

# 天山云杉种群分布格局\*

刘贵峰<sup>1,2</sup> 丁易<sup>2</sup> 臧润国<sup>2\*\*</sup> 郭仲军<sup>3</sup> 张新平<sup>3</sup> 成克武<sup>4</sup> 白志强<sup>3</sup> 巴哈尔古丽·阿尤甫<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028000; <sup>2</sup> 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所国家林业局森林生态与环境重点实验室, 北京 100091; <sup>3</sup> 新疆林业科学院森林生态研究所, 乌鲁木齐 830000; <sup>4</sup> 河北农业大学园林与旅游学院, 河北保定 071000)

**摘要** 选择新疆天山山脉不同经度的5个地点(昭苏、巩留、乌苏、乌鲁木齐和哈密)的天山云杉林进行垂直样带调查,应用理论分布模型和聚集强度指标对天山云杉种群分布格局进行研究.结果表明:天山云杉种群格局整体上呈集群分布,不同发育阶段和不同海拔高度对其分布格局和聚集度均有不同程度的影响.随着径级的增大或年龄的增加,天山云杉种群的聚集度降低;不同海拔高度天山云杉都呈现出在高海拔聚集度最大的分布趋势.

**关键词** 天山云杉 种群 分布格局 海拔梯度

**文章编号** 1001-9332(2011)01-0009-05 **中图分类号** S718 **文献标识码** A

**Distribution patterns of *Picea schrenkiana* var. *tianschanica* population in Tianshan Mountains.** LIU Gui-feng<sup>1,2</sup>, DING Yi<sup>2</sup>, ZANG Run-guo<sup>2</sup>, GUO Zhong-jun<sup>3</sup>, ZHANG Xin-ping<sup>3</sup>, CHENG Ke-wu<sup>4</sup>, BAI Zhi-qiang<sup>3</sup>, AYOUFU Bahaerguli<sup>3</sup> (<sup>1</sup>College of Agronomy, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao 028000, Inner Mongolia, China; <sup>2</sup>State Forestry Administration Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, Institute of Forest Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; <sup>3</sup>Institute of Forest Ecology, Xinjiang Forestry Academy, Urumqi 830000, China; <sup>4</sup>College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(1): 9-13.

**Abstract:** A vertical transect investigation on *Picea schrenkiana* var. *tianschanica* forests was conducted at five different longitudinal sites (Zhaosu, Gongliu, Wusu, Urumqi, and Hami) in Tianshan Mountains, and the distribution pattern of *P. schrenkiana* var. *tianschanica* population at each site was analyzed based on theoretical distribution model and aggregation intensity index. On the whole, the *P. schrenkiana* var. *tianschanica* population in Tianshan Mountains presented a clumped distribution, and the distribution pattern and clustering intensity were affected by the developmental stages of stem and the ranges of altitude to some degree. The clustering intensity increased with the increasing size (DBH) or developmental stage of stem, and had the highest values at high altitudes.

**Key words:** *Picea schrenkiana* var. *tianschanica*; population; distribution pattern; altitudinal gradient.

种群的空间格局分析是研究种群特征、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要手段,是生态学的主要研究内容之一<sup>[1-3]</sup>,也是近年来生态学研究热点之一<sup>[4-6]</sup>.种群的空间分布格局不但因种

而异,而且同一种在不同发育阶段、不同的生境条件也有明显的差别<sup>[7-9]</sup>.研究种群分布格局的目的不仅是对种群的水平结构进行定量描述,更重要的是用以揭示格局的成因,阐述种群及群落的动态变化等,为保护措施的制定提供一定的科学依据.通过研究群落内优势种空间分布,分析种内和种间竞争来揭示种群生活对策和动态机制是进行种群研究的重要手段<sup>[10]</sup>.

\* 林业公益性行业科研专项(200904010)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFRIF200716, CAFYBB2007040)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zangrun@caf.ac.cn

2010-06-15 收稿, 2010-10-25 接受.

天山山系是亚洲中部最大的山系,西起乌兹别克斯坦的克孜尔库姆沙漠以东,经哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦进入我国新疆境内,长约 2500 km,宽 250 ~ 300 km,在我国境内约 1700 km. 天山云杉(*Picea schrenkiana* var. *tianshanica*)是第三纪森林植物中的残遗,是亚洲中部山地的特有种,仅见于我国新疆境内的天山山脉<sup>[11]</sup>,是新疆山地森林中分布最广、蓄积量最大、用途极广、材质优良的树种. 天山云杉林面积占新疆天然林有林地总面积的 44.9%,是构成天山乃至新疆森林生态系统的主体,对天山的水源涵养、水土保持和新疆其他生态系统的形成与维护起着主导作用. 目前有关天山云杉分布格局的研究主要集中在对某一地点的种群进行研究<sup>[12-13]</sup>,还没有在较大尺度上对不同经度天山云杉种群分布格局的研究. 本文以天山山脉不同经度的天山云杉种群为研究对象,分析其种群空间分布格局,旨在探索天山云杉种群数量特征,以期为天山云杉的保护和合理利用提供理论依据.

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

选择新疆境内天山山脉从西到东不同经度 5 个地点的天山云杉林进行垂直样带调查,5 个地点分别为:昭苏北山(简称昭苏)、西天山国家级自然保护区(简称巩留)、乌苏巴音沟(简称乌苏)、乌鲁木齐水西沟天山森林生态系统定位研究站(简称乌鲁木齐)、哈密白石头乡口门子林场(简称哈密). 研究地概况见表 1.

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样地设置** 2006 年 6—9 月,在天山云杉分布的阴坡,从其分布的海拔下限至上限,沿海拔高度每隔 50 m 设置一面积为 20 m×20 m 的调查样地,共设有 91 个样地. 将每个样地利用样绳划分为 16 个

5 m×5 m 的小样方,在其中进行木本植物的调查,分别测量乔木胸径、树高、冠幅、枝下高,测量灌木高度、基径和冠幅. 同时测定各样地的坡向、坡度、坡位等环境因子.

**1.2.2 不同发育阶段的划分** 由于乔木的生命期比较长,同一种群不同龄期的个体其分布格局不一定相同. 依据天山云杉生活史特点,将其划分为以下几个发育阶段: I: 幼苗幼树, DBH < 4 cm; II: 小树, 4 cm ≤ DBH < 8 cm; III: 中树, 8 cm ≤ DBH < 24 cm; IV: 大树, DBH ≥ 24 cm. 在样地内,统计各龄期天山云杉株数,并分别对天山云杉种群的 4 个龄期进行空间分布格局类型检验.

**1.2.3 海拔高度的划分** 将各调查地点的海拔尽量按等间隔划分为低、中、高 3 个海拔高度范围,由于山体高度和所处的经度不同,对各地点调查样地海拔的高、中、低范围划分标准不一致.

### 1.3 数据处理

分布格局类型采用方差/均值比率法、负二项式法进行判别,聚集强度采用负二项式参数( $K$ )、丛生指标( $I$ )、平均拥挤指数( $m^*$ )、Cassie 指标( $CA$ )和聚块性指标( $m^*/m$ )进行测定.

## 2 结果与分析

### 2.1 天山云杉种群不同发育阶段的分布格局

由表 2 可以看出,在昭苏、巩留、乌苏、乌鲁木齐和哈密,天山云杉种群不同发育阶段的分布格局用负二项式法判别时,除了乌苏第 IV 龄级  $K$  值大于 8 属于随机分布格局外,其他各个龄级分布格局都属于聚集分布;而用方差均值比率法判别时,结果却有所不同. 在乌苏第 II 龄级其方差/均值的值趋于 1,因此属于随机分布. 造成这两种方法判别差异的原因是负二项式法测定结果受种群密度的影响,而方差均值比率法可排除这种影响. 把天山云杉种群中幼苗幼树、小树、中树和大树 4 个发育阶段的聚集度指标作一比较,从中可以看出,随着径级的增加、年龄的增大,种群聚集度呈减小趋势,大树的聚集度很小,趋向于随机分布. 其中,聚块性指标( $m^*/m$ )曾被用来分析种群中个体的聚集或扩散的趋势,如果  $m^*/m$  由大变小,表明种群从这一阶段向下一阶段呈扩散的趋势;若  $m^*/m$  由小变大,则表示种群呈聚集的趋势<sup>[7]</sup>. 在天山云杉不同发育阶段中聚块性指数都呈现幼苗幼树 > 小树 > 中树 > 大树的趋势,表

表 1 研究地点概况

Table 1 Brief information of study area

地点 Site	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude (m)	样地数 Number of plots
昭苏 Zhaosu	43°14'	81°05'	2000 ~ 2700	15
巩留 Gongliu	43°08'	82°53'	1300 ~ 2600	27
乌苏 Wusu	44°02'	84°50'30"	1750 ~ 2700	20
乌鲁木齐 Urumqi	43°25'	87°27'30"	1800 ~ 2700	19
哈密 Hami	43°18'30"	93°41'30"	2200 ~ 2650	10

表 2 天山云杉种群不同发育阶段的分布格局

Table 2 Spatial pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianschanica* at different developmental stages

地点 Site	年龄 Age	方差 Variance	T 检验 T test	K 值 K value	结果 Result	平均拥挤度 Index of mean crowing	聚块性指标 Index of patchiness	丛生指标 Clumping index	Cassie 指标 Cassie index
昭苏 Zhaosu	I	2.406	15.373	0.640	C	2.306	2.563	1.406	1.563
	II	1.394	4.311	1.352	C	0.928	1.739	0.394	0.739
	III	2.904	20.811	1.436	C	4.637	1.696	1.904	0.696
	IV	1.107	1.166	1.836	C	0.302	1.545	0.107	0.545
巩留 Gongliu	I	4.862	56.690	0.081	C	4.174	13.357	3.862	12.357
	II	1.472	6.936	0.162	C	0.549	7.185	0.472	6.185
	III	1.421	6.186	0.286	C	0.542	4.501	0.421	3.501
	IV	1.288	4.228	1.800	C	0.807	1.555	0.288	0.555
乌苏 Wusu	I	8.159	90.419	0.029	C	7.369	35.194	7.159	34.194
	II	1.068	0.857	0.783	R	0.121	2.277	0.068	1.277
	III	1.590	7.448	1.245	C	1.324	1.803	0.590	0.803
	IV	1.048	0.605	10.105	R	0.532	1.099	0.048	0.099
乌鲁木齐 Urumqi	I	9.583	9.583	0.182	C	10.149	6.482	8.583	5.482
	II	2.291	2.291	0.490	C	1.924	3.042	1.291	2.042
	III	2.466	2.466	1.238	C	3.281	1.807	1.466	0.807
	IV	1.398	1.398	1.371	C	0.944	1.729	0.398	0.729
哈密 Hami	I	6.003	44.609	0.336	C	6.684	3.976	5.003	2.976
	II	1.655	5.841	0.592	C	1.043	2.691	0.655	1.691
	III	1.772	6.881	1.814	C	2.172	1.551	0.772	0.551
	IV	1.153	1.366	3.344	C	0.666	1.299	0.153	0.299

R: 随机分布 Random; C: 聚集分布 Clump. 下同 The same below. I: 幼苗幼树 Seedlings and saplings; II: 小树 Small trees; III: 中树 Middle trees; IV: 大树 Big trees.

明随着年龄的增加, 天山云杉种群呈现扩散趋势。

## 2.2 不同海拔高度天山云杉种群的分布格局

由表 3 可以看到, 在昭苏, 天山云杉在低、中、高海拔都属于聚集型分布格局, 不同海拔高度天山云杉种群分布的聚集度呈现高海拔 > 低海拔 > 中海拔的趋势; 在巩留, 低海拔为随机型, 中、高海拔为聚集

型分布格局, 中、高海拔聚集度呈现高海拔 > 中海拔的分布趋势; 乌苏中海拔为随机型, 低、高海拔为聚集型分布格局, 高低海拔呈现高海拔 > 低海拔的趋势; 乌鲁木齐在低、中、高海拔都呈现聚集型分布格局, 聚集度呈现高海拔 > 中海拔 > 低海拔的趋势; 哈密中海拔为随机型, 高海拔为聚集型分布格局。

表 3 不同海拔高度天山云杉种群的分布格局

Table 3 Spatial pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianschanica* in different altitudes

地点 Site	海拔 Altitude (m)	方差 Variance	T 检验 T test	K 值 K value	结果 Result	平均拥挤度 Index of mean crowing	聚块性指标 Index of patchiness	丛生指标 Clumping index	Cassie 指标 Cassie index
昭苏 Zhaosu	LA(2000 ~ 2250)	2.304	8.194	2.857	C	5.029	1.350	1.304	0.350
	MA(2250 ~ 2500)	2.142	7.176	4.182	C	5.917	1.239	1.142	0.239
	HA(2500 ~ 2700)	3.004	12.597	0.942	C	3.892	2.062	2.004	1.062
巩留 Gongliu	LA(1300 ~ 1750)	1.032	0.274	18.849	R	0.644	1.053	0.032	0.053
	MA(1750 ~ 2200)	1.482	4.077	1.627	C	1.267	1.614	0.482	0.614
	HA(2200 ~ 2600)	1.688	5.815	1.091	C	1.438	1.917	0.688	0.917
乌苏 Wusu	LA(1750 ~ 2100)	1.258	1.920	4.677	C	1.463	1.214	0.258	0.214
	MA(2100 ~ 2450)	1.166	1.234	9.811	R	1.791	1.102	0.166	0.102
	HA(2450 ~ 2700)	1.568	3.913	1.651	C	1.505	1.606	0.568	0.606
乌鲁木齐 Urumqi	LA(1800 ~ 2100)	2.277	8.801	3.124	C	5.267	1.320	1.277	0.320
	MA(2100 ~ 2450)	2.217	9.070	2.941	C	4.798	1.340	1.217	0.340
	HA(2450 ~ 2700)	1.950	6.551	1.348	C	2.232	1.742	0.950	0.742
哈密 Hami	MA(2200 ~ 2450)	1.291	1.830	10.734	R	3.416	1.093	0.291	0.093
	HA(2450 ~ 2650)	1.493	3.097	2.993	C	1.968	1.334	0.493	0.334

LA: 低海拔 Low altitude; MA: 中海拔 Middle altitude; HA: 高海拔 High altitude.

### 3 讨论

按照 Odum 等<sup>[14]</sup>的观点,自然界中种群聚集型分布格局比较普遍,只有当环境条件非常一致时,种群的随机分布才可能形成. 集群分布是植物种群最普遍的分布形式,在各种森林生态系统中,许多树木趋向于集群分布,这是树木生长、存活以及竞争等适应环境异质性的结果<sup>[15-16]</sup>. 种群聚集型分布格局可能是由于种子散布不充分或者是树木死亡造成的大的林隙适合许多幼苗更新和生长<sup>[17]</sup>. 在森林群落中,林木达到一定的高度并形成林冠后,个体间对光照等环境因子的剧烈竞争可能导致均匀分布特征. 由于物理环境因素的异质性和种群生殖过程特性,种群内不同个体最终将形成不同程度的群聚分布,这是种群内部结构的一个特点,也是最普遍的分布类型. 一定程度的群聚有利于种群生存和发展,过疏和过密则对种群有限制作用.

#### 3.1 不同发育阶段种群的分布格局

分析种群在不同发育阶段的空间格局变化可以推断种群新生个体的产生、成年个体的死亡以及种群遭受人为干扰的概况<sup>[18-19]</sup>. 处于生活史周期不同发育阶段的同生群(如幼苗、幼树以及成树等),往往表现为不同的分布格局,这是种内和种间竞争以及种群与生境相互作用的结果,反映了种群的一种适应机制<sup>[20]</sup>. 天山云杉不同生长发育阶段的分布格局大多数呈聚集型,但不同生长发育阶段的聚集程度并不相同. 幼苗、幼树阶段呈强聚集分布,从幼苗生长成大树过程中聚集度逐渐降低. 在从幼苗、幼树到大树的发育过程中,天山云杉种群基本呈现扩散趋势. 天山云杉种群分布格局的这种变化趋势与其种子散布习性、种群发育过程中个体间的作用密切相关,是天山云杉种群本身的生物学特性和自然环境综合作用的结果. 天山云杉在幼苗期,要求有一定的光照条件,林下更新极差. 根据调查和观测,天山云杉在林窗内更新良好,且由于球果较大,不利于扩散,导致幼苗在较大规模上呈现聚集分布,随着树木个体的增大,自疏作用和他疏作用导致大量的林木死亡,使得分布格局逐步向轻度聚集发展. 从天山云杉种群不同发育阶段的分布特征上可以看出,幼年期种群集聚度大,具有明显的群体效应,有利于充分利用环境资源,提高幼苗、幼树在林下和林隙内的存活、发育和更新;成年树个体增大,集聚强度降低,有利于每个个体获取充分的环境资源,维持个体的正常生长和群体的稳定性. 种群在幼年阶段集群

程度高,有利于存活和发挥群体效应,而成年后由于个体增大,集群强度低,有利于获得足够的环境资源. 故种群集群强度的变化是种群的一种生存策略或适应机制. 在北方森林中,林木空间分布格局的变化是从年轻林分的聚集分布到年老林分的均匀分布<sup>[21-23]</sup>. 侯向阳等<sup>[24]</sup>在研究红松种群空间分布格局时认为,红松种群空间格局随年龄增长聚集强度下降是种群自我调节的机理之一;陕西秦岭北坡 1~10 年生栓皮栎(*Quercus variabilis*)种群聚集度最大,随着年龄的增加个体呈扩散趋势,大于 20 年的种群则聚集程度进一步降低<sup>[25]</sup>;秦岭太白红杉种群的空间分布格局在不同年龄阶段都呈现集群分布,随着个体年龄的增大,其聚集强度呈下降的趋势<sup>[26]</sup>;李明辉等<sup>[12]</sup>通过对天山中部天山云杉林的研究表明,随着天山云杉的生长,其聚集强度逐渐减小. 这些研究结果都与本研究结果一致.

#### 3.2 不同海拔高度种群的分布格局

不同海拔代表了不同的生境条件,种群分布格局必然受其影响<sup>[27-28]</sup>. 从表 3 可以看出,不同海拔高度天山云杉成树种群分布格局用负二项式判别时,除了在巩留低海拔、乌苏和哈密中海拔属于随机分布格局外,其他地点各海拔高度的分布格局都属于聚集分布,用方差均值比率法判别时,结果是一致的,在以上 3 个海拔高度方差/均值的值都趋于 1,也属于随机分布,其他各个海拔高度方差/均值的值都大于 1,属于聚集分布. 不同海拔高度天山云杉种群在高海拔均为聚集型的分布格局,其他山地森林研究也发现相同的规律<sup>[29-30]</sup>. 通常,亚高山针叶林均匀分布格局较少,树木通常都呈随机分布或聚集分布<sup>[29]</sup>. Doležal 和 Šrutek<sup>[30]</sup>研究表明,低海拔的阔叶树种呈随机分布,高海拔的针叶树种则呈现聚集型的分布格局,而且随着海拔高度的增加,针叶树种的聚集度也在增加. 聚集型分布格局可以用不同的机制来解释,从地形到小气候的异质性等,均匀型的分布格局在自然界很少见,通常被解释为相邻个体之间竞争. 位于低海拔地段具有相似树种组成森林的分布格局介于随机型和均匀型之间<sup>[21]</sup>. 山地森林由于受到的干扰和具有较低生产力,与相邻树木对资源的竞争不那么强烈<sup>[30]</sup>,而在中等状况下竞争常常导致树木之间形成更加均匀的距离. 通常高海拔严酷环境导致树木可利用资源减少,降低了树木个体之间的竞争强度,因而更容易产生集聚的分布格局.

## 参考文献

- [1] Hoshino D, Nishimura N, Yamamoto S. Age, size structure and spatial pattern of major tree species in an old-growth *Chamaecyparis obtusa* forest, Central Japan. *Forest Ecology and Management*, 2001, **152**: 31–43
- [2] Miyadokoro T, Nishimura N, Yamamoto S. Population structure and spatial patterns of major trees in a subalpine old-growth coniferous forest, central Japan. *Forest Ecology and Management*, 2003, **182**: 259–272
- [3] Condit R, Ashton PS, Baker P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, **288**: 1414–1418
- [4] Hao ZQ, Zhang J, Song B, et al. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, **252**: 1–11
- [5] Boyden S, Binkley D, Shepperd W. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 2005, **219**: 43–55
- [6] Youngblood A, Max T, Coe K. Stand structure in east-side old-growth ponderosa pine forests of Oregon and northern California. *Forest Ecology and Management*, 2004, **199**: 191–217
- [7] Jiang H (江洪). Ecology of *Picea morrisonicola* Population. Beijing: China Forestry Press, 1992 (in Chinese)
- [8] Barot S, Gignoux J, Menaut JC. Demography of a savanna palm tree: Predictions from comprehensive spatial pattern analyses. *Ecology*, 1999, **80**: 1987–2005
- [9] Šrútek M, Doležal J, Hara T. Spatial structure and associations in a *Pinus canariensis* population at the tree-line, Pico del Teide, Tenerife, Canary Islands. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2002, **34**: 201–210
- [10] Borchsenius F, Kjør Nielsen P, Lawesson JE. Vegetation structure and diversity of an ancient temperate deciduous forest in SW Denmark. *Plant Ecology*, 2004, **175**: 121–135
- [11] Xinjiang Forest Editorial Board (新疆森林编辑委员会). Xinjiang Forest. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1989 (in Chinese)
- [12] Li M-H (李明辉), He F-H (何风华), Liu Y (刘云), et al. Spatial distribution pattern of tree individuals in the Schrenk spruce forest, northwest China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(5): 1000–1006 (in Chinese)
- [13] Li J-G (李建贵), Pan C-D (潘存德), Liang Y (梁瀛). Spatial distribution pattern of *Picea schrenkiana* population. *Journal of Fujian College of Forestry* (福建林业学院学报), 2001, **21**(1): 53–56 (in Chinese)
- [14] Odum EP, Barrett GW. Fundamentals of Ecology. Philadelphia: Saunders Company, 1971
- [15] Manabe T, Nishimura N, Miura M, et al. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology*, 2000, **151**: 181–197
- [16] Arévalo JR, Fernández-Palacios JM. Spatial patterns of trees and juveniles in a laurel forest of Tenerife, Canary Islands. *Plant Ecology*, 2003, **165**: 1–10
- [17] Armesto JJ, Mitchell JD, Villagran C. A comparison of spatial patterns of trees in some tropical and temperate forests. *Biotropica*, 1986, **18**: 1–11
- [18] Cai F (蔡飞), Song Y-C (宋永昌). A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1997, **21**(2): 138–148 (in Chinese)
- [19] Zhang W-H (张文辉), Wang Y-P (王延平), Kang Y-X (康永祥), et al. Spatial distribution pattern of *Larix chinensis* population in Taibai Mt. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(2): 207–212 (in Chinese)
- [20] Scholl AE, Taylor AH. Regeneration patterns in old-growth red fir-western white pine forests in the northern Sierra Nevada, Lake Tahoe, USA. *Forest Ecology and Management*, 2006, **235**: 143–154
- [21] Szwagrzyk J, Czerwczak M. Spatial patterns of trees in natural forests of East-Central Europe. *Journal of Vegetation Science*, 1993, **4**: 469–476
- [22] Gratzler G, Rai PB. Density-dependent mortality versus spatial segregation in early life stages of *Abies densa* and *Rhododendron hodgsonii* in Central Bhutan. *Forest Ecology and Management*, 2004, **192**: 143–159
- [23] Kenkel NC, Hendrie ML, Bella IE. A long-term study of *Pinus banksiana* population dynamics. *Journal of Vegetation Science*, 1997, **8**: 241–254
- [24] Hou X-Y (侯向阳), Han J-X (韩进轩). Simulation analysis of spatial patterns of main species in the Korean pine broadleaved forest in Changbai Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1997, **21**(3): 242–249 (in Chinese)
- [25] Zhang W-H (张文辉), Lu Z-J (卢志军), Li J-X (李景侠), et al. A comparative study on spatial distribution pattern and its dynamics of *Quercus variabilis* populations among different forest areas in Shanxi Province, China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2002, **22**(3): 476–483 (in Chinese)
- [26] Guo H (郭华), Wang X-A (王孝安), Xiao Y-P (肖娅萍). Spatial distribution pattern and fractal analysis of *Larix chinensis* populations in Qinling Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(2): 227–232 (in Chinese)
- [27] Lingua E, Cherubini P, Motta R, et al. Spatial structure along an altitudinal gradient in the Italian central Alps suggests competition and facilitation among coniferous species. *Journal of Vegetation Science*, 2008, **19**: 425–436
- [28] Sharma CM, Suyal S, Gairola S, et al. Species richness and diversity along an altitudinal gradient in moist temperate forest of Garhwal Himalaya. *Journal of American Science*, 2009, **5**: 119–128
- [29] Holecxa J, Saniga M, Szwagrzyk J, et al. Altitudinal variability of stand structure and regeneration in the subalpine spruce forests of the Pol'ana biosphere reserve, Central Slovakia. *European Journal of Forest Research*, 2007, **126**: 303–313
- [30] Doležal J, Šrútek M. Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: A case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology*, 2002, **158**: 201–221

作者简介 刘贵峰, 女, 1975 年生, 博士, 副教授. 主要从事植物生态学研究. E-mail: liuguifeng1234@126.com

责任编辑 李凤琴