

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
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 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁, 刘世荣, 史作民, 等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷, 孔繁翔, 谭 啸, 等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲, 黄小平, 张大文, 等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文, 张春华, 叶祖超, 等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野, 王 烨, 贾黎明, 等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬, 罗承德, 张 健, 等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林, 杨丙贤, 宗学凤, 等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华, 李德文, 庞海河, 等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯, 江 洪, 由美娜, 等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵, 毛志泉, 朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉, 李吉跃, 张方秋, 等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章, 石福习, 董小刚, 等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽, 李守剑, 李贤伟, 等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春, 张明海, 孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波, 王梦君, 李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香, 张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进, 武予清, 郁振兴, 等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之, 杜海峰, 王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰, 王 涛, 宗世祥, 等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平, 李贵全, 郭数进, 等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮, 谢英荷, 任苗苗, 等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠, 成自勇, 郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林, 李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千, 金晓斌, 周寅康, 等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进, 魏朝富, 李 渝, 等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇, 吕一河, 傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁, B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰, 胡 诚, 李双来, 等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化: 探寻恢复之路 —— 第三届国际荒漠化会议述评	吕一河, 傅伯杰 (293)

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉 原始林的空间格局

缪宁^{1,2}, 刘世荣^{1,*}, 史作民¹, 薛泽冰^{1,3}, 喻泓⁴, 何飞⁵

(1. 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环境重点实验室, 北京 100091;

2. 四川大学生命科学学院, 成都 610064; 3. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875;

4. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 5. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

摘要: 为深入理解高山林线原始林中优势树种的空间结构特征和种间关系, 以青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林 1 hm² 样地调查数据为基础, 采用成对相关函数 $g(r)$ 函数, 分析了优势种岷江冷杉 (*Abies faxoniana*) 和凝毛杜鹃 (*Rhododendron agglutinatum*) 各径级的空间分布格局和各径级间的空间关联性。结果表明: 岷江冷杉和凝毛杜鹃径级分布连续, 呈倒“J”型, 均为进展种群。小尺度上, 对于岷江冷杉活立木 (小树 + 中树 + 大树)、小树、中树为显著聚集分布, 大树为均匀分布, 死树则为随机分布; 凝毛杜鹃活立木 (小树 + 中树 + 大树)、小树、中树、大树、死树均为显著聚集分布。小尺度上随径级增大岷江冷杉的分布格局从聚集分布趋于均匀分布。岷江冷杉大树与其小树的空间关联验证了 Janzen-Connell 假说中的距离制约效应。通过验证接受了随机死亡假说, 发现种内的密度制约效应不明显。两个树种的枯立木对凝毛杜鹃小树均表现为排斥关系, 而对岷江冷杉小树表现为相互独立的关系。两个优势种总体表现为相互独立, 但种间不同径级间的空间关联性各异。

关键词: 空间分布格局; 空间关联; 成对相关函数 g ; 高山林线; 种间关系; 岷江冷杉; 凝毛杜鹃

Spatial pattern analysis of a *Rhododendron-Abies* virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China

MIAO Ning^{1,2}, LIU Shirong^{1,*}, SHI Zuomin¹, XUE Zebing^{1,3}, YU Hong⁴, HE Fei⁵

1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064, China

3 College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

5 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

Abstract: Although biological characteristics of different populations in timberline area are widely studied, the spatial relationships of main tree species are still poorly understood due to a lack of studies. In order to improve the understanding on the spatial structure and relationships of rhododendron species and canopy trees in virginal forests near timberline with less anthropogenic influence, we studied the role of spatial patterns and associations of *Abies faxoniana* and *Rhododendron agglutinatum* on the eastern edge of Qinghai-Tibetan plateau, China. Based on the investigation in a 1 hm² *Rhododendron-Abies* virginal forest plot near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan plateau, China, the pair correlation function $g(r)$ was used to analyze the spatial patterns of two dominant species, *A. faxoniana* and *R. agglutinatum*, with different size classes and the spatial associations of intra- and inter-species between different size classes. Both species showed continual distribution of DBH size classes and a reverse J-shaped pattern, suggesting an increasing population. For *A. faxoniana*, alive trees (small + middle + big), small trees and middle trees showed significantly aggregated distribution,

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目 (2006BAD03A0402, 2006BAD03A100302)

收稿日期: 2010-07-06; 修订日期: 2010-11-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Liusr@caf.ac.cn

and big trees showed regular distribution, while dead trees showed random distribution at small scales. For *R. agglutinatum*, alive trees (small + middle + big), small trees, middle trees, big trees and dead trees all showed significantly aggregated distribution at small scales. *A. faxoniana* tended to be from aggregated distribution to regular distribution with increasing size classes at small scales. *A. faxoniana* big trees showed significant repulsion pattern with its small trees at 0—6 m, while showed significant attraction pattern at 8—13 m, and showed independent pattern at other scales, and those patterns validated the distance dependence effects of Janzen-Connell hypothesis. Random mortality hypothesis was accepted through random labeling test, and there was no clear evidence of density dependence effect of both intra-species. Standing dead trees of both species showed repulsion pattern with small trees of *R. agglutinatum* at small scales, suggesting that it was not favorable for the settlement of small trees of *R. agglutinatum* around standing dead trees, while standing dead trees showed independence pattern with small trees of *A. faxoniana* at small scales. There was no significant spatial association between trees alive of the two species, while different classifications of size classes of the two species showed different spatial associations. Particularly, *A. faxoniana* big trees showed repulsion pattern with small and middle trees of *R. agglutinatum* at small scales. *A. faxoniana* big trees showed significant repulsion pattern with big trees of *R. agglutinatum* at 0—4 m, while showed attraction significant pattern at 4—11 m, suggesting that there were spatial segregation between those two species. Intra-specific spatial associations were highly positive for individuals of both species in adjacent size classes, while big trees and small trees exhibited significantly negative association. Spatial patterns and associations of *A. faxoniana* and *R. agglutinatum* of different size classes reflected differentiation of spatial niche in *Rhododendron-Abies* virginal forests. It was inferred that adaptation of the two species to the habitat of alpine timberline and spatial segregation of patches between the two species contribute to the coexistence of *A. faxoniana* and *R. agglutinatum*.

Key Words: spatial distribution pattern; spatial association; pair correlation function g ; alpine timberline; species relationships; *Abies faxoniana*; *Rhododendron agglutinatum*

种群空间分布格局是种群的重要生态学特征,是指种群个体在水平空间的配置状况或分布状态,它反映了种群个体在水平空间上彼此间的相互关系。研究植物种群的空间分布格局有助于理解和认识种群生物学特性、种内和种间关系以及种群与环境关系^[1-2]。种群的空间分布格局是植物共存的重要原因之一,对竞争有不可忽视的作用^[3]。植物的竞争是一种邻域现象,植物的空间分布格局决定了种内和种间个体的距离及数量^[4],影响了植物个体对资源的获取方式,从而决定了植物的结实、生长和共存^[5]。群落中的植物种群常呈聚集分布,当同种个体形成小规模斑块时,竞争者仅对其斑块边缘的个体产生竞争影响;而斑块内的个体之间有更强烈的竞争影响,因而种的分布越聚集,种间竞争就越弱,而种内竞争就越强烈,从而满足了共存的条件^[3, 6-7]。

高山林线作为郁闭森林与高山植被之间的生态过渡带,指示着森林分布的极限环境^[8],因其特殊的结构和功能而对全球气候变化具有高度敏感性,在植被生态学中具有重要的研究意义^[9-10]。青藏高原分布着世界上海拔最高的高山林线,以往对于高山林线附近的针叶树种种群的生态学特性已有一些研究,比如种群幼苗更新^[11],特定时间生命表的种群生存分析^[12],种群结构与动态^[10, 13]等。然而,对于高山林线附近针叶树种与其伴生树种杜鹃花属植物(*Rhododendron* spp.)在群落尺度上的空间分布特性及其种间关系的研究还较为鲜见^[14]。

杜鹃-岷江冷杉林是青藏高原东缘林线附近稳定的森林顶级群落,具有重要的水源涵养和水土保持功能,对防止草甸下侵、高山森林线下移具有重要的意义^[15],垂直分布范围为海拔 3600—4200 m。其生存环境严酷,寒冷多风,气温与地温均较低,林下除杜鹃外,其他灌木难于形成层片,一旦遭到破坏很难恢复。由于林线附近杜鹃-岷江冷杉林的采伐经营价值不高且分布海拔较高难于采伐,因此受人为干扰较少,保留了天然林的生态特征^[16]。

本研究通过分析林线附近杜鹃-岷江冷杉原始林中优势种不同径级个体的空间分布格局及其空间关联,以期深入理解亚高山林线原始林中主要树种的生态学特性以及它们的种间关系,为高山林线森林的保育及林线森林的格局变化提供参考。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省阿坝州理县的米亚罗林区($31^{\circ}24'—31^{\circ}55' N, 102^{\circ}35'—103^{\circ}4' E$)。该地区属典型的高山峡谷地貌,海拔 2200—5500 m,坡度多在 30° 以上。本区属于青藏高原气候区,受太平洋、印度洋及青藏高原三大气团影响,年降水量为 600—1100 mm,年蒸发量为 1000—1900 mm,1 月均温为 $-8^{\circ}C$,7 月均温为 $12.6^{\circ}C$, $\geq 10^{\circ}C$ 年积温为 1200—1400 $^{\circ}C$ 。米亚罗林区植被垂直成带明显,原生森林分布于海拔 2400—4200 m 处,以亚高山暗针叶林为主,主要优势树种为岷江冷杉^[17]。

1.2 调查取样

研究地点位于米亚罗林区的三沟($N31^{\circ}51'29.5'', E102^{\circ}43'37.1''$),该处地势平坦,坡向北偏西 33.4° ,坡度为 28° ,海拔 3968 m。2008 年 7 月,在林线杜鹃-岷江冷杉林原始林中,选取一块面积为 $100 m \times 100 m$ 的样地。为便于野外调查,将样地分割成 400 个 $5 m \times 5 m$ 的小样方,以样地的一个顶点为原点,调查样地中每株树高 $\geq 1.3 m$ 个体活立木和枯立木(指尚未腐烂,能够辨别树种的死亡立木)的位置坐标,同时测量其胸径(DBH,指树干上高于地面 1.3 m 处直径)和高度。查数小样方内树高不足 1.3 m、除 1—2 年生的幼龄个体数量。

1.3 数据分析

将高度不足 1.3 m,不足测量胸径的树木个体,定义为幼树。为了分析优势种不同径级个体间的空间分布格局及其空间关联,根据分析方法需要,对其他树木的径级进行划分。对于岷江冷杉:幼树,树高 $< 1.3 m$;小树(a_1),树高 $\geq 1.3 m$ 且胸径 $< 5 cm$;中树(a_2), $5 cm \leq$ 胸径 $< 15 cm$;大树,胸径(a_3) $\geq 15 cm$;死树(a_4),胸径 $\geq 1.3 cm$ 的枯立木。对于凝毛杜鹃:幼树,树高 $< 1.3 m$;小树(b_1), $1.3 cm \leq$ 胸径 $< 5 cm$;中树(b_2), $5 cm \leq$ 胸径 $< 10 cm$;大树(b_3),胸径 $\geq 10 cm$;死树(b_4),胸径 $\geq 1.3 cm$ 的枯立木。

本研究的种群分布格局和种间关联分析采用点格局分析法中的成对相关函数 g (The pair correlation function g ,简称 g 函数)^[18-20]。 g 函数是由 Ripley's K 函数改进的由圆环代替圆来进行计算,利用点间的距离,计算以某一点为圆心、半径为 r 、指定宽度的圆环区域内的点的数量来进行空间点格局分析^[19, 21]。相比 Ripley's K 函数, g 函数消除了尺度上的累积效应,较为稳健和准确^[22]。

利用岷江冷杉和凝毛杜鹃死亡后枯立、分解缓慢的特点重新构建了 $100 m \times 100 m$ 样地中活立木加枯立木的空间格局,以此为基础来验证随机死亡假说^[23-26]。假设研究对象和对照产生于同一随机过程,分别是其共同分布格局的一个随机子样本,采用随机标识(Random labeling)零假设模型,检验树木死亡在水平空间上的非随机性以及这种格局是否与期望格局一致,即,由于种内和种间密度制约效应导致的树木死亡而产生的格局^[20, 26-27]。

对某一龄级个体的空间分布类型分析时,采用异质性泊松过程的零假设模型消除点密度不均造成的影响,利用移动窗口的方法使空间点的随机分布限定在半径小于 10 m 的范围内,以此来判别某一龄级个体的分布类型^[20]。对不同龄级间的空间关联性进行分析时,采用异质性泊松过程的零假设模型排除点的密度影响,假设不同龄级个体间具有相互竞争关系从而导致相互排斥,采用先决条件零假设模型对二者进行独立性检验^[27]。数据分析由软件 Programita 完成^[20],采用的空间尺度为 0—100 m,进行了 99 次蒙特卡罗模拟,将模拟结果中第 5 个最大、最小模拟值之间的数值范围作为置信区间,显著性水平 α 的值约为 0.05^[19]。本研究中,尺度是指应用点格局分析法计算时,以每一株个体为圆心的圆环半径 r ^[20]。

2 结果与分析

2.1 群落结构和物种组成

乔木层郁闭度为 0.47,主要乔木树种为岷江冷杉和凝毛杜鹃。岷江冷杉形体低矮、粗壮,大树平均高度

13.2 m, 平均冠幅 17.3 m², 部分大径级岷江冷杉有病虫害且树梢干枯。凝毛杜鹃呈小乔木状, 树木分叉较多, 大树平均高度 6.1 m, 平均冠幅 11.8 m²。另外, 林缘有少量的红杉 (*Larix potaninii*)。林下灌木草本发育不良, 层次分化简单。灌木种主要有冰川茶藨子 (*Ribes glaciale*)、香柏 (*Sabina pingii* var. *wilsonii*)、华西蔷薇 (*Rosa moyesii*)、陕甘花楸 (*Sorbus koehneana*)、红刺悬钩子 (*Rubus rubrisetulosus*)、四川忍冬 (*Lonicera szechuanica*) 等。草本层盖度为 0.18, 平均高度为 0.24 m, 主要草本植物有川甘蒲公英 (*Taraxacum lugubre*)、千里光 (*Senecio scandens*)、土三七 (*Sedum aizoon*)、山酢浆草 (*Oxalis acetosella* subsp. *griffithii*)、紫花碎米荠 (*Cardamine tangutorum*)、糙野青茅 (*Deyeuxia scabrescens*)、独叶草 (*Kingdonia uniflora*)、轮叶马先蒿 (*Pedicularis verticillata*)、长籽柳叶菜 (*Epilobium pyrricholophum*) 等。松软的苔藓密布林下, 平均厚度为 9 cm, 盖度为 0.83。枯落物稀疏, 主要为凝毛杜鹃脱落的叶片, 厚度约为 1.5 cm, 盖度为 0.18。林内附生现象明显, 长松萝 (*Usnea longissima*) 密布于树枝上。

凝毛杜鹃和岷江冷杉种群径级结构连续, 径级分布呈倒“J”型, 种群为增长性种群 (图 1)。100 m × 100 m 样地中共有岷江冷杉 7428 株, 其中幼苗占 88.29%, 小树占 4.95%, 中树占 2.69%, 大树占 4.07%, 死树占 2.69%。共有凝毛杜鹃 16839 株, 其中幼苗占 79.74%, 小树占 8.67%, 中树占 8.25%, 大树占 3.33%, 死树占 2.77% (图 1)。凝毛杜鹃和岷江冷杉种群的幼苗个体数量较多, 所占比例较大, 更新良好。岷江冷杉和凝毛杜鹃不同径级个体 (除幼苗外) 在 100 m × 100 m 样地中的分布见图 2, 可以看出各径级个体分布并不均匀, 密度差别较大。

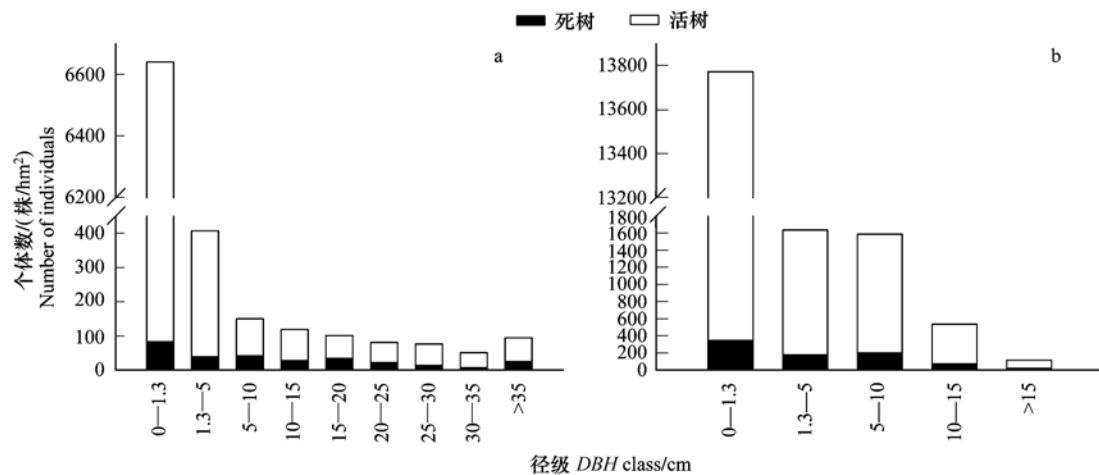


图 1 凝毛杜鹃和岷江冷杉的径级分布

Fig. 1 DBH classes distribution of *A. faxoniana* and *R. agglutinatum*

(a) 岷江冷杉 *A. faxoniana*; (b) 凝毛杜鹃 *R. agglutinatum*

2.2 优势树种的空间分布格局

$g(r)$ 函数分析表明 (表 1): 岷江冷杉全部活立木 ($a_1 + a_2 + a_3$) 在 0—4 m 的尺度上呈显著聚集分布, 而在其余尺度呈随机分布; 小树 (a_1) 在 0—5 m 的尺度上呈显著聚集分布, 其余尺度表现为随机分布; 中树 (a_2) 在 0—2 m 的尺度上呈显著聚集分布, 其余尺度主要呈随机分布; 大树 (a_3) 在 0—2 m 的尺度上呈显著均匀分布, 其余尺度则表现为随机分布; 死树 (a_4) 在所有尺度上均呈随机分布; 岷江冷杉所有个体 ($a_1 + a_2 + a_3 + a_4$) 在 0—4 m 的尺度上呈显著聚集分布, 而在其余尺度呈随机分布。岷江冷杉所有个体与其活立木的分布格局相同, 即, 加入枯死木后, 种群分布格局与活立木的在所有尺度上分布格局没有产生变化。

凝毛杜鹃活立木 ($b_1 + b_2 + b_3$) 在 0—5 m 的尺度上呈显著聚集分布, 其余尺度主要趋于随机分布; 小树 (b_1) 在 0—10 m 的尺度上呈显著聚集分布, 其余尺度则主要呈随机分布; 中树 (b_2) 在 0—5 m 的尺度上显著聚集分布, 其余尺度则主要呈随机分布; 大树 (b_3) 在 0—2 m 的尺度上呈显著聚集分布, 在其余尺度呈随机分

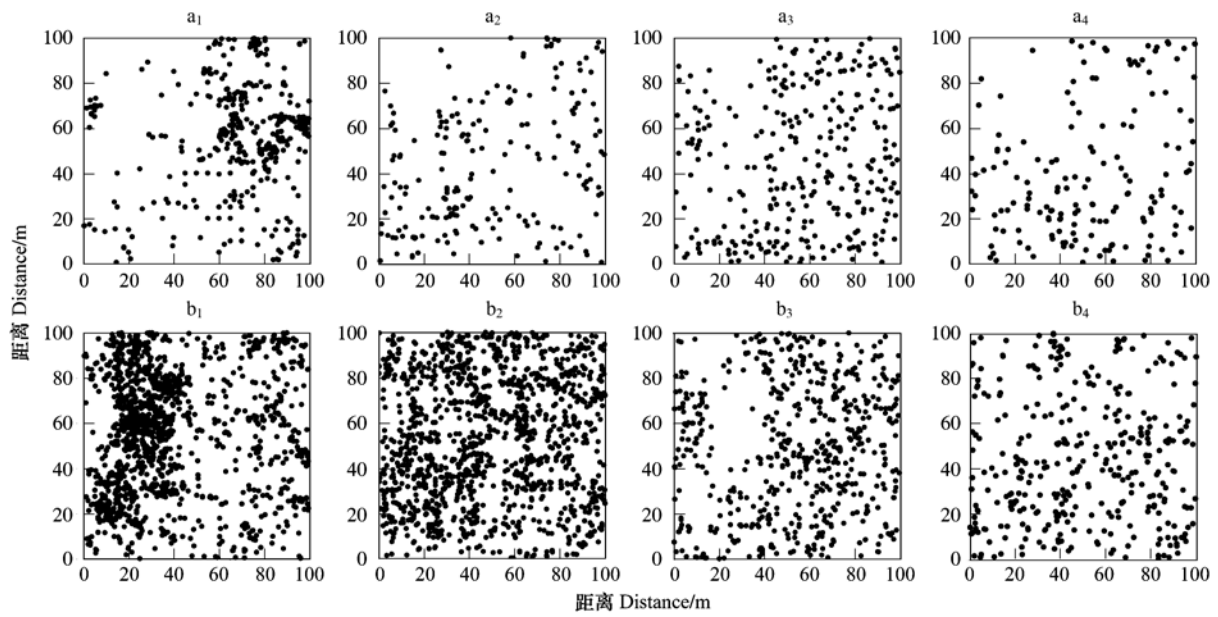


图2 各径级个体在样地中的分布

Fig. 2 Spatial distributions of individuals of different size classes

a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 分别表示岷江冷杉的小树(368 株)、中树(200 株)、大树(302 株)、死树(200 株); b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 分别表示凝毛杜鹃的小树(1460 株)、中树(1390 株)、大树(561 株)、死树(467 株)

布;死树(b_4)除在0—2 m 的尺度上呈显著聚集分布,其余尺度则主要呈随机分布。凝毛杜鹃所有个体($b_1 + b_2 + b_3$)在0—5 m 的尺度上呈显著聚集分布,而在其余尺度呈随机分布。相比凝毛杜鹃活立木个体($b_1 + b_2 + b_3$)的分布格局,加入死树的所有个体($b_1 + b_2 + b_3 + b_4$)的分布格局在0—10 m 的尺度上未产生变化,而在大于10 m 的尺度上更趋于随机分布。

表1 岷江冷杉和凝毛杜鹃种群不同组分的单变量空间格局分析

Table 1 Univariate spatial pattern analysis of two dominant tree species of different groups

	尺度 Scale/m												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11—30	30—50
$a_1 + a_2 + a_3$	+	+	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r
a_1	+	+	+	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r
a_2	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r(-)
a_3	-	-	-	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
a_4	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
$a_1 + a_2 + a_3 + a_4$	+	+	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r
$b_1 + b_2 + b_3$	+	+	+	+	+	+	r	r	r	r	r	r(+)	r(+)
b_1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	r(+)	r(-)
b_2	+	+	+	+	+	+	r	r	-	r	-	r	r
b_3	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
b_4	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r(-)	r(-)
$b_1 + b_2 + b_3 + b_4$	+	+	+	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r

a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 分别表示岷江冷杉的小树(368 株)、中树(200 株)、大树(302 株)、死树(200 株); b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 分别表示凝毛杜鹃的小树(1460 株)、中树(1390 株)、大树(561 株)、死树(467 株); “+”代表聚集分布,“r”代表随机分布,“-”代表均匀分布,“r(+)”代表尺度范围内随机分布多于聚集分布,“r(-)”代表尺度范围内随机分布多于均匀分布,尺度呈零表示点在取样单元内

2.3 优势树种间的空间关联

对于岷江冷杉种内不同径级个体,岷江冷杉小树和中树在0—5 m 的尺度上呈显著的正关联关系,其余尺

度上表现为相互独立(图 3a₁-a₂);岷江冷杉小树和大树在 0—6 m 的尺度上呈显著的负关联关系,8—13 m 的尺度上呈显著的正关联关系,其余尺度上表现为相互独立(图 3a₁-a₃);岷江冷杉中树和大树在所有尺度上表现为相互独立(图 3a₂-a₃)。对于凝毛杜鹃种内不同径级个体,凝毛杜鹃小树与中树在 0—1 m 尺度上呈显著的正关联关系,其余尺度则表现为相互独立(图 3b₁-b₂);凝毛杜鹃小树与大树在 0—7 m 尺度上呈显著的负关联关系,其余尺度则表现为相互独立(图 3b₁-b₃)。

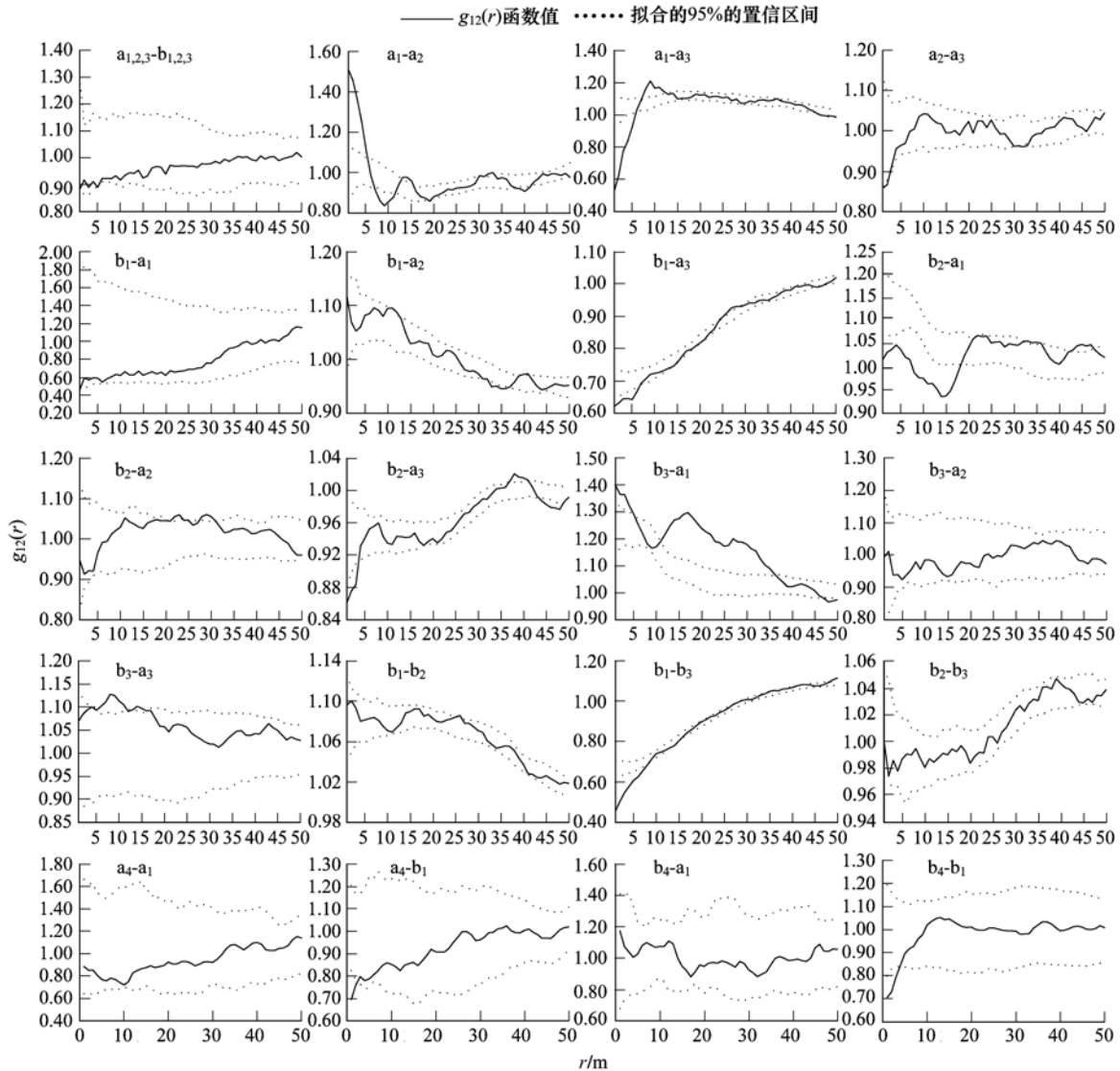


图 3 不同径级间的双变量空间格局分析

Fig. 3 Bivariate spatial pattern analysis of different size classes

凝毛杜鹃小树与岷江冷杉小树和中树在所有尺度上均呈相互独立(图 3b₁-a₁和图 b₁-a₂);凝毛杜鹃小树、中树与岷江冷杉大树分别在 0—7 m、0—3 m(图 3b₁-a₃和图 3b₂-a₃)的尺度上呈显著的负关联关系,其余尺度主要表现为相互独立;凝毛杜鹃中树与岷江冷杉小树在 0—17 m 尺度上呈显著的负关联关系,其余尺度则表现为相互独立(图 3b₂-a₁);凝毛杜鹃中树与岷江冷杉中树在所有尺度上均表现为相互独立(图 3b₂-a₂);凝毛杜鹃大树与岷江冷杉小树在 0—5 m 和 11—35 m 尺度上均呈显著的正关联关系,在其余尺度上表现为相互独立(图 3b₃-a₁);凝毛杜鹃大树与岷江冷杉中树在所有尺度上均表现为相互独立(图 3b₃-a₂);凝毛杜鹃大树与岷江冷杉大树在 0—4 m 的尺度上呈显著的负关联关系,在 4—11 m 的尺度上呈显著的正关联关系,其余尺度则表现为相互独立(图 3b₃-a₃)。

在所有尺度上,岷江冷杉小树与岷江冷杉死树及凝毛杜鹃死树均表现为相互独立(图 3a₄-a₁ 和 b₄-a₁)。凝毛杜鹃小树分别与凝毛杜鹃死树及岷江冷杉死树在 0—4 m 和 0—3 m 的尺度上呈显著的负关联关系(图 3b₄-a₁, b₄-b₁),在其余尺度则表现为相互独立。岷江冷杉和凝毛杜鹃的所有活立木个体之间在所有尺度上均表现为相互独立(图 3a_{1, 2, 3}-b_{1, 2, 3})。

3 讨论

3.1 优势树种的生态学特性

岷江冷杉和凝毛杜鹃从幼苗到小树的个体数量均骤减(图 1),这反映了林线环境下树木从幼苗阶段进入幼树阶段时死亡率较高的特点^[28],这与其他研究者的研究结论一致^[10, 12-13]。各径级凝毛杜鹃在小尺度范围均呈聚集分布,并且凝毛杜鹃小树与中树在 0—1 m 尺度上相互吸引,这体现了凝毛杜鹃的密集丛生特性。这种特性使其在高山林线的寒冷和大风环境下能够相互庇护,增加存活几率^[14]。岷江冷杉小树和中树在小尺度上呈显著的正关联关系,这反映了它们对生境选择的一致性。

小尺度范围内,随径级增大岷江冷杉的分布格局从聚集分布趋于均匀分布,这可能是由于自疏和他疏过程导致的大径级个体密度下降^[24-25]。岷江冷杉小树和大树在 0—6 m 的尺度上表现为相互排斥,6—8 m 的尺度上表现为相互独立,8—13 m 的尺度上表现为相互吸引,其余尺度上表现为相互独立(图 3a₁-a₃),这说明距岷江冷杉大树越近,其小树的密度越小,岷江冷杉小树趋于分布在距其大树一定距离的范围。这种现象验证了 Janzen-Connell 假说中的距离制约效应^[29-30],这种效应亦表现在低海拔分布的岷江冷杉种群中^[17]。凝毛杜鹃则未表现出距离制约效应,凝毛杜鹃小树与其大树仅在 0—7 m 尺度上呈负关联,其余尺度则未表现出明显的空间关系(图 3b₁-b₃),这可能是同种个体间非对称性的竞争所致^[31]。

3.2 枯立木对分布格局的影响

岷江冷杉所有个体与其活立木的分布格局相同,即,加入死树后,空间分布格局的分析结果未产生变化,这表明枯立木的分布格局不影响活立木的分布格局,说明岷江冷杉的死亡是随机的,而非密度制约效应所导致,我们可以接受随机死亡假说^[23-26]。相比凝毛杜鹃活立木及所有个体的分布格局,加入死树的所有凝毛杜鹃个体略趋于随机分布,说明有微弱密度制约效应的存在。Gratzer 等的研究则表明,密度制约所导致的死亡,主要发生在密度较大的幼苗阶段^[14]。当验证中排除了幼苗时,发现密度制约效应并不显著,这一定程度上证实了 Gratzer 等的结论。高山林线的恶劣条件下,乔木与大型灌木物种都处于生存阈值附近^[32],恶劣的环境条件可能是导致树木死亡的主要原因。

在所有尺度上,岷江冷杉小树与其死树及凝毛杜鹃死树均呈相互独立的空间关系(图 3a₄-a₁, b₄-a₁)。凝毛杜鹃小树分别与其死树及岷江冷杉死树在 0—4 m 和 0—3 m 的尺度上表现为相互排斥的关系(图 3b₄-a₁, b₄-b₁),这说明枯立木周围并不适宜凝毛杜鹃幼龄个体的定居,这可能是由于林线环境下枯立木周围的局部生境光照较为强烈,而暴露在强光下可能会加剧幼苗遭受的低温胁迫和失水压力^[32],因而凝毛杜鹃幼龄个体更趋于分布在其同种个体所营造的荫蔽环境下。

3.3 种间关系

本研究中,优势种岷江冷杉和凝毛杜鹃总体之间的空间关系表现为相互独立(图 3a_{1, 2, 3}-b_{1, 2, 3}),相互独立的空间关系意味着彼此之间没有明显的吸引或排斥的关系,这可能与原始老龄林中物种之间达到了某种协调的关系有关^[33-34],这种空间上的相互独立关系有助于避免种间竞争并且有利于树种之间的长期共存^[23]。然而,对于群落中优势种的不同径级,则其空间关系表现各异,大致分为三类:第一,空间关系表现为相互独立的组合:如凝毛杜鹃小树与岷江冷杉小树和中树、凝毛杜鹃中树与岷江冷杉中树、凝毛杜鹃大树与岷江冷杉中树、凝毛杜鹃大树与岷江冷杉中树。第二,竞争或排斥关系的组合:凝毛杜鹃小树、中树与岷江冷杉大树在小尺度上呈显著的负关联关系,这说明岷江冷杉大树周围凝毛杜鹃的中幼龄个体较少,岷江冷杉大树对凝毛杜鹃的中幼龄个体具有一定的排斥作用;凝毛杜鹃中树与岷江冷杉小树在小尺度上呈显著的负关联关系,这可能由于二者的生境选择存在差异;值得关注的是作为群落主体的凝毛杜鹃大树与岷江冷杉大树在 0—4 m 的

尺度上表现为相互排斥,在 4—11 m 的尺度上表现为相互吸引,其余尺度则表现为相互独立(图 3b₃-a₃),说明它们具有一定的空间间隔,在间隔 4—11 m 的范围内密度较大,这可能是二者之间的竞争所产生的一种格局。第三,相互吸引关系的组合:凝毛杜鹃大树与岷江冷杉小树在小尺度范围内呈显著的正关联关系,这种格局可能是凝毛杜鹃大树对岷江冷杉幼龄个体的庇护作用所致,因为幼龄岷江冷杉需要一定程度的荫蔽条件^[17]。Germino 等的研究亦表明,在高山林线环境下杜鹃的郁闭作用促进了针叶树幼苗的定居,这在高山林线植物群落的构建过程中起着重要的作用^[28]。然而,在另一些研究中,高山环境下针叶树和杜鹃花属植物间的关系被认为是一种竞争性的,杜鹃花属植物作为下层林木会阻碍乔木树种的更新和扩散^[35-37],这些研究结论的不同可能是由于研究地点的海拔和生境差异所致。

在人为干扰较少的林线环境下,杜鹃岷江冷杉林中优势种凝毛杜鹃和岷江冷杉的空间分布格局和种间关联性一定程度上反映了它们空间生态位的分化特性。凝毛杜鹃和岷江冷杉种群主要表现为聚集分布,这种水平空间上斑块状的空间格局特性导致了种间相对的隔离,使得两个种得以从不同的生境中获取资源,从而增加了共存的可能^[38]。相同树种的相邻中小径级间趋于正关联,而不同树种大径级间的空间关联趋于减弱或负关联,这与其他天然林中的研究结论一致^[14, 17, 39]。优势种各径级间的竞争、庇护及相互独立的关系,使得群落内部联系紧密,得以构成一个整体。本研究更倾向于支持 Callaway 等的观点,即,在高海拔地区环境对植物的压力较大,植物间主要以正向、有利的关系为主^[32]。岷江冷杉和凝毛杜鹃之所以在严酷的高山林线环境下能存活并共存,一方面是两个种自身生态学特性对林线环境的适应,另一方面是其空间生态位分离的结果。

References:

- [1] Dale M R T. Spatial pattern analysis in plant ecology. London: Cambridge university press, 1999.
- [2] Watt A S. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, 1947, 35: 1-22.
- [3] Hou J H, Ma K P. On mechanisms of species coexistence in plant communities. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(supplement): 1-8.
- [4] Choler P, Michalet R, Callaway R M. Facilitation and Competition on Gradients in Alpine Plant Communities. *Ecology*, 2001, 82(12): 3295-3308.
- [5] Barot S. Mechanisms promoting plant coexistence: Can all the proposed processes be reconciled?. *Oikos*, 2004, 106(1): 185-192.
- [6] Tokeshi M. Species coexistence: ecological and evolutionary perspectives. Blackwell Publishing, 1999.
- [7] Li B, Chen J K, Watkinson A R. A literature review on plant competition. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(4): 18-29.
- [8] Song H T, Cheng S, Sun S Q. Hypotheses of alpine timberline formation mechanism: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(11): 2393-2402.
- [9] Wieser G, Tausz M. Trees at their upper limit: treeline limitation at the alpine timberline. *Plant Ecophysiology* (5). Dordrecht: Springer Netherlands, 2007.
- [10] Ren Q S, Yang X L, Cui G F, Wang J S, Huang Y, Wei X H, Li Q L. Smith fir population structure and dynamics in the timberline ecotone of the Sejila Mountain, Tibet, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2669-2677.
- [11] Cheng W, Luo P, Wu N. Ecological characteristics of Minjiang fir (*Abies faxoniana* Rehd. et Wild) population near timberline on upper Min River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 11(3): 300-303.
- [12] Cheng W, Wu N, Luo P. Survival analysis of *Abies faxoniana* populations near timberline on the upper Minjiang River. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 349-353.
- [13] Zhang Q Y, Luo P, Zhang Y C, Shi F S, Yi S L, Wu N. Ecological characteristics of *Abies georgei* population at timberline on the northfacing slop of Baima Snow Mountain, Southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 129-135.
- [14] Gratzner G, Rai P B. 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(2/3): 143-159.
- [15] Guan Z T. Geography of pine species in Sichuan. Chengdu: Sichuan People Press, 1982: 171.
- [16] Zhang Y D, Liu S R, Zhao C M. Spatial pattern of sub-alpine forest restoration in west Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9): 1706-1710.
- [17] Miao N, Liu S R, Shi Z M, Yu H, Liu X L. Spatial pattern of dominant tree species in sub-alpine *Betula-Abies* forest in west Sichuan of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(6): 1263-1270.
- [18] Condit R, Ashton P S, Baker P, Bunyavechewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell S P, Foster R B, Itoh A, LaFrankie J V, Lee H S, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, 288(5470): 1414-1418.
- [19] Stoyan D, Stoyan H. Fractals, Random shapes, and point fields. *Methods of Geometrical Statistics*. John Wiley & Sons, 1994.

- [20] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, 2004, 104(2): 209-229.
- [21] Dale M R T, Dixon P, Fortin M J, Legendre P, Myers D E. Conceptual and Mathematical Relationships among Methods for Spatial Analysis. *Ecography*, 2002, 25: 558-577.
- [22] Perry G L W, Miller B P, Enright N J. A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology. *Plant Ecology*, 2006, 187(1): 59-82.
- [23] Duncan R P. Competition and the coexistence of species in a mixed podocarp stand. *Journal of Ecology*, 1991, 79(4): 1073-1084.
- [24] Getzin S, Dean C, He F, Trofymow J A, Wiegand K, Wiegand T. Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. *Ecography*, 2006, 29(5): 671-682.
- [25] He F L, Duncan R P. Density-dependent effects on tree survival in an old-growth Douglas fir forest. *Journal of Ecology*, 2000, 88(4): 676-688.
- [26] Yu H, Wiegand T, Yang X, Yang X H, Ci L J. The impact of fire and density-dependent mortality on the spatial patterns of a pine forest in the Hulun Buir sandland, inner Mongolia, China. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(10): 2098-2107.
- [27] Yu H, Yang X H, Ci L J. Variations of spatial pattern in fire-mediated Mongolian pine forest, Hulun Buir sand region, inner Mongolia, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2009, 33(1): 71-80.
- [28] Germino M J, Smith W K, Resor A C. Conifer seedling distribution and survival in alpine treeline ecotone. *Plant Ecology*, 2002, 162: 157-168.
- [29] Janzen D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist*, 1970, 104: 501-528.
- [30] Connell J H. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees dynamics of populations. *Proceedings of the advanced study institute on dynamics of numbers in Populations*. Wageningen: Pudoc, 1971: 298-312.
- [31] Yang H X, Zhang J T, Wu B. Point pattern analysis of *Artemisia ordosica* population in the Mu Us sandy land. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(4): 563-570.
- [32] Callaway R M, Brooker R W, Choler P, Kikvidze Z, Lortie C J, Michalet R, Paolini L, Pugnaire F I, Newingham B. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 2002, 417(6891): 844-848.
- [33] Rozas V. Structural heterogeneity and tree spatial patterns in an old-growth deciduous lowland forest in Cantabria, Northern Spain. *Plant Ecology*, 2006, 185(1): 57-72.
- [34] Szwagrzyk J, Czerwczak M. Spatial patterns of trees in natural forests of east-central Europe. *Journal of Vegetation Science*, 1993, 4: 469-476.
- [35] Lei T T, Semones S W, Walker J F, Clinton B D, Nilsen E T. Effects of *Rhododendron Maximum* thickets on tree seed dispersal, seedling morphology, and survivorship. *International Journal of Plant Sciences*, 2002, 163(6): 991-1000.
- [36] Nilsen E T, Clinton B D, Lei T T, Miller O K. Does *Rhododendron Maximum* L. (Ericaceae) reduce the availability of resources above and belowground for canopy tree seedlings? *The American Midland Naturalist*, 2001, 145(2): 325-343.
- [37] Nilsen E T, Walker J F, Miller O K, Semones S W, Lei T T. Inhibition of seedling survival under *Rhododendron Maximum* (Ericaceae): Could allelopathy be a cause?. *American Journal of Botany*, 1999, 86(11): 1597-1605.
- [38] Nakashizuka T. Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, 16(4): 205-210.
- [39] Li L, Chen J H, Ren H B, Mi X C, Yu M J, Yang B. Spatial patterns of *Castanopsis eyrei* and *Schima superba* in mid-subtropical broadleaved evergreen forest in Gutianshan National Reserve, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2010, 34(3): 241-252.

参考文献:

- [3] 侯继华, 马克平. 植物群落物种共存机制的研究进展. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 1-8.
- [7] 李博, 陈家宽, 沃金森. 植物竞争研究进展. *植物学通报*, 1998, 15(4): 18-29.
- [8] 宋洪涛, 程颂, 孙守琴. 高山林线形成机制及假说的探讨. *生态学杂志*, 2009, 28(11): 2393-2402.
- [10] 任青山, 杨小林, 崔国发, 王景升, 黄瑜, Wei Xiaohua, Li Qinglin. 西藏色季拉山林线冷杉种群结构与动态. *生态学报*, 2007, 27(7): 2669-2677.
- [11] 程伟, 罗鹏, 吴宁. 岷江上游林线附近岷江冷杉种群 (*Abies Faxoniana* Rehd. Et Wild) 的生态学特点. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(3): 300-303.
- [12] 程伟, 吴宁, 罗鹏. 岷江上游林线附近岷江冷杉种群的生存分析. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 349-353.
- [13] 张桥英, 罗鹏, 张运春, 石福孙, 易绍良, 吴宁. 白马雪山阴坡林线长苞冷杉 (*Abies Georgei*) 种群结构特征. *生态学报*, 2008, 28(1): 129-135.
- [15] 管中天. 四川松杉植物地理. 成都: 四川人民出版社, 1982: 171.
- [16] 张远东, 刘世荣, 赵常明. 川西亚高山森林恢复的空间格局分析. *应用生态学报*, 2005, 16(9): 1706-1710.
- [17] 缪宁, 刘世荣, 史作民, 喻泓, 刘兴良. 川西亚高山红桦-岷江冷杉林优势种群的空间格局分析. *应用生态学报*, 2009, 20(6): 1263-1270.
- [27] 喻泓, 杨晓晖, 慈龙骏. 地表火对红花尔基沙地樟子松种群空间分布格局的影响. *植物生态学报*, 2009, 33(1): 71-80.
- [31] 杨洪晓, 张金屯, 吴波. 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 563-570.
- [39] 李立, 陈建华, 任海保, 米湘成, 于明坚, 杨波. 古田山常绿阔叶林优势树种甜槠和木荷的空间格局分析. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 241-252.

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China	MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest	LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)
Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake	GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China	FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi	LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme	XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River	LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty	YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf	SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods	WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium	JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China	ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China	LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands	RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
Prey biomass of the Amur tiger (<i>Panthera tigris altaica</i>) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China	ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
The impact of conservation projects on giant Panda Habitat	ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment	GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG)	MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities	NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population	PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi	WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland	LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years	LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county	XIE Hualin, LI Xiubin (230)
Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China	YANG Zhen (239)
Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area	LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
Review and Monograph	
Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion	LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States	ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
Managing farmland soil food web: principles and methods	CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

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 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 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		

