

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

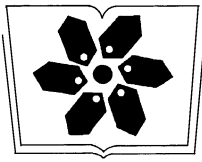
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

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33卷第3期

2013年2月 (半月刊)

目次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

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

DOI: 10.5846/stxb201203240400

饶恩明, 肖燚, 欧阳志云, 郑华. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(3): 0746-0755.

Rao E M, Xiao Y, Ouyang Z Y, Zheng H. Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0746-0755.

海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素

饶恩明, 肖 燚*, 欧阳志云, 郑 华

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 土壤保持是生态系统提供的重要调节服务之一, 在区域侵蚀控制以及生态安全的维持方面具有不可替代的作用。以基于生态系统服务价值化和权衡得失综合评价工具 InVEST, 对海南岛生态系统土壤保持功能的空间特征及其影响因素进行了分析与探讨。结果表明: (1) 海南岛土壤保持总量为 8.16×10^8 t, 平均单位面积土壤保持量为 $247.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 空间上呈现中部高四周低的分布格局, 中部山区国家级生态功能保护区在土壤保持功能的保育方面发挥着重要作用; (2) 不同生态系统类型的土壤保持功能从大到小依次为: 灌丛 > 天然林 > 草地 > 橡胶林 > 浆纸林 > 热作园 > 水田 > 旱地 > 红树林 > 防护林, 自然生态系统整体优于人工生态系统; (3) 除自然因素外, 经济发展、人口增长以及农田扩张都是影响土壤保持功能的重要因素, 其中单位面积地区生产总值、单位面积第一产业生产总值、人口密度以及农田比例与单位面积土壤保持量显著负相关 ($P < 0.05$), 橡胶林比例与土壤侵蚀强度显著正相关 ($P < 0.01$), 说明海南岛的经济发展与人口增长会削弱生态系统土壤保持功能, 应权衡它们之间的关系, 探索一条发展经济与保护生态系统土壤保持功能并举的可持续发展之路。

关键词: 土壤保持; 生态系统服务; 海南岛; InVEST

Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island

RAO Enming, XIAO Yi*, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085 China

Abstract: Soil conservation service, as one of the most important regulating services provided by ecosystems, guarantees the ecological security and sustainable development of a region. We quantified the soil conservation service of ecosystems in Hainan Island using the InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) tool, so as to have a knowledge of its spatial characteristics and impact factors, which could be used for its preservation and ecosystem management then. Our results showed that, the amount of soil preserved by ecosystems of Hainan Island was approximately 8.16×10^8 t, and the average capacity per unit area was $247.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ for the entire region. With regard to the spatial pattern, the central part displayed a much higher capacity than surrounding areas in general, which could be confirmed from the comparison of soil conservation capacity between inside and outside of Mountainous Area of Central Hainan National Ecological Function Conservation Area (NEFCA). Consequently, this NEFCA could be considered to be making a great contribution in preserving soil conservation service in Hainan Island. We also found that, the soil conservation capacity differed widely across various ecosystems, with a descending order from shrubs, natural forests, to grasslands, rubber plantations, pulp forests, tropical plantations, paddy lands, dry lands, mangroves, and shelterbelts. Natural ecosystems were generally found to perform better than artificial ones in terms of conserving soil resource. Besides natural factors,

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2009CB421105); 中国科学院国际合作项目(GJHZ0948); 戈登和贝蒂摩尔基金

收稿日期: 2012-03-24; **修订日期:** 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaoyi@rcees.ac.cn

economic development, population explosion and farmland expansion are important factors influencing soil conservation service. Indicators such as gross regional product per area, GDP of primary industry per area, population density and area ratio of farmland, showed a negative relationship with soil conservation capacity ($P < 0.05$), while area ratio of rubber plantation showed a positive relationship with soil erosion rate ($P < 0.01$). In conclusion: (1) the central mountainous area was so important for erosion control and ecological security maintenance in Hainan Island, that it should be protected carefully; (2) natural forests performed much better than rubber plantations and dry lands in soil conservation, although their economic benefits went the opposite way. Ignorance of ecological benefits ought to be prohibited and preservation of natural forests should be strictly and continuously implemented; (3) traditional agriculture should be transformed to intensive one, so as to increase both productivity and ecological benefits of farmlands; (4) the economic development and population explosion in Hainan Island might impair soil conservation service of ecosystems, as a result, tradeoffs should be made to realize sustainable development.

Key Words: soil conservation; ecosystem services; Hainan Island; Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

生态系统服务是人类生存与发展的基础^[1];土壤保持,作为生态系统调节服务之一,在预防全球性环境问题——土壤侵蚀,维持区域生态安全与可持续发展中发挥重要作用。早在 20 世纪 80 年代初,学术界已开始关注农田侵蚀对农业发展乃至粮食安全的严重威胁^[2],广泛开展了农田侵蚀损失评估^[3-4]。随着生态系统服务研究的兴起与不断深入,人们逐渐将重心转移到生态系统抑制土壤侵蚀所避免的损失,即土壤保持价值上来,代表性研究如 Costanza 对全球生态系统土壤保持功能价值的估算^[5]。然而,早期基于统计资料的评估对于需要详尽空间特征的管理与决策过程显得有些力不从心,于是以通用土壤流失方程(USLE)为代表的基于 GIS 与 RS 的模型方法应运而生^[6-11]。近年来,美国斯坦福大学、大自然保护协会和世界自然基金会联合开发了生态系统服务价值化和权衡得失综合评价工具(InVEST)^[12],其中土壤保持模块(Avoided Reservoir Sedimentation)在 USLE 基础上加以改进,使土壤保持功能评估的合理性和准确性均得到提升。该模型已成功应用于美国宾夕法尼亚州阿勒格尼县东南^[13]与北京山区^[14]土壤侵蚀的模拟以及白洋淀流域^[15]和长江上游^[16]生态系统土壤保持功能的研究。

海南岛是我国热带雨林、季雨林的重要分布区(生物多样性异常丰富),同时也是水土流失敏感性极高的地区^[17],生态系统土壤保持功能在海南岛土壤资源保护、生物多样性维持以及生态安全保障方面发挥着极为重要的作用。然而,随着人口的急剧增长以及经济的快速发展,海南岛生态系统正在遭受人类活动强烈干扰,天然林面积日益减少,低海拔地区原生植被破坏殆尽^[18-19],土壤保持等生态系统服务正在发生退化^[20]。与此同时,作为我国第一个生态省,海南高度重视环境保护与生态建设,并于 2005 年规划实施了海南中部山区国家级生态功能保护区^[21],为海南生态环境的保护作出了不懈努力。本文以 InVEST 模型为工具,对海南岛生态系统土壤保持功能的空间特征及其影响因素进行深入分析与探讨,以为海南岛土壤保持功能的保育与管理提供科学指导。

1 研究区概况

海南岛位于我国广东雷州半岛以南,北纬 18°10'04"至 20°0'40",东经 108°30'43"至 111°2'33"之间,行政上包括 2 个地级市,6 个县级市,4 个县,6 个民族自治县和 1 个经济开发区,总面积 3.39 万 km²。其地形地貌复杂,由山地、丘陵、台地、平原等形成以中部高山为核心,向四周逐渐递降的梯级结构^[22],由此形成了独特的放射状入海水系。因地处热带北缘,海南岛全年气温高(年均气温 22—26℃),终年无霜冻。受海洋性季风气候影响,区内雨水资源充沛(年均降雨量 1639 mm),但时空差异大,中部山地的屏障作用导致降水量在东部迎风区(2000—2400 mm)远大于西部背风区(1000—1200 mm)。由于地形、气候等因素影响,土壤分布具有明显的垂直地带性和地域性,由沿海至山地依次为滨海沼泽化盐土、滨海砂土、砖红壤(西南为燥红土)、山地

赤红壤、山地黄壤等,地带性土壤为砖红壤^[23]。

海南中部山区国家级生态功能保护区(以下简称功能区)位于海南岛中南部,包括五指山市、琼中县的全部以及三亚、东方、白沙、昌江、乐东、陵水、保亭 7 个市的部分乡镇,面积 0.87 万 km²,占海南岛国土面积的 25.64%,是海南岛的生态屏障、主要江河发源地、重要水源涵养区和水土保持重点预防保护区。

2 研究方法与数据来源

2.1 基本原理

根据 InVEST 模型中土壤保持模块^[12]的计算原理,生态系统土壤保持量包含侵蚀减少量和泥沙持留量两部分。前者反映各地块对自身潜在侵蚀的减少,以潜在侵蚀与实际侵蚀的差表示;后者表示该地块对进入它的上坡来沙的持留,以来沙量与泥沙持留效率的乘积表示。

模型基本形式如下:

$$\text{SEDRET}_x = R_x \cdot K_x \cdot LS_x \cdot (1 - C_x \cdot P_x) + \text{SEDR}_x \quad (1)$$

$$\text{SEDR}_x = SE_x \sum_{y=1}^{x-1} \text{USLE}_y \prod_{z=y+1}^{x-1} (1 - SE_z) \quad (2)$$

$$\text{USLE}_x = R_x \cdot K_x \cdot LS_x \cdot C_x \cdot P_x \quad (3)$$

式中,SEDRET_x 和 SEDR_x 分别为栅格 *x* 的土壤保持量和泥沙持留量,USLE_x 和 USLE_y 分别为栅格 *x* 及其上坡栅格 *y* 的实际侵蚀量,*R_x*、*K_x*、*LS_x*、*C_x* 和 *P_x* 分别为栅格 *x* 的降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、地形因子、覆盖管理因子和水土保持措施因子,*SE_x* 为栅格 *x* 的泥沙持留效率。

2.2 参数准备

2.2.1 降雨侵蚀力因子(*R*)

降雨是引起土壤侵蚀的主要驱动力,降雨侵蚀力表征了降雨引起土壤发生侵蚀的潜在能力^[24-25]。鉴于海南岛与福建省雨型特征的相似性,本研究采用周伏建等根据福建省实测数据建立的 *R* 值计算式^[26]:

$$R = \left[\sum_{i=1}^{12} (-1.5527 + 0.1792P_i) \right] \times 17.02 \quad (4)$$

式中,*R* 为多年平均降雨侵蚀力(MJ·mm·hm⁻²·h⁻¹·a⁻¹),*P_i* 为月均降雨量(mm)。

2.2.2 土壤可蚀性因子(*K*)

土壤可蚀性衡量了土壤颗粒被水力分离和搬运的难易程度,是反映土壤对侵蚀敏感程度的指标^[27],通常用标准小区上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量来表示^[24]。土壤性质中的土壤质地、有机质含量、土体结构、渗透性等决定了土壤可蚀性的大小。本文采用 EPIC 模型中的公式进行计算,并根据张科利的研究对结果进行校正^[27]。

$$K_{\text{EPIC}} = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256m_s(1 - m_{\text{silt}}/100)]\} \times [m_{\text{silt}}/(m_c + m_{\text{silt}})]^{0.3} \times \\ \{1 - 0.25 \text{orgC}/[\text{orgC} + \exp(3.72 - 2.95 \text{orgC})]\} \times \\ \{1 - 0.7(1 - m_s/100)/\{(1 - m_s/100) + \exp[-5.51 + 22.9(1 - m_s/100)]\}\} \quad (5)$$

$$K = (-0.01383 + 0.51575K_{\text{EPIC}}) \times 0.1317 \quad (6)$$

式中,*K* 为土壤可蚀性(t·hm²·h·hm⁻²·MJ⁻¹·mm⁻¹),*m_s*、*m_{silt}*、*m_c* 和 orgC 分别为砂粒(0.05—2.0 mm)、粉粒(0.002—0.05 mm)、粘粒(<0.002 mm)和有机碳百分含量。

2.2.3 地形因子(*LS*)

地形因子是在相同条件下,每单位面积坡面土壤流失量与标准小区(坡长 22.13 m,坡度 9%)流失量的比值,反映坡长、坡度等对土壤侵蚀的影响^[24]。

InVEST 模型中对 *LS* 的取值采取缓坡、陡坡分段计算,坡度阈值默认为 25°。

缓坡(<25°):

$$LS = \left(\frac{FA \cdot CS}{22.13} \right)^m \left(\left(\frac{\sin(S \cdot 0.01745)}{0.09} \right)^{1.4} \right) \times 1.6$$

$$m = \begin{cases} 0.5 & (S \geq 5\%) \\ 0.4 & (3.5\% < S < 5\%) \\ 0.3 & (1\% < S \leq 3.5\%) \\ 0.2 & (S \leq 1\%) \end{cases} \quad (7)$$

陡坡(>25°):

$$LS = 0.08\lambda^{0.35}PS^{0.6}$$

$$\lambda = \begin{cases} CS & (\text{流向} = 1, 4, 16, 64) \\ 1.4CS & (\text{其他流向}) \end{cases} \quad (8)$$

式中, LS 为地形因子, FA 和 CS 分别为栅格汇流量和栅格分辨率, S 和 PS 分别为坡度(°)和百分数坡度(%), m 为坡长指数。

2.2.4 覆盖管理因子(C)

覆盖管理因子定义为特定植被覆盖与管理状态下土壤侵蚀量与实施清耕的连续休闲地土壤侵蚀量的比值^[24]。它是控制土壤侵蚀的积极因素,反映了植被类型、覆盖度等对土壤侵蚀的影响。本研究通过查阅文献资料获得不同植被类型的 C 值^[23, 25]。

2.2.5 水土保持措施因子(P)

水土保持措施因子是指采取特定水土保持措施时的土壤侵蚀量与不采取任何措施的顺坡耕作时相应侵蚀量的比值^[24]。海南岛的水稻种植多采用等高耕作,因此水田的 P 值取0.15,其余基本上没有采取水土保持措施,取值为1.00^[23]。

2.2.6 泥沙持留效率(SE)

泥沙持留效率反映了侵蚀产生的泥沙在输移过程中因植被过滤、拦截等作用而发生沉积的过程^[28-32];被拦截泥沙比例越大,则持留效率越高。不同类型植被因结构、生物量等的差异而具有不同的持留能力。本文参照InVEST模型数据库获得不同植被类型的泥沙持留效率。

2.3 统计分析

在数据处理与结果分析中主要使用了ArcGIS 9.3、SPSS 17.0以及SigmaPlot 11.0。

2.4 数据来源

本研究使用的降雨数据来自中国生态系统研究网络(CERN)共享数据平台;DEM(30m)来自全球科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站;行政区划、土壤数据来自海南省环境科学研究院;经济、人口等统计数据来自《海南统计年鉴2008》^[33];生态系统图则由2008年海南TM影像解译获得(经野外验证,分类精度约85%,卡帕系数约94%),结合区域特点,将海南岛生态系统分为天然林、红树林、橡胶林、浆纸林、防护林、灌丛、草地、热作园、水田、旱地等类型。

3 研究结果

3.1 土壤保持功能的空间特征

运用InVEST模型计算得到海南岛生态系统土壤保持总量为 8.16×10^8 t,其中侵蚀减少量为 7.50×10^8 t,泥沙持留量为 0.66×10^8 t,平均单位面积土壤保持量为 $247.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,空间上呈现中部高四周低的分布格局(图1)。

海南中部山区国家级生态功能保护区与土壤保持功能空间分布的叠加分析表明(表1):功能区面积占研究区总面积的25.64%,土壤保持量的比重则高达46.74%,功能区内单位面积土壤保持量约为功能区外的2.5倍。

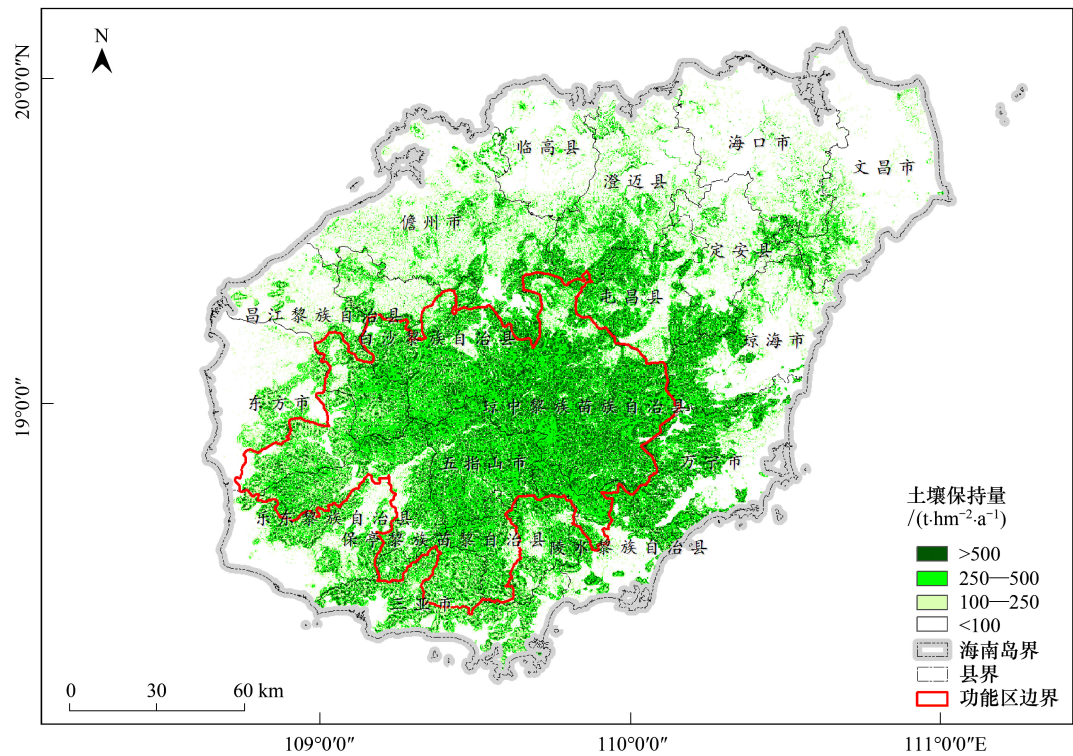


图 1 海南岛生态系统土壤保持功能空间格局

Fig. 1 The spatial pattern of soil conservation service in Hainan Island

表 1 海南中部山区国家级生态功能保护区土壤保持功能特征

	面积 Area		土壤保持量 Soil conservation capacity		
	/10 ⁴ hm ²	/%	单位面积量 Amount per unit area /(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	总量 Sum /10 ⁸ t	百分比 Ratio /%
功能区内 Inside of the NEFCA	86.92	25.64	438.79	3.81	46.74
功能区外 Outside of the NEFCA	252.08	74.36	172.41	4.35	53.26

3.2 不同生态系统类型的土壤保持功能特征

海南岛生态系统类型以森林、农田为主,灌丛、草地比例较小,呈零星分布。将土壤保持量按生态系统类型进行分区统计,结果见表 2。

表 2 不同生态系统类型的土壤保持功能

生态系统类型 Ecosystem types	面积 Area		土壤保持量 Soil conservation capacity		
	/10 ⁴ hm ²	/%	单位面积量 Amount per unit area /(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	总量 Sum /10 ⁸ t	百分比 Ratio /%
灌丛 Shrubs	0.47	0.14	568.26	0.03	0.33
天然林 Natural forests	68.29	20.68	447.43	3.06	37.45
草地 Grasslands	1.21	0.36	412.56	0.05	0.61
橡胶林 Rubber plantations	82.14	24.87	306.74	2.52	30.89
浆纸林 Pulp forests	19.25	5.83	266.84	0.51	6.30
热作园 Tropical plantations	69.32	20.99	179.56	1.25	15.26
水田 Paddy lands	25.70	7.78	106.98	0.28	3.37
旱地 Dry lands	53.78	16.28	71.51	0.39	4.71
红树林 Mangroves	0.08	0.02	41.39	0.00	0.00
防护林 Shelterbelts	0.50	0.15	21.89	0.00	0.01

土壤保持功能在不同生态系统类型间具有明显差异,按平均单位面积土壤保持量从大到小进行排序:灌丛>天然林>草地>橡胶林>浆纸林>热作园>水田>旱地>红树林>防护林,其中天然林、灌丛、草地均在 $400 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,而旱地则在 $100 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下。就土壤保持总量而言,天然林、橡胶林、热作园构成了海南岛生态系统土壤保持功能的主体(三者土壤保持量之和占总量的 83.6%)。

3.3 土壤保持功能的影响因素

为探明人类活动对生态系统土壤保持功能的影响,进而采取相应的保育与管理对策,结合海南岛的区域特征,选取了单位面积地区生产总值、单位面积第一产业生产总值、人口密度、农田比例、橡胶林比例等能表征海南岛经济发展水平和人类活动强度的因子,与能反映生态系统土壤保持功能状况的单位面积土壤保持量进行统计学分析。为便于数据收集与整理,此处以县级行政区(海口、三亚、儋州、文昌、东方、琼海、万宁、五指山、临高、澄迈、定安、屯昌、昌江、白沙、琼中、乐东、保亭、陵水)作为统计单元。

结果表明,各影响因素与生态系统土壤保持功能具有显著相关关系;其中单位面积地区生产总值、单位面积第一产业生产总值、人口密度以及农田比例与单位面积土壤保持量显著负相关($P < 0.05$),橡胶林比例与土壤侵蚀强度显著正相关($P < 0.01$)(图 2)。

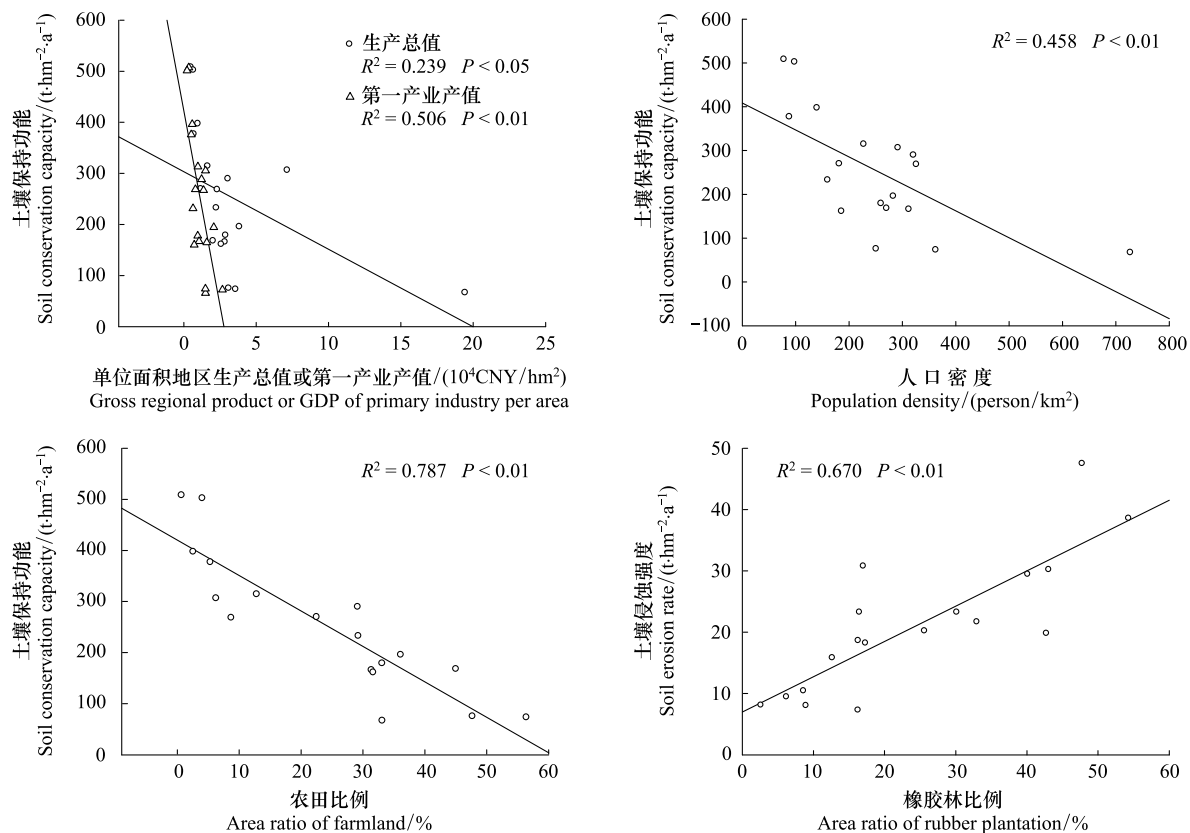


图 2 人类活动对生态系统土壤保持功能的影响

Table 2 The impact of human activities on soil conservation service

4 讨论

生态系统是控制土壤侵蚀的积极因素^[34],它通过冠层、地被层和土壤层共同作用,阻止侵蚀的发生和发展,其作用过程主要体现为减少侵蚀和阻拦泥沙^[34]。与仅考虑“减少侵蚀”的通用土壤流失方程(USLE)相比,本研究采用的 InVEST 模型纳入了这两个过程,使评估更为全面和准确。

中部山区国家级生态功能保护区是海南岛原始森林的集中分布区和生物多样性富集区,同时也是南渡江、昌化江、万泉河等海南主要河流的发源地、水源涵养区和水土保持敏感区,战略地位极为重要。通过比较,

功能区内的土壤保持功能明显优于功能区外;区内土壤保持量高达 3.81×10^8 t, 占总量的 46.74%, 功能区生态系统的破坏意味着土壤资源的大量流失与河流水库的严重淤积。由此, 中部山区在维护海南生态安全方面的重要性不言而喻, 生态功能保护区建立的必要性和有效性也得以充分体现。

根据生态系统结构-过程-功能关系, 土壤保持功能的强弱与生态系统类型和覆盖度密切相关。不同生态系统类型的土壤保持功能以森林最强, 灌丛、草地次之, 牧草、作物最差^[34], 森林中混交林优于纯林^[35]; 就覆盖度而言, 植被覆盖度越高, 土壤保持功能越强^[34, 36-38]。但同时也不乏草地优于森林^[39-41]、灌丛优于林地^[42-43], 甚至农田优于灌丛^[41]的报道。这充分说明实际发挥的土壤保持功能不单由生态系统类型和覆盖度决定, 还会因生态系统年龄以及气候、地形等环境条件不同而发生改变, 充分体现了土壤保持功能的综合性与复杂性^[35]。海南岛灌丛生态系统呈现出较高的单位面积土壤保持量, 这可能与其恰好处于降雨中心, 潜在侵蚀较高, 土壤保持功能得以充分发挥有关。橡胶林、浆纸林等人工林因群落结构简单且人类活动频繁, 其土壤保持功能较之天然林明显降低。红树林虽为天然林, 但因地处沿海滩涂, 地势平坦, 潜在侵蚀极低, 保土功能无法充分施展, 可以认为, 独特的环境条件限制了红树林土壤保持功能的发挥。

除自然因素外, 生态系统土壤保持功能还受到人为因素的强烈影响^[20, 39, 44-45]。土地开垦、森林采伐等人类活动都可能通过改变生态系统结构影响生态系统土壤保持功能^[44]。作为我国唯一的热带海岛, 海南具有充足的光照和水热资源, 为农业的发展创造了优越条件, 使其成为海南大部分地区的支柱性产业; 但农业耕作对土壤层的频繁扰动以及农田土壤的季节性裸露使其成为侵蚀产沙的重要来源, 而少数民族地区沿用的刀耕火种更是造成了局部地区原始森林的毁灭性破坏^[18], 可见农田扩张会直接削弱生态系统的土壤保持功能。人口增加是导致海南岛生态系统土壤保持功能降低的又一重要原因。资料显示, 海南人口增长较快, 第五次人口普查与第四次相比, 年均增长率为 1.78%, 高于全国平均增长率 1.07%, 第六次与第五次相比, 增长速度有所减缓, 但仍高于全国平均水平。人口数量的攀升不仅直接加剧了人类活动对生态系统的干扰^[11], 还驱动了农田的扩张, 造成人类对生态系统土壤保持功能的压力和负作用明显增加^[46]。此外, 为满足经济发展与国防建设的双重需要, 自 20 世纪 50 年代以来, 海南大面积掀起橡胶种植的热潮, 橡胶林面积迅速上升, 由此导致的开荒、毁林现象十分严重^[18]。作为取代热带天然林和热带草地后形成的人工生态系统, 橡胶林具有群落结构简单、物种组成单一、耗肥耗水和人为干扰频繁等特点, 土壤保持功能较之热带雨林相差甚远^[47], 建立在毁林基础上的橡胶林扩张必然导致海南岛生态系统土壤保持功能的退化。

综上所述, 生态系统土壤保持功能对于维持海南岛的生态平衡至关重要, 为加强生态系统管理与保护, 遏制土壤保持功能退化, 特提出以下建议:

(1) 继续加强中部山区的保护 中部山区为海南岛的土壤保持做出了重要贡献(面积约为海南岛国土面积的 1/4, 土壤保持量的比重为 46.74%), 对该区域的保护能有效控制土壤侵蚀, 防止土地退化与河流淤积, 维护海南岛的生态安全。

(2) 严格保护天然林 天然林具有强大的土壤保持能力(单位面积土壤保持量 $447.43 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 约为橡胶林的 1.5 倍, 旱地的 6.3 倍), 保土量约占海南岛土壤保持总量的 37.45%, 其生态效益显著高于橡胶林、农田等, 以牺牲生态效益换取经济效益的做法是不明智的。另外, 海南岛地区具有较强的植被恢复能力^[48], 对于已发生植被退化的区域, 可减少人为干扰, 促进植被天然更新, 迅速恢复其保持土壤的能力。

(3) 取缔传统耕作方式, 提高农业集约化程度 淘汰刀耕火种的耕作模式, 通过间作、套种、轮作等提高复种指数, 充分利用海南岛的气候资源, 提高土地产出的同时增加农田植被覆盖, 抑制农田扩张, 达到经济效益与生态效益双赢。此外, 复合农林业(如橡胶林下种植南药等)也具有较好的发展前景。

(4) 权衡经济发展与土壤保持功能的关系 海南岛的经济发展和人口增长削弱了生态系统土壤保持功能(单位面积地区生产总值、单位面积第一产业生产总值、人口密度以及农田比例与单位面积土壤保持量显著负相关($P < 0.05$), 橡胶林比例与土壤侵蚀强度显著正相关($P < 0.01$)). 在可持续发展与生态省建设的旗帜下, 决策者大力发展经济的同时, 不应忽略对土壤保持功能的保护。

References:

- [1] Ouyang Z Y, Zheng H. Ecological mechanisms of ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [2] Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 1995, 267(5201): 1117-1123.
- [3] Enters T. Methods for the economic assessment of the on-and off-site impacts of soil erosion. International Board for Soil Research and Management, 1998.
- [4] Adhikari B, Nadella K. Ecological economics of soil erosion: a review of the current state of knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2011, 1219: 134-152.
- [5] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [6] Xiao Y, Xie A. The function and economic value of soil conservation of ecosystems in Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2367-2378.
- [7] Ouyang Z Y, Zhao T Q, Zhao J Z, Xiao H, Wang X K. Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [8] Liu M C, Li D Q, Wen Y M, Luan X F. The spatial analysis of soil retention function in Sanjiangyuan region and its value evaluation. *China Environmental Science*, 2005, 25(5): 627-631.
- [9] Zhao T Q, Yang B S, Zheng H. Assessment of the erosion control function of forest ecosystems based on GIS: a case study in Zhangjiajie National Forest Park, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2009, 16(5): 356-361.
- [10] Fu B J, Liu Y, Lü Y H, He C S, Zeng Y, Wu B F. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. *Ecological Complexity*, 2011, 8(4): 284-293.
- [11] Su C H, Fu B J, Wei Y P, Lü Y H, Liu G H, Wang D L, Mao K B, Feng X M. Ecosystem management based on ecosystem services and human activities: a case study in the Yanhe watershed. *Sustainability Science*, 2012, 7(1): 17-32.
- [12] Tallis H T, Ricketts T, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Lonsdorf E, Kennedy C. InVEST 1. 005 beta User's Guide. Stanford: The Natural Capital Project, 2010.
- [13] Rife T L. Modeling the Value of Ecosystem Services: Application to Soil Loss in Southeastern Allegheny County. United States: Youngstown State University, 2010.
- [14] Zhou B, Yu X X, Chen L H, Zhang Z M, Lü X Z, Fan M R. Soil erosion simulation in mountain areas of Beijing based on InVEST model. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(6): 9-13, 19-19.
- [15] Bai Y, Zhuang C, Ouyang Z, Zheng H, Jiang B. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity*, 2011, 8(2): 177-183.
- [16] Ren J, Wang Y K, Fu B, Xu P. Soil conservation assessment in the Upper Yangtze River Basin based on invest model // 2011 Proceedings of the 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection (ISWREP). Xi'an: IEEE, 2011: 1833-1836.
- [17] Wang X K, Ouyang Z Y, Xiao H, Miao H, Fu B J. Distribution and division of sensitivity to water-caused soil loss in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 14-19.
- [18] Lin M Z, Zhang Y L. Dynamic change of tropical forest in Hainan Island. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 703-712.
- [19] Qi Z P. Tropical Pedology. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 332-333.
- [20] Liu X C, Wang X H, Xing Q. Researches on the soil conservation of ecosystems in central mountains of Hainan Island. *Journal of Green Science and Technology*, 2011, (1): 101-102.
- [21] Zhou Z G. Study on biodiversity of Hainan central section protection zone of ecological function. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(4): 87-89.
- [22] Hainan Provincial Bureau of Statistics. Hainan Statistical Yearbook 2005. Beijing: China Statistics Press, 2005.
- [23] Xiao H, Ouyang Z Y, Wang X K, Zhao J Z. Spatial distribution characteristics of soil erosion in Hainan Island by GIS. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(4): 75-80.
- [24] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, 1978.
- [25] Wang W Z, Jiao J Y. Quantitative evaluation on factors influencing soil erosion in China. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, 16(5): 1-20.

- [26] Zhou F J, Chen M H, Lin F X, Huang Y H, Lu C L. The rainfall erosivity index in Fujian Province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9(1): 13-18.
- [27] Zhang K L, Peng W Y, Yang H L. Soil erodibility and its estimation for agricultural soil in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(1): 7-13.
- [28] Van Dijk P M, Kwaad F J P M, Klapwijk M. Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological Processes*, 1996, 10(8): 1069-1080.
- [29] Puigdefabregas J, Sole A, Gutierrez L, Del Barrio G, Boer M. Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews*, 1999, 48(1/2): 39-70.
- [30] Isselin-Nondedeu F, Bédécarrats A. Influence of alpine plants growing on steep slopes on sediment trapping and transport by runoff. *Catena*, 2007, 71(2): 330-339.
- [31] Pires L F, Bacchi O O S, Correche V, Reichardt K, Filipe J. Riparian forest potential to retain sediment and carbon evaluated by the ^{137}Cs fallout and carbon isotopic ratio techniques. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, 2009, 81(2): 271-279.
- [32] Zhang X Y, Liu X M, Zhang M H, Dahlgren R A, Eitzel M. A review of vegetated buffers and a meta-analysis of their mitigation efficacy in reducing nonpoint source pollution. *Journal of Environmental Quality*, 2010, 39(1): 76-84.
- [33] Hainan Provincial Bureau of Statistics. *Hainan Statistical Yearbook 2008*. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [34] Zhu X M. Роль растительности в борьбе с эрозией почвы в лесовых районах. *Acta Pedologica Sinica*, 1960, 8(2): 110-121.
- [35] Wu Q X, Zhao H Y. Basic laws of soil and water conservation by vegetation and its summation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(4): 13-15, 19-19.
- [36] Liu B Z, Liu S H, Zheng S D. Soil conservation and coefficient of soil conservation of crops. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, 6(2): 32-36, 113-113.
- [37] Vásquez-Méndez R, Ventura-Ramos E, Oleschko K, Hernández-Sandoval L, Parrot J F, Nearing M A. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena*, 2010, 80(3): 162-169.
- [38] Loch R J. Effects of vegetation cover on runoff and erosion under simulated rain and overland flow on a rehabilitated site on the Meandu Mine, Tarong, Queensland. *Australian Journal of Soil Research*, 2000, 38(2): 299-312.
- [39] Gao J. *Studies on the Soil Conservation of Typical Ecosystems in Upper Reaches of Minjiang River [D]*. Beijing: Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, 2008.
- [40] Zhou Y, Watts D. Hydrological effect of pinus yunnanensis forest on soil erosion control in the alpine gorge region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998, 4(3): 31-38.
- [41] Zhang Q C, Qi Q G, Zhou D W, Yue H G. Researches on the relationship between the water erosion modulus and the earth surface factors in Jilin Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1960-1965.
- [42] Liu H F, Zhu Q K, Sun Z F, Wei T X. Effects of different land uses and land mulching modes on runoff and silt generations on Loess slopes. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(2): 137-141.
- [43] Zhang J M, Wang X P. Soil and water loss in different land-use of gullied rolling Loess area of Dingxi. *Soil and Water Conservation in China*, 2008, (8): 31-32, 38-38, 60-60.
- [44] Zheng H, Ouyang Z Y, Zhao T Q, Li Z X, Xu W H. The impact of human activities on ecosystem services. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 118-126.
- [45] Yang D W, Kanae S, Oki T, Koike T, Musiak K. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological Processes*, 2003, 17(14): 2913-2928.
- [46] Yao C S, Zhu H J, Lü X, Liu Y B. Study on the impact of socio-economic driving factors of land use change on the ecosystem service values in Fujian province. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(2): 225-233.
- [47] Deng F, Chen Q B, Chen X L. Comparison of ecological service among natural forest, rubber and eucalyptus plantations. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2007, 13(2): 19-23.
- [48] Wang Z Y, Wang G Q, Huang G H. Modeling of state of vegetation and soil erosion over large areas. *International Journal of Sediment Research*, 2008, 23(3): 181-196.

参考文献:

- [1] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展. *生态学报*, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [6] 肖玉, 谢安. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. *生态学报*, 2003, 23(11): 2367-2378.
- [7] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 肖寒, 王效科. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [8] 刘敏超, 李迪强, 温琰茂, 栾晓峰. 三江源地区土壤保持功能空间分析及其价值评估. *中国环境科学*, 2005, 25(5): 627-631.

- [14] 周彬, 余新晓, 陈丽华, 张振明, 吕锡芝, 范敏锐. 基于 InVEST 模型的北京山区土壤侵蚀模拟. 水土保持研究, 2010, 17(6): 9-13, 19-19.
- [17] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 苗鸿, 傅伯杰. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究. 生态学报, 2001, 21(1): 14-19.
- [18] 林媚珍, 张懿鲤. 海南岛热带天然林动态变化. 地理研究, 2001, 20(6): 703-712.
- [19] 漆智平. 热带土壤学. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 332-333.
- [20] 刘贤词, 王晓辉, 邢巧. 海南岛中部山区生态系统水土保持功能研究. 绿色科技, 2011, (1): 101-102.
- [21] 周祖光. 海南中部生态功能保护区生物多样性研究. 水土保持研究, 2006, 13(4): 87-89.
- [22] 海南省统计局. 海南统计年鉴-2005. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- [23] 肖寒, 欧阳志云, 王效科, 赵景柱. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征. 水土保持学报, 1999, 5(4): 75-80.
- [25] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [26] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 黄炎和, 卢程隆. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13-18.
- [27] 张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算. 土壤学报, 2007, 44(1): 7-13.
- [33] 海南省统计局. 海南统计年鉴-2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [34] 朱显谟. 黄土地区植被因素对于水土流失的影响. 土壤学报, 1960, 8(2): 110-121.
- [35] 吴钦孝, 赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结. 水土保持学报, 2001, 15(4): 13-15, 19-19.
- [36] 刘秉正, 刘世海, 郑随定. 作物植被的保土作用及作用系数. 水土保持研究, 1999, 6(2): 32-36, 113-113.
- [39] 高军. 岷江上游典型生态系统水土保持功能研究 [D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2008.
- [40] 周跃, Watts D. 高山峡谷区云南松林土壤侵蚀控制的水文效应. 水土保持学报, 1998, 4(3): 31-38.
- [41] 张启昌, 其其格, 周道玮, 岳红光. 吉林省水蚀模数与下垫面各因素的关系. 生态学报, 2005, 25(8): 1960-1965.
- [42] 刘卉芳, 朱清科, 孙中峰, 魏天兴. 黄土坡面不同土地利用与覆盖方式的产流产沙效应. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 137-141.
- [43] 张金铭, 王小平. 定西黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型水土流失研究. 中国水土保持, 2008, (8): 31-32, 38-38, 60-60.
- [44] 郑华, 欧阳志云, 赵同谦, 李振新, 徐卫华. 人类活动对生态系统服务功能的影响. 自然资源学报, 2003, 18(1): 118-126.
- [46] 姚成胜, 朱鹤健, 吕晞, 刘耀彬. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响. 自然资源学报, 2009, 24(2): 225-233.
- [47] 邓燊, 陈秋波, 陈秀龙. 海南热带天然林、桉树林和橡胶林生态效益比较分析. 华南热带农业大学学报, 2007, 13(2): 19-23.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China	Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies	OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP)	LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
Progress and perspectives of ecosystem services management	ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model	BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area	XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed	LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China	LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island	RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests	GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve	LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City	CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection	HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County	FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas	PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation	DONG Ying, SHI Lei (809)
Ecological protection and well-being	LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi	WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains	JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe	LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features	CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of <i>Eucalyptus</i>	ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to submergence and drought alternation	WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 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