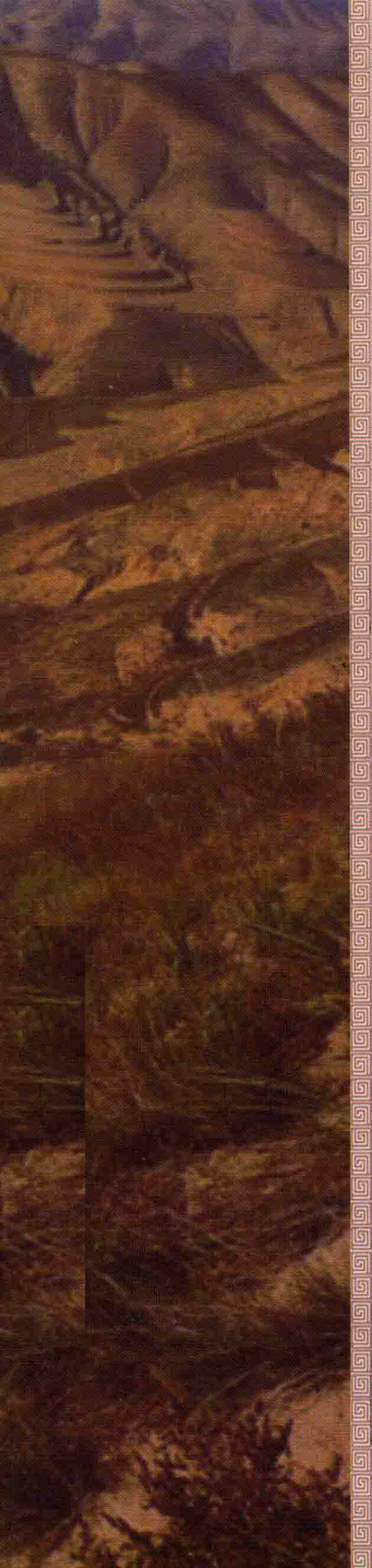




黄土丘陵沟壑区 植被恢复的 土壤固碳效应

Huangtu Qiuling Gouhequ
Zhibei Huifu de
Turang Gutan Xiaoying

胡婵娟 郭 雷 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

黄土丘陵沟壑区植被 恢复的土壤固碳效应

胡婵娟 郭 雷 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

全球气候变化已经成为各国政府、科学家共同关注的重大问题。如何增加碳汇,减少碳排放成为研究热点。黄土丘陵沟壑区作为我国乃至全球水土流失最严重的地区,近年来由于退耕还林还草等政策的实施,植被得到有效恢复,水土流失得到有效遏制的同时对土壤生态系统也产生了重要影响,土壤碳储量发生了改变。本书以典型黄土丘陵沟壑区陕西延安羊圈沟小流域为主要研究区域,从样地、坡面、流域以及区域等多尺度探讨了植被恢复对土壤固碳过程中土壤CO₂释放、土壤微生物以及土壤碳储量变化的影响,以期能够为该区域植被恢复提供一定的科学依据。

图书在版编目(CIP)数据

黄土丘陵沟壑区植被恢复的土壤固碳效应/胡婵娟,郭雷主编. —北京:中国农业大学出版社,2016.5

ISBN 978-7-5655-1541-5

I. ①黄… II. ①胡…②郭… III. ①黄土高原-植被-生态-恢复-影响-土壤成分-碳-储量-研究 IV. ①S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 069396 号

书 名 黄土丘陵沟壑区植被恢复的土壤固碳效应

作 者 胡婵娟 郭 雷 主编

策划编辑 张 蕊 张 玉

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京国防大学印刷厂

版 次 2016年5月第1版 2016年5月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 15.75印张 285千字

定 价 38.00元

责任编辑 张 玉

责任校对 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出版部 010-62733440

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编 委 会

主 编 胡婵娟 郭 雷

副主编 钱发军 毛齐正 郭二辉

编 委 张中霞 任 杰 郝民杰 李双权 刘 鹏
文春波 张 森 李 华

前 言

黄土丘陵沟壑区是全国乃至全球水土流失最为严重的地区之一,该地区植被受气候、地质变迁尤其是人类活动影响,原有的天然植被在历史演变过程中遭到了毁灭性的破坏,新中国成立以来,为了控制水土流失,改善生态环境,我国在该地区开展了大规模的植树造林工作,特别是近 30 年来,先后启动实施了“三北”防护林体系工程、退耕还林(草)工程等林业生态工程,该地区的植被恢复工作取得了良好的进展。植被恢复是遏制生态环境恶化,改善脆弱生态系统和退化生态系统的有效措施。植被作为陆地生态系统的重要组成部分,是生态系统中物质循环与能量流动的中枢,在水土保持、水源涵养及固碳过程中均起到了重要的作用,植被恢复过程中通过改良土壤,增加土壤中有机质,改善土壤结构,提高了土壤涵养水源、保持水土的功能,保护了人类赖以生存的水土资源。同时,植被还能吸收二氧化硫和二氧化碳,固定碳元素,保护环境,满足人类生存的需要,提供了社会服务。另外,植被通过改良土壤,促进自身的演替和生态系统的演变,改变生态系统的外部景观,又是生态系统演变的动力。

随着气候变暖的日益加剧,全球气候变化已经成为各国政府、科学家共同关注的重大问题。1997 年底在日本东京签订的《京都议定书》中规定可以利用造林、再造林等活动增加的碳汇来抵消附件 I 国家的温室气体排放,植被恢复能够有效增加碳汇。不同生态系统类型中,植物同化作用固定的有机碳主要储存于土壤有机碳中,土壤碳储量占整个陆地生态系统碳库的 2/3,土壤碳库微小的变化即会对大气圈中的碳量产生较大的影响,土壤碳储量的增加能够减缓由于人类活动导致的大气 CO₂ 的升高。因此,开展碳汇研究特别是相对薄弱的土壤碳汇估算,在当前背景下对于国家环境政策和管理策略的制定以及应对国际气候变化谈判均具有重大意义。黄土丘陵沟壑区植被恢复经历了较长的时间也取得了良好的效果,水土流失得到有效遏制,土壤质量显著提高,目前很有必要从土壤固碳的角度对该区域植被恢复的生态效应进行系统论述。

本书以黄土丘陵沟壑区陕西延安羊圈沟小流域为主要研究区域,从样地、坡



面、流域以及区域等不同的尺度,针对主要的植被恢复模式,系统阐述了植被恢复对土壤碳释放、土壤微生物及土壤碳储量的影响。本书主要分7章内容,第一章和第二章主要论述了植被恢复的生态环境效应和土壤固碳过程及主要影响因素,第三章主要介绍了研究区域基本特征,第四章论述了土地利用/覆被变化及其对地上植被和土壤性质的影响,第五章论述了植被恢复对土壤碳释放的影响,第六章论述了植被恢复对土壤微生物的影响,第七章论述了植被恢复对土壤碳的影响。

本书主要收录了作者博士和博士后期间在羊圈沟小流域开展的系列研究内容,其中第四章第二节、第七章第三、四节中部分内容为王朗硕士、汪亚峰博士和常瑞英博士在该区域开展的相关研究。本书的完成是对以往研究的一个总结,希望以其向我博士期间的两位导师傅伯杰研究员、刘国华研究员以及博士后期间的合作导师陈立顶研究员致敬,回首往昔,心里对恩师们的教导和关怀总是充满感激,同时,也十分感谢工作中的同事们在本书的撰写中给予的帮助。

因个人能力有限,书中难免有不足之处,敬请各位专家及读者批评指正!

胡婵娟

2015年12月于郑州

目 录

第一章 植被恢复的生态环境效应.....	1
一、植被恢复对生态系统的影响	1
(一)植被恢复对地上植被的影响.....	2
(二)植被恢复对土壤理化性质的影响.....	4
(三)植被恢复对土壤生物性质的影响.....	6
二、黄土丘陵沟壑区植被恢复的基础理论	8
(一)生态恢复理论.....	8
(二)植被演替与植物多样性理论	10
(三)生态恢复与土壤质量的关系	13
三、黄土丘陵沟壑区主要植被恢复模式.....	14
(一)自然恢复	15
(二)人工恢复	16
第二章 土壤固碳过程及其主要影响因素	22
一、土壤碳在碳循环研究中的重要性.....	22
二、土壤碳的形成和固定机制.....	23
(一)土壤碳的形成和累积过程	23
(二)土壤固碳机制	25
三、土壤固碳量的主要估算方法.....	27
(一)样点尺度	28
(二)区域尺度	28
四、中国主要陆地生态系统土壤碳的变化.....	30
(一)森林	30
(二)草地	32
(三)农田	32
(四)灌丛和湿地	33



五、土壤固碳的主要影响因素	34
(一)土地利用方式	34
(二)气候因素	35
(三)土壤性质	36
(四)植被恢复	37
(五)尺度	38
六、黄土高原地区土壤碳的主要研究进展	39
第三章 研究区域基本特征	42
一、黄土高原概况	42
(一)黄土高原范围	42
(二)自然地理环境	42
(三)社会经济特征	47
(四)生态环境特征	48
二、黄土丘陵沟壑区的类型及其特征	49
(一)晋陕黄河峡谷丘陵区	50
(二)陕北、陇东、宁东南低山丘陵沟壑区	50
(三)宁南陇中梁峁丘陵沟壑区	51
三、陕西省羊圈沟流域基本特征	52
(一)气候	52
(二)植被特征	53
(三)地形地貌	54
(四)社会经济条件	54
第四章 黄土丘陵沟壑区土地利用/覆被变化及其对地上植被及土壤性质的影响	55
一、坡面尺度不同植被恢复模式下地上植被、土壤性质及土壤侵蚀过程的变化	55
(一)研究方法	56
(二)不同植被格局下植物物种组成及其重要值	58
(三)不同植被格局下植物群落结构相似性	59
(四)不同植被格局下物种多样性的变化	59
(五)不同植被格局下土壤理化性质的变化	60
(六)坡面尺度不同植被恢复模式对土壤侵蚀过程的影响	64



(七)讨论	64
(八)小结	67
二、流域尺度土地利用/覆被的变化及其对水土保持功能的影响	67
(一)研究方法	68
(二)羊圈沟小流域土地覆被的时空变化	69
(三)土地利用变化驱动因素分析	72
(四)羊圈沟小流域水土保持功能变化综合分析	73
(五)小结	84
第五章 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤碳释放的影响	85
一、样地尺度不同植被恢复物种对土壤 CO ₂ 释放的影响	86
(一)研究方法	86
(二)不同人工林土壤 CO ₂ 释放速率的日变化及季节变化	87
(三)不同人工林土壤基础理化性质及土壤微生物生物量的变化	89
(四)不同人工林环境因子的变化特征	90
(五)不同人工林土壤 CO ₂ 释放与影响因子之间的关系	92
(六)讨论	95
(七)小结	98
二、坡面尺度不同恢复植被对土壤 CO ₂ 释放的影响	98
(一)研究方法	98
(二)坡面上不同植被类型下土壤 CO ₂ 的释放	99
(三)土壤 CO ₂ 释放与环境因子之间的关系	102
(四)讨论	106
(五)小结	108
第六章 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物的影响	109
一、样地尺度不同植被恢复物种和恢复年限对土壤微生物的影响	110
(一)研究方法	110
(二)不同人工林土壤微生物生物量的变化	112
(三)不同人工林土壤微生物代谢活性的变化	113
(四)不同人工林土壤微生物多样性的变化	115
(五)微生物功能多样性与环境因子的相关性	115
(六)不同恢复年限刺槐林土壤微生物生物量碳氮含量的变化	116
(七)讨论	117



(八)小结·····	118
二、坡面尺度不同恢复植被对土壤微生物的影响·····	119
(一)研究方法·····	119
(二)坡面上不同植被格局下土壤微生物生物量碳和氮的变化·····	122
(三)坡面上不同植被格局下土壤微生物代谢活性及功能多样性的 变化·····	134
(四)坡面上不同植被格局下土壤微生物群落结构的变化·····	147
第七章 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤碳的影响·····	164
一、样地尺度不同恢复植被物种和不同恢复年限的刺槐林土壤碳的变化·····	164
(一)研究方法·····	165
(二)不同人工林下土壤有机碳的变化·····	166
(三)不同恢复年限刺槐林土壤有机碳的变化·····	166
(四)不同恢复年限刺槐林土壤理化性质和微生物生物量的变化·····	167
(五)不同恢复年限刺槐林土壤有机碳与土壤理化性质及微生物生物 量的关系·····	168
(六)讨论·····	168
(七)小结·····	169
二、坡面尺度不同恢复植被对土壤碳储量的影响·····	169
(一)研究方法·····	170
(二)人工刺槐林和撂荒草地坡面上的土壤碳储量·····	171
(三)土壤碳储量的主要影响因子·····	173
(四)讨论·····	175
(五)小结·····	176
三、流域尺度土地利用/覆被变化对土壤碳储量的影响·····	176
(一)研究方法·····	177
(二)流域尺度有机碳空间分布特征·····	178
(三)流域尺度植被恢复对土壤有机碳库的影响·····	180
(四)小结·····	181
四、区域尺度——黄土高原退耕还林还草工程固碳量估算·····	183
(一)研究方法·····	183
(二)2000—2008年黄土高原退耕还林还草实施范围和面积·····	194
(三)黄土高原退耕还林还草土壤固碳量影响因子分析·····	195



(四)2000—2008 年黄土高原退耕还林还草工程土壤固碳量	196
(五)2000—2008 年黄土高原退耕还林还草工程植被和生态系统固 碳量	197
(六)讨论	197
(七)小结	200
参考文献	201

第一章 植被恢复的生态环境效应

生态系统指由生物群落与无机环境构成的统一整体。防止生态系统退化以及退化生态系统的恢复与重建,是改善区域生态环境,实现可持续发展的保障。生态恢复是一个复杂的系统工程,既要考虑土壤、水分、植被等自然因子的历史变迁、现存状况和发展趋势,也要考虑其作为一个自然和社会复合单元所能承受的干扰程度。从生态系统的组成和功能看,退化生态系统的恢复,首先要建立生产者系统,由生产者固定能量,通过能量驱动水分循环,水分带动营养循环。在生产者系统建立的同时或稍后建立消费者、分解者系统。

植被在生态系统中的地位十分重要。它不仅是生态系统的最基本的生产者,为整个食物链提供能量(包括人类),而且,也是生态系统的保护者,生态系统演变的驱动者。首先,植被通过改良土壤,增加土壤中的有机质,改善土壤结构,提高了土壤涵养水源、保持水土的功能,保护了人类赖以生存的水土资源。其次,植被还能吸收二氧化硫和二氧化碳,固定碳元素,防止灰尘,净化空气,保护环境,满足人类生存的需要,提供了社会服务。植被通过改良土壤,促进自身的演替和生态系统的演变,改变生态系统的外部景观,又是生态系统演变的动力。因此,植被在退化生态系统的恢复中占据着极为重要的地位。

一、植被恢复对生态系统的影响

植被作为陆地生态系统的重要组成部分,是生态系统中物质循环与能量流动的中枢,在水土保持、水源涵养及固碳过程中都起着重要的作用。然而,随着社会经济的发展,植被破坏引起的生态环境破坏日益严重,植被的破坏不仅影响了自然景观,同时带来环境质量下降、生物多样性降低、水土流失、土地沙化及自然灾害加剧等一系列问题,根据全国第二次水土流失遥感调查,20世纪90年代末,我国水土流失面积356万 km^2 ,其中:水蚀面积165万 km^2 ,风蚀面积191万 km^2 。据调查,20世纪50年代以来呈减少趋势的沙尘暴,90年代初也开始回升(温仲明等,2005)。自19世纪50年代以来,由于植被破坏使得我国61%的野生物种的栖息地受到破坏,大量的珍稀物种面临灭亡的威胁(Li, 2004)。研究表明(查轩等,



1992),地面林草植被遭到破坏后,土壤理化性质严重恶化,抗冲蚀性能减弱,侵蚀由轻微变得强烈,而当植被得以恢复后,土壤侵蚀迅速减弱。Zhang 等(2004)对有植被和无植被覆盖的两个小流域的研究也发现,植被覆盖可以有效地减少水土流失和养分的流失。Zheng(2006)对黄土高原植被改变对土壤侵蚀的影响进行了相关研究也表明植被可以有效地遏制土壤侵蚀的发生。植被茎叶可以减少降雨雨滴动能,植物茎及枯枝落叶可以减缓径流流速,植物根系可以提高土壤抗冲抗蚀的能力,在特殊的侵蚀环境下,植被恢复是治理水土流失的关键措施,而有效地遏制水土流失也是植被恢复影响地下土壤生态系统的重要途径之一。植被恢复是遏制生态环境恶化,改善脆弱生态系统和退化生态系统的有效措施,在植被恢复的开展过程中,我国已启动了“天保工程”和“退耕还林还草工程”,使得植被的恢复与重建能够在较大范围内进行。

完整的生态系统有地上和地下生态系统两部分组成,且二者之间相互联系,互相影响。植被恢复过程中对地上生态系统及地下生态系统均存在显著的影响,植被的生长可以有效改善土壤的结构,为土壤系统输入更多的有机物质,提高土壤质量;其次可以通过改善微生物生长的微环境,提供更多的营养物质和能源物质,提高微生物生物量及多样性,同时恢复过程也可以对植物的组成和结构产生影响,有利于植物物种多样性的保护。植被恢复作为改善脆弱和退化生态系统生态环境现状的有效措施,从地上和地下生态系统的角度探讨其生态环境效应,能够更加完整地论述植被恢复在整个生态系统物质循环和能量流动中的作用,也能够更好地阐述植被恢复过程对生态系统健康和生态环境改善的影响。

(一)植被恢复对地上植被的影响

植物的群落结构和物种多样性对生态系统功能具有重要意义,对植被恢复过程中的物种多样性进行研究,可以正确认识植被恢复的过程,指示生态系统的演替过程。从生态恢复的视角对植被的演替理论进行探讨,国内有学者指出,退化生态系统一旦停止干扰,便发生进展演替,向原群落方向发展,其恢复过程可视为与原群落的结构、功能的相似度从低向高的发展过程(彭少麟,2001)。自然恢复过程中的植被,通过长时期的自然演替过程,物种的多样性会发生改变,最终会形成稳定的植物群落结构,而对于一些破坏比较严重的生态系统,通过自然恢复的过程不能够使植被得以良好的恢复或需要的演替时间特别漫长,根据植物的演替规律,引入演替后期阶段的物种进行及时补播,或者通过引进一些外来物种可以缩短演替时间,加速植被恢复进程。



对于植被恢复过程中植物物种和多样性已进行了大量的研究。通常的观点认为,随着演替时间的推移,群落的多样性指数逐渐上升,在群落演替的中后期最大(杜国桢和王刚,1991;高贤明等,1997)。退耕地自然恢复过程中植物多样性的变化受到了广泛的关注。白文娟和焦菊英(2006)对黄土丘陵沟壑区退耕地主要自然恢复植物群落的多样性进行分析后发现,随着退耕年限的增加,植被多样性指数和均匀度指数的总趋势都是增加的,且植物群落物种组成年限之间的差异不断增加。退耕地自然恢复形成的植物群落中草本植物占绝对优势,菊科植物最为丰富;植被恢复初期,植物群落的多样性较低,植被总盖度在85%以上,能够有效地防止水土流失(赵洪等,2005)。Zhang等(2005)对科尔沁沙地自然恢复群落的演替规律的研究发现,不同的演替阶段优势物种不同,物种的替代及生境的改变是演替发生的主导因素,物种多样性和丰富度指数随演替时间增长而呈增加趋势。弃耕地植物物种类数目变化具有明显的波动性,代表立地特征的种类开始比较少,而农田杂草的种类比较多;随着演替的进行,地带性指示植物增加,杂草类植物种类下降。也有研究表明,退耕地演替群落的种类多少与生产力有关,种类多的群落生产力就高(Bekker等,2000)。Carla等(2003)对黎巴嫩采石场植被的自然恢复的研究中发现,在其设置的不同的恢复梯度上植物物种的组成存在很大差异,在生态系统退化比较严重的地区主要是一年生的R对策的物种,在中等退化程度的地区主要分布物种是多年生草本和灌丛,而在相对退化程度较低的地区主要是物种组成为乔木和多年生灌木。Nishihiro和Washitani(2007)在对日本湖岸植被恢复的研究中利用沉积物中的种子库进行已经灭绝和退化的植物物种的自然恢复,经过自然恢复过程,植物群落和多样性都得到很好的恢复,有180种物种其中包括6种濒临灭绝的物种和12种当地水淹植物出现在湖岸上。Mitchell等(1999)对石楠类型的退耕地研究时发现,在退耕之后的20~50年时间里,退耕地分别经历了桦木属(*Betula* spp.)、樟子松(*Pinus sylvestris*)、蕨类(*Pteridium aquilinum*)、菌类(*Rhododendron ponticum*)四个演替阶段。

人工恢复与自然恢复方式及不同的人工恢复模式下地上植被群落的变化均存在差异。处于植被自然恢复阶段的群落其物种丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均在演替的第三阶段较高;人工灌木群落的多样性指数和丰富度指数都要大于人工草本群落,但是人工草本群落的均匀度指数要比人工灌木群落大;天然植物群落比人工植物群落的均匀度指数小,但其物种丰富度、多样性指数均高于人工植物群落(卜耀军等,2005)。王发刚等(2007)对不同人工重建措施下高寒草甸植物群落结构及物种多样性的研究发现退化草地经过多年的封育,或经松耙补播后逐步



向原生植被方向演替,而人工草地则逐步向退化演替方向发展。漆良华等(2007)研究了润楠次生林、马尾松天然林、油桐人工林及毛竹-杉木林四种典型的植被恢复群落的物种多样性及生物量,研究表明乔木层物种以次生林的多样性和均匀度最高,草本层物种丰富度以人工林最高,天然林最低,物种丰富度与群落生物量之间的关系可用“S”曲线较好地描述。针对黄土丘陵区不同林龄的刺槐人工林、天然侧柏次生林、荆条灌丛和苜蓿草地等不同植被恢复类型群落特征及物种多样性变化的研究发现,通过植被恢复,物种数量提高,群落多样性得以改善,但群落丰富度指数以撂荒之后形成的荆条灌丛最高,其次是人工刺槐林且恢复年限为 20 年的人工林高于恢复年限为 5 年的人工林,物种多样性指数则以刺槐人工林最高(张笑培等,2011)。张健和刘国彬(2010)对黄土丘陵区沟谷地不同植被恢复模式下植物群落生物量和物种多样性的研究中也发现了相似的结果,物种多样性指数表现为人工植被恢复模式效果优于自然恢复,人工植被建设可以促进黄土丘陵区沟谷地的植被恢复进程。但对于植被的人工恢复,一些特殊环境下,不当的物种及营造纯林,也会使植物群落结构单一化,植被正常演替中断或逆向发展,印度 Tata 能源研究院在 Fimalayas Darjeeling 地区干旱混交阔叶林采伐后的生态系统重建研究中,烧除采伐剩余物,选择材质优良林木造林,实行混农林业,且造林后头两年连续间作农作物,经过 35 年的生态系统恢复后,形成的混农林业改变了景观,干扰了生态系统的结构,引起了大量树种资源的损失(Shankar 等,1998)。因此,对于需要植被恢复的地区,能够有效了解当地的实际环境条件,可以为更好地选择恰当的恢复模式奠定基础(Kirmer 等,2001),掌握植被的自然演替规律,也可以为人工恢复模式的选择提供科学依据,例如在什么样的演替阶段应该引进什么样的物种从而更好地降低其死亡率,或者也可以决定剔除外来入侵物种的最佳时期,使得植物物种的恢复朝更为有利的方向发展(Karel 等,2001),在生态系统的重建与恢复过程中,应该尽可能地选择当地的植物物种,并考虑不同物种在演替过程中出现的频率,这可以反映某种物种对当地环境条件的适应性(Carlak 等,2003)。

(二) 植被恢复对土壤理化性质的影响

植被可以通过根系的生长改变土壤的结构,通过根系分泌物、植物残体和枯枝落叶为土壤系统输入更多的有机物质,改善土壤质量。在植被恢复过程中,土壤有机质、速效氮、速效钾、全氮、速效磷含量增加,土壤 pH 和容重降低,氮的矿化能力增强,土壤微生物生物量明显提高,酶活性增加,水稳性团聚体的数量和质量得到提高,土壤结构得到改善,土壤肥力得到提高,促进了土壤腐殖化和黏化过程,土壤



抗冲性和土壤抗剪强度得到强化,土地生产力得到提高,土壤水分状况得到改善(赵新泉等,1999)。研究植被恢复过程中土壤性质的改变可以更好地认识植被恢复的生态效应(Paniagua等,1999),近年来,针对植被恢复对土壤性质的影响也进行了越来越多相关的研究(An等,2009;Fu等,2003;Stolte等,2003)。

不同的植被类型由于其生长方式不同,对土壤性质也存在不同的影响。Gong等(2006)研究了荒地、耕地、弃耕地、人工草地、灌丛和人工林地等六种土地利用方式下的土壤养分,结果表明不同的土地利用类型对土壤养分的蓄积作用存在差异,植被恢复有利于提高土壤养分和土壤质量。刘世梁等(2003)研究了灌丛、撂荒地、坡耕地和人工林四种典型土地利用类型下的土壤水分和土壤养分,研究发现,灌丛具有肥力岛屿的作用,可以截流、维持和改善土壤的肥力。马祥华等(2005)研究了退耕地植被恢复中土壤物理特性的变化,研究表明土壤含水量草地>灌木地>乔木地,灌木地土壤容重较大,自然恢复的植被土壤水稳性团聚体含量高于自然加人工恢复。邓仕坚等(1994)研究了植被恢复过程中不同树种混交林及其纯林土壤理化性质的变化,研究显示针阔混交林比针叶树纯林对土壤的改良作用要好。Jiao等(2011)对灌丛、农地、草地和林地的研究表明,植被的恢复有利于降低表层土壤容重,增加土壤孔隙度,灌丛和林地中土壤有机质、全氮、速效氮和速效钾的含量高于其他土地利用方式。Chen等(2007)对人工油松林、灌丛、坡耕地、紫花苜蓿和自然草地土壤水分的研究表明,灌丛和自然草地的土壤水分高于其他几种土地利用方式。

在植被恢复对土壤理化性质的影响中,恢复年限也是一个比较重要的因素。在黄土丘陵区不同撂荒年限的自然恢复草地的研究表明土壤有机质和全氮含量随着草地恢复年限的降低而降低(张成娥和陈小利,1997)。Li和Shao等(2006)对黄土高原中部撂荒农地150年土壤理化性质变化的研究发现土壤的物理性质与弃耕的时间及植被恢复的阶段具有紧密的联系,表层土壤的容重随着时间的增长显著降低。Zhu等(2010)的研究也发现,黄土高原退耕之后自然恢复的50年中,土壤的侵蚀系数大幅度降低,土壤性质和结构都得到改善,在前10年的恢复过程中,土壤有机碳大幅度提高,之后的20年中,土壤的其他指标经过动态变化后达到平衡。Arunachalam和Pandey(2003)对印度东北部退耕年限分别为1年、7年和16年的弃耕地的研究发现,随着休耕年限的增长,土壤水分、有机碳和全氮呈增加趋势,而土壤pH呈下降趋势。刘世梁等(2002)研究了不同人工林种植年龄下的土壤退化情况,发现随着种植年龄的增加土壤性状有所改善,但人工林种植50年后仍没有达到自然林的水平;同时随着人工林的种植年龄增加,有机碳与全氮的含量



也相应增加,并且呈现出密切的相关性。针对典型草原不同围封年限土壤碳氮储量的研究表明,随着围封年限的增长,土壤碳氮含量呈增长趋势且在围封 14 年后植物和土壤各项理化指标达到最大值(2011)。对亚高山地区不同恢复阶段针叶林的研究表明,随着恢复年限的增加,人工林物种多样性呈增加趋势,土壤容重、含水量、有机质含量等指标也随物种多样性的增加而呈现增长趋势(吴彦等,2001)。Zuo 等(2009)对科尔沁沙地 0 年、11 年和 20 年三种不同围封年限的沙丘的植被和土壤研究表明,植被的覆盖度、物种多样性、有机碳、全氮和电导率的平均值随着围封年限的增加呈增加趋势且地统计学分析表明土壤有机碳、全氮、电导率、黏粒含量及 0~20 cm 土壤水分含量的空间异质性在 0~11 年先锋沙地植物向灌丛演替的阶段呈增加趋势而后呈降低趋势。Ren 等(2007)对鹤山丘陵地退化牧场 20 年的自然恢复研究发现,经过 20 年的恢复,土壤有机碳、可溶性氮、速效磷和速效钾已经恢复到了顶级群落的水平。

(三)植被恢复对土壤生物性质的影响

土壤微生物在生态系统多样性和功能的恢复过程中扮演着重要角色,通过微生物群落的观测和处理能够加速退化生态系统的修复(Harris,2009)。由于微生物对外界的胁迫反应要比植物和动物敏感(Panikov,1999),土壤微生物指标常被用来评价退化生态系统中生物群系与恢复功能之间的联系并能为退化土地恢复提供有用的信息(Harris,2003)。植被对微生物的影响主要通过两个途径,一是通过改变土壤结构和性质来改变微生物的生长环境,二是通过根系分泌物对微生物区系特别是根系的微生物群落产生影响。土地利用改变和植被的恢复对土壤微生物的影响主要存在于不同的植被类型和不同的恢复年限的影响两大方面。

不同的植物群落、不同植被类型对土壤微生物在土壤中的分布、数量、种类以及微生物的生理活性产生很大的影响。对草地、林地和农田的土壤微生物多样性的研究表明,草地和人工林的遗传多样性相近,而草地、人工林土壤与农田土壤细菌的遗传多样性差异较大(杨官品,2000)。Hedlund(2002)对弃耕地人工撒播 15 种混合植物种子和自然恢复两种恢复模式的研究发现,2 年之后,微生物的群落结构均发生改变,人工播种的样地细菌菌群增加且显示出高的微生物活性和生物量,AM 真菌的生物量降低。赵吉等(1999)对锡林河流域的六种不同植物群落作为研究对象进行了土壤各类群微生物量的测定分析。结果表明,不同植物群落下微生物的组成及其生物量均有差异,不仅表现在总生物量上,而且在不同类群生物量的组成比例上也因不同生境而异。森林恢复类型对土壤微生物生物量碳、细菌数量