

东江流域水土流失区生态系统研究

——以上杨试验区为例

² 廖安中 ¹ 张淑光 ¹ 邓 岚 ² 姚少雄

³ 谭子文 ³ 余洪生 ³ 纪喜宁 ¹ 周利民

(1. 广东省水利水电科学研究所 广州 510610)

(2. 广东省水土保持领导小组办公室) (3. 惠州市水土保持站)

摘 要 本区自然生态系统属于亚热带常绿季雨林赤红壤,经人为破坏,目前处于演变系列发育阶段中的亚热带草坡(包括稀树草坡)侵蚀赤红壤阶段,一部分已沦为寸草不生的光板地强度侵蚀赤红壤,后经兴修梯田、水平阶、植树造林,逐步建立起人工森林土壤生态系统。土壤肥力提高,蓄水保土,无土壤侵蚀,微生物活性增强,改善了生态环境。目前本区有6种生态系统类型;试验表明人工森林生态系统类型动物增加近10倍,土壤微生物活性增强20倍,物质能量转化提高;土壤有机质含量也增加近10倍,土壤pH和肥力都有提高,并且改善了小区气候。

关键词 东江流域 水土流失 生态系统 生态环境

Study on Eco-system of Soil and Water Loss

Area in Dongjiang Basin

——Taking Shangyang Experimental Area as an Example

² Liao Anzhong ¹ Zhang Shuguang ¹ Deng Lan ² Yao Shaoxiongy

³ Tan Ziwen ³ Yu Hongsheng ³ Ji Xining ¹ Zhou Limin

(1. Guangdong Institute of Hydro-power and Water Sciences Guangzhou 510610)

(2. Soil and Water Conservation Office of Water Conservancy Department in Guangdong Province)

(3. Soil and Water Conservation Station of Huizhou City)

Abstract The natural eco-system in Dongjiang basin belong to subtropical evergreen monsoon rainforest, throughing man's destruction, one part developed the subtropical grass slope with soil erosion, another part became the barren land with strong erosion. By building terrace, level beach and afforestation, the soil fertility in this area was improved, with water-storaging and soil-conservating functions, increasing of soil microbe activity, improvement of eco-environment, without soil erosion. At present this area has 6 eco-system types, the experimental results showed that for artificial forest eco-system, the animal increased nearly 10 folds, the activity of soil microbe increased 20 folds, the matter-energy transformation improved, the soil organic matter

content increased nearly 10 folds, the soil pH and soil fertility improved, the small climate became better.

Key words Dongjiang basin soil and water loss eco-system eco-environment

1 概 论

生态学是一门研究生物与其生活环境相互关系的科学。系统生态学是通过较晚近出现的环境污染、气候恶化、生物资源消减、土地再生能力衰退等全球性问题的研究而逐步建立起来的新兴学科。它运用了系统论、控制论的观点和方法,不仅在理论上深刻揭示了生物社会变化发展的必然规律,而且实践上可以有效地控制或影响它的发展趋势。根据系统生态学的理论,把生物个体或群体存在特点不同的一定地域空间,包括它们自身和影响它们存在活动的各有关环境因子在内当作一个独立的系统,在这系统内,不同生物个体群体之间,构成一个相互依存、相互制约、密切联系而不可分割的统一体系,就是常说的生态系统。

从系统生态学的观点出发,一定空间的任一生态系统,其物质能量输入与输出之间的平衡,在一定时间内处于一个相对稳定的状态,并且有其相应的生态功能。研究表明,温湿地带的森林生态系统,一般物质能量的合成积累(输入)大于其分解消耗(输出),而处于正的平衡。生态系统中生物社会的兴衰及其功能的强弱往往决定于其物质能量的输入与输出之间平衡动向,温湿区森林生态系统中生物社会得以共荣繁衍,并对不利生境因素有较强的抗御应变能力,生态系统中各种生命活动及其生态功能的强弱,很大程度上受到其输入和输出的性质和数量的限制。自然或人为,有意或无意对其输入或输出施加影响,都会导致其平衡动向的变移,一个生态系统的输出,可以成为另一个生态系统的输入,或转移到更大范围的生物地球化学循环中去,而对与之有关的其它生态系统产生影响。水土资源是生态系统重要的结构组成,一个结构完整、功能良好的生态系统,必然具有高度发育,保持完整而营养良好的土壤层,并具备有足够供应的养分、水分条件。水土流失过程的存在和发展,意味着水分营养供应趋于消减,土层日趋瘠薄,而作为生态发展的基础受到动摇。这种趋势必然将导致生态系统物质能量的平衡转趋负向发展,既有良好的生态功能渐趋消失,不良影响逐步滋生。当森林植被不断遭到破坏,即人为地过度增强物质能量输出的情况下,一方面由于林被树冠的大大消减,有机物质合成的能力和产出数量大大下降,赖之生存的昆虫野生动物随之消减,土壤有机残体的补给及微生物无机化归还营养元素随之下降,生态系统中再生产的物质(水分营养)和能量(光能利用率)的输入也随之减少;另一方面森林树冠的消减,对降雨的拦蓄、涵养能力大大削弱,地面径流冲刷导致土壤固相和可溶性养分的流失过程大大加强,这就加速了物质能量出超的负向平衡发展。随之而出现的就是原有森林生态系统具有的固碳制氧、保土涵水、调节气候、农田防护等优异功能(即作为其它生态系统有利输入的)输出趋于消失,强大径流随之发生,洪水泥沙为患随之出现,旱涝现象趋极分化等不良影响(即于其它生态系统有害输入的)输出日渐扩大。这些情况的发生也就是通常所说的生态环境恶化,生态平衡失调。

水土流失与环境污染、生物资源消减问题,同为当今世界上威胁人类继续生存的全球性问题。1972年联合国斯德哥尔摩会议通过的《人类环境宣言》,提醒人们“现在已达到历史上这样一个时刻:我们决定在世界各地的行动时,必须更加审慎地考虑它们对环境产生的后果”。中国科学院周光召院长1991年2月在《人民日报》国际部举办的“当前世界科技动态与报导座谈

会”上的发言指出:环境承受人类活动能力是有限的,超过一定限度生态环境的破坏和恶化不可逆转,形成恶性循环,最终危及到人类自身的生存。所以保护生态环境已是刻不容缓的紧迫任务,它影响到工农业发展方向,是关系到社会和经济能不能保持稳定和协调发展的重大问题。本区生态环境十分脆弱,一旦遭到破坏,要重新建立良性循环的生态环境,就要付出比以牺牲环境为代价取得的所谓“经济效益”高得多的人力、物力、财力加以补偿,水土流失造成的水土资源消减,不仅是本区也是当今世界面临的危及人类生存条件的生态环境问题。1991年6月份应我国政府邀请,来自41个发展中国家的部长,在北京举行“发展中国家环境与发展部长级会议”发表的《北京宣言》中,认为水土流失是发展中国家面临的严重环境问题之一也是全球环境问题的重要组成部分。可见加强生态环境建设,控制水土流失,扭转生态环境恶性循环的被动局面,是一项十分紧迫的任务,同时也是维护当代和子孙后代生态条件至关重要的大事。

东江流域是广东省水土流失较严重的地区之一,它不仅限制着上游地区农业的振兴,也给下游地区以至深圳、香港经济的稳定繁荣带来影响。经过对东江流域的综合考察,东江流域水土流失面积1429.44km²,占总土地面积的4.7%,但流失量是相当严重的,据估算每年平均泥沙侵蚀量为1540.7万t,折合1141.1万m³。水土流失区土壤贫瘠,森林破坏严重,生态系统日益恶化,水土资源濒临枯竭,动物几乎绝迹,生态功能的输出趋于消失,自然灾害频繁。特别是由惠州到澳头百余里一片红色海洋,植被稀落,红色岩层裸露。惠州市水保站在上杨3.5km²的光山秃岭上艰苦奋斗,建立起优生的人工生态森林系统,取得了良好的生态效益和水土保持效益。

2 上杨试验区人工生态系统类型

上杨试验区位于南亚热带,植被类型属于亚热带常绿季雨林,地带性土壤为赤红壤,气候湿润,动物繁多,由此组成的生态系统物质能量的合成积累丰富,生态功能优越。植被群落由热带科属植物组成,组成种类相当丰富,主要以樟科(*Lauraceae*)、壳斗科(*Fagaceae*)、桃金娘科(*Myrtaceae*)、桑科(*Moraceae*)、山茶科(*Theaceae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)、茜草科(*Rubiaceae*)等17种热带亚热带科属为主。由于原始森林破坏殆尽,次生森林又被反复砍伐,目前处于演替系列发育阶段中的亚热带草坡阶段(包括稀树草坡),一部分已沦为寸草不生的光板地。植被的逆向演替,土壤遭受不同程度的侵蚀,土层变薄,土壤发生层残缺不全,由赤红壤演变为侵蚀赤红壤和新成土,有些连第四纪红色沉积层全被侵蚀掉,紫色基岩裸露地表,成为紫色土或风化物未发育的新成土,动物随之衰落濒临绝迹。自从上杨试验区建立起人工森林生态系统后,植被茂盛,林木葱葱,蓄水保土,土壤肥力提高,微生物活性增强,动物繁荣,改善了生态环境。目前在上杨试验区的生态系统类型:

(1)台湾相思(*Acacia confusa* Merr)——马樱丹(*Lantana* Linn)——黄荆(*Vitex negundo*)——白茅(*Imperata cylindrica*)——芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)乌毛蕨(*Blechnum orientale*)群落(以下简称台湾相思林,此外还有山指甲(*Ligustrum sinense*)和车輪莓(*Rhaphiolepis indica*)。1978年种植的台湾相思林平均高度14m,胸径57~58cm,长势好,已郁闭成林,森林覆盖度70%~85%,该群落有明显的乔、灌、草在三个层次。成土母质为河床开挖堆积物,具有大小不等的砾石;土壤为新成土,由于成土年龄不长,土壤发育弱,没有明显的土壤发生层,表面枯枝落叶层厚约2cm,土质疏松,渗透性强,地表径流少,植被覆盖度可达100%,能够拦截降雨,避免雨滴直接击溅地表,水土流失不明显;林内比较潮湿,动物繁荣,土

壤微生物活性强烈,生态系统中生产物质和能量的输入丰富,土壤中有有机残体的补给和微生物无机化归还营养元素较多,土壤肥力较高,是一种较优越的人工森林生态系统。

(2)大叶相思 (*Acacia auriculaciformis*) —— 野牡丹 (*Melastoma candidum*) —— 了哥王 (*Wikstroemia indica*) —— 芒萁 —— 乌毛蕨群落(以下简称大叶相思林)。大叶相思林是1978年种植的,种植前曾经进行过土地平整并开挖水平阶地,造林时挖大穴,施有机肥,并在大叶相思生长的头两年进行过追肥,目前大叶相思已成林,森林郁闭度70%~85%,平均树高13m,胸径46~48cm。大叶相思生长成林后,自然生长的乔木和藤本有柿树 (*Diospyros kaki*)、野漆树 (*Rhus succedanea*)、香椿 (*Toona sinensis*)、山指甲 (*Ligustrum sinense*)、算盘子 (*Glochidion puberum*)、黄牛木 (*Cratoxylum ligustrinum*)、苦楝树 (*Melia azedarach*)、鸡屎藤 (*Paederia scandens*)、光清香藤 (*Jasminum lanceolarium*)、天香藤 (*Aebizia corniculata*)。丘陵顶部平坦地,由于到此旅游烧烤者络绎不绝,地面灌木草本植物遭受践踏破坏严重,光秃一片,少量灌木和草本植物只生长在水平阶的沟壕里,从坡地中部至坡下部旅游者少,灌木草本植物逐渐增多,灌草植被的覆盖度分别为30%和60%。在亚热带常绿季雨林生物气候影响下,土壤淋溶比较强烈,土壤朝富铝化发育,地带性土壤为赤红壤,土壤发育历史悠久,发生层分化明显,具有 A_{00} 、 A_0 、A、B、C层;由于原始森林的破坏,土壤遭受不同程度的侵蚀,最普遍的是表层土壤 A_{00} 、 A_0 层的缺失,以及地表雨滴击溅和径流输移的结果,细粒减少,粗砂粒增加,甚至表层被不同程度的片蚀减薄,生态系统质能输出增加,土壤退化,肥力下降。种植大叶相思后恢复了森林生态系统,土壤剖面结构恢复,普遍积累了 A_{00} 、 A_0 ,土壤肥力提高,但仍旧残留着土壤表层受到侵蚀的象征——残余较多的粗砂粒。由于植被覆盖,拦截降雨,加上土壤结构得到改善,提高了透水性,减少了地面径流,水土流失基本受到遏制,土壤微生物活性增强,动物繁荣,是一种较好的生态系统类型。

(3)大叶相思 —— 木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*) —— 台湾相思 —— 柠檬桉 (*Eucalyptus citriodora*) —— 黄荆 —— 马樱丹 —— 芒萁群落(以下简称针阔叶混交林),此外还有颠茄 (*Atropa belladonna*)、肖梵天花 (*Urena lobata*)、白茅 (*Imperata cylindrica*)等。混交林1978年种植,栽植时挖大穴,施有机肥,目前植被生长茂盛,林木郁蔽,植被垂直分布有4个层次,木麻黄、柠檬桉18~20m,台湾相思、大叶桉7~8m,黄荆、马樱丹40~120cm,芒萁20~40cm;木麻黄胸径68~72cm,柠檬桉胸径40~48cm,大叶相思30cm左右;森林覆盖度75%~85%,植被覆盖度100%。土壤为赤红壤,由于有4层植被群落覆盖结构,层层拦截降水,透水性强,地面径流减少,有效地防止了水土流失,土壤侵蚀不明显,土壤发育良好,发生层分化明显, A_{00} 层2cm, A_0 层2~3cm,A、B、C层结构完整。生态系统中物质和能量的输入增长,土壤肥力有所提高,土壤微生物活动旺盛,动物种类最多,这种针阔叶混交林的人工森林生态系统类型,生态环境虽然有所改善,但土壤酸度较高,还有待进一步改造,逐步演替为本区顶极植物群落。

(4)荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn)、柑桔 (*Citrus reticulata*) 园,1978年种植,栽植前修建水平梯田,挖大穴,施有机肥,年年耕垦、除草、施肥,果树已成林,树高4~5m,产量颇丰。近年来水土保持忙于其它增收项目,对果园疏以管理,园田荒废,杂草环生,产量锐减。主要杂草有白茅、狗尾草 (*Setaria viridis*)、画眉草 (*Eragrostis pilosa*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、蟋蟀草 (*Eleusine indica*)、鬼针草 (*Bidens bipinnata*)、胜红蓟 (*Ageratina canyroides*)、水蔗草 (*Apcudamutica*)、芒草 (*Miscanthus sinensis*)、酢酱草 (*Quxalis repens*)等。土壤为赤红壤,由于耕垦时间不长,土壤性质改变不大,耕作层比较疏松,结构较好,土壤有机质和速效养分也略有

提高,土壤微生物活性增强,修建水平梯田后地表径流已近于零,水土流失轻微,生态系统中物质能量的输入大于输出,是一种较好的农田生态系统类型。

(5) 大叶相思——糖蜜草 (*Melinis minutiflora* Beaun) 和绢毛相思 (*Aecacia holosericea*) ——糖蜜草群落。1989~1990 年种植,栽植前大叶相思采取营养杯育苗,开大穴,施有机肥。糖蜜草适应力强,生长速度快,能够年前播种当年覆盖,糖蜜草覆盖地面后又给大叶相思创造了良好的生态环境,从而促进了大叶相思的生长,目前大叶相思树高 80~170cm,长势良好。伴生灌木和草本植物有桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、黄枝子 (*Gardenia jasminoides* Ellis)、鬼灯笼 (*Clerodendrum fortunatum* Turcz)、黄荆、美丽胡枝子 (*Lespedeza formosa*)、芒萁等。造林时间比较短,大叶相思尚未成林,森林覆盖度仅 15%~30%,部分糖蜜草已覆盖地面,大面积灌草植被群落仍甚稀疏,植被覆盖度仅 45%~60%。土壤为侵蚀赤红壤和紫色土,侵蚀赤红壤土层遭受侵蚀,厚度 35~50cm,表层缺 A_{00} 、 A_0 层,B 层的发育也不明显,常为 A、C 型土体构型,土壤有机质和养分元素含量不高,土壤紧实,透水性差,土壤仍遭受不同程度的面蚀和沟蚀;紫色土是上覆第四纪红色沉积物被侵蚀掉,紫色基岩裸露地表后风化形成的土壤类型,目前土壤侵蚀尚在进行中,土层薄、紧实、结构差、透水性弱、土壤瘠薄,发生层发育不明显,多为 A、C 型土体构型。生态系统中有有机质和营养元素的输入尚少,土壤微生物活性弱,随着人工林的成长,必将逐步改良生态环境,防止水土流失,减少土壤和营养元素输出,增加有机物质和营养元素的输入,促进土壤发育,提高土壤肥力,土壤微生物活性复苏,动物逐渐繁荣,目前尚处在人工森林生态系统的初始阶段类型。

(6) 马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb) ——桃金娘——岗松 (*Baccharis frutescens*) ——鹧鸪草 (*Eriachne pallescens*) ——芒萁群落(以下简称稀树草坡)。这一群落是亚热带常绿季雨林逆向演替系列发育阶段接近亚热带草坡的类型,马尾松有天然生长,也有人工种植,是土壤退化到相当贫瘠的阶段,唯有耐酸耐瘠的乔木马尾松保存,马尾松稀疏散生,生长缓慢,树形不整,多呈“小老头”,桃金娘、岗松、鹧鸪草等草灌植物群落也生长稀疏矮小,植被覆盖度 35%~50%;土壤为紫色土和薄层赤红壤,表层多砾石,土壤发育很弱,B 层不明显,土体构型多 A、C 型,缺乏 A_{00} 和 A_0 层,有效土层薄,土壤有机质和营养元素含量低,结构差,透水性弱。由于自然植被遭受反复破坏,目前已逆向演替退化到稀树草坡的阶段,原有森林生态系统具有的固碳制氧,保土涵水的优异功能趋于消失,植物有机质的合成能力和产出数量大大下降,生态系统中再生产的物质和能量的输入减少,枯枝落叶等有机体的补给下降,微生物活性减弱,无机化归还营养元素下降,动物稀少,整个生态系统毫无生气;同时由于植被稀疏,土壤结构不良,透水性很差,雨滴直接击溅和雨水形成的地表径流强烈地冲刷土壤,土壤鳞片状侵蚀、片状侵蚀和沟状侵蚀均强烈进行,生态系统中生产的物质和能量的输出大大超过输入量,生态系统物质能量的平衡转趋负向发展。土层逐渐变薄,甚至第四纪沉积物上形成的赤红壤被冲刷一光,裸露出大片紫色基岩及其风化物上形成的紫色土,而紫色土水土流失又并未减弱,地质大循环中的物质流失与成土过程之争日趋剧烈。紫色土发育极弱,这种母质性土壤(包括残余的薄层赤红壤),有机质和营养元素的含量,接近于成土母质,水分养分的供应濒临枯竭,作为生态系统的基础受到动摇,生态环境恶化。这一生态系统类型和光板地都是亟待改造的类型。

3 人工生态系统效应

上杨试验区从童山濯濯的光板地和稀树草坡,经过人工施以兴修水平梯田、水平阶、鱼鳞

坑等水土保持工程措施和造林种草等林草措施后,变成了树木葱葱,充满生气的人工森林生态系统,造就出一个当地难得的宜人园林。植物群落的变化牵动着动物、土壤微生物、小气候和土壤环境的变化,逐渐走向一个生态功能优异,土壤营养丰富,生物界共荣的社会。

3.1 动物变化

动物区系的组成是依赖于植物分布的,植被状况的改变导致动物区系成分的改变。在所采集的标本中,除蚯蚓为地下动物外,其它均为地表动物。这些动物的特点之一是迁移能力强,在试验地之内是随时随地迁移的,因此食物因素成了决定动物分布的最主要的因素。稀树草坡区植被单调,动物种类十分贫乏,仅采到叶甲科、叩甲科、瓢虫科各一种及斑翅蝗科及蚁科各两种,在挖掘的 5 个地下样方中,没有见到任何动物。针阔叶混交林及果园样地树种多,其中阔叶林占了相当大的比例,地面被草覆盖率较大,因此动物种类十分丰富,在名录中所列出的种类中,绝大多数都采自于这两个样地。然而这两个样地也各有其特点:混交林树木茂盛,地面被树叶所覆盖,形成腐殖质层,杂草较少,较阴湿,为喜阴湿性昆虫提供了良好的环境,故德国小蠊成了地表的优势种,其密度很高;周围杂草茂盛,直翅目昆虫如蝗虫、螽等较多,鳞翅目昆虫也较多。一些刚植入不久的阔叶树林受到一些昆虫的严重危害,主要有蔗根平顶叩甲、酸浆瓢虫、守瓜,因缺乏天敌,其密度甚大;地下层蚯蚓丰富。果园区动物分布与混交林区基本类似,但德国小蠊种群数量较少,因区内荔枝树较多,因此荔枝蟥及龙眼鸡的存在成了本区最大特点;本区是杂草最为茂盛之处,直翅目的昆虫及半翅目的缘蝽科昆虫密度相当高。

大叶相思林区以大叶相思为主,间或有少量其它阔叶树,昆虫类相对要少,但林间杂草覆盖率较高,直翅目和半翅目昆虫较多(表 1)。

表 1 上杨试验区动物分布情况

动物种类(科属)	稀树草坡区	大叶相思林区	混交林区	果园区
科数	8	36	64	62
属数	11	45	93	86
合计(物种数)	13	50	107	95
占总数百分比(%)	4.9	18.85	40.37	35.84

3.2 土壤微生物的性态与物质能量转化状况

陆地上各个生物类群,在生态系统的物质、能量的积累和转移中,都有其各自不同的作用功能。植物是物质的生产者,包括人类在内的各种动物,则是以这些物质作为自己生长繁殖和生命活动的物质消费者;而集于土壤层中的微生物群体,是专门将一切进入土壤的有机残体,进行无机化分解的物质分解者。土壤是陆地生态基础。

生态系统质量的高低决定于物质能量的输入与输出间的平衡状态,因而专门从事于能量导入和物质生产的植物群体的荣衰,往往在生态系统质量评价中起决定作用,绿色植物越繁茂,动物和植物本身余下的有机残物量越大,赖以生长繁殖的微生物的生物量和分解活性也就越来越强。因而生态系统的质量优劣,也就在土壤微生物的性态显示出来。

3.2.1 土壤微生物的总活性与土壤物质能量的转化 根据定位定期检测结果,土壤含水量和气温都较低的冬季,微生物的活性较低;转入春夏期后,含水和气温显著增高,活性也随之而增大,不管原有活性高低,都有相当大的增幅,一般增高 3~4 倍。

不同生态系统类型,土壤微生物活性年均值加以比较,光板地微生物呼吸活性最低,每天每公斤土释放出的 CO₂ 只有 0.103mmol;而稀树草坡为 0.26;植被覆盖度较高的大叶相思林

地为0.3~0.4;而人工培肥的果园达4.5~5.7mmol,活性最高。说明土壤微生物总的生量生化活性,随着不同生态系统类型所能提供的有机能源物质增多而越来越强。

3.2.2 不同土壤微生物机体组织的产出率 根据检测结果,它们的相对大小与所处环境条件之间的关系和上述微生物总活性与之存在的关系是完全一致的。表明微生物对有机残体的分解利用和它们自身机体组织的迅速大量地合成,主要是在较湿润温热的春夏之间,而在较干旱的秋冬期,则比较缓慢,数量也少。

不同生态系统类型的土壤微生物的组织产出率与土壤有机物质、能量的年分解转化量,光板地分别为0.00434g/(kg·d)与1.676t/(hm²·a);稀树草坡为0.01063与4.117;大叶相思林地分别为0.01732与6.688;而果园最高为0.01873与9.325。说明不同生态系统类型所提供的有机能源物质质量不同,其土壤微生物的组织产出率和土壤有机质、能量的年分解转化量不同,相应的所能提供给土壤营养物质的数量不同,而果园和大叶相思林地生态系统显然优于稀树草坡和光板地。

3.2.3 土壤微生物总生物量与总呼吸活性 土壤微生物总生物量与总呼吸活性,是反映土壤中微生物存在状况的两种不同形式。微生物生物量越大,显示出的呼吸活性越强;机体组织合成产出率愈大,生物量水平愈高,蓄存的能源营养物质数量也愈多。机体衰败更新过程被无机化分解而归还到土壤中矿物质营养数量也越大。据测定果园和大叶相思林地显著高于稀树草坡和光板地,从生物量的年均值看,它们每100g土中生物—C的含量分别为20~30、22.70、15~18和1.16mg,最大的是荔枝园和大叶相思林地,最小的是光板地。

3.2.4 土壤微生物库中生物营养元素的库贮量 根据不同生态系统类型土壤中的生物—C的年均水平,计算出各生态系统类型土壤微生物库中生物营养元素的年均库贮量,从而更进一步推算不同土壤微生物衰亡更新过程,各种无机营养元素每年归还到土壤中的数量,是评价生态系统类型质量的重要内容。根据计算结果,土壤微生物库中生物营养元素的年均库贮量N、P、K、Ca,光板地分别为3.00,2.32,1.96和0.28kg/hm²,稀树草坡分别为39.5,30.62,25.87和3.70kg/hm²,大叶相思林分别为58.74,45.42,38.38和5.48kg/hm²,果园分别为78.22,60.49,51.10,7.30kg/hm²。经过人工培肥的果园和大叶相思林地土壤微生物库中营养元素的年均库贮量最高,稀树草坡较少,光板地极微。

3.2.5 土壤微生物对能源营养物质转化归还量 土壤微生物组织体每年更新一次,意味着维持其即有生物量水平的微生物组织活体全部衰亡,它们经过分解转化为无机营养元素归还给土壤,其归还数量依不同生态系统类型差别较大。光板地有机物质能源较贫乏,更新周期短,年中更新次数多,但营养元素库贮量小,年中总归还量依然很小,其N、P、K、Ca年均归还量分别为0.222,0.172,0.145,0.021t/(hm²·a);经过人工培肥的果园,更新周期虽然较长,年中更新次数少,但营养元素库贮量大,年中总的归还量仍然最大,其N、P、K、Ca年均归还量分别为1.173,0.907,0.767,0.110t/(hm²·a);植被茂盛,有机能源丰沛,生境优越的大叶林地,营养元素年中总归还量虽然略逊于经过人工培肥的果园,但甚为接近,年均归还量分别为0.822,0.636,0.537,0.077t/(hm²·a)。

由此可见水土流失区造林种草,增加植物覆盖,能提高地力和生态质量,改善生态环境,优化生态系统,使其中物质能量流趋于良性循环。

3.3 土壤效应

土壤不仅是各生物类群赖以依存的基础,也是生态系统中物质进行循环、传递、转移的重

要场所,是生物圈的中心纽带。由于亚热带常绿季雨林遭到破坏,土壤涵水保土功能消失,水土流失日趋剧烈,长期发展的结果导致土壤正常供水缺乏,土壤渐趋贫瘠,绿色植物的生物量和有机质的产量日渐减少,原有生态平衡受到破坏,失调的新的平衡导致生态系统中物质能量积累日趋欠缺,迫使各种生物类群渐趋消亡,以致人类继续生存也受到威胁。由惠州到澳头百十平方公里内面临的是已经十分脆弱的生态平衡,山光地瘠,人贫,物质能量生产低,水旱灾害频繁构成了这些侵蚀地段的生态特征。惠州市水保站在这衰落的生态系统中,积极开展水土保持工作,在上杨试验区建立起一片青翠,树木参天,物质能量输入丰沛,土壤微生物、动物共荣,土层发育,营养丰富,土壤水、肥、气、热协调,具有足够供应养分、水分的环境,一个结构完整,功能良好的生态系统逐渐形成中。土壤的变化是需要经历很长时间和五大成土因素的影响下才能发生质的变化,上杨试验区建立的人工森林生态系统虽然时间短,但土壤性质的改善仍可窥视一斑。

表 2 上杨试验区不同生态系统类型土壤 A 层有机质含量

生态系统类型	土壤类型	采土深度(cm)	土壤有机质含量(%)
针阔叶混交林	赤红壤	5~10	3.06
大叶相思林	赤红壤	5~18	2.08
果园	赤红壤	0~15	1.34
稀树草坡	赤红壤	0~20	0.34
光板地	新成土	0~11	0.15

表 3 上杨试验区不同生态系统类型土壤 A 层 pH 值情况

生态系统类型	土 壤	采土深度(cm)	pH(水提)
大叶相思林	赤红壤	0~16	5.27
针阔叶混交林	赤红壤	4~31	4.79
稀树草坡	赤红壤	0~20	4.7
光板地	新成土	0~11	4.6

表 4 上杨试验区不同生态系统类型土壤 A 层养分含量

生态系统类型	土 壤	采土深度 (cm)	全氮 (%)	全磷(%)	全钾 (%)	水解性氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
针阔叶混交林	赤红壤	5~10	0.198	0.033	0.49	86.46	10.75	30.00
大叶相思林	赤红壤	5~18	0.132	0.025	0.58	70.25	4.50	80.00
稀树草坡	赤红壤	0~20	0.015	0.007	0.44	15.18	2.25	20.00
光板地	新成土	0~11	痕迹	0.031	1.52	痕迹	6.00	40.00

3.3.1 土壤有机质的变化 有机质是生态系统中重要的能源物质,它制约着土壤微生物数量和土壤微生物活性,同时也是改良土壤物理性质,丰富营养物质元素,改善生态环境为生物固碳、制氧,涵水保土创造良好生境的重要物质。有机质的来源主要来自于植物的枯枝落叶,每年更新死亡的根系,土壤微生物不断更新老化衰亡的个体和动物尸体。有机质一部分以半分解的粗有机质存在,一部分经过微生物生化腐解成腐殖质存在,大部分被土壤微生物彻底分解成 C、H、O 和可吸收利用的易溶性营养元素,包括植物的大量营养元素 N、S、P、K、Ca 和微量元素 B、Mn、Mo、Zn、Cu、Fe、Mg 等等。原亚热带常绿季雨林生态系统下,生物繁荣,生长量大,有机质物质合成归还(输入)大于分解消耗而处于正的平衡状态,生态系统结构完整,功能良

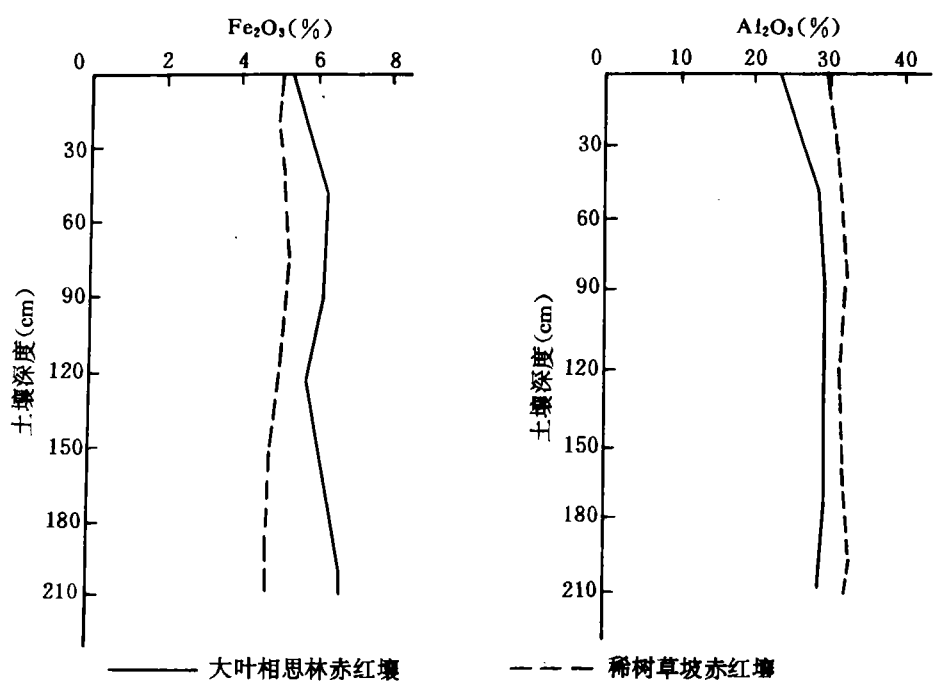


图 1 土壤胶体氧化物含量图

好,土壤高度发育,土壤剖面构造完整,具有 A_{00} 、 A_0 、A、B、C 层,营养丰富,具有足够供应养分和水分的条件,土壤微生物量大,活性强,动物繁荣。原始森林遭到破坏,植被逆向演替到稀树草坡和光板地的时候(本区采取水土保持措施恢复人工森林生态系统前),生物衰落,生长量小,地面缺少植被覆盖,土壤侵蚀严重,有机物质合成、归还、保留量小于分解、消耗、移失量而处于负的平衡状态。地质过程大于土壤形成过程,土壤剖面构造常缺失 A_{00} 、 A_0 层,甚至剖面被侵蚀殆尽,C 层裸露地表,土壤有机质含量接近于成土母质,养分匮乏,供水不足。自从本区实施防治水

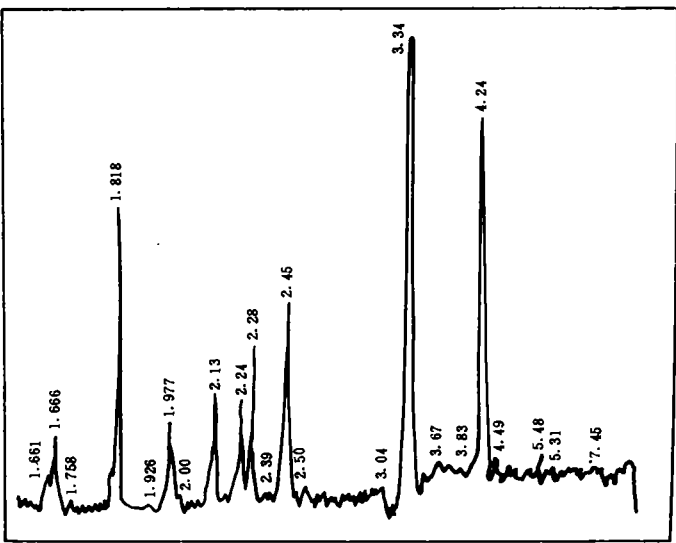


图 2—1 稀树草坡
土壤 X 射线衍射图

土流失措施,积极恢复人工森林生态系统后,生物逐渐繁荣,有机物质的合成和输入量增加,土壤侵蚀受到遏制,土壤剖面恢复到 A_{00} 、 A_0 、A、B、C 构型,土壤有机质含量增加。但由于人工森林生态系统恢复的时间不长,土壤有机质含量增长只局限于 A 层以上,B、C 层有机质含量仍处于生土状态。就 A 层土壤有机质含量,人工森林生态系统比稀树草坡和光板地高(表 2)。另大叶相思林下丘陵顶部平坦地带,缺乏 A_{00} 层乃人为活动结果,众多旅游烧烤者和居民大量利

用枯枝落叶作燃料,地表枯枝落叶被一扫而光,但 A₀ 层依然存在。

3.3.2 土壤 pH 变化 东江流域位于亚热带,年平均温度在 20℃ 以上,年平均降雨量 1 600~2 500mm,高温多雨的气候既促进土壤的风化,又使土壤受到强烈的淋洗,土壤中的碱金属和碱土金属被大量淋溶,土壤呈酸性反应,pH4.5 左右。当植被逆向演替到稀树草坡阶段,马尾松的枯枝落叶在分解过程中产生的有机酸更进一步地使土壤酸化,土壤呈强酸性反应。植物生长需要一定的酸度范围,一般为中性到微碱性,酸性过高的土壤对植物生长不利,也不能满足植物的营养要求。上杨试验区人工森林生态系统建立后,改善了土壤酸碱度状况,有效地缓解了

了土壤酸性的危害,土壤 pH 值有所提高,植物的营养元素得到满足。森林植被通过庞大的根系在土壤的表层和下层富集了丰富的矿质元素,包括碱金属和碱土金属元素,并通过其体内的生理生化过程,建造自己的机体,然后以枯枝落叶等有机残体形式归还到地表,经土壤微生物分解后回归到土壤中。这些丰富的矿质元素既满足了植物土壤微生物的营养要求又有效地提高了土壤的酸碱度,土壤 pH5.0 以上(表 3)。表 3 可见阔叶林对改良土壤酸碱度的效果比针阔混交林好。

3.3.3 土壤肥力变化 本区改造前为稀疏马尾松草地和光板地,每年植物生长量小,能够为土壤提供的物质能量稀少,土壤流失量却非常强烈。由于植被覆盖度小,加上降雨量多,暴雨频繁,雨滴直接击溅地表,土壤片蚀非常强烈;同时土壤有机质归还量缺少,团粒结构差,单粒存在的土壤结构极其紧密,透水性差,降雨多呈地表径流流失,强烈的地表径流冲刷地表,使土壤表面片蚀和沟蚀均甚严重。生态系统中物质能量的大量流失,使土壤养分含量极其贫乏,物质能量的输入小于输出,使生态系统长期处于负平衡的态势,土壤养分含量接近于成土母质。除母质风化过程中释放的全钾和速效钾含量颇多外,全氮和速效氮养分含量极低(表 4),不能够为生态系统中生产者提供必需的营养元素。土壤营养物质贫乏使生态日趋恶化,植物群落退化,微生物稀少,整个生态系统的基础受到动摇,山光、地瘦造成的光板地日益扩大,生态系统毫无生气。

人工生态系统的建设者认识到当前恶劣的生态环境,建立人工森林生态系统时注意了保持水土的措施,植树造林时增施肥料,并在人工林生长前 2 年进行追肥,使人工林成长具有足够的有机物质、能源物质归还土壤。土壤肥力日益提高,营养元素日趋丰富;同时水土流失量日渐消失,能源物质的输出下降,生态系统日趋优化,此后不再施肥。由于本区建立的人工森林生态系统时间比较短,土壤营养物质的积累虽然明显,但亦只及于土壤表层,下层的改善还有待于更长的历史过程。

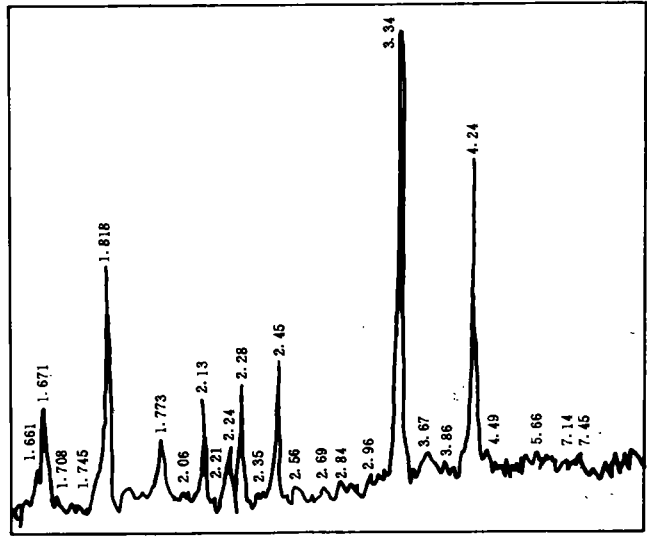


图 2—2 大叶相思林地
土壤 X 射线衍射图

3.3.4 土壤化学性质 本区岩石风化和土壤形成过程中,在高温湿润的气候条件下朝富铝化过程发育,富铝化过程是一种硅酸盐矿物强烈分解,碱金属和碱土金属强烈淋失以及铁铝氧化物相对富集的地球化学过程。特别是氧化铝的聚积尤为明显,粒粒和次生矿物不断形成,风化壳和土体呈红色。本区赤红壤深厚的红色土层,熊毅教授认为是古气候条件下的产物;但在赤红壤地区这类深厚的红色土层当前除具有生物累积过程外,还在进行富铝化过程,所以它既有古风化壳残留特征,又承受近代富铝化过程的影响。目前本区所看到的红色土层,无论是稀树草坡下的土壤或人工森林下的土壤,都是长期母质风化和成土过程的产物,是本区亚热带常绿季雨林生态系统组成中生态环境的基础。土壤胶体矿质含量分析结果,大叶相思林赤红壤 Fe_2O_3 含量 5.24%~6.24%、 Al_2O_3 24.40%~29.45%、 TiO_2 0.35%~0.56%、 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 2.89~3.32;稀树草坡赤红壤 Fe_2O_3 含量 4.85%~5.16%、 Al_2O_3 30.17%~32.16、 TiO_2 0.23%~0.37%、 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 2.32~2.51。分析结果见大叶相思林赤红壤 Fe_2O_3 和 TiO_2 含量比稀树草坡赤红壤高,这和大叶相思林赤红壤得到较多矿质元素的补充和地质风化比稀树草坡赤红壤弱有关。从土壤氧化物含量在剖面中的分布来看(图 1),大叶相思林赤红壤和稀树草坡赤红壤表层 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量(分别为 5.4%,24.94%和 5.08%,30.17%),同样是比下层低(分别为 6.24%,28.96%和 5.16%,31.81%),说明表层铁、铝发生移动,并淀积在下层的灰化现象,但灰化过程是人工森林生态系统建立之前的土壤发生发育过程,不是人工森林生态系统建立后土壤形成过程的产物。大叶相思林赤红壤土壤矿质全量含量较高,说明人工森林生态系统较多的矿质元素补充,有助于提高土壤肥力。从 X 射线衍射结果(图 2)可见,人工森林生态系统大叶相思赤红壤以石英、埃洛石、高岭石为主,而稀树草坡赤红壤以石英、埃洛石为主,说明稀树草坡的土壤地质风化比大叶相思林土壤强烈。

表 5 上杨试验区不同生态类型土壤物理性质

生态系统 类型	土壤	采土深度 (cm)	自然含水 量(%)	容重 (g/cm^3)	总孔隙度 (%)	毛管孔隙 (%)	非毛管孔 隙(%)	毛管含水 量(%)	非毛管含 水量(%)
大叶相思林	赤红壤	0~16	5.20	1.43	46.76	20.57	26.19	20.57	29.88
稀树草坡	赤红壤	0~20	3.83	1.48	45.11	19.50	25.61	19.50	25.71

3.3.5 土壤物理性质的变化
人工森林生态系统建立后,土壤中植物根系骤增,微生物活性增强,土壤动物繁荣;同时植物枯枝落叶的增加,土壤腐殖质含量增长,作为土壤结构粘合剂的土壤腐殖质增长,必然有效地改善促进土壤团粒结构的形成,增加土壤团粒结构。这些综合作用使原来单粒排列密实结构的土壤,变成疏松多孔蓄水量提高的土壤,改善了土壤的物理性质,使土壤生境能够满足生物优化固碳制氧的水、肥、气、热环境。表 5 可见大叶相思林下土壤表层容重 $1.43\text{g}/\text{cm}^3$ 比稀树草坡 $1.48\text{g}/\text{cm}^3$ 低,而总

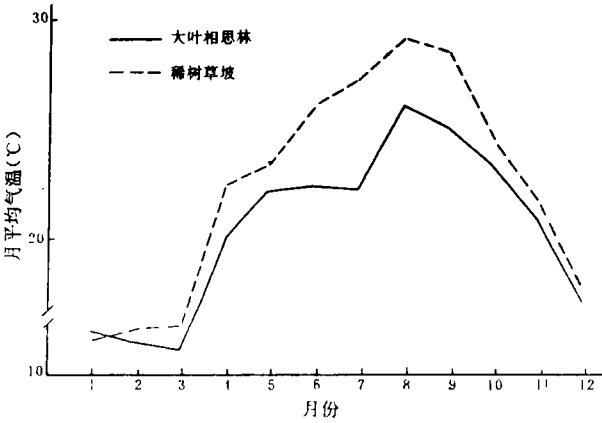


图 3 不同生态系统类型月平均气温图

孔隙度增加,特别是非毛管孔隙增加,有助于改善土壤水分和空气的矛盾,提高土壤的透水性,减少地面径流,防止土壤冲刷;从土壤水分性质来看,大叶相思林下土壤表层毛管水含量为20.57%,饱和含水量29.88%,比稀树草坡19.50%和25.71%高,以饱和含水量计,土壤表层每厘米土层贮水深大叶相思林下土壤为4.3mm,稀树草坡只有3.8mm。由此可见人工森林生态系统土壤贮水能力和供水性能比稀树草坡强。

3.3.6 地表径流和泥沙流失量比较 为了测定地表径流和泥沙流失量,我们在稀树草坡赤红壤丘陵北坡设置了径流小区试验场,径流小区面积 $5\text{m} \times 20\text{m}$,分3种处理,光板地、种糖蜜草(覆盖度100%)、种大叶相思加糖蜜草(2层覆盖结构、覆盖度100%)。1994年8月4日测得降雨量33mm,光板地产流模数 $24\ 200\text{m}^3/\text{km}^2$ 、产沙模数 $317.95\text{t}/\text{km}^2$;糖蜜草小区产流模数 $7\ 410\text{m}^3/\text{km}^2$ 、产沙模数 $14.82\text{t}/\text{km}^2$;大叶相思加糖蜜草小区产流模数 $10\ 020\text{m}^3/\text{km}^2$ 、没有泥沙。由此可见糖蜜草小区的产沙量只有光板地的4.6%,产流量的3%;而大叶相思加糖蜜草小区由于2层植被覆盖,有效地防止了雨滴击溅,植物根系固土防冲,保护土壤,没有发生土壤侵蚀。

3.4 小气候变化

上杨试验区人工森林生态系统建立后小气候发生变化,由于植被的覆盖,地表温度下降,日温差减小,土壤温度相应降低,地温变化幅度减小;风力受到林木的阻拦风速减弱,调节小气候效应明显。

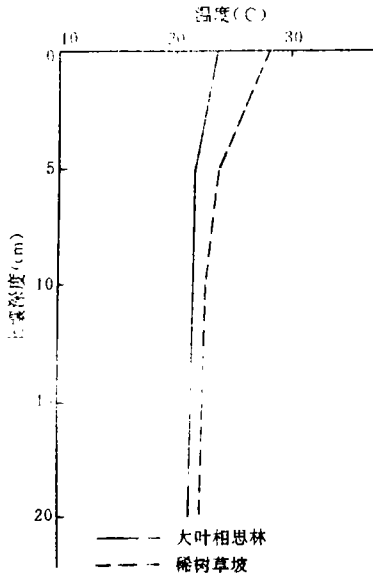


图4 年平均土壤温度

大叶相思林下日温差变化小,1994年7月9日最大温差 6.2°C ,比稀树草坡小一半。

土壤温度与土壤物理风化和土壤化学风化关系密切,土壤养分的分解释放,土壤水分蒸发,对自然植被和农作物的生长发育以至对土壤微生物的活动,都有很大的影响,它们的影响不仅在于土壤温度的高低,而且与土壤温度的变幅都有关系。据测定土壤5cm、10cm、15cm和20cm年平均地温,稀树草坡 $23.91 \sim 24.2^{\circ}\text{C}$ 比大叶相思林土壤 $21.9 \sim 22.2^{\circ}\text{C}$ 高 2°C 左右(图

风速对加速雨滴降落的重力加速度,增强雨滴对土壤的击溅和风速增加土壤蒸发,加重本区干旱程度有一定影响。风速测定表明,大叶相思林下风速 $1.2\text{m}/\text{s}$,稀树草坡风速为 $2.2\text{m}/\text{s}$ 时,大叶相思林下比稀树草坡风速减近一半。由于大叶相思林系纯林,林下又缺乏草灌植被群落,属通透性林型,所以减风速效应稍差。

空气温度对植物生长有直接关系,对土壤温度及其变化也有影响。观测表明大叶相思林下年平均空气温度 20.9°C ,比稀树草坡年平均气温 22.5°C 低 1.6°C 。夏季月平均气温差距较大,稀树草坡比大叶相思林高 2.1°C ;而冬季月平均气温差距缩小,稀树草坡比大叶相思林只高 0.3°C ,特别是冬季最冷的1月份,大叶相思林月平均气温反而比稀树草坡高 0.4°C (图3)。稀树草坡日温差变化大,最大日温差1994年7月22日达 12°C ;大

4 土壤生态质量及水土保持措施效益的评价

4.1 不同土壤的生态质量

生态质量指的是各种生物活体所处的这种环境条件的优劣,它是否适宜于各生物类群的生长发育和繁衍。据此结合上述观测研究结果分别对站区内的各类土壤加以评价。

首先,以 2 号和 6 号样点为代表的果园地土壤,由于垦殖时配合一些工程措施,并通过一段时期的管理经营,耕种施肥有较繁茂的草木覆盖,既防止了降雨径流的冲刷流失,又改善了小气候,水、热分配相对比较均衡,对各类生物生长发育繁衍都比较有利。绿色植物繁殖过程为其他生物类群提供了较丰富的有机能源物质,促进了整个生物界的共荣;一些动物和微生物对有机残体的分解转化,逐步地使土壤营养富化,反过来又进一步促进绿色植物的更加繁茂,使物质能量循环不断良性化,可以说它们是试区内生态质量最高的土壤。还有以 5 号样点为代表的大叶相思林(包括部分间杂松树的)地土壤,它们不仅有较浓密的林冠,树种又属于具有根瘤,能从大气中摄取氮素营养的类型,一般生态质量都是较高的。

另外,以 1 号和 4 号为代表的一些树木较稀、或树龄尚低而郁闭度还不很大分布较广的草坡地土壤,虽然目前生态质量较上述两类略差,但它们正朝优质生态发展,只要不受破坏、干扰,能源营养物质是会趋于良性循环,前景是好的。

生态质量最差的,当推 8 号样为代表的站区东南部的一些有过较严重沟蚀,虽已植活了一些稀落树苗,但杂草不长的母质性新成土。由于植物被覆度太低,水分营养条件差,草木、土壤动物、微生物都难以滋生繁殖,物质能量无法累积,而处于输出大于输入的不良循环状态。不过还只局部存在,分布并不普遍的一类土壤,只要补以必要的相应措施,情况是会很快得到改善。

4.2 水土保持措施的效益问题

惠州市水保站 10 多年来,对试区范围内水土流失的整治做了大量工作,在童山濯濯、赤地百数十里的流失严重地带,营造起一片绿洲,使水土流失得到控制,造就出一座当地难得的宜人的园林,成为东江中游水土流失治理的一个典型范例,其社会效益和生态效益是显而易见的。近年,在服务于当地城市化建设的绿化园艺苗木以至商旅娱乐等综合经营方面也是卓有成效的。

~~~~~

(上接第 101 页)

4),全剖面土壤温度变化较小(0.3~0.4℃)。地表温度稀树草坡比大叶相思林土壤高 3.8℃;月平均土壤温度 8 月份最高,稀树草坡土壤 5cm 深处为 29.4℃,大叶相思林为 26.7℃;月较差稀树草坡为 12.3℃,大叶相思林 10.6℃。一年中 7~9 月份土壤温度最高,5cm 深处稀树草坡和大叶相思林分别为 29.2℃和 26.4℃;20cm 深处稀树草坡和大叶相思林分别为 28.6℃和 26.2℃;1~3 月份土壤温度最低,土壤 5cm 深处稀树草坡和大叶相思林分别为 17.5℃和 16.1℃,土壤 20cm 深处稀树草坡和大叶相思林分别为 17.2℃和 15.6℃。1994 年全年最高地表温度稀树草坡 8 月 25 日 50℃,日温差 20℃;大叶相思林 8 月 24 日 42℃,日温差 16℃,据历史上光板地地表温度最高达 70℃,严重灼伤植物,5cm 土壤深度最高土壤温度稀树草坡 37℃,最低土壤温度 8℃;大叶相思林最高 29.5℃,最低 6℃。总之在南亚热带大叶相思林土壤温度稍低,变幅较小,有利于植物生长发育和微生物活动。