

# 祁连山北坡青海云杉林生境特征分析

赵传燕<sup>1</sup>, 别 强<sup>2</sup>, 彭焕华<sup>2</sup>

(1. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000;  
2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:** 青海云杉林分布格局深受环境影响, 量化其分布与环境之间的关系对该种群管理、恢复与重建具有重要的意义, 但目前仍然缺乏量化研究成果。本研究选择祁连山北坡青海云杉林为研究对象, 以数字高程模型 (digital elevation model, DEM) 和青海云杉林分布图为基础数据, 利用地理信息系统 (GIS) 空间分析方法, 着重量化分析祁连山青海云杉林的生态幅度和地形特征, 得出祁连山北坡青海云杉林的气候边界函数, 并界定青海云杉林分布的海拔、坡度以及坡向范围。该项研究目的在于数量化表达青海云杉林空间分布的气候和地形幅度, 为退耕退牧还林提供科学支撑, 为气候变化条件下青海云杉林的响应研究奠定基础。

**关键词:** 青海云杉林; 生境; 气候生态幅度; 地形特征; 祁连山

## 1 引言

祁连山是由众多西北—东南走向山脉组成的高大山系, 山系南北两坡具有明显的不对称性, 南坡地势变化相对和缓; 北坡陡峭, 海拔落差大(2000~5500 m)。由于海拔高度的差异, 气候要素具有明显的垂直分异规律, 相应地被垂直带谱也极其分明, 由低向高依次为山地干草原带、森林草原带、高山灌丛草甸带、高山草甸植被带、高山垫状植被带, 4500 m以上终年积雪, 5000 m以上发育有现代冰川<sup>[1, 2]</sup>。

森林处于积雪冰川和河川水系之间, 一方面通过控制能量平衡和水分循环捍卫着永久积雪和冰川的安全, 另一方面对山区降水和冰雪融水进行拦截与调节, 起着涵养水源、净化水质、保持水土资源和维持生物多样性的作用。随着人口的急剧膨胀和经济的快速发展, 祁连山森林生态系统遭到了严重的破坏, 由此所引起的生态环境问题受到我国政府的高度重视。早在1980年国家批准祁连山森林为水源涵养林, 对这片森林实行了全面封禁, 1988年, 经国务院批准祁连山被划为国家级自然保护区, 并成立了祁连山国家级自然保护区管理局。长期以来, 国家在该地区投入了大量人力、物力用于森林植被重建和管理工作, 截止本世纪初, 中部森林面积比20世纪80年代有所增加, 但是东部和西部林地面积从20世纪60年代到本世纪初持续减少<sup>[3]</sup>。为此, 实施退耕还林、退牧还林工程成为该区森林植被恢复和重建的重要措施。祁连山森林主要是由山地针叶林、高山灌木林和中低山阳性灌木林组成, 青海云杉 (*Picea crassifolia*) 是祁连山森林的优势种, 分布面积占森林面积的20.49%, 占乔木林地面积的55.79%<sup>[4]</sup>, 其生态水文服务功能举足轻重。如何界定祁连山青海云杉林分布区? 全球气候变化对该种群分布如何影响? 这些重要科学问题的研究聚焦于该种群与其生境的关系上。青海云杉林林学特征、水源涵养机理和生态效益的研究已有较多报道, 而该群落的生态学特性研究甚少<sup>[5]</sup>。纵观本区森林生态研究工作可分为两个阶段: 20世纪50年代至20世纪末, 这一阶段的研究多为描述性的<sup>[6-9]</sup>, 主要依据样地进

收稿日期: 2009-04-19; 修订日期: 2009-09-16

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (30770387; 40671067); 国家环境保护公益性资助项目 (200809098) [Foundation: Nation Natural Science Foundation of China, No.30770387; No.40671067; National Environmental Protection Commonweal Project of China (NEPCP), No.200809098]

**作者简介:** 赵传燕 (1963-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事生态水文学与环境模拟研究。E-mail: nanzhr@lzb.ac.cn

行,普遍存在着样本数量少、空间分布不均匀等缺陷;本世纪初,王国宏等利用梯度分析方法,对森林植物群落类型及其在环境梯度上的分布格局进行探讨,并对影响植被格局的环境、空间因子进行定量分析<sup>[10]</sup>;杨国靖和肖笃宁基于GIS技术,利用景观生态学原理分析祁连山区森林景观在空间的分布特征<sup>[11]</sup>;Zhao等利用物种—生境模型反演区域青海云杉林潜在分布<sup>[12]</sup>。这一阶段的研究由定性走向了定量,突出特征反映在环境变量(如气温、降水等)与植被类型间建立起某种数学关系,通过地理信息系统技术将关系模型延伸到大尺度范围内,更客观反映祁连山地区森林植被与环境的关系,但仍有部分问题还需进一步深入分析和探讨,如在祁连山区,除气候因素外<sup>[12]</sup>,能否界定森林植被分布的地形特征,将影响植被分布的主要环境因素都予以定量考虑。为此,本研究以祁连山北坡青海云杉林为研究对象,将物种分布信息与GIS技术相结合,用综合的环境变量方法界定青海云杉林的生态幅度和空间分布的地形特征,以期提高青海云杉林与环境之间关系的表达精度,为该种群管理、恢复和重建提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 研究区概述

研究区选择祁连山北坡,东起甘肃连城,西至玉门石油河,南与青海省的互助土族自治县、门源回族自治县、祁连县为邻,北部紧依河西走廊。地理位置为97°25'~103°46'E, 36°43'~39°36'N(图1),总面积 $265.3\times 10^4\text{ km}^2$ 。祁连山北坡属青藏高原的东北边缘,陡峭、海拔落差大,山间盆地和纵谷广泛发育。整个地势由东向西逐渐抬升,海拔一般为2100~4500 m,最高的素珠链主峰为5564 m。北坡俯瞰河西荒漠,气候条件既具高原气候特征,又受荒漠气候的深刻影响,呈现高寒半干旱气候特征。在祁连山东段年平均温度一般为-3.0℃以上,西段多在-3.0℃以下<sup>[1]</sup>;降水量表现出从东向西递减的变化趋势,如门源降水量504.0 mm,西部的托勒仅为283.4 mm。而年蒸发量则表现为相反的趋势。此外,

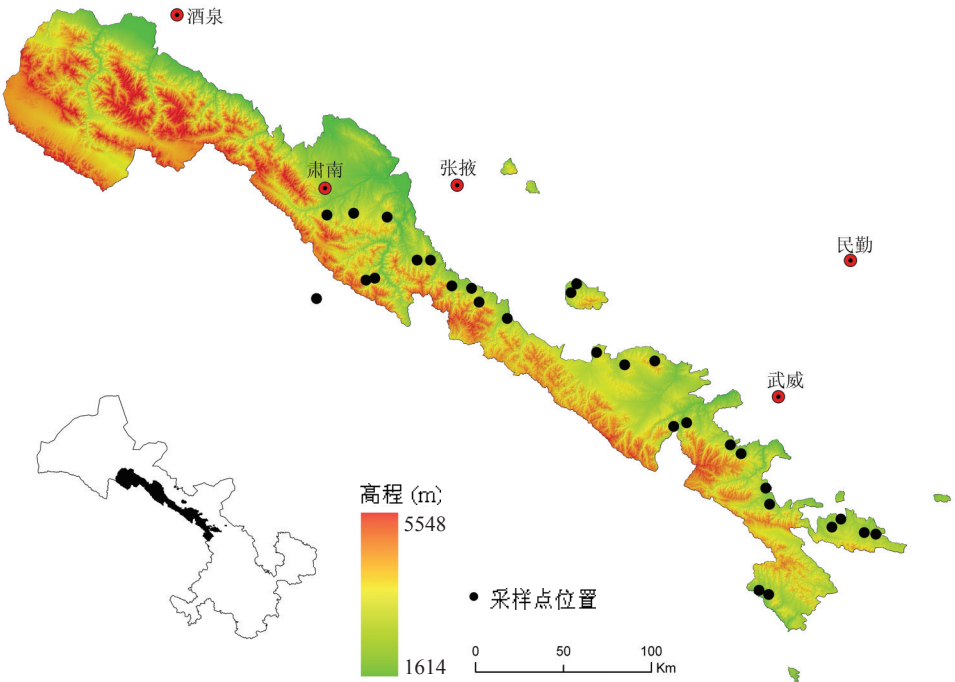


图1 研究区的相对位置、DEM及采样点分布图

气候也表现出明显的垂直变化特征, 祁连山北坡自下而上可划分4个垂直气候带: 即浅山干草原气候带 (2100~2500 m)、中山森林草原气候带 (2500~3400 m)、亚高山灌丛草甸气候带 (3400~3900 m)、高山冰雪植被气候带 (3900 m)<sup>[13]</sup>。主要土壤类型自上而下有高山寒漠土、高山草甸土、亚高山草甸土、高山草原土、灰褐土、黑钙土、栗钙土、灰钙土<sup>[1]</sup>。

## 2.2 数据收集与处理

**2.2.1 数据收集** 研究区数字高程模型 (digital elevation model, DEM) 来源于国家自然科学基金委“中国西部环境与生态科学数据中心” (<http://westdc.westgis.ac.cn>), 祁连山北坡林相图 (2000年) 从甘肃祁连山国家级自然保护区获取, 祁连山区土地利用类型图来源于甘肃省和青海省国土资源厅, 气候变量 (数据来源于中国气象资料共享网 (<http://cde.cma.gov.cn>) 获取时间为1961年1月-2000年12月, 数据内容有月降水量 (P-Annual)、月平均温度 (T-Mon)、7月平均气温 (T-July)、月平均最低气温 (T-Min)、蒸发 (TransP)、月日照时数 (SunHrs)、相对湿度 (RH)、各站点的经度、纬度和海拔高度, 共包括30个站点。2008年8月在研究区22个自然保护区进行样点设置 (图1), 鉴于交通问题, 有的保护区设置1个样点, 有的保护区设置2个样点, 为了使样点具有代表性, 选择的原则为成熟林区, 不受人为干扰或干扰较小。记录样点所在位置的海拔高度、坡向、坡度、经纬度。采样点共计29个, 分布在海拔2600~3300 m范围内, 2900 m左右占优势。坡向多集中在NNE和NNW, 坡度变化范围在8°~28°之间。每个样点设置4~6个样圆, 每个样圆先选择一个中心点, 用激光测距仪测出10 m为半径的样圆, 每株树基部插上写有序号的小旗, 统计株数, 每木检尺获得胸径, 用激光测高仪测量树高, 并在样圆的中心点测量每株树的方向和离中心点的距离。在样圆的中心点和4个方向上用日本Nikon公司生产的鱼眼数码相机 (D800) 获取植被冠层的半球图像以进行青海云杉林的盖度估算, 同时用LAI-2000冠层分析仪测定叶面积指数, 选择2株胸径接近平均木的立木进行树芯采集, 确定样方树木平均年龄。

**2.2.2 数据处理** 在ARC/INFO GRID模块中对数字高程模型 (DEM) 进行运算, 得到坡度、坡向、经度、纬度栅格数据。利用R2V对林相图进行数字化, 采用与地形图相一致的高斯-克吕格投影坐标系, 数字化后提取整个研究区青海云杉林的分布。对于30个站点的气候要素进行多年平均, 获得多年 (1961-2000) 逐月平均气候要素数据。利用土地利用类型图和30个气象站点位置数据提取相应点的植被类型, 生成CSV表格文件 (包括植被类型、经纬度), 将29个样点数据生成ARC格式点文件 (包括点序号和地理位置), 并赋予各样点地形特征属性。

## 2.3 研究方法

**2.3.1 主要气候变量的选择** 将30个站点的各气候要素包括多年平均降水量 (P-Annual)、月平均温度 (T-Mon)、7月平均气温 (T-July)、月平均最低气温 (T-Min)、蒸发 (TransP)、月日照时数 (SunHrs)、相对湿度 (RH) 和CSV文件输入到最大熵模型<sup>[14]</sup>中, 确定气候要素对青海云杉林分布的贡献率, 选择主要气候变量。模型运行结果显示多年平均降水量和7月平均气温对青海云杉的分布有较大的贡献, 因此选择这两个因素进行空间化。

### 2.3.2 气候变量的空间化

(1) 分布式的气温模式 研究区地跨6个半经度, 近3个纬度, 高差近4000 m, 因此温度在水平和垂直方向有较大的差异。在站点尺度上建立7月平均气温与地理位置和海拔的定量关系<sup>[15]</sup>:

$$T = a + bH + cY + dX \quad (1)$$

式中:  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 和 $d$ 为回归系数,  $H$ 为海拔 (m),  $Y$ 为纬度,  $X$ 为经度。

温度除受地理位置和海拔的影响外, 也受坡向和坡度的影响。假定 $\varepsilon$ 为地形调整误



差, 则公式 (1) 变为:

$$T = a + bH + cY + dX + \varepsilon \tag{2}$$

其中,  $\varepsilon$  确定为<sup>[15]</sup>:  $\varepsilon = k\cos A\sin B$  (3)

式中:  $A$  为坡向,  $B$  为坡度,  $k$  为比例系数 (由文献<sup>[15]</sup>方法确定)。在 ARCINFO GRID 模块中根据公式 (2) 和 (3) 结合数字高程模型 (DEM)、坡度、坡向、经度、纬度栅格数据进行运算, 获得研究区 7 月平均气温的空间分布。

(2) 分布式的降水模式 本研究利用研究区及周边 30 个站点 1961-2000 年 40 年的平均降水数据, 选择了反距离加权方法、Kriging 方法、样条函数方法、趋势面方法和常规统计方法对研究区降水的空间分布进行模拟。通过平均误差 (mean error), 平均绝对误差 (the mean absolute error) 和相对均方差 (root mean square error) 检验, 选择线性回归方程如下:

$$P = a + bH + cY + dX \tag{4}$$

式中: 符号同公式 (1)。在 ARCINFO GRID 模块中根据公式 (4) 结合数字高程模型 (DEM)、经度和纬度栅格数据进行运算, 获得研究区多年平均降水的空间分布。

**2.3.3 青海云杉林气候和地形特征的提取** 利用多年平均降水量和 7 月份均温空间分布数据与青海云杉林分布数据叠加, 提取青海云杉林分布区的 7 月份均温和多年平均降水量, 绘制两者的散点图。将散点按其温度值大小划分  $i$  组, 每组散点数相同, 求取每组的平均温度 ( $T_i$ ), 在每组中选取降水量较大的  $j$  个散点, 占该组总散点的  $p\%$  (根据青海云杉林的分布, 本研究设定  $p$  为 5%), 并求  $j$  个散点降水量的平均值, 记为  $P_{ij}$ , 最后用适当类型的函数来拟合这  $i$  个数据对 ( $T_i, P_{ij}$ ) 的分布趋势<sup>[16, 17]</sup>, 此函数为上边界函数。在以上  $i$  组中选取降水量较小的  $k$  个散点, 占该组总散点的 5%, 并求  $k$  个散点降水量的平均值, 记为  $P_{ik}$ , 用适当类型的函数来拟合这  $i$  个数据对 ( $T_i, P_{ik}$ ) 的分布趋势, 此函数为下边界函数。按降水量分组, 同样获取散点图的左右边界函数, 边界函数包围的散点空间即青海云杉种群分布的气候生态幅度。

将青海云杉林分布与海拔 (DEM) 数据叠加, 提取青海云杉林分布的海拔范围, 计算单位高度带范围的栅格数占分布区总栅格数的比率。同样将青海云杉林分布图与坡向栅格数据叠加, 计算单位坡向范围内青海云杉林分布栅格与分布区总栅格数的比率, 绘制不同坡向上的比率图, 分析青海云杉林分布的坡向特征。将青海云杉林分布图与坡度栅格数据叠加, 计算单位坡度范围内青海云杉分布的栅格数与总栅格数的比率, 绘制坡度与分布比率的曲线图, 分析青海云杉林分布区的坡度特征。

### 3 结果与讨论

物种的生境由多种因素组成。相关研究得出降水与温度决定青海云杉种群分布<sup>[18-20]</sup>, 本研究的结果也显示 7 月份均温和年均降水量是青海云杉分布的重要参变量 (图 2), 对青海云杉林的分布贡献率最大为 7 月份均温, 贡献率为 77%; 其次是年均降水量, 贡献率为 56%。地形通过对水热进行空间再分配, 也成为青海云杉林分布的限制因素<sup>[8]</sup>。张立杰等指出由于地形特征引起水热状况的差异是导致祁连山青海云杉种群格局具有不同分形特征的最根本原因<sup>[21]</sup>。因此, 本文仅对青海云杉林生境中的主要因素 (7 月均温、年降水量、地形) 进行分析。

#### 3.1 青海云杉林的气候生态幅度

青海云杉林分布区 7 月份均温和多年平均降水量的散点界定的边界函数为 (图 3):

上边界函数为:  $P_{\text{annual}} = -1.15T_{\text{July}}^3 + 33.47T_{\text{July}}^2 - 332.4T_{\text{July}} + 1847$  (5)

下边界函数为:  $P_{\text{annual}} = -0.66T_{\text{July}}^3 + 27.17T_{\text{July}}^2 - 376.0T_{\text{July}} + 2112$  (6)

右边界函数为:  $T = 0.0142T_{\text{annual}} - 7.004$  (7)

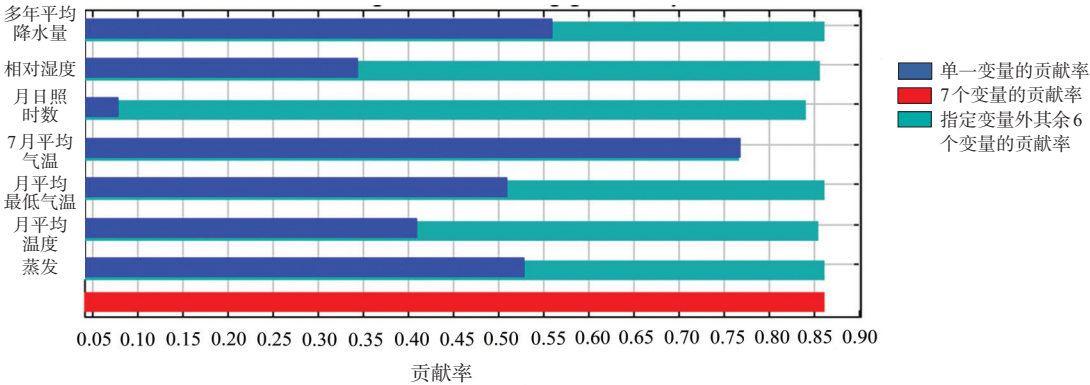


图2 各类气候要素对青海云杉林分布的贡献率

Fig. 2 Contributing rate of seven climate variables to the distribution of *Picea crassifolia* (Red color is total contributing rate of seven variables; green, the contributing rate of other six variables except for the named one; blue, the contributing rate of the named variable)

左边界函数为:  $T=8.5^{\circ}\text{C}$  (8)  
在边界函数包围的区域, 散点密集, 是青海云杉生长比较适宜的气候生态幅度, 大致范围为  $8.5^{\circ}\text{C} < T_{\text{July}} < 14^{\circ}\text{C}$  和  $300\text{ mm} < P_{\text{annual}} < 620\text{ mm}$ , 在该幅度青海云杉分布多大块连片。据报道, 青海云杉分布区最热月 (7月) 平均气温为  $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ , 年降水量在  $300\sim 500\text{ mm}$ <sup>[18]</sup>; 在祁连山中部林区7月为  $6.0\sim 14.0^{\circ}\text{C}$ , 年降水量  $330\sim 540\text{ mm}$ <sup>[13]</sup>。根据寺大隆林区 (海拔2700 m) 多年观测, 7月平均气温  $12.3^{\circ}\text{C}$ , 多年平均降水量为  $433.5$ <sup>[22]</sup>。祁连山中部西水林区, 多年观测的7月份平均气温  $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ , 年降雨量  $435.5\text{ mm}$ <sup>[23]</sup>, 刘勇计算了森林上限附近7月平均气温为  $9.2\pm 0.36^{\circ}\text{C}$ <sup>[24]</sup>。由此可见以上研究结果不尽一致, 主要由于研究区或局限于祁连山的东、中部, 或局限于海拔高、低地段, 缺乏整体气候生态幅度的研究。用整个青海云杉分布区域界定气候边界函数, 依此确定青海云杉林的气候生态幅度, 优点在于整体反映林区大尺度的气候分异现象, 弥补以点代面的不足。

3.2 青海云杉林分布的地形特征

3.2.1 青海云杉林垂直分布 将青海云杉林分布区与区域数字高程模型进行叠置分析 (图4) 得到青海云杉林海拔分布范围: 下线为2250 m, 上线是3750 m, 其中间的跨越为1500 m, 平均分布高度为2955.6 m, 99%的青海云杉分布在2314~3571 m, 90%的青海云杉分布在2576~3344 m之间。从东部看青海云杉分布的海拔高度范围为2100~3700 m, 平均高度为2941.7 m, 而中部, 青海云杉分布的海拔高度范围为2500~3500 m, 平均高度为2974.7 m, 东部青海云杉的平均高度比中部低33 m, 本调查的29个样点分布海拔为2600~3300 m。对于青海云杉分布的高度有许多研究者进行过调查, 陈桂琛等得出青海云杉分布的海拔高程为2500~3200 m<sup>[25]</sup>; 王国宏等报道青海云杉林在祁连山北坡分布在海拔2450~

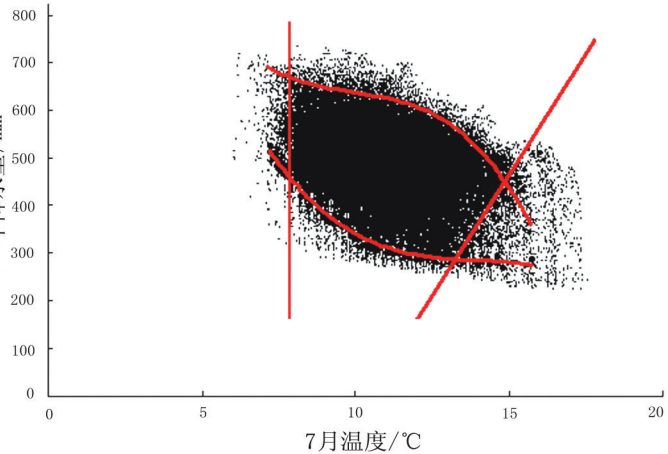


图3 青海云杉林7月平均气温与年平均降水量的变化幅度

Fig. 3 Space of mean July temperature and average annual precipitation in Qinghai spruce forest

3200 m 范围内<sup>[9]</sup>；杨国靖等在水自然保护站将DEM 图与青海云杉林分布图叠置分析，得出该种群在研究区分布在海拔 2500~3300 m<sup>[11]</sup>；张力杰和蒋志荣应用分形几何理论和方法，对祁连山青海云杉种群沿海拔梯度空间分布格局的分形特征进行了分析，结果表明，在 2700~3300 m 的海拔，青海云杉占据空间的能力很强<sup>[25]</sup>。从分布的高度空间看，学者们的结论不同，主要因为调查地区的不同，例如在祁连山东段青海云杉分布的下线比中段要低，中段青海云杉分布的下线比西段要低。对于青海云杉林的上限差异，与群落和物种的界定有别有关。有的是调查物种分布的上界，有的是调查群落分布的上限，因此上限的确定不一致。本研究青海云杉林分布的上界偏高，由于林相图是实地调查与遥感解译相结合的结果，影像解译过程中存在山地灌丛林与青海云杉混分现象，不过混分部分所占的面积极少。

**3.2.2 青海云杉林分布的坡向特征** 根据青海云杉分布区与坡向图叠置分析，从云杉在各个坡向级别上的分布比率 (图 5) 可以看出青海云杉分布的坡向十分集中，绝大部分分布在 NNE 与 NNW 之间。将二维平面按顺时针分割为 8 个区间 (表 1)，NNE 占 23.44%，NEE 占 10.34%。SEE 占 4.13%、SSE 占 2.34%，SSW 占 3.54%，SWW 占 8.44%，NWW 占 17.78%，NNW 占 30.04%，由此可以看出青海云杉在阴坡和半阴坡分布占绝对优势。调查的 29 个样点中有 16 个分布在 NNW，7 个分布在 NNE，6 个分布在 NWW。关于青海云杉分布的坡向，研究者取得共同的认识，即阴坡半阴坡，但都没有给予坡向量化。因为传统的调查方法想通过定点观测，穷尽所有青海云杉斑块的坡向分布特征几乎是不可能的，GIS 的空间叠置分析在此显示出其优势。

**3.2.3 青海云杉林分布的坡度特征** 根据青海云杉分布区与研究区坡度图叠置分析，云杉

**表 1 在 8 个坡向区间青海云杉林分布的概率统计**

Fig. 1 Statistics of frequency in 8 interzone ranges of the aspect in which *Picea crassifolia* is distributed

区间	NNE	NEE	SEE	SSE	SSW	SWW	NWW	NNW
坡向 (°)	0-45	46-90	90-135	136-180	181-225	226-270	271-315	316-360
频率 (%)	23.44	10.34	4.13	2.34	3.54	8.44	17.78	30.04

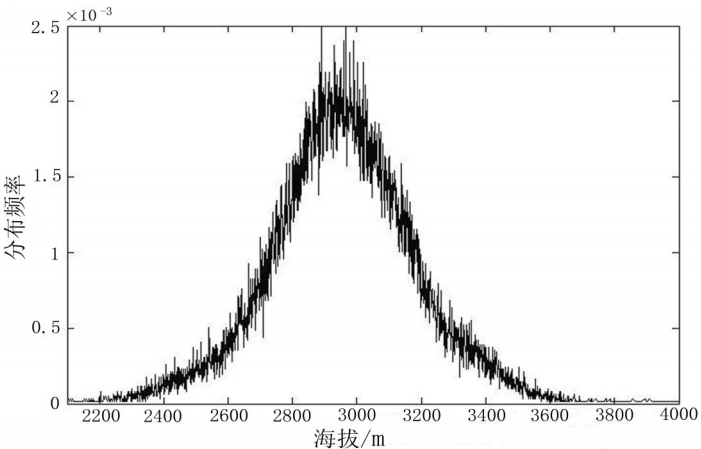


图 4 祁连山保护区森林分布的海拔频率与海拔的关系  
(分布频率为单位高度青海云杉林分布所拥有的栅格数与青海云杉林分布区总栅格数的比)

Fig. 4 Relationship between distribution frequency of *Picea crassifolia* and elevation in Qinghai spruce forest area.  
(Distribution frequency: ratio of *Picea crassifolia* present grids at different elevations to total grids of *Picea crassifolia* distribution area)

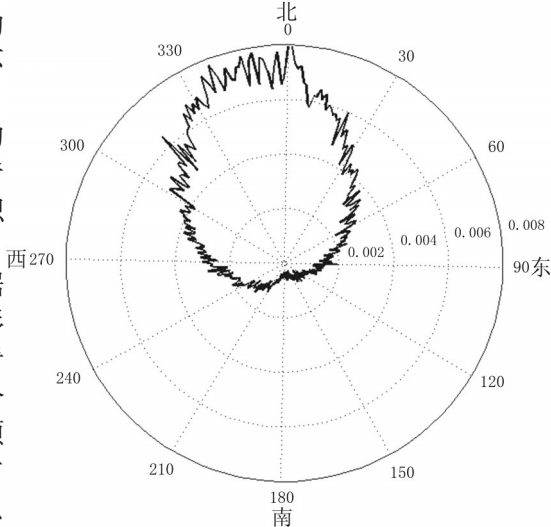


图 5 青海云杉坡向分布图

Fig. 5 Relationship between distribution frequency of *Picea crassifolia* and the aspect in Qinghai spruce forest area

杉在不同的坡度级别上的分布频率见图6。平均坡度为21.36°，出现频率较高值集中在12°~24°之间，分布频率最大值对应的坡度为15.72°。99%的青海云杉分布在2°~48°之间，90%的分布6°~39°之间。29个样点的坡度变化范围在8°~28°之间。由图6可以看出，祁连山青海云杉分布与坡度的关系为偏正态分布。本文选择高斯函数拟合(图6)，得出研究区青海云杉林分布频率与坡度的关系模型如下：

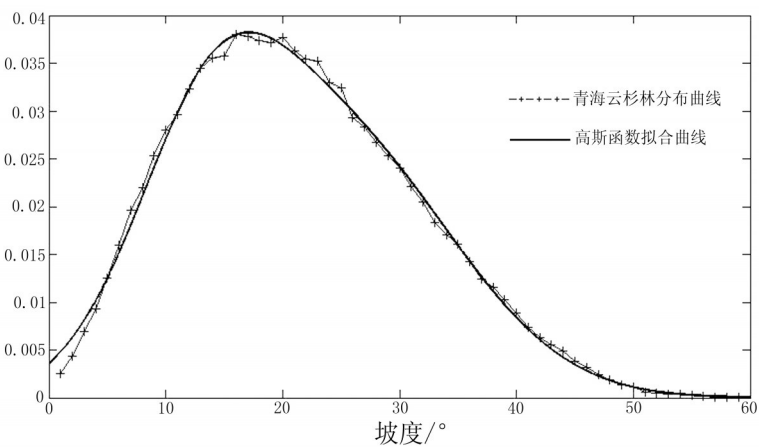


图6 青海云杉分布频率与坡度的关系  
Fig. 6 Relationship between distribution frequency of *Picea crassifolia* and the slope in Qinghai spruce forest area

$$y = 0.0208\exp[-(x - 13.57)/9.105]^2 + 0.0269\exp[-(x - 24.65)/14.19]^2 \tag{9}$$

式中： $y$ 为青海云杉分布频率， $x$ 代表坡度，相关系数( $R^2$ )为0.99。

目前关于青海云杉分布与坡度的关系研究仍局限在观测站点或样方尺度上。立足整个研究区来讨论青海云杉分布与坡度的关系，刘勇在这方面曾进行过探讨，得出青海云杉林分布区的最小坡度为0.1°，最大坡度为58.7°，平均坡度为22.5°<sup>[26]</sup>，这一结论与本文近似。

4 结论

(1) 通过最大熵模型确定了影响青海云杉林分布的两个重要变量，即七月份均温和多年降水量，利用青海云杉林分布现状界定青海云杉林的气候生态幅度，结果能够反映整个林区大尺度上气候的分异现象，弥补以点代面的不足。

(2) 青海云杉林海拔分布幅度的下线为2250 m，上线是3750 m，平均分布高度为2956 m，90%的青海云杉分布在2576~3344 m之间，与大多数调查结果一致。本研究利用整个青海云杉林分布区界定其分布的海拔高度，克服了传统局部区域的研究来概括青海云杉林分布高度范围的弊端。

(3) 青海云杉分布的坡向十分集中，绝大部分分布在逆时针方向NNW与NNE之间，即在阴坡和半阴坡分布占绝对优势。在NNE分布面积占总分布区的23.44%，NNW分布面积占总分布区的17.78%。

(4) 青海云杉林坡度分布空间：90%的青海云杉分布在6°~39°之间，出现频率较高值集中在12°~24°之间，分布频率最大值对应的坡度为15.72°，平均坡度为21.36°，其分布函数用高斯函数拟合最好。

根据青海云杉林分布的气候边界函数和地形特征，在大尺度上可以定量界定该种群的潜在空间分布，该方法具有简单、精度高的特点，但是不具有普适性。关于祁连山青海云杉潜在分布模拟模型比较研究，如种群—生境关系模型、最大熵模型、遗传算法模型等之间的比较是进一步要做的工作。



## 参考文献 (References)

- [1] Chen Guichen, Peng Min, Huang Rongfu et al. Vegetation characteristics and its distribution of Qilian mountain region. *Acta Botanica Sinica*, 1994, 36(1): 63-72. [陈桂琛, 彭敏, 黄荣福 等. 祁连山区植被特征及其分布. 植物学报, 1994, 36(1): 63-72.]
- [2] Liu Xiande, Zhang Xuelong. The natural forest: The life line of the Hexi. *Forest and Humankind*, 2004, (4): 16-19. [刘贤德, 张学龙. 祁连山天然林: 河西走廊生命线. 森林与人类, 2004, (4): 16-19.]
- [3] Guo Ni, Yang Lanfang, Li Minxuan. Study of changes of vegetation and snow area in Qilian Mountains using meteorology satellite data. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003, 14(6): 700-707. [郭妮, 杨兰芳, 李民轩. 利用气象卫星资料研究祁连山区植被和积雪变化. 应用气象学报, 2003, 14(6): 700-707.]
- [4] Zhang Mingjun, Zhou Lihua. The forest ecosystem service and their valuation on Qilian Mountains. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2003, 28(1): 7-9. [张明军, 周立华. 祁连山水源涵养林生态系统服务价值估算. 甘肃林业科技, 2003, 28(1): 7-9.]
- [5] Liu Jianquan, Ding Guomin, Hao Hu et al. Structure and dynamic of *Picea crassifolia* community in Qilian Mountains forest area. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(1): 14-17. [刘建泉, 丁国民, 郝虎 等. 青海云杉群落特征和动态的研究. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 14-17.]
- [6] Chen Qingcheng. Observations on the morphology and ecology of some alpine plant in the eastern section of the northern Qilian Mountains, Gansu, China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1966, 4(1): 39-64. [陈庆诚. 甘肃祁连山北坡东部高山植物形态和生态特征观测. 植物生态学与地植物学学报, 1966, 4(1): 39-64.]
- [7] Wang Guohong, Che Kejun, Wang Jinye. A study on the flora of the northern slope of Qilian Mountain. *Journal of Gansu Agricultural University*, 1995, 30(3): 249-255. [王国宏, 车克钧, 王金叶. 祁连山北坡植物区系研究. 甘肃农业大学学报, 1995, 30(3): 249-255.]
- [8] Huang Dashen. *Gansu Vegetation*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1997. [黄大燊. 甘肃植被. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997.]
- [9] Wang Guohong, Ren Jizhou, Zhang Zihe. A study on the population diversity of plant community in Hexi mountain-oasis-desert area: I. General features. *Acta Prataculturae Sinica*, 2001, 10(1): 1-12. [王国宏, 任继周, 张自和. 河西山地绿洲荒漠植物群落种群多样性研究: I. 生态地理及植物群落的基本特征. 草业学报, 2001, 10(1): 1-12.]
- [10] Wang guohong, Yang Limin. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 733-740. [王国宏, 杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释. 植物生态学报, 2001, 25(6): 733-740.]
- [11] Yang Guojing, Xiao Duning, Zhao Chengzhang. GIS-based analysis on the forest landscape patterns in the Qilian Mountain. *Arid Zone Research*, 2004, 21(1): 27-32. [杨国靖, 肖笃宁, 赵成章. 基于GIS的祁连山森林景观格局分析. 干旱区研究, 2004, 21(1): 27-32.]
- [12] Zhao Chuanyan, Nan Zhongren, Cheng Guodong et al. GIS-assisted modelling of the spatial distribution of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) in the Qilian Mountains, northwestern China based on biophysical parameters. *Ecological Modelling*, 2006, 191(3/4): 487-500.
- [13] Zhang Hu, Wen Yali, Ma Li et al. The climate features and regionalization of vertical climatic zones in the northern slope of Qilian Mountains. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 497-502. [张虎, 温娅丽, 马力 等. 祁连山北坡中部气候特征及垂直气候带的划分. 山地学报, 2001, 19(6): 497-502.]
- [14] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maxent entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [15] Zhao Chuanyan, Nan Zhongren, Cheng Guodong. Methods for modelling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in the southern Qilian Mountains, China. *Ecological Modelling*, 2005, 189(1/2): 209-220.
- [16] Boer M M, Puigdefàbregas J. Predicting potential vegetation index values as a reference for the assessment and monitoring of dryland condition. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 1135-1141.
- [17] Boer M M, Puigdefàbregas J. Assessment of dryland condition using remotely sensed anomalies of vegetation index values. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26 (20): 4045-4065.
- [18] Liu Xingcong. *Picea crassifolia*. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1992. [刘兴聪. 青海云杉. 兰州: 兰州大学出版社, 1992.]
- [19] Yu Yimin, Zhao Denghai, Mei Shuguang et al. Corrlation between the growth of *Picea crassifolia* and environment in Helanshan area. *Journal of Northwest Forestry University*, 1999, 14(1): 16-21. [俞益民, 赵登海, 梅曙光 等. 贺兰山地青海云杉生长与环境的关系. 西北林学院学报, 1999, 14(1): 16-21.]



- [20] Wang Jinye, Zhang Xuelong, Zhang Hu et al. Analysis of productivity and composition structure of water resources conservation forest in Qilian Mountains. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(suppl.): 4-7. [王金叶, 张学龙, 张虎 等. 祁连山水源涵养林组成结构及生长状况, 西北林学院学报, 2001, 16(增刊): 4-7.]
- [21] Zhang Lijie, Zhao Wenzhi, He Zhibin. Characteristics in *Picea crassifolia* forest fractal dimension and its influencing factors. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1383-1389. [张立杰, 赵文智, 何志斌. 青海云杉 (*Picea crassifolia*) 种群格局的分形特征及其影响因素. 生态学报, 2008, 28(4): 1383-1389.]
- [22] Chang Xuexiang, Zhao Aifen, Wang Jinye et al. Precipitation characteristic and interception of forest in Qilian Mountain. Plateau Meteorology, 2002, 21(3): 274-280. [常学向, 赵爱芬, 王金叶 等. 祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用. 高原气象, 2002, 21(3): 274-280.]
- [23] Che Zongxi, Liu Xiande, Jing Wenmao et al. Vertical distribution characteristics and hydrological function analysis of bryophytes in Qilian mountains forest areas. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 71-74. [车宗玺, 刘贤德, 敬文茂 等. 祁连山林区苔藓垂直分布特征与水文功能分析. 水土保持学报, 2006, 20(6): 71-74.]
- [24] Liu Yong, Zou Songbing. A study on the distributing climatic models in arid mountainous area-distributing temperature and precipitation models in high spatial resolution in the Qilian mountains. Journal of Lanzhou university (natural sciences), 2006, 42(1): 7-12. [刘勇, 邹松兵. 祁连山地区高分辨率气温降水量分布模型. 兰州大学学报(自然科学版), 2006, 42(1): 7-12.]
- [25] Zhang Lijie, Jiang Zhirong. Fractal properties of spatial pattern of *Picea crassifolia* population at different altitudes. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(2): 64-66. [张立杰, 蒋志荣. 青海云杉种群分布格局沿海拔梯度分形特征的变化. 北林学院学报, 2006, 21(2): 64-66.]
- [26] Liu Yong. Studies on modeling of mountain climate and forest zone in the middle and the east of the Qilian Mountain based on GIS [D]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2002. [刘勇. 祁连山中东部地区山地气候与林带模型研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2002.]

## Analysis of the Niche Space of *Picea crassifolia* on the Northern Slope of Qilian Mountains

ZHAO Chuanyan<sup>1</sup>, BIE Qiang<sup>2</sup>, PENG Huanhua<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Arid and Grassland Agroecology of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The distribution of *Picea crassifolia* is affected by environmental conditions. Quantifying evaluation of the relationship between the distribution of *Picea crassifolia* and its habitat is significant for managing and restoring the damaged forest ecosystem, but there has been a lack of effective methods for quantitative evaluation. The northern slope of Qilian Mountains in Northwest China was selected as the study area and *Picea crassifolia*, the dominant species in the study area, was the core of the study. Based on digital elevation model (DEM) and inventory data of *Picea crassifolia* distribution, the niche space of *Picea crassifolia* has quantitatively been defined by the spatial analysis of geographic information system. Results show that the borders of the niche space are delineated by border functions. Generally, the niche space is July mean temperature:  $8.5^{\circ}\text{C} < T_{\text{July}} < 14^{\circ}\text{C}$ , and the annual precipitation is  $300\text{ mm} < P_{\text{annual}} < 620\text{ mm}$ . The range of elevation of the forest is from 2576 to 3344 m and its aspect is NNW and NNE. The range of slope of the forest is from  $6^{\circ}$  to  $39^{\circ}$ . The relationship between the slope and distribution frequency of *Picea crassifolia* is fit for Gauss function.

**Key words:** *Picea crassifolia* forest; niche; the niche space for climate; the niche space for topography; Qilian Mountains