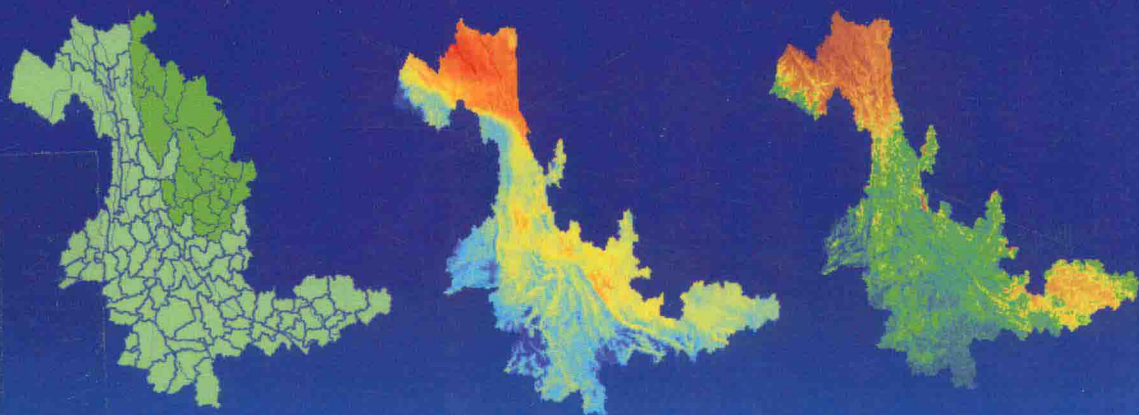


# 纵向岭谷组合地形 “通道—阻隔”作用及其 生态效应

郝成元 周长海 著



科学出版社

# 纵向岭谷组合地形“通道-阻隔” 作用及其生态效应

郝成元 周长海 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

纵向岭谷组合地形特殊地貌形态对云南省乃至中国西南地区的大气环流及水热空间分布均产生了重大影响,其“地-气-水-生”系统的交互作用过程产生了复杂的水-气循环过程和多尺度表现的河谷通道作用和山地阻隔作用,进而影响了植物生长发育和植被空间分布及时空演变。本书重点围绕纵向组合地形区特殊环境下的“通道-阻隔”作用及其影响下的“地-气-水-生”系统状况,综合研究了河谷通道作用下的水热因子时空格局及气候特征的地形效应、水汽通道作用量化分析及植被和植被生产力对水汽通道的空间响应,组合山地阻隔作用下的气候因子空间格局及气候复杂性度量、植被指征环境因子辨析和植被时空异质性空间格局及其成因,最后实证分析了澜沧江河谷通道作用和滇西南山地阻隔作用。

本书可作为地理科学、资源环境和生态学等专业的教学、科研和管理人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

纵向岭谷组合地形“通道—阻隔”作用及其生态效应/郝成元,周长海著.  
—北京:科学出版社,2015

ISBN 978-7-03-045024-1

I. ①纵… II. ①郝… ②周… III. ①河谷-山地-地貌-研究-西南地区 IV. ①P942.707

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 132659 号

责任编辑:吴卓晶 / 责任校对:刘玉靖  
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)  
2015年12月第一次印刷 印张:15 1/2 插页:4

字数:306 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<京华虎彩>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135741

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

# 前 言

书稿内容来自国家“973”计划项目“纵向岭谷区系统变化及西南跨境生态安全”(2003CB415100)第一课题“纵向岭谷区特殊环境‘通道-阻隔’作用及其生态效应”的部分研究成果,其中绝大部分是未以学术论文发表的成果。

纵向岭谷组合地形是指纵贯我国西南与中南半岛,南北走向分布、东西向间隔排列的山系河谷群,包括老别山—南定河、邦马山—澜沧江、无量山—把边江、哀牢山—元江。它们对地表自然物质循环和能量流动均表现出明显的南北向通道作用和扩散效应、东西向阻隔作用和屏障效应,是我国西南地区极为重要的生态廊道。

本书共分七章,其中郝成元、王锐主要负责第一、二、五、六章以及第七章的部分撰写工作,周长海、聂小军主要负责第三、四章以及第七章的部分撰写工作,由郝成元、王锐和聂小军三人对全书进行了最后统稿。

感谢中国科学院地理科学与资源研究所郑度院士和吴绍洪研究员的悉心指导和无私奉献,无论野外调查取样、研究方法探讨直至框架搭建、内容撰写、学术定稿的每一步,无不凝结着两位恩师的大量心血;感谢中国科学院地理科学与资源研究所杨勤业研究员和戴尔阜研究员在论文构思、文字撰写过程中的全方位技术支持和无私感情关注。另外,非常感谢北京大学李双成教授和北京师范大学武建军教授的学术指导和热心帮助,也特别感谢“973”计划项目首席科学家云南大学何大明教授所给予年轻人的科学研究机会。

本书在研究和撰写过程中得到了河南理工大学测绘与国土信息工程学院各位领导及资源环境与城乡规划管理系各位教师的热情支持与帮助;本书参阅了大量国内外学者的论文和著作,书中只列出了主要部分,在此对其他作者一并表示衷心感谢!也感谢国家自然科学基金面上项目“基于氢氧稳定同位素空间格局的西南水汽、南海水汽影响区域界定”(41371105)对本书的出版资助。

由于学术水平有限,加之资料获取、时间等多种因素的限制,书中的某些观点可能存在不当之处,希望广大读者不吝指教,提出宝贵意见,以求提高。

著 者

2014年6月

# 目 录

## 前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 绪论                   | 1  |
| 1.1 引言                   | 2  |
| 1.2 研究综述                 | 3  |
| 1.2.1 地形作用研究综述           | 3  |
| 1.2.2 植被时空异质性研究综述        | 7  |
| 1.3 主要研究方法及数据            | 14 |
| 1.3.1 基于 PRISM 模型的空间模拟   | 14 |
| 1.3.2 基于 ArcGIS 的数据空间化   | 22 |
| 1.3.3 基于 MODIS 的植被要素空间计算 | 25 |
| 1.3.4 基于地统计学的空间异质性       | 27 |
| 1.3.5 人工神经网络系统分析         | 30 |
| 第二章 地形作用及研究区概况           | 32 |
| 2.1 岭谷组合地形的“通道-阻隔”作用     | 32 |
| 2.2 “通道-阻隔”作用下的生态效应      | 33 |
| 2.3 研究区“地-气-水-生”概况       | 34 |
| 2.3.1 纵向岭谷区地形特征          | 34 |
| 2.3.2 纵向岭谷区气候特征          | 35 |
| 2.3.3 纵向岭谷区河流水系          | 41 |
| 2.3.4 植物区系成分和植被分布        | 42 |
| 第三章 通道作用下的水热时空变化         | 44 |
| 3.1 水热因子时空格局             | 44 |
| 3.1.1 月降水、月气温数据的年内变化过程   | 44 |
| 3.1.2 雨季水、热因子的时间变率分析     | 50 |
| 3.1.3 雨季水、热因子的空间变率分析     | 54 |
| 3.1.4 与夏季风风向一致的河谷水分分析    | 56 |
| 3.2 气候特征的地形效应            | 58 |
| 3.2.1 地形对气温分布的影响         | 58 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 3.2.2 | 地形对降水分布的影响            | 59  |
| 3.2.3 | 地形剖面的降水、气温分布          | 61  |
| 3.2.4 | 降水、气温等值线的地形分析         | 66  |
| 第四章   | 通道作用下的植被生态效应          | 71  |
| 4.1   | 水汽通道作用分析              | 71  |
| 4.1.1 | 通道作用                  | 71  |
| 4.1.2 | 水汽通道分析                | 72  |
| 4.1.3 | 水热通道作用的植被响应           | 75  |
| 4.2   | 植被对水汽通道的响应            | 75  |
| 4.2.1 | 生物种类异常分布              | 75  |
| 4.2.2 | 植被生产力总体分布             | 76  |
| 4.2.3 | 植被生产力敏感因子分析           | 77  |
| 4.3   | 植被生产力对水热因子的空间响应       | 78  |
| 4.3.1 | 不同植被类型生产力对水热条件的响应     | 79  |
| 4.3.2 | 同一物种生产力对水热条件的响应       | 81  |
| 4.3.3 | 单一气温或降水条件对植被生产力的影响    | 83  |
| 第五章   | 阻隔作用下的水热时空变化          | 91  |
| 5.1   | 气候因子空间格局与阻隔作用         | 92  |
| 5.1.1 | 主要气候因子的区域差异           | 92  |
| 5.1.2 | 基于 PRISM 模型的降水、气温空间格局 | 95  |
| 5.1.3 | 太阳总辐射空间化与空间格局         | 97  |
| 5.2   | 基于排列熵的气候复杂性度量         | 109 |
| 5.2.1 | 研究区气候特征               | 109 |
| 5.2.2 | 气候形成的大气环流背景           | 112 |
| 5.2.3 | 气候复杂性度量及地理解释          | 113 |
| 第六章   | 阻隔作用下的植被生态效应          | 119 |
| 6.1   | 植被特征及环境因子辨析           | 119 |
| 6.1.1 | 植被特征                  | 119 |
| 6.1.2 | 植被指征选择                | 126 |
| 6.1.3 | 植被与环境因子关系分析           | 130 |
| 6.2   | 植被时间异质性及其成因           | 134 |
| 6.2.1 | EVI 的年内变化及分析          | 135 |
| 6.2.2 | 干、雨季 EVI 的地域差异及辨析     | 138 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 6.2.3 敏感时段 EVI 空间格局及解析····· | 142 |
| 6.3 植被空间异质性及其成因·····        | 147 |
| 6.3.1 植被特征空间变异性·····        | 147 |
| 6.3.2 植被及环境因子的水平梯度·····     | 154 |
| 6.3.3 植被及环境因子的垂直梯度·····     | 160 |
| 第七章 “通道-阻隔”作用实证·····        | 173 |
| 7.1 通道作用下的澜沧江河谷·····        | 173 |
| 7.1.1 澜沧江河谷系统分段方案·····      | 173 |
| 7.1.2 澜沧江各段空间变异特征·····      | 175 |
| 7.1.3 澜沧江河谷半变异特征·····       | 192 |
| 7.2 阻隔作用下的滇南地区·····         | 217 |
| 7.2.1 区域分异问题的求解途径·····      | 217 |
| 7.2.2 SOFM 网络模式·····        | 219 |
| 7.2.3 网络分类及其地理解释·····       | 222 |
| 参考文献·····                   | 228 |

# 第一章 绪 论

早在 2001 年, UNDP、UNEP、WB、WRI 等就把维持世界生态系统多样性作为全球 21 世纪发展的首要问题, 认识生态系统脆弱性和恢复能力以及探索调和人类发展需求与自然耐受限度的途径就成为新世纪的挑战。经济全球化使资源和环境因素的影响快速渗入到国家安全、国际经济和贸易等各个方面, 资源和环境外交已经成为世界新秩序和构造未来国际格局的新内容。而我国陆疆漫长、国际河流众多, 维持跨境生态系统多样性和生态安全是我国社会经济可持续发展的重大而紧迫的任务(何大明等, 2005)。山地作为地球陆地上高高突起的部分, 有着明显不同于平原和平缓地段的各种自然属性与社会人文现象。山地是人类生命保障系统和陆地的生态屏障, 具有巨大的生态服务功能; 同时, 山地也是生态环境复杂的敏感区域和多种山地灾害的高发区。复杂破碎、起伏巨大的地表形态, 强烈的影响着区域的大气环流、水循环和能量循环, 对区域物质和能量的空间分配和分异都产生深刻的影响。即研究山地表层对物质流动、能量循环产生的重要作用, 以及生态系统的分异效应, 对于揭示山地生境特征以及在山地地形影响下的气候因子变化梯度和山地动力作用对生态系统结构、功能、作用都具有重要的理论和实践意义。

纵向岭谷区(Longitudinal Range-Gorge Region, 简称 LRGR)是世界上最独特的地理单元之一。其位于我国西南, 包括与青藏高原原隆升直接相关的横断山及毗邻的南北走向山系河谷区, 包括元江—红河、澜沧江—湄公河、怒江—萨尔温江和伊洛瓦底江 4 条国际大河的上游, 与缅甸、老挝、越南相连, 与泰国、柬埔寨和印度相近, 是我国西南与东南亚极为重要的生态廊道。其生态变化直接影响到国内外超过  $2.0 \times 10^6 \text{km}^2$  及 2 亿多人的可持续发展, 并对我国构建跨境生态安全和重要资源安全保障体系、推进西部沿边区域合作、实施向南开放战略及环境外交等有重大影响(张向晖等, 2008)。由于青藏高原抬升所导致的地形作用, 纵向岭谷区地理要素表现出南北方向河谷通道作用和东西方向高山的阻隔作用。分析“通道-阻隔”作用的形成原因及其生态效应是提出该区科学问题的前提。

其一, 纵向岭谷区的特殊自然过程交互影响。纵向高耸山系和深切河谷对地表主要自然物质和能量输送表现出明显的南北向“通道”、东西向“阻隔”的综合作用, 对生态系统和物种多样性的形成、演化有重要影响, 生态系统类型和生物群落局部范围内产生了巨大的形态和空间分异, 呈现出种类丰富多样、珍稀濒危物种多新老特有兼具、替代现象明显的特点, 是全球重要的生物分布和分化中心之一。在自然演变和人类活动双重交互作用下, 本区生态系统和物种多样性的

急剧变化,是研究陆地生态系统与陆地表层环境变化适应过程、多样性形成演变机理的关键区域。因为该区是全球生态系统多样性最为丰富的地区之一,拥有北半球的绝大多数生物群落类型和除沙漠与海洋外的各类生态系统;是全球生物多样性最丰富的地区之一和世界级的基因库,是我国生物多样性保护的关键地区。由于对研究地表复杂环境系统和生命系统的演变规律,在全球具有不可替代性,从而受到国内外地学界和生物学界等广泛关注,是开展山地生态学、资源生物学、生态水文学和生态系统管理科学等研究难得的场地。

其二,东亚季风区是全球环境变化速率最大的地区。受到世界屋脊——青藏高原的热力和动力作用影响,我国气候具有特别强烈的时空复杂性和易变性,环境与生态问题所造成的经济损失约占年 GDP 的 4%~8% (张生, 2002)。随着青藏高原的科学考察和研究的逐步完善、横断山自然地理和干旱河谷成因及与农业关系研究的进一步深入,与其毗邻的地形复杂的纵向岭谷区地学和生物学中的许多重大理论问题备受国内外关注,其主要原因就是特殊的纵向岭谷地形格局对水汽运动所造成的复杂性影响以及气候上受到东南夏季风和西南夏季风的联合控制,这些特殊的环境过程及其关联效应,特别是独特的“通道-阻隔”作用和明显的植被生态效应。

其三,山地具有独特的地质地貌和地理环境,在长期的进化过程中形成并孕育了丰富的物种和多种生态系统。山地生态系统不仅是生命支持系统和自然资源宝库,而且能提供重要的生态服务功能。山地由于地形分割和气候屏障作用导致的景观异质性,因而是民族-文化多样性的策源地和多种生物的避难所;由于山地生命系统本身适应性的限制,加之地形和土壤的三维特点,在自然条件发生变化和遭到人为的干扰时,表现出极大的脆弱性。作为地球表面的特殊部分,山地自然环境非常独特,充分表现在多变的地貌条件、复杂的气候系统、多姿多彩的植被环境等方面。其中,山地气候要素的分布规律、特征和形成原因以及它们对植被分布格局的影响,是山地生态学的基础性工作之一,傅抱璞、吉野正敏、林之光等均作过较为系统的论述 (傅抱璞, 1983; 吉野正敏, 1989; 林之光, 1995)。

## 1.1 引言

自新中国成立 60 多年以来,纵向岭谷区一直作为森林和矿产等资源输出基地支持国家的经济建设,其生态系统和物种多样性的急剧变化受到自然演变和人类活动双重交互作用,致使该区集中了西部山区、高原的环境复杂、生态脆弱、灾害严重、经济发展层次低、开发短期行为多、环境退化加剧、贫困普遍等诸多不利特点。随着西部大开发的推进和“澜沧江-湄公河次区域经济合作”、“中国-东盟自由贸易区建设”的开展,生态系统更是遭到空前扰动,植被覆盖率

下降,生物多样性受威胁等。因此,探索区内各种自然现象尤其是气候气象要素的发生、发展及其演化过程有着十分重要的实践意义,对解决西部山区生态建设和基础设施建设中的关键科学问题、促进保护与发展的协调也具有典型性和代表性。特别是研究区内纵向组合山地的南北向“通道”、东西向“阻隔”及其所产生的生态效应是其基础研究之一,更是应该得到优先研究的地位。因此,本研究实践意义重大。

景观生态学已经逐渐形成自身独立的理论体系,成为生态学研究中的重点发展方向之一,其核心就是生态系统空间异质性(何东进等,2003)。景观尺度上的大量研究表明,地形是环境时空异质性的主要来源之一(沈泽昊、张新时,2000a),尤其在山区,起伏较大的地形各个要素对光、热、水、养分等植物生态因子梯度具有潜在的表征意义(Zheng et al., 1996)。同时,山地生态学作为一门新兴学科,其主要研究内容之一就是山地环境研究,即在地形要素的影响下,气候环境包括气温、降水、太阳辐射等在垂直和水平方向上的高度异质性,以及最终所形成的包括土壤、植物、动物等要素的自然综合体在空间上的区域差异性(崔海亭等,2005)。通过研究组合地形的南北向“通道”、东西向“阻隔”及其生态效应,可为景观生态学和山地生态学在地形地貌复杂地区的研究做出新的贡献,提供新的素材。因此,本研究理论意义重大。

总之,纵向岭谷组合地形的特殊环境过程及其生态效应,即某一气候系统(如西南夏季风、东南夏季风等)受多个地形单体综合影响后的响应方式及由此所造成的宏观尺度的植被分布规律。独特的地形作用和明显的关联效应,尚未有系统研究,其区域生态系统的多样性、功能与稳定性的调控等也未有成熟的理论体系。这也在一定程度上为本项研究提出了新挑战。

## 1.2 研究综述

本研究区特殊的地貌形态和气候类型,造成独特的地形作用和明显的关联效应,使得有必要对地形作用及植被时空异质性做简要回顾和阐述。

### 1.2.1 地形作用研究综述

地形是自然地理环境中的一个重要组成部分,主要指地球表面由岩石构成的起伏形态,是各种规模的地表起伏的总和。陆地表面起伏不平,形态多样,有高原、山地、平原、丘陵、台地、盆地等(吴正,1999)。其中山地一般是指高差较大、具有一定坡度,连绵延伸、显著突出于周围地域之上的正地貌形态(左大康,1990)。它不仅是一种地貌类型,而且还是许多生态系统组成的复杂自然综合体(方精云等,2004),是“陡坡”与“高地”并列的单独或串连的景观单元,是人类利用和适应的边际性地区(Messerli and Ives, 1997)。相对于其他地貌形态,其不仅

是动、植物分布的基础,而且是山地气候形成的动力因素。地形与气候关系、地形对生物分布的影响是山地环境研究的最主要内容之一(崔海亭等,2005)。本部分主要从气候气象学和植被生态学两方面来论述地形作用,这也是本书主要研究内容之一。

### 1.2.1.1 气候气象学中的地形作用

随着气候气象学中地形作用研究的不断深入,人们已越来越深刻地认识到高原、山脉等大地形对天气、气候有显著影响。一般认为迎风坡地形有动力及屏障作用,可以引起气流绕地形流动和被迫爬升,这就在很大意义上解释了为什么暴雨多发生于山脉迎风坡的气候统计事实。另一方面,地形的背风坡也同样对天气系统的发生发展乃至大气环流有重要影响。因地形空间尺度不同,以往的研究可分为两类。一类是大尺度地形,在这一类地形中最引人注意的便是亚洲青藏高原和北美洲落基山脉。众多研究表明,其显著的热力和动力作用是西风带槽脊形成的重要原因,且中纬度气旋发生发展的高值区也往往位于大地形的背风侧。另一类是小尺度地形,这类问题往往是非线性的,但在复杂的运动中有两种规则现象:一是涡旋运动;二是背风波。回顾不同尺度地形对大气强迫作用的研究,已经发现,介于大尺度地形( $L > 10^3 \text{ km}$ )和小尺度地形( $L < 10 \text{ km}$ )之间的中尺度地形( $10 \text{ km} > L > 10^2 \text{ km}$ )是造成灾害性天气的主要地形,而关于这种尺度地形对大气强迫作用的研究却远不及大尺度和小尺度深入(朱素行等,2010;赵玉春、王叶红,2012)。

大地形对大气的动力和热力作用早已被人们所关注,特别是青藏高原对大气作用研究已取得了很多成果,表明大地形无论对冬季寒潮活动的路径和强度,还是对夏季季风低压的形成和相应的季风降水,都有重要作用(王安宁、王谦谦,1985;郑度、姚檀栋,2004)。地形对大气环流和天气气候的影响主要有两方面的作用:动力作用和热力作用(钱永甫等,1995)。

#### (1) 大尺度地形动力效应

行星大气中,地形动力作用可分为动力阻挡作用和摩擦作用(李生辰等,2009)。对地形动力作用的研究开始于20世纪50年代,大地形作为突出于自由大气中的障碍物,对于大气环流的作用首先表现为动力性的阻塞作用。由于大地形的存在,气流流经地形时将被迫抬升而爬越山脊,或当地形过大过高时气流被迫绕行。这就是我们通常所说的大地形动力作用中的爬坡效应和绕流效应(莫申国等,2004)。地形的摩擦作用表现为两方面,其一是水平摩擦应力。由于下垫面性质不同,水平摩擦应力也不相同;一般来说,这种水平摩擦作用所引起的效应是使近地面系统削弱,即低压填塞、高压崩溃。其二是侧向摩擦作用,这种作用是由于大地形的侧面与流经该处的气流发生动量交换而发生,其本质与水平摩擦并无差别,但其效应却不同。水平摩擦削弱了下层流场,使气流的垂直切变增大;

侧向摩擦则削弱接近大地形侧面的气流,增大了水平切变,因而改变了涡度场分布。这种作用在青藏高原南北两侧表现得十分强烈,使青藏高原北侧多小高压系统而南侧多低压系统(吴国雄等,2005)。

### (2) 大尺度地形热力效应

20世纪50年代,学者对地形的动力作用做了很多研究,同时也开始了热力效应研究。例如叶笃正、罗四维等首先对我国大地形及大尺度热源和热汇作用以及青藏高原流场和对流层大气的热量平衡进行了较系统研究(叶笃正等,1954;罗四维,1957)。70年代初以后,高原热力影响更成为共同关心的核心问题。因为无论是观测研究还是理论计算都证实青藏高原夏季是热源、冬季是热汇(赵平、陈隆勋,2001)。这样巨大的热源或热汇,作用于对流层中部,其影响不容忽视。青藏高原的热力效应主要表现在两种影响上(江爱良,2003)。第一种是同期的热力作用;第二种则是滞后的热力作用。前者主要表现为青藏高原地区的特殊天气气候现象,后者则是指青藏高原地区前期下垫面和天气气候状况对后期天气气候的影响,这种影响不仅表现在高原地区内,而且可以远及我国东南部地区。

### (3) 中小尺度地形效应

上述大尺度地形研究工作主要集中于青藏高原地区,而地形对天气气候的影响在许多地区都有表现,特别是一些中小尺度山脉对于局地气候的形成可能会起到决定性作用。但关于中小尺度地形强迫作用的研究工作远不及大尺度地形研究深入。由中小尺度地形强迫形成的各种天气、气候现象,尽管早在19世纪就在世界各地、特别是与阿尔卑斯山邻近的欧洲国家已有大量观测记录,如“布拉风”、“焚风”、山谷风等。但是,现有的中小尺度山地气候动力学理论仅能部分解释这些现象,这些理论主要体现在以下4个方面(翁笃鸣、罗哲贤,1990):①过山气流理论;②地形与锋面相互作用理论;③地形热力强迫环流理论;④地形动力强迫环流理论。总体来说,地形对暖湿气流的动力强迫抬升和辐合过程是最早被人们所了解的地形作用。当地形走向与风向交角较大时,暖湿气流沿坡爬升,必然使对流旺盛、雨量加大,形成迎风坡降雨中心。同时地形阻挡也使降水系统移速减慢、雨时延长(毕宝贵,2004)。

中小尺度地形的动力影响研究方面,陶诗言、黄土崧等就迎风坡、峡谷和喇叭口地形对局地气流运行方式、降水空间分布、过境冷空气和雷暴雨移动方式的影响做过系统总结(齐英,1993)。地形的热力影响研究方面,陈明等分析了山区复杂下垫面的热力作用对暴雨的触发、加强等的影响,指出地形性强迫抬升和辐合是触发暴雨和使之加强的重要机制(陈明等,1995);郝为锋等分析了丘陵山区边界层风温场、高压形势下的急流以及湍流的运动特征(郝为锋等,2001)。总的来说,中小地形作用主要体现在以下3个方面(傅抱璞,1992):①山脉迎风坡的强迫抬升作用;②地形通过影响云中微物理过程对降水产生增幅作用;③产生地形性中尺度系统等。然而地形本身是不随时间变化的,对于不同的天气条件和天

气系统,地形影响的差异是显著的。

上述研究丰富了人们对地-气系统的认识,但也应看到,地形对天气气候系统影响的多尺度性,而不是集中于单一地形对当地或四周天气过程的影响,某一天气气候系统通常受四周若干个地形单体的共同影响。对于天气系统受四周多个地形单体综合影响后的响应方式以及植被生态效应尚未见过相关专题研究。因此,本研究试图以多个地形单体—纵向岭谷组合地形为研究对象,深入探讨水、热响应方式以及植被生态表现,可以填补这个研究空白。

#### 1.2.1.2 植被生态学中的地形作用

植被是具有高度组织性和自我调节能力的结构,其空间格局受光、热、水、土、温等自然因素及生物因素、人类活动等的影响,表现出一定的规律性和动态性,而地形条件却可以通过改变光、热、水、土、温、风等自然条件的分配间接地作用于植被。尤其在一个小区域内,地形对植被分布产生的影响作用更大。深入认识特定区域的植被空间格局特征,对区域生态重建、自然保护起着至关重要的指导性作用;根据地形差异揭示植被空间分布规律,了解相关的自然和人为因素影响是植被生态学研究的一个重点领域。

在植物生态学研究历史上,地形因素长期以来一直被认为在植物生存环境中起间接作用而没有受到足够重视(Whittaker, 1986)。但是,景观尺度上的大量研究成果表明,地形是环境时空异质性的主要内因之一(沈泽昊、张新时, 2000a),起伏较大的地形梯度对光、热、水、土等植物生态因子梯度具有潜在表征意义(Zheng et al., 1996),气候因子和土壤因子只不过起媒介作用(Bauer, 1996),而且不同地形部位往往与不同景观生态过程和植被干扰体系相对应(Wondzell et al., 1996)。目前,在景观和群落尺度的植被格局分析中,地形因素的作用已经引起广泛关注(Pinder et al., 1997)。

在微观格局方面,国内学者做了许多实地考察和研究。朱华通过对北京百花山大阴坡植被垂直分带方法进行探讨,得出植物区系地理成分的垂直变化应是山地植被垂直分带划分的一个重要参考因素(朱华, 1997);淮虎银、沈泽昊等在实地测量的基础上,采用一系列微观植被特征指标,利用植被数量生态学方法在不同层次上探讨了地形对植被格局的影响(淮虎银、周立华, 1997; 沈泽昊、张新时, 2000b);宋国元等使用GIS手段和实地测量相结合的方法,从植被微观指标方面对植被与高程、盐分浓度等之间的关系进行了研究(宋国元等, 2001);孔宁宁、邱扬、徐建华等利用RS与GIS手段,对地形基本因子与植被空间格局的关系做了相关分析(孔宁宁等, 2002; 邱扬等, 2003; 徐建华等, 2003)。国外研究者也做了大量工作。McDonald和Chen等研究了山区局部生境的小气候在地形控制下对太阳辐射和降水的空间再分配,得出局地小地形显著影响土壤厚度和养分空间格局的结论(McDonald et al., 1996; Chen et al., 1997); Ostendorf等根据阿

拉斯加北部山地植被格局受地表径流的控制,利用 GIS 从数字地面高程模型(DEM)中生成坡度分布图和径流分布图,建立了一个基于地形的植被格局模型(Ostendorf and Reynolds, 1998)。

在宏观格局方面,祖元刚等采用改进的分形分维方法对植被空间异质性进行分析,得出应用改进的分形分维方法研究植被的空间异质性可以明显的揭示出植被格局的尺度及层次性(祖元刚等,1997);马克明、蔡伟斌等运用景观生态学方法,分别选取不同景观指数静态角度对植被格局进行了分析(马克明、傅伯杰,2002;蔡伟斌、李贞,2002),只不过在研究过程中,没有特意考虑地形作用效果;全川、摆万奇等在 RS 和 GIS 支持下,对植被格局的动态进行了研究分析(全川等,2002;摆万奇等,2003)。

通过以上内容可知,地形在植被生态学中的作用研究多侧重于地形要素诸如海拔高度、坡度、坡向等对太阳辐射、降水、气温等气候因子的影响,进而造成不同地形要素对应不同的植被类型、多度、土壤养分及水分空间分布等。总之,无论在气候气象学还是植被生态学中,地形因素虽然得到很大重视,但中尺度地形尤其是一系列中尺度山地组合对水热空间分布的影响还没有得到系统研究,所形成的植被生态效应研究更是少人问津。

### 1.2.2 植被时空异质性研究综述

生态系统是生命系统 and 环境系统在特定空间的组合(马世骏、王如松,1984),山地生态系统是生命系统和山地环境系统在特定空间的组合。山地生命系统包括微生物、植物和动物。就植物生命系统和环境系统的空间组合考虑,山地生态系统类型多样性首先表现在山地本身的各种以植物为表征的山地生态系统类型。也由于山地环境系统类型的多样性,使山地生命系统空间变异具有复杂性特征。不同的山地和同一山地的不同部位都有相应的山地生命系统和山地环境的空间组合。由此得出山地生态系统具有多样性和复杂性两个特点。

主要由于自然界环境条件的复杂和多变,植被的类型及其分布十分多样。植被生态学的观点认为,主要的植被类型表现着植物界对主要气候类型的反应。气候是决定地球上植被类型及其分布的最主要因素,植被则是地球气候最鲜明的反映和标志,而地形又是影响气候的一个重要因素,尤其在山地复杂地形的影响下,形成特殊的局部水热格局,这必然对植被产生重要的影响。水热是植被生长、分布的最重要条件。而地形区的气候特征以及地形对周围地区的影响不仅直接改变了局部地区的水热空间配置,形成陆地复杂多样生境,并间接地影响生物的结构、组成和地理分布,最终对生物体及生态系统产生多方面、多层次影响,使之产生一系列复杂生态效应。尤其在高差、起伏十分巨大的山地地区,这种效应就更为明显和复杂。

### 1.2.2.1 景观异质性概念

自 20 世纪 80 年代后期生态学才成为资源、环境、生态方面的研究热点,而其中的景观生态学更是一门较新的生态学分支学科。因而,对其概念的理解并不完全一致,较为普遍接受的概念认为景观生态学是研究景观结构、功能和动态变化的科学(曹凑贵等, 2002);在诸多影响景观结构的因子中,景观格局为最主要。

景观异质性指景观或其同性的变异程度。它是自然界最普遍的特征,是景观生态学研究核心,在许多生态学理论中起核心作用,并且逐渐成为现代生态学理论的新范式,指导和帮助我们理解生态学的复杂过程及其反馈机制(Levin, 1992)。只有分析了景观时空尺度的变化,才可能结合各种数据进行形成机制研究,进而根据机制做出科学合理的建设决策。

景观异质性的产生是景观生态学的主要研究课题之一(John et al., 1997)。对于景观异质性产生的机理,不同学者有不同的见解。一般认为,非生物的环境因素(如地形、地质、水文、土壤等)差异以及各种干扰是景观异质性产生的主要原因(邬建国, 2000)。从热力学原理来理解,即在开放的生态系统中,能量由一种状态流向另一种状态,伴随着新结构的建立而增加了景观异质性(Godron et al., 1995; 蒋文伟等, 2003)。此外,外动力因子对景观形成的自然干扰,生态系统的演替以及人为活动的影响也都是产生景观异质性的重要因素。即景观异质性首先起源于系统和系统要素的原生差异,也来源于现实系统运动的不平衡和外来干扰,并随着某一景观要素出现的相对频率变化而变化(赵羿、吴彦明, 1994)。当景观中仅存在某一要素或该要素完全不存在,对此景观要素来说景观是均质的。当某一要素出现在景观中,并占有一定的比例时,景观开始出现异质性,而且异质性随该景观要素出现相对频率的增加而相应的提高,直至增加到某一临界阈值时,该要素在景观中占主导地位。当其相对频率再继续增加时,景观的异质程度又开始下降,景观重又趋向均质化(赵玉涛等, 2002)。即景观异质性形成的主要成因有 2 类:非生物因素和生物因素。大尺度上的非生物因素(如气候、地形、地貌)为空间异质性的产生提供了物理模板,这种物理模板本身就具有空间异质性,或者生物过程(包括人为过程)又在此基础上相互作用而产生景观异质性(Hobbs, 1992)。

### 1.2.2.2 遥感数据源及植被指数发展史

野外实测方法是通过研究者直接参与来获取数据资料的方法,在微观尺度内作为景观生态学研究的主要方法是其他任何方法所不可替代的。但在大尺度宏观区域内,野外工作则受到诸如空间不连续、样本数目少、样本代表性差、工作量大等多因素的限制。庆幸地是,近几十年来,作为唯一且能重复获取环境数据(如植被、土壤等)的手段,遥感受到越来越多的重视,并随着科技和计算机软硬件

技术的发展与完善,利用遥感数据所进行的研究已经深入到生态学的许多领域,取得了丰硕的研究成果。

### (1) 遥感数据源

通常意义上来讲,用于监测植被异质性的遥感数据按空间分辨率大体划分为低、中、高空间分辨率三类。低空间分辨率的遥感数据如 NOAA/AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration/Advanced Very High Resolution Radiometer, 美国国家海洋大气管理局/先进的甚高分辨率辐射计)、MODIS (the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, 陆地/中分辨率成像光谱仪) 与 SPOT VEGETATION 等,一般都具有较高的时间分辨率与光谱分辨率,覆盖范围广,适宜进行大区域的植被异质性研究;中空间分辨率的遥感数据种类最多,如 Landsat SPOT 与 ATSER-2 等,广泛用于植被异质性的总体观测;高空间分辨率遥感数据如航片、IKONOS 和 Quick Bird 数据,能更为清楚真实地反映地表植被特征。但因其覆盖范围小,主要用于局部地区的植被异质性研究或对中、低空间分辨率数据进行检验 (Leprieur et al., 1994; Leprieur et al., 2000)。但由于其成本过高致使应用受限。其中,NOAA/AVHRR、MODIS 为高光谱数据源,具有高波谱分辨率、高时间分辨率、低空间分辨率的特点。其主要由于具有视野宽、周期短(每日覆盖全球)、价格低廉等优点而得到大规模的宏观尺度研究应用。

NOAA/AVHRR 共有 5 个通道,光谱响应范围在  $0.58\sim 12.50\mu\text{m}$  之间,星下分辨率  $1.1\text{km}$ 、时间分辨率为 0.5 天、扫描宽度为  $2\,700\text{km}$  (表 1-1); MODIS 光谱仪的光学设计可为地学应用提供  $0.4\sim 14.5\mu\text{m}$  之间的 36 个离散波段图像,星下点空间分辨率  $250\sim 1\,000\text{m}$ ,运行周期为 1~2 天,扫描宽度为  $2\,330\text{km}$  (表 1-2)。

表 1-1 与植被指数相关的 NOAA/AVHRR 仪器特性和主要用途

Table 1-1 NOAA/AVHRR instrument characteristics related with VI and their main applications

| 通道 | 波谱范围/ $\mu\text{m}$ | 用途             | 分辨率/m |
|----|---------------------|----------------|-------|
| 1  | $0.58\sim 0.68$     | 白天的云、雪、海水和地表图像 | 1 100 |
| 2  | $0.725\sim 1.100$   | 水体边界、植被覆盖、冰雪融化 | 1 100 |

表 1-2 与植被指数相关的 MODIS 仪器特性和主要用途

Table 1-2 MODIS instrument characteristics related with VIs and their main applications

| 通道 | 光谱范围/nm       | 用途     | 分辨率/m |
|----|---------------|--------|-------|
| 1  | $620\sim 670$ | 陆地、云边界 | 250   |
| 2  | $841\sim 876$ |        | 250   |

续表

| 通道 | 光谱范围/nm     | 用途     | 分辨率/m |
|----|-------------|--------|-------|
| 3  | 459~479     | 陆地、云特性 | 500   |
| 4  | 545~565     |        | 500   |
| 5  | 1 230~1 250 |        | 500   |
| 6  | 1 628~1 652 |        | 500   |
| 7  | 2 105~2 135 |        | 500   |

(2) 植被指数及其发展简史

根据《遥感大词典》，植被指数是“利用遥感卫星探测数据的线性或非线性而形成的能反映绿色植被生长状况和分布的特征指数”（陈述鹏，1984），是对地表植被状况的简单、有效和经验的度量。目前已经定义了 40 多种植被指数，广泛地应用于全球与区域土地覆被变化（喻锋等，2005；王坚等，2005）、植被分类和环境变化（郭锐等，2002；李俊祥等，2005）、第一性生产力分析（肖乾广等，1996；钱峻屏等，2001）、作物和牧草估产（张建华，2000；黄敬峰等，2000）、干旱监测（王鹏新等，2003）等方面；并已经作为全球气候模式的一部分被集成到交互式生物圈和生产效率模式中（Sellers et al., 1996；辜晓青等，2005）。同时，植被指数还可以转换成叶冠生物物理学参数等（席建超等，2004；姚延娟等，2005）。

设计植被指数的初衷是要建立一种经验的或半经验的、强有力的、对地球上所有生物群体都适用的植被观测量。因此，植被指数无量纲，是利用叶冠光学参数提取的独特光谱信号。1969 年 Jordan 提出最早的一种植被指数——比值植被指数（RVI）为

$$RVI=\rho_n/\rho_r \tag{1-1}$$

式中， $\rho_n$  和  $\rho_r$  分别是近红外波段和红光波段的反射率。

但对于浓密植物反射的红光辐射很小，RVI 会无限增大，这样应用起来会带来许多不便。后来有人提出了差值植被指数 DVI，其计算公式为

$$DVI=\rho_n-\rho_r \tag{1-2}$$

Deering1978 年提出归一化差值植被指数（normalized difference vegetation index，NDVI）。后来通过多方面的应用，NDVI 被证明是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子之一，对叶绿素变化非常敏感（Gao et al., 2000）。其计算公式为

$$NDVI=\frac{\rho_{NIR}-\rho_{VIS}}{\rho_{NIR}+\rho_{VIS}} \tag{1-3}$$

式中， $\rho_{NIR}$  为近红外波段的反射率； $\rho_{VIS}$  为可见光波段的反射率。

由于 NDVI 可以消除大部分与仪器定标、太阳角、地形、云阴影以及大气条件有关辐照度的变化，增强了对植被的响应能力，是目前已有的 40 多种指数中应