ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

景观生态学专辑

第 34 卷 第 12 期 Vol.34 No.12 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 12 期　　2014 年 6 月　(半月刊)

目　　次

中国景观生态学发展历程与未来研究重点…… 陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等 (3129)
城市景观格局演变的水环境效应研究综述…… 黄　硕,郭青海 (3142)
多功能景观研究进展…… 汤　茜,丁圣彦 (3151)
空间形态受限型城市紧凑发展研究——以厦门岛为例 …… 黄　硕,郭青海,等 (3158)
紫金山森林公园降温效应影响因素…… 闫伟姣,孔繁花,尹海伟,等 (3169)
城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响 …… 冯悦怡,胡潭高,张力小 (3179)
基于 OWA 的低丘缓坡建设开发适宜性评价——以云南大理白族自治州为例 ……
…… 刘焱序,彭　建,韩忆楠,等 (3188)
生态安全条件下土地利用格局优化——以皇甫川流域为例 …… 喻　锋,李晓兵,王　宏 (3198)
新疆玛纳斯河流域 2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素…… 刘金巍,靳甜甜,刘国华,等 (3211)
基于 GIS 和 RS 的赣江上游流域土地利用动态趋势分析 …… 鲁燕飞,彭　芳,万　韵,等 (3224)
1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力 …… 刘吉平,赵丹丹,田学智,等 (3234)
基于斑块评价的三峡库区腹地坡耕地优化调控方法与案例研究…… 王永艳,李阳兵,邵景安,等 (3245)
贵州省山地-坝地系统土地利用与景观格局时空演变 …… 李阳兵,姚原温,谢　静,等 (3257)
中国西南地区土地覆盖情景的时空模拟 …… 李　婧,范泽孟,岳天祥 (3266)
基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析…… 张玲玲,赵永华,殷　莎,等 (3276)
基于植被覆盖度的藏羚羊栖息地时空变化研究…… 赵海迪,刘世梁,董世魁,等 (3285)
西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量 C、N、P 空间变异特征 …… 范夫静,黄国勤,宋同清,等 (3293)
峡谷型喀斯特不同生态系统的土壤微生物数量及生物量特征…… 谭秋锦,宋同清,彭晚霞,等 (3302)
长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响 …… 刘桂林,张落成,张　倩 (3311)
基于视觉廊道的青藏铁路沿线旅游动态景观评价…… 张瑞英,席建超,姚予龙,等 (3320)
基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究 …… 任　平,洪步庭,刘　寅,等 (3331)
生态系统保护现状及保护等级评估——以江西省为例…… 樊乃卿,张育新,吕一河,等 (3341)
崇明东滩盐沼植被变化对滩涂湿地促淤消浪功能的影响…… 任璘婧,李秀珍,杨世伦,等 (3350)
基于气候、地貌、生态系统的景观分类体系——以新疆地区为例…… 师庆东,王　智,贺龙梅,等 (3359)
黄土丘陵沟壑区景观格局演变特征——以陕西省延安市为例…… 钟莉娜,赵文武,吕一河,等 (3368)
不同干扰背景下农业景观异质性——以巩义市为例 …… 张晓阳,梁国付,丁圣彦 (3378)
山西高原草地景观的数量分类与排序…… 张先平,李志琴,王孟本,等 (3386)

山区夏季地表温度的影响因素——以泰山为例…… 孙常峰,孔繁花,尹海伟,等 (3396)
典型岩溶洼地土壤水分的空间分布及影响因素…… 张继光,苏以荣,陈洪松,等 (3405)
基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析…… 李栋科,丁圣彦,梁国付,等 (3414)
桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应…… 童晓伟,王克林,岳跃民,等 (3425)
喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例……
…… 汪明冲,王兮之,梁钊雄,等 (3435)
不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应——以巩义市为例……
…… 董翠芳,梁国付,丁圣彦,等 (3444)
石栎-青冈常绿阔叶林土壤有机碳和全氮空间变异特征 …… 杨 丹,项文化,方 晰,等 (3452)
湘中丘陵区南酸枣阔叶林群落特征及群落更新…… 易 好,邓湘雯,项文化,等 (3463)
基于 RBFN 的桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布影响因素分析…… 张明阳,王克林,邓振华,等 (3472)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 36 * 2014-06

封面图说:空间发展受限城市的厦门——在我国城市化进程中,中小城市在城镇体系建设中处于中间环节,起到了联系大城市和小城镇的作用。但是,每个城市由于发展历史、社会经济结构、自然地理形态等因素的不同,都有其发展的特性,这些问题都必须要因地制宜地去把握。例如,厦门岛相对隔离,没有多余的发展空间,该城市以居住功能为主,城市功能较为单一,公共服务功能和商业服务功能比例较小。研究这样紧凑型的城市发展必须要考虑该城市结构转换的承受力,周边社会经济环境以及居民的生活习惯等。

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/stxb201308062035
张明阳, 王克林, 邓振华, 刘会玉, 岳跃民, 段亚锋.基于 RBFN 的桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布影响因素分析.生态学报,2014,34(12):3472-3479.
Zhang M Y, Wang K L, Deng Z H, Liu H Y, Yue Y M, Duang Y F. Factors influencing the spatial distribution of vegetation carbon density in karst landscapes of Northwest Guangxi: a case study based on radial basis function network model. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3472-3479.

基于 RBFN 的桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布影响因素分析

张明阳[1,2], 王克林[1,2,*], 邓振华[3], 刘会玉[4], 岳跃民[1,2], 段亚锋[1,2]
(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;
2. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 环江 547100;
3. 国家电网湖南省电力公司东江水力发电厂, 资兴 423403; 4. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要:在 2010 年植被碳密度空间分布结果的基础上,通过 13 个环境因子的 1377 个样点数据,建立径向基函数网络 (Radial Basis Function Network, RBFN) 模型,对桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布的影响因素进行了初步探讨。研究结果显示:对该区植被碳密度空间分布影响最为重要的前 4 位为地类、森林类型、林种和植被类型 4 个因子,其标准化重要性分别在 50%以上;其次为石漠化程度、腐殖层厚度、面积等级、植被总覆盖度和土层厚度 5 个因子,其标准化的重要性分别在 15%—30%;影响最小的是坡位、坡度、坡向和海拔 4 个地形因子,其标准化重要性仅 2%—11%。研究表明地形因子对植被碳密度空间分布影响有限,更为重要的是土地类型、森林类型、林种和植被类型等可通过人为活动改变的因素,因此生态环境移民、退耕还林等石漠化治理措施对植被碳密度空间分布具有重要影响。

关键词:桂西北; 喀斯特; 植被碳密度; 影响因素; 径向基函数网络模型

Factors influencing the spatial distribution of vegetation carbon density in karst landscapes of Northwest Guangxi: a case study based on radial basis function network model

ZHANG Mingyang[1,2], WANG Kelin[1,2,*], DENG Zhenhua[3], LIU Huiyu[4], YUE Yuemin[1,2], DUANG Yafeng[1,2]
1 *Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China*
2 *Huanjiang Observation and Research Station for Karst Ecosystems, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang* 547100, *China*
3 *Hunan Dongjiang Hydroelectric Power Plant, State Grid Corporation of China, Zixing* 423403, *China*
4 *College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing* 210046, *China*

Abstract: Karst landscapes in Southwest China may be an important carbon sink after the implementation of ecological engineering. The carbon pool in vegetation plays a more important role in the ecosystem carbon budget than that in shallow soils with a limited carbon savings. However, due to the special nature of the geological settings of the Karst region, the spatial distribution of vegetation has a three-dimensional characteristics of discontinuity and fragmentation, which results in the difficulty in obtaining the belowground section of vegetation. This study examined the influencing factors on spatial distribution of vegetation carbon density in the karst area of northwest Guangxi, China, based on 1377 samples of 13

基金项目:国家自然科学基金(31370484); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-10);中国科学院亚热带农业生态所青年人才领域前沿项目(ISACX-LYQY-QN-1102); 中国科学院"西部之光"人才培养计划一般项目
收稿日期:2013-08-06; **修订日期**:2014-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kelin@isa.ac.cn

environment factors investigated in 2010 and the model of radial basis function network. The results show that: the four most important impact factors on the spatial distribution of vegetation carbon density are land type, forest type, forest category and vegetation type, and the significance of standardization above 50% for all of these factors; The second group of important impact factors are rocky desertification degree, humus layer thickness, size class, overall vegetation cover and soil thickness, and the significance of standardization is about 15%—30%; The least important factors on the spatial distribution of vegetation carbon density are location, slope, aspect and elevation, and the importance of standardization is only 2%—11%. Our study indicates that, and land type, forest type, forest category and vegetation type changed by human activities are the predominant factors in controlling the spatial distribution of vegetation carbon density, and the impact of topographic factors on are limited. This study suggests that the eco-environment immigration, returning farmland to forests, rocky desertification control measures have positive impacts on the spatial distribution of vegetation carbon density.

Key Words: Northwest Guangxi; karst; vegetation carbon density; impact factors; radial basis function network model

植被碳储量是估算陆地生态系统与大气间温室气体 CO_2 交换量的关键因子,并成为多个重大科学计划的研究主题[1-2]。我国西南喀斯特区土层浅薄、土壤总量少,植被碳占碳库的比重远远高于其它类型区,其植被碳储蓄的时空变异特征及其主要影响因素成为喀斯特区域碳循环研究中迫切需要解决的科学问题[3-5]。同时,20 世纪 90 年代以来,随着国家八七扶贫计划及西部大开发战略的实施,通过实施退耕还林(草)、封山育林、生态移民等措施,西南喀斯特区退化生态系统的恢复重建取得了一定的成效[6-8]。随着石漠化综合治理试点工程的启动,研究喀斯特区植被固碳效应对评价石漠化综合治理的效益具有重要的科学意义。我国不少学者对西南喀斯特区的碳循环进行了相关研究[9-12],但绝大部分限于生态系统尺度的植被碳储蓄空间分异特征分析,较少涉及区域植被碳储蓄空间分布及其影响因素探索[13-14]。因此,探讨喀斯特区域植被碳储蓄空间分布特征及其主要影响因素分析,不仅能为喀斯特区域碳储量估算和石漠化治理的效益评价提供科学参考,而且能为更好地理解喀斯特区域植被碳储量空间分布特征和生态系统管理提供科学依据。

径向基函数网络(Radial Basis Function Network, RBFN)模型是近年来被广泛应用于分类研究的人工神经网络模型之一[15-17],是利用具有局部隆起的径向基函数来做逼真或分类,相对于其他的神经网络方法,除了具有一般神经网络的优点(如多维非线性映射能力、泛化能力、并行信息处理能力等),还具有很强的聚类分析能力,学习算法简单方便等优点。本文以进行了大量生态移民与退耕还林的桂西北典型喀斯特区为例,在 2010 年植被碳密度空间分布结果的基础上,通过 13 个环境因子 1377 个样点数据,建立径向基函数网络模型[15-17],对植被碳密度空间分布主要影响因素进行初步探索,以期为深入了解喀斯特区植被碳储蓄空间分布及石漠化治理提供科学参考与理论基础。

1　研究区概况

桂西北地处广西西北、云贵高原南麓,介于 104°29′—109°09′E, 23°41′—25°37′N 之间(图 1)[18]。总面积 6.94 万 km^2,包括广西河池市 11 个县(市)和百色市 12 个县市。属中亚热带南缘季风气候,年均气温 19.5℃,年均降水 1000mm,时空分布不均。以山地、峰丛洼地为主,山区面积比例大(百色和河池分别 30%和 59%)。海拔为 2000 多米至 100 多米,呈西北向东南降低。喀斯特地貌广为发育,由西向东地貌类型主要为中山、低山和峰丛洼地。成土母岩主要有石灰岩、紫色岩等。

2　数据与方法

2.1　资料来源

主要数据是 2010 年林业清查数据(来源于中南林业勘测设计院),具体做法是采用系统抽样的方法,在五万分之一的地形图上,按照 6 km × 8 km 的网格进行机械布点,以每个网格的西南交叉点为基准点布设 25.82 m×25.82 m 的正方形固定样地,每个样地面积 0.0667 hm^2。本区 1444 个样地,剔除非林地共有 1377 个样地数据。数据包括海拔、坡向、坡度、植被类型、林种、地类、植被覆盖度、土壤厚度、腐

殖质、石漠化程度、优势树种、胸径、林业蓄积等 60 多项因子。

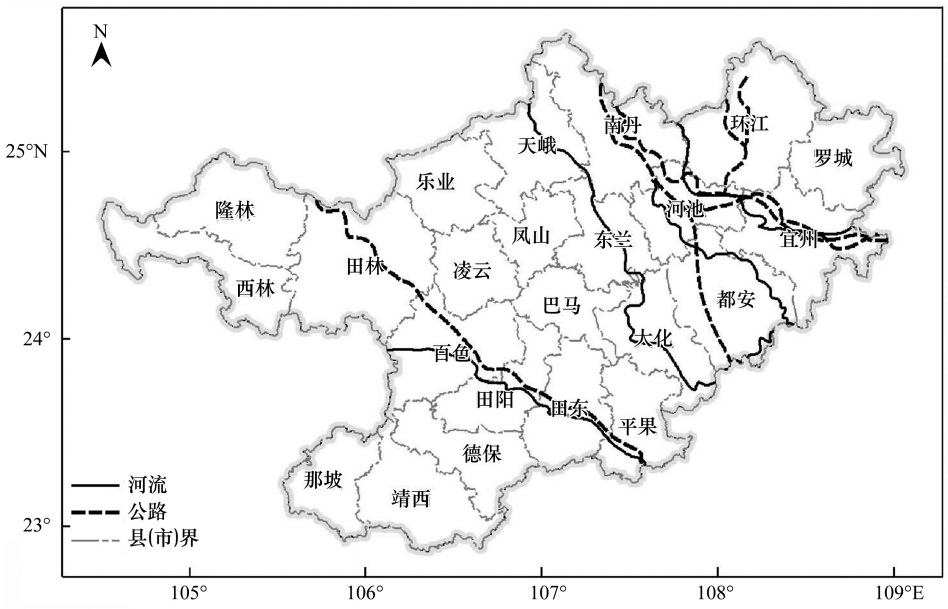

图 1 研究区域地理位置[18]

Fig.1 Location in the study area

软件主要有地理信息系统软件 ARCGIS 9.3 和统计软件 MATLAB7.01。ARCGIS9.3 主要用于植被碳密度的空间分布分析,MATLAB7.01 主要用于 RBFN 模型运行。

2.2 研究方法

2.2.1 植被碳储量及其密度

植被碳储蓄主要是采用材积源生物量法和已经建立的回归方程[19-20],计算生物量,然后通过植被含碳量即含碳率获得。植被碳密度为单位面积的植被碳储量。具体计算和转换方法详见已发表论文基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征[21]。

2.2.2 RBFN 原理介绍及其训练算法

RBFN(Radial Basis Function Network)由输入层、隐含层和输出层组成三层前向式网络,各层有多个神经元,相邻两层单元之间单方向连接,通过径向基算法来获得隐层权值、确定最终输出值的多层前向监督式网络[15-17](图 2)。其中:X_k为输入层(k = 1, 2, …,N),V_j为隐含层(j = 1, 2, …, L),O_i为输出层(i = 1, 2, …, M)。C_{jk}=(C_{j1}, C_{j2}, …, C_{jn})、S_j分别表示隐含层单元基函数的中心和宽度,N、L、M 分别表示输入、隐含和输出单元的数量。N 和 M 同输入维数和输出维数相一致,而 L 采用构造人工神经网络结构或对网络结构进行修改,使之与具体问题相适应来确定隐单元数。

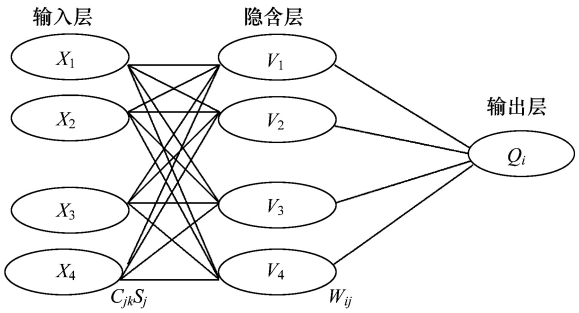

图 2 径向基函数网络(RBFN)模型结构图

Fig.2 The model structure of Radial Basis Function Network (RBFN)

X_1: 输入层 1; X_2: 输入层 2; X_3: 输入层 3; X_4: 输入层 4; V_1: 隐含层 1; V_2: 隐含层 2; V_3: 隐含层 3; V_4: 隐含层 4; Q_i: 输出层 j; C_{jk}: 隐含层单元基函数中心; S_j: 隐含层单元基函数宽度; W_{ij}: 隐含层单元与输出层单元之间的连接权重

若给定的输入模型式为 X_k^u, u = 1, 2, …, p(p 为输入模式数),则有隐含单元和输出单元:

$$V_j^u = R_j^u / \sum_{k=1}^{L} R_j^u$$

$$R_j^u = \exp\left[-0.5 \sum_{k=1}^{N} \left(\frac{X_k^u - C_{jk}}{S_j} \right) \right]$$

$$Q_i^u = \sum_{j=1}^{L} W_i^j V_j^u$$

式中,R_j^u、V_j^u 都是径向对称非线性函数,称 R_j^u 为 Gauss 型径向基函数,V_j^u 为归一化径向基函数。

隐含层是固定不变的非线性变换。C_{jk}、S_j、W_{ij}需通过学习和训练确定,具体分 3 步进行计算:

第一步　确定基函数的中心 C_{jk},思路是利用一组输入来计算 $L\times N$ 个 C_{jk},使 C_j尽可能均匀地对数据抽样,在数据密集点 C_j也密集,这种方法称为"K-均值聚类法",是无监督学习法。

第二步　确定基函数的宽度 S_j。基函数中心 C_j 训练完成后可求归一化参数。最常用的是令它们等于基函数中心,与子样本集中样本模式之间的平均距离,即:

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{u\in\theta_j}\sum_{k=1}^{N}(X_k^u - C_{jk})^2}$$

第三步　确定从隐含层单元到输出层单元的联接权值 W_{ij}。若设相应于 X_i^u 的期望输出值为 Y_i^u,通常误差测度标准是平方误差最小,即在基函数确定后,ES 是 W_{ij} 的函数,用最小二乘法求解:

$$ES = 0.5\sum_{u=1}^{P}\sum_{i=1}^{M}(Y_I^M - Q_i^m)^2$$

2.3　影响因素指标

植被碳密度空间分布影响因素分析,遵循代表性、简明性和可获性原则,选取 13 个指标。

(1)海拔　研究区样点海拔高程范围为 92—1876 m。

(2)坡向　分为 9 个坡向,北(338°—22°),东北(23°—67°),东(68°—112°),东南(113°—157°),南(158°—202°),西南(203°—247°),西(248°—292°),西北(293°—337°),无坡向(坡度<5°),代码分别为 1、2、3、4、5、6、7、8 和 9。

(3)坡位　分为 6 个坡位,脊(山脉分水线及其两侧各下降垂直高度 15m 的范围),上(从脊部以下至山谷范围内的山坡三等分后的最上等分部位),中(三等分的中坡位),下(三等分的下坡位),谷(汇水线两侧的谷地,若样地处于 2 部位中出现的局部山洼,也按山谷记),平地(处在平原和台地上的样地),代码分别为 1、2、3、4、5 和 6。

(4)坡度　研究区样点坡度为 0—80°。

(5)土层厚度　研究区样点土层厚度范围为 1—180 cm。

(6)腐殖层厚度　研究区样点腐殖层厚度为 0—35 cm。

(7)植被总覆盖度　研究区样点植被总覆盖度为 10—100%。

(8)地类　即土地类型,根据土地覆盖特征和利用状况综合划定类型,包括林地和非林地 2 个一级地类,其中林地划分 8 个二级地类,12 个三级地类。研究区地类主要有乔木林、竹林、灌木林、未成林造林地、采伐火烧迹地、无立木林地、宜林荒地、耕地、牧草地、未利用地。

(9)植被类型　有自然植被和栽培植被两大类,针叶林、阔叶林、灌丛和灌草丛类型,具体有暖性针叶林、暖性针阔混交林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、竹林等。

(10)石漠化程度　石漠化指在热带、亚热带湿润和半湿润地区岩溶极其发育的自然背景下,受人为活动的干扰,使地表植被遭受破坏,造成土壤严重侵蚀,基岩大面积裸露,砾石堆积,地表呈现似荒漠化景观的土地退化乃至土壤消失的现象。研究区石漠化程度有无石漠化、潜在、轻度、中度和重度石漠化,其评定标准详见广西森林资源连续清查复查操作细则①。

(11)林种　23 个亚林种(水源涵养林、水土保持林、国防林、风景林、用材林、薪炭林、果树木、原材料林、药用林、其它经济林等),标准详见广西森林资源连续清查复查操作规则①。

(12)森林类型　主要有生态公益林和商品林两个类别,生态公益林细分为国家公益林和地方公益林,商品林主要有用材林、薪炭林和经济林。

(13)面积等级　根据样地所确定的地理外延的连片面积大小确定,即地类连片面积大小,面积等级分为 7 类:面积<1 hm^2 为 1 类,1—4.9 hm^2 为 2 类,5—9.9 hm^2 为 3 类,10—19 hm^2 为 4 类,20—49 hm^2 为 5 类,50—99 hm^2 为 6 类,>100 hm^2 为 7 类。研究区地类面积等级 1—7 均有分布。

3　分析结果

3.1　模型运行概况

RBFN 模型运行情况较为理想。在 1377 个总样本中,有效样本有 1297 个,其中有 74.3%(964 个)用来训练,25.7%(333 个)用来测试。由于检验样本与测试样本中的一个或多个个案有未出现在训练样本

① 广西森林资源连续清查第七次复查操作细则

中的因素或因变量,因而排除这些个案,本研究因此而排除样本数 80 个。

本研究中 FRBN 模型输入层为 13 个影响因子,输出层有植被碳密度、影响因素标准化重要性及错误函数(表 1)。隐藏层单位数经训练最后确定为 516 个,激活函数采用的是 softmax,错误函数是平方和。模型训练平方和错误为 312.205,测试平方和错误为 103.278,说明本研究通过 FRBN 模型来分析植被碳密度空间分布的影响因素,其运行结果比较理想,运行结果可行和适用。

表 1 模型运行的网络信息

Table 1 The network information of model processing

层次 Layer	具体信息 Information	
	项目 Item	内容 Content
输入层 Input layer	因子	1 海拔
		2 坡向
		3 坡位
		4 坡度
		5 土层厚度
		6 腐殖层
		7 植被总覆盖
		8 地类
		9 植被类型
		10 石漠化程度
		11 林种
		12 森林类型
		13 面积等级
	单位数	516
隐藏层 Hidden layer	单位数	5*
	激活函数	Softmax
输出层 Output layer	因变量	Total_c(植被碳密度)
	单位数	1
	尺度因变量的重标度方法	标准化
	激活函数	恒等
	错误函数	平方和

* 由检验数据标准确定:隐藏单位的"最佳"数量为检验数据中产生最小错误的单位

表 2 影响因素重要性及其排序

Table 2 The significance and order of impact factors

影响因素 Impact factors	重要性 Significance	标准化重要性/% Standard significance	排序 Sequences
海拔 Altitude	0.007	2.3	13
坡向 Aspect	0.016	5.5	12
坡位 Slope position	0.029	10.2	10
坡度 Slope	0.018	6.3	11
土层厚度 Soil thickness	0.036	12.6	9
腐殖层 Humus layer	0.046	16.3	6
植被总覆盖 Vegetation coverage	0.036	12.6	8
地类 Land type	0.285	100.0	1
植被类型 Vegetation type	0.110	38.6	4
石漠化程度 Degree of rocky desertification	0.077	27.0	5
林种 Vegetation species	0.148	51.9	3
森林类型 Forest type	0.152	53.2	2
面积等级 Area grade	0.041	14.4	7

3.2 模型运行结果

研究区在 1377 个样本数据的基础上,通过 RBFN 模型分析结果显示,在选取的 13 个植被碳密度空间分布影响因素中,重要性排序为:地类>森林类型>林种>植被类型>石漠化程度>腐殖层厚度>面积等级>植被总覆盖度>土层厚度>坡位>坡度>坡向>海拔(表 2)。排前 4 位的地类、森林类型、林种和植被类型因子,其标准化重要性分别在 50%以上;其次的石漠化程度、腐殖层厚度、面积等级、植被总覆盖度、土层厚度 5 个因子,其标准化重要性分别在 15%—30%;影响贡献最小的 4 个地形因子,其标准化重要性仅在 2%—11%(图 3)。研究表明地形因子对植被碳密度空间分布的影响有限,更为重要的是土地类型、森林类型、林种和植被类型等可通过人为活动改变的因素,因此生态环境移民、退耕还林等石漠化治理措施对植被碳密度的空间分布应具有重要影响。

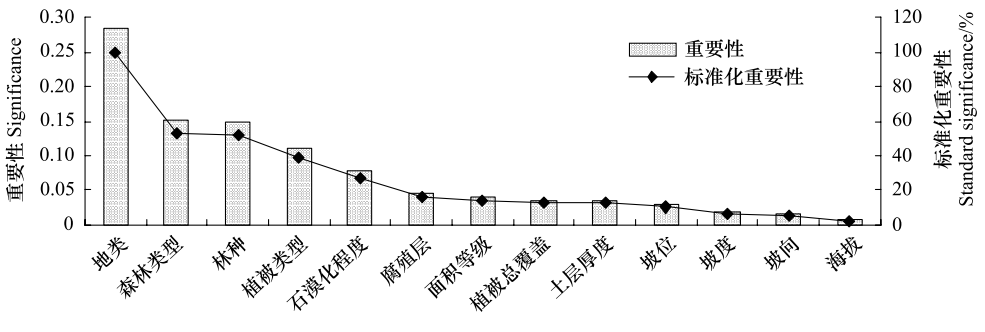

图 3 影响因素的重要性

Fig.3 The significance of impact factors

同时,研究区植被碳密度与环境因子的相关性进行了分析,在 13 个影响因子中,与植被碳密度在 0.01 水平上显著相关的高达 12 个,只有一个因子(坡度)在 0.05 水平上显著相关(表 3)。其中土层厚度、腐殖层、植被覆盖度、林种、森林类型、海拔和面积等级与植被碳密度成正相关,在一定程度说明植被碳密度的空间分布受这些环境因素影响,且是正向的影响。坡向、坡位、地类和石漠化程度与植被碳密度成负相关,石漠化程度越高植被碳密度越低;而坡向、坡位、地类与植被碳密度的负相关结果,与代码表示有很大关系,结果显示,坡向高代码的西坡、西北坡,坡位高代码的谷和平地,地类高代码的草地,植被碳密度相对较低。峰丛洼地广为分布的广西喀斯特区植被普遍具有中上坡高、而下坡和低海拔的洼地少的空间分布特征[22-24]。

表 3　植被碳密度与环境因子的相关性

Table 3　The correlation of vegetation carbon density and environmental factors

影响因素 Impact factors	相关性 Correlation	显著性 Significant	数量 Number
海拔 Altitude	0.202**	0	1377
坡向 Aspect	−0.072**	0.007	1377
坡位 Slope position	−0.160**	0	1377
坡度 Slope	0.065*	0.016	1377
土层厚度 Soil thickness	0.323**	0	1377
腐殖层 Humus layer	0.348**	0	1377
植被总覆盖 Vegetation coverage	0.246**	0	1377
地类 Land type	−0.374**	0	1377
植被类型 Vegetation type	−0.089**	0.001	1377
石漠化程度 Degree of rocky desertification	−0.205**	0	1377
林种 Vegetation species	0.305**	0	1377
森林类型 Forest type	0.236**	0	1377
面积等级 Area grade	0.155**	0	1377

** 在.01 水平(双侧)上显著相关,* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

3.3　其它方法分析结果对比

为进一步验证 RBFN 分析结果,采用因子分析与典范对应分析方法进行初步对比分析。

因子分析中虽然 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)度量为 0.797,Bartlett 的球形度检验结果表明数据可以作主成分分析(近似卡方为 96064.574,d*f* 为 78,Sig.为0),但方差特征值不够理想,前 4 个主成分累积方差仅为 68.837%(表 4),结果表明仅做主成分分析不太理想,应采用一定的方法对所有因素分析。

表 4　影响因子的方差特征值

Table 4　Variance eigenvalues of impact factors

成份 Ingredient	合计 Total	方差/% Variance	累积/% Cumulative contribution
1 地类 Land type	4.402	33.865	33.865
2 森林类型 Forest type	2.327	17.897	51.762
3 林种 Vegetation species	1.178	9.064	60.825
4 植被类型 Vegetation type	1.041	8.011	68.837
5 石漠化程度 Degree of rocky dsertification	0.863	6.641	75.478
6 腐殖层 Humus layer	0.774	5.952	81.430
7 面积等级 Area grade	0.547	4.207	85.637
8 植被总覆盖 Vegetation coverage	0.513	3.948	89.585
9 土层厚度 Soil thickness	0.441	3.390	92.975
10 坡位 Slope position	0.349	2.688	95.663
11 坡度 Slope	0.298	2.290	97.953
12 坡向 Aspect	0.161	1.239	99.192
13 海拔 Altitude	0.105	0.808	100.000

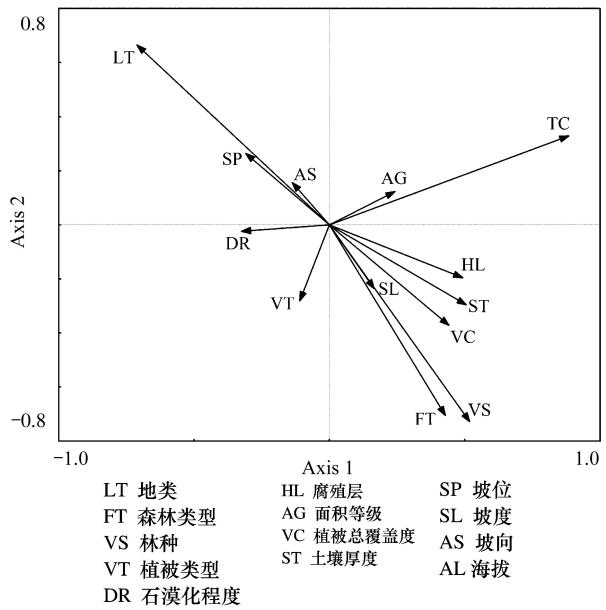

图 4　影响因素的典范对应分析(CCA)排序图

Fig.4　The ordination diagram of impact factors through the method of CCA

典范对应分析方法(CCA)是基于单峰模型和对应分析发展而来的一种排序方法,又称环境约束对应分析或多元直接梯度分析,可以直观地看出他们之间的关系[25]。本研究将其应用于植被碳密度与环境条件关系研究,从而进一步验证 RBFN 分析结果。分析得到,前 4 个排序轴特征值分别 0.337,0.102,0.042 和 0.019,总特征值为 0.641。相关性分别达 0.975,0.915,0.938 和 0.868。表明环境因子与植被碳密度相关性强,却非某一因素起绝对优势(图

4)。

4 结论与讨论

本研究基于 1377 个样本数据,对桂西北影响植被碳密度空间分布的 13 个因子通过 RBFN 模型进行了分析,研究表明,对植被碳密度空间分布的影响最为重要的是土地类型、森林类型、林种和植被类型等可通过人为活动改变的因素(标准化重要性分别在 50%以上),因此生态环境移民、退耕还林等石漠化治理措施对植被碳密度的空间分布具有重要影响。

研究结果得出的植被碳密度空间分布影响因素的重要性排序是可信的。研究区植被碳密度空间分布大致表现为西部高中东部低,北部高南部低。西部植被碳密度集中在 26—36 t/hm^2,中东部植被碳密度集中在 25—30 t/hm^2。这种分布趋势,与植被净第一性生产力 NPP 的空间分布相符(西部植被覆盖度均值超过 60%,NPP 均值超过 1000g/m^2;北部和东部 NPP 部分区域均值在 100g/m^2 以下)[25-26]。而且,广西石漠化面积居全国第 3 位,在 10 个市 76 县(市、区)均有分布[23]。主要分布于广西桂中偏西和桂西南地区,如平果、大化、都安、马山、巴马、东兰、凤山、德保、田东县[23],这些县分布在本研究区的中东部和南部。

据 2005 年石漠化监测调查结果,平果县石山区面积 156486.70 hm^2,其中石漠化地 83366.67 hm^2,潜在石漠化地 14860 hm^2,通过努力,平果县生态环境有了较大改观,全县植树造林和封山育林 45333.33 hm^2,其中封山育林 23793.33 hm^2[8]。说明该区生态环境治理人工调控措施效果显著,区域生态环境好转。同时,前期研究结果显示:在 20 世纪 90 年代,尤其是在 1993—2002 年,广西进行了大规模的生态环境移民(约 49133 户和 232705 人),地处典型喀斯特区、石漠化显著的平果和东兰,单位面积生态服务功能显著增加[25]。这些前期研究结果再次验证了土地类型、森林类型、林种和植被类型等可通过人为活动改变的因素对区域植被空间分布的重要性,同时间接表明生态环境移民、退耕还林等石漠化治理措施对植被碳密度的空间分布具有重要影响。

本文虽通过 RBFN 对桂西北喀斯特区植被碳密度的影响因素进行了初步探索,但更为全面和准确的喀斯特区植被碳密度空间分布驱动机制,将依赖于更多因素加以考虑及更广泛的区域对比研究。

致谢:感谢中国科学院亚热带农业生态研究所徐宪立研究员对本文写作的帮助。

References:

[1] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexier M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 1994, 263(5144): 185-190.

[2] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, Peylin P, Huang Y, Sitch S, Wang T. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. Nature, 2009, 458(7241): 1009-1013.

[3] Cao J H, Yuan D X, Pei J G. Karst ecosystem constrained by geological conditions in southwest China. Beijing: Geological Publishing House, 2005.

[4] Liu C Q, Jiang Y K, Tao F X, Lang Y C, Li S L. Chemical weathering of carbonate rocks by sulfuric acid and the carbon cycling in southwest China. Geochimica, 2008, 37(4): 404-410.

[5] Wang S L, Yeager K M, Wan G J, Liu C Q, Wang Y C, Lu Y C. Carbon export and HCO_3 fate in carbonate catchments: a case study in the karst plateau of southwestern China. Applied Geochemistry, 2012, 27(1): 64-72.

[6] 11th Five-Year Plan of forestry in Guangxi. State forestry administration, China, 2006-01-17. http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/72/content-385171.html.

[7] Rocky desertification was primarily controlled in Guangxi, China. Hechi Daily, 2011-9-14. http://news.hcwang.cn/news/2011914/news008091508.html.

[8] Ten-year anniversary of western region development: control of karst rocky desertification for poverty relief in Guangxi. Xinhua News Agency, 2010-01-16. http://www.gov.cn/jrzg/2010-01/16/content_1512432.htm.

[9] Zhang W, Chen H S, Wang K L, Hou Y, Zhang J G. Spatial variability of soil organic carbon and available phosphorus in a typical karst depression, northwest of Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5168-5175.

[10] Tian D L, Wang X K, Fang X, Yan W D, Ning X B, Wang G J. Carbon storage and spatial distribution in different vegetation restoration patterns in Karsts area, Guizhou province. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(9): 7-14.

[11] Cai G P, Han H Q, Zhang F T, Gao H J, Zhu J. Impacts of land use change on the vegetation carbon storage in Suiyang, Guizhou province in the karst area. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 9(4): 122-125.

[12] Peng W X, Wang K L, Song G T Q, Zeng F P, Wang J R. Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable karst ecosystem. Acta Ecologica Sinic, 2008, 28(2): 811-820.

[13] Luo D H, Xia J, Yuan J W, Zhang Z H, Zhu J D, Ni J. Root biomass of karst vegetation in a mountainous area of southwestern China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(5): 611-618.

[14] Fang J Y, Liu G H, Xu H L. Biomass and net production of forest vegetation in China. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5):

497-508.

[15] Schwenker F, Kestler H A, Palm G. Three learning phases for radial-basis-function networks. Neural Networks, 2001, 14(4): 439-458.

[16] Hang Q H, Cai Y L. Hazardous assessment of karst rocky desertification in Guizhou province: an application of the RBFN model. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(5): 771-778.

[17] Zhang M Y, Wang K L, Zhang C H, Chen H S, Liu H Y, Yue Y M, Luffman I, Qi X K. Using the radial basis function network model to assess rocky desertification in northwest Guangxi, China. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(1): 69-76.

[18] Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, Zhang C H, Duan Y F. Spatio-temporal variation of vegetation carbon storage and density in karst areas of northwest Guangxi based on remote sensing images. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1545-1553.

[19] Huang C D, Zhang J, Yang W Q, Tang X, Zhao A J. Dynamics on forest carbon stock in Sichuan province and Chongqing city. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 966-975.

[20] 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 Phytoecologica Sinica, 2002, 26(2): 243-249.

[21] Zhang M Y, Luo W J, Liu H Y, Zhang C H, Yue Y M, Wang K L. Spatial distribution and change of vegetation carbon in northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data. Acta Ecologica Sinic, 2013, 33(16): 5067-5077.

[22] Hu Y C, Liu Y S, Wu P L, Zou X P. Rocky desertification in Guangxi karst mountainous area: its tendency, formation causes and rehabilitation. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(6): 96-101.

[23] Hu B Q, Li L, Jiang S F. Spatial pattern analysis on karst rocky desertification of Guangxi based on landscape spatial method. Earth and Environment, 2005, 33(Suppl): 581-587.

[24] Yang C M. A discussion on the remote sensing analysis of karst stone desertization in Guangxi. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, 56(2): 34-36, 63-63.

[25] Zhang M Y, Wang K L, Chen H S, Zhang C H, Lui H Y, Fan F D. Quantified evaluation and analysis of ecosystem services in karst areas based on remote sensing. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5891-5901.

[26] Zhang M Y, Wang K L, Lui H Y, Chen H S. The characteristic of land changes in ecologically fragile kast Areas: a case study in northwest Guangxi, China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3105-3116.

参考文献:

[3] 曹建华, 袁道先, 裴建国. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统. 北京: 地质出版社, 2005.

[4] 刘丛强, 蒋颖魁, 陶发祥, 郎赟超, 李思亮. 西南喀斯特流域碳酸盐岩的硫酸侵蚀与碳循环. 地球化学, 2008, 37(4): 404-410.

[6] “十一五”广西林业规划. 国家林业局, 2006-01-17. http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/72/content-385171.html.

[7] 河池市石漠化治理初见成效. 河池日报, 2011-9-14. http://news.hcwang.cn/news/2011914/news008091508.html.

[8] 西部大开发十周年: 广西石漠化治理拓开扶贫路. 新华社, 2010-1-16. http://www.gov.cn/jrzg/2010-01/16/content_1512432.htm.

[9] 张伟, 陈洪松, 王克林, 侯娅, 张继光. 桂西北喀斯特洼地土壤有机碳和速效磷的空间变异. 生态学报, 2007, 27(12): 5168-5175.

[10] 田大伦, 王新凯, 方晰, 闫文德, 宁晓波, 王光军. 喀斯特地区不同植被恢复模式幼林生态系统碳储量及其空间分布. 林业科学, 2011, 47(9): 7-14.

[11] 蔡广鹏, 韩会庆, 张凤太, 郜红娟, 朱建. 喀斯特地区贵州省绥阳县土地利用/覆被变化对陆地植被碳储量的影响. 水土保持研究, 2012, 9(4): 122-125.

[12] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 曾馥平, 王久荣. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式研究. 生态学报, 2008, 28(2): 811-820.

[13] 罗东辉, 夏婧, 袁婧薇, 张忠华, 祝介东, 倪健. 我国西南山地喀斯特植被的根系生物量初探. 植物生态学报, 2010, 34(5): 611-618.

[14] 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.

[16] 黄秋昊, 蔡运龙. 基于 RBFN 模型的贵州省石漠化危险度评价. 地理学报, 2005, 60(5): 771-778.

[18] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 章春华, 段亚锋. 基于遥感影像的桂西北喀斯特区植被碳储量及密度时空分异. 中国生态农业学报, 2013,21(12):1545-1553.

[19] 黄从德, 张健, 杨万勤, 唐宵, 赵安玖. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态. 生态学报, 2008, 28(3): 966-975.

[20] 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.

[21] 张明阳, 罗为检, 刘会玉, 章春华, 岳跃民, 王克林. 基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征. 生态学报, 2013, 33(16): 5067-5077.

[22] 胡业翠, 刘彦随, 吴佩林, 邹秀萍. 广西喀斯特山区土地石漠化: 态势、成因与治理. 农业工程学报, 2008, 24(6): 96-101.

[23] 胡宝清, 李玲, 蒋树芳. 基于景观空间方法的广西喀斯特石漠化空间格局分析. 地球与环境, 2005, 33(Z1): 581-587.

[24] 杨传明. 广西岩溶石漠化变化规律及强弱程度遥感分析. 国土资源遥感, 2003, 14(2): 34-36, 63-63.

[25] 张明阳, 王克林, 陈洪松, 章春华, 刘会玉, 岳跃民, 凡非得. 喀斯特生态系统服务功能遥感定量评估与分析. 生态学报, 2009, 29(11): 5891-5901.

[26] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 陈洪松. 喀斯特生态脆弱区桂西北土地变化特征. 生态学报, 2009, 29(6): 3105-3116.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.12 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Development history and future research priorities of landscape ecology in China ..... CHEN Liding, LI Xiuzhen, FU Bojie, et al (3129)

Research review on effects of urban landscape pattern changes on water environment ..... HUANG Shuo, GUO Qinghai (3142)

A review of multifunctional landscape ..... TANG Qian, DING Shengyan (3151)

Compact development of space-limited city: a case study of Xiamen Island ..... HUANG Shuo, GUO Qinghai, TANG Lina (3158)

Analysis of factors contributing to the cooling effects of Purple Mountain Forest Park ..... YAN Weijiao, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3169)

Impacts of structure characteristics on the thermal environment effect of city parks ..... FENG Yueyi, HU Tangao, ZHANG Lixiao (3179)

Suitability assessment for building land consolidation on gentle hillside based on OWA operator: a case in Dali Bai Nationality Borough in Yunnan, China ..... LIU Yanxu, PENG Jian, HAN Yinan, et al (3188)

Optimization of land use pattern based on eco-security: a case study in the huangfuchuan watershed ..... YU Feng, LI Xiaobing, WANG Hong (3198)

Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas River Basin, Xinjiang ..... LIU Jinwei, JIN Tiantian, LIU Guohua, et al (3211)

Dynamic trend analysis of land use change in the ganjiang upstream watershed by using RS and GIS techniques ..... LU Yanfei, PENG Fang, WAN Yun, et al (3224)

Landscape pattern dynamics and driving forces analysis in the Sanjiang Plain from 1954 to 2010 ..... LIU Jiping, ZHAO Dandan, TIAN Xuezhi, et al (3234)

Optimizing theory and case studies of cultivated slope land in the center of three gorges reservoir area based on patch-scale land evaluation ..... WANG Yongyan, LI Yangbing, SHAO Jingan, et al (3245)

Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern of the mountain-basin system in Guizhou Province ..... LI Yangbing, YAO Yuanwen, XIE Jing, et al (3257)

Spatio-temporal simulation of land cover scenarios in southwestern of China ..... LI Jing, FAN Zemeng, YUE Tianxiang (3266)

Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method ..... ZHANG Lingling, ZHAO Yonghua, YIN Sha, et al (3276)

Study on spatio-temperal change of Tibetan Antelope's habitat based on vegetation coverage ..... ZHAO Haidi, LIU Shiliang, DONG Shikui, et al (3285)

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping field in a groge Karst region, Southwest China ..... FAN Fujing, HUANG Guoqin, SONG Tongqing, et al (3293)

Characteristics of soil microbial populations and biomass under different ecosystems in a canyon karst region ..... TAN Qiujin, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (3302)

Spatial and temporal dynamics of land use and its influence on ecosystem service value in Yangtze River Delta ..... LIU Guilin, ZHANG Luocheng, ZHANG Qian (3311)

Evaluation of tourism dynamic landscape along Qinghai-Tibet railway based on the visual corridor ..... ZHANG Ruiying, XI Jianchao, YAO Yulong, et al (3320)

A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS ..... REN Ping, HONG Buting, LIU Yin, et al (3331)

Assessing the ecosystem conservation status and priority: a case study from Jiangxi Province, China ····· FAN Naiqing, ZHANG Yuxin, LÜ Yihe, et al (3341)

The impact of salt marsh change on sediment accumulation and wave attenuation at the East Chongming Island ····· REN Linjing, LI Xiuzhen, YANG Shilun, et al (3350)

Landscape classification system based on climate, landform, ecosystem: a case study of Xinjiang area ····· SHI Qingdong, WANG Zhi, HE Longmei, et al (3359)

Analysis of landscape pattern evolution characteristic in the hilly and gully area of loess plateau: a case study in Yan'an City, Shaanxi Province ····· ZHONG Lina, ZHAO Wenwu, LV Yihe, et al (3368)

Analysis of the characteristics of agro-landscape heterogeneity under the different disturbances: a case study of Gongyi City ····· ZHANG Xiaoyang, LIANG Guofu, DING Shengyan (3378)

Classification and ordination of grassland landscape in the Shanxi Plateau ····· ZHANG Xianping, LI Zhiqin, WANG Mengben, et al (3386)

Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: a case study over Mount Tai ····· SUN Changfeng, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3396)

Research on spatial distribution and influencing factor of soil moisture in typical depression area of karst region ····· ZHANG Jiguang, SU Yirong, CHEN Hongsong, et al (3405)

Landscape heterogeneity of mountainous and hilly area in the western Henan Province based on moving window method ····· LI Dongke, DING Shengyan, LIANG Guofu, et al (3414)

Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi ····· TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemin, et al (3425)

Landscape pattern analysis on change of fractional vegetation cover between karst and no-karst areas: a case study in Hechi District, Guangxi Zhuang Autonomous Region ····· WANG Mingchong, WANG Xizhi, LIANG Zhaoxiong, et al (3435)

Multi-scale effects for landscape metrics and species diversity under the different disturbance: a case study of Gongyi City ····· DONG Cuifang, LIANG Guofu, DING Shengyan, et al (3444)

Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen concentrations in a *Lithocarpus glaber-Cyclobalanopsis glauca* evergreen broadleaved forest ····· YANG Dan, XIANG Wenhua, FANG Xi, et al (3452)

The characteristics and regeneration of the *Choerospondias axillaries* broad-leaved community in the hilly region of central Hunan Province, China ····· YI Hao, DENG Xiangwen, XIANG Wenhua, et al (3463)

Factors influencing the spatial distribution of vegetation carbon density in karst landscapes of Northwest Guangxi: a case study based on radial basis function network model ····· ZHANG Mingyang, WANG Kelin, DENG Zhenhua, et al (3472)

《生态学报》2014 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研工作者,探索生态学奥秘,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研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,280 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 34 卷　第 12 期　(2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 12 (June, 2014)

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
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
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
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
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
订　　购	全国各地邮局
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

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