

学校编码: 10384  
学号: 33120141151662

密级\_\_\_\_\_

廈門大學

硕士学位论文

全球变化下外来红树植物无瓣海桑和  
本土红树植物秋茄的响应情况

How exotic mangrove species *Sonneratia apetala* and native  
species *Kandelia obovata* response to global changes

郭旭东

指导教师姓名: 陈鹭真 副教授

专业名称: 生态学

论文提交日期: 2017年7月

论文答辩时间: 2017年8月

2017年9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。)

本人声明该学位论文不存在剽窃、抄袭等学术不端行为,并愿意承担因学术不端行为所带来的一切后果和法律责任。

声明人 (签名):

指导教师 (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.....	1
Abstracts .....	3
<b>第一章 引言.....</b>	<b>5</b>
1.1 红树林与全球变化.....	5
1.2 海平面上升对红树林的影响.....	9
1.2.1 红树林的高程分布范围.....	9
1.2.2 海堤等障碍物与红树林的关系.....	10
1.2.3 海平面上升对红树植物的影响.....	11
1.3 全球变暖会对红树林造成的影响.....	12
1.4 红树林入侵现状.....	14
1.4.1 红树林入侵其他非红树林的区域.....	14
1.4.2 外来红树植物无瓣海桑的入侵潜力.....	14
1.5 红树林对全球变化响应的研究方法.....	15
1.5.1 红树林的海平面上升控制研究.....	15
1.5.2 气温上升和 CO <sub>2</sub> 浓度增高的控制实验.....	18
1.5.3 多因子模拟的控制方法.....	21
1.6 本研究的科学问题及创新性.....	22
<b>第二章 材料与方法.....</b>	<b>23</b>
2.1. 研究地点概况.....	23
2.2 研究方法.....	24
2.2.1 研究物种.....	24
2.2.2 云霄红树林滩面高程调查.....	24
2.2.3 无瓣海桑扩散调查.....	25
2.2.4 模拟海平面上升和气温升高的控制实验.....	25

2.2.5 跨纬度模拟海平面上升的水位平台设计 .....	30
2.2.6 测定指标和方法 .....	32
2.3 数据处理与分析 .....	34
2.4 技术路线 .....	35
<b>第三章 结果与讨论 .....</b>	<b>36</b>
3.1 海平面上升对红树植物生长的影响 .....	36
3.1.1 植株生长状况 .....	36
3.1.2 植株的总生物量 .....	40
3.1.3 茎的形态学特征 .....	45
3.1.4 叶片特征 .....	47
3.1.5 小结 .....	50
3.2 气温升高对红树植物生长的影响 .....	51
3.2.1 植株的生物量 .....	51
3.2.2 增温条件下红树植物生长对寒潮事件的响应 .....	53
3.3 不同纬度海平面上升对红树植物生长和生物量的影响 .....	55
3.3.1 生长状况 .....	55
3.3.2 总生物量 .....	57
3.3.3 幼苗成活率 .....	59
3.3.4 三地环境因子比较 .....	60
3.3.5 小结 .....	63
3.4 云霄红树林无瓣海桑扩散状况 .....	64
<b>第四章 讨论 .....</b>	<b>67</b>
4.1 无瓣海桑与秋茄植株生长对海平面上升和增温的响应 .....	67
4.1.1 不同海平面上升处理的无瓣海桑和秋茄的比较 .....	67
4.1.2 增温和海平面上升的交互作用 .....	68
4.2 无瓣海桑扩散潜力 .....	69
4.3 展望 .....	70

厦门大学博硕士论文摘要库

## Content

Abstract .....	1
Chapter Introduction .....	5
1.1 Mangrove and global change .....	5
1.2 Sea level rise and mangrove .....	9
1.2.1 Elevation range of mangrove distribution .....	9
1.2.2 Relationship between mangrove and sea wall .....	10
1.2.3 The effects of sea level rise on mangrove .....	11
1.3 Global change and mangrove .....	12
1.4 Biological invasion and mangrove .....	14
1.4.1 Invasion of mangrove in non-native areas .....	14
1.4.2 The potential invasion of exotic species <i>S. apetala</i> .....	14
1.5 Study methods about mangrove and global change .....	15
1.5.1 Sea level rise .....	15
1.5.2 Global warming and increased CO <sub>2</sub> concentration .....	18
1.5.3 Multifactor interaction .....	21
1.6 Scientific issues and original creativity .....	22
Chapter 2 Materials and methods .....	23
2.1. Study sites .....	23
2.2 Experiment design .....	24
2.2.1 Species .....	24
2.2.2 Elevation survey in Zhangjiangkou estuary reserve .....	24
2.2.3 Survey about <i>S. apetala</i> 's invasion in Zhangjiangkou estuary reserve .....	25

2.2.4 Control experiment og simulating the rising sea levels and global warming	25
2.2.5 Across-latitude experiment	30
2.2.6 Measuring parameters	32
2.3 Statistical analysis	34
2.4 Technology roadmap	35
<b>Chapter 3 Results and analysis</b>	<b>36</b>
3.1 Responses of biomss of <i>S. apetala</i> and <i>K. obovata</i> saplings under warming and sea-level rise conditions	36
3.1.1 Growth	36
3.1.2 Biomass	40
3.1.3 Stem	45
3.1.4 Leaves	47
3.1.5 Chapter summary	50
3.2 1 Responses of growth of <i>S. apetala</i> and <i>K. obovata</i> saplings under warming and sea-level rise conditions	51
3.2.1 Biomass	51
3.2.2 Freeze incident	53
3.3 Across-latitude experiment	55
3.3.1 Growth	55
3.3.2 Biomass	57
3.3.3 Survival rate	59
3.2.4 Environmental factors of the three sites	60
3.2.5 Chapter summary	63



3.4 Diffusion of <i>S. apetala</i> in Yunxiao .....	64
Chapter 4 Discussion.....	67
4.1 Responses of <i>S. apetala</i> and <i>K. obovata</i> saplings to sea level rise and global warming.....	67
4.1.1 Response of <i>S. apetala</i> and <i>K. obovata</i> saplings to sea-level rise .....	67
4.1.2 Response of <i>S. apetala</i> and <i>K. obovata</i> saplings to interaction between sea level rise and global warming .....	68
4.2 Invasion potential of <i>S. apetala</i> .....	69
4.3 Prospects.....	70
Chapter 5 Conclusion.....	71

厦门大学博硕士学位论文摘要

## 摘要

本研究旨在探讨气候变暖和海平面上升背景下，外来红树植物无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 和 本土红树植物秋茄 (*Kandelia obovata*) 的响应机制。在温州鳌江、福建云霄和海南东寨港三地，通过构建模拟海平面上升的人工水位平台 (Marsh organ)，在野外自然潮汐条件下模拟海平面上升 40 cm 和 80 cm 的情境；同时在平台上加装开顶箱 (Open top chamber) 装置，通过被动增温模拟未来大气增温的情景。根据对云霄漳江口红树林的高程调查结果，将水位平台的海平面等级划分为 4 级：HW (现有红树林近岸一侧集中分布区的高程)、MW (现有红树林林缘的平均高程)、LW (海平面上升 40 cm 的情景)、LLW (海平面上升 80 cm 的情景)，探究在海平面上升和全球变暖驱动下无瓣海桑和秋茄的响应机制，并结合云霄红树林区的无瓣海桑扩散高程调查，预测未来云霄红树林区的无瓣海桑扩散格局。研究结果如下：

1. 两种红树植物的幼苗生长应对不同海平面上升情景的状态不同。随着海平面上升等级的增加，两种植物均增加植株高度、基径增粗变缓。两种植物都通过加速茎的伸长生长，来缓解缺氧的环境。无瓣海桑由于生长迅速，促使植物长高并摆脱海平面上升的胁迫，开始植物正常的营养生长。
2. 在各个海平面上升处理中，无瓣海桑具有比秋茄更快地生物量积累速率。两个时间段 (第 6 个月和第 12 个月)，生物量分配发生显著变化。在前 6 个月，无瓣海桑的生物量大部分集中在根和茎，随着海平面上升加剧，根生物量比例逐渐减少，而茎生物量分配增大，根冠比也随海平面上升而逐渐递减。在第 12 个月，无瓣海桑根生物量比例高于 6 个月处理、且根冠比均超过了 1。而秋茄植株在第 12 个月仍保持与 6 个月相同的生物量分配趋势，即随着海平面上升，茎生物量仍占较大比重，地下生物量比重进一步降低，可见秋茄在 12 个月仍仍然牺牲地上生物量积累来抵抗海平面上升的胁迫。
3. 鳌江、云霄、海口三地的相同水位平台实验结果有所不同。鳌江和海口两地的两种植物幼苗的生长均受到显著抑制、甚至死亡。在三个样地地的 MW 处理中，两种植物的株高、基径和生物量积累都最高，同时，无瓣海桑的各项指标均显著高于秋茄。

4. 云霄水位平台的增温和海平面上升交互实验中，开顶箱内的大气温度比非增温处理高出约 0.92~2.42℃。增温处理在不同海平面处理对于两种植物的促进作用不同，但增温和海平面上升没有产生显著的交互作用。
5. 云霄红树林保护区内天然扩散的无瓣海桑多分布在林外光滩和互花米草空地，其滩面高程分布范围显著低于林缘高程；且幼苗株高和滩面高程呈显著性正相关关系。结合水位平台实验结果，我们推测保护区内的无瓣海桑有进一步定居扩散的可能。

关键词：海平面上升；全球变暖；水位平台；无瓣海桑；秋茄

## Abstracts

The present study aimed to explore the responding mechanisms of non-native mangrove species, *Sonneratia apetala* and native mangrove species, *Kandelia obovate*, to warming and rising sea level. We set up a set of marsh organ to simulate the scenarios of future sea level with 40-cm rising and 80-cm rising in the field tidal conditions in three study sites, Aojiang in Wenzhou, Yunxiao in Fujian and Dongzhaigang in Hainan. We also set up open top chambers as warming treatments. According to the elevation survey, the sea levels of the experimental platform were divided into four levels, which were HW (high-water level, the elevation of the existing mangrove forest side), MW (medium-water level average elevation of the existing mangrove forest edge), LW (low-water level, 40-cm rising sea level) and LLW (lowest-water level, 80 cm's rising sea level). The synergistic effects of warming and sea-level rise were discussed. By combining the elevation survey of natural dispersal *S. apetala* seedlings in Yunxiao, we predicted the future distribution pattern of the non-native species under global change conditions. The results of this study were as follows.

Firstly, the growth patterns of the two mangrove species are different in different sea-level treatments. With the increase of sea-level, the two species greatly increased seedling height, but increased the stem diameter slowly. Both species seemed to grow taller to alleviate the hypoxia stress. Due to rapid growth rate, *K. apetala* seedlings got higher to avoid the stress of sea-level rise, and turned to normal vegetative growth.

Secondly, the biomass accumulate rate of *S. apetala* was faster than that of *K. obovate* seedlings. In two period of growth, the 6th month and the 12th month, biomass partitions of seedlings were different. In the former 6 months, the biomass of *S. apetala* seedling was mostly accumulated in roots and stems. As sea-level rose, root biomass proportion decreased gradually, while stem biomass proportion increased gradually. In the 12<sup>th</sup> month, *Sonneratia apetala*, the root to shoot ratios at all levels

were higher than those in the 6<sup>th</sup> months, which was more than 1. While the partition of biomass of *K. obovata* seedlings, which was similar to that in the 6<sup>th</sup> month. In the 12<sup>th</sup> month, the stem still occupied the highest proportion of biomass, indicating the facts of the biomass accumulation on belowground biomass to resist the sea-level rising stress.

Thirdly, the results of the same water level platform in Aojiang, Yunxiao and Haiku are various. In both Aojiang and Haikou, the growth of the two species seedlings in rising sea-level treatments were inhibited and even died. In three places, the seedling height, basal diameter and biomass accumulation were the highest in MW treatment. *S. apetala* had higher seedling height compared to *K. obovata* in each treatment.

Fourthly, open top chambers experiment could increase about 0.92 to 2.42 °C inside chambers on Yunxiao marsh organs. Warming had a significant promotion on the biomass of *S. apetala* in LW treatment and *K. obovata* in MW treatment. Warming and sea-level rise did not show significant interaction.

The last, natural dispersed *S. apetala* seedlings in Yunxiao were mostly distributed on mudflats outside the mangrove and between the *Spartina alterniflora* patches, and its distribution elevation were lower than natural mangrove edges within the range of simulated sea level rise. There was a significantly linear relationship between plant height of *S. apetala* and the elevation. Combined with marsh organ results, we deduced that *S. apetala* was possibility to settle down and disperse to the core protected areas in Yunxiao mangroves in the future.

Key words: sea-level rise; global warming; water level platform; *Sonneratia apetala*; *Kandelia obovata*

## 第一章 引言

### 1.1 红树林与全球变化

红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落，处于海洋、陆地和大气的动态交界面上，具有防风护堤、促淤造陆、保护生物多样性、改善环境等作用<sup>[1]</sup>，近年来的研究表明红树林是滨海湿地中重要的碳汇<sup>[2,3]</sup>，是热带地区固碳能力最强的森林。由于潮汐的周期性淹没，红树林一般分布在平均中潮位和平均高潮位之间的滩涂上<sup>[4]</sup>。

由于对淹水频度、淹水深度和盐度等环境条件的耐受性不同，不同红树植物分布在潮间带的不同区域。由离海岸线的远近差异决定了不同的滩面高程，进而形成了与之相应的淹水梯度，因此，分布在不同高程的红树植物在潮间带常常表现为带状分布<sup>[5]</sup>。

全球变化成为全世界共同关注的生态热点，包括气温变暖、海平面上升、土地利用方式改变和生物入侵等一系列问题。上个世纪五十年代至今，我国大规模的围海造田、填海造陆和海堤建设活动都严重地破坏了天然红树林，使红树林面积锐减了 69.7%<sup>[6]</sup>。随着全球变暖和海平面上升，不同红树林植物在纬度和潮间带的分布区都可能发生变化，使我国的红树林保护和恢复工作面临更加严峻的挑战。

随着工业革命后人类社会的高速发展，人类文明在不断进步的同时也带来了众多的 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等温室气体，改变全球的气候平衡。自 1981 年以来，联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）每隔若干年会发布全球气候变化的评估报告。据 IPCC 第五次工作报告中提到的 RCP4.5 气候变化模型，全球气温平均变化趋势为每 10 年增加 0.13±0.03℃，若不加干预，预计 100 年后平均增温 2℃（图 1.1）。

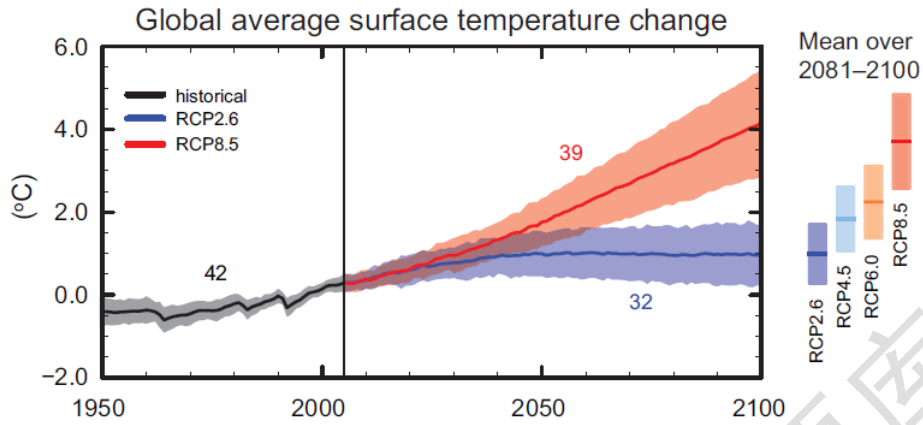


图1.1 CMIP5多模型模拟全球年平均地表温度从1950年到2100年时间序列变化 (IPCC, 2013)

Fig.1.1 Simulation of surface temperature from 1950 to 2100 based on CMIP5 models (IPCC, 2013)

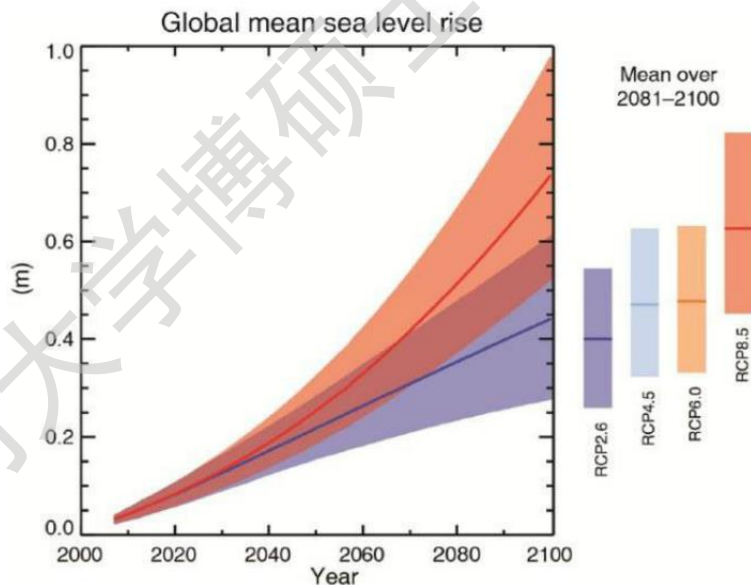


图1.2 四种情景下的海平面上升的预测情况 (IPCC, 2013)

Fig. 1.2 Prediction about sea level rise in four scenes based on four prediction models (IPCC, 2013)

气温升高会带来两级冰川融化和海水热膨胀等后果。从 1901 年到 2010 年，全球平均海平面上升了 0.19 m，平均上升速率为  $1.7 \text{ mm yr}^{-1}$ ；1971-2010 年加速至  $3 \text{ mm yr}^{-1}$ ；1993-2010 年已到达  $3.2 \text{ mm yr}^{-1}$ 。可见，海平面上升的速度呈现加快的趋势。如图 1.2 所示，IPCC 第五次评估报告还预测在 2100 年前后，海平面也将会上升 26-82 cm。

西太平洋沿岸是全球海平面上升最剧烈的区域；在过去的记录中，海平面上升速率是全球平均水平的 3 倍（图 1.3）<sup>[7]</sup>。我国位于西太平洋的西岸，根据最新的《中国 2016 年海平面公报》的报道：我国的海平面上升速率正在逐年递进；1980-2016 年间，我国沿海海平面上升速率为 3.2 毫米/年，高于同期全球平均水平；2016 年的中国沿海海平面为 1980 年以来的最高位；高海平面还将加剧了中国沿海风暴潮、洪涝等极端气候事件的破坏，同时还会发生海岸侵蚀、咸潮及海水入侵等灾害（图 1.4）<sup>[8]</sup>。在未来我国势必要面临更加严峻的海平面上升挑战，红树林的保护和恢复也将面对海平面上升的严峻挑战。



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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库