

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 21220051302242

UDC

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

九龙江口秋茄红树林恢复对土壤理化
和生化性质的影响

Effects of *Kandelia candel* Mangrove Restoration on Soil
Physical, Chemical and Biochemical Parameters in Jiulong
River Estuary

曹长青

指导教师姓名: 叶 勇 教授

专 业 名 称: 环 境 工 程

论文提交日期: 2008 年 03 月 20 日

论文答辩时间: 2008 年 06 月 04 日

学位授予日期: 2008 年 06 月 30 日

答辩委员会主席: 卢昌义 教授

评 阅 人: 卢昌义 教授

张银龙 教授

2008 年 03 月 20 日

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

分别以光滩为对照,在青礁-白礁选取 5 年生、6 年生和 8 年生秋茄人工林以及天然秋茄林为样地,在草埔头选取 20 年生和 44 年生秋茄人工林为样地,比较分析了福建九龙江口秋茄红树林恢复对潮滩土壤理化和生化性质的影响,旨在探索土壤参数随红树林植被发育的变化规律。

两地随着林龄的增加,土壤容重、pH 和空隙水盐度有减小趋势。两地林龄对 pH 有极显著影响 ($p < 0.001$),青礁-白礁光滩和天然林土壤 pH 分别为 6.64 和 4.56。随深度增加,土壤容重增加,分行维数表层高于底层。从滩位变化上看,中滩含水量、空隙水盐度较高,分行维数较低,中滩分形维数最低值为 2.1208。

对土壤营养成分的研究表明,两地林龄对总氮、氨氮、有效磷、有机碳、胡敏酸、富里酸都有极显著影响 ($p < 0.001$)。秋茄林总氮含量高于光滩,而总磷含量低于光滩;氨氮和有效磷含量随林龄增加而增加,青礁-白礁光滩氨氮和有效磷含量分别为 20.26 和 0.8154 mg/kg,秋茄天然林氨氮和有效磷含量分别为 183.55 和 15.6950 mg/kg;秋茄天然林和光滩有机碳含量分别为 22.3526 和 13.0981 g/kg,草埔头有机碳含量随林龄增加而增加,腐殖酸、胡敏酸、富里酸与有机碳呈极显著正相关 ($r=0.904, p < 0.01$; $r=0.839, p < 0.01$; $r=0.817, p < 0.01$),所以它们随林龄变化的趋势基本一致。土壤深度对氨氮有极显著影响 ($p < 0.001$),随着深度的增加氨氮增加,其余营养参数也有随深度增加而增加的趋势。滩位对总磷、氨氮、有机碳、胡敏酸有极显著影响 ($p < 0.001$),总磷含量在内滩较高,氨氮含量在外滩较高,其余营养参数都是在中滩最高,由此可见,中滩是营养元素含量最丰富的滩位,植物的旺盛生长也证明了这一点。

对土壤生化性质的研究表明,两地林龄对微生物呼吸作用、脲酶活性、过氧化氢酶活性都有极显著影响 ($p < 0.001$)。随着林龄增加,微生物呼吸作用和脲酶活性增强,过氧化氢酶活性减弱;脲酶活性在光滩和天然秋茄林分别为 17.75、46.27 mg NH₃-N/gDW,过氧化氢酶活性在光滩和天然秋茄林分别为 17.07、11.44 ml 0.1N KMnO₄/gDW。随着深度的增加,天然秋茄林微生物呼吸作用和脲酶活性增强,过氧化氢酶活性减弱。从滩位变化上看,三者都是在外滩最弱,可见外滩由于长期淹水,微生物活性较低。

总之秋茄红树林恢复对土壤理化性质和生化性质有明显的改善作用。

关键词: 红树林; 秋茄; 恢复; 土壤; 理化性质; 生化性质

Abstract

Effects of restoration of *Kandelia candel* mangrove vegetation on soil physical, chemical and biochemical parameters were investigated in Jiulongjiang river estuary. At Site Qingjiao-Baijiao, one five-year old replanted forest, one six-year old replanted forest, one eight-year old replanted forest, one nature forest and one barren beach plot were selected. Meanwhile, one twenty-year old replanted forest, one forty-four-year old replanted forest and one barren beach plot were selected at Site Caoputou. The aim of this study was to explore variation of soil parameters along with development of replanted mangroves.

Water content, pH and interstitial water salinity decreased with restoration time at both Qingjiao-Baijiao and Caoputou. MANOVA indicated that restoration time had remarkable effects on pH ($p < 0.001$) and soil pH values in the barren beach and natural mature *K. candel* mangroves were 6.64 and 4.56 at Qingjiao-Baijiao, respectively. Soil volume weight increased with soil depth, but fractal dimension of surface layer was highest. At mid flat, water content and interstitial water salinity was highest, while fractal dimension was lowest with value of 2.1208.

For nutrients, restoration time had remarkable effects on total nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, available phosphorus, organic carbon, humic acid and fulvic acid at both sites ($p < 0.001$). Total nitrogen in *K. candel* mangroves was higher than in barren beach, while total phosphorus in *K. candel* mangroves is lower than in barren beach; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and available phosphorus increased with restoration time, and their contents were 20.26 and 0.8154 mg/kg in the barren beach at Qingjiao-Baijiao, 183.55 and 15.6950 mg/kg in the natural mature *K. candel* mangrove. Organic carbon in the natural mature *K. candel* mangrove and barren beach were 22.3526 and 13.0981 g/kg respectively. Organic carbon increased with restoration time at Caoputou, and humic substances, humic acid and fulvic acid were significantly correlated with organic carbon ($r=0.904, p < 0.01$; $r=0.839, p < 0.01$; $r=0.817, p < 0.01$), with the same tendency with organic carbon. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ significantly increased with soil depth ($p < 0.001$). Tide level had remarkable effects on total phosphorus, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, organic carbon, humic acid

($p < 0.001$): total phosphorus was highest in inner flat, while $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was highest in outer flat, and others were highest at mid flat. This showed that mid flat had most abundant nutrients and suitable for mangrove growth.

For soil biochemical parameters, restoration time also had remarkable effects on microbial respiration, urease activity, catalase activity ($p < 0.001$). With restoration time, microbial respiration and urease activity increased but catalase activity decreased. Urease activity in the barren beach and natural mature forest are 17.75 and 46.27 mg $\text{NH}_3\text{-N/gDW}$, catalase activity in the barren beach and natural mature forest are 17.07 and 11.44 ml 0.1N KMnO_4/gDW respectively. With increase in soil depth in natural mature forest, microbial respiration and urease activity increased but catalase activity decreased. As for tide level, microbial respiration, urease activity and catalase activity were lowest in outer flat, showing that microbial activities were low due to long-time tidal inundation.

In a conclusion, mangrove restoration of *K. candel* had remarkable enhancement on soil physical, chemical and biochemical parameters.

Key words: Mangrove; *Kandelia candel*; restoration; soil; physical and chemical parameters; biochemical parameters

图索引

图 2-1 青礁-白礁和草埔头红树林样地示意图.....	11
图 2-2 青礁-白礁样地土壤理化因子的剖面变化.....	15
图 2-3 草埔头样地土壤理化因子的剖面变化.....	18
图 3-1 青礁-白礁样地土壤养分的剖面变化.....	27
图 3-2 草埔头样地土壤养分的剖面变化.....	36
图 4-1 青礁-白礁样地土壤生化性质的剖面变化.....	48
图 4-2 草埔头样地土壤生化性质的剖面变化.....	50

厦门大学博硕士论文摘要库

Figure Index

Fig.2-1 Map of the position of the two plots, Qingjiao-Baijiao and Caoputou	11
Fig.2-2 Changes in soil physical and chemical parameters with depth at Qingjiao-Baijiao plots.....	15
Fig.2-3 Changes in soil physical and chemical parameters with soil depth at Caoputou plots	18
Fig.3-1 Changes in soil nutrients with soil depth at Qingjiao-Baijiao plots.....	27
Fig.3-2 Changes in soil nutrients with soil depth at Caoputou plots	36
Fig.4-1 Changes in soil biochemical parameters with soil depth at Qingjiao-Baijiao plots.....	48
Fig.4-2 Changes in soil biochemical parameters with soil depth at Caoputou plot	50

表索引

表 2-1 青礁-白礁秋茄红树林的群落参数	12
表 2-2 草埔头秋茄红树林的群落参数	12
表 2-3 青礁-白礁样地土壤根重	15
表 2-4 青礁-白礁秋茄林土壤的粒径分布及其分形维数	16
表 2-5 青礁-白礁样地土壤理化性质平均值	17
表 2-6 青礁-白礁秋茄林龄和土壤深度对土壤参数影响的方差分析	17
表 2-7 草埔头内滩秋茄林土壤的粒径分布及其分形维数	20
表 2-8 草埔头中滩秋茄林土壤的粒径分布及其分形维数	21
表 2-9 草埔头外滩秋茄林土壤的粒径分布及其分形维数	21
表 2-10 草埔头样地土壤理化性质平均值	22
表 2-11 草埔头林龄、土壤深度和潮位对土壤参数影响的方差分析	23
表 3-1 青礁-白礁样地土壤养分平均值	26
表 3-2 青礁-白礁秋茄林龄和土壤深度对土壤营养影响的方差分析	32
表 3-3 草埔头样地土壤养分平均值	34
表 3-4 草埔头秋茄林龄、土壤深度和潮位对土壤养分影响的方差分析 ...	35
表 4-1 青礁-白礁样地土壤生化性质平均值	49
表 4-2 青礁-白礁秋茄林龄和土壤深度对土壤生化性质影响的方差分析 ..	49
表 4-3 草埔头样地土壤生化性质平均值	49
表 4-4 草埔头秋茄林龄、土壤深度和潮位对土壤生化性质影响的方差分析	51
表 4-5 青礁-白礁不同林龄土壤理化和生化性质的线性相关系数	53
表 4-6 草埔头不同林龄土壤理化和生化性质的线性相关系数	54

Table Index

Table.2-1 Community parameters of <i>Kandelia cande</i> mangroves at Qingjiao-Baijiao.....	12
Table.2-2 Community parameters of <i>Kandelia candel</i> mangroves at Caoputou ..	12
Table.2-3 Root weight in soils at Qingjiao-Baijiao plots.....	15
Table.2-4 Particle size distributions of <i>Kandelia candel</i> mangrove soils at Qingjiao-Baijiao and their fractal dimensions (F)	16
Table.2-5 Mean values of soil physical and chemical parameters at Qingjiao-Baijiao plots.....	17
Table.2-6 Results of two-way ANOVA for effects of stand age (A) and soil depth (D) on soil parameters at Qingjiao-Baijiao	17
Table.2-7 Particle size distributions of <i>Kandelia candel</i> mangrove soils in inner flat at Caoputou and their fractal dimensions	20
Table.2-8 Particle size distributions of <i>Kandelia candel</i> mangrove soils in mid flat at Caoputou and their fractal dimension	21
Table.2-9 Particle size distributions of <i>Kandelia candel</i> mangrove soils in outer flat at Caoputou and their fractal dimensions	21
Table.2-10 Mean values of soil physical and chemical parameters at Caoputou ..	22
Table.2-11 Results of MANOVA for effects of stand age (A), soil depth (D) and tide on soil parameters at Caoputou.....	23
Table.3-1 Mean values of soil nutrients at Qingjiao-Baijiao plots	26
Table.3-2 Results of two-way ANOVA for effects of stand age (A) and soil depth (D) on soil nutrients at Qingjiao-Baijiao.	32
Table.3-3 Mean values of soil nutrients at Caoputou plots.....	34
Table.3-4 Results of MANOVA for effects of stand age (A), soil depth (D) and tide level (T) on soil nutrients at Caoputou	35
Table.4-1 Mean values of soil biochemical parameters at Qingjiao-Baijiao plots	49
Table.4-2 Results of two-way ANOVA for effects of stand age (A) and soil depth (D) on soil biochemical parameters at Qingjiao-Baijiao	49
Table.4-3 Mean values of soil biochemical parameters at Caoputou plots.....	49
Table.4-4 Results of MANOVA for effects of stand age (A), soil depth (D) and tide level (T) on soil biochemical parameters at Caoputou	51
Table.4-5 Correlations among soil physical, chemical and biochemical parameters in mangrove communities with different ages at Qingjiao-Baijiao	53
Table.4-6 Correlations among soil physical, chemical and biochemical parameters in mangrove communities with different ages at Caoputou.....	54

目 录

摘 要	i
图索引	iv
表索引	vi
第一章 前言	1
1.1 红树林土壤研究概况	1
1.2 红树林恢复对土壤特性影响的研究意义	9
1.3 研究内容	10
第二章 秋茄红树林恢复对土壤理化性质的影响（非营养元素） ..	11
2.1 样地概况	11
2.2 土样采集与处理	12
2.3 测定方法和统计分析	13
2.4 结果与分析	13
2.4.1 青礁-白礁样地土壤理化因子	13
2.4.2 草埔头样地土壤理化因子	19
2.5 讨论	22
第三章 秋茄红树林恢复对土壤养分的影响	25
3.1 土壤采样、测定和分析方法	25
3.2 结果与分析	25
3.2.1 青礁-白礁样地土壤养分	25
3.2.2 草埔头样地土壤养分	33
3.3 讨论	41
第四章 秋茄红树林恢复对土壤生化性质的影响	46
4.1 土壤采样、测定和分析方法	46
4.2 结果与分析	46
4.2.1 青礁-白礁样地土壤生化性质	46
4.2.2 草埔头样地土壤生化性质	47
4.3 讨论	51
4.4 生化性质与理化性质的相关性分析	52
第五章 结论	55
参考文献	56
附 录	62
致 谢	63

Contents

Abstract	ii
Figure Index	v
Table Index	vii
CHAPTER 1 Preface	1
1.1 Research summary for mangrove soils	1
1.2 Effects of mangrove restoration on soil parameters	9
1.3 Significance and Contents of this study	10
CHAPTER 2 Effect of <i>Kandelia candel</i> mangrove restoration on soil physical and chemical parameters (non-nutrients)	11
2.1 Study sites and plot selection	11
2.2 Soil sampling and analyses	12
2.3 Analytical and statistical methods	13
2.4 Results	13
2.4.1 Soil physi-chemical parameters at Baijiao	13
2.4.2 Soil physi-chemical parameters at Caoputou	19
2.5 Discussion	22
CHAPTER 3 Effect of <i>Kandelia candel</i> mangrove restoration on soil nutrients	25
3.1 Soil sampling and analyses	25
3.2 Results	25
3.2.1 Soil nutrients at Baijiao	25

3.2.2 Soil nutrients at Caoputou	33
3.3 Discussion.....	41
CHAPTER 4 Effect of <i>Kandelia candel</i> mangrove restoration on soil	
biochemical characters	46
4.1 Soil sampling and analyses.....	46
4.2 Results	46
4.2.1 Soil biochemical parameters at Baijiao	46
4.2.2 Soil biochemical parameters at Caoputou.....	47
4.3 Discussion.....	51
4.4 Correlation between soil parameters.....	52
CHAPTER 5 Conclusions	55
References	56
Appendix	62
Acknowledgements	63

第一章 前言

红树林是生长在热带亚热带低能海岸平均海面（或稍上）与回归潮高潮最高潮位（或大潮平均最高潮）之间，受海水周期性浸淹与周期性暴露，通常暴露时间较浸淹时间长的木本植物群落（张乔民等，1997）。红树林生态系统与珊瑚礁、盐沼、上升流并称地球上生产力最高的海洋四大自然生态系统，与其它森林类型相比，红树林具有食物网结构复杂、物种多样、生产力高的特点，具有独特的生态功能和重大的社会、经济价值：（1）防风护岸，保护村庄农田和拦淤造陆；（2）红树植物本身的生产物，可作为木材、薪炭、食物、药材和其它化工原料等；（3）过滤陆地径流和净化内陆带来的有机物质和污染物；（4）为许多海洋动物（包括鱼类、底栖动物提供栖息和觅食的理想生境；（5）作为全球水鸟迁徙的歇脚站和繁殖地；（6）对滨海城市绿化的特殊价值；（7）是旅游和科普教育的基地（林鹏，2003）。

1960年代以来，我国的红树林经历了三次较为严重的破坏：（1）20世纪60年代到70年代的围海造田；（2）80年代以来的围塘养殖；（3）90年代以来的城市化、港口码头及开发区的建设（王文卿和王瑁，2007）。2001年国家林业局组织的全国湿地调查，得出全国红树林总面积为22025 hm²，加上港澳台地区的656 hm²，中国红树林总面积为22681 hm²，仅为20世纪50年代的47%（国家林业局森林资源管理司，2002）。从红树林资源日趋衰退和大量宜林红树林滩涂急需绿化的现状，以及沿海防护林工程体系建设的需要出发，大规模的红树林恢复已经是迫在眉睫。

1.1 红树林土壤研究概况

红树林生存的物质基础首先是沉积物，包括外源性和内源性沉积物。从红树林生态系统外部搬来的，例如河流从陆地携带来的泥沙、海浪冲击海岸所剥蚀下来的陆源物质、浪潮掀动浅海底再搬运来的物质称为外源性沉积物；红树林在碳酸盐或珊瑚礁架上定植后，经红树林和其它海生生物，逐渐变成适于红树林生长的钙质泥沼，这些物质产生于生态系统内部，是内源性沉积物。有红树林区比无红树林区的沉积速率快，因为红树林的枝干和各种根系能有效减缓水流、捕获沉

沉积物 (Robertson & Alongi, 1992; 张乔民等, 1995; Kathiresan, 2003)。这些沉积物在生物因子的作用下逐渐发育成土壤, 红树林对土壤的形成和发育具有十分重要的作用。红树植物对土壤有强烈的影响, 有强烈的物理化学作用, 成为区别沉积物 and 红树林土壤的主要因素。红树林土壤因为有维管植物的介入导致强烈的物理化学变化, 土壤表层呈氧化状态, 其下呈缺氧状态, 而沉积物始终缺氧; 同样红树林土壤的 pH 是可变的, 而沉积物的 pH 变化不大; 红树林土壤中有机物通过植物碎屑和腐烂根系不断积累, 而沉积物中有机物含量比较少 (Ferreira et al., 2007)。沉积物发育成土壤后更有利于红树林的生长。

土壤颗粒组成、土壤含水量、土壤通气状况构成了土壤的物理性质 (邵明安等, 2006)。与陆地森林不同, 红树林土壤是经河流和海潮搬运、分选、沉积后, 在红树植物的作用下发育而成, 因此质地一般比较细腻。红树林土壤大多属于壤土类和黏土类, 小于 0.01 mm 的物理黏粒含量一般为 30%-85%。对九龙江口红树林土壤的研究发现, 秋茄林与白骨壤林土壤质地黏细, 无石砾, 颗粒大小较均匀, 多属中黏土, 小于 0.01 mm 的物理性黏粒含量 68%-82%, 小于 0.001 mm 的颗粒约占 30%, 小于 0.001 mm 颗粒以及表层土壤小于 0.01 mm 的物理性黏粒含量都高于无红树林的光滩土壤, 因此红树林具有固定黏细颗粒沉积物的作用 (张银龙和林鹏, 1998)。蓝福生等 (1994) 也发现, 相邻地点相同环境下, 红树林土壤的黏粒含量往往比无红树林的潮滩土壤的黏粒含量高。由于土壤内部的物理、化学、生物等过程的相互影响以及各种地质过程和人为因素的干扰, 土壤在形态、结构和功能等方面表现为复杂的自然体。由形状和大小各异的颗粒组成的土壤结构, 表观上反映出不规则的几何形体。研究表明, 土壤是具有分形特征的系统 (吴承桢和洪伟, 1999; Turcotte, 1989; Taguas et al., 1999)。梁士楚和王伯荪 (2003) 应用分形理论分析了广西英罗港红树林土壤粒径分布的分形特征: 红树林土壤的分形维数为 2.6837-2.8834; 不同质地土壤的分形维数呈现砂壤土 < 轻壤土 < 中壤土 < 重壤土 < 轻黏土的规律, 外滩红树林土壤的分形维数低于中滩和内滩; 土壤分形维数与其盐分和有机质含量呈显著正相关; 群落类型、土壤质地、滩位、含盐量、有机质含量等是影响红树林土壤分形维数的主要因子。

红树植物可以生长在泥质、沙质和基岩海岸上, 以淤泥质滩涂最普遍且生长最好, 而在泥沙质、沙砾质土壤上多生长不良。白骨壤 (*Avicennia marina*)、海桑 (*Sonneratia cylindrical*)、角果木 (*Ceriops tagal*)、榄李 (*Lumnitzera racemosa*)、

鹧鸪菜 (*Acrostichum aureum*) 和老鼠簕 (*Acanthus ilicifolius*) 等对土壤要求不严, 既能在沙质上生长, 也能够淤泥质滩涂上生长。其它种类一般仅生长于淤泥质滩涂。杨盛昌等 (2002) 研究了不同土壤颗粒和海水盐度条件下秋茄 (*Kandelia candel*) 幼苗生长、净光合速率和蒸腾速率的变化, 得出: 土壤颗粒对 100% 海水浓度下秋茄幼苗的生长有显著的影响, 颗粒越小, 秋茄幼苗的生长越快, 干物质生产越多, 但在 50% 海水浓度下, 土壤颗粒的影响不明显; 在相同海水浓度下, 土壤颗粒对海水盐度抑制秋茄幼苗叶片的净光合速率和蒸腾速率的影响作用不大; 颗粒越小, 土壤吸收的盐离子越多, Na^+ 和 H^+ 的交换量越大, 因此降低了秋茄幼苗根系周围的盐分含量, 有效缓解了高盐对秋茄幼苗生长的胁迫。Ukpong (1997) 研究发现, 植被高度和密度与土壤颗粒密切相关, 土壤结构对树高有显著影响, 红树林生产力随着土壤肥力增加而增加, 土壤黏粒非常有利于红树植物繁殖体生根, 因此红树植物在淤泥质滩涂生长最好。

对陆地土壤的研究证实, 土壤容重与根系生长呈负相关 (Asady & Smucker, 1989)。对红树林土壤的研究也得到类似结果: 严重破坏的红树林土壤容重指数比正常红树林高 (Ursula et al., 1997)。红树植物生长的环境多是淤泥质滩涂, 周期性的潮水浸淹导致土壤含水量比较高, 水土比约为 1:1, 高潮位含水量比低潮位低, 这样也导致了土壤缺氧 (Krauss et al., 2006)。红树林土壤通常为半流体而不坚固, 处于水饱和状态, 固液气三相组成中气相成分低于 1%, 通气性差, 呈还原状态, 土壤呈灰色、灰黑或灰蓝色糊烂状, 具沼泽化特征。红树林土壤氧化和低氧化状态大多发生在 0-10 cm, 再往深处缺氧会更加严重, 硫酸盐减少而硫化氢浓度和黄铁矿增多 (Ferreira et al., 2007)。面对缺氧状态, 红树林产生了发达的根系可以往土壤中输送大量氧气, 但作用范围仅限于根系表面几毫米, 另外如果对土壤通风, 将会刺激根生物量增加 40% (Koch et al., 1997)。

分形理论是 Mandelbrot 于 20 世纪 70 年代中期首次提出来的, 用来研究自然界中没有特征长度但又具有自相似性的图形和现象。自然界的许多事物和现象表现出极为复杂的形态, 并非是严格的数学分形, 而是具有统计意义上的自相似性 (Mandelbrot, 1977; 1982)。作为探索这种复杂性的新理论和方法, 分形理论已被应用于自然科学和社会科学中的许多领域。土壤由于内部的物理、化学、生物等过程的相互影响以及各种地质过程和人为措施的干扰, 导致土壤在形态、结构、功能等方面表现为复杂的自然体。由形状和大小各异的颗粒组成的土壤结构,

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