

Study on the Collaborative Mechanisms of
Vegetation and Soil Restoration

植被与土壤 协同恢复机制研究

闫东锋 著



科学出版社

国家自然科学基金面上项目：

不同植被恢复策略下土壤与植物根系的协同演替机制（30872019）

林木幼苗对切根的生理生态响应及根-冠互作机制（31570613）

Study on the Collaborative Mechanisms of
Vegetation and Soil Restoration

植被与土壤 协同恢复机制研究

闫东锋 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以太行山低山丘陵区植苗造林和播种造林所形成的典型植被为研究对象,通过野外调查和室内分析,采用数量化分析方法,研究了植被恢复措施与演替阶段植被群落数量特征、土壤发育特征及二者之间的协同机制。本书从物种多样性、地表层根系和凋落物、天然更新等方面系统开展了植被与土壤发育的协同机制研究,建立了植被群落演替-土壤发育协同度模型、修正演替度指数模型和土壤发育综合评价指数模型,研究成果对阐明植被群落演化机理、开展植被恢复机理研究和指导林业生态建设具有参考价值。

本书可供林学、生态学、生物学、环境科学、森林保护学等专业的本科生、研究生以及从事相关专业的研究人员、工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

植被与土壤协同恢复机制研究 / 闫东锋著. —北京: 科学出版社, 2018.3
ISBN 978-7-03-056883-0

I. ①植… II. ①闫… -III. ①太行山-丘陵地-植被-生态恢复 ②太行山-丘陵地-土壤-生态恢复 IV. ①Q948.15 ②X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 048371 号

责任编辑: 孙 宇 / 责任校对: 邹慧卿
责任印制: 张欣秀 / 封面设计: 有道文化
联系电话: 010-64035853
电子邮箱: houjunlin@mail.sciencep.com

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2018 年 3 月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 252 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

植被恢复涉及不同生境类型和广泛区域，其作为生态修复工程的主要措施，在许多国家受到越来越多的重视。在全球范围内，通过人工造林或天然更新，20亿公顷的森林得以恢复。相较于退化的生态系统，植被恢复提升了15%~84%的生物多样性，提高了植被结构完整性的36%~77%。植被恢复是帮助受损的生态系统恢复的一个长期的动态过程，其最终目标是建立一个自我支持的生态系统，能够恢复生态系统的结构和功能。因此，植被恢复不但体现在植被种类组成和结构上，也体现在环境的改变上，而植被与环境之间的关系极为复杂，一直是生态学研究的重点之一。

植被恢复的过程也是生态系统的演替过程，在其演替过程中，生物中的植被演替与环境中的土壤发育是同时进行的，植被恢复与土壤发育是息息相关的一个过程的两个方面。植被演替的过程，是植物对土壤不断适应和改造的过程。在土壤-植被体系中，土壤和植被是相互依存的两个因子，两者总是协同发展的。土壤发育的过程影响了植被恢复的速率，而植被恢复进程又通过反馈制约着土壤的形成和发育过程。因此，在植被恢复与重建过程中，探索植被恢复过程中的植物群落演替规律以及土壤发育特征，揭示植被恢复和重建的生态学机理，建立一套成熟的植被恢复状态现时评价指标体系，确定明确的植被恢复目标成为恢复生态学的研究重点。

植苗造林和播种造林是最常见的造林技术措施，植苗造林和播种造林所形成的植被具有不同的演替进程，其植被-土壤协同机制存在一定差异性规律。研究不同植被恢复措施下植被演替与土壤发育的关系，揭示群落演替过程中土壤发育的演化机制，认识植被对土壤发育的作用，对探寻植被恢复机理具有重要意义。

但是,前人对植被与土壤关系的研究大多只对不同恢复状态或恢复年限区域做植被调查和土壤性质分析,再通过某些试验结果来归纳一般的规律。但由于植被恢复地的多样化,更需要通过不同演替阶段的比较研究,采用数量生态学和实验相结合的方法,才能得出更符合实际的结论和规律。鉴于此,本研究采用野外生态学调查方法,运用数量生态学的研究思路,探讨不同恢复阶段植被和土壤诸因子的变化规律,综合分析多个植被和土壤因子相互演变的关系,分析不同恢复阶段植被演替和土壤发育交互响应机制。该方法体系对于开展植被-土壤协同体系的研究具有重要参考意义。

河南太行山低山丘陵区属于易受破坏的生态脆弱地区,是河南省黄河流域水土流失最严重的区域,其生态系统退化问题在局部地区表现突出。因此,改善和恢复该区域的生态环境成为一项紧迫而艰巨的任务,而采用造林方式改善环境是其中最重要的措施之一。本研究以太行山低山丘陵区播种造林和植苗造林所形成的植被恢复区域为研究对象,以数量化研究方法为主要手段,对不同恢复阶段植被演替特征、土壤发育特征和植物根系分布特征等进行调查分析,探讨植被演替与土壤发育的协同关系,揭示植被恢复与土壤发育的正负反馈机制和关键影响要素,以深化植被演替与土壤发育理论的研究,为半干旱区退化生态系统植被建设提供科学依据。

闫东锋

2018年2月18日

前言

1 植被恢复研究及其意义	001
1.1 恢复生态学理论与实践	001
1.2 植被恢复与重建研究	003
1.3 植被恢复技术措施	004
2 植被与土壤协同机制研究进展	007
2.1 植被恢复特征	007
2.1.1 植被演替及恢复理论	007
2.1.2 植被恢复的研究方法与实践	008
2.2 植被凋落物及根系的生态功能	012
2.2.1 根系特征及其生态功能	012
2.2.2 凋落物特征及其生态功能	014
2.3 土壤发育与质量评价	015
2.3.1 土壤质量评价理论与应用	015
2.3.2 植被恢复与土壤发育	017
2.4 存在的问题	020
3 本书研究区概况	021
3.1 地形地貌	021
3.2 气候和土壤	022
3.3 植被概况	022

3.4	生境特点	023
4	研究内容、关键问题和技术路线	025
4.1	研究内容	025
4.2	研究目标	026
4.3	关键问题	026
4.4	技术路线	027
4.5	关键技术	028
5	样地设置与调查	029
5.1	样地选择	029
5.2	样地设置	031
5.3	植被调查	031
5.3.1	乔木层调查	031
5.3.2	演替与更新层调查	033
5.3.3	灌木层与草本层调查	033
5.3.4	凋落物层调查	035
5.3.5	地表根系调查	035
5.4	土壤调查	036
5.4.1	土壤调查与取样	036
5.4.2	土壤物理性质测定	037
5.4.3	土壤化学性质测定	037
5.5	环境因子调查	038
6	播种和植苗造林条件下植被恢复数量特征	039
6.1	演替阶段的量化与识别	039
6.1.1	研究方法	039
6.1.2	演替阶段识别评价指标体系	045
6.1.3	基于主成分分析的演替阶段的量化与识别	046
6.1.4	基于灰色关联聚类的演替阶段的量化与识别	049
6.1.5	基于 DCA 排序的演替阶段的量化与识别	053
6.1.6	演替阶段划分与识别结果	054
6.2	不同演替阶段植被优势种群数量特征	055

6.2.1	研究方法	055
6.2.2	不同演替阶段乔木优势种群特征	059
6.2.3	不同演替阶段灌木优势种群特征	065
6.2.4	不同演替阶段草本优势种群特征	071
6.3	不同演替阶段物种多样性的变化规律	079
6.3.1	研究方法	079
6.3.2	不同植被恢复措施下不同演替序列物种多样性的变化规律	080
6.3.3	不同植被恢复措施下物种多样性差异规律	083
6.4	不同演替阶段更新演替数量特征	085
6.4.1	研究方法	085
6.4.2	更新树种组成分析	085
6.4.3	更新种物种多样性分析	088
6.4.4	主要更新优势种更新数量分析	089
6.4.5	主要更新优势种重要值及生态位分析	093
6.5	不同演替阶段植被生物量及元素分配	095
6.5.1	研究方法	095
6.5.2	乔木林生物量及分配	095
6.5.3	灌、草生物量及元素分配	097
6.5.4	植物总生物量	100
6.6	不同演替阶段植被凋落物数量特征	101
6.6.1	研究方法	101
6.6.2	凋落物生物量及养分特征	102
6.6.3	凋落物水文特征	104
6.7	不同演替阶段地表根系结构及分布特征	117
6.7.1	研究方法	117
6.7.2	地表根系结构特征	117
6.7.3	地表根系分布特征	119
6.8	播种造林和植苗造林条件下植被演替程度评价	122
6.8.1	植被修正演替度指数模型的建立	122
6.8.2	播种造林和植苗造林植被恢复修正演替度指数	123
6.9	小结与讨论	124

7	播种造林和植苗造林条件下土壤发育数量特征	130
7.1	不同演替阶段土壤水文物理特性的变化规律	130
7.1.1	研究方法	130
7.1.2	土壤物理特性	131
7.1.3	土壤水分变化特征	134
7.1.4	土壤渗透能力及其影响因素	138
7.2	不同演替阶段土壤化学特性变化规律	145
7.2.1	土壤 pH 值	145
7.2.2	土壤有机质	146
7.2.3	土壤全 N、全 P、全 K	146
7.2.4	土壤养分指标间的相关性	148
7.3	播种造林和植苗造林植被土壤发育质量数量化评价	149
7.3.1	土壤发育综合评价指数的建立	149
7.3.2	播种造林和植苗造林植被土壤发育综合评价指数	151
7.4	小结与讨论	153
8	植被与土壤协同恢复机制的数量化研究	156
8.1	物种多样性与土壤发育因子的数量化耦合	156
8.1.1	研究方法	156
8.1.2	植苗造林条件下物种多样性与土壤发育因子的耦合关系	157
8.1.3	播种造林条件下物种多样性与土壤发育因子的耦合关系	161
8.2	地表植物和凋落物与土壤养分的数量化协同关系	164
8.2.1	研究方法	164
8.2.2	地表植物地上部分生物量、养分与土壤养分的协同关系	165
8.2.3	地表植物地下部分生物量、养分与土壤养分的协同关系	167
8.2.4	凋落物生物量、养分与土壤养分的协同关系	170
8.3	地表根系与土壤发育的数量化协同关系	172
8.3.1	研究方法	172
8.3.2	根系参数与土壤发育特性指标的典型相关	173
8.3.3	根系参数与土壤有机质、土壤全 N 的相关分析	175
8.3.4	主要根系参数与土壤有机质、土壤全 N 的回归模型	176
8.4	天然更新与土壤发育的数量化协同关系	178

8.4.1	研究方法	178
8.4.2	影响幼苗密度的土壤发育因子主成分分析	179
8.4.3	幼苗密度与土壤发育因子相关分析	180
8.4.4	幼苗密度与土壤发育因子的通径分析	181
8.4.5	幼苗密度与土壤发育因子的逐步回归模型	182
8.5	植被-土壤生态系统协同效应现时评价	183
8.5.1	现时评价模型建立的背景	183
8.5.2	现时评价模型的建立	183
8.5.3	现时评价模型的检验	184
8.6	小结与讨论	189
9	结论、讨论与展望	194
9.1	结论	194
9.2	讨论	199
9.3	展望	201
	主要参考文献	204

植被恢复研究及其意义

1.1 恢复生态学理论与实践

森林是陆地生态系统的主体,具有复杂的结构和功能。森林在保障生态安全、保护生态环境、维持生物多样性、减免自然灾害、调节全球生物地球化学循环和碳平衡等方面起着极其重要和不可替代的作用。森林还为人类提供了大量的木质林产品和非木质林产品,并具有历史、美学、文化、休闲等方面的价值(P. Meli et al., 2017; R. Manning, et al., 1999; 罗东辉等, 2010)。恢复生态学是一门关于退化生态系统恢复的学科,这个学科术语最初是由英国生态学者 Aher 和 Jordan 于 1985 年提出的,他们奠定了恢复生态学的基础,他们虽然没有给出恢复生态学明确的学科定义,但强调了恢复与生态管理技术的概念(程冬兵等, 2006; B. J. Browning et al., 2010; G. Campetella et al., 2011; M. A. Etterson et al., 2007; P. V. Gassibe et al., 2011)。恢复生态学始于 20 世纪 80 年代,它不仅与生态学的许多分支学科如群落生态学、景观生态学、保护生态学等密切相关,而且与生态学外的许多学科如地理学、土壤学、工程学、环境化学、经济学等存在着一定的交叉。国际恢复生态学会(SER)曾几次对生态恢复的定义进行修订,最终将其定义为:生态恢复(ecological restoration)是指依据生态学原理,利用生物技术和工程技术,通过恢复、修复、更新、改良、改造和重建受损或退化的生态系统和土地,恢复生态系统的功能,提高土地生产潜力的过程(C. A. Burga et al., 2010; 安慧等, 2011; 张春雨等, 2009)。

国外的相关研究主要有退化林地恢复、废矿地恢复、湿地恢复和草地恢复等。

我国是较早开展生态恢复实践和研究的国家之一,最初的研究以土地退化,尤其是土壤退化为主(蓝良就等,2011;赵伟等,2010;梅雪英和张修峰,2007;郑粉莉等,2010)。从20世纪50年代开始,许多专家学者对生态系统退化的过程、特点、机制及恢复与重建的理论、方法、技术和实践等方面开展了全面研究(彭少麟,2002;郭帅等,2011)。国际恢复生态学会(2013)提供了一个包括9个生态系统属性的指导方针:①与参考植被相比,多样性和群落结构的相似性;②本土物种的存在;③群落长期稳定所必需的功能群的存在;④物质环境保持繁殖种群的能力;⑤植被功能;⑥与景观融合;⑦消除潜在威胁;⑧抵御自然干扰;⑨可持续性。测度所有这些植被属性可能会对生态恢复有一个可信的评价,但是,这些指标的获取往往需要长期的研究,而大部分的生态恢复项目很少持续超过5年。

恢复生态学(Restoration Ecology)是一门在20世纪80年代以来得到迅速发展的现代生态学分支学科。重建已损害或退化的生态系统,恢复生态系统的良性循环和功能过程,称为退化生态系统的恢复。恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法、生态学过程与机理的学科。恢复生态学是一门综合性很强的学科,应针对不同的退化生态系统及所要达到的不同恢复目标采取不同的恢复措施。恢复生态学这一名称,基本上是以其功能来命名的。由于退化生态系统的恢复和重建过程有很大程度的人为促进因素,并且这个过程是相当综合及在生态系统层次上进行的,因而恢复生态学在一定意义上可以说是一门生态工程学(Ecological Engineering),或是在生态系统水平上的生物技术学(Biotechnology)(A. L. Clark et al., 2011)。有些学者因而以其技术特点为理由,称之为合成生态学(Synthetic Ecology)。

恢复生态学的研究对象为退化的生态系统,即由于人类和自然灾害的干扰作用,生态系统的原有特性受到破坏,生态系统的物质循环、能量流动和信息联系等诸多方面均发生了变化和障碍,形成破坏性的波动或恶性循环(马姜明等,2010; S. Matuszewski et al., 2010; E. Styger et al., 2007)。其研究内容可以粗略地概括如下:①干扰和受损,在人为或自然因素的干扰下,生态系统的结构与功能便会发生位移,原有生态系统的平衡被打破,系统的结构和功能发生变化,形成受损生态系统或退化生态系统;②受损机理与受损过程,即研究生物个体、种群、群落及环境在不同程度致损因子的作用下的反应和表现,找出生态系统受损害的临界值,从而为制定恢复措施和揭示退化的实质提供依据;③恢复目标与恢复措施。

1.2 植被恢复与重建研究

美国是世界上最早开展生态恢复研究与实践的国家之一,自 20 世纪 50 年代以来,就陆续在温带草原、北方阔叶林和混交林、热带雨林、采矿地以及沼泽地等生态系统开展了植被的恢复与重建研究,探讨了采伐破坏或干扰后系统生态学过程的动态变化及其机制研究,取得了重要发现(L. A. Villarin et al., 2009; N. P. Mcnamara et al., 2007; G. P. Karev et al., 2008)。另外,欧盟国家,比如德国在大气污染(酸雨等)胁迫下的生态系统退化、北欧国家在寒温带针叶林采伐迹地的植被恢复等方面开展了大量的恢复实验研究。而在澳大利亚、非洲大陆和地中海沿岸的欧洲各国,研究的重点则是干旱土地退化及其人工重建。当前在恢复生态学理论和实践方面走在前列的是欧洲和北美,在实践中走在前列的还有新西兰、澳大利亚和中国,其中欧洲偏重矿地恢复,北美偏重水体和林地恢复,而新西兰和澳大利亚以草原为主(N. J. C. Gellie et al., 2017; C. E. Wainwright et al., 2017)。

国外生态恢复研究主要表现出如下特点。①研究对象的多元化。主要包括森林、草地、灌丛、水体、公路建设环境、机场、采矿地、山地灾害地段等在大气污染、重金属污染、放牧、采用等干扰体影响下的退化与自然恢复。②研究积累性好、综合性强,涉及生态功能群的方方面面如植被、土壤、气候、微生物、动物。③生态恢复研究的连续性强,特别注重受损后的自然生态学的过程及其恢复机制研究。④注重理论与试验研究。良好的环境是人类赖以生存的基础,将来人类对环境会更加重视,生态恢复将成为一个热门。

我国是世界上生态系统退化类型最多、山地生态系统退化最严重的国家之一,同时也是较早开展生态重建实践和研究的国家之一(孙长安等, 2008)。近年来,我国有关生态系统退化的研究除继承前期的研究内容外,重点逐渐转移到区域退化生态系统的形成机理、评价指标及恢复重建的研究上,在生态系统退化的原因、程度、机理、诊断以及退化生态系统恢复重建的机理、模式和技术方面做了大量的研究(周璟等, 2009; 李飞等, 2011; 曹靖等, 2009),同时提出了一些具有指导意义的应用基础理论,对退化生态系统的定义、内容及恢复理论也有了一定的完善和提高,重点在侵蚀退化生态系统植被恢复的理论研究方面形成

了以生态演替理论和生物多样性恢复为核心,注重生态学过程的多层次的、时空优化调控的植被恢复与重建理论与实践(任丽娜等,2010;陈英义等,2008;张野,2010)。这些研究为区域自然资源的持续利用和生态环境的改善发挥了重要的作用。我国近40年来的生态恢复重建研究的主要特点是:①涉及范围广,密切结合生产实际,研究范围涵盖森林、草地、农田到水域等方面;②实践重于基础理论研究;③注重人工重建研究,特别注重恢复有效的植物群落模式试验。

生态恢复与重建研究存在的问题主要有以下几个方面:①对植被恢复与重建的内涵认识不够,往往把植被恢复与造林等同起来;②恢复实践研究较多,基础理论研究偏少;③注重人工重建研究,相对忽视自然恢复过程的研究;④注重短期的恢复效益研究,缺乏生态恢复的长期定位研究;⑤生态要素退化方面主要关注土壤退化和植被退化,而对动物、微生物、水文等方面的研究较少;⑥对生态退化的原因、类型等研究较多,而对生态退化的驱动机制研究较少;⑦缺少从整个生态系统水平进行的生态退化的综合研究,缺乏对生态恢复重建的生态功能和结构的综合评价。

1.3 植被恢复技术措施

植被恢复工程,是指利用生物(主要指植物)措施对受害生态系统进行植被恢复,建立一个新的植物群落,以达到恢复生态环境之目的。对破坏的生态系统进行植被恢复,其作用主要表现为生态效应和景观效应。因此,植被恢复是生态恢复的重要研究内容。而生态恢复作为一种实践,它的理论基础是恢复生态学。恢复生态学这一名称最早由英国学者 Bradshaw 和 Chadwick 于1985年在研究废弃地的管理和恢复中提及。如今恢复生态学已成为一门独立的学科,但人们对这一概念的内涵仍存在着不同的理解。J. Aronson 等(2017)把恢复生态学定义为“有意识地改造一个地点,建成一个确定的、本土的、历史的生态系统的过程。这个过程的目的是竭力仿效生态系统的结构、功能、多样性和动态”。蒋高明等(1995)将恢复生态学定义为“对退化生态系统或破坏的生态系统或废地进行人工恢复途径研究的科学”。余作岳等(1996)则认为恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术和方法、生态学过程与机理的学科。张光富等(2000)认为恢复生态学是研究退化生态系统的成因与机理,兼顾社会

需求,在生态演替理论的指导下,结合一定的技术措施,加速其进展演替,最终恢复建立具有生态、社会、经济效益的可自我维持的生态系统。

通过植被恢复和重建,构建完整的植被生态系统,形成稳定的植物群落,可以实现人造景观与周围自然景观的协调,从而发挥森林改善生态环境、涵养水源、保土固土等作用,提高国土安全。植被护坡技术主要有播种造林和植苗造林两大类。植苗造林的应用范围很广,开展的研究工作也很多。播种造林由于存在种子发芽率及苗木成活率较低、早期生长慢、对不良环境条件的抵抗能力弱、易受到杂草压迫等缺点(J. Evans, 1982),因而常常得不到理想的效果。但是近年来,播种造林在许多国家都得到了广泛的关注,特别是在以乡土树种为主的植被恢复技术中已经表现出了强大的应用潜力。目前,日本已经开发了100多种播种技术的施工方法,并建立了处于世界领先水平的绿化技术体系——通过播种早期实现森林化技术。我国也有关于干旱、半干旱地区播种造林技术的研究报道(杨喜田, 2003)。人们逐渐认识到播种造林对于营造具有与天然林相近的功能和形态、结构复杂、抗逆性能强的植物群落或者说具有丰富的物种多样性的植物群落是十分重要的。植被生态功能的有效发挥,不仅仅看地表的覆盖,关键还要看其结构,特别是地下根系系统的结构。不同来源(播种造林和植苗造林)所形成的森林,其结构和功能必然存在较大的差异。另外,不同树种、树龄,不同立地条件(水分、土壤硬度、坡度等)下,所形成的根系系统的结构肯定会存在很大差异。

目前,植被恢复普遍采用的施工方法主要有植苗造林和播种造林。植苗造林虽然是一种最为传统和被普遍采用的施工方法,但与播种造林相比存在着许多缺点,如根系发育不健全,根量多,但是根细、根短,抵抗自然灾害的能力弱,易形成植物种单一的群落等。从自然现象中,我们也可以发现起源于植苗造林的树木,其根系细、短,数量多,垂直根消失,根系生长范围狭窄;而起源于播种造林的树木,其根系粗、长,数量少,垂直根发达,根系生长范围广。因此,播种造林能迅速形成结构复杂、抗逆性能强的植物群落,是较为理想的植被恢复方法,并且在许多国家都得到了广泛的关注(D. Sun et al., 1995)。但是,这些研究都是在气候湿润的地区进行的。在自然气候条件和土壤条件都比较严酷的干旱、半干旱地区,采用简单的播种造林技术常常得不到理想的效果。营养钵苗由于比裸根苗具有更加良好的根系系统,近年来在植被恢复过程中得到了普遍应用。但是,营养钵苗又存在着根系团绕、地上部生长不良以及成活率低等缺点。

植被的恢复与重建是退化生态系统恢复与重建的重要内容。被恢复的植被生态系统，其功能的有效发挥，不仅仅要看地表的覆盖，关键还要看其结构，特别是地下根系系统的结构。根系作为植物直接与土壤接触的器官，是构成植物的主要部分，是陆地生态系统生物能存在的一种形式。根系不仅支撑着地上部，而且还起着吸收水分、养分，以及保护土壤安定和树木本身安定的作用，根系还直接参与土壤中物质循环和能量流动两大生态过程，对土壤结构的改善、肥力的发展和土壤生产力的提高，均起着重要的作用。

大面积植被破坏后的严重水土流失，是加剧生态系统退化的主要原因。这类退化生态系统土地贫瘠、水源枯竭、生态环境恶化，从而严重地制约着农业生产的发展和影响人类生存空间的质量。如华南地区每年约有 500 万~600 万 hm^2 的土地失去再生产能力。如何进行综合整治、使退化生态系统得以恢复，是提高区域生产力，改善生态环境，使资源得以持续利用、经济得以持续发展的关键。显然，植被恢复与重建具有重大的生态效益、经济效益和社会效益，对生态环境和国民经济建设均具有重要的现实意义和深远的历史意义。

2.1 植被恢复特征

2.1.1 植被演替及恢复理论

演替是生态学的一个普遍的法则 (M. Fukushima et al., 2008; G. Campetella et al., 2011), 是指一个植物群落为另一个植物群落所取代的过程, 这个过程是持续的、永不停止的 (J. Leprun et al., 2009; L. Neumann-cosel et al., 2011)。演替按起始条件可分为原生演替 (Primary Succession) 和次生演替 (Secondary Succession)。从原生裸地上开始的群落演替, 即为群落的原生演替; 次生演替的最初发生是外界因素的作用所引起的 (A. Rammig et al., 2007)。与次生演替相比, 原生演替的速度要缓慢得多。同时, 原生裸地一般都是在特殊的气候或地质条件下形成的, 容易获得的原生演替的事例相对较少, 所以, 对植被原生演替的研究也很少 (S. Matuszewski et al., 2010; J. Hartter et al., 2008)。但是近年来人类活动的加剧导致了大量人工原生裸地的产生, 这些人工裸地产生了许多环境问题, 所以对人工原生裸地进行植被恢复的问题日益受到人们的关注 (M. Kalacska et al., 2007)。而且植被原生演替理论是原生裸地植被恢复的理论基础, 所以, 近年来对植被原生演替过程和规律的研究有逐渐增加的趋势 (N. C. Banning et al., 2008; 刘宪钊等, 2010; 佟静秋等, 2009)。

植被演替是生态学的重要研究内容, 也是生物界最常见的自然现象之一 (D. R. Visscher et al., 2009)。长期以来, 生态学家相继提出了各种各样的演替理论或假说 (D. Liebsch et al., 2008), 迄今还没有一个统一的演替理论或模式 (T.