

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

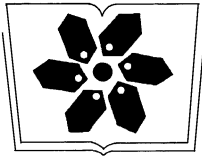
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **2012**

中国生态学会  
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 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

## 目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性 .....	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 ( 1 )
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响 .....	陶 冶, 张元明 ( 7 )
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养 .....	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 ( 17 )
河流流量对流域下垫面特性的响应 .....	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller ( 27 )
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区 .....	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 ( 38 )
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略 .....	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 ( 48 )
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨 .....	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 ( 56 )
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响 .....	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 ( 64 )
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应 .....	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 ( 74 )
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应 .....	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 ( 81 )
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应 .....	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 ( 93 )
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异 .....	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 ( 101 )
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应 .....	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 ( 111 )
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化 .....	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 ( 123 )
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性 .....	苏世平, 李 毅, 种培芳 ( 135 )
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算 .....	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 ( 142 )
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响 .....	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 ( 151 )
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度 .....	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 ( 159 )
烟草叶面积指数的高光谱估算模型 .....	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 ( 168 )
不同作物田烟粉虱发生的时空动态 .....	崔洪莹, 戈 峰 ( 176 )
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响 .....	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 ( 183 )
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用 .....	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 ( 190 )
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力 .....	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 ( 198 )
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局 .....	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 ( 207 )
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系 .....	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 ( 215 )
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征 .....	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 ( 226 )
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应 .....	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 ( 238 )
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响 .....	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 ( 247 )
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响 .....	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 ( 256 )
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应 .....	李文阳, 闫素辉, 王振林 ( 265 )
<b>专论与综述</b>	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制 .....	赵 琪, 戴绍军 ( 274 )
流域生态风险评估研究进展 .....	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 ( 284 )
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展 .....	汪 青 ( 293 )
<b>研究简报</b>	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析 .....	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 ( 311 )
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定 .....	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 ( 319 )
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术 .....	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 ( 326 )

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 332 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 36 \* 2012-01



**封面图说:** 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

**彩图提供:** 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011241669

吴丹, 邵全琴, 李佳, 刘纪远. 江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算. 生态学报, 2012, 32(1): 0142-0150.

Wu D, Shao Q Q, Li J, Liu J Y. Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0142-0150.

## 江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算

吴 丹<sup>1, 2</sup>, 邵全琴<sup>1, \*</sup>, 李 佳<sup>2, 3</sup>, 刘纪远<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 根据江西第 6 次森林清查小班数据, 运用基于实地样方数据拟合的森林植被生物量与蓄积量的关系, 并采用空间替代时间的方法, 估算了 1985—2003 年江西中南部红壤丘陵区泰和和兴国县主要造林树种马尾松、湿地松、杉木林的生物量和碳储量, 分析了时空动态特征。结果表明: (1) 2003 年研究区主要造林树种林分面积  $31.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 总生物量 22.20 Tg, 植被碳储量 13.07 TgC, 平均碳密度  $42.36 \text{ tC/hm}^2$ 。(2) 1985—2003 年研究区主要造林树种碳密度呈逐年上升趋势, 增加了  $8.58 \text{ tC/hm}^2$ ; 1985、1994、2003 年 3 个树种植被碳储量分别为 4.91、11.41 和 13.07 TgC, 年均固碳量  $0.45 \text{ TgC/a}$ 。(3) 海拔位于 700—900 m 之间的树种平均碳密度最大, 坡度位于  $25^\circ$ — $35^\circ$  之间的树种平均碳密度最大。森林植被碳密度总体呈现随海拔高度的增加而增加, 随坡度的增大而增大的分布。人工造林工程使江西红壤丘陵区森林植被碳储量增加显著, 森林生态系统的固碳能力明显增强。

**关键词:** 小班数据; 碳储量; 时空变化; 江西省

## Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China

WU Dan<sup>1, 2</sup>, SHAO Quanqin<sup>1, \*</sup>, LI Jia<sup>2, 3</sup>, LIU Jiyuan<sup>1</sup>

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

**Abstract:** Using field survey data from the sixth inventory of forest in Jiangxi Province and calculating the relationship between forest biomass and carbon storage from this, we estimated total forest biomass and carbon storage for the three major plantation forest species, *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata*, and *Pinus elliottii*, in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province. We also analyzed the relationship between carbon density and age for these forest species, using logistic equations, and described the spatiotemporal dynamics of forest biomass and carbon storage between 1985 and 2003 in the study area.

In this study, we used three methods of biomass expansion factor, biomass organ distribution and parameter fitting, to estimate carbon density. Qianyanzhou Experimental Station was chosen to compare these three corresponding results. The result obtained from parameter fitting was found to be the best way of calculating forest biomass and carbon storage on a regional scale. Increasing sample size would increase reliability of results.

The following conclusions were obtained from this study. In 2003, total stand area of the three forest species was

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(40971281); 国家 973 计划项目(2009CB421100, 2010CB950900); 国家科技支撑计划项目(2006BAC08B00)

**收稿日期:** 2010-11-24; **修订日期:** 2011-03-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shaoqq@lreis.ac.cn

$31.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ; total biomass was 22.20 Tg; vegetation carbon storage was 13.07 Tg C; and average carbon density was  $42.36 \text{ t C/hm}^2$ . Carbon storage by different forest types in descending order was: *Pinus massoniana*, *Pinus elliottii* and *Cunninghamia lanceolata*. Carbon storage by age group in descending order was middle stand forests, young stand forests, near-mature stand forests, mature stand forests. Storage of carbon by plantation forests was 1.89 times higher than by natural forests. *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* forests were the main natural forest carbon sinks, while *Pinus elliottii* forests were the main plantation carbon sinks. Carbon density of the three species increased each year and increased  $8.58 \text{ tC/hm}^2$  during the study period; this was 1.66 times higher than in 1985. Forest carbon storage was 4.91, 11.41, and 13.07 Tg C in 1985, 1994, and 2003, respectively. Average amount of carbon fixation was 0.45 Tg C/a per year. Stand area enlarged from  $15.54 \times 10^4 \text{ hm}^2$  in 1985 to  $30.30 \times 10^4 \text{ hm}^2$  in 1994. The carbon density of the three species was higher in the east and west of Taihe County and lower in the middle. It was higher in the east and north of Xingguo County than in the middle. Average carbon density was highest at 700 to 900 m altitude and 25 to 35° slope. Overall, carbon density of forest vegetation increased with increasing altitude and slope.

Afforestation projects contributed significantly to the increase in carbon storage in the red soil hilly region of Jiangxi Province. Understanding the growth patterns of the three species was important for calculation of biomass and carbon storage in these plantation ecosystems, and was crucial for forest management. Reasonable forest management may improve the carbon sequestration capacity of forest ecosystems. Further study should focus on the carbon reservoirs provided by other species and the soil in order to estimate the carbon fixation potential of the whole forest ecosystem.

**Key Words:** compartment data; carbon storage; spatiotemporal dynamics; Jiangxi Province

森林生态系统具有较高的生产力,每年固碳量约占全球陆地生态系统的三分之二。森林生态系统在调节碳氧平衡、减缓大气中  $\text{CO}_2$  等温室气体浓度上升以及应对全球气候变化等方面中具有不可替代的作用<sup>[1-3]</sup>。因此,估算森林生态系统的碳储量,评价森林的碳汇功能,已成为学者研究的热点和重点。

我国东南红壤丘陵区包括长江流域的大部分及其南部,约跨南方 10 个省(区)(琼、桂、粤、赣、湘、闽、浙、鄂、苏、皖),土地面积 113 万  $\text{km}^2$ ,占全国土地总面积的 11.8%<sup>[4]</sup>,属于中亚热带季风湿润气候区,水、热、生物资源丰富,土地利用方式多种多样,是我国主要的粮食产区和人工林区。该区域土地由于长期的不合理利用,植被破坏加剧,水土流失严重,影响农业生产和经济发展。20 世纪 80 年代以来,开展了广泛的红壤丘陵综合开发治理<sup>[5-7]</sup>,土地利用和土地覆被发生很大变化,许多丘陵坡地森林植被得到恢复,森林覆盖率大幅度增加<sup>[8]</sup>。马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国红壤丘陵区人工造林中的主要树种,湿地松(*Pinus elliottii*)虽然不是我国天然分布树种,但 1980 年开始在南方地区有大面积栽培。通过造林能极大地增加植被碳储量,提高陆地碳汇功能<sup>[9-10]</sup>。因此,研究这 3 个造林树种的生长规律,对于估测整个红壤丘陵区人工林生态系统的生物量和固碳能力具有重要的意义。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

本文选择位于江西中南部红壤丘陵区的泰和县和兴国县为研究区域( $26^\circ 03' - 26^\circ 59' \text{N}$ ,  $114^\circ 57' - 115^\circ 51' \text{E}$ )(图 1)。该区域地貌以山地、丘陵为主;县境属亚热带季风气候:气候温和,雨量充沛。泰和县年均气温  $18.6^\circ \text{C}$ ,年无霜期 281 d,年降水量 1726 mm。1981 年全县森林覆盖率仅有 31.3%,20 世纪 80 年代中期以

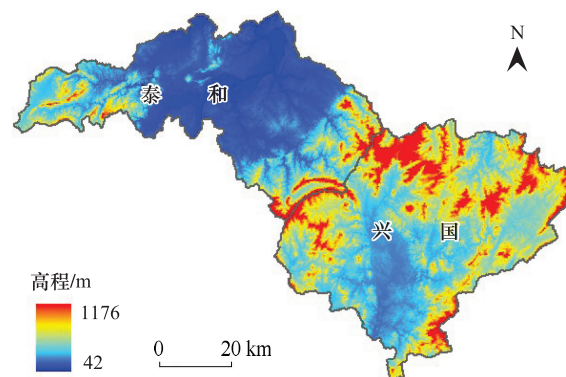


图 1 研究区位置图

Fig.1 Location of study area



来,该县积极开展人工造林,2003 年森林覆盖率已达到 59.3%<sup>[11]</sup>。兴国县年均气温 18.8℃,年无霜期 284 d,年降雨量 1516 mm。历史上曾林木繁茂、山青水秀,但由于长期战火和人为破坏,森林资源大幅度减少,1982 年全县森林覆盖率仅 33.8%,经过 20 多年的综合治理,全县植被的覆盖率得到大大提高,达到 60% 以上<sup>[12]</sup>。

## 1.2 数据

森林小班图(以下简称小班数据)是基于森林资源二类清查数据与森林小班区划图综合而成的。作者收集了泰和县 148 幅、兴国县 204 幅 1:1 万森林小班图及 2003 年的森林资源二类调查小班数据库,其属性包括样地坐标、海拔、地貌、坡度、优势树种、起源、平均年龄、龄组、平均胸径、平均树高、立木蓄积等信息。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 生物量转换因子法

#### (1) 森林植被生物量计算

主要人工造林树种马尾松、湿地松、杉木生物量估算参照方精云的生物量转换因子法<sup>[13-15]</sup>,转换参数见表 1。地上生物量与单位面积蓄积量的转换关系如下:

$$B = a \cdot V + b$$

式中,  $B$  为每公顷地上生物量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ),  $V$  为每公顷活立木蓄积( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ),  $a$ 、 $b$  为参数。

表 1 主要树种生物量和蓄积量转换方程参数<sup>[13]</sup>

Table 1 Parameters for transfer equation of forest biomass and volume of the main species

植被类型 Vegetation type	$a$	$b$	地上/地下 Aboveground biomass/ underground biomass
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.5101	1.0451	6.23
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	0.5168	33.2378	4.12
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.3999	22.5410	4.70

#### (2) 森林植被碳储量计算

森林植被碳储量由乔木层碳储量、林下植被碳储量及枯落物碳储量组成。

乔木层碳储量由小班生物量与树种含碳量的乘积得到,3 种人工林的含碳率数据采用沈文清等在千烟洲的研究结果:马尾松为 55.23%,湿地松为 54.31%,杉木为 53.75%<sup>[16]</sup>。林下植被层及枯枝落叶层碳储量通过碳密度(表 2)与小班面积的乘积得到。

表 2 林下植被层及枯枝落叶层碳密度<sup>[13]</sup>

Table 2 Carbon density of floor vegetation and ground litter / ( $\text{tC}/\text{hm}^2$ )

植被类型 Vegetation type	林下植被层 Floor vegetation	枯枝落叶层 Ground litter
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	5.0	0.25
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	3.9	0.70
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3.3	0.44

### 1.3.2 器官生物量分配法

#### (1) 树干生物量估算

树干生物量由 3 个树种的干物质密度值与树干材积相乘得到,3 种人工林的木材干物质密度采用李轩然等在千烟洲的研究结果:马尾松为  $346.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、湿地松为  $298.9 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、杉木为  $298.8 \text{ kg}/\text{m}^3$ <sup>[17]</sup>。

#### (2) 全株生物量和碳储量估算

全株生物量主要根据不同林分、不同林龄各器官的生物量分配比例来进行估算。邵全琴等通过已发表的

文献资料,总结了马尾松、湿地松、杉木人工林的各器官生物量随林龄的变化数据(表3)<sup>[18-19]</sup>。

全株年固碳量根据全株生物量与3个树种的含碳率数据计算得到。

表3 马尾松、湿地松、杉木人工林不同林龄各器官生物量的比值<sup>[18-19]</sup>  
Table 3 The biomass ratio of each organic for the main species in different ages / %

植被类型(林龄) Vegetation type (Age)	地上部分 Aboveground part			根系 Root	合计 Total
	树干 Stem	树枝 Branch	树叶 Foliage		
马尾松成熟林(22a) Mature stand forests of <i>Pinus massoniana</i>	63.19	15.75	2.97	18.09	100
马尾松中龄林(15a) Middle stand forests of <i>Pinus massoniana</i>	74.95	15.74	3.94	5.37	100
马尾松幼龄林(9a) Young stand forests of <i>Pinus massoniana</i>	76.86	13.00	5.58	4.56	100
湿地松成熟林(22a) Mature stand forests of <i>Pinus elliottii</i>	42.53	39.36	6.54	11.57	100
湿地松中龄林(12a) Middle stand forests of <i>Pinus elliottii</i>	44.10	26.64	13.98	15.28	100
湿地松幼龄林(8a) Young stand forests of <i>Pinus elliottii</i>	32.34	26.77	21.46	19.43	100
杉木成熟林(22a) Mature stand forests of <i>Cunninghamia lanceolata</i>	71.89	12.82	7.69	7.60	100
杉木中龄林(14a) Middle stand forests of <i>Cunninghamia lanceolata</i>	67.01	11.01	9.22	12.76	100
杉木幼龄林(9a) Young stand forests of <i>Cunninghamia lanceolata</i>	59.85	9.13	9.74	21.28	100

### 1.3.3 参数拟合法

本文根据邵全琴等<sup>[19]</sup>在千烟洲由实测样方数据和植株密度得到的3个树种蓄积量与生物量,拟合了两者之间的线性参数 $a$ 、 $b$ (表4):

$$B = a \cdot V + b$$

式中, $B$ 为每公顷乔木层地上、地下生物量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ), $V$ 为每公顷蓄积量( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ), $a$ 、 $b$ 为参数。

表4 主要树种生物量和蓄积量拟合参数  
Table 4 Fitting parameters of forest biomass and volume of the main species

植被类型 Vegetation type	$a$	$b$	$R^2$
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.719	35.78	0.995
湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	0.573	63.40	0.992
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.387	73.38	0.969

### 1.4 验证

本文选择位于泰和县的中国科学院江西省千烟洲生态实验站( $115^{\circ}04'13''\text{E}$ , $26^{\circ}44'48''\text{E}$ )为验证。千烟洲站海拔在100m左右,相对高度20—50 m。年平均气温 $17.9^{\circ}\text{C}$ ,多年平均降水量1489 mm,年日照时数1406 h,无霜期323 d,具有典型亚热带季风气候特征。土壤类型以红壤为主,成土母质多为红色砂岩、沙砾岩或泥岩及河流冲积物<sup>[20]</sup>。土地利用类型以人工林为主,造林时间为1983年,主要造林树种为马尾松、湿地松和杉木等。

选择千烟洲区域为方法验证的原因主要有两个方面,一是千烟洲小流域综合治理模式<sup>[21-23]</sup>是我国红壤丘陵区的典型代表,鄱阳湖流域乃至整个红壤丘陵区的人工林种植模式多数参照了千烟洲模式;二是很多学者已在千烟洲做了大量的研究工作。沈文清等<sup>[16]</sup>用收获法获取千烟洲马尾松、湿地松、杉木的干、皮、枝、叶和根样品,经烘干、研磨,用同位素分析仪测定了3个树种器官加权后的含碳率。李轩然等<sup>[17]</sup>利用排水法实

测 3 个树种的木材干物质密度,用修正后的材积方程与树干密度计算了单木树干生物量,并以  $D^2H$  为自变量的幂函数作为相对生长方程,结合样地每木检尺资料计算了千烟洲站 3 个树种的地上生物量及其在不同器官中的分配。邵全琴等<sup>[19]</sup>设计了基于树木年轮信息动态估算树木材积生长量模型,并利用该模型估算了千烟洲 3 种人工林乔木层生物量和碳储量的年度变化。

利用 ArcGIS 软件对小班区划地形图进行矢量化,并与小班调查数据关联,建立 GIS 数据库,并生成 100m 栅格数据进行统计分析。根据上文阐述的 3 种方法分别计算千烟洲马尾松、湿地松、杉木林乔木层碳密度,并与前人的研究结果比较,可以看出生物量转换因子法(方法一)和器官生物量分配法(方法二)计算得到的碳密度值偏低,而基于采样数据的参数拟合法(方法三)得到的碳密度值与前人的研究结果相近(表 5)。

表 5 千烟洲马尾松、湿地松、杉木林乔木层碳密度值比较  
Table 5 Comparison of carbon densities of the main species in Qianyanzhou (tC/hm<sup>2</sup>)

植被类型 Vegetation type	方法一 Method I	方法二 Method II	方法三 Method III	文献 <sup>[16]</sup> Reference <sup>[16]</sup>	文献 <sup>[17]</sup> Reference <sup>[17]</sup>	文献 <sup>[19]</sup> Reference <sup>[19]</sup>
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	17.09	15.22	39.71	47.04	47.94	66.06
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	48.57	27.58	57.75	59.73	45.14	71.42
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	39.27	22.59	59.05	64.79	37.52	81.96

1.5 本文森林植被碳储量的动态估算

本文根据 3 种方法的比较与验证,采用基于实测数据的参数拟合法估算研究区 2003 年主要造林树种马尾松、湿地松、杉木林的森林植被碳储量和碳密度,得到其空间分布,采用以空间替代时间的方法,即用同一树种在空间上不同林龄的碳密度替代这一树种碳密度在时间序列上的变化,利用 Logistic 方程拟合马尾松、湿地松、杉木林的碳密度与林龄的关系(图 2)。利用回归方程,逐年推算 1985—2002 年研究区的森林植被碳储量。

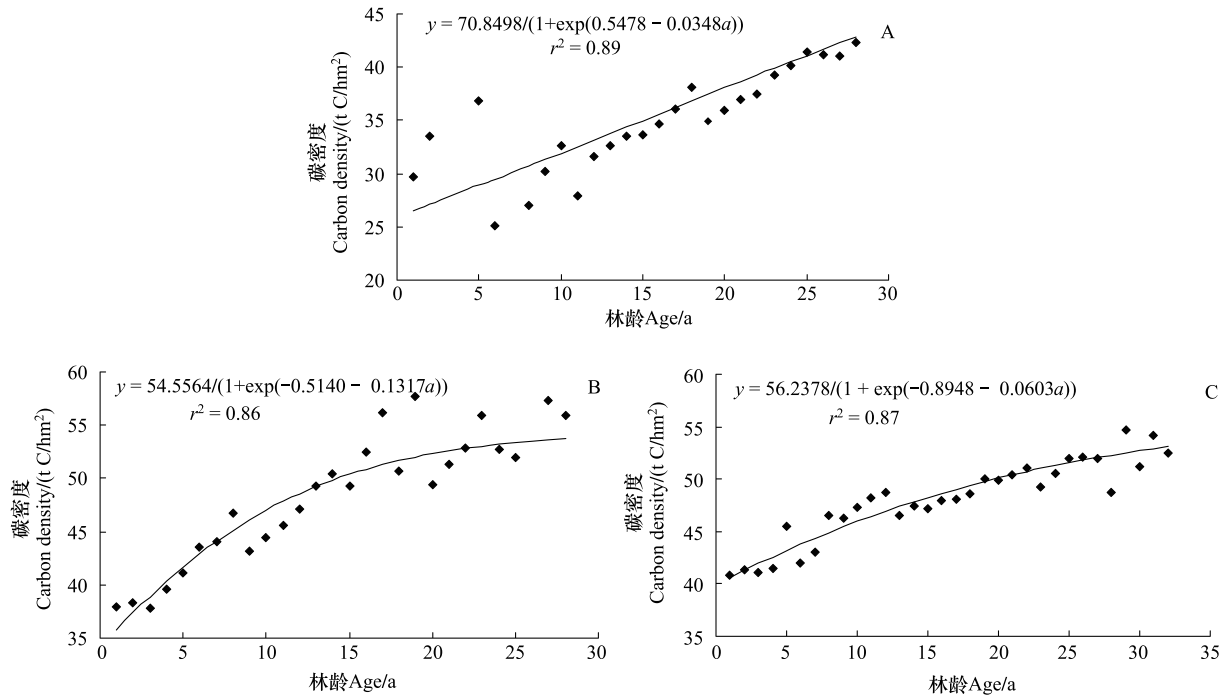


图 2 马尾松(A)、湿地松(B)、杉木林(C)碳密度与林龄的关系曲线  
Fig. 2 Relation curves of forestry carbon density and age for the main species

2 结果与分析

2.1 2003 年研究区主要造林树种碳储量的特征分析

2003 年研究区马尾松、湿地松、杉木林植被总面积  $31.04\times10^4\text{hm}^2$ , 总生物量 22.20 Tg, 总碳储量 13.07 TgC, 平均碳密度  $42.36\text{ tC}/\text{hm}^2$ 。不同森林类型生物量和碳储量大小依次为: 马尾松林>杉木林>湿地松林(表 6)。其中, 马尾松林碳储量最大, 主要是由于其分布范围广、面积大。不同龄组生物量和碳储量大小依次为: 中龄林>幼龄林>近熟林>成熟林, 碳密度随着林龄的增加而增大(表 7)。天然林的碳储量是人工林的 1.89 倍(表 8), 其中, 马尾松林和杉木林是主要的天然林碳库, 分别占其森林植被碳储量的 73.31% 和 77.55%; 湿地松林是主要的人工林碳库, 其人工林的碳储量占 98.99%。

表 6 研究区主要造林树种生物量、碳储量和碳密度  
Table 6 Biomass, carbon storage and density of the main planting species in study area

植被类型 Vegetation type	面积 Area /( $\times10^2\text{hm}^2$ )	生物量/Tg Biomass	碳储量/TgC Carbon storage	碳密度/( $\text{tC}/\text{hm}^2$ ) Carbon density
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	1709.66	10.03	6.32	37.43
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	360.86	3.01	1.74	48.04
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1033.23	9.16	5.01	49.01

表 7 研究区主要造林树种不同林龄生物量、碳储量和碳密度  
Table 7 Biomass, carbon storage and density of different age groups in study area

龄组 Age group	面积 Area /( $\times10^2\text{hm}^2$ )	生物量/Tg Biomass	碳储量/TgC Carbon storage	碳密度/( $\text{tC}/\text{hm}^2$ ) Carbon density
幼龄林 Young stand	1204.71	7.24	4.48	37.15
中龄林 Middle stand	1570.98	12.02	6.96	44.83
近熟林 Near-mature stand	271.30	2.40	1.34	50.03
成熟林 Mature stand	56.77	0.54	0.29	53.51

表 8 研究区主要造林树种不同林分起源生物量、碳储量和碳密度  
Table 8 Biomass, carbon storage and density of different stand origins in study area

林分起源 Stand origin	面积 Area /( $\times10^2\text{hm}^2$ )	生物量/Tg Biomass	碳储量/TgC Carbon storage	碳密度/( $\text{tC}/\text{hm}^2$ ) Carbon density
天然林 Artificial forests	2055.64	14.49	8.54	42.00
人工林 Natural forests	1048.11	7.71	4.53	43.02

2.2 1985—2003 年研究区主要造林树种碳储量的时空分析

由图 3 可以看出, 1985—2003 年研究区主要造林树种碳密度呈逐年上升趋势, 同时森林植被碳储量也增加了 8.16 Tg C。1985—1994 年间研究区森林植被碳密度由  $33.78\text{ tC}/\text{hm}^2$  增加到  $37.66\text{ tC}/\text{hm}^2$ ; 碳储量增加了 6.50 Tg C, 主要是由于该期间实施的造林工程, 使林分面积增加了  $15.76\times10^4\text{hm}^2$ ; 1994—2003 年间森林植被碳密度由  $37.66\text{ tC}/\text{hm}^2$  增加到  $42.36\text{ tC}/\text{hm}^2$ ; 碳储量增加了 1.66 Tg C, 主要是由于林龄的增加, 植被的固碳能力在不断增强。

1985 年, 泰和县主要造林树种碳密度东西部最高, 中部最低; 兴国县主要造林树种碳密度东北部最高, 中部最低(图 4)。由于造林工程的进行, 2003 年研究区马尾松、湿地松、杉木林碳储量是 1985 年的 2.66 倍, 植被碳密度增加了  $8.58\text{ tC}/\text{hm}^2$ 。1985—2003 年间, 人工造林项目使研究区植被的林分面积、碳储量和碳密度均大幅增加, 固碳能力明显提高。

2.3 研究区主要造林树种碳储量的地形差异

为了探讨研究区碳蓄积过程的地形因素, 本文分析了不同海拔、坡度对森林植被碳蓄积的影响。根据江西省地形以丘陵为主, 辅以平原、低丘(海拔不大于 100 m, 相对高差不大于 50 m)、中丘(海拔 101—300 m, 相



对高差 50—200 m)、高丘(海拔 301—500 m,相对高差 200—300 m)、低山(海拔 501—1000 m,相对高差 300—500 m)、中山(海拔 1000 m 以上,相对高差 500 m)的特点,将海拔划分为  $\leq 100$  m、100—300 m、300—500 m、500—700 m、700—900 m、 $>900$  m 6 类。根据江西省县级森林资源二类调查实施细则,将坡度分为 6 级:Ⅰ级为平坡( $0-5^\circ$ ),Ⅱ级为缓坡( $5-15^\circ$ ),Ⅲ级为斜坡( $15-25^\circ$ ),Ⅳ级为陡坡( $25-35^\circ$ ),Ⅴ级为急坡( $35-45^\circ$ ),Ⅵ级为险坡( $>45^\circ$ )<sup>[24]</sup>。

就研究区主要造林树种碳密度的海拔差异而言,海拔位于 700—900 m 之间的碳密度最大,为 47.30 tC/hm<sup>2</sup>;海拔低于 100 m 的碳密度最小,为 40.97 tC/hm<sup>2</sup>。

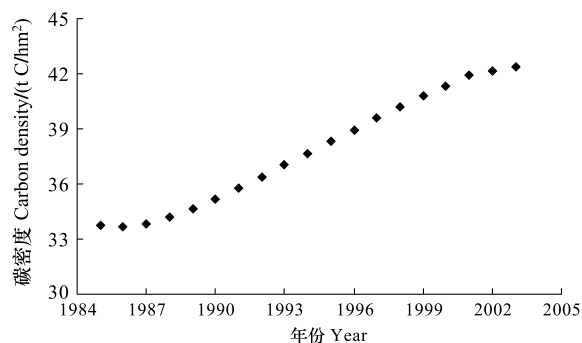


图 3 1985—2003 年研究区主要造林树种碳密度变化

Fig. 3 Changes of carbon density of the main species in study area from 1985 to 2003

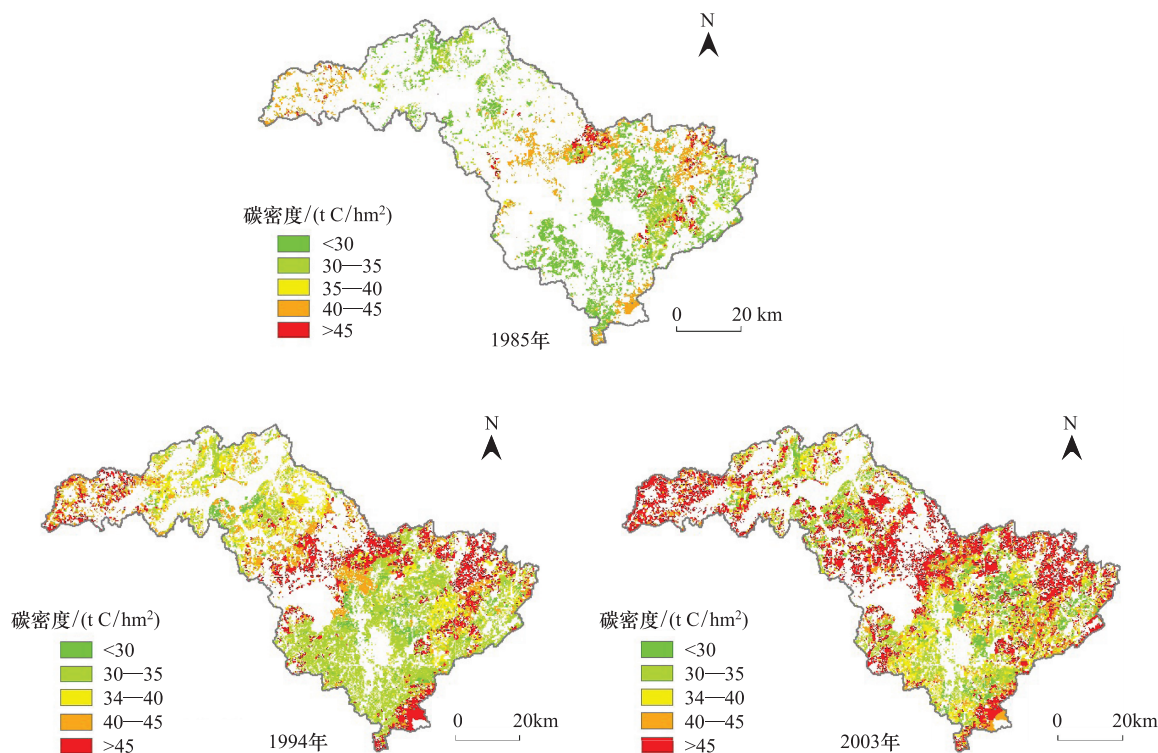


图 4 1985、1994、2003 年研究区主要造林树种碳密度

Fig. 4 Forest carbon density of study area in 1985, 1994 and 2003

在低海拔区域,植被碳密度随海拔呈增加趋势。不同坡度下的森林植被碳密度也有所不同,坡度位于  $25-35^\circ$  之间的碳密度最大,为 44.75 tC/hm<sup>2</sup>;坡度小于  $5^\circ$  的碳密度最小,为 40.46 tC/hm<sup>2</sup>。坡度  $35^\circ$  以下,随着坡度增加,碳密度值增大(表 9)。

### 3 结论与讨论

本文通过比较由生物量转换因子法(BEF 法)、器官生物量分配法估算得到的千烟洲马尾松、湿地松、杉木林乔木层碳密度,并与前人的研究结果相对比,可以看出如果直接引用前人建立的方程或参数而不加任何修正,将会使计算结果有所偏差。因此,本文运用由实地调查资料拟合的生物量和蓄积量回归方程估算了 2003 年江西中南部红壤丘陵区主要人工造林树种的生物量和碳储量。同时,采用空间替代时间的方法,利用 Logistic 方程拟合了 3 个树种林龄与碳密度的曲线关系,估算了研究区 1985—2003 年的森林植被生物量和碳

储量,分析了其时空动态特征。基于实测数据的参数拟合法是对 BEF 方法的一种改进,使其在小尺度区域范围内有更为适合研究区域的本地化参数,相比于全国尺度的 BEF 因子在计算精度上有很大的提高,增大样本量将会使修正结果更加可靠。

表 9 不同海拔、坡度下的研究区森林植被碳密度

Table 9 Forest carbon density of different elevation and slope in study area

海拔/m Elevation	碳密度/(tC/hm <sup>2</sup> ) Carbon density	坡度/(°) Slope	碳密度/(tC/hm <sup>2</sup> ) Carbon density
≤100	40.97	≤5	40.46
>100—300	41.02	>5—15	42.29
>300—500	42.99	>15—25	44.09
>500—700	45.54	>25—35	44.75
>700—900	47.30	>35—45	44.18
>900	46.71	>45	44.39

本文将森林小班数据空间化,尽管工作量大,但却可以方便地估算森林植被碳储量和碳密度,更为主要的是能够提供碳密度的空间分布状况,可以为相关部门的森林经营管理和规划决策提供一定的依据。

本文利用小班空间数据估算了研究区主要造林树种的碳储量,消减了其森林植被碳储量估算的不确定性。本文没有考虑其他树种的植被碳库和土壤碳库,因此没有估算整个森林生态系统的碳储量。

**致谢:**江西省山江湖开发治理委员会办公室樊哲文研究员和方豫研究员帮助收集研究区森林小班图。小班图的数字化由中国科学院地理科学与资源研究所白露女士以及首都师范大学王海洋、乌文治、奚茜、陈平、侯捷、李晓盟、陈浩等同学共同完成。中国科学院地理科学与资源研究所黄麟博士对写作给予帮助,特此致谢。

## References:

- [1] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (5): 733-740.
- [2] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, Solomon A M, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263(5144): 185-190.
- [3] Houghton R A. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35: 313-347.
- [4] Zhao Q G, Wu Z D, Zhang T L. The agricultural sustainable development and ecological environment construction of red soil hilly region in southeast China I. advantages, potential and problems. *Soils*, 1998, 30(3): 113-120.
- [5] Deng X A. Comprehensive development and management of red soil hilly in Qianyanzhou. *Natural resources*, 1990, (4): 25-29.
- [6] Zhang G H, Zhang Z Y, Wang N J, Pi X Y, Zuo C Q. Effect of different ecological restoration measures on soil quality in red soil hilly region in South China. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2007, 27(5): 19-22.
- [7] Zheng H, Ouyang Z Y, Xu W H, Wang X K, Miao H, Li X Q, Tian Y X. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(3/4): 1113-1121.
- [8] Huang L. The Carbon Sequestration of Afforestation in Red Soil Hilly Region in Southern China. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2009.
- [9] Richter D D, Markewitz D, Trumbore S E, Wells C G. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature*, 1999, 400(6739): 56-58.
- [10] Farley K A. Grasslands to tree plantations: forest transition in the andes of Ecuador. *Annals of the Association of American Geographers*, 2007, 97 (4): 755-771.
- [11] Kang C W, Liu G, Xiao C Z. *Annals of Taihe county*. Beijing: Central Party School Press, 1993.
- [12] Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, Pan X Z. Organic carbon pool of forest soil and its relationship to environment factors in Xingguo county of Jiangxi province. *Geographical Research*, 2004, 23(2): 211-217.
- [13] 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.
- [14] Fang J Y, Chen A P, Zhao S Q, Ci L J. Estimating biomass carbon of China's forests: supplementary notes on report published in *Science* (291:

- 2320-2322) by Fang *et al* (2001). *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(2): 243-249.
- [15] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, Zhao S Q, Ci L J. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292(5525): 2320-2322.
- [16] Shen W Q, Liu Y F, Ma Q Y, Yang F T. Research on carbon distribution, carbon storage and carbon sink function of artificial coniferous forests in Qianyanzhou. *Practical Forestry Technology*, 2006, (8): 5-8.
- [17] Li X R, Liu Q J, Chen Y R, Hu L L, Yang F T. Aboveground biomass of three conifers in Qianyanzhou plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1382-1388.
- [18] Yang H J. Study on Carbon Fixation by Plantation of Poyang Lake Basin — Qianyanzhou Experimental Station. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2007.
- [19] Shao Q Q, Huang L, Liu J Y, Yang H J, Chen Z Q. Dynamic analysis on carbon accumulation of a plantation in Qianyanzhou based on tree ring data. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(6): 691-706.
- [20] Cheng T, Li J Y. Studies on ecosystem restoration and sustainable development of agriculture in red earth hilly area. *Resources Science*, 1998, 20 (Suppl): 1-9.
- [21] Development Strategy on Agricultural Resources of Hills Mountain Area in East China. Integrated Scientific Survey Team of Chinese Academy of Sciences in Southern China Mountainous Region. Beijing: Science Press, 1989.
- [22] Ni Z B, Deng X A. Shallow discussion about “Qianyanzhou Pattern” in Jiangxi. *Jiangxi Agricultural Science & Technology*, 1990, (4): 2-3.
- [23] Zhang Z D. Research on mountainous modern agriculture sustainable development in China. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9 (3): 79-83.
- [24] Forest Resources Monitoring Center of Jiangxi. Implementing Regulations of Second Class Survey on Forest Resources in Jiangxi Counties. Nanchang: Forestry Department of Jiangxi Province, 2003.

#### 参考文献:

- [1] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. *生态学报*, 2000, 20(5): 733-740.
- [4] 赵其国, 吴志东, 张桃林. 我国东南红壤丘陵地区农业持续发展和生态环境建设 I. 优势、潜力和问题. *土壤*, 1998, 30(3): 113-120.
- [5] 邓新安. 江西省千烟洲红壤丘陵综合开发治理. *自然资源*, 1990, (4): 25-29.
- [6] 张国华, 张展羽, 王倪进, 皮晓宇, 左长清. 南方红壤丘陵区不同生态恢复措施对土壤质量的影响. *水利水电科技进步*, 2007, 27(5): 19-22.
- [8] 黄麟. 南方红壤丘陵区人工造林的碳蓄积过程. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2009.
- [11] 康臣伟, 刘干, 萧承钊. 泰和县志. 北京: 中共中央党校出版社, 1993.
- [12] 程先富, 史学正, 于东升, 潘贤章. 兴国县森林土壤有机碳库及其与环境因子的关系. *地理研究*, 2004, 23(2): 211-217.
- [13] 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.
- [14] 方精云, 陈安平, 赵淑清, 慈龙骏. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 *Science* 一文 (*Science*, 2001, 291: 2320—2322) 的若干说明. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 243-249.
- [16] 沈文清, 刘允芬, 马钦彦, 杨凤亭. 千烟洲人工针叶林碳素分布、碳贮量及碳汇功能研究. *林业实用技术*, 2006, (8): 5-8.
- [17] 李轩然, 刘琪璟, 陈永瑞, 胡理乐, 杨凤亭. 千烟洲人工林主要树种地上生物量的估算. *应用生态学报*. 2006, 17(8): 1382-1388.
- [18] 杨海军. 鄱阳湖流域人工林碳蓄积效应研究——以千烟洲试验站为例. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2007.
- [20] 程彤, 李家永. 红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展研究. *资源科学*, 1998, 20(增刊): 1-9.
- [21] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 中国亚热带东部丘陵山区农业资源开发策略. 北京: 科学出版社, 1989.
- [22] 倪祖彬, 邓新安. 浅论江西“千烟洲模式”. *江西农业科技*, 1990, (4): 2-3.
- [23] 张正栋. 中国山区现代农业可持续发展研究. *水土保持研究*, 2002, 9(3): 79-83.
- [24] 江西省森林资源监测中心. 江西省县级森林资源二类调查实施细则. 南昌: 江西省林业厅, 2003.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012( Semimonthly )

## CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al ( 1 )
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming ( 7 )
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al ( 17 )
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller ( 27 )
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng ( 38 )
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al ( 48 )
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al ( 56 )
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al ( 64 )
Responses of elm ( <i>Ulmus pumila</i> ) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al ( 74 )
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al ( 81 )
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al ( 93 )
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al ( 101 )
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al ( 111 )
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al ( 123 )
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang ( 135 )
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al ( 142 )
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua ( 151 )
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al ( 159 )
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al ( 168 )
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng ( 176 )
Abundance and composition of CO <sub>2</sub> fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al ( 183 )
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al ( 190 )
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al ( 198 )
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al ( 207 )
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al ( 215 )
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al ( 226 )
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al ( 238 )
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al ( 247 )
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al ( 256 )
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin ( 265 )
<b>Review and Monograph</b>	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun ( 274 )
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al ( 284 )
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing ( 293 )
<b>Scientific Note</b>	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al ( 311 )
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al ( 319 )
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al ( 326 )



# 《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 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 32 No. 1 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:100717	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