

黄土高原植被恢复 与土壤种子库

程积民 主编



科学出版社

黄土高原植被恢复与土壤种子库

程积民 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在长期野外实地调查和多年固定样地监测的基础上,通过对黄土高原7省(自治区)200多个典型县有关资料收集和室内实验与统计分析及科学推断等相结合的方法,研究了黄土高原草甸草原、典型草原、荒漠草原和灌丛草原类型区的植被恢复过程、土壤种子库与气候响应的变化关系,分析了土壤种子库的不同特征及在退化植被恢复过程中的作用机理与潜力,提出了不同地带植被恢复建设的调控措施,为实现黄土高原植被持续稳定发展提供了基础数据和理论依据。

本书内容反映了该领域的最新研究成果,对丰富和发展我国生态环境与区域气候响应等研究具有重要指导意义,对于干旱半干旱区植被恢复与生态环境建设具有重要参考价值,可供科研、生产及高等院校农业、林业、牧业、草业、土壤、植物、水利、气候和环境等相关领域的广大师生和科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原植被恢复与土壤种子库 / 程积民主编. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-034211-9

I. ①黄… II. ①程… III. ①黄土高原-草地植被-恢复-研究②黄土高原-种子库-研究 IV. ①S812.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 083632 号

责任编辑:马 俊 / 责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年5月第一次印刷 印张:19 1/2 插页:4

字数:403 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



《黄土高原植被恢复与土壤种子库》 编写成员

主 编：程积民

副主编：呼天明 程 杰 赵凌平

前 言

植被退化已成为全球性的生态环境问题,世界上已有 43% 的陆地地表植被退化。我国植被生态系统退化和功能失调问题日益突出。黄土高原复杂的地貌类型、多变的气候和严重的水土流失等问题是制约植被建设的主要因素,这不仅直接关系到我国的生态环境安全问题,而且严重制约区域畜牧业及经济社会的发展。

黄土高原是世界最大的黄土沉积区,位于北纬 $33^{\circ}41' \sim 41^{\circ}16'$,东经 $100^{\circ}54' \sim 114^{\circ}33'$;辖我国 7 省(自治区)286 县(市),东西长 1300 km,南北宽 800 km,总面积 62.7 万 km^2 ,占全国总面积的 6.5%,其中水土流失区面积为 43 万 km^2 ;自北向南跨越我国温带和暖温带,从东南向西北包括半湿润地带、半干旱地带和干旱地带,即由森林草原、灌丛草原、典型草原和荒漠草原组成。

黄土高原地处干旱半干旱地带,严重的水土流失、频繁的干旱和脆弱的生态环境是其重要特征,长期以来,在恶劣的自然条件和落后的生产方式与粗放经营的综合作用下,人口、资源、环境矛盾突出,植被重复破坏严重,恢复难度大。因此,《黄土高原植被恢复与土壤种子库》一书的出版,为黄土高原植被恢复提供了重要的理论依据与技术方法。本书是作者在承担黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室专项“黄土区植被自然恢复过程及适度利用机理研究”(10502-Z8);中国科学院知识创新工程重要方向项目“半干旱黄土区植被自然恢复过程及适度利用研究”(KZCX2-YW-441)及农业部现代农业产业技术体系建设专项“咸阳综合试验站”等多项课题和研究的基础上,结合长期的野外定位观测和资料积累,在综合分析、全面总结的基础上撰著而成的。全书重点论述黄土高原森林、灌丛、草地退化植被的形成原因、时空分布规律和土壤种子库变化特征,提出黄土高原植被保护、恢复建造与气候变化的响应以及合理开发利用的综合治理技术理论,为黄土高原生态环境建设与畜牧业发展提供科学依据。

全书共分两大部分十五章:第一部分为第一章至第九章,综合阐述黄土高原的自然概况和历史成因,详细论述森林、灌丛、草地植被群落的分布规律和资源特点,揭示主要植物的分布与生态适应性,论述植被水分生态特征与调控途径和植被恢复前景。第二部分为第十章至第十五章,论述土壤种子库的国内外研究动态,分析黄土高原森林草原、典型草原和荒漠草原不同地带土壤种子库的变化趋势,揭示植被自然更新、演替和恢复过程中土壤种子库发挥的重要作用,以及植被恢复与建造的理论及技术途径。

在本书编写过程中,野外工作得到中国科学院水利部水土保持研究所和西北农林科技大学 2009 级、2010 级和 2011 级部分研究生及云雾山国家级草原自然保护区管理处等单位的大力支持和帮助,谨此一并致谢。

在成书过程中,由于作者水平有限,加之试验资料、数据涉及面广且量大,书中疏漏难免,敬请广大读者批评指正,以便修改完善。

作 者

2012 年 3 月

目 录

前言

第一章 研究动态	1
第一节 研究背景	1
第二节 国内外研究概况	2
一、气候变化对植被恢复演替的影响	3
二、气候变化对草地物种多样性的影响	4
三、气候变化对草地生产力的影响	7
四、气候变化对草地群落分布格局的影响	7
五、气候变化及人为干扰对草地恢复的影响	8
六、气候环境对草地植被生长的响应	10
第三节 研究目的和意义	13
第二章 研究内容与方法	15
第一节 研究目标及内容	15
一、研究目标	15
二、研究内容	15
三、研究方法与技术路线	16
第二节 研究材料与方法	18
一、研究区自然概况	18
二、样地选择与样方测定	20
三、植物与土壤样品采集测定方法	31
四、数据分析方法	32
第三章 黄土高原草地土壤水分地带性分布特征	33
第一节 草地土壤水分地带性变异	33
一、草甸草原类型土壤水分变化	33
二、典型草原类型土壤水分变化	36
三、荒漠草原类型土壤水分变化	38
四、灌丛草原类型土壤水分变化	38
第二节 草地封禁演替过程与土壤水分变化动态	42
第三节 草地植被与土壤水分典型相关分析	43
第四节 讨论	45
第四章 黄土高原草地土壤养分地带性变化特征	46
第一节 草地土壤养分地带性分布特征	46
一、封禁与退化草地土壤养分异质性	47

二、草地土壤养分时空分布特征	56
第二节 讨论	67
一、草地土壤养分地带性变异	67
二、草地土壤养分时空变异	68
第五章 黄土高原草原植被分区及物种丰富度对气候的响应	69
第一节 草原植被沿样带植物区系成分的变化	69
一、典型植物的地理分布	69
二、物种丰富度的地带性分布	70
三、物种丰富度沿降水梯度的空间异质性	73
第二节 讨论	77
一、植被分布的地带性变化	77
二、物种丰富度与降水量的相关性	77
第六章 黄土高原草地生产力沿降水梯度时空变异性	78
第一节 草地生产力沿样带梯度变化	78
一、草甸草原类型	78
二、典型草原类型	79
三、荒漠草原类型	80
四、灌丛草原类型	81
第二节 草地生产力沿样带空间降水梯度变化	82
一、草甸草原类型	82
二、典型草原类型	83
三、荒漠草原类型	84
四、灌丛草原类型	85
第三节 讨论	86
第七章 黄土高原典型草地与气候变化响应	87
第一节 草地植物优势种分布对降水和气温的响应	87
第二节 草地重要值对降水和气温的响应	90
第三节 草地封禁期物种密度对气候的响应	91
第四节 讨论	93
一、典型地区气候变化特征	93
二、草地植被对气候变化的响应	93
第八章 黄土高原草地封禁恢复与气候变化响应	94
第一节 草地封禁恢复与气候变化	94
一、草地群落密度与降水量及积温的年际变化	94
二、草地更新与降水量和积温的年际变化	95
三、草地生物量与降水量和积温年际变化	97
第二节 讨论	99

第九章 黄土高原典型种群分布格局与气候变化响应	100
第一节 草甸草原类型	100
一、白羊草种群.....	100
二、黄背草种群.....	104
三、铁秆蒿种群.....	107
四、猪毛蒿种群.....	109
第二节 典型草原类型	111
一、本氏针茅种群.....	111
二、大针茅种群.....	114
三、赖草种群.....	116
四、达乌里胡枝子种群.....	118
五、百里香种群.....	120
六、星毛委陵菜种群.....	122
七、冷蒿种群.....	124
八、芡蒿种群.....	126
九、茵陈蒿种群.....	128
十、阿尔泰狗娃花种群.....	130
第三节 荒漠草原类型	132
一、短花针茅种群.....	132
二、沙生针茅种群.....	134
三、芨芨草种群.....	136
四、苦豆子种群.....	138
第四节 灌丛草原类型	140
一、小叶锦鸡儿种群.....	140
二、柠条锦鸡儿种群.....	142
三、白刺花种群.....	144
四、沙棘种群.....	146
五、杠柳种群.....	148
六、虎榛子种群.....	150
七、刺叶柄棘豆种群.....	152
第五节 讨论	154
一、草甸草原类型.....	154
二、典型草原类型.....	154
三、荒漠草原类型.....	154
四、灌丛草原类型.....	154
第十章 土壤种子库研究动态	156
第一节 研究背景及意义	156
第二节 研究依据	157

第三节 国内外研究进展	158
一、土壤种子库的研究进程	158
二、土壤种子库的研究方法	159
三、目前种子库研究的主要内容	161
四、存在的问题	166
第十一章 研究区概况及研究内容	167
第一节 黄土高原概况	167
第二节 研究区概况	167
一、典型草原区	167
二、森林草原区	168
三、荒漠草原区	168
第三节 研究目标	169
第四节 研究内容	169
一、土壤种子库在典型草原封禁演替过程中的作用	169
二、森林草原地带土壤种子库特征研究	170
三、荒漠草原地带土壤种子库特征研究	170
四、种子质量、形状与持久性的关系	170
第五节 研究技术路线	170
第十二章 土壤种子库在典型草原封禁恢复演替过程中的作用	172
第一节 引言	172
第二节 材料与方法	173
一、样地选择	173
二、土壤种子库野外取样	174
三、土壤种子库室内测定	174
四、地上植被调查	175
五、数据统计与分析	175
第三节 结果与分析	177
一、地上植被变化	177
二、土壤种子库的物种组成变化	179
三、土壤种子库的物种多样性分析	184
四、不同样地土壤种子库的相似性分析	189
五、土壤种子库的密度分析	190
六、枯落物对土壤种子库的影响	195
七、土壤种子库的空间分布格局	200
八、地上植被群落演替过程中土壤种子库变化的梯度分析	202
九、土壤种子库与地上植被的关系	204
第四节 讨论	207
一、土壤种子库物种组成在地上植被封禁演替过程中的变化	207

二、不同封禁年限对土壤种子库物种多样性的影响	209
三、土壤种子库密度在封禁演替梯度上的变化及空间分布格局变化	210
四、枯落物对土壤种子库的影响	212
五、地上植被与土壤种子库演替梯度分析	214
六、土壤种子库与地上植被的关系以及在草地恢复与预测中的作用	215
第五节 结论	218
第十三章 土壤种子库在森林草原植被恢复中的作用	220
第一节 引言	220
第二节 材料与方法	221
一、样地选择	221
二、土壤种子库野外取样	221
三、植被调查与种子质量调查	221
四、幼苗调查	222
第三节 结果与分析	222
一、地上植被群落的基本结构特征	222
二、土壤种子库物种组成	223
三、土壤种子库物种多样性	225
四、不同森林类型土壤种子库的相似性分析	226
五、土壤种子库密度	226
六、土壤种子库与地上植被的关系	228
七、三种林型土壤种子库中优势树种种子动态及命运	230
第四节 讨论	232
一、土壤种子库物种组成与密度	232
二、土壤种子库的动态变化及其种子质量	233
三、土壤种子库与地上植被的关系	234
四、森林更新与管理建议	235
第五节 讨论	236
第十四章 荒漠草原地带土壤种子库特征研究	237
第一节 引言	237
第二节 材料与方法	238
一、样地选择	238
二、野外地上植被调查与土壤种子库取样	238
第三节 结果与分析	239
一、地上植被变化	239
二、土壤种子库变化	240
三、土壤种子库与地上植被的关系	249
第四节 讨论	250
一、荒漠草原土壤种子库特征及与地理位置的关系	250

二、持久种子库在荒漠草原植被恢复中的潜力	251
第五节 讨论	252
第十五章 黄土高原地区种子质量、形状与持久性的关系	253
第一节 引言	253
第二节 数据收集与方法	254
一、种子质量、形状数据的收集	254
二、种子库持久性分类方法	254
三、数据处理分析	255
第三节 结果与分析	255
一、黄土高原植物土壤种子库分类	255
二、种子质量与形状之间的关系	260
三、种子质量、形状与持久性之间的关系	261
第四节 讨论	263
一、黄土高原植物土壤种子库的分类	263
二、种子质量、形状与持久性之间的关系	263
第五节 结论	265
参考文献	266
附件 黄土高原主要植物名称与生境	293
图版	

第一章 研究动态

第一节 研究背景

黄土高原是中华民族摇篮和发祥地,在这片古老的土地上,中华民族创造了辉煌的华夏文明;黄土高原又是中国农业开发历史最长的地区之一,在这片神奇的土地上,既记载了中华民族几千年的文明史,又反映了中华大地亿万年生态演变过程,是研究中国自然变化与社会发展规律的数据库。随着大地构造变化和气候的变迁,特别是近代人类活动的影响,该区的植被也经历了一个漫长而复杂的演变过程(梁一民,2003)。同时,黄土高原以她独特深厚的黄土景观和灿烂而古老的文化,以及严重的水土流失而闻名于世。本来,这里是气候温和、土层深厚、水草丰盛、林草广布的森林草原地带。然而,在漫长的岁月里,由于自然和人为活动的影响,特别是随着人口的过快增长和土地的不合理利用,毁林毁草和开荒种地常有发生,地球表面森林、草原植被逐步遭到破坏和掠夺式利用,致使荒漠化加剧,自然灾害频繁,特别是水土流失与干旱缺水叠加,生态环境不断恶化,生态系统平衡失调,进而影响人类的生存和社会的发展。所以,在近代植被与全球变化及人类活动的相互影响日益深刻与广泛的时期,黄土高原植被分布特征、演变过程及恢复重建的前景也受到社会各界的重视和关注。

20世纪90年代,“草地”这一长期不受人们重视的领域,在中国社会经济发展、生态环境恶化和人民生活质量提高的进程中,终于被摆在了应有的位置。城镇中心社区大片绿地的建造,为人们提供了良好的活动空间及住宅环境,体现了人与自然的和谐;江河湖泊的泛滥和消长及扬尘和浮尘天气的频繁出现,不得不使人们关注到江河源头涵养水源的林草植被和干旱半干旱草地植被的恢复;21世纪营养结构对动植物食品的需求及标志农业现代化进展的畜牧业产值比例的提升,呼唤高效而优质的饲草饲料行业迅速的发展。与人们的关系越来越贴近,与社会经济的发展也越来越紧密(洪绶曾,2002)。因此,草地植被是十分重要的自然资源,也是人类生活和生产活动中物质财富的重要源泉,是黄土高原生态系统恢复和生态环境建设的主体。草地植被的恢复与建造取决于气候、地形、土壤和土地等因素。黄土高原具有明显的地理过渡带,其地理位置为青海高原向华北平原和东北平原的过渡带,气候为东南湿润季风气候向西北内陆干旱气候过渡,植被为暖温带落叶阔叶林向典型草原、荒漠草原植被类型的过渡,也是农林牧业生产水平较高、农村经济文化比较发达向农牧业生产粗放、农村经济文化欠发达的过渡。黄土高原特定的气候与复杂多变的地貌类型及深厚的黄土中发育的各种类型的土壤上,形成了多种多样的植物种类和植被类型(程积民和万惠娥,2002)。因此,研究黄土高原特殊的地貌和多变气候环境条件下,植被群落的分布及物种的演替与气候的响应无疑具有深刻的意义。

第二节 国内外研究概况

生态退化已成为全球性的环境问题。世界上有 43% 的陆地地表已发生生态退化。我国生态退化也是惊人的(梁存柱等, 2002)。特别是在 20 世纪的后 10 年中, 全球范围的干旱和荒漠化日趋加剧, 已经影响到生态系统种群的稳定性和功能的维护, 并带来次生的生态环境问题, 成为影响经济社会可持续发展的主要限制因素。

植被是生态恢复的主体, 而植被又是土壤类型、地貌特征、气候变化和人类活动长期相互作用的产物, 其分布、组成、发生和发展与环境条件密切相关, 特别是受气候变化的影响, 定量描述区域尺度上植被的演变动态及其与气候因子的相互关系是全球变化研究的重要内容(李晓兵和史培军, 2000; 刘绿柳和肖风劲, 2006; 郑新奇等, 2005; 范锦龙等, 2007)。同时, 植物生态学的观点认为主要植被类型表现着植物界对气候类型的反应, 每个气候类型或分区都有相应的植被类型。由于气候是决定地球上植被类型及其分布的最主要因素, 因此, 在全球变化与陆地生态系统关系的研究中, 气候-植被关系的确定具有十分重要的实际意义(崔骁勇, 2001; 李金花, 2002)。

黄土高原植被退化, 生态环境脆弱, 其结构和功能具有很大的不稳定性(陈利顶等, 2001), 必然成为全球变化响应的敏感区域(颌耀文和陈发虎, 2002; Zhang et al., 2009b), 其重度和中度退化草场面积占总面积的 56.6%, 而在半干旱黄土区, 植被退化更为严重, 如宁夏退化草场面积占草地面积的 72%, 其中固原县自 20 世纪 60 年代以来草地面积减少了 10.4 万 hm^2 , 海原县减少了 14.8 万 hm^2 (程积民和万惠娥, 2002)。许多研究结果表明, 气候与植被的恢复存在着密切关系, 植被退化引起了气候与环境的大幅度变化, 气候变化导致高山降水格局变化比温度变化更为明显, 据西藏地区 40 年来的实际观测显示, 该区气候表现出向暖湿型发展的趋势, 季节的降水均呈不同程度的上升趋势(徐宗学等, 2007)。甘肃定西、宁夏固原、陕西延安及内蒙古准格尔旗等十余县, 50 年来平均降水量减少 63.3 mm, 气温上升 1.26℃(程积民和万惠娥, 2002)。对于脆弱生态系统而言, 植被退化导致气候变暖和干旱加剧, 而气候变暖和干旱加剧又是加速区域植被退化的推动力, 从而形成恶性循环。人为干扰及不合理利用又成为植被退化的主要驱动力, 而脆弱的生态环境却成为区域植被退化的自然内营力。因此, 在全球变化下, 黄土高原草地植被群落分布与气候环境变化响应已成为目前亟须研究的重要科学问题, 也是各国研究组织和各界人士共同关注的焦点。

发达国家在 20 世纪 30 年代就开始了大规模的植被恢复运动, 美国(Jordan et al., 1987)、英国(李永宏, 1994a)、澳大利亚(Hobbs, 1996a)和日本(宋永昌, 1997)先后开展了退化草地恢复、改良与气候变化方面的试验研究; 70 年代, 美国召开了“受损生态系统恢复”国际研讨会议, 第一次专门讨论了受损生态系统恢复与重建问题; 80 年代, Jordan 总结了世界各地有关恢复生态学的研究进展, 出版了《恢复生态学: 生态研究的一种综合途径》一书; 90 年代, 在瑞士苏黎世召开了第一届“恢复生态学与可持续发展”国际会议(Choi and Wali, 1999), 开展了对恢复生态学的理论基础与有关概念的探讨。目前国际上已将恢复生态学与全球变化作为生态学研究的前沿领域之一, 重点开展植被生态恢复

与气候效应,恢复演替过程与气候影响重构演替序列,预测预报气候变化下植被演替趋势及植被恢复人为控制方面的研究。

我国在植被生态退化、恢复改良与气候变化研究方面起步较早,20 世纪 50 年代在全国草地资源状况调查的基础上已注意到草地退化问题;60~70 年代开始了划区轮牧、以草定畜及植被退化成因与气候变化等方面的工作;80 年代探讨有关理论及防治退化的措施及技术;90 年代以来,国家从政策上对退化草地恢复与生态保育给予了重视,针对西部地区自然气候条件进行草地工程建设;而真正把草地生态系统退化与气候环境、生物多样性保护联系起来,进行专业性的退化及恢复机制的研究则是从 20 世纪末期开始的(梁存柱等,2002),相继在西部及黄土高原地区开展了植被退化现状、恢复建设与综合治理等研究,特别是在退化植被群落演替过程、恢复机理及其人为干扰(补播、施肥、改良、刈割和放牧)与气候变化等方面取得了重要研究进展。

一、气候变化对植被恢复演替的影响

植物群落的演替是对其初始状态的异化过程,不但体现在种类组成和结构上,也体现在环境的改变上(曲国辉,2003)。20 世纪初期,对植物群落演替的研究基本上是描述性的。随着生态学的发展和科学研究的不断深入,草地演替的研究方法逐渐转变为定量分析,Dysterhuis (1949) 提出草地状况定量分析法,作为放牧草地植被的定量分析指标。在呼伦贝尔天然草地所进行的不同放牧试验研究表明,演替度量化是确定草地植被退化的重要指标(王德利等,1996),由此可见,根据草地植被演替度的变化,可以进行草地利用状况评价或诊断(孙海群等,1999)。

为解决气候变化下退化生态系统植被恢复问题,国内外学者进行了多方面的研究工作,寻找合理恢复和改良退化草地的途径和方法,在已有的各种方法中,对于大面积的退化草原来讲,围栏禁牧是一种有效且简便易行的方法(闫玉春和唐海平等,2007),目前国内外已开展了许多有关封育措施对草地植被恢复影响方面的研究。退化草地封禁后,优良多年生禾本科牧草的优势地位逐渐增加,多年生杂类草的竞争能力减弱,优势地位逐渐下降,说明退化草地围封后草地牧草的质量显著提高。封育改变了植物群落的地上和地下生物量的垂直分布变化,使群落结构优化,植物分布向更高空间或更深土层延伸,从而增加植物对光能、水分及养分的利用(单贵莲等,2010)。诸多的试验研究表明,对退化草地实行围栏禁牧让其自然恢复,不仅可以快速恢复天然植被,显著提高草地生产力,而且在一定程度上也可起到恢复土壤的作用,还可以明显改善草地不同退化程度的植物种类组成、盖度、密度、高度和生物量;逐步恢复退化草地群落结构和功能,是改良退化草地最普遍和有效的措施之一,在国内外已经得到较为广泛的应用(Yan et al., 2003; Zhou et al., 2004; Wang et al., 2005)。

受全球气候变暖影响最明显的生态系统是高纬度和高海拔地区(IPCC, 2007)。有关研究表明,内蒙古典型草原退化群落类型——冷蒿,在围封 10 年后基本恢复到其原生群落类型,即以羊草和大针茅为主的优势种群落(康博文等,2006)。半干旱典型草原区植被自然恢复演替过程基本经历了百里香+杂草、本氏针茅+百里香、本氏针茅+铁秆蒿、本氏针茅+大针茅群落不同阶段(邹厚远等,1998)。在典型草原区降水量 450 mm 左右,封

育条件下的演替过程为:草甸草原封育 3~4 年后演替成较稳定的草地→灌丛(黄栌)群落;典型草原封育 4~5 年后演替为草地→灌丛(柠条锦鸡儿)群落和草地→灌丛(鬼箭锦鸡儿)群落等;荒漠草原封育 4~5 年后演替为草地→灌丛(柠条锦鸡儿)群落等(程积民, 1998)。在森林草原区降水量 550 mm 左右,植被在演替的第二阶段,有大量的赖草种群出现,并形成伴生种占据了较大面积,与其他物种形成过渡性的演替类型,其后的演替出现了较多的达乌里胡枝子和冷蒿群落,形成本氏针茅+达乌里胡枝子、本氏针茅+冷蒿或冷蒿等相对稳定的群落类型,部分地方还出现白羊草群落(温仲明等, 2005),表明草地群落演替受气候变化的影响,植物组成发生了较大变化。由此看出,草地在封育条件下,进行其自然恢复,明显改变了植被群落的结构,提高了草地生物量,充分显示出封育措施在植被恢复中的重要作用。但长期封禁对草地植被的群落结构和生物量有不同程度的影响。内蒙古典型草原围封 26 年,地上现存量为 $309.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,明显低于围封 7 年,群落高度、盖度、密度和频度等指标也表现出同样的变化趋势,表明围封 7 年的草地已经达到或接近其生产潜力的峰值,继续围封将不利于其维持较高的生产力(闫玉春和唐海平, 2007)。半干旱典型草原区封禁 27 年,草地生物量为 $332.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,明显低于封禁 10~15 年的草地(程积民和万惠娥, 2006)。因而,植被生态可持续性是指一定时空尺度上的生态系统在提供生态服务功能的同时,保持其自身组成、结构和过程的稳定性。因此,研究气候变化下的草地植被长期恢复演替与发生发展过程,对黄土高原乃至西部生态系统恢复与环境建设具有重要意义。

二、气候变化对草地物种多样性的影响

自然界草原植物群落的结构与外貌通常以建群种和优势种植物组成为特征,建群种和优势种的更替可成为植物群落演替的重要标志(王伟等, 1996; Sala et al., 1996; 周志宇等, 2003)。许多研究结果表明,在我国典型草原不同恢复演替阶段植物群落的物种组成基本一致,但主要物种在群落中的优势地位受降水和气温的影响发生了显著的改变(单贵莲, 2010),表明气候变化对全球生态系统和生物多样性产生着显著影响(Kerr and Packer, 1998; Williams, 2000; Walther et al., 2002)。气候改变了山地生态系统物种多样性组成和群落结构的变化,对山地生物多样性既有正面的影响也有负面的影响。一方面,低海拔物种向高海拔迁移过程中将会增加山地物种多样性的变化(Klanderud and Birks, 2003)。例如,在过去 100 年中,低海拔物种的迁移使瑞士境内高山地带的植物物种多样性显著增加(Thuiller, 2007),喜马拉雅山高山地带的物种丰富度也明显提高(Gaur et al., 2003)。据在东欧阿尔卑斯山近 10 年的监测结果表明,高山草甸有先锋种出现,而一些适应寒冷气候的物种也在不断地丧失,相比过去的 100 年,这些山地类型可以容纳更多的先锋植物(Grabherr et al., 1994; Nagy et al., 2003)。另一方面,气候变暖也会明显降低高山地带生物多样性的组成与分布,通过连续 5 年升温 and 施肥试验研究,瑞典北部高山冻原带的大量苔藓和地衣优势群落的物种数量组成在不断地减少,物种丰富度和多样性有明显的降低趋势(Jägerbrand et al., 2006)。同时,植物多样性的恢复是退化生态系统恢复与重建的重要内容与标志,有关封禁对植物多样性的影响,在以往不同学者的长期研究中并未得出较为一致的结论,一些研究表明,封禁可以增加物种多样性(Gabriel, 1998),有

的认为封禁样地的多样性要低于自由放牧样地(Alice et al., 2005),还有的研究认为封禁对植物多样性的影响较小,甚至无影响(Rachel and Jose, 1999)。这些研究结论上的不同点,主要是由于研究的草地类型及其环境状况、封禁时间、放牧样地的放牧强度等存在差异。因此,由于研究背景条件的不确定性,封禁与植物多样性的关系是很难一致化的(Rachel and Jose, 1999)。根据有关研究报道,在内蒙古典型草原围封 26 年期间,围封前种群密度为 $44 \text{ 种} \cdot \text{m}^{-2}$,围封 26 年后为 $23 \text{ 种} \cdot \text{m}^{-2}$,原生群落物种丰富度也明显降低,但这并不能表明围封导致植物多样性的降低(闫玉春和唐海萍, 2007),黄土高原典型草原区的研究结果也同样证明了这一点,长期封禁不利于植物多样性的增加和盖度的提高,但在封禁 10~15 年之后,再进行合理的刈割、放牧利用,有利于植物多样性的增加(程积民和张行勇, 2007)。因为植被恢复过程中,物种数量的增减总是伴随着阳性先锋物种的衰退和中生性顶极种的发展,植物物种数量呈前期(2~20 年)迅速增加,中期(50~60 年)减少,后期(150 年以上)维持一定水平的发展趋势。物种生态类型的变化表现为,在恢复初期,组成群落的主要种类是阳性植物,当群落恢复到 20 年时,这些种类的重要性明显减小,在 50~60 年和 150~200 年的群落中已基本消失,取而代之的是较耐阴的种类。草本层的种类变化也是如此,并随着恢复期的延长,群落层次结构趋于多样化(温远光和黄棉, 1998)。黄土丘陵区纸坊沟小流域在自然恢复状态下,不仅植物群系发生变化,物种多样性也增加。演替后期地带性植被优势种大量出现,植被向原地带性群落演替(王国梁等, 2002a)。在黄土高原典型草原区,经过 20 多年的自然封禁恢复,物种组成由封禁前 $8 \sim 11 \text{ 种} \cdot \text{m}^{-2}$ 增加到 $25 \sim 31 \text{ 种} \cdot \text{m}^{-2}$,覆盖度由 20%~30% 提高到 75%~95%,物种数由封禁前的 69 种提高到目前的 186 种(程积民和万惠娥, 2002)。子午岭弃耕地植被自然恢复演替表明,草本层、灌木层与乔木层植物多样性达到最大的时间依次为 70~80 年、90~100 年与 100 年以上(李裕元和邵明安, 2004)。但人类过度地利用自然资源,将异质的自然景观变成大范围同质的人工景观,消灭了自然生态交错带,扩展了人为生态交错带,引起原有植被强烈的变化,改变了原来的优势物种及自然的景观格局和生态过程,致使生物多样性和生产力急剧降低(傅伯杰, 2002)。因此,物种多样性在生态全面恢复过程中的变化特征有待进一步研究。不同的物种在生长过程中对气候变化的响应,主要体现在迁移速度的差异上,如生命期短、繁殖周期快的植物,草本、蕨类和藓类植物的迁移速度明显高于繁殖速度较慢、生长周期较长的乔木种类。不同的迁移速度受气候变化的影响,会扰乱目前优势种群落的正常生长规律,使生态系统过程中的物种生物链改变(Root et al., 2003),同时,将可形成新的地带性物种组合,并会直接影响到群落中脆弱生态系统的结构和功能。受研究区域时间尺度、空间尺度的变化,得出的结论可能会出现较大的差异。例如,在植物的群落尺度上受小气候的影响,物种数可能会增加,而在区域尺度上物种数则有可能减少。不过,许多研究已经证实,在全球气候变暖的情况下,生物多样性的波动将会加剧,特别是耐低温的物种将会受到严重的威胁,高寒物种与地方乡土物种丧失的可能性较大,优势物种发生逆向演替甚至被其他物种替代的可能性依然存在,物种的分布格局和适宜生境将会发生较大的改变,如乔木生长线的上移或大量物种的分布向更高海拔迁移等。但生物可以通过较高丰富度或较强的迁移散布能力、潜在的遗传多样性及协调种间关系等的适应特征减小濒危或灭绝的风险。从近几年物种的变化趋势来看,物种分化

的速率远远赶不上物种消失速度。全球气候变化和物种迁移过程的不协调性是导致物种多样性锐减的重要原因(Walther et al., 2002)。

在国内外退化草地生态系统恢复过程中生物多样性的研究,国内主要集中在土壤动物和植物群落物种多样性变化方面(闫玉春等, 2009),国外在草原生态系统恢复过程中物种多样性变化对生态系统功能的影响方面进行了系统研究(Hill et al., 1992; 彭少麟和陆宏芳, 2003)。在内蒙古典型草原类型区,以菊科蒿属植物冷蒿为建群种的严重退化羊草草原的研究结果看出,在 12 年的无人干扰的封育过程中,草原植物群落的多样性指数变化均表现为总体下降趋势,这一试验结果表明,围封后随着演替进程的不断延续,种群对环境的适应性增强,以羊草种群为建群种、优势种的优势度变化明显,不同种群在羊草群落中所占的比例差距增大,进而导致物种多样性明显下降(宝音陶格涛和陈敏, 1997; 闫玉春等, 2009)。对位于全球最大的南美温带半湿润草原群落(Riodela Plata grassland)的相关研究也得到相同的结论,中度放牧使一些冷季生长的杂草植物被暖季生长的匍生植物所代替,这一过程导致围封 9 年的草地植物多样性显著低于中度放牧草地(闫玉春等, 2009)。在芬兰西南的湿地草地(mesic grassland)的研究结果表明,由于该类型草地的植物生长受自然因素的限制较小,放牧干扰明显增加其植物多样性和物种丰富度(Juha, 2004; Alice et al., 2005)。还有研究认为在干旱区围栏对植物多样性的影响较小甚至无影响,主要原因是干旱区草地恢复是一个缓慢的过程(闫玉春等, 2009)。程积民对宁夏云雾山 30 年封禁草地和 26 年刈割草地的试验资料分析得出,在降雨和气温的共同作用下,草地物种多样性变化随时间的推移在峰值出现后,均表现为下降趋势,呈“A”字形分布(程杰等, 2010)。但王鹏和张建军(2009)运用群落物种多样性指数测定的方法,对封禁 15 年与封禁 26 年的各种生境类型群落物种多样性进行研究得出,物种多样性指数、均匀度指数均有显著提高,生态优势度有所下降,说明随着封育年限的增加,群落朝着更为丰富、均匀、稳定的方向发展。

另外,干旱等自然环境的影响,形成了不同植物的生活型,严重限制了群落物种多样性的增加,尤其是在荒漠草原地带更加明显。例如,荒漠草原植被一般是由超旱生、中温(高寒荒漠为寒温)、叶退化或特化的落叶(或落枝)半灌木、灌木或小乔木所构成的稀疏植被类型,以超旱生的小半灌木与灌木的种类最为普遍,如猪毛菜属、假木贼属、碱蓬属、驼绒藜属、盐爪爪属、滨藜属等;单种属的如合头草、戈壁藜、小蓬、盐穗木、盐节木等。其主要特征是叶片退化或肉质、硬刺状、具茸毛等,分布在极旱基质粗劣地。同时,在水分与基质条件较好的地方,如黄土状壤质土上植被以蒿类小半灌木为主,优质牧草分布极少,物种多样性的变化与前者相比虽有所增加,但增加的幅度较小。

从总体上看,在黄土高原特殊的地貌类型和深厚的黄土覆盖下,局地的气候变化极不稳定,甚至严酷(持续干旱、低温、霜冻),对生物种群的影响往往是灾难性的,只有少数物种能够忍受环境因子变化较大的生境,发展较宽的生态位(朱富寿和廖昕荣, 2009),但大多数物种是不能适应这种环境条件的,因而限制了物种的多样性,群落组成优势现象明显。