

小江流域不同人工林群落结构变化 及其对侵蚀的控制作用

杨吉山^{1,*}, 王兆印², 余国安², 张 康², 刘怀湘²

(1. 黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘要:用空间代替时间的方法,通过对小江流域不同林龄人工林地的调查,研究了人工林群落结构的变化及人工林对坡面侵蚀的控制作用。以桉树 (*Eucalyptus* spp.)、黑荆 (*Acacia mearnsii*)、银合欢 (*Leucaena leucocephala*) 及云南松 (*Pinus yunnanensis*) 4 种人工纯林为研究对象,采用种类、盖度、重要值、香农-维纳指数等指标,分析了人工林乔木层、次生灌木层、次生草本层植物群落特征变化,讨论了其主要影响因子,并比较了不同人工林对坡面侵蚀的控制作用。结果表明:黑荆及银合欢人工林生长迅速,盖度增长快,控制侵蚀的能力较强;云南松林及桉树林冠层盖度增长较缓慢,控制侵蚀的能力较弱。云南松林下次生植物多样性最高,桉树林下次生植物多样性较高,黑荆与银合欢林下次生植物多样性较低,林下次生植物多样性的发展与乔木层盖度变化关系密切。不同人工林类型在促进植物多样性的发展及控制水土流失方面有明显的差异,应该根据自然条件选择适当的造林树种及配置方式,才能加快生态环境的改善。

关键词:人工林;群落结构;植物多样性;侵蚀控制

文章编号:1000-0933(2009)04-1921-10 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Community structures and erosion control ability of different plantations in Xiaojiang basin

YANG Ji-Shan^{1,*}, WANG Zhao-Yin², YU Guo-An², ZHANG Kang², LIU Huai-Xiang²

1 Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China

2 Department of Hydraulic and Hydropower Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1921 ~ 1930.

Abstract: Xiaojiang drainage basin locates in the upper reach of Yangtze River, China, and is one of the regions suffering from serious erosion and ecological degeneration due to the climate, geological and geomorphological conditions and the heavy human activities. Reforestation is an effective measure for the ecological restoration, which has been done since 1980s in the region. Four kinds of pure plantations, i. e. *Eucalyptus* spp., *Acacia mearnsii*, *Leucaena leucocephala* and *Pinus yunnanensis* were investigated in the sample plots. Developing processes of species diversity and community structures of the tree layers, secondary shrub layers, and herbaceous layers were studied with the “ergodic hypothesis” method and the indexes of species richness, coverage, importance value and Shannon-Wiener index *et al.* And erosion control abilities of the four types of plantation were compared in this paper. The study made clear that *Acacia mearnsii* and *Leucaena leucocephala* grew faster, and had higher crown coverage and stronger erosion control ability than *Pinus yunnanensis* and *Eucalyptus* spp. *Pinus yunnanensis* had the highest secondary understory biodiversity, and *Eucalyptus* spp. had higher secondary understory biodiversity than that of *Acacia mearnsii* and *Leucaena leucocephala* mainly due to the different characters of the tree layer coverage. Different kinds of plantation had distinct effect in promoting plant diversity and had different erosion control ability. So plantation species selection and association mode should be considered in the process of

基金项目:国家水利部公益专项资助项目(2007HSZ0901034); 国家 973 计划资助项目(2008CB25803)

收稿日期:2007-07-16; **修订日期:**2009-02-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yang_ji_shan@163.com

reforestation for ecological restoration.

Key Words: plantation; community structure; plant diversity; erosion control

小江流域位于云南省的东北部,属于长江上游区,是人类活动导致自然环境恶化的典型地区。在历史上小江流域曾经发育有十分繁茂的植被,但是从唐代开始的大规模伐木炼铜,导致森林被砍伐殆尽,到解放初期,森林覆盖率只有 30% 左右^①,建国后,在人口大量增加、开矿、筑路等的影响下,森林覆盖率进一步下降,侵蚀模数不断增大(图 1),目前流域内原生植被仅有非常零星的分布^[1,2]。从 20 世纪 80 年代,长江流域开始推行“退耕还林”等措施恢复生态环境,通过大面积种植人工林来控制水土流失。

群落的结构和多样性变化关系到人工林演替的方向^[3],也是研究者所关心的问题。但是,由于小江流域种植的人工林大部分为纯林,存在着群落结构简单、生物多样性低、生长发育不良等问题^[4~6],学者对人工林群落结构的变化、物种多样性的发展及控制水土流失的能力等方面还存在着不同观点^[7~10],对于小江流域人工林群落的发育过程及其与环境的关系的研究还非常不充分。本文用空间代替时间的方法,通过对小江流域典型人工林样地的调查,对不同种类人工林群落结构变化、物种多样性的发展及人工林对坡面侵蚀的控制作用进行研究,意在为促进当地生态恢复提供参考。

1 研究区概况

受小江断裂带的控制,小江流域地形高差大,岩层破碎,水土流失严重^[11]。小江流域气候垂直分带性明显,干湿季分明。海拔 1600m 以下为亚热带干热河谷区,年平均降雨量为 700mm 左右,植被为稀树草丛;海拔 1600~3000m 为温带半干旱湿润区,年均降雨量为 900mm 左右,植被为山地常绿阔叶林与针叶林;海拔 3000m 以上为寒温带湿润高山区,年平均降雨量为 1200mm 左右,植被为高山灌丛草甸^[1,12]。每年 11 月至翌年 4 月份为干季,降雨量仅占年总降雨量的 12%;5~10 月份为夏秋雨季,降雨量占年总降雨量的 88%^①。

本次调查的人工林样地位于海拔 1600~2200m,近于干热河谷的上限,降雨略多于典型的干热河谷区域,夏秋季节多暴雨,造成严重的侵蚀,是泥石流发生的重要固体物质补给区,而冬春季节非常干旱,因而对植被的恢复十分不利。同时,由于本区域人口密度大,农业生产、放牧、樵柴、修路等对植被造成很大的破坏。裸露荒坡上植物组成以耐干旱、耐贫瘠的灌木和草本为主,灌木主要有白刺花(*Sophora viciifolia*)、坡柳(*Dodonaea viscosa*)、马桑(*Coriaria sinica*)等;草本植物种类分布较多的主要有紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、三叶鬼针(*Bidens pilosa*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、拟金茅(*Eulaliopsis binata*)、荩草(*Arthraxon hispidus*)、香薷(*Elsholtzia* spp.)、马鞭草(*Verbena officinalis*)、戟叶酸模(*Polygonum maackianum*)等。植物组成多集中在菊科、禾本科,以强阳生、耐干旱、耐贫瘠的种类为主,具有一定的干热河谷的特点。

2 研究方法

2.1 样地设置和调查方法

对小江流域主要人工林类型进行野外实地考察后,选择当地分布最广泛的桉树(*Eucalyptus* spp.)、黑荆(*Acacia mearnsii*)、银合欢(*Leucaena leucocephala*)及云南松(*Pinus yunnanensis*)4 种人工林纯林为研究对象。

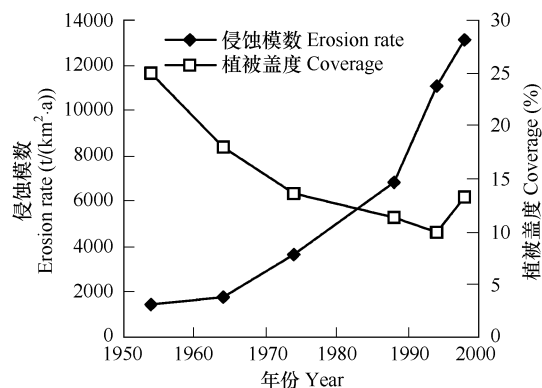


图 1 小江流域侵蚀模数与植被盖度随时间的变化

Fig. 1 Temporal variations of the erosion rate and plant coverage in Xiaojiang basin

① 杜榕桓, 康志成. 云南小江流域砂石化过程及其整治. 中国科学院东川泥石流观测站, 1990 年年报: 22~33.

其中桉树林的林分以直干桉 (*Eucalyptus maideni*) 为主,混生有少量蓝桉 (*Eucalyptus globulus*) 及细叶桉 (*Eucalyptus tereticornis*)。调查样地面积设置为 10m × 10m, 相对较小, 这样做是为了避免在某些林地中设置的样地太靠近林地的边缘部分而影响调查结果。为了增加调查结果的代表性, 在每个人工林地内重复设置 2 块调查样地, 在总共 12 个林地中设置了 24 个调查样地。在每个调查样地中又随机设置 3 个 1m × 1m 的小样方, 用以调查和估算草本层植物的群落数量指标。通过访问护林人员获得造林时间, 并用生长锥取树芯进行确认和矫正林龄。每种人工林选择 3 个林龄, 构成一个时间序列。受客观条件所限, 所选林地的林龄没有完全对应, 但仍然可以从发展趋势上进行对比研究。

本次调查所涉及的林地都是 20 世纪 80 年代以后退耕还林种植的人工林, 样地坡度 17° ~ 40° (表 1)。其中 14 年生及 20 年生的云南松两块林地坡度较大, 但是这两个林地所在的位置海拔高度相对也较高, 随海拔高度的增长, 降雨量有所增加, 这在一定程度上弥补了坡度对水分条件的影响; 另外, 由于造林前所有林地都进行了水平整地, 也减轻了坡度造成的差异。从土壤、水分等综合自然条件看, 所选林地具有可比性。造林方式稍有不同, 其中桉树、黑荆采用营养杯育苗移植造林, 云南松、银合欢采用种子直播方式造林。造林后进行了较严格的封育措施, 人畜干扰比较小。这些坡地在退耕还林前水土流失严重, 质地土石混杂, 由于长期的耕作, 原生植物被完全破坏。

表 1 调查样地基本情况

Table 1 Basic condition of the sampling plots

人工林类型 Plantation type	样地位置 Location of spots	海拔高度 Elevation (m)	坡向 Aspect (°)	坡度 Steepness (°)	林龄 Tree age (a)
桉树林 <i>Eucalyptus</i> spp.	E103°09.311' N26°14.737'	1635	NW 6	30	3
	E103°16.155' N25°54.110'	1914	ES 23	22	8
	E103°16.045' N25°53.981'	1825	SE10	30	14
黑荆林 <i>Acacia mearnsii</i>	E103°16.095' N25°54.154'	1999	SE 50	10	4
	E103°16.191' N25°54.329'	1957	SE59	27	7
	E103°16.197' N25°54.106'	1914	SE 52	24	8
银合欢林 <i>Leucaena leucocephala</i>	E103°07.994' N26°14.733'	1635	NE4	31	4
	E103°13.228' N26°06.881'	1645	SE65	16	10
	E103°12.431' N26°06.300'	1587	SE7	17	20
云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i>	E103°16.097' N25°54.086'	1934	SE 37	17	4
	E103°17.633' N25°54.730'	2176	SE 49	40	14
	E103°17.612' N25°54.827'	2152	NW 23	35	20

2.2 调查项目及评价方法

记录样地的位置、高程、坡度、坡向、质地、林地种类、林龄、坡面侵蚀情况以及腐殖质和枯枝落叶层厚度等。对样地内人工林乔木层进行每木调查, 测量记录其多度、高度、枝下高、胸径, 测量每株树的冠幅并据此估算样地内乔木层盖度。对灌木层调查每株植物的种类、多度、高度, 并估算其盖度。样地内次生乔木、灌木及藤本种类植物的高度一般比较矮小, 为了研究的方便, 将次生乔木、灌木及藤本植物都记录在次生灌木层内。对次生草本层调查种类、多度、平均高度, 并用目测法估计其盖度。将林下坡面侵蚀情况定性地分为轻微、明显、严重三级: 以地面缺少土壤层, 有明显粗化现象为严重侵蚀; 以地面有土壤层但是腐殖质层缺失或仅存在于部分地段为明显侵蚀; 以地面有一定厚度而且分布均匀的腐殖质和枯枝落叶层为轻微侵蚀。

用相对重要值这一综合指标反映样地内灌木和草本层植物种类的集中程度:

$$Iv = (Cr + Fr + Dr) / 3$$

式中, Cr 为相对盖度, Fr 为相对频度, Dr 为相对密度。

对林下草本层多样性的评价采用香农-维纳 (Shannon-Wiener) 指数:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

式中, p_i 是第 i 种个体数占总个体的比例, n 为群落中所有种的个体总数。

3 调查结果与分析

3.1 乔木层群落结构变化

随林龄的增长 4 种人工林群落结构表现出明显的差异(表 2)。造林 3~4a 的 4 种人工林都处于幼林状态,冠层盖度约 30%~40%,其中黑荆林生长最迅速,平均高度可达 9m,盖度约 40%,其它 3 种人工林盖度、高度、胸径等指标相对黑荆林小。造林 8a 及 14a 后桉树林平均高度达到 20m 以上,林相整齐,枝下高可达 15m 以上,树冠较小,冠幅一般 2~3m,冠层盖度仅 40%~50%。林龄 7a 及 8a 的黑荆林平均高度约 11m,枝下高约 2~4m,胸径 3.8~23cm,冠层盖度可达 75%~80%,林内光线暗,林分基本郁闭。造林 10a 的银合欢林平均高度约 14m,树冠层厚,叶子分布一直达到树干下部,枝下高度约 1.5m,林下有较多的银合欢幼苗萌生。由于大量次生合欢树苗的不断生长,造林 20a 的银合欢林植株密度明显增大,植株大小混杂。20a 的银合欢林下部枝叶稀少,上层乔木平均高度约 14m,冠层厚度小于 2.0m,呈伞状。造林 14a 及 20a 的云南松林乔木层盖度大约都在 60% 左右,其中林龄 14a 的云南松林平均高度约 4.5m,枝下高约 0.5m,林龄 20a 的云南松林平均高度达到 15.2m,枝下高达 10m 左右。

表 2 乔木层群落结构基本特征

Table 2 Fundamental characteristics of tree layers community structure

种类 Plantation type	林龄 Tree age (a)	乔木层 Tree layer				灌木层 Shrub layer				草本层 Herb layer		
		平均高度 Average height (m)	平均胸径 Average diameter (cm)	盖度 Cover (%)	植株密度 Plant density (Number /hm ²)	平均高度 average height (m)	数量 Count	种类数 Count of species	盖度 Cover (%)	平均高度 Average height (m)	盖度 Cover (%)	种类数 Count of species
桉树林 <i>Eucalyptus</i> spp.	3	3.1	1.4	32	2 600	0.3	5	2	6	0.10	25	7
	8	21.0	16.4	40	1 000	1.5	18	5	10	0.45	93	12
	14	22.0	18.5	50	1 100	1.3	23	6	15	0.45	93	14
黑荆林 <i>Acacia mearnsii</i>	4	9.2	2.6	40	5 600	0.25	20	1	4	0.10	20	11
	7	11.0	8.3	75	3 200	1.1	31	4	7	0.05	6	9
	8	11.5	9.1	80	2 900	0.6	23	5	6	0.15	9	7
银合欢林 <i>Leucaena leucocephala</i>	4	5.5	1.9	30	3 700	0	0	0	0	0.10	22	5
	10	14.0	3.64	80	2 200	1.5	10	2	4	0.50	88	8
	20	16.0	4.5	70	6 000	1.4	2	1	2	0.05	0.7	4
云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i>	4	3.0	1.93	35	3 400	0.2	7	2	1	0.15	30	8
	14	4.5	5.63	60	2 000	0.5	94	7	10	0.15	18	13
	20	15.2	17.8	65	1 400	2.5	136	12	25	0.20	46	22

同林龄相比,4 种人工林乔木层盖度增长速度趋势为:黑荆>银合欢>云南松>桉树(图 2)。黑荆速生、适应性强的特点^[13]在这里表现得很明显。银合欢种子产量大,天然更新能力强,即使在典型的干热河谷环境条件下也能在林下次生大量幼苗而增大密度^[14]。样地中银合欢在林龄达到 10a 时盖度即达到 80% 左右,由于其植株密度过度增大,造成冠层枝叶稀疏化,20a 林龄时盖度有一定程度的下降。桉树在年降雨量超过 1000mm,土壤深厚的立地条件下生长较好^[15],当地的年降水量虽然有 900mm 左右,但是坡地上保水条件差、土壤层薄,可能是造成桉树林盖度增长缓慢的重要原因。云南松在坡度达到 35~40°的调查样地上仍然能

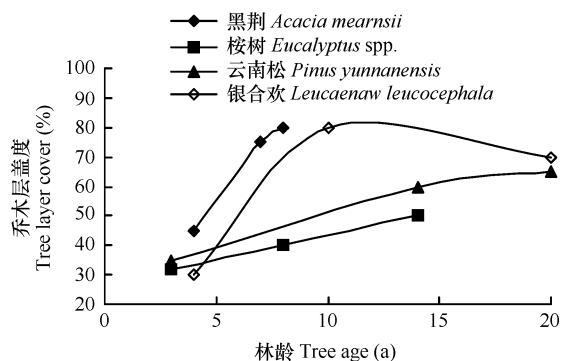


图 2 乔木层盖度随时间的变化

Fig. 2 Temporal variation of the coverage of tree layers

够正常生长发育,其盖度增长比较均匀,20a 生云南松林乔木层盖度只达到 65% 左右,可能与其种植密度较小有一定关系。

3.2 次生灌木层群落结构变化

表 3 是 4 种人工林地灌木层(包括次生乔木、灌木及藤本植物种类)内次生植物种类及重要值的分布。造林 3~4a 的人工林中开始出现少量小型灌木或半灌木,如坡柳(*Dodonaea viscosa*)、野蓝枝子(*Indigofera bungeana*)、杭子梢(*Campylotropis polyantha*)等,这些都是当地广泛分布的小灌木种类。种植 8a 的桉树林样地内次生的木本植物主要为坡柳(*Dodonaea viscosa*)、皮哨子(*Sapindus delavayi*)、千里光(*Senecio* sp.)、心叶青藤(*Illigera cordata*)、苦楝(*Melia azedarach*)等,以阳生性种类为主。种植 14a 的桉树林内次生的木本植物种类有坡柳、千里光、心叶青藤、构树(*Broussonetia papyrifera*)、荚蒾(*Viburnum punctatum*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)等。由于桉树林内光照较充足,次生植物生长较旺盛。种植 7a 及 8a 的黑荆林内除了没有心叶青藤及坡柳外,其它次生植物种类与桉树林内较近似,但由于乔木层盖度大,林内光线弱,次生植物长势很差。银合欢林冠层盖度大,植株密度高,林下除了有较多的银合欢幼苗外,其它次生植物很少,其中 10a 生银合欢林内仅分布有少量杜鹃(*Rhododendron* sp.)及膏桐(*Jatropha curcas*),20a 生银合欢林样地中只见到 2 株蓖麻(*Ricinus communis*),长势很弱。种植 14a 的云南松林中次生灌木种类比较丰富,以尖萼金丝桃(*Hypericum acmosepalum*)、新木姜子(*Neolitsea aurata*)、槲棠(*Kerria japonica*)、荚蒾、小叶女贞、麻栗(*Quercus acutissima*)等所占比重较大,高度约在 0.5m 以。种植 20a 的云南松林下次生灌木种类更加丰富,同时出现了较多的乔木种类,如白蜡树(*Fraxinus chinensis*)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*)、麻栗等,高度可达 5m,次生木本植物层盖度可以达到 25%,初步形成了针、阔混交林的景观。

表 3 林下次生灌木层植物种类组成及重要值分布

Table 3 Species composition and importance value of the secondary shrubby layers

人工林种类 Plantation type	桉树林 <i>Eucalyptus</i> spp.			黑荆林 <i>Acacia mearnsii</i>			银合欢林 <i>Leucaena leucocephala</i>			云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i>		
林龄 Tree age(a)	3	8	14	4	7	8	4	10	20	4	14	20
坡柳 <i>Dodonaea viscosa</i>	62.2	14.4	15.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
杭子梢 <i>Campylotropis polyantha</i>	37.8	-	-	100	-	-	-	-	-	43.7	-	-
皮哨子 <i>Sapindus delavayi</i>	-	14.1	-	-	28.7	18.0	-	-	-	-	-	-
千里光 <i>Senecio</i> sp.	-	24.8	17.6	-	18.5	34.8	-	-	-	-	-	-
心叶青藤 <i>Illigera cordata</i>	-	28.5	24.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
苦楝 <i>Melia azedarach</i>	-	18.2	-	-	18.6	17.3	-	-	-	-	-	-
荚蒾 <i>Viburnum punctatum</i>	-	-	17.1	-	34.3	-	-	-	-	-	8.6	5.0
小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>	-	-	10.1	-	-	15.2	-	-	-	-	8.1	-
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	-	-	15.0	-	-	14.6	-	-	-	-	-	-
槲栎 <i>Quercus aliena</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.5
尖萼金丝桃 <i>Hypericum acmosepalum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.1	15.5
新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1	8.7
槲棠 <i>Kerria japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.2	8.8
麻栗 <i>Quercus acutissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.4	10.3
野蓝枝子 <i>Indigofera bungeana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56.3	9.5	6.9
白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.1
石海椒 <i>Reinwardtia indica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.9
忍冬 <i>Lonicera japonica</i> Thunb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.3
滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	-	-	-	-	-	-	-	73.9	-	-	-	-
膏桐 <i>Jatropha curcas</i>	-	-	-	-	-	-	-	26.1	-	-	-	-
蓖麻 <i>Ricinus communis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-

3.3 草本层群落结构变化

土壤中残存有比较丰富的草本植物根茎和种子,所以造林后林下耐干旱和贫瘠的草本植物种类首先发育,林龄 3~4a 的 4 种人工林下草本植物种类比较相似,主要以拟金茅(*Eulaliopsis binata*)、荩草(*Arthraxon hispidus*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、紫茎泽兰、截叶铁扫帚(*Lespedeza cuneata*)、戟叶酸模(*Rumex hastatus*)等为主,分别属于禾本科、菊科、豆科、蓼科等 8 科,以禾本科、菊科等耐旱、耐贫瘠种类分布较多,盖度 20%~25%(表 4)。

表 4 林下草本层种类组成及重要值分布

Table 4 Species composition and importance value of the herbaceous layers

人工林种类 Plantation type	桉树林 <i>Eucalyptus</i> spp.			黑荆林 <i>Acacia mearnsii</i>			银合欢林 <i>Leucaena leucocephala</i>			云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i>		
林龄 Tree age(a)	3	8	14	4	7	8	4	10	20	4	14	20
紫茎泽兰 <i>Eupatorium adenophorum</i>	7.7	64.3	63.2	6.3	10.9	22.5	—	73.0	—	2.1	4.7	2.0
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	25.7	3.6	3.6	20.8	7.3	6.1	30.7	2.2	25.1	15.1	—	—
野古草 <i>Arundinella Raddi</i>	8.4	1.0	1.0	—	—	—	—	—	—	9.7	—	—
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	38.2	2.2	1.5	27.6	—	—	29.7	1.8	—	36.3	—	—
截叶铁扫帚 <i>Lespedeza cuneata</i>	8.2	—	—	4.5	—	—	—	—	—	—	—	—
山一笼鸡 <i>Gutierrezia aprica</i>	2.8	—	—	—	—	—	8.8	—	—	—	—	—
黄背草 <i>Themeda triandra</i>	9.0	—	—	—	—	—	15.4	—	—	11.7	—	—
戟叶酸模 <i>Rumex hastatus</i>	—	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	—	1.4	5.3	—	—	—	—	—	—	—	3.6	3.6
土牛膝 <i>Achyranthes asper</i>	—	7.5	4.0	—	18.2	15.3	—	7.5	35.5	—	—	1.7
小木通 <i>Clematis armandii</i>	—	1.4	7.6	—	16.2	13.4	—	1.0	—	—	—	—
三叶鬼针 <i>Bidens pilosa</i>	—	5.3	1.4	—	—	—	—	5.7	26.5	—	3.0	7.6
竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	—	6.5	6.5	—	7.5	6.2	—	3.3	—	—	—	—
堇菜 <i>Viola verecunda</i>	—	4.0	2.2	—	8.1	6.9	—	—	—	3.7	—	—
拟金茅 <i>Eulaliopsis binata</i>	—	1.5	—	18.8	—	—	15.4	—	—	18.6	—	—
三叶排草 <i>Lysimachia insignis</i>	—	—	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
小花琉璃草 <i>Cynoglossum lanceolatum</i>	—	—	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鱼眼草 <i>Dichrocephala auriculata</i>	—	—	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	1.1
小果荨麻 <i>Urtica atrichocaulis</i>	—	—	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
华火绒草 <i>Leontopodium sinense</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.5	2.6
高原鸢尾 <i>Iris collettii</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.3
路边青 <i>Geum aleppicum</i>	—	—	—	4.7	—	—	—	—	—	—	—	—
小画眉草 <i>Eragrostis minor</i>	—	—	—	10.7	—	—	—	—	—	—	—	—
波叶山蚂蝗 <i>Desmodium sequax</i>	—	—	—	2.3	—	—	—	—	—	—	—	—
小叶三点金 <i>Desmodium triflorum</i>	—	—	—	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—
柄花茜草 <i>Rubia podantha</i>	—	—	—	13.3	10.9	—	—	—	—	—	—	—
地膏药 <i>Gnaphalium adnatum</i>	—	—	—	2.7	—	—	—	—	—	—	—	3.6
地石榴 <i>Pratia nummularia</i>	—	—	—	—	18.6	15.0	—	—	—	—	—	—

续表

人工林种类 Plantation type	桉树林 <i>Eucalyptus</i> spp.			黑荆林 <i>Acacia mearnsii</i>			银合欢林 <i>Leucaena leucocephala</i>			云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i>		
林龄 Tree age(a)	3	8	14	4	7	8	4	10	20	4	14	20
凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i>	-	-	-	-	3.8	-	-	-	-	-	4.2	5.1
栗柄金粉蕨 <i>Onychium lucidum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.2	6.1
蹄盖蕨 <i>Athyrium darkei</i>	-	-	-	-	-	-	-	5.5	12.9	-	-	5.2
毛子草 <i>Incarvillea arguta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-	-
青蒿 <i>Herba Artemisiae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	5.3
野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	6.7
金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.5	10.4
砖子苗 <i>Mariscus sumatrensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.2	6.5
兔耳风 <i>Ainsliaea fragrans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9	1.2
大花韭 <i>Allium macranthum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	2.4
小报春花 <i>Primula forbesii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.7	5.0
翠茎冷水花 <i>Pilea hilliana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9
一把伞南星 <i>Arisaema erubescens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6
昆明马兜铃 <i>Aristolochia kunmingensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4
虾脊兰 <i>Calanthe discolor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1

随着林龄和盖度的增加,4种人工林下出现的草本植物种类及重要值的分布出现了明显的变化(表4)。从种类的变化看,云南松和桉树林下草本植物种类呈逐渐增长的趋势,黑荆林下草本植物种类有下降的趋势,银合欢林下草本植物种类先有少量的增长,然后有所降低,一直维持着较低的水平(图3)。林下草本植物种类的这种变化趋势与乔木层盖度变化的特点有比较密切的关系,云南松与桉树林盖度比较适中或较低,有利于林下草本植物的发育,而银合欢及黑荆林冠层郁闭后林下草本植物种类有所减少。另外,随着林龄和盖度的增加,林下耐阴草本植物种类逐渐增多,阳性草本植物种类有所减少,如在3种阔叶林中分布有大量的土牛

膝(*Achyranthes asper*)、小木通(*Clematis armandii*)、堇菜(*Viola verecunda*)、地石榴(*Pratia nummularia*)等,而在云南松林中金毛耳草(*Hedyotis chrysotricha*)、蕨类(*Pteridophyta*)、青蒿(*Herba Artemisiae*)、野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*)、兔耳风(*Ainsliaea fragrans*)等耐阴种类重要值较大,尤其在20a林龄的云南松林下形成了以蕨类、兔耳风、高原鸢尾(*Iris collettii*)、虾脊兰(*Calanthe discolor*)、小报春花(*Primula forbesii*)等为优势种的草本层,反映了郁闭度的增大及林内水分和养分条件有所改善。

香农-维纳指数反映了物种的多样性及分布的均匀度,物种越多均匀程度越高,香农-维纳指数越高,但一般变动于1.5~3.5,很少超过4.5^[16]。从图4可以看到,桉树、黑荆、云南松林下草本植物层香农-维纳指数明显增高,其中20a林龄的云南松林下草本植物香农-维纳指数达到了2.6,是一个较高的数值;由于银合欢林下草本植物种类和数量显著减少,其香农-维纳指数有所降低。

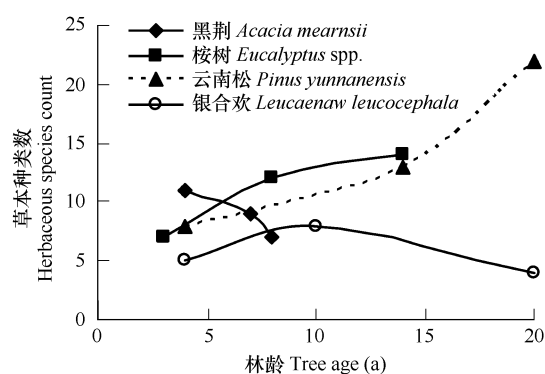


图3 林下草本层植物种类数随时间的变化

Fig.3 Temporal variation of herbaceous species count

3.4 不同人工林对坡面侵蚀的控制作用

样地内林下侵蚀及有机质积累情况如表 5 所示。3~4a 幼林下的坡面流水侵蚀严重,土壤层缺失,地面粗化现象很明显,纹沟、细沟普遍发育,但随着林龄及人工林盖度的增加坡面侵蚀明显减轻。黑荆及银合欢林盖度达到 70%~80% 后能够显著地改善侵蚀状况,这时坡面上开始有发育土壤层,有一定厚度的腐殖质层积累,并且腐殖质层在坡面上的分布比较均匀,说明流水对坡面的侵蚀比较轻微。当地的桉树林盖度只有 40%~50%,并且由于桉树高度大,对暴雨侵蚀控制作用比较弱。但是在林下发育有以紫茎泽兰等为优势种的密集的草本层的桉树林,有效地起到了阻止侵蚀的作用,而在没有发育密集紫茎泽兰的桉树林下则可以观察到严重的侵蚀。种植 14a 及 20a 的云南松林盖度达到 60%~65%,林下坡面仍然可以观察到明显的流水侵蚀痕迹,仅有薄层土壤层发育,腐殖质及枯枝落叶仅存在于相对低洼的局部地段,说明坡面仍然受到一定的流水侵蚀作用。总的看来,黑荆、银合欢林生长非常迅速,郁闭度大,对水土流失的控制作用很强;而桉树、云南松林盖度增长较缓慢,对坡面侵蚀的控制作用相对较弱。另一方面,草本层和枯枝落叶层对改善土壤结构、减缓坡面流水速度有着重要的作用,因而减轻了土壤侵蚀、增加了雨水的下渗量,对改善林内环境、促进群落的发育和更替有十分显著的作用。

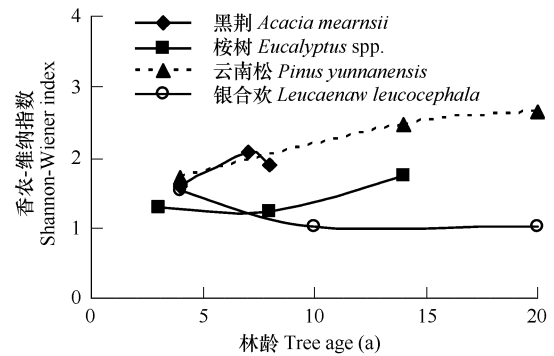


图 4 林下草本层植物香农-维纳指数随时间的变化

Fig. 4 Temporal variation of the Shannon-Wiener index of the herbaceous layers

表 5 林下坡面侵蚀及有机质积累情况

Table 5 Fundamental characters of erosion and organic mater accumulation

人工林种类 Plantation type	桉树林 <i>Eucalyptus</i> spp.			黑荆林 <i>Acacia mearnsii</i>			银合欢林 <i>Leucaena leucocephala</i>			云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i>		
林龄 Tree age(a)	3	8	14	4	7	8	4	10	20	4	14	20
林龄 Tree age(a)	3	8	14	4	7	8	4	14	20	4	10	20
枯落物厚度 Forest litter (cm)	0	0.5	1.0	0	1.0	1.0	0	0.2	0.4	0.3	0.5	1.2
腐殖质厚度 Humus layer (cm)	0	1.0	3.0	0	3.0	3.0	0	0.5	0.5	0	2.0	5.0
坡面侵蚀状况 Slope erosion	严重	轻微	轻微	严重	轻微	轻微	严重	轻微	轻微	严重	明显	明显

4 结论与讨论

以上研究表明,在大致相似的自然条件下 4 种人工林发育情况不同。黑荆与银合欢生长迅速,能够很好地适应当地的环境,大概种植 7a 左右就可以形成郁闭的人工林;桉树林盖度发展较缓慢,可能与当地坡面上水分不足及土壤贫瘠有关;云南松是本地树种,适应干旱、贫瘠的能力比较强,一般条件下能够正常生长发育。在小江流域的自然条件下,人工林盖度达到 70%~80% 后,才能够比较好地起到控制坡面土壤侵蚀的作用。银合欢及黑荆人工林盖度增长快,能够较快地发挥控制水土流失的作用,而桉树和云南松人工林盖度增长较慢,控制水土流失的能力比较弱。

在促进植物多样性发育方面,4 种人工林相比,云南松林生态系统中植物多样性最高。本区域的其它相关研究中也得到了相似的结果,并认为这是由于云南松是乡土树种,容易与其它物种共存^[5,10]。但从这次调查的情况看,林下次生植物的发展与乔木层盖度有比较密切的关系。云南松人工林种植密度相对较小,在生长发育过程中乔木层盖度适中,存在一定的林隙,为林下草、灌层植物提供了多样性的生态环境,促进了林下植被种类的发育;相反,黑荆、银合欢林分郁闭过早,桉树林冠层盖度过低,都不利于林下次生植物的发展。退化生态系统的恢复需要经过相当长的时间,如根据学者在我国亚热带、热带地区的研究,从裸地自然恢复到灌

丛群落一般需要 40a 以上^[17~20],而人工植被能够加速这一过程^[21]。本次调查研究表明,在乔木层盖度比较适中的条件下,小江地区从人工纯林初步演变成林、灌、草层植物种类比较丰富,更新层比较明显的混交林结构,大约需要 20a 左右的时间;但是,如果人工林冠层盖度增长过快或过慢,则会延长这一过程的时间。

因此在利用人工林恢复生态环境的过程中,单一树种难以最大限度地发挥促进生物多样性发展、控制水土流失等综合功能,造林时应根据自然条件选择适当的人工林物种及搭配方式,并对人工林的植株密度、盖度等进行适当干预,才能更好地促进生态环境的改善。

References:

- [1] We F Q, Liu S Z, Fan J R, *et al.* Ecological environment disasters in Xiaojiang River basin and its control countermeasures. *Journal of Natural Disaster*, 2004, 13(4): 109—114.
- [2] Li Y T, Deng J Y, Sun Z H. Destruction of ecological environment and flood and sediment disaster in Yangtze River basin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(6): 31—35.
- [3] Knapp R. *Vegetation Dynamics*. Beijing: Science Press, 1986.
- [4] Cai N H, Li G Q, Zhu C F, *et al.* A comparison study on the community structure between artificial and natural forests of *Pinus yunnanensis*. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(2): 1—4.
- [5] Whang Z H, Duan C Q. Ecological restoration effects of typical manmade ecosystems and relationships between restoration variables in middle Yunnan area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1439—1445.
- [6] Cai N H, Li G Q, Zhu C F, *et al.* A Comparison study on the community structure between Artificial and Natural Forests of *Pinus yunnanensis*. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(2): 1—4.
- [7] Xu D P, Zhang N N. Development of Study on the Ecological Benefits of Eucalyptus plantations. *Guangxi Forestry Science*, 2006, 35(4): 179—201.
- [8] Wang Z H, Duan C Q, Qi L C, Zhang S B, *et al.* A preliminary investigation of ecological issues arising in the man-made forest of *Eucalyptus* in China. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(6): 64—68.
- [9] Liang Q Y. Views on the dispute over ecological issues of eucalyptus Plantation. *Eucalypt Science & Technology*, 2005, 22(1): 23—28.
- [10] Xiong C Y. Study and analysis on plant community under the mingled forest of pine and oak, and *Pinus yunnanensis* and *Eucalyptus* Globules. *Forest Inventory and Planning*, 2006, 31(3): 28—33.
- [11] Chen X Q. The present condition of ecological environment of dongchuan city and measures for improvement. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1996, 5(2): 182—186.
- [12] Zhang G X, Wang S G. Probe into ecological environment and measures for protection of Xiaojiang River. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(5): 50—52.
- [13] Deng X Y, Hua X. Quality species of *Acacia dealata* and *Acacia mearnsii*. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 1995, (5): 31—37.
- [14] Zong Y C, Zheng Y Q, Zhang C H, *et al.* Natural regeneration of *Leucaena leucocephala* in Yuanmou dry-hot valley. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(1): 135—138.
- [15] Feng Z W, Wang X K, Ouyang Z Y. Distribution of Eucalyptus forest and ecological regionalization in Hainan Province. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(3): 168—173.
- [16] Song Y C. *Vegetation ecology*. Shanghai: East China Normal University Press, 2001. 49.
- [17] Rebecca P. B. Promoting biodiversity: advances in evaluating natives species for reforestation. *Forest Ecology Management*, 1995, 75: 111—121.
- [18] 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.
- [19] Zhuang X Y. Rehabilitation and development of forest on degraded hills of Hong Kong. *Forest Ecology Management*, 1997, 99: 197—201.
- [20] 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.
- [21] Wang F X, Wang Z Y, Yang Z M, *et al.* Vegetation succession process induced by reforestation in erosion area. *Acta Ecologica Sinica*, 26(8): 2558—2565.

参考文献:

- [1] 韦方强, 刘淑珍, 范建容, 等. 小江流域生态环境灾害与治理对策. *自然灾害学报*, 2004, 13(4): 109—114.

- [2] 李义天, 邓金运, 孙昭华. 长江流域自然生态环境破坏与水沙灾害的关系. 水土保持学报, 2002, 16(6): 31 ~ 35.
- [4] 蔡年辉, 李根前, 朱存福, 等. 云南松人工林与天然林群落结构的比较研究. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 1 ~ 4.
- [5] 王震洪, 段昌群. 滇中几种人工林生态系统恢复效应研究. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1439 ~ 1445.
- [6] 蔡年辉, 李根前, 朱存福, 等. 云南松人工林与天然林群落结构的比较研究. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 1 ~ 4.
- [7] 徐大平, 张宁南. 桉树人工林生态效应研究进展. 广西林业科学, 2006, 35(4): 179 ~ 201.
- [8] 王震洪, 段昌群, 起联春, 等. 我国桉树林发展中的生态问题探讨. 生态学杂志, 1998, 17(6): 64 ~ 68.
- [9] 梁启英. 对桉树人工林生态问题争论的思考. 桉树科技, 2005, 22(1): 23 ~ 28.
- [10] 熊朝耀. 桉树林、云南松林及松栎混交林下植物群落调查与分析. 林业调查规划, 2006, 31(3): 28 ~ 33.
- [11] 陈循谦. 东川市生态环境现状及其改善对策. 长江流域资源与环境, 1996, 5(2): 182 ~ 186.
- [12] 张桂香, 王士革. 云南东川小江流域生态环境初探及保护对策. 水土保持研究, 2006, 13(5): 50 ~ 52.
- [13] 邓学渊, 华秀. 优良树种银荆与黑荆. 四川林勘设计, 1995, (5): 31 ~ 37.
- [14] 宗亦臣, 郑勇奇, 张川红, 等. 元谋干热河谷地区新银合欢天然更新的初步调查. 生态学杂志, 2007, 26(1): 135 ~ 138.
- [15] 冯宗炜, 王效科, 欧阳志云. 海南省桉树林分布及浆纸林生态区划. 土壤环境, 1999, 8(3): 168 ~ 173.
- [16] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2001. 49.
- [18] 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.
- [20] 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.
- [21] 王费新, 王兆印, 杨正明, 等. 南亚热带水土流失地区人工加速植被演替过程. 生态学报, 2005, 26(8): 2558 ~ 2565.