

# 中国暖温带山地植被生态学研究进展

上官铁梁<sup>1,2</sup>, 李晋鹏<sup>2</sup>, 郭东罡<sup>1</sup>

(1 山西大学环境与资源学院, 山西 太原 030006 2 山西大学黄土高原研究所, 山西 太原 030006)

**摘要:** 山地生态学作为现代生态学研究的核心内容, 主要研究在山地这一特殊的自然环境中, 生物与山地环境之间的相互关系和各种生态过程的科学。而山地植被生态学始终是山地生态学研究重要的内容, 目前已经成为一门独立的山地生态学分支学科。对中国暖温带山地植被数量分类和排序, 植物群落多样性, 植物区系, 植被垂直分布, 种间关系, 植被带划分等方面的植被生态学研究现状进行了介绍和讨论, 并对山地植被生态学未来的发展前景进行了分析和探讨。

**关键词:** 山地; 植被生态学; 研究进展; 暖温带

**中图分类号:** Q948.15, S718.5

**文献标识码:** A

山地一般指具有一定海拔、相对高度、坡度, 并连绵延伸的地貌形态, 通常由山谷、山脊和山峰组成, 它的山文学特征是形成单独或复合的山脉。山地是早期人类的重要起源地和繁衍地, 是人类认识自然和利用自然资源的重要场所。因生存条件的严酷与艰难, 人类大都是在山地的边缘地带生产和生活。山地生态学是研究在山地这一特殊的自然环境中, 生物与山地环境之间相互关系和各种生态过程的科学。山地生态学一直是现代生态学研究的核心内容。

从生态学角度来看, 山地是陆地生物圈的三维生态实体<sup>[1]</sup>, 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<sup>[2]</sup>, 并由此引起光照、热量、水分、土壤等生态因子复杂多变及其各种组合。同时山地的生态因子具有多变性, 沿海拔梯度的变化要比沿纬度梯度快1 000倍<sup>[3]</sup>。在植被生态学研究领域, 由于山地保存较好的植被, 古老和复杂的植物区系组成, 植物群落类型、结构和生境的复杂性, 植被的垂直分布格局, 较高生物多样性组成及山地环境条件的多样性、过渡性、复杂性、敏感性等特征。因而, 山地成为现代植被生态学研究的重

要对象。

中国是一个多山的国家, 山地面积广阔, 山地的面积达  $6.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 约占国土面积的 67.7% (包括高原和丘陵)<sup>[1,2]</sup>。山地气候类型复杂多样, 涵盖了热带、亚热带、暖温带、温带、寒温带等各个气候类型山地, 并有举世独一的青藏高原高寒植被。山地对中华民族的繁衍、生息和文明发展做出巨大的贡献, 特别是中国暖温带落叶阔叶林区域, 正当中华文明的起源和发展成熟区。该区域长期以来受到人类生产、经济活动的深刻影响, 原始的暖温带落叶阔叶林植被已不复存在, 在平原区和丘陵区自然植被已被栽培植被所代替, 是我国重要的粮食和经济作物产区, 仅在偏远山地有一些次生性的暖温带落叶阔叶林存在。建国以来, 对中国暖温带区域的山地植被生态学研究, 取得了大量的研究成果, 这对于认识该区域植被的分布格局和规律, 重要生态系统和区域生物多样性的保护以及退化生态系统恢复和重建等具有重要意义, 此外还可开展科学的植被区划、综合自然区划、生态功能区划、生态经济区划、生态建设规划和区域发展规划等提供研究成果和理论支持。

收稿日期 (Received date): 2008-10-20.

基金项目 (Foundation item): 山西省自然科学基金资助项目 (2006011095). [The Provincial Natural Science Foundation of Shanxi (2006011095).]

作者简介 (Biography): 上官铁梁 (1955-), 男, 山西阳城人, 教授, 研究方向: 山地生态学、植物生态学和湿地生态。 [Shangguan Tieliang (1955-), male Professor Major in mountain ecology, plant ecology and wetland ecology. ] E-mail: tkg@sxu.edu.cn

# 1 暖温带区与山地生态学研究

## 1.1 暖温带区域的界定

本文所指中国暖温带区域,位于  $32^{\circ}30' \sim 42^{\circ}30' \text{ N}$ ,  $105^{\circ}30' \sim 124^{\circ}10' \text{ E}$  范围内,全区域东部宽而西部狭窄,略呈一个三角形,总面积约  $700\,000 \text{ km}^2$ 。其区域范围界定参见《中国植被》<sup>[4]</sup>。本区域东濒渤海与黄海,北、西、南三面都是大陆,处于北半球中纬度及东亚季风边缘。总体自然条件特征:冬季严寒而晴燥,盛行西北风;夏季酷热而多雨,雨量从海岸向西北递减。在这种水、热条件支配下,自然植被发育为暖温带落叶阔叶林,与植被相适应的地带性土壤是棕壤和褐色土,黄土高原有黑垆土。

暖温带落叶阔叶林区域仅有一个植被地带,即暖温带落叶阔叶林地带。根据南北热量条件的差异,可将本地带可划分为两个亚地带,即暖温带北部落叶阔叶林亚地带和南部落叶阔叶林亚地带<sup>[4]</sup>。

## 1.2 山地生态学研究进展

在远古时代,山地曾经是人类自然崇拜的对象,人们对其充满了敬畏。但是,在长期的生产和实践中,人们逐渐积累起来了有关山地植被的分布,动植物资源及其利用等方面的知识。1554年 Gesner发表了《山地片段的描述》(Descriptio Montis Fracti)是世界上最早的山地专著。近代山地生态学的研究与近代生态学和自然地理学的诞生几乎同步,始于 18 世纪末 19 世纪初。植物地理学的创始人 A. von Humboldt(洪堡) 1799~ 1804 年的南美安第斯山脉(Andes)山的科学研究<sup>[5]</sup>,揭开了近代山地生态学研究的序幕,并对后来的宏观生态学和地理学研究产生了深远的影响。国际上系统性的山地生态研究始于 20 世纪 60 年代。其标志之一是国际地理学联合会(IGU)于 1968 年成立山地生态学委员会。1981 年,国际山地学会(International Mountain Society, IMS)正式成立,此后,国际山地研究获得迅速发展。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生态问题的关注。

在我国,山地生态学的研究也有着悠久的历史。我国近代关于山地生态学的研究则首推钱崇澍,他于 1927 年发表的《安徽黄山的植被和植物区系初步记录》<sup>[6]</sup>和 1932 年发表的《南京钟山岩脊的植被》<sup>[7]</sup>,标志着我国近代山地植物生态学研究的开

端。山地生态学的大规模研究是在建国以后,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区域和山地,尤其是青藏高原和横断山区。尽管早期的山地生态学研究是以描述性为主,然而却为后来开展进一步的研究积累了大量宝贵资料。在此之后,我国山地生态学研究蓬勃发展,如黄锡畴(1960)总结了欧亚大陆温带山地垂直带结构类型<sup>[8]</sup>;候学煜(1963)论证了中国各植被区山地植被垂直带谱的特征<sup>[9]</sup>;张新时(1994)进一步论述了中国山地植被垂直带的生态地理特征<sup>[10]</sup>。特别是在山地理论和学科体系研究方面也有了一定进展,如丁锡祉和郑远昌(1986, 1996)提出山地学的概念<sup>[11, 12]</sup>。方精云和沈泽昊等(2004)对山地的生态特征及山地生态学的研究内容进行了论述<sup>[12]</sup>,认为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。刘鸿雁和崔海亭(2002)等对五台山、关帝山、小五台山和太白山等中国暖温带山地林线生态问题的研究<sup>[13, 14]</sup>,并对林线的变化与环境因子关系进行了分析和探讨。从上述的研究成果不难看出山地植被始终是山地生态学研究重要的内容,目前已经成为一门独立的山地生态学分支学科。1984 年中国地理学会成立了山地研究委员会,同年创办了山地科学学术刊物《山地研究》(现更名为“山地学报”),现已成为反映我国山地生态学最新研究成果和学科动态的重要学术专刊。

# 2 研究现状

## 2.1 植被分类和排序

植被分类,即植物群落的分类是植被研究中最复杂的问题之一,同时也是植被研究的基础之一。植被分类就是将各种各样的植物群落按固有特征纳入一定的等级系统,从而使比较杂乱的现象条理化,使各类型之间的相似性和差异性更为显著,以达到认识植被的目的<sup>[4, 5]</sup>。早在 20 世纪 30~ 40 年代,刘慎谔先生就对我国暖温带落叶阔叶林区域的太白山、雾灵山森林进行了植被分类研究<sup>[15, 16]</sup>;此后,特别是建国以后,我国学者对暖温带落叶阔叶林区域植被类型及特征进行了广泛的考察,并进行了深入的研究。1980 年吴征镒<sup>[4]</sup>先生主编的《中国植被》一书的出版和 2007 年《中华人民共和国植被图(1:1 000 000)》以及《中国植被区划图

(1:6 000 000)》<sup>[5]</sup>的出版发行, 被认为是对我国传统植被生态学研究成果的全面总结, 并制定出中国植被分类和区划的原则、单位和系统, 对中国各主要植被类型和分区进行了详细论述。以上传统的植被分类主要依据群落植物种类组成和优势种, 外貌和结构, 生态地理特征, 动态特征等对植物群落进行分类, 并对山地生态学研究产生了广泛而深刻的影响。20世纪 70 年代末以来, 随着数量生态学方法的引入, 采用数学方法对植物群落进行分类, 即植被数量分类, 它是用数学的方法来完成分类, 从而使得结果更为客观、应用更为广泛, 更能反映生态规律。随着植被研究越来越精细、精度要求越来越高, 数量分类将会成为植被科学研究中的重要手段。值得一提的是, 植被数量分类是在传统的植被分类基础上发展起来的, 是对《中国植被》和《中华人民共和国植被图 (1:1 000 000)》为代表的传统植被分类的补充和完善。

排序是现代植被分析的重要手段。它是研究植被连续变化的方法, 其过程是将样方或植物种排列在一定的空间, 使得排序轴能够反映一定的生态梯度, 从而能够解释植被或植物种的分布与环境之间的关系<sup>[17]</sup>。也就是说排序是为了揭示植被与环境之间的生态关系。因而, 排序也叫梯度分析。国内从 1970 年代末开始植被排序研究以来, 在排序方法和应用研究方面取得了丰硕的成果。

近年来, 植被数量分类和排序方法被广泛应用于暖温带山地植被分类的研究中, 获得了丰富的研究结论, 绝大部分的研究者认为数量分类和排序能够更好的解释植物种、植物群落分布格局与环境之间的生态关系。在山地植被研究方面, 江洪和黄建辉等 (1991) 对东灵山<sup>[18]</sup>, 张丽霞和张峰等 (2001) 对山西芦芽山<sup>[19]</sup>, 张峰和张金屯等 (2003) 对历山自然保护区猪尾沟<sup>[20]</sup>, 刘秋锋和康慕宜等 (2006) 对中条山混沟地区<sup>[21]</sup>, 郭东罡和上官铁梁 (2005) 对中条山中段<sup>[22]</sup>等地植物群落数量分类和排序都取得了较好的结果, 并认为海拔是决定上述地区植物群落分布的主要环境因子, 热量、湿度和土壤等环境因子对群落分布有一定的影响。李晋鹏和上官铁梁等 (2007) 对吕梁山南段干扰较为严重植物群落分类和排序表明, 影响该地区植物群落分布的生态因子为水分和土壤, 而认为干扰加剧了该区域植被的退化<sup>[23]</sup>。在落叶阔叶林研究方面, 吴晓莆和王志恒等 (2004) 将北京山区栎林的植物群落划分为 7 类, 并

认为海拔与坡向是影响群落的主要环境因子<sup>[24]</sup>。在暖温带山地针叶林类研究方面, 如陈灵芝 (1992) 对暖温带山地针叶林进行了数量分类<sup>[25]</sup>, 认为低山侧柏为喜暖耐旱的植物群落, 油松林则分布很广, 华山松需要温暖湿润的环境, 多见于纬度较低的中山地带, 而亚高山带主要是华北落叶松, 白栎, 青栎占优势的寒温性针叶林, 并对各针叶林类型加以环境解释; 王孝安和田先华等 (1997) 采用模糊聚类对太白山巴山冷杉、太白红杉山地针叶林<sup>[26]</sup>也进行了数量分类并认为, 太白山针叶林的类型与分布主要取决于海拔、降水和热量。张贵莲和张金屯等 (2003) 将山西南部暖温带的广泛分布白羊草群落划分为 17 类, 并认为土壤含水量和土壤质地是影响白羊草群落类型分布的主要因素<sup>[27]</sup>。此外, 李素清、张金屯, 曹杨和上官铁梁等, 对芦芽山 (2001)、五台山 (2005)、历山 (2004) 等地分布亚高山草甸的进行了数量分类的研究<sup>[28-30]</sup>, 并对影响亚高山草甸植物群落分布的环境因素进行了分析。在数量分类方法的研究方面, 邱扬和张金屯 (2000) 则首次采用排序轴分类法对关帝山八水沟<sup>[31]</sup>植物群落进行了数量分类研究, 并表现出了较好的应用效果, 而兰国玉, 雷瑞德 (2006) 等采用植被排表分析法和 Ward 最小距离聚类的方法对秦岭华山松群落<sup>[32]</sup>的数量分类研究, 也取得了较好的结果。张峰和上官铁梁 (1997)<sup>[33]</sup>采用非等级分类方法——有序样方聚类法对山西绵山植被垂直带的划分, 与其他聚类法相比结果是最优的。在濒危动植物栖息地植物群落研究方面, 郑凤英和张金屯等 (1998)<sup>[34]</sup>等对矮牡丹生存群落进行了数量分类分析, 并对影响该植物种分布的植物群落与环境因子进行了分析。

总之, 近年来数量分类和排序在我国暖温带植被生态学研究领域取得了广泛的应用, 学者们对分类和排序分析方法也有所创新和发展。特别是植被分类和排序结合起来研究, 在解释植物种、植物群落、植被与环境之间的生态关系方面可以做到更合理、客观的, 可以预见, 其将会取得更广泛的应用。

## 2.2 植物群落多样性

生物多样性是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总合, 包括数以百万计的动物、植物、微生物和它们所拥有的基因以及它们与其生存环境形成的复杂的生态系统, 是生命系统的基本特征<sup>[35]</sup>。根据联合国环境与发展大会报告<sup>[36]</sup>, 生物多样性可在 3 个概念层次进行讨

论:生态系统多样性,物种多样性和基因多样性。依据研究的生物层次将生物多样性划分为4个层次,即景观多样性,生态系统多样性,物种多样性和基因多样性<sup>[37]</sup>。基因和物种多样性是生物多样性研究的基础,生态系统多样性则是生物多样性研究的重点。而山地植物群落的多样性是生物多样性的各个层次中最早研究的层次,同时也是生态系统多样性的基础和核心内容。植物群落多样性主要指植物群落的组成、结构、功能和动态变化方面的多样性和复杂性。

随着全球生物多样性的锐减,生物多样性的研究正成为生态学家们关注的焦点之一。目前生物多样性的研究热点之一就是生物多样性的维持机制<sup>[38]</sup>。生物多样性沿环境梯度的变化规律是生物多样性研究的一个重要议题<sup>[39]</sup>。山地植物群落物种多样性随海拔的变化规律一直是生态学家感兴趣的问题<sup>[40-41]</sup>,同时也是山地生物多样性研究的重点和核心内容。在中国暖温带区域,北暖温带落叶阔叶林亚地带的芦芽山(2000)<sup>[42]</sup>,关帝山(2000)<sup>[43]</sup>,绵山(1998)<sup>[44]</sup>等海拔较高的山体,其随海拔的升高,丰富度指数和物种多样性指数逐渐减小,而均匀度指数逐渐增大或基本保持不变。而刘增力和郑成洋等对河北小五台山(2004)北坡植物物种多样性的垂直梯度变化研究<sup>[45]</sup>,表明物种丰富度随海拔的升高逐渐减小,物种多样性呈现出随海拔升高先增大,后减小的趋势;高贤明和陈灵芝(1998)对北京地区辽东栎林群落<sup>[46]</sup>研究表明,群落丰富度和多样性指数随海拔升高而上升,而均匀度指数则呈较稳定的上升趋势。在北暖温带落叶阔叶林亚地带和南暖温带落叶阔叶林亚地带过渡的山西太岳山(2004)<sup>[47]</sup>,森林群落物种多样性的研究表明,分布在不同海拔的森林群落物种多样性呈连续性波动的变化,表现为随海拔的增加,物种多样性指数呈上升的趋势;山西霍山(2005)森林群落林下物种多样性的则表现为灌木层和草本层各多样性指数在中海拔最大,为单峰分布格局<sup>[48]</sup>。而在南暖温带落叶阔叶林亚地带的山西历山(2002),植物群落多样性<sup>[49]</sup>则表现为海拔是决定多样性分布格局的主导因子,随着群落分布海拔的增加,多样性呈一致的上升趋势;太行山南段(2006)植物群落物种多样性的研究<sup>[50]</sup>,各群落多样性指数在海拔梯度上表现出明显的规律,呈单峰曲线变化。在暖温带落叶阔叶林地带的秦岭山地,岳明和周虹霞(1997)对太白山

北坡暖温带落叶阔叶林物种多样性特征进行了研究<sup>[51]</sup>,表明处于中山带的锐齿槲栎林及辽东栎林的多样性较高,高海拔与低海拔处的群落多样性较低;唐志尧和方精云等(2004)对太白山等地木本植物物种多样性的分析表明,丰富度和多样性随海拔的升高而下降,均匀度随海拔的变化规律不明显<sup>[52]</sup>。李跃霞和上官铁梁(2006)<sup>[53]</sup>对中条山中段木本植物群落植物物种多样性的分析表明,群落植物物种多样性指数的大小受立地生境和人为活动的综合影响;森林群落的植物物种多样性指数明显高于灌丛群落;群落植物物种多样性在空间上的差异不仅决定于物种丰富度指数,更与各物种间的均匀度指数密切相关;进而影响不同层次的物种多样性对群落总体物种多样性的贡献。李裕元和邵明安(2004)对子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化进行了研究<sup>[54]</sup>,马克明和傅伯杰(1999)<sup>[55]</sup>等运用亲和度分析测度北京东灵山地区森林景观多样性与环境因子的关系,并认为该区不存在明显的环境梯度,景观复杂,由多个环境梯度支配。孙宇和邵小明(2007)<sup>[56]</sup>等还对北京东灵山主要森林植被中苔藓植物物种多样性进行了研究。

总之,我国暖温带落叶阔叶林区域山地,物种多样性随海拔主要表现为三种格局,一种是负相关(芦芽山,绵山等)变化;一种是单峰(太白山,小五台山等)分布格局,表现为先增大后减小,出现这种格局的原因可能是由于低海拔地区受到较频繁的人类活动的干扰,从而导致生物多样性较低;一种是呈正相关(太岳山,历山等)变化,出现这种格局原因可能是海拔梯度较小的缘故。此外,山地生物多样性的维持及其变化与环境因子之间的关系,应成为今后在山地生物多样性研究的重点内容。

### 2.3 植物区系地理成分

植物区系是一定区域内所有植物种类的总称,是植物界在一定自然环境,特别是自然历史环境中发展演化的结果<sup>[57]</sup>。对植物群落种类组成进行区系成分分析就是把组成群落的分类单位,按其分布区类型进行划分<sup>[58]</sup>。对植物群落进行植物区系成分分析,有助于了解某一地区植物群落的起源、演化、性质和时空分布规律等。中国暖温带落叶阔叶林区域,植物区系起源古老。本区域自晚白垩纪开始就孕育了温带落叶阔叶林,第三纪这类森林充分发展和分布,第四纪冰川消灭了欧洲和北美的大量同类植被,而在东亚他们则得以幸存。现在东亚的

暖温带落叶阔叶林, 则是第三纪植物区系的直接子遗<sup>[59]</sup>。

近年来, 关于本区域山地种子植物区系地理成分研究方面已有不少的论述, 研究的区域涉及山西关帝山 (1998)、芦芽山 (1999)、中条山 (2000, 2007)、太岳山 (1993)、河北省的小五台山 (2004)、东灵山 (1997)、秦岭太白山 (1990)、山东昆崙山 (1999)、崂山 (2001)、泰山 (1994) 等地<sup>[60-69]</sup>, 在以上的研究文献中揭示出各山地之间植物区系相似性程度, 认为关帝山植物区系成分与芦芽山有较高的同质性, 历山与蟒河、太白山、太岳山和泰山较为相似, 而与关帝山、芦芽山有显著的差异, 小五台山与东灵山、雾灵山十分相似, 与关帝山、太岳山有一定的相似性, 崂山与昆崙山相似性最高。在区域尺度的范围上, 主要有李法曾 (1992)<sup>[70]</sup>和赵善伦、吴志芬 (1998)<sup>[71]</sup>对山东植物区系进行了探讨和分析; 李跃霞和上官铁梁 (2007) 对山西省种子植物区系地理的研究<sup>[72]</sup>; 张桂宾等 (2004) 对河南种子植物区系的基本特征和地理进行了研究<sup>[73]</sup>; 刘静艳和张宏达 (1998) 对陕西种子植物区系地理成分进行了研究<sup>[74]</sup>。从以上研究可以表明, 山西是华北暖温带山地面积最大省份, 处于南、北暖温带两个植被亚带和暖温带落叶阔叶林地区与我带森林草原和草原的交错区, 山地植物区系具有明显过渡性、复杂性、多样性和差异性, 植物区系的温带性质色彩极其明显, 热带性质区系成分占次要地位, 山地是区域植物区系最丰富的空间。而河南、陕西、山东山地植物区系则表现出亚热带向暖温带的过渡性及相互渗透特点。邢韶华、林大影 (2006) 对北京山区野生维管植物区系研究表明, 山地植物区系与所处的地理位置有很大的一致性, 热带性质分布区类型属的比例随海拔升高而降低, 温带性质分布区类型属的比例则随海拔升高而增加<sup>[75]</sup>。

在植物区系研究方面, 以往的研究往往针对某一地域或山地, 在群落水平上, 特别是不同群落类型和相似群落类型植物区系开展比较研究具有重要意义。还应特别注意对特殊区域的山地植物区系的特殊性开展研究, 对于阐明植物区系的起源、发展和变化具有重要的理论价值。此外, 人类开发和环境污染引起的山地环境变化对区域植物区系影响方面的研究, 也应得到山地生态学者的高度关注。深入研究珍稀濒危植物和特有种分布地区的植物区系, 对于区域生物多样性保护具有重要的理论和实践意

义。

## 2.4 植被垂直分布格局

植被的垂直分布是山地植被分布的显著特征。山地植被垂直分布一方面受水平地带的制约, 另外还受到山地生态条件的多样性及植被历史发生的特殊性的影响, 因而造成山地植被垂直分布的复杂性和多变性。植被垂直带划分是植被生态学的重要内容之一, 历来是植被生态学家感兴趣的问题。我国山地生态学者对暖温带山地植被垂直带划分进行了广泛的研究。传统的山地植被垂直带划分主要以植被类型及其分布为依据, 同时参考植物区系成分的垂直分布以及生态地理特征的垂直变化, 如傅子桢和李继赞 (1976) 年对山西各山地植被垂直地带性进行了分析<sup>[76]</sup>, 张金屯 (1989) 对山西芦芽山植被垂直带的划分<sup>[77]</sup>, 上官铁梁和张峰 (1991) 对云顶山植被垂直分布的划分<sup>[78]</sup>, 张金屯和张峰等 (1997) 对中条山植被垂直带谱的再分析<sup>[79]</sup>, 秦树辉 (1989) 对华山北坡的植被垂直分布划分<sup>[80]</sup>, 刘建中和奚为民对雾灵山 (1997) 植被垂直带的划分<sup>[81]</sup>。此外, 朱华 (1997) 尝试从植物群落的垂直分布和植物区系地理成分的垂直变化对北京百花山大阴坡植被进行垂直带, 并认为植物区系地理成分应成为植被垂直带划分的一个参考因素<sup>[82]</sup>。在对植被垂直带定量划分研究方面, 毕润成和闫桂琴 (2000) 用计算边缘效应和聚合分析的方法, 对山西霍山进行了森林植被垂直带的划分, 将霍山暖温带落叶阔叶林植被定量划分为 5 个垂直带和 3 个亚带<sup>[83]</sup>。

在山地植被垂直带划分研究上, 近年来采用定量的数学方法对植被垂直带划分取得了较好的结果, 与传统的划分方法相比, 可以使得结果更为客观。今后应当加强对历史植被垂直带与现状植被垂直带的比较研究, 深入探讨人类干扰和气候变化对山地植被垂直分布的影响及其植被的生态响应。由于山地植被在垂直带谱交错区对环境条件变化的敏感性, 在暖温带地区山地, 特别是在林线附近的研究<sup>[13]</sup>, 近年来也受到学者们的广泛关注, 这对于阐明环境条件变化对山地垂直带变化具有重要意义。

## 2.5 植物群落的种间关系

山地植物群落的种间关系决定了群落的结构、功能及动态特征, 是山地植被生态学研究的重要方面。种间关系可用联结性和相关性来表示。物种的联结性和相关性是植物群落重要的数量和结构特征之一, 它们作为两个物种相似性的一种尺度, 对于正

确认识群落的结构、功能和分类有着重要的指导意义,并能为植被的经营管理、自然植被的恢复和生物多样性的保护提供理论基础<sup>[16]</sup>。种对之间的正关联和正相关,主要是由于它们具有相近的生物学特性,对生境具有相似的生态适应性;而种对间的负相关和负关联,则主要是由于它们具有不同的生物学特性,对生境具有不同的生态适应性。近年来,我国学者对暖温带落叶阔叶林区域山地植被的种间关系研究取得了大量的成果,如上官铁梁、张峰、张金屯、张丽霞等先后对对绵山(1988)、历山(2000)、芦芽山(2001)、关帝山(2003)、中条山(2005)、吕梁山南段(2008)等山地植物群落的种间关系进行了研究<sup>[84-89]</sup>,杨君珑和王辉等(2007)对子午岭油松林灌木层主要树种空间分布格局和种间关系进行了研究<sup>[90]</sup>。此外,闫美芳和上官铁梁等对五台山(2006)等山地亚高山草甸植物群落优势种种间关系进行了研究<sup>[91]</sup>。

以上的研究从理论层面讨论了植物群落的种间生态关系,大部分研究者依据组成群落物种间的相关性划分成若干生态种组,进而分析群落物种组成与群落结构的关系。值得提出的是山地植物群落的种间关系研究尚处于起步阶段,以种间关系为切入点,分析植物群落的动态和演替机制,将是山地植被生态研究的热点之一。

## 2.6 植被的地理格局

近年来在暖温带山地植被生态研究方面,马晓勇和上官铁梁等(2006)采用数量分类和排序相结合定量方法,对山西恒山南北坡植被类型进行了比较研究,从而为恒山作为中国温带草原植被地带和暖温带落叶阔叶林地带分界提供了理论支持<sup>[92]</sup>。关于秦岭山地亚热带暖温带界限划分,长期以来存在北坡、分水岭和南坡三种争议,康慕宜和江源(2007)根据对秦岭不同区域植物区系调查结果的比较分析,认为南麓海拔 1 000 m 等高线附近很可能是暖温带的南缘<sup>[93]</sup>。

植被带划分作为植被生态学和地植物学研究的总结,历来受到生态学家的关注。由于我国地域广阔,植被类型复杂多样,涵盖了从热带到寒温带植被类型,并有青藏高原高寒植被类型,因此长期以来我国植被带的划分存在很多争论,并有多种方案<sup>[5]</sup>,其中使用较多的是吴征镒《中国植被》<sup>[4]</sup>方案和侯学煜方案<sup>[94-95]</sup>,本文所称的暖温带落叶阔叶林区域采用吴征镒方案。近来,在暖温带落叶阔叶林区域

的植被带划分问题上,张金屯、上官铁梁(1988)<sup>[96]</sup>关于晋西北部森林草原的界限及森林草原带的划分,提出依次生群落类型的性质为指示,不失为原生植被破坏后正确区分自然植被带的有效方法;宋永昌(1999)提出我国东部森林植被带划分新方案<sup>[97]</sup>,并提出温带落叶阔叶林带,和以往暖温带落叶阔叶林带相比,南界较以往方案有所北移,南部部分地区则划入了暖温带常绿落叶阔叶林混交林带,而暖温带常绿落叶阔叶混交林带则相当于以往所称的北亚热带常绿落叶阔叶混交林带。方精云(2001)认为地带性植被特征与决定其分布的限制性气候因子应作为我国东部植被带划分的主要依据,据此认为,我国暖温带有两种地带性植被,北部地区的落叶阔叶疏林带,即以往所称暖温带落叶阔叶林带,以及南部的落叶常绿阔叶混交林带<sup>[98]</sup>。

因此,今后应当加强在植被带划分原则,依据以及划分系统方面的研究工作,以使得我国植被带划分结果更科学、完善,取得广泛的共识,从而更好地为农业、林业等相关产业以及相关区划提供有效的结果。加强对植被带交错区,特别是植被交错区山地进行深入研究,以为植被带的划分提供科学的理论依据。

## 3 研究前景和展望

### 3.1 现代植被生态学理论和研究手段的创新

近年来,随着景观生态学的发展,数量生态学的广泛应用,以及 3S 技术的引入,从中等尺度,大尺度上对区域植被分布,格局,动态变化以及与区域环境因子的关系的研究成为了可能,近 20 年以来,植被数量生态学分析方法已经成为植被生态学研究的重要手段,它为客观、准确的揭示植被、植物群落及植物与环境之间的生态关系提供了合理、有效的途径,已经成为国际上植被生态学最重要的研究内容之一。可以预见,随着理论和研究方法的引入和创新,将会给山地植被生态学研究提供新的有效的思想和方法,发展的前景十分广阔。

### 3.2 山地植被生态系统的作用和功能

山地是植物、动物、微生物以及山地环境形成的一个复杂的生态系统。山地生态学是研究山地环境中,不同生命层次的生态现象和过程的生态学领域。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。由于山地环境类

型的多样性, 致使山地生态系统具有多样性和复杂性。特别是在山地植被生态学方面, 对植物群落发生、发展、演替与山地环境之间的相互关系进行深入研究具有十分重要的理论价值和实际应用意义。

### 3.3 山地生态系统的保护和开发

人口、资源、环境及社会经济协调可持续发展是山地生态系统保护和开发必须坚持的原则。由于山地生态系统的脆弱性和敏感性, 具体表现为破坏容易恢复难。因此, 对山地生态系统的演变、进化及其稳定性的评价, 山地生态系统的合理开发, 退化山地生态系统的恢复重建技术就成为当今研究的热点。同时山地又是生物多样性保护的重点地区, 因此山地生物多样性的格局和变化研究, 山地生物多样性的保护和监测, 也是当今山地生态学研究的重点。

### 3.4 全球变化与山地植被生态学的研究

全球变化是指在自然和人为作用下出现的全球性的自然环境问题, 在当今突出表现为全球变暖和温室气体排放。当前, 全球变化正在以前所未有的规模和速度对人类生存环境带来了一系列的问题, 并引起了全世界人们的关注。而山地生态系统则是全球变化最为强烈和敏感的地区, 特别是在高山地区雪线、林线、冻土、冰川等对全球变化的响应最为敏感, 因而成为全球变化生态学领域的研究重点。同时, 全球环境的变化对山地的生物多样性、植被的发生、发展、植被带的迁移以及山地植被对全球变化的响应就成为了未来植被生态学研究的重要方面。

## 参考文献 (References)

- [1] Walter H. The Vegetation of the Earth and Ecological System of the Geobiosphere (2<sup>nd</sup> edition) [M]. New York: Springer Verlag, 1979
- [2] Fang Jingyun, Shen Zehao, Cui Haiting. Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology [J]. *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 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 10~19]
- [3] Walter H. Vegetation of the Earth [M]. New York: Springer, 1979
- [4] Wu Zhengyi. China Vegetation [M]. Beijing: Science Press, 1980 [吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980]
- [5] Zhang X in shi. Vegetation Map of the People's Republic of China (1: 1 000 000). Vegetation Map of China and Its Geographic Pattern — Illustration of the People's Republic of China (1: 1 000 000) [M]. Beijing: Geological Press, 2007 [张新时主编. 中华人民共和国植被图 (1: 1 000 000). 中国植被及其地理格局—中华人民共和国植被图 (1: 1 000 000) 说明书 [M]. 北京: 地质出版社, 2007]
- [6] Yazawa T. Terrestrial Climatology: Past and Future [M]. Tokyo: Yokyo-shoin, 1989
- [7] Chien S S. Preliminary notes on the vegetation and flora of Huangshan [J]. *Contr Biol Lab Sci Soc*, 1927, 3: 1~85
- [8] Chien S S. The woods of Chung-shan Nanking [J]. *Contr Biol Lab Sci Soc China Bot Ser*, 1932, 7: 191~204
- [9] Huang X ichou. Structural types of altitudinal belts in temperate zones of the Eurasian continent [A]. In: Proceeding of the 1960 Geographical Symposium of China [C]. Beijing: Science Press, 1960, 67~74 [黄锡畴. 欧亚大陆温带山地垂直带结构类型 [A]. 见: 1960年全国地理学术会议论文集 (自然地理) [C]. 北京: 科学出版社, 1962, 67~74]
- [10] Hou Xueyu. On the characteristics of altitudinal belt spectra in vegetation regions of China [A]. In: Collection of Abstracts of Papers for the Thirtieth Annual Meeting of China Flora Association [C]. Beijing: Science Press, 1963, 254~258 [侯学煜. 论中国各植被区山地植被垂直带谱的特征 [A]. 见: 中国植物学会. 中国植物学会三十周年年会论文摘要汇编 [C]. 北京: 科学出版社, 1963, 254~258]
- [11] Zhang X in shi. The principle eco-geographic types of mountain vertical vegetation belt systems in China [A]. In: Vegetation Ecology Research — A Commemoration for Famous Ecologist Prof. Hou Xueyu [C]. Beijing: Science Press, 1994, 77~92 [张新时. 中国山地植被垂直带的基本生态地理类型 [A]. 见: 植被生态学研究——纪念著名生态学家侯学煜教授 [C]. 北京: 科学出版社, 1994, 77~92]
- [12] Ding X izhi, Zheng Yuanchang. A preliminary discussion on montology [J]. *Mountain Research*, 1986, 4(3): 179~186 [丁锡祉, 郑远昌. 初论山地学 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1986, 4(3): 179~186]
- [13] Ding X izhi, Zheng Yuanchang. The second discussion of montology [J]. *Mountain Research*, 1996, 14(2): 83~88 [丁锡祉, 郑远昌. 再论山地学 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1996, 14(2): 83~88]
- [14] Liu Hongyan, Gu Hongtao, Tang Zhiyao, et al. Tree photosynthesis on alpine timberline and its relationships to environmental factors in the eastern part of temperate China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(1): 32~36 [刘鸿雁, 谷洪涛, 唐志尧, 等. 中国东部暖温带高山林线乔木的光合作用及其与环境因子的关系 [J]. 山地学报, 2002, 20(1): 32~36]
- [15] Liu Shene. Botanical geography in north and west of China [J]. *Contributions from the Institute of Botany National Academy of Peking*, 1934, 2(9): 423~464 [刘慎谔. 中国北部及西部植物地理概论 [J]. 北平研究院植物研究所汇刊, 1934, 2(9): 423~464]
- [16] Liu Shene. Forest vegetation zonation in Taibai Mountain [A]. In: Collection of Liu Shene [C]. Beijing: Science Press, 1986, 75~75 [刘慎谔. 1939. 太白山森林植物之分带 [A]. 见: 刘慎谔文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1986, 74~75]
- [17] Zhang Jintun. Quantitative Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004 [张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004]
- [18] Jiang Hong, Huang Jianhui, Chen Lingzhi, et al. DCA ordination, quantitative classification and environmental interpretation of plant communities in Dongling Mountain [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1994, 36(7): 539~551 [江洪, 黄建辉, 陈灵芝, 等. 东灵山植物群落的排序、数量分类与环境解释 [J]. 植物学报, 1994, 36(7): 539~551]



- [19] Zhang Lixia, Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Quantity analysis of plant communities on Mountain Luyi Shanxi [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(2): 231~239 [张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 山西芦芽山植物群落数量分类 [J]. 植物学通报, 2001, 18(2): 231~239]
- [20] Zhang Feng, Zhang Jintun, Zhang Feng. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou Lishan Mountain Nature Reserve [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 421~427 [张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释 [J]. 生态学报, 2003, 23(3): 421~427]
- [21] Liu Qinfeng, Kang Muiy, Liu Quanru. Quantitative classification and environmental interpretation of forest tree species in Hungou, Zhongtiao mountain [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 383~391 [刘秋锋, 康慕谊, 刘全儒. 中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释 [J]. 植物生态学报, 2006, 30(3): 383~391]
- [22] Guo Donggang, Shangguan Tieliang. Quantitative classification and ordination of plant communities in Midpiece of Zhongtiao mountains [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, 23(5): 444~448 [郭东罡, 上官铁梁. 中条山中段植物群落数量分类与排序研究 [J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(5): 444~448]
- [23] Li Jinpeng, Shangguan Tieliang, Meng Dongping, et al. Numerical taxonomy and ranking analysis on plant communities in south of the Luliang mountains Shanxi [J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 2007, 13(5): 615~619 [李晋鹏, 上官铁梁, 孟东平, 等. 山西吕梁山南段植物群落数量分类和排序研究. 应用与环境生物学报, 2007, 13(5): 615~619]
- [24] Wu Xiaopu, Wang Zhiheng, Cui Haiting, et al. Community structures and species composition of oak forests in mountainous area of Beijing [J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 155~163 [吴晓莆, 王志恒, 崔海亭, 等. 北京山区栎林的群落结构与物种组成 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 155~163]
- [25] Chen Lingzhi. The ordination and numerical classification of montane coniferous forests in warm-temperate region [J]. *Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica*, 1992, 16(4): 301~310 [陈灵芝. 暖温带山地针叶林排序和数量分类 [J]. 植物生态学与地植物学报, 1992, 16(4): 301~310]
- [26] Wang Xiaolan, Tian Xianhua, Xiao Yaping, et al. Quantitative classification and ordination of coniferous forests in Taibaimountain [J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Nat. Sci. Ed.)*, 1997, 25(2): 60~63 [王孝安, 田先华, 肖娅萍, 等. 太白山针叶林的数量分类和排序 [J]. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 1997, 25(2): 60~63]
- [27] Zhang Guilian, Zhang Jintun, Cheng Linmei. Quantitative classification and ordination of *Bothriochloa ischaemum* communities in mountain in area of south Shanxi [J]. *Acta Prataculurae Sinica*, 2003, 12(6): 63~69 [张桂莲, 张金屯, 程林美. 山西南部山地白羊草群落数量分类和排序 [J]. 草业学报, 2003, 12(6): 63~69]
- [28] Li Suqing, Zhang Jintun, Shangguan Tieliang. Quantitative classification and ordination of the subalpine meadows in Luyanshan mountain [J]. *Acta Bot Boreal - Occident Sin.*, 2005, 25(10): 2062~2067 [李素清, 张金屯, 上官铁梁. 芦芽山亚高山草甸的数量分类与排序研究 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(10): 2062~2067]
- [29] Cao Yang, Shangguan Tieliang, Zhang Jintun, et al. The numerical classification and ordination of *Oxytropis coenulea* community of Wutaimountain [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2005, 14(3): 1~6 [曹杨, 上官铁梁, 张金屯, 等. 山西五台山蓝花棘豆群落数量分类和排序 [J]. 植物资源与环境学报, 2005, 14(3): 1~6]
- [30] Wang Lin, Zhang Jintun, Ouyang Hua. Ecological relationship in Lishan mountain meadow [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(6): 669~674 [王琳, 张金屯, 欧阳华. 历山山地草甸的生态关系 [J]. 山地学报, 2004, 22(6): 669~674]
- [31] Qiu Yang, Zhang Jintun. The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 199~206 [邱扬, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用 [J]. 生态学报, 2000, 20(2): 199~206]
- [32] Lan Guoyu, Lei Ruide, An Feng, et al. Quantitative classification of *Pinus amandii* communities in Qinling mountain [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(2): 119~124 [兰国玉, 雷瑞德, 安锋, 等. 秦岭华山松群落数量分类研究 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(2): 119~124]
- [33] Zhang Feng, Shangguan Tieliang. The application of the ordered plot clustering to the vertical belt partitioning of main mountains Shanxi [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(3): 267~273 [张峰, 上官铁梁. 有序样方聚类在植被垂直带划分中的应用 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(3): 267~273]
- [34] Zheng Fengying, Zhang Jintun, Shangguan Tieliang, et al. The distribution patterns of *Paeonia suffruticosa* var. *spontanea* and the quantity analysis of the communities where it grows [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1998, 16(3): 255~262 [郑凤英, 张金屯, 上官铁梁, 等. 濒危植物矮牡丹的分布格局及其生存群落数量分析 [J]. 武汉植物学研究, 1998, 16(3): 255~262]
- [35] Ma Keping. Try to discussion the principles of biodiversity [J]. *Chinese Biodiversity*, 1993, 1(1): 20~22 [马克平. 试论生物多样性的概念 [J]. 生物多样性, 1993, 1(1): 20~22]
- [36] United Nations. Report of the United Nations Conference on Environment and Development [M]. New York: United Nations Publication, 1993
- [37] Qian Yingqian, Ma Keping. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994, 141~165 [钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理和方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994, 141~165]
- [38] Li Lin, Zhou Xiaoyong, Huang Zhongliang, et al. Study on the relationship between a diversity of plant community and environment on Dinghushan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 2301~2307 [李林, 周小勇, 黄忠良, 等. 鼎湖山植物群落多样性与环境的关系 [J]. 生态学报, 2006, 26(10): 2301~2307]
- [39] Kratochvil A. Biodiversity in ecosystems: some principles [A]. In: Kratochvil A. (ed.), *Biodiversity in Ecosystems* [C]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999, 5~38
- [40] Wilson J.B., Allen R.B., Hebert A.E. A test of the humped-back theory of species richness in New Zealand native forest [J]. *Oikos*, 1996, 41: 496~506
- [41] Kessler M. Altitudinal gradients in species richness and endemism



- of selected plant group in central Bolivian Andes[ J]. *Plant Ecology*, 2000 149: 181~193
- [ 42] Zhang Lixia, Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Vegetation diversity of Luya mountains[ J]. *Chinese Biodiversity*, 2000 8(4): 361~369 [张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落的多样性研究[ J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 361~369]
- [ 43] Chen Tinggui, Zhang Jintun, Shangguan Tieliang, *et al*. The study of diversity in Shenweigou of Guandimountain, Shanxi province. *Acta Bot Boreal - Occident Sin*, 2000, 20(4): 628~646 [陈廷贵, 张金屯, 上官铁梁, 等. 山西关帝山神尾沟植物群落多样性研究[ J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 628~646]
- [ 44] Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Analysis on the community diversity of forest vegetation in Mian mountains, Shanxi[ J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998 22(5): 461~465 [张峰, 上官铁梁. 山西绵山森林植被的多样性分析[ J]. 植物生态学报, 1998, 22(5): 461~465]
- [ 45] Liu Zengli, Zheng Chengyang, Fang Jingyun. Changes in plant species diversity along an elevation gradient on Mt Xiaowutai Hebei, China[ J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 137~145 [刘增力, 郑成洋, 方精云. 河北小五台山北坡植物物种多样性的垂直梯度变化[ J]. 生物多样性, 2004 12(1): 137~145]
- [ 46] Gao Xiaoming, Chen Lingzhi. Studies on the species diversity of *Quercus liaotungensis* communities in Beijing mountains[ J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(1): 23~32 [高贤明, 陈灵芝. 北京山区辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 群落物种多样性的研究[ J]. 植物生态学报, 1998, 22(1): 23~32]
- [ 47] Ma Xiaoyong, Shangguan Tieliang. Species diversity of the forest communities in Taiyue mountain, Shanxi[ J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(5): 606~612 [马晓勇, 上官铁梁. 太岳山森林群落物种多样性[ J]. 山地学报, 2004 22(5): 606~612]
- [ 48] Ru Wenming, Zhang Jintun, Bi Rundeng, *et al*. Species diversity of undergrowths in Huoshan mountains of Shanxi province[ J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005 24(10): 1139~1142 [茹文明, 张金屯, 毕润成, 等. 山西霍山森林群落林下物种多样性研究[ J]. 生态学杂志, 2005, 24(10): 1139~1142]
- [ 49] Zhang Feng, Zhang Jintun, Shangguan Tieliang. Plant diversity of forest community in Zhuweigou of Lishan Mountain Nature Reserve[ J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 26(Suppl): 48~51 [张峰, 张金屯, 上官铁梁. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究[ J]. 植物生态学报, 2002 26(增刊): 48~51]
- [ 50] Ru Wenming, Zhang Guiping, Zhang Jintun, *et al*. Species diversity of forest communities in Southern Taihang mountains, Shanxi[ J]. *Acta Bot Boreal - Occident Sin*, 2006, 26(5): 1036~1046 [茹文明, 张贵平, 张金屯, 等. 太行山南段森林群落物种多样性研究[ J]. 西北植物学报, 2006, 26(5): 1036~1046]
- [ 51] Yue Ming, Zhou Hongxia. Diversity of higher plants in deciduous broad leaved forests on the northern slope of Taibaimountain[ J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1997, 19(2): 171~176 [岳明, 周虹霞. 太白山北坡落叶阔叶林物种多样性特征[ J]. 云南植物研究, 1997 19(2): 171~176]
- [ 52] Tang Zhiyao, Fang Jingyun, Zhang Ling. Patterns of woody plant species diversity along environmental gradients on Mt Taibai, Qinling mountains[ J]. *Biodiversity Science*, 2004 12(1): 115~122 [唐志尧, 方精云, 张玲. 秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释[ J]. 生物多样性, 2004 12(1): 115~122]
- [ 53] LiYuxia, Shangguan Tieliang. Plant species diversity of woody plant communities in midpiece of Zhongtiaomountains[ J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2006 26(2): 163~168 [李跃霞, 上官铁梁. 中条山中段木本植物群落植物种多样性分析[ J]. 植物研究, 2006, 26(2): 163~168]
- [ 54] LiYuyuan, Shao Mingan. The change of plant diversity during natural recovery process of vegetation in Ziyuling area[ J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004 24(2): 252~260 [李裕元, 邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[ J]. 生态学报, 2004, 24(2): 252~260]
- [ 55] Ma Keming, Fu Bojie, Zhou Huafeng. Studies on species and pattern diversities of the forest landscapes of Donglingshan mountain region, Beijing[ J]. *China Acta Ecologica Sinica*, 1999 19(1): 1~7 [马克明, 傅伯杰, 周华锋. 北京东灵山地区森林的物种多样性和景观格局多样性研究[ J]. 生态学报, 1999 19(1): 1~7]
- [ 56] Sun Yu, Shao Xiaoming, Liu Xinchao, *et al*. Bryophyte species diversity in main forest vegetations in Dongling mountain of Beijing[ J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1725~1731 [孙宇, 邵小明, 刘欣超, 等. 北京东灵山主要森林植被中苔藓植物的物种多样性[ J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1725~1731]
- [ 57] Wang Hesheng. Floristic Geography of Borth China[M]. Beijing Science Press, 1997 [王荷生. 中国植物区系地理[M]. 北京: 科学出版社, 1997]
- [ 58] Wang Hesheng. Floristic Geography[M]. Beijing Science Press, 1992: 180 [王荷生. 植物区系地理[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 180]
- [ 59] Zhu Hua. Notes on the origin of temperate deciduous broad-leaved forest of east asia[ J]. *Bulletin of Botanical Research*, 1997 17(4): 389~396 [朱华. 东亚暖温带落叶阔叶林的起源[ J]. 植物研究, 1997, 17(4): 389~396]
- [ 60] Zhang Feng, Shangguan Tieliang. On the flora of seed plants in Guandimountains, Shanxi[ J]. *Bulletin of Botanical Research*, 1998, 18(1): 20~27 [张峰, 上官铁梁, 郑凤英. 山西关帝山种子植物区系研究[ J]. 植物研究, 1998, 18(1): 20~27]
- [ 61] Shangguan Tieliang, Zhang Feng, Qiu Fucai, *et al*. Studies on flora diversity of the seed plants in Luya Mountain Nature Reserve, Shanxi[ J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, 17(4): 323~331 [上官铁梁, 张峰, 邱富财, 等. 芦芽山自然保护区种子植物区系地理成分分析[ J]. 武汉植物学研究, 1999, 17(4): 323~331]
- [ 62] Shangguan Tieliang, Zhang Feng, Fan Longsuo. Analysis on the flora of xylophyta in Zhongtiaomountains, Shanxi[ J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2000, 20(2): 143~155 [上官铁梁, 张峰, 樊龙锁. 中条山木本植物区系地理成分分析[ J]. 植物研究, 2000, 20(2): 143~155]
- [ 63] Li Zhuoyu, Zhang Feng, Shangguan Tieliang, *et al*. A preliminary analysis on the spermatophyte flora in Taiyue mountain, Shanxi[ J]. *Journal of Shanxi University (Nat Sci Ed)*, 1999, 16(1): 101~106 [李卓玉, 张峰, 上官铁梁, 等. 太岳山种子植物区系的初步分析[ J]. 山西大学学报(自然科学版) 1999, 16(1): 101~106]
- [ 64] Liu Quann, Zhang Chao, Kang Muiy. A study on the flora of spermatophyte in Xiaowutai mountains[ J]. *Bulletin of Botanical*

- Research*, 2004, 24(4): 499~506 [刘全儒, 张潮, 康慕谊. 小五台山种子植物区系研究 [J]. 植物研究, 2004, 24(4): 499~506]
- [65] Ma Keping, Yu Shunli, Gao Xianming. On the characteristics of the flora of Dongling mountain area and its relationship with a number of other mountains floras in China [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 1997, 15(4): 501~515 [马克平, 于顺利, 高贤明. 东灵山地区植物区系的基本特征与若干山区植物区系的关系 [J]. 植物研究, 1997, 15(4): 501~515]
- [66] Ying Junsheng, Li Yunfeng, Guo Qinfeng *et al*. Observation on the flora and vegetation of Taibaishan, Qinling mountain range, Southern Shaanxi, China [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1990, 26(4): 261~293 [应俊生, 李云峰, 郭勤峰, 等. 秦岭太白山地区的植物区系和植被 [J]. 植物分类学报, 1990, 28(4): 261~293]
- [67] Song Baohua, Li Fazeng. Studies on flora of Kunyu mountain in Shandong province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, 17(3): 220~226 [宋葆华, 李法曾. 山东昆崙山植物区系研究 [J]. 武汉植物学研究, 1999, 17(3): 220~226]
- [68] Wang Shiquan, Jia Zefeng, Li Fazeng. Studies on flora of Laoshan mountain in Shandong province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2001, 19(6): 467~474 [王士全, 贾泽峰, 李法曾. 山东崂山植物区系研究 [J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(6): 467~474]
- [69] Zang Dekui, Liu Yufeng, Qi Aishou *et al*. Studies on the seed plants flora of Taishan mountain in Shandong province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1994, 12(3): 233~239 [臧得奎, 刘玉峰, 仝爱收, 等. 山东泰山种子植物区系的研究 [J]. 武汉植物学研究, 1994, 12(3): 233~239]
- [70] Li Fazeng. Floristic study of Shandong province [J]. *Journal of Shandong Normal University (Nat. Sci. Ed.)*, 1992, 7(2): 68~74 [李法曾. 山东植物区系 [J]. 山东师大学报 (自然科学版), 1992, 7(2): 68~74]
- [71] Zhao Shanlun, Wu Zhifen, Zhang Wei. Floristic geography of Shandong Province [M]. Jinan: Shandong Province Maps Press, 1997 [赵善伦, 吴志芬, 张伟. 山东植物区系地理 [M]. 济南: 山东省地图出版社, 1997]
- [72] Li Yuexia, Shangguan Tieliang. Floristic diversity of seed plants in Shanxi province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(5): 724~728 [李跃霞, 上官铁梁. 山西省种子植物区系地理研究 [J]. 地理科学, 2007, 27(5): 724~728]
- [73] Zhang Guibin. Floristic study of spermatophyte of Henan province [J]. *Guizhou*, 2004, 24(3): 199~206 [张桂宾. 河南种子植物区系地理研究 [J]. 广西植物, 2004, 24(3): 199~206]
- [74] Liu Jingyan, Zhang Hongda. A floristic study of spermatophyte from Shaanxi province [J]. *Guizhou*, 1998, 18(1): 11~18 [刘静艳, 张宏达. 陕西种子植物区系地理初步研究 [J]. 广西植物, 1998, 18(1): 11~18]
- [75] Xin Shaohua, Lin Daying, Yuan Xian, *et al*. Flora of wild vascular bundle plants in mountainous area of Beijing [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(6): 671~676 [邢韶华, 林大影, 袁秀, 等. 北京山区野生维管植物区系 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 671~676]
- [76] Fu Zizhen, Li Jizhan. The analysis of vegetation vertical distribution in mountains of Shanxi province [J]. *Shanxi forestry science and technology*, 1976(2), 16~23 [傅子祯, 李继赞. 山西各山地植被垂直地带性分析 [J]. 山西林业科技, 1976(2), 16~23]
- [77] Zhang Jintun. The division on vegetation vertical distribution in Luyam mountain [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1989, 9(4): 364~353 [张金屯. 山西芦芽山植被垂直带的划分 [J]. 地理科学, 1989, 9(4): 346~353]
- [78] Shangguan Tieliang, Zhang Feng. Investigation on vegetation and vertical distribution in the Yunding mountain in Shanxi province [J]. *Mountain Research*, 1991, 9(1): 19~26 [上官铁梁, 张峰. 云顶山植被及其垂直分布研究 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1991, 9(1): 19~26]
- [79] Zhang Jintun, Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Reanalysis of vertical zones of vegetation in Zhongtiao mountain [J]. *Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.)*, 1997, 20(1): 76~79 [张金屯, 张峰, 上官铁梁. 中条山植被垂直带谱再分析 [J]. 山西大学学报 (自然科学版) 1997, 20(1): 76~79]
- [80] Qin Shuhui. The vegetation of the north slope of Huashan mountain and its vertical distribution [J]. *Journal of Inner Mongolia Teachers University (Nat. Sci. Ed.)*, 1989(3): 66~74 [秦树辉. 华山北坡的植被及其垂直分布 [J]. 内蒙古师范大学学报 (自然科学版), 1989(3): 66~74]
- [81] Liu Jianzhong, Xi Wein. The main vegetation types and vertical distribution laws in Wuling mountain area [J]. *Journal of Capital Normal University (Nat. Sci. Ed.)*, 1997, 18(1): 95~103 [刘建中, 奚为民. 雾灵山主要植被类型及垂直分布规律 [J]. 首都师范大学学报 (自然科学版): 1997, 18(1): 95~103]
- [82] Zhu Hua. A discussion on the way of zonation of vegetation of the shade slope of Baihuashan mountain, Beijing [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1997, 19(4): 59~63 [朱华. 北京百花山大阴坡植被垂直分带方法的探讨 [J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 59~63]
- [83] Bi Runcheng, Yan Guiqin. Quantitative division of altitude belts in forest vegetation of Mt. Huoshan, Shanxi province [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 2000, 24(4): 436~441 [毕润成, 闫桂琴. 山西霍山森林植被垂直带的定量划分 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 436~441]
- [84] Shangguan Tieliang, Zhang Feng. Research on the pattern and associations between dominants of the vegetation in Min mountain, Shanxi province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1988, 6(4): 357~364 [上官铁梁, 张峰. 山西绵山植被优势种群的分布格局与种间联结的研究 [J]. 武汉植物学研究, 1988, 6(4): 357~364]
- [85] Zhang Lixia, Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Studies on relationship between species in plant communities of Luyam mountains [J]. *Acta Bot. Boreali-Occident. Sin.*, 2001, 21(6): 1085~1091 [张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落种间关系的研究 [J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1085~1091]
- [86] Zhang Jintun, Jiao Rong. Interspecific association between woody plants in Shenweigou of Guandi mountains, Shanxi province [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2003, 23(4): 458~463 [张金屯, 焦蓉. 关帝山神尾沟森林群落木本植物种间联结性与相关性研究 [J]. 植物研究, 2003, 23(4): 458~463]
- [87] Ni Liqin, Shangguan Tieliang, Cheng Zhanhong. Interspecific relations of the dominant plant population in the middle part of Zhongtiao mountain [J]. *Acta Bot. Boreali-Occident.*

- Sin., 2005, 25(12): 2465~3471 [牛莉芹, 上官铁梁, 程占红. 中条山中段植物群落优势种群的种间关系研究 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(12): 2465~2471]
- [88] Wang Lin, Zhang Jintun. Interspecific association and correlation of dominant species of Lishan mountain meadow in Shanxi province [J]. *Acta Bot Boreal - Occident Sin.*, 2004, 24(8): 1435~1440 [王琳, 张金屯. 历山山地草甸优势种的种间关联和相关分析 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(8): 1435~1440]
- [89] Shangguan Tieliang, Li Jimpeng, Guo Donggang *et al*. Interspecific relationships of dominant species in plant communities in south Luliang Mountains, Shanxi [J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2008, (21): 120~121 [上官铁梁, 李晋鹏, 郭东罡, 等. 山西吕梁山南端植物群落优势种种间关系研究 [J]. 2008, (21): 120~121]
- [90] Yang Junlong, Wang Hui, Wang Bin, *et al*. Spatial distribution pattern and interspecific association of main tree species in Pinus tabulaeformis forest in Ziuling mountains [J]. *Acta Bot Boreal - Occident Sin.*, 2007, 27(4): 0791~0796 [杨君珑, 王辉, 王彬, 孙栋元. 子午岭油松林灌木层主要树种的空间分布格局和种间关联性研究 [J]. 西北植物学报, 2007, 27(4): 0791~0796]
- [91] Yan Meifang, Shangguan Tieliang, Zhang Jintun *et al*. Interspecific association and correlation of dominant species in Oxytropis coenules community in Wutai mountains [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(4): 354~358 [闫美芳, 上官铁梁, 张金屯, 等. 五台山蓝花棘豆群落优势种群的种间关系分析 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(4): 354~358]
- [92] Ma Xiaoyong, Shangguan Tieliang, Zhang Feng. Ecological studies of vegetation in the ecotone between temperate grassland and warm-temperate deciduous broad-leaved forest of Hengshan mountains, Shanxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3372~3379 [马晓勇, 上官铁梁, 张峰. 山西恒山温带草原与暖温带落叶阔叶林交错区植被生态研究 [J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3372~3379]
- [93] Kang Muiji, Zhu Yuan. Discussion and analysis on the geo-ecological boundary in Qinling range [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2274~2284 [康慕宜, 朱源. 秦岭山地生态分界线的论证 [J]. 生态学报, 2007, 27(7): 2274~2284]
- [94] Hou Xueyu. A further discussion on the principle and scheme for vegetation regionalization of China [J]. *Acta Phytocological Geobot. Sin.*, 1981, (5): 290~301 [侯学煜. 再论中国植被区划的原则和方案 [J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, (5): 190~301]
- [95] Hou Xueyu. Chinese Physical Geography: Plant Geography (II) (Vegetation Geography of China) [M]. Beijing: Science Press, 1988 [侯学煜. 中国植被地理 [M]. 北京: 科学出版社, 1988]
- [96] Zhang Jintun, Shangguan Tieliang. On division of the forest steppe border and forest-steppe belt of west north of Shanxi [J]. *Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.)*, 1988, 11(2): 68~73 [张金屯, 上官铁梁. 关于晋西北部森林草原的界限及森林草原带的划分 [J]. 山西大学学报 (自然科学版), 1988, 11(2): 68~73]
- [97] Song Yongchang. Perspective of the vegetation zonation of forest region in eastern China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(5): 541~552 [宋永昌. 中国东部森林植被带划分之我见 [J]. 植物学报, 1999, 41(5): 541~552]
- [98] Fang Jingyun. Re-discussion about the forest vegetation zonation in eastern China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(5): 522~533 [方精云. 也论我国东部植被带的划分 [J]. 植物学报, 2001, 43(5): 522~533]

## Advance in Mountain Vegetation Ecology in the Warm-temperate Zone of China

SHANGGUAN Tieliang<sup>1</sup>, LI Jimpeng<sup>2</sup>, GUO Donggang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Environment and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

<sup>2</sup> Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract** As the main study aspect of the ecology, mountain ecology was a science which mainly research the relationships between organism and environment, ecology process. Mountain vegetation ecology was always as the main aspect of mountain ecology at present was a independently branch subject in mountain ecology. This thesis introduce and discuss the actual research of vegetation ecology in warm-temperate zone of China from vegetation quantitative classification and ordination, plant community diversity, flora-vegetation vertical distribution, interspecific relationship, vegetation zone division and so on. And analysis and discuss the focus on mountain ecology in the future.

**Key words** mountain; vegetation ecology; advance in the studies; warm-temperate zone