



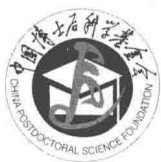
博士后文库  
中国博士后科学基金资助出版

# 不同干扰和空间尺度下 荒漠啮齿动物群落生态学 及其优势种不育控制研究

付和平 著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

# 不同干扰和空间尺度下 荒漠啮齿动物群落生态学 及其优势种不育控制研究

付和平 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本专著在对内蒙古阿拉善荒漠啮齿动物区系和种类分布进行全面调查的基础上,选择开垦、轮牧、过牧和禁牧4种干扰区,在3个主要取样空间尺度上对不同干扰下的啮齿动物群落格局、动态及其与生态因子关系、优势种群敏感性等进行研究;在5个取样空间尺度上,应用分形理论、小波分析对啮齿动物群落进行研究,提出荒漠啮齿动物群落研究的“表征尺度”(manifestation scale)。有害啮齿动物不育控制及植物源不育剂的筛选一直备受国内外学者关注。对不同草原区啮齿动物优势种长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)、子午沙鼠(*Meriones meridianus*)、小毛足鼠(*Phodopus roborovskii*)和三趾跳鼠(*Dipus sagitta*)分别采用复合不育剂EP-1、植物源不育剂ND-1(农大-1号)进行了抗生育作用研究,均取得了预期的不育控制效果,有望得到安全环保、无污染、可持续控制的植物源不育剂。

本专著可供草业科学、植物保护学、动物学、野生动物管理学、野生动植物保护与利用等学科和专业的本科生、研究生参考使用,也可供从事相关专业的广大业务人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

不同干扰和空间尺度下荒漠啮齿动物群落生态学及其优势种不育控制研究/付和平著. —北京:科学出版社,2018.1

(博士后文库)

ISBN 978-7-03-055689-9

I. ①不… II. ①付… III. ①荒漠—啮齿目—群落生态学—研究 ②荒漠—啮齿目—优势种—不育性—研究 IV. ①Q959.837

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第292551号

责任编辑:李 迪 白 雪/责任校对:郑金红

责任印制:肖 兴/封面设计:刘新新

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年1月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年1月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:265 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



## 《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱 刘 伟

卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪 万国华 王光谦

吴硕贤 杨宝峰 印遇龙 喻树迅 张文栋 赵 路

赵晓哲 钟登华 周宪梁

## 《博士后文库》序言

1985年，在李政道先生的倡议和邓小平同志的亲自关怀下，我国建立了博士后制度，同时设立了博士后科学基金。30多年来，在党和国家的高度重视下，在社会各方面的关心和支持下，博士后制度为我国培养了一大批青年高层次创新人才。在这一过程中，博士后科学基金发挥了不可替代的独特作用。

博士后科学基金是中国特色博士后制度的重要组成部分，专门用于资助博士后研究人员开展创新探索。博士后科学基金的资助，对正处于独立科研生涯起步阶段的博士后研究人员来说，适逢其时，有利于培养他们独立的科研人格、在选题方面的竞争意识以及负责的精神，是他们独立从事科研工作的“第一桶金”。尽管博士后科学基金资助金额不大，但对博士后青年创新人才的培养和激励作用不可估量。四两拨千斤，博士后科学基金有效地推动了博士后研究人员迅速成长为高水平研究人才，“小基金发挥了大作用”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员的优秀学术成果不断涌现。2013年，为提高博士后科学基金的资助效益，中国博士后科学基金会联合科学出版社开展了博士后优秀学术专著出版资助工作，通过专家评审遴选出优秀的博士后学术著作，收入《博士后文库》，由博士后科学基金资助、科学出版社出版。我们希望，借此打造专属于博士后学术创新的旗舰图书品牌，激励博士后研究人员潜心科研，扎实治学，提升博士后优秀学术成果的社会影响力。

2015年，国务院办公厅印发了《关于改革完善博士后制度的意见》（国办发〔2015〕87号），将“实施自然科学、人文社会科学优秀博士后论著出版支持计划”作为“十三五”期间博士后工作的重要内容和提升博士后研究人员培养质量的重要手段，这更加凸显了出版资助工作的意义。我相信，我们提供的这个出版资助平台将对博士后研究人员激发创新智慧、凝聚创新力量发挥独特的作用，促使博士后研究人员的创新成果更好地服务于创新驱动发展战略和创新型国家的建设。

祝愿广大博士后研究人员在博士后科学基金的资助下早日成长为栋梁之才，为实现中华民族伟大复兴的中国梦做出更大的贡献。



中国博士后科学基金会理事长

## 序 一

《不同干扰和空间尺度下荒漠啮齿动物群落生态学及其优势种不育控制研究》是付和平教授多年来从事草原啮齿动物生态学及其鼠害控制研究工作的积累，现今以学术专著形式出版，值得庆贺。

全书分为上、下两篇，上篇论述不同干扰和空间尺度下荒漠啮齿动物的群落生态学，下篇论述荒漠啮齿动物优势种的不育控制研究。

付和平教授自 1997 年以来，对内蒙古阿拉善荒漠区啮齿动物区系进行了比较全面的调查，明确了该荒漠区啮齿动物的区系组成和物种分布特征。在此基础上进行了定位研究，经过多年研究，基本阐明了啮齿动物群落在不同组织尺度和空间尺度上与荒漠生态系统结构及功能之间的关系，揭示了啮齿类群落在脆弱荒漠生态系统中对于不同干扰条件的反应特征，提出了荒漠区啮齿动物群落研究的“表征尺度”，在理论上探索了啮齿动物群落生态学研究的新方法，探讨了荒漠啮齿动物群落在不同干扰条件下生态学过程变动的内在机制和规律等。这些研究成果对荒漠生态系统的恢复与保护、草地畜牧业的可持续发展、区域性草地鼠害的预测预报和综合治理等都有重要的意义。

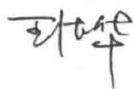
我国的动物群落生态学研究起步较晚，主要以啮齿动物群落研究为主，在夏武平先生等前辈的努力下，近几十年来有了很大的进展，在青藏高原和内蒙古草原啮齿动物的群落生态学研究取得了很多有代表性的成果。随着研究技术手段和分析方法的进步，群落生态学逐步走向系统和深入，新的学说不断涌现。在有害鼠类的不育控制技术方面，我国学者进行了多年的探索和野外试验，也取得了一系列的成果。

该著作信息量很大，我希望著者可以考虑在群落组织结构的机制方面进行进一步的探索，在全国或全球尺度上，对不同啮齿动物的群落类型进行一些相关比较，也许会发现更多新的规律。可以将上篇的群落生态学研究与下篇的鼠类不育控制有机结合起来，分析不育控制如何影响种群的数量变化和调节，从而进一步影响群落的组成和动态等。

生态学研究最好的实验室是在大自然中。从事生态研究的学者都知道，野外生态学研究是很艰苦、很寂寞的。啮齿动物的群落生态学研究，需要长期的野外工作积累，方可发现一些有价值的规律。付和平教授及其所在研究团队能够多年坚持在条件严酷的环境中进行研究，精神和毅力难能可贵，在当今科学论文追

求“短平快”的大环境下，更是难得；在艰苦的条件下，坚持了下来，获得了丰富的第一手资料，值得敬佩。

希望该著作的出版能对我国的荒漠啮齿动物群落生态学研究起到促进作用。



中国生态学会动物生态专业委员会主任

2017年6月1日

## 序 二

今天欣慰地看到自己学生的书稿——《不同干扰和空间尺度下荒漠啮齿动物群落生态学及其优势种不育控制研究》呈现于读者面前，着实有一种成就感。书稿作者付和平是我的开门弟子，多年来在课题组获得的多个国家自然科学基金项目及教育部、科技部、自治区和校级科研项目的资助下，一直坚持在内蒙古阿拉善荒漠区进行啮齿动物生态学与鼠害控制的科学研究，能够取得这样的成绩，实属不易。

从1997年开始，我们对内蒙古阿拉善荒漠区啮齿动物区系进行了全面调查，明确了该荒漠区啮齿动物区系组成、种类分布特征；在此基础上对4种人为干扰生境的啮齿动物生态学进行了定位研究，基本思路是：在不同空间取样尺度上，对啮齿动物种群、群落不同组织尺度与生态系统功能关系，以及对不同人为干扰的反应特征和生态学过程进行研究，以期制定荒漠生态系统恢复与保护策略、荒漠草地的可持续利用、区域性草地鼠害的预测预报和综合治理提供科学依据。为了实现研究目标，在当时课题组人员数量不足、条件非常艰苦的情况下，付和平克服多种困难，连续攻读硕士、博士学位，坚持野外取样工作；在研究和分析方法上，除应用传统的野生动物研究方法外，还结合了分形理论、小波分析等非线性方法，进一步从景观生态学的理论角度，通过定量研究来探讨荒漠啮齿动物群落不同干扰条件下变动的内在机制和规律，并且提出荒漠区啮齿动物群落研究的“表征尺度”(manifestation scale)，在理论上大胆探索了啮齿动物群落生态学研究新方法。

之后，付和平在中国农业大学进行了博士后研究，专门进行了关于鼠类不育控制的研究工作。迄今，围绕不育剂的筛选、作用效果和机制及与毒饵杀灭控制效果对比等研究内容做了大量工作，并且组织课题组研发了植物源不育剂ND-1(农大-1号)，取得了可喜的成绩。

书稿涉及本学科研究热点和难点问题，具有重要的理论意义和现实意义。书稿的研究内容不仅在方法上有创新，而且充分体现出其最新研究成果，其学术价值已得到国内外的承认，为本学科发展做出了贡献。

我一直倡导“谋则成，不谋则衰，思则通，不思则阻；虑则安，不虑则危，行则功，不行则败”。科学研究的长期坚持既需要精神毅力，也需要认真专注，更

需要凝练思考。掩卷长思，不仅深感学生多年来从事科研工作的艰辛及所取得成绩的难能可贵，而且为啮齿动物生态学研究后来者成绩得到业内认可而欣慰！是为序。



内蒙古农业大学草原与资源环境学院

2017年6月5日

## 前 言

干扰存在于自然界的各个方面,各种类型的干扰是生态学过程的重要组成部分,直接影响着生态系统的演变过程,许多动植物种类与干扰具有密切关系。干扰不仅对生态系统的影响具有多重性,而且具有较大的相对性和明显的尺度性,生物群落在生态学干扰下不同尺度的变化特征是当今生态学研究的主要领域之一。尺度理论和尺度分析方法是了解不同尺度下生物群落格局和过程的相互关系,以及不同尺度下生物群落的干扰效应的重要途径。生态学的等级系统理论认为,尺度分析是以所用测量尺度来分析客观存在的本征尺度(intrinsic scale)的过程,是对不同尺度域间的生态等级系统实体和过程进行辨识或推测(丁圣彦 2004; 吕一河和傅伯杰 2001)。在尚未确切了解某一生态现象的本征尺度之前,往往需要人为划定不同的尺度系列对生态过程进行分析和研究,能够从理论上或实际上得到较严谨的解释时,所选的尺度系列就可能较为真实地反映了客观生态现象和生态实体的本征尺度(吕一河和傅伯杰 2001)。

尺度分析方法有很多,如回归分析(regression method)、自相关分析(autocorrelation analysis)、半方差分析(semivariance analysis)、谱分析(spectral analysis)、分形分析(fractal analysis)、多维尺度分析(multidimensional scaling)、小波分析(wavelet analysis)等,近年来陆续被报道。然而,研究人员有时往往很难确切判定某一生态格局或过程所发生的客观尺度。对于同一生态学现象,由于采用的研究尺度大小不一,所得的结论往往差别很大。这就引出一个问题:如何使研究者所采用的研究尺度能够客观准确地分析和拟合生态格局或过程的客观生态尺度,也就是本征尺度?

格局、过程、尺度和干扰都是与生物群落紧密相关的几个重要的生态学范式,虽然我国啮齿动物群落生态学的研究起步较晚,但是近年来我国学者在其方法、理论、应用等的定性研究方面做了大量工作。然而与格局、过程、尺度和干扰相结合的啮齿类群落生态学定量研究仍是我国广大生态学工作者需要努力的一个重要方面。应用尺度理论和尺度分析方法了解不同尺度下啮齿动物群落格局和过程的相互关系,以及不同尺度下啮齿动物群落的干扰效应提供了重要途径。因此,格局、过程、尺度和干扰理论对于丰富和发展啮齿动物群落生态学研究有着重要意义。

本专著涉及的研究,首先对阿拉善荒漠啮齿动物区系进行了全面调查,明确了该荒漠区啮齿动物区系组成、种类分布特征。在此基础上进行定位研究,定位点设在受人为干扰最为明显的阿拉善左旗南部典型荒漠区,选择具有代表性的开

垦区、轮牧区、过牧区和禁牧区 4 种不同类型的干扰区, 在  $1\text{hm}^2$ 、 $10\text{hm}^2$  和  $40\text{hm}^2$  三个主要的空间尺度上, 对不同干扰下啮齿动物的群落生态位特征、群落格局与动态、动植物群落相互关系、动物群落与气候因子关系、优势种群敏感性反应等进行多尺度定性和定量研究; 在  $1\text{hm}^2$ 、 $10\text{hm}^2$ 、 $20\text{hm}^2$ 、 $30\text{hm}^2$  和  $40\text{hm}^2$  5 个空间尺度上, 应用典型相关分析 (canonical correlation analysis)、对应分析、分形分析、小波分析等方法对荒漠啮齿动物群落生态学进行研究, 明确荒漠啮齿动物群落野外研究取样的本征尺度, 并且对不同干扰下荒漠啮齿动物群落格局—过程—尺度进行分析, 明确荒漠生态系统在生境破碎化过程中, 不同干扰条件下啮齿动物群落在不同的空间尺度上生态学过程的变动特征, 阐明啮齿动物群落在不同组织尺度和空间尺度与荒漠生态系统结构与功能的关系, 提出荒漠区啮齿动物群落研究的“表征尺度”, 在理论上探索啮齿动物群落生态学研究新方法, 同时揭示啮齿类群落在脆弱荒漠生态系统中对于不同干扰条件的反应特征, 进一步从景观生态学的理论角度, 通过定量研究来探讨荒漠啮齿动物群落在不同干扰条件下生态学过程变动的内在机制和规律。从而为制定荒漠生态系统恢复与保护策略、草地畜牧业的可持续利用、区域性草地鼠害的预测预报和综合治理提供科学依据。

1997~2000 年, 恩师武晓东教授带领的包括作者在内的研究团队对整个阿拉善荒漠啮齿动物区系和物种分布进行了调查。在此基础上, 从 2002 年开始在人为干扰明显的阿拉善左旗南部典型荒漠区建立了包括上述 4 种人为干扰类型的固定观测样地 and 对应的线路调查样地。本专著的啮齿动物群落生态学研究就是对这些固定样地和线路样地连续多年野外取样研究部分成果的总结。

在生态系统中当小型啮齿动物的数量过高时对环境造成的危害即称为“鼠害”。特别是在草地生态系统中, 我国每年 10%~20% 的草原面积发生鼠害, 由此造成的畜牧业损失非常惊人, 仅牧草每年损失约 200 亿 kg (Kang et al. 2007)。草原鼠害已成为我国草原生态环境恶化和影响畜牧业生产持续健康发展的重要因素。多年来草原鼠害单纯依靠化学毒饵防治, 其只是一种应急措施, 只能暂时降低害鼠的数量, 没有从根本上改变害鼠的栖息环境而产生生殖补偿作用 (breeding compensation effect), 在短期内害鼠种群又会恢复到原有的水平 (张知彬 1995)。因此难以巩固灭鼠的成效, 从而造成年复一年, 反复投放毒饵, 大量消耗人力、物力和财力, 同时威胁到非靶向动物安全并且污染环境 (施大钊等 2009)。对鼠害无污染、无公害的有效防治和可持续控制已成为当前草地生物灾害控制研究的重点之一。

内蒙古草原是我国最重要的畜牧业产区, 拥有天然草原 13.2 亿亩<sup>①</sup>, 占全国

① 1 亩  $\approx 666.67\text{m}^2$

草原总面积的 22.4%。在内蒙古草原每年发生鼠害面积约为 10%，严重区域可达当地草原面积的 20%~30%。鼠害不仅严重影响了牧民的生产、生活，而且对当地生态环境也造成了危害，特别是危害草地土壤和植被，导致草地沙化、退化，影响草地生态系统功能的正常发挥，造成草地生产力下降、多样性丧失，致使草地生态系统变得脆弱。鼠害的加重加快了生态环境的恶化，恶化的生态环境又是鼠害大规模暴发的诱因，这样的恶性循环严重危害草地生态系统，甚至危及广大牧民的生存。

近年来，有害动物不育控制在国内外成为研究热点，并且取得了一些较为理想的成果。害鼠不育控制主要集中在对不育剂的筛选、实验室试验及对部分野生种群数量的控制试验等方面，理论上主要以生态学模型探讨不育控制下害鼠种群动态规律。近几年随着动物管理、动物福利、动物伦理和环境保护理念的明显提升，害鼠不育控制关注的焦点集中在选择无污染、无公害环保型的不育剂，并且对害鼠种群数量能够实现可持续的控制作用。因此，植物源不育剂成为主要选择对象。为此，近几年在内蒙古鄂尔多斯荒漠草原和阿拉善荒漠区，对啮齿动物优势种进行了不育控制试验研究。首先选择了激素类复合不育剂 EP-1[主要成分为左炔诺孕酮(levonorgestrel)和炔雌醚(quinestrol)]，采用春季试验区一次性投饵的方法，对长爪沙鼠野生种群进行了专门试验研究，并且对不育剂 EP-1 与抗凝血杀鼠剂(毒饵)溴敌隆的作用效果进行了对比试验；对子午沙鼠(*Meriones meridianus*)、小毛足鼠(*Phodopus roborovskii*)和三趾跳鼠(*Dipus sagitta*)3 种荒漠啮齿动物优势种群的不育控制进行了相关试验研究；在此基础上，自主合成植物源不育剂 ND-1(农大-1 号)[主要成分为植物提取物紫草素(shikonin)和炔雌醚]，对子午沙鼠种群进行了抗生育作用试验。上述试验研究的结果虽有差异，但均取得了预期的不育控制效果，有望得到安全环保、无污染，并且能够实现可持续控制目标的植物源不育剂。2007~2011 年，中国农业大学博士后合作导师施大钊教授团队实施国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目子课题“鼠类种群生殖调控与不育控制机理研究”(2007CB109105)。在此基础上，作者开展了对草原啮齿动物优势种群的相关不育控制研究工作。

本专著在内容编排上分为两篇，上篇主要是关于荒漠啮齿动物群落生态学研究的部分成果，下篇是关于荒漠啮齿动物优势种不育控制研究的最新成果。这些成果是作者在内蒙古农业大学攻读博士学位和在中国农业大学进行博士后研究期间，在多个国家自然科学基金项目(31560669、31260580、31160096、30760044、30560028、30160019)、中国博士后科学基金项目(20090460420)、国家重大基础研究计划(973 项目)子课题(2007CB109105)、内蒙古自治区自然科学基金项目(2010MS0405、2014MS0325)资助下开展系列研究的部分成果。作者在多年的相关研究中，共发表相关论文 30 余篇，作为主编、副主编撰写专著 3 部，获得国家

发明专利授权 1 项, 实用新型专利授权 2 项。本专著亦是草业科学“国家特色重点学科”建设项目、教育部重点实验室(草地资源实验室)建设项目的成果。

在多年的研究工作中, 作者得到了内蒙古自治区草原工作站、内蒙古阿拉善盟草原工作站、内蒙古鄂尔多斯市草原工作站、内蒙古鄂尔多斯市杭锦旗草原工作站、鄂托克旗草原工作站和阿拉善盟腾格里经济开发区农牧业局的大力支持; 得到了内蒙古农业大学恩师武晓东教授课题组、中国农业大学合作导师施大钊教授课题组的教师和研究生的大力帮助。值此专著成稿之际, 对以上各项基金、建设项目的资助和所有协作单位一并致以诚挚感谢! 对给予帮助的教师和参加野外工作的所有研究生致以诚挚感谢! 对中国博士后科学基金给予的出版资助致以诚挚感谢!

本专著是在恩师武晓东教授指导下、在课题组全体成员帮助下, 作者多年从事草原啮齿动物生态学与草地鼠害控制教学与研究工作的粗浅所得, 无论内容上、方法上还是行文中难免存在许多不足之处, 恳请读者不吝赐教。



2017 年 10 月 28 日于呼和浩特

# 目 录

## 《博士后文库》序言

### 序一

### 序二

### 前言

## 上篇 不同干扰和空间尺度下荒漠啮齿动物群落生态学

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 荒漠啮齿动物群落研究进展           | 3  |
| 第一节 关于荒漠生态系统               | 3  |
| 一、小乔木荒漠系统                  | 4  |
| 二、灌木荒漠系统                   | 4  |
| 三、半灌木、小半灌木荒漠系统             | 4  |
| 四、垫状小半灌木(高寒)荒漠系统           | 5  |
| 第二节 关于干扰的类型及生态意义           | 5  |
| 第三节 相关的动物群落研究方法            | 6  |
| 一、群落分类                     | 6  |
| 二、尺度分析                     | 7  |
| 三、格局—过程—尺度理论               | 9  |
| 第四节 关于啮齿动物群落研究             | 10 |
| 一、群落组织、结构、动态研究             | 10 |
| 二、群落格局、过程、尺度研究             | 12 |
| 第五节 不同干扰和空间尺度下荒漠啮齿动物群落研究背景 | 15 |
| 第二章 阿拉善荒漠区概况与研究方法          | 17 |
| 第一节 阿拉善荒漠区域环境特征及调查样地设置     | 17 |
| 第二节 定位研究区环境特征及样地设置         | 19 |
| 第三节 研究方法                   | 21 |
| 一、取样方法                     | 21 |
| 二、数据分析方法                   | 22 |
| 第三章 荒漠啮齿动物种类、分布及其干扰与群落特征   | 23 |
| 第一节 阿拉善荒漠啮齿动物区系及种类分布特征     | 23 |
| 一、啮齿动物区系组成                 | 23 |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 二、种类分布特征 .....                                     | 25  |
| 三、关于阿拉善荒漠区啮齿动物分布 .....                             | 27  |
| 第二节 荒漠啮齿动物群落生态位分析 .....                            | 28  |
| 一、荒漠啮齿动物生态位测度比较 .....                              | 28  |
| 二、不同干扰下荒漠啮齿动物生态位特征 .....                           | 37  |
| 三、关于阿拉善荒漠啮齿动物生态位 .....                             | 43  |
| 第三节 荒漠啮齿动物群落与生态因子的关联 .....                         | 47  |
| 一、啮齿动物群落 .....                                     | 47  |
| 二、植物群落 .....                                       | 48  |
| 三、啮齿动物群落与植物群落的相关性 .....                            | 49  |
| 四、啮齿动物与气候因子的相关性 .....                              | 55  |
| 五、关于荒漠啮齿动物群落与生态因子相关性 .....                         | 61  |
| 第四节 栖息地破碎化与荒漠啮齿动物群落格局的变化 .....                     | 63  |
| 一、不同干扰和尺度下啮齿动物群落格局与动态 .....                        | 63  |
| 二、群落优势种群在不同干扰下的敏感性分析 .....                         | 67  |
| 三、关于荒漠啮齿动物群落格局 .....                               | 72  |
| 第五节 不同干扰下荒漠啮齿动物群落格局—过程—尺度分析 .....                  | 74  |
| 一、1hm <sup>2</sup> 空间尺度上荒漠啮齿动物群落格局干扰效应的对应分析 .....  | 74  |
| 二、10hm <sup>2</sup> 空间尺度上荒漠啮齿动物群落格局干扰效应的对应分析 ..... | 76  |
| 三、40hm <sup>2</sup> 空间尺度上荒漠啮齿动物群落格局干扰效应的对应分析 ..... | 78  |
| 四、不同干扰下荒漠啮齿动物群落格局尺度效应的对应分析 .....                   | 79  |
| 五、关于荒漠啮齿动物群落与干扰及尺度 .....                           | 82  |
| 第六节 荒漠啮齿动物群落多样性特征非线性分析 .....                       | 83  |
| 一、不同干扰和尺度下啮齿动物群落相似性分析 .....                        | 83  |
| 二、不同干扰和尺度下啮齿动物群落均匀性分形分析 .....                      | 85  |
| 三、不同干扰和尺度下啮齿动物群落多样性小波分析 .....                      | 92  |
| 四、关于荒漠啮齿动物群落的非线性分析 .....                           | 97  |
| 第四章 关于荒漠啮齿动物群落研究的思考 .....                          | 100 |
| 第一节 关于研究方法 .....                                   | 100 |
| 第二节 对研究方法的思考 .....                                 | 102 |
| 第三节 关于生态学的干扰 .....                                 | 102 |
| 第四节 荒漠啮齿动物群落格局干扰效应的本征尺度 .....                      | 103 |
| 第五章 结论 .....                                       | 105 |
| 参考文献 .....                                         | 107 |
| 附录 .....                                           | 117 |

## 下篇 荒漠啮齿动物优势种不育控制研究

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 第六章 草原啮齿动物不育控制研究 .....              | 147 |
| 第一节 关于啮齿动物不育控制技术 .....              | 147 |
| 第二节 关于啮齿动物毒饵控制与不育控制 .....           | 148 |
| 第三节 关于不育剂的筛选及应用 .....               | 150 |
| 第四节 研究内容 .....                      | 152 |
| 第七章 荒漠草原及荒漠区概况与研究方法 .....           | 153 |
| 第一节 荒漠草原区概况及研究方法 .....              | 153 |
| 一、研究区 I 自然概况 .....                  | 153 |
| 二、研究区 I 研究方法 .....                  | 153 |
| 三、研究区 II 自然概况 .....                 | 154 |
| 四、研究区 II 研究方法 .....                 | 154 |
| 第二节 荒漠区概况及研究方法 .....                | 155 |
| 一、研究区自然概况 .....                     | 155 |
| 二、研究方法 .....                        | 155 |
| 三、啮齿动物优势种群 .....                    | 156 |
| 第八章 研究结果 .....                      | 157 |
| 第一节 不育剂 EP-1 对长爪沙鼠野生种群的影响 .....     | 157 |
| 一、对种群结构的影响 .....                    | 157 |
| 二、对种群数量动态的影响 .....                  | 158 |
| 三、EP-1 对长爪沙鼠种群的抗生育作用 .....          | 160 |
| 第二节 不育剂 EP-1 与溴敌隆对长爪沙鼠种群影响的比较 ..... | 163 |
| 一、对种群结构影响的比较 .....                  | 163 |
| 二、对种群密度影响的比较 .....                  | 165 |
| 三、毒饵杀灭与不育控制 .....                   | 167 |
| 第三节 不育剂 EP-1 对荒漠啮齿动物优势种群繁殖的影响 ..... | 170 |
| 一、EP-1 对子午沙鼠繁殖的影响 .....             | 170 |
| 二、EP-1 对小毛足鼠繁殖的影响 .....             | 173 |
| 三、EP-1 对三趾跳鼠繁殖的影响 .....             | 174 |
| 四、EP-1 对荒漠区优势害鼠繁殖控制分析 .....         | 176 |
| 第四节 不育剂 EP-1 对荒漠啮齿动物优势种群动态的影响 ..... | 178 |
| 一、EP-1 对荒漠啮齿动物优势种群数量的影响 .....       | 178 |
| 二、EP-1 对荒漠啮齿动物优势种群结构的影响 .....       | 179 |
| 三、EP-1 对荒漠区优势害鼠种群数量控制分析 .....       | 182 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 第九章 不育剂 ND-1(农大-1 号)对子午沙鼠种群的抗生育作用 ..... | 184 |
| 第一节 紫草素对小白鼠繁殖器官的影响 .....                | 190 |
| 一、紫草素对雌性小白鼠繁殖器官的影响 .....                | 190 |
| 二、紫草素对雄性小白鼠繁殖器官的影响 .....                | 191 |
| 第二节 紫草素对小白鼠繁殖动态的影响 .....                | 192 |
| 一、紫草素对小白鼠繁殖数量的影响 .....                  | 192 |
| 二、紫草素对小白鼠繁殖启动期的影响 .....                 | 194 |
| 第三节 紫草素对小白鼠繁殖调控的机制 .....                | 194 |
| 第四节 不育剂 ND-1 对子午沙鼠繁殖的影响 .....           | 195 |
| 一、子午沙鼠第一胎繁殖仔数比较 .....                   | 195 |
| 二、子午沙鼠第二胎繁殖仔数比较 .....                   | 196 |
| 三、子午沙鼠第三胎繁殖仔数比较 .....                   | 197 |
| 四、子午沙鼠种群繁殖胎数比较 .....                    | 197 |
| 五、子午沙鼠繁殖启动期比较 .....                     | 198 |
| 第五节 2016 年子午沙鼠实验种群繁殖比较分析 .....          | 199 |
| 第六节 子午沙鼠野生种群繁殖比较分析 .....                | 201 |
| 第七节 植物源不育剂 ND-1(农大 1 号)作用效果分析 .....     | 202 |
| 一、紫草素对小白鼠的不育效果分析 .....                  | 202 |
| 二、紫草素对小白鼠繁殖调控机制分析 .....                 | 203 |
| 三、ND-1 对子午沙鼠的不育效果分析 .....               | 204 |
| 第八节 结论 .....                            | 206 |
| 参考文献 .....                              | 207 |
| 编后记 .....                               | 211 |