

急尖长苞冷杉林林线附近群落结构与物种多样性

张晓娟¹, 罗大庆^{1,2*}

(1. 西藏农牧学院 高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 西藏 林芝 860000)

摘要:急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*)是西藏东南部高山林线区森林群落的主要建群树种,分布于色季拉山海拔3 600~4 400 m区域,为阴坡高山林线的优势树种。在藏东南色季拉山东坡急尖长苞冷杉林林线附近海拔4 000~4 400 m地带进行样地样方调查的基础上,分析急尖长苞冷杉群落的物种组成、物种丰富度(S)、Simpson指数(D)、Shannon-Wiener指数(H')、均匀度指数(E_d)、Jaccard指数(C_j)、Cody指数(β_c)以及种群结构与生长特征。结果表明:1)在林线5个海拔的调查样地中,共有种子植物26种,分属16科20属;随海拔梯度的升高,植物的科、属、种的数量总体呈减少趋势,灌木层和草本层的丰富度亦呈相似的趋势;2)林线附近的灌木层和草本层植物的 α 多样性与海拔总体呈负相关;3)在生境转折带的4 100~4 200 m之间Jaccard指数(C_j)最低,Cody指数与海拔呈负相关;4)林线附近的急尖长苞冷杉种群总体呈稳定的金字塔型结构;5)在林线附近,海拔4 200 m的急尖长苞冷杉的分布与生长状况相对较优。

关键词:西藏;色季拉山;林线;急尖长苞冷杉;群落结构;物种多样性

中图分类号:S791.140.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2013)02-0001-07

Community Structure and Species Diversity of *Abies georgei* var. *smithii* Forest near the Timerline

ZHANG Xiao-juan¹, LUO Da-qing^{1,2*}

(1. Institute of Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China;

2. National Forest Ecosystem Observation & Research Station, Linzhi, Tibet 860000, China)

Abstract: *Abies georgei* var. *smithii* is a main constructive species of the forest communities at alpine timer-line in southeast area of Tibet. It is also the dominant tree species on the shady slope in this area, and distributed between 3 600 to 4 400 m above sea level at the Mt. Sejila. Based on a comprehensive investigation on *A. georgei* population that distributed between the altitudes of 4 000 to 4 400 m, an analysis was carried out on the species composition, species richness, Simpson index, Shannon-Wiener index, Evenness index, Jaccard index, Cody index, changes in the structure, and growth characteristics. The results were reported as follows. 1) There were 26 species of wild seed plants belonging to 16 families and 20 genera in sampling plots. The number of families, genera and species decreased with the increase of altitude. Species richness of shrubs and herbs also demonstrated the same trend. 2) Diversities of shrubs and herbs negatively correlated to altitude. 3) The lowest values of Jaccard index appeared at the altitudes of 4 100 to 4 200 m, and the Cody index presented a negative correlation with altitude. 4) The population structure demonstrated a relatively stable pyramid. 5) The growth situations around 4 200 m above sea level were excellent.

Key words: Tibet; Mt. Sejila; timerline; *Abies georgei* var. *smithii*; community structure; species diversity

收稿日期:2012-07-29 修回日期:2012-11-26

基金项目:2013年西藏自治区科技计划课题“藏东南高山林线特征与气候变化研究”;西藏大学农牧学院“211工程”三期“高原生态学”项目(XZA-211(3)-071012-06)。

作者简介:张晓娟,女,在读硕士,主要研究方向:植物群落和种群生态学。E-mail:273829682@qq.com

*通信作者:罗大庆,男,研究员,主要研究方向:植物生态学和森林生态学。E-mail:dqluo0894@163.com

海拔高度的变化包含着多种环境因子的梯度效应,研究生物多样性的海拔梯度格局对于揭示生物多样性的环境梯度变化规律具有重要意义^[1-4]。物种多样性(Species diversity)是表征群落学的重要指标,在反映植物群落的生境差异、结构类型、演替阶段和稳定性程度等方面均有一定的意义^[5]。海拔对山地气候和土壤等环境条件的影响起重要作用,进而影响到山地森林的物种组成和群落结构,因此历来为生态学家所关注^[4]。

色季拉山属东喜马拉雅北翼山地森林及高山生态系统的典型代表地区,独特的地理与气候条件,孕育了丰富的野生动植物资源及其完整的原始山地垂直生态系统^[6]。该区域是青藏高原这一独特自然生物地理单元中植被最为丰富的区域。在海拔 3 400 m 以上的亚高山地带分布着大面积由冷杉属(*Abies*)、云杉属(*Picea*)以及圆柏属(*Sabina*)等构成的暗针叶林。该区域海拔较高,人类干扰活动少,故天然状态保持较好,具有复杂多样的生态环境、独特的植物区系成分,是研究山地植物多样性垂直分布格局的理想场所。本研究以色季拉山东坡急尖长苞冷杉林林线附近植物群落为研究对象,沿海拔梯度设置样地,在全面调查的基础上,分析了林线附近不同海拔梯度的物种组成、群落 α 多样性、群落 β 多样性、冷杉种群结构特征及生长特征,旨在揭示林线附近物种组成及生物多样性沿海拔梯度的变化规律,为藏东南高山林线的研究积累基础资料。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于西藏东南部林芝地区林芝县境内的色季拉山东坡。色季拉山地处雅鲁藏布大峡谷西北侧,是念青唐古拉山向南延伸的余脉,它与喜马拉雅山脉东端向北发展的山系相邻,色季拉山体垂直海拔在 2 100~5 300 m 之间,面积约 2 300 km²,为藏东南林区腹心地带。该区属于典型的亚高山温带半湿润气候,冬温夏凉、干湿季分明。海拔 3 850 m 处西藏林芝高山森林生态定位研究站(简称:林芝站)的气象观测资料显示,该区域年平均气温 -0.73℃,最暖月(7 月)平均气温 9.23℃,最冷月(1 月)平均气温 -13.98℃,极端最低气温 -31.6℃,极端最高气温 24.0℃。年均日照时数 1 150.6 h,日照百分率 26.1%,日照时数最高月(12 月)为 151.7 h,日照百分率为 40%。年均相对湿度 78.83%,年均降水量 1 134.1 mm,年均蒸发量 544.0 mm,占降水量的 48.0%,6—9 月为雨季,降水占全年的 75%~82%,其中以 8 月降雨最多,平均达 294.2 mm,占

全年降水总量的 30%。土壤类型以山地暗棕壤为主,pH 4~5,土层较厚,腐殖质化过程明显。

1.2 研究方法

全面踏查基础上,在色季拉山东坡林线附近设置样地,即海拔 4 000 至 4 400 m 之间,每间隔 100 m 设置 1 块 30 m×30 m 的样地,样地面积共计 4 500 m²;5 个样地大致地理位置是 94°42′29.8″—94°42′4″E、29°38′27.3″—29°38′0.6″N。采用相邻格子法把每块样地分成 9 个 10 m×10 m 的样方,在每个样方内对急尖长苞冷杉进行每木检尺,调查记录其高度、胸径(基径)、冠幅、枝下高、坐标等;在每个样方内采用对角线方法设置 5 个 2 m×2 m 小样方,调查并记录灌木的种类、高度、胸径、盖度等;同时设置 9 个 1 m×1 m 小样方,调查记录草本植物的种类、高度、多度、盖度、乔木幼苗更新情况等。另外调查记录样地的海拔、坡向、坡位、坡度、土壤、地被物等环境因子。

1.3 多样性指数测度方法

α 多样性测度有许多指数可供选择。本研究选用了以下 4 种多样性指数测度方法:丰富度指数、Simpson 指数(Simpson,1949)、Shannon-Wiener 指数(Magurran,1988)、Alatalo 均匀度指数(Alatalo,1981),从物种丰富度、多样性和均匀度方面反映色季拉山东坡急尖长苞冷杉林林线附近群落的多样性。群落不同层次重要值(IV)的表达式为:

乔木层: $IV = (\text{相对高度} + \text{相对显著度} + \text{相对多度}) \times 100/3$ (1)

灌木层和草本层: $IV = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对多度}) \times 100/3$ (2)

式中:相对高度=某一种植物的高度/所有种个体高度总和,相对显著度=该种的胸高断面积之和/所有种个体胸高断面积总和,相对盖度=某一种植物的盖度/所有种的盖度总和,相对多度=某一种植物的多度/所有种的多度总和。

物种丰富度即物种的数目,是最简单、最古老的物种多样性测度方法,如果研究区域或样地在时间和空间上是确定的或可控制的,则物种丰富度会提供很有用的信息。物种丰富度: S =出现在样地内的物种数。

Simpson 指数又称为优势度指数,是对多样性的反面即集中性的度量(Simpson,1949),即集中性越高,多样性程度越低。

Simpson 指数^[7]:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (3)$$

Shannon-Wiener 指数^[7]:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

均匀度定义为群落中不同物种的多度(生物量、盖度或其他指标)分布的均匀程度。本研究中均匀度的测度选择 Alatalo 均匀度指数是因为 Alatalo 均匀度指数不受样方大小的影响,与物种丰富度无关。

Alatalo 均匀度指数^[7]:

$$E_a = [1/(\sum P_i^2) - 1]/[\exp(-\sum P_i \log P_i - 1)]$$
 (6)

式中: P_i 为该层次第 i 个物种的相对重要值。

Cody 指数:通过对新增加和失去的物种数目进行比较,从而获得十分直观的物种更替概念,对于沿生境梯度变化排列的样本,它清楚地表明了 β 多样性的含义^[7-8]。

Cody 指数^[7]:

$$\beta_c = \frac{g(H)+l(H)}{2} = \frac{a+b-2c}{2}$$
 (7)

式中: a 和 b 分别为群落各自的物种数, c 为群落的共有物种数, $g(H)$ 为沿生境梯度(H)增加的物种数, $l(H)$ 为沿生境梯度丢失的物种数。

Jaccard 指数^[7]:

$$C_j = \frac{C}{a+b-c}$$
 (8)

式中: a 和 b 分别为群落各自的物种数, c 为群落的共有物种数。

选择立木株数(N)、胸高断面积之和(BA)、最大树高($H_{\max}$)与最大胸径($DBH_{\max}$)作为群落生长特征指标,统计各项指标随海拔梯度的变化。

1.4 种群结构

种群结构是植物种群生态学的重要研究内容之一,它反映种群空间上的变动规律,进而体现种群动态及其群落的演替趋势,对阐明生态系统的发展、群落结构特征及其发展趋势具有重要意义^[9]。年龄结构是种群的重要特征之一,能够客观地反映种群发展的动态变化趋势^[10]。由于急尖长苞冷杉立木胸径粗大且心腐率较高,取树芯的方法难以获得年龄数据,鉴于多数乔木树种的胸径与年龄具有较好的相关性,采取高度与径级结构替代年龄结构的方法,将急尖长苞冷杉种群按胸径级大小划分为 7 个径级,径级的划分按如下 2 种方式:1)对于胸径 ≤ 1.0 cm、高度不足 1.5 m 的幼苗和幼树,统一按高度进行分级:I 级的高度 ≤ 20 cm,II 级的高度 20~150 cm;2)胸径 1.0 cm 以上的大树则按整化的胸径级进行划分,以 20 cm 为径阶划分出 5 个径级,III 级为 1~20 cm、IV 级为 20~40 cm、V 级为 40~60 cm、VI 级为 60~80 cm、VII 级为 80~100 cm。按上述方法对不同海拔急尖长苞冷杉种群进行统计和划分后,绘制种群结构图进行分析。

2 结果与分析

2.1 林线附近物种组成

在林线区 5 个海拔的样地中共调查到种子植物 26 种,分属 16 科 20 属。其中,乔木层树种单一,仅急尖长苞冷杉 1 种;灌木层有 13 种分属 5 科 8 属;草本层有 11 种分属 10 科 10 属;藤本植物仅有西南铁线莲(*Clematis pseudopogonandra*) 1 种,出现在海拔 4 000 m 处。其中,在海拔 4 000 m 样地调查到植物 20 种,分属 13 科 15 属,灌木层有 10 种,优势种为直立悬钩子(*Rubus stans*),草本层有 8 种,优势种为宽叶苔草(*Carex siderosticta*);海拔 4 100 m 样地共调查到植物 11 种,分属 10 科 11 属,其中灌木层 6 种,优势种为直立悬钩子,草本层 4 种,优势种为鹅肠菜(*Malachium aquaticum*);海拔 4 200 m 样地调查到植物 5 种,分属 4 科 4 属,其中灌木层 3 种,优势种为西南花楸(*Sorbus rehderiana*),草本层仅 1 种,为宽叶苔草;海拔 4 300 m 样地调查到植物 2 种分属 2 科 2 属,其中灌木层仅 1 种,为薄毛海绵杜鹃(*Rhododendron aganniphum* var. *vellerum*),没有草本植物;海拔 4 400 m 样地调查到植物 6 种分属 4 科 5 属,其中灌木层 4 种,优势种为薄毛海绵杜鹃,草本层仅有岩白菜(*Bergenia purpurascens*) 1 种。从林线区域的物种组成来看,林下各层植物的科、属、种的组成数量随海拔升高逐渐减少,物种丰富度降低,群落结构趋于简单,仅在海拔 4 400 m 林线与灌丛的交错地带略有增加,相比海拔 4 000 m,其增幅有限(图 1)。

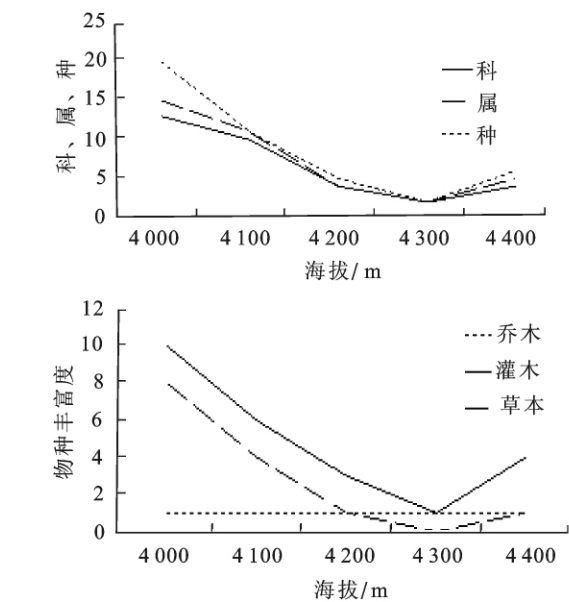


图 1 沿海拔梯度的物种组成与丰富度变化

Fig. 1 Plant composition and richness in the regions with different altitudes

2.2 α 多样性沿海拔梯度的变化

林线附近的灌木层和草本层植物的 α 多样性与海拔总体呈负相关(图 2)。从草本层和灌木层的 Simpson 指数(D)峰值出现的海拔来看,4 100~4 200 m 之间是其优势度的分界线,该海拔往上草本层和灌木层的指数降低;随海拔梯度的升高,草本层和灌木层的 Shannon-Wiener 指数(H')减小,各层次复杂程度降低,群落的物种组成趋于简单;从不同层次的均匀度指数(E_a)来看,灌木随海拔梯度的变化高于草本植物且变幅较大,表明各海拔梯度群落中的灌木植物占优势的现象较多。

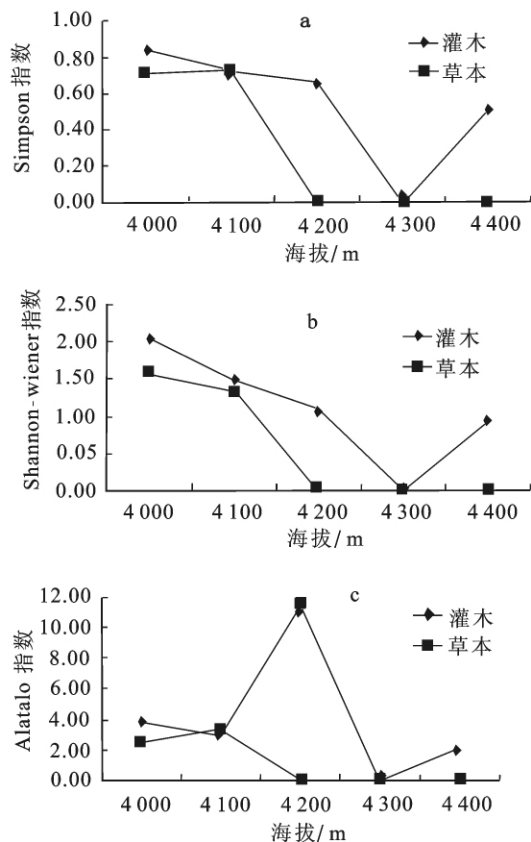


图 2 沿海拔梯度 Simpson 指数(a)、Shannon-Wiener 指数(b)和 Alatalo 指数(c)的变化

Fig. 2 Simpson index(a), Shannon-Wiener index (b), and Alatalo index in the regions with different altitudes

2.3 β 多样性沿海拔梯度的变化

由图 3(a)可见,海拔 4 000 和 4 100 m 物种组成的相似性系数为 0.36,这 2 个相邻海拔的共有种有 8 种,分别为急尖长苞冷杉、杯萼忍冬(*Lonicera inconspicua*)、硬毛杜鹃(*Rhododendron hirtipes*)、冰川茶藨子(*Ribes glaciale*)、锈毛西南花楸(*Sorbus rehderiana* var. *cupreonitens*)、直立悬钩子、小叶蓼(*Polygonum delicatulum*)、鹅肠菜,其中共有优势种有急尖长苞冷杉、杯萼忍冬、硬毛杜鹃、锈毛西南花楸,海拔 4 100 m 处分布的植物相比于海拔 4 000 m,增加的物种有:五裂蟹甲草(*Parasenecio quin-*

quelobus)、铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris*)、长尾槭(*Acer caudatum*),失去的物种有:宽叶苔草、光茎四川堇菜(*Viola szetchwanensis* var. *nudicaulis*)、疏叶香根芹(*Osmorhiza aristata* var. *laxa*)、翅柄蓼(*Polygonum sinomontanum*)、卷叶黄精(*Polygonatum cirrhifolium*)、管花鹿药(*Smilacina henryi*)、西南花楸、长芽绣线菊(*Spiraea longigemma*)、峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis*)、陇塞忍冬(*Lonicera tangutica*)、柳叶忍冬(*Lonicera lanceolata*)以及层外植物西南铁线莲;海拔 4 100 m 和 4 200 m 物种组成的相似性系数为 0.07,这 2 个相邻海拔的共有种仅急尖长苞冷杉 1 种,海拔 4 200 m 处分布的植物相比于海拔 4 100 m,增加的物种有:宽叶苔草、薄毛海绵杜鹃、林芝杜鹃(*Rhododendron nyingchiense*)、西南花楸,失去的物种有:小叶蓼、鹅肠菜、五裂蟹甲草、铁线蕨、长尾槭、杯萼忍冬、硬毛杜鹃、冰川茶藨子、锈毛西南花楸以及直立悬钩子;海拔 4 200 m 和 4 300 m 物种组成的相似性系数为 0.40,这 2 个相邻海拔的共有种有 2 种,分别为急尖长苞冷杉和薄毛海绵杜鹃,海拔 4 300 m 处分布的植物相比于海拔 4 200 m,没有物种增加,失去的物种有宽叶苔草、林芝杜鹃、西南花楸;海拔 4 300 m 和 4 400 m 物种组成的相似性系数为 0.33,这 2 个相邻海拔的共有种与海拔 4 200 m 和 4 300 m 的共有种一样,海拔 4 400 m 处分布的植物相比于海拔 4 300 m,增加的物种有:岩白菜、林芝杜鹃、西南花楸、直立悬钩子,没有物种失去。由以上分析可见,海拔 4 100~4 200 m 群落间共有种仅急尖长苞冷杉 1 种,但海拔 4 200 m 处分布的植物相比海拔 4 100 m 增加了 4 种,失去 10 种,群落间相异性最大,该海拔地带是一个明显的生境转折带,也是林线植物种筛选强烈的区域。

由图 3(b)可见,在生境转折带的 4 100~4 200 m 之间 Jaccard 指数(C_j)最低。Cody 指数(β_c)与海拔呈负相关,即物种替代率随海拔梯度的升高而降低,海拔 4 200~4 300 m 与 4 300~4 400 m 指数较低,是因为这 2 个海拔区域在林线群落内,群落生境条件差异很小。据 Rapoport 法则(Rapoport, 1982; Stevens, 1992)用于解释 β 多样性在低海拔地区较高的原因,寒冷气候区的植物能适应变化较大的环境,因此其分布区的面积较大。由于高海拔地区的气候相对寒冷,同时变化比低海拔地区剧烈,因此与低海拔区相比,高海拔区的植物分布范围较广,从而相邻的高海拔间的物种更替速率比低海拔间小,也即总体上高海拔地区的物种替代率小于低海拔地区。

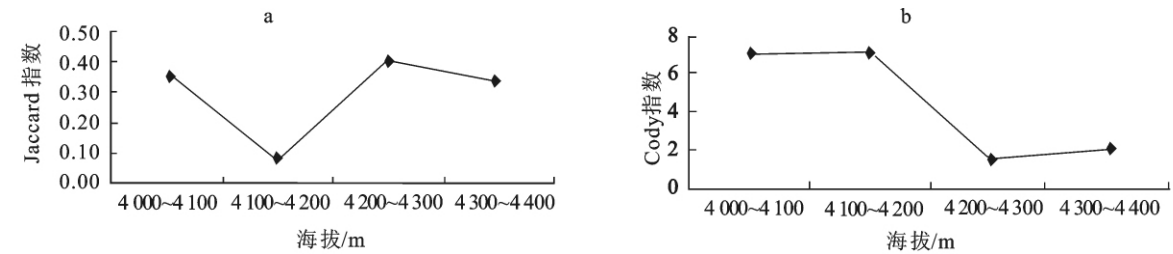


图 3 沿海拔梯度相邻群落间的 Jaccard 指数(a)和 Cody 指数(b)的变化

Fig. 3 Jaccard index and Cody index between the neighboring communities in the regions with different altitudes

2.4 林线附近冷杉种群结构特征

种群结构分析能较好地反映出种群的现状和发展趋势。从分析结果来看(图 4),各海拔的急尖长苞冷杉种群均以 I 径级所占比率最大,分别为 80.7%、58.4%、70.1%、65%和 86%,幼苗所占比率较高,表明种群的更新状况良好;但在向第 II 径级过渡时,各海拔的种群数量均急剧减少,径级比率分别下降 74%、50.7%、50.3%、48.7%和 80.4%,出

现缢缩现象,尤其在急尖长苞冷杉林分布的上限海拔 4 400 m 处,缢缩现象尤其明显;随径级增大(Ⅲ~Ⅶ),各海拔的种群数量亦逐渐下降。

对种群的径级分布和组成结构分析结果表明,林线附近的急尖长苞冷杉种群分布连续,虽然种群由幼苗向幼树过渡阶段出现缢缩现象,但种群结构仍呈相对稳定的金字塔型。

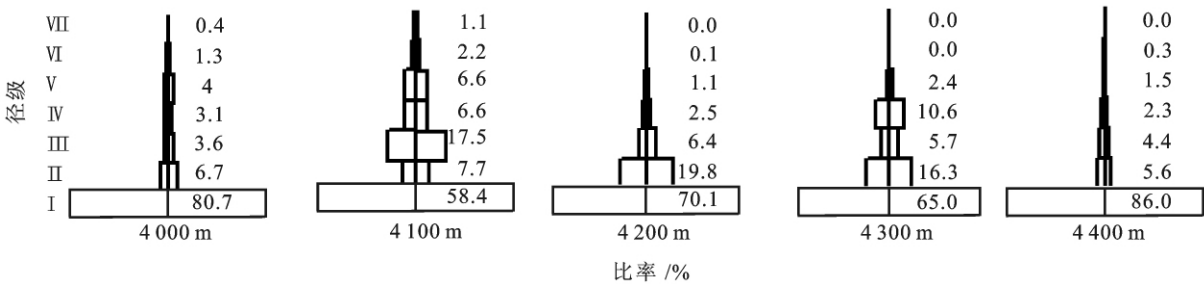


图 4 急尖长苞冷杉种群径级结构

Fig. 4 Diameter class structure of *A. georgei* var. *smithii* population

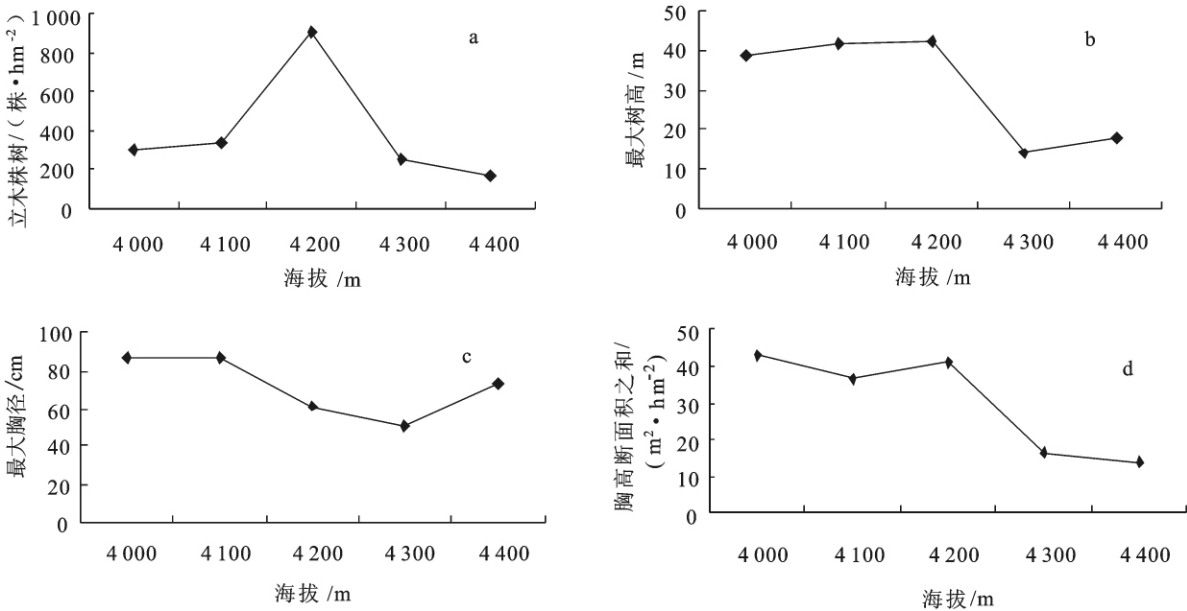


图 5 沿海拔梯度的冷杉立木株数、生长特征值

Fig. 5 The number and growth characteristics of *A. georgei* var. *smithii* population in the regions with different altitudes

由图 5 可知,林线附近急尖长苞冷杉的立木株数(N)随海拔梯度升高呈单峰曲线变化趋势,最大值在海拔 4 200 m 处,最小值出现在海拔 4 400 m 的

森林分布上限;最大树高($H_{\max}$)随海拔升高在 4 200 m 处达到最大值而后下降,在森林分布上限降至最低;最大胸径($DBH_{\max}$)随海拔梯度的升高呈先减后

增的变化,最低值出现在海拔 4 300 m 处;胸高断面面积之和(BA)在海拔 4 000~4 200 m 地带稳定在一个相对较高的值,而后随着海拔升高急剧下降。总体表明,海拔 4 200 m 地带是林线乔木树种分布与生长状况相对较优的地带,而在其分布上限由于林线极端环境条件的限制,其生长状况明显下降。

3 结论与讨论

在藏东南色季拉山东坡急尖长苞冷杉林林线附近海拔 4 000~4 400 m 地带,共调查到种子植物 26 种,分属 16 科 20 属,占色季拉山区已知种子植物总科数的 15.53%,总属数的 4.07%,总种数的 1.87%。植物的科、属、种数随海拔高度增加逐渐减少,灌木层和草本层植物的丰富度随之降低,反应出林线区域高寒生境下群落组成与结构趋于简单的特点,究其原因主要是高海拔区域的低温环境、冷杉林下冷湿的生境条件以及藓类、地衣的过度发育(苔藓和地衣的总盖度:4 300 m>4 200 m>4 100 m>4 000 m>4 400 m)抑制了草本层和灌木层植物的发育。这与以往在该区域的研究结论一致^[11]。垂直梯度上物种丰富度指数总体上是灌木层大于草本层,草本层大于乔木层和层间植物。

α 多样性用于描述区域群落的物种多样性,对于物种总数(各种生活型物种的总和)来说,物种多样性具有多种梯度分布格局,其中多样性与海拔呈负相关关系,即物种多样性随海拔梯度的升高而不断减少,是最普遍的一种格局^[8]。

林线附近的灌木层和草本层植物的 α 多样性与海拔总体呈负相关,这与孟兆鑫^[12](2007)对川西亚高山森林群落物种多样性与群落结构研究、杨小林^[13](2007)对西藏色季拉山林线森林群落结构与植物多样性研究以及朱登强^[1]等(2008)对西藏色季拉山西坡急尖长苞冷杉林物种多样性及群落结构的垂直分布格局研究有相似的结果。

β 多样性指沿环境梯度不同生境之间群落物种组成的相异性或物种沿环境梯度的更替速率^[1,8]。影响 β 多样性的主要因子有土壤、地质以及干扰等^[14]。作为局域多样性和区域多样性之间的过渡, β 多样性的分布格局影响到区域生物多样性的梯度分布^[15-16]。

在生境转折带的 4 100~4 200 m 之间 Jaccard 指数(C_j)最低。Cody 指数(β_c)与海拔呈负相关,这与其他一些研究有相似的结果^[4]。不同海拔梯度之间共有种越少, β 多样性就越高。林线附近物种的相似性系数,从另一角度反映了群落间的相互关系及沿环境梯度的物种替代率。

对种群的径级分布和组成结构分析结果表明,林线附近的急尖长苞冷杉种群分布连续,种群结构呈相对稳定的金字塔型,这与郑维列^[10]等(2007)对巨柏种群的生态地理分布与群落学特征中朗县种群径级结构的研究结果相似。急尖长苞冷杉主要依靠种子繁殖后代,大量种子的产出为幼苗的产生提供了基础^[17],但是由于林下光照不足,其天然更新主要依靠林隙环境,加上种间竞争等一系列因素的综合影响,致使幼苗在向幼树的转化过程中大量死亡,而随着幼树的生长对环境的适应及自身的抗性增强,死亡率逐渐下降,种群趋于稳定。

林线附近急尖长苞冷杉的立木株数(N)随海拔梯度升高呈单峰曲线变化趋势;最大树高($H_{\max}$)随海拔升高在 4 200 m 处达到最大值,在森林分布上限降至最低;最大胸径($DBH_{\max}$)随海拔梯度的升高呈先减后增的变化;胸高断面面积之和(BA)在海拔 4 000~4 200 m 地带稳定在一个相对较高的值。说明林线海拔 4 200 m 附近是急尖长苞冷杉分布与生长状况相对较优的地带,而在其分布上限由于林线极端环境条件的限制,其生长状况明显下降。

参考文献:

- [1] 朱登强,王军辉,张守攻,等. 西藏色季拉山西坡急尖长苞冷杉林物种多样性及群落结构的垂直分布格局[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):1-6.
ZHU D Q, WANG J H, ZHANG S G, et al. Changes in species diversity and community structure of *Abies georgei* var. *smithii* forest along altitudinal gradients on the western slope of Sejila Mountain in Tibet[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(5): 1-6. (in Chinese)
- [2] 武晶,张华,祝业平,等. 辽宁老秃顶子北坡乔木层物种多样性垂直分布格局[J]. 山西师范大学学报:自然科学版,2009,23(1):82-87.
WU J, ZHANG H, ZHU Y P, et al. Elevational patterns of plant species diversity in tree layer on the northern slope of Mt. Laotudingzi, Liaoning Province[J]. Journal of Shanxi Normal University: Natural Science Edition, 2009, 23(1): 82-87. (in Chinese)
- [3] LOMOLINO M V. Elevation gradients of species-density: historical and perspective views [J]. Global Ecology & Biogeography, 200, 10: 3-13.
- [4] 刘金虎,王得祥,王宇超,等. 秦岭西水河天然针叶林物种多样性的垂直格局[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):6-11.
LIU J H, WANG D X, WANG Y C, et al. Changes in plant species diversity of natural coniferous forests along the altitudinal gradient in the Youshui River, Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(3): 6-11. (in Chinese)
- [5] 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.
MIAO L Y, WANG X A, WANG Z G. Studies on species di-

versity of *Larix chinensis* community ecotone[J]. Guihaia, 2005, 25(2): 112-116. (in Chinese)

[6] 苏建荣, 刘万德, 张炜银, 等. 西藏色季拉山西坡种子植物多样性垂直分布[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 12-19.

SU J R, LIU W D, ZHANG W Y, *et al.* Species diversity of plant communities along an altitudinal gradient on the west slope of Sejila Mountains, Tibet[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(3): 12-19. (in Chinese)

[7] 钱迎倩, 马克平, 陈灵芝, 等. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-162.

[8] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 20-28.

TANG Z Y, FANG J Y. A review on the elevational patterns of plant species diversity[J]. Biodiversity Science, 2004, 12(1): 20-28. (in Chinese)

[9] 刘建泉, 王多尧, 杨全生, 等. 龙首山蒙古扁桃种群结构和生活史特征[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 46-51.

LIU J Q, WANG D Y, YANG Q S, *et al.* Life history and population structure of *Amygdalus mongolica* in Longshoushan Mountain[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 46-51. (in Chinese)

[10] 郑维列, 薛会英, 罗大庆, 等. 巨柏种群的生态地理分布与群落学特征[J]. 林业科学, 2007, 43(12): 8-15.

ZHENG W L, XUE H Y, LUO D Q, *et al.* Eco-geographic distribution and coenology characteristics of *Cupressus gigantea*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(12): 8-15. (in Chinese)

[11] 罗大庆, 边巴多吉. 藏东南色季拉山藓类冷杉林群落特征研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(专刊): 7-12.

LUO D Q, BIAN B D J. A preliminary study on characteristic of moss fir forest communities on Sejila Mountain[J]. Forest Research, 2003, 16(Sup.): 7-12. (in Chinese)

[12] 孟兆鑫. 川西亚高山森林群落物种多样性与群落结构研究[J]. 四川农业大学学报, 2007, 25(4): 441-446.

MENG Z X. A study on community structure and species diversity of subalpine forests in western Sichuan[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2007, 25(4): 441-446. (in Chinese)

[13] 杨小林. 西藏色季拉山林线森林群落结构与植物多样性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 42-46.

YANG X L. Studies on forest community structure and plant diversity at the timerline of Mt. Sejila in Tibet [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007: 42-46. (in Chinese)

[14] WHITTAKER R J, WILLIS K J, FIELD R. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity[J]. Journal of Biogeography, 2001, 28: 453-470.

[15] LOREAU M. Are communities saturated-on the relationship between α , β and γ diversity[J]. Ecology Letters, 2000, 3: 73-76.

[16] CONDIT R, PITMAN N, LEIGH Jr E G, *et al.* Beta-diversity in tropical forest trees [J]. Science, 2002, 295: 666-669.

[17] 罗大庆, 王军辉, 任毅华, 等. 西藏色季拉山东坡急尖长苞冷杉林的结实特性[J]. 林业科学, 2010, 46(7): 30-35.

LUO D Q, WANG J H, REN Y H, *et al.* Fruiting characteristics of *Abies georgei* var. *smithii* forest on the eastern slope of the Sejila Mountain in Tibet [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(7): 30-35. (in Chinese)

本刊 2013 年 3 期要目预告

1. 邱权, 李吉跃, 何茜, 等. 干旱胁迫下青藏高原 4 种灌木生物量和根系变化特征及抗旱性研究	1
2. 吴志祥, 杜莲英, 谢贵水, 等. 海南岛橡胶林光合有效辐射的时空分布	2
3. 魏宁, 樊军锋, 杨培华, 等. 油松苯丙氨酸解氨酶基因的克隆与序列分析	3
4. 刘毓璟, 赵忠, 陈盖, 等. IBA 对文冠果嫩枝生根过程中两种氧化酶活性的影响	4
5. 吉鹏飞, 耿增超. 西安浐灞生态区绿地土壤养分及酶活性特征	5
6. 陈松河, 黄全能, 马丽娟, 等. NaCl 胁迫对竹类植物形态和生长活力的影响	6
7. 张丽, 黄学琴, 陈虞超, 等. 宁夏引进美国黑核桃生物学特性研究	7
8. 陈祖静, 费昭雪, 曹支敏, 等. 杨树与叶锈菌互作中的细胞程序性死亡	8
9. 刘小林, 张宋智, 李惠萍, 等. 小陇山森林生态系统服务功能价值评估	9
10. 张俊霞, 段文军, 赵立禄, 等. 漓江流域森林生态旅游承载力三重矢量评价模型的构建	10
11. 李少宁, 陈波, 鲁绍伟, 等. 月尺度下杨树树干液流对环境因子的响应	11
12. 贾翀, 张洋, 吴逸雨, 等. 多层杨木豆胶胶合板工艺及性能研究	12
13. 侯磊, 张硕新, 陈云明. 林分密度对人工油松林下植物的影响	13
14. 毛斌, 徐程扬, 李翠翠, 等. 不同修枝强度对侧柏、油松人工林林内景观美景度的影响	14
15. 孙文艳, 廖超英, 李晓明, 等. 毛乌素沙地东南部人工林土壤生物学特性	15