字体

带格式的

带格式的

目录

摘要.....	I	删除的内容: I 带格式的 (... [1])
Abstract.....	III	删除的内容: III 带格式的 (... [2])
缩略语.....	V	带格式的 (... [3]) 删除的内容: V
第一章 绪论.....	1	带格式的 (... [4]) 删除的内容: 1
1.1 引言.....	1	带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
1.2 荧光产生原理.....	1	
1.3 荧光高度算法研究进展.....	3	带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法 删除的内容: 3
1.3.1 算法研究.....	3	
1.3.2 近岸藻华监测应用研究.....	5	
1.3.3 其他应用研究.....	6	带格式的 (... [5]) 删除的内容: 6
1.4 问题、目标及思路.....	6	删除的内容: 7 带格式的: 字体: 小四, 不 检查拼写或语法
1.5 论文框架.....	7	删除的内容: 9
第二章 数据与方法.....	9	带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
2.1 现场数据测量方法.....	9	域代码已更改
2.2 遥感数据.....	10	删除的内容: 9 带格式的 (... [6]) 域代码已更改
2.2.1 遥感数据来源.....	10	
2.2.2 遥感数据处理.....	11	删除的内容: 10
2.3 误差统计方法.....	12	带格式的 (... [7]) 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
第三章 不同大气校正方法的比较.....	13	带格式的 (... [8]) 删除的内容: 13
3.1 引言.....	13	带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
3.2 数据和方法.....	13	域代码已更改
3.2.1 现场数据.....	14	删除的内容: 13
3.2.2 遥感数据及处理方法.....	15	带格式的 (... [9])
3.3 结果.....	16	带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
3.3.1 比较区域.....	16	带格式的: 字体: 非倾斜, 不检查拼写或语法
3.3.2 台湾海峡 NIR 和 SWIR 的大气校正的 MODIS R_{rs} 比较.....	16	删除的内容: 1617 删除的内容: VI

3.3.3 比较实测 GER 数据与相应站位两种大气校正模式的 MODIS R_{rs}	18	删除的内容: 1819
3.3.4 比较 NIR 和 SWIR 大气校正下的 MODIS FLH	22	带格式的 ... [10]
3.4 结果与讨论	26	删除的内容: 2223
3.5 结论	26	删除的内容: 2627
第四章 叶绿素荧光高度在近岸藻类水华监测方面的应用	27	带格式的 ... [11]
4.1 引言	27	域代码已更改
4.2 现场光谱和 Chl 的关系	29	带格式的 ... [12]
4.2.1 现场光谱和水样数据	29	删除的内容: 27
4.2.2 FLH 计算	30	带格式的 ... [13]
4.2.3 结果分析	30	删除的内容: 2729
4.3 水华判断方法和阈值的选取	31	带格式的 ... [14]
4.4 方法检验	32	删除的内容: 2729
4.4.1 案例 1	32	带格式的 ... [15]
4.4.2 案例 2	35	删除的内容: 2830
4.4.3 案例 3	37	删除的内容: 2830
4.5 讨论	39	删除的内容: ...30 ³² ... [16]
4.6 结论	39	删除的内容: 3032
第五章 吕宋水华研究	40	带格式的 ... [17]
5.1 引言	40	删除的内容: 3133
5.2 遥感和现场数据	43	带格式的 ... [18]
5.2.1 MODIS FLH 和 a_{ph} 数据	43	删除的内容: 3234
5.2.2 现场航次资料	43	删除的内容: 3234
5.2.3 卡加延河的流量数据	43	删除的内容: 36
5.2.4 QuikSCAT 的风场数据	43	删除的内容: 38
5.3 现场 FLH 和 Chl 的关系	44	删除的内容: 38
5.4 结果分析	44	带格式的 ... [19]
5.4.1 Luzon 水华的分布和变化	44	带格式的 ... [20]
5.5 讨论	48	删除的内容: 40
5.5.1 引起水华现象的因素	48	带格式的 ... [21]

5.5.2 远岸的水华现象.....49

5.5.3 近岸的水华现象.....53

5.6 结论.....54

第六章 总结与展望.....55

6.1 主要研究成果.....55

6.2 存在的问题和今后的发展方向.....56

参考文献.....57

三年来发表及完成的论文.....65

致谢.....66

- 删除的内容: 4951
- 删除的内容: 5356
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 删除的内容: 5457
- 删除的内容: 5558
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 小四, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 删除的内容: 5558
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 删除的内容: 5659
- 删除的内容: 60
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 小四, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 小四, 不检查拼写或语法
- 删除的内容: 67
- 带格式的: 字体: 非加粗, 不检查拼写或语法
- 带格式的: 字体: 小四, 不检查拼写或语法
- 删除的内容: 6668

删除的内容: VI

带格式的

Contents

Abstract (Chinese).....	I
Abstract.....	III
Abbreviations.....	V
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 The Principle of Fluorescence.....	1
1.3 The Development of FLH Algorithm.....	3
1.3.1 FLH Algorithm.....	3
1.3.2 Application on HAB.....	5
1.3.3 Other Application.....	6
1.4 Object of This Study.....	6
1.5 Content of This Study.....	7
Chapter 2 Methodology and Data.....	9
2.1 In situ.....	9
2.2 Remote Sensing.....	10
2.2.1 Data Source.....	10
2.2.2 Data Processing.....	11
2.3 Statistical Error.....	12
Chapter 3 Comparison of R_{rs} between SWIR and NIR Models.....	13
3.1 Introduction.....	13
3.2 Methodology and Data.....	13
3.2.1 In situ.....	14
3.2.2 Remote Sensing and Data Processing.....	15
3.3 Result.....	16
3.3.1 Compared Area.....	16
3.3.2 MDOIS R_{rs} Difference between SWIR and NIR Models.....	16

- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 小四
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 小四
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 小四
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 小四
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 删除的内容: Of
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 删除的内容: Of
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 删除的内容: On
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 小四
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 删除的内容: sensing
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗, 非倾斜
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 小四
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非加粗
- 带格式的: 字体: 非倾斜
- 删除的内容: 17
- 删除的内容: VI

3.3.3 R_{rs} Difference between in situ and Two Models.....	18
3.3.4 MDOIS FLH Difference between SWIR and NIR Models.....	22
3.4 Discussion.....	26
3.5 Conclusion.....	26
Chapter 4 FLH Application On HAB.....	27
4.1 Background.....	27
4.2 Relationship between Chlorophyll and Fluorescent.....	29
4.2.1 Sampling.....	29
4.2.2 FLH Algorithm.....	30
4.2.3 Result.....	30
4.3 HAB Judgment by FLH.....	31
4.4 Case Study.....	32
4.4.1 Case 1.....	32
4.4.2 Case 2.....	35
4.4.3 Case 3.....	37
4.5 Discussion.....	39
4.6 Conclusion.....	39
Chapter 5 The Researche of Phytoplankton Bloom off Luzon.....	40
5.1 Introduction.....	40
5.2 Data and methods.....	43
5.2.1 MODIS FLH and a_{ph}	43
5.2.2 The Voyage.....	43
5.2.3 The Discharge of Cagayan Rive.....	43
5.2.4 QuikSCAT Wind.....	43
5.3 The Relationship between Chlorophyll and Fluorescence.....	44
5.4 Result.....	44
5.4.1 The Bloom of Luzon.....	44
5.5 Discussion.....	48
5.5.1 The Factors of Bloom.....	48

带格式的：字体：非倾斜

删除的内容：19

删除的内容：23

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：27

删除的内容：27

带格式的：字体：非加粗

带格式的 ... [27]

删除的内容：29

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：29

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：b

删除的内容：c

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：30

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：30

删除的内容：32

删除的内容：32

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：33

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：34

删除的内容：34

删除的内容：36

删除的内容：38

带格式的：字体：非加粗

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：40

带格式的 ... [28]

删除的内容：42

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：42

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：44

删除的内容：44

删除的内容：45

删除的内容：45

删除的内容：45

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：r

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：between

带格式的：字体：非加粗

删除的内容：c

带格式的：字体：非加粗

带格式的：字体：非加粗

带格式的：字体：非加粗

5.5.2 Offshore Bloom	52	删除的内容: 51
5.5.3 Nearshore Bloom	53	删除的内容: 56
5.6 Conclusion	54	带格式的: 字体: 非加粗 删除的内容: 57
Chapter 6 Summarization and Expectation.....	55	删除的内容: 58
6.1 Main Conclusion.....	55	带格式的: 字体: 非加粗 带格式的: 字体: 小四
6.2 Limitation and Prospects.....	56	带格式的: 字体: 非加粗 删除的内容: 58
Reference.....	57	带格式的: 字体: 非加粗 删除的内容: 59
Publications.....	65	带格式的: 字体: 非加粗 带格式的: 字体: 小四
Acknowledgement.....	66	删除的内容: 60 带格式的: 字体: 小四 带格式的: 字体: 非加粗 带格式的: 字体: 小四 删除的内容: 67 带格式的: 字体: 小四, 非加粗, (中文) 中文(中国) 带格式的: 字体: 非加粗 带格式的: 字体: 小四 删除的内容: 68

带格式的: 字体颜色: 自动设置

第一章 绪论

1.1 引言

浮游植物是地球生物圈的重要部分，是海洋生态系统的初级生产者，是海洋动物的主要食物来源，是海洋物质和能量循环的重要组成部分。浮游植物对气候变化及人类活动都有敏感的反应。随着空间技术的发展，与现场观测相比，运用卫星可以在长时间序列和广地域上对浮游植物有更加全面仔细的认识。

浮游植物捕捉光能量进行光合作用的主要色素是叶绿素 *a*，其浓度一向被视为浮游植物生物量的指标，是最基础的海洋学参量之一。特别是考虑到它是启动碳循环生物泵的基础环节，在碳排放引起的全球变化受到密切关注的背景下，它的浓度变动愈发成为一个活跃的议题。故而叶绿素 *a* 浓度(Chl, 以下简称叶绿素)一直以来都是海色卫星的主打产品。

从 1978 年美国 NASA 第一代水色传感器 CZCS 到 SeaWiFS、MODIS 和 MERIS，水体叶绿素反演算法不断发展。常规蓝绿比值法的原理是，伴随叶绿素浓度的升高，遥感反射率(R_{rs} , Remote Sensing Reflectance)在蓝光波段降低绿光波段升高(Clarke et al., 1970; Gordon et al., 1980)。实践证明，此算法在 I 类水体中取得了良好的效果(Lee et al., 2009)，但在 II 类水体中，由于高浓度的泥沙、CDOM(Colored Dissolved Organic Matter)在短波段与叶绿素有类似的吸收特征，应用蓝绿比值法经常出现叶绿素浓度高估的现象(Carder et al., 1999; Lee et al., 2009)，而且蓝绿比值的算法还会受到水底反射的影响(Lee et al., 2009; Hu et al., 2003)。一直以来，人们试图寻找在复杂水体中更为有效的叶绿素反演算法，利用叶绿素荧光特性建立的荧光高度算法便是其中之一。

带格式的: 字体: 非倾斜

带格式的: 字体: 非倾斜

删除的内容:

删除的内容: c

删除的内容: d

删除的内容: o

删除的内容: m

带格式的: 字体颜色: 自动设置

1.2 荧光产生原理

随着人们对叶绿素荧光的探索，对荧光机理的逐渐认识，荧光的发生机制越来越清楚。叶绿素荧光是伴随着光合作用而产生的，是光合作用的副产品。

海洋浮游植物的光合作用分为光反应和暗反应两个部分，光反应的主要作用是把光能转化为化学能并负责氧气的释放，暗反应的主要作用为二氧化碳的固定(Behrenfeld et al., 2009)。光反应有两个反应中心，分别为 PS I、PS II。PS I 的主要作用是把光能转化为化学能(高能磷酸键 NADPH); PS II 的功能为转移电子，

删除的内容: VI

释放氧气。后者为荧光的主要释放部分(Behrenfeld et al., 2009)。

通过吸收光量子，浮游植物细胞内的叶绿素分子从基态(低能态)跃迁到激发态(高能态)。处于激发态的叶绿素分子可以通过几种途径释放能量回到稳定的基态。能量的释放方式主要有以下几种(图 2.1)(Campbell et al., 1998): 1)重新放出一个光子，回到基态，即产生荧光。由于部分激发能在放出荧光光子之前以热的形式逸散掉了，所以荧光的波长比吸收光的波长长，叶绿素荧光一般位于红光区。2)不放出光子，直接以热的形式耗散掉(非辐射能量耗散)。3)将能量从一个叶绿素分子传递到邻近的另一个叶绿素分子，能量在一系列叶绿素分子之间传递，最后到达反应中心，反应中心通过电荷分离将能量传递给电子受体，从而进行光合作用。

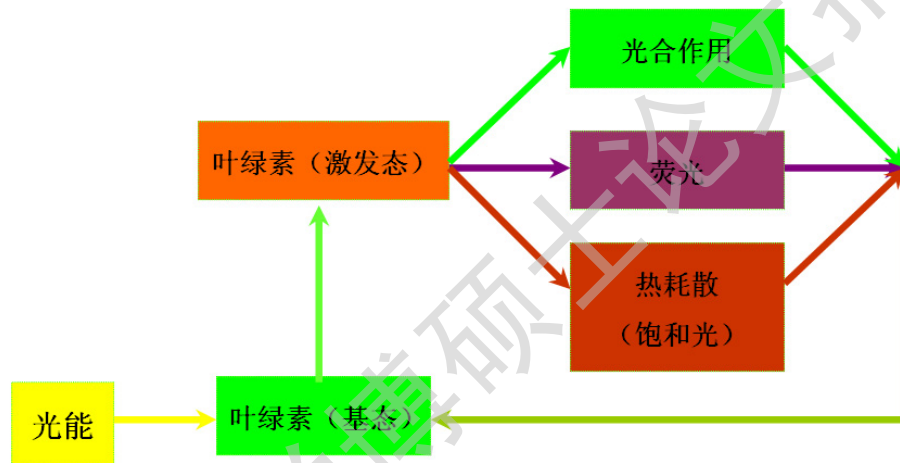


图 1.1 主要的去激途径(Campbell et al., 1998)

Fig. 1.1 The main way to remove excitation (Campbell et al., 1998)

因而，在天然水体中人们可以从反射光谱上观察到 685 nm 左右出现叶绿素的荧光峰，关于这一现象已有很多报道(Nevile and Gower, 1977; McKee et al., 2007; Ahn et al., 2007; Zhao et al., 2010; Zhao et al., 2008)。尽管如上所述，从色素对光子的吸收到荧光的激发到光合作用，各个过程之间远不是简单的关系，但人们注意到叶绿素浓度与荧光峰强度之间基本呈现线性相关(Gower and Borstad, 1981)。正是基于此，人们萌生了通过太阳激发的荧光反演叶绿素浓度的想法。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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 for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库