

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

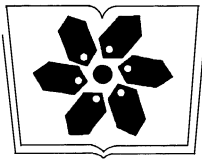
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **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 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

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/stxb201112271992

张正祥, 张洪岩, 李冬雪, 许嘉巍, 周道玮. 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局. 生态学报, 2013, 33(7): 2023-2031.

Zhang Z X, Zhang H Y, Li D X, Xu J W, Zhou D W. Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2023-2031.

呼伦贝尔草原人为火空间分布格局

张正祥¹, 张洪岩¹, 李冬雪², 许嘉巍¹, 周道玮^{3,*}

(1. 东北师范大学 东北资源与环境吉林省重点实验室, 长春 130024; 2. 吉林省城乡规划设计研究院, 长春 130061

3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要: 人为草原火及其影响因素的空间分布格局与相关关系研究对于草原火发生、草原火管理等研究具有重要的意义。应用 Ripley's K 函数对呼伦贝尔草原 1976—1996 年间发生的人为草原火进行了空间统计分析, 确定人为草原火空间分布在年内主要发生月份和年际间均呈聚集分布; 应用 Kernel 密度函数对人为草原火及其影响因素居民点、道路和农田的空间分布密度进行了研究, 结果表明呼伦贝尔草原人为火分布广泛, 热点区域主体在 123.05—124.82°E、48.25—50.21°N 之间; 居民点、农田空间分布密度的热点区域主要分布在东部和中部地区, 道路的分布密度较农田和居民点分布更加均匀。人为草原火空间分布密度与居民点、道路和农田的空间分布密度呈显著性正相关, 其 Pearson 相关系数依次为 0.448、0.236、0.602 ($P < 0.001$), 火源因素(居民点、道路、农田)的空间分布格局是呼伦贝尔草原人为火空间分布格局的主要影响因素。

关键词: 呼伦贝尔草原; 人为草原火; 空间格局; 空间分布密度

Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland

ZHANG Zhengxiang¹, ZHANG Hongyan¹, LI Dongxue², XU Jiawei¹, ZHOU Daowei^{3,*}

1 Provincial Laboratory of Resources and Environmental Research for Northeast China, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

2 The Urban & Rural Planning and Designing Institute of Jilin Province, Changchun 130061, China

3 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

Abstract: Grassland fire is a major disturbance to ecosystems and economies throughout the world. Research on the spatial pattern of grassland fire is therefore important in understanding the dynamics of fire disturbance and providing evidence for fire management and prevention. In this study we used a spatial point process modeling approach to study the factors contributing to fire occurrence in the Hulunbeir grassland of the Inner Mongolia Autonomous Region. In previous studies, Ripley's K function, Kernel density and Poisson model have been used in the studies of spatial-temporal pattern of forest fires. But the distribution pattern of grassland fires was usually described by overlaying fire points on top of the administrative districts or study regions. The properties of spatial distribution, such as clustering, dispersion, randomness, were often omitted. In this study, Ripley's K function was used to investigate the spatial distribution pattern of human-caused fires in the Hulunbeir grassland. The distribution of fire locations was found to be spatially clustered in the months of fire season and between years. The distances of spatial cluster distribution were less than 250km, 265km, 245km, 200km and 245km in April, May, June, September and October respectively. The statistical test showed that the cluster distributions were significant except for October. The distances of spatial cluster distribution were less than 210km, 280km, 260km, 220km and 220km in 1976—1980, 1981—1984, 1985—1988, 1989—1992 and 1993—1996 respectively. All the cluster distributions were significant. The spatial distribution densities of human-caused grassland fires and the impacting

基金项目: 国家地震局行业科研专项(201208005)

收稿日期: 2011-12-27; 修订日期: 2012-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoudaowei@neigae.ac.cn

factors including residential locations, roads and fields were calculated by the function of Kernel density. The results showed that human-caused grassland fires were widely distributed and the main “hot-spot” was in the extent of 123.05—124.82°E, 48.25—50.21°N. The second “hot-spot” had four regions and the center locations were: 117.52°E, 49.51°N; 120.73°E, 49.24°N; 121.94°E, 48.74°N; 123.73°E, 50.58°N. The “hot-spots” of residential points and fields were distributed in the east and middle of the study area. The “hot-spot” of roads was more widespread than the residential points and fields. The spatial distribution density of human-caused grassland fires was significantly correlated with the impacting factors (residential points, roads, fields, weather and topography) and the Pearson coefficients were 0.448, 0.236, 0.602, 0.161 and -0.042 respectively ($P < 0.001$). The spatial patterns of fire sources (residential points, roads and fields) are found to be more closely associated with the spatial density of human-caused grassland fires. The correlation of weather with the spatial pattern of grassland fire was at a lower degree than these of residential points, roads and fields. It showed that the weather condition was not a limiting factor in affecting the occurrence of human-caused grassland fire in the fire season. Overall, the most important factors impacted human-caused grassland fire occurrence were the spatial distribution of fire sources (residential points, roads and fields). Topography has negative correlation with grassland fire occurrence. The reason may be that the human activities decreased with the increase of slope. In each month of fire seasons, the spatial distribution pattern of human-caused grassland fires was also mainly impacted by the distribution of fire source (residential points, roads and fields). The methods developed in this study can be applied to predict human-caused grassland fire risk, aiding decisions in preventative management strategies of grassland fires.

Key Words: Hulunbeir grassland; Human-caused grassland fire; Spatial pattern; Spatial distribution density

草原火作为自然生态系统中重要的干扰因子之一在全球范围内频发。北美大草原草地火主要集中在冬季和早春^[1],而在北美洲西南部干旱草原中,草地火主要发生在晚春和夏初(6月末至7月初)^[1-2]。非洲和澳大利亚的萨瓦纳草原每年干旱季节都频繁地发生草地火。造成这些火的主要原因都与人为活动、土地利用方式等有关^[3-6],即每年中发生的大部分火都是由各种人为原因引起的^[7-8]。蒙古国和中国内蒙古的干旱、半干旱草原是亚洲草原的主要组成部分,每年在该区域内都频繁地发生草地火,其主要的火源也以各类人为活动为主。这些草地火主要发生在每年的春季和秋季,占全年总发生火数量的90%以上^[9-12]。尽管人为原因引起的野火在草原中经常出现,但是对这种草地火的空间格局的分布、评价等方面的研究相对较少^[9-12]。目前,随着空间统计学和地理信息技术的发展,国内外诸多学者应用空间点过程函数、Ripley 函数、Kernel 密度函数以及 Poisson 模型等技术方法对森林火的时空分布格局进行了深入的研究。Stoyan 和 Penttinen 首先将空间点模式应用于林业研究^[13]。Mercerd 和 Prestemon 估测了林火时空尺度上的分布格局情况^[14]。Justin Podur 等发现加拿大安大略省的雷击火成聚类分布,并存在雷击火高发区^[15]。Pewb 等分析了加拿大温带森林中人为火的时空分布格局,并发现人为火发生的概率随着着火点到人为建筑设施的距离增加而降低^[16]。Brooks 以及 Hargrove 等对不同景观下的火时空格局进行了分析^[17-18]。邸雪颖、柴造坡等运用 GIS 的图层叠加功能对我国塔河和黑河地区林火发生的时空变化做了初步分析^[19-20]。舒立福、王明玉等对大兴安岭呼中林区雷击火分布进行了研究,得出雷击火存在季节高发和区域高发的时空分布特性^[21]。田晓瑞等对我国西藏地区森林火灾时空分布规律进行研究^[22]。胡海清、金森等分别对我国黑龙江省林火发生格局进行了研究^[23-24]。郭福涛等对黑龙江省大兴安岭地区的雷击火空间分布进行了分析,并对雷击火的空间分布密度进行了阐述^[25]。这些方法在草原火时空格局研究中很少应用,限制了草原火研究的发展。因此,开展人为草地火的时空分布模式及其与影响因素分布格局的相关关系研究对于草地火生态、草地火管理以及野火扑救等研究具有重要的意义。

草原火分布格局由一系列不规则地分布于研究区域中的火点组成,目前其格局识别主要是应用区域内的火点在空间上分布位置及其与影响因素间的空间位置关系,采用描述或叠加的方式人为观察火点分布大致区

域和密集程度。本研究应用基于空间点过程中的 Repley's K 函数和 Kernel 空间密度函数对内蒙古自治区呼伦贝尔草原的人为火点的空间分布模式及其与人为影响因素及气象、地形要素的空间分布相关关系进行研究,本方法的应用更为科学准确地揭示了人为草原火空间分布格局。

1 研究区概况

本研究区位于内蒙古自治区东北部的呼伦贝尔市,范围在 115.22 — 126.06°E 和 47.08 — 53.23°N 之间,东西长约为 681 km,南北宽 703 km,面积约为 252,948 km²。该区域是典型的温带大陆性季风气候,降水量小,季节分配不均,最高、最低温度出现在夏季和冬季。年均温为-2.3 °C,降水量为 320 mm,55% 的降水集中在夏季。呼伦贝尔草原区的植被类型由多种植物群落构成。主要的植被群落有贝加尔针茅 (*Stipa baicalensis*) 群落,线叶菊 (*Filifolium sibiricum*) 群落和羊草 (*Leymus chinensis*) 群落。

该研究区内有 13 个旗县,大约有 3000 个乡镇、村屯等居民点,农田面积约为 2.02 万 km²。农田与居民点的空间分布不均,主要集中在东南部,其次中部地区稍多。乡村路、公路和铁路在区域内广布,道路密度较大,为 67.64 km/km²。研究区内平均每年发生 300 多次野火,其中约 86.75% 为草地火,过火面积约占总过火面积的 94.01%。人为原因引起的草地火是本区域内最主要的风险。

2 研究方法

2.1 数据搜集与处理

本研究中采用的火记录数据由呼伦贝尔市农业局提供,包括 1977 年到 1996 年发生的 2611 次草原火,其中 1537 次火是由人为原因引起的(图 1)。每条草地火记录包含的参数有火发生位置、日期和火因等信息。火点位置由经纬度坐标表示,精确到分。人为草地火发生的原因主要有:狩猎、烧荒、烧茬地、机车喷火、生火做饭、上坟烧纸、小孩玩火、吸烟、打草、收割、故意纵火等。由此可见,道路交通、农业生产和居民点的分布是影响草原火发生的主要因素。在本研究中通过对研究区 1:5 万地形图矢量化获得小路、大车路、公路、铁路、居民点等数据;通过对研究区内 1995—1996 年的 Landsat TM 影像解译获得草地、农田分布数据。所有数据均以 Shapefile 数据格式组织,比例尺设置为 1:10 万,采用 Albers 投影,大地椭球体为 D_Krasovsky_1940。

搜集研究区内及周边 17 个气象站点(海拉尔、扎兰屯、博克图、新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗、阿尔山、满洲里、图里河、额尔古纳右旗、小二沟、大兴安岭、新林、塔河、漠河、嫩江、齐齐哈尔、富裕)1977 年至 1996 年共 20 年的气温、降水、相对湿度和风速的月均资料。由于气象因子之间存在一定的相关性,采用草原火主要发生月份的干燥指数(平均气温与平均风速的乘积除以降水量)表征气象因子的空间分布^[23]。根据气象站点的坐标信息,通过 ArcGIS 的空间分析功能,采用克吕格空间插值方法对干燥指数进行空间插值,生成研究区草地范围内的气象因素空间分布格局数据。

从美国国家航空航天局(NASA)数据共享网站(<https://wist.echo.nasa.gov/api/>)中下载研究区 30 m 分辨率的 ASTER G-Dem 地形数据。应用 ArcGIS 的三维分析功能计算研究区草地范围内的坡度信息来表达地形对草原火分布格局的影响作用。

2.2 空间分布模式研究方法

草原火点作为点状地物其分布模式可能随着空间尺度的变化而变化。在小尺度下可能呈现聚集分布,在大尺度下可能为均匀分布或随机分布。Ripley's K 函数可以分析任意尺度的点状地物空间分布格局^[26-27],其计算公式如下:

$$K(d) = A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{W_{ij}(d)}{n^2} \quad (1)$$

式中, n 为研究区内火点数目; d 为研究区范围内火点 i 与火点 j 之间的距离; W_{ij} 为在距离 d 范围内的火点 i 与火点 j 之间的权重函数,如果距离小于或等于 d ,权重为 1,否则为 0。通过对 Ripley's K 函数的实测值与理论值进行比较,判断草原火点的空间分布格局。在一给定距离范围内,当观测值大于理论值时,为聚集分布,反之为离散分布。本研究中设置的置信水平为 99%,当观测值大于置信区间上限时,空间聚集分布是显著

的;当观测值小于置信区间下限时,空间离散分布是显著的。

本研究应用 Ripley's K 函数对人为草原火在 4、5、6、9、10 月和年际间分布格局进行了研究。

2.2 空间密度估计方法

核心密度估计函数法是一种从一些随机采样点重建概率密度函数的方法,在没有任何先验密度假设情况下,只要给定一个合适带宽,就能得出一个高质量的概率密度估计值^[28]。因此,在已知本研究区内人为草原火点数量、居民点、道路和农田分布状况下,应用核心估计函数模拟出相应变量数据的空间分布概率密度。Kernel 空间密度估算定义为:

$$\hat{\lambda}\tau(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{(s - s_i)}{\tau}\right) \quad (2)$$

式中, $\hat{\lambda}\tau(s)$ 是相应变量在 s 点的空间分布密度, s_1, \dots, s_n 为相应变量的地理坐标。 τ 为带宽,用来定义平滑量的大小,实际上就是以 s 为中心的一个圆的半径。 $k()$ 是一个双变量的概率密度函数,称为核心。通过调整带宽 τ 的值,可以得到在不同尺度下相应变量的空间分布密度。

本研究中应用 ArcGIS 软件提供的 Kernel Density 分析工具进行人为草原火及影响因素的空间分布密度计算。由于该工具支持点状和线状要素的密度运算,而农田为面状要素,因此将其转化成 500m 栅格数据后依据其中心生成农田点状要素。分别将 4、5、6、9、10 月和全部人为草原火点、居民点、道路、农田点要素带入公式(2)后,依次计算其空间分布密度。

2.3 火点分布格局与影响因素格局相关分析

采用 ArcGIS 软件的数据转换功能将空间密度分布数据、地形坡度数据、气象因素数据转换成 ASCII 文件,将文本文件导入到 SPSS 中,用 Pearson 相关系数评价人为草原火点与道路、居民点、农田空间分布密度以及与地形、气象要素之间的相关关系。

3 结果与分析

3.1 人为草原火空间分布格局

由于草原火的发生状况在年内季节性显著,4、5、6、9、10 月发生的人为草原火和占全部火事件的 93.22%,而在年际间草原火的发生具有 4a 左右的周期性^[29],因此应用 Repley's K 函数计算呼伦贝尔草原人为火年内(4、5、6、9、10 月)和年际间(1976—1980、1981—1984、1985—1988、1989—1992、1993—1996 年)空间分布模式。

图 2 为人为草原火主要发生月份的空间分布状况。人为草原火在 4 月份主要是呈聚集分布,当距离大于 250 km 时为离散分布。人为草原火在 5 月份主要是呈聚集分布,当距离大于 265 km 时为离散分布。人为草原火在 6 月份主要是呈聚集分布,当距离大于 245 km 时为离散分布。人为草原火在 9 月份主要是呈聚集分布,当距离大于 200 km 时为离散分布。人为草原火在 10 月份主要是呈聚集分布,当距离大于 245 km 时为离散分布。从统计显著性上看,4、5、6、10 月份的观测值均大于 99% 置信水平的上限,其聚集分布是显著的。9 月份的观测值小于置信水平上限并大于置信水平下限,因此其聚集分布是不显著的。研究区的东西长约为 681km,南北宽为 703 km,Repley's K 函数的带宽设置距离应小于边长 1/2(约为 350 km),否则将引起边界效应使分析结果不可信。从这个尺度看,人为草原火主要发生月份的分布状况在该尺度下均为聚集分布,除 9 月份以外均为显著的。从聚集的距离来看,聚集强度以 5 月份最大,4、6、10 月份其次,9 月份最小。这一特

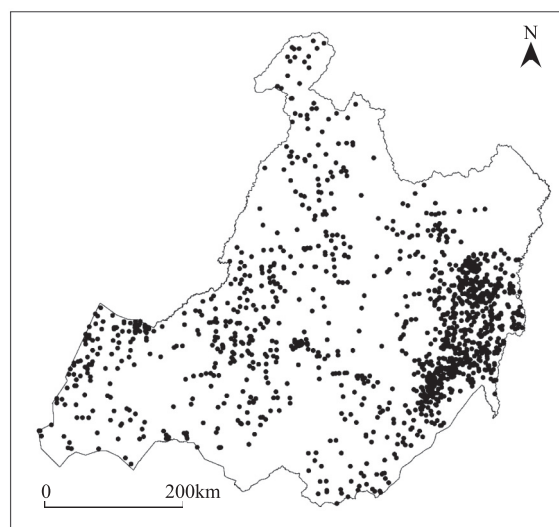


图 1 人为原因引起的呼伦贝尔草原火分布图(1976—1996)

Fig. 1 The distribution of human-caused fire on Hulunbeier grassland (1976—1996)

点与草原火的季节(防火期)分布特征相一致^[9-10]。

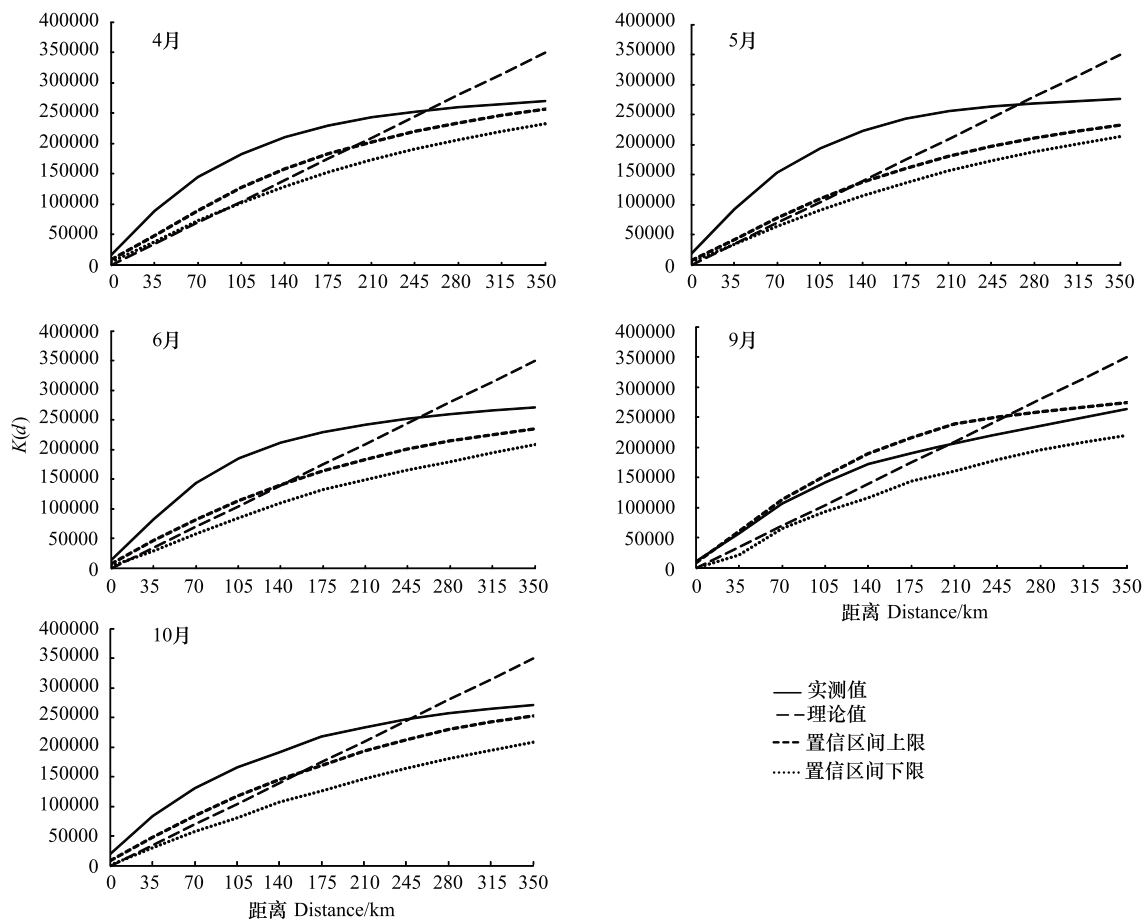


图2 呼伦贝尔草原各主要月份人为草原火 Repley's K 函数分布曲线

Fig. 2 The curves of Repley's K function for human-caused fires on Hulunbeir grassland

图3 为人为草原火在1976—1980年分布状况。通过图形分析可以得出人为草原火在年际间主要是呈聚集分布,其中1976—1980年间聚集的距离为210 km,1981—1984年间为280 km,1985—1988年间为260 km,1989—1992年间为220 km,1993—1996年间为220 km。其聚集状况在99%置信水平下均显著。

3.2 人为草原火及其影响因素空间分布密度

从 Repley's K 函数的计算可以看出人为草原火主要成聚集分布,为了进一步研究人为草原火分布热点地区及其与影响因素之间的空间关系,应用 Kernel Density 工具对人为草原火点及其影响因素进行空间分布密度热点探测分析。

在人为草原火点密度分析的时间段划分上与火点分布模式研究保持一致。由于年际间人为草原火点分布密度的差异不大,因此用全部火点分布密度来代替年际间的密度划分。同时,研究区面积较大,各草原火点及影响因素之间距离不容易准确判断,故本文在进行密度估计过程中,通过试验将式中 τ (带宽) 设为研究区东西长度的 1/30 较为合理,约为 22 km。

图4 为研究区1976—1996年间人为草原火空间分布密度。图中显示人为草原火在研究区内分布广泛,

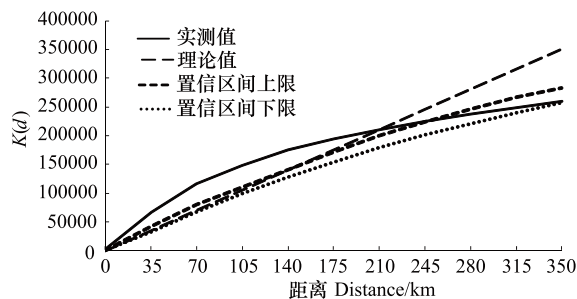


图3 呼伦贝尔草原人为草原火1976—1980年间 Repley's K 函数分布曲线

Fig. 3 The curves of Repley's K function for human-caused fires on Hulunbeir grassland in 1976—1980

主要热点地区分布在东部偏南区域。其核心区坐标范围约为 123.05°E — 124.82°E 、 48.25°N — 50.21°N , 火发生频次为 0.0158 — 0.064 次/ km^2 。此外, 有 4 个范围较小的次热点地区, 其核心坐标为 117.52°E , 49.51°N ; 120.73°E , 49.24°N ; 121.94°E , 48.74°N ; 123.73°E , 50.58°N , 核心区火发生频次依次为 0.0275 , 0.0272 , 0.017 , 0.0181 。研究区内各月份及年际间人为草原火空间分布密度特征和整体分布特征相似, 主要热点地区均在核心区坐标范围内。其中 9 月份的密度分布较其他月份稍微均匀一点, 差异不大, 这一结果与 3.1 中人为草原火在 9 月份的分布呈“聚集但不显著”的特征一致。

图 4 显示为研究区内居民点、农田和道路空间分布密度, 其热点地区均主要分布在东部和中部地区, 其中道路的分布密度较农田和居民点要更加均匀, 次热点区域范围较大。

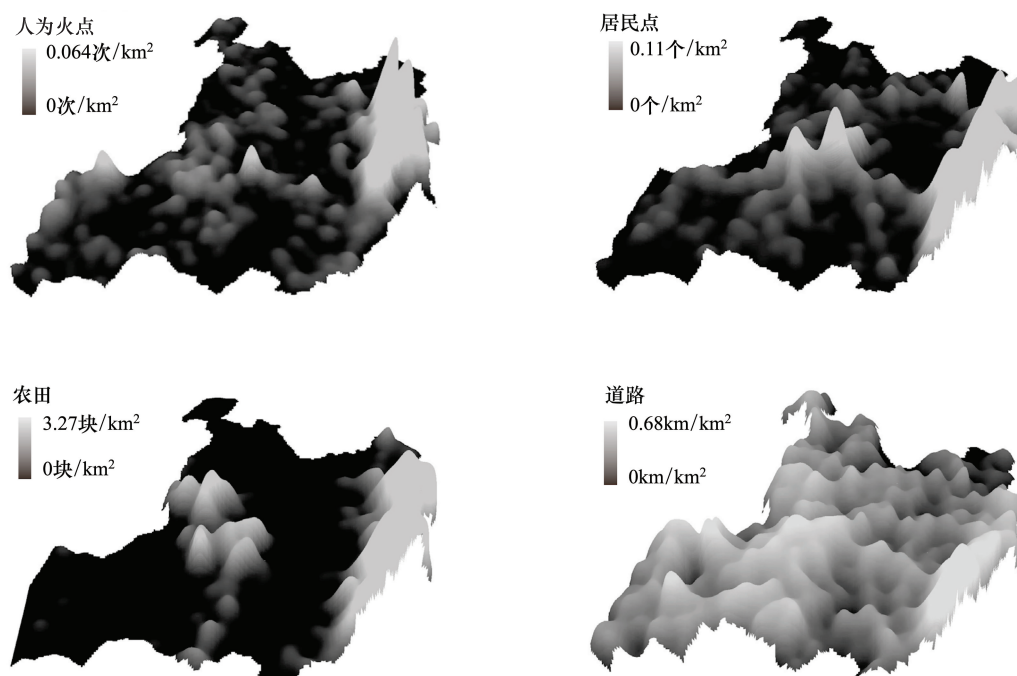


图 4 呼伦贝尔草原 1976—1996 年间人为火点、居民点、农田和道路的空间分布密度

Fig. 4 The distribution densities of human-caused fires, residential points, roads and fields

通过图 4 的对比分析可以看到, 人为草原火的空间密度分布与居民点、农田以及道路密度的空间分布格局基本一致。应用 SPSS 软件, 用 Pearson 相关系数分析人为草原火与道路、居民点、农田空间分布密度之间的相关关系(表 1)。

通过表 1 可以看到, 呼伦贝尔草原人为草原火空间分布密度与居民点、道路和农田的空间分布密度呈正相关, Pearson 相关系数依次为 0.448 、 0.236 、 0.602 (均通过双尾检验, 显著性水平 $P < 0.001$, 极显著), 即火源因素的空间分布格局对草原火空间分布密度具有显著性影响。呼伦贝尔草原人为草原火空间分布密度与干燥指数呈显著性正相关, 随着干燥指数的增加火点分布密度增大。其相关系数小于居民点、道路和农田的相关系数, 由此可以说明在气象条件满足草原火发生的条件下(防火季节)影响草原火点分布的主要因素是人为火源的空间分布状况。研究区内坡度因素与火点空间分布密度呈显著性负相关, 即随着坡度的增加, 草原火点的分布密度降低。其呈负相关的原因可能是随着坡度的增加, 人为活动相对减少。地形因素对火的蔓延速度、火强度以及过火面积等的影响作用较大, 而对火点发生的影响作用不大。

将研究区内人为草地火发生的具体火因划分为三类: 生活火、机车火和生产火, 分别对应于居民点、道路和农田, 相应的草原火次数所占比例依次为 45.59% 、 15.52% 和 38.89% 。由此可见, 机车火的次数较少是导致道路与人为草原火空间密度分布相关性较弱的原因。而在具体火因中, 将吸烟、烤干粮、烤火和小孩玩火等原因引起的火都划分为生活火, 而这些火点中部分可能发生在道路和农田周围, 这也可能是导致居民点与人

为草原火分布密度相关性弱于农田与人为草原火分布密度相关性的原因。

表 1 人为草原火与居民点、道路、农田空间分布密度之间的相关关系

Table 1 The Pearson correlation of the spatial distribution densities of human-caused fires and residential points, roads and fields		
		草原火点 Fire points
居民点 Residential points	Pearson 相关系数 Pearson Correlation	0.448 **
	显著性(双尾检验) Sig. (2-tailed)	0.00
	样本数 N	252959
道路 Roads	Pearson 相关系数 Pearson Correlation	0.236 **
	显著性(双尾检验) Sig. (2-tailed)	0.00
	样本数 N	252959
农田 Fields	Pearson 相关系数 Pearson Correlation	0.602 **
	显著性(双尾检验) Sig. (2-tailed)	0.00
	样本数 N	252959
干燥指数 Aridity index	Pearson 相关系数 Pearson Correlation	0.161 **
	显著性(双尾检验) Sig. (2-tailed)	0.00
	样本数 N	65691
坡度 Slope	Pearson 相关系数 Pearson Correlation	-0.042 **
	显著性(双尾检验) Sig. (2-tailed)	0.000
	样本数 N	65691

* * 相关性在 0.01 水平下显著(双尾检验)

4 结论与讨论

(1)本研究应用 Repley’s K 函数对呼伦贝尔草原人为火空间分布格局进行分析,根据计算结果显示,年内主要发生人为草原火的月份均呈聚集模式分布;其中,9 月份聚集分布模式不显著,其余月份均显著。从年际间计算结果看,研究区各年际间的人为草原火均呈聚集模式分布。由此说明呼伦贝尔草原火的空间分布与某种呈空间聚集分布的影响因素的分布格局显著相关。

(2)年内各主要月份人为草原火呈聚集分布的距离不同,在小于 200—265 km 尺度内呈聚集分布;年际间在小于 210—280 km 尺度内呈聚集分布。这一距离尺度小于呼伦贝尔草原东西或南北长度的 1/2(约 350 km),即未超出研究区的边界效应,满足 Repley’s K 函数的要求。因此,研究区内人为草原火的分布为聚集分布模式的结果是可信的。

(3)应用 Kernel 密度函数对呼伦贝尔草原人为火发生的空间密度和及其主要影响因素(居民点、道路、农田)的空间分布密度进行分析,模拟结果显示人为草原火在研究区内分布广泛,主要热点地区分布在东部偏南区域,其核心区坐标范围约为 123.05—124.82°E、48.25—50.21°N。居民点、道路和农田空间分布密度的核心热点地区均主要分布在东部和中部地区,这些因素在局部地区也呈聚集状分布。其中道路的分布密度要更加均匀,草原火分布的热点地区与居民点和农田分布的热点区域相近。因此,居民区与农田附近是进行草原防火管理工作的重点区域。

(4)通过相关分析研究显示呼伦贝尔草原人为火空间分布密度与居民点、道路和农田的空间分布密度呈显著正相关,Pearson 相关系数依次为 0.448、0.236、0.602 ($P<0.001$)。草原火空间分布密度与干燥指数(气象因素)、地形的空间分布的相关性显著,但是其相关系数明显小于火源因素(居民点、道路和农田)的相关系数。因此,在防火期内呼伦贝尔草原影响人为火空间分布特征的主要原因是居民点、道路和农田的空间分布状况。

本研究应用 Repley’s K 和 Kernel 密度函数研究了呼伦贝尔草原人为火及其主要影响因素居民点、道路和农田的空间分布格局、分布密度以及空间分布的相关关系,通过与气象因素(干燥指数)、地形(坡度)因素空间分布相关关系比对研究,揭示出在呼伦贝尔草原人为原因火发生的主要月份(防火期内),其空间分布模式

主要受火源(居民点、道路、农田)的空间分布格局的影响,气象和地形因素的影响作用不大。因此,在防火期内呼伦贝尔草原火管理部门应根据草原火发生的热点区域与火源分布的热点区域相吻合这一特点,贯彻“预防为主”的方针,大力开展热点地区群众的防火安全教育工作,深入宣传防火条例和用火安全知识;建立防火管理制度,加强防火基础设施与扑火队伍建设,提高草原火预防、管理和扑救的总体水平。

本文主要对影响人为草原火发生的火源因素的空间分布进行了分析,实际上这些空间位置中的具体人为活动是火源发生的直接原因,如人口数量、人口年龄结构、产业结构、行为习惯、耕作方式、机械化程度等均对草原火的发生产生影响。除了火源因素外,地形、降水、温度、相对湿度等环境因素对草原火的发生都具有直接的影响^[3,10-12]。这些因素与火源因素之间存在一定的时空相关性,使草原火的发生机制更加复杂。因此,在空间分布模式与空间相关性研究的基础上,选择合适的尺度,对影响草原火发生的众多因子进行时空相关的、交互的、非线性的研究是揭示草原火发生规律的重要途径之一。

References:

- [1] Gosz J R, Moore D I, Shore G A, Grover H D, Rison W, Rison C. Lightning estimates of precipitation location and quantity on the Sevilleta LTER, New Mexico. *Ecological Applications*, 1995, 5(4): 1141-1150.
- [2] Gosz J R, Gosz J R. Species interactions on the biome transition zone in New Mexico: response of blue grama (*Bouteloua gracilis*) and black grama (*Bouteloua eriopoda*) to fire and herbivory. *Journal of Arid Environments*, 1996, 34(1): 101-114.
- [3] Sheuyange A, Oba G, Weladji R B. Effects of anthropogenic fire history on savanna vegetation in northeastern Namibia. *Journal of Environmental Management*, 2005, 75(3): 189-198.
- [4] Laris P. Burning the seasonal mosaic: preventative burning strategies in the wooded savanna of southern Mali. *Human Ecology*, 2002, 30(2): 155-186.
- [5] Mbow C, Nielsen T T, Rasmussen K. Savanna fires in east-central Senegal: distribution patterns, resource management and perceptions. *Human Ecology*, 2000, 28(4): 561-583.
- [6] Snyman H A. Short-term response in productivity following an unplanned fire in a semi-arid rangeland of South Africa. *Journal of Arid Environments*, 2004, 56(3): 465-485.
- [7] Edwards A, Hauser P, Anderson M, McCartney J, Armstrong M, Thackway R, Allan G, Hempel C, Russell-Smith J. A tale of two parks: contemporary fire regimes of Litchfield and Nitmiluk National Parks, monsoonal northern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, 10(1): 79-89.
- [8] Gill A M, Moore P H R, Williams R J. Fire weather in the wet-dry tropics of the World Heritage Kakadu National Park, Australia. *Australian Ecology*, 1996, 21(3): 302-308.
- [9] Fu Z Q, Yang Y X, Dai E F. Research on fire dynamics and fire risk climate divisions in Innermongolia. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2001, 22(6): 18-22.
- [10] Fu Z, Wang Y, Wang C. Research on the spring fire-risk forecasting model in dry grasslands in Inner Mongolia. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2001, 12(2): 202-209.
- [11] Liu G X, Su H, Li S L. The summarization on the fire accident of grassland in Inner Mongolia. *Grassland of China*, 1999, (4): 76-78.
- [12] Yue X Q, Zhou D W, Jiang S C. Analysis on fire in Hulunbeir Grassland. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 1999, (4): 111-116.
- [13] Penttinen A, Stoyan D. Recent applications of point process methods in forestry statistics. *Statistic Science*, 2000, 15(1): 61-78.
- [14] Mercerd D E, Prestemont J P. Comparing Production function models for wildfire risk analysis in the wildland-urban interface. *Forest Policy and Economics*, 2005, 7(5): 782-795.
- [15] Podur J, Martelletal D L, Csillag F. Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976—1998. *Ecological Modelling*, 2003, 164(1): 1-20.
- [16] Pewb K L, Larsen C P S. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Management*, 2001, 140(1): 1-18.
- [17] Brooks M L, Matchett J R. Spatial and temporal patterns of wildfires in the Mojave Desert, 1980—2004. *Journal of Arid Environments*, 2006, 67: 148-164.
- [18] Hargrove W W, Gardner R H, Turner M G, Romme W H, Despain D G. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes. *Ecological Modelling*, 2000, 135(2/3): 243-263.
- [19] Di X Y, Sun X G, Sun J. Study on the space-time development of forest fires occurring in Tahe forestry bureau of Daxinganling. *Forest Fire Prevention*, 2008, (3): 33-35.
- [20] Cai Z B, Tian C L, Li F Z, Liu G J. The distribution of forest fires rule in Heihe Area. *Forestry Science and Technology*, 2009, 34(4): 38-41.

- [21] Su L F, Wang M Y, Li Z Q, Xiao Y J, Tian X R. The fire environment mechanism of lightning fire formed for Daxing'an Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(6): 94-99.
- [22] Tian X R, Shu L F, Wang M Y, Zhao F J. Study on the spatial and temporal distribution of forest fire in Tibet. *Fire Safety Science*, 2007, 16(1): 10-14.
- [23] Hu H Q, Jin S. Study on forest fire regime of Heilongjiang Province II. Analysis on factors affecting fire dynamics and distributions. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(2): 98-102.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Ripley B D. *Spatial Statistic*. Chichester: John Wiley, 1981.
- [27] Wang J F, Liao Y L, Liu X. *Course Book of Spatial Analysis*. Beijing: Science Press, 2010: 79.
- [28] Gatrell A C, Bailey T C, Diggle P J, Rowlingson B S. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 1996, 21(1): 256-274.
- [29] Zhou D W. Method for determining fire cycle in treeless meadow grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(1): 61-65.

参考文献:

- [9] 傅泽强, 杨友孝, 戴尔阜. 内蒙古干草原火动态及火险气候区划研究. *中国农业资源与区划*, 2001, 22(6): 18-22.
- [11] 刘桂香, 苏和, 李石磊. 内蒙古草原火灾概述. *中国草地*, 1999, (4): 76-78.
- [12] 岳秀泉, 周道玮, 姜世成. 呼伦贝尔草原火灾分析. *东北师大学报: 自然科学版*, 1999, (4): 111-116.
- [19] 邸雪颖, 孙希国, 孙建. 大兴安岭塔河林业局林火时空动态研究. *森林防火*, 2008, (3): 33-35.
- [20] 柴造坡, 田常兰, 李凤芝, 刘广菊. 黑河地区林火分布规律. *林业科技*, 2009, 34(4): 38-41.
- [21] 舒立福, 王明玉, 李忠琦, 肖永军, 田晓瑞. 我国大兴安岭呼中林区雷击火发生火环境研究. *林业科学*, 2003, 39(6): 94-99.
- [22] 田晓瑞, 舒立福, 王明玉, 赵凤君. 西藏森林火灾时空分布规律研究. *火灾科学*, 2007, 16(1): 10-14.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [27] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. *空间数据分析教程*. 北京: 科学出版社, 2010: 79-79.
- [29] 周道玮. 无树草甸草原火周期研究方法的探讨. *生态学报*, 1995, 15(1): 61-65.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《生态学报》2013 年征订启事

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

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

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 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 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