

山体基面高度对欧亚大陆东南部林线分布的影响 ——山体效应量化研究

韩 芳^{1,2}, 张百平¹, 谭 靖^{1,2}, 朱运海³, 姚永慧¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 山东省科技发展战略研究所, 济南250014)

摘要: 根据收集到173个林线数据, 采用纬度、经度和基面高度的三元一次方程拟合欧亚大陆东南部林线分布, 计算各自的标准回归系数和贡献率, 以此来确定山体基面高度(山体效应的简明表达形式)对林线分布高度的影响。结果表明, 纬度、经度和山体基面高度对林线分布高度的贡献率分别为30.60%、26.53%、42.87%。以北纬32°为界线, 对其以北、以南区域也分别进行了分析, 基面高度的贡献率达到24.10%和39.11%。分析不同尺度和区域山体基面高度作用于林线的贡献率不难发现: 在欧亚大陆东南部以基面高度代表的山体效应对于林线高度的影响显著, 明显地超过了纬度和经度。基面高度的作用受气候条件和海陆位置影响较小, 不论大陆内部或沿海, 基面高度分异对山地垂直带分异的影响都相对独立和稳定。该结果定量地表明了山体效应对林线分布高度的重要作用。

关键词: 欧亚大陆; 山体效应; 量化; 山体基面高度; 林线; 纬度; 经度

1 山地垂直带分布与山体效应

山地垂直带谱能够反映山地的基本特征, 对它的分析和研究是揭示山地环境结构及其复杂性的基本模型方法, 也是传统地学的经典范式之一^[1]。但是由于环境条件的千差万别, 山地垂直带谱的分异具有极大的多样性。垂直分带的分布格局因此历来备受关注, 相关研究较多^[2-3]。林线作为山地垂直带上界的生态过渡带, 对区域乃至全球气候的反应敏感, 国内外许多学者对林线从生态学的角度做过深入研究^[4-7]。林线高度与环境因子关系研究方面, Korner分析全球林线分布高度与温度的关系, 发现全球范围内林线沿着6.7℃等温线分布, 在不同纬度上略有偏差^[8]。Alvarez-uria进行室内模拟试验, 发现根生长的临界温度约为6℃, 这也是世界上公认的气候林线位置处的土壤温度^[9]。大尺度上(全球、区域)利用温度来确定林线的分布不失为一个很好的办法。但是, 山区的气象站点稀少, 偏远具有险要地形的山地很难有连续观测的气象数据。因此, 在这些地区用气象因子来拟合林线或垂直带的分布是不可行的。国内外许多科学家也曾试图用经、纬度建立数学模型来拟合垂直带分布^[10-14]。但是, 在不同区域、尺度上建成的模型往往难以相互融合, 不能外推。这些模型一般只有一个(纬度)或两个(纬度和经度)控制因子, 而试图通过复杂的函数结构来拟合垂直带的分布规律, 似有舍本逐末之嫌。笔者分析不同尺度和地区的垂直带分布模型, 研究垂直带分布的控制机制后发现, 深刻理解影响垂直带分布的控制机制, 选择更加合理的控制因子及其组合, 用相对简单的函数模型来模拟垂直带的分布规律, 做出

收稿日期: 2009-11-25; 修订日期: 2010-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971064) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 40971064]

作者简介: 韩芳(1981-), 女, 山东兖州人, 博士研究生, 主要研究方向为山地地理, GIS应用。

E-mail: hanf@lreis.ac.cn

通讯作者: 张百平(1963-), 男, 研究员, 博士生导师, 研究领域为山地生态与GIS应用。E-mail: zhangbp@lreis.ac.cn

的数学模型才有可能是合理的、拟合度高的,而且能够外推到不同区域和尺度。

山地垂直带的分布除受到其所在地理位置(经度和纬度)的影响之外,大地形产生的作用也不应忽视。山体效应(mass elevation effect, massenerhebungs effect)的概念提出已经100余年,最初是为描述阿尔卑斯山内部山地的雪线和树线分布比外围山地分布高的现象提出的^[15],后逐渐被理解为由于山体的隆起产生的增温效应^[16-17],山体特别是山地/高原内部温度比同一高度上自由大气的温度高。它对于山地垂直带分布和结构类型的重要性已经为地理学家和地植物学家所认识^[18-22]。但遗憾的是,迄今为止对于山体效应的研究仅限于感性认识和一般论述阶段,山体效应对山地垂直带分布的具体和定量的影响更是缺乏深入的研究。

众所周知,所谓山体效应对山地垂直带分布的影响,其实质是高大隆起的山脉对其自身及周围山地的水热条件再分配,继而对植被垂直分布产生的抬升作用。山体越大,能够接受的太阳辐射越多,作为热源向外辐射的热量越多,对周围大气的增温作用也就越明显。因此,山体海拔越高越容易使物种或生物群落向更高的海拔分布。世界上最高的海岛山——夏威夷的Archipelago拥有最高的海岛林线(2400~2700 m)^[23]。同一类型的垂直带的分布高度随着山体基面高度的增高而增高。例如,我国常绿阔叶林在西南部山地的分布高度比在东部平原山地上的要高出1000 m以上(前者的上限高度可达2500 m,而后者则只有1000~1200 m)^[24, 25]。因此将基面高度视作山体效应的简洁表达是合理的。本文以山地基面高度、纬度和经度为自变量,构建三元一次线性回归模型,拟合林线分布高度。以期说明山体效应对林线分布的重要影响。

2 数据来源

目前存在的垂直带谱数据散落于国内外不同书籍、学术期刊、论文集,以及少数互联网站。它们多是用语言描述或者以表格、手绘的形式进行数据列表和图形化归纳,缺乏对垂直带与其所处空间位置间关系的数字化表达。这些文字描述式的垂直带谱数据难以实现数字化集成和分析,导致了一种绝对数据量丰富而有效可用数据相对贫乏的局面。在数字垂直带谱方法支持下,张百平等搜集、翻译、整理世界各国山地垂直带谱研究文献,从中提取带谱数据,并制定规则对数据标准化处理,实现了复杂类型垂直带谱从文本到空间数据的转换,研制成功了“中国山地垂直带谱信息系统”,并即将设计完成的“欧亚大陆垂直带谱信息系统”,为大陆尺度和全球山地垂直带谱的数字集成奠定了重要的基础^[1, 26-30]。本研究涉及的173个样本数据即来自“欧亚大陆垂直带谱信息系统”。

本研究样本点主要分布于45°18'N以南,65°33'E以东的欧亚大陆东南部大陆(不包括海岛山脉)(图1)。该区域东临太平洋,南邻印度洋,受海洋性气候影响;西部是我国的青藏高原,气候干旱寒冷,是典型的大陆性气候。区域内地形起伏强烈,林线分布高度从藏东南的世界最高林线4600 m^[31],到我国东南部一些山区的900 m左右,高差达3700 m。由于地形和自然环境的复杂,影响林线分布高度的主导因子在区域内不尽相同,山体效应对林线分布作用的大小在研究区域内不同地点的差异较大。因此选择在该区域分析山体效应对林线分布高度的影响,应该可以得到比较显著的结果。

3 模型构建

3.1 模型构建

纬度的位置决定太阳辐射量的大小,经度位置则基本决定了区域气候干湿度情况。它们对于林线分布高度的影响大致表现为这样一个趋势:从低纬到高纬,林线分布高度逐渐

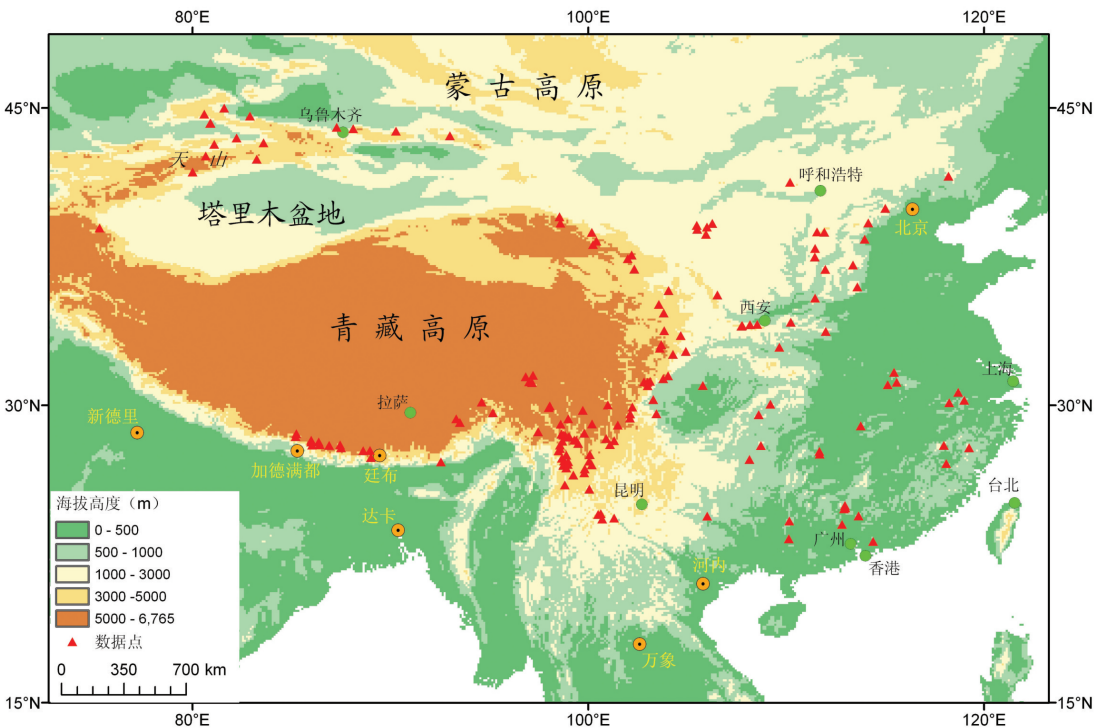


图1 林线数据点在欧亚大陆东南部的分布

Fig. 1 Distribution of 173 timberline data points in the Eurasian continent

降低；从沿海到内陆，林线分布高度逐渐升高。此前不同尺度不同区域的研究也大多证明垂直带分布高度与纬度和经度在一定程度上呈线性相关关系^[6, 10, 12]。山体基面高度与林线分布高度的相关关系十分明显：一般来说，基面高度越高，林线分布也越高。因此，本文以纬度、经度和山体基面高度3个自变量来模拟林线分布高度。假设纬度、经度和山体基面高度对林线分布的作用之和为100%，根据其标准回归系数的大小计算各个自变量对于林线分布高度贡献率的大小。

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d$$

(1)

式中： y 为林线高度； x_1 为纬度； x_2 为经度； x_3 为基面高度； a 、 b 、 c 分别为自变量的系数， d 为常数项。

3.2 结果与分析

3.2.1 欧亚大陆东南部样本结果分析

(1) 自变量与因变量的相关关系判定 相关分析表明纬度、经度和基面高度与林线分布高度之间都呈显著的线性相关关系(表1)。另外纬度与基面高度，经度与基面高度也分别表现出显著的负相关关系。这是由于我国地势西南向东北逐渐降低的自然条件，因为相关系数较小，故可认为它们是相互独立的。

(2) 回归分析 通过多元线性回归计算，方程的决定系数 R^2 为0.591(表2)，表明方程的拟合效果较好，回归模型中因变量的变异有59.1%是由自变量的变异引起的。用方差分析F值为81.402，回归方程显著，具有统计学意义。

3个自变量与因变量t检验概率P值均为0，说明自变量与因变量关系显著。若假设纬度、经度和基面高度对林线分布高度的影响之和为100%，根据它们的标准回归系数，对林线高度分布的贡献率则分别为29.86%、25.56%、44.58%。基面高度(山体效应)最大，纬度次之，经度最小。

表 1 自变量与因变量的相关系数矩阵

Tab. 1 The correlations of independent and dependent variables					
	相关系数类型及尾部检验分布	纬度 (°E)	经度 (°E)	基面高度 (m)	林线高度 (m)
纬度 (°E)	Pearson Correlation	1	-0.228 (**)	-0.042	-0.313 (**)
	显著性检验双尾概率P值		0.003	0.582	0.000
	样本数	173	173	173	173
经度 (°E)	Pearson Correlation	-0.228 (**)	1	-0.330 (**)	-0.404 (**)
	显著性检验双尾概率P值	0.003		0.000	0.000
	样本数	173	173	173	173
基面高度 (m)	Pearson Correlation	-0.042	-0.330 (**)	1	0.656 (**)
	显著性检验双尾概率P值	0.582	0.000		0.000
	样本数	173	173	173	173
林线高度 (m)	Pearson Correlation	-0.313 (**)	-0.404 (**)	0.656 (**)	1
	显著性检验双尾概率P值	0.000	0.000	0.000	
	样本数	173	173	173	173

** 显著性水平为0.01 (双侧检验)。

表 2 欧亚大陆东南部数据点回归模型摘要、方差分析、回归系数及其显著性检验

Tab.2 Multiple linear regression model summary, ANOVA, regression coefficients and their test of significance for the samples in the southeastern Eurasia

	方程的决定系数R ²	方程的显著性检验F	回归系数	标准回归系数 (Beta)	贡献率 (%)	t
常数项	0.591	81.402	7261.764			10.219
纬度 (°E)		(P = 0.000)	-61.467	-0.361	29.86	-7.080
经度 (°E)			-31.233	-0.309	25.56	-5.724
基面高度 (m)			0.651	0.539	44.58	10.251

将各自变量的回归系数和常数项代入公式 (1) 得到欧亚大陆东南部林线分布与温度、经度和山体基面高度的一次拟合模型：

$y = -61.467x_1 - 31.223x_2 + 0.651x_3 + 7261.764 \quad (R^2 = 0.591) \quad (2)$

3.2.2 32°N 以北和以南的样本点结果分析 因为纬度与林线分布高度的线性关系较弱，而且林线分布高度随纬度变化的格局在 32°N 左右表现出明显的差异：32°N 以南，林线高度随纬度变化的波动强烈，是弱的正相关关系，而 32°N 以北林线高度与纬度则呈现明显的负相关关系 (图 2)。因此，我们将全部样本分为 32°N 以南和 32°N 以北两部分，分别来看 3 个自变量对林线的作用。

(1) 32°N 以北 32°N 以北地区 61 个数据点构建方程的确定系数 R² 为 0.536 (表 3)。对回归方程的显著性检验结果表明回归方程显著，具有统计学意义。根据回归系数 t 检验概率 P 值，在 0.05 的水平上 3 个自变量与因变量关系显著。根据标准回归系数计算所得的该区域各自变量对林线的贡献率，纬度最大，几乎起到决定性的作用；基面高度 (山体效应) 次之；经度最小。

这一部分样本点远离海洋，一方面，该区域受大陆性气候影响强烈，纬向上气候的干湿变化分异小，经向上热量分异远大于纬向气候干湿度的分异，纬度所代表的太

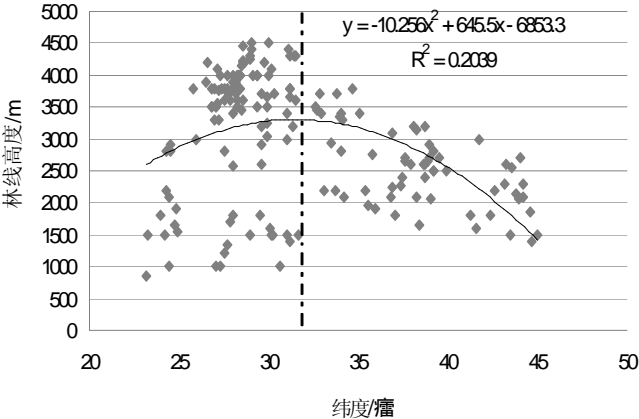


图 2 欧亚大陆东南部林线沿纬度的变化

Fig. 2 Latitudinal pattern of timber line in southeastern Eurasia

表3 32°N以北数据点回归模型摘要、方差分析、回归系数及其显著性检验
Tab.3 Multiple linear regression model summary, ANOVA, regression coefficients and their test of significance for the samples in the north of 32°N

	方程的决定系数 R ²	方程的显著性检验 F	回归系数	标准回归系数 (Beta)	贡献率 %	t	t检验概率P值
常数项	0.536	22.331	8300.337			6.051	0.000
纬度 (°)		(P = 0.000)	-119.090	-0.732	53.08	-5.798	0.000
经度 (°)			-15.418	-0.293	21.25	-2.334	0.023
基面高度(m)			0.310	0.354	25.67	3.818	0.000

表4 32°N以南数据点回归模型摘要、方差分析、回归系数及其显著性检验
Tab.3 Multiple linear regression model summary, ANOVA, regression coefficients and their test of significance for the samples in the south of 32°N

	方程的决定系数R ²	方程的显著性检验F	回归系数	标准回归系数 (Beta)	贡献率 (%)	t
常数项	0.778	124.846	7153.514			7.515
纬度 (°)		(P = 0.000)	87.239	0.169	14.94	3.608
经度 (°)			-69.663	-0.554	48.98	-10.418
基面高度 (m)			0.498	0.408	36.08	7.482

阳辐射量对林线分布高度的影响明显增强，经度所代表的气候干湿度的影响明显减弱；另一方面，这一部分样本点分布区域的地势偏低，基面高度代表的山体效应的影响减弱。因此，对于32°N以北地区数据点来说，纬度(太阳辐射)成为影响林线分布第一控制因素、基面高度(山体效应)次之、经度(气候干湿度)的影响最小。

将各自变量的回归系数和常数项代入公式(1)得到欧亚大陆东南部32°N以北地区林线分布与温度、经度和山体基面高度的一次拟合模型：

$$y = -119.09x_1 - 15.418x_2 + 0.31x_3 + 8300.337 \quad (R^2 = 0.536)$$

(3)

(2) 32°N以南 32°N以南地区110个数据点构建的回归方程对林线分布的拟合效果非常好，决定系数高达0.778(表4)。3个自变量(纬度、经度、基面高度)对林线的作用大小与32°N以北地区有很大的不同：经度成为该区域控制林线分布的第一主控因子，基面高度(山体效应)的影响明显增强，纬度的影响则降至最低。

分析可知，该区域三面临海，受海洋性气候影响强烈，经度(气候干湿度)对于林线分布的影响巨大，而且，样本点分布区域东西跨度大，南北跨度小，因此区内气候干湿程度分异明显大于水平方向上热量的分异。区域内大部分样本点分布于我国青藏高原东南部喜马拉雅山地区，其巨大的山体效应对该区域的热量和水分分异有十分强烈的影响。因此，该地区基面高度对于林线分布的作用增强，而纬度的作用则相应减弱。

将各自变量的回归系数和常数项代入公式(1)得到欧亚大陆东南部32°N以南地区林线分布与温度、经度和山体基面高度的一次拟合模型：

$$y = 87.239x_1 - 69.663x_2 + 0.498x_3 + 7153.514 \quad (R^2 = 0.778)$$

(4)

4 结论与讨论

(1) 比较不同尺度和区域上模型中3个自变量(纬度、经度、基面高度)对林线高度的贡献率，可以发现：在欧亚大陆东南部以基面高度代表的山体效应对于林线高度的影响都显著，明显地超过了纬度和经度。基面高度的作用受气候条件和海陆位置影响较小，不论大陆内部或沿海，基面高度分异对山地垂直带分异的影响都相对稳定，不受其他因素的影响和制约。因此，在包括大陆内部和沿海的大区域上平均来看，基面高度的作用超过了纬度和经度的作用。

(2) 将样本点以纬线 32°N 为界分为南北两部分之后, 对比纬度和经度的贡献率在两个区域出现了比较大的变动, 基面高度则始终介于两者之间。 32°N 以南地区三面临海, 受海洋性气候控制, 经度所代表的气候干湿度是林线分布的主导因子; 山体效应的作用比经度稍弱。 32°N 以北地区受大陆性气候控制, 数据点分布地势较 32°N 以南明显降低, 因此纬度所代表的太阳辐射 (温度) 成为影响林线分布高度的主导因子; 山体效应的贡献率稍大于经度, 但作用明显减弱。纬度和经度对林线分布的贡献率在 32°N 南北此消彼长, 它们之间似乎有一种共轭的关系: 纬度的影响增强, 经度的影响则减弱。这种现象与数据点分布的地理位置、气候条件密切相关。这也从另一个角度衬托出基面高度 (山体效应) 对林线作用的独立性和稳定性, 同时说明山体效应是构建山地垂直带空间模型不可或缺的因素。因而, 我们认为以基面高度作为山体效应的简洁表达选入山地垂直带空间模型体系, 是可行的、符合客观实际的。

(3) 数据分析的结果只能说明纬度、经度、基面高度这三个自变量在研究区域对林线分布作用的平均情况, 回归方程计算出的各个自变量对林线高度的贡献率也只是三者之间的相对大小, 并非绝对。影响林线分布高度的因素还包括局地气候、地形、岩石、土壤、人为活动, 林线树种等。若能更加全面地考虑问题, 选择更多的因变量来模拟, 这 3 个因素的贡献率势必会有变化。另外, 影响山体效应大小的因素还包括山体走向、山体面积、据海洋的远近、据大地块边缘的距离等。本研究以基面高度作为山体效应的简洁表达与纬度和经度一起构建林线分布的拟合模型, 可以定量说明山体效应对林线分布的重大影响, 但是距离实现山体效应定量化还有一定距离, 今后的研究会进一步考虑影响山体效应大小的其他因素, 构建山体效应指数, 实现山体效应的定量化。将山体效应合理的引入垂直带分布拟合模型, 会大大提高模型的精度和空间预测能力, 从而有可能将众多的区域模型与大陆模型统一起来, 得到高精度的垂直带空间数字模型。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Baiping, Zhou Chenghu, Chen Shupeng. The geo-info-spectrum of montane altitudinal belts in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 163-171. [张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨. *地理学报*, 2003, 58(2): 163-171.]
- [2] Troll C. The upper timberlines in different climatic zones. *Arct. Alps. Res.*, 1973, 5(3): A3-A18.
- [3] Korner C, Jens P. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 1998, 115(4): 445-459.
- [4] Cui Haiting, Liu Hongyan, Dai Junhu. *Research of Mountainous Ecology and Alpine Timberline*. Beijing: Science Press, 2005. [崔海亭, 刘鸿雁, 戴君虎. *山地生态学与高山林线研究*. 北京: 科学出版社, 2005.]
- [5] Holtmeier F. *Mountain Timberline: Ecology, Patchiness and Dynamics*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [6] Ohsawa M. An interpretation of latitudinal patterns of forest limits in south and East Asia mountains. *Journal of Ecology*, 1990, 78(2): 326-339.
- [7] Dai Junhu, Cui Haiting. A review on the studies of alpine timberline. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(3): 299-305. [戴君虎, 崔海亭. 国内外高山林线研究综述. *地理科学*, 1999, 19(3): 299-305.]
- [8] Korner C, Jens P. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 2004, 31(5): 713-732.
- [9] Alvarez-uria P, Klvarez-uria P, Korner C. Low temperature limits of root growth in deciduous and evergreen temperate tree species. *Functional Ecology*, 2007, 21(2): 211-218.
- [10] Xu Juan, Zhang Baiping, Zhu Yunhai. Distribution and geographical analysis of altitudinal belts in the Altun-Qilian Mountains. *Geographical Research*, 2006, 25(6): 977-985. [许娟, 张百平, 朱运海. 阿尔金山-祁连山山地植被垂直带谱分布及地学分析. *地理研究*, 2006, 25(6): 977-985]
- [11] Zheng Yuanchang, Wang Meijuan. A study on the mathematical model of the vertical distribution of natural belts in the southeastern part of the Qinghai-Tibet Plateau and their ecological analysis. *Journal of Natural Resources*, 1996, 11(3): 249-255. [郑远长, 王美娟. 青藏高原东南部自然带垂直分布的数学模型及生态学研究. *自然资源学报*, 1996, 11

- (3): 249-255.]
- [12] Fang Jingyun. Three-dimension distribution of forest zones in East Asia. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(2): 161-167. [方精云. 东亚地区森林植被带的三维空间分布. *地理学报*, 1995, 50(2): 161-167.]
- [13] Li Wenhua, Zhou Peicun. Study on the distribution of the spruce-fir forest on Eurasia and its modeling. *Natural Resources*, 1979, 1(1): 21-34. [李文华, 周沛村. 暗针叶林在欧亚大陆分布的基本规律及其数学模型的研究. *资源科学*, 1979, 1(1): 21-34.]
- [14] Ozenda P. The vertical displacement of the stages of vegetation as a function of the latitude: A simple model and its limits. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 1989, 5(3):535-540.
- [15] Quervain A D. Die Hebung der atmosphärischen Isothermen in der Schweizer Alpen und ihre Beziehung zu deren Höhengrenzen. *Gerlands. Beitr. Geophys.*, 1904, (6): 481-533.
- [16] Flenley J. Ultraviolet insolation and the tropical rainforest. Chichester, UK: Praxis Publishing, 2007: 219-235.
- [17] Schroeter C. Das pflanzenleben der Alpen:eine schilderung der hochgebirgsflora. Verlag von Albert Raustein, Zurich, Switzerland, 1908.
- [18] Fang J Y, Ohsawa M, Kira T. Vertical vegetation zones along 30°N latitude in humid East Asia. *Plant Ecology*, 1996, 126(2): 135-149.
- [19] Grubb P J. Interpretation of Massenerhebung effect on tropical mountains. *Nature*, 1971, 229(5279): 44-45.
- [20] Fang Jingyun. Study on the geographic elements affecting temperature distribution in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 12(2): 97-104. [方精云. 地理要素对我国温度分布影响的数量评价. *生态学报*, 1992, 12(2): 97-104.]
- [21] Fang Jingyun, Liu Guohua. Distribution patterns of Chinese beech (*Fagus L.*) species in relation to topography. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(7): 766-774. [方精云, 刘国华. 我国水青冈属植物的地理分布格局及其与地形的关系. *植物学报*, 1999, 41(7): 766-774.]
- [22] Schickhoff U. The upper timberline in the Himalayas, Hindu Kush and Karakorum. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005: 275-354.
- [23] Leuschner C. Timberline and alpine vegetation on the tropical and warm-temperate oceanic islands of the world: Elevation, structure and floristics. *Vegetation*, 1996, 123(2): 193-206.
- [24] Fang Jingyun, Shen Zehao, Cun Haiting. Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 10-19. [方精云, 沈泽昊, 崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容. *生物多样性*, 2004, 12(1): 10-19.]
- [25] Li Wenhua, Han Yufeng. Forest of Tibet. *Scientia Silvae Sinicae*, 1977, (4): 4-10. [李文华, 韩裕丰. 西藏的森林. *林业科学*, 1977, (4): 4-10.]
- [26] Tan Jing, Zhang Baiping, Sun Ranhao. A framework for digitally integrating mountain altitudinal belt spectra in the Eurasian Continent. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(6): 641-651. [谭靖, 张百平, 孙然好. 欧亚大陆山地垂直带谱数字集成框架. *山地学报*, 2008, 26(6): 641-651.]
- [27] Zhang Baiping, Xu Juan, Wu Hongzhi. Digital integration and pattern analysis of mountain altitudinal belts in China. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 144-149. [张百平, 许娟, 武红智. 中国山地垂直带的数字集成与基本规律分析. *山地学报*, 2006, 24(2): 144-149.]
- [28] Zhang Baiping. Progress in the study on digital mountain altitudinal belts. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(1): 12-14. [张百平. 数字山地垂直带谱研究进展. *山地学报*, 2008, 26(1): 12-14.]
- [29] Zhang Baiping, Tan Ya, Wu Hongzhi. Design and development of mountain altitudinal belts information system. *Geo-information Science*, 2005, 7(1): 20-24. [张百平, 谭娅, 武红智. 中国山地垂直带谱信息系统的设计与开发. *地球信息科学*, 2005, 7(1): 20-24.]
- [30] Zhang Baiping, Yao Yonghui, Mo Shenguo. Digital spectra of altitudinal belts and their hierarchical system. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 660-665. [张百平, 姚永慧, 莫申国. 数字山地垂直带谱及其体系的探索. *山地学报*, 2002, 20(6): 660-665.]
- [31] Troll C. The three-dimensional zonation of the Himalayan system//Troll C//*Geoecology of the High Mountain Regions of Eurasia*. Wiesbaden; Franz Steiner Verlag GmbH, 1972: 264-275.

The Effect of Mountain Base Elevation on the Altitude of Timberline in the Southeastern Eurasia: A Study on the Quantification of Mass Elevation Effect

HAN Fang^{1,2}, ZHANG Baiping¹, TAN Jing^{1,2}, ZHU Yunhai³, YAO Yonghui¹

(1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China;*

3. *Shandong Institute for Development Strategy of Science and Technology, Jinan 250014, China)*

Abstract: This paper focuses on the method of quantifying the phenomenon of mass elevation effect (massenerhebungs effect). Geographers have taken notice of mass elevation effect and its influence on mountain altitudinal belts for more than 100 years. But so far, our knowledge on mass elevation effect has been very limited, let alone its quantitative effect on mountain altitudinal belts. Geographers and botanists have established many unitary or dibasic fitting models between mountain altitudinal belts' distribution and longitude or latitude, or both. But most of these models involve small scales and could not be expanded to other regions; while others are established for the northern hemisphere or the whole globe with very low precision. The reason is that these models neglect one of the most important factors controlling the distribution of altitudinal belts—mass elevation effect. It is well known that the higher the mountain range, the greater the mass elevation effect is. So, mountain's base altitude could be a represent of mass elevation effect. We collect 173 samples of forest line distribution, and use latitude, longitude and mountain base elevation (MBE) as independent variables to build a multiple linear regression equation for timberline altitude in the southeastern Eurasian continent. The result turned out that the contribution of latitude, longitude and mountain base elevation to timber line distribution reaches 30.60%, 26.53%, and 42.87%, respectively. North of northern latitude 32°, the contribution for each of the three factors amounts to 53.08%, 21.25%, and 25.67%, respectively; to the south, the contribution is 14.94%, 48.98%, and 36.08%, respectively. The results indicate that MBE, serving as a proxy indicator of mass elevation effect, is a significant factor determining the elevation of altitudinal belts. Compared with other factors, it is more stable and independent in affecting forest line elevation. Of course, mass elevation effect is also determined by other factors, including mountain's volume, the distance to the edge of a land mass, the structures of the mountains nearby, etc. They need to be included in the study of mass elevation effect in the future.

Key words: Eurasia; mass elevation effect; quantification; mountain base elevation (MBA); timberline; latitude; longitude