

南亚热带水土流失地区人工加速植被演替过程

王费新¹, 王兆印^{1,2,*}, 杨正明³, 纪喜宁³

(1. 清华大学水利系, 北京 100084; 2. 国际泥沙研究培训中心, 北京 100044; 3. 惠州市水土保持站上杨试验站, 惠州 516211)

摘要:水土流失地区植被在自然条件下从阳生草本到乔灌木复合植被的演替过程常常需要很长的时间, 选取适当树种人工造林可以省略先锋物种强阳生草本的发育时间, 提早诱发灌木和草本植物发育, 大大加速植被恢复演替过程。通过对广东惠州市惠阳区上杨试验站等南亚热带典型水土流失地区的研究发现: 自然封育状态下, 水土流失地区植被恢复和演替缓慢, 25a 后植被覆盖度只有 35%, 且主要以阳生性耐贫瘠的灌木及草本为主, 土壤侵蚀仍然比较严重。选择大叶相思树人工造林加速了植被演替进程, 控制了水土流失, 12a 左右植被覆盖度就达 90% 左右。造林 23a 左右, 林地遮蔽涵养水分和控制侵蚀作用下迅速生长多种当地物种, 形成了乔、灌、草、藤、竹多层复合植被。在南亚热带季风气候地区, 自然封育状态下严重水土流失区植被恢复至较稳定的次生林阶段需要 60a 左右的时间; 人工造林加速植被演替只需要 20a。植树造林是该地区植被恢复发育及控制水土流失的有效措施。

关键词:植被演替; 土壤侵蚀; 植树造林; 水土保持

文章编号: 1000-0933(2006)08-2558-08 中图分类号: Q948, S157 文献标识码: A

Vegetation succession process induced by reforestation in erosion area

WANG Fei-Xin¹, WANG Zhao-Yin^{1,2,*}, YANG Zheng-Ming³, JI Xi-Ning³ (1. Department of Hydraulic and Hydropower Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China; 3. Shangyang Field Station, Huizhou Water and Soil Conservation Station, Huizhou 516211, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2558 ~ 2565.

Abstract: Reforestation is one of the most important and efficient measures of water and soil conservation. Based on field investigation at the Shangyang Soil Conservation and Reforestation Station in Huizhou, Guangdong Province, China, vegetation development, the vegetation succession process, and soil erosion variation are studied in this paper. The regional vegetation consists mainly of monsoon evergreen broad-leaved forest. The area was deforested and became a bare hilly area with extremely high soil erosion in the 1960s and 1970s. Then the area was closed for vegetation recovery. Under natural conditions the vegetation development and the succession process are slow. Soil erosion, strong sunshine, and evaporation slow vegetation development. About 25 years later, the vegetation cover merely reached 35% or so. The dominating vegetation types were heliophilous herbage and shrubs, which formed a poorly developed shrub-herbage community. The erosion is still high. On the other hand, reforestation with selected species of trees dramatically sped up the vegetation succession process. About 12 years after reforestation, the vegetation cover of the artificial *Acacia auriculaeformis* forest at the Shangyang Station reached 90% and erosion was on controlled. After 23 years, understory vegetation consisting of local species has developed in the artificial forest. The planted trees and naturally developing plants, shrubs, bamboo, trees, and liana formed a complicated vegetation community with three layers. It takes about 60 years for the vegetation to progress from bare land to second growth forest under natural conditions. Reforestation

基金项目:国家自然科学基金委员会与香港研究资助局资助基金项目(50318003); 国家自然科学基金资助项目(40371010)

收稿日期:2005-05-10; **修订日期:**2006-01-23

作者简介:王费新(1979~), 男, 江苏江阴人, 博士生, 主要从事植被-侵蚀动力学研究. E-mail: wangfeixin01@mails.tsinghua.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zywang@tsinghua.edu.cn

Foundation item: The project was supported by Joint Found of National Natural Science Foundation of China(No. 40371010) and the Research Grant Council of Hong Kong (No. 50318003); National Natural Science Foundation of China (No. 40371010)

Received date: 2005-05-10; **Accepted date:** 2006-01-23

Biography: WANG Fei-Xin, Ph. D. candidate, mainly engaged in vegetation-erosion dynamics. E-mail: wangfeixin01@mails.tsinghua.edu.cn

may speed up the vegetation succession process. The time may be reduced to 20 years. Reforestation is an effective measure of vegetation restoration and erosion control in this area.

Key words: vegetation succession; erosion; reforestation; water and soil conservation

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一。植被是控制水土流失的关键因素之一,而严重的水土流失都是由于植被遭到严重破坏,地表裸露造成的。植树造林是最有效和最常采用的水土保持措施之一。适当的造林措施能有效地促进水土流失地区植被恢复发育、控制水土流失、改善生态环境。因此,植树造林措施被广泛应用于各地区的水土保持工作中,并在不少地区取得了较好的效果^[1]。定量化研究和探讨水土流失地区人工造林加速植被恢复演替过程,对于当地水土保持工作具有重要的理论价值和实际意义。由于植被恢复发育及其演替过程的复杂性及不确定性,以及气候、地形、土壤特性、植被、侵蚀之间相互关系的复杂性,加上不同人类活动干扰的影响,目前在这方面的研究尚少,且多停留在定性研究上。王兆印等^[2-4]开发了植被-侵蚀动力学模型,用于分析预测植被及土壤侵蚀在各种生态应力及人类活动影响下的演变规律,并成功地应用于云南小江、定西安家沟及晋西王家沟等流域。在此基础上,选取位于亚热带季风气候区的广东省惠州市惠阳区水土流失山地,通过对典型样地进行植物及水土流失情况调查和分析,探讨人工加速植被演替的过程及植被恢复与水土流失之间的相互影响。

1 研究地区概况及研究方法

1.1 研究地区概况

本项研究区域位于惠州市惠阳区。该区为我国典型的亚热带季风气候(图1):气候温暖,降雨充沛,多年平均气温 21.8℃,多年平均降雨量 1726.3mm;年内干湿季节明显,降雨主要集中在 4~9 月份,占年降雨量 82.8%,形成雨季,其它月份降雨较少,尤其在 10~12 月份降水线稍低于温度线,略显干旱。该地区温暖湿润、雨热同季的气候特点有利于植被的生长发育,但同时雨水过分集中和台风灾害,容易形成暴雨和洪涝灾害,导致严重的土壤侵蚀,甚至破坏山林,阻碍退化生态系统的恢复。

惠阳区为丘陵台地地貌,地带性土壤为赤红壤,母质以花岗岩及砂页岩为主。由于长期人类活动影响,尤其是 20 世纪 50~70 年代大面积的毁林开荒及砍伐薪柴,大部分地区植被遭到严重破坏,土壤侵蚀严重,不少地方基岩裸露。其后进行了大面积的植树造林活动,形成了马尾松林、湿地松林、大叶相思林及针阔叶混交林等人工林及次生林。此外,仍有少数地方为残存植被在自然封育状态下逐渐恢复形成的次生荒坡草地、次生常绿灌丛。

选取自然条件相似的 3 处坡地为研究样地,一处位于惠阳区淡水镇南郊(以下简称对照样地),另两处位于淡水镇东南上杨试验站内,分别代表自然封育及人工造林两种情况。由于长期人类活动影响,20 世纪 70 年代末原有植被荡然无存,面状侵蚀及沟状侵蚀严重,基岩裸露。对照样地坡度在 5°~30°左右,坡向东偏北,基岩为紫色砂页岩,上覆第四纪沉积物绝大部分已侵蚀殆尽,部分区域基岩裸露,土壤为赤红壤,现有植被为 70 年代末停止人为干扰后逐渐发育而形成的低矮稀疏的次生灌草丛(图 2a)。上杨试验站现有植被为 20 世纪 80 年代大规模植树造林形成的各种人工林地,并且林下诱发生长了各种灌木、草本及乔木^[5]。其中大叶相思纯林地种植于 1981 年,坡度在 5°~15°左右,坡向向南,下部基岩为紫色砂页岩,上覆第四纪沉积物或坡积物^[5],土壤为赤红壤,种植时土地进行过平整并开成水平阶地,造林时采用营养杯育苗,曾施有机肥,并在大叶相思生长的头两年进行过追肥,现已郁蔽成林,郁蔽度在 65% 左右,大叶相思树高 12~20m,胸径 7~30cm 左

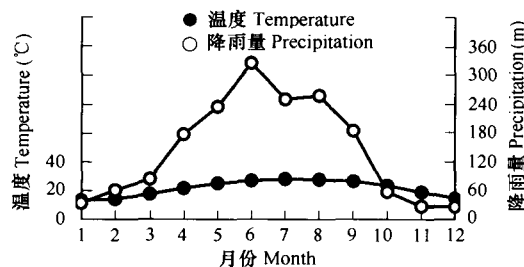


图1 惠阳站气候状态

Fig.1 Climate chart of Huiyang weather station

右,林下灌草丰富(图 2b)。大叶相思-湿地松混交林种植于 1980 年及 1984 年,坡度在 $5^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 左右,基岩及土壤情况同大叶相思纯林地,未采取土地平整措施,现除坡底及坡沟等部分地区外,多数地区生长情况差于大叶相思纯林地,郁蔽度在 50% 左右,大叶相思、湿地松树高 4 ~ 12m,胸径在 5 ~ 20cm 之间,部分形成了“小老头树”,林下植被种类相对较少。

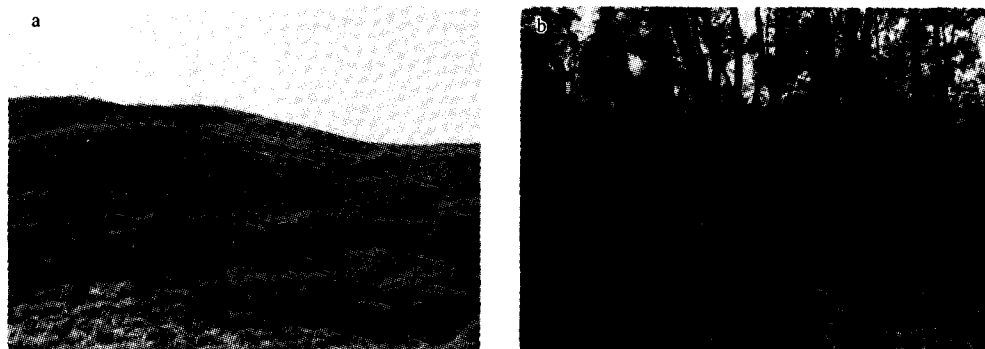


图 2 对照样地(a)与上杨试验站大叶相思纯林地(b)植被现状

Fig. 2 Present vegetation status of the check plot (a) and artificial *Acacia auriculiformis* forest in Shangyang field station (b)

此外,为了弥补植被资料的不足,选择了位于上杨试验站东北大约 10km 的风田水库大坝右岸处坡地上人工大叶相思纯林地作为参考,以空间序列代替时间序列,对大叶相思纯林地下植被发育演替过程进行探讨。该处为开山修路形成的路边裸地,坡度在 $5^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间,坡向东至东北,基岩为花岗岩,分别于 3a 前、5a 前、8a 前、12a 前种植大叶相思树,形成各年龄段的大叶相思人工林。

1.2 研究方法概述

拟通过植物样方调查,并收集试验站植被调查记录及径流小区资料,以及自然条件类似的水土流失区资料,得到各典型样地植被覆盖度变化情况,土壤侵蚀变化过程,以及各阶段植被发育状况,揭示南亚热带水土流失区人工造林对促进植被恢复发育,加速植被演替过程,控制水土流失的作用。

各阶段植被覆盖度及植被发育状况通过如下方法得到:采用标准样方法调查记录试验站内大叶相思纯林、大叶相思-湿地松混交林及对照样地植被覆盖度、发育现状及乔灌木年龄结构。由大叶相思纯林乔灌木年龄结构推算不同年份乔灌木发育状况,并参照试验站植被调查记录^[5,6]及风田水库处不同年份大叶相思人工林下灌草发育状况,得到不同年份大叶相思纯林植被覆盖度,以及林下植物种类及分布面积。调查对照样地不同部位灌草组成及覆盖度代表对照样地不同演替阶段及相应植被覆盖度。各年份大叶相思-湿地松混交林植被覆盖度则根据试验站植被调查记录^[5,6]并参照大叶相思纯林得到。考虑到植被水土保持机理,即主要通过地上部分截留降水作用及降低风速、地表枯落物及地表覆盖层抗冲蚀作用及增阻缓流作用、根系固坡保土作用从而起到控制水土流失的作用^[1],采用的植被覆盖度是指植被地上部分,包括乔、灌木冠层、草本层及枯枝落叶层,能阻止降雨直接击溅地表的面积占总面积的比例,称之为有效覆盖度。有效覆盖度能反映出植被在防止降雨击溅侵蚀及水力侵蚀时实际产生作用的植被面积所占的比例,因而与土壤侵蚀之间的相互关系更密切。

各样地土壤侵蚀模数主要依据试验站内径流小区资料计算得到,同时考虑各样地植被覆盖度变化情况并参考自然环境条件相似的水土流失区植被覆盖度-土壤侵蚀模数关系曲线进行适当修正。为了消除降雨因素对土壤侵蚀的影响,计算时采用 10a 滑动平均进行调整,得到的土壤侵蚀模数变化曲线反映了土壤侵蚀的变化趋势。

2 结果与分析

2.1 人工造林加速植被恢复发育与土壤侵蚀变化过程

各样地植被覆盖度及土壤侵蚀模数变化情况见图 3。

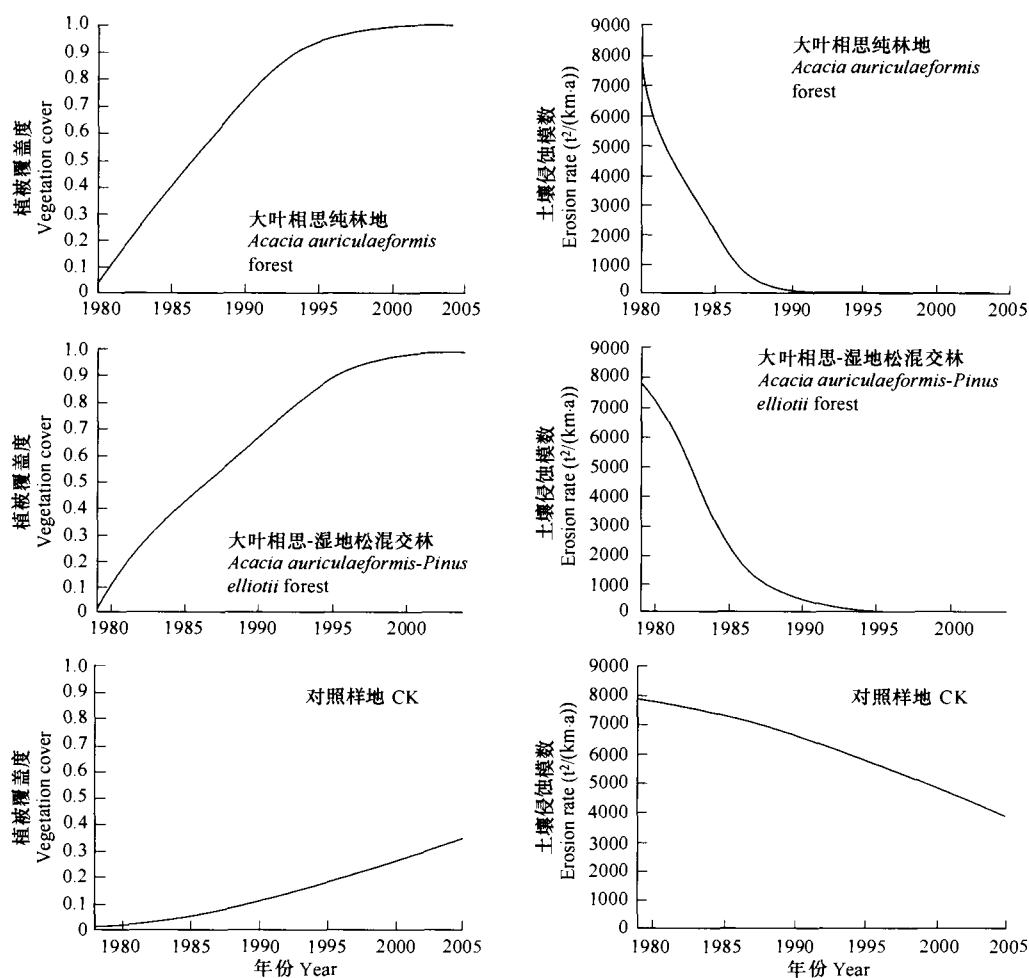


图3 各样地有效植被覆盖度及土壤侵蚀模数变化情况

Fig.3 Evolvement of vegetation cover and erosion rate at different sample plots

由图3,自然封育状态下,南亚热带季风气候地区严重水土流失区植被恢复需要较长的时间。由于植被遭到严重破坏,长期严重水土流失导致土层薄弱,土壤极度贫瘠,甚至基岩裸露,植被恢复困难。经过25a左右的封育,对照样地植被的有效覆盖度也只有35%,仍有40%左右陡坡地基岩裸露。植被主要以阳生性耐贫瘠的草本及灌木植被为主,形成稀疏的桃金娘、岗松-芒萁灌草群落。同时,水土流失依然相当严重。

与此对比,适当的人工造林能够明显加快植被恢复发育过程,有效降低土壤侵蚀强度,并促进林下植被的发育和演替(见图3)。其中,大叶相思纯林地采用了适宜的造林措施,并对土地进行了平整,植被覆盖度迅速增加,12a左右森林郁蔽度就达70%,植被有效覆盖度达到90%。造林23a左右,林下生长了各种当地草本、灌木、藤类及乔木种类,并形成了明显的分层结构。同时,林地土壤侵蚀强度迅速降低,10a左右就基本上控制住了水土流失。大叶相思-湿地松混交林地初始情况类似于大叶相思纯林地,但是造林时没有采取整地措施,大叶相思、湿地松的生长受到一定程度限制,植被的恢复和发育速度稍低于大叶相思纯林地,15a左右林地郁蔽度达50%,植被有效覆盖度达到90%。14a左右土壤侵蚀基本上得到了控制。

2.2 人工造林加速植被演替过程

2.2.1 南亚热带季风气候区植被演替模式

南亚热带季风气候区森林群落在自然状况下遵循一定客观规律趋向于更优化的气候顶极群落演替,其演替模式包括6个阶段(见图4)^[7,8]。结合自然状态下从裸地至形成森林所经历的草丛、灌草丛阶段,可以得到南亚热带季风气候区植被演替的典型模式(见图4)。



图 4 南亚热带季风常绿阔叶林区典型植被演替模式

Fig. 4 Vegetation succession pattern of monsoon evergreen broad-leaved forest in lower subtropical China

水土流失区在形成稳定的次生林前,土壤侵蚀对植被有较大的破坏作用,是制约植被恢复演替的最主要因素;在形成稳定的次生林后,土壤侵蚀基本上得到控制,植被演替主要受气候条件、植被类型等其它环境条件制约。以下主要探讨该地区植被由次生裸地至形成较稳定次生林阶段植被演替过程,而不考虑成林后各阶段森林群落的演替。

2.2.2 自然封育状态下植被演替过程 对照样地及大叶相思人工造林情况下植被演替过程见图 5。由图 5,自然封育状态下南亚热带水土流失区次生裸地植被恢复缓慢。严重的水土流失和贫瘠薄弱的土层严重制约了植被演替的进程。经过 26a 左右的恢复发育,对照样地形成以阳生性耐贫瘠的草本及灌木为主的灌草丛群落,仍需要相当长的时间才能发育演替到相对稳定的次生林阶段。

对照样地植被演替过程大致如下:封育前,整个坡地只有零星分布的鹧鸪草(*Eriachne pallescens*)、百足草(*Eremochloa ciliaris*)等强阳性耐贫瘠耐干旱 1 年生草本植物;采取封育措施后,这些草本植被在缓坡地段缓慢发育,同时其他强阳性耐贫瘠草本植物种类逐渐侵入,如小画眉草(*Eragrostis poaeoides*)、糖蜜草(*Melinis minutiflora*)、牛筋草(*Eleusine indica*)等,蕨类植物芒萁(*Dicranopteris pedata*)也开始出现;经过 10a 封育,局部环境得到一定程度的改善,桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、岗松(*Baeckea frutescens*)、鬼灯笼(*Cleridendrun fortunatum*)等阳生性灌木逐步出现,同时出现多种草本植物种类,芒萁迅速发育;20a 后,其它阳生性灌木种类出现,同时芒萁、桃金娘、岗松等逐步占据优势位置,先锋物种百足草等逐渐消退,初步形成桃金娘、岗松-芒萁灌草丛群落,现阶段 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.359。其后,灌木、草本将进一步发育,环境进一步得到改善,先锋乔木树种将逐步出现,整个群落将经由稀树灌丛发育形成次生林。

2.2.3 人工造林加速植被演替过程 由于受到乔木遮蔽、涵养水分以及一定程度控制水土流失作用,人工林下植被演替进程明显加快。造林 4a,白茅(*Imperata cylindrica*)、糖蜜草、百足草等阳生性草本开始出现,同时芒萁也开始零星出现;造林 8a 左右,随着上层乔木冠层的发育,芒萁迅速发育,其它草本植物也逐步发育,桃金

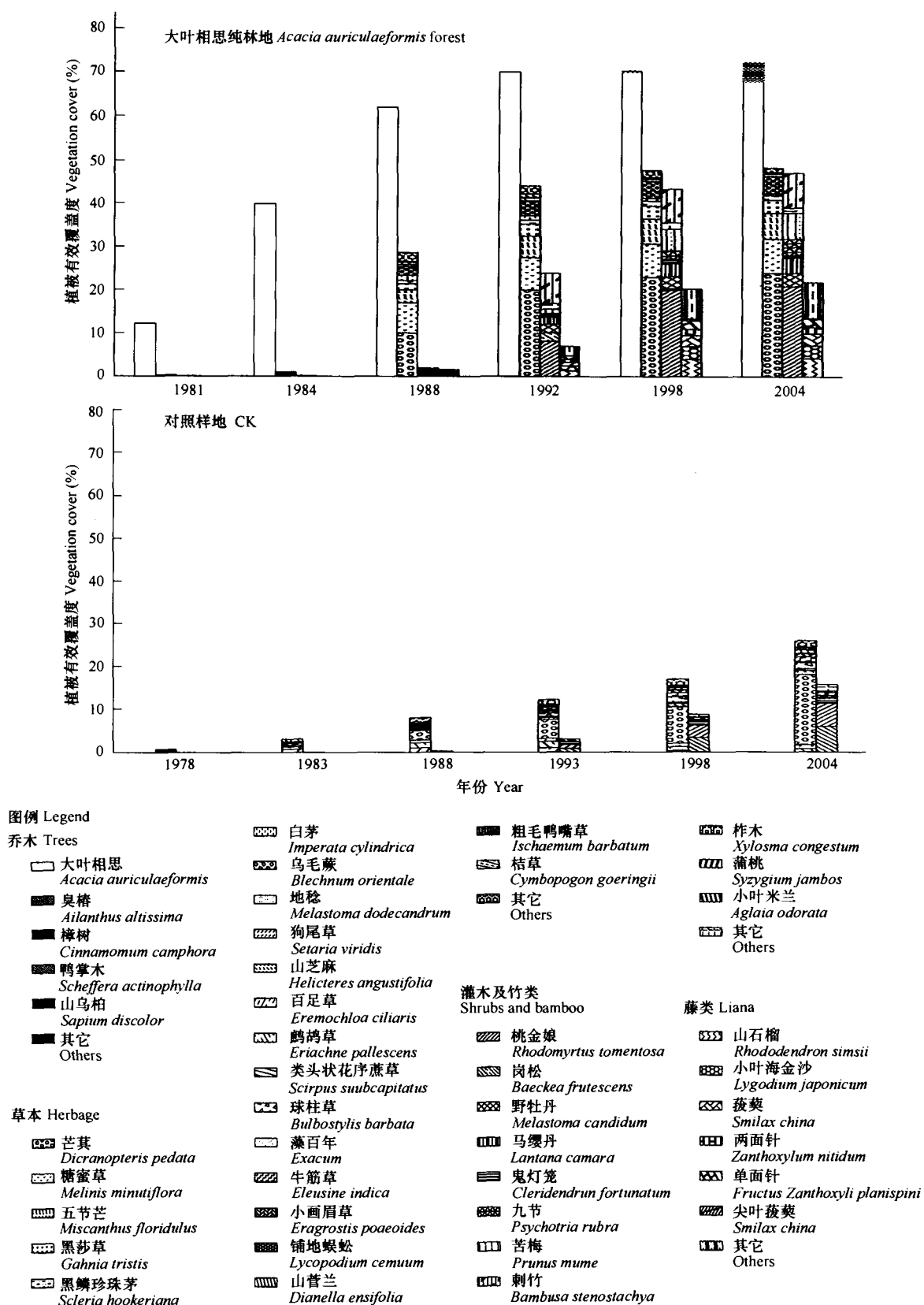


图 5 大叶相思人工林及对照样地植被演替过程

Fig. 5 Vegetation Succession in the Artificial acacia auriculata forest and the check plot

娘、岗松等阳生性灌木也开始出现;造林 12a 左右,受到乔木冠层遮蔽影响,百足草、鹧鸪草等强阳生性草本逐渐消失,芒萁、糖蜜草、桃金娘等进一步发育,樟树 (*Ailanthus altissima*)、鸭掌木 (*Scheffera actinophylla*)、菝葜 (*Smilax china*) 等当地乔木树种及藤类植物开始出现;其后,芒萁、糖蜜草、桃金娘等迅速发育,分别占据草本层及灌木层的优势地位,而阳生性较强的岗松逐渐消失,乔木及藤类继续发育;至 2004 年,大叶相思人工林下植物种类丰富,部分中生性及较耐阴的乔灌木物种如九节 (*Psychotria rubra*) 等也开始出现,形成了明显的 3 层结构:乔木层为大叶相思树;灌木层以桃金娘为主,另有九节等灌木及樟树、鸭掌木、臭椿 (*Ailanthus altissima*) 等当地乔木幼树;草本层以芒萁、糖蜜草为主;其间还生长有各种藤类植物,Shannon-Wiener 指数达 3.007。

大叶相思-湿地松人工林地植被现状与大叶相思纯林地类似,但植被种类、物种多样性及林分郁蔽度都逊于大叶相思纯林,Shannon-Wiener 指数只有 1.263,林下植被草本层以芒萁为主,灌木层以桃金娘为主,分别占据草本层和灌木层的绝对优势,而其他植物种类稀少。

3 讨论

3.1 影响植被恢复的因素

气候条件是决定植被恢复发育速度的决定性因素。南亚热带地区温暖湿润的气候有利于植被的快速生长,因此该地区植被具有较强的恢复能力。

此外,在自然封育状态下,不同人为破坏形成的次生裸地,其土壤侵蚀强度,残留土壤状况,是否残存原生植被繁殖体,周围植被状况等因素都会影响到裸地植被恢复发育的快慢。试验站内的火烧林地,虽然地表植被完全烧毁,土壤侵蚀有所增加,但是土壤中仍存有植物根系、种子及植物生长所需要的营养物质,植被恢复较快,6a 左右植被就恢复至与对照样地大致相当的程度。张振克^[9]的研究也表明:受周围自然植被影响,人为挖土形成的裸露坡面,植被能得到较快的恢复,6a 左右地表植被覆盖度达 100%。而在长期人类活动影响下,对照样地植被遭到严重破坏,水土流失严重,停止人为干扰后植被恢复发育缓慢。

人工植树造林能加快水土流失区植被的恢复发育,而适当的植物组合及合理的配置并辅以适宜的工程措施能明显加速植被恢复发育的速度^[10]。试验站内大叶相思纯林采取了适宜的栽培措施,并进行了整地,植被恢复演替的速度明显大于没有采取相应措施的大叶相思-湿地松混交林。

3.2 植被演替过程的历时

在自然封育状态下,严重水土流失区植被恢复演替过程缓慢。对照样地情况表明,南亚热带季风气候严重水土流失区,经过 25a 的自然封育,初步达到灌草丛阶段。对粤东五华县^[8]、江西赣南红壤侵蚀区^[11]、香港^[12,13]等附近地区的研究表明,自然封育状态下,这些地区的退化山坡草丛经灌丛演替至次生林阶段大概需要 30~40a 时间,其中灌丛至次生林阶段需要 20a 左右的时间。据此,自然封育状态下对照样地植被达到次生林阶段还需要 30~40a 左右的时间。由此初步推断,自然封育情况下,南亚热带严重水土流失区植被从裸地恢复发育至较稳定的次生林大概需要 60a 左右的时间。

人工造林能够明显加快植被恢复发育和植被演替进程。试验站大叶相思纯林等典型林地植被发育状况表明,适当的人工造林措施能显著加快水土流失区植被的恢复和发育,加速植被演替的过程,经过 20a 左右就能形成比较稳定的人工林。可见,适当的人工造林措施对于南亚热带水土流失区植被的恢复发育具有重要的作用。

4 总结

我国南亚热带气候区温暖湿润的气候特点,有利于植被的生长发育;同时,多暴雨和台风灾害,导致植被破坏后极易形成水土流失。因此,该地区植被和土壤侵蚀之间具有较强的动力学相互作用关系。本文选取了位于该地区的广东省惠州市惠阳区水土流失山地,探讨了自然封育状态及人工造林下严重水土流失裸地植被恢复发育演替过程及水土流失变化过程。通过研究,发现该地区植被具有较强的恢复能力,而水土流失是制约植被恢复演替的重要因素,适当的人工造林措施能够显著加快植被的恢复,促进植被演替进程,快速治理水

土流失,改善当地的生态环境。试验站的成功经验和造林措施可以推广应用到自然环境条件相似的其他亚热带水土流失区,指导这些地区的水土保持工作。

References:

- [1] Wang X K, Fang D. Study on the mechanism and its efficiency of vegetative measures on water and soil erosion control. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2000, 32(2): 13 ~ 16.
- [2] Wang Z Y, Wang G Q, Li C Z, *et al.* A preliminary study on vegetation-erosion dynamics and its applications. *Science in China (series D)*, 2003, 33(10): 1013 ~ 1023.
- [3] Wang Z Y, Wang G Q, Gao J. An ecological dynamics model of vegetation evolution in erosion area. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 98 ~ 105.
- [4] Wang Z Y, Huang G H, Wang G Q, *et al.* Modeling of Vegetation-Erosion Dynamics in Watershed Systems. *Journal of Environmental Engineering (c) ASCE*. 2004, 7: 792 ~ 800.
- [5] Liao A Z, Zhang S G, Deng L, *et al.* Soil and water resources appraisalment in the soil and water loss area in Dongjiang watershed- taking Shangyang experimental area as an example. *Research of Soil and Water Conservation*, 1997, 4(3): 78 ~ 89.
- [6] Zhou L M, Deng L. Plant community evolution in an area rehabilitated for soil and water conservation. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2004, 24(4): 38 ~ 39.
- [7] Peng S L. *Forest community dynamics in lower subtropical China*. Beijing: Science Press, 1996.
- [8] Liu S Z, Ao H X, He D Q, *et al.* Preliminary study on the restoration of subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest in Wuhua county, Guangdong Province. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1998, 6(1): 57 ~ 64.
- [9] Zhang Z K. Study on natural recovery of vegetation on man-made bare slope. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, 1: 26 ~ 28.
- [10] Guo X M, Nu D K, Liu Y Q, *et al.* The vegetation restoration and reconstruction of different types of degraded barren ecosystem in Jiangxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 878 ~ 884.
- [11] Xie B P, Niu D K, Yang X F. Preliminary study on vegetation degeneration and restoration on eroded red soil in South Jiangxi. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2001, 27(6): 4 ~ 9.
- [12] Zhuang X, Corlett R T. Forest and forest succession of Hong Kong, China. *J Trop Ecol*, 1997, 14: 857 ~ 866.
- [13] Zhuang X Y, Qiu M L. An investigation of floristic diversity of three types of plantations in Hong Kong. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1998, 6(3): 196 ~ 202.

参考文献:

- [1] 王协康, 方铎. 植被措施控制水土流失机理及其效益研究. *四川大学学报(工程科学版)*, 2000, 32(2): 13 ~ 16.
- [2] 王兆印, 王光谦, 李昌志, 等. 植被-侵蚀动力学的初步探索和应用. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33(10): 1013 ~ 1023.
- [3] 王兆印, 王光谦, 高菁. 侵蚀地区植被生态动力学模型. *生态学报*, 2003, 23(1): 98 ~ 105.
- [5] 廖安中, 张淑光, 邓岚, 等. 东江流域水土流失区水土资源评价——以上杨试验区为例. *水土保持研究*, 1997, 4(3): 78 ~ 89.
- [6] 周利民, 邓岚. 水土保持生态修复林植物群落演替研究. *水土保持通报*, 2004, 24(8): 38 ~ 39.
- [7] 彭少麟. *亚热带森林群落动态学*. 北京: 科学出版社, 1996.
- [8] 刘世忠, 敖惠修, 何道泉, 等. 粤东五华县亚热带季风常绿阔叶林退化生态系统恢复的初步研究. *热带亚热带植物学报*, 1998, 6(1): 57 ~ 64.
- [9] 张振克. 人为裸露坡面植被自然恢复的初步研究. *水土保持通报* 1998, 1: 26 ~ 28.
- [10] 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. *生态学报*, 2002, 22(6): 878 ~ 884.
- [11] 谢宝平, 牛德奎, 杨先锋. 赣南红壤侵蚀区植被退化和恢复演替的初步研究. *江西林业科技*, 2001, 27(6): 4 ~ 9.
- [13] 庄雪影, 邱美玲. 香港三种人工林下植物多样性的调查. *热带亚热带植物学报*, 1998, 6(3): 196 ~ 202.