

# 山体基面高度对青藏高原及其周边地区 雪线空间分布的影响

韩 芳<sup>1</sup>, 张百平<sup>2</sup>, 谭 靖<sup>3</sup>, 周亮广<sup>4</sup>, 李伟涛<sup>4</sup>, 刘民士<sup>4</sup>

(1. 山东农业大学信息科学与工程学院, 泰安 271018; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;  
3. 北京东方泰坦科技股份有限公司, 北京 100083; 4. 滁州学院, 滁州 239000)

**摘要:** 山体效应是地理地带性之外, 在大尺度上影响垂直带分布的主要因素, 山体基面高度则是山体效应的第一影响因子。青藏高原及其周边地区, 雪线呈现出中心高、周围低, 与山体基面高度相一致的环状分布模式。为分析山体基面高度对雪线分布的影响, 本文共收集青藏高原及周边地区雪线数据 142 个, 采用纬度、经度和基面高度为自变量的三元一次方程拟合研究区雪线分布, 计算各自的标准回归系数和相对贡献率, 再将基面高度划分成 5 个子集 (0~1000 m、1001~2000 m、2001~3000 m、3001~4000 m 和 4001~5000 m), 分析基面高度不同的山地对雪线的影响差异。结果表明: ① 在青藏高原, 纬度、经度和基面高度对雪线高度分布的相对贡献率分别为 51.49%、16.31% 和 32.20%; ② 随着基面高度的增高, 各子集模型的决定系数虽有逐渐降低的趋势, 但仍保持在较高的值域 ( $R^2=0.895\sim 0.668$ ), 说明模型的有效性; ③ 随基面高度的抬升, 纬度和山体基面高度对雪线分布高度的相对贡献率分别表现出降低 (92.6%~48.99%,  $R^2=0.855$ ) 和增大 (3.33%~31.76%,  $R^2=0.582$ ) 的趋势, 表明基面高度越高, 其对雪线分布高度的影响越大。

**关键词:** 山体效应; 山体基面高度; 雪线; 空间分布; 相对贡献率; 青藏高原  
DOI: 10.11821/dlyj201401003

## 1 引言

雪线是陆地上终年积雪 (累积区) 与夏季无雪区 (消融区) 之间的零平衡线, 是一种气候标志线, 也是山地垂直带的最上限, 与林线、垂直多年冻土带下界和山地寒漠土上界等同为重要的自然地理界限, 被认为是山地垂直带的重要界线之一。由于中国地形复杂, 特别是青藏高原的存在, 使气候的东西差异明显。现代地形雪线在青藏高原地区呈环状分布, 改变了雪线的纬度地带性分布规律<sup>[1-5]</sup>。许多学者认为, 包括雪线在内的青藏高原垂直带近似同心环状的分布模式是由于青藏高原的隆起对其自身产生加热作用造成的<sup>[4-8]</sup>。

这种由于山体的隆起产生的增温效应及其对山地植被带的抬升的地理/生态现象, 被称为山体效应 (Masserhebungseffect, Mass elevation effect), 1904 年由德国科学家 Quervain A. D. 提出<sup>[9]</sup>。自此概念提出后的 100 余年来, 国内外有许多学者对该现象均有关

收稿日期: 2012-11-21; 修订日期: 2013-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41030528, 40971064); 安徽省自然科学基金项目 (1208085QD78); 北京市科技新星计划 (Z131101000413086)

作者简介: 韩芳 (1981-), 女, 汉族, 山东兖州人, 理学博士, 主要从事山地 GIS 与山地生态学研究。  
E-mail: hanfah@163.com

通讯作者: 张百平 (1965-), 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@reis.ac.cn

注<sup>[10-13]</sup>。山体效应对垂直带分布的影响广泛存在,在某些区域,特别是青藏高原,山体效应对垂直带分布的影响甚至超过了地理地带性的作用,使地带性规律发生巨大的改变。因此可以说,山体效应是地理地带性之外,在大尺度上影响垂直带分布的主要因素,因而它对于研究世界山地生态格局或垂直带分布结构和机理具有重要意义。近年来在该方面的研究取得了一些重要进展,特别在山体效应对林线和雪线高度定量化影响方面<sup>[14-17]</sup>。

影响山体效应因素虽然较多,但山体基面高度却特别重要,近年的工作成功地用它来替代山体效应取得了较好的效果<sup>[14-17]</sup>。山体基面高度(Mountain Basal Elevation)是山系/高原不同部分所在的起始海拔高度。山体的不同侧翼,基面高度往往不同;山系内外,基面一般具有明显差异,而且内部的基面高度往往比外围的基面高度要高。这种差异使得同一海拔高度上山体内部温度比外部高,进而影响到山地垂直带谱的结构和分布差异<sup>[18]</sup>。早在1922年,Shreve<sup>[19]</sup>就注意到山体基面高度对于山地垂直带分布的影响。他在调查中发现,美国西南部沙漠地区的Santa catalina和Pinaleno两座山相距90英里,有相同的朝向,相同的土壤和岩石质地,山上的植被类型也大致相似,Santa catalina山的基面高度是3000英尺,其上松树群落的最低分布高度为6000英尺,而Pinaleno的基面高度为5000英尺,其上松树群落的最低分布高度却达到了7800英尺。也就是说,由于基面高度相差的2000英尺,使得松树群落分布的高度也相应地抬升了1800英尺。该例子进一步说明,山体基面高度可以在很大的程度上成为量化山体效应的代用因子。以山体基面高度替代山体效应构建模型,作者已有研究定量证明了山体效应对于欧亚大陆林线和雪线的重大影响<sup>[15-17]</sup>。理论上,山体基面高度越大,在相同高度上与自由大气比较,增温就越强烈,山体效应也就越大,对于垂直带分布的影响也就越大。青藏高原近似环状分布的雪线分布格局与高原内部基面高度的抬升趋势一致,是分析不同基面高度对于雪线分布的最理想区域。本文以青藏高原及其周边区域的雪线为研究对象,分析不同基面高度对雪线分布的影响,以期提出和证明“山体内部基面高度越大,对雪线分布的影响越大”这样一个科学命题。

## 2 数据来源

目前存在的垂直带数据多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”和“欧亚大陆垂直带谱信息系统”<sup>[20-25]</sup>,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。本文所涉及的142个雪线样本数据即来自“欧亚大陆垂直带谱信息系统”,其原始数据是20世纪30年代以来国内外文献所收集的雪线位置和高程数据,将这些数据整理、可靠性对比、分析之后,输入“欧亚大陆垂直带谱信息系统”,每一个数据点原始引用文献的索引信息和原文均在系统中存档。

研究样本主要分布于青藏高原及其周边(26.2~48.44°N, 73~104.4°E)。青藏高原作为世界上最高的高原,总面积约 $2.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,平均海拔4500 m以上,其境内和周边地区雪

线高差大, 大体上有从边缘向内部、自东南向西北增高的趋势。青藏高原东南边缘雪线高度为4500~5000 m, 至高原内部、中喜马拉雅山北翼、冈底斯山等雪线高度为5800~6000 m, 珠峰北侧东戎布冰川以及羌塘高原西部昂龙岗日雪线高度达到6200 m<sup>[26]</sup>。本文所涉及的雪线数据点的分布见图1。

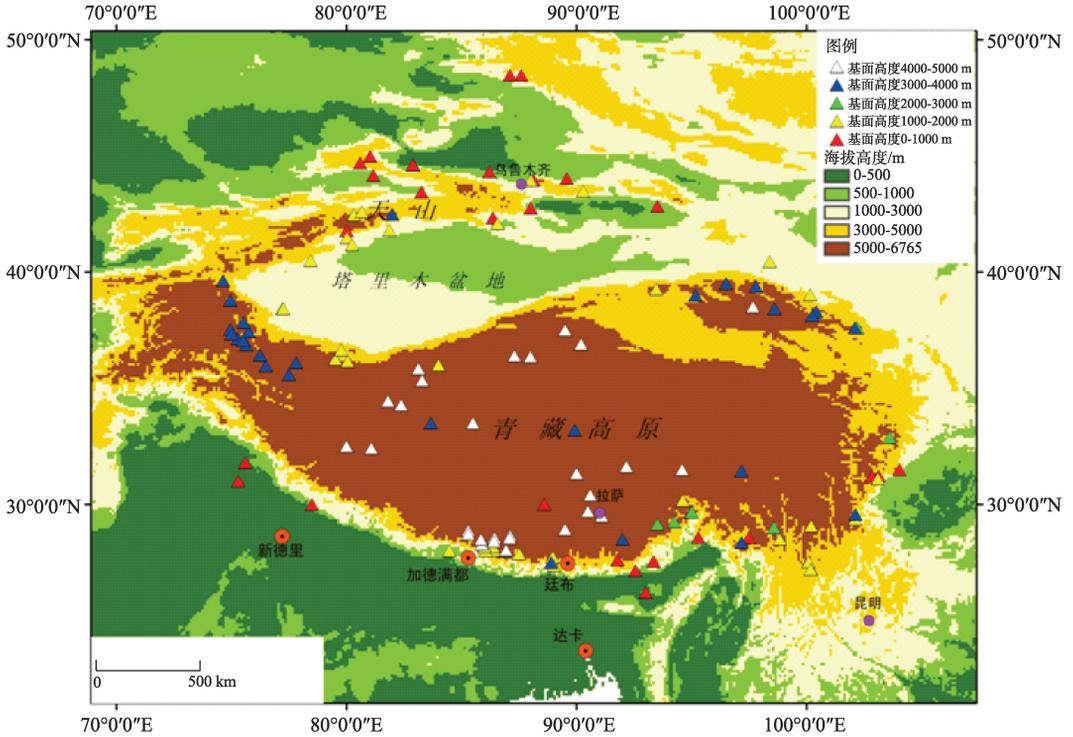


图1 青藏高原及其周边不同基面高度雪线数据点分布情况

Fig. 1 Location of 142 snowline data points with different mountain basal elevation in Tibetan Plateau and its surrounding areas

### 3 模型方法

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程度情况。它们对于雪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, 雪线分布高度逐渐降低; 从沿海到内陆, 雪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<sup>[15-17; 27-29]</sup>。山体基面高度与雪线分布高度的相关关系十分明显, 一般来说, 基面高度越高, 雪线分布也越高。因此, 本文以纬度、经度和山体基面高度3个自变量来构建回归模型。在不考虑其他因素的前提下, 假设纬度、经度和山体基面高度对雪线分布的作用之和是100%, 根据其标准回归系数的大小计算各个自变量对雪线分布高度的相对贡献率的大小。模型如下:

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d \quad (1)$$

式中:  $y$  为雪线高度;  $x_1$  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。

## 4 结果分析

### 4.1 总体样本分析

总体样本代入模型分析结果见表1, 模型与青藏高原及其周边地区雪线分布高度的拟合极好, 判定系数高达0.837。模型的F统计量的观察值为236.705, 概率P值为0.000, 雪线高度与纬度、经度和基面高度之间有显著的关系。自变量与因变量的t检验概率P值表明, 3个自变量分别与雪线分布高度的关系显著。根据3个自变量的标准回归系数, 3者对雪线高度分布的相对贡献率则分别为51.49%; 16.31%; 32.20%。纬度贡献最大, 基面高度(山体效应)次之, 经度最小。

表1 青藏高原及其周边雪线数据点回归分析结果

Tab. 1 Regression analysis of samples in Tibetan Plateau and surrounding areas

	方程的决定 系数R <sup>2</sup>	方程的显著 性检验F	回归 系数	标准回归 系数(Beta)	相对贡献率 (%)	t	自变量的概率 P值
常数项			9140.007			25.679	0.000
纬度(°N)	0.837	236.705 (P=0.000)	-87.875	-0.726	51.49	-19.897	0.000
经度(°E)			-18.850	-0.230	16.31	-6.326	0.000
基面高度(m)			0.213	0.454	32.20	12.788	0.000

将各自变量的回归系数和常数项代入公式(1)得到青藏高原及其周边雪线分布与纬度、经度和山体基面高度的三元一次拟合模型:

$$y = -87.875x_1 - 18.850x_2 + 0.213x_3 + 9140.007 \quad (R^2=0.837) \quad (2)$$

### 4.2 不同基面高度子集样本分析

为比较分析不同基面高度对雪线影响的差异, 证明“山体基面高度越大, 山体效应对雪线分布的影响越大”。本文将全部样本根据雪线所在山体基面高度的大小划分为5个样本子集: 基面高度0~1000 m, 1001~2000 m, 2001~3000 m, 3001~4000 m, 4001~5000 m。各子集所含样本数, 以及根据模型分析结果如表2。分析表2可知, 5个样本子集计算所得模型决定系数均在0.647以上, 表明模型与各基面高度的雪线分布高度的拟合都极好。模型的F统计量的观察值表明, 除基面高度2001~3000 m这一子集的样本数较少外,

表2 青藏高原及其周边不同基面高度雪线数据点回归分析及影响因素的相对贡献率

Tab. 2 Regression analysis and influencing factors' relative contribution of samples in the mountains with different mountain basal elevations in Tibetan Plateau and its surrounding areas

基面高度(m)	样本数	决定系数R <sup>2</sup>	显著性检验F	影响因素相对贡献率(%)		
				纬度	经度	基面高度
0~1000	33	0.895	82.027(0.000)	92.6	0.28	7.12
1001~2000	39	0.703	26.852(0.000)	69.47	27.2	3.33
2001~3000	9	0.647	3.056(0.130)	75.41	13.11	11.48
3001~4000	29	0.702	19.648(0.000)	51.69	40.1	8.21
4001~5000	31	0.668	18.131(0.000)	48.99	15.25	31.76

各区间的雪线高度与纬度、经度和基面高度之间均有显著的关系。而分析3个自变量对各样本子集雪线的相对贡献率发现, 在0~1000 m基面高度的样本子集中, 纬度对雪线分布高度的相对贡献率高达92.6%, 随着基面高度的抬升逐渐降低; 山体基面高度对于雪线分布高度的影响则表现出增大(3.33%~31.76%)的趋势(图2), 表明山体基面高度越高, 其对雪线分布高度的影响也就越大。经度相对贡献率的变化趋势不显著( $R^2 = 0.201$ )。另外, 随着基面高度的抬

升, 各子集模型的决定系数 $R^2$ 也逐渐降低(0.895~0.668), 而此时基面高度的相对贡献率逐渐增大, 表明山体基面高度作为山体效应的代用因子, 在大范围是适用的, 随着基面高度的抬升, 研究范围的减小, 仅用基面高度来代表山体效应的大小不再满足要求, 需要考虑更多和更适合的山体效应因子才能完成山体效应的精确定量分析。

## 5 讨论

### 5.1 回归模型

本文以山体基面高度为山体效应的代用指标, 建立以纬度、经度和山体基面高度为自变量(其中纬度代表影响雪线分布的热量因素, 经度代表气候干湿度因素), 雪线分布高度为因变量的多元一次回归模型, 根据标准偏回归系数计算得到的各自变量的相对贡献率, 来初步量化山体效应对雪线分布高度影响程度, 比较不同基面高度的雪线受山体效应影响差异。本模型分析结果可以简单显著地比较出3个自变量对雪线分布高度影响的相对大小, 对于山体效应定量化的初步研究有着十分重要的意义。然而若能更加全面地考虑问题, 选择更多的因变量来模拟, 改变研究区域和范围, 这3个因素的相对贡献率势必都会有变化<sup>[6]</sup>。另外, 模型自变量的选择还存在一定的问题需要讨论。第一, 模型以经度的大小来表示气候干湿度的分异, 并将其作为量化气候干湿度对雪线分布的影响的指标, 是“不得已”的做法。虽然本研究中, 数据点的经度与模型的关系的显著性检验F值表明, 大部分数据点的经度与雪线的分布有着显著的关系, 实际上, 以经度代表气候干湿度的分异在欧亚大陆东部和西部的中纬度地区非常适合, 有些区域气候的干湿度变化方向实际上与经度的增减关系性不强。因此, 如能进一步收集数据, 设计一个简便可行的测量方法(如大陆度指数), 来量化样本点之间气候干湿度的相对大小, 才能够比较客观地反映气候干湿度分异对于雪线或其他垂直带分布的影响, 这将是本课题组下一步研究的重点内容之一。第二, 本模型仅以山体基面高度代表山体效应在小尺度上可能会低估山体效应对雪线影响。在理论上, 山体基面高度越低, 山体效应越小, 但并非基面高度为零的山地就不产生山体效应。例如喜马拉雅山南坡的许多垂直带的理论上的基面高度是零, 但是这并不能

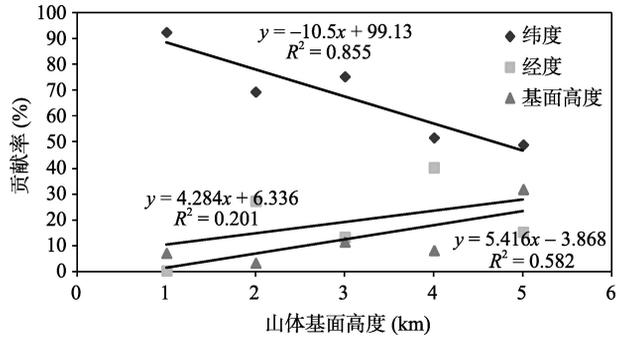


图2 纬度、经度及山体基面高度对青藏高原及其周边雪线分布的影响随基面高度抬升的变化趋势

Fig. 2 The mountain basal elevation pattern of influence factors' relative contribution in Tibetan Plateau and its surrounding areas

说明喜马拉雅山南坡没有山体效应, 因为影响山体效应大小的因素, 还有山体面积、平均高度、大坡度和大坡向等。山体基面高度是山体效应第一影响因子, 是大尺度上平均的做法, 而在局地尺度上, 影响山体效应大小的因素会变得复杂, 决定性因素则不尽相同。因此, 在今后的工作中, 将致力于分析和定量更多山体效应因子, 以使山体效应的定量更加科学和精确。

## 5.2 影响要素的相对贡献率

本文的全部样本计算的自变量对于雪线的相对贡献率(纬度 51.49%, 经度 16.31%, 山体基面高度 32.20%)一方面反映山体效应对于雪线的重要影响, 另一方面则似乎与预期不符: 该区域由山体基面高度所代表的山体效应对于雪线的影响并没有超过纬度, 而雪线在青藏高原近似环状的分布格局却反映该区域的纬度地带性弱于山体效应的影响。分析结果产生的原因主要有 3 点: 其一, 全部样本的分布区域并非青藏高原这一独立的地貌单元, 还包括的其周边一些区域的样本点, 模型中各自变量的相对贡献率的大小是对于整个区域的平均状况而非青藏高原这一独立的地貌单元; 其二, 本模型以纬度表示水平方向上温度的分异, 以经度表示水平方向上气候干湿度分异, 以山体基面高度代表山体效应, 建立三元一次回归模型, 分析山体效应(基面高度)对雪线分布的相对贡献率大小, 该模型所得到的山体效应的相对贡献率是对较大尺度上山体效应影响垂直带分布的面上估计, 并非每一个样本点上的具体值; 其三, 本模型所求基面高度的相对贡献率仅代表山体效应相对于纬度和经度的大小, 并非山体效应本身, 特别是随着基面高度的抬升, 研究区域变小, 需要考虑更多的山体效应因子才能更为精确地完成山体效应抬升雪线或其他垂直带的定量分析。

## 6 结论

(1) 在本文研究区尺度上, 纬度, 经度和基面高度对雪线高度分布的相对贡献率则分别为 51.49%、16.31% 和 32.20%, 纬度贡献最大, 基面高度(山体效应)次之, 经度最小。

(2) 随着基面高度的增高, 各子集模型的决定系数虽有逐渐降低的趋势 ( $R^2 = 0.895 \sim 0.668$ ), 但仍保持在较高的值域, 说明了模型的有效性。

(3) 纬度对雪线分布高度的相对贡献率随着基面高度的抬升直线降低 ( $92.6\% \sim 48.99\%$ ,  $R^2 = 0.855$ ), 山体基面高度对于雪线分布高度的影响则表现出增大 ( $3.33\% \sim 31.76\%$ ,  $R^2 = 0.582$ ) 的趋势, 说明基面高度越高, 其对雪线分布高度的影响也就越大。

## 参考文献(References)

- [1] Hvon W. Heutige Verletscherung und schneergrenze in Hochasien mit Hinweisen auf die Vergletscherung der letzten Eiszeit. Abhandlungen, Akadamic der Wissen-Mathematisch Naturwissenschaftlichen Klass, 1959, 14: 1103-1407.
- [2] 牛文元. 自然地带性的理论分析. 地理学报, 1980, 35(4): 288-298. [Niu Wenyuan. Theoretical analysis of physico-geographical zonation. Acta Geographica Sinica, 1980, 35(4): 288-298.]
- [3] 蒋忠信. 雪线地带性的定量分析. 冰川冻土, 1984, 6(2): 27-34. [Jiang Zhongxin. Quantitative analysis of snowline zonality. Journal of Glaciology and Cryopedology, 1984, 6(2): 27-34.]
- [4] 吴锡浩. 青藏高原东南部现代雪线和林线及其关系的初步研究. 冰川冻土, 1989, 11(2): 113-124. [Wu Xihao. A preliminary study on existing snowline timber line and their relations in southeastern part of the Qinghai-Xizang Plateau. Journal of Glaciology and Geocryology, 1989, 11(2): 113-124.]
- [5] 蒋复初, 吴锡浩, 王书兵, 等. 中国气候雪线空间分布特征. 地质力学学报, 2002, 8(4): 289-296. [Jiang Fuchu, Wu

- Xihao, Wang Shubing et al. Characteristics of space distribution of the climatic snowline in China. *Journal of Geomechanics*, 2002, 8(4): 289-296.]
- [6] 郑度, 李炳元. 青藏高原自然环境的演化与分异. *地理研究*, 1990, 9(2): 1-10. [Zheng Du, Li Bingyuan. Evolution and differentiation of the physico-geographical environment of Qinghai-Xizang Plateau. *Geographical Research*, 1990, 9(2): 1-10.]
- [7] 王襄平, 张玲, 方精云. 中国高山林线的分布高度与气候关系. *地理学报*, 2004, 59(6): 871-879. [Wang Xiangping, Zhang Ling, Fang Jingyun. Geographical differences in alpine timberline and its climatic interpretation in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 871-879.]
- [8] 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. [Fang Jingyun. Study on the geographic elements affecting temperature distribution in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 12(2): 97-104.]
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Grubb P J. Interpretation of Massenerhebung Effect on Tropical Mountains. *Nature*, 1971. 229(5279): 44-45.
- [12] 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. [Fang Jinyun, Liu Guohua. Distribution patterns of Chinese Beech (*Fagus L.*) species in relation to topography. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(7): 766-774.]
- [13] Schickhoff U. The upper timberline in the Himalayas, Hindu Kush and Karakorum: a review of geographical and ecological aspects. In: Broll G and Keplin B. (ed.), *Mountain Ecosystems Studies in Treeline Ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, 275-354.
- [14] 姚永慧, 张百平, 韩芳, 等. 基于 Modis 地表温度的横断山区气温估算及其时空规律分析. *地理学报*, 2011, 66(7): 917-927. [Yao Yonghui, Zhang Baiping, Han Fang et al. Modis-based air temperature estimation in the Hengduan Mountain and its spatio-temporal analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 917-927.]
- [15] 韩芳, 张百平, 谭靖, 等. 山体基面高度对欧亚大陆东南部林线分布的影响: 山体效应定量研究. *地理学报*, 2010, 65(7): 781-788. [Han Fang, Zhang Baiping, Tan Jing et al. The effect of mountain base elevation on the altitude of timberline in the southeastern Eurasia: A study on the quantification of mass elevation effect. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(7): 781-788.]
- [16] Han Fang, Zhang Baiping, Yao Yonghui, et al. Mass Elevation Effect and Its Contribution to the Altitude of Snowline in the Tibetan Plateau and Surrounding Areas. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2011, 43(2): 207-212.
- [17] Han Fang, Yao Yonghui, Dai Shibao, et al. Mass elevation effect and its forcing on timberline altitude. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(4): 609-616.
- [18] 张朔, 姚永慧, 庞宇, 等. 山体基面高度的提取方法: 以台湾岛为例. *地球信息学报*, 2012, 14(5): 1-7. [Zhang Shuo, Yao Yonghui, Pang Yu et al. Mountain Basal Elevation Extraction in the Taiwan Island. *Journal of Geo-Information Science*, 2012, 14(5): 562-568.]
- [19] Shreve F. Conditions Indirectly Affecting Vertical Distribution on Desert Mountain. *Ecology*, 1922, 3(4): 269-274.
- [20] 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. [Zhang Baiping, Zhou Chenghu, Chen Shupeng. The Geo-info-spectrum of mountain altitudinal belts in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 163-171.]
- [21] 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. [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.]
- [22] 张百平, 许娟, 武红智, 等. 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. [Zhang Baiping, Xu Juan, Wu Hongzhi et al. Digital integration and pattern analysis of mountain altitudinal belts in China. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 144-149.]
- [23] 张百平. 数字山地垂直带谱研究进展. *山地学报*, 2008, 26(1): 12-14. [Zhang Baiping. Progress in the study on digital mountain altitudinal belts. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(1): 12-14.]
- [24] 张百平, 谭娅, 武红智, 等. 中国山地垂直带信息系统的设计与开发. *地球信息科学*, 2005, 7(1): 20-24. [Zhang Baiping, Tan Ya, Wu Hongzhi et al. Design and development of mountain altitudinal belts information system. *Geo-information Science*, 2005, 7(1): 20-24.]
- [25] 张百平, 姚永慧, 莫申国, 等. 数字山地垂直带谱及其体系的探索. *山地学报*, 2002, 20(6): 660-665. [Zhang Baiping, Yao Yonghui, Mo Shenguo et al. Digital spectra of altitudinal belts and their hierarchical system. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 660-665.]
- [26] Shi, Yafeng, Zheng Benxing, Li Shijie. Last glaciation and maximum glaciation in the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau:

A controversy to M. Kuhle's ice sheet hypothesis. *Chinese Geographical Science*, 1992, 2(4): 293-311.

- [27] Ohsawa M. An interpretation of latitude patterns of forest limits in South and East Asia mountains. *Journal of Ecology*, 1990, 78(2): 326-339.
- [28] 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. [Fang Jingyun. Three-Dimension distribution of forest zones in East Asia. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(2): 160-167.]
- [29] 许娟, 张百平, 朱运海, 等. 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. [Xu Juan, Zhang Baiping, Zhu Yunhai et al. Distribution and geographical analysis of altitudinal belts in the Altun-Qilian Mountains. *Geographical Research*, 2006, 25(6): 977-985.]

## The effect of mountain basal elevation on the distribution of snowline with different mountain basal elevations in Tibetan Plateau and its surrounding areas

HAN Fang<sup>1</sup>, ZHANG Baiping<sup>2</sup>, TAN Jing<sup>3</sup>, ZHOU Liangguang<sup>4</sup>,  
LI Weitao<sup>4</sup>, LIU Minshi<sup>4</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China;

2. State Key Laboratory of Resource and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Beijing Oriental TITAN Technology Co., Ltd, Beijing 100083, China;

4. Geographic Information and Tourism College, Chuzhou University, Chuzhou 239000, Anhui, China)

**Abstract:** Mountain elevation effect (MEE) is a major factor responsible for the spatial pattern of mountain altitudinal belts. Mountain basal elevation (MBE) was thought to be the most important factor of MEE. And it almost can be regarded as MEE itself. In Tibetan Plateau and its surrounding areas, the contours of snowline present an approximation of rings, a large degree change from its basic distribution pattern with latitude. It was thought to have a close relationship with MEE and MBE. In order to quantitative analyze the Influence of MBE to snowline, we compiled 142 snowline descriptions from literatures covering the Tibetan Plateau and its surrounding areas. Snowline elevation was related to longitude, latitude and MBE, to construct a multivariate linear regression equation. And then, the standard regression coefficient and relative contribution of each influencing factors were counted out, so as to compare the influence of three factors. Afterwards, we divided all samples into 5 subsets according to their MBE (0-1000 m, 1001-2000 m, 2001-3000 m, 3001~4000 m, 4001-5000 m), for the purpose of analyzing the effect of MBE to the snowlines. The results turned out that, (1) to the whole research area, the relative contribution of latitude, longitude and MBE to snowline distribution reach to 30.60% , 26.53% , and 42.87% , respectively; (2) as the uplift of MBE and the reduction of research scale, the determination coefficient ( $R^2$ ) of each subset model diminishes and retains a high domain (0.668-0.895), which illustrates the significant and scientificity of the model clearly; (3) the relative contribution of latitude decreases linearly with the increase of MBE (92.6%-48.99% ,  $R^2=0.855$ ), while the effect of MBE increases obviously with its uplift (3.33%-31.76% ,  $R^2=0.582$ ), the higher the MBE, the more significant influence to snowline.

**Key words:** mass elevation effect; mountain basal elevation; snowline; spatial distribution; relative contribution; Tibetan Plateau