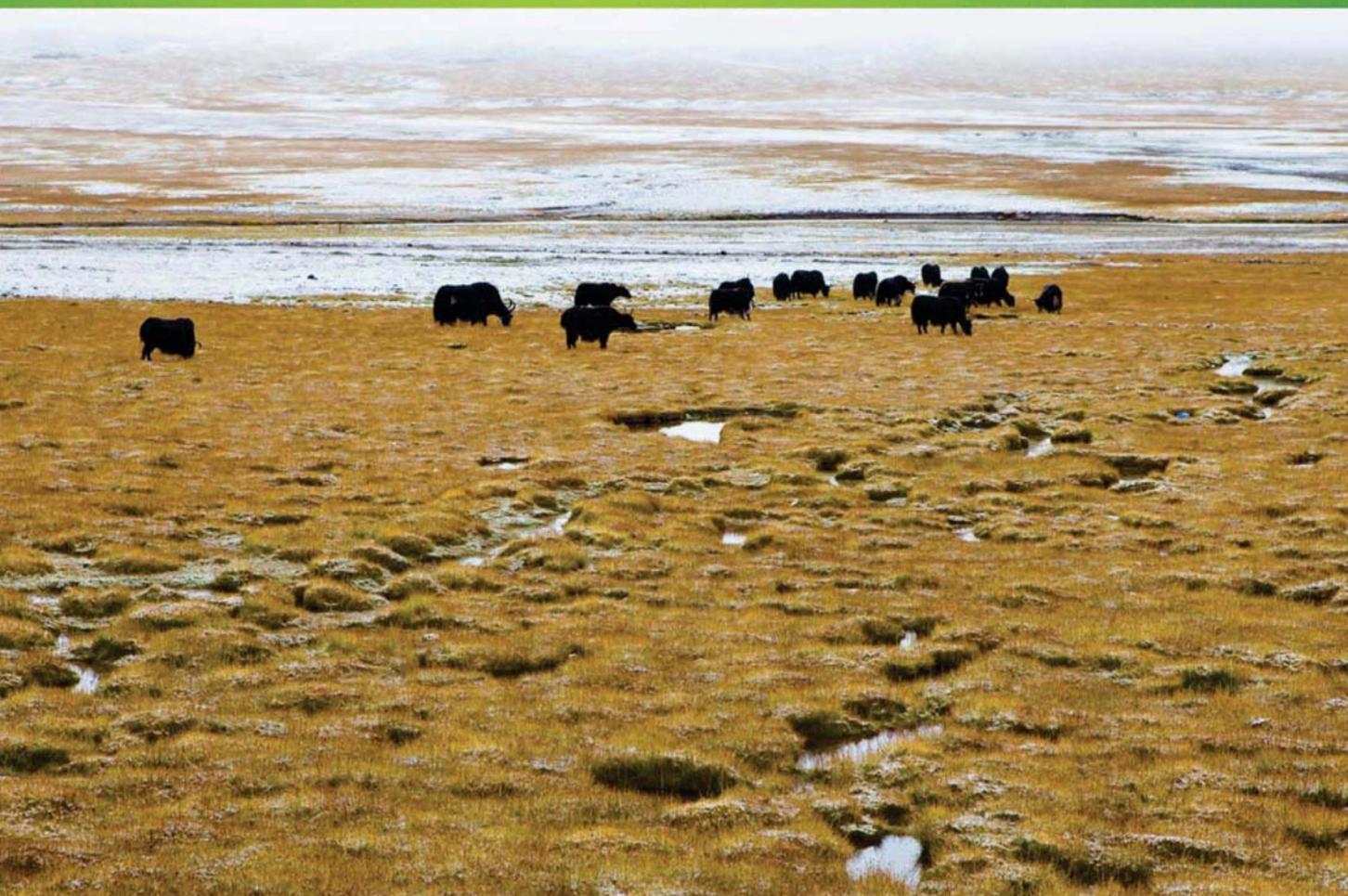


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **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 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N₂O 通量动态变化的影响..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段
为例..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

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..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 刘耕源,杨志峰,陈彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 张锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例 敖长林,陈瑾婷,焦扬,等 (5109)

研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆璞,张伟,华彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

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/stxb201204130532

倪宝龙, 刘兆刚. 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构. 生态学报, 2013, 33(16): 4975-4984.

Ni B L, Liu Z G. A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire disturbance. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 4975-4984.

不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构

倪宝龙, 刘兆刚*

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 基于 2011 年 7 月大兴安岭外业调查数据以林隙为主要研究对象, 选取景观生态学中斑块类型指数分析样地内林隙状况, 并结合林木分布状态, 分析不同强度林火干扰对天然落叶松林空间结构的影响。结果表明: 在受中度林火干扰的林分内, 只保留了少量的落叶松中径木、大径木, 先锋树种在林分内呈现聚集分布; 在未受林火干扰的林分和受林火轻微干扰的林分内, 天然落叶松均呈现显著聚集分布; 由于受到不同强度的林火干扰, 林下区域与林隙区域出现不同程度的相互转化, 林分空间结构发生了改变。林分按照所受林火干扰强度的递减, 在同一时间不同空间上表现出了森林循环过程中所经历的林隙阶段状态、建立阶段状态、成熟阶段状态。

关键词: 森林空间结构; 林火干扰; 林隙; 天然落叶松林

A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire disturbance

NI Baolong, LIU Zhaogang*

Forestry College of Northeast Forestry University, Haerbin 150040, China

Abstract: Fire is the most common disturbance in natural forested ecosystems and plays a significant role in ecological succession of forest communities. Fires often burn in the Da Hinggan Mountains (also known as the Greater Khingan Mountains) where frequent high-intensity fires rapidly transform the landscape. These fires have extensive and long term effects on the spatial distribution of natural *Larix gmelinii* forest. This study looks mainly at gaps formed by fires of different severity in natural *L. gmelinii* forest and is based on data from records collected at the Pangu Farm, Tahe Forest Bureau, Da Hinggan Mountains in July 2011. We describe the dynamic processes which create tree spatial distribution patterns of natural *L. gmelinii* forest in Pangu farm. Our research looked at how fires of varying severity influenced the spatial distribution patterns of natural *L. gmelinii* forests by analyzing gaps in plots. We selected suitable class parameters at a landscape scale and combined with the state of tree spatial distribution patterns. We defined three phases, the gaps phase, immature phase and mature phase. The results show stands which suffered moderate fire disturbance are moved into the gaps phase of the forest cycle; these stands retain only a small amount of medium and large diameter live trees of *L. gmelinii*. Pioneer species reveal aggregative distribution in the newly created patchwork of gaps of different sizes; the distance between the patches was the shortest of the three phases and the shapes of the patches themselves are very complicated since moderately intense fire leaves a significant and irregular accumulation of gaps within any particular plot. The research plot, in a stand that was burned with low intensity fire, retained most of its *L. gmelinii*, and continued to develop along the

基金项目: 林业公益性行业科研专项(20100400207); 黑龙江大兴安岭过伐林的多功能优化经营技术研究与示范(2012BAD22B0202); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT1054)

收稿日期: 2012-04-13; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lzg19700602@163.com

normal lines of forest succession. Low intensity fire allowed *L. gmelinii* to continue to maintain its aggregative distribution. A large number of pioneer species invaded into the area burned with low intensity fire. The low intensity burn area had the smallest gap patches of the three phases studied. The shape of these small gap patches was the most uniform and the separation between the gap patches was the largest of the three phases. The unburned plot with no known history of fire disturbance was a mature phase forest and included a complex patchwork or network of gaps of different sizes. The unburned *L. gmelinii* community had changed from an aggregative distribution into a uniform distribution. Because fires burn with different levels of intensity, the undergrowth was transformed into gap patches. The spatial distribution pattern had changed with fire disturbance. As the level of fire disturbance declined in a particular stand the area moved from the gaps phase, to the immature phase and then the mature phase in the forest cycle.

Key Words: forest spatial distribution patterns; fire disturbance; gap; natural *Larix gmelinii* forest

在当代森林早已不仅仅作为提供木质林产品与非木质林产品的载体,其在保护生态环境,维持生物多样性,控制温室效应,防止水土流失等方面都有着不可替代的作用。结构决定功能,森林生态系统是否能发挥其功能,从本质上是由其内部的空间结构与非空间结构是否合理共同决定的。

近年来,对森林空间结构的研究已经成为一个热点,国内外学者发表了大量文章,提出了多种空间结构指数^[1-5]。在我国惠刚盈在该领域做了大量研究,主要从树种的空间分布格局,树种的空间隔离程度,树种的生长优势程度,三方面加以描述林分空间结构,提出了以原始林为楷模,连续覆盖,生态有益性,针对顶极种和主要伴生种的中大径木进行竞争调节的结构化森林经营的原则,与 Gadow K. v. 等提出了混角度、大小比、角尺度等空间结构指数^[6]。汤孟平在此基础上,提出了基于 Voronoi 图确定相邻木的方法,并依据此方法对天目山常绿阔叶林混角度进行了分析^[7],与王懿详,陈永刚,洪敏等开发了森林空间结构分析系统^[8]。但森林是处于不断发展中的,林分的空间结构也不可能是一成不变的,上述空间结构指标虽然可以反映现阶段的林木空间结构,但林分空间并不仅仅由林木构成,在林分中还存在着大小不一,形状各异的林隙,所有的森林群落都可以划分为林隙阶段、建立阶段、和成熟阶段,根据这种阶段划分,森林群落被认为是空间上处于不同发育阶段的斑块镶嵌体,这种斑块镶嵌体是处于不断的动态变化之中的^[9-10]。林隙区域与林下区域两者作为林分中两大互补区域,在林分发展的漫长过程中,周而复始不断转换,两者此消彼长共同影响林分空间结构。一般情况下立地条件一致、林分类型相同、优势树种相同的同龄林只能处于相同发育阶段,但是不同强度的林火干扰使得林分中形成了面积大小不一的林隙,原林分在同一时间不同地段分别转化为以林隙阶段斑块为主体,以建立阶段斑块为主体,以成熟阶段斑块为主体的林分,这对于研究森林循环中林分空间结构的动态变化过程,提供了难得的依据。与此同时林隙干扰对于林分内的树种更新与林木空间分布都产生深远影响^[11]。因此对林隙加以研究可以全方位的反应林分的空间结构,本文以受不同强度林火干扰所形成的不同类型林隙斑块为主要研究对象,选取景观生态学中斑块类型指数分析样地内林隙镶嵌分布状况^[12],并结合林木分布情况分析林火干扰造成的林分空间结构动态变化过程,针对火后天然落叶松林更新速度较慢等问题以发挥森林生态系统的综合作用为原则制定了相应的经营计划。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

盘古镇隶属塔河县管辖,位于塔河县城西北部 96.5km,地理坐标为北纬 52°41'57.1",东经 123°51'56.5",南与呼中区接壤,西南与漠河县毗邻。镇政府距县城 74km。盘古林场辖区内森林覆盖率为 88.86%,经济材树种主要有:落叶松(*Larix gmelinii*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、红皮云杉(*Picea koraiensis*)等。盘古气候类型属于大陆性季风气候,其特点是冬季寒冷干燥,夏季温暖多雨,气温低,温差大,生长期短。年平均气温-3℃,最高气温 36℃,最低气温-53℃,无霜期为 90—110d,年降水量 300—450mm,相对湿度 70%—75%。积雪期达 5 个月。林内雪深达 30—50cm。年均

光照总时数为 2600h。

分别在盘古林场 13 林班 16 小班、25 林班 6 小班、26 林班 1 小班中各设置 1 块 20m×30m 的固定样地,在 225 林班 2 小班中设置 2 块 20 m×30 m 的固定样地,5 块样地内优势树种相同,优势树种起源、发育阶段相同,并且同为杜香落叶松林,样地分布见图 1。

受中度林火干扰的 1 号样地内先锋树种白桦占林木数量的绝大多数,白桦全部为林火干扰后自然更新的小径木。落叶松大多为中径木,大径木,样地内没有发现落叶松更新形成的小径木。受轻微林火干扰的 2 号样地内先锋树种白桦、水冬瓜在林木数量上占据大部分比例,但落叶松在蓄积上占 7 成仍为优势树种。受轻微林火干扰的 3 号样地内落叶松无论在数量还是蓄积上都占优势地位,样地内存在一定比例的白桦、水冬瓜、云杉。未受林火干扰的 4 号样地内除去 2 株白桦外其余都为落叶松,林分内竞争异常激烈,枯立木占林木总数的 32.4%。未受林火干扰的 5 号样地内落叶松无论在林木数量还是蓄积上都占有绝对优势,林分内生长竞争十分激烈,样地内枯立木占林木总数的 10%。样地详情见表 1。

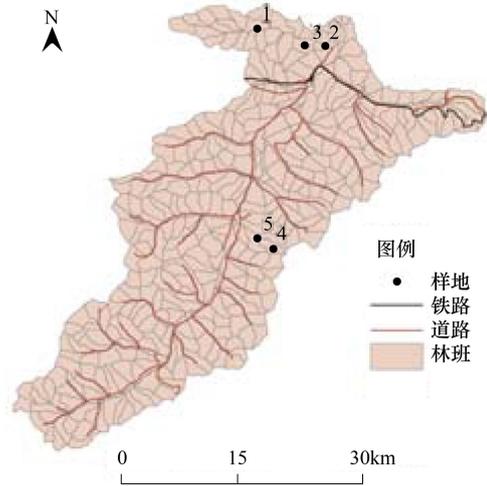


图 1 样地分布图
Fig.1 Distribution of plot

表 1 样地概况

Table 1 The general situation of plots

样地 Plot	林班 Compartment	小班 Sub-compartment	林龄/a Forest age	树种组成 Tree species composition	火干扰程度 Degree of fire disturbance	起源 Origin
1	13	16	83	7 落 3 白	中度	天然
2	26	1	86	7 落 3 白-云	轻微	天然
3	25	6	83	9 落 1 白+云	轻微	天然
4	225	2	82	10 落-白	未受干扰	天然
5	225	2	86	9 落 1 白	未受干扰	天然

1.2 研究方法

1.2.1 样地的分组

运用罗德昆通过计算被林火烧死林木株数的方法将林火干扰强度分为 3 级,重度干扰:死亡株数占 70%—100%;中度干扰:死亡株数占 31%—69%;轻微干扰:死亡株数在 31% 以下^[13]。根据 5 块样地所受不同强度林火干扰将其分为 3 组,1 号样地受中度林火干扰,为第 1 组;2 号 3 号样地受轻度林火干扰,为第 2 组;4 号 5 号样地未受林火干扰影响,为第 3 组。5 块样地只受到 1987 年林火干扰影响,未经过重复过火。因为在受重度林火干扰的林分内落叶松全部被烧死林分转化为杨桦林与本文研究内容关联不大,因此未在该林分内设置样地;盘古林场受中度林火干扰的小班数量较少,受轻微林火干扰小班大约为受中度林火干扰小班数量的 2 倍,依据比例在两种林分内各设置了 2 块与 1 块样地。在样地内对胸径≥5cm 的林木进行每木检尺,测量其胸径、树高、冠幅、相对坐标。在样地四角分别设置 4 块 1m×1m 的小样方,调查林分内乔木的更新情况,记录幼苗的高度,分别统计 30cm 以下,31cm 至 50cm,51cm 以上幼苗的株数。在样地中心设置 5m×5m 的大样方调查灌木的生长情况。

1.2.2 林木格局分布

将调查数据加入 ArcMap10.0 中生成林木点状图,运用基于改进的 Ripley's $K(d)$ 函数的多距离空间聚类

分析功能,对林木进行点格局分析^[14-17]。并通过 Monte-carlo 方法拟合出置信区间。具体计算方法如下所示:

$$L(d) = \sqrt{\frac{A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n K(i,j)}{\pi n(n-1)}} - d$$

式中, A 表示研究区域面积; n 表示林木点个数; d 表示距离尺度; $K(i,j)$ 表示权重, 当 i 和 j 之间的距离小于或等于 d 时, 权重为 1, 当 i 和 j 之间的距离大于 d 时, 权重为 0。

1.2.3 林隙研究方法

为全面反应林分内林隙斑块状态, 按照冠空隙(系指直接处于林冠层空隙下的土地面积)与扩展林隙(系指由冠空隙周围的树木所围成的土地面积, 它包括实际的林隙和其边缘到周围树木树干基部所围成的面积两部分)两种不同的林隙定义, 在 ArcMap10.0 中以林木相对坐标为中心冠幅的平均值为融合字段生成缓冲区, 矢量化生成冠空隙矢量图与扩展林隙矢量图, 并将其转化为栅格格式。在 FragStats3.3 软件中分别加载冠空隙栅格图、扩展林隙栅格图, 选取景观生态学中斑块类型指数 CA、AWMSI、MNN, 3 个指标对 3 组林隙阶段斑块进行分析^[18-19], 各个指标计算公式与生态学意义见表 2。

表 2 景观生态学指标

Table 2 The index of landscape ecology

指数 Index	计算公式 Computational formula	生态学意义 Meaning of ecology
斑块总面积 Class Area	$CA = \sum_{i=1}^n A_i$	CA 等于某一斑块类型中所有斑块的面积之和, 即某斑块类型的总面积。是计算其他指标的基础。
面积加权的平均形状指数 Area Weighted Mean Shape Index	$AWMSI = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times SI_i}{A}$	反应斑块的复杂程度, 当 AWMSI=1 时说明所有的斑块形状为最简单的方形, 当 AWMSI 值增大时说明斑块形状变得更复杂, 更不规则。
平均最近距离 Mean Nearest Neighbor	$MNN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N}$	MNN 在斑块级别上等于从斑块 ij 到同类型的斑块的最近距离之和除以具有最近距离的斑块总数, 反应斑块之间的分离程度

1.2.4 森林循环阶段划分标准

依据 Whitmore 提出的森林循环理论^[9-10], 对 2011 年大兴安岭外业调查数据进行分析比较, 制定出样地所属森林循环阶段的划分标准。林隙阶段: 扩展林隙面积占样地面积的 5 成以上, 样地内以林隙阶段斑块为主体; 建立阶段: 10 级以下小径木占林木总数 50% 以上, 样地内以建立阶段斑块为主体; 成熟阶段: 枯立木占林木总数 10% 以上, 样地内以成熟阶段斑块为主体。依照此标准, 3 组样地依次处于林隙阶段、建立阶段、成熟阶段。

3 种斑块以不同的比重同时存在于 3 组样地内, 运用 FragStats3.3 软件对林隙阶段斑块进行分析, 由于成熟阶段斑块与建立阶段斑块之间没有确切的划分标准, 难以区分, 在此对位于成熟阶段斑块与建立阶段斑块上的林木进行点格局分析。结合两者分析结果得出不同强度林火干扰下林分空间结构的动态变化过程。

2 结果与分析

2.1 林木点格局分析

对 5 块样地中林木进行点格局分析, 将分析结果在 Excel 中以距离尺度为横坐标, $L(d)$ 值为纵坐标制成点状折线图加以展示。如图 2 所示: 落叶松在各样地内都呈现出不同程度的显著聚集分布, 在落叶松数量上占据优势的 3 号、5 号样地内, 总林木点格局分布与落叶松点格局分布高度一致, 都呈现显著聚集分布。而白桦既可以在过火空地上萌生更新在 1 号样地中表现出聚集分布; 又可以通过风或动物传播种子进行更新在 2 号样地中表现出均匀分布。

2 号与 3 号样地受到轻微林火干扰影响, 在 2 号样地内先锋树种在数量上超过优势树种落叶松, 落叶松

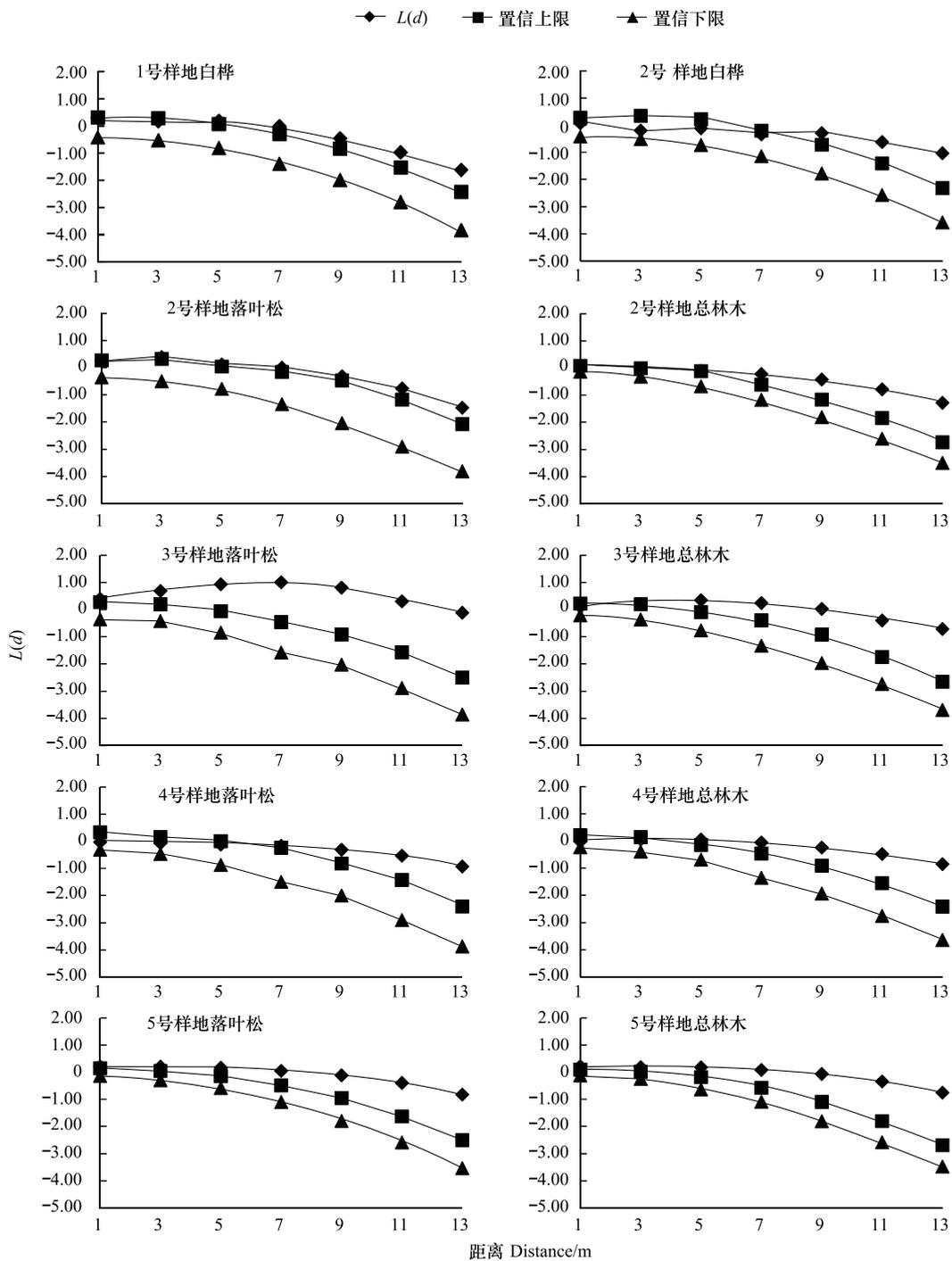


图2 林木点格局分析

Fig.2 The analysis of tree point pattern

1号样地受中度林火干扰影响,样地内林木稀疏出现了大面积过火空地;从图2中可知,白桦在5—6m内呈显著聚集分布,当研究尺度为6m时白桦聚集程度最高

与白桦作为林分内的主要树种,它们的分布状况存在明显差异,白桦在绝大多数研究尺度上表现为均匀分布;落叶松7m范围内呈现聚集分布,当研究尺度为3m时落叶松聚集程度最高。总体林木分布与白桦分布情况一致,在2m范围内为聚集分布其它尺度上为均匀分布。3号样地内落叶松在12m范围内呈现显著聚集分布,总体林木在9m范围内呈现显著聚集分布。

4号与5号样地未受林火干扰影响,落叶松为样地内绝对的优势树种并且两块样地内都出现相当比例的枯立木。5号样地中总体林木点格局分布与落叶松点格局分布高度一致,都呈现显著聚集分布。4号样地内存在相当比例的落叶松枯立木,在此分别对落叶松和落叶松与落叶松枯立木组成的整体进行点格局分析。总体林木在2—6m范围内呈现聚集分布,而落叶松在各个尺度上均呈现均匀分布。可见由于激烈的种内竞争随着部分落叶松小径木的枯死林木已经由聚集分布转变为均匀分布。

2.2 林隙空间格局分析

2.2.1 林隙斑块面积比例

运用 FragStats3.3 软件对3组样地中的林隙阶段斑块进行分析,分析结果如表3所示。

受中度林火干扰的样地内形成了4个林隙,如图2。冠空隙、扩展林隙面积分别为0.0246hm²,0.0407hm²。扩展林隙面积占到了样地面积的67.8%,林隙斑块面积在3组样地中最大。林隙斑块面积相差很大,在冠空隙与扩展林隙中林隙斑块面积标准差分别为:50.55,80.81。其中面积最大的林隙斑块是一个特殊林隙,其它林隙都由边缘木围绕与其它林隙相隔离,它却是由白桦,水冬瓜在过火空地上成团聚集分布,遗留下的区域所形成。从另一角度讲,受林火干扰所形成的过火空地自身是一个连续的区域,林火过后各树种在林分内开始更新,不断将过火空地分化为建立阶段斑块和林隙阶段斑块。目前样地内以林隙阶段斑块为主体,样地处于森林循环的林隙阶段。

受轻微林火干扰的2号样地内保留了部分落叶松,林火干扰过后先锋树种迅速占据过火空地,在样地内呈现均匀分布,并且在数量上超过了优势树种落叶松。冠空隙与扩展林隙只占样地面积的11.5%,26.5%,林隙斑块面积在3组样地中最小。样地内以建立阶段斑块为主体,样地处于森林循环的建立阶段。

未受林火干扰的样地在自然条件下已经发展进入森林循环的成熟阶段,样地内以成熟阶段斑块为主体。林分内种内竞争激烈存在相当比例的枯立木。4号样地与5号样地冠空隙与扩展林隙分别占样地面积的17.7%,36.5%;18.7%,38.7%,略高于受轻微林火干扰的林隙斑块面积。

表3 林隙斑块总面积、平均最近距离及面积加权的平均形状指数

Table 3 Class area, mean nearest neighbor and area weighted mean shape index of gaps

样地 Plot	冠空隙 Canopy gap			扩展林隙 Expanded gap		
	斑块总面积 CA/hm ²	面积加权的平均 形状指数 AWMSI	平均最近距离 MNN/m	斑块总面积 CA/hm ²	面积加权的平均 形状指数 AWMSI	平均最近距离 MNN/m
1	0.0246	2.2743	1.5748	0.0407	1.7865	0.6808
2	0.0069	1.4891	3.6263	0.0159	1.2993	1.9892
3	0.0095	1.4326	2.9602	0.0205	1.2280	1.1589
4	0.0106	1.8237	1.2654	0.0219	1.4546	0.5065
5	0.0112	1.6149	3.1642	0.0232	1.4438	0.978

2.2.2 林木分布格局与林隙斑块之间关系

不同树种在林分内的不同分布状态,将林分划分为林隙区域与林下区域两大部分(图3—图5中的空白部分即为林下区域,该区域与扩展林隙重叠因此留白),奠定了林分的基本空间结构。大兴安岭地区最为常见的树种为白桦和落叶松,白桦多呈现斑块状态镶嵌于落叶松林分中,并且随着林分的发展落叶松在林分中比例逐渐加大,甚至形成落叶松纯林。但不同强度的林火干扰改变了原有的树种组成与林木分布格局以及林分内各林隙斑块的大小、形状、分离程度,使得处于相同发育阶段的林分在不同地段表现出森林循环的全过程。

由表3可知,无论在冠空隙还是扩张林隙中MNN均呈现先增加后递减的趋势,在受林火轻微干扰处于建立阶段的2号样地中MNN指数达到最大值;受中度林火干扰处于林隙阶段的1号样地内林隙斑块形状最为复杂,AWMSI指数在冠空隙与扩展林隙中达到了2.2743、1.7865远大于其他林隙;未受林火干扰处于成熟阶段的样地中林隙斑块各项指数都介于其它两组林隙斑块指数之间,这说明林火干扰这一外界干扰因子扰乱了

林木的分布状态,改变了3种斑块的比重,引起了与之相对应的景观生态学指数的上下波动。

受中度林火干扰的林分中落叶松在数量上处于劣势地位,林火过后在过火空地上先锋树种白桦开始争夺空间,并由一点向四处随机萌生扩展,白桦作为林隙的主要边缘木,将过火空地分割为大小相差悬殊,形状各异的若干小林隙,如图3。样地内林木稀疏并且目前白桦处于幼龄林阶段,其作为林隙边缘木侧生长对林隙斑块面积的影响还不显著,并且白桦在6m范围内呈团状聚集分布,这就导致了样地内林隙斑块面积最大、各个林隙斑块面积相差悬殊、林隙斑块分离度最小并且形状最复杂。

如图4所示,受林火轻微干扰的林分内落叶松仍为显著聚集分布,但由于先锋树种的介入使得总体林木聚集程度降低。2号样地中林木只在2m范围内表现为聚集分布,先锋树种的进入使林分密度达到了2716株/hm²,林分内密集的林木与均匀的林木分布状态使得在3组样地中受轻微林火干扰的样地林隙斑块面积最小,各林隙斑块之间的隔离程度增大。林分内小径木作为林隙边缘木其侧生长对于林隙形状的影响不明显导致林隙斑块形状最简单。

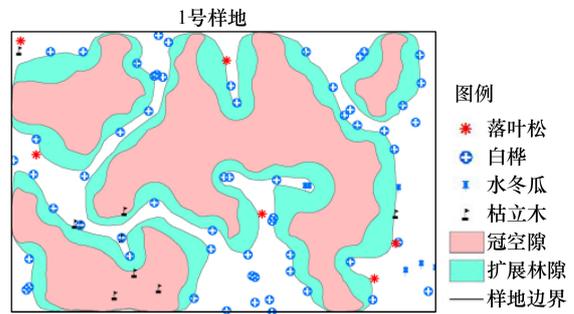


图3 中度林火干扰下林木与林隙分布

Fig. 3 Distribution of forest tree and gaps of suffered moderate forest fire disturbance

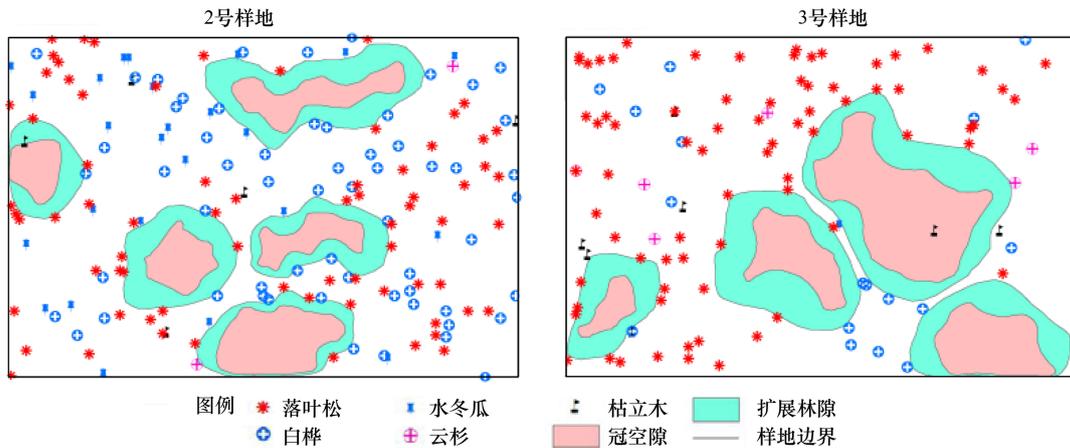


图4 轻微林火干扰下林木与林隙分布

Fig. 4 Distribution of forest tree and gaps of suffered mild forest fire disturbance

在未受林火干扰的林分中,如图5所示,落叶松母树种子成熟后在重力作用下在母树附近下种开始更新过程。故样地内总体林木呈现显著聚集分布,林分内林木对阳光与养分的竞争十分激烈。各林隙斑块面积相差较小,林隙斑块相距较近,林木显著的聚集分布和林隙边缘木的侧生长使得林隙斑块形状较复杂。

3. 结论与讨论

3.1 林分空间结构状态

森林群落发育周期漫长,进行全过程的森林空间结构动态研究十分困难,在不同强度的林火干扰下,原本处于相同发育阶段的林分表现出森林循环各个阶段的生长发育状态,本文依据Whitemore提出的森林循环理论,对森林循环过程中林分空间结构进行了研究,为林业经营提供了科学的依据。

受中度林火干扰的样地表现出森林循环中林隙阶段状态。林火过后,原有林木只保留了少量落叶松大径木,零星分布于林分内。先锋树种快速占据过火空地,在小尺度上呈现显著聚集分布,将其分割形成大小不一,相距最近,形状十分复杂的林隙。

受轻微林火干扰的林分内保留了大部分落叶松,林火过后样地进入森林循环的建立阶段,白桦、水冬瓜在

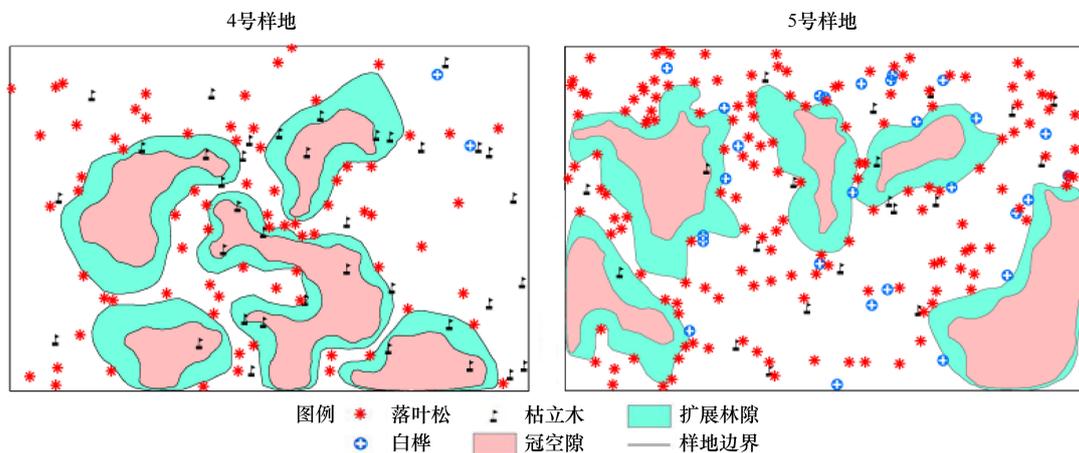


图5 未受林火干扰林木与林隙分布

Fig.5 Distribution of forest tree and gaps of not suffered forest fire disturbance

过火空地上萌生扩展呈现均匀分布,降低了总体林分的聚集程度。大量先锋树种的介入使得林隙斑块间分离程度增大,林隙斑块面积最小,形状最规整。

未受林火干扰的样地处于森林循环的成熟阶段,林隙面积介于受中度林火干扰的林分与受轻度林火干扰的林分之间,林隙形状复杂且林隙分离度较小,这与林隙发展的一般规律相一致^[20]。大兴安岭天然落叶松在未受林火干扰的林分呈现显著聚集分布,这是由落叶松树种自身特性决定的。与大兴安岭地区另一主要树种白桦相比落叶松种子较重,传播扩散的距离较近,因此大多在母树附近更新发育。在1号样地中落叶松1号树附近的1号样方内发现落叶松30cm以下幼苗10株,59号树60号树附近的3号样方内发现了落叶松30cm以下幼苗3株,31cm至50cm幼苗2株,51cm以上幼苗5株,形成了以母树为中心的更新,也证实了这一点。徐化成将这种更新称为环状更新^[21-22]。处于此阶段的林分由于激烈的竞争出现大量枯立木,落叶松已经出现从聚集分布向均匀分布转变的趋势,这与徐化成对兴安落叶松原始林林木空间格局所做的研究结果一致^[23]。

3.2 林分经营计划

近年来森林生态系统在维持生物多样性、控制温室效应、保持生态平衡等方面愈加突显出其不可替代的作用。以获取木材为主要目标的传统经营方式显然不能适应时代发展的需求,本文以最大限度发挥森林生态系统的综合作用为原则制定如下经营计划。

处于林隙阶段的林分内只保留了小部分落叶松中径木、大径木,虽然在母树附近出现了环状更新但样地内没有发现落叶松火后更新形成的小径木,由于无论落叶松种子结实形成的时间还是落叶松幼苗的生长速度都远远落后于速生树种白桦,在自然条件下落叶松从下种更新开始至发育成材需要近百年的时间,火后形成的大面积林隙内土壤有机质丰富、阳光充足,从采伐木材的经济角度上考虑,建议在林隙内人工补植落叶松,缩短林分成材时间。

处于建立阶段的林分内,落叶松显著聚集分布所引起的激烈的种内竞争导致当林分进入成熟阶段后出现大量的枯立木,在4号样地内枯立木比例超过了3成。林分内有限的养分被固定在枯立木中需要相当长的时间才能完全分解重新被吸收利用,根据徐化成对大兴安岭不同林型内倒木与枯立木分解时间的研究表明倒木与枯立木分解到50%与95%的平均时间分别为53a与230a^[20],这大大降低了资源的利用效率,延长了林木的成材时间。建议将处于被压制地位生长不良的林木进行采伐以减轻种内竞争压力,使资源利用合理化。

处于成熟阶段的林分内中径木、大径木所占比例较小,建议以择伐为主伐方式“去大留小”进行采伐,并延长轮伐期实现森林可持续经营,同时保留足够数量的母树以保障落叶松的更新,使得林分形成与原始林接近的多代异龄林最大程度的保持林分的自然度,充分发挥其生态功能;对于样地内大量的枯立木、倒木在传统

林业上被认为是“无用的东西”与林火和病虫害的发源地而被整体清除或者烧毁,但近年来大量研究证明其是森林生态系统中的重要组成部分,建议将其保留在林分内,一方面当其被分解后可以为林分提供养分,另一方面其可以为动植物提供生存发育的场地有利于林木种子的传播和维持生态多样性。

References:

- [1] Baskent E Z, Keles S. Spatial forest planning: A review. *Ecological Modelling*, 2005, 188(2): 145-173.
- [2] Pommerening A. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 2006, 224(3): 266-277.
- [3] KintV. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management*, 2005, 214(1): 237-250.
- [4] Pommerening A. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 2002, 75(3): 305-324.
- [5] Tang M P. Advances in study of forest spatial structure. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(1): 117-122.
- [6] Hui G Y, Hu Y B, Zhao Z H. Further discussion on “Structure-based Forest Management”. *World Forestry Research*, 2009, 22(1): 14-19.
- [7] Tang M P, Zhou G M, Chen Y G, Zhao M S, He Y B. Mingling of evergreen broad-leaved forests in tianmu mountain based on voronoi diagram. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(6): 1-5.
- [8] Wang Y X, Chen Y G, Tang M P, Hong M, Chen H F, Chen D H. A plugin analysis system for forest spatial structure based on GIS and NET. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2011, 28(5): 720-726.
- [9] Zang R G, Xu H C, Advances in forest gap disturbance research. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34(1): 90-98.
- [10] Zang R G. Research advances of gap regeneration dynamic. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(2): 50-58.
- [11] Zang R G, Xu H C, Gao W T. Regeneration response of main tree species to gap size and gap development phase in the Korean pine-broadleaved forest in jiaohe, northeast China. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, 35(3): 2-9.
- [12] Wu J G. Landscape ecology-concepts and theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 42-52.
- [13] Luo D K. The discussion of regeneration patterns in burned forestlands in Da Hinggan Mountains. *Forestry Science & Technology*, 1987, 53(1): 10-12.
- [14] Hui G Y, Li L, Zhao Z H, Dang P X, The comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [15] Ge H L, Zhou Y Z, Tang M P, Ding L X. A modified Ripley's index. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1491-1497.
- [16] Tang M P, Tang S Z, Lei X D, Zhang H R, Hong L X, Feng Y M. Edge correction of Ripley'sK(d) function on population spatial pattern analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1533-1538.
- [17] Song Y Y, Li Y Y, Zhang W H. Distribution pattern of Haloxylon ammodendron population based on Ripley'sK(r) function and fractal dimension. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 827-835.
- [18] You L P, Lin G F, Yang C Z, Lin Q Y, Yang L P. The effects of spatial scales on landscape indices—a case study of the landuse pattern of xiamen island. *Geo-Information Science*, 2008, 10(1): 74-79.
- [19] Wang J, Chen S Y, Lin J P. Landscape ecology analysis on the spatial pattern of land use in Shantou. *Tropical Geography*, 2006, 26(3): 223-228.
- [20] Yan S J, Hong W, Wu C Z. Gap dynamics and landscape patterns of forest in central subtropical evergreen broad-leaved forest—A case study from Wanmulin Natural Reserve Area in Fujian Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(2): 5-8.
- [21] Xu H C. Da hinggan ling mountains forests in China. Beijing: Science Press, 1998: 126-130.
- [22] Dong H L, Xu H Z, Liu B H. Natural regeneration of main tree species in burned forestlands in Daxing'an Mountains. *Journal of Northeast Forestry University*, 2006, 34(1): 22-24.
- [23] Xu H C, Fan Z F, Wang S. A study in spatial patterns of trees in virgin larch forest. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(2): 155-160.

参考文献:

- [5] 汤孟平. 森林空间结构研究现状与发展趋势. *林业科学*, 2010, 46(1): 117-122.
- [6] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华. 再论“结构化森林经营”. *世界林业研究*, 2009, 22(1): 14-19.
- [7] 汤孟平, 周国模, 陈永刚, 赵明水, 何一波. 基于 Voronoi 图的天目山常绿阔叶林混交度. *林业科学*, 2009, 45(6): 1-5.
- [8] 王懿详, 陈永刚, 汤孟平等. 基于 GIS 和 NET 的插件式森林空间结构分析系统. *浙江农林大学学报*, 2011, 28(5): 720-726.
- [9] 臧润国, 徐化成. 林隙(GAP)干扰研究进展. *林业科学*, 1998, 34(1): 90-98.

- [10] 臧润国. 林隙(gap)更新动态研究进展. 生态学杂志, 1998, 17(2): 50-58.
- [11] 臧润国, 徐化成, 高文韬. 红松阔叶林主要树种对林隙大小及其发育阶段更新反应规律的研究. 林业科学, 1999, 35(3): 2-9.
- [12] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52.
- [13] 罗德昆. 大兴安岭过火迹地更新方式的研讨. 林业科技, 1987, 53(1): 10-12.
- [14] 惠刚盈, 李丽, 赵中华, 党普兴. 林木空间分布格局分析方法. 生态学报, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [15] 葛宏立, 周元中, 汤孟平, 丁丽霞. Ripley's 指数的一个新变形-G(d). 生态学报, 2008, 28(4): 1491-1497.
- [16] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 张会儒, 洪玲霞, 冯益明. Ripley's $K(d)$ 函数分析种群空间分布格局的边缘校正. 生态学报, 2003, 23(8): 1533-1538.
- [17] 宋于洋, 李园园, 张文辉. 基于 Ripley 的 $K(r)$ 函数和分形维数的梭梭种群空间格局. 应用生态学报, 2010, 21(4): 827-835.
- [18] 游丽平, 林广发, 杨陈照, 林巧莺, 杨丽萍. 景观指数的空间尺度效应分析——以厦门岛土地利用格局为例. 地球信息科学, 2008, 10(1): 74-79.
- [19] 王娟, 陈绍愿, 林建平. 汕头市土地利用空间格局的景观生态学分析. 热带地理, 2006, 26(3): 223-228.
- [20] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯. 中亚热带常绿阔叶林林隙动态与森林景观格局研究. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 5-8.
- [21] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京: 科学出版社, 1998: 126-130.
- [22] 董和利, 徐鹤忠, 刘滨辉. 大兴安岭火烧迹地主要目的树种的天然更新. 东北林业大学学报, 2006, 34(1): 22-24.
- [23] 徐化成, 范兆飞, 王胜. 兴安落叶松原始林林木空间格局的研究. 生态学报, 1994, 14(2): 155-160.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advances in theoretical issues of species distribution models LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguo, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

Autecology & Fundamentals

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F₁ progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and
crossostephium XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanxia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N₂O fluxes in Chinese chestnut stands
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

Population, Community and Ecosystem

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire
disturbance NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge
species YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

《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 王克林 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16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (August, 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

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@espg.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 京海工商广字第8013号
许可证

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@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign 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