

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华,杨健,刘志华,等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳,李泳慧,王俊才,等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明,刘世荣,史作民,等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建,张春雨,夏富才,等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛,马成仓,韩磊,等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟,魏岩,周晓青,等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊,王笑,薛建辉,等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林,耿增超,李珊珊,等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆,王琪,吕厚荃,等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕,侯海军,秦红灵,等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯,申双和,段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强,舒俭民,张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川,王金旺,郑坚,等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林,郑庆中,贾举杰,等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍,刘林德,柏新富,等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟,岳永杰,李钢铁,等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林,陈书飞,王振华,等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新,王金成,王鑫,等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧,罗淑政,刘金巍,等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅,王文斌,温翠萍,等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都,戴其根,许学宏,等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪,苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾,李蕾,毛冠男,等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良,李青生,黄玲,等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕,张运林,时志强,等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜,邵晨,颜志刚,等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰,李志毅,常亮,等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生,解文飞,巫厚长,等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬,孙然好,陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强,胡聃,肖洋,等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚,陈新庚,彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科,王如松,周传斌,等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾,徐德琳,徐驰,等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才,徐宗学,张淑荣,等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳,石蕾,严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云,曾伟,肖复明,等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔,高阳,赵志强,等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201105160634

金川, 王金旺, 郑坚, 陈秋夏, 李俊清, 卢翔. 异速生长法计算秋茄红树林生物量. 生态学报, 2012, 32(11): 3414-3422.

Jin C, Wang J W, Zheng J, Chen Q X, Li J Q, Lu X. An assessment method of *Kandelia obovata* population biomass. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3414-3422.

异速生长法计算秋茄红树林生物量

金 川^{1,2}, 王金旺², 郑 坚², 陈秋夏^{2,*}, 李俊清¹, 卢 翔²

(1. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2. 浙江省亚热带作物研究所, 温州 325005)

摘要: 采用异速生长方法, 建立树干基部多分枝型秋茄生物量与分枝直径的函数模型, 根据该模型计算了浙江鳌江河口人工秋茄林生物量, 并比较了我国不同地区秋茄林生物量差异。结果表明, 秋茄生物量(W)与分枝直径(D)之间存在极显著的回归关系, 叶片(W_L)、树干(W_S)、根系和分枝基部(W_B)及植株总生物量(W_T)与分枝直径(D)的异速生长方程分别为: $W_L = 0.187D^{1.855}$ ($R^2 = 0.612, P < 0.0001$); $W_S = 0.267D^{1.906}$ ($R^2 = 0.821, P < 0.0001$); $W_B = 4.6D^{1.136}$ ($R^2 = 0.644, P < 0.0001$); $W_T = 3.614D^{1.446}$ ($R^2 = 0.801, P < 0.0001$)。我国不同地区秋茄林地上生物量与林龄和纬度之间存在显著的回归关系: $\lg(\text{地上生物量}) = 3.123 + 0.84 \times \lg(\text{林龄}) - 2.019 \times \lg(\text{纬度})$, ($R^2 = 0.431, F_{2,11} = 4.161, P = 0.045$)。秋茄种群生物量随着林龄的增加而增加, 随着纬度的升高呈现降低趋势。浙江鳌江河口 3 年、5 年和 10 年人工秋茄林生物量分别为 7.13、11.32 和 24.35 t/hm², 其中 5 年秋茄林生物量仅为广东湛江同龄秋茄林(自然湿地生境)生物量的 18%。然而, 广东深圳的 3 年秋茄林(人工湿地生境)生物量仅为该研究中同龄秋茄林生物量的 9.3%。此外, 以 ≤11 年的人工秋茄纯林为对象, 建立了种群密度与种群植株平均生物量的关系: $\lg(\text{平均单株地上生物量}) = 8.468 - 2.1 \times \lg(\text{种群密度})$, ($R^2 = 0.961, F = 99.764, P = 0.001$), 秋茄种群密度越小, 平均植株生物量越大, 平均单株生物量较符合 Yoda 提出的 -3/2 自疏定律为快, 自疏指数为 -2.1。因此, 纬度和林龄是秋茄种群生物量的主要影响因子, 生境类型、种群密度等因素对红树林种群或群落生物量的积累也至关重要。

关键词: 红树林; 秋茄; 异速生长; 生物量

An assessment method of *Kandelia obovata* population biomass

JIN Chuan^{1,2}, WANG Jinwang², ZHENG Jian², CHEN Qiuxia^{2,*}, LI Junqing¹, LU Xiang²

1 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Zhejiang Institute of Subtropical Crops, Wenzhou 325005, China

Abstract: Mangroves are the unique intertidal plant formations growing in sheltered tropical and subtropical coastal areas. The past decade, many measures were undertaken for mangrove forestation in the Aojiang Estuary, Zhejiang Province, with 47 hm² of existing *Kandelia obovata* forest. The present experiment was conducted to assess the population biomass of *K. obovata* in Aojiang Estuary. Mathematical methods that use easily measured variables to predict difficult-to-measure variables are important to mangrove managers. As a result, standard plant methods and allometric equations have been developed for several decades to estimate mangrove biomass. Single-stemmed mangrove production was usually estimated by allometry between biomass and stem diameter at breast height. Because mangroves are usually dwarf forests in higher latitude sites, and moreover, the crown bases and multi-stems of dominant individuals may begin within a few decimeters of ground level, estimates of community production that depend on allometry based on single-stemmed mangrove may not be accurate. Here, we develop allometric relations to predict total biomass and individual components of biomass (e. g., leaves, stems, roots and butts) of *K. obovata*, a multi-stemmed mangrove, in the Aojiang Estuary, Zhejiang province.

基金项目: 浙江省科技计划项目(2008C32013); 浙江省农科院重点实验室前瞻类项目及博士启动项目

收稿日期: 2011-05-16; **修订日期:** 2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzscqx@163.com

This procedure treated each stem as a discrete tree that shared a proportion of the butt and other elements common to all stems. Linear log-log relationships were obtained between biomass and stem diameter at one-tenth of the stem length nearly the ground. Population biomass of artificial *K. obovata* forest in Aojiang Estuary was calculated according to the function model. We compared the difference on population biomass of *K. obovata* in different regions of China. The results showed that *K. obovata* biomass (W) correlated to the stem diameter (D) at a significance level ($P < 0.001$). The function model between plant biomass (leaf, W_L ; stem, W_S ; Root and butt, W_B ; and total, W_T) and stem diameter (D) was as follows: $W_L = 0.187D^{1.855}$ ($R^2 = 0.612$, $P < 0.0001$); $W_S = 0.267D^{1.906}$ ($R^2 = 0.821$, $P < 0.0001$); $W_B = 4.6D^{1.136}$ ($R^2 = 0.644$, $P < 0.0001$); $W_T = 3.614D^{1.446}$ ($R^2 = 0.801$, $P < 0.0001$). The regression relationship between *K. obovata* aboveground biomass and stand age and latitude was significant in different regions of China, that is, $\lg(\text{aboveground biomass}) = 3.123 + 0.84\lg(\text{stand age}) - 2.019\lg(\text{latitude})$ ($R^2 = 0.431$, $F_{2,11} = 4.161$, $P = 0.045$). Population biomass of *K. obovata* increased with increased stand age, while trend to decrease with increased latitude. Population biomass of 3-, 5- and 10-year-old *K. obovata* forest in Aojiang Estuary was estimated at 7.13, 11.32 and 24.35 t/hm², respectively. The 5-year-old population biomass in this experiment was only of 18% compared with the same age population of *K. obovata* grown in natural wetlands in Zhanjiang, Guangdong province. However, the biomass of 3-year-old population grown in artificial wetlands in Shenzhen was only 9.3% of the same age population biomass in this experiment. In addition, the regression relationship between population density and mean individual biomass was estimated based on the data of ≤ 11 -year-old artificial pure *K. obovata* forest: $\lg(\text{mean individual aboveground biomass}) = 8.468 - 2.1 \times \lg(\text{population density})$, ($R^2 = 0.961$, $F = 99.764$, $P = 0.001$). This equation indicates that mean individual biomass increased with decreased population density and the self-thinning index was -2.1 , which approximately accorded with the $-3/2$ power law. Therefore, not only stand age and latitude affect *K. obovata* population biomass, but habitat types and population density are crucial to *K. obovata* population biomass accumulation.

Key Words: mangrove; *Kandelia obovata*; allometry; biomass

红树林是热带、亚热带地区沿海滩涂独特的木本盐土植物群落,主要分布于南北纬 20°之间的隐蔽海岸,由于洋流的影响,可以延伸到亚热带地区,这种处于交错地带的过渡生态系统在海洋与陆地之间的物质交换起着重要作用^[1]。我国现有红树林主要分布在海南、广东、广西、福建以及港澳台地区^[2-4]。浙江省无天然红树植物群落分布,自 1957 年乐清西门岛引种秋茄,浙江省开始发展人工红树林,尤其是近几年,浙江人工红树林受到各方面的关注^[5-7]。

群落生物量作为生态系统的特征数据之一,是研究生态系统结构与功能的基础,反映了群落利用自然潜力的能力,对研究生态系统生物地球化学循环、评估生态系统生产力与环境因子之间的关系具有重要的科学意义^[8-10]。因此,研究浙江人工红树林群落生物量动态变化,通过与不同纬度带红树群落生物量的比较,对深入理解人工红树林的发育具有重要意义。过去几十年间,生态学家发展了诸多方法来探究红树林生物量与生产力,如收获法、平均木法、异速生长方法^[11]。最近 10a 来,大多数学者采用异速生长理论评估红树林生物量,通过测量红树植物胸径和树高来构建异速生长式,预测群落生物量^[12-16]。采用这种方法估算群落生物量所针对的树种大多具有相似的特性,即具有明显的单一主干,如木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、海莲(*B. sexangula*)、海桑属植物(*Sonneratia* sp.)。然而,生物量异速生长方程具有物种差异性。因此,有学者尝试建立普适生物量异速生长方程(common allometric equation)预测群落生物量,即测定不同物种树木胸径和树干密度构建生物量异速生长方程^[17]。但是,一些红树植物没有明显主干,从离地面较近的树基部生长出几个分枝,如秋茄(*Kandelia obovata*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)、白骨壤(*Avicennia marina*)等^[18]。对于具有这样生长习性的树种来说,采用测量胸径和树高的方式建立异速生长方程来评估群落植物生物量可能不够准确^[19]。此外,有些红树植物生长低矮,呈灌木状,尤其是在较高纬度地区,如秋茄,若测量胸径则相对于其他生长较高

的红树植物而言,测量位置相对较高,而且有些生境中秋茄生长高度可能不会超过 1.3 m,对于这些树种,采用测量胸径的方法建立异速生长方程不合理。因此,有学者建议测量树高 0.3 m 处树干直径^[20]。对于这样生长低矮的红树植物,有些学者建议采用测量树高十分之一处树干直径($D_{0.1}$)的方法建立异速生长方程^[21-23],然而这也没有解决多分枝生长类型树种生物量估算面临的问题。由于自相似现象普遍存在植物体形态架构中,如树木的小枝、大枝直到整个树体形态都极为相似,分形可模拟植物形态结构^[24-26]。因此,该研究采用分形理论将异速生长方法运用于基部分枝多的树种以计算其种群生物量,即把多分枝类型的红树植物秋茄的每一个树干作为一个独立的树,然后,这些树干根据其粗细比例分配其占有共同部分如树根、树干基部分枝处之前的部分的生物量,建立植株生物量与各树干直径的异速生长方程,以期对生物量进行模拟。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

实验地位于浙江省苍南县鳌江河口(27°35'N,120°35'E),属典型中亚热带海洋性季风气候,年均气温 18.1 ℃,极端高温为 40.8 ℃,极端低温-4 ℃,年均降雨量 1655 mm,年均日照数 1866.8 h。该研究地自 2000 年开始,连续 10a 人工种植红树植物,2008 年以前全部为秋茄(*Kandelia obovata*),2008 年以后,除秋茄外,还有无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)等其他红树植物,这些植物现存数量较少,该实验选择秋茄为研究对象,实验地林分特征见表 1。

表 1 不同树龄秋茄种群特征
Table 1 Characteristics of *Kandelia obovata* plantations of different ages

林龄 Age /a	平均树高(± 标准差) Average height ± SD /cm	平均冠幅(± 标准差) Average canopy diameter ± SD /cm	密度 Density /(株/hm ²)
3	39.3 ± 5.0	48.3 ± 6.5	24100
5	73.1 ± 5.5	84.5 ± 8.3	20000
10	153.2 ± 22.1	165.7 ± 23.0	9600

1.2 研究方法

1.2.1 调查方法

在秋茄林地内设置 9 个 2 m × 2 m 小样方(P_{3-1} 、 P_{3-2} 、 P_{3-3} 、 P_{5-1} 、 P_{5-2} 、 P_{5-3} 、 P_{10-1} 、 P_{10-2} 、 P_{10-3}),其中 P_{3-1} 、 P_{3-2} 、 P_{3-3} 秋茄林龄为 3a, P_{5-1} 、 P_{5-2} 、 P_{5-3} 秋茄林龄为 5a, P_{10-1} 、 P_{10-2} 、 P_{10-3} 秋茄林龄为 10a。记录树高,测量小样方内所有植株基部分枝近地面树干长度十分之一处直径(D)。

为避免边缘效应,在 3 年龄秋茄林内随机选取 18 株植物,测量树高,并小心地挖取所选植株,洗净根系上粘附的土壤,带回实验室。测量每株植物树干近地面位置树干长度十分之一处直径(D),然后将植株各个部分剪断,树根、树干、树叶分别整理装好,称量鲜重,烘干至恒重,称量。

1.2.2 数据分析

对于多分枝的秋茄植株,其分枝基部和支柱根生物量分配到各个树干的比,根据各个树干直径所占比例计算而得^[19]:

$$W_{Ai} = W_B \times D_i / \sum_{i=1}^n D_i$$
 (1)

式中, W_{Ai} 为分枝基部和支柱根生物量分配到树干 i 的生物量; W_B 为分枝基部和支柱根生物量; D_i 为树干 i 的直径; $\sum_{i=1}^n D_i$ 为单株植物所有 n 个分枝树干直径之和。

$$\text{各个分枝树干所承载的总生物量: } W_{Ti} = W_{Si} + W_{Ai}$$
 (2)

式中, W_{Si} 为树干 i 自身生物量。

应用统计分析软件 SPSS13.0 进行相关数据计算和统计检验,以分枝直径、树干生物量、树叶生物量及总

生物量为参数,其中各个分枝树干所承载的生物量包括分配到该树干的基节及地下根系生物量(由公式 1 和 2 计算而得),将数据进行对数转换后进行回归分析,建立回归方程($\lg W = \alpha + \beta \times \lg D$,式中 α 和 β 为常数, 3),计算不同树龄秋茄种群生物量。

2 结果与讨论

2.1 生物量异速生长方程模型及不同林龄种群生物量

在取样的 18 株植物中,秋茄树干数量取值为 1—10,树干直径取值为 3.6—26.15 mm(表 2)。在所测量的 66 株秋茄(18 株取样植株和 9 个 2 m × 2 m 小样方植株数量之和)中,基部分枝的仅有 3 株,占总数的 4.5%,基部分枝为 2—3 的占总数的 60.6%,分枝数量 ≥ 4 的占总数的 34.8%(图 1)。此外,秋茄高度普遍低于 1.3 m($H_{3\text{年}} = (47 \pm 10)$ cm, $H_{5\text{年}} = (69 \pm 11)$ cm, $H_{10\text{年}} = (98 \pm 32)$ cm)。因此,不可能采用测量胸径的方式建立异速生长方程计算种群生物量;秋茄基部分枝较多,无明显主干,采用测量树干近地面十分之一处直径建立异速生长方程计算秋茄种群生物量亦不合适。

表 2 取样的 18 株秋茄树干分枝数量及其直径

Table 2 Values of branch number and diameter of 18 *Kandelia obovata* samples

植株编号 Individual No.	基部分枝数 Basal branch number	分枝直径 Branch diameter /mm	植株编号 Individual No.	基部分枝数 Basal branch number	分枝直径 Branch diameter /mm
1	5	9.83—13.83	10	2	11.43—16.64
2	4	5.78—16.34	11	6	7.85—22.96
3	4	5.88—14.83	12	3	9.85—18.25
4	6	3.60—13.5	13	3	11.87—15.76
5	4	14.40—23.22	14	6	8.79—21.71
6	6	10.92—26.07	15	2	20.55—25.55
7	8	8.56—20.69	16	4	6.83—23.17
8	8	10.27—22.63	17	10	10.26—26.15
9	1	13.4	18	5	12.37—20.78

取样的 18 株植株树干直径与植株各部分生物量经对数转换后线性关系见图 2,表 3。根据公式 3 建立的各个变量的回归方程参数的方差分析显著水平 $P < 0.001$,表明异速生长方程能够真实反映秋茄生长参数 D 与其生物量之间的关系。树干生物量和秋茄总生物量的相关系数高于叶片生物量和地下部分生物量,这可能是由于动物的取食或渔民活动导致的叶片意外脱落、根系部分不完全收集等引起。

由此建立的秋茄生物量与树干直径之间的异速生长方程可以用于评估群落生物量,总生物量异速生长式

为: $\lg W = 0.558 + 1.446 \times \lg D$,经过转换得到, $W = 3.614 \times D^{1.446}$ 。同理,可转换得到根系及分枝基部生物量、树叶生物量、树干生物量与树干直径的异速生长方程(表 3)。

由表 3 中的异速生长方程计算得到的鳌江河口 3 年、5 年、10 年秋茄种群生物量分别为 (7.13 ± 1.06) t/hm²、 (11.32 ± 1.27) t/hm² 和 (24.35 ± 3.40) t/hm²(表 4)。由树干生物量、树叶生物量、根系及分枝基部生物量的异速生长方程计算的生物量之和($W_L + W_S + W_B$)与总生物量异速生长方程(W_T)计算的数值之间有所差异(表 4),3 年、5 年秋茄种群总生物量相对差异值(RE)呈现偏大趋势,即由总生物量异速生长方程 W_T 计算的数据大于 $W_L + W_S + W_B$,而由总生物量异速生长方程 W_T 计算的 10 年秋茄种群生物量小于

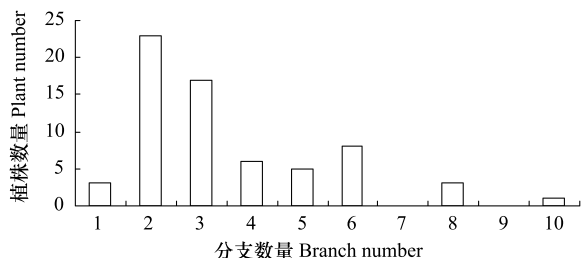


图 1 秋茄分枝情况(包括 18 株取样植株和 9 个小样方植株)

Fig. 1 Branches of *Kandelia obovata* (including 18 sampled individuals and all plants of 9 quadrats)

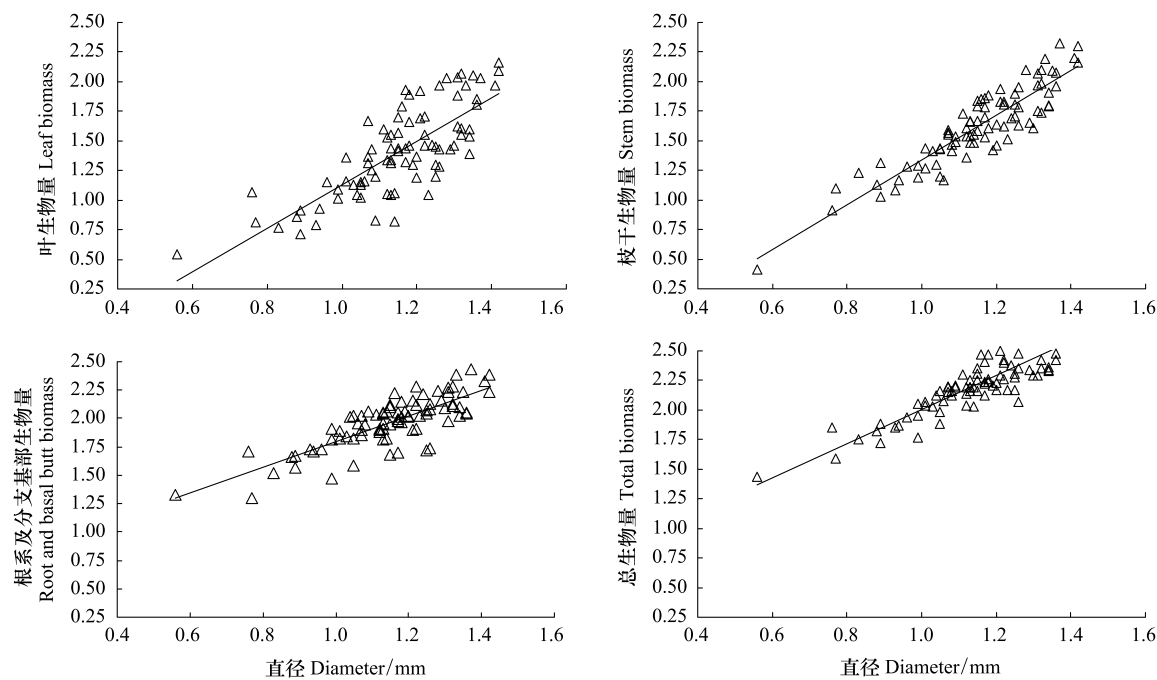


图2 取样的18株植株树干直径与叶片、树干、根系及分枝基部、总生物量的线性关系(数据经对数转换)

Fig. 2 Relationship between stem diameter and the weight of different components of 18 *Kandelia obovata* samples (data were log-transformed)

$W_L+W_S+W_B$,造成差异的原因可能是:10 年龄秋茄种群有较多的繁殖分配,每年 5—6 月间大量繁殖体从植物体脱落,繁殖体生物量的丢失可能是造成这种差异的主要原因之一,而 3 年龄和 5 年龄秋茄种群基本没有繁殖分配,因此异速生长方程可能低估 10a 秋茄种群生物量;对于 3 年龄和 5 年龄秋茄种群生物量,由于分枝长度较短,实际测量直径位置为分枝长度的十分之一处,取样位置可能造成生物量计算结果的差异,但差异值 RE 低于 5% (表 4),在以后的研究中需要深入研究直径取值位置以提高生物量估算精度。

表3 取样的18株植株树干直径D与各部分生物量W之间的异速生长方程及其参数值及方差结果F值(其中α和β是常数,样品数,即18株植物分枝数量n=87)

Table 3 Summary on allometrical equation between branch diameter and biomass of 18 *Kandelia obovata* plants, coefficients, and the results of ANOVA(α and β were the constant, samples number, i. e. all branches of 18 *K. obovata* plants, n=87)

变量 Variable	α	β	r ²	F	异速生长方程 Allometrical equation
叶片生物量 W _L Leaf biomass	-0.728	1.855	0.612	136.399 ***	$W_L = 0.187 \times D^{1.855}$
树干生物量 W _S Stem biomass	-0.574	1.906	0.821	395.949 ***	$W_S = 0.267 \times D^{1.906}$
根系及分枝基部生物量 W _B Root and butt biomass	0.663	1.136	0.644	156.638 ***	$W_B = 4.6 \times D^{1.136}$
总生物量 W _T Total biomass	0.558	1.446	0.801	346.747 ***	$W_T = 3.614 \times D^{1.446}$

*** P < 0.0001

红树植物树干、树枝及冠层生物量占总生物量比例较陆生植物低^[27]。在该实验中,秋茄树干、树枝及冠层生物量占总生物量的 41%—65%,表明植物大量生物量用于根系及分枝基部的生长。随着林龄的增长,秋茄种群总生物量与根系及分枝基部的比值(T/R)逐渐增大(表 4),即随着树龄的增长,秋茄更多的生物量分配到树干和树叶。树龄增长导致分配格局的改变,其原因可能是由于林分郁闭度增加,光照条件下降,向根系输送的光合产物下降,影响根系生长;秋茄的繁殖分配影响根系的光合产物分配,引起地下部分生物量分配的下降^[28]。

表 4 鳌江河口秋茄林生物量计算

Table 4 Biomass calculation of *Kandelia obovata* population in Aojiang estuary

样方 Quadrat	林龄 Age/a								
	3			5			10		
	P_{3-1}	P_{3-2}	P_{3-3}	P_{5-1}	P_{5-2}	P_{5-3}	P_{10-1}	P_{10-2}	P_{10-3}
植株数量 Plant number	7	8	7	4	4	5	4	4	3
树干数量 Branch number	19	18	17	26	18	12	16	10	8
树干直径 Branch diameter /mm	3.6— 16.34	6.83— 22.96	6.45— 21.01	7.85— 22.63	9.88— 26.15	15.6— 8.54	22.6— 8.34	24.84— 2.29	26.75— 1.40
生物量计算 Biomass calculation									
叶片生物量 Leaf biomass $W_L/(t/hm^2)$	0.86	1.29	1.22	1.93	1.67	2.45	5.50	5.68	7.81
树干生物量 Stem biomass $W_S/(t/hm^2)$	1.41	2.12	2.01	3.18	2.76	4.15	9.49	9.90	13.84
根系及分枝基部生物量 Root and butt biomass $W_B/(t/hm^2)$	3.48	4.33	4.04	6.49	5.14	5.54	9.90	8.56	9.43
$W_L+W_S+W_B/(t/hm^2)$	5.75	7.74	7.27	11.60	9.57	12.14	24.90	24.14	31.08
总生物量 Total biomass $W_T/(t/hm^2)$	5.94	7.98	7.48	11.98	9.85	12.13	23.77	22.29	27.00
RE、%	3.35	3.09	2.96	3.32	2.94	-0.10	-4.53	-7.65	-13.13
T/R ⁺	1.71	1.84	1.85	1.85	1.92	2.19	2.40	2.60	2.86

RE=[$W_T-(W_L+W_S+W_B)$]/($W_L+W_S+W_B$); T/R= W_T/W_B ; * 叶生物量 $W_L=0.187 \times \sum_{i=1}^n D_i^{1.855}$; 树干生物量 $W_S=0.267 \times \sum_{i=1}^n D_i^{1.906}$;

根系及分枝基部生物量 $W_B=4.6 \times \sum_{i=1}^n D_i^{1.136}$; 总生物量 $W_T=3.614 \times \sum_{i=1}^n D_i^{1.446}$, 式中 D_i 为树干 i 的直径, n 为样方内所有树干数量

2.2 浙江人工秋茄种群生物量与我国其他地区秋茄种群(群落)生物量比较

我国学者采用标准木法研究研究了华南地区秋茄种群(群落)生物量^[29-39], 不同地区秋茄种群生物量差异较大(表 5)。生物量最大的为福建省九龙江口 20 年龄人工秋茄种群, 总生物量达到 162.6 t/hm², 地上部分生物量达到 93.4 t/hm²^[29-30], 最小的为深圳 3 年龄人工秋茄种群, 总生物量仅为 0.66 t/hm²^[37]。一般而言, 红树植物种群(群落)生物量受纬度和林龄的影响较大^[40]。以我国不同地区秋茄地上生物量、林龄和纬度建立的回归方程如下: $\lg(\text{地上生物量}(t/hm^2)) = 3.123 + 0.84 \times \lg(\text{林龄}(a)) - 2.019 \times \lg(\text{纬度}(^\circ))$, ($R^2 = 0.431$, $F_{2,11} = 4.161$, $P = 0.045$)。因此, 秋茄种群生物量随着林龄的增加而增加, 随着纬度的升高呈现降低趋势。例如, 该实验中 5 年龄秋茄种群生物量为 11.32 t/hm², 仅为广东湛江同龄秋茄种群生物量的 18%, 10 年龄种群生物量为海南东寨港 11 年龄种群的 51%。然而, 分布于广东深圳的 3 年龄秋茄种群生物量仅为 0.66 t/hm²^[37], 仅为该研究中同龄秋茄种群生物量的 9.3%, 深圳 3 年龄秋茄种群生物量偏低, 可能与生境的类型相关, 该秋茄种植于围垦养殖塘内, 属人工滩涂海水种植-养殖系统, 水位不受潮汐变化影响, 秋茄生长适应性较差^[37], 导致生物量低下, 而其他秋茄种群或群落生境均属自然湿地, 大多属红树林保护区内的天然或人工种群(群落), 受外界干扰较小。此外, 陆生植物种群密度和生物量关系研究表明, 种群密度对种群生物量有较大影响, Yoda^[41]指出在种群发育过程中存在自疏, 自疏指数为 -1.5, 这也是植物种群生物学中的一个普遍规律^[42]。我国学者报道的秋茄种群(群落)生物量研究大多数为未成年幼龄, 林龄较小, 林龄高于 20a 的仅为 3 例^[29, 33, 39]。以 ≤11 a 林龄的人工秋茄纯林为对象, 建立了种群平均植株生物量与种群密度的关系: $\lg(\text{平均单株地上生物量}(kg)) = 8.468 - 2.1 \times \lg(\text{种群密度}(株/hm^2))$, ($R^2 = 0.961$, $F = 99.764$, $P = 0.001$)^[32, 38-39]。因此, 秋茄种群密度越小, 植株平均生物量越大; 拟合的秋茄种群自疏指数(-2.1)偏离 -1.5, 这和文献报道的自疏指数往往偏离 -1.5 相类似^[43-44], 说明种群在自疏过程中, 种群平均生物量仍保持较快的增加趋势。然而, 遗憾的是, 缺乏充足的秋茄造林密度的实验数据, 人工幼龄秋茄种群植株平均生物量的增加是由于自疏引起, 还是由于种植密度引起有待于深入研究。由此可见, 纬度不是限制秋茄种群生物量的唯一主要因素, 生境类型、种群密度等因素对红树林种群或群落生物量的积累也至关重要。

表 5 我国不同地区秋茄种群生物量比较

Table 5 Comparison on population biomass of *Kandelia obovata* in different regions, China

地区 Regions	纬度 Latitude	林分状况 Forest characteristics	林龄/a Age	总生物量 Total biomass /(t/hm ²)	地上生物量 Aboveground biomass /(t/hm ²)	地下生物量 Belowground biomass /(t/hm ²)	生境类型 Habitat type	文献 Literatures
海南东寨港	19°56'N	人工混交林	11	—	22.714	—	自然湿地	[32]
海南东寨港	19°56'N	人工纯林	11	—	29.405	—	自然湿地	[32]
广西英罗港	21°28'N	天然混交林	32	—	24.876	—	自然湿地	[33]
广东湛江	21°30'N	混交林	5	62.65	36.77	25.88	自然湿地	[31]
广东深圳	22°32'N	纯林	15	95.58	—	—	自然湿地	[34]
广东深圳	22°32'N	天然混交林	—	—	72.1—84	—	自然湿地	[36]
广东深圳	22°32'N	人工混交林	6	20.11	11.64	8.47	自然湿地	[35]
广东深圳	22°43'N	人工纯林	3	0.66	0.505	0.155	人工湿地	[37]
福建九龙江口	24°54'N	人工纯林	20	162.63	93.37	69.26	自然湿地	[29, 30]
福建平潭	25°31'N	人工纯林	9	20.842	10.733	10.109	自然湿地	[38]
福建福鼎	27°15'N	人工纯林	7	25.359	14.711	10.648	自然湿地	[39]
福建福鼎	27°16'N	天然纯林	150	58.305	32.919	25.386	自然湿地	[39]
浙江苍南	27°35'N	人工纯林	3	7.13	3.18	3.95	自然湿地	该实验
浙江苍南	27°35'N	人工纯林	5	11.32	5.59	5.72	自然湿地	该实验
浙江苍南	27°35'N	人工纯林	10	24.35	15.05	9.30	自然湿地	该实验

3 结论

秋茄为基部多分枝型红树植物,通过测定秋茄基部近地面分枝树干直径(D),可较好建立计算秋茄种群生物量(W)的异速生长方程,种群总生物量与分枝直径相关系数为 0.801,且达到极显著水平($P < 0.0001$)。秋茄种群树叶(W_L)、树干(W_S)、分枝基部和根系(W_B)及总生物量(W_T)的异速生长方程分别为: $W_L = 0.187 \times D^{1.855}$, $W_S = 0.267 \times D^{1.906}$, $W_B = 4.6 \times D^{1.136}$, $W_T = 3.614 \times D^{1.446}$ 。由该异速生长方程计算的鳌江河口 3 年、5 年和 10 年龄秋茄种群生物量分别为 7.13、11.32 和 24.35 t/hm²。通过比对我国不同地区秋茄种群生物量发现,各地秋茄种群生物量差异较大,林龄和纬度是其主要影响因子。整体而言,秋茄种群(群落)生物量由低纬度向高纬度地区呈现逐渐降低趋势,浙江人工秋茄林种群生物量明显低于南海沿岸红树林种群(群落)生物量。此外,生境类型、种群密度等因素对红树林种群或群落生物量的积累也至关重要。

References:

[1] Kristensen E, Bouillon S, Dittmar T, Marchand C. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquatic Botany*, 2008, 89(2): 201-219.

[2] Lin P. Distribution of mangrove species. *Scientia Silvae Sinicae*, 1987, 23(4): 481-490.

[3] Chen G K, Chen G Z. Analysis of the mangrove flora in China. *Ecologic Science*, 1998, 17(2): 19-23.

[4] Lin Y M, Lin P. Species, diversities, functions and protections of plants in mangrove ecosystem in China. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2001, (3): 8-16.

[5] Du Q, Chen Z H, Sun M J, Zhu G G, Ying B G. Investigation on mangrove resource and development plan in Zhejiang Province. *Forest Inventory and Planning*, 2004, 29(3): 9-12.

[6] Huang X L, Peng X, Qiu J B, Chen S B. Mangrove status and development prospects in southern Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2009, 26(3): 427-433.

[7] Zheng J, Wang J W, Chen Q X, Xu J Y, Li X W, Lu X, Lei H Q, Xia H T, Zheng S F. Preliminary report on north-ward introduction experiment of several mangrove plants along the southern coast of Zhejiang Province. *Journal of Southwest Forestry College*, 2010, 30(5): 11-17.

- [8] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 497-508.
- [9] Du F, Liang Z S, Xu X X, Shan L, Zhang X C. The community biomass of abandoned farmland and its effects on soil nutrition in the loess hilly region of northern Shaanxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1673-1683.
- [10] Nagelkerken I, Blaber S J M, Bouillon S, Green P, Haywood M, Kirton L G, Meynecke J O, Pawlik J, Penrose H M, Sasekumar A, Somerfield P J. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquatic Botany*, 2008, 89(2): 155-185.
- [11] Komiyama A, Ong J E, Pongpam S. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*, 2008, 89(2): 128-137.
- [12] Ong J E, Gong W K, Wong C H. Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management*, 2004, 188(1/3): 395-408.
- [13] Smith T J III, Whelan K R T. Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 2006, 14(5): 409-419.
- [14] Comley B W T, McGuinness K A. Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. *Australian Journal of Botany*, 2005, 53(5): 431-436.
- [15] Soares M L G, Schaeffer-Novelli Y. Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65(1/2): 1-18.
- [16] Medeiros T C C, Sampaio E V S B. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 2008, 16(4): 323-330.
- [17] Komiyama A, Pongpam S, Kato S. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 2005, 21(4): 471-477.
- [18] Dahdouh-Guebas F, Koedam N. Empirical estimate of the reliability of the use of the Point-Centred Quarter Method (PCQM): solutions to ambiguous field situations and description of the PCQM + protocol. *Forest Ecology and Management*, 2006, 228(1/3): 1-18.
- [19] Clough B F, Dixon P, Dalhaus O. Allometric relationships for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. *Australian Journal of Botany*, 1997, 45(6): 1023-1031.
- [20] Cuc N T K, Ninomiya I. Allometric relations for young *Kandelia candel* (L.) Blanco plantation in Northern Vietnam. *Journal of Biological Sciences*, 2007, 7(3): 539-543.
- [21] Khan M N I, Suwa R, Hagihara A. Allometric relationships for estimating the aboveground phytomass and leaf area of mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce trees in the Manko Wetland, Okinawa Island, Japan. *Trees-Structure and Function*, 2005, 19(3): 266-272.
- [22] Suwa R, Analuddin K, Khan M N I, Hagihara A. Structure and productivity along a tree height gradient in a *Kandelia obovata* mangrove forest in the Manko Wetland, Okinawa Island, Japan. *Wetlands Ecology and Management*, 2008, 16(4): 331-343.
- [23] Khan M N I, Suwa R, Hagihara A. Biomass and aboveground net primary production in a subtropical mangrove stand of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong at Manko Wetland, Okinawa, Japan. *Wetlands Ecology and Management*, 2009, 17(6): 585-599.
- [24] Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. *Nature*, 1981, 294(5838): 240-242.
- [25] Halley J M, Hartley S, Kallimanis A S, Kunin W E, Lennon J J, Sgardelis S P. Use and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecology Letters*, 2004, 7(3): 254-271.
- [26] Li H G, Huang M R. Fractal theory and its application to plants researches. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(6): 684-690.
- [27] Komiyama A, Havanond S, Srisawatt W, Mochida Y, Fujimoto K, Ohnishi T, Ishihara S, Miyagi T. Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriops tagal* (Perr.) C. B. Rob.) Forest. *Forest Ecology and Management*, 2000, 139(1/3): 127-134.
- [28] Ping X Y, Zhou G S, Sun J S. Advances in the study of photosynthate allocation and its controls. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 100-111.
- [29] Lin P, Lu C Y, Lin G H, Chen R H, Su L. Studies on mangrove ecosystem of Jiulongjiang River estuary in China I. The biomass and productivity of *Kandelia candel* community. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 1985, 24(4): 508-514.
- [30] Lin P. Biomass and element cycle of *Kandelia* forest, China. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1989, 7(3): 251-257.
- [31] Miao S Y, Chen G Z, Chen Z T, Wu Z H. Biomasses and distributive patterns of mangrove populations in Zhanjiang Nature Reserves, Guangdong, China. *Guihaia*, 1998, 18(1): 19-23.
- [32] Liao B W, Zheng D Z, Li Y, Zheng S F, Zheng X R, Huang Z Q. Above-ground biomass and nutrient accumulation and distribution in different type *Sonneratia caseolaris-Kandelia candel* mangrove plantations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(1): 11-15.
- [33] Wen Y G. Biomass and productivity of five mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi. *Guangxi Sciences*, 1999, 6(2): 142-147.
- [34] Song J Y, Zheng R G. Studies on potassium accumulation and cycling in mangrove communities at the Mouth of the Pearl River. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(2): 106-109.

- [35] Zan Q J, Wang Y J, Liao B W, Zheng D Z. Biomass and net productivity of *Sonneratia apetala*, *S. caseolaris* mangrove man-made forest. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2001, 19(5): 391-396.
- [36] Liao W B, Lan C Y, Zan Q J, Wong Y S, Tam F Y. Growth dynamics and self-thinning of the dominant populations in the mangrove community. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(5): 522-532.
- [37] Peng Y G, Chen G Z, Wu P F, Miao S Y, Yin M, She Z M. Net primary productivity of several mangrove species under controlled habitats. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1383-1388.
- [38] Lin J S. Studies on biomass of *Kandelia candel* community in Pingtan coast of Fujian province. *Protection Forest Science and Technology*, 2005, (2): 6-8.
- [39] Wang R, Li X J, Cai J B, Zhang D Q, He D J, Liu C, Wang Q B, Zheng K J, Lin F. Comparative study on biomass of the natural *Kandelia candel* forest and its plantation in the coastal area of east Fujian province. *Journal of Southwest Forestry University*, 2010, 30(1): 16-20.
- [40] Saenger P, Snedaker S C. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia*, 1993, 96(3): 293-299.
- [41] Yoda K, Kira T, Ogawa H, Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants. XI. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *Journal of the Institute of Polytechnics, Osaka City University, Series D*, 1963, 14: 107-129.
- [42] White J. Demographic factors in populations of plants//Solbrig O T, ed. *Demographic Factors in Populations of Plants*. Berkeley: University of California Press, 1980: 21-48.
- [43] Weller D E. Self-thinning exponent correlated with allometric measures of plant geometry. *Ecology*, 1987, 68(4): 813-821.
- [44] Shi P L, Yang X, Zhong Z C. Dynamics of population biomass and its density-density-dependent regulation in alder and cypress mixed forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(4): 341-346.

参考文献:

- [2] 林鹏. 红树林的种类及其分布. *林业科学*, 1987, 23(4): 481-490.
- [3] 陈桂葵, 陈桂珠. 中国红树林植物区系分析. *生态科学*, 1998, 17(2): 19-23.
- [4] 林益明, 林鹏. 中国红树林生态系统的植物种类、多样性、功能及其保护. *海洋湖沼通报*, 2001, (3): 8-16.
- [5] 杜群, 陈征海, 孙孟军, 诸葛刚, 应宝根. 浙江省红树林资源调查及其发展规划. *林业调查规划*, 2004, 29(3): 9-12.
- [6] 黄晓林, 彭欣, 仇建标, 陈少波. 浙南红树林现状分析及开发前景. *浙江林学院学报*, 2009, 26(3): 427-433.
- [7] 郑坚, 王金旺, 陈秋夏, 许加意, 李效文, 卢翔, 雷海清, 夏海涛, 郑松发. 几种红树林植物在浙南沿海北移引种试验. *西南林学院学报*, 2010, 30(5): 11-17.
- [8] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16(5): 497-508.
- [9] 杜峰, 梁宗锁, 徐学选, 山仑, 张兴昌. 陕北黄土丘陵区撂荒草地群落生物量及植被土壤养分效应. *生态学报*, 2007, 27(5): 1673-1683.
- [26] 李火根, 黄敏仁. 分形及其在植物研究中的应用. *植物学通报*, 2001, 18(6): 684-690.
- [28] 平晓燕, 周广胜, 孙敬松. 植物光合产物分配及其影响因子研究进展. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 100-111.
- [29] 林鹏, 卢昌义, 林光辉, 陈荣华, 苏麟. 九龙江口红树林研究. I. 秋茄群落的生物量和生产力. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1985, 24(4): 508-514.
- [31] 缪绅裕, 陈桂珠, 陈正桃, 吴中亨. 广东湛江保护区红树林种群的生物量及其分布格局. *广西植物*, 1998, 18(1): 19-23.
- [32] 廖宝文, 郑德璋, 李云, 郑松发, 郑馨仁, 黄仲淇. 不同类型海桑-秋茄人工林地上生物量及营养元素积累与分布. *应用生态学报*, 1999, 10(1): 11-15.
- [33] 温远光. 广西英罗港 5 种红树植物群落的生物量和生产力. *广西科学*, 1999, 6(2): 142-147.
- [34] 宋建阳, 张汝国. 珠江口红树群落钾的累积和循环研究. *土壤与环境*, 2000, 9(2): 106-109.
- [35] 咎启杰, 王勇军, 廖宝文, 郑德璋. 无瓣海桑、海桑人工林的生物量及生产力研究. *武汉植物学研究*, 2001, 19(5): 391-396.
- [37] 彭友贵, 陈桂珠, 武鹏飞, 缪绅裕, 殷敏, 余忠明. 人工生境条件下几种红树植物的净初级生产力比较研究. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1383-1388.
- [38] 林金顺. 福建省平潭沿海秋茄人工林群落的生物量研究. *防护林科技*, 2005, (2): 6-8.
- [39] 王韧, 李晓景, 蔡金标, 张典铨, 何东进, 刘翠, 王其炳, 郑开基, 林峰. 闽东沿海秋茄天然林与人工林生物量比较. *西南林学院学报*, 2010, 30(1): 16-20.
- [44] 石培礼, 杨修, 钟章成. 桉柏混交林种群生物量动态与密度调节. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 341-346.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元