

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **2013**

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 33 卷 第 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 陈志强, 陈志彪 (3002)

前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO₂ 释放的温度效应研究进展 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶属性因子的相关性 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-05



封面图说: 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201205180742

何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 田浩, 周艳翔, 胥超, 吕茂奎, 杨玉盛. 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态. 生态学报, 2013, 33(10): 2964-2973.

He S J, Xie J S, Zeng H D, Tian H, Zhou Y X, Xu C, Lü M K, Yang Y S. Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 2964-2973.

红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态

何圣嘉, 谢锦升*, 曾宏达, 田浩, 周艳翔, 胥超, 吕茂奎, 杨玉盛

(湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建师范大学, 福州 350007)

摘要: 运用 RothC (version 26.3) 模型, 并结合“时空代换法”对长汀河田红壤侵蚀退化地马尾松人工恢复后林地表层 (0—20 cm) 土壤有机碳库的动态变化进行了反演和预测, 研究表明: RothC 26.3 模型的模拟结果能够较好地反映红壤侵蚀地植被恢复过程中土壤有机碳的变化趋势; RothC 26.3 模型适用于中亚热带季风气候条件下马尾松林地土壤碳库的动态模拟; 侵蚀退化地在马尾松林建植后, 林地表层土壤碳吸存速率以非线性的形式上升, 并在 15—25 a 时间内达到最大, 马尾松恢复后前 30 a 林地土壤平均碳吸存速率约为 $0.385 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 自马尾松建植后演替至当地顶级群落 (次生林) 全过程中平均碳吸存速率约 $0.156 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 根据模拟结果得到的拟合方程, 计算得到研究区红壤侵蚀退化地的碳饱和容量约为 36.85 tC/hm^2 , 固碳潜力约为 33.26 tC/hm^2 。

关键词: 红壤侵蚀地; 马尾松; 生态恢复; RothC 模型; 有机碳库

Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area

HE Shengjia, XIE Jinsheng*, ZENG Hongda, TIAN Hao, ZHOU Yanxiang, XU Chao, LÜ Maokui, YANG Yusheng

State Key Laboratory for Subtropical Mountain Ecology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: Afforestation in degraded area is thought to be an efficient way commonly adopted all over the world to prevent soil degradation, and plays an important role in alleviating the CO_2 concentration in the atmosphere, which is of great significance to mitigate global climate change. Many studies about the effects of land use change on soil organic carbon have been widely carried out in China, including many aspects such as dynamics of soil organic carbon pool induced by the conversions among natural forests, grassland, plantations and cropland, while the study of dynamics of soil organic carbon pool in the eroded land after vegetation restoration, is still scarce. In this study, we chose several *Pinus massoniana* plantation plots at different stand ages located in Hetian, Changting, as research objects. Combining with space-time replacement method, RothC (version 26.3) model was used to retrieve and predict the dynamics of soil organic carbon in topsoil (0—20 cm) after the restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil. The result showed that RothC (version 26.3) model played well in inversion and prediction of soil organic carbon in topsoil during the restoration of *Pinus massoniana*, and the simulations of soil carbon changes given by RothC model could perfectly reflect the change trend of soil organic carbon in the process of vegetation recovery in southern eroded red soil region. Analysis revealed strong correlations between the simulated and measured values ($r > 0.9$, $P < 0.01$), which suggests that RothC 26.3 model is a feasible tool to assess the dynamic of soil organic carbon pool of *Pinus massoniana* woodland in southern eroded red soil region, under the condition of mid-subtropical monsoon climate. After the plantation of *Pinus massoniana*, the carbon sequestration rate of

基金项目: 教育部和福建省教育厅重点项目 (211083, JA10063); 973 前期课题 (2012CB722203); 教育部创新团队项目 (IRT0960)

收稿日期: 2012-05-18; **修订日期:** 2013-05-20

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

topsoil(0—20cm) in eroded land increases gradually in a nonlinear way, which will reach the utmost in 15 to 25 years, and the average rate of soil carbon sequestration in the first 30 years (after masson pine recovery) is about $0.385 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and the average rate of carbon sequestration during the succession to the local climax community is about $0.156 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Calculated by stimulation fitting equation, the saturated carbon capacity of eroded red soil land is about $36.85 \text{ tC}/\text{hm}^2$ and carbon sequestration potential is $33.26 \text{ tC}/\text{hm}^2$ in study area.

Key Words: eroded red soil; *Pinus massoniana*; restoration; RothC model; organic carbon pool

近年来,退化地造林已成为国际上普遍用于保护土壤,阻止荒漠化,并增加土壤碳吸存的一个方法,而由此新产生的巨大碳汇对缓解今后大气 CO_2 浓度升高、减缓全球气候变化具有重要意义^[1]。随着土地利用/覆被变化对陆地生态系统碳通量的影响成为全球碳循环与气候变化的一大研究热点,围绕土地利用变化对土壤碳库影响的研究在全球范围内得到了广泛的开展^[2],但有关侵蚀退化地植被恢复对土壤有机碳影响的研究仍相对匮乏^[3]。土壤有机碳储量是土壤中动植物残体等有机物质的输入与损失之间的动态平衡^[4],是一个受气候、植被、土壤性状、土地利用变化等因素综合影响的动态变化过程。因此,基于土壤有机碳库静态基础上的研究并不能很好地反映土壤有机碳库的动态变化,而土壤有机碳模型将是唯一可能的方法^[5]。以洛桑实验站 100 多年长期定位试验数据为基础而建立的 RothC 模型,所需参数较少,且易获取,是目前世界上影响较大的土壤碳循环机理模型之一。由于受土壤类型、气候和土地利用变化等因素的限制,RothC 模型在对热带土壤湿度和作物覆盖对有机质分解速度影响^[6]、水稻土有机碳变化的预测^[7]及土地利用变化引起土壤有机碳骤降情况的模拟^[8]可能存在相对较大的偏差;但就整体而言,RothC 模型成功地模拟了世界不同地区耕地、草地以及林地土壤有机碳的周转^[8-11],能够较为准确地反映土壤有机碳的变化趋势。

自 20 世纪 80 年代以来,长期的水土保持生态恢复工作使得南方红壤侵蚀区恢复了大面积的马尾松,在改善当地生态环境、增加林业碳汇等方面成效显著。然而,由于当前有关南方红壤侵蚀区马尾松生态恢复后土壤有机碳库动态的研究甚少,导致在对马尾松水土保持林作效益评价时往往缺少对其碳汇效益的评估^[12]。本研究以 RothC 模型为主要研究手段,旨在研究红壤侵蚀地马尾松恢复过程中土壤有机碳的动态变化,以期 RothC 模型在该地区适用性问题和今后水土保持生态恢复工作及其相应林地碳增汇评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区与试验地概况

长汀县河田镇地处福建西南部汀江上游,东经 $116^{\circ}18'$ — $116^{\circ}31'$,北纬 $25^{\circ}33'$ — $25^{\circ}48'$,海拔 300—500m,属中亚热带季风气候区,年均降雨量、蒸发量分别为 1700mm 和 1403mm;年平均气温 17.5 — 19.2°C 。土壤主要为燕山运动早期形成的中粗粒花岗岩发育的红壤,可蚀性较高,原有地带性植被(常绿阔叶林)基本破坏殆尽,现以马尾松(*Pinus massoniana*)次生林和人工林为主。该镇的水土流失面积为 13586.8 hm^2 ,约占全镇土地面积的 46.7% (2003 年调查资料)^[12]。

本研究中涉及的试验样地包括:(1)植被恢复前对照区,分别于河田镇的游屋背、马坑垄以及石官凹、科教园及乌石寨附近未采取生态恢复措施侵蚀退化地设置对照;对照区的土壤侵蚀一般达强度以上,林地表层土壤流失殆尽,淀积层外露,地表植被以稀疏的马尾松小老头树和少量芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、野古草(*Arundinella setosa*)为主;表层(0—20cm)土壤有机质含量为 1.4 — 5.3 g/kg ,马尾松平均胸径和树高分别为 4.3 — 6.6 cm 与 3.1 — 4.6 cm ,平均林分密度为 $611 \text{ 株}/\text{hm}^2$,林下植被盖度小于 0.6,有的甚至低于 0.3。(2)侵蚀地恢复治理马尾松样地概况见表 1。

1.2 样地布设与采样分析

于 2011 年 7 月在每个试验地设立 3 个 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的标准地,分别进行本底和生物量调查。在每个标准地的上、中、下坡各布设一个样点,调查深度为 1m 土壤剖面的特征,进行分层取样,用环刀法测定土壤的容重和

表 1 研究样地基本概况
Table 1 Basic situation of study area

样地名 Site name	治理年限/a Ages of restoration	经纬度 Latitude longitude	海拔/m Elevation	土壤类型 Soil type	黏粒含量/% Clay fraction	林分密度 /(株/hm ²) Stand density	林下植 被盖度 Coverage of undergrowth	平均胸 径/cm Mean diameter	平均树 高/m Average height
伯湖	6	N 25°37'5.10" E 116°26'17.10"	318	红壤	39.37	1358	0.92	7.60	5.41
乌石岙	7	N25°41'53.00" E 116°26'14.2"	378	红壤	30.05	1462	0.91	9.14	7.01
科教园	8	N25°38'15.01" E 116°27'32.82"	323	红壤	32.70	1017	0.90	9.22	6.12
石官凹	9	N25°36'8.10" E 116°24'0.6"	314	红壤	15.00	1141	0.70	10.46	5.90
游坊	10	N 25°40'4.60" E 116°24'12.50"	328	红壤	29.74	1558	0.80	7.57	5.60
水东坊	26	N25°41'27.32" E 116°24'24.08"	312	红壤	12.90	1192	0.95	17.74	15.58
八十里河	29	N25°40'16.80" E 116°26'7.30"	310	红壤	33.87	2237	0.97	13.55	10.83
次生林 Secondary forest	>100	N25°37'53.68" E 116°27'38.17"	321	红壤	25.94	475	0.95	47.50	18.97

含水量。除此之外,为使表层 0—20cm 土壤样品更加具有代表性,用内径为 5cm 的土钻在每个标准地内根据随机、等量、多点混合的原则,选取 10 个点按 0—10 和 10—20cm 进行分层取样。用浓硫酸-重铬酸钾外加热氧化法测定土壤有机碳含量^[13]。

1.3 RothC 模型

RothC 模型是依据洛桑实验站 100 多年长期定位试验数据建立的,是目前世界上影响较大的土壤碳循环机理模型之一;该模型根据土壤有机碳的分解速率将土壤有机碳库划分为 4 个活性碳库(易分解植物残体(DPM)、难分解植物残体(RPM)、微生物生物量(BIO)、腐殖质(HUM))和 1 个惰性碳库(IOM),各分库有机碳的分解周转见图 1。

1.4 参数输入

1.4.1 气象数据

RothC 26.3 模型所需的气象数据包括月平均温度、月平均降雨量和蒸发量(由长汀县气象局提供,为 1951—1990 近 40 年逐月平均值)(表 2)。

1.4.2 土壤及管理数据

过去一些研究^[15-17]表明本研究区未治理侵蚀退化地表层(0—20cm)土壤有机碳储量大致为 3.29—3.83 tC/hm²,与本研究中游坊屋背样地表层碳储量(3.61 tC/hm²)较为接近,故以此为整个研究区马尾松恢复前侵蚀地碳储量的背景值,作为模型模拟的起始点,运用模型逆向运行计算得到各分库的初始值。造林后的具体措施主要参考之前相关研究以及长汀县 2005、2007、2008 植被恢复工程施工设计,然鉴于水东坊马尾松样地的历史资料相对完整,故以此作为治理初期的管理措施:每 666.7m² 施粗垃圾 1000 kg,猪粪 375 kg,钙镁磷肥 25 kg,硼砂 1 kg,并于种植前施碳铵 25kg,过磷酸钙 11.5 kg;造林成活后追肥两次,每次每 666.7m² 施 1.5kg 尿素,并于第 2 年追施尿素 5kg,第 3 年追施磷酸钙 10kg,碳铵 10kg。

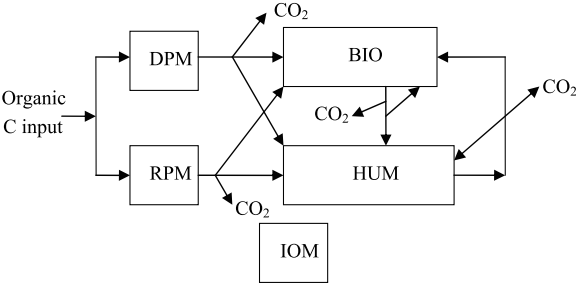


图 1 RothC 模型结构图^[14]

Fig. 1 The structure of the Rothamsted Carbon Model

易分解植物残体 DPM;Decomposable Plant Material; 难分解植物残体 RPM; Resistant Plant Material; 微生物生物量 BIO; Microbial Biomass; 腐殖质 HUM; Humified Organic Matter; 惰性碳库 IOM; →:碳流向 Carbon flow direction

表 2 研究区气象数据
Table 2 Climate data of study area

月份 Month	月平均温度/℃ Mean monthly temperature	月平均 降水量 mm Mean monthly precipitation	月平均 蒸发量/mm Mean monthly evaporation	月份	月平均温度/℃	月平均 降水量/mm	月平均 蒸发量/mm
1	7.84	59.66	62.51	7	27.21	120.17	204.72
2	9.47	106.98	55.86	8	26.90	148.37	194.76
3	13.77	189.51	73.96	9	24.39	104.52	151.78
4	18.71	238.21	100.62	10	19.84	59.43	131.57
5	22.65	294.83	122.64	11	14.57	47.55	94.29
6	25.12	297.32	135.85	12	9.55	45.06	74.47

DPM/RPM 为输入植物残体中易分解有机物质与难分解有机物质的比例,DPM/RPM 的值越小,表示输入有机碳的分解越缓慢。然而,由于一些客观原因本研究没有对该指标进行实测,故采用模型的预设值 0.25 (落叶林地)。样地土壤年植物残体的输入量则通过以植被较差的侵蚀地(游屋背)为背景,在已知土壤有机碳的情况下,运用模型逆向运行的功能计算维持该有机碳水平所需的有机碳数量输入量,之后则以实测样地的植物残体输入量为基础,结合马尾松林年凋落物量与林龄、胸径、树高的关系方程^[18]按比例推算样地每年通过植物残体输入的有机碳量。然而,将实测的 IOM 数据与用 Falloon 等^[18]提出的经验公式($IOM = 0.049TOC^{1.139}$)比较发现,用以上公式计算得到的 IOM 值仅为实测值的 16%—56%。之前 Xu^[20]与 Leifeld^[21]的研究中同样也存在类似的现象。故本研究用实测的 IOM 代替模型模拟得到的初始 IOM 值,并根据以下公式,对年植物残体输入量进行了校正^[20]。

$$M_1 = M_0 \times \left(\frac{\text{Total SOC} - \text{measured IOM}}{\text{Total SOC} - \text{Original modelled IOM}} \right)$$

式中, M_0 和 M_1 分别表示原先计算得到的年植物残体输入量和校正后的年植物残体输入量。本研究中 RothC 26.3 模型所用到的土壤数据及其他数据见表 3。

表 3 模型所需土壤及其他数据
Table 3 Soil and other data required by the model

模型参数 Model parameters	地点 Site								
	游屋背	伯湖	乌石岙	科教园	石官凹	游坊	水东坊	八十里河	次生林
植物残体输入/量($tC \cdot hm^{-1} \cdot a^{-1}$) Input of plant residues	0.19	1.20	1.91	1.53	1.86	1.45	3.23	2.90	—

初始有机碳储量 $3.61 tC / hm^2$; DPM/RPM 0.25; 取样深度 20cm; 黏粒含量 0.28; IOM 含量 $2.71 tC / hm^2$; 植被覆盖情况 自侵蚀裸地马尾松林建植后,1—12 月均有植被覆盖

1.5 数据分析与模拟结果评价

采用 Excel2003 与 SPSS17.0 进行统计和数据分析。利用均方根误差(RMSE)、平均误差(M)、模拟效率值(EF)和决定系数(CD)对模型模拟结果进行评价。

2 结果分析与讨论

2.1 模型校正与结果评价

本研究中利用伯湖、石官凹、乌石岙、水东坊马尾松样地表层土壤的实测有机碳数据(包括历史数据,见表 4)对 RothC 26.3 模型进行了校正,然后用科教园、游坊、八十里河、露湖的实测数据(含部分历史数据,表 4)对模型短期模拟结果进行检验,模型模拟结果评价指标计算结果详见表 5。

从表 4 可以看出,马尾松恢复过程中 0—20cm 土层有机碳储量短期和长期模拟的 r 都在 0.9($P<0.01$)以上,模型模拟值与实测值之间表现出高度正相关;而根据模拟结果和实测值计算得到的平均误差(M)较小,意

意味着模拟结果的整体偏差(一致性误差)较小。然而,由于 M 的计算公式中不包含平方项,使得高于实测值或者低于实测值所产生的偏差可以相互抵消,容易忽略数据间非一致性偏差。CD 值表示模拟值能够解释观测值总体方差的比例,其值大于 1 表示模拟值能够较实测均值更好地描述实测数据。均方根误差(RMSE)通常可直接用于不同模型模拟结果中误差大小的比较,其值越小表示模拟精度越高。总体来看,两个模拟过程中 RMSE 都要小于 20%(表 3—表 6),且土壤有机碳储量长期模拟的 RMSE 值接近 10%,可见模拟预测值与实测值之间达到了较高的一致性;与此同时,模拟效率值(EF)都达到了 0.7 以上则表明模型的模拟效果较好。

表 4 模型校正及验证数据

Table 4 Calibration and verification data of the model

	马尾松林植被恢复年限 Ages of restoration	0—20cm 碳储量 模拟值/(tC/hm ²)	0—20cm 碳储量 实测值/(tC/hm ²)	历史数据文献出处 Historical data references
		Simulation values of carbon storage in 0—20cm soil layers	Observed values of carbon storage in 0—20cm soil layers	
游屋背	对照	3.609	3.61	
露湖	5	7.16	6.62	[22]
	5	7.16	7.11	
伯湖	6	7.55	7.47	
乌石崇	7	7.99	8.28	
科教园	8	8.87	7.43	
石官凹	9	9.22	8.92	
游坊	10	9.83	9.25	
	10	9.83	10.58	
	17	12.82	14.96	[16]
水东坊	26	16.71	16.13	
	24	16.79	20.19	[17]
	25	17.35	21.10	[12]
次生林	29	18.66	15.86	
	87	31.37	32.97	[12]
	89	31.60	34.28	[17]
	93	32.11	32.15	

表 5 模拟值与实测值比较分析

Table 5 Comparative analysis of simulated and measured values

	统计参数 Statistical parameters					
	r	CD	RMSE	EF	M	n
短期模拟 Short-term simulation	0.91	1.49	17.33	0.87	0.33	8
长期模拟 Long-term simulations	0.94	1.18	11.38	0.96	0.63	11

2.2 生态恢复过程中土壤碳库动态

过去红壤侵蚀退化地马尾松恢复过程中土壤有机碳库动态的反演(短期模拟)结果如图 2 所示。在短期模拟的基础上,以封禁治理 26a 的水东坊马尾松样地为背景,假设气候、植物残体输入量等因子不变,对侵蚀退化地植被(马尾松)建植后,在不受人为干扰的情况下,向当地顶级群落(次生林)演替过程中表层土壤有机碳储量的变化进行模拟(图 3),并对为期 180a 的模拟结果进行回归分析,得出了马尾松林表层土壤有机碳储量与其恢复年限的相对关系方程(图 4):

$$y = 3.92363 + 0.65884x - 0.0059x^2 + 2.67778 \times 10^{-5}x^3 - 4.8444 \times 10^{-8}x^4 \quad R^2 = 0.99905 \quad (1)$$

式中, x 为恢复年限(a), y 为有机碳储量(tC/hm²)。

在本研究中,由于在造林前对侵蚀退化地施用了基肥(使侵蚀地 0—20cm 土层有机碳储量已经由原先的

3.61tC/hm² 迅速上升至 7.68tC/hm²),而后又在造林成活后的前几年又进行了多次追肥,从而使侵蚀退化地在马尾松林恢复 6—7a 后,其林地土壤碳储量便表现出净积累(图 2)。由于造林前的频繁整地有效促进土壤有机质的分解,导致土壤有机碳损失;加之马尾松林建植初期林下植被的匮乏,造林整地容易引发较为严重的水土流失,进一步造成土壤有机碳的大量流失;再者,因为造林初期乔木层与根系的生物量都较小,使得土壤凋落物与死亡根系的输入量不足以维持当前土壤有机碳水平,故最终导致马尾松林地土壤有机碳储量在造林后的前 2a 持续下降(下降速率约 0.738 tC·hm⁻²·a⁻¹)(图 2),但随着马尾松幼林的快速生长和林下植被的恢复,林地凋落物输入量快速增加,造林后第 3 年表层土壤有

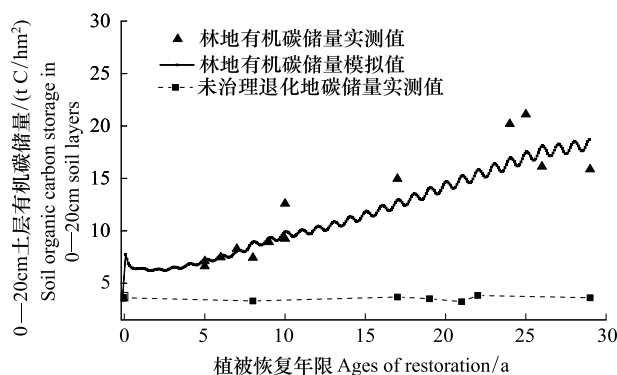


图 2 侵蚀地马尾松恢复后土壤有机碳库动态变化

Fig. 2 Dynamic of soil organic carbon in erosive land during the restoration of *Pinus massoniana*

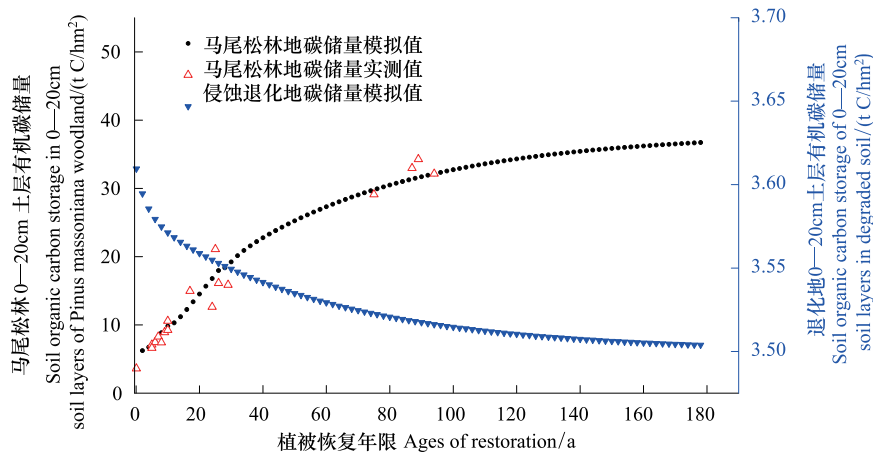


图 3 长期演替土壤有机碳储量动态模拟

Fig. 3 Simulation for dynamic of soil organic carbon during long succession

机碳储量开始出现净增长(图 2,表 6);但与造林前通过堆肥等措施后土壤有机碳储量水平相比,马尾松林恢复后前 5a,林地表层土壤的平均碳吸存速率为 -0.104tC/hm²(表现为碳源),下降幅度达 6.78%(表 6),显著高于 Paul 等^[23]报道的全球造林后的前 5a 土壤有机碳流失水平(3.64%)。

根据图 5 可以看出,侵蚀退化地在马尾松林建植后 15—25a 内,林地表层土壤的碳吸存速率以非线性的形式增加,并达到最大值(约 0.5—0.6 tC·hm⁻²·a⁻¹);而马尾松建植后 30 年内表层土壤碳的平均积累速率约为 0.385 tC·hm⁻²·a⁻¹,略高于之前 Post 和 Kwon^[1]报道的重新建植的森林土壤碳的平均累积速率 0.338 tC·hm⁻²·a⁻¹。而在向当地顶级群落演替过程中,表层土壤碳吸存的速率随恢复时间的变化关系表现为类似于抛物线的形式,长期平均碳吸存速率约为 0.156 tC·hm⁻²·a⁻¹。

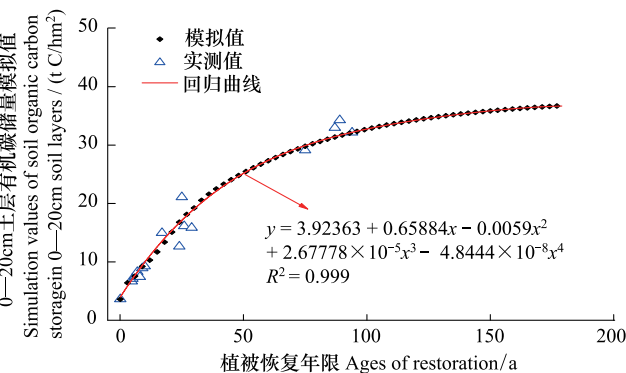


图 4 土壤有机碳动态模拟结果回归分析

Fig. 4 Regression analysis of simulation results of soil organic carbon dynamics

凋落物中的各个组分对林地养分归还的贡献有着较大的差别,其中凋落的针叶对马尾松林地养分归还的影响最大^[24],频繁的清除林下凋落物(特别是松针)将直接减少土壤有机物质和养分的输入量。由于无法统计历史上这类人为干扰的频数与强度,故本研究中没有排除这一人为干扰,可能使模拟结果存在一定的高估,造成估算得到的碳吸存量及壤碳吸存速率偏大。但就整体而言,RothC 26.3 模型还是较好地模拟了侵蚀退化红壤马尾松恢复后林地表层土壤有机碳库的动态变化。

表 6 植被恢复后前 5 年 0—20cm 土层碳库动态
Table 6 Dynamic of 0—20cm soil organic carbon in first 5 years after restoration

	植被恢复年限 Ages of restoration					
	0	1	2	3	4	5
有机碳储量/(tC/hm ²) Storage of organic carbon	7.6804	6.3336	6.2386	6.4135	6.7382	7.1599
碳吸存速率/(tC·hm ⁻² ·a ⁻¹) Rate of soil carbon sequestration	—	-1.3468	-0.095	0.1749	0.3247	0.4217

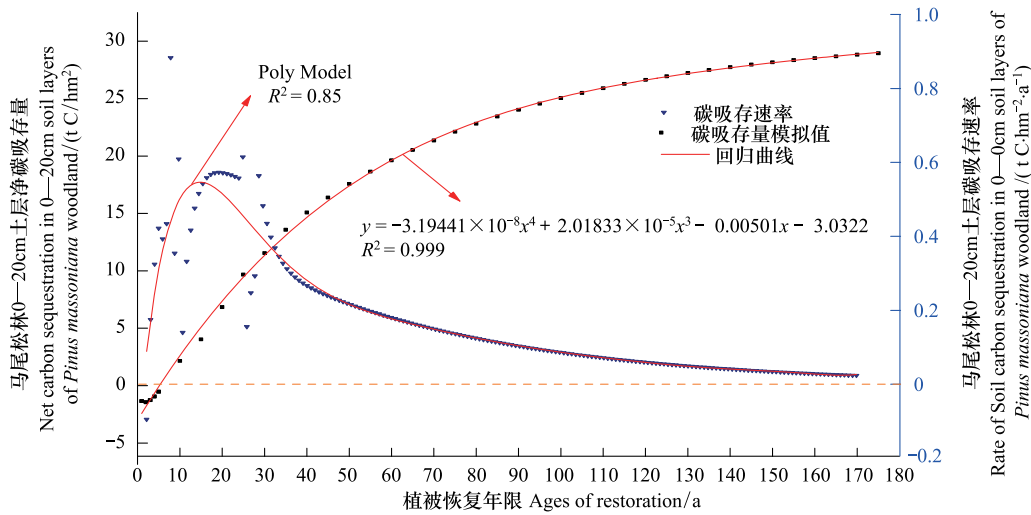


图 5 恢复过程中表层土壤净碳吸存量及固碳速率变化
Fig. 5 Quantity and rate of net carbon sequestration in topsoil during the restoration

2.3 林地土壤碳汇效益及固碳潜力评价

土壤碳吸存的速率、碳库的大小及质量通常取决于气候、土壤、树种、凋落物的性质等因子的综合作用,而土壤碳吸存速率在时间尺度上变化表现为非线性^[25],也就意味着土壤中所能固定的碳并非无限增加的,而是存在一个最大固持量,即碳饱和水平^[26]。直接外推法和模型法是目前有关土地利用/覆被变化后土壤碳汇效益及固碳潜力评价的主要手段。本研究以未经治理的侵蚀退化地(CK₁)为对照,根据直接外推法计算了侵蚀退化地马尾松植被恢复过程中的碳汇效益;根据之前得到的马尾松林表层土壤有机碳储量与其恢复年限的相对关系方程计算出 0—20cm 土层碳吸存达到平衡时所需的时间(约 184a)和碳储量(36.85 tC/hm²),并以此为得到不同恢复阶段土壤的固碳潜力和最大固碳潜力(33.26 tC/hm²)(表 7)。整个演替过程中表层土壤的碳汇量及固碳潜力的计算公式如下:

SCS = - 4.8444 × 10⁻⁸ x⁴ + 2.67778 × 10⁻⁵ x³ - 0.0059 x² + 0.65884 x + 3.92363 - ck₁ (2)

CSP = SOC_{balance} - SOC_{current} (3)

式中,SCS 为 0—20cm 土层碳汇量(tC/hm²),x 为马尾松治理恢复年限(a),ck₁ 为侵蚀裸地(游坊屋背)表层(0—20cm)有机碳储量(tC/hm²);SOC_{balance} 为平衡时土壤碳储量(tC/hm²),SOC 为当前土壤碳储量(tC/hm²)。

表 7 侵蚀退化地马尾松恢复过程中表层土壤碳汇及固碳潜力

Table 7 Carbon sink and sequestration potential of topsoil during the restoration

土地利用变化 Change of land use	0—20cm 土层碳 汇量/(tC/hm ²) Carbon sequestration of 0—20cm soil layers	所需恢复 时间/a Time required for restoration	0—20cm 土层固 碳潜力/(tC/hm ²) Potential of carbon sequestration for 0—20cm soil layers	备注 Remarks
侵蚀退化红壤	5	7—8	27.98—28.86	侵蚀退化地表层土壤碳
马尾松林恢复	10	18—19	22.90—23.47	储量:3.61 tC/hm ²
Restoration of <i>Pinus</i>	20	43—44	13.03—13.28	平衡时碳储量:36.85 tC/hm ²
<i>massoniana</i> in	30	110—111	3.18—3.28	
degraded red soil	30—33.26	184—185	0	

根据表 7 可以发现,侵蚀退化地在马尾松恢复 20a 内,林地 0—20cm 土层对碳的固持量比治理前净增了 10 tC/hm²,而在接下来的 25a 内的平均碳吸存速率下降为 0.372 C·hm⁻²·a⁻¹,碳汇量从 20 tC/hm² 上升至 30 tC/hm² 所需的时间约为 67a,特别是从当土壤有机碳储量接近饱和时,表层土壤碳汇量增加 3.26 tC/hm²(从 30 tC/hm² 上升为 33.26 tC/hm²)所需的时间更是长达 74a 左右。由此可见,当土地利用方式或者土地管理措施发生变化后,土壤碳吸存的速率通常可以在短期内达到最大值^[27];具体表现为土壤有机碳水平越低(与饱和水平的差距越大),土壤碳更为容易快速积累,且随着土壤有机碳的不断积累(与饱和水平的差距不断缩小),土壤对有机碳的固持能力不断下降^[25];特别是当土壤有机碳含量接近甚至达到饱和容量时,即便有外源碳的输入,土壤有机碳库亦不再增加^[28]。

然而,土壤有机碳水平只是该地区天然条件(生产力、水分状况、温度等)下碳输入与损耗的平衡状态的反映,但并不是该地区土壤有机碳储量上限的体现^[26]。因此,当外界条件发生改变(如:气候变化等),将影响土壤有机碳的平衡水平。目前国际上用于土壤有机碳动态模拟的模型基本是以一级动力学方程为基础来模拟土壤中各个分库(模型概念库)有机质的分解,这也就意味着土壤达到平衡时的有机碳储量与外源碳的输入量具有线性关系;尽管这些模型对有机碳水平在中等以下的土壤的碳动态的模拟效果较好,但随着外源碳输入的提高,可能会使有机碳周转模型过高地估计土壤真正的固碳能力。正是基于土壤有机碳周转模型可能存在的不足,West^[28]和 Stewart^[29]认为当土壤有机碳水平与其饱和值之间的差距较大时,采用一级动力学方程可以较好地实现土壤有机碳动态变化的模拟预测,但当土壤有机碳储量逼近碳平衡点时,用渐近线方程代替一级动力学方程可以更好地模拟碳库动态。本研究中对侵蚀退化地马尾松恢复过程中林地土壤碳平衡点的估算是建立在有机碳输入量、分解速率、气候条件等不变、以及没有人为干扰破坏的前提下进行的。特别是气候条件的改变,将直接或者间接地影响外源碳的输入及土壤有机碳的分解,对土壤有机碳储量饱和容量的模拟预测造成一些不确定的影响,需今后进一步研究;由于研究过程中忽略了一些实际存在的人为干扰和破坏,将低估侵蚀地马尾松演替过程中土壤碳储量达到饱和点所需的时间。

3 结论

(1) RothC 26.3 模型可以较好的模拟红壤侵蚀退化地马尾松恢复过程中 0—20cm 土层有机碳库的动态变化,短期模拟和长期模拟都较好地反映了植被恢复过程中土壤有机碳的变化趋势(R^2 达 0.8 以上)。侵蚀退化地在马尾松林建植后,林地表层土壤碳吸存速率以非线性的形式上升,并在 15—25a 内到达最大值约 0.5—0.6 tC·hm⁻²·a⁻¹,植被建植后 30a 内表层土壤碳的平均积累速率为 0.385 tC·hm⁻²·a⁻¹,红壤侵蚀退化地自马尾松建植之后演替至当地顶级群落整个过程中林地平均碳吸存速率为 0.156 tC·hm⁻²·a⁻¹。

(2) 根据模拟结果的拟合方程,计算得到研究区红壤侵蚀退化地 0—20cm 土层的碳饱和容量约为 36.85 tC/hm²,固碳潜力约为 33.26 tC/hm²(扣除对照后)。

(3) 红壤侵蚀退化地在马尾松恢复 20 年内,林地 0—20cm 土层净碳汇量约为 10 tC/hm²;而在接下来的 25 年内,平均碳吸存则速率下降为 0.372 tC·hm⁻²·a⁻¹;碳汇量从 20 tC/hm² 上升至 30 tC/hm² 所需的时间约为 67a,特别是从当土壤有机碳储量接近饱和时,表层土壤碳汇量增加 3.26 tC/hm²(从 30 tC/hm² 上升为 33.26

tC/hm²)所需的时间更是长达 74a 左右。

References:

- [1] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 2000, 6(3): 317-327.
- [2] Wang F G, Wang Q J, Wang W Y, Jing Z C. Research progress on soil organic matter. *Pratacultural Science*, 2008, 25(2): 48-54.
- [3] Yang Y S, Xie J S, Chen G S, Guo J F. Dynamic of Carbon Sequestration in Degraded Red Soil after Restoration. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(5): 17-19
- [4] Sartori F, Lal R, Ebinger M H, Eaton J A. Changes in soil carbon and nutrient pools along a chronosequence of poplar plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 122(3): 325-339
- [5] Yuan S F, Yang L X. Review of soil organic carbon pool and its models progress. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(3): 738-743.
- [6] Wu J, O'Donnell A G, Syers J K, Adey M A, Vityakon P. Modelling soil organic matter changes in ley-arable rotations in sandy soils of Northeast Thailand. *European Journal of Soil Science*, 1998, 49(3): 463-470.
- [7] Tong C L, Wu J S, Xiang W S, Liu Z Y, Jiang P, Liu S L. Simulating of organic carbon changes in paddy soils in the middle basin of Yangtze river. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(3): 229-233.
- [8] Nieto O M, Castro J, Fernández E, Smith P. Simulation of soil organic carbon stocks in a Mediterranean olive grove under different soil-management systems using the RothC model. *Soil Use and Management*, 2010, 26(2): 118-125.
- [9] Paul K I, Polglase P J. Calibration of the RothC model to turnover of soil carbon under eucalypts and pines. *Australian Journal of Soil Research*, 2004, 42(8): 883-895.
- [10] Parshotam A, Tate K R, Giltrap D J. Potential effects of climate and land use change on soil carbon and CO₂ emissions from New Zealand's indigenous forests and unimproved grasslands. *Weather and Climate*, 1995, 15(2): 47-56.
- [11] Guo L, Falloon P, Coleman K, Zhou B, Li Y, Lin E, Zhang F. Application of the RothC model to the results of long-term experiments on typical upland soils in northern China. *Soil Use and Management*, 2007, 23(1): 63-70.
- [12] Xie J S, Yang Y S, Jie M S, Huang S D, Zhong B L, Yue H. Effects of vegetation restoration on carbon sequestration in degraded red soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 95-98, 123-123.
- [13] State Forestry Administration. Forest Soil Analysis Methods(Department of National Forestry Criteria of PRC). Determination of organic matter in forest soil and calculation carbon-nitrogen ratio(LY-T 1237—1999). Beijing: China Standards Press, 1999.
- [14] Liu D L, Chan K Y, Conyers M K. Simulation of soil organic carbon under different tillage and stubble management practices using the Rothamsted carbon model. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104(1): 65-73.
- [15] Yang Y S, He R H, Qiu R H, Luo X S. Effects of different recover and restoration measures on plant diversity and soil fertility for serious degradation ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 490-494.
- [16] Xie J S, Yang Y S, Chen G S, Guo J F. Studies of change of soil properties after closing of hillsides and management to facilitate afforestation in serious eroded red soil. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2002, 22(3): 236-239.
- [17] Jiang F S, Huang Y H, Lin J S, Yue H, Li D C. Changes of soil quality in severely-eroded region of red soil under different restoration measures. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2011, 40(3): 290-295.
- [18] Huang C C, Ge Y, Zhu J R, Yuan W G, Qi L Z, Jiang B, Shen Q, Chang J. The litter of *Pinus massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province and its relationship with the community characters. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2507-2513.
- [19] Falloon P D, Smith P, Smith J U, Szabó J, Coleman K, Marshall S. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 27(3): 236-241.
- [20] Xu X L, Liu W, Kiely G. Modeling the change in soil organic carbon of grassland in response to climate change: Effects of measured versus modelled carbon pools for initializing the Rothamsted Carbon model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 140(3/4): 372-381.
- [21] Leifeld J, Reiser R, Oberholzer H R. Consequences of conventional versus organic farming on soil carbon: results from a 27year field experiment. *Agronomy Journal*, 2009, 101(5): 1204-1218.
- [22] Yue H. Analysis on the impacts and the ecological benefits of different conservation measures to vegetation growth on the serious eroded mountain areas. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2008, 20(3): 23-27.
- [23] Paul K I, Polglase P J, Nyakuengama J G, Khanna P K. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 2002, 168(1/3): 241-257.
- [24] Yang H X, Wang S L, Fan B, Zhang W D. Dynamics of annual litter mass and nutrient return of different age Masson pine plantations. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(12): 2334-2340.

- [25] Freibauer A, Rounsevell M D A, Smith P, Verhagen J. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 2004, 122(1): 1-23.
- [26] Six J, Conant R T, Paul E A, Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 2002, 241(2): 155-176.
- [27] Smith P, Smith J U, Powlson D S, McGill W B, Arah J R M, Chertov O G, Coleman K, Franko U, Frolking S, Jenkinson D S, Jensen L S, Kelly R H, Klein-Gunnewiek H, Komarov A S, Li C, Molina J A E, Mueller T, Parton W J, Thornley J H M, Whitmore A P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 1997, 81(1/2): 153-225.
- [28] West T O, Six J. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*, 2007, 80(1/2): 25-41.
- [29] Stewart C E, Plante A F, Paustian K, Conant R T, Six J. Soil carbon saturation: Linking concept and measurable carbon pools. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(2): 379-392.

参考文献:

- [2] 王发刚, 王启基, 王文颖, 景增春. 土壤有机碳研究进展. *草业科学*, 2008, 25(2): 48-54.
- [3] 杨玉盛, 谢锦升, 陈光水, 郭剑芬. 红壤侵蚀退化地生态恢复后 C 吸存量的变化. *水土保持学报*, 2002, 16(5): 17-19.
- [5] 苑韶峰, 杨丽霞. 土壤有机碳库及其模型研究进展. *土壤通报*, 2010, 41(3): 738-743.
- [7] 童成立, 吴金水, 向万胜, 刘子勇, 蒋平, 刘守龙. 长江中游稻田土壤有机碳计算机模拟. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(3): 229-233.
- [12] 谢锦升, 杨玉盛, 解明曙, 黄石德, 钟炳林, 岳辉. 植被恢复对侵蚀退化红壤碳吸存的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 95-98, 123-123.
- [13] 国家林业局. 森林土壤分析方法 (中华人民共和国林业行业标准). (LY-T 1237—1999). 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [15] 杨玉盛, 何宗明, 邱仁辉, 罗学升. 严重退化生态系统不同恢复和重建措施的植物多样性与地力差异研究. *生态学报*, 1999, 19(4): 490-494.
- [16] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 郭剑芬. 严重侵蚀红壤封禁管理后土壤性质的变化. *福建林学院学报*, 2002, 22(3): 236-239.
- [17] 蒋芳市, 黄炎和, 林金石, 钟炳林, 岳辉, 李德成. 不同植被恢复措施下红壤强度侵蚀区土壤质量的变化. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2011, 40(3): 290-295.
- [18] 黄承才, 葛滢, 朱锦茹, 袁位高, 戚连忠, 江波, 沈琪, 常杰. 浙江省马尾松生态公益林凋落物及与群落特征关系. *生态学报*, 2005, 25(10): 2507-2513.
- [22] 岳辉. 强度侵蚀山地不同治理措施对植被生长的影响及其生态效益分析. *亚热带水土保持*, 2008, 20(3): 23-27.
- [24] 杨会侠, 汪思龙, 范冰, 张伟东. 不同林龄马尾松人工林年凋落量与养分归还动态. *生态学杂志*, 2010, 29(12): 2334-2340.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO₂ efflux: a review SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar $\delta^{13}\text{C}$ and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 高玉葆

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 33 卷 第 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元