

# 贺兰山油松和青海云杉交错区的物种丰富度研究

朱源<sup>1</sup>, 康慕谊<sup>1,①</sup>, 刘全儒<sup>2</sup>, 江源<sup>1</sup>, 和克俭<sup>3</sup>

(1. 北京师范大学资源学院 中国生态资产评估研究中心 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;  
2. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875; 3. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 对贺兰山东坡的油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)和青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.)交错区进行了野外群落调查和数据分析。结果表明,该交错区跨越2 100~2 500 m海拔范围,油松林和青海云杉林的海拔分界线为2 300~2 350 m。地形是该交错区群落物种丰富度的主要影响因子,阳坡群落的物种丰富度高于阴坡。中等坡度样地的物种丰富度较低;平缓或陡峭样地的物种丰富度较高。海拔升高,物种的丰富度也有所增加。当群落中油松和青海云杉的优势度基本相等时,为典型的油松与青海云杉交错区,在该交错区内,随着油松优势度的降低和青海云杉优势度的升高,土壤条件有所改善,物种丰富度增加。

**关键词:** 群落交错区; 物种丰富度; 地形因子; 油松; 青海云杉

**中图分类号:** Q948.15<sup>+</sup>8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)03-0001-06

**Study on species richness in ecotone between *Pinus tabulaeformis* and *Picea crassifolia* on Helan Mountain** ZHU Yuan<sup>1</sup>, KANG Mu-yi<sup>1,①</sup>, LIU Quan-ru<sup>2</sup>, JIANG Yuan<sup>1</sup>, HE Ke-jian<sup>3</sup> (1. College of Resources Science and Technology, China Ecological Assessment Research Center at Beijing Normal University, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. College of Resources Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2007, 16(3): 1-6

**Abstract:** The field survey and datum analysis of ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. were carried out on the east side of Helan Mountain. The results showed that altitude range of this ecotone was 2 100-2 500 m, and altitude boundary between *Pinus tabulaeformis* and *Picea crassifolia* forest belts was 2 300-2 350 m. The species richness in ecotone was significantly influenced by topographic factors, including aspect, slope and altitude. The species richness of south-faced plots was higher than that of north-faced plots. Compared to those plots on flat or steep places, the species richness of plots with middle slopes was lower. Ascending with altitude, the species richness was tending to increase. In the typical ecotone, where the dominance of *Pinus tabulaeformis* and *Picea crassifolia* was almost same, which along with gradually replacing of dominance of *Pinus tabulaeformis* by *Picea crassifolia*, the conditions of soil were improved and the species richness was increased.

**Key words:** ecotone; species richness; topographic factor; *Pinus tabulaeformis* Carr.; *Picea crassifolia* Kom.

群落交错区又称生态交错区或生态过渡带,不仅相邻地带性群落之间存在群落交错区,而且任意两个不同植物群落或植被类型之间也存在交错区<sup>[1,2]</sup>。群落交错区是研究植物群落与环境关系的理想区域,是在较小范围内存在多种生态序列的天然实验室。“交错区假说”是对生物多样性分布格局的一种解释<sup>[3]</sup>,认为位于2个群落过渡带间的物种最丰富,其原因是交错区可能既包含2个交错分布群落中的一些种类,也包括交错区中的特有种类。

对山地生物多样性的研究表明,位于2个植被垂直带间的交错区的物种最丰富,可形成生物多样性的峰值区<sup>[4-6]</sup>。虽然在大尺度上已经证实群落交错区是物种相对丰富的区域,但对于交错区内生

收稿日期: 2006-10-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40571001和40671065)

作者简介: 朱源(1983-),男,江西武宁人,博士研究生,主要从事植被生态学和生物多样性方面的研究。

① 通讯作者 E-mail: kangmy@bnu.edu.cn

物多样性变化的研究却较少。群落交错区是具有一定面积的区域,影响其生物多样性分布的环境梯度较为特殊。因此,在交错区内可通过详细的野外群落调查,深入探讨生物多样性在特殊生境内的分布格局及其影响因素,进而丰富生物多样性的研究案例,为生物多样性“交错区假说”理论提供证据。作者通过对贺兰山东坡油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)和青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.)交错区的群落结构、生物多样性状况及其环境特征的调查,探讨该交错区的生境特征和群落结构对物种多样性的影响,并通过对比类似的研究案例,研究群落交错区内生物多样性的分布格局及其主要影响因素。

## 1 研究地概况及研究方法

### 1.1 研究地概况

贺兰山位于中国温带草原及荒漠两大植被区域的过渡区<sup>[7-9]</sup>,山体大致为西南—东北走向,最宽处在中段,主峰为俄博疙瘩峰,海拔3 556.1 m。植被和土壤的垂直地带性明显,东坡山体从下至上大致可分为山前冲、洪积土荒漠草原带(海拔1 500 m以下)、山地灰钙土疏林灌丛带(海拔1 500~1 900 m)、山地灰褐土针叶林带(海拔1 900~3 100 m)和高山草甸土灌丛草甸带(海拔3 100~3 500 m)<sup>[9,10]</sup>;西坡坡度较东坡更缓,基带更早,东西坡植被的垂直分布略有差异。自贺兰山东、西两侧分别建立国家级自然保护区以来,森林植被得到较好恢复<sup>[11]</sup>。贺兰山的森林绝大部分为针叶林,其中青海云杉林(海拔2 350~3 100 m)面积最大,其次为油松林(海拔2 000~2 350 m),且两者多为纯林<sup>[12]</sup>。研究区在贺兰山中段东坡的苏峪沟内,位于东经105°55′、北纬38°45′。根据资料<sup>[13]</sup>和银川市及贺兰山高山气象站的数据推算,研究区海拔2 200 m处的年均降水量约300 mm,其中5月份至10月份的降水量约占全年的80%,年均温约3℃。

### 1.2 研究方法

采用目测法判定油松和青海云杉交错区的位置。从高处俯观,油松和青海云杉交错区外观区别明显,油松为青绿色,青海云杉为蓝绿色。对交错区布设的样方进行群落调查。若交错区海拔梯度较长,则按照海拔50 m等间距布设样方,从灌木层中出现青海云杉幼苗的油松林开始,到仅在灌木层中

出现油松幼苗的青海云杉林为止;若交错区海拔梯度较小而水平跨度较大,则根据等高线按照水平间距50 m布设样方。考虑到林下植被稀疏且乔木种类简单(常见乔木仅4种),因此确定样方大小为10 m×10 m。记录样方内所有乔木(株高高于3 m)的种类及胸径等;调查灌木层的种类、个体数和高度等,灌木层调查也包括乔木幼苗(株高低于3 m);草本层覆盖度很小,故仅记录草本层的种类。主要依据参考文献<sup>[14]</sup>和<sup>[15]</sup>进行种类鉴定。

用罗盘测定样方的坡度和坡向度,海拔数据则在1:50 000地形图及手持GPS交互定位的基础上读取。坡向度以正北为0°,逆时针旋转直至360°,通过 $1 + \cos(\text{坡向度})$ 的转换,计算朝北指数。朝北指数为 $[0,2]$ 之间的连续数,数值越大,表明坡向越偏北,对于北半球来说,就是越偏向阴坡。

土壤因子包括土层深度、有机质含量、全氮含量和pH值。土层深度是将钢钎插入土中直到岩石的深度,为样方内随机测定5个点的平均值;土壤有机质含量、全氮含量和pH值数据则取根系层土壤(0~20 cm)由实验室分析获得。

### 1.3 数据处理

丰富度指数,即选用样方中出现的所有物种数作为物种多样性的指标<sup>[16]</sup>。运用回归方程拟合的方法分析丰富度指数与环境因子之间的关系,并对每个环境因子进行分析。作者仅选用简单的回归方程,如线性方程、二次曲线方程及对数曲线等进行分析。当回归方程通过显著性检验时,认为该环境因子对丰富度指数的影响显著。

针叶林的群落结构包括乔木层、灌木层和草本层等,以乔木层结构最为重要。乔木层结构可通过影响林冠郁闭度而影响林下环境与林下植被。

用胸高截面积( $\text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ )计算乔木种类的优势度<sup>[16]</sup>。以青海云杉为例,优势度( $P_c$ )计算公式

为: $P_c = \frac{\text{青海云杉的胸高截面积之和}}{\text{所有乔木的胸高截面积之和}} \times 100$ 。由于研究区主要是油松和青海云杉交错分布,因此,可用青海云杉与油松的优势度之比( $R_t$ )表示乔木层的结构变化,计算公式为: $R_t = \ln\left(\frac{P_c + 1}{P_t + 1}\right)$ , $P_c$ 和 $P_t$ 分别为青海云杉和油松的优势度,“+1”是为了防止计算中出现零值或负值。 $R_t = 0.639$ ,表示油松和青海云杉的优势度相等; $R_t > 0.639$ ,表示青海云杉

的优势度大于油松;  $R_t < 0.639$ , 表示青海云杉的优势度小于油松。

## 2 结果和分析

### 2.1 样地内群落的基本概况

在4个交错区内的23个样方中,大部分样方位于阴坡(表1)。其中,海拔2325~2340m的样方4个,海拔2220~2350m的样方7个,海拔2125~2360m的样方8个,海拔2350~2455m的样方4个。调查区内共有82种(含变种)植物,其中乔木5种,灌木14种,草本63种。主要灌木有小叶忍冬(*Lonicera microphylla* Roem. et Schult.)、细脉小檗(*Berberis dictyoneura* Schneid.)、蒙古绣线菊(*Spiraea mongolica* Maxim.)、西北栒子(*Cotoneaster zabelii* Schneid.)及小叶金露梅[*Dasiphora parvifolia* (Fisch.) Juz.]等;主要草本种类有柄状苔草(*Carex pediformis* C. A. Mey.)、小红菊[*Dendranthema chanelii* (Lévl.) Shih.]、东亚唐松草[*Thalictrum minus* Linn. var. *hypoleucum* (Sieb. et Zucc.) Miq.]及西藏点地梅[*Androsace mariae* Kanitz. var. *tibetica* (Maxim.) Hand.-Mazz.]等。

由图1可看出,随海拔的升高,油松的优势度逐渐降低而青海云杉的优势度则逐渐上升,但该趋势存在两处“异常点”(海拔2175和2375m处),表

明在较小海拔范围内,还有其他因子对油松和青海云杉优势度的对比关系有影响。在海拔2250~2300m和2350~2400m范围内,油松和青海云杉的优势度相似,由此判定油松林和青海云杉林的海拔分界限为2300~2350m。

此外,调查还发现,杜松(*Juniperus rigida* Sieb. et Zucc.)和阔叶树占乔木层的比例较小。阔叶树只有山杨(*Populus davidiana* Dode)和中国黄花柳[*Salix sinica* (Hao) Wang et C. F. Fang]2种,其中,中国黄花柳仅出现1次。

### 2.2 物种丰富度指数与环境因子的关系

由于样方内乔木种类较少,所以物种丰富度指数主要反映了林下植物的种类数,以草本植物种类最为丰富。一般来说,样方内的草本植物种类占物种丰富度的60%左右,两者的相关系数高达0.945( $N=23, p < 0.01$ )。草本植物种类的多寡基本决定了样方内物种丰富度的高低。

回归分析和显著性检验结果显示,物种丰富度的影响因子有坡向、坡度和海拔(图2、图3和图4),且地形因子是研究区内物种丰富度的主要影响因子,其他环境因子与物种丰富度指数无显著关系。

2.2.1 与坡向(朝北指数)的关系 物种丰富度与坡向(朝北指数)呈显著负相关( $y = -7.8209x + 31.326, R^2 = 0.3093, N = 23, p < 0.01$ ),坡向越朝阳,物种丰富度越高(图2)。相对于阴坡样方,阳坡

表1 贺兰山油松与青海云杉交错区内各样方的环境和群落特征<sup>1)</sup>

Table 1 Environment and community features of quadrats in ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. on Helan Mountain<sup>1)</sup>

因子 Factor	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean
海拔/m Altitude	2 125	2 455	2 307
坡度/(°) Slope	6.0	46.0	24.7
朝北指数 Northness index	0.16	2.00	1.61
土层深度/cm Soil depth	18.8	48.6	33.8
土壤pH值 pH value of soil	7.5	8.5	8.2
土壤全氮含量/% Total nitrogen content of soil	0.01	0.58	0.26
土壤有机质含量/% Organic matter content of soil	3.23	17.04	8.77
乔木层郁闭度/% Canopy density of arborous layer	10	70	48
每样方的乔木数 <sup>1)</sup> Number of arbor per quadrat <sup>1)</sup>	7.0	43.0	20.7
乔木总胸高截面积/cm <sup>2</sup> · m <sup>-2</sup> Total area at breast height of arbor	13.86	35.30	24.07
每样方的草本物种数 <sup>1)</sup> Number of herb species per quadrat <sup>1)</sup>	5.0	23.0	11.3
每样方的灌木物种数 <sup>1)</sup> Number of shrub species per quadrat <sup>1)</sup>	2.0	9.0	6.7
每样方的乔木物种数 <sup>1)</sup> Number of arbor species per quadrat <sup>1)</sup>	1.0	4.0	2.9
每样方的物种丰富度指数 <sup>1)</sup> Species richness index per quadrat <sup>1)</sup>	8.0	32.0	18.7

<sup>1)</sup> 样方面积 100 m<sup>2</sup> Quadrat area 100 m<sup>2</sup>.

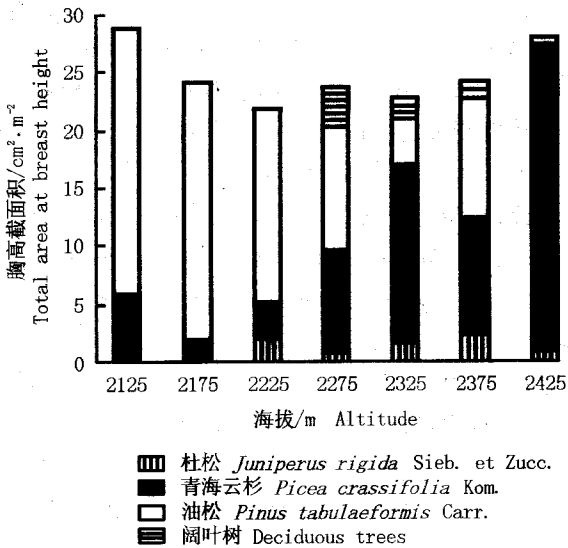


图1 贺兰山油松和青海云杉交错区乔木层优势树种的胸高截面积与海拔的关系

Fig.1 The relationship between altitude and total area at breast height of dominant tree species in ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. on Helan Mountain

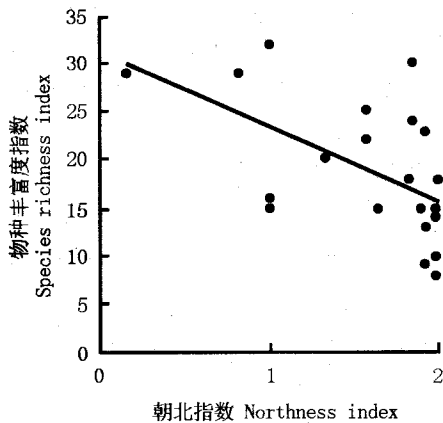


图2 贺兰山油松与青海云杉交错区物种丰富度指数与朝北指数的关系

Fig. 2 The relationship between species richness index and northness index in ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. on Helan Mountain

的林下光照条件较好,不但耐阴种类能够生存,一些喜阳种类也能存活,因此,阳坡的物种丰富度较高。

2.2.2 与坡度的关系 物种丰富度与坡度呈二次曲线关系( $y = 0.0297x^2 - 1.7973x + 43.114$ ,  $R^2 = 0.3555$ ,  $N = 23$ ,  $p < 0.05$ ),表明样方坡度中等,物种丰富度较低;样方地形陡峭或平缓,物种丰富度增加(图3)。

在交错区内地形较平缓的样方中,阔叶树种山杨的数量较多,其原因可能有二:其一,尽管研究区

的降水量不能满足阔叶树种的生长需要,但一些土壤水分相对较多(通过径流补给)的地段却能维持山杨的生长,这些地段的地形往往较平缓,是贺兰山水热条件最好的区域,良好的生境条件除了能维持阔叶树种生长外,还能满足不同种类共存的需要;其二,可能是人为砍伐的结果,森林砍伐往往从平缓地段开始,虽然贺兰山已经禁伐多年,但局部地段的前期砍伐痕迹依然明显,样地中针叶树的伐桩清晰可见。针叶树被砍伐后,森林形成林窗,首先占据林窗的是阳性先锋树种山杨。在针叶林完全恢复前,砍伐形成的林窗使林冠开阔,林下能接受更多光照,保证了一些喜阳种类的生存,从而提高了物种多样性。

无论是优良的的生境条件还是前期的人为干扰均能导致平缓地形上物种丰富度较高的格局。地形过于陡峭,地表稳定性差,水土流失严重,则针叶林生长较差,样地内的乔木均较细、冠幅较小、林冠稀疏,林下光照条件较好,草本种类略有增加。

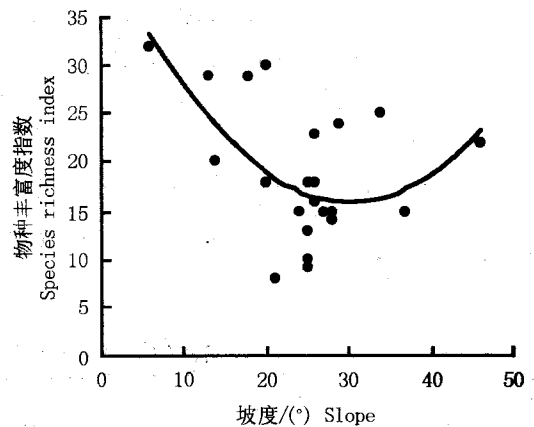


图3 贺兰山油松与青海云杉交错区物种丰富度指数与坡度的关系  
Fig. 3 The relationship between species richness index and slope in ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. in Helan Mountain

2.2.3 与海拔的关系 物种丰富度还与海拔呈微弱的线性正相关关系( $y = 0.0308x - 52.423$ ,  $R^2 = 0.1257$ ,  $N = 23$ ,  $p < 0.1$ )(图4),表明随着海拔的升高,坡位由下坡转为上坡,地形对太阳辐射的遮蔽减小,光照条件变好,同时降水量有所增加,生境条件可能较为优越,进而促进物种丰富度的提高。

### 2.3 物种丰富度指数与乔木层结构的关系

群落的物种丰富度与油松和青海云杉的优势度之比( $R_t$ )在不同  $R_t$  分段区间呈现不同的关系(图5)。以  $R_t = 0.33$ (油松优势度为青海云杉优势度的

2.5倍)和 $Rt = 1.80$ (青海云杉优势度为油松优势度的4.5倍)为分段界限可将所有样方分成3类。I类: $Rt < 0.33$ ,油松占据明显的优势,物种丰富度与 $Rt$ 呈不显著的正线性关系( $y = 38.987x + 13.546$ ,  $R^2 = 0.3584$ ,  $N = 7$ ,  $p = 0.16$ ); II类: $0.33 < Rt < 1.80$ ,物种丰富度与 $Rt$ 呈显著的正线性关系( $y = 10.896x + 9.0718$ ,  $R^2 = 0.7922$ ,  $N = 7$ ,  $p < 0.01$ ),该分段是典型的油松和青海云杉交错区; III类: $Rt > 1.80$ ,物种丰富度与 $Rt$ 呈不显著的单峰曲线关系( $y = -5.007x^2 + 33.866x - 33.528$ ,  $R^2 = 0.3799$ ,  $N = 9$ ,  $p = 0.24$ )。随着青海云杉逐渐占据整个乔木层,物种丰富度与乔木层结构无显著关系。

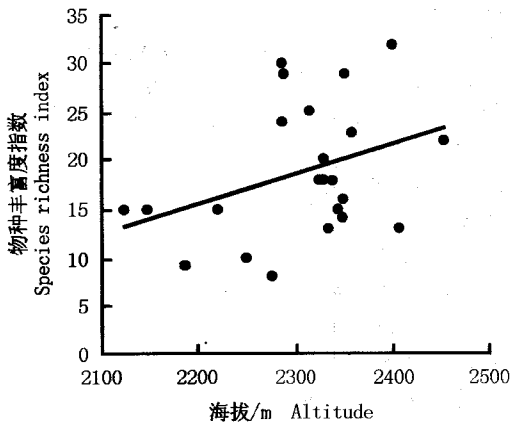


图4 贺兰山油松与青海云杉交错区物种丰富度指数与海拔的关系  
Fig. 4 The relationship between species richness index and altitude in ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. on Helan Mountain

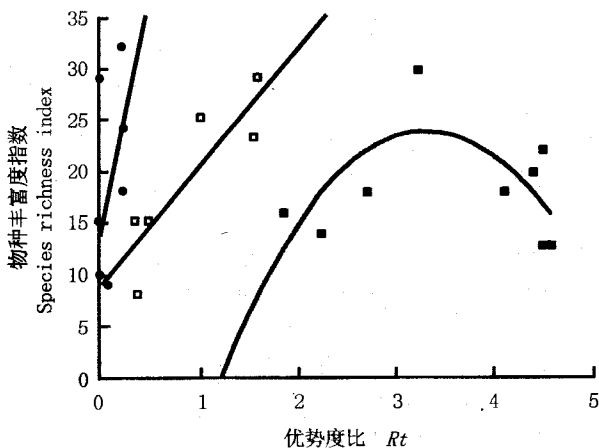


图5 贺兰山油松与青海云杉交错区物种丰富度指数与2个种优势度比( $Rt$ )的分段关系  
Fig. 5 The relationship between species richness index and dominance index ratio ( $Rt$ ) on different section in ecotone between *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Picea crassifolia* Kom. on Helan Mountain

上述3类样方的乔木层结构有明显差异,在生境条件上表现为土壤条件明显不同。III类样方土层深度(平均40.5 cm)显著大于I类和II类样方(平均29.7和29.3 cm) ( $p < 0.05$ ); I类样方的土壤全氮含量(平均0.10%)显著小于II类和III类样方(平均0.28%和0.36%); III类样方的土壤有机质含量(平均10.8%)显著大于I类样方(平均为6.4%)。说明III类样方的土壤条件比I类样方好,即青海云杉优势度高的样方的土层更深厚、土壤全氮含量和有机质含量更高。

土壤条件对根系相对较浅的林下种类(特别是草本种类)影响显著。一般来说,土壤条件越好,种类越丰富。在典型的油松和青海云杉交错区内,草本种类的数量基本决定了整个样方的物种丰富度。因此,随着油松优势度的降低和青海云杉优势度的升高,土壤条件逐渐变好,物种丰富度也逐渐升高。

### 3 讨论和结论

#### 3.1 群落交错区的生态梯度特征

群落交错区内,变化最显著的是物种组成和植被结构<sup>[17]</sup>,具体的生态梯度在不同交错区内有差异,有的是水位梯度<sup>[18]</sup>,有的是积水量变化<sup>[19]</sup>,还有的主要生态因子是海拔梯度<sup>[20]</sup>。于大炮等<sup>[17]</sup>在划分长白山北坡植被垂直带群落交错区时认为,由于整个长白山北坡的环境梯度较长,草本和灌木随海拔变化的替代更明显,因此草本和灌木比乔木更能反映群落结构的变化。在本研究区内,群落变化最明显的是乔木层结构,随海拔升高,油松逐渐被青海云杉所替代。用两树种胸高截面积之比作为乔木层结构的量化指标,发现乔木层结构对物种丰富度存在一定的影响,而与之对应的环境特征变化则是林下土壤条件的变化。交错区内的物种丰富度明显受地形因子的影响,包括坡向和坡度等,坡向和坡度能够在较小范围内改变水热配置,从而影响乔木层状况,最终影响物种丰富度。本研究区海拔变化范围有限,对大部分实际分布范围超出研究区的林下种类而言,海拔对物种丰富度的影响较弱,而相对于变化幅度较小的海拔,坡向和坡度的变化幅度较大,因此能对物种丰富度产生显著影响。

#### 3.2 贺兰山针叶林交错区的特征

一般认为,生态交错区中的生物多样性均较高,

但在空间和时间波动很大的生态交错区中物种相对较少,而在环境条件突变或层次结构急剧变化的生态交错区中生物多样性却较高<sup>[2]</sup>。根据对油松林和青海云杉林的野外调查结果和文献资料<sup>[9,21]</sup>可知,每个100 m<sup>2</sup>的样方中,油松林的物种数一般为15~25种,海拔2 350~2 600 m的青海云杉林的物种数一般为10~20种,而海拔2 600 m以上的青海云杉林的物种数一般小于10种。由此可知,油松和青海云杉交错区与油松林的物种丰富度相差不大,而青海云杉林的物种丰富度显著低于前者。从海拔分布来看,油松林带(2 000~2 350 m)和油松与青海云杉交错区(2 100~2 450 m)的海拔基本相近,且主要分布在阴坡上,2个群落的生境特征相似。也就是说,虽然该交错区是贺兰山油松林与青海云杉林的交错区,但交错区的群落结构和环境特征与油松林带更为接近。

### 3.3 结论

1)贺兰山东坡油松和青海云杉交错区共有82种(含变种)植物,其中乔木5种、灌木14种、草本63种。交错区跨越2 100~2 500 m海拔范围,其中油松林和青海云杉林的海拔分界线为2 300~2 350 m。

2)研究区的物种丰富度明显受地形因子的影响。坡向越朝北,物种丰富度越低;坡度为20°~30°,物种丰富度较低;样方坡度较小或较大,物种丰富度增加;海拔升高,物种丰富度有增加趋势。

3)运用青海云杉与油松的优势度之比( $Rt$ )可将所有样方分为油松占优势的交错区、青海云杉占优势的交错区和典型的油松与青海云杉交错区。典型的油松与青海云杉交错区大致从油松优势度为青海云杉优势度的2.5倍开始,到青海云杉优势度为油松优势度的4.5倍止。在典型的油松与青海云杉交错区内,随油松优势度的降低和青海云杉优势度的升高,土壤条件有所改善,物种丰富度增加。

致谢:北京师范大学资源学院的陶岩和朱恒峰同志参与了野外调查,宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局在野外调查期间给予了支持和帮助,特此感谢。

### 参考文献:

[1] 武吉华,张 绅,江 源,等. 植物地理学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

- [2] 王健锋,雷瑞德. 生态交错带研究进展[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(4): 24-28.
- [3] Lomolino M V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10: 3-13.
- [4] 于顺利,刘灿然,马克平. 蒙古栎群落交错带的研究[J]. 生物多样性, 2000, 8(3): 277-283.
- [5] 石培礼,李文华,王金锡,等. 四川卧龙亚高山林线生态交错带群落的种-多度关系[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 384-389.
- [6] 郝占庆,于德永,杨晓明,等. 长白山北坡植物群落 alpha 多样性及其随海拔梯度的变化[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 785-789.
- [7] Jiang Y, Kang M Y, Liu S, *et al.* A study on the vegetation in the east side of Helan Mountain [J]. *Plant Ecology*, 2000, 149: 119-130.
- [8] 梁存柱,朱宗元,王 炜,等. 贺兰山植物群落类型多样性及其空间分异[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 361-368.
- [9] 田连恕. 贺兰山东坡植被[M]. 呼和浩特:内蒙古大学出版社, 1996.
- [10] 吴以德. 宁夏山地林区的土壤类型[J]. 宁夏农业科技, 1982(5): 11-17.
- [11] 赵玉山,孙 萍,周兴强,等. 封山育林对贺兰山生态环境的作用[J]. 内蒙古林业调查设计, 2004, 27(4): 7-9.
- [12] 冯 林,王立明,朱国胜. 贺兰山西坡林型的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1987, 1(3/4): 77-86.
- [13] 许朝斋,林之光,汪奕琮. 贺兰山区气候若干问题[J]. 地理学报, 1993, 48(2): 171-176.
- [14] 狄维忠. 贺兰山维管植物[M]. 西安:西北大学出版社, 1986.
- [15] 赵一之. 贺兰山西坡维管束植物志要[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版, 1987, 18(2): 279-310.
- [16] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [17] 于大炮,唐立娜,王绍先,等. 长白山北坡植被垂直带群落交错区的定量判定[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1760-1764.
- [18] 詹存卫,于 丹,吴中华,等. 梁子湖水-陆交错区水生植物群落生态学研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 573-580.
- [19] 牟长城,宋洪文,苏 平,等. 长白山毛赤杨和白桦/沼泽交错带植物多样性分布格局[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 258-265.
- [20] 苗莉云,王孝安,王志高. 太白红杉群落交错带物种多样性的研究[J]. 广西植物, 2005, 25(2): 112-116.
- [21] 朱 源,康慕谊,刘全儒,等. 贺兰山针叶林结构特征与种类组成的比较[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 305-313.