

滇池流域人工林群落结构及水土保持效益^{*}

胡长杏^{1,2} 彭明春¹ 王崇云^{1**} 杜建海¹ 李 博³ 陈振亮⁴ 付 琦¹

(¹云南大学生态学与地植物学研究所, 昆明 650091; ²云南省科学技术馆, 昆明 650031; ³云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; ⁴福建省华夏建筑设计院, 福州 350004)

摘 要 以滇池流域 5 种主要人工林(柏木林、桉树林、银荆林、华山松林和云南松林)为研究对象,通过样方调查,分析群落结构特征,并构建了由植被、枯落物、土壤、地形 4 个因子组成的水土保持功能评价指标体系,在对所选取的 8 个指标进行标准化、确定权重的基础上,运用理想点综合评价方法评价其水土保持效益。结果表明:各人工林群落优势种重要值(*IV*)分别为:柏木 89.69、桉树 74.27、银荆 96.35、华山松 84.93、云南松 65.65。桉树林、云南松林分层物种多样性表现为灌木层>草本层>乔木层,柏木林、银荆林和华山松林分层物种多样性表现为草本层>灌木层>乔木层。云南松林的群落总体物种多样性最高,华山松林和桉树林次之,柏木林较低,银荆林最低。各人工林水土保持效益依次为:云南松林>华山松林>柏木林>桉树林>银荆林,表明乡土树种作为水土保持林具有一定的优势。不同人工林在物种多样性及水土保持效益等方面存在明显差异,应根据立地条件选择适宜的造林树种及搭配方式,提升其生态功能,控制水土流失。

关键词 人工林; 重要值; 物种多样性; 层次分析法; 滇池流域

中图分类号 Q14 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)12-3003-08

Community structure and soil and water conservation benefits of man-made forests in Dianchi Lake watershed, Yunnan Province of Southwest China. HU Chang-xing^{1,2}, PENG Ming-chun¹, WANG Chong-yun^{1**}, DU Jian-hai¹, LI Bo³, CHEN Zhen-Liang⁴, FU Qi¹ (¹*Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China*; ²*Yunnan Science and Technology Museum, Kunming 650031, China*; ³*Resources and Environment College of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*; ⁴*Fujian Huaxia Institute of Architectural Design, Fuzhou 350004, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(12): 3003–3010.

Abstract: A plot investigation was made on the community structure of five main man-made forests (*Cupressus duclouxiana*, *Eucalyptus globules*, *Acacia dealbara*, *Pinus armandii*, and *P. yunnanensis* plantations) in the Dianchi Lake watershed of Yunnan Province, Southwest China. A functional evaluation index system of soil and water conservation, which consisted of four factors (vegetation, litter, soil, and landform), was established. Based on the normalization and weighting of 8 selected indices, and using ideal point comprehensive evaluation method, the soil and water conservation benefits of the plantations were evaluated. The importance value (*IV*) of the dominant species in the five plantations was 89.69 for *C. duclouxiana*, 74.27 for *E. globulus*, 96.35 for *A. dealbara*, 84.93 for *P. armandii*, and 65.65 for *P. yunnanensis*. Among the five plantations, the species diversity in different layers of *E. globules* and *P. yunnanensis* plantations was shrub layer > herb layer > tree layer, and that in different layers of *C. duclouxiana*, *A. dealbara*, and *P. armandii* plantations was herb layer > shrub layer > tree layer. *P. yunnanensis* plantation had the highest overall community diversity, followed by *P. armandii*, *E. globules*, *C. louxiana*, and *A. dealbara* plantation. The soil and water conservation benefits of the plantations were *P. yunnanensis* > *P. armandii* > *C. duclouxiana* > *E. globulus* > *A. dealbara*, which revealed that native tree species had more advantages in soil and water conservation.

^{*} 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07102-004)和国家自然科学基金项目(31160080)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: cywang@ynu.edu.cn

收稿日期: 2012-07-12 接受日期: 2012-09-14

There existed obvious differences in the species diversity and soil and water conservation benefits between different plantations, and thus, it would be needed to select suitable tree species and their reasonable combinations for the local sites to improve their ecosystem functioning and to control soil and water loss.

Key words: man-made forest; importance value; species diversity; analytic hierarchy process; Dianchi Lake watershed.

滇池流域是人类活动导致水环境污染的典型地区,面源污染已成为水质恶化的主要原因,水土流失是面源污染物的主要来源之一(杨树华和贺彬,1998)。植物覆被对面源污染具有很好的调控作用(Adélia *et al.*, 2011),相对于灌丛、草丛、旱地、农田等生态系统,森林生态系统能有效地控制水土流失,减少氮、磷流失(Chirino *et al.*, 2006; Bathurst, 2012)。从20世纪80年代开始,在滇池流域内采取生态公益林建设、“退耕还林”等措施恢复植被(鲁韦坤和杨树华,2006),通过大面积种植人工林来控制水土流失。目前,对人工林群落结构、物种多样性及控制水土流失的能力等方面还存在争议(陈代喜和莫泽莲,2000;王震洪和段昌群,2003),多数学者认为由于种植的人工林大部分为纯林,存在群落结构简单、生物多样性低、易发生病虫害、抗干扰能力差等问题(Richard, 2006; 蔡年辉等, 2007; Ekehard *et al.*, 2008; 杨吉山等, 2009),但部分学者认为人工林物种多样性随林龄增加呈上升现象(Archauxa *et al.*, 2010; Jeddi & Chaieb, 2010),且人工林具备调节径流、减少泥沙流失量、改良土壤物理性状、增加土壤养分等显著的水土保持功能(王震洪等, 2001; Paul & James, 2003)。随着滇池流域面源污染问题凸现、水土流失加剧(陈吉宁等, 2004),对全流域的人工林进行系统研究和评价显得尤为重要。本文以滇池流域过去30年生态恢复中营造的人工林为研究对象,从人工林的群落结构特征和水土保持效益评价两个方面揭示流域内人工林恢复现状,以期在保持森林覆盖度的前提下寻求提高水土保持效益的人工林最佳配置方案,为滇池水源涵养和水土流失控制提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

滇池流域地处云南高原中部,地理跨度为102°30'E—103°00'E、24°28'N—25°28'N,位于长江、珠江和红河三大水系分水岭地带,流域面积2920 km²,是云南省政治、经济、文化和交通中心。

气候受亚热带西南季风支配,干湿季分明而四季不分明,年平均降雨量为1035 mm,近80%的降水集中在5—10月。地势北高南低,地形可分为山地丘陵、淤积平原和滇池水域3个层次。地带性土壤为山原红壤,母质主要是红色风化岩。

滇池流域地带性植被为半湿润常绿阔叶林,在经历大规模采伐、人工更新及实施封育后,不同类型的人工林、天然次生林以及人工、天然更新共同作用形成的林分镶嵌分布。到2008年,滇池流域森林覆盖率已经达到50.8%,人工林平均成活率95.1%。滇池流域除水体外总面积为2567.91 km²(GIS量算面积),人工林总面积达526.69 km²,占陆域的20.51%。据调查统计,流域内的人工林类型主要有5种,分别为柏木林(*Cupressus duclouxiana*)、桉树林(*Eucalyptus globules*)、银荆林(*Acacia dealbara*)、华山松林(*Pinus armandii*)和云南松林(*Pinus yunnanensis*),其面积分别为37.36、61.12、89.43、273.66和65.12 km²,以华山松林占多数。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置 选择流域内5种主要人工林(柏木林、桉树林、银荆林、华山松林和云南松林)为研究对象。基于林业二调资料和实地访谈确定人工林林分,在流域不同区域选取种植成片的地段设置具有代表性的样方,共计48个样方,其中柏木林10个、桉树林9个、银荆林11个、华山松林15个、云南松林3个,样方位置见图1。经最小样方面积法确定乔木样方面积为10 m×10 m,在样方对角线上固定设置2个5 m×5 m的灌木样方和1 m×1 m的草本样方。记录样方的地理位置、海拔、坡度、坡向、林龄、腐殖层和枯落物层厚度等。在样方内对乔木进行每木测量,记录其基径、胸径、高度、枝下高、冠幅及盖度百分比;在灌木样方和草本样方中记录每种植物的高度、盖度和株数。

1.2.2 评价方法

1)植物群落结构分析。重要值(importance value, IV)计算方法参见姜汉侨等(2010)。

根据Magurran(1988)、马克平等(1995)所评述



图1 群落样方分布示意图
Fig.1 Distribution of community plots

的植物物种多样性测度方法,本文采用 Patrick 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数进行物种多样性分析,并采用方差分析和多重比较检验各群落类型分层多样性指数间的差异显著性。

采用给定加权参数群落总体多样性测度群落总体多样性。

总体多样性指数:

$$D=W_1D_1+W_2D_2+W_3D_3$$

式中: D_1 、 D_2 、 D_3 分别为乔木层、灌木层、草本层的多样性指数; W_1 、 W_2 、 W_3 分别为给定乔木层、灌木层、草本层的权重系数,这里采用0.5、0.3、0.2。

2) 植物群落水土保持效益评价。

(1) 指标与体系的建立

根据层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 指标体系构建过程中的综合性、主导性、科学性、可操作性和因地制宜性等原则 (陈珽,1987),选取能够代表和反映植被水土保持功能性的指标,构建包含3个层次的滇池流域人工林水土保持效益评价指标体系 (图2)。第一层次是目标层,即在研究区不同外界环境条件下,人工林群落系统的水土保

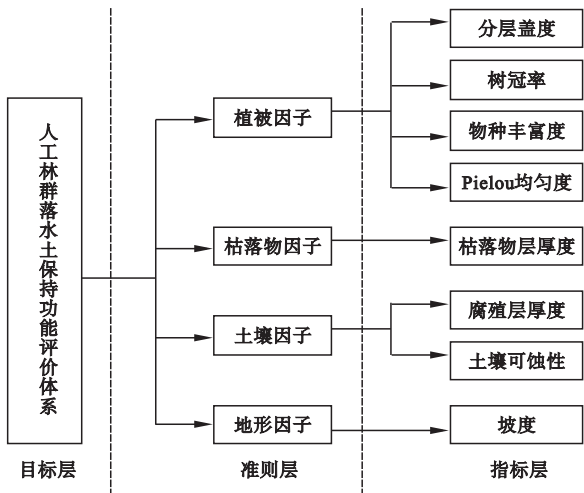


图2 滇池流域人工林水土保持效益评价体系
Fig.2 Soil and water conservation assessment index system of man-made forests

持效益状况;第二层次是准则层,即水土保持功能的每一个判定指标受哪些因子影响,以及从哪些方面来衡量;第三层是指标层,即每一个准则层上的要素用哪些具体指标来量化表达。

评价体系所选指标及其原因如下:

①分层盖度。垂直层次是群落降雨截留最主要的防线,乔、灌、草3层对水土保持效益具有同样的贡献 (王巧红等,2005),层盖度高的截留效果好。

②树冠率。树冠率的大小直接关系树冠截留率的强弱,其值为树冠长/树高,反映不同树种的林冠特性,树冠率大的截留效果好 (Ruangpanit,1985)。

③物种丰富度与 Pielou 均匀度。植物丰富度和均匀度增高,群落正向演替,土壤侵蚀程度降低 (肖海燕等,2005)。

④枯落物层厚度。枯枝落叶层作为降雨与土壤接触的最后一个隔离层,对水土保持具有十分重要的作用,储水性能强,有效减少地表径流 (吴钦孝等,1998)。

⑤腐殖层厚度。土壤肥力的标志,是地上植被层生存的主要肥力来源,其厚度可以指示群落发育的潜在能力以及前期水土流失是否严重 (刘复华,1988)。

⑥土壤可蚀性。评价土壤是否易受侵蚀营力破坏的性能,也是土壤对侵蚀营力分离和搬运作用的敏感性,值越大越容易发生水土流失 (Gupta *et al.*, 2010)。土壤可蚀性从1:10万昆明市土壤普查办公室编绘的滇池流域土壤类型资料获得。

⑦坡度。坡度与水土流失有直接联系,坡度越

大,水土流失潜在风险加大,需要采取更加严格的保水抗蚀措施(江忠善等,1990)。

(2) 指标标准化

本文主要采用线性函数法(阈值法)进行指标标准化,本文主要用到 2 种阈值法,一种是评价值随着指标增大而增大,另一种是评价值随着指标增大而减小,这 2 种方法最小评价值为 0,最大评级值为 1,这 2 种方法将非极大型指标转化为极大型指标,可以解决归一化数值的不一致性的问题。

极大型指标

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

极小型指标

$$y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, y_i : 指标评价值; x_i 指标实际值。

在图 2 的评价体系中,分层盖度、树冠率、物种丰富度、Pielou 均匀度、枯落物层厚度、腐殖层厚度属于极大型指标,土壤可蚀性、坡度属于极小型指标。

(3) 指标权重确定方法

根据计算权重时原始数据的来源不同可以分为主观赋权法,客观赋权法和组合赋权法 3 类。本文主要采用熵值法(客观赋权法)。

一般地,将评价对象集记为 $\{A_i\}$ ($i=1,2 \cdots, m$),用于评价的指标集记为 $\{X_j\}$ ($j=1,2 \cdots, n$),用 X_{ij} 表示第 i 个方案第 j 个指标的原始值。计算过程如下:

①将 X_{ij} 做正向化处理,并计算第 j 个指标第 i 个方案所占的比重 P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i=1,2 \cdots, m, j=1,2 \cdots, n)$$

②第 j 个指标的熵值 e_j :

$$e_{ij} = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (j=1,2 \cdots, n, k \geq 0, e_j \geq 0)$$

③第 j 个指标的差异系数 g_j :

$$g_j = 1 - e_j \quad (j=1,2 \cdots, n)$$

④第 j 个指标的权重系数 ω_j :

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (j=1,2 \cdots, n)$$

(4) 水土保持效益评价与分析

理想点法(陈珽,1987)是一种多属性综合决策模式,它根据理想点原理,寻求距理想点最近的方案作为最终的评价决策选优方案,可避免不同评价决策者因偏好不同而引起最终决策的差异。

目标体系包含 2 类目标,即目标值越大越好的目标和目标值越小越好的目标。理想点法提出相对最优值,只考虑把评价属性的价值函数 $V_i(x_{ij})$ 在可供选择的决策方案中的取值进行比较,以确定其相对最优值 V_k^* ,即得到近似理想点。这样,通过确定近似理想点,构建近似理想决策方案,记为 I^* 。

$$I^* = (V_1^*, V_2^*, \cdots, V_n^*)$$
$$\text{式中, } V_j^* = \begin{cases} \max_i V_i(x_{ij}) & \text{指标 } X_i \text{ 为越大越好} \\ \min_i V_i(x_{ij}) & \text{指标 } X_i \text{ 为越小越好} \end{cases} \quad (j=1,2,\cdots,n)$$

简单的说,理想点原理就是要寻找一个决策方案点 A_1 ,使得方案点到近似理想点的距离最小,即:

$$\min_i \left\{ \sum_{j=1}^n |V_j(x_{ij}) - V_j^*|^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

根据这一原理,可建立评价函数 U_i 来评价决策方案的优劣。

$$U_i = \min a_i \{ a_i = \left\{ \sum_{j=1}^n \omega_j |V_j(x_{ij}) - V_j^*|^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (i=1,2,\cdots,m)$$

式中, ω_j 为各指标权重; a_i 为相对近似度,表明决策方案 A_i 与理想方案 I^* 的近似程度。评价方案的贴近度 T_i 和相对近似度 a_i 为:

$$T_i = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m y'_{ij} V_j^*}{\sum_{j=1}^m V_j^{*2}} \quad (i=1,2,\cdots,m)$$
$$a_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (y'_{ij} - V_j^*)^2} \quad (i=1,2,\cdots,m)$$

式中, y'_{ij} 为第 i 个方案第 j 个指标的最终决策值; V_j^* 为理想点中不同指标的值。

选择排序的原则为: T_i 值小者表现为优,若 T_i 值相等,则 a_i 值小者为优。

2 结果与分析

2.1 群落基本特征

由表 1 可知,桉树林群落总高度均值约为 16.8 m,其后依次为柏木林、华山松林、银荆林,云南松林最低,约为 8.2 m;柏木林、桉树林、银荆林、华山松林、云南松林的群落分层盖度均值分别为 42.4%、

表 1 群落的结构特征和环境特征

Table 1 Community structure and environmental characteristics of different man-made communities

群落类型	坡度 (°)	高度 (m)	分层盖度 (%)	枯落物厚度 (cm)	腐殖层厚度 (cm)
柏木林	10 ~ 35	13.5±2.0 *	42.4±8.2	1.32±0.31	0.72±0.11
桉树林	5 ~ 20	16.8±4.6	40.4±7.9	1.52±0.35	1.49±0.42
银荆林	5 ~ 35	11.5±3.1	29.0±7.2	0.59±0.22	0.41±0.11
华山松林	5 ~ 30	12.9±3.8	44.3±9.0	1.72±0.51	1.21±0.31
云南松林	5 ~ 15	8.2±1.1	36.3±9.2	1.71±0.49	1.42±0.42

* 平均值±标准差。

40.4%、29.0%、44.3%、36.3%。柏木林、桉树林、银荆林、华山松林、云南松林的林下枯落物层厚度均值分别为 1.32、1.52、0.59、1.72 和 1.71 cm,仅有银荆林林下枯落物厚度<1 cm;林下腐殖层厚度均值为分别为柏木林(0.72 cm)、桉树林(1.49 cm)、银荆林(0.41 cm)、华山松林(1.21 cm)、云南松林(1.42 cm),桉树林最高,银荆林最低。

2.2 群落分层优势种重要值

表 2 为各人工林群落分层优势种及其重要值,由表 2 可知,银荆林乔木层和灌木层优势种均为银荆,其重要值在 5 种人工林群落中都为最高,达 96.35 和 52.64,草本层以鬼针草(*Bidens pilosa*)等为主;柏木林乔木层以柏木占优势,重要值为 89.69;桉树林乔木层优势物种为桉树,重要值为 74.27,灌木层较发达,小铁仔(*Myrsine africana*)和沙针(*Osyris wightiana*)的长势良好;华山松林乔木层优势种重要值为 84.93,灌木层、草本层均较发达;云南松林乔木层优势种重要值最低,为 65.65,灌木层发达,草本层低矮,以入侵种紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)为主;除银荆林外,各类型人工林林下灌木层和草本层的优势种均为小铁仔和紫茎泽兰。

2.3 物种多样性

由图 3 可见,各人工林群落分层物种丰富度存在显著性差异,丰富度指数均表现为草本层>灌木

层>乔木层。柏木林乔木层树种单一,但林下草本发育较好,草本层物种丰富度指数最高;桉树林常与柏木、华山松混交种植,其乔木层物种丰富度指数较大;银荆林群落最为单一,乔灌草各层的物种丰富度指数均较低;华山松林内常见有云南松、滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)和旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)等混交,乔木层物种丰富度指数最大;云南松的种植密度不大,灌木层有良好地生长空间,因此灌木层物种丰富度指数最大。

单因素方差分析结果显示,各人工林群落乔灌草各层次的多样性、优势度和均匀度存在显著性差异($P<0.05$)。除云南松林外,各人工林群落分层物种多样性与物种丰富度呈现基本一致的趋势,即草本层>灌木层>乔木层;而云南松群落分层物种多样性表现为灌木层>草本层>乔木层。从分层物种优势度指数来看,柏木林、银荆林和华山松林物种优势度表现为草本层>灌木层>乔木层;而桉树林、云南松林物种优势度则表现为灌木层>草本层>乔木层,这是因为桉树林和云南松林灌木层的物种数较多且单种优势不突出的缘故。Pielou 均匀度指数与物种优势度指数呈现基本一致的趋势,即多样性高的类型其均匀度也高(图 3)。

由表 3 可知,Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数大小依次为云南松林、华山松林、桉树林、柏木林和银荆林。云南松林垂直层次发育良好,物种数与个体数量变化一致,因此群落总体物种多样性和均匀度最高。银荆林群落最为单一,乔灌层单优,草本层多不发达,其群落总体物种多样性和均匀度最低。

2.4 水土保持效益

(1) 指标分级结果

影响滇池流域人工林群落水土保持的生态因子

表 2 不同群落类型分层优势种及其重要值

Table 2 Dominant species of each layers and their IV in different man-made communities

群落类型	乔木层		灌木层		草本层	
	优势种	重要值	优势种	重要值	优势种	重要值
柏木林	柏木	89.69	小铁仔	27.05	紫茎泽兰	40.61
桉树林	桉树	74.27	小铁仔	19.72	紫茎泽兰	39.79
银荆林	银荆	96.35	银荆	52.64	鬼针草	30.87
华山松林	华山松	84.93	小铁仔	27.45	紫茎泽兰	33.64
云南松林	云南松	65.65	小铁仔	19.18	紫茎泽兰	57.72

表 3 5 种人工林的群落总体物种多样性

Table 3 Overall species diversity of five man-made forest communities

群落类型	Shannon-Wiener 多样性指数	Simpson 优势度指数	Pielou 均匀度指数
柏木林	0.99	0.42	0.47
桉树林	1.04	0.46	0.57
银荆林	0.62	0.31	0.41
华山松林	1.18	0.51	0.62
云南松林	1.30	0.60	0.68

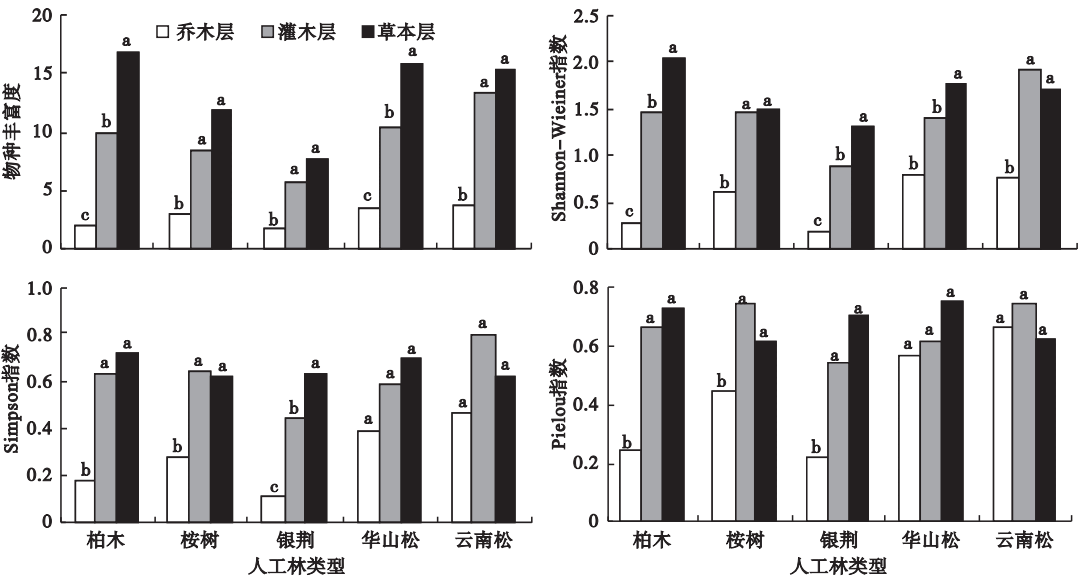


图 3 各群落类型分层物种多样性比较
Fig. 3 Species diversity of each layers in five man-made forests

数值为平均数,不同小写字母表示同种群落类型下乔灌木草各层次物种多样性的差异达显著水平 ($P<0.05$)。

较多,主要涉及植被因子、土壤因子和地形因子,表 4 为 5 个人工林类型的 8 个评价指标原始值,构成指标实际矩阵 $X=(x_{ij})_{8\times 5}$ 。

(2) 指标标准化结果

将评价系统看成是 5 种方案、8 个评价指标组成的矩阵,构成指标实际矩阵 $X=(x_{ij})_{8\times 5}$,通过统计、标准化方法计算后的指标评价值矩阵 $Y=(y_{ij})_{8\times 5}$ 见表 5。

(3) 指标权重确定结果

按照综合性原则、主导性原则、科学性原则和可操作性原则,选择了能够反映研究区水土保持效益的指标,构成 3 个层次结构的评价指标体系,指标的权重由熵值法获得,具体结果见表 6。

表 4 水土保持效益评价指标
Table 4 Evaluation index of soil and water conservation benefit

评价指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
	柏木林	桉树林	银荆林	华山松林	云南松林
X ₁ 分层平均盖度(%)	42.43	40.95	28.98	44.33	36.25
X ₂ 树冠率(%)	78.75	36.11	54.98	44.23	44.23
X ₃ 群落物种丰富度	28.61	22.62	13.62	28.91	31.43
X ₄ Pielou 均匀度	0.47	0.57	0.41	0.62	0.68
X ₅ 枯落物厚度(cm)	1.32	1.52	0.59	1.72	1.71
X ₆ 腐殖层厚度(cm)	0.72	1.49	0.41	1.21	1.42
X ₇ 土壤可蚀性	0.22	0.25	0.23	0.19	0.20
X ₈ 坡度(°)	17.41	12.32	16.79	14.84	10.00

(4) 水土保持效益综合评价结果

滇池流域人工林群落水土保持效益评价最终决策矩阵 $Y'=YW$,最终决策矩阵中的各指标值见表 7。

表 5 评价指标标准化矩阵
Table 5 Standardization matrix of evaluation index

评价指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
	柏木林	桉树林	银荆林	华山松林	云南松林
X ₁ 分层平均盖度	0.876	0.78	0	1	0.474
X ₂ 树冠率	1	0.000	0.443	0.19	0.19
X ₃ 群落物种丰富度	0.842	0.505	0	0.859	1
X ₄ Pielou 均匀度	0.222	0.593	0	0.778	1
X ₅ 枯落物厚度	0.646	0.823	0	1	0.991
X ₆ 腐殖层厚度	0.287	1	0	0.741	0.935
X ₇ 土壤可蚀性	0.5	0	0.333	1	0.833
X ₈ 坡度	0	0.687	0.084	0.347	1

表 6 评价指标权重
Table 6 Weighted values of evaluation index

准则层	指标层	权重
植被因子	分层平均盖度(X ₁)	0.472
	树冠率(X ₂)	0.132
	物种丰富度(X ₃)	0.084
	Jsi 均匀度(X ₄)	0.155
	Jsi 均匀度(X ₄)	0.101
枯落物因子	枯落物厚度(X ₅)	0.165
	腐殖层厚度(X ₆)	0.263
土壤因子	土壤可蚀性(X ₇)	0.118
	坡度(X ₈)	0.100

表 7 水土保持效益评价最终决策矩阵
Table 7 Final decision matrix of soil and water conservation benefit evaluation

评价指标	A ₁ 柏木林	A ₂ 桉树林	A ₃ 银荆林	A ₄ 华山松林	A ₅ 云南松林
X ₁ 分层平均盖度	0.116	0.103	0	0.132	0.062
X ₂ 树冠率	0.084	0	0.037	0.016	0.016
X ₃ 群落物种丰富度	0.131	0.078	0	0.133	0.155
X ₄ Pielou 均匀度	0.023	0.06	0	0.079	0.101
X ₅ 枯落物厚度	0.107	0.136	0	0.165	0.164
X ₆ 腐殖层厚度	0.034	0.118	0	0.087	0.110
X ₇ 土壤可蚀性	0.072	0	0.048	0.144	0.120
X ₈ 坡度	0	0.069	0.008	0.035	0.1

由于 8 项指标经过标准化后,所有指标均处于区间[0,1],且均为极大型指标,则理想点 I* 为:

$I^* = (0.132 \quad 0.084 \quad 0.155 \quad 0.101 \quad 0.165 \quad 0.118 \quad 0.144 \quad 0.100)$

进而计算出评价方案与理想点的贴近度 T_i 和相对近似度 a_i 分别为:

$T_i = (0.413 \quad 0.426 \quad 0.917 \quad 0.165 \quad 0.149)$
 $a_i = (0.181 \quad 0.195 \quad 0.336 \quad 0.104 \quad 0.100)$

因此,滇池流域 5 类人工林群落水土保持效益评价排序结果为:云南松林(A₅)>华山松林(A₄)>柏木林(A₁)>桉树林(A₂)>银荆林(A₃)。

3 讨 论

3.1 群落结构

5 种人工林乔木层优势种重要值分别为柏木(89.69)、桉树(74.27)、银荆(96.35)、华山松(84.93)、云南松(65.65),以银荆林最为单优。除银荆林外,灌木层和草本层的优势种分别为小铁仔和紫茎泽兰,小铁仔的广泛生长对应了滇池流域水源保护山区干旱向阳的生境,入侵植物紫茎泽兰的繁茂表明了人工林普遍存在林下透光率差、人为干扰严重等情况,这也是滇中植物群落的一个特点(王健敏等,2010)。

3.2 物种多样性

5 种人工林的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数大小都表现为基本一致的趋势,其中,云南松林群落中物种多样性最高,银荆林最低。本区域的其他相关研究中也得到了相似的结果,这是由于云南松是乡土树种,与其他物种共存能力较强(彭鉴,1984;王震洪等,2001;熊朝耀,2006)。从本次调查的结果来看,林下灌、草层植物的生长与乔木层盖度关系比较密切。

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,为林下灌、草层植物提供了多样的生长环境;相反,银荆林林分郁闭过早,更新较快,不利于林下灌、草层植物的生长。此外,与其他地区同类型的人工林研究相比较,本研究的人工林物种多样相对较低(刘爱忠等,2000;袁春明等,2002;王巧红等,2005),这可能与草本层中紫茎泽兰最为单优有关,紫茎泽兰入侵导致物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数显著下降(丁晖等,2007)。此外,人工林造林密度对其本身及林下灌草层生长有影响,但具体造林密度、造林前群落多样性差异程度,还有待进一步研究。

3.3 水土保持效益

长期以来,我国森林植被水土保持功能评价研究多以单一指标,以森林覆盖率和径流量的关系为主,很少对森林植被水土保持功能进行系统研究和评价(韦红波等,2002)。本研究通过植被、枯落物、土壤、地形 4 个因子构建了水土保持功能评价指标体系,在对所选取的 8 个指标进行标准化、确定权重的基础上,运用理想点综合评价方法对滇池流域 5 种人工林水土保持功能进行比较,得出云南松林具有较好的水土保持效益,这与王震洪等(2001)的研究结果一致。然而,彭明俊等(2005)研究表明,银荆纯林的水源涵养功能比其他针叶林、针阔混交林都要大;杨洪国等(1998)认为,柏木对水土保持具有极其重要的作用,造成本研究与其不一致的原因,可能是人工林种植时未考虑适地适树的原则、种植后缺乏后期管理、评价指标较单一等。随着森林群落水土保持机理研究的深入,水土保持评价体系应涵盖群落、土壤、地形、径流试验等综合数据,才能对植物群落的水土保持效益做出全面的评价。

3.4 建 议

水土保持功能是流域生态系统服务功能的重要方面(Wang et al.,2009)。地带性植被半湿润常绿阔叶林是滇池流域植被与环境相适应的顶极群落,其生物多样性涵养、水土保持功能、景观效应等都优于人工林,恢复常绿阔叶林植被是遏制水土流失的根本措施(韦红波等,2002;刘信中和王向峰,2003)。人工林属于人为经营的次生演替系列,演替速度、演替方向可因人为影响而改变,无干扰则可向顶极群落发展,继续破坏则可能发生逆行演替。人工林自然演替需要漫长过程才可能达到顶极群落

阶段,不符合滇池流域急需提高人工林水土保持效益的迫切需要,人为促进演替是必然之路。因此,在造林时应根据立地条件选择适应局地环境的人工林树种及配置方式,并对人工林的植株密度、盖度等进行适度干预,才能更好地发挥促进人工林生物多样性保育、水土流失控制、面源污负荷削减、抵御生物入侵等综合功能。

参考文献

陈代喜,莫泽莲. 2000. 人工林地力衰退研究进展. 广西林业科学, **29**(3): 115–118.

蔡年辉,李根前,朱存福,等. 2007. 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, **22**(2): 1–4.

陈吉宁,李广贺,王洪涛. 2004. 滇池流域面源污染控制技术. 中国水利, (9): 47–50.

陈 珽. 1987. 决策分析. 北京: 科学出版社.

丁 晖,徐海根,刘志磊. 2007. 外来入侵植物紫茎泽兰对植物多样性的影响. 生态与农村环境学报, **23**(2): 29–32.

姜汉桥,段昌群,杨树华,等. 2010. 植物生态学. 北京: 高等教育出版.

江忠善,刘 志,贾志伟. 1990. 地形因素与坡地水土流失关系的研究. 水土保持研究, (12): 1–8.

刘复华. 1998. 滇池地区生态环境与综合考察报告——滇池地区森林效益探讨. 昆明: 云南科技出版社.

刘爱忠,裴盛基,陈三阳. 2000. 云南楚雄彝族的“神树林”与生物多样性保护. 应用生态学报, **11**(4): 489–492.

刘信中,王向峰. 2003. 江西九连山自然保护区常绿阔叶林生态系统效益研究的思考. 江西林业科技, (1): 21–24.

鲁韦坤,杨树华. 2006. 滇池流域景观格局变化研究. 云南大学学报, **28**(增刊): 201–208.

马克平,黄建辉,于顺利,等. 1995. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. II. 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, **15**(3): 268–277.

彭 鉴. 1984. 昆明地区地盘松群落的研究. 云南大学学报, (1): 6–20.

彭明俊,郎南军,温绍龙. 2005. 金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究. 水土保持学报, **19**(6): 106–109.

王震洪,段昌群. 2003. 滇中几种人工林生态系统恢复效应研究. 应用生态学报, **14**(9): 1439–1445.

王震洪,段昌群,文传浩,等. 2001. 滇中三种人工林群落控制土壤侵蚀和改良土壤效应. 水土保持通报, **21**(2): 23–29.

王巧红,宫渊波,陈林武,等. 2005. 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. 生态学杂志, **24**(6): 599–602.

王健敏,刘 娟,陈晓鸣,等. 2010. 云南松天然林及人工林群落结构和物种多样性比较. 林业科学研究, **23**(4): 515–522.

韦红波,李 锐,杨勤科. 2002. 我国植被水土保持功能研究进展. 植物生态学报, **26**(4): 489–496.

吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等. 1992. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价. 土壤侵蚀与水土保持学报, **6**(1): 71–76.

肖海燕,陈志彪,欧世芬. 2005. 长汀水土流失区植物群落物种多样性变化及保护. 亚热带水土保持, **17**(1): 9–12.

熊朝耀. 2006. 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, **31**(3): 28–33.

杨树华,贺 彬. 1998. 滇池流域的景观格局与面源污染控制. 昆明: 云南科技出版社.

杨吉山,王兆印,余国安,等. 2009. 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. 生态学报, **29**(4): 1921–1930.

杨洪国,胡贵泉. 1998. 柏木水土保持林凋落量的研究. 四川林勘设计, (1): 22–26.

袁春明,郎南军,孟广涛,等. 2002. 长江上游华山松水土保持人工群落的结构特征与生物量. 东北林业大学学报, **30**(3): 5–7.

Adélia NN, António CA, Celeste OAC. 2011. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*, **31**: 687–699.

Archauxa F, Richard C, Alain B. 2010. Towards practices favourable to plant diversity in hybrid poplar plantations. *Forest Ecology and Management*, **295**: 2410–2417.

Bathurst JC. 2012. The forest as a soil and water manager. *Geophysical Research Abstracts*, **14**: 81–95.

Chirino E, Bonet A, Bellot J, et al. 2006. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. *Catena*, **65**: 19–29.

Eckehard G, Brockerhoff H, John A, et al. 2008. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity?. *Biodivers Conserv*, **17**: 925–951.

Gupta RD, Arora S, Gupta GD, et al. 2010. Soil physical variability in relation to soil erodibility under different land use in foothills of Siwaliks in N-W India. *Tropical Ecology*, **51**: 183–197.

Jeddi M, Chaieb K. 2010. Soil properties and plant community in different aged *Pinus halepensis* Mill. plantation in arid Mediterranean areas: The case of southern Tunisia. *Land Degradation & Development*, **21**: 32–39.

Magurran AE. 1988. Ecological Diversity and its Measurement. New Jersey: Princeton University Press.

Paul FH, James KA. 2003. An environmental narrative of Inland Northwest United States forests. *Forest Ecology and Management*, **178**: 23–59.

Richard JH, Salvatore A. 2006. Novel ecosystems: Theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, **1**: 1–7.

Ruanganpanit N. 1985. Percent crown cover related to water and soil losses in Mountainous forest in Thailand. *Soil Erosion and Conservation*, **1**: 462–471.

Wang CY, van der Meer P, Peng MC, et al. 2009. Ecosystem services assessment of two watersheds of Lancang River in Yunnan, China with a decision tree approach. *Ambio*, **38**: 47–54.

作者简介 胡长杏,女,1985年生,硕士,主要从事植被/景观生态学及RS/GIS应用研究. E-mail: hucxing@sina.cn

责任编辑 王 伟