

资源与环境信息系统国家重点实验室
国家自然科学基金项目 (41030528)



山体效应研究

STUDIES ON MASS ELEVATION EFFECT

张百平 姚永慧 等著

中国环境出版社

国家自然科学基金重点项目 (41030528)

资源与环境信息系统国家重点实验室

山体效应研究

Studies on Mass Elevation Effect

张百平 姚永慧 等著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

山体效应研究/张百平等著. —北京: 中国环境出版社,
2015.5

ISBN 978-7-5111-2377-0

I. ①山… II. ①张… III. ①山地—垂直地带性—
研究— IV. ①P941.76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 085872 号

出版人 王新程
责任编辑 陈金华 董蓓蓓
责任校对 尹 芳
封面设计 陈 莹

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (教材图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 9 月第 1 版
印 次 2015 年 9 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 16.25 彩插 16
字 数 420 千字
定 价 65.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

山地高原是复杂的地理系统,从资源、环境和灾害角度看,它与人类活动有密切的关系,是地理学的重要研究领域。山地通常指隆起和切割的高地,广义的山地还包括高原,指面积较大、顶面起伏较小、外围较陡的高地。山地高原研究对地理学的发展有巨大的推动作用,近代地理学的奠基人洪堡对南美安第斯山脉的科学考察揭示了许多自然现象,阐明了基本的地理规律。20世纪中叶德国地理学家特罗尔(C.Troll)对全球山地做了广泛的对比研究,在山地自然地理研究中提出三维地带性的概念。三维地带性是大尺度地域分异的基本规律,决定温度、水分状况的地域组合,形成地表自然景观的区域分异。通常认为,垂直地带性受水平地带性的制约,而在山地高原区域,垂直地带性和水平地带性是紧密结合、相互联系、共同制约的。

依托青藏高原多年综合科学考察的研究成果,我们根据各山系垂直自然带的基带、带谱结构、优势垂直带以及温度水分条件特点,按照垂直带结构类型的性质加以归纳整理,构建了青藏高原垂直自然带结构类型的分布模式。分布模式图表明,青藏高原上大陆性和季风性两类垂直自然带谱对比鲜明。垂直自然带各分带的界线,特别是森林上限和雪线,大体上都呈现从边缘向高原腹地递升的趋势,反映出高原巨大的热力作用和山体效应。

1987—1992年,张百平是“喀喇昆仑山—昆仑山地区综合科学考察”项目自然地理组的成员,从那时开始他就一直专注于山地高原的自然地理研究。十多年来,他领导的团队开展山地垂直带信息图谱的探讨与研究,继而对山体效应(Massenerhebungseffekt)及其对山地垂直带林线和雪线的影响开展深入探索和研究。他们经过多年努力,研读大量参考文献,收集全球众多山地高原有关林线、雪线和气象台站的数据,进行分析和研究,完成了《山体效应研究》一书。

该专著从山体效应的基本概念入手,指出其本质是山体的热力效应所产生的同海拔山体内部温度比外部高的温度空间格局;强调山体效应研究的地理学意义,如揭示非地带性因素作用的突破口,提升垂直地带性研究的关键内容等。专著阐述了山体效应对全球、区域和山系尺度林线和雪线分布高度的影响;研究分析了山体基面高度的作用和意义,指出应将山体基面高度作为衡量山体效应的基础;提出山体基面高度数字识别方法;分析了山体基面高度对山体效应和林线上限高度分布的影响。

本书论述了青藏高原山体的加热效应和减湿效应及其影响;安第斯山脉中段的山体效应及其影响;阐述了山体效应的间接定量化研究;构建了欧亚大陆林线、雪线的理想高度模型并分析了其与实际分布高度的差异。专章分析了山体效应的影响因素及数字模拟,并构建了青藏高原及几大山系的山体效应模型。在阐述全球林线传统地理模型和生态模型,分析它们存在的主要问题基础上,构建了纳入山体效应的区域尺度的雪线模型和全球尺度的林线模型。

本书从区域尺度和全球尺度对山体效应做了比较全面、深入的分析 and 研究,进行了数字模拟并构建了不同尺度的林线模型和雪线模型。在此我向张百平研究员及其团队表示祝贺,我相信并希望这本专著的出版,能够推动山地高原关键科学问题的深化研究,揭示山地高原地域分异的基本规律,推动山地科学的发展。

中国科学院院士

郑波

2015年1月22日

前 言

1977—1978 年读初中、高中的学生估计不少都会被徐迟的报告文学《哥德巴赫猜想》所感染，因此而立志于攀登科学高峰的可能不在少数。但是多年来，估计人们绝大部分时间都是在学习和应付各类繁琐事物。真正走入科学殿堂的肯定是少之又少。即使是进入高校和研究单位的人，也只能成为普通的科学工作者。能够找到或发现有意义的科学问题，并能进行有益探索取得突破的人那就更少了。

在 1985 年年底进入中国科学院地理研究所以来的 30 年时间里，我大部分时间是默默学习、野外考察和模仿。地理科学总体上是平淡的科学，鲜有重大的科学问题需要去突破。地理学又是看起来很简单的科学，其实要写出好文章却很难。过了 40 岁之后，才有了“研究”的感觉。而真正进入研究状态的，就是山体效应（Massenerhebungseffekt）概念的再发现。

世界山地发育了万花筒般的植被垂直带谱。全球基本垂直带类型很有限，全球大概在 88 个左右。但是它们的组合是无限的！由于各种尺度因素的综合作用，垂直带的成分、高度、厚度以及组合形式在不同地区发生了极为复杂的变化，以至于没有两处的带谱是一样的。这种变化主要地反映了非地带性因素的重要作用。但如何定量地揭示非地带性因素的作用，一直是一个特别具有挑战的基础自然地理学问题。尤其在利用经纬度拟合林线、雪线及其他垂直带界线的过程中，拟合线与实际分布高度的巨大误差成为挥之不去的胸中块垒，特别是北纬 30°附近和南纬 20°附近极高海拔的林线和雪线，使得任何拟合都失去效力。教课书里一直用“副热带高压产生的高温”来解释这些高值点，总感觉不能令人满意。对此我一直耿耿于怀。这种情形迫使我坚信，一定还有一种我们不太清楚的因子在影响垂直带界线的高度。在苦苦思索和寻求的过程中，偶尔看到有关阿尔卑斯山的林线分布的一种解释，将山体内部林线高于外部林线的

原因归结于“山体效应”的作用。这一认识,对于苦苦寻求科学解答的我来说,实在是一大喜!随即就有柳暗花明、云开日出的感觉。其实,山体效应这个词,在郑度先生关于青藏高原垂直分布模式的文章里早就提到过。但一直没有把它当做一种垂直带分布的因子来考虑,而是仅仅作为一种现象来对待。直到思考世界范围内垂直带分布机理时,才开始把山体效应作为一种影响因子来考虑,这在认识上是一种飞跃和升华。可见,我们在路上碰到的只是风景,只有在人们面临具体困惑而有目标地进行苦苦思索的时候,风景才会变成思想。

接着我们开始查阅山体效应一词的来历和研究的过程。韩芳同学帮助收集和阅读了大量文献,初步厘清了山体效应研究的脉络。过去的学者认为山体效应的大小与山体的总体高度、面积大小、起始海拔有关。我们在探讨山体效应的大小及影响因素的时候,特别注意到喜马拉雅南坡、非洲赤道附近乞力马扎罗山林线分布相对较低(只有3500m左右)的现象,这启发了我们思考什么才是山体效应的主要影响因子。那里的山体很高但基底海拔都不高。这项发现使我们排除了山峰高度是影响山体效应大小的假象。我们幸运地找到了“基面高度”这个至关重要的要素,进而提出了“基面高度是山体效应的第一因子”的假说。但具体的量化工作就面临诸多的问题:怎样定义山体效应?怎样量化它?量化单位是什么?其大小的主要影响因素是什么?山体效应与基面高度到底存在怎样的内在联系?它对山地垂直带高度界线到底有怎样的影响?这些都是未知的而需要逐步探索的问题。但这些问题本身都很令人兴奋!因为这么多年来,这是第一次有了探索问题、寻求科学突破的感觉。此刻也有了着力点。作为地理学者,能发现一个真正有意义的问题并进行研究去解决它,已经是非常幸运的事了。关于山体效应未知的东西太多,而其影响又很巨大,进行这样的探索研究,确实有种攀登科学高峰的感觉。尽管这个山峰可能不算太高,也可能只是丘陵。但是,探索和发现的本身已经很使人享受!

对于山体效应的量化,我们先用基面高度来表示,把山体效应(实为基面高度)纳入半球和全球尺度林线高度分布模型的时候,模型的解释能力有了惊人的提高,超过90%,而且其贡献率居高不下,在多数情况下超过纬度的作用,成为第一影响要素。这说明了什么?对于全球林线高度分布来说,非地带性因

素的作用不亚于甚至超越地带性因素。所谓的“非地带性从属于地带性”的传统桎梏，似乎可以打破和甩掉了！

当然用基面高度表示山体效应似乎过于简单了。将山体内外某一高度上的温差定义为山体效应，是我们重点考虑的量化途径之一。但分析表明该温差的大小又与纬度、降水（或降水大陆度）有关。换言之，山体效应的大小又不仅仅取决于山体本身。山体的存在，影响到大气和区域环流，既而会影响区域气候，特别是降水格局；而干湿状况又会影响到温度情况。而且在同样的高度上，纬度不同，山体内外温差也不一样。另外，特别重要的是，自大陆边缘向大陆内部，也存在着逐步变干和垂直带界线上升的趋势。这与山体效应的作用相似，两者在不同尺度上叠加在一起了。在一些地方，难以区分到底是哪种因素在起作用。这样问题就复杂了：山体效应不是孤立的。其复杂程度远远超出我们的预想。但是，这样的探索特别具有地理学研究的感觉！

在缔造山体效应指数之前，我们探索了山体效应的间接定量化。就是首先建立没有山体效应影响下的所谓理想的林线、雪线分布高度模式；然后用实际的分布高度减去理想高度，得出点上的山体效应值。这个研究步骤使我们对山体效应的量值有了一个比较直观和具体的认识，是我们进行山体效应数字模拟的重要一环。它可以和直接定量化结果进行印证和对比。

山体效应的数字模拟，其影响因素经过反复筛选，最后就剩下了基面高度、降水大陆度和纬度3个要素。在青藏高原、阿尔卑斯山、安第斯山、落基山、斯堪的纳维亚和新西兰的研究结果，都表明了“基面高度是山体效应第一因子”这个假说的积极含义。仅这一点就足以使人感到分外惊喜和欣慰！

现在看来，衡量山体效应大小的指标有若干个：基面高度（m）、山体内外温差（ $^{\circ}\text{C}$ ）以及与温差对应的山体内外垂直带界线的高差（m）。基面高度是最为稳定而明确的指标，虽然过于简单，实际上很有效；山体内外温差似乎更科学一些，但影响温差的要素很多，计算的误差也不容忽视；垂直带界线的山体内外高度差，是理论上的高度差，与实际情况肯定有出入，而且对于不同类型的垂直带界线，其意义是不同的。

将山体效应的定量化研究立为重点项目，无疑是国家自然科学基金委员会

地学部当年重点项目评审委员会最为正确的决定之一。因为非地带性因素的作用一直是自然地理研究中的难点，过去都是定性分析。非地带性因素及其作用在传统地理学时代，由于缺乏地面连续的数据和分析手段，难以进行有效的处理。山体效应的深入研究很可能就是非地带性因素研究的突破口，其量化的解决无疑会极大地推动非地带性问题的解决，促进整个地理科学的发展。当代全球覆盖的 DEM 数据和遥感气候数据，为山体效应的研究提供了绝对必要的基础资料。所以，能够进行山体效应量化的研究是时代的产物。因而我们特别感谢这个时代——伟大的“数字地球”时代。当然，山体效应的研究并未结束，如果说是开始可能更为恰当。因为重量级的论文还没有产生，亟待我们去努力并尽快完成。我们坚信山体效应研究的意义和影响将会是非常深远的，有待于我们进一步开拓和创新。

攻克山体效应的定量化，是一个团队的工作。研究生们都经历了对山体效应概念的初步了解、逐步认识、加深理解等过程。如何能理解这样一个既老又新的概念体系，对于研究生们来说，真的是一项重大挑战。因为可参考的东西实在是太少了；很多东西都需要在工作过程中逐步认识。而大部分学生又缺乏自然地理学背景，结果就出现了认识上的参差不齐，工作上的快慢有别。在某种程度上讲，有点难为他们了。但是，这又是对他们的最好的磨练。赵芳（第2章、第7章）、张朔（第3章）、姚永慧（第4章）、贺文慧（第5章）、齐文文（第6章）、王婧（第9章）都对本书的完成作出了贡献。文稿的写作都与她（他）们的博士论文有紧密关系，或者说就是论文的一部分。我坚信这一段艰苦的学习和探索，一定会给他们留下难以忘怀的美好回忆；当然更希望这段工作能够明显提高他们的综合素质，有助于他们在今后的工作中有能力迎接一个接一个的挑战，去开创未来美好的生活。

张百平

2014年12月

目 录

第 1 章 山体效应的概念与意义	1
1.1 与山地有关的传统生物气候模型	1
1.2 山体效应的概念	3
1.3 山体效应的地理学意义	5
1.4 山体效应研究面临的挑战	7
第 2 章 山体效应对林线、雪线高度分布的影响	9
2.1 山体效应对林线高度分布的影响	9
2.2 山体效应对雪线高度分布的影响	20
2.3 山体效应与极高海拔雪线 (6 000 m 以上) 和林线 (4 500 m 以上)	27
第 3 章 山体基面高度及其识别	33
3.1 山体基面高度的概念	33
3.2 山体基面高度的作用与意义	35
3.3 山体基面高度的数字识别方法	37
3.4 山体基面高度对山体效应、林线上限高度分布的影响	48
第 4 章 青藏高原的山体效应	63
4.1 高原加热机理分析	63
4.2 高原加热效应的估算	64
4.3 高原加热的规律	76
4.4 高原加热对垂直带界线的影响	82
第 5 章 安第斯山脉中段的山体效应	89
5.1 安第斯山脉中段自然地理概况	89
5.2 安第斯山脉中段内外温度差异	93
5.3 安第斯山脉中段山体效应对林线的影响	100
第 6 章 青藏高原的减湿效应	105
6.1 青藏高原的干湿格局	105
6.2 高原降水格局的影响因素分析	121
6.3 高原干湿度与林线、雪线高度的关系	125

第 7 章 山体效应的间接量化研究 135

7.1 山体效应间接量化方法及数据准备 135

7.2 林线、雪线理想高度模型 139

7.3 欧亚大陆林线、雪线的实际—理想高度分布的差异 156

7.4 基于垂直带高差的山体效应半量化 159

第 8 章 山体效应的影响因素及数字模拟 162

8.1 山体效应的影响因素 162

8.2 山体效应指数及研究方案 164

8.3 山体效应指数的初步计算 165

8.4 山体效应的数字模拟 183

第 9 章 基于山体效应的全球林线分布模式 186

9.1 全球林线的传统地理模型 186

9.2 全球林线的传统生态模型 196

9.3 全球林线模型的主要问题 211

9.4 纳入山体效应的全球林线模型 214

参考文献 226

第1章 山体效应的概念与意义

山地的存在使这个世界变得无比精彩。它占到世界陆地面积的 20%，拥有至少 1/3 的陆地植物种，是生物多样性最丰富的地区；为全球一半人口提供水资源；是人类获取森林资源、矿产资源的主要地区。所以，山地对于人类的意义，无论如何强调都不过分。它更给我们带来了很多科学问题，来挑战我们的智慧，促进人类知识的增长和积累。为什么气候变暖，山地垂直带谱的各带上下界线不会平行抬升？这个看起来十分简单的问题其实相当复杂。只有对山地环境结构有充分的认识，才可能探究这样极为复杂的科学问题。一般来说，对于研究对象或现象的空间规律表现不足，就会影响到对它的正确解释或机理认识。广义来讲，地球表面的气候、生物甚至整个自然地理综合体都表现出三维地带性变化，即纬度地带性、经度地带性和垂直地带性。但实际上，山地气候与生物的空间变化要复杂得多，其影响要素之多、之复杂远远超出我们的想象。虽然人们在不同阶段揭示了一些与山地作用有关的宏观地理—生态规律，为我们了解大自然的神奇不断提供新的科学基础，但是一些隐隐约约认识到的、而实际上又极其重要的现象/机理更需要我们去挖掘和研究。

1.1 与山地有关的传统生物气候模型

1.1.1 垂直地带性

山地气候、山地植被和山地土壤在山区都表现出有规律的垂直变化。气温垂直递减率（平均为 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ）是垂直地带性变化的基本控制因素。这样的变化梯度是水平方向上的 1 000 倍。也就是说，垂直方向上 1 km 的变化相当于水平方向上 1 000 km 的内容，展现了“方寸之间显大千世界”的神奇。但山地的复杂性和多样性远非如此。 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 是一个平均值，不同山区、不同地段气温垂直递减率可以有不同的表现，变动范围大致在 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。不同的坡向，由于日照强度的不同，气候和植被都表现出有规律的变化；迎风坡和背风坡，又表现出干湿的不同；不同的坡度，土壤和植被的发育会有所差异。还有一些变化，需要经过对比和分析才能显现出来。山地植被垂直带谱最能清楚地反映垂直地带性。喜马拉雅山东端南迦巴瓦峰就发育有 9 个垂直带。相同的垂直带在不同纬度会出现在不同高度，呈现自高纬向低纬增高的趋势。在相同纬度上也表现出巨大的高度差异，如从大陆边缘向大陆内部逐步增高。更为极端的是从山系边缘向内部会呈现阶梯状增高。例如，昆仑山的山地荒漠带自北坡的 2 000 m 增高到内部的 4 000 m 以上。也就是说，山地垂直带的分布与机理非常复杂，绝非简单的垂直递减率可以解释的。它们肯定包含了更为复杂的与山地有关的热量水分条件的作用及效应。

1.1.2 霍普金斯生物气候定律

霍普金斯 (Hopkins, 1920) 认为, 植物的阶段发育是受当地气候影响的, 而气候又制约于该地区所在的纬度、海陆关系与地形等因素; 换句话说, 就是制约于纬度、经度和高度这 3 个因素。他发现, 假如其他因素不变动, 在北美洲温带内, 每向北移动纬度 1° , 或是向东移动经度 5° , 或是上升 400 ft (122 m), 植物的阶段发育在春天和初夏将各延期 4 天, 在晚夏和秋天则各提前 4 天, 等等。虽然该定律是极端概括的, 具有地理方面的限制, 难以用于任何季节的单个植物种, 但它揭示了生物气候纬向变化、经向变化和高度变化的基本关系, 也是垂直地带性与水平地带性的关系的区域表现。

1.1.3 Rapoport 法则

动物、植物种的纬向分布宽度从高纬度地区向低纬度地区呈现逐渐变窄的趋势 (Rapoport, 1982)。Stevens (1992, 1996) 将这个法则扩展到海拔和海洋深度梯度上, 认为物种分布的海拔越高, 其分布区的平均海拔宽度越大; 在同一纬度的海洋中, 物种分布的深度幅度也随海洋深度而增大。由此, Stevens (1996) 给出一个 Rapoport 法则的广义定义, 即沿某个生物地理梯度 (包括纬度、海拔、海洋深度等), 某一特定地点上的生物类群单元 (如科、属、种、亚种等) 的平均分布宽度与该类群单元在此梯度上的相对位置存在相关关系。一些研究试图将一维的格局扩展到二维, 即用分布区的地理范围替代纬度范围, 但发现经度方向往往不存在与纬度类似的环境梯度, 因此一维和二维分析的结果并不显著相关, 并且具有显著不同的变异规律。

1.1.4 山顶效应 (Gipfel phänomen)

在孤立的山顶, 由于大风、土质贫瘠、坡陡等因素, 本来应该发育森林的地方, 多呈现出灌丛或草甸景观。使得森林只能分布到离山顶一定距离的高度上。造成孤立山峰垂直带界线降低的现象 (Scharfetter, 1938)。Köner (2012, p.23) 将其称为山顶综合症 “Summit syndrome”。其结果往往造成假林线, 容易使人觉得林线分布得很低。通常如果林线位置与山顶高度之间的高差小于 200 m, 那么这样的林线就不是真正的气候林线。我们在选取林线高度数据、分析林线分布规律和探寻机理的时候, 特别要注意山顶效应的“负面”影响。

1.1.5 山地植物 1 000 m 垂直幅度假说

在研究植物垂直分布范围时, 人们发现很多树种都有一个以年均温计算的生态幅度 (Ecological amplitude), 大约 6°C , 也即垂直分布范围一般都不超过 1 000 m。尽管有一些例外, 但很多树种都具有这样的生态特点。例如, 在新几内亚, 低地树种在海拔 1 000 m 左右被热带栎 (*Lithocarpus* spp. and *Castanopsis* spp.) 所替代, 在 2 000 m 左右又被热带山毛榉 (*Nothofagus* sect. *brassospora* spp.) 替代, 后者向上延伸到海拔 2 800 m 左右 (Flenley, 2007)。在美国亚利桑那州的 Santa Catalina 山南翼阳坡, 主要植物种, 如 Mexican pinyon (墨西哥食松 *Pinus cembroides*) 1 450~2 350 m, yellow pine 1 800~2 800 m, netleaf oak 1 700~2 700 m, silver leaf oak 1 750~2 600 m (Lowe, 1961), 都是大约 1 000 m 的垂直

生态幅度。尽管不同物种会有一定的差异,但是这种植物分布的垂直幅度概念,为我们研究山地垂直带谱提供了极为重要的空间框架。

1.1.6 山地垂直带内部结构理论

山地某一垂直带或物种,在一定垂直海拔范围内的存在,绝不意味着上限与下限之间的整个垂直带在性质上完全一样。在20世纪60年代,在热带山地,科学家发现了垂直带内部的差异(Van Steenis, 1961),我们可以将其称为“垂直带内部结构理论”。其含义是:某一山地物种在山地的出现,山地必须达到一定的高度。在这个高度附近就是该物种的“常态建群”(zone of permanent establishment),其上则是“上部潜在临时生境带”(upper zone of potential temporary localities),以下则是“下部潜在临时生境带”(lower potential temporary localities)。而且我们大致可以计算出各个分带的垂直厚度比例。常态建群带只占40%左右,上部潜在临时生境带大约占10%,下部潜在临时生境带占到50%。这应该是首次揭示了山地垂直带内部结构。使我们对山地垂直带的认识前进了一大步。例如,假若垂直带的幅度是1000 m,那么常态建群带就是大约400 m。其实我们可以用更加明了的语言表示这样的内部结构,即“核心带”“上部延伸带”和“下部延伸带”。但是各分带具体的属性一直没有很好的研究,为地理学、生态学留下了很多进步的空间。

1.2 山体效应的概念

1.2.1 山体效应的基本概念

山体效应(Massenerhebungseffekt)是德国学者 De Quervain (1904)在阿尔卑斯山观察到的与温度相关的垂直带界线(如林线和雪线)自山体外侧到内部逐步升高的趋势。英文名称是“Mass elevation effect”(MEE)或“Mountain-mass effect”。其本质是山体的热效应所产生的同海拔上山体内部温度比外部高的温度空间格局。我们可以用图来进一步说明。图1-1中的 a 点是山体外侧的起始高度, b 点是山体内侧的基面高度(称为山内基面高度), c 点位于 a 点上方,与山内 b 点在同一高度上。根据地球与太阳的关系, a 、 b 两点的太阳辐射量应该是接近的,受热程度相近, b 点以上的大气层更薄,因而太阳辐射应该更强一些。由于这种关系, b 点的温度比 c 点的温度要高。山体效应的含义就是两点之间的温度差,即 $MEE_T = T_b - T_c$ 。由于山内温度较高,相应地同种山地植被带界线(如林线),在山内就要比在山外分布得要高。那么山体效应就有另外一种表达式: $MEE_H = H_d - H_e$ 。所以,山体效应就有温度差和高度差两种表达方式。当然,这两者是有内在联系的。理论上有多少温差,垂直带就应该有多少高差。但是由于地形、地面物质组成的影响,一般林线达不到理论高度。

图1-1是山体效应的基本概念模型。它的大小还会受到多种要素的影响,如山内盆地(或谷地)底部的海拔高度、整个盆地(谷地)的开阔程度、地表覆被类型等。世界各地山体效应的表现是非常普遍和突出的。例如,林线在阿尔卑斯山,内部比外部高出400 m,在比利牛斯山内外相差900 m,在玻利维亚西部干旱高地,比湿润、较低的东科迪勒拉高出1000 m(Kessler, 1995)。毫无疑问,山体效应是塑造全球立体生态格局的重要力量。

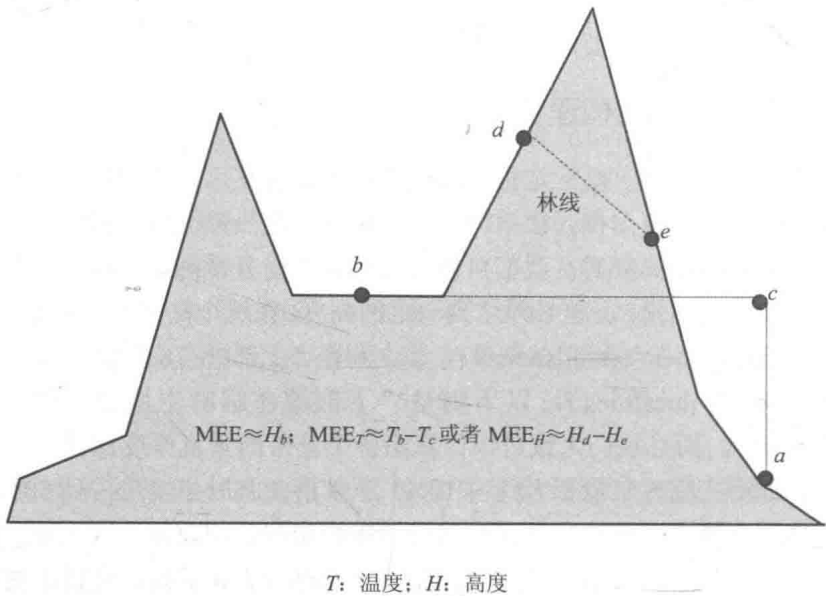


图 1-1 山体效应（MEE）的概念模型

山体效应其实有一种特别简单的形式，就是 b 点的高度，或者说山内盆地底部的平均高度。它是山体内部山体的起始高度，我们将其称为“山内基面高度”。它应该是影响山体效应大小的重要因子。因为，山体无论多高，如果没有山内盆地或谷地的存在，只是一个孤立的山峰，坡面加热后热量会很快与自由大气进行交换，不太可能产生与同海拔自由大气之间的较大温差。在很大程度上， b 点的高度可以代表山体效应。

1.2.2 山体效应的其他概念

由于山体的存在而产生的生物气候变异还有其他形式的表现。在以往文献中也称为山体效应。例如，热带山地多为火山锥，缺乏宽广的山体。湿润的热带山区，可以识别出 3 种雨林：低地雨林、山地下部雨林和山地上部雨林（Grubb, 1971）。人们发现，在矮小孤立的山峰及大山系的外侧，低地雨林的上限为 700~900 m，山地下部雨林的上限为 1 200~1 600 m；而在大山系的主脊线上，两者分别达 1 200~1 500 m 和 1 800~2 300 m。这种差异就是热带山体效应的一种表现。3 种植物的分布，越往上雾越多（山地下部雨林 frequent fog；山地上部雨林 very frequent and more persistent fog）。温度、光密度、土壤透气性甚至泥炭和潜育化都不足以影响这个界线。这种雾与植被带界线的联系是通过营养成分的变化而建立起来的。另外，人们早就观测到有些山地的高度高于某一植物的分布底限，但却没有该种植物的分布。多个案例的出现，表明了这样一种规律：某一植物在山地的分布，必须达到一定的高度。Van Steenis（1961）将某一物种出现的最低山峰高度与它实际分布的低限之差为山体效应（表 1-1）。在北美，出现了与山体效应相反的现象，将其称为“Merriam effect”。其具体表现是植被带在更高更大的山地上反而更低（Merriam, 1890）。该现象如果从山地垂直带内部结构理论来分析，实际上并不难理解。原因就是低山的山顶没有达到其上一个垂直带常态发育的高度。另外，Flenley（2007）展示了矮林自大陆边缘向内部随着山地的增高而分布增高的山体效应模式。这其实是叠加了大陆度影响的山体效

应的综合表现。

表 1-1 印度尼西亚爪哇岛植物分布高度及山体效应

物种名称	垂直范围/m	山峰最低高度/m	山体效应/m
<i>Albizzia lophantha</i> Bth. (合欢)	1 100~3 100	2 500	1 400
<i>Anemone sumatrana</i> De Vriese (银莲花)	1 050~2 800	2 350	1 300
<i>Myrica javanica</i> Bl. (杨梅)	1 000~3 300	2 100	1 100
<i>Ranunculus blumei</i> Steud 毛茛属植物	1 000~3 300	2 050	1 050
<i>Lonicera javanica</i> (Bl.) DC 忍冬; 金银花	1 000~2 000	2 000	1 000
<i>Thalictrum javanicum</i> Bl. (爪哇唐松草)	1 800~3 300	2 550	750
<i>Ranunculus javanicus</i> Reinw 毛茛属植物	1 700~3 000	2 400	700
<i>Primula prolifera</i> Wall. 报春花	2 040~3 250	2 600	560
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. 忍冬; 金银花	1 600~3 300	2 200	600

资料来源: Van Steenis, 1961。

1.3 山体效应的地理学意义

众所周知,地域分异、自然区划、土地类型是传统自然地理学的三大支柱。它们都涉及影响地表地理与生态格局的地带性和非地带性因素。在以往的知识体系里,我们对水平地带性有了较多的研究和认识,对于非地带性因素的作用,在很多情况下无从下手,总感觉没有规律可循。因而对于非地带性的作用与影响始终处于“混沌”状态。正是对于非地带性的把握不准,才给人“非地带性从属于地带性、垂直地带性从属于水平地带性”的印象。其实,大、小山体通过水热条件的再分配甚至巨大的热动力作用,干扰和扭曲了地带性要素的作用和外在表现,形成了高度异质性的地球表面的地理生态格局。其影响的深度和广度可能长期被低估了。换言之,山地的存在打破了地球表面水热条件的水平地带性规则分布,使非地带性的作用与地带性作用并驾齐驱,在某些地方甚至超越了水平地带性因素的作用,使得全球生态格局呈现复杂的立体分布模式。

1.3.1 山体效应是揭示非地带性因素作用大小的突破口

在地理学中,与地带性因素比较起来,所谓的非地带性因素,实质上就是难以把握的因素。地带性因素及其变化,有规律可循,有方法来描述,有明确的机理可以进行科学解释。非地带性正好相反,没有规律,难以描述,无法解释。这是困扰地理学特别是自然地理学基础理论发展的主要障碍。这一障碍的产生有其历史原因,就是对于多变的地形要素及其产生的复杂效应过去没有数据和手段进行有效处理。在传统地理阶段,简直是无从下手。山体效应实际上就是地形效应的一种特殊形式。其不同大小、不同高度、不同结构甚至不同位置,都会有不同表现。但它与阴阳坡分异、迎风背风坡分异的情况完全不同。它在山体内部建立了新的热量体系,与外侧和外围地区有了较大差异同时也必定伴随水分条件的变化。因而它的量化研究,就会使我们对非地带性因素的研究产生质的飞跃。山体效应研究无疑执非地带性因素研究之牛耳,是自然地理研究中非地带性研究的重要

突破口。

1.3.2 山体效应是破解地表地理格局的关键因素

大山系、大高原的隆起在内部产生了独特的、有别于周围低地的气候条件和其他相关的地理要素，甚至形成自己的地带性。例如，青藏高原形成了所谓的“高原地带性”（张新时，1978）。人们也曾猜想，青藏高原的存在造就了高原本身及整个欧亚大陆同心圆状的气候植被格局。对于中国林线与雪线的分布格局的数学模拟（蒋忠信，1982，1984，1990），也对这样的猜想提供了一定的佐证。高原的林线、雪线分布图（廖克，1990）也呈现出同心圆的分布结构。但是，这些仅仅是粗略的表象，还无法对其进行科学解释。在全球垂直带谱的纬向分布模式中，北纬 30°附近和南纬 20°附近的超高林线和雪线，应该给人极其深刻的印象。它们是如何产生的？过去的说法就是由于副热带高压产生的晴朗天气和相对高温所致。现在来看，这实在是过于想象的产物。只要我们看看它们的具体分布位置，就知道它们都与极高的内部高原有密切的关系。对比喜马拉雅山南翼的林线位置（3 600~4 000 m），那里山体高大而又湿热，林线却比位置较北的高原内部地区的林线（4 600~4 800 m）要低得多。离赤道较近的非洲乞力马扎罗山，林线也只有 3 400 m 左右。这些案例清楚地告诉我们，林线最高点并未发育在最热的地方，而是发育在基底海拔最高的地方。这个推论有助于解释很多地理界线异常的现象，使我们对复杂地理格局的认识和解释获得实质性进步甚至突破。

1.3.3 山体效应是提升垂直地带性研究的关键内容

山地垂直带是世界上地带性自然景观最集中的表现，它浓缩了千倍于垂直方向上的水平距离的内容。而且山地垂直带形成的带谱在世界各地形成了极为复杂的类型和界线高度的变化。甚至可以说，世界上没有一个垂直带谱是相同的。带谱的形成，根据以往的理论，首先决定于基带的性质。而在大型山体内部，山体效应的结果是形成了新的温度条件，也就是形成了新的基带。那就必然会发育新的带谱类型。不仅如此，同类型的垂直带在山体的不同部分又表现出非常复杂的变化。而这一切都与山体效应有着紧密的联系。在很大程度上，真正破解垂直带谱结构和机理的关键之处很可能就在于山体效应的定量化。

1.3.4 研究山地环境演变必须考虑山体效应的作用

利用古植物化石群的分布高度是研究环境变化的重要方法。这在青藏高原环境演变中更具有非常重要的意义。当然利用古气候的重建推测古海拔，与现代化石点的海拔比较，进而推测青藏高原的抬升与隆起是一个十分复杂的问题（周浙昆，2007）。例如，青藏高原在中新世已经有了一定的高度，作为一个巨大的山体就会显现出山体效应，也就是说同种类型的植物垂直分布在青藏高原所能达到的高度要高于其他地区。对植物垂直分布的推测都是以植物在目前所能达到的垂直分布高度为基础的。如果考虑到山体效应，同样的植物在青藏高原能够达到的高度应该更高，而在东部山地实际上应该更低。此外，山体抬升、季风形成之后，还会造成季风过量降水和潜热效应。这些自然现象对植物水平分布和垂直分布都会产生一定影响。因而，必须考虑如何扣除山体效应以及季风过量降水和潜热效应对植物分布的影响，才能依靠植物化石更准确地推算出山体隆起幅度。