

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

北方森林草原 交错带

FOREST AND STEPPE ECOTONE IN NORTH CHINA

吕世海 叶生星 郑志荣 刘及东 冯朝阳 编著

中国环境科学出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

中国北方森林草原交错带

吕世海 叶生星 郑志荣 刘及东 冯朝阳 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国北方森林草原交错带/吕世海, 叶世星, 郑志荣编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.12
ISBN 978-7-5111-1035-0

I. ①中… II. ①吕… ②叶… ③郑… III. ①生物多样性—研究—中国 IV. ①Q16

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第121101号

[审图号: GS(2013)176号]

策划编辑 王素娟
责任编辑 俞光旭
责任校对 唐丽虹
封面设计 金 喆

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67121726 (生态图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012年12月第1版
印 次 2012年12月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 17.5
字 数 400千字
定 价 78.00元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编 委 会

顾 问 吴晓青

组 长 赵英民

副组长 刘志全

成 员 禹 军 王泽林 刘海波 陈 胜

总序

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境

科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构,支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动,“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署,环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题,立足环境管理中的科技需求,积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间,环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项,涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域,共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与,逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前,专项取得了重要研究成果,提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案,形成一批环境监测预警和监督管理技术体系,研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术,提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议,为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果,及时总结项目组织管理经验,环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果,具有较强的学术性和实用性,可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版,在科技管理上也是一次很好的尝试,我们希望通过这一尝试,能够进一步活跃环保科技的学术氛围,促进科技成果的转化与应用,为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

前 言

森林草原交错带是一类典型的生态交错带，它不仅是森林生态系统与草原生态系统在时空尺度上激烈变化的生态过渡区和生态敏感区，而且也是生态系统服务功能的高值区，其显著的水源涵养、防风固沙、保持水土、调节气候、维持生物多样性等生态效应，已逐渐为社会所认识，并成为广泛关注的热点地区之一。中国北方森林草原交错带主要包括北方温带森林草原交错带和北方暖温带森林草原交错带两类，其中，前者主要分布于大兴安岭原始森林与呼伦贝尔草原的交汇区或过渡区，后者主要分布在燕山北麓山地森林与内蒙古高原中段干旱草原的过渡区。在空间分布特征上，北方温带森林草原交错带由于地势偏远、人口相对较少，受人为活动影响程度相对较轻，结构保存相对完整；而北方暖温带森林草原交错带，由于水热条件相对优越，长期的农耕活动已使交错带内的大部分草原、森林开垦为农田，区域草原退化与沙化、土地荒漠化、水土流失等生态灾难逐年增加，部分地区已成为影响区域可持续发展的重要障碍。

最近十几年，随着国际学术界对生态交错带研究的逐渐升温，国外许多生态学家对森林草原交错带表现出极大的关注，并开展了许多相关基础性研究，为全面认识森林草原交错带生态学过程奠定了基础。但是，相对而言，国内有关森林草原交错带的研究报道相对较少，特别是对于北方温带森林草原交错带生态环境脆弱性时空动态变化、生态服务功能评估等研究几乎未见报道。因此，选择结构保存相对完整、分布面积广大、生态区位重要的北方温带森林草原交错带作为典型区域，适时开展森林草原交错带生态环境演变及其脆弱性时空动态研究，不仅对深入研究区域气候变化和人类干扰对陆地生态系统的影响具有重要作用，而且也对科学评价北方森林草原交错带生态环境现状，揭示区域生态问题的成因及其发生与发展机制，制定科学、合理的防治与恢复措施都具有

积极意义。

《中国北方森林草原交错带》在编辑出版过程中,查阅了大量的文献资料,并在内蒙古呼伦贝尔地区北方温带森林草原交错带集中分布的旗市区,开展了大量野外试验研究和经济社会学调查,为本书的出版提供了大量翔实的数据资料,先后完成了博士后出站报告《呼伦贝尔森林草原交错带生态环境脆弱性时空动态变化研究》1篇,博士论文《呼伦贝尔沙化草地系统退化特征及围封效应研究》、《自然保护区生态服务功能评估体系及案例研究》、《基于气候产草量模型与遥感产草量模型的草地退化研究——以内蒙古鄂温克族自治县为例》3篇,硕士论文《呼伦贝尔森林-草原生态交错区景观格局时空动态研究》、《基于“3S”技术的呼伦贝尔土壤侵蚀研究》2篇。这些高质量的硕、博士论文,为《中国北方森林草原交错带》的初稿编撰提供了翔实的基础数据,也为从事区域生态学、环境生态学、植被地理学、生态经济学以及地球科学等相关学科的科技工作者和高校师生提供了具有重要参考价值的第一手资料。

本书由集体写作编著而成,许多专家参与了初稿的撰写和审阅工作。其中,前言、第1章、第2章、第3章由吕世海研究员执笔,郑志荣博士、叶生星博士等人在具体研究过程中做了大量工作;第4章由叶生星博士执笔,高军靖硕士参与了资料整理和数据处理工作,吕世海研究员参与了章节的修改和补充;第5章由郑志荣博士执笔,吕世海研究员冯朝阳博士参与了章节的修改和补充;第6章、第7章由吕世海研究员执笔。全书由吕世海研究员统稿,中国环境科学研究院的郑志荣博士、叶生星博士、冯朝阳博士,河北师范大学的陈艳梅博士,呼伦贝尔学院的刘及东教授,鲁东大学的常学礼教授等在本书的写作过程中付出了大量心血,对此,谨表示诚挚的感谢。

由于作者学识水平所限,书中内容难免存在诸多不足之处,切望有识之士和专家学者给予批评指正,以便能及时修正、补充和完善。

作者

2012年12月于北京

目 录

第 1 章 森林草原交错带研究概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究的目的和意义	2
1.3 森林草原交错带研究进展	3
1.4 森林草原交错带研究展望	10
第 2 章 森林草原交错带空间识别	13
2.1 森林草原交错带概念内涵	13
2.2 森林草原交错带总体特征	14
2.3 森林草原交错带空间界定及分布	15
2.4 森林草原交错带边界检测	19
2.5 森林草原交错带景观格局变化	23
第 3 章 区域资源环境现状及预测	33
3.1 自然环境特征	33
3.2 经济社会发展现状	37
3.3 区域生态环境质量现状	41
3.4 区域发展与资源环境预测	47
3.5 区域资源环境承载力评价	57
第 4 章 区域生物多样性评价	59
4.1 生物多样性研究概述	59
4.2 区域生态系统多样性评价	68
4.3 生物物种多样性评价	77
4.4 遗传多样性评价	95
4.5 生物多样性评价结果	100
第 5 章 区域资源环境问题剖析	140
5.1 区域生态环境脆弱	140
5.2 气候变化效应显著	154
5.3 生态系统退化趋势明显	160
5.4 生态服务功能持续减弱	170

5.5	水土流失逐年增大	180
第 6 章	区域生态环境保护空缺分析	186
6.1	区域战略决策失灵剖析	186
6.2	资源过度开发的潜在影响	192
6.3	区域自然保护与监管体系缺失	195
6.4	重点产业发展加重生态环境负荷	200
6.5	全球气候变化影响	207
第 7 章	区域长效生态保护对策	212
7.1	确立区域国土生态安全战略	212
7.2	实施生态系统综合管理	214
7.3	重视发展环境友好产业	218
7.4	创新生态保护实用技术	233
7.5	弘扬少数民族生态文化	255
参考文献		261

第1章 森林草原交错带研究概述

1.1 研究背景

生态交错带也称为生态过渡带 (Ecotone)、生态敏感带 (Ecological Sensitive Zone) 或生态脆弱带 (Ecological Fragile Zone), 它是相邻生态系统之间物质体系、能量体系、结构体系之间相互作用、相互渗透的生态界面 (牛文元, 1990), 也是陆地生态系统对全球气候变化与人类干扰活动响应的最为敏感的地段。

我国的生态交错带主要分布于东北、华北、西北及西南地区。这些生态交错带, 景观异质性大、环境敏感性强、生态稳定性差; 地理上大多处于不同地貌单元交接区、气候—土壤—植被过渡区或荒漠绿洲边缘区; 经济区划上处于不同土地利用方式转换区, 如农牧、林牧、农林等复合交错带; 生态区划上又多是我国重要生态功能集中分布区、重要江河源区、生态屏障区和生物多样性的富集区。这些区域不仅地理位置独特, 生态区位重要, 而且兼具水土保持、水源涵养等多重生态服务功能, 对确保下游国土生态安全具有极其重要的作用。

森林草原交错带是一类典型的生态交错带。它不仅是森林生态系统与草原生态系统在时空尺度上激烈变化的生态过渡区和生态敏感区, 而且在生态服务功能上, 还具有较强的涵养水源、防风固沙、水土保持、调节气候、生物多样性维持和物质输出等多种生态服务功能。然而, 自 20 世纪以来, 由于受全球气候变化和人类过度干扰等因素的共同影响, 森林资源锐减、林线上移、气候持续干旱、草原退化沙化、区域水土流失、生物多样性丧失等系统脆弱特征正逐步显现, 部分地区已成为影响区域可持续发展的重要障碍。

最近十几年, 随着国际学术界对生态交错带研究的逐渐升温 (高洪文, 1994), 国外许多生态学家对森林草原交错带表现出极大的关注 (Boren et al., 1997; Milne et al., 1996; Bowman, 1993), 并开展了许多相关基础性研究 (Fensham et al., 1992; Dyer et al., 1997), 为全面认识森林草原交错带生态学过程奠定了科学基础。但是, 相对而言, 国内有关森林草原交错带的研究报道较少 (王庆锁等, 2000), 特别是对于森林草原交错带生态环境脆弱性时空动态的研究几乎未见报道。因此, 选择结构保存完整、分布面积广大、生态区位重要的呼伦贝尔森林草原交错带作为典型区域, 适时开展森林草原交错带环境演变及其脆弱性时空动态研究已成为本书研究的初衷, 其目的是认识交错带脆弱环境的成因及其演变规律, 为制定有效的保护措施, 从源头防治生态交错带退化提供依据。

1.2 研究的目的是意义

中国北方森林草原交错带的主体部分位于大兴安岭北段山地及其两麓至呼伦贝尔高原一侧,是环绕着大兴安岭针叶林带及中温型夏绿阔叶林带而连续分布的一个狭长的森林与草原两类植被共存的生态过渡带(中国科学院内蒙古宁夏综合考察队,1985),也是欧亚大陆针叶林向南延伸的一个重要生态类型区和北极泰加林、东亚阔叶林与欧亚大陆草原相互交融的生态交错带。据20世纪80年代中期调查发现,该区域共拥有野生维管束植物108科、468属、1352种(亚种、变种和变型),野生动物(包括鸟类、哺乳动物类、两栖类和爬行类)62科、145属、480余种,是东亚植物区系、欧亚植物区系和蒙古高原植物区系的相互交汇区与重要通道。境内除拥有寒温带针叶林、夏绿阔叶林等森林生态系统外,还有山地草甸、草甸草原、典型草原等草原生态系统,以及疏林沙地、沼泽湿地等生态系统类型,是中国北方的生物多样性富集区,也是欧亚大陆东段生物多样性起源中心。

中国北方森林草原交错带具有独特的地形地貌,复杂多变的气候类型,以及丰富多样的生态系统,其丰美的草原养育着蒙古族、达斡尔族、鄂温克族、鄂伦春族等39个草原民族,是中国北方最重要的草原牧业区;其浩瀚的森林构成中国北方重要生态屏障,对维护下游生态安全具有极其重要的作用;境内发育着的克鲁伦河、伊敏河、海拉尔河、额尔古纳河等3000余条河流和500余个湖泊,已成为我国东北三省重要的水源涵养区,对保障下游1.8亿人口的水源供应与生态稳定,促进中国北方地区社会经济可持续发展具有不可替代的作用。

然而,自20世纪50年代以来,由于自然灾害和人为因素的影响,大约有70%的天然林被过度采伐,不仅导致林线上移,林窗扩大,林种单一,林分结构发生根本变化,区内水源涵养与水土保持功能逐年下降,而且最明显的后果是林窗扩大后,林下生境严重旱化,许多喜阴生环境的物种如苔藓、地衣、蕨类植物以及多种无脊椎动物受到威胁,导致生态系统消费结构发生根本改变,危及人类的生物安全。由于过度放牧与盲目垦殖,草地退(沙)化面积已占到可利用面积的60%以上,而且每年仍以6.9%的速度在扩展;20世纪90年代与70年代相比,草地生产力普遍下降50%~70%,群落物种数普遍减少30%~50%,个别稀有物种或敏感物种已基本从群落中消失。天然湿地是中国北方森林草原交错带的特色资源。据卫星遥感调查,20世纪80年代之前,该区有各类天然湿地580万 hm^2 ,约占区域土地总面积的22.8%,其中,滨湖湿地面积35.3万 hm^2 ,河流湿地面积528.8万 hm^2 ,沼泽湿地面积12.7万 hm^2 。但是,进入21世纪以来,该区河流水量减少、湖泊干枯现象日益严重,湿地面积比80年代前净减少20%以上,全国第5大淡水湖——呼伦湖水位连续下降1.8m,2005年最低下降2.4m,达到40余年的最低水位,主体湖面平均减少320 km^2 ,湖水水质也由20世纪60年代的淡水标准降为半碱标准。特别是被誉为“自然之肾”的大面积湿地资源的急剧减少,不仅导致湿地抗洪调蓄和自然净化功能逐年衰退,而且严重威胁生物多样性和下游生态安全。

因此,以中国北方森林草原交错带为主要研究对象,针对生态交错带边际效应明显、环境异质性高、时空变化明显、生物多样性丰富以及生态敏感性强等特点,积极开展森林草原交错带动态变化和环境脆弱性评价,不仅对深入研究区域气候变化和人类干扰对陆地

生态系统的影响具有重要作用，而且也对科学评价森林草原交错带生态环境现状，揭示区域生态问题的成因及其发生与发展机制，制定科学、合理的防治与恢复措施都具有积极意义。

1.3 森林草原交错带研究进展

1.3.1 生态交错带研究

(1) 生态交错带概念形成

自从 1905 年 Clements 将 Ecotone 的概念引入生态学，并将其定义为“两个群落相连接的应力区”以来，国内外生态学界对所谓的 Ecotone 给予了很大的关注（Odum，1967）。20 世纪 70 年代初期，Odum 在《生态学基础》一书中进一步把生态交错带定义为“两个或两个以上不同群落之间的过渡区”（Odum，1971）；1981 年，Anderson 又将两个不同生态系统连接处的过渡区称为 Ecotone（Anderson，1981）；直到 1985 年，SCOPE/MAB 工作组依据景观斑块动态理论和等级结构理论，才将生态交错带的概念作了景观生态学延伸，并认为“Ecotone 是生态系统内，不同物质、能量、结构和功能体系之间形成的生态界面”（Di Casstris & Hansen，1985）；1986 年，Forman 等又将景观交错带定义引申为“Ecotone 是存在相邻的不同物质景观单元之间的异质性景观，并控制着生物与非生物要素的运移”。此后，国内生态学界也把景观交错带译作“生态环境脆弱带”（牛文元，1990；马世骏，1990）。

为了进一步明确 Ecotone 的概念内涵，1987 年，在法国巴黎召开的 SCOPE 会议上，对生态交错带作了概念界定，即生态交错带（Ecotone）是相邻生态系统的过渡带，其特征由相邻生态系统之间相互作用的空间、时间和强度所决定（Holland，1988）。1989 年在匈牙利首都布达佩斯召开的第七届 SCOPE 会议上又进一步把生态交错带的概念明确定义为“在生态系统中凡处于两种或两种以上的物质体系、结构体系、能量体系与功能体系之间所形成的生态界面，以及围绕该界面向外延伸的过渡带空间域”（牛文元，1990）。至此，国内外学术界才把生态系统界面理论与非稳定的脆弱特征结合起来，取得认识上的共识，并将其作为辨识全球气候变化的基本指标进行系统研究。

表 1.1 生态交错带及其相关术语的定义与描述

Table1.1 The definitions and descriptions of ecotone and its related terms

名称	命名人	年份	定义
生态交错带	F. E. Clements	1905	气候决定的植物群丛交叠的应力区
	SCOPE 会议	1987	相邻生态系统之间的过渡带
生态边界层	Institute of Ecosystem Studies (IES) 研讨会	2000	是相邻斑块之间的区域，是复杂和多维的，标显斑块的极限
边缘	F. E. Clements/A. Leopold	1907/1933	边界线/群落之间狭窄的过渡区
生态过渡带	没有特定的描述人	—	指大尺度气候地理带之间的过渡地带
环境梯度带	没有特定的描述人	—	指环境因子迅速变化的区域

注：本表来源于朱芬萌，等. 生态交错带及其研究进展[J]. 生态学报. 2007, 27 (7): 3032-3043.

目前,生态交错带已扩展到从植物个体边缘交错带到广义的景观界面交错带。关于 ECOTONE 的中文译法较多,如生态环境交错带、生态过渡带(陈旭东,1998)、生态环境脆弱带(牛文元,1990)、生态交错带(高洪文,1994;王庆锁等,1997)、交错带(牟长城、于丹等,1998)等,这些定名在一定的研究程度上是合适的,但在表达 ECOTONE 所包含的空间分布格局(宽度、垂直性、形状或长度)、时间变化以及演替动态方面尚存在诸多缺陷,笔者认为使用生态交错带一词更为贴切。

(2) 生态交错带空间界定

生态交错带的空间界定最初起源于生态系统生态学中有关生物群落的边际效应研究(Odum, 1971)。此后,随着景观生态学中景观斑块动态理论和等级结构理论的发展,生态交错带界定才逐步受到生态学家和经济地理学家的广泛重视(Di Casstris and Hansen, 1992),特别是遥感技术和地理信息系统的广泛应用,使得生态交错带生态界面的确定逐步由小尺度向大尺度迈进,并根据景观板块的时空特征、分布范围、演变规律等,使生态交错带的宏观界定、位移动态等研究由理论变为现实。

我国生态交错带的空间界定,起源于 20 世纪 50 年代初期赵松乔先生对北方农牧过渡区的经济地理学调查,其界限大致在降水量 400 mm 的地区(赵松乔,1958)。20 世纪 70—80 年代,随着全国自然资源普查与土壤侵蚀遥感调查工作的开展,很多专业分别从各自的研究领域对生态交错带做了学术界定(陈建华等,2004);到 90 年代以后,随着农业气候区划和综合农业区划研究的不断开展,有关生态交错带的界定、形成、演变及生态脆弱性等方面的研究被逐步推向深入,并形成了多种界定理论与方法,如经济地理学界定方法、农业气候学界定方法、生态学界定方法等,其中研究最多、涵盖面最广、成果最丰富的生态交错带首属北方农牧交错带。

(3) 生态交错带的空间表达

由于生态交错带具有显著的边缘效应和三维结构与等级结构(Hardt, 1989),因此,在自然环境里,因地质地貌、水文气候、土壤质地、植被类型的不同,宏观上生态交错带又表现出不同的空间表达,如森林草原交错带、农牧交错带、荒漠绿洲交错带、城乡交错带、水陆交错带等。目前,就中国北方生态交错带而言,处于一级敏感区的主要有森林草原交错带、农牧交错带、水陆交错带(海岸带);处于二级敏感区的有荒漠绿洲交错带、城乡交错带等。其中,研究范围最广的主要是生态环境比较脆弱的北方农牧交错带、荒漠绿洲交错带;其次是环境特征比较明显的海岸交错带和城乡交接区;森林草原交错带,由于水热环境相对较好,大多地处偏远地区,其关注程度相对较少。最近几年,随着全球气候变化研究的日益升温,森林草原交错带作为全球气候变化对陆地生态系统影响的敏感地段已备受生态学界的广泛关注(Kevin & Thomas, 2006; Temuulen, 2005; 王庆锁, 2000)。

(4) 生态交错带的定量判断

生态交错带是生态系统中生物及其生态环境特征出现不连续的区间,它广泛存在于生态区域(Gosz, 1992)、生物群区(Odum, 1971; Walter, 1979)和群落(Greig-Smith, 1957)甚至更小的各种尺度水平。在植被生态学中,长期以来存在着植被交错带急变性(Sukachev, 1975)和植被连续统(Continuum)的观点(Mirkind & Rozenberg, 1978)之争,生态交错带过渡的显著与否仍是地植物学争论的一个重要问题(Armand, 1992)。生态交错带位置和宽度的判定是定量研究交错带生态学过程的基础,特别是在斑块尺度格

局和动态、群落尺度的种群统计和种群尺度异质种群 (Meta-population) 的行为等研究中具有重要意义。

生态交错带的判定依赖于响应变量 (Response variables) 在空间和时间序列上的变化, 当响应变量变化的峭度和变幅较大时, 交错带是容易判定的, 明显的交错带出现在控制变量 (Controlling factors) 发生突变的环境梯度上或出现在响应变量生态阈限 (Threshold) 的边缘 (Gosz, 1992)。但是, 当响应变量变化是渐变的; 或者, 即使变化值变化峭度较大但变幅较小时也是较难判定的 (Hansen-bristow & Ives, 1984)。交错带变化最为显著的特征是植被的变化, 其中包括植物种类组成和植被结构的变化, 变化最明显的交错带是物种和群落结构表现明显的森林草原交错带。Armand (1955) 建议对景观的过渡性赋予定量指数并进行数量判定, 20 世纪 60 年代以来, 植被数量生态方法和地学插值技术 (Kriging) 已成为交错带判定和环境梯度数据处理的重要手段 (Gosz, 1992)。20 世纪 80 年代, 植被生态学的数量化研究热潮和生态学界对交错带研究的重新关注, 最终推动了交错带定量判定技术的发展, 利用相异系数 (或相似系数) 的群落结构分析 (Sorensen, 1948; Real, 1969)、环境梯度上的 β 多样性研究 (Wilson & Shmida, 1984)、梯度分析 (Stohlgren & Bachand, 1997) 和分类排序技术 (Hill & Ganch, 1980) 等已经被证明是成熟的方法。

游动分割窗技术 (Moving split-window technique, MSWT) 是利用多个 (偶数) 样方组成的窗体沿样带逐个样方滑动, 计算两个 1/2 窗体间的相异系数 (或距离系数), 将所得的距离 (相异) 系数沿样带序列作图, 根据陡峭峰值区间判定交错带的一种技术。这种方法通过窗体滑动求得相邻取样区间的平滑距离系数, 能够消除因个别样方取样偏差或环境突变造成的单个两两样方间距离系数的陡然变化引起的交错带误判。因此, 它更能客观地反映样带系列上植被分布或环境因子的不连续性。Whittaker (1960) 首次将此技术用于 Siskiyou 山的植被样带数据分析, Ludwig 和 Cornelius (1987) 将其改进用于土壤和植被梯度非连续体的确定。目前, 游动分割窗技术已经从 20 世纪 80 年代开始被广泛用于生态交错带位置的判定 (石培礼等, 2002)。

1.3.2 森林草原交错带研究

森林草原交错带是位于两大主要植被类型——森林和草原之间的过渡地带。侯学煜 (1988) 明确指出, 森林草原不是一条接触线, 而是一个植被带, 这个植被带在温带草原区和暖温带草原区中景观表现最为明显。事实上, 森林草原交错带 (Forest grassland Ecotone) 是地处森林带和草原带之间的过渡区 (Kotze et al., 2001), 属于生物群区 (Biome) 大尺度生态交错带 (Ecotone), 它以森林和草原两种植被共存为特色, 具有高的生物多样性 (Risse, 1993)。

许多学者认为, 中国的草原处于整个欧亚大陆草原带的东部边缘, 由于受到太平洋季风气候的影响, 中国的森林草原交错带与欧亚大陆其他地区相比较, 具有多样性和独特性的典型过渡带生态类型 (Lavrenko & Karamysheva, 1993)。森林草原交错带的形成要追溯到地质时期新生代第三纪末期, 由于喜马拉雅造山运动和青藏高原的隆起, 改变了世界大气环流形式, 使我国北方地区的气候由冷湿型转为干旱型, 草原植被逐渐开始形成, 不过那时的植被仍以森林为主。到第四纪更新世时, 由于几次冰期的出现, 喜冷湿气候的森林植被与喜温润气候的草原植被更替加剧, 林线上移后草原化速度加快, 并逐渐形成具有

森林和草原双重特征的森林草原交错带。如呼伦贝尔草原与北极泰加林、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 交错带、大兴安岭南麓沙地云杉 (*Picea mongolica*) 林与科尔沁草原交错带等。20 世纪 60 年代以来, 许多中外学者对中国的森林草原交错带的植物种类、植被类型、分布规律和植被生产力进行了研究 (刘濂, 1965; 邹厚远, 1994; 王庆锁, 2000), 为深入探讨森林草原交错带空间分布规律、植被演替动态特征等奠定了基础。郭庆华等 (1999) 利用 NOAA、AVHRR 影像得出的 NDVI 数据, 对本区及其以西地区森林、森林草原、草原等地带性植被的分布进行了科学划分, 发现我国的森林草原交错带具有较好的空间分异, 但对于森林—草原交错带内部景观的差异性仍然缺少研究 (黄永梅等, 2001)。森林草原交错带动态变化研究, 国外一些学者认为放牧和火灾对森林草原交错带的群落结构、物种组成及植被景观的变化起着至关重要的作用 (Temuulen, 2005; Peter et al., 2001), 国内学者认为水热环境的变化是引起暖温带森林草原交错带景观与植被组成变化的主要因素 (郭庆华等 1999; 黄永梅等, 2001; 王庆锁, 2000), 对中温带森林草原交错带的研究还没有详细报道。

呼伦贝尔森林草原交错带, 地理上属于典型的中温型森林与草原植被过渡带。由于受燕山和大兴安岭等山脉的阻挡, 夏季东南季风到达这里的强度已大大减弱, 降水量减少, 气候由湿润变为干旱, 在这样的气候背景条件下, 大面积森林的生长已经不可能, 阳坡的森林由密林变为疏林或成为散生的树木。其次是地形在起作用。地形的起伏引起热量和水分的重新分配, 在低山丘陵和高大沙丘的阴坡, 温度较低, 相对湿度高, 土壤含水量多, 利于树木生长, 从而出现斑块状的森林景观。在森林带, 由于气候湿润和山地地形, 森林大面积生长, 森林斑块大, 但数量少。在森林草原交错带的森林草甸区, 气候由湿润变为干旱, 地形由高大山地变为低山丘陵和高大的沙丘, 森林景观破碎化程度高, 森林斑块小, 但数量多。在草甸草原区, 气候干旱程度进一步增强, 地形起伏变小, 不仅森林斑块小, 而且数量也少。森林斑块数不是整个森林草原交错带都高于森林带和草原带, 其最大值偏向森林带一侧, 这与 Neilson (1991) 和 Gosz (1993) 假想的在生物群区生态交错带具有高的斑块多样性不同。

相对于呼伦贝尔森林草原交错带而言, 河北北部、内蒙古东部的森林草原交错带在地理分布上属于暖温带山地森林与草原植被过渡带。对此, 许多学者做过不同程度的研究 (郭庆华、喻红、曹艳丽, 1999; 王国梁、刘国彬、刘芳, 2002)。其中, 刘鸿雁 (2002) 利用古生态学方法对坝上森林草原交错带树种及景观动态变化进行了研究。虽然没有完全确定森林草原交错带森林景观面积及其动态变化, 但是, 在张家口东北部的内蒙古边缘沙丘内发现的很多残留松树粗根 (刘慎愕, 1955) 及在浑善达克沙地发现的天然油松 (雍世鹏、刘书润, 1982) 足以说明, 在人类活动干预之前, 河北北部、内蒙古东部的森林面积远比现在要大得多。近年来, 随着气候向干旱增温的趋势发展 (慈龙俊, 1994) 和人类活动的加剧, 我国森林草原交错带的森林景观面积还将进一步减少, 甚至会消失, 这与森林草原交错带对外界环境变化的敏感性具有一定关系, 也对科学评价森林草原交错带生态环境现状具有一定价值。

1.3.3 森林草原交错带生态脆弱性研究

(1) 生态脆弱带研究的起源

森林草原交错带生态环境脆弱性研究是在生态交错带 (Ecotone) 研究的基础上发展起

来的重要内容之一(罗琼, 2003)。自从1905年Clements将Ecotone这一术语引入生态学以来, Ecotone的概念和理论已不局限于群落交错带的范畴, 而在于它的宏观性、动态性和过渡性特征。由于生态交错带环境异质性高、生态界面波动性大、系统抗干扰能力弱, 容易受自然和人为因素的干扰而发生“位移”。因此, 许多学者又将生态交错带定义为生态敏感带(Ecological Sensitive Zone)、生态脆弱带(Ecological Fragile Zone)(Kline, 1979; Gosz, 1993)。事实上, 生态交错带并非都具有脆弱的生态环境, 它仅仅是敏感性环境的一个生态类型。生态脆弱带是建立在生态交错带基础上提出并逐渐发展起来的属于环境生态学范畴的科学术语。

关于生态脆弱带的概念内涵, 朱震达(1991)最早在研究我国北方土地荒漠化过程中提出: “在我国北方农牧交错地区存在一条地跨半湿润、半干旱和干旱地区的生态脆弱带”; 此后, 罗承平等从环境角度出发将生态脆弱区定义为“敏感性高且具有退化趋势的环境单元”(罗承平、薛纪瑜, 1995); 刘燕华(1993)将其定义为“对环境因素改变的反应敏感而维持自身稳定的可塑性小的生态环境系统”; 常学礼等(1999)在分析前人研究的基础上认为, 牛文元先生所引证的ECOTONE概念正是现代意义上的生态交错带。目前, 关于生态脆弱性有三种理解, 第一种属于纯生态系统属性的理解, 认为脆弱性是生态环境固有的自然属性(Doerfliger, 1999; Gogu, 2000; 罗新正, 2002); 第二种则偏向于人文干扰的理解, 认为脆弱性是人为作用下的生态系统退化的结果(Kochunov, 1993; 王让会, 1998; 赵跃龙, 1999); 第三种属于自然与人文相结合的理解, 认为脆弱性是生态环境的敏感性和退化趋势的统一(罗承平, 1995)。事实上, 任何生态环境经过长期的演化和发展, 特别是在大规模的人类经济开发活动或严重的自然灾害破坏下, 都会破坏自然生态平衡, 使生态环境处于脆弱状态, 并不断朝着生态环境恶化的方向发展(王让会, 1998)。如果说生态环境脆弱性是一个很泛的概念, 生态脆弱带则是相对具体的、生态环境具有特殊脆弱性的一个区域(王小丹、钟祥浩, 2003)。Gosz(1993)认为, 生态环境脆弱区(带)是指自然与人类活动相结合造成的环境退化、景观变坏、土地生产力下降及土地资源丧失的地带。笔者认为, 生态脆弱带是人类活动与自然环境敏感性相互叠加的结果, 是在时空尺度上相对于外界干扰的响应而存在的特定区域, 也是生态环境受外界干扰后所表现出的不稳定区域。

因此, 生态脆弱带的概念及其内涵为: 生态脆弱带是指那些对环境因素的改变反应敏感(赵跃龙, 1999), 生态系统稳定性较差(Orians, 1975; Whittaker, 1975; Westman, 1978; Jordan, 1981), 自然恢复能力较弱, 生态环境处于退化趋势(罗承平, 1995), 并且在现有经济和技术条件下不能得到有效遏制的空间连续区域。生态脆弱区包含如下四层含义: ①生态脆弱性首先是针对人类活动而言的; ②对于那些极端贫瘠、根本不能承载任何人类经济开发活动的荒漠戈壁而言, 不存在任何生态脆弱性; ③与相邻区域“互补”后, 仍然具有脆弱性; ④在外界干扰下易于发生生态退化的区域(冉圣宏、金建君、薛纪瑜, 2002)。

(2) 生态脆弱带的基本特性

生态脆弱带因所处地域、成因和内部结构的不同而具有各自的生态环境特征与特点。北方草原地区(张殿发, 1999; 郭明, 2006), 由于过度垦殖, 过度放牧, 过度樵采造成草地退化、沙化; 黄土高原由于气候干旱, 降水变率大, 植被破坏严重, 水土流失是影响