

学校编码：10384

密级\_\_\_\_\_

学号：33120141151725

廈門大學

硕士学位论文

基于氮稳定同位素的我国福建红树林沉积物氮还原过程研究

Research on Nitrogen Reduction Processes in Fujian  
Mangrove Sediments Using Nitrogen Stable Isotope in China

杨晶鑫

指导教师姓名：曹文志 教授

专业名称：环境管理

论文提交日期：2017 年 4 月

论文答辩时间：2017 年 5 月

2017年 5 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（        ）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）：

年 月 日

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
<b>第 1 章 绪论.....</b>	<b>1</b>
1.1 前言.....	1
1.2 国内外研究进展.....	2
1.2.1 红树林沉积物氮素特征.....	3
1.2.2 红树林沉积物氮循环.....	4
1.3 研究目标、内容和技术路线.....	14
1.3.1 研究目标.....	14
1.3.2 研究内容.....	14
1.3.3 研究技术路线.....	15
<b>第 2 章 研究区概况 .....</b>	<b>16</b>
2.1 九龙江口红树林.....	16
2.1.1 地理区位.....	16
2.1.2 气象水文.....	16
2.1.3 植被状况.....	16
2.1.4 水产养殖情况.....	17
2.2 漳江口红树林.....	17
2.2.1 地理位置.....	17
2.2.2 气象水文.....	17
2.2.3 植被状况.....	17
2.3 沙埕湾红树林.....	18
2.3.1 地理位置和气象水文.....	18
2.3.2 水产养殖情况.....	18
2.3.3 植被状况.....	18
<b>第 3 章 采样站位与实验方法 .....</b>	<b>19</b>

3.1 站位布设与实验总体设计.....	19
3.1.1 九龙江口红树林.....	19
3.1.2 漳江口红树林.....	19
3.1.3 沙埕湾红树林.....	20
3.1.4 实验总体设计.....	21
3.2 采样和测定方法.....	22
3.2.1 潮汐水.....	22
3.2.2 沉积物.....	23
3.2.3 沉积物培养实验.....	25
<b>第 4 章 红树林系统氮库 .....</b>	<b>28</b>
4.1 沉积物氮素概况.....	28
4.1.1 物理参数分析.....	28
4.1.2 沉积物碳氮硫含量.....	32
4.1.3 孔隙水营养盐.....	35
4.2 潮汐水氮素概况.....	38
4.2.1 物理参数分析.....	38
4.2.2 潮汐水营养盐.....	40
4.2.3 潮汐水溶解 N <sub>2</sub> O .....	44
4.3 小结.....	45
<b>第 5 章 红树林沉积物的硝酸盐还原过程 .....</b>	<b>47</b>
5.1 沉积物反硝化过程.....	47
5.1.1 沉积物培养过程中 <sup>29</sup> N <sub>2</sub> 和 <sup>30</sup> N <sub>2</sub> 浓度和产率 .....	47
5.1.2 反硝化速率.....	50
5.2 沉积物 DNRA 过程 .....	56
5.2.1 沉积物 15NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 的浓度和产率.....	56
5.2.2 DNRA 速率 .....	59
5.3 沉积物氮素还原过程分析.....	65
5.4 小结.....	67

第 6 章 总结与建议 .....	69
6.1 研究结论.....	69
6.1.1 红树林系统氮库概况.....	69
6.1.2 红树林沉积物的硝酸盐还原过程.....	70
6.2 创新点.....	70
6.3 不足之处.....	70
6.4 研究展望.....	70
参考文献.....	72
致谢.....	81
附录：研究生阶段科研经历 .....	83

**Contents**

**Abstract (in Chinese)** ..... I

**Abstract (in English)**.....III

**Chapter 1 Preface**.....1

**1.1 Introduction**..... 1

**1.2 Review of literature**.....2

        1.2.1 Nitrogen characteristics in mangrove sediment.....2

        1.2.2 Nitrogen cycle in mangrove sediment .....4

**1.3 Objectives and approach of study** .....14

        1.3.1 Objectives ..... 14

        1.3.2 Contents ..... 14

        1.3.3 Approach ..... 15

**Chapter 2 Study site description** .....16

**2.1 Jiulong River estuary mangrove**.....16

        2.1.1 Geography..... 16

        2.1.2 Climate and hydrology..... 16

        2.1.3 Vegetation..... 16

        2.1.4 Aquaculture ..... 16

**2.2 Zhangjiang estuary mangrove** .....17

        2.2.1 Geography ..... 17

        2.2.2 Climate and hydrology..... 17

        2.2.3 Vegetation..... 17

**2.3 Shacheng Bay mangrove** .....18

        2.3.1 Geography, climate and hydrology ..... 18

        2.3.2 Aquaculture ..... 18

        2.3.3 Vegetation..... 18

**Chapter 3 Sampling sites and experiment design**.....19

<b>3.1 Sampling sites and general arrangement</b> .....	<b>19</b>
3.1.1 Jiulong River estuary mangrove.....	19
3.1.2 Zhangjiang estuary mangrove.....	19
3.1.3 Shacheng Bay mangrove.....	20
3.1.4 General arrangement.....	21
<b>3.2 Sampling and analyses</b> .....	<b>22</b>
3.2.1 Tidal water.....	22
3.2.2 Sediment.....	23
3.2.3 Incubation experiment.....	24
<b>Chapter 4 N pool in mangrove system</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1 Profile of N in sediment</b> .....	<b>28</b>
4.1.1 Physical parameters.....	28
4.1.2 Contents of C, N and S.....	32
4.1.3 Nutrients in sediment.....	35
<b>4.2 Profile of N in tidal water</b> .....	<b>38</b>
4.2.1 Physical parameters.....	38
4.2.2 Nutrients in tidal water.....	40
4.2.3 Dissolved N <sub>2</sub> O.....	43
<b>4.3 Brief summary</b> .....	<b>45</b>
<b>Chapter 5 Nitrate reduction process in mangrove sediment</b> .....	<b>47</b>
<b>5.1 Denitrification in sediment</b> .....	<b>47</b>
5.1.1 Concentrations of <sup>29</sup> N <sub>2</sub> and <sup>30</sup> N <sub>2</sub> during sediment incubations.....	47
5.1.2 Denitrification rates.....	50
<b>5.2 DNRA in sediment</b> .....	<b>56</b>
5.2.1 Concentrations of <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N during sediment incubations.....	56
5.2.2 DNRA rates.....	59
<b>5.3 Nitrate reduction process analysis</b> .....	<b>65</b>
<b>5.4 Brief summary</b> .....	<b>67</b>



<b>Chapter 6 Summary</b> .....	<b>69</b>
<b>6.1 General conclusions</b> .....	69
6.1.1 N pool in mangrove system .....	69
6.1.2 Nitrate reduction process .....	70
<b>6.2 Innovation</b> .....	70
<b>6.3 Outstanding questions</b> .....	70
<b>6.4 Future work</b> .....	70
<b>Peferences</b> .....	72
<b>Acknowledgements</b> .....	81
<b>Appendix</b> .....	83

## 摘要

近年来,由于人类活动频繁,导致大量营养盐输入水生系统中,造成严重的富营养化,威胁水生生物生长,污染饮用水,同时破坏水体的娱乐用途。当输入系统的氮不能通过生物地球化学作用被河流移除或滞留时,过量的氮大都带入海岸带河口,最终进入大陆架作为重要的氮汇途径,而这些过量氮素将会引起近岸海域富营养化及一系列环境问题。红树林是分布在热带和亚热带海岸河口地区潮间带开放的生态系统。其栖息地—海岸潮汐湿地—作为河口沉积区的重要组成,是全球碳、氮、磷的重要源、汇及转化器,因此成为了研究的热点。

本研究以我国东南沿海的不同区域红树林沉积物为主要研究对象,利用 $^{15}\text{N}$ 稳定同位素技术进行定位监测分析,通过室内培养测定红树林沉积物反硝化和DNRA作用的强度,初步讨论我国东南沿海红树林沉积物中氮还原的主要过程以及输入红树林沉积物系统氮素的归宿,分析反硝化和DNRA作用的主要影响因素以及DNRA作用在红树林沉积物中的特殊作用。主要研究结论如下:

(1) 研究区域内九龙江口红树林沉积物孔隙水春季、夏季和秋季的DIN的平均浓度分别为 $99.84 \pm 108.96 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $28.34 \pm 13.13 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $192.20 \pm 43.42 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,季节变化规律为秋季>春季>夏季。秋季漳江口红树林沉积物孔隙水DIN浓度的平均值为 $80.56 \pm 57.31 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,沙埕湾为 $43.54 \pm 11.47 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,其空间分布规律为九龙江口>漳江口>沙埕湾。研究区域内沉积物孔隙水的DIN均表现为以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 次之, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 无明显变化。

(2) 研究区域内秋季九龙江口红树林潮汐水TN浓度的平均值为 $228.49 \pm 19.74 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,漳江口为 $357.27 \pm 40.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,沙埕湾为 $100.32 \pm 11.92 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,其空间分布规律为漳江口>九龙江口>沙埕湾,九龙江口TP浓度的平均值为 $13.52 \pm 5.86 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,漳江口为 $13.74 \pm 3.05 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,沙埕湾为 $5.62 \pm 1.01 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,其空间分布规律为漳江口 $\approx$ 九龙江口>沙埕湾。研究区域内秋季九龙江口红树林潮汐水的DIN浓度的平均值为 $377.94 \pm 45.95 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,漳江口为 $478.26 \pm 121.79 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,沙埕湾为 $108.82 \pm 39.14 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,均表现为以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 次之, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 最低。

(3) 九龙江口红树林潮汐水夏季和秋季溶解 $\text{N}_2\text{O}$ 的平均浓度分别为 $59.96 \pm 13.84 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $118.76 \pm 36.28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。溶解 $\text{N}_2\text{O}$ 的季节变化规律为秋季>

夏季。秋季漳江口红树林潮汐水溶解  $\text{N}_2\text{O}$  的平均浓度为  $197.53 \pm 125.41 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，沙埕湾为  $12.64 \pm 0.90 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。溶解  $\text{N}_2\text{O}$  浓度的空间分布规律为漳江口 > 九龙江口 > 沙埕湾。

(4) 培养结果显示，九龙江口红树林沉积物反硝化速率的均值为  $199.16 \pm 103.63 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ；漳江口为  $90.06 \pm 111.03 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ；沙埕湾为  $77.59 \pm 42.14 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。九龙江口和漳江口红树林沉积物的反硝化速率高于沙埕湾。反硝化速率与沉积物盐度和孔隙水  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  浓度极显著相关 ( $P < 0.01$ )，与沉积物 pH 和容重显著相关 ( $0.01 < P < 0.05$ )，而与沉积物温度、含水率和 C/N 比则无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

(5) 培养结果显示，九龙江口红树林沉积物 DNRA 速率的均值为  $20.00 \pm 17.12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ；漳江口为  $8.87 \pm 12.00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ；沙埕湾为  $0.95 \pm 0.36 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。九龙江口和漳江口红树林沉积物的 DNRA 速率高于沙埕湾。DNRA 速率与沉积物温度、盐度和孔隙水  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  浓度极显著相关 ( $P < 0.01$ )，与沉积物 pH 显著相关 ( $0.01 < P < 0.05$ )，而与沉积物含水率、容重和 C/N 比则无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

(6) 九龙江口红树林沉积物的  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  还原速率高于漳江口和沙埕湾红树林沉积物。总的来说，反硝化作用是红树林沉积物主要的氮素还原过程反硝化速率占  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  还原速率的 80.43-98.92%，说明红树林系统的氮素主要通过反硝化作用移出系统。

**关键词：**氮还原过程； $^{15}\text{N}$  稳定同位素；红树林沉积物

## Abstract

In recent years, a large number of nutrient discharge into the aquatic system due to frequent human activities, causing serious eutrophication, threatening the growing of aquatic organisms, polluting drinking water, and destroying the recreational use of water at the same time. When the nitrogen discharging into system cannot be removed or stranded through the biogeochemical effects, excessive nitrogen will be discharged into the estuary coastal zones and into the continental shelf in the end as an important nitrogen transfer. However, the excess nitrogen will cause eutrophication of coastal waters and a series of environmental problems. Mangrove are open estuaries intertidal ecosystems distributed in tropical and subtropical coast. Its habitat, coastal tidal wetland, as an important component of the estuarine sedimentation area, is an important source, sink converter of carbon, nitrogen, phosphorus, becoming the hot spot of research.

The main research object of this study is the mangrove sediments in different areas of the southeast coastal in China, monitoring analysis through the  $^{15}\text{N}$  stable isotope technology, determining denitrification and DNRA rates of mangrove sediment through the laboratory incubation, preliminarily discussing the mainly nitrogen reduction process in southeast coastal mangrove sediments in China and the end-result of N inputting mangrove sediments system, analyzing the main influence factors of the denitrification and DNRA, and understanding the specific functions of DNRA in mangrove sediments. The main research conclusions are as follows:

(1) Average concentrations of DIN of Jiulong River estuary mangrove sediment pore water in spring, summer and autumn are  $99.84 \pm 108.96 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $28.34 \pm 13.13 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $192.20 \pm 43.42 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively. Seasonal change rule: autumn > spring > summer. Average concentrations of DIN of Zhangjiang estuary mangrove sediment pore water in autumn is  $357.27 \pm 40.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $43.54 \pm 11.47 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Shacheng Bay mangrove. Spatial distribution rule: Jiulong River estuary > Zhangjiang estuary > Shacheng Bay.  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  is the main form of DIN in sediment pore water, and the second is  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ .  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  has no obvious change.

(2) Average concentrations of TN of Jiulong River estuary mangrove tidal water in autumn is  $228.49 \pm 19.74 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $80.56 \pm 57.31 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Zhangjiang estuary and  $100.32 \pm 11.92 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Shacheng Bay. Spatial distribution rule: Zhangjiang estuary > Jiulong River estuary > Shacheng Bay. Average concentrations of TP of Jiulong River estuary mangrove tidal water in autumn is  $13.52 \pm 5.86 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $13.74 \pm 3.05 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Zhangjiang estuary and  $5.62 \pm 1.01 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Shacheng Bay. Spatial distribution rule: Zhangjiang estuary  $\approx$  Jiulong River estuary > Shacheng Bay. Average concentrations of DIN of Jiulong River estuary mangrove tidal water in autumn is  $377.94 \pm 45.95 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $478.26 \pm 121.79 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Zhangjiang estuary and  $108.82 \pm 39.14 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Shacheng Bay.  $\text{NO}_3^-$ -N is the main form of DIN in sediment pore water,  $\text{NH}_4^+$ -N the second and  $\text{NO}_2^-$ -N the lowest.

(3) Average concentrations of dissolved  $\text{N}_2\text{O}$  of Jiulong River estuary mangrove tidal water in summer and autumn are  $59.96 \pm 13.84 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $118.76 \pm 36.28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  respectively. Seasonal change rule: autumn > summer. Average concentrations of dissolved  $\text{N}_2\text{O}$  of Zhangjiang estuary mangrove tidal water in autumn are  $197.53 \pm 125.41 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , and  $12.64 \pm 0.90 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  of Shacheng Bay. Spatial distribution rule: Zhangjiang estuary > Jiulong River estuary > Shacheng Bay.

(4) Average denitrification rates of Jiulong River estuary mangrove sediment is  $199.16 \pm 103.63 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $90.06 \pm 111.03 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  of Zhangjiang estuary and  $77.59 \pm 42.14 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  of Shacheng Bay. Denitrification rate is highly significantly correlated with sediment salinity and pore water  $\text{NO}_3^-$ -N concentrations ( $P < 0.01$ ), significantly associated with pH and bulk density ( $0.01 < P < 0.05$ ), and have no significant difference with sediment temperature, moisture content and C/N ratio ( $P > 0.05$ ).

(5) Average DNRA rates of Jiulong River estuary mangrove sediment is  $20.00 \pm 17.12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $8.87 \pm 12.00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  of Zhangjiang estuary and  $0.95 \pm 0.36 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  of Shacheng Bay. DNRA rate of Jiulong river estuary and Zhangjiang estuary is higher than Shacheng Bay. DNRA rate is highly significantly correlated with sediment temperature, sediment salinity and pore water  $\text{NO}_3^-$ -N concentrations

( $P < 0.01$ ), significantly associated with pH ( $0.01 < P < 0.05$ ), and have no significant difference with bulk density, moisture content and C/N ratio ( $P > 0.05$ ).

(6)  $\text{NO}_3^-$ -N reduction rates of Jiulong River estuary mangrove sediment are higher than Zhangjiang estuary and Shacheng Bay. On the whole, denitrification is the major N reduction process in mangrove sediments, and denitrification rate is 80.43-98.92% of  $\text{NO}_3^-$ -N reduction rates. Nitrogen in mangrove system remove from system mainly through denitrification.

**Key words:** Nitrogen reduction process;  $^{15}\text{N}$  stable isotope; Mangrove sediment

## 第1章 绪论

### 1.1 前言

氮素 (N) 是生命体的重要组成元素, 以无机和有机的形式广泛存在于自然界中, 在全球生物地球化学循环中扮演着重要的角色。然而人类活动导致大量营养盐输入水生系统中, 造成严重的富营养化, 威胁水生生物生长, 污染饮用水, 同时破坏水体的娱乐用途 (Purvaja et al., 2008)。当输入系统的氮不能通过生物地球化学作用被河流移除或滞留时, 过量的氮大都带入海岸带河口, 最终进入大陆架作为重要的氮汇途径, 而这些过量氮素将会引起近岸海域富营养化及一系列环境问题 (Diaz and Rosenberg, 2008; Paerl et al., 2006; 蒋然 et al., 2015; 尹国宇, 2015)。在过去的一个世纪里, 陆地生态系统的氮输入速率增加了一倍多 (Galloway et al., 2004), 这主要是由于化石燃料的燃烧和农业化肥使用的增加 (Decleyre et al., 2015; 韦宗敏 and 王婷, 2015)。氮素在水体中浓度增加会直接影响饮用水质从而威胁人类健康 (Brandes et al., 2007; Burow et al., 2010)。而且排入下游水体氮素的增加可能导致水体赤潮、缺氧以及温室气体氧化亚氮 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 排放的增加 (Burgin and Hamilton, 2007; Codispoti, 2010; Rabalais, 2002), 从而造成生态失调 (Burow et al., 2010)。

红树林是分布在热带和亚热带海岸河口地区潮间带开放的生态系统 (林鹏 et al., 1985; 张乔民 and 隋淑珍, 2001; 赵晟 et al., 2007)。该海岸潮汐湿地, 作为河口沉积区的重要组成, 是全球碳、氮、磷的重要源、汇及转化器 (Seitzinger et al., 2005; Zhou et al., 2007)。近年来, 由于人类活动频繁, 大量氮素 ( $\text{NO}_3^-$ -N) 进入水体 (Galloway et al., 2004; 林娜 et al., 2012)。研究显示, 海洋 N 循环正在偏离稳定状态, 近海海域受陆源 N 输入增加影响, 富营养化发生的风险急剧上升 (Ryther and Dunstan, 1971)。因此, 作为陆源营养盐的过渡带, 河口和海岸带 (包括海湾) 在全球 N 循环中扮演的角色尤为重要 (Dalsgaard et al., 2003)。它们承纳着大量的陆源营养盐和有机质输入, 受潮汐影响, 水动力条件强, N 生物化学循环较为复杂 (Purvaja et al., 2008)。

早期研究发现, 从陆向至海向, 陆源营养盐的可用性随河口梯度逐渐降低 (Keller and Reiners, 1994; 王迎红, 2005)。于是, 科学家们尝试利用这一特性在

红树林区域构建生态湿地，以处理生活污水或农业废水。如美国佛罗里达湾国家湿地公园（生态修复型湿地），已在处理地表水方面取得显著成效。然而，由于气候变化和人类活动的影响，过去 50 年，全球红树林面积已减少了 1/3-1/2（Alongi, 2002; Burke and Kura, 2001）。据预测，至 2100 年，全球红树林面积可能还将减少 10-15%（Alongi, 2008）。

在我国东南沿海地区，随着城市迅速工业化和城市化，港口码头建设、临海围塘养殖及开发区的建设等活动加剧了河口海岸带生态环境的恶化(Elvin, 2004)，红树林生态系统遭到严重破坏，同时其营养盐循环，特别是 N 素循环受到影响较大。

目前，人们对于红树林提供的景观生态价值、湿地系统营造价值、风险去除及水体净化价值、药用价值和经济用材价值等有了深刻认识。国际上，澳大利亚已立法保护其在 Queensland 州的红树林系统（Lovelock and Ellison, 2007）。我国也设立了多处红树林自然保护区，在福建省九龙江河口地区，龙海九龙江口红树林省级自然保护区的建立，为白鹭等国家级保护动物营造了良好的生态环境。以厦门大学学生发起的“中国红树林保育联盟”更是在全国红树林保护和建设方面做出了较大贡献。在科学研究上，关于红树林生态系统脆弱性评估的研究逐渐兴起（Ellison, 2010; Waycott et al., 2011）。但多数研究都是着眼于整个红树林生态系统，注重整体生态效应，很少将红树林沉积物单独列为研究对象，对其内部营养盐的地球化学循环过程进行研究（Lin, 1999; Lin and Fu, 2000）。对红树林沉积物的研究，有助于进一步了解红树林生态系统在全球 N 循环中的地位，对防治河口和近海富营养化问题具有十分重要的理论和现实意义。

## 1.2 国内外研究进展

我国红树林湿地主要分布在北部湾海岸（广东湛江、广西沿海及海南的西海岸）和海南东海岸，总面积达 22872.9 hm<sup>2</sup>（赵晟 et al., 2007）。自然分布北界为福建省福鼎市，人工引种北界为浙江省乐清市（27°20'N），南界为海南岛南岸（张乔民 and 隋淑珍, 2001）。种类由南到北逐渐减少，以灌木为主，包括秋茄、桐花树等自然分布的真红树植物 26 种，半红树植物 10 种。目前多数红树林已被设为自然保护区，并被列为生态保护的重点区域。



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库