

山地垂直带谱研究评述

孙建^{1*}, 程根伟²

1. 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041

摘要: 山地垂直带谱研究是地学地域分异规律研究的重要内容之一, 垂直带谱受土壤、气候和生物条件的影响, 呈现不同的分布特征。在气候变化的影响下, 垂直带谱也发生着剧烈的变化, 并对气候变化起指示作用。本文通过梳理山地垂直带谱研究的主要历程, 就山地垂直带谱的成因和格局以及研究方法的革新进行了探讨, 并对我国的山地垂直带谱研究以及落基山脉和阿尔卑斯山脉等其他地域的研究状况进行综合论述。分析认为利用现有的观测数据, 如气象、生物、土壤和地形等方面资料, 研究山地垂直带谱的演替过程以及格局变化, 关注未来气候变化情景下垂直带谱对于生态安全和环境保护显得尤为重要。同时, 多学科的介绍和交叉知识的融合对山地垂直带谱研究有着重要的意义, 如研究带谱的形成, 需要对地质构造、气象成因、植物生理、土壤生态等各方面的知识, 在大尺度的研究中, 遥感技术以及计算机信息工程要纳入其中。目前山地垂直带谱的理论基础也无法满足科学研究的需求, 理论化研究需要进一步推进。综述期望为我国山地科学研究、综合地域分异、地理区划和环境变化研究提供一定的参考。

关键词: 垂直带谱; 气候变化; 研究进展

中图分类号: S716.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2014) 09-1544-07

引用格式: 孙建, 程根伟. 山地垂直带谱研究评述[J]. 生态环境学报, 2014, 23(9): 1544-1550.

SUN Jian, CHENG Genwei. Mountain Altitudinal Belt: A Review [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(9): 1544-1550.

山地达到一定高度, 自然地理环境各组分及其构成的自然综合体会随高度变化而出现分异的现象, 称之为高度地带性。随着山体高度的增加, 太阳辐射强度、气压以及水汽都会发生相应的改变, 形成垂直带最直接的原因是气温随高度增加而迅速降低。气候的垂直变化引起植被、土壤、动物群落、水文乃至地貌某些特征的相应变化。垂直带通常以各类植被和土壤为主要标志, 并结合水热条件和地貌等特点进行划分。垂直带的数量和顺序等结构型式, 称为垂直带谱。

地球表层环境系统是一个有机综合体, 在三维空间上表现出地域分异现象, 包括水平地带性(纬度地带性和干湿度分带性)和垂直地带性。作为山地特有的地域分异现象, 水平地带性在大尺度显域性地域表现明显, 垂直地带性分异则在中小尺度隐域性地域表现明显。山地垂直带谱几千米高差范围内浓缩了丰富的景观, 山地垂直带谱结构则是山地基本特征的直观反应, 山地垂直带谱研究是山地科学研究的基本方法和自然地域分异理论的重要研究内容和地学经典研究范式之一, 山地垂直带谱变化对生态环境变化具有重要的指示作用。本文通过梳理山地垂直带研究的主

要历程和地域研究特色, 为我国山地科学研究、综合地域分异、地理区划和生态环境变化研究提供一定的参考。

1 山地垂直带谱研究进展

1.1 山地垂直带谱研究历程

山地垂直带谱结构能反映山地的基本特征, 对它的分析研究是揭示山地环境结构的基本模型方法, 也是传统地学的经典范式之一(张百平等, 2003)。对山地垂直带的认识, 在我国最早见于战国时期(公元前 475—公元前 221 年)的《管子》关于华北山地植被垂直分布和阴阳坡差异的描述(张百平等, 2009), 国外可以追溯到 1717 年 Tournefort 文典中的描述(Clements, 1905)。真正步入山地垂直带谱的研究, 虽说有近百年的历史了, 但是对其的认知还是远远不足, 垂直带谱的研究相对其他自然地理学方面的研究, 差之甚远。综观国内外的研究情况, 大致可以分为两阶段:

第一阶段, 国际上, 19 世纪初期, 从 Humboldt 对美洲的热带雨林考察开始, 森林沿着环境梯度成地带性分布的美妙景观就令科学家们所着迷, 20 世纪的中叶, Cuatrecasas 对 Andean 森林垂直带谱的研究, 引起了众多学者对山地森林地带性

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31070405; 41001018); 中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室开放基金项目

作者简介: 孙建 (1980 年生), 助理研究员, 博士, 主要从事高原环境格局与生态过程, 以及植物行为生态学研究。E-mail: sunjian@igsnr.ac.cn

收稿日期: 2014-06-10

的分布方式以及成因的关注。张百平等(2003)综合文献论述认为 60 年代以来特别注重研究垂直带与水平地带的关系,概括出湿润森林地区和干旱草原荒漠地区 2 种垂直带区域变化模式,并确立了“垂直带结构的地带性原则”,即垂直带性从属于水平带性。20 世纪 70 年代由于地理学计量科学的发展,人们开始关注垂直带空间分布与水热条件之间的定量关系。在这一时期山地三维垂直带性研究取得了丰硕的成果,如侯学煜先生比较全面地勾画出中国山地植被的分布格局及生态法则,还强调植被三维地带的“相对性”,以避免人们把三维地带规律绝对化(侯学煜,1963)。这些理论的建立,使得国内垂直带谱研究逐步发展起来,林英等(1978)对江西怀玉山主峰森林植被垂直带谱的研究,董闻达等研究了江西天华山主峰的森林植被带谱(1987),其他如邵际兴(1988)、陈冬基(1992)、何忠俊(1993)、毕润成和闫桂琴(2000)分别对不同地域的山地森林垂直带谱的研究。而这一时期的研究主要集中在森林带谱的划分方式上,当然也涉及一些成因的研究,但并不全面。也有科学家基于森林垂直地带性分布对其他领域进行了研究,如 Muul 和 Lim (1970)研究了马来西亚热带雨林的垂直带谱中哺乳动物及其寄生物种的分布。这一论文的发表被视为山地垂直带谱研究方向多样化的开端。

第二个阶段,森林带谱研究在方向发生了深刻的转变。学者们不仅关注气候因子和土壤因子对生物分布方式的影响,如 Hamilton 和 Perrott (1981)为了对垂直带谱做全面的研究,利用航片和实地取样研究 Mt. Elgon 森林垂直带谱,并且对带谱的成因进行了分析,认为温度和植物竞争造成垂直梯度上的植被变化。植被特征,植物个体以及物种数方面也开展了相关研究,就强风作为自然干扰因子,对高海拔云杉森林生态系统的稳定性和演替进行了研究(Sprugel 等,1981)。基于垂直地带性分布的其他方向的研究,可谓百花齐放,百家争鸣,国内的研究方向多样性的转变也很快,开展广泛,包括垂直梯度上物种多样性特征(Hsieh 等,1998),景观多样性特征(沈泽昊等,2001)以及影响因素,如温度、水分、土壤质地和地形状况等,同时对海拔梯度方向上土壤有机碳分布(杜有新等,2011)、二氧化碳排放、叶功能性状以及土壤氮的矿化特征等进行了研究。空间信息技术也被广泛的应用于垂直带谱研究,利用 GIS 研究了罗马尼亚 1986—2002 的森林垂直带上植被覆盖变化状况(Mihai 等,2007),而 Zhang 等(2006)通过整合中国的山地数据,建立了山地垂直带谱数字系统。

综合这些研究,发现山地森林的垂直带谱研究发展相对滞后,尽管开展了很多相关研究,在这些研究内容中,有些报道没有把研究目标和垂直带谱本身的特征及成因有效的联系起来,Hamilton 和 Perrott (1981)认为研究垂直地带性,更为有趣的是关注垂直带谱本身。

1.2 山地垂直带谱的特征

由于不同地区的调控特性导致相应的植被变化模式并不相同。纬度、大陆、岛屿及广泛的大气环流模式的影响,不同山脉之间的环境因子海拔梯度上的变化以及干扰机制的变化,都会造成垂直带谱呈现不同的特征。垂直带谱的分布特征,是深入研究垂直带谱的核心和基础。针对山地森林带谱的分布特征主要存在两种观点(Sherman 等,2008),其一认为生物区系组成随海拔高度呈连续分布,与这一观点相关的理论是单元理论或者称之为个体理论以及群落连续体的概念,如 Whittaker(1967)和 McIntosh (1967)认为温带山地植被呈高斯随机连续分布,同样在热带山地森林也呈连续分布(Lovett,1996)。

另一观点认为山地森林由相对狭窄边界(关键海拔高度位)分割为带状,生物区系和群落结构随海拔并不成连续分布。支持这一观点的相关报道也很多,如 Hedberg (1951)把植被带分别划分为山地森林带,杜鹃带以及高山带三个植被子条带。Steenis(1984)研究发现在喜马拉雅山植物区系组成呈现明显的带状界限。毕润成和闫桂琴(2000)通过计算边缘效应和聚合分析的方法,分析山西霍山东、西两坡,确定其交错区。依据交错区及聚合分析结果,将霍山暖温带阔叶林植被定量划分为 5 个垂直带和 3 个亚带:农田灌丛带、低山针叶林带、典型阔叶林亚带、针阔叶混交林亚带、小叶林亚带、山地矮曲林带和亚高山草甸带。

山地森林垂直带谱特征研究的报道较多,如 Mueller-Dombois 和 Ellenberg (1974)研究了夏威夷火山,符国缓和冯绍信(1995)研究海南五指山森林的垂直分布特征,将五指山森林可划分为 3 个垂直带与 11 个植被群系,如热带雨林带,热带山地雨林带和中山矮曲林带等,并认为五指山森林垂直分布有 3 个特点:(1)乔木树种多样性随着海拔升高而递减;(2)温带树种的数量随着海拔升高而递增;(3)青梅天然分布的海拔高度为海南各林区之冠。Hamilton 和 Perrott (1981)研究 Mt. Elgon 森林垂直带谱,发现垂直方向上有两条带谱,一条的环境条件较为湿润,而另一条分布在较干旱的环境中。对两个样带的树木和灌丛分类研究,结果显示随着海拔的升高,植物区系的相似性也在增加。在湿润的带谱上树种的总数要多一些,在

等海拔高度范围内,树种随着海拔高度的增加而增加,但是灌木和草本仍保持不变。中国山地植被垂直带的7个基本生态地理类型,根据青藏高原植被三维变化的特点提出了青藏高原特有的“高原地带性”(张新时,1978)。而姜恕(1994)则考虑了高原植被地带与毗邻地区的衔接、过渡与联系,认为“横空出世的高原植被地带不是独立于全国和亚洲中部植被系统之外的独特体系”。也有学者提出了“层带”的概念,并用三维的方法表达青藏高原高寒草甸的空间分布趋势(王秀红,1997)。其他区域的研究如吉林省森林垂直带谱特征,认为在此区域,2100 m以上的火山锥体为高山冻原带,森林植被主要在海拔2100 m以下,随着海拔下降、雨量减少和气温升高,形成明显的森林垂直分布带,通常可分为:高山冻原带(海拔在2100 m以上)、亚高山冻岳桦林带(海拔在1800~2100 m)、山地针叶林带(海拔在1100~1800 m)、低山针阔叶混交林带(海拔500~1100 m)和低叶阔叶林带(分布在海拔500 m以下)(田冬梅,2011)。这些研究使得垂直地带性分布成为重要理论工具,并得到广泛的应用。

张百平等(2003)在探讨中国山地垂直带信息图谱时,认为完整的带谱体系由三级构成,即带谱系列、带谱群组和带谱类型,根据垂直带谱发育过程,山地垂直带谱可以分成顶极带谱、基本带谱、过渡/特殊带谱、扰动带谱和次生带谱。而且将带谱的空间变化归纳为5种模式:同构模式、结构递减模式、突变模式、纬向递减模式、经向递减模式和阶梯递增模式和高原叠加模式。

1.3 山地垂直带谱的影响因素

多种环境因素决定植被垂直带谱的分布特点,温度和降水是直接因素,同时生物之间的相互作用也影响物种分布,从而形成不同的带谱特征。导致这种关系的因素是个纷杂的综合体,如空气温度通常随着海拔的升高而降低,温度降低导致土壤温度的变化,随之决定了植物生存的温度范围。湿度,包括降水量、大气湿度和蒸散发,不同海拔高度的降水量影响土壤含水量,进而影响植物的生长。不同海拔高度的土壤养分含量为植被提供营养库,不同的土壤养分状况影响植物的分布。生物因素,如植物竞争、土壤菌落、生物共生及寄生等复杂的关系也在深刻影响和决定着山地垂直带谱的变化。此外,山块效应、山区本身的物理特性和相对位置也影响垂直带谱的分布。山体的大小和位置,以及分布的方向是垂直地带环境条件变化的根源。除了上述因素外,还有其他属性的因子,也影响和决定垂直带的分异情况,这些因子包括:太阳辐射、频率干扰(如

火灾或季风)、风速、岩石类型、地形、靠近溪流或河流、构造历史、经度和纬度等。

Hemp(2006)研究 Kilimanjaro 山垂直带谱时,发现植被带与海拔、温度、以及土壤 pH 值显著相关,降雨对地带性的附属植物影响尤为重要。其他关键因子是相对湿度(影响云的稳定和凝结)以及最低温度(在2700 m海拔发生霜冻)。Pendy 和 Proctor (1996)研究文莱的 Bukit Belalon 山,分析了带状分布的成因,认为相对于低地森林,低的山区森林要经受更快的风速、干旱、水淹,以及高的土壤酸度和营养限制。而主导森林结构和物种组成的是温度。沈泽昊等(2001)在研究贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局时,认为从河谷干旱灌草丛到山地针阔混交林的生物多样性结构变化主要反映了水分梯度的影响,而从山地针阔混交林到高山草甸,多样性结构变化的主导因子是气温。同时气候的垂直梯度和生境的局部异质性是物种多样性格局两组不同作用尺度和性质的影响因子,总体上76.83%的多样性变异得到了解释,其中寒冷指数的作用较为突出。而且贡嘎山东坡植物地理的垂直变化不仅受到现代环境因子的控制,区域环境变迁和区系发育历史的影响也是不可忽略的。

可见不同地区,不同的森林类型,在垂直带谱上的成因并不相同,而且极其复杂,需要我们综合各个学科的知识以及多样化的手段去解释和发现目标原因。

1.4 山地垂直带谱对气候变化的响应

气候是控制山地自然环境的主要因素,影响着山地的生物、物理和化学过程(Beniston, 2005)。全球变暖的背景下,山地森林垂直带之间的差异和交互作用正在经受着空前的挑战(UNESCO, 2006)。

气候变化下山地垂直带谱的研究,主要关注林线的变化,植被演替和物种多样性方面。山地土壤、林线交错带、基因多样性、生物变化和社会经济对沿海梯度的土地利用和生物多样性方面的研究也尤为重要(Becker 等, 2007)。但是由于生态过渡带是由一类生态系统向另一类生态系统空间转换的相变区,环境因子、生物类群均处于相对复杂的临界状态。在生态过渡带上,生态系统的结构、功能及生态过程相当复杂,是生态系统的脆弱区。因此,无论对于全球气候变化还是人类干扰均极端敏感,生态过渡带可作为外界干扰信号的放大器,全球变化重要的预警区。山地垂直带是水平带的缩影,变化梯度大,对气候因子的反应灵敏,尤其高山林线,一方面其所处的海拔位置受大气环境控制;另一方面,树线本

身又是生物与非生物因子相互作用的产物。因此,从这个角度来说,往往将自然升高的树线视为理想的“预警线”,对其位置、结构、树种成分以及与气候波动的响应的研究极其重要(Becker 等, 2007; 王晓春等, 2005; 周晓峰等, 2002)。

研究西班牙 1957—1991 年高山的植被变化,发现高山草地群落被羊茅所替代(Sanz-Elorza 等, 2003)。而气候数据表明这一山区气候朝暖湿方向的变化明显,如最低温和最高温都明显升高,雪被覆盖的时间和月降雨的天数在减少,由此指出植被带的迁移很好的指示了气候变化的结果。对南北半球的林线的变化研究认为高纬度地带区域,一年中的温暖的时期是控制林线高度的主要因素,而一年中较低温度时期则主要影响树的生活方式。在南北半球树种对山地的气候显示出高度的融合性。这可能是植物对生态环境适应的结果(Bagy 和 Jackson, 2000)。

模拟 2050 年大气环流模式背景下澳大利亚高山的植被变化(Dirnböck 等, 2003),认为 8 月份降雨减少 30 mm,温度增加 0.65 °C 会导致高山植物的生境破坏,如果温度增加 2 °C,减少 60 mm 降雨,就会导致高山无森林区域可利用生境严重收缩。模拟过程降雨的影响作用及其显著。Engler 等(2011)基于未来气候变化情景,在大陆尺度上,评估 21 世纪气候变化以及对欧洲山区植物区系的影响,结果显示生境的失去使得物种迁移到更高的海拔区域,到 2070—2100 年会失去 36%~55%高山物种,31%~51%亚高山物种以及 19%~46%山地物种,发现降雨的变化和温度的升高在气候变化对植被的影响中起着重要作用。

通过对东北亚高山林线的研究(王晓春等, 2005),认为从 1985 年到 1997 年,老秃顶子林线区域景观中阔叶林面积有所增加,山顶裸地的面积减少,斑块数量增多,斑块密度加大,平均斑块大小减少,斑块间的毗连程度减弱,但是斑块的形状逐渐趋于相对规则,斑块的边界趋于简单化,说明全球变暖使林线向山顶裸地入侵加剧,异质性增强,斑块的连通度减弱,整个林线景观逐渐趋于破碎化。因此,气候变化对山地垂直带谱的影响是显著的,对垂直带上林线、物种以及演替过程的研究可以很好的指示气候变化(Kapralov 等, 2006),同时为应对气候变化的挑战提供了丰富的资料。

1.5 山地垂直带谱的研究手段

尽管探索垂直带谱历史悠久,但是对其研究所采用的主要手段仍然是实地野外调查,近年来,由于空间技术的发展,使得对其研究更为便捷,即依赖于遥感图像的解译,早在 1981 年的时候,

Hamilton 就采用航拍影像对垂直带谱进行了研究。同时科学家们在地理信息系统与山地垂直带谱的链接上做出了贡献,如张百平等(2005)收集了大量的中国山地垂直带的数据和资料,利用了山地垂直带谱的“数字引擎”,实现了山地垂直带谱数据与带谱图示的数字联系,而且利用 Arc objects 组件和 visual Basic 开发语言,自主开发研制了中国山地垂直带信息系统(1.0),标志着山地垂直带谱研究进入了数字时代。如通过数字识别和空间模式分析,对长白山森林垂直带谱进行了研究(孙瑜, 2010),通过山地识别来构建垂直带谱等(孙然好和张百平, 2008)。相关研究得到了蓬勃的发展,在此不一一累述。

山地垂直带的标准化、数字化、完整体系的建立及与地理区域的数字联系是山地垂直带研究从传统范式提升到地学信息图谱的必要步骤(张百平等, 2003),这也使得对山地森林带谱研究更为直观。但是随着科学发展的需求,空间技术的发展,如何使用现有的观测数据,如气象、生物、土壤和地形等方面的历史资料,预测山地垂直带谱的演替过程以及格局变化来应对未来的气候变化,对于生态安全和环境保持显得尤为重要。模型数值模拟是解决这一难题的有力工具,在今后的垂直带谱研究中将大发异彩,必将得到重视并推动垂直地带性研究进程。

2 典型山地垂直带谱

2.1 中国山地

中国地表格局以山地高原为主体,其中山地约占全国陆地面积的 33%。喜马拉雅运动基本奠定了山地的格局,山脉排列具有显著的方向性和规律性,严格受地质构造控制。同时,随着古特提斯海的消失和欧亚大陆的形成,海陆对比建立的亚洲季风环流形势,气候带分布的变化,基本上形成了目前水平自然的结构,从而影响了山地垂直自然带基带的性质和带谱的结构(任美镔等, 1992; 张家诚和林之光, 1985)。

侯学煜教授 1963 年发表的“论中国各植被区的山地植被垂直带谱的特征”被认为是我国山地垂直带谱的首次总结(侯学煜, 1963)。他将全国分成 8 个植被区,每个区内分出若干植被带,每个植被带里选择一个或两个垂直带谱作为代表,包括具体的分带高度。到了 1965 年,马溶之(1965)发表的“中国山地土壤的地理分布规律”这篇文章将我国的山地和高原区分开来,归纳出 18 个山地土壤地带,区分出 30 个土壤垂直带谱的垂直分布序列,但没有垂直分带的界限。刘华训(1981)年发表的“我国山地植被的分布规律”一文中论述了垂直带经向、纬向变化规律和模式,特别强调了

植被垂直带结构的地带性原则,即垂直地带属于水平地带(彭补拙和陈浮,1999)。张新时(1994)年根据7大植被区归纳出相应的山地垂直带谱的7种基本地理生态类型:寒温针叶林—冻原型、温带落叶阔叶林—亚高山草甸型、东亚亚热带常绿阔叶林—高山草甸型、北热带山地雨林、季雨林型、温带草原型、温带荒漠与极端荒漠型和青藏高原型。还用5个大剖面概括了我国山地植被垂直带系统的水平地理梯度及空间演替格局及基本规律。他特别提出垂直分层的概念(山地层及高山层)和湿润区及干旱区山地两大垂直带系统。

其后彭补拙和陈浮(1999)对中国的山地垂直自然带作出了详细和完整的论述。认为山地垂直自然带谱的划分主要取决于基带的温度和水分状况的异同,其结构类型可按山地垂直自然带的基带、结构、优势带、温度及水分条件等特点,划分为季风性和大陆性两类性质迥然不同的带谱系统。在此基础上将季风性带谱系统分为湿润型结构类型组,半湿润结构类型组和高寒半湿润结构类型组;将大陆性带谱系统分为半干旱结构类型组,干旱结构类型组,高寒半干旱结构类型组和高寒干旱结构类型组。并且从纬度地带性和经度地带性讨论了山地垂直自然带的分异规律。

地学信息图谱是我国著名的地图学与遥感学家陈述彭院士提出的现代地学概念和研究方法。张百平等受此启发于2002年首次提出数字山地垂直带谱的概念及方法,特别是实现了垂直带谱数据的融合及带谱图的动态联系,并提出垂直带的标准化定义及垂直带谱的等级体系,将自然地带作为我国山地垂直带的标准基带,建立了我国山地数字垂直带谱体系,还论述了带谱的5种生态类型和7种空间变化模式,将我国山地垂直带谱研究提高到崭新的水平(张百平等,2002)。

2.2 落基山脉(Rocky Mountain)

Rocky Mountain 是美洲科迪勒拉山系在北美的主干,由许多小山脉组成,被称为北美洲的“脊骨”,从阿拉斯加到墨西哥,南北纵贯4500多km,广袤而缺乏植被。对Rocky Mountain的垂直带谱研究,迄今最详尽的论述为Daubenmire(Daubenmire, 1943)发表的评论《Vegetational zonation in the Rocky Mountains》,将Rocky Mountain划分为7个条带,分别为高山带、云杉带、道格拉斯云杉带、北美黄松林带、杜松带、红木带和基底平原植被带。并分析了大气压、光照、温度、降雨、相对湿度、风速、蒸发、土壤以及地形这些环境因子的变化特征以及与垂直带谱的关系。从而认为高海拔带谱的主要限制因子为低温、竞争以及其他

生物因子的影响、风速、雪被深度和土壤状况;而低海拔垂直带谱的主要限制因子为干旱、高温、土壤结构以及寄生生物。

Baker(1983)对Wheeler Peak的植被梯度变化、植物分类以及生物地理进行了分析,认为科罗拉多州Rocky Mountain西坡的*Festuca thurberi*草甸植被明显受到环境的限制。且新墨西哥的高山与Rocky Mountain南部的生物区系分布相似。Day(1972)研究了阿尔伯特的Rocky Mountain森林结构、演替以及利用方式。Weaver(2001)研究了Rocky Mountain北坡15种外来物种入侵的演替过程。

Habeck(1987)认为现在的落基山脉北部植被物种的种群组成和区域植物群是长期地质和气候事件的结果,讨论科罗拉多落基山和加拿大落基山脉南部的植被分布和结构特征,分为高山、上层密林、亚高山带、山地、较低的密林和草原几个区域。气候、地形、土壤以及地理学等因素交互作用而造成落基山植被复杂区域的梯度模式。并认为落基山植物分布在不断转变,逐渐适应地理环境条件和气候变化。林火、农业、放牧、施工活动、木材收集及露天开采等对Rocky Mountain的物种引进、空气、土壤、植被和水质产生重大影响。目前植物群落功能改变、结构和成分,可能代表新的生态系统平衡,在当今的气候条件下是不可逆转。Long(2003)对Rocky Mountain的森林生态系统的多样性、复杂性以及交互作用做了深入的概述。

2.3 阿尔卑斯山脉(Alps)

阿尔卑斯山脉是欧洲南部的山脉,西起法国东南部的地中海海岸,向北、东延伸,经意大利北部、瑞士南部、列支敦士登、德国西南部,东止奥地利的维也纳盆地,平均海拔约3000m左右。对Alps的研究很多,关注点在环境条件与植被、物种和林线的研究方面。垂直带谱划分方面的研究很少。如意大利境内的Alps的林线研究,由于夏季的农耕以及长期以来的放牧,很难发现自然林线的存在,分析所有集群分布的树种以及树龄等级,发现簇状分布趋势在环境条件恶劣的林线区域更为明显,在亚高山森林瑞士石松群落和山松群落逐渐被排除,但是在林线附近从山松群落开始瑞士石松群落出现的频率呈现下降趋势(Lingua, 2008)。利用泥炭以及贝壳氧同位素示踪,分析瑞士西部Alps,600~2300m的垂直带植物区系的变化对古气候的变冷期和变暖期的响应(Ammann, 2000)。比研究意大利Alps和格鲁吉亚的高加索的植物多样性随海拔梯度的变化,结果显示在高加索有116种,Alps有140种

植物,分析两者之间的差异,认为高加索在低纬度地区的物种很少会出现在林线交错区。而在Alps的林线交错带则出现更多的低纬度物种(Erschbamer, 2010)。通过垂直带物种数量、频率和组成,研究Alps南部垂直带短期(5年)的气候变化对垂直带物种的影响,认为大尺度上在高山上部以及亚雪覆盖区物种丰富度分别增加10%和9%,在低的高山区以及林线区分别增加3%和1%。小尺度上与大尺度上呈现完全不同的变化情况,海拔低的地方物种丰富度减少,而在高海拔却呈相反地趋势。究其原因可能是气候变化的和山区复杂因素共同作用的结果(Erschbamer, 2009)。

3 山地垂直带谱研究展望

就研究方向而言,研究山地垂直带谱特征的变化规律能够很好的指示气候变化对生态系统的影响,应该加大对山地垂直带谱的研究步伐,以揭示和应对未来气候变化对山地生态系统的潜在影响。众所周知林线对全球气候变化响应敏感,随着全球变暖的步伐加快,山地垂直带谱的海拔梯度变化将是值得关注和引起重视的研究领域,特别是林线的偏移。

在研究方法思路方面,目前山地研究工作一般只涉及某一个或少数几个垂直带界线(如雪线)的分布规律及地学/生态学解释,缺乏对整个带谱的全面分析,“带、线”研究多,“谱”研究少(孙然好等, 2009)。另外,多学科的介入,以及交叉知识的融合对山地垂直带谱研究有着重要的意义,如研究带谱的形成,需要对地质构造、气象成因、植物生理及土壤生态等方面的知识。此外,在大尺度的研究中,遥感技术以及计算机信息工程应该都要纳入其中。

总之,山地垂直带谱的理论基础无法满足科学研究的需求,理论化研究需要进一步推进,这是深入研究垂直带谱的依据和思想核心。

参考文献:

- AMMANN B. 2000. Biotic responses to rapid climatic changes: Introduction to a multidisciplinary study of the Younger Dryas and minor oscillations on an altitudinal transect in the Swiss Alps [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 159: 191-201.
- Andreas H. 2006. Continuum or zonation? Altitudinal gradients in the forest vegetation of Mt. Kilimanjaro [J]. *Plant Ecology*, 184:27-42.
- BAGY E G, JACKSON R B. 2000. Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemispheres [J]. *Global Ecology & Biogeography*, 9:253-268.
- BAKER W L. 1983. Alpine vegetation of wheeler peak, New Mexico, U.S.A.: Gradient Analysis, Classification, and Biogeography [J]. *Arctic and Alpine Research*, 15(2):223-240.
- BECKER A, KÖRNER C, BRUN J J, et al. 2007. Tappeiner U. Ecological and land use studies along elevational gradients [J]. *Mountain Research and Development*, 27(1): 58-65.
- BENISTON M. 2005. Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 162(8/9):1587-1606.
- CLEMENTS, F. E. 1905. Research methods in ecology [J]. General Books LLC.
- DAUBENMIRE F. 1943. Vegetational zonation in the Rocky Mountains [J]. *The Botanical Review*. 6:326-393.
- DAY R J. 1972. Stand structure, succession, and use of Southern Alberta's Rocky Mountain forest [J]. *Ecology*, 53(3):472-478.
- DIRNBÖCK T, DULLINGER S, GRABHERR G. 2003. A regional impact assessment of climate and land use change on alpine vegetation [J]. *Journal of Biogeography*, 30(3):401-417.
- ENGLER R, RANDIN, C F, THUILLER W, et al. 2011. 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe [J]. *Global Change Biology*, 17: 2330-2341.
- ERSCHBAMER B, KIEBACHER T, MALLAUN M, et al. 2009. Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps [J]. *Plant Ecology*, 202:79-89.
- ERSCHBAMER B, MALLAUN M, UNTERLUUGAUER P, et al. 2010. Plant diversity along altitudinal gradients in the Central Alps (South Tyrol, Italy) and in the Central Greater Caucasus (Kazbegi region, Georgia) [J]. *Tuexenia*, 30:11-29.
- HABECK J R. 1987. Present-Day Vegetation in the Northern Rocky Mountains [J]. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74(4): 804-840.
- HAMILTON A C, PERROTT R A. 1981. A study of altitudinal zonation in the montane forest belt of Mt. Elgon [J]. *Kenya/Uganda. Vegetatio*, 45:107-125.
- HEDBERG O. 1951. Vegetation belts of the East African mountains [J]. *Svensk Bot. Tidskrift*. 45: 140-202.
- HSIEH, C F, CHEN Z S, HSU Y M, et al. 1998. Altitudinal zonation of evergreen broad-leaved forest on Mount Lopei, Taiwan [J]. *Journal of Vegetation Science*, 9: 201-212.
- KAPRALOV S, SHIYATOV S G, MOISEEV P A, et al. 2006. Changes in the composition, structure, and altitudinal distribution of Low Forests at the upper limit of their growth in the Northern Ural Mountains [J]. *Russian Journal of Ecology*, 37(6):367-372.
- LINGUA E, CHERUBINI P, MOTTA R, et al. 2008. Spatial structure along an altitudinal gradient in the Italian central Alps suggests competition and facilitation among coniferous species [J]. *Journal of Vegetation Science*, 12(7): 2179-2206. doi: 10.3170/2008-8-18391.
- LONG J N. 2003. Diversity, complexity and interactions: an overview of Rocky Mountain forest ecosystems [J]. *Tree Physiology*, 23, 1091-1099.
- LOVETT J C. 1996. Elevational and latitudinal changes in tree associations and diversity in the Eastern Arc Mountains of Tanzania [J]. *Journal of Tropical Ecology*, 12: 629-650.
- MCINTOSH R P. 1967. The continuum concept of vegetation [J]. *Botanical Review*, 33: 130-187.
- MIHAI B, SAVULESCU I, SANDRIC I. 2007. Change detection analysis (1986—2002) of vegetation cover in Romania [J]. *Mountain Research and Development*, 2007, 27(3):250-258.
- MUELLER-DOMBOIS D, ELLENBERG H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology [M]. Wiley and Sons, New York.
- MUUL I, LIM BL. 1970. Vertical zonation in a tropical rain forest in Malaysia: Method of study [J]. *Science*, 169:788-789.
- PENDRY C A, PROCTOR J. 1996. The causes of altitudinal zonation of rain forests on Bukit Belalong, Brunei [J]. *Journal of Ecology*, 84:407-418.
- SANZ-ELORZA M, DANA E D, GONZALEZ A, et al. 2003. Changes in the high-mountain vegetation of the central Iberian peninsula as a probable sign of global warming. *Annals of Botany*, 92(2): 273-280.
- SHERMAN R E, MARTIN P H, FAHEY T J. 2008. Degloria SD. Fire and vegetation dynamics in high-elevation neotropical montane forest of the Dominican Republic [J]. *AMBIO*, 37:7-8.
- SPRUGEL D G, BORMANN F H. 1981. Natural Disturbance and the Steady State in High-Altitude Balsam Fir Forests [J]. *Science*, 211,390-393.
- STEENIS C. G. G. J. 1984. Floristic altitudinal zones in Malaysia [J].

- Botanical journal of the linnean society, 89: 289-292.
- UNESCO [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization]. 2006. Global change in mountain biosphere reserves: Addressing impact on people and the environment. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [M]. Natural Sciences. People, Biodiversity and Ecology.
- WEAVER T, GUSTAFSON D, LICHTHARDT J. 2001. Exotic plants in early and late seral vegetation of fifteen northern rocky mountain environments (HTs) [J]. *Western North American Naturalist*, 61(4):417-427.
- WHITTAKER R H. 1967. Gradient analysis of vegetation [J]. *Biological Reviews*, 49: 207-264.
- ZHANG B P, WU H Z, XIAO F, et al. 2006. Integration of Data on Chinese Mountains into a Digital Altitudinal Belt System [J]. *Mountain Research and Development*, 26(2):163-171.
- 毕润成, 闫桂琴. 2000. 山西霍山森林植被垂直带的定量划分[J]. *植物生态学报*, 24(4): 436-441.
- 陈冬基. 1992. 西天目山自然保护区森林垂直带的定量分析[J]. *浙江林学院学报*, 9(1):14-23.
- 董闻达, 谢国文, 廖亮. 1987. 江西鹰潭市天华山主峰森林植被垂直带谱的考察[J]. *江西农业大学学报*, 31(2): 53-56.
- 杜有新, 吴从建, 周赛霞, 等. 2011. 庐山不同海拔森林土壤有机碳密度及分布特征[J]. *应用生态学报*, 22(7): 1675-1681.
- 符国缓, 冯绍信. 1995. 海南五指山森林的垂直分布及其特征[J]. *广西植物*, 57-69.
- 何忠俊. 1993. 大巴山北坡森林土壤垂直带谱[J]. *陕西林业科技*, 2: 6-8.
- 侯学煜. 1963. 论中国各植被区的山地垂直植被带谱的特征[C]. *中国植物学会, 中国植物学会三十周年年会论文摘要汇编*: 254-258.
- 姜恕. 1994. 论西藏高原及其边缘山地的植被地带分异[M]. *植被生态学*. 北京: 科学出版社: 100-111.
- 林英, 杨祥学, 吴文谱. 1979. 江西怀玉山主峰森林植被垂直带谱[J]. *南昌大学学报: 理科版*, 8(1):75-78.
- 刘华训. 1981. 我国山地植被的分布规律[J]. *地理学报*, 36(3): 267-279.
- 马溶之. 1965. 中国山地土壤的地理分布规律[J]. *土壤学报*, 13(1): 1-7.
- 彭补拙, 陈浮. 1999. 中国山地垂直自然带研究的进展[J]. *地理科学*, 19(4):303-308.
- 任美镔, 等. 1992. 中国自然区域及其开发整治[M]. 北京: 北京科学出版社: 1-51.
- 邵际兴. 1988. 摩天岭北坡森林植被垂直带的初步研究[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 12(2): 113-122.
- 沈泽昊, 方精云, 刘增力, 等. 2001. 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析[J]. *植物生态学报*, 25(6): 721-732.
- 孙然好, 陈利顶, 张百平, 等. 2009. 山地景观垂直分异研究进展[J]. *应用生态学报*, 20(7):1617-1624.
- 孙然好, 张百平. 2008. 山地垂直带谱数字识别的技术实现和图谱构建[J]. *地球信息科学*, 10(6):690-696.
- 孙瑜. 2010. 长白山自然保护区植被垂直带谱的数字识别及空间分布模式分异[D]. 东北师范大学, 硕士毕业毕业论文.
- 田冬梅. 2011. 略论我省森林资源的垂直分布特征[J]. *吉林农业*, 257(7):205.
- 王晓春, 周晓峰, 孙志虎. 2005. 高山林线与气候变化关系研究进展[J]. *生态学杂志*, 24(3): 301-305.
- 王秀红. 1997. 青藏高原高寒草甸层带[J]. *山地研究*, 15(2):67-72.
- 张百平, 谭靖, 姚永慧, 等. 2009. 山地垂直带信息图谱研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 张百平, 谭斌, 武红智. 2005. 中国山地垂直带信息系统的设计与开发[J]. *地球信息科学*, 7(1):20-24.
- 张百平, 姚永慧, 莫中国, 等. 2002. 数字山地垂直带谱及其体系的探索[J]. *山地学报*, 20(6):660-665.
- 张百平, 周成虎, 陈述彭. 2003. 中国山地垂直带信息图谱的探讨[J]. *地理学报*, 58(2):163-171.
- 张家诚, 林之光. 1985. 中国气候[M]. 上海: 上海科学技术出版社: 32-34.
- 张新时. 1978. 西藏植被的高原地带性[J]. *植物学报*, 20(2):140-49.
- 周晓峰, 王晓春, 韩士杰, 等. 2002. 长白山岳桦—苔原过渡带动态与气候变化[J]. *地学前缘*, 9(1): 227-231.

Mountain Altitudinal Belt: A Review

SUN Jian¹*, CHENG Genwei²

1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences. Beijing 100101, China; 2. The key laboratory of mountain environment evolution and its regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: Mountain altitudinal belt is one of the important contents for studying geographic differentiation. Altitudinal belt is influenced by soil, climate and biological conditions. Mountain altitudinal belt has been changed with climate change recently. In present article, the development of mountain altitudinal belt research was analyzed, main features of the altitudinal belt was explored, the spatial pattern as well as the innovation of research method was discussed, and the mountain altitudinal belt researches in China, the Rocky Mountains, the Alps and other regions were comprehensively reviewed. Thus, we hold that using the observed datum (weather, biological documents, soil and terrain data, and the succession process and pattern of mountain belt observation) to analyze the belt changed with the future climate scenarios, which plays an important role in ecological security and environmental protection. Meanwhile, multidisciplinary knowledge is meaningful for mountain research, for instance, we should synthesize knowledge of geological structure, meteorology, plant physiology and soil ecology to explain the cause of mountain altitude belt. The mountain attitude belt theory cannot meet the needs of scientific research, so theoretical studies need to be advanced further. The object of review to promote mountain research, and provide references material for regional differentiation, geographic regionalization and environmental change.

Key words: altitudinal belts; climate change; review