

试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容

方精云 沈泽昊 崔海亭

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究与教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 山地是一个生态复杂系统,它具有特定的结构和功能,拥有丰富的生物多样性资源、水资源、矿产资源和旅游资源。开展山地生态学研究对阐明山地系统的结构与功能、山地的生态现象与过程,以及合理开发利用和保护山地资源都有极为重要的意义。本文在简要分析山地地形的主要要素对生态因子影响的基础上,对山地的生态效应进行了归纳,探讨了山地生态学应包含的主要研究内容。作者认为,在山区,地形地貌是形成山地结构和功能以及各种生态现象和过程的最根本因素,它通过改变地表的光、热、水、土、肥等生态因子而发生作用。因此,山地生态学应把地形地貌与各种生态现象和过程的相互作用作为其核心的研究内容。作者提出,山地生态学研究主要包括:山地生态复杂性、生物多样性、山地气候变化、山地生态工程、山区可持续发展综合研究以及山地生态学研究技术与方法论等内容。

关键词: 山地,地形要素,生态效应,生物多样性,自然资源

中图分类号: Q948, Q149 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)01-0010-10

Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology

FANG Jing-Yun, SHEN Ze-Hao, CUI Hai-Ting

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: Mountains are complex ecological systems, with unique structures and functions, and have rich biodiversity, water and mineral resources, and opportunities for tourism. Mountain ecology is the study of mountain structures, functions, and processes, as well as the exploration, sustainable utilization and conservation of mountain resources. In this paper, we review the effects of major topographic elements on ecological factors, summarize the ecological benefits of mountains, and discuss the current research issues and topics for Mountain Ecology. It is emphasized that in topography of mountainous areas is the most critical controlling factor for ecological structures, functions, and processes. Topography affects the abundance and distribution of organisms by modifying solar radiation, heat, moisture, soil and fertility. For this reason, topography and topography-induced ecological phenomena and processes are considered to be the most critical topics in mountain ecology. Topographic research addresses such issues as ecological complexity, biodiversity, mountain climate changes, mountain ecological engineering, mountain sustainable development, and quantification of topographic elements (elevation, slope, aspect, and location). Among these, developing appropriate methods for quantifying topographic elements is a key technique. We also suggest a need for a synthetic study of relationships between humans and the natural world based mountain sustainable development.

Key words: mountain, topographic elements, ecological benefits, biodiversity, natural resources

山地(mountain)是指具有一定海拔、相对高度和坡度的地面。广义的山地包括高原、山间盆地和

丘陵;狭义的山地仅指山脉及其分支(王明业等,1988)。丁锡祉和郑远昌(1986)认为,相对高度在500 m 以上的区域都为山地。最近 UNEP-WCMC (2002)对山地作了较为细致的定义。该定义的山地包括4类区域:(1)海拔在300-1000 m 之间,但相对高度在300 m 以上的区域;(2)海拔在1000-1500 m 之间,但坡度在 5° 以上或相对高度在300 m 以上的地区;(3)海拔在1500-2500 m 之间,但坡度在 2° 以上的地区;(4)海拔大于2500 m 的所有地区。根据该定义,海拔在2500 m 以下、没有坡度或相对高度小于300 m 的地区不属于山地。

按照 UNEP-WCMC 的标准,地球陆地表面约22%(总面积为 $35.8 \times 10^6 \text{ km}^2$)是山地,生活的人口为7.2亿(UNEP-WCMC,2002)。在中国,没有按照 UNEP-WCMC 的定义来统计山地的面积。但如果按照丁锡祉等(1986)的定义,我国山地面积达 $6.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占国土总面积的67.7%(包括高原和丘陵)。按照20世纪80年代的统计,我国山区的人口约4.4亿,占当时农业总人口的44.7%。可见山地对我国经济建设和社会发展的重要性。

由于山地的重要性,人类关于山地生态和地理的研究源远流长。近代山地生态研究与近代生态学和自然地理学的诞生几乎同步,可以追溯到A·Humbolt对南美Andes山脉的研究(Yazawa,1989)。A·Humbolt于1799-1803年在Andes山关于植被垂直分布的考察、不同海拔高度温度的测定以及温度与植被分布关系的研究开辟了近代山地生态学研究先河,并对后来的宏观生态学和自然地理学的形成产生了深远的影响。但国际上系统开展山地生态学的研究则要晚得多,大致始于20世纪60年代。其标志之一是国际地理学联合会于1968年成立山地生态学委员会(孙鸿烈,1983)。1981年,国际山地学会(International Mountain Society,IMS)正式成立。同年,国际山地学会与联合国大学共同创办了山地研究的学术刊物《Mountain Research and Development》。之后,国际山地研究得到迅速发展。1992年,在巴西里约热内卢召开的环境与发展世界首脑峰会上通过的《21世纪议程》中,列有专门的一章(The Chapter 13 of Agenda 21)讨论山区的可持续发展问题。1997年,作为该章科学基础的权威著作《Mountains of the World》出版(Messerli & Ives,1997)。之后,联合国将2002年定为国际山地年

(International Year of Mountains, IYM),进一步引起了国际社会对山地问题的关注。

在中国,山地的研究也有着悠久的历史,可以追溯到约3000年前(丁锡祉,郑远昌,1986)。但关于山地的近代研究则始自20世纪初,尤其是新中国成立以后。解放后,我国开展了大规模的山地资源考察,考察涉及中国境内的几乎所有山地,尤其是青藏高原和横断山区。这些考察对我国山地资源的开发利用以及国家的经济建设作出了重大贡献,也为后来开展进一步的研究积累了大量宝贵资料。为加强山地研究,中国科学院还建立了独立的山地研究机构,即中科院-水利部成都山地灾害与环境研究所,在山地灾害、环境、可持续发展以及山地研究方法等方面开展了大量工作(钟祥浩,1996)。在山地理论和学科体系研究方面也有了一定进展。比如,20世纪80年代中期,丁锡祉和郑远昌(1986)提出山地学,并得到响应(余大富,1996,1998),尽管也有人认为在目前建立这一学科有不同意见(艾南山,1998),但足见我国山地研究人员对山地学科体系建设的重视和关注。

应该说,山地生态学研究是山地研究的一项核心内容。山地生态学(Mountain Ecology)一词早已产生。但作为生态学的一个重要分支,山地生态学究竟应该包括哪些研究内容?这是在以往的研究中没有得到足够关注,或很少有人系统地思考过的问题。本文在简要分析作为关键要素的地形和山地生态效应的基础上,试图探讨山地生态学应包含的主要研究内容,为发展山地生态学的理论框架抛砖引玉。

1 地形要素对生态因子的影响

地形是形成山地结构和功能、导致山地各种生态现象和过程发生变化的最根本的因素,因此,在进行山地生态研究时,需要剖析地形要素与诸多生态因子之间的关系。地形要素包括海拔高度、坡向、坡位、坡度、起伏程度等。它们通过改变光、热、水、土、肥等生态因子而对生物和生物群落分布产生作用。

1.1 海拔高度

海拔高度的不同首先引起温度、降水、大气成分等差异,从而对生物群落产生作用。气候、土壤以及生物分布的垂直地带性主要是由此产生的。

(1) 温度

一般来说,气温随海拔升高而降低,其直减率为 $0.5 - 0.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。但气温直减率同时受到地理纬度、海陆分布、季节变化、气候的干湿状况、气团活动以及海拔高度等因素的影响(林之光,1984;方精云,1992;Barry,1992;Fang & Yoda,1988;Fang,1992)。因此,为未知地点推算不同月份(季节)的温度是植被地理和山地气候研究以及农牧业发展所需要的。

理论上,任一地点的温度都是由稳定的宏观地理因素(如地理位置和大地形)、变化不定的局部海拔高度以及局部小地形(坡向、坡度和地形形态)等三类要素决定的。那么,如果设已知气象站所在地 B 的温度为 T_B ,所要推算的某地 A 的温度为 T_A ,那么(1)式成立。

$$T_A - T_B = \Delta T_g + (h_B - h_A)r_h + \Delta T_m \quad (1)$$

ΔT_g 为两地由于宏观地理因素影响所引起的温度差,可利用经度和纬度参数来校正; h_A 和 h_B 分别为 A 、 B 两地的海拔高度; r_h 为该地区的气温直减率; ΔT_m 为由两地不同小地形引起的温度差。

在研究生物和生物群落的分布与气候的关系时,尤其需要考虑气温直减率的季节变化,而这一点以往常常被忽视或从技术上难以实现。如图1所示,不同季节(最热月和最冷月均温)的气温直减率相差很大。如果我们采用一个不变的直减率,所得出的结果与实际情况可能相差甚大,甚至得出错误的结论。

(2) 降水

在自由大气中,随着离地面距离的增加,降水云层逐渐变薄,降水量或降水强度也随之逐渐减少或减弱。但如果下垫面不是平坦的高原,而是逐渐抬升的山坡,则气流在抬升过程中会使大量水汽凝结而降水。因此,在山区中,随着海拔的升高,降水量和降水强度都是逐渐增加的。但在海拔充分高的山体中,降水在某一高度达到一个极大值,这一高度即最大降水高度。

傅抱璞(1983)根据这一特点,提出了著名的推算山地降水的最大降水高度法。他认为,在大多数山地,在最大降水高度 H 以下及其附近,降水量 P_z 随海拔高度 z 的变化可用(2)式表示:

$$P_z = P_{h_0} + \alpha [(2H - z)\mu - (2H - h_0)h_0] \quad (2)$$

其中 P_{h_0} 为最大降水高度 H 以下某一参考高度 h_0 处的降水量, μ 为与地区特点有关的参数。

最大降水高度的高低主要与气候干湿有关:一般是气候越湿润的地区,最大降水高度就越低;相反,越干旱的地区,最大降水高度就越高。例如,在我国的天山,降水较多的西部河谷(年降水量在 800 mm 左右),最大降水高度为 1900 m ;在天山北坡中部,年降雨量 540 mm ,最大降水高度 2200 m (林之光,1995)。

(3) 蒸散量

蒸散量(包括植物蒸腾、植物及土壤表面蒸发)综合反映下垫面失水的大小,是生态系统水分平衡

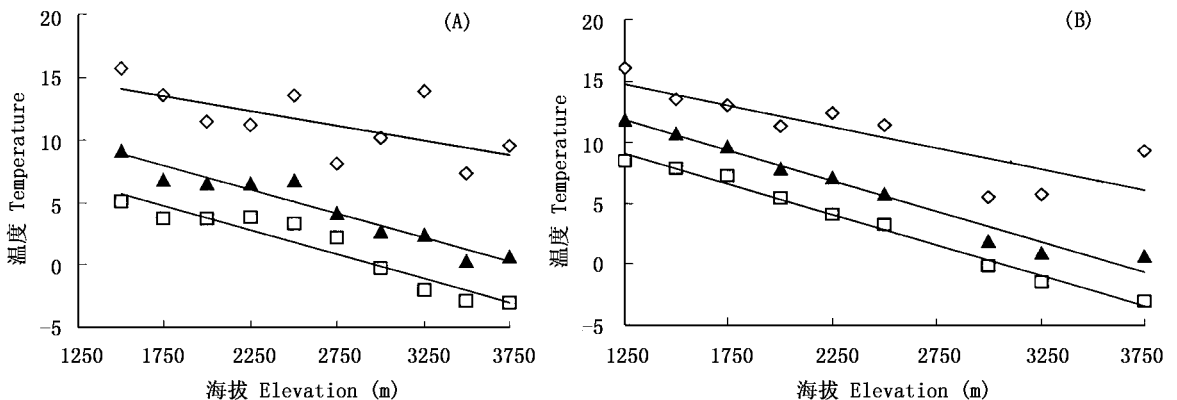


图1 秦岭太白山南北坡年均温、最热月均温以及最冷月均温随海拔的变化(唐志尧,2003)

(A) 南坡;(B) 北坡;▲ 年均温;◇ 最热月均温;□ 最冷月均温

Fig. 1 Changes in mean annual temperature (▲), mean temperature for the warmest month (◇), and mean temperature for the coldest month (□) with elevation in Mt. Taibai, Qinling Range. (A) southern slope; (B) northern slope (From Tang, 2003)

的重要指标。观测表明, 随海拔升高, 蒸散量呈线性减少趋势 (Körner *et al.* 1999)。Körner *et al.* (1999) 的研究表明, 年蒸散量与海拔的关系完全是由植物活动期的长度所决定的。这一现象对于研究山地的水分平衡具有重要意义。

(4) 太阳辐射

太阳直接辐射随海拔升高逐渐增加, 但净辐射则由于高海拔冰雪的增加而减少。这种趋势受到云层和雾的深刻影响。关于太阳辐射与海拔的关系已有大量文献论述 (如 Budyko, 1974)。

由于紫外线辐射 (ultra-violet radiation, UV radiation) 对生物生理生态特性的重要影响, 生态学家对与生物生理活动有关的紫外辐射 (UV-B, UV for biologically effective irradiance) 与海拔高度的关系尤为关注。一般来说, 随海拔升高, UV-B 增加。如在欧洲阿尔卑斯山的研究表明, 当海拔由 200 m 升高到 3500 m 时, UV-B 在夏季增加 100%, 而在冬季增加 280% (Barry, 1981)。

与太阳辐射有关的日照时数及云雾天数随海拔的变化也呈现一定的变化趋势。Yoshino (1975) 的研究显示, 在 1000 - 2000 m 之间的日本山地, 日照时数最少, 云雾天数最多。这种现象对山区土地利用和农业种植方式有重要的指导意义。如我国一些地区高品质的云雾茶就需要种植在一定的海拔高度。

(5) 气压

气压随高度的变化一般可以用下式表示 (Barry, 1981):

$$e = e_0 \exp(-\beta z) \quad (3)$$

式中 e 为高度为 z (km) 处的气压 (kg/m^2) e_0 为地表面气压 (mb) β 为 $0.44/\text{km}$ 。

Kuz'min (1972) 提出了一个更简捷的公式, 即某高度处 (z) 的气压 e_z 为:

$$e_z = e_0 \times 10^{-\mu z} \quad (4)$$

式中, 在自由大气中, $\mu = 0.20$; 在中亚山地, $\mu = 0.159$ 。

这些公式对于了解不同高度的气压变化很有实用价值。

(6) 气流和风

山地对空气运动的影响主要取决于山脉的走向、海拔和长度。气流遇到孤峰时总是分两支绕过; 但当遇到连绵数十公里甚至数百公里的山脉时, 则

出现阻塞、抬升或改向等情况 (Barry, 1981)。在山脉走向与气流方向近乎垂直的地方, 海拔数千米的山脉会成为气流的障碍, 因而常常成为气候的分界线。

风影响植物的生理活动、花粉和种子的传播以及植株的形状。一般来说, 在中高纬度的自由大气中, 由于西风气流的影响, 风速随海拔升高而增加 (Reiter, 1963)。但在山区, 风速虽然也有随海拔升高而增加的趋势, 但主要受地形控制。在孤峰和暴露的山脊, 由于下垫面的摩擦较小, 瞬时和平均风速都很大。据 Walh (1966) 对欧洲山地气象观测资料的分析, 发现山顶的风速约是同高度自由大气风速的一半, 即:

$$V_m = 2.1 + 0.5V_a \quad (5)$$

式中, V_m 为山顶风速 (m/s); V_a 是自由大气的风速。

1.2 坡向和坡度

坡向主要影响地面接受的太阳辐射以及地面与盛行风向的交角, 这使得不同坡向之间存在显著的水热差异。

就热量而言, 南坡 (阳坡, 在南半球是北坡) 接受的太阳直射辐射多, 导致坡面温度高、水分蒸发强烈, 从而分布着具耐旱结构的生物群落。相反, 北坡 (阴坡, 南半球是南坡) 则常常发育着中生或湿生的生物群落类型。坡度的增加会加剧这一影响。虽然影响坡面辐射的因子复杂, 但理论上是可以进行计算的。

坡面接受的辐射 (S) 包括太阳的直接辐射 (direct beam, S_b')、散射辐射 (diffuse radiation, S_d') 以及从周围表面反射过来的辐射 (radiation, S_r) 等 3 种来源。这 3 种辐射可以分别由下式计算得出 (Barry, 1981):

$$S = S_b' + S_d' + S_r \quad (6)$$

$$S_b' = S_0 [\cos s \cdot \cos Z + \sin s \cdot \sin Z \cdot \cos(A - A_s)] \quad (7)$$

$$S_d' = 0.5 S_0 (1 + \cos s) \quad (8)$$

$$S_r = 0.5\alpha (S_b + S_d) (1 - \cos s) \quad (9)$$

式中, S_0 为到达地面的太阳辐射; s 为坡度; Z 为太阳高度角; A 为太阳方位角; A_s 为坡度的方位角; S_d 为天空各向同性辐射 (isotropic sky radiation); α 为下垫面的反射率。

利用上述关系, 我们就可以计算出某一坡面某

一时刻所接受的太阳辐射。从这些公式也可以看出,坡面的受热状况也与坡度关系密切。不仅如此,坡度因子对土壤水分和土壤侵蚀还会产生深刻影响:坡度越大,地貌稳定性越小,土壤贮水性能越差,土层也越浅薄,水土流失和崩塌、滑坡等自然灾害的机率和强度也就越大。

就水分状况而言,一般说来,迎风坡水分条件优越,并且呈现随海拔升高降水量逐渐增加的趋势;背风坡下部增温变干,不仅导致降水减少,而且干热气流在上升过程中沿途吸收植物体内的水分而导致植株失水,形成干热的植被景观,即形成“焚风效应”(林之光,1995)。

1.3 坡位

坡位的生态效应主要是通过影响土壤属性和土壤发育过程而产生的。由于重力作用,从坡顶到坡谷,土壤及其中的水分和养分形成一个由源到汇的梯度。坡顶遭受侵蚀,土壤相对瘠薄;坡谷则以堆积为主,形成肥厚的土层。但在地貌切割强烈的地段,坡面下部也可能坡度陡峭。尤其在地表径流经过的谷地,频繁的流水侵蚀过程常常导致形成含沙量高、甚至是基岩局部裸露的谷底(沈泽昊,2002)。因而,低坡位的生态干扰往往较高坡位更为频繁和强烈(Kikuchi & Miura,1993;沈泽昊等,2002)。因此,在我国亚热带山地,山坡上部常常分布着常绿阔叶林,而阳生性的落叶树,甚至是珍稀植物却往往能侵入沟谷地段(沈泽昊等,2000;宋永昌,2001)。Sakai & Ohsawa(1993)在一个小集水区的研究也发现,在山脊及山坡上部,土层发育深厚,而在谷地则土层浅薄。因而在土层深厚的山梁和山脊分布着常绿阔叶林,而在谷地则以落叶阔叶林为主。

1.4 起伏程度

地形的起伏程度对形成生境的异质性和改变风力作用都会产生重要影响:起伏越大,生境的异质性也越大;同时,地面摩擦力的增加可以使风力减小。

地形变化引起的生境异质性越大,生物多样性常常也越高(White & Miller,1988)。但过去从空间上定量分析地形复杂性与生物多样性之间关系的工作极少。由于数字地形模型(DTM)、GIS等技术的发展,相信今后这方面的研究会多起来,尤其在较大尺度上。最近,作者对武夷山壳斗科植物的分布与地形关系的研究便是一例(郑成洋等,2004)。以海

拔高度的变异系数作为地形起伏程度的指标,研究福建武夷山的变异系数与壳斗科植物丰富度的关系时,发现随变异系数的增加,物种丰富度显著增加(图2)。

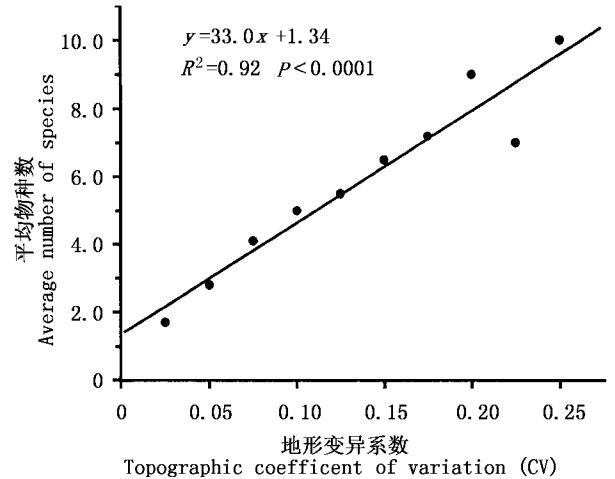


图2 福建武夷山壳斗科植物的丰富度与地形变异系数的关系(郑成洋等,2004)

Fig. 2 Relationship between richness of Fagaceae species and topographic coefficient of variation in Mt. Wuyi, Fujian, China (Zheng *et al.*, 2004)

小地形的起伏程度通过引起小气候的变化而对种子发芽、幼苗定居和群落更新产生深刻影响。

2 山地的生态效应

山地是多种生态系统类型的复合体。巨大的山体常常是大江大河的发源地(如长江、黄河都发源于青藏高原),因此与河川生态系统有着千丝万缕的联系。由于多样的地形起伏,山地常常发育着大面积的湿地(如我国松潘地区)和众多的湖泊(如青藏高原)。这种山与水的连接,将山地与下游地区紧紧地联系在一起,对下游地区的生态与环境产生着深刻的影响,甚至制约着下游的经济发展。另一方面,山地又是自然与人文相互作用的综合体,人类活动对山地景观的形成起了关键作用。因此,山地系统是一个集自然过程和人文过程为一体,对周边环境产生深刻影响的生态复杂系统。本文仅从生态学的角度讨论山地的这些效应和影响。

概括起来,山地的生态效应和生态影响主要体现在如下方面:

(1) 复杂多变的环境创造出丰富的生物多样性,山区多变的地形是形成环境异质性以及由此创

造丰富的生物多样性的基础。这里不仅有海拔高度不同引起的环境梯度的垂直变化,也有局部地形导致的环境因子的非线性变化。这种环境梯度的线性和非线性变化不仅使不同生态位的物种能够共存,也蕴藏着物种分化的基础。山地是大陆上的“岛屿”(丁锡祉,郑远昌,1996)。山地岛屿生境是物种形成(speciation)的温床,地形引起的地理隔离加速了物种形成的进程(Fujii,1997)。因此,高大山地常常是物种分化的中心,特有种丰富(应俊生,2001)。如横断山脉是我国特有属的三大分布中心之一。青藏高原抬升与几大江河侵蚀切割相结合形成的高山峡谷地貌,为物种的隔离分化提供了罕有的条件。因此,这一特有现象中心以进化类群发达、生态效应显著为特色(应俊生,张志松,1984)。

另外,由于山区特殊的地貌条件避免了第四纪冰川等因素的影响,加之多样的生境,使一些古老物种得以残留下来,成为残遗种的分布集中地,如湖北神农架就分布着大量的特有和残遗物种(李兆华,1992)。

在产生上述生态效应的原因中,地形地貌是最根本的因素,其他因素由此衍生而成。因此,地形地貌的影响是山地生态学研究中最受关注的方面。

(2) 丰富的水资源成为下游地区的水塔

水是山区极为重要的自然资源。它主要来自山地的泉水和冰雪融水,不仅供给山区住民食用、发电、灌溉以及其他工业用水,更为下游地区提供不可缺少的水源,成为下游地区的水塔(water tower)(UNEP/WCMC,2002)。中华民族发祥地的长江和黄河就发源于青藏高原的高山之间。

(3) 异质生境和地貌过程形成发达的山地垂直带和镶嵌的山地景观

由于山区气候和土壤的垂直地带性,形成排列有序的生物垂直带谱。这使我们能够在数千米的热带山地(如珠峰南坡)看到跨越整个北半球从南到北植被水平分布的景观(郑度,陈伟烈,1981),山地因此成为研究生物带与气候带以及生物分布的绝佳区域。另一方面,由于滑坡、泥石流、山崩等地貌过程导致局部生境发生变化,不仅使地形本身,也使坡面的土壤理化性质复杂多变,从而形成局部地区植被景观的高度异质,同时也导致群落更新过程的多样性(Swanson *et al.*,1988;沈泽昊等,2000)。

这种有序和无序的镶嵌山地景观不仅使大自然

变得绚丽多彩,也为生态学家研究地形-植被分布-群落更新关系提供了理想的场所。

(4) 多样的原生群落为可持续农业提供合理的生产模式

由于山区受到的人为影响较小,因此仍保留有较多的原生生物群落类型。这些群落是几百年、甚至几千年来,生物与自然环境长期相互作用而演化形成的,它们是当地环境的最适者,具有最合理的结构和物种组合,因此,为人类提供了合理的土地利用方式和生产模式。

(5) 秀丽的自然风貌和丰富的生物多样性提供了丰富的生态旅游资源

不少山地是风景名胜区、国家公园和森林公园集中的地方,为生态旅游、健身疗养提供了绝好的场所。这里不仅有广袤的森林、奇花异草、珍禽异兽,还常常是文化和自然遗产所在地,尤其是在中国,遐迩闻名的五岳、四大佛教圣地以及道教名山大都集中在山区。这些地方所展示的绮丽的自然风光和奇峰异洞,常常带给人们精神的享受。此外,山区空气清新,从植物体释放的一些植物杀菌素还可以杀死空气中的有害病菌,因此,山区旅游可以起到健身疗养的作用。

(6) 特殊的生境孕育着丰富的文化多样性

在我国,山区是少数民族聚居的地方,如横断山区就分布有25个少数民族。这些民族保留着多姿多彩的生活风情、文化习俗和天人合一的自然观,他们创造的独特的文化是人类共同的珍贵遗产。一些山区还是人类文明的发源地(王明业等,1988)。

3 山地生态学的主要研究内容

山地生态学是研究在山地这一特定环境中,不同生命层次的生态现象和过程的生态学领域。形成山地生境的最基本要素是地形(即地貌,landform)。因此,地形地貌以及由此产生的各种生态现象和过程是山地生态学研究的核心内容。从这一角度讲,山地生态学可以理解为地貌生态学。空间技术(如GIS技术)和数字技术(如数字地形模型,DTM)为量化地形特征提供了有效的手段。未来虚拟技术的发展将为山地生态学的各种环境与生态效应模拟提供有效的技术支持。可以预见,山地生态学将是一个具有广阔发展前景的生态学领域。

本文作者建议的山地生态学研究可集中在如下

几个方面：

3.1 基础理论研究

(1) 山地生态复杂性与生物多样性研究

在山区,一个很小的范围内都可能出现光、热、水、土、气、肥这些制约植物生长的环境因子的显著变化,这种变化主要是由地形要素变化直接或间接导致的。可以说,山地是一个以地形地貌为主导的生态复杂系统。生态复杂性是生物多样性的基础和源泉。研究山地的生态复杂性是山地生态学的核心内容之一,具有极大的挑战性。

山地生物多样性研究的一个核心内容是研究物种多样性随海拔高度的变化。物种多样性随海拔高度的变化或许可以从 MacArthur (1964) 的岛屿生物地理学理论中得到某种程度的解释。岛屿生物地理学理论的核心是:大洋中岛屿的物种丰富度取决于其面积及其与大陆的隔离程度;面积越小、与大陆的隔离程度越大,物种的丰富度越低(MacArthur, 1972)。与此相似,在山地生境中,海拔越高,该海拔范围的面积越小,离谷地的距离也越远,物种的丰富度也越小(Stevens, 1992)。这种山地岛屿生境的思想与岛屿生物地理学理论是一致的,但并不能从本质上解释生物多样性垂直分布格局的机制。Stevens (1989, 1992) 应用 Rapoport 法则(Rapoport's Latitudinal Rule)(Rapoport, 1982), 解释了为什么高海拔的物种丰富度比低海拔低的原因。Rapoport (1982) 认为,高纬度的物种多样性之所以低于低纬度,是因为高纬度的环境资源有限,因而物种个体需要更宽的分布范围。与此相似,Stevens (1989, 1992) 解释分布在高海拔的物种需要更宽的生态位(高度范围),从而导致分布在高海拔的物种数量减少。中国是世界上山地类型最为丰富的国家,利用中国山地的研究资料来验证和发展上述理论必将获得重要发现。

除物种层次外,下列层次的生物多样性与地形关系的研究均属山地生态学应重点解决的问题。

物种分化和适应的地形效应:我国西南山地和东喜马拉雅被认为是大量植物类群的物种分化和特有种分布的中心。例如,马先蒿属在全世界有 500 余种,其中 200 余种集中分布在横断山区(Yang *et al.*, 1998)。Yang *et al.* (2003) 对该地区的 40 多种马先蒿(代表了主要花冠类型)的分子系统学研究表明:花部形态在马先蒿属中存在广泛的平行进

化,可能是对生境及传粉方式等的适应造成的。

地貌过程与群落演替:地形异质格局与地貌过程产生群落演替的多样性。它们之间的相互关系为验证和发展群落演替理论提供了对象和场所。

地形与动物栖息地:多变的地形为动物,尤其为大型动物提供了避难所和栖息地。

山地景观与生物群落垂直带谱:我国丰富的山地类型使研究生物群落垂直带谱的地理分异及其机制成为可能。

大地形与物种/群落分布以及物种扩散迁移:大地形格局可能构成物种扩散和分布的天然屏障或通道;同时大地形产生的山块效应(massenerhebung effect)使物种或生物群落向更高的海拔分布。最明显的例子是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)(李文华, 1985; Fang & Yoda, 1991)。我国水青冈属植物分布的这种地形效应更为明显。方精云等(1999)发现,随着分布区平均海拔的升高,水青冈的分布上限显著提高。

(2) 山地气候变化与生态系统关系的研究

高山带或高山林线在气候变化研究中具有极为重要的意义(Körner, 1999)。由于高山林线对气候变化的响应极为敏感,因此,高山林线常常被看成是研究植被对气候变化响应的代表性区域。影响高山林线形成的因素很多(Bliss, 1985),但最重要的是两个与气候特征有关的因素,即:(1)冬季和春季叶子和芽的干燥限制了树木的生长;(2)夏季积温的不足导致树木的繁育不能正常进行(Tranquillini, 1978)。观测林线和雪线的变化是研究气候变化行之有效的手段。在山区,进行不同海拔的物候观测对于气候变化研究具有重要意义。通过这种研究可望阐明物候变化对气候变化的响应机理。

山地气候变化研究的另一个重要内容是气候变化的生态后果,如物种分布对气候变化的响应。Grabherr *et al.* (1994)、Pauli *et al.* (1996) 对阿尔卑斯山 30 座山峰高山植物的分布调查发现,与历史记载相比,90% 的山峰的高山植物数量都有明显增加,有些山地甚至增加了 3 倍以上。这主要是由于气候变暖造成的。

3.2 应用与应用基础研究

(1) 山地灾害与生态工程研究

滑坡、山崩、泥石流、雪崩等是山区的主要自然灾害,常常给居民的生命财产和工农业生产造成巨大损失。为防止、控制和减少这些灾害的发生,除进行灾害的预测预报研究和实施相应的工程措施外,开展以植被恢复为主的生态工程研究也是一条可行的途径。因此,研究基于乡土树种和“适地适树”原则下的植被恢复技术是山地生态学研究的一项重要内容。

(2) 山区的人地关系与可持续发展研究

山地是未来中国生态安全体系的保障,是中国社会经济可持续发展的后备资源。这主要是因为我国山区面积大、自然资源丰富、开发和利用程度较低。但山区自然环境脆弱,稍有不慎,就会造成对山区及其下游地区环境的破坏。和谐的人地协同关系是山地可持续发展的前提和基础。发展生态农业/生态林业是实现山地可持续发展的有效途径。我国一些山区有很好的农林复合系统和立体农业生产模式(李文华、赖世登,1994)。从理论上和实践上研究这些模式并加以完善和推广是山区农业生态、林业生态研究的重要内容。因为可持续发展问题涉及自然科学和人文科学的交叉,因此,山区的可持续发展需要自然科学工作者和社会科学工作者的合作来进行共同研究。

山区旅游生态是山地区域人-地关系研究的核心内容之一。生产落后、交通及通讯不便、相对贫困是全球山地的一个共同特点和挑战。通过发展山区生态旅游,不仅可以丰富城市居民的文化生活,还可以带动山区经济的发展。因此,2002年国际山地年的一项重要内容就是推动各国山区生态旅游事业的发展。一个重要的问题是在开展生态旅游的同时,如何保护好各类有形和无形的山区资源以及自然景观。这是山地生态学研究面临的一项重要任务。

(3) 山地生物与生态保护研究

包括以保护生物多样性为核心的世界自然遗产保护区、自然保护区、人与生物圈保护区的生态调查和监测等。这方面已有大量的文献,此处不作详细论述。

3.3 技术与方法研究

(1) 地形特征的量化

如前所述,地形特征的量化是山地生态学研究的关键技术。这需要与地学、信息科学等领域的人员合作,共同开发量化地形特征的技术和方法。将

来还要研究由地形引起的各种环境与生态效应的虚拟和模拟技术。

(2) 山地环境因子的测定

非地形的环境因子(如气候、土壤、大气成分)是产生各种生态效应的直接因素,对阐明山地的各种生态现象和过程至关重要。由于数字技术的发展,过去难以定量测定的环境因子的量化已成为或将成为可能。如过去研究山地的气温直减率很困难,但现在变得十分简便。图1就是利用一种简易的温湿度自动记录装置对秦岭山地南北坡不同海拔高度的温度的测定结果。我们不仅可以准确地测定直减率的大小,还可以知道它的年际变化、季节变化以及南北坡的差异等等。土壤温湿度、大气成分等也可以作同样的测定。

4 结语

世界的山地面积约占全球陆地总表面积的22%,我国山地的面积达 $6.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占国土总面积的67.7%。山地是一个生态复杂系统,具有特定的结构和功能,拥有丰富的生物多样性资源、水资源、旅游资源和矿产资源,对一个国家、民族和地区的经济和社会发展至关重要。开展山地生态学研究对阐明山地系统的结构与功能、现象与过程,以及对于合理开发、保护和利用山地资源都有重要的意义。

在山区,地形地貌是形成各种山地生态现象和过程的最基本因素,其他因素由此衍生而成。地形主要包括海拔高度、坡向、坡位、坡度、起伏程度等要素,它们通过改变地表的光、热、水、土、肥等生态因子而对生物和生物群落分布产生作用。

山地生态学是一门研究在山区这一特定环境中,不同生命层次的生态现象和过程及其相互作用的生态学领域。地形地貌与各种生态现象和过程的相互作用是山地生态学研究的核心内容。如何实现地形特征的量化是山地生态学研究的技术关键。空间技术(如GIS技术)和数字技术(如数字地形模型,DTM)为量化地形特征提供了有效的手段。目前,山地生态学的主要内容可包括如下方面:

- 山地生态复杂性与生物多样性研究
- 山地气候变化与生态系统关系的研究
- 山地灾害与生态工程研究
- 山区的人地关系、旅游生态与可持续发展研

究

- 山地生物与生态保护研究
- 山地生态学的技术与方法论研究

我国山区面积大、自然资源丰富,但由于交通、通讯不便等原因,大都处于欠发达或贫困地区。合理开发和利用山区资源、发展山区经济是大势所趋,但山区自然环境脆弱,稍有不慎,就会造成对山区及河流下游地区资源和环境的破坏。因此,建议国家有关部门组织力量,开展以和谐的人地关系为基础的山地可持续发展的综合研究,查明山区各类资源以及限制山区经济发展和生态保护的关键因素,制定出适合于山区经济发展和保护山区生态和环境的发展战略。

参考文献

- Ai, N. S. (艾南山). 1998. My perspective on montology. *Mountain Research* (山地研究), **16**: 1–2. (in Chinese)
- Barry, R. G. 1992. *Mountain Weather and Climate*. Routledge, New York.
- Bliss, L. C. 1985. Alpine. In: Chabot B. F. and Mooney H. A. (eds.), *Physiological Ecology of North American Plant Communities*. Chapman and Hall, New York, 41–65.
- Budyko, M. I. 1974. *Climate and Life*. Academic Press, New York.
- Ding, X. Z. (丁锡祉) and Zheng, Y. C. (郑远昌). 1986. Preliminary discussion on montology. *Mountain Research* (山地研究), **4**: 179–186. (in Chinese)
- Ding, X. Z. (丁锡祉) and Zheng, Y. C. (郑远昌). 1996. The second discussion on montology. *Mountain Research* (山地研究), **14**: 83–88. (in Chinese)
- Fang, J. Y. (方精云). 1992. The geographic elements affecting temperature distribution in China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **12**(2): 97–104. (in Chinese)
- Fang, J. Y. 1992. Study on geographic distribution of the altitudinal lapse rate of temperature in China. *Chinese Science Bulletin*, **37**: 1979–1983.
- Fang, J. Y. (方精云), Guo, Q. H. (郭庆华) and Liu, G. H. (刘国华). 1999. Distribution patterns of Chinese beech (*Fagus L.*) species in relation to topography. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **41**(7): 766–774. (in Chinese)
- Fang, J. Y. and Yoda, K. 1991. Climate and vegetation of China. V. Effects of climate factors on the upper limit of distribution of evergreen broadleaf forest. *Ecological Research*, **6**: 113–125.
- Fang, J. Y. and Yoda, K. 1988. Climate and vegetation of China. V. Change in the altitudinal lapse rate of temperature and distribution of sea-level temperature. *Ecological Research*, **3**: 37–51.
- Fu, B. P. (傅抱璞). 1983. *Mountain Climate* (山地气候). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Fujii, K. 1997. Study on molecular systematic geography of alpine plants in Japan. *Japanese Journal of Biogeography*, **52**: 59–69.
- Grabherr, G., Gottfried, M. and Pauli, H. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*, **369**: 448.
- Hara, M., Hirata, K. and Oono, K. 1996. Relationship between micro-landform and vegetation structure in an evergreen broad-leaved forest on Okinawa Island, SW Japan. *Nature History Research*, **4**(1): 27–35.
- Kikuchi, T. and Miura, O. 1993. Vegetation patterns in relation to micro-scale landforms in hilly land regions. *Vegetatio*, **106**: 147–154.
- Körner, C. 1999. *Alpine Plant Life*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kuz'min, P. P. 1972. *Melting of Snow Cover*. Published in Russian, 1961. Israel Program of Scientific Translation, Jerusalem, Israel.
- MacArthur, R. H. 1972. *Geographical ecology: patterns in the distribution of species*. Harper & Row, New York.
- Li, W. H. (李文华) and Lai, S. D. (赖世登). 1994. *Agriforestry Management in China* (中国农林复合经营). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Li, W. H. (李文华) (ed.). 1985. *Forests of Tibet* (西藏森林). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Li, Z. H. (李兆华). 1992. Studies on the endangered and rare wild plant species and the protecting strategies. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), **1**(1): 49–54. (in Chinese)
- Lin, Z. G. (林之光). 1984. Study on major factors affecting altitudinal lapse rates of temperatures and their annual changes in mountain regions in China. In: Editorial Committee for Mountain Climatology (ed.), *Collected Papers on Mountain Climatology* (山地气候文集). Meteorological Press, Beijing, 69–76. (in Chinese)
- Lin, Z. G. (林之光). 1995. *Topography-induced Precipitation Climatology* (地形降水气候学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- MacArthur, R. H. 1984. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Princeton University Press, Princeton, USA.
- Messerli, B. and Ives, J. D. 1997. *Mountains of the World: A Global Priority*. The Parthenon Publishing Group, New York.
- Pauli, H., Gottfried, M. and Grabherr, G. 1996. Effects of climate change on mountain ecosystems — upward shifting

- of alpine plants. *World Resource Review* (Woodridge, Illinois), 382 – 390.
- Rapoport, E. H. 1982. *Areography: Geographical Strategies of Species*. Pergamon, New York.
- Reiter, E. R. 1963. *Jet-stream Meteorology*. University of Chicago Press, Chicago.
- Sakai, A. and Ohsawa, M. 1993. Topographical pattern of the forest vegetation on a river basin in a warm-temperate hilly region, central Japan. *Ecological Research*, **9**: 269 – 280.
- Shen, Z. H. (沈泽昊). 2002. A multiscale study on the vegetation-environment relationship of a mountain forest transect. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**: 461 – 470. (in Chinese)
- Shen, Z. H. (沈泽昊), Wang, G. F. (王功芳) and Li, D. X. (李道兴). 2002. Gap related disturbance in mixed mountain forests at Mt. Dalaoling in the Three Gorges. II. Topographic patterns. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **26**: 149 – 155. (in Chinese)
- Shen, Z. H. (沈泽昊), Zhang, X. S. (张新时) and Jin, Y. X. (金义兴). 2000. An analysis of the topographical pattern of the chief woody species at Dalaoling Mountain in the Three Gorges. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 581 – 589. (in Chinese)
- Song, Y. C. (宋永昌). 2001. *Vegetation Ecology* (植被生态学). East China Normal University Press, Shanghai. (in Chinese)
- Stevens, G. C. 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *American Naturalist*, **133**: 240 – 256.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist*, **140**: 893 – 911.
- Sun, H. L. (孙鸿烈). 1983. Introduction to International Mountain Society. *Mountain Research* (山地研究), **1**: 60 – 61. (in Chinese)
- Swanson, F. J., Kratze, T. K. and Caine, N. 1988. Landform effects on ecosystem patterns and processes. *BioScience*, **38**: 92 – 98.
- Tang, Z. Y. (唐志尧). 2003. *Plant Distribution Patterns in Qinling Mountains* (秦岭山脉植物多样性的分布格局). Ph. D dissertation, Peking University.
- Tranquillini, W. 1978. *Physiological Ecology of the Alpine timberline*. Springer-Verlag, New York.
- UNEP/WCMC (World Conservation Monitoring Centre). 2002. *Mountains and Mountain Forests*. Cambridge, UK.
- Walsh, E. 1966. Windspread on mountains: final report of meteorological research (AFCRL-66-280), University of Wisconsin.
- Wang, M. Y. (王明业), Zhu, G. Y. (朱国余) and He, Z. D. (贺振东). 1988. *The Mountains of China* (中国的山地). Sichuan Science & Technology Press, Chengdu. (in Chinese)
- Wang, M. Y. (王明业), Zhu, G. Y. (朱国余), He, Z. D. (贺振东) and Zheng, X. (郑霞). 1986. The mountains and mountain systems in China. *Mountain Research* (山地研究), **4**: 67 – 74. (in Chinese)
- White, P. S. and Miller, R. I. 1988. Topographic models of vascular plant richness in the southern Appalachian high peaks. *Journal of Ecology*, **76**: 192 – 199.
- Yang, F-S, Wang, X-Q, Hong, D-Y. 2003. Unexpected high divergence in nrDNA ITS and extensive parallelism in floral morphology of *Pedicularis* (Orobanchaceae). *Plant Systematics and Evolution*, **240**: 91 – 105.
- Yang, H., Holmgren, N. H., Mill, R. R. 1998. *Pedicularis* L. In: Wu, Z. Y. and Raven, P. H. (eds.), *Flora of China* (18). Science Press. Beijing, 97 – 209.
- Yazawa, T. 1989. *Regional Climatology: Past and Future*. Kokyo-shouin, Tokyo.
- Ying, T. S (应俊生) and Zhang, Z. S. (张志松). 1984. Endemic genera in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **22**: 259 – 268. (in Chinese)
- Ying, T. S (应俊生), 2001. Seed species diversity and its patterns in China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**: 393 – 398.
- Yoshino, M. M. 1975. *Climate in a Small Area*. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Yu, D. F. (余大富). 1996. Some opinions on developing montology. *Mountain Research* (山地研究), **14**: 285 – 289. (in Chinese)
- Yu, D. F. (余大富). 1998. Discussion of the objects and contents of montology study. *Mountain Research* (山地研究), **16**: 69 – 72. (in Chinese)
- Zheng, C. Y. (郑成洋), Fang, J. Y. (方精云) and Liu, C. D. (刘初韧). 2004. Distribution of Fagaceae species in relation to topography, in Wuyishan National Nature Reserve, Fujian Province. *Acta Geographica Sinica* (地理学报) (in press) (in Chinese)
- Zheng, D. (郑度) and Chen, W. L. (陈伟烈). 1981. Preliminary study on vegetation zonation in East Himalaya. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **23**: 228 – 234. (in Chinese)
- Zhong, X. H. (钟祥浩). 1996. Mountain studies in Chengdu Institute for Mountain Research: past and future. *Mountain Research* (山地研究), **14**: 65 – 70. (in Chinese)