

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

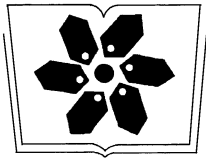
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第6期 Vol.31 No.6 **2011**

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 31 卷 第 6 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

臭氧胁迫对水稻生长以及 C、N、S 元素分配的影响	郑飞翔,王效科,侯培强,等 (1479)
高含氮稻田深层土壤的氨氧化古菌和厌氧氨氧化菌共存及对氮循环的影响	王 雨,祝贵兵,王朝旭,等 (1487)
气候年际变率对全球植被平均分布的影响	邵 璞,曾晓东 (1494)
模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响	王 蓓,孙 庚,罗 鹏,等 (1506)
广州城区生态安全岛典型植物群落结构及物种多样性	莫 丹,管东生,黄康有,等 (1515)
中亚热带湿地松人工林生长过程	马泽清,刘琪璟,王辉民,等 (1525)
潜流人工湿地中植物对氮磷净化的影响	刘树元,阎百兴,王莉霞 (1538)
模拟氮沉降对两种竹林不同凋落物组分分解过程养分释放的影响	涂利华,胡庭兴,张 健,等 (1547)
苔藓植物对贵州丹寨汞矿区汞污染的生态监测	刘荣相,王智慧,张朝晖 (1558)
三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响	李 强,丁武泉,朱启红,等 (1567)
上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应	祝振昌,张利权,肖德荣 (1574)
栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响	张晓鹏,潘开文,王进闯,等 (1582)
荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响	丁金枝,来利明,赵学春,等 (1594)
黄土丘陵沟壑区小流域土壤有机碳空间分布及其影响因素	孙文义,郭胜利 (1604)
种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响	李玉英,胡汉升,程 序,等 (1617)
测墒补灌对冬小麦氮素积累与转运及籽粒产量的影响	韩占江,于振文,王 东,等 (1631)
植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力	孙 林,程丽娟 (1641)
北方两省农牧交错带沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布	贺学礼,陈 程,何 博 (1653)
基于水源涵养的流域适宜森林覆盖率研究——以平通河流域(平武段)为例	朱志芳,龚固堂,陈俊华,等 (1662)
黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素	刘志华,杨 健,贺红士,等 (1669)
大兴安岭小尺度草甸火燃烧效率	王明玉,舒立福,宋光辉,等 (1678)
长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征	张 涛,庄 平,章龙珍,等 (1687)
骨顶鸡等游禽对不同的人为干扰的行为响应	张微微,马建章,李金波 (1695)
光周期对白头鹇体重、器官重量和能量代谢的影响	倪小英,林 琳,周菲菲,等 (1703)
应用稳定同位素技术分析华北部分地区第三代棉铃虫虫源性质	叶乐夫,付 雪,谢宝瑜,等 (1714)
西花蓟马对蔬菜寄主的选择性	袁成明,郅军锐,曹 宇,等 (1720)
基于 Cyt b 基因序列分析的松毛虫种群遗传结构研究	高宝嘉,张学卫,周国娜,等 (1727)
沼液的定价方法及其应用效果	张昌爱,刘 英,曹 曼,等 (1735)
垃圾堆肥基质对不同草坪植物生态及质量特征的影响	赵树兰,廉 菲,多立安 (1742)
五氯酚在稻田中的降解动态及生物有效性	王诗生,李德鹏 (1749)
专论与综述	
景观遗传学:概念与方法	薛亚东,李 丽,吴巩胜,等 (1756)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 31 * 2011-03	



封面图说:美丽优雅的新疆夏尔西里森林草地原始景观。夏尔西里国家级自然保护区建立在新疆博乐北部山区无人干扰的中哈边境上,图中雪地云杉为当地的优势树种。

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

黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素

刘志华, 杨 健, 贺红士*, 常 禹

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘要: 林火是森林生态系统景观格局、动态和生态过程的重要自然驱动力, 理解林火发生空间格局与影响因素对于林火安全管理具有重要的作用。采用点格局分析方法, 以黑龙江大兴安岭呼中林区 1990—2005 年火烧数据为研究案例, 分析了火烧点空间格局及其影响因素。结果表明, 火烧点在空间上的分布是不均匀的, 呈现聚集分布, 存在一些火烧高发区和低发区。呼中林区火烧概率是 $0.004 - 0.012$ 次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 平均火烧概率为 0.0077 次/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。人类活动因子、地形因子和植被因子对林火的发生均具有重要作用。应用空间点格局分析方法表明, 距离居民点和道路的距离、高程、坡度和林型是影响林火发生的显著因子。因此在进行森林防火管理时, 仅仅通过控制人类活动对于降低林火火险的效果是有限的, 地形和林型也是林火防控时重点要考虑的因素。

关键词: 林火; 空间点格局分析; 大兴安岭

Spatial point analysis of fire occurrence and its influence factor in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province, China

LIU Zhihua, YANG Jian, HE Hongshi*, CHANG Yu

Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

Abstract: Forest fire is a key natural disturbance in shaping forest landscape pattern and dynamics, affecting tree species composition and age structure. Therefore, understanding spatial pattern of fire disturbance and its influencing factors is integral to adaptive forest management. Fire is a complex process, influenced by various environmental controls at different scales. The relative influence of environmental controls on fire occurrence can vary spatially and temporally. At the regional and continental scales, spatial pattern of fire is mainly influenced by ignition, biome distribution, and climate. At the landscape scale, spatial pattern of fire is mainly influenced by ignition, vegetation, and topography. At the stand scale, spatial pattern of fire is mainly influenced by fuel, micro-topography and weather. Because forest fire management is often conducted at the landscape scale, we focused on this scale in our study.

Using the spatial point process analysis, this study examined the spatial pattern of fire occurrence and its influencing factors in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang province, China during 1990—2005. A spatial point process (e.g., Poisson process) is any stochastic mechanism that generates spatial pattern of point locations. Reported fire occurrence locations, recorded as geographically referenced spatial points, were used as a dependent variable and were mapped using GIS. Abiotic (e.g., elevation, aspect, and slope), biotic (e.g., vegetation type), and human factors (e.g., Euclidean distance to nearest road, Euclidean distance to nearest settlements) were used as explanatory variables (spatial covariates). The fire occurrence was modeled as inhomogeneous Poisson process. The residual analysis and AIC were used to determine the optimal inhomogeneous Poisson models that include different sets of spatial covariates (with transformation). A maximum pseudolikelihood method was used to estimate the coefficients of each spatial covariates.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-444); 中国科学院“百人计划”项目 (09YBR211SS); 国家自然科学基金资助项目 (41071121)

收稿日期: 2010-04-26; 修订日期: 2011-01-012

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: heh@iae.ac.cn

The results indicated that fire occurrence is not random but spatially clustered. There are some hotspots (i.e., areas with high fire occurrence density) as well as a few coldspots with low occurrence density across the landscape. The fire occurrence density map showed a spatial trend from southwest to northeast. The burned probability ranged from 0.004 — 0.012/(km²·a), with average burned probability is 0.0077/(km²·a) for the study area. Spatial point process analysis showed that distance to nearest settlement and road, elevation, slope, and forest type were the main influencing factors. The results are consistent with previous studies that human-related factors, topography and vegetation are the primary drivers for modern fire regimes, although their relative influence varies. Current forest fire management for this landscape has mainly focused on reducing human activities that may lead to fire ignitions. Our results suggested that, in addition to human activities, influences of topography and vegetation type on fire occurrence should also be considered in the future fire risk management.

Key Words: forest fire; spatial point process analysis; Great Xing'an Mountains

林火干扰是寒温带森林生态系统景观格局、动态和生态过程的重要自然驱动力,影响森林生态系统的物种组成、年龄级分布、功能和动态^[1-3]。林火每年能够释放出 3.5—4.0Pg 碳,相当于每年化石燃料燃烧释放出的碳的 40%—50%^[4-5]。林火深刻影响着陆地生态系统的过程和陆地森林景观的结构,对塑造和维护陆地生态系统起着重要的作用。因此,研究林火发生的空间格局分布及其影响因素,对森林管理和林火安全具有重要作用。

林火的空间格局受多种因素的影响,不同的空间尺度上,影响林火发生的因素是不同的。大尺度上(大陆尺度),林火的发生主要由火源-植被-气候控制;中尺度上(景观尺度),林火的发生主要受天气-地形-可燃物控制;小尺度上(林分尺度),林火的蔓延主要受可燃物-微地形-微气候控制^[6-9]。景观水平通常是森林管理和林火控制的关键尺度,因此研究景观尺度上林火发生与控制因子之间的关系具有重要作用。

虽然林火在森林生态系统中具有重要作用,但是人为活动改变了自然火干扰状况(Fire regimes)。为了制定出有效的林火管理措施,就要理解改变自然火状况的原因和干扰-林火的关系。人类活动是改变火烧频率和火烧面积的主要因素之一,人类通过增加的点火概率(增加火频)和减少火烧面积(灭火)、改变植被组成,极大地影响着当代火状况^[10-11]。然而有的研究表明,植被因子和地形因子是控制林火发生的主要因素。不同的研究者,在不同的地区采用不同研究方法,很难得出普遍适用的结论,这可能是由于采用不同的指标、不同时空尺度的数据的原因。另一个可能的解释是人类活动-火干扰之间的关系是非线性的^[8,12-13]。国内学者对林火发生因素的研究主要集中在气候因子与林火发生之间的关系¹⁴⁻¹⁹、森林可燃物和地形因素对林火发生的影响^[20-22],对林火发生的空间格局分布及人类活动如何影响林火的发生研究较少。

历史上,大兴安岭林区的火烧以低强度的地面火为主,火烧轮回期较短^[23-24]。但是建国以来实施的森林防火政策导致了大兴安岭林区的森林火烧轮回期延长^[21,25],可燃物累积^[26],在未来气候变得更加干暖的趋势下,林火的发生将会更加频繁。因此研究林火发生的空间格局及其影响因素,对大兴安岭林火安全和森林生态系统的管理具有重要意义。

点格局分析通常用来探索空间点数据的空间分布^[27]。如研究种群特征、种群间相互作用以及种群与环境关系^[28-31]。本研究将点格局分析方法引入到林火发生的空间格局分析,将林火的发生点视为二维空间的一个点,所有林火发生点就组成空间分布的点图,以点图为基础进行空间格局分析,叫做“点格局分析”。以黑龙江大兴安岭呼中林区 1990—2005 年林火发生点数据为例子,研究火烧点空间分布格局及其影响因素。通过点格局分析,主要解决以下问题:(1)林火发生点在空间上分布是空间随机分布还是聚集分布?(2)林火发生点的影响因素有哪些?通过这些分析,以期对林火安全管理提供理论基础。

1 研究区概况

呼中林区位于我国大兴安岭伊勒呼里山北坡,呼玛河中上游地区,地理坐标为 E122°39'30"—124°21'00",

N51°14'40"—52°25'00"。北与漠河县、塔河县接壤,南至伊勒呼里山分水岭与松岭区和内蒙古自治区鄂伦春自治旗相邻,东与新林区相连,西与内蒙古自治区额尔古纳左旗交界。全境南北长 125km 东西,宽 115km,总面积为 937 244hm²。

呼中林区地处大兴安岭北部高纬度寒温带地区,属大陆性季风气候,为寒冷湿润气候区。光照充足,雨量充沛,寒冷湿润,光、热、水地域性差异明显,夏季短暂,冬季受西伯利亚蒙古高压气团影响寒冷而漫长,冰冻期长达半年之久,绝对最低温度-47.5℃。春秋两季受蒙古干旱风影响,天气条件变化剧烈,常出现高温、低湿和大风天气,因而春季和秋季是林火的高发期^[32-33]。

地貌类型为大兴安岭北部石质中低山山地,山峦连绵起伏,山体浑圆,坡度平缓,一般在 15°以下,局部的阳坡较陡,可达到 35°以上。大兴安岭的主脉在呼中林区西部,呈南北走向,伊勒呼里山横贯呼中林区南部,呈东西走向,中部为呼玛河谷,全区地势西南部高,东北部低。海拔在 500—1000m 之间,平均海拔高 812m,最高峰在南部中心地带小白山处,为 1404.2m;最低海拔在北部呼玛河出境处,为 420m。

呼中林区植被在植物区系上属泛北极植物区东西伯利亚植物区系,以西伯利亚植物区系成分为主,混有东北植物区系成分和蒙古植物区系成分^[32-34]。地带性植被类型为寒温性针叶林,以兴安落叶松(*Larix gmelini*)为单优势种的针叶林。主要的针叶乔木树种有:兴安落叶松、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和红皮云杉(*Picea koraiensis*)。主要的阔叶乔木树种有:白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、和钻天柳(*Chosenia arbutifolia*)。偃松(*Pinus pumila*)分布于海拔较高的地带,构成了亚高山的特有景观和山地寒温带针叶疏林的林下灌木,它对涵养水源、保护珍稀濒危野生动植物物种具有重要作用。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

(1)主要数据来源包括 研究区 1990—2005 年火烧记录数据,2000 年森林分类图(1:100000)以及属性数据库(林业部大兴安岭林业管理局),1:10 万地形图,道路图层及居民点位置。

火烧记录数据来源于大兴安岭呼中林区防火办公室,该数据包括火烧起火点的位置、火烧面积、起火原因、起火时间及灭火时间、过火植被类型等。本研究将火烧点数据空间化,便于分析其空间分布格局(图 1)。

(2)人类活动因子 由于人类活动是造成林火发生的主要原因之一,所以假设距离道路和居民点越近,林火发生概率越高。基于道路图层和居民点位置图层,运用 ArcGIS 空间分析功能,计算研究区每一点到道路和居民点的最近距离。

(3)地形因子 由于林火的发生同时也受到地形等因子的影响,如海拔高的地方容易发生雷击火;坡度是影响林火蔓延的主要因子之一;不同坡向由于接受的太阳辐射不同,导致可燃物的累积、分解和含水率都有所不同。本研究选取海拔、坡度和坡向作为地形因子。海拔、坡度和坡向由 1:10 万地形图通过 ArcGIS 空间分析获得。

(4)植被因子 植被是可燃物的表现形式,是林火发生的物质基础。不同的林型会有不同可燃物载量、林火蔓延速度和能量释放潜力^[26]。本研究根据森林分类图以及属性数据库,将植被分为针叶林、阔叶林、采伐迹地和火烧迹地、谷底和沼泽、无林地(包括居民点、道路和水域等)。

所有的人类活动因子、地形因子和植被因子都转成 Arc/INFO GRID 格式,象元大小为 90m×90m,投影为 Transverse/WGS84。

2.2 点格局分析

点格局分析通常采用空间条件强度来描述空间点的空间分布^[27]。空间条件强度分为一阶条件强度和二阶条件强度。一阶条件强度可用 kernel-smoothed Intensity($\lambda(u)$, u 表示空间点位置)来计算,表示单位面积上每个点出现的次数,计算公式如下:

$$\lambda_b(s) = \frac{1}{C_b(s)} \sum_{i=1}^n K_{ib}(s - x_i)$$

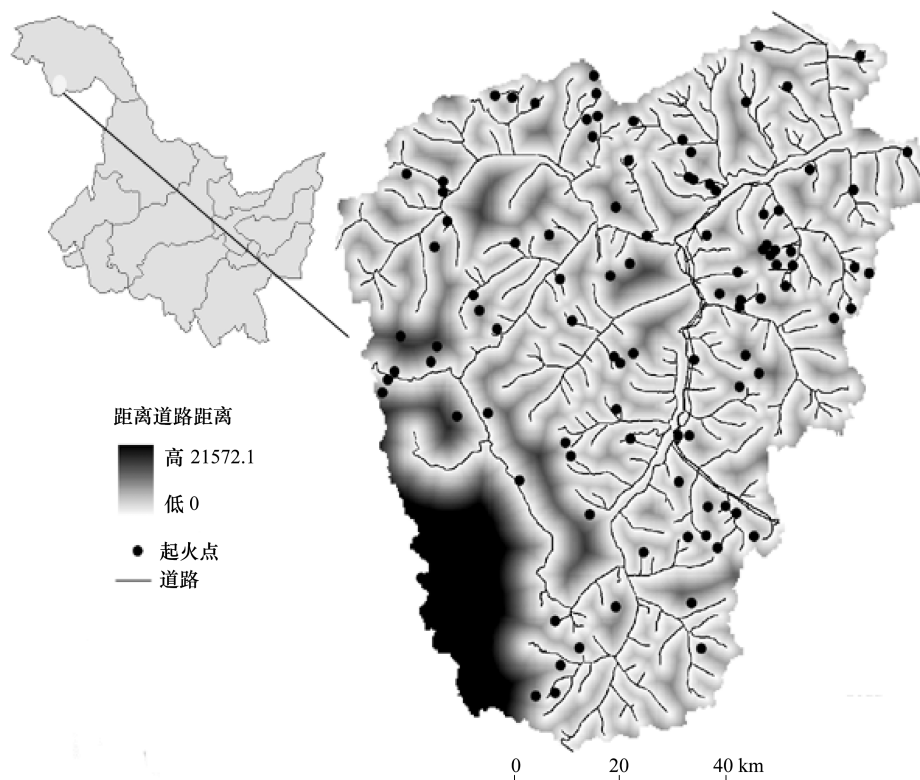


图1 呼中林区 1990—2005 年火烧点位置、道路图层及距最近道路距离图层

Fig. 1 Study area with fire occurrence between 1990 and 2005, road coverage, and distance to nearest road

式中, K_{ib} 表示 kernel-smoothed 强度, s 表示待估点空间位置, C_b 表示边界改正因子, x_i 表示第 i 个空间点。二阶条件强度可用 Ripley's K 函数来描述, 表示局部空间尺度上每个点出现的次数, 计算公式如下:

$$k(h) = \text{任意位置上 } h \text{ 范围内平均点的个数} / \lambda$$

λ 表示 kernel-smoothed 强度, h 表示计算半径。

Ripley's K 函数用来比较空间点位置之间的关系。通过比较真实点的 Ripley's K 函数值和空间随机点 (Complete Spatial Randomness; CSR) 之间的 K 值 ($K(h) = \pi h^2$), 便可了解空间点的分布状态。如果 $K(h) < \pi h^2$, 说明空间点是规则分布, 如果 $K(h) > \pi h^2$, 表示空间点是聚集分布。

2.3 点格局过程模拟

点格局过程表示能够产生空间点格局 (用 x 表示) 的函数关系, 如高斯分布, 波松分布等。点格局过程也可由空间条件强度函数 $\lambda_\theta(u, x)$ 来拟合。空间条件强度函数 $\lambda_\theta(u, x)$ 可由下式表示:

$$\lambda_\theta(u, x) = \exp(\theta^T B(u) + \varphi^T C(u, x))$$

式中, θ 和 φ 表示要拟合的参数, $B(u)$ 只与空间位置有关, 表示空间趋势部分; 而 $C(u, x)$ 不但与空间位置有关, 还与空间点之间的相互作用有关, 表示空间随机作用部分, 对于波松分布, 此项为零。

2.4 点格局过程模拟方程选择

研究采用 spatstat 软件包来拟合火烧点数据和各种影响因子之间的关系^[35]。采用 AIC 标准确定最佳模型, AIC 越小, 说明模型拟合越好。确定最佳模型的主要作用有: (1) 确定对林火发生点有显著影响的因子; (2) 确定入选因子的参数, 即确定各个因子对林火发生的贡献。

首先, 将林火发生点数据作为空间随机点数据 (CSR) 来模拟, 然后采用潜变量作图法了解哪些影响因子可以作为潜在变量选入模型, 最后采用 AIC 法选择最佳模型。由于采用指数法 (非线性过程) 模拟空间条件强度函数 $\lambda_\theta(u, x)$, 所以将变量的二次方变换形式也纳入模型中, 进行 AIC 变量筛选。模型的拟合和变量的

选择均在 R 统计软件中完成。

3 结果

3.1 空间点分布

kernel-smoothed 空间强度图表明,火烧点在空间上的分布是不均匀的,存在一些火烧高发区和低发区(图 2a)。研究区平均火烧概率是 $0.004\text{—}0.012$ 次/ $(\text{km}^2\cdot\text{a})$ (6×10^{-9} 到 1.8×10^{-8} 次/ $(\text{m}^2\cdot 15\text{a})$)。平均火烧概率图大致呈现东北区域火烧概率高而其他地区火烧概率低的总体趋势。说明火烧点并非空间随机分布,而是呈现一定程度的聚集性。Rilpey's K 函数结果也表明 $K(h) > \pi h^2$, 表示空间点是聚集分布(图 2b)。所以研究区的火烧概率可用非均匀波松分布来拟合。

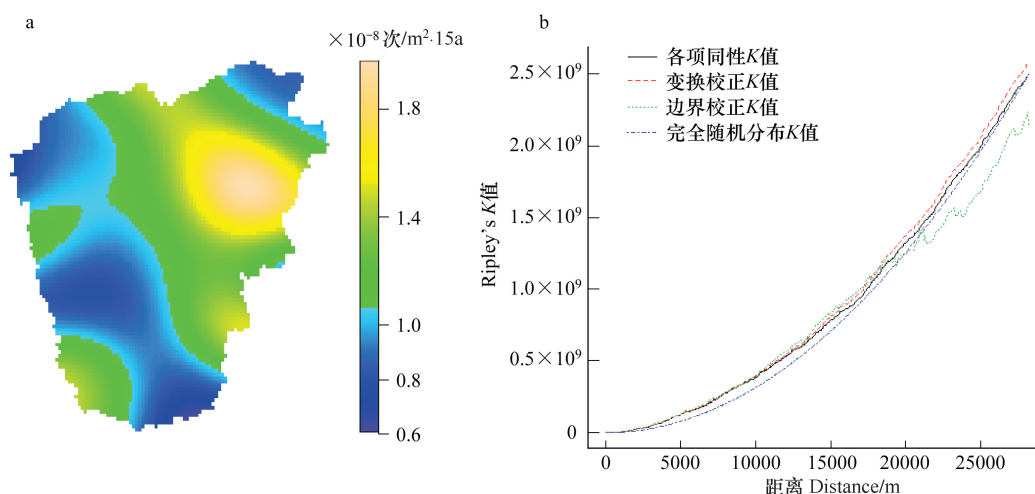


图 2 1900—2005 年火烧点的 (a)kernel-smoothed 强度 (b) K 方程

Fig. 2 Kernel-smoothed intensity (number of fires per square meter) (a), and K function (b) from the fire occurrence data in 1900—2005

3.2 模型拟合和诊断

采用空间随机点模型模拟的林火发生的平均概率是 0.0077 次/ $(\text{km}^2\cdot\text{a})$ (1.16×10^{-8} 次/ $(\text{m}^2\cdot 15\text{a})$)。采用潜变量作图法,应用皮尔逊残差对连续空间变量(到最近道路距离、海拔、坡度和到最近居民点距离)作图,如果空间随机模型能够正确模拟空间点格局数据,则皮尔逊残差应该趋近于 0,如果皮尔逊残差超出 2σ ,则说明空间随机模型显著低估或高估在该尺度上的空间概率。

结果表明,在距离居民点 $1\text{—}2.5\text{km}$ 范围内的火烧概率大于其他区域内的火烧概率,这大概是由于在此范围由于人类活动频繁而增加了火烧概率,在 $<1\text{km}$ 的区域,虽然人类活动频繁,但是由于植被较少和火烧容易发现,所以火烧概率并不高;而在 $>2.5\text{km}$ 的区域超出了日常活动范围,所以受人类活动影响较小。对海拔的分析可知,在 $950\text{—}1000\text{m}$ 范围内的火烧概率大于其他海拔范围内的火烧概率,虽然这个海拔区间很小,但是占总研究区 12% 的面积。该区间火烧概率大应该是受自然火的原因,因为研究区海拔 $<900\text{m}$ 的区域占研究区的 75% 左右。对坡度的分析表明,在 6° 和 15° 附近的火烧概率大于其他坡度范围内。对距离道路距离分析表明,空间随机点模型基本可以描述不同距离内的火烧概率,但是在道路两侧 5km 距离内皮尔逊残差剧烈波动,说明在此区间内火烧概率较大(图 3)。

3.3 人类活动因子、地形因子和植被因子对林火发生的影响

AIC 标准选择到模型中的变量及其拟合系数如表 1。结果表明,地形因子中,高程和坡度是影响林火发生的显著因子,而坡向对林火发生的影响不显著;人类活动因子中,距离居民点和道路的距离是影响林火发生的显著因子。植被因子对林火的发生也具有显著影响。其中不同林型中林火发生概率为采伐迹地和火烧迹地 $>$ 谷底和沼泽 $>$ 阔叶林 $>$ 针叶林。

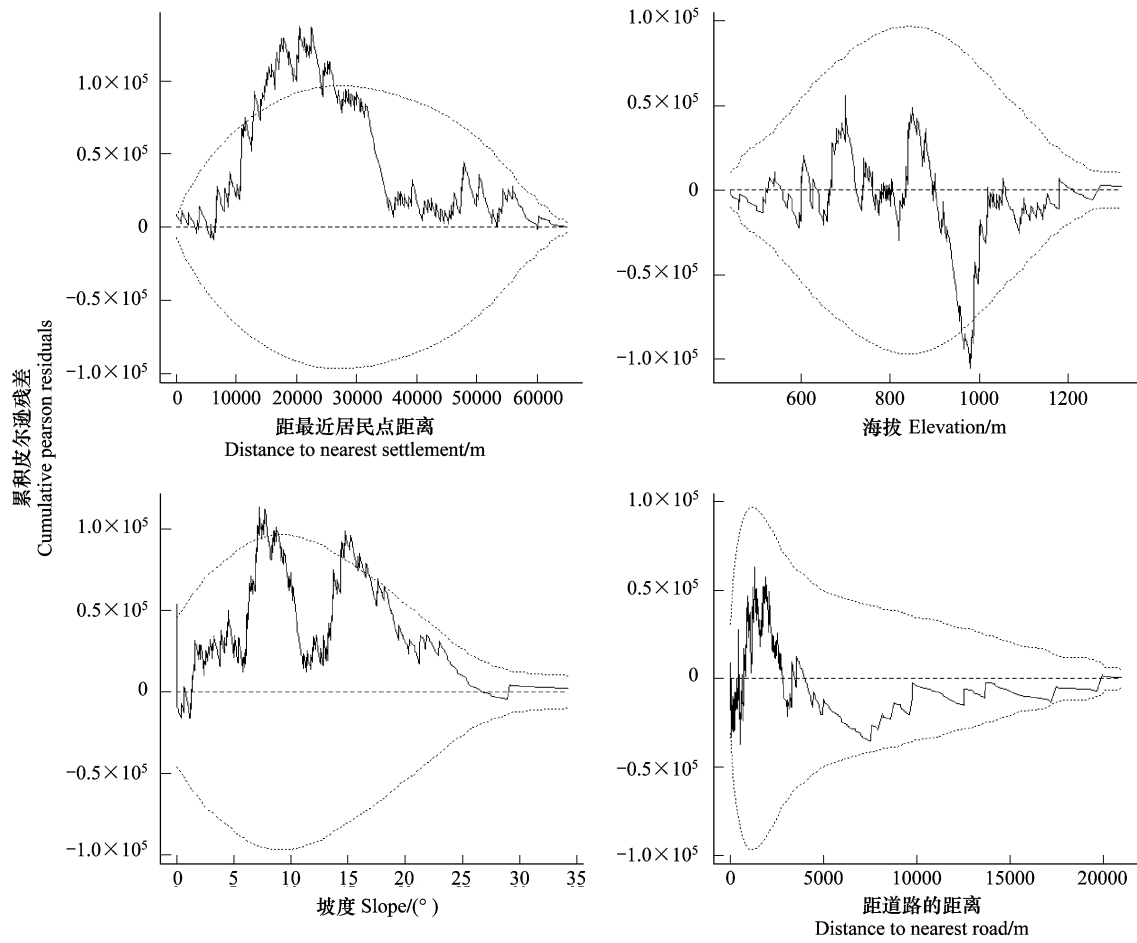


图3 空间随机点模型对影响因子潜变量作图

Fig. 3 Lurking variable plots

实线表示累积皮尔逊残差,虚线表示2倍标准误差

表1 AIC标准选择的模拟火烧点格局模型及其系数

Table 1 Spatial point model and coefficients based on AIC criterion

变量 Variables	系数 Coefficient
截距 Intersect	-18.570
高程 DEM	1.236×10^{-3}
距离道路的距离平方 Square of distance to nearest road	3.392×10^{-8}
坡度的平方 Square of slope	-1.376×10^{-3}
距离居民点距离 Distance to nearest settlement	-2.274×10^{-5}
针叶林 Coniferous	-0.539
阔叶林 Broadleaf	-0.364
采伐迹地和火烧迹地 Harvest or burned area	0.658
谷底和沼泽 Valley or marsh	1.129
无林地 Non-forest	N/A

4 讨论与结论

本研究结果表明,虽然单次林火的发生可能是随机的,但是在大的时空尺度上看,林火的发生具有一定的聚集性特征,某些区域的林火发生概率会明显高于其他位置。Parisien and Moritz^[6]采用生境模型研究林火的发生因素是也指出,林火的高发区往往位于其“适宜生境”区,如干燥的天气、丰富的可燃物和火源条件。缺

乏任何一个条件,都将成为林火发生的限制因子。郭福涛等^[36]应用空间点格局分析大兴安岭雷击火空间分布时也指出,雷击火存在空间聚集特征,存在一些雷击火频发区。对于本研究区来说,林火的发生并非空间随机的,也呈现出一定的聚集性。林火的高发区主要位于道路两侧和距离居民点 1—2.5km 的区域,该区域位于人类活动较为频繁的区域,人类活动明显增加了林火发生的概率。

研究结果表明,人类活动因子、自然环境因子和植被因子均对林火的发生具有显著的控制作用。如距道路和居民点的距离是影响林火发生的主要人为活动因素,高程、坡度和植被类型是影响林火发生的自然因子。多数研究都指出,地形-可燃物-火源仍然是影响林火发生的最主要因素,但这些因子的重要性在不同的森林生态系统中有所不同^[9-10,12-13,37]。在一个以人为火为主要火源的森林生态系统中,人为干扰和火之间的关系既有正的也有负的,因为人类活动会增加火烧频率,但由于又可以及时灭火,因此人类活动是引起火灾和火烧面积变化的主要原因。所以与以自然火为主要火源的森林生态系统相比,以人为火为主要火源的森林生态系统中的林火主要以小面积的火灾为主,主要发生在道路和居民点等附近^[10-11]。

虽然人类活动是影响林火发生主要因素,但是地形因子和植被因子对林火的发生并未由于人类活动的增加而消失。因此在进行森林防火管理时,仅仅通过控制人类活动对于降低火灾次数的效果是有限的。地形和林型也是林火防控时重点要考虑的因素^[37]。降低林火发生次数和强度的有效手段是及时进行可燃物的清除。可燃物处理在美国许多森林生态系统已经得到了成功的运用,可燃物处理主要采用计划火烧和机械清除两种方法^[38],这两种方法强调可燃物处理应集中在可燃物过量堆积的地方。但本研究表明,在制定可燃物处理的过程中,必须要考虑林火发生的空间异质性,可燃物处理应集中在林火的高发区,如道路和居民点附近,才能制定出更加有效的林火控制策略。

本研究的不足之处在于未考虑气候因素对林火发生的影响,气候因素也是林火发生的主要影响之一^[6,16],由于气候因素只在较大的尺度上具有变异性,而在小尺度上不能体现其变异性。因此本研究并未将其作为影响因子纳入模型的选择和拟合,由此可能会给结果带来一定的不确定性。

References:

- [1] Turner M G, Romme W H. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape Ecology*, 1994, 9(1):59-77.
- [2] Turner M G, Baker W L, Peterson C J, Peet R K. Factors influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems*, 1998, 1(6):511-523.
- [3] Flannigan M, Stocks B, Turetsky M, Wotton M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. *Global Change Biology*, 2009, 15(3):549-560.
- [4] Bowman D M J S, Balch J K, Artaxo P, Bond W J, Carlson J M, Cochrane M A, D'Antonio C M, DeFries R S, Doyle J C, Harrison S P, Johnston F H, Keeley J E, Krawchuk M A, Kull C A, Marston J B, Moritz M A, Prentice I C, Roos C I, Scott A C, Swetnam T W, van der Werf G R, Pyne S J. Fire in the earth system. *Science*, 2009, 324(5926):481-484.
- [5] Running S W. Is global warming causing more, larger wildfires? *Science*, 2006, 313(5789):927-928.
- [6] Parisien M A, Moritz M A. Environmental controls on the distribution of wildfire at multiple spatial scales. *Ecological Monographs*, 2009, 79(1):127-154.
- [7] Rollins M G, Morgan P, Swetnam T. Landscape-scale controls over 20th century fire occurrence in two large Rocky Mountain (USA) wilderness areas. *Landscape Ecology*, 2002, 17(6):539-557.
- [8] Morgan P, Hardy C C, Swetnam T W, Rollins M G, Long D G. Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, 10(3/4):329-342.
- [9] Yang J, He H S, Shifley S R. spatial controls of occurrence and spread of wildfires in the missouri ozark highlands. *Ecological Applications*, 2008, 18(5):1212-1225.
- [10] Syphard A D, Radeloff V C, Keeley J E, Hawbaker T J, Clayton M K, Stewart S I, Hammer R B. Human influence on california fire regimes. *Ecological Applications*, 2007, 17(5):1388-1402.
- [11] Yang J, He H S, Shifley S R, Gustafson E J. Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *Forest Science*, 2007, 53(1):1-15.
- [12] Moritz M A. Spatiotemporal analysis of controls on shrubland fire regimes: age dependency and fire hazard. *Ecology*, 2003, 84(2):351-361.

- [13] Veblen T T, Kitzberger T, Donnegan J. Climatic and human influences on fire regimes in ponderosa pine forests in the colorado front range. *Ecological Applications*, 2000, 10(4):1178-1195.
- [14] Tian X R, Wang M Y, Shu L F. Forest fire trends and prevention under the global change. *Forest Fire Prevention*, 2003, 33(3):32-34.
- [15] Zhao F J, Shu L F, Tian X R, Wang M Y. Review on climatic change and forest fire. *Forest Fire Prevention*, 2005, 87(4):19-21.
- [16] Zhao F J, Wang M Y, Shu L F, Wang C Y. Progress in studies on influences of climate change on forest fire regime. *Advance in Climate Change Research*, 2009, 5(1):50-55.
- [17] Wang M Y, Shu L F, Tian X R, Shi J. Spatial fluctuation of forest fires and their response to global change(I). *Fire Safety Science*, 2003, 12(3):165-170.
- [18] Jin S, Hu H Q. Study on forest fire regime of heilongjiang province I. forest fire spatial and temporal dynamics and statistical distribution. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(1):88-94.
- [19] Hu H Q, Jin S. Study on forest fire regime of heilongjiang province II. I analysis on factors affecting fire dynamics and distributions. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(2):98-102.
- [20] Zhou Z Q, Gao G P, Qu Y. Study on relationship between forest fuel and forest fire occurrence in major forest types in western Liaoning province. *Journal of Northeast Forestry University*, 1999, 27(1):76-78.
- [21] Jin S. Studies on fire regime of heilongjiang province III. relationships between forest fires and forest types on a large scale. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(4):171-175.
- [22] Tian X R, Shu L F, Wang M Y, Zhao F J. Analysis of forest fire characteristic in Daxing'an Mountains. *Forest Fire Prevention*, 2008, 97(2):20-21.
- [23] Xu H C, Li Z D, Qiu Y. fire disturbance history in virgin forest in northern region of daxinganling mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(4):337-343.
- [24] Hu H Q. Study on fire scar of trees in Daxing'an Mountains' virgin forest region. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(4):68-72.
- [25] Chang Y, He H S, Hu Y M, Bu R C, Li X Z. Historic and current fire regimes in the Great Xing'an Mountains, northeastern China: implications for long-term forest management. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(3):445-453.
- [26] Shan Y L, Zhang M, Yu Y B. Current situation and developing trend of the study on forest fuel. *Journal of Beihua University: Natural Science Edition*, 2004, 5(3):264-269.
- [27] Diggle P J. *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. London, UK: Arnold, 2003.
- [28] Sun Z H, Zhang Y D. Spatial distribution pattern of *Larix Olgensis* natural regeneration seedling in *Larix Olgensis* plantation and data-mining of seedling spatial mapped points. *Journal of Biomathematics*, 2009, 24(3):556-566.
- [29] Shi Y, Yu X X, Yue Y J, Zhang Z M, Gan J, Wang X P, Li J H. Pattern analysis of different populations in natural secondary forest of *Betula davurica* in mountainous area of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(5):35-41.
- [30] Chang J, Pan C D, Shi R F. Analysis on dominant species distribution patterns and relation of *Ass. Haloxylon persicum*+*H. ammodendron*. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2006, 29(2):26-29.
- [31] Niu L L, Yu X X, Yue Y J. Spatial patterns of different age class individuals in *Pinus tabulaeformis* forest in Songshan Nature Reserve of Beijing, China. *Chinese Journal of Apphed Ecology*, 2008, 19(7):1414-1418.
- [32] Zhou Y L. *Vegetation in Great Xing'an Mountains of China*. Beijing: Science Press, 1991.
- [33] Xu H C. *Forest in Great Xing'an Mountains of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [34] Hu Y M, Xu C G, Chang Y, Li X Z, Bu R C, He H S, Leng W F. Application of spatially explicit landscape model (LANDIS): a case study in Huzhong area, Mt. Great Xing'an. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9):1846-1856.
- [35] Baddeley A, Turner R. spatstat: An R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of Statistical Software*, 2005, 12(6):1-42.
- [36] Guo F T, Hu H Q, Ma Z H. Spatial point process for spatial distribution pattern of lightning caused forest fires in DaXing'an Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12):6741-6747.
- [37] Grissino-Mayer H D, Romme W H, Lisa Floyd M, Hanna D D. Climatic and human influences on fire regimes of the southern San Juan mountains, Colorado, USA. *Ecology*, 2004, 85(6):1708-1724.
- [38] Agee J K, Skinner C N. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 2005, 211(1/2):83-96.

参考文献:

- [14] 田晓瑞, 王明玉, 舒立福. 全球变化背景下的我国林火发生趋势及预防对策. *森林防火*, 2003, 33(3):32-34.
- [15] 赵凤君, 舒立福, 田晓瑞, 王明玉. 气候变化与林火研究综述. *森林防火*, 2005, 87(4):19-21.
- [16] 赵凤君, 王明玉, 舒立福, 王春乙. 气候变化对林火动态的影响研究进展. *气候变化研究进展*, 2009, 5(1):50-55.

- [17] 王明玉, 舒立福, 田晓瑞, 史军. 林火在空间上的波动性及其对全球变化的响应(I). 火灾科学, 2003, 12(3):165-170.
- [18] 金森, 胡海清. 黑龙江省林火规律研究 I. 林火时空动态与分布. 林业科学, 2002, 38(1):88-94.
- [19] 胡海清, 金森. 黑龙江省林火规律研究 II. 林火动态与格局影响因素的分析. 林业科学, 2002, 38(2):98-102.
- [20] 周志权, 高国平, 曲艺. 辽西主要林型地被可燃物与林火发生关系的研究. 东北林业大学学报, 1999, 27(1):76-78.
- [21] 金森. 黑龙江省林火规律研究 III. 大尺度水平林火与森林类型之间的关系研究. 林业科学, 2002, 38(4):171-175.
- [22] 田晓瑞, 舒立福, 王明玉, 赵凤君. 大兴安岭林火特征分析. 森林防火, 2008, 97(2):20-21.
- [23] 徐化成, 李湛东, 邱扬. 大兴安岭北部地区原始林火干扰历史的研究. 生态学报, 1997, 17(4):337-343.
- [24] 胡海清. 大兴安岭原始林区林木火疤的研究. 自然灾害学报, 2003, 12(4):68-72.
- [26] 单延龙, 张敏, 于永波. 森林可燃物研究现状及发展趋势. 北华大学学报(自然科学版), 2004, 5(3):264-269.
- [28] 孙志虎, 张彦东. 长白落叶松人工林天然更新幼苗分布格局及其研究方法的比较. 生物数学学报, 2009, 24(3):556-566.
- [29] 史宇, 余新晓, 岳永杰, 张振明, 甘敬, 王小平, 李金海. 北京山区黑桦天然次生林不同种群的格局分析. 北京林业大学学报, 2009, 31(5):35-41.
- [30] 常静, 潘存德, 师瑞锋. 梭梭-白梭梭群落优势种群分布格局及其种间关系分析. 新疆农业大学学报, 2006, 29(2):26-29.
- [31] 牛丽丽, 余新晓, 岳永杰. 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局. 应用生态学报, 2008, 19(7):1414-1418.
- [32] 周以良. 中国大兴安岭植被. 北京:科学出版社, 1991.
- [33] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京:科学出版社, 1998.
- [34] 胡远满, 徐崇刚, 常禹, 李秀珍, 布仁仓, 贺红士, 冷文芳. 空间直景观模型 LANDIS 在大兴安岭呼中林区的应用. 生态学报, 2004, 24(9):1846-1856.
- [36] 郭福涛, 胡海清, 马志海. 应用空间点模式方法研究大兴安岭雷击火空间分布格局. 生态学报, 2009, 29(12):6741-6747.

CONTENTS

Influences of elevated ozone on growth and C, N, S allocations of rice	ZHENG Feixiang, WANG Xiaoke, HOU Peiqiang, et al (1479)
Coexistence, biodiversity and roles of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria in deep soil layer of high nitrogen loaded paddy field	WANG Yu, ZHU Guibing, WANG Chaoyu, et al (1487)
The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (1494)
Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected to experimental warming and grazing	WANG Bei, SUN Geng, LUO Peng, et al (1506)
The structure and species diversity of plant communities in ecological safety islands of urban Guangzhou	MO Dan, GUAN Dongsheng, HUANG Kangyou, et al (1515)
The growth pattern of <i>Pinus elliottii</i> Plantation in central subtropical China	MA Zeqing, LIU Qijing, WANG Huimin, et al (1525)
The effect of two wetland plants on nitrogen and phosphorus removal from the simulated paddy field runoff in two small-scale Subsurface Flow Constructed Wetlands	LIU Shuyuan, YAN Baixing, WANG Lixia (1538)
Effect of simulated nitrogen deposition on nutrient release in decomposition of several litter fractions of two bamboo species	TU Lihua, HU Tingxing, ZHANG Jian, et al (1547)
Ecological monitoring of bryophytes for mercury pollution in Danzhai Mercury Mine Area, Guizhou Province, China	LIU Rongxiang, WANG Zhihui, ZHANG Zhaohui (1558)
Influence of silt deposition and sand deposition on <i>Cynodon dactylon</i> population in low-water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, DING Wuquan, ZHU Qihong, et al (1567)
Seed production of <i>Spartina alterniflora</i> and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai	ZHU Zhenchang, ZHANG Liquan, XIAO Derong (1574)
Effects of decomposition of mixed leaf litters of the <i>Castanopsis platyacantha</i> - <i>Schima sinensis</i> forest on soil organic carbon	ZHANG Xiaopeng, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (1582)
Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land	DING Jinzhi, LAI Liming, ZHAO Xuechun, et al (1594)
The spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors in hilly region of the Loess Plateau	SUN Wenyi, GUO Shengli (1604)
Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on above- and below- growth in faba bean/mazie intercropping system	LI Yuying, HU Hansheng, CHENG Xu, et al (1617)
Effects of supplemental irrigation based on measured soil moisture on nitrogen accumulation, distribution and grain yield in winter wheat	HAN Zhanjiang, YU Zhenwen, WANG Dong, et al (1631)
Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model	SUN Lin, CHENG Lijuan (1641)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of <i>Hippophae rhamnoides</i> L in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China	HE Xueli, CHEN Cheng, HE Bo (1653)
Study on optimum forest coverage for water conservation: a case study in Pingtonghe watershed (Pingwu section)	ZHU Zhifang, GONG Gutang, CHEN Junhua, et al (1662)
Spatial point analysis of fire occurrence and its influence factor in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province, China	LIU Zhihua, YANG Jian, HE Hongshi, et al (1669)
Combustion efficiency of small-scale meadow fire in Daxinganling Mountains	WANG Mingyu, SHU Lifu, SONG Guanghui, et al (1678)
Community structure of demersal fish in Nature Reserve of <i>Acipenser sinensis</i> in Yangtze River estuary	ZHANG Tao, ZHUANG Ping, ZHANG Longzhen, et al (1687)
Behavioral responses of the Common Coots (<i>Fulica atra</i>) and other swimming birds to human disturbances	ZHANG Weiwei, MA Jianzhang, LI Jinbo (1695)
Effects of photoperiod on body mass, organ masses and energy metabolism in Chinese bulbul (<i>Pycnonotus sinensis</i>)	NI Xiaoying, LIN Lin, ZHOU Feifei, et al (1703)
Larval host types for the 3 rd <i>Helicoverpa armigera</i> in Bt cotton field from North China determined by $\delta^{13}\text{C}$	YE Lefu, FU Xue, XIE Baoyu, et al (1714)
Selectivity of <i>Frankliniella occidentalis</i> to vegetable hosts	YUAN Chengming, ZHI Junrui, CAO Yu, et al (1720)
Genetic structure of <i>Pine caterpillars</i> (<i>Dendrolimus</i>) populations based on the analysis of Cyt b gene sequences	GAO Baojia, ZHANG Xuwei, ZHOU Guona, et al (1727)
Pricing method and application effects of biogas slurry	ZHANG Changai, LIU Ying, CAO Man, WANG Yanqin, et al (1735)
Effects of compost from municipal solid waste on ecological characteristics and the quality of different turfgrass cultivars	ZHAO Shulan, LIAN Fei, DUO Li'an (1742)
Degradation kinetics and bioavailability of pentachlorophenol in paddy soil-rice plant ecosystem	WANG Shisheng, LI Depeng (1749)
Review and Monograph	
Concepts and techniques of landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, WU Gongsheng, ZHOU Yue (1756)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 6 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 6 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 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		

