

南方红壤区侵蚀退化马尾松林地生态恢复研究*

马志阳, 查 轩

(福建师范大学 地理研究所, 福州 350007)

摘 要:我国南方红壤区严重侵蚀退化马尾松林地土壤极度贫瘠,加之退化面积广等因素,导致其恢复的难度加大,如何恢复侵蚀退化马尾松林地成为当前面临的一个艰巨而又迫切的任务,因此加快相关方面的研究和治理,探讨其退化机理,解决生态恢复关键技术,对于推动红壤区的生态建设具有重要意义。该文从土壤退化、人为因素、马尾松的生物学特性等方面阐述了马尾松林地的退化机理,总结了退化马尾松林地生态恢复的途径和模式及其产生的生态环境效应,并提出了马尾松侵蚀退化林地进一步研究的展望,以期为退化马尾松林地生态修复的后续研究作一参考。

关键词:红壤;马尾松林地;生态恢复

中图分类号:S157;S791.248

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0188-06

Research on Ecological Recovering of Erosive Degraded *Pinus massoniana* Woodland in Red Soil Region of Southern China

MA Zhi-yang, ZHA Xuan

(Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In the red soil area of southern China, because of erosion and degeneration of *Pinus massoniana* woodland, extremely leanness of soil and large degeneration area, it is difficult to recover ecology of degenerated *Pinus massoniana* woodland. How to recover the eroded and degenerated *Pinus massoniana* woodland has been an arduous and insistent mission. So, it is significant for driving zoological construction of red soil to expedite correlative research and disposal, probe into mechanism of its degeneration and resolve critical technique problem of recovering resuming ecology. In this thesis, we expatiate on degenerating mechanism of *Pinus massoniana* woodland in light of soil degeneration, man-made factors and biological characteristics of *Pinus massoniana*, and then summarize approaches and modes for recovering ecology of degenerated *Pinus massoniana* woodland. In the end, we provide a view of further research on how to recover eroded and degenerated *Pinus massoniana* woodland, in order to provide reference for future research on how to recover ecology of degenerated *Pinus massoniana* woodland.

Key words: red soil; *Pinus massoniana* woodland; ecological recovering

我国南方红壤区面积占全国土地面积的 22.7%^[1],红壤地区已成为我国水土流失范围最广、程度较高的地区,严重程度仅次于黄土高原^[2],土壤作为动植物生长与生存的载体和物质基础,土壤的丧失将导致整个生态系统的瓦解与崩溃,所谓“皮之不存,毛将焉附”。作为我国南方红壤区分布最广的马尾松林,势必受其影响,制约马尾松林生态系统的发展,土壤的严重侵蚀退化,土壤结构的变化、肥力和水源涵养性能的下降使马尾松林地生境恶化,进而造成马尾松林的退化以至于形成“小老头树”,加之土壤发育的迟缓性,马尾松分布区人工群落树种单一,林种、树种结构不合理,人为破坏等因素,这种大面积“小老头树”针叶林地土壤侵蚀与土壤退化形势在短时间内难以逆转,恢复的难度极大。严重的水土

流失,土壤肥力退化和环境恶化已危及生态系统的可持续发展,当地社会的和谐发展,深入研究马尾松林地土壤退化与土壤侵蚀演变过程及水文、生态效应评价与生态恢复模式和技术研究,已成为当务之急。

1 南方红壤区马尾松林地侵蚀退化机理及其特征

1.1 土壤退化机理

土壤退化(soil degradation)是指在各种自然,特别是人为因素影响下所发生的导致土壤的农业生产能力或土地利用和环境调控潜力,即土壤质量及其可持续性下降(包括暂时性的和永久性的)甚至完全丧失其物理的、化学的和生物学特征的过程,包括过去的、现在的和将来的退化过程,是土

* 收稿日期:2007-12-07

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407207);国家自然科学基金项目(40571095);福建省自然科学基金项目(D0410016);福建省教育厅项目(JA050198)

作者简介:马志阳(1980-),男,在读硕士,主要从事山地土壤侵蚀与生态恢复研究。E-mail:mazy0108@qq.com

通信作者:查轩(1961-),男,陕西咸阳人,研究员,主要从事土壤侵蚀与水土保持生态方面的研究。E-mail:xuancha@pub5.fz.fj.cn

地退化的核心部分^[13]。

关于红壤区马尾松林地土壤退化研究,主要集中在红壤的岩性特质方面。红壤的退化主要表现为土壤养分的减少和结构的恶化;一旦下部抗蚀性差的砂土层、碎屑层露出地表,侵蚀迅速成倍增加,这种砂质侵蚀土壤极为贫瘠,植物有效水分枯竭,生产力的恢复十分困难^[4],不仅全面破坏原有的土壤特性,而且毁坏整个土体。如生长在花岗岩母质发育的红壤在侵蚀退化过程中,出现明显的逆向发育现象,失去A、B、C层和谐排列的土体构型,土壤的水肥气热条件及调节功能也随之恶化和降低,显然又会影响到植物(或作物)根系的生长和发育。土壤微形态分析结果说明,随着土壤薄层化过程的发展,矿物的铁质化和黏化现象逐渐变弱,长石和云母的蚀变过程降低,而半风化的碎屑物增多,使土壤具有逆向性发育的特点^[5]。张桃林^[8]等指出就土壤特性本身而言,南方红壤区土壤的可蚀性(K值)较高,是造成本区侵蚀退化较为严重的主要内在因子。也有研究者从土壤的外界环境等方面作了阐述。赵其国^[6]等指出土壤养分含量和土壤侵蚀程度显著相关,土壤作为植物生长的介质,良好的土体构型可为植物提供适宜的生长环境,使其具有较好的保水保肥、耐旱耐涝、通气透水、导热性强等特性,同时具有良好的协调供应植物所需水肥的能力。坡形、坡位主要影响成土母质的堆积形式,从而影响到土层厚度及养分和水分的重新分配,进而影响到马尾松的生长^[7]。

万勇善^[4]等揭示了南方花岗岩侵蚀区土壤退化的主要特点:土壤质地发生突变;土壤养分迅速降低;土壤结构恶化;土壤水分趋向枯竭;土壤发育方向逆转。

1.2 马尾松林地群落结构单调,生物多样性丧失

在生态系统中,生物多样性是建立在植物多样性基础上的^[9]。马尾松林的群落结构很简单,上层乔木仅有单纯的马尾松种群,几乎无明显亚层可划分,而且林分质量差,密度稀疏,分布不均,长势弱。我国中亚热带东部地区常绿阔叶林主要类型的群落物种,在400 m²的样地面积中,植物总丰富度平均有49种,其中乔木层15种,灌木层26.1种,草本层7.9种,各层次的物种多样性指数表现为灌木层(包括幼树和幼苗) > 乔木层 > 草本层。而马尾松林下植物稀少,下木层没有或下木种类、株数极少。草本层以簇生茅草为主,盖度多在30%以下,植物群落很不稳定,呈逆向演化^[10],如福建省长汀县马尾松林退化地,地表植物以马尾松小老头树和少量芒萁和野古草为主,马尾松密度925株/hm²,平均树高为0.8 m,平均地径为3.1 cm,树龄为20 a左右,盖度为0.2,无植被地方近于光板地,由于土壤侵蚀严重,立地条件差,部分马尾松根系裸露。

常绿阔叶林、针阔混交林的物种多样性明显高于马尾松林,意味着马尾松林群落的物种多样性严重丧失。加之大规模消灭荒山的造林和前期森林经营形成大面积马尾松人工纯林,其树种单一,林分中其他生物种类很少,多样性指数低^[11]。查轩^[12]等研究指出退化的针叶林植被组成单一,林下草灌等地被物稀疏,表土层因缺少枯落物覆盖而受雨水冲刷致使养分流失严重,有机质含量低,土壤孔隙状况不良,砂

粒含量较大,不利于保持水分,适于微生物活动的环境条件变劣,使本已受到破坏的土壤生态系统更加不稳定,加剧土壤退化速度。

1.3 人为破坏和不合理的经营方式对马尾松林地的影响

土壤退化速度加剧,肥力下降;马尾松林地物种单一,生物多样性丧失,二者合一很容易形成“老头松”林的奇观,加大恢复治理的难度。加之人为破坏和不合理的经营方式使得形势更加严峻。人类活动深刻影响着自然成土过程,改变土壤肥力及土壤质量的变化方向^[13]。

我国针叶林分布区处于人类经济活动较为活跃的地区,其东部更是人口最为密集、经济发展水平最高的区域,许多退化侵蚀的形成大都与人类活动息息相关。长期以来,此区域人类对针叶林的干扰方式主要包括皆伐、樵采、择伐和辟草炼山等等,这些干扰类型归根到底和当地的营林管理机制及土地利用方式有关,从这些方式的变化中可以折射出马尾松林地侵蚀退化的踪迹。在福建省河田镇,此镇几十年人口翻1倍以上,人均耕地则减少1/2,人口的增长还导致对燃料需求的增加,而河田镇煤、石油等能源奇缺,群众生活必需的能源得不到解决,只好上山砍林木、铲草根,以解决薪柴问题^[14],山地植被严重被毁,致使水土流失逐年加剧,逐渐成为福建省典型的侵蚀退化治理区。

马尾松林地侵蚀退化,除以上影响因素外还受当地自然环境和马尾松生物学特性的影响。马尾松分布集中区多处于中亚热带亚热带季风湿润气候带,历年平均降雨量达1200 mm以上,且变化幅度大,雨量分布不均,如:江西兴国县降雨多集中于4-6月,占到全年雨量的48.5%,并多以暴雨形式出现。单位时间内强大的降雨构成巨大的侵蚀动力^[6],使本来植被单一、地表覆盖率小的马尾松林地侵蚀更加严重。尽管马尾松作为退化地植被恢复的先锋树种,在当前的研究范围和实践中很难被取代,但其本身的生物学特性也使其生态恢复的功效受到一定限制,对其生物学特性同土壤退化及生态恢复的相关程度还待进一步研究。马尾松林地土壤侵蚀退化的诱发因素通常是多方面,是自然因素、人为因素和自然-人类复合因素某一种甚至3种因素的叠加。

2 马尾松侵蚀退化地生态修复研究

Bradshaw(1987)认为,生态恢复是生态学有关理论的一种严格检验,它研究生态系统自身的性质、受损机理及修复过程。Cairns(1995)等将生态恢复的概念定义为:恢复被损害生态系统到接近于它受干扰前的自然状况的管理与操作过程,即重建该系统干扰前的结构与功能及有关的物理、化学和生物学特征。Jordan(1995)认为,是生态系统回复到先前或历史上(自然或非自然)的状态即为生态恢复。

退化生态系统的恢复可以遵循两个模式途径,一是当生态系统受损不超负荷并在可逆的情况下,压力和干扰被去除后,恢复可以在自然过程中发生。另一种是生态系统的受损是超负荷的,并发生不可逆转的变化,只依靠自然力已经很难使系统恢复到初始状态,必须依靠人为的干扰措施,才能使其发生逆转。红壤侵蚀区退化马尾松林恢复的途径主要取决于其植被退化程度、自我恢复能力以及恢复方向等。此

外,还包括其它因素如:气候、地质地形、土壤肥力状况、种源以及经济发展水平、交通条件和科技水平等。

2.1 红壤侵蚀区生态修复的两种基本途径

2.1.1 自然封育

亦称封育、封山育林^[15]。自然封育的方式有全封、半封和轮封等,具有操作简单、经济省事的优点,常用于灌丛林地、稀疏林地和天然林采伐迹地更新等,尤其适宜于交通不便、人口较少、经济发展落后以及不宜人工造林的山区。南方红壤侵蚀区退化马尾松林大多分布于丘陵、山地,这些地方经济交通等条件相对比较落后,在退化程度不是很严重的林地,此种方式应是比较理想的恢复模式。在封育的基础上,适当地加以人为干扰能够加速自然封育的植被恢复和改变其演替方向,次生林改造、稀疏地补植是促进退化植被加速定向演替而常用的方法,人工抚育则通过促进目的种的生长、减少非目的物种干扰,从而有利于退化植被的自然恢复。郭志民^[16]对不同退化马尾松群落的恢复与重建进行试验研究的结果表明:不同退化马尾松群落通过封禁治理,其自然恢复能力不同。植被盖度大于 30% 以上的退化群落可以得到不同程度的恢复,低于 30% 的仅通过封禁难以恢复,较严重退化马尾松群落通过封禁、施肥和抚育管理措施,可以得到恢复;严重退化马尾松群落要通过挖大穴、施基肥、进行多树种多层次混交,才能重建正向演替群落。

亚热带植被恢复的最终目的就是使群落恢复到一个亚热带常绿阔叶林生态系统。裴卫国^[17]等进行的封山育林对群落演替影响的调查表明,封山育林后,群落的建群种会进行自然更替,封禁 10 a 的马尾松林中,马尾松是唯一的建群种,也是将要被逐步取代的消退建群种;在不同封育期的群落内,建群种从针叶树到针叶树和落叶阔叶树并存阶段,再到落叶阔叶树,经过这一系列过程,群落向常绿阔叶林演替。

邓理伦^[18]指出影响马尾松天然更新的主要因子,是林地植被和母树的砍伐季节。通过人为控制林地植被和母树砍伐季节,对于保证马尾松天然更新的成功具有重要意义。天然更新起来的次生林必须进行间伐抚育,才能充分发挥其生产潜力。覃天安等^[19]在广西丘陵区进行的马尾松 4 种不同地类封山育林效果(疏林地包括稀树稀植被类型和稀树密植被类型低产残林、采伐迹地和宜林荒山)研究表明,封育 6 a 后,封育前后林分郁闭度由 0~0.15 提高到 0.6~0.7,灌木盖度由 10%~12.7% 提高到 20%~25.3%,草本盖度由 30%~38.3% 提高到 63.3%~91.7%;这说明,保护母树,促进天然更新,并进行人工补植或补播等措施,使林分郁闭度明显提高,灌草盖度明显增加,有利于水土保持^[20]。可见封育措施是退化马尾松林地生态修复的一种有效途径,但是在要遵循因地制宜的原则,能封者封禁,以减少经济和人力投入,不能封禁地要积极采取相应措施,防止盲目封禁而错过有利的治理时机。

2.1.2 红壤区退化侵蚀马尾松林地修复的基本模式

对于我国南方花岗岩地区不同的退化系统类型,恢复的技术与步骤是不同的,但都必须遵循生态学原理进行。植被恢复是重建生物群落的第一步,在自然情况下要使极度退化

生态恢复成森林是个漫长的过程,通常以人工手段促进植被在短时期内得以恢复。

恢复生态学的研究涉及种群层面、群落层面、生态系统和景观等多个不同的层次^[21],而植被恢复模式也因研究的层次而异。植被快速恢复、生态系统重建成功的原因,主要是乔、灌、草复层结构的优化配置和建立良好的树种合理互补关系,这是退化生态系统恢复成功的关键。郭晓敏^[22]等对江西 5 种不同类型退化荒山生态系统的特点确定各自的恢复重建目标,并分别设计出不同的恢复模式,对于强度侵蚀的裸露荒山和石砾茅草荒山,应该快速恢复植被以控制水土流失,仅依靠自然力或单纯种树、种草显然达不到目标,必须利用多层次、多格局、多树种的植物群落的整体作用,造成生境的多样性,增加固土防冲能力,才能逐渐恢复业已退化的生态系统。

自然界的植物群落很少由单一的种类组成,普遍存在的是多种群落,种与种之间存在生态位的联系,多种植物共同组成稳定的群落。林下植被在森林生态系统水源涵养、盐分循环、改良土壤结构、提高生物多样性等方面起到重要作用。姚毅臣^[23]等以水土保持为尺度,系统地评价了乔、灌、草之间组合而成的各种模式优劣,并总结出它们的特点和规律。林下植物的恢复和良好的生长能够维护土壤生态系统的进展过程,防止逆向过程的发生。张桥等^[24]指出促进林下植物的良好生长发育主要方法是通过抚育间伐,调整林分密度,减小林分郁闭度,提高透光度等。另外注意乔、灌、草合理搭配,防止物种结构单一,同时保护和引种土壤动物和微生物也是改良土壤的有效措施。陈志彪^[25]等对长汀县花岗岩马尾松退化生态系统的恢复提出了 4 种主要模式:(1)地被物的快速覆盖模式;(2)以草促林模式;(3)低效林改造模式;(4)乔灌草混交模式。

2.1.3 植被恢复模式和过程中植物物种选择

南方红壤区地形多丘陵,马尾松退化侵蚀地类型多,自然条件差异也大,加上不同母质发育的红壤本身障碍性因素的不同,决定了不同程度的退化侵蚀马尾松林地在恢复过程中植物物种选择的重要性,既要注重物种对土壤的适应性,又要注重它对改良土壤及在防止水土流失等改良生态环境的多功能性,应根据不同的区域、不同类型侵蚀退化马尾松林地的特点,确定各自的恢复过程所需的物种。在进行植被恢复过程中,正确认识植物的属性,不同自然环境,不同的模式,需要什么样的植物物种,实现因地制宜显得尤为重要。在选择地被物的快速覆盖模式中,以百喜草和象草效果较为显著,以草促林模式中草种的选择可有 1 年生禾本科有马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、金色狗尾草 (*Setaria lueticens*)、法氏狗尾草 (*Setaria rindis*)、糠稷 (*Panicum bisulcatum* Thunb.)、千金子 (*Leptochloa chinensis*)、多年生禾本科草有圆果雀稗 (*Paspalum orbicularc*)、宽叶雀稗 (*Paspalum wettreini*)、棕色狗尾草 (*Setaria paenifolia*)、弯穗鹅冠草 (*Roegneria semicoatata*)、卡松古鲁狗尾草 (*Setaria sphaelata*)、荻草 (*Miseathussao chariflowerrras*)、纤毛鸭嘴草 (*Ischaemum ciliare*)、多年生豆科有多花木兰 (*Indigofere*

amkigantha)、胡枝子 (*Lespedeza bialeor*)、格拉姆柱花草 (*Grakai styeo*)、假地豆 (*Desmodium heterocarpum*)、大翼豆 (*Macroptilium atropar*)、望江南 (*Cassia occidentalis*) 以及一年生豆科决明豆 (*Cassin tora*)、鸡眼草 (*Kummerowia striata*) 等^[25]。品种以一年生与多年生、豆科与禾本科、上繁草与下繁草相结合。在乔灌木不同组合混交模式中,有杨曾奖^[26]等提出的马尾松、黎蒴栲混交林。林德喜、樊后保等^[27]研究的马+火力楠、火+苦槠、马+格氏栲、马+青栲、马+拉氏栲 5 种模式。余济云等指出在混交模式中乔本植物以马桑为最佳,草本以本地马鞭草、芦竹为最优选择,马尾松+刺槐+马桑+马鞭草+芦竹改造经营模式为马尾松低质低效次生林的最优改造经营模式^[28]。

2.2 马尾松林地不同恢复途径及模式产生的环境效益分析

在南方红壤区退化马尾松林地进行生态恢复构建后,产生了明显的生态效益。

2.2.1 不同植被恢复措施对土壤质量的影响

土壤质量 (Soil quality) 是指土壤的生产力状态或健康 (Health) 状况,特别是维持生态系统的生产力和持续土地利用及环境管理、促进动植物健康的能力^[29]。土壤质量的核心是土壤生产力,其基础是土壤肥力,土壤肥力是土壤维持植物生长的自然能力。土壤作为生态系统的载体,是陆上动植物生长和生活的场所。如前所述,马尾松林地侵蚀退化的机理主要包括,红壤特质、侵蚀、肥力贫瘠化、物种多样性等方面,所有这些退化过程均将影响土壤的化学过程、物理过程和生物学过程。因此土壤退化和土壤的恢复状况也必然在这几个方面表现出来。

但目前对退化马尾松林地生态恢复途径和措施的认识存在一些不足之处:一是我国学者在研究退化机制和恢复效应时通常采用临时标本地调查和以空间代替时间的研究方法,加上经费的制约,研究的范围和深度有限,结论不可避免地带有片面性。二是评定恢复质量的指标认识还不够统一,不够全面,缺乏系统性;三是在各项土壤性质与管理措施结合比较分析的时候较笼统而不甚明确。

莫江明^[30]指出土壤全磷和有效磷浓度的变化随林型不同而异,其浓度表现为混交林 > 马尾松林,保护样地在停止人为干扰后相对于继续受干扰的处理样地其林地条件得到了改善,从而使土壤有效磷含量也得到提高,植被在改良土壤的过程中,对不同成分有不同的作用方式,导致有不同的累积结果。随着群落的进展演替,土壤养分含量表现为季风常绿阔叶林 > 针阔叶混交林 > 马尾松林^[31]。土壤微生物在土壤物质代谢和循环过程中起着重要作用,是土壤中各种生物化学过程的主要调节者,微生物类群与数量的变化是反映土壤质量的重要生物学指标,刘满强、胡锋^[32]等对退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态变化及其指示意义进行研究结果表明土壤的微生物量呈高度的季节变化,且草地和林地土壤微生物量随土层的加深呈递减趋势^[33]。一般认为侵蚀退化土壤植被恢复过程中土壤微生物量和微生物区系不断改变^[34],姜培坤等对侵蚀红壤治理恢复后土壤微生物量碳、氮进行研究,结果发现经过治理后土壤微生物量

碳、氮都有不同程度的提高。

土壤酶作为表征土壤肥力的一个重要指标,与土壤各肥力因素间有着密切的联系,并受环境条件的影响而变化^[35]。不同生物措施对土壤肥力以及土壤酶活性有不同的影响^[36],余济云^[37]测定分析试验期末混交林林地的细菌含量,结果表明:各种混交模式林地的细菌含量比对照林分别增加 41.4%, 31.8% 和 29.4%。冯蔚徐^[38]利用湿地松、南岭黄檀、胡枝子、马唐和牧草等改造马尾松纯林,改变了林分的性质,使土壤结构和土壤肥力状况得到明显改善,原先为小老头树的马尾松呈现“返老还童”趋势,地表径流量减少了 50%~60%,泥沙冲刷亦减少 80%~90%。吴汉明等^[39]在对小老头松治理措施中采取的不同混交模式测定分析小老头松的抽梢量表明,混交草木的措施比其它措施影响更为显著,同时各年间抽梢量差异极显著或显著,且逐年增大。

以上结果表明,在植被的恢复过程中,土壤有机质、速效 N、速效 K、全 N、表层速效 P 含量增加,土壤 pH 值和容重降低,氮的矿化能力增强,土壤微生物量明显提高,酶活性增加,水稳性团聚体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的进行,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。良好的混交模式应该既可以充分利用地力,增加产量,又可改善生态环境,提高系统的多样性和稳定性^[40],李相玺^[41]等综合经济效益和生态效益,评价乔灌木结构的大小顺序为:乔灌木模式 > 灌木模式 > 乔灌木模式 > 乔木模式 > 乔木纯林,如土壤侵蚀量前 4 种模式分别比乔木纯林模式减蚀达 74.9%, 65.6%, 62.5% 和 61.6%,对比效果比较明显。

2.2.2 水文效应

在森林植被与生态环境相互作用和相互影响中,水文过程是最为重要的方面之一^[42]。国内外对森林与水相互关系的研究报道较多^[43-47],认为森林生态系统具有调蓄径流,改善土壤结构,减少土壤侵蚀,延缓产流汇流过程等水文效应。森林是陆地生态系统的主体,是防止水土流失的积极因素。森林生态系统水文生态功能的大小与林分的组成和结构有关^[48]。对针叶林改造后,由于林分的组成和结构发生了较大变化,其森林生态系统的水文生态功能必然有所上升。郑郁善等^[49]根据分析混交与纯林等多种模式指出,由于林分结构不同所改善的土壤结构组成等能力不同,表现出水文效应的作用不同,混交林模式保持水土、涵养水源的作用远大于马尾松纯林。

张洪江^[50]等通过对三峡库区松栎混交林、栓皮栎纯林、马尾松纯林 3 种森林类型林下枯落物储量调查分析及其持水特性试验表明,栓皮栎纯林林下枯落物储量最大 (10.7 t/hm²),其后依次为松栎混交林 (10.1 t/hm²)、马尾松纯林 (5.8 t/hm²),在同为中龄林条件下,三峡库区针阔混交林林下枯落物持水能力大于阔叶树纯林或针叶树纯林林下枯落物持水能力。秦国峰^[51]对常绿阔叶林与马尾松林水源涵养比较表明,马尾松林小流域 6 a 的年均水流量为 23 838 m³,平均每 3 322 m³/hm²,只有常绿阔叶林 (平均每 1 hm² 为

4 079 m³) 的 81.2%;而且水流量集中在 3-7 月的多雨季节,这 5 个月水流量达 21 083 m³,占全年水流量的 88.4%。

林地持水性能即林地中各水文层次吸持水分能力的总和,其中包括地上部分(乔、灌、草)、地面部分(枯枝落叶)与地下部分(土壤持水量),这 3 部分持水性能,阔叶林均大于马尾松林。阔叶林持水性能强,主要体现在林冠稠密,对降雨的截留量较大;乔、灌、草多层次阻滞雨水;地被物层厚,吸滞水量大;土壤疏松孔性状况好,容纳水分多^[52],这是阔叶林水源涵养功能优于针叶林的基本原因。崔向慧等^[53]研究表明在林冠层的水文生态效应中常绿阔叶林冠年截留率(17.8%)是马尾松林(10.3%)的近 2 倍,各种林型冠层对降水重新分配的不同除了与树种本身的特性有关外,其主要原因是林分水平上的生态系统结构和功能上的差异。尹光彩等^[54]对鼎湖山针阔叶混交林水文效应的研究表明:林冠截留量为 477.3 mm,截留率 28.2%。地表径流量 62.1 mm,占总降水量的 3.7%。与马尾松纯林和季风常绿阔叶林相比,针阔叶混交林在减少地表径流和保持水土等方面具有更好的水文生态效应。

3 研究展望

数十年来,马尾松侵蚀退化地的生态恢复研究工作取得了长足的发展,人们不但从理论上探讨了侵蚀区生态恢复的必要性和可能性,而且在实践中取得了明显的效果并积累了不少经验,丰富和发展了植被恢复理论,为今后马尾松侵蚀区的植被恢复及可持续发展提供了科学依据。但是因发展历史不长,其研究的方法、理论和内容有待进一步深入和完善。通过上述对马尾松林地侵蚀退化机理及恢复评价研究现状的回顾与分析,鉴于马尾松林地侵蚀的特殊性和治理措施及技术的适宜性,以下几方面有待开展深入系统的研究。

(1) 退化机理及评价方面。影响马尾松林地土壤退化的因素较多,涉及到持续林业经营思想,生态环保意识以及土壤化学、物理、微生物、营林、生态学等众多学科领域,但目前多学科的交叉融合还停留在定性阶段,定量分析偏少^[51]。从多学科交叉的角度研究森林土壤退化及其防治将是趋势所向。应针对退化不同程度和不同地域的退化类型,揭示马尾松侵蚀发生条件、过程、影响因子(包括自然的和社会经济的)及其相互作用机理。

土壤侵蚀的调查与评价是水土流失治理的关键,单纯采用传统的调查和统计方法,不仅耗时耗力,而且数据欠准确。在影响马尾松林地侵蚀退化因素的分析研究中,应多发挥遥感(RS)和地理信息系统(GIS)的作用,不仅能够反映流域下垫面空间差异的土壤侵蚀评价,获得更客观和详尽的数据,还可以进一步揭示水土流失发生发展规律,为生态恢复等工作提供科学依据。

(2) 恢复模式方面。针对马尾松侵蚀退化地,前人做了大量的试验研究,总结出了如乔灌草、针阔混交、以草促林等很多适合本地的恢复模式,但是在各种植被组合的比例,物种选择等方面详尽的论证少见。比如,混交模式和混交比例是决定混交林生产力水平的重要因素,已有研究中虽然就多种混交模式而言其优劣排序可以确定^[51],但是在某一混交

模式中到底何种混交比例最为恰当,混交树龄最为合适,还有待于进一步试验研究。因此针对不同土地利用类型的土壤侵蚀状况在空间上对林、灌、草进行合理配置。选取典型的退化土地生态系统进行定位试验,因地制宜地研发生态重建技术与模式并建立示范区。通过综合诊断和评定,提出一批适宜于不同侵蚀程度和不同经营水平下的经营模式,并在此过程中不断地经营调控和优化,使之在马尾松退化侵蚀地构成不同立地类型区治理体系下的马尾松林地生态恢复模式系统。不同的恢复模式及其相应的功能,构成一套系统,针对性地服务于马尾松林侵蚀退化地,以期快速合理实现马尾松林地退化侵蚀的修复以及整个生态环境改善这一目标。

马尾松林分布地区,人类活动也较频繁,马尾松侵蚀退化地分布往往同经济生活较贫困的山区相吻合,积极开展马尾松退化侵蚀的研究和恢复工作,有利于保障当地的生态环境安全,为逐步提高人民生活水平,促进人与自然和谐相处具有重要作用。

参考文献:

- [1] 赵其国. 我国红壤的退化问题[J]. 土壤, 1995, 27(6): 281-286.
- [2] 莫江明, Sandra Brown, 彭少麟, 等. 林下层植物在退化马尾松林恢复初期养分循环中的作用[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1407-1413.
- [3] 张桃林, 王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向[J]. 自然资源学报, 2000, 15(3): 280-284.
- [4] 万勇善, 史德明, 席承藩. 南方花岗岩侵蚀区土壤退化的研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(3): 80-87.
- [5] 程冬兵, 蔡崇法, 左长清. 土壤侵蚀退化研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 252-254.
- [6] 赵其国, 张桃林, 鲁如坤, 等. 我国东部红壤区土壤退化的时空变化、机理及调控对策[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [7] 彭秀华. 立地因子对马尾松生长的影响[J]. 安徽林业, 2003(5): 12.
- [8] 张桃林, 史学正, 张奇. 土壤侵蚀退化发生的成因、过程与机制[M]// 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999: 1-2, 46-76.
- [9] 彭少麟. 南亚热带退化生态系统恢复和重建的生态学理论和应用[J]. 热带亚热带植物学报, 1996, 4(3): 36-44.
- [10] 洪利兴, 王泳, 杜国坚, 等. 我国南方马尾松林生态系统的退化特征和改造对策研究[J]. 浙江林业科技, 2002, 20(2): 1-9.
- [11] 王巧红, 宫渊波, 陈林武, 等. 四川盆周低山暴雨区不同配置模式水土保持林生物多样性分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 599-60.
- [12] 查轩, 黄少燕, 林金堂. 林地针叶化对土壤微生物特征影响研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 19-21.
- [13] 张桃林, 王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向[J]. 自然资源学报, 2000, 15(3): 280-284.

- [14] 范雪蓉,周生路,黄劲松. 闽西南花岗岩丘陵地区水土流失及治理对策:以长汀县河田镇为例[J]. 土壤, 1999,31(4):175-178.
- [15] 张华耀,朱恒. 低丘稀疏马尾松林封山改造的研究[J]. 江西林业科技,1993(3):1-2.
- [16] 郭志民. 退化马尾松群落恢复与重建途径的研究[J]. 林业科技,2000,25(6):1-3.
- [17] 裴卫国,李铁华. 封山育林的综合效益及对群落演替的影响[J]. 林业资源管理,2000(6):25-30.
- [18] 邓理伦. 封山育林是恢复和发展森林资源的有效途径[J]. 湖北林业科技,1981(3):14-17.
- [19] 覃天安,高道静,龙勇明,等. 横县马尾松封山育林试验研究[J]. 广西林业科学,1998,27(3):122-128.
- [20] 费世民,彭镇华,周金星,等. 我国封山育林研究进展[J]. 世界林业研究,2004(5):30-33.
- [21] 彭少麟,赵平,张经纬. 恢复生态学与中国亚热带退化生态系统的恢复[J]. 中国科学基金,1999,13(5):279-282.
- [22] 郭晓敏,牛德奎,刘苑秋,等. 江西省不同类型退化荒山生态系统植被恢复与重建措施[J]. 生态学报,2002,22(6):878-884.
- [23] 姚毅臣,李相玺,左长清. 花岗岩侵蚀区人工植物群落水土保持功能评价及其结构优化[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(4):62-68.
- [24] 张桥,蔡婵凤. 森林土壤退化及其防治研究综述[J]. 生态环境,2004,13(4):677-680.
- [25] 陈志彪. 花岗岩侵蚀山地生态重建及其生态环境效应[D]. 福州:福建师范大学,2005.
- [26] 杨曾奖,郑海水,翁启杰. 桉树与固氮树种混交对地力及生物量的影响[J]. 广东林业科技,1995,11(2):10-16.
- [27] 林德喜,樊后保,苏兵强,等. 马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究[J]. 土壤学报,2004,41(4):655-659.
- [28] 余济云,曾思齐,李志辉,等. 湘东丘陵区马尾松低质低效次生林改造经营模式研究[J]. 湖南林业科技,2002,29(1):6-9.
- [29] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤,1997,29(3):113-120.
- [30] 莫江明. 鼎湖山退化马尾松林、混交林和季风常绿阔叶林土壤全磷和有效磷的比较[J]. 广西植物,2005,25(2):186-192.
- [31] 卢其明,林琳,庄雪影,等. 车八岭不同演替阶段植物群落土壤特性的初步研究[J]. 华南农业大学学报,1997,18(3):48-52.
- [32] 刘满强,胡锋,何园球,等. 退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J]. 土壤学报,2003,40(6):937-944.
- [33] Haynes R J. Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management [J]. Biol. Fertil. Soils,1999,30(3):210-216.
- [34] Haack S K, Garchow H M, Klug J, et al. Analysis of factors affecting the accuracy, reproducibility, and interpretation of microbial community carbon source utilization patterns[J]. Applied and Environmental Microbiology,1995,61(4):1458-1468.
- [35] 史衍玺,唐克丽. 人为加速侵蚀下土壤质量的生物学特性变化[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):28-33.
- [36] 胡斌,段昌群,王震洪,等. 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响[J]. 土壤学报,2002,39(4):604-608.
- [37] 余济云,曾思齐,陈彩虹. 低效马尾松水保林林下植被及生态功能恢复研究恢复成效的分析与评价[J]. 中南林业调查规划,2002,21(3):1-3.
- [38] 冯蔚徐. 乔灌草复合群落治理水土流失试验简报[J]. 江西林业科技,1990(1):21-22.
- [39] 吴汉明. 不同治理措施对水土流失区“小老松”抽梢的影响[J]. 亚热带水土保持,1992(2):58-60.
- [40] 周长瑞. 国内外混交林研究概况(下)[J]. 山东林业科技,1985(4):16-20.
- [41] 李相玺,左长清,姚毅臣,等. 花岗岩侵蚀区植被层次结构优化模式研究[J]. 水土保持研究,1997,4(1):202-207.
- [42] Buttle J M, Creed I F, Pomeroy J W. Advances in Canadian forest hydrology (1995 - 1998) [J]. Hydrol. Process,2000,14(9):1551-1578.
- [43] Cantu Silva I, Okumura T. Throughfall, stemflow and interception loss in a mixed white oak forest (*Quercus serrata* Thunb.) [J]. J. For. Res.,1996,1:123-129.
- [44] Cape J N, Brown A H F, Robertson S M C, et al. Interspecies comparison of throughfall and stemflow at three sites in northern Britain [J]. For. Ecol. Mgmt.,1991,46:165-177.
- [45] Neary A J, Gyzyn W I. Throughfall and stemflow chemistry under deciduous and coniferous forest canopies in south-central Ontario [J]. Can. J. For. Res.,1994,24:1089-1100.
- [46] Tobon Marin C, Bouten W, Sevink J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia [J]. J. Hydrol.,2000,237:40-57.
- [47] 陈布峰,周光益,曾庆波,等. 热带山地雨林生态系统水文动态特征的研究[J]. 植物生态学报,1998,22(1):68-75.
- [48] 林金堂. 福建省林地针叶化及其对生态环境的影响

植被良性循环区,在图上呈灰白色,这类区域也主要分布在生态环境好的山区。

2.4 综合分类

首先需要用前面的掩膜对合成图像再掩膜一次,否则前面剔除的错误信息就会被统计在内。利用 ERDAS 软件采用监督分类方法先制作分类模板,然后采用非监督分类方法得到分类图。反复进行多次分类方案调整,直到得到满意的分类图像(图 2b)。在 ERDAS 中采用 Equalized Random 随机抽取 256 个点进行分类精度评估,得到分类精度为 89.9%。各分类统计如表 1。

表 1 分类统计

颜色	变化类型解释	像元数	百分比/ %	面积/ hm ²
绿色	在 1988 - 2000 年上升为中等植被覆盖的低植被覆盖区域,如耕作力度加大的耕地等	81980	7.87	7378.2
墨绿色	植被覆盖率略有上升的低植被覆盖区,如绿化面积增加的城镇用地	48947	4.70	4405.23
青色	在 1988 - 2000 年上升为高植被覆盖的中等植被覆盖区域,如封山育林区等	129251	12.41	11632.59
红黑色	植被覆盖率下降很多的低植被覆盖区域,如城镇扩展占地等	133053	12.78	11974.77
红色	遭到严重破坏的高植被覆盖区域,即植被严重退化区火烧山迹地、毁林开荒区	98082	9.41	8827.38
品红色	植被覆盖基本不变,稳定的高植被覆盖区域,主要集中在生态环境好的山区	298706	28.68	26883.54
白色	植被覆盖率保持上升的高植被覆盖率良性循环区集中在生态环境好的山区	251421	24.14	22627.89
总计		1041440	100	93729.6

其中前面剔除的水体和剔除阴影的像元数为 11 5647 个,总的面积 10 408.23 hm²,水面积 6 168.15 hm²,阴影面积 4 242.18 hm²。此外为了使结果更明朗,更具直观性。还可以对 2 幅影像的 NDVI 拉伸图,进行变化检测,以增加、减

少幅度超过 40% 为例(图 2c)。可以清楚地看到在 1988 - 2000 年,福州市总体而言植被覆盖提升很多,特别是建成区范围。这说明随着人们环境意识的提高,对保护生态环境的重视,以及政府措施的推行,在 1988 - 2000 年,植被覆盖率总体上有了明显提高。但也应看到部分山区存在毁林开荒、滥砍滥伐、过度开采以及火灾,使得生态环境破坏严重,地表植被呈退化状态。福州部分市区及琅歧岛由于城镇发展及耕地利用方式改变,植被覆盖状况也呈严重退化状态。

3 结论

本研究采用多时像 TM 影像对福州市植被变化进行检测,NDVI 合成图像与江振蓝、沙晋明所做的福州辖区的图像效果一致^[1],也再次证明福州市植被的这种时空变化与实际情况相符。这说明利用多时相 TM 影像分析福州市的地表植被变化是可行且是有效的。利用此种方法不仅可以避免利用传统手段进行研究所带来的数据获取困难的问题,而且使得大范围的植被变化研究变得简单易行而直观准确。

目前利用多时像 TM 影像对植被变化分析检测的研究,往往对一些细节不够重视^[1-5]。本研究通过对影像错误信息的剔除,提高了植被变化分析检测的精度。以后需要在阴影图像、云层处理上进一步深入研究,使剔除的错误信息得到正确的体现。

参考文献:

[1] 江振蓝,沙晋明. 利用多时相 TM 影像分析福州市地表植被的变化[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 69-71.

[2] 李本纲,淘澍. 一种利用多时相 TM 影像分析地表植被变化的新方法[J]. 遥感学报, 2000(4): 295-298.

[3] 赵强,宫辉力,邓伟,等. 基于 Landsat TM 数据的潮白河地区植被覆盖变化研究[J]. 遥感信息, 2005(3): 21-23.

[4] 孙久虎,刘晓萌,李佑钢,等. 北运河地区植被覆盖的遥感估算及变化分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 97-99.

[5] 金方梅,安裕伦. 利用多时相 TM 影像分析紫云地区地表植被变化[J]. 贵州师范大学学报, 2002, 20(3): 34-37.

[6] 徐涵秋,陈本清. 厦门市植被变化的遥感动态分析[J]. 地球信息科学, 2003(2): 105-109.

(上接第 193 页)

[D]. 福州:福建师范大学, 2002.

[49] 郑郁善,林开敏,黄祖清,等. 造林模式效益评价的综合决策研究[J]. 福建林学院学报, 1993(4): 394-400.

[50] 张洪江,程金花,史玉虎,等. 三峡库区 3 种林下枯落物储量及其持水特性[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 55-58.

[51] 秦国峰. 千岛湖常绿阔叶林水文生态效益的研究[J]. 林业科学研究, 2001(6): 595-602.

[52] 叶仲节,何黎明,蒋秋怡. 千岛湖地区封山育林水源涵养效益[J]. 浙江林学院学报, 1989, 6(2): 131-141.

[53] 崔向慧,王兵,邓宗富. 江西大岗山常绿阔叶林水文生态效应的研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(5): 660-665.

[54] 尹光彩,周国逸,刘景时,等. 鼎湖山针阔叶混交林生态系统水文效应研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(3): 195-201.