

南方红壤侵蚀区马尾松林下植被 恢复限制因子与改造技术

何圣嘉^{1,2}, 谢锦升^{1,2}, 周艳翔^{1,2}, 胥超^{1,2}, 吕茂奎^{1,2}, 杨玉盛^{1,2}

(1. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建 福州 350007; 2. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 林下植被匮乏是南方红壤丘陵区退化马尾松林生态系统普遍存在的一个突出问题。恢复退化马尾松群落的林下植被对于扭转该地区低效马尾松林的逆向演替, 改善当地生态环境具有重要意义。分析了马尾松林下植被匮乏的主要成因, 并从土壤养分、土壤物理性状、夏季高温和季节性干旱、土壤酸化和人为干扰等方面综合探讨了林下植被恢复的主要限制性因素。从如何控制林地水土流失, 改良退化林地土壤及减少人为干扰 3 个方面提出了退化马尾松林下植被恢复的对策。总结了到目前为止林下植被恢复较为成功的几种模式, 以期为今后南方红壤侵蚀区退化马尾松林的改造和修复提供参考。

关键词: 红壤侵蚀区; 马尾松; 林下植被

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0118-07

中图分类号: S157.1

Limiting Factors and Transformation Techniques for Undergrowth Restoration of *Pinus Massoniana* in Eroded Red Soil Area of Southern China

HE Sheng-jia^{1,2}, XIE Jin-sheng^{1,2}, ZHOU Yan-xiang^{1,2}, XU Chao^{1,2}, LÜ Mao-kui^{1,2}, YANG Yu-sheng^{1,2}

(1. Cultivation Base of the State Key Laboratory for Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou, Fujian 350007, China; 2. School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: The scarcity of undergrowth vegetation has already become a common but outstanding problem, existing in a large portion of *Pinus massoniana* forest ecosystems in the eroded red soil area of southern China. Accordingly, making every effort to restore the undergrowth vegetation in degraded masson pine community is of great significance for reversing regressive succession of inefficient *Pinus massoniana* forests and improving local ecological environment. This paper analyzed the main causes leading to the problem of undergrowth vegetation scarcity in some *Pinus massoniana* ecosystems and then presented a comprehensive discussion on the limiting factors to undergrowth vegetation recovery from several aspects, such as soil nutrient status, soil physical properties, high summer temperature, seasonal drought, soil acidification and human disturbances. Several effective countermeasures and successful recovery models, which had already been proven by practices, were put forward to solve the problems of how to control soil and water loss in woodland, improve degraded woodland and reduce human disturbances. It is expected to provide references for future research on the transformation and restoration of degraded *Pinus massoniana* forests in the eroded red soil area of southern China.

Keywords: eroded red soil area; *Pinus massoniana*; understory vegetation

马尾松 (*Pinus massoniana*) 林是我国南方红壤丘陵区分布最广的森林类型(20 世纪 80 年代初马尾松分布面积便已达 1.42×10^7 hm^2 , 占全国森林面积的 14.9%)^[1], 在自然和人为因素的双重作用下, 有近 1/4 马尾松群落存在严重的林下水土流失和不同

程度的逆向演替^[2], 成为我国南方红壤丘陵区面积最大的退化森林类型。林下植被稀少甚至缺失则是这些退化马尾松林生态系统普遍存在的一个突出问题, 具体表现为下木层没有或者下木层的种类、数量极少, 草本层主要由簇生茅草、芒萁和野古草等构成, 林

收稿日期: 2012-06-11

修回日期: 2012-07-22

资助项目: 国家重点基础研究发展计划前期项目“亚热带红壤侵蚀区森林恢复与保护的碳汇功能及潜力”(2012CB722203); 教育部和福建省教育厅重点项目“侵蚀退化红壤生态恢复过程中土壤固碳机制的演变”(211083, JA10063); “十一五”国家科技支撑计划课题“闽西中高丘陵区红壤侵蚀快速治理与生态农业技术集成和示范”(2009BAD6B06)

作者简介: 何圣嘉(1986—), 男(汉族), 在读硕士研究生, 主要从事侵蚀地的恢复与重建研究。E-mail: hesj86@sina.cn.

通信作者: 谢锦升(1972—), 男(汉族), 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水土保持生态恢复与碳循环研究。E-mail: jshxie@163.com.

下植被盖度多在30%^[3],甚至在5%以下^[4]。林下植被作为森林生态系统的-一个重要组成部分,不仅在促进马尾松林生态系统养分循环^[5],维持和改善林地立地生产力,以及维护物种多样性、生态功能稳定性等方面具有独特的功能和作用^[4];同时也是影响马尾松林涵养水源、保持水土功能的重要层次^[6]。由人为干扰和自然因素引起的林下植被匮乏,一方面严重制约了马尾松生态系统的养分固定和归还,导致林地土壤肥力(例如有效N、有机质等)持续下降,养分贫瘠化日益加剧;另一方面严重破坏了马尾松林生态系统水土保持功能的系统性和整体性,直接导致林地土壤裸露程度较高,容易引发马尾松林下中度乃至强度以上的水土流失^[7-8],形成林下水土流失“空中绿化”的现象,并在某种程度上进一步加速了马尾松生态系统的逆向演替。研究退化马尾松林下植被匮乏的成因,分析林下植被生长的主要限制因子,总结马尾松林下植被恢复的成功经验,对于今后退化马尾松林的改造和生态修复及其林下水土流失治理具有重要意义。

1 马尾松林下植被稀少成因

1.1 自然因素

马尾松作为森林演替和水土保持的先锋树种(具有对土壤要求不严格、喜微酸性、耐旱、耐瘠薄等特点,对环境的适应能力较强),通常出现在南方红壤丘陵区水土流失严重、土壤养分比较贫瘠的地方。然而,马尾松幼林的快速生长将使原先土壤侵蚀强度较高、立地条件较差的地区的地力进一步耗损,加之林分结构简单、自肥能力差等原因,致使林地土壤贫瘠化程度不断加剧。根据李文刚等^[9]的研究,在不对马尾松幼林进行人工施肥的情况下,马尾松生长3a后林地土壤有机质,全N,全P,全K,速效N,速效P含量分别比造林前下降了36.3%,42.2%,9.8%,46.9%,63.3%和35.2%,土壤肥力呈逐年降低趋势。马尾松林地土壤肥力水平偏低且不断退化,严重制约了其下植被的发育和生长。

红壤丘陵区地形的高低起伏,一方面对土壤侵蚀、养分流失产生重要影响;另一方面则成为影响植被空间分布的一个重要因子。由于微地形的变化,加上林地上马尾松稀疏,植被覆盖度低,土壤侵蚀强度大等原因,使得山顶、山脊和陡坡等地貌部位的土壤养分(有机碳、氮、磷等)和水分含量较山脚、鞍部、缓坡等地貌部位更低,贫瘠化程度更高^[10-11],容易形成稀疏的“小老头松”林。柳云龙等^[12]关于红壤地区地形位置对土壤物理性质的影响研究表明,对受人为干扰较小马尾松林地而言,从坡顶到坡底,土壤黏粒含

量降低,有机质含量、土壤水稳性团聚体数量、土壤通气性均明显增加,其中有机质的增幅可高达164.79%。由于林下植被稀少而引发的长期林下水土流失又反过来加剧林地土壤退化,进一步抑制了马尾松林下植被的生长。例如,福建省长汀县河田镇部分马尾松林因长期侵蚀,表土侵蚀殆尽,土壤极为贫瘠(有机质含量0.54~4.26 g/kg,全N仅0.04~0.16 g/kg),林下仅有十分稀少的野枯草和岗松,林下植被盖度在10%以下^[13]。

1.2 人为因素

由于早期植树造林的目的主要出于对林木的经济价值的考虑,过分单纯地强调增加森林的覆盖面积,没有统筹全面地考虑其可能带来的更有价值的生态环境效益,使得南方红壤丘陵区马尾松造林密度普遍偏大(一般高达6000~9000株/hm²),不利于林下植被的发育和生长。有研究^[14]表明,林分密度过大将使马尾松对林下物种的抑制效应显著增强,具体表现为对林下植被组成、物种多样性、盖度及其生物量等方面的影响。例如,黄登银^[15]关于不同密度马尾松林下植被和土壤性质的研究表明,密度为1667株/hm²的马尾松林与密度为6667株/hm²的马尾松林相比,其林下植被的平均高、覆盖度和生物量分别增加158.4%,87.6%和97.5%,林下植被的生活力也随着造林密度的增加呈下降趋势。除此之外,人口密度大且增长速率快使得南方红壤丘陵区人地矛盾更加突出,分布于人类活动频繁的近山、低山丘陵地区的马尾松林因长期受到强烈的人为干扰(诸如收割林下植被、收获林下枯枝落叶等),生态系统的结构(尤其是林下植被层)和功能都遭到了不同程度的破坏,形成了大面积的马尾松“空中森林”。莫江明等^[16-17]就人为干扰可能对鼎湖山马尾松林产生的影响进行了大量研究,结果表明马尾松林样地在1990—1995年因人为干扰而直接损失的林下层和凋落物总量为21.7 t/hm²,占凋落物总量及养分归还总量的44%~73%。这种长期的人为干扰和破坏活动是造成马尾松林凋落物产量以及林地肥力低下的一个主要原因,而由人为干扰引起的退化亦已成为我国南方马尾松林的一个普遍现象^[5]。

2 马尾松林下植被恢复的主要限制因子分析

2.1 土壤养分

相关研究表明,我国东南红壤丘陵区每年估计有近 7.0×10^8 t的表土, 1.6×10^5 t的有机质和 1.8×10^5 t的矿质养分因遭侵蚀而损失^[18],由此引起的土

壤退化使得我国南方红壤的养分水平普遍较低^[19],甚至已经接近“低谷”(全 N 为 0.4 g/kg 左右,有效 P 为 1.0 mg/kg, K 的最低含量甚至在 58 mg/kg 以下)^[20],其中土壤养分处于轻度、中度和严重贫瘠化的面积分别为 21.5%, 49.5% 和 29.0%,林地土壤养分的贫瘠化则基本都处于中度以上水平^[21]。以闽西地区为例,由于长期严重的水土流失,致使该地区很大一部分马尾松林地土壤养分的大量流失和高度贫瘠化:林地土壤有机质含量低于 5 g/kg,全 N 含量平均仅为 0.15 g/kg,最低仅为 0.04 g/kg;全 P 含量平均为 0.10 g/kg,最低的只有 0.02 g/kg^[22-23]。陈志彪等^[24]的研究表明福建省长汀县因水土流失严重,土壤质地太粗,土壤养分全量与速效含量都较低,尤其是全 P (0.01 ~ 0.39 g/kg,平均为 0.10 g/kg)和速效 P (0.01 ~ 15.50 mg/kg,平均仅 1.47 mg/kg)的缺乏已经成为侵蚀区退化生态系统恢复的一个主要限制因子。

2.2 土壤物理性状

红壤的微团聚体高度发育使其具有较大的通透库容,而贮水库容相对较小,有效水库容则仅仅占其贮水库容的 1/3,明显低于相同质地的黑土和潮土;而土体中的毛管孔隙发育程度较低、贯通性较差又使得红壤的供水能力较差^[25]。红壤由于所含黏粒较高,当其受到雨滴的击溅侵蚀时,表层土壤的孔隙容易遭到堵塞,增加地表径流,加剧水土流失;在干旱时表层土壤水分容易蒸发散失,却不能较好地得到补充,又易变得板结坚硬,严重制约了植被的生长。而长期的水土流失和不合理的人类活动则导致了一些马尾松林地土壤的严重退化:这部分退化严重马尾松林地表层土壤砂砾化严重(其中 >1 mm 石砾质量分数超过 40%)^[22],土壤孔隙性变差,特别是较大孔径的孔隙减少,土壤容重明显增加(达 1.38 g/cm³ 以上,显著高于原始植被下土壤容重 0.79 g/cm³)^[26]。土壤孔隙度的减少,将进一步削弱马尾松林地土壤的蓄水和保水能力。土壤容重变大则将导致土壤紧实度增加,造成林地土壤的硬化。土壤适当的紧实度,能够增加植物根系和土壤的密接度,但土壤过于紧实乃至硬化则会降低土壤有效持水量,同时造成植物根系因土壤机械阻力过大而不能在土体中均匀分布,将严重制约植物根系吸收和利用土壤的水分和养分^[27],成为侵蚀区退化生态恢复的一个障碍性因子。

2.3 夏季高温和季节性干旱

南方红壤丘陵区主要受热带、亚热带季风气候的控制,部分地区最热的 7 月平均气温可达 30 °C 以上,极端最高气温接近或者超过 40 °C;缺少植被覆盖的

裸地地表温度高达 60 °C 以上,极端地表温度则高达 70 °C 以上^[28]。由于红壤保水性和供水性较差,加之南方红壤丘陵区水热同季不同步,光温降水不甚协调,容易造成季节性干旱。特别是在 7—8 月高温和干旱共同作用下,裸地的含水量可低至 10.6%,有植被覆盖的坡地含水量也在 20% 以下,低于一般植被的萎焉点,极易导致林下浅根系的草本植物凋萎死亡^[29-30]。尽管森林的存在可以在时间和空间上对林内热量和水分的交换产生显著的影响,进而使林内的热量和水分重新分配,并由此形成的森林小气候对缓解极端高温和季节性干旱具有一定的作用^[31],但由于退化马尾松群落结构简单,种类单纯,林冠的遮蔽作用相对较差,林下植被稀少,致使林内温度高,湿度条件差,各气象要素波动较大,因而这些马尾松群落的小气候特点在本质上与空旷裸地的变化规律相接近,没有显著的小气候特性^[32]。由此可见,夏季的极端高温和季节性的干旱也势必将成为今后这些退化群落生态恢复的一个重要限制因子。

2.4 土壤酸化

南方红壤丘陵区林旱地土壤养水平普遍较低(特别是磷,约有 15.5% 的林旱地土壤有效磷处于中度贫瘠化水平(5~10 mg/kg),77.8% 的林旱地土壤有效磷处于严重贫瘠化水平(<5 mg/kg)^[21],且富铁铝化程度较高,由此产生的养分胁迫(例如,低磷胁迫)和铝毒胁迫势必会诱导马尾松分泌大量的有机酸^[33-34]。大量有机酸的分泌又会促进硅铝矿物的风化与分解,加速土壤溶液中阳离子的淋失,促进土壤的酸化。与此同时,土壤的酸化又将反过来降低一些养分的有效性,从而进一步加剧土壤酸化。再者,马尾松的凋落物分解较慢(年分解速率为 42.7%),林下凋落物的积累容易形成酸性粗腐殖质,也可能造成土壤酸化。故与红壤地区其他植被类型(例如,枫香、麻栎、毛竹、杉木以及荒草等)相比,马尾松林地土壤的 pH 值显得更低^[35];并且随着马尾松种植时间的增加,土壤酸度也明显增加,例如从荒山经马尾松一代林地、马尾松二代林地,最终演变为马尾松成林地时,表层(0—20 cm)土壤的 pH 值比原先荒山下降了 15.3%,土壤酸性显著增强^[36]。赵汝东等^[37]有关退化马尾松林下土壤障碍因子的研究同样表明,土壤全磷的缺乏及土壤酸化是马尾松退化生态系统恢复的主要土壤障碍因子。因此,长期种植马尾松而不重视其林下土壤酸度的改良,势必会导致严重的土壤酸化问题,最终影响马尾松自身以及其他林下植被的生长和发育。

2.5 人为干扰

随着林业部门森林防护措施的落实,南方红壤丘

陵区马尾松林滥垦滥伐现象得到了较好的控制,但当地农民出于日常生活所需的燃料需求,诸如劈枝、搂除林下凋落物、收获林下植被层等人为干扰时有发生。过度的人为干扰一方面直接对马尾松林下植被造成严重的破坏,例如长期收获林下植被层、铲草皮等将导致马尾松林下植被稀少甚至缺失;另一方面则通过影响马尾松林生态系统养分归还,直接减少土壤有机物质和养分的输入量^[38],间接地限制林下植被的生长和恢复。以鼎湖山马尾松为例,马尾松研究样地在 5 a 内(1990—1995 年)因人为干扰而直接损失各元素养分量,在林下层为:132.72(N),4.72(P),63.32(K),23.51(Ca)和 7.00(Mg)kg/hm²,在地表凋落物为:48.93(N),1.85(P),17.28(K),19.25(Ca)和 2.92(Mg)kg/hm²^[39],成为造成林地贫瘠化加剧的一个重要原因。然而,就长期清除林下凋落物而言,由于其不仅是森林生态系统养分的基本载体和主要的归还途径,同时也是影响森林水土保持功能的重要层次;长期清除林下的凋落物同样将加剧林地水土流失,进而致使林地土壤更加贫瘠甚至退化,从而反过来制约林下植被的恢复和生长。

3 马尾松林下植被恢复对策和模式

3.1 控制水土流失,阻止土壤进一步退化

水土流失作为红壤旱坡地生态系统土壤养分(尤其是速效养分)损失的一个重要途径,是造成南方红壤高度贫瘠化甚至退化的重要原因^[18]。通过在侵蚀坡地上修筑水平沟、鱼鳞坑等水土保持工程措施来改变微地形(截短坡长、增加地表粗糙度等),控制马尾松林地水土流失、减少坡面径流的冲刷对于减少马尾松林地土壤养分流失,阻止其进一步退化,实现林下植被的恢复具有重要意义。根据白岗桧^[40]的研究,坡地在修筑水平沟、水平阶和鱼鳞坑之后,坡地土壤前 30 min 平均入渗率分别比对照提高了 182.3%,30.4%和 143.0%,初渗率和稳渗率都有了不同程度的提高,土壤储水量明显增加;坡地年径流量和年均土壤侵蚀量分别比对照降低 71.4%~76.3%和 59.7%~67.4%,且以水平沟的减流减沙效益最佳。姚毅臣等^[41]研究指出,花岗岩地区马尾松次林的水土流失治理采取以水平沟为主的水土保持坡面工程,无论在提高土壤含水量,蓄水拦沙效果,还是在促进植物生长方面都要优于水平地、撩壕等其他坡面工程,值得南方其他类似地区推广应用。例如,位于福建省长汀县河田镇八十里河试验区的严重退化马尾松林地原为极强度水土流失区侵蚀模数为 8 000~15 000 t/(km²·a),在实施水平沟坡面工程 6 a 后,

土壤侵蚀模数下降至 449 t/(km²·a),比治理前降低 94%~97%,山地植被覆盖度达 90%以上,治理成效显著^[42]。可见,以水平沟坡面工程为主,适当结合水平地、鱼鳞坑、撩壕等水土保持措施坡面工程体系可以作为南方红壤丘陵区退化马尾松林地水土流失治理的有效手段,为林地土壤的进一步改良提供保障。

3.2 改良林地退化土壤

退化马尾松林下土壤养分贫瘠化严重、紧实度过大、蓄水持水能力差,季节性干旱严重等特点极大地制约着林下植被的生长;通过采取整地、套种植物、人工施肥以及施用土壤结构改良剂等措施来削弱或者消除这些限制因子对林下植被的影响则是退化马尾松林下植被恢复的关键。

3.2.1 整地改良

整地主要通过松土来改善土壤的孔隙状况和水分条件,虽然对土壤的化学性状影响不大,但对土壤的物理性质具有较大的改善作用,而且这种改良效益在造林初期较为明显。就不同的整地方式而言,全垦改善土壤物理性质效果最好,带垦次之,穴垦最差^[43];与此同时,当整地规格有所提高时,林地土壤的扰动破坏面积增加,从而导致林地水土流失强度亦随之增强,故随着时间的推移,林地土壤肥力反而呈现出穴垦>带垦>全垦的趋势。例如,吴起明^[44]就整地方式对马尾松幼林生长及土壤肥力的影响研究表明,全垦和带垦林地 0—20 cm 土层容重分别下降了 18.3%和 8.7%,总孔隙度分别增加 14.6%和 8.7%,表层土壤最大含水量、毛管持水量以及田间持水量都有了明显增加,马尾松林地土壤通气和水分条件显著改善。总的来说,根据马尾松林区自身的气候、地形、土壤性质等特点,选择合适的整地方式不失为马尾松林地土壤改良的一种有效手段。

3.2.2 植物改良

植被对土壤的作用一方面主要体现在凋落物和死亡根系和根际分泌物对土壤性质的影响,另一方面则主要表现为植物根系对土壤穿插、破碎与挤压作用^[45]。就南方红壤区而言,在退化马尾松林内补植阔叶树来营造针阔混交林通常被认为是一种改善林分状况,提高林分生产力和光能利用率,全面改善和提高林地土壤肥力的行之有效的办法。现有研究^[46-47]表明对退化马尾松林进行阔叶树补植能够在不同程度上增加林下植被的多样性,促进生态系统养分循环,增强马尾松抗逆性,提高林地土壤蓄水保肥能力,减少林地水土流失,从而有效地恢复和提高退化马尾松生态系统涵养水源,保持水土等功能。例如,江西省南安县部分马尾松林与木荷混交 9 a 之后林地凋落物输入量[kg/(hm²·a)]比马尾松

纯林增加了 237.48%，混交林 0—20 cm 土层有机质、全 N 与全 P 分别比马尾松纯林增加了 38.89%，53.13% 和 16.67%，土壤坚实度仅为马尾松纯林的 35.8%~67.5%，自然含水量平均高于纯林 5.5%~9.8%^[48]。

3.2.3 施肥及土壤改良剂改良

(1) 施肥。施肥是人工培肥熟化土壤的一个重要途径，也是提高土壤肥力最直接的手段。合理的施肥体系，可以有效地提高土壤营养元素含量，促进土壤有益微生物活动，全面改善土壤的结构组成及其理化生物性质，改善土壤肥力状况。例如长汀县河田镇早期马尾松疏林地水土流失的治理：造林前的垃圾堆肥以及造林后有机肥或者无机肥的追施使得马尾松林地土壤肥力在短期内得到了较大的提升，保证造林的成活率的同时也大大促进了林地植被的恢复和生长^[13,49]。此外，以土壤测试和肥料田间试验为基础测土施肥改良能够根据土壤供肥性能、肥料特性以及植物的需肥规律，针对性地补充土壤相对匮乏的营养，较好地实现土壤多种养分之间的平衡，更加全面地改善和提高土壤肥力水平，对于不同程度退化的马尾松生态系统林地土壤的改良具有重要意义。例如长汀县三洲乡退化马尾松林改造，当地根据马尾松林地土壤 N、P 等营养元素缺乏的现状，通过以挖穴或者条沟等形式的有机无机肥合理配施，使得林地肥力显著提高^[7]。

(2) 土壤改良剂。土壤结构改良剂对土壤的改良主要是指根据土壤中天然团粒的形成原理，选择与腐植酸等土壤有机物质具有相似官能团的高聚物大分子物质作为土壤结构改良剂，将其施于结构恶化、物质不平衡，有待改良的土壤中，让这些高聚物发挥类似腐植酸的作用，在土壤中形成团粒结构，从而达到改善土壤环境，减少水土流失、提高土壤肥力等目的。根据原料来源，土壤结构改良大致可分为天然结构改良剂、人工合成结构改良剂和天然—合成结构改良剂。研究^[50]表明，以聚丙烯酸(PAA)、聚乙烯醇(PVA)和脲醛树脂(UF)为代表的土壤改良剂能够显著改善土壤结构及其物理性状：在施用土壤改良剂之后土壤中平均水稳性团粒含量较对照增加 17.27%，渗透速率提高 41.81%，容重减少 11.18%，土壤持水能力较对照提高 2.8 倍。除此之外，聚丙烯酰胺(PAM)作为土壤改良剂的一种，在促进地表径流入渗，减少土壤侵蚀，提高林地土壤肥力方面同样成效显著^[51]。然而，土壤结构改良剂的改土效果与改良剂的用量(一般以占干土重的百分率表示)密切相关^[50]，如果用量过少，则土壤结构改良效果不明显

甚至没有什么效果，相反，如果用量太大势必使得成本提高，造成没有必要的浪费。因此，根据土壤和改良剂性状确定合适的改良剂种类的前提下，配制适宜的改良剂浓度对于今后退化马尾松林地土壤的改良具有重要意义。

3.3 加强封禁管护

南方红壤丘陵区立地条件较为复杂，地形地貌、土壤、气候等环境因子对马尾松林下植被的匮乏，低效林的形成都有着重要影响，但造成马尾松林生态系统不同程度逆向演替的最主要因素仍是过度的人为干扰。通过实行封禁管理，停止对人工造林地的掠夺性干扰，则是红壤严重侵蚀地区退化马尾松生态系植被恢复的前提和保障。再者，由于南方红壤丘陵区具有水热条件好，植被生长快，自然恢复能力强等有利条件，通过加强封禁管理，减少人为干扰，充分发挥生态系统较强自我修复能力，是实现该地区大面积集中连片轻度退化马尾松林下植被恢复的最有效、最经济和最科学的手段。

相关研究^[52-53]表明，南方红壤区植被覆盖度在 30% 以上，土壤剖面 B 层尚残存，有机质含量大于 0.5% 的马尾松群落，只需通过封禁治理基本可以依靠生态系统自身的恢复能力来实现退化马尾松群落结构和生态功能、效益的恢复；而对于那些植被盖度低于 30%，土壤有机质低于 0.5%，土壤 B 层已被剥蚀殆尽的马尾松坡地生态系统，已无法通过封禁得到恢复，必须人工加以干预，以促使生态系统的恢复或者转变为其他人类所需要达到的生态系统。到目前为止，通过长期封禁管护来减少人为干扰和破坏，以此来保障和促进马尾松林生态系统的自我修复工程已经在许多地区取得了显著成效。例如，广西横县丘陵山区马尾松疏林地在封育 4 a 后林下植被盖度由原先的 42.7% 增加到 73.3%，水土保持效益也得到明显提高^[54]；福建省南安市檀溪小流域轻度退化的马尾松群落在封禁 6 a 之后，植被覆盖度增加了 7%~35%，马尾松平均树高增加 2.93~3.64 m，土壤肥力状况明显改善^[53]；另外，浙江省常山县^[8]、福建省长汀县河田镇^[13,55]、湖南省茶陵县^[4]等地区部分马尾松林在封禁管护的前提下较好地实现了自我修复，马尾松生态系统的群落结构、功能及生态效益都得到了不同程度的恢复。

4 结论

植被恢复前长期的水土流失致使南方红壤丘陵区土壤养分水平普遍偏低；与此同时，马尾松建植初期因幼树快速生长使得原有地力的进一步急剧耗损，

加之造林初期林分结构简单、自肥能力差等原因,使得一些原本侵蚀严重、立地条件差的地区土壤的贫瘠化进一步加剧,乃至成为马尾松林下植被匮乏的主要内在因素。人口增长过快、人地矛盾加剧引发对马尾松林生态系统频繁的人为干扰和破坏则是造成这部分马尾松林下植被匮乏的外在因素。

因此,针对南方红壤侵蚀区退化马尾松林生态系统林下植被生长的主要限制因子,该地区马尾松林下植被恢复与改造可以从以下3个方面进行。

(1) 因地制宜地采取一些水土保持工程措施,在短期内实现林地水土流失的控制,有效减缓、控制马尾松林地土壤的进一步退化,为退化林地土壤的进一步改良提供保障。

(2) 结合一定的整地措施、植物措施、合理的施肥措施以及土壤改良剂实现退化林地土壤理化性状的改良。

(3) 在林地水土流失得到控制,土壤得到改良的基础上,通过加强封禁管护来控制 and 减少人为干扰,为林下植被的恢复创造条件。

[参 考 文 献]

- [1] 林业部资源和林政管理局. 当代中国森林资源概况(1949—1993)[M]. 北京:中国林业出版社,1996:48-49.
- [2] 莫江明,彭少麟,Brown S,等. 鼎湖山马尾松林群落生物量生产对人为干扰的响应[J]. 生态学报,2004,24(2):193-200.
- [3] 马志阳,查轩. 南方红壤区侵蚀退化马尾松林地生态恢复研究[J]. 水土保持研究,2008,15(3):188-193.
- [4] 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:II. 恢复成效的分析与评价[J]. 中南林业调查规划,2002,21(2):1-3.
- [5] 莫江明,Brown S,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.
- [6] 吕勇. 马尾松林下植被及其生物量的研究[J]. 中南林业调查规划,1997,16(1):53-56.
- [7] 陈宏荣,岳辉,彭绍云,等. 侵蚀地劣质马尾松林改造效果分析[J]. 中国水土保持科学,2007,5(4):62-65.
- [8] 余黎红,刘国军,刘晓明,等. 常山县马尾松林生态系统的修复及成效分析[J]. 林业调查规划,2006,31(2):56-58.
- [9] 李文刚,刘凡弟,张承芬,等. 马尾松幼林施肥对林地土壤肥力的影响[J]. 贵州林业科技,1996,24(4):27-30.
- [10] 李志安,邹碧,曹裕松,等. 南方典型丘陵退化荒坡地土壤养分特征分析[J]. 生态学报,2003,23(8):1648-1656.
- [11] 魏玲娜,陈喜,王文,等. 山体土壤水分分布特征及其影响因素:以东江流域为例[J]. 水土保持研究,2009,16(5):149-152.
- [12] 柳云龙,胡宏涛. 红壤地区地形位置和利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(1):22-26.
- [13] 杨玉盛,何宗明,邱仁辉,等. 严重退化生态系统不同恢复和重建措施的植物多样性与地力差异研究[J]. 生态学报,1999,19(4):490-494.
- [14] 康冰,刘世荣,蔡道熊,等. 马尾松人工林林分密度对林下植被及土壤性质的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2323-2331.
- [15] 黄登银. 不同密度马尾松林下植被和土壤性质[J]. 防护林科技,2009(2):21-23.
- [16] 莫江明,Brown S,彭少麟,等. 人为干扰对鼎湖山马尾松林土壤细根和有机质的影响[J]. 生态学报,2004,25(3):491-499.
- [17] 莫江明,孔国辉,Brown S,等. 鼎湖山马尾松林凋落物及其对人类干扰的响应研究[J]. 植物生态学报,2001,25(6):656-664.
- [18] 赵其国. 我国红壤的退化问题[J]. 土壤,1995,27(6):281-286.
- [19] 鲁如坤,时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施: I. 退化状况评价及酸害纠正措施[J]. 土壤,2000,32(4):198-209.
- [20] 张桃林,鲁如坤,李忠佩. 红壤丘陵区土壤养分退化与养分库重建[J]. 长江流域资源与环境,1998,7(1):18-24.
- [21] 孙波,张桃林,赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价[J]. 土壤,1995,27(3):119-128.
- [22] 杨玉盛,何宗明,邱仁辉,等. 严重退化生态系统不同恢复和重建措施的植物多样性与地力差异研究[J]. 生态学报,1999,19(4):490-494.
- [23] 聂碧娟. 闽西花岗岩侵蚀劣地土壤肥力特征及防治对策[J]. 福建水土保持,1998(3):46-49.
- [24] 陈志彪,朱鹤健. 不同水土流失治理模式下的土壤理化特征[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2006,22(4):5-9.
- [25] 姚贤良. 红壤水问题及其管理[J]. 土壤学报,1996,33(1):13-20.
- [26] 钟继洪,谭军,郭庆荣,等. 南亚热带丘陵湿润铁铝土结构退化及其机理[J]. 土壤学报,1999,36(4):499-509.
- [27] 邹养军,马锋旺,韩明玉,等. 土壤紧实胁迫与植物抗胁迫响应机理研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6):212-215.
- [28] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,等. 封禁管理对严重退化群落养分循环与能量的影响[J]. 山地学报,2002,20(3):325-330.
- [29] 刘更另,黄新江,冯云峰. 红壤丘陵自然植被恢复及其

- 对某些土壤条件的影 响[J]. 中国农业科学, 1990, 23(3): 60-69.
- [30] 刘荣乐. 湘南丘陵持水特征及水分状况研究[J]. 中国农业科学, 1992, 25(2): 82-89.
- [31] 陈宏志, 胡庭兴, 龚伟, 等. 我国森林小气候的研究现状[J]. 四川林业科技, 2007, 28(2): 29-32.
- [32] 王伯荪, 黄庆昌, 黄培佑. 广东鼎湖山森林群落的小气候[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1965(3): 366-382.
- [33] 俞元春, 余健, 房莉, 等. 缺磷胁迫下马尾松和杉木苗根系有机酸的分泌[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(2): 9-12.
- [34] 王水良, 王平, 王趁义. 铝胁迫下马尾松幼苗有机酸分泌和根际 pH 值的变化[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(1): 87-91.
- [35] Wang Xiaojun, Gong Zitong. Ecological effect of land use patterns in red soil hilly region[J]. *Pedosphere*, 1995, 5(2): 163-170.
- [36] 黄付平, 蔡灿星, 黎向东. 马尾松连栽对其幼林生长的影响[J]. 广西农业大学学报, 1994, 13(4): 373-380.
- [37] 赵汝东, 樊剑波, 何园球, 等. 退化马尾松林下土壤障碍因子分析及酶活性研究[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1287-1292.
- [38] Dzwonko Z, Gawrofski S. Effect of litter removal on species richness and acidification of a mixed oak-pine woodland[J]. *Biological Conservation*, 2002, 106(3): 389-398.
- [39] 莫江明, 彭少麟, Brown S, 等. 鼎湖山马尾松林植物养分积累动态及其对人为干扰的响应[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 810-822.
- [40] 白岗栓. 陕北丘陵沟壑区不同整地方式对果树生长环境的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(7): 11-14.
- [41] 姚毅臣, 李相玺, 范明华. 花岗岩侵蚀区坡面工程措施的研究[J]. 水土保持研究, 1997, 4(1): 155-160.
- [42] 罗学升. 河田水土保持坡面工程的评价[J]. 福建水土保持, 1995(1): 53-60.
- [43] 叶功富, 林武星, 张批松, 等. 整地方式对杉木生长进程和土壤肥力的动态影响[J]. 福建林业科技, 1998, 25(1): 7-12.
- [44] 吴起明. 整地方式对马尾松幼林生长及土壤肥力的影响研究[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(2): 230-232.
- [45] Amiotti N M, Sanchez L F, Peinemann N. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina[J]. *Ecology*, 2000, 81(12): 3283-3290.
- [46] 林德喜, 樊后保. 马尾松林下补植阔叶树后森林凋落物量、养分含量及周转时间的变化[J]. 林业科学, 2005, 41(6): 7-15.
- [47] 王会利, 唐玉贵, 韦娇媚. 低效林改造对土壤理化性质及水源涵养功能的影响[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(5): 72-78.
- [48] 黄文超, 黄丽莉. 马尾松—木荷混交造林效果的调查研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 316-320.
- [49] 杨玉盛, 何宗明, 林光耀, 等. 退化红壤不同治理模式对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 276-282.
- [50] 吴淑芳, 吴普特, 冯浩. 高分子聚合物对土壤物理性质的影响研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 42-45.
- [51] Lentz R D, Sojka R E, Robbins C W. Reducing soil and nutrient losses from furrow irrigated fields with polymer applications [J]. *Advances in GeoEcology*, 1998, 31: 1233-1238.
- [52] 阮伏水, 周伏建. 花岗岩侵蚀坡地重建植被的几个关键问题[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 19-25.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 严重侵蚀红壤封禁管理后土壤性质的变化[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(3): 236-239.