

Grassland Ecosystem of
the Loess Plateau in China
—Yunwushan National Nature Reserve

· 生态学研究 ·

黄土高原草原生态系统研究
——云雾山国家级自然保护区

程积民 等 编著



科学出版社

生态学研究

黄土高原草原生态系统研究

——云雾山国家级自然保护区

Grassland Ecosystem of the Loess Plateau in China

—Yunwushan National Nature Reserve

程积民等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据编著者自1982年至今,30多年在宁夏固原云雾山国家级草原自然保护区,围绕黄土高原退化草地自然恢复演替过程、合理调控及适度利用机理进行长期定位研究所取得的成果编写而成。全面阐述了云雾山草地生态系统特征、植物生理生态、草地种群、草地群落、草地土壤、分子生态和干扰措施对草地恢复演替过程及可持续发展的影响。其内容丰富,资料翔实,数据可靠,理论原理和应用技术相结合,填补了我国黄土高原乃至同类型区天然草地自然恢复和人工干预与合理利用草地研究著作的空白。

本书可供从事生态学、草学、土壤学、畜牧学、植物生理生态学、分子生态学、水土保持学等领域的科研、教学与生产部门的广大科技人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原草原生态系统研究:云雾山国家级自然保护区/程积民等编著. —北京:科学出版社,2014. 5

ISBN 978-7-03-040624-8

I. ①黄… II. ①程… III. ①黄土高原-草原生态系统-研究-宁夏 IV. ①S812

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第098915号

责任编辑:王海光 马俊 郝晨扬 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

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

*

2014年5月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2014年5月第一次印刷 印张:31 3/4 插页:16

字数:960 000

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《生态学研究》丛书专家委员会

主任：李文华

委员：（按姓氏拼音排序）

包维楷	陈亚宁	程积民	戈 峰	梁士楚
林光辉	刘世荣	吕永龙	闵庆文	欧阳志云
彭少麟	孙 松	王友绍	吴文良	解 焱
薛达元	于贵瑞	张金屯	张润志	

《黄土高原草原生态系统研究——云雾山国家级自然保护区》 编委会名单

主 编：程积民

副主编：邹厚远 程 杰 井赵斌 邱莉萍

金晶炜 李 伟 张 信

编 委(按姓氏汉语拼音排序)：

陈 奥 陈芙蓉 程 杰 程积民 高 阳 韩天丰

胡相明 姬秀云 贾晓妮 金晶炜 井光花 井赵斌

李 伟 李 媛 李金芬 李鹏远 李维军 刘 伟

彭少邦 邱莉萍 万惠娥 王 倩 王丽学 魏 琳

吴艳芹 于鲁宁 俞 靓 张 信 赵凌平 周梦华

周秋平 邹厚远

丛 书 序

生态学是当代发展最快的学科之一,其研究理论不断深入、研究领域不断扩大、研究技术手段不断更新,在推动学科研究进程的同时也在改善人类生产生活和保护环境等方面发挥着越来越重要的作用。生态学在其发展历程中,日益体现出系统性、综合性、多层次性和定量化的特点,形成了以多学科交叉为基础,以系统整合和分析并重、微观与宏观相结合的研究体系,为揭露包括人类在内的生物与生物、生物与环境之间的相互关系提供了广阔空间和必要条件。

目前,生态系统的可持续发展、生态系统管理、全球生态变化、生物多样性和生物入侵等领域的研究成为生态学研究的热点和前沿。在生态系统的理论和技术中,受损生态系统的恢复、重建和补偿机制已成为生态系统可持续发展的重要研究内容;在全球生态变化日益明显的现状下,其驱动因素和作用方式的研究备受关注;生物多样性的研究则更加重视生物多样性的功能,重视遗传、物种和生境多样性格局的自然变化和对人为干扰的反应;在生物入侵对生态系统的影响方面,注重稀有和濒危物种的保护、恢复、发展和全球变化对生物多样性影响的机制和过程。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》将生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建、海洋生态与环境保护、全球环境变化监测与对策、农林生物质综合利用等列为生态学的重点发展方向。而生态文明、绿色生态、生态经济等成为我国当前生态学发展的重要主题。党的十八大报告把生态文明建设放在了突出的地位。如何发展环境友好型产业,降低能耗和物耗,保护和修复生态环境;如何发展循环经济和低碳技术,使经济社会发展与自然相协调,将成为未来很长时间内生态学研究的重要课题。

当前,生态学进入历史上最好的发展时期。2011年,生态学提升为一级学科,其在国家科研战略和资源的布局中正在发生重大改变。在生态学领域中涌现出越来越多的重要科研成果。为了及时总结这些成果,科学出版社决定陆续出版一批学术质量高、创新性强的学术著作,以更好地为广大生态学领域的从业者服务,为我国的生态建设服务,《生态学研究》丛书应运而生。丛书成立了专家委员会,以协助出版社对丛书的质量进行咨询和把关。担任委员会成员的同行都是各自研究领域的领军专家或知名学者。专家委员会与出版社共同遴选出版物,主导丛书发展方向,以保证出版物的学术质量和出版质量。

我荣幸地受邀担任丛书专家委员会主任,将和委员会的同事们共同努力,与出版社紧密合作,并广泛征求生态学界朋友们的意见,争取把丛书办好。希望国内同行向丛书踊跃投稿或提出建议,共同推动生态学研究的蓬勃发展!



丛书专家委员会主任

2014年春

序 一

黄土高原,在我国乃至全世界,有着重要的历史地理地位。中国最古老的耕地农业在西周时期发轫于此,历经漫长而繁复的草地农业与耕地农业的更替进退,最终定位于耕地农业系统,形成华夏农耕文明的源头。黄土高原的耕地农业为华夏农耕文明做出了重大历史贡献,但也付出了沉重的历史代价,最终黄土高原沦为水土流失的重灾区,成为举国关注的问题。

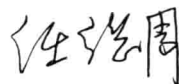
从 20 世纪 70 年代开始,在这块土地上倾注了我们几代草业人毕生的科研热情,我们提出了黄土高原草地农业系统的发展模式,找到了发展农业的根本出路。今天,看到这本关于黄土高原草原生态系统研究的专著,我很高兴。

黄土高原地形地貌复杂,其中约 30% 的面积为草地,由于大部分区域处在干旱-半干旱地带,频繁的自然灾害和不合理的农业生产,使该地区生态环境恶化,水土流失严重,成为典型的生态脆弱区。20 世纪 80 年代初期,中国科学院水利部水土保持研究所战略者的眼光,在黄土高原建立了我国西部最早、保护最完整的本氏针茅典型草原自然保护区,连续 30 年不间断地进行草地恢复与利用的定位试验研究,生态、经济、社会效益十分显著。本氏针茅典型草原自然保护区在区域生态环境建设方面发挥了重大作用,已成为我国草原植被恢复与自然修复的一个典型样板,为国家退耕还林还草与地方封山禁牧工程的实施提供了重要科学依据与技术支持。

这部专著是作者针对我国西部生态建设与环境治理的重大需求,亲手获得的黄土高原第一个天然草地保护区连续 30 年的原位监测资料,从物种、种群、群落、生态系统等尺度与植被、土壤、分子生态等方面,围绕天然草地植被恢复演替与合理干扰两大主题进行了科学试验与研究,从微观到宏观、从地上到地下、从分子到生态系统介绍了植被恢复与利用的关键技术,首次提出了黄土高原天然草地植被恢复利用的关键技术与演替的时空梯度,全面系统地阐明了黄土高原天然草地恢复与合理利用的调控机理及技术体系,为黄土高原植被建设和水土保持提供了重要科学依据。它是一部基础研究和应用研究、野外定位监测与室内分析、理论论述与生产实践紧密结合的重要专著,并代表了国内外在该领域的研究水平。

作者程积民研究员多年来一直在一线从事草地生态和植被建设的科研与教学,他所带领的研究团队在黄土高原草地恢复与利用方面进行了全面系统的科学研究与生产实践,加之他们的辛勤努力,才使这部专著得以早日顺利出版。

该书的出版不仅是对黄土高原恢复植被、重建林草的重要贡献,也将丰富国内外同类型生态脆弱区实现可持续发展的理论与技术,同时对从事恢复生态学研究的科技工作者和广大师生,以及相关专业的科技人员具有重要的参考价值,我很高兴为该书作序。



中国工程院院士
兰州大学教授
2014 年 3 月 5 日

序 二

《黄土高原草原生态系统研究——云雾山国家级自然保护区》一书,在中国科学院水利部水土保持研究所、西北农林科技大学和宁夏云雾山草原自然保护区管理处的科技工作者的共同努力下终于完稿,这是对我国生态脆弱区植被恢复与环境治理的宝贵贡献。在黄土高原,干旱、半干旱区面积达 40 万 km²,占整个黄土高原总面积的 63%,该区属我国重要的生态屏障,在西北生态建设与经济发展中具有不可忽视的战略地位。由于地貌类型复杂、气候变化多样,黄土高原已成为一个特定的生态类型区和重要的旱作农业区,也是我国西部退耕还林(草)的重点地区。长期以来,由于人类活动和环境变化的共同作用,该区草原植被生态系统退化和功能失调问题日益突出,生物多样性与生产力受到前所未有的威胁,严重影响和制约了该区域的经济与社会发展。今后如何将保护和发挥草地生态服务功能与合理利用草地资源结合起来以实现农业乃至整个社会经济可持续发展,是一个急需解决的重要科学问题。

1979 年,中国科学院水利部水土保持研究所的科技人员在开展宁夏固原县农业自然资源综合考察基础上,于 1980 年提出在云雾山建立以本氏针茅种群为主的草原保护区的建议,很快得到了宁夏回族自治区政府的批准,并于 1982 年正式成立建设机构。这是在我国建立最早、保护面积最大的本氏针茅典型草原保护区,30 年来,中国科学院水利部水土保持研究所的科技人员,在保护区开展了草原封禁、刈割、放牧等试验研究,在退化草原自然恢复与演替过程、荒山改良与利用技术、生物多样性保护和生态环境治理等方面取得了重要研究进展,生态、经济、社会效益显著。

《黄土高原草原生态系统研究——云雾山国家级自然保护区》一书,是作者在历经 30 年研究基础上的全面总结,并按照现代生态学理论,从植物个体、种群、群落、生态系统方面,围绕天然草地的保护、恢复、利用、演替的生态系统体系,在植物的个体生长发育规律、种群分布格局与气候响应、土壤种子库、草地群落演替、土壤性质演变、人为合理干预及草地可持续利用等方面,对黄土高原天然草地恢复与合理利用的机理进行了系统深入研究。该书将基础性研究与应用紧密结合,具有重要的理论价值和生产指导作用,也是一部关于黄土区天然草地生态系统研究领域的重要专著。该书学术观点鲜明,内容丰富,是一部科学性、系统性和创新性强的学术著作。该书的出版将为黄土区乃至我国西部退化草地生态系统恢复提供科学依据。

该书作者及其课题组近 30 年来一直在黄土高原从事草地生态系统恢复与林草植被建设研究,积累了丰富的基础数据,加上他们的辛苦努力,才使这部专著得以顺利出版。因此,我很高兴为该书作序,该书的出版对黄土高原退化天然草地恢复与利用具有重要参考价值,也是从事生态学或旱区生态研究的科技工作者、教师和研究生的一部优秀参考书。草地植被(天然草地和人工草地)理应成为黄土高原旱区(特别是半干旱区)植被的主体,草地畜牧业也应成为该区农业产业化的最重要部分,但至今发展仍不理想。希望该书的出版对此有所启示或促进。

中国工程院院士

中国科学院水利部水土保持研究所研究员

2014 年 4 月 2 日

前 言

草原是我国最大的陆地生态系统,在发展畜牧业、保护生态环境中具有不可替代的重要作用。黄土高原是中华民族文明的发祥地,其中约 30% 的面积为草地,由于大部分区域地处干旱-半干旱地带,频繁的干旱和不够合理的农业生态系统管理模式,该地区水土流失与多种自然灾害并存,成为典型的脆弱生态区;同时由于过度放牧、大面积草地开垦为农林地、农村发展和工业建设占用草地等,天然草地不断退化,严重制约了草原生态系统、草地畜牧业的可持续发展,更加严重威胁着本地区的生态环境建设和人民群众的生产与生活。

中国科学院水利部水土保持研究所于 1982 年,在黄土高原最具代表性的典型地区——宁夏固原云雾山,建立了我国西部最早、保护最完整、在黄土高原最具代表性的典型本氏针茅草原生态系统,并作为研究所长期的草原生态系统定位观测站。经过 30 年的长期草原保护封育、植被自然修复、人为调控演替、灌草配置建设与科学管理等研究,该地区已由保护初期的黄土裸露、植被稀少变成了今日绿草如茵的壮观景象。30 年来,在 3 代科研人员的不懈努力和坚持下,围绕天然草地封禁恢复、合理利用、人工草地建设、草地畜牧业、生物多样性保护和水分生态效应等方面进行了全面、深入的研究,取得了丰硕的研究成果,共获得 10 项科研成果奖励,其中省部级一等奖 1 项,二、三等奖 8 项。2012 年,云雾山草原自然保护区晋升为国家级草原自然保护区,成为黄土高原半干旱乃至我国西部生态脆弱区的一颗璀璨耀眼的“绿色明珠”。为了总结和回顾 30 年来的研究成果,进一步实现植被恢复和林草重建,使得有一日,整个黄土高原能像如今的云雾山一样秀美,我们特编著本书。

本书是作者在承担国家 973 计划、国家自然科学基金、中国科学院重点及知识创新、林业公益性行业专项、农业部现代农业产业技术体系建设等多项国家、省、部级课题研究,并结合长期的野外试验和定位观测数据资料,进行全面分析总结的基础上编著而成。全书内容共分为 8 篇 34 章。第一篇包括 4 章,分别从云雾山草原自然概况,生产者、消费者与分解者,研究区域概况,试验设计与研究方法等方面阐述了云雾山草原生态系统特征(程积民、井赵斌);第二篇包括 5 章,分别从优势植物种子萌发、生长规律、光合和水分生理、化感作用等方面阐述了主要优势植物的生长发育和生理特征(程积民、王丽学、俞靓、周秋平、魏琳);第三篇包括 3 章,分别从植物种群分布格局、典型种群分布与气候响应、土壤种子库等方面阐述了典型草地种群生态学特征(程积民、程杰、赵凌平);第四篇包括 6 章,分别从植物群落特征、初级生产力、根系分布特征、群落演替等方面阐明了草地群落生态学特征(程积民、胡相明、韩天丰、周梦华);第五篇包括 4 章,分别从草地封育对土壤物理性质、化学性质、土壤酶、枯落物累积与分解等方面,阐述了封育草地的土壤生态学特征(邱莉萍、金晶炜、程积民);第六篇包括 3 章,分别从牧草分子生物学概况、本氏针茅种群遗传多样性、土壤生物多样性方面阐述了草地分子生态学特征(井赵斌、俞靓、程积民);第七篇包括 5 章,分别从放牧、刈割、火烧、施肥对草地植被演替和土壤等方面的影响,阐明了不同干扰对草地生态系统的影响(程积民、李媛、陈芙蓉、井赵斌、李伟);第八篇包括 4 章,分别从退化草地恢复途径与潜力、人工草地建设与配置、草地资源利用与保护、草原管理及其社会服务功能、生态建设与草畜发展对策等方面,阐明了草地生态系统的可持续发展(程积民、张信、井赵斌、井光花、姬秀云、李维军)。

本书由我国著名的草地科学家任继周院士和农业生态学家山仑院士写序,并提出修改意见,在编写过程中还得到中国科学院水利部水土保持研究所、西北农林科技大学和宁夏云雾山草原自然保护区管理处等有关专家的指导和大力支持,谨此一并致谢。

本书得以顺利出版,得到了国家 973 计划、中国科学院重要研究方向、国家牧草产业技术体系及土壤侵蚀与旱地农业国家开发实验室等项目的资助,同时又得到了科学出版社的大力支持。本书的研究工作,是中国科学院水利部水土保持研究所老中青三代研究人员在云雾山保护区 30 多年的辛勤结晶。作者在此表示最诚挚的感谢。

编著者

2014 年 4 月 5 日

目 录

序一
序二
前言

第一篇 草原生态系统特征

第一章 保护区自然概况	3
第一节 生态环境特征	3
一、地理位置	3
二、地形地貌	3
三、气候	3
四、土壤	3
第二节 保护区建立及功能分区	3
第二章 生产者、消费者与分解者	5
第一节 生产者特征	5
一、草原植被型	5
二、灌丛植被型	20
第二节 消费者特征	21
一、野生动物区系及特点	21
二、野生动物物种及评价	22
三、野生动物资源保护与建议	23
第三节 分解者特征	24
一、草地土壤微生物变化	24
二、草地土壤动物变化	25
第三章 研究区域概况	27
第一节 气候变化	27
一、光能资源变化	27
二、热量资源变化	27
三、降水资源变化	29
四、灾害性天气变化	30
第二节 人为活动	31
一、草场的放牧利用	31
二、利用草场采樵割草	31
三、开荒、采石破坏草场	31
第三节 草原生态系统监测概况	31
第四章 试验设计与研究方法	33
第一节 研究意义	33
第二节 试验设计方案	33
一、试验基地的选择与布设	33

二、野外试验与测定	34
第三节 技术路线	35
第四节 研究方法	35
一、植物研究测定方法	35
二、土壤研究测定方法	42
参考文献	45

第二篇 植物生理生态学特征

第五章 主要优势植物种子萌发生态学特征	49
第一节 3种针茅属植物种子微形态特征	49
一、种子形态和微形态结构特征	49
二、讨论	50
第二节 3种主要针茅属植物种子萌发期抗旱特征	51
一、不同聚乙二醇胁迫对3种针茅种子各抗旱指标的影响	51
二、3种针茅抗旱性综合评价	53
第三节 PEG-6000和低温处理对红豆草种子萌发的影响	53
一、对种子发芽时间的影响	53
二、对种子发芽率的影响	53
三、对种子吸水量的影响	54
第四节 低温处理对植物种子萌发的影响	54
一、低温处理对种子萌发率的影响	54
二、低温处理对平均萌发时间的影响	55
三、小结	56
第五节 牛瘤胃液对植物种子萌发的影响	57
一、牛瘤胃液及其稀释液对种子萌发的影响	57
二、牛瘤胃液及其煮沸液对种子萌发的影响	62
三、小结	65
第六节 牛粪对植物种子萌发及幼苗生长的影响	67
一、牛粪对种子萌发的影响	67
二、牛粪对幼苗生长的影响	69
三、小结	69
第七节 结语	70
第六章 主要优势植物的生长规律	71
第一节 株高生长和生物量月变化	71
一、物候期	71
二、植物株高生长及生物量月变化动态	71
三、植物生长的 Logistic 模拟	72
四、植物地上生物量与株高的动态分形关系	73
第二节 植物株高增长和地上单株生物量月变化与降水量的关系	74
第三节 结语	75
第七章 主要优势植物光合生理生态学特征	76
第一节 4种优势植物的光合生理特征	76
一、气体交换和叶绿素荧光参数对CO ₂ 浓度升高的响应	76

二、气体交换和叶绿素荧光参数对光强升高的响应	78
三、讨论	81
第二节 短期灌水对 3 种优势植物光合生理特性的影响	82
一、短期灌水对 3 种植物水势和光合特性的影响	82
二、短期灌水对 3 种植物光化学效率的影响	83
三、不同水分条件下 3 种植物的气体交换参数对光强的响应	83
四、不同土壤水分条件下 3 种植物叶绿素荧光参数对光强的响应	83
五、短期灌水对 3 种优势植物光合诱导过程的影响	85
六、短期灌水对 3 种优势植物叶片叶绿素荧光诱导过程的影响	85
七、讨论	86
第三节 不同土壤水分条件下本氏针茅的光合生理特征	88
一、不同月份环境因子的日变化	88
二、不同土壤水分条件下本氏针茅叶片光合生理特性的日变化	90
三、不同土壤水分条件下本氏针茅叶片光合及相对含水量的月变化	95
四、讨论	96
第四节 不同土壤水分条件下红豆草的光合生理特征	97
一、不同土壤水分条件下红豆草叶绿素的变化	97
二、不同土壤水分条件下红豆草的光合特征	98
三、讨论	103
第五节 结语	103
第八章 主要优势植物水分生理生态学特征	105
第一节 不同土壤水分条件下本氏针茅耗水特征	105
一、旬耗水量变化	105
二、日耗水规律	106
三、不同天气下耗水日变化	106
四、讨论	107
第二节 不同土壤水分条件下红豆草耗水特征	108
一、土壤含水量的变化	108
二、总水分利用效率	108
三、耗水量的变化	108
四、耗水量与空白蒸发量的关系	112
五、讨论	113
第三节 不同土壤水分对本氏针茅生长指标的影响	114
一、不同水分处理对本氏针茅株高及生长速率的影响	114
二、不同水分处理对本氏针茅叶面积的影响	115
三、不同水分处理对本氏针茅根系表面积的影响	115
四、不同水分处理对本氏针茅根冠比的影响	116
五、不同水分处理对本氏针茅生物量的影响	116
六、讨论	117
第四节 不同土壤水分对红豆草生长指标的影响	117
一、土壤含水量对红豆草生长的影响	117
二、土壤含水量对红豆草总生物量及其分配的影响	118
三、土壤含水量对红豆草根冠比和叶茎比的影响	119

四、土壤含水量对红豆草根系指标的影响 120

五、土壤含水量对红豆草根瘤的影响 120

六、讨论 121

第五节 结语 122

第九章 典型菊科植物枯落物对针茅种子的化感作用 123

第一节 铁杆蒿枯落物对 3 种针茅的化感作用 123

一、铁杆蒿枯落物不同浸提液对 3 种针茅生长指标的影响 123

二、铁杆蒿枯落物水和甲醇浸提液对 3 种针茅的综合化感效应 124

三、铁杆蒿枯落物水、甲醇浸提液化感作用的差异表达 125

四、讨论 125

第二节 黄花蒿枯落物对 3 种针茅的化感作用 126

一、黄花蒿枯落物浸提液对 3 种针茅生长指标的影响 126

二、黄花蒿枯落物浸提液对 3 种针茅的综合化感效应 128

三、黄花蒿枯落物水、甲醇浸提液化感作用的差异表达 128

四、讨论 129

第三节 芨蒿枯落物对 3 种针茅的化感作用 129

一、芨蒿枯落物浸提液对 3 种针茅生长指标的影响 129

二、芨蒿枯落物浸提液对 3 种针茅种子的综合化感效应 131

三、芨蒿枯落物水、甲醇浸提液化感作用的差异表达 131

四、讨论 132

第四节 枯落物水浸提液的综合化感效应 132

一、3 种枯落物水浸提液对大针茅的综合化感效应 133

二、3 种枯落物水浸提液对本氏针茅的综合化感效应 133

三、3 种枯落物水浸提液对克氏针茅的综合化感效应 134

第五节 结语 134

参考文献 135

第三篇 典型草地种群生态学特征

第十章 植物种群分布格局 141

第一节 不同植物种群计盒维数 141

一、本氏针茅的计盒维数 141

二、铁杆蒿的计盒维数 142

三、百里香的计盒维数 142

四、天蓝苜蓿的计盒维数 143

第二节 不同封育年限种群计盒维数的变化 143

第三节 结语 144

第十一章 典型种群分布与气候响应 145

第一节 白羊草种群生长与气候变化 145

一、白羊草种群生长对降水梯度变化的响应 145

二、白羊草群落分布对海拔梯度变化的响应 146

三、气候环境变化对白羊草群落各生长指标的影响 146

四、白羊草种群生长变化效应 147

第二节 本氏针茅种群生长与气候变化 148

一、本氏针茅种群生长与气候响应	148
二、本氏针茅群落生长与环境变化	149
三、本氏针茅群落生物量与气候多元回归模型	150
四、本氏针茅种群生长与气候变化效应	151
第三节 赖草种群生长与气候变化	151
一、赖草种群生长环境因子日进程	151
二、赖草种群生长与生理生态特性日进程	152
三、赖草种群生长环境因子对各生理生态特性的影响	153
四、赖草种群生长各生理因子间相关分析	153
五、叶片光合速率、蒸腾速率和水分利用效率同环境因子及其他生理因子间的回归分析	154
第四节 百里香种群生长与气候变化	154
一、百里香群落生长变化特征	154
二、百里香群落生长与气候变化	155
三、百里香群落物种多样性特征	157
四、百里香群落根系与土壤特性	157
五、讨论	158
第五节 铁杆蒿种群生长与气候变化	159
一、铁杆蒿群落对气温变化的响应	159
二、铁杆蒿群落对降水量变化的响应	160
三、铁杆蒿群落对海拔梯度的响应	161
四、铁杆蒿种群生长与气候变化效应	162
第六节 达乌里胡枝子种群分布与气候变化	163
一、达乌里胡枝子种群分布对气温变化的响应	163
二、达乌里胡枝子种群分布对降雨变化的响应	164
三、达乌里胡枝子种群分布对海拔梯度的响应	165
四、达乌里胡枝子种群生长与气候效应	166
第七节 结语	167
第十二章 草地土壤种子库	168
第一节 土壤种子库基本特征	168
一、土壤种子库物种分析	168
二、土壤种子库时空格局	170
三、土壤种子库物种多样性	171
四、土壤种子库相似性分析	171
五、讨论	172
第二节 土壤种子库空间生态位分析	173
一、种子库优势物种生态位宽度比较	173
二、种子库优势种生态位重叠	174
三、讨论	175
第三节 土壤种子库与环境因子的典范对应分析	176
一、CCA 排序	176
二、环境因子与排序轴的相关系数	176
三、土壤种子库物种的排序结果	177
四、样方的排序结果	177

五、讨论 178

第四节 土壤种子库与地上植被的关系 178

 一、土壤种子库与地上植被物种组成分析 178

 二、土壤种子库与地上植被相似性分析 178

 三、讨论 179

第五节 结语 179

参考文献 181

第四篇 植物群落生态学特征

第十三章 草地植物群落特征 185

 第一节 草地群落结构 185

 一、植被物种组成 185

 二、不同群落物种重要值变化 187

 三、群落与环境因子的关系 190

 四、群落生物学特征 194

 第二节 草地群落物种多样性变化 200

 一、群落多样性 200

 二、群落相似性 206

 第三节 草地群落空间分布格局及其与环境因子的关系 206

 一、草地群落类型空间分布格局 206

 二、群落类型与海拔的关系 207

 三、草地与坡度、坡向的关系 209

 第四节 草地群落物种间的干扰作用 211

 一、甘肃蒿对藁草的干扰作用 211

 二、甘肃蒿对花苜蓿的干扰作用 212

 三、甘肃蒿对铁杆蒿的干扰作用 212

 四、甘肃蒿对百里香的干扰作用 212

 五、百里香对花苜蓿的干扰作用 213

 六、星毛委陵菜对本氏针茅的干扰作用 213

 七、结论 214

 第五节 结语 214

第十四章 植物群落初级生产力 215

 第一节 地上生物量变化特征 215

 一、地上生物量的影响因素 215

 二、草地生物量变化过程 217

 第二节 地下生物量结构特征 219

 一、不同植物群落地下总生物量的比较分析 219

 二、不同直径植物根系生物量的比较分析 219

 三、植物根系的垂直变化 220

 四、不同坡向和坡位植物根系的分布 221

 五、封禁草地群落地下根系分布 221

 六、地上生物量与地下生物量的相关性分析 222

 第三节 结语 223

第十五章 植物群落根系分布特征	224
第一节 根系垂直分布特征	224
一、草地不同土层植被根系参数的显著性分析	224
二、草地不同土层根系的垂直变化	226
三、草地根系参数间的相关性分析	229
四、草地植被地上与地下生物量的相关性	229
五、讨论	230
第二节 根系参数和土壤物理特性的关系	232
一、封禁草地不同坡向植被根系参数和土壤物理特性的关系	232
二、未封禁草地不同坡向植被根系参数和土壤物理特性的关系	233
三、讨论	234
第三节 结语	234
第十六章 本氏针茅群落封禁恢复演替	236
第一节 群落演替分析	236
一、封育与未封育群落之间相似性系数的变化	236
二、草地群落演替阶段的划分	236
三、DCA 排序	239
四、演替各个阶段的物种组成	239
五、讨论	240
第二节 演替过程中植被数量特征	240
一、群落盖度的变化	240
二、群落高度的变化	243
三、群落多度的变化	245
四、群落生物量的变化	248
五、讨论	250
第三节 演替过程中群落物种多样性	250
一、封育和坡位对物种多样性的影响	250
二、物种多样性在 25 年生长过程中的变化	254
三、讨论	256
第四节 演替过程中群落地上生物量与环境因子的关系	257
一、群落地上生物量与水分的关系	257
二、群落地上生物量与环境因子的主成分分析	262
三、群落数量特征与环境因子的通径分析	264
第五节 结语	267
第十七章 百里香群落封禁恢复演替过程	268
第一节 群落演替分析	268
一、演替阶段的划分	268
二、演替各阶段的物种组成	270
第二节 演替过程中植被数量特征	270
一、群落高度的变化	270
二、群落盖度的变化	271
三、群落密度的变化	271
四、地下生物量的垂直分布特征	272