

# 元阳梯田全福庄流域水源涵养林的植物多样性分析

和弦<sup>1</sup>, 宋维峰<sup>1</sup>, 彭永刚<sup>2</sup>, 王惠生<sup>2</sup>, 崔吉林<sup>3</sup>

(1. 西南林业大学, 昆明 650224; 2. 红河州水利局, 云南 红河 661100; 3. 云南省有色地质局勘测设计院, 昆明 650051)

**摘要:**元阳梯田已有 1 200 多年的历史, 水源涵养林的存在对于梯田的延续具有重要的价值。为得到元阳梯田水源涵养林的植物多样性分布特征, 对元阳梯田全福庄流域 4 种主要植被类型水源涵养林下的植物物种数量特征、物种丰富度、多样性、均匀度等多样性规律进行了标准样地调查。结果表明, 研究区共有植物 155 种, 隶属 66 科, 其中, 山茶科、禾本科、蓼科植物占有绝对优势, 不同植被类型森林群落的优势种不同; 物种丰富度大小为: 次生常绿阔叶林 > 杂木林 > 次生落叶阔叶林 > 人工水冬瓜林; 物种多样性特征表现为, 乔木层: 次生常绿阔叶林 > 次生落叶阔叶林 > 杂木林 > 人工水冬瓜林; 灌木层: 次生常绿阔叶林 > 杂木林 > 次生落叶阔叶林, 人工水冬瓜林无灌木层分布; 草本层: 次生落叶阔叶林 > 人工水冬瓜林 > 次生常绿阔叶林 > 杂木林。植被分布的物种丰富度和均匀度对物种多样性存在交叉影响。

**关键词:**水源涵养林; 植物多样性; 元阳梯田

中图分类号: S718.54<sup>+</sup>2; S727.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)05-0110-05

## Analysis on Plant Diversity of Water-holding Forest in Quanfu Village Basin of Yuanyang Terrace

HE Xian<sup>1</sup>, SONG Wei-feng<sup>1</sup>, PENG Yong-gang<sup>2</sup>, WANG Hui-sheng<sup>2</sup>, CUI Ji-lin<sup>3</sup>

(1. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Water Conservancy Bureau of the Red River State, Honghe, Yunnan 661100, China; 3. Yunnan Colored Geology Bureau Survey Design Institute, Kunming 650051, China)

**Abstract:** Yuanyang terrace with over 1 200 years of history, the existence of water-holding forest has an important value for development of Yuanyang terrace. In order to investigate the distribution of plant diversity in water-holding forest of Yuanyang terrace, this study adopted the method of standard statistical and on-site investigation. The study on the quantitative features, the species richness, diversity and evenness, etc. characteristics in 4 types of vegetation regions in Quanfu middle village basin were carried out. The results showed that there were 155 species of plants in this area, belonging to 66 families, and *Theaceae*, *Poaceae* and *Polygonaceae* were 3 dominant families. The different vegetation regions had different dominant species. The species richness index followed the order of secondary evergreen broad-leaved forest > weed tree forest > secondary deciduous broad-leaved forest > artificial Alder forest. Within tree layer, the diversity indices followed the order of secondary evergreen broad-leaved forest > secondary deciduous broad-leaved forest > weed tree forest > artificial Alder forest. Within shrub layer the diversity indices followed the order of secondary evergreen broad-leaved forest > weed tree forest > secondary deciduous broad-leaved forest, there was no shrub layer in artificial Alder forest. Within herb layer, the diversity indices followed the order of secondary deciduous broad-leaved forest > artificial Alder forest > secondary evergreen broad-leaved forest > weed tree forest. The species richness and evenness of vegetation distribution had across-impact on species diversity.

**Key words:** water-holding forest; plant diversity; Yuanyang terrace

生物多样性是指生物之间的多样化、变异性及生态复杂性, 它是包括地球上所有的动物、植物、微生物

物种所拥有的基因, 各种生物与环境相互形成的生态系统及它们的生态过程的多样性和复杂性的综合概

收稿日期: 2012-01-20

修回日期: 2012-03-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“哈尼梯田水源区森林涵养功能与梯田保水保土机理研究”(31070631)

作者简介: 和弦(1986—), 女(纳西族), 云南省丽江市人, 硕士研究生, 主要从事森林生态方面的研究。E-mail: hexianhhy@foxmail.com

通信作者: 宋维峰(1967—), 男, 甘肃省会宁县人, 博士, 教授, 主要从事生态环境工程和森林水文教学和研究工作。E-mail: songwf85@126.com

念<sup>[1]</sup>。而其中的森林植物多样性可促进生态系统功能优化,提高森林整体生态防护功能<sup>[2]</sup>。随着人类对森林的影响日益加大,生物多样性的研究和保护逐渐引起人们的重视<sup>[3]</sup>。森林植物对于人类社会不仅具有经济价值,也具有相当重要的生态学价值,包括涵养水源、保持土壤、调节气候等。其中,森林的水源涵养功能对于历史悠久的元阳梯田来说,具有十分重要的价值。元阳梯田及其具有民族特色的村寨、山顶的森林、山间的沟渠等,一起构成了“森林—村寨—梯田—河流”的垂直格局,这一机制持续了 1 200 多年,至今仍然在发挥效用。2010 年春季,云南大部分地区为旱情所困扰,但元阳梯田依旧丰产,充分展现了这一机制的生命力。元阳梯田常年波光鳞鳞,灌溉之水源源不断,得益于梯田上方丰富的森林资源,如果没有森林涵养水源,元阳梯田将不复存在。哈尼人也视森林为梯田的保护神<sup>[4]</sup>,十分重视森林资源的保护。但是由于人口的增加,长期的资源开发和利用导致了原始森林的减少,许多森林原本为热带、亚热带雨林,现在逐渐演替为次生林、农地或荒山荒坡<sup>[5]</sup>。基于野外实地调查的数据,应用计算机统计分析软件进行整理分析,得到元阳梯田全福庄流域主要植被类型森林群落物种组成的特征,比较分析不同植被类型森林群落乔、灌、草层的物种多样性,可以进一步探索元阳梯田区森林群落的物种多样性及其空间分布特征,从而为进一步研究森林的水源涵养作用,探索森林与梯田的水源供给关系提供理论依据。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

元阳梯田区属亚热带季风气候区,年平均气温

16.4℃,最高气温 32.4℃,最低气温 -2.6℃,年无霜期 363.5 d,多年平均降雨量 1 397.6 mm,降雨主要集中于雨季的 5—10 月,占全年降雨量的 78%,10 月至次年 2 月多为阴雾天气。全年日照时数为 1 770.2 h,相对湿度 85%。受地理环境和地形条件的影响,立体气候明显,1 200 m 以下为河谷区,常年无霜,雨量充沛,蒸发量大,气候炎热;1 200~1 700 m 之间为中低山区,气候较温和。根据哈尼梯田水利规划,元阳梯田核心区范围为大瓦遮河片区、麻栗寨河片、者那河片区、阿勐控河片区,涉及元阳县牛角寨乡、胜村乡、攀枝花乡和新街镇 4 个乡镇 28 个村 204 个自然村<sup>[5]</sup>。地理位置为 102°43′—102°47′E,23°06′—23°08′N,总面积约 280 km<sup>2</sup>,海拔 1 450~2 017 m,森林总覆盖率达 90%<sup>[5]</sup>。

全福庄流域位于元阳老县城新街镇以南 11 km 处,102°44′E,23°07′N,海拔 1 820 m 左右<sup>[6]</sup>,位于元阳梯田核心区内,下部具有较大规模梯田分布,且流域完整、闭合,森林资源分布广泛,群落类型多样,具有很好的代表性和研究价值。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 在元阳梯田水源区全福庄流域内选择了 4 个主要植被类型的森林群落,分别为次生落叶阔叶林、杂木林、人工水冬瓜林、次生常绿阔叶林。从空间结构意义上,选取植物群落中最基本的 3 个层次作为研究对象,即乔木层、灌木层和草本层,对其进行多样性分析,同时,这 3 个层次植物的生长型也是表征群落外貌特征和垂直结构的重要指标<sup>[7]</sup>。每个群落中分别设置 1 个 20 m×20 m 的样地。选择的样地能最大程度地代表森林群落的特征,植被和环境因子均一<sup>[8]</sup>,样地基本情况见表 1。

表 1 标准样地基本情况

样地号	植被类型	海拔/ m	坡向	坡度/ (°)	平均树 高/m	平均胸 径/cm	郁闭度	盖度/ %
I	次生落叶阔叶林	1970	东	18	15	20.74	0.65	90
III	人工水冬瓜林	1960	东北	18	20	5.73	0.45	100
II	杂木林	2030	西南	40	6	4.26	0.85	97
IV	次生常绿阔叶林	1940	西北	21	16	28	0.75	98

1.2.2 植被调查 2011 年 5 月上旬对研究区森林群落进行调查。在设置好的 20 m×20 m 的样地内,逐一清点记录植物种类,然后在每块样地中随机选取 2 m×2 m 样方,重复 5 次。记录项目主要包括:(1)群落特征因子:乔木的种类、数量、高度、胸径、冠幅、林分郁闭度等,灌木和草本层的种类、数量、高度、盖度等;(2)生境因子:坡位、坡向、海拔、地被物情况、人为干扰因素等(表 1)。

1.2.3 生物多样性测定 本研究对不同植被类型群落中的植被层进行重要值计算,确定群落的优势植物。重要值是用来表示物种在群落中地位和作用的综合数量指标<sup>[8]</sup>。重要值=(相对密度+相对频度)/2,其中,相对密度=(某一物种的个体数/所有物种的个体数之和)×100%,相对频度=(某一物种的频度/全部种的频度之和)×100%<sup>[8]</sup>。

本研究采用生态学上应用较为广泛的物种丰富

度(S)、物种均匀度和物种多样性 3 类指数来表示群落的植物物种多样性。

(1) 物种丰富度(S) = 在样地内出现的物种数<sup>[9]</sup>。

(2) 植物物种多样性用 Simpson 指数(SP)和 Shannon—Weiner 指数(H)表示。Simpson 指数(SP)是基于在一个无限大小的群落中,随机抽取两个个体,它们属于同一物种的概率是多少这样的假设而推导出来的<sup>[10]</sup>。Shannon—Weiner 指数(H)是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性,不确定性越高,多样性就越高<sup>[10]</sup>。计算公式如下<sup>[10]</sup>:

$$SP=1-\sum P_i^2, H=-\sum (P_i \ln P_i)$$

式中: $P_i$ ——抽样个体属于某一物种的概率,即  $P_i = n_i/N$ ;  $N$ ——群落全部个体总数; $n_i$ ——第  $i$  个种的个体数。

(3) 物种均匀度是指群落中各个物种的多度或重要值的均匀程度,它所表征的是群落观察多样性与群落种数及总个体数相同时的可能最大多样性之间的比率<sup>[11]</sup>,即群落中各物种的相对密度,用 Pielou 均匀度指数(J)表示, $J = H/H_{\max}$ ,其中, $H_{\max} = \ln S$ <sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 元阳梯田全福庄流域主要森林群落的物种组成

研究区选取的 4 块不同植被类型森林群落样地中,乔灌木层树木种类的调查结果表明,该流域植物约有 155 种,隶属 81 科。其中,树种居前 5 位的科分别为山茶科(*Theaceae*)、禾本科(*Poaceae*)、蓼科(*Polygonaceae*)、菊科(*Asteraceae*)及莎草科(*Cyperaceae*),各科植物株数占总植物株数的比例分别为 8.81%,8.65%,8.41%,6.43%,3.89%,由此可知,山茶科、禾本科、蓼科占优势。

根据样方调查资料(表 2),次生落叶阔叶林下共有植物 36 种,其中乔木植物 9 种,主要以板栗(*Castanea mollissima*)、蒙自连蕊茶(*Camellia forrestii* Diels Coh. St.)为主;灌木植物 9 种,主要以白背兔儿风(*Ainsliaea pertyoides* Franch. var. *Albotomentosa* Beauverd)、萝藦(*Metaplexis japonica* Thunb. Makino)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)为主;草本植物 18 种,主要以卷柏(*Herba Selaginellae*)、荇草(*Arthraxon hispidus* Thunb. Makino)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)为主。

人工水冬瓜林共有植物 29 种,其中乔木植物 7 种,以人工种植的水冬瓜(*Alnus cremastogyne* Burk.)为主,样方内共有 40 株水冬瓜,其他各类乔木

植物仅有 1~5 株;灌木植物缺乏,可能是人为砍伐铲除造成的;草本植物 22 种,以头花蓼(*Polygonum capitatum* Buch.—Ham. ex D. Don Prodr)为主。

表 2 元阳梯田全福庄流域主要森林群落的植物物种组成

样地号	植被类型	物种	乔木	灌木	草本
		总数	种数	种数	种数
I	次生落叶阔叶林	36	9	9	18
II	人工水冬瓜林	29	7	0	22
III	杂木林	43	14	20	9
IV	次生常绿阔叶林	47	18	15	14

杂木林共有植物 43 种,其中乔木植物 14 种,以总状折柄茶(*Hartia gracilis* Chang et Ye)、桫欏(*Eurya japonica* Thunb)为主;灌木植物 20 种,以野牡丹为主;草本植物 9 种,以荇草、玉竹(*Polygonatum odoratum* Mill. Druce)、莎草(*Cyperus rotundus* L.)为主,杂木林草本植物种类稀少,可能与其极高的林分郁闭度有关。郁闭度高,造成林下环境阴湿,大多数阳生植物不易存活。次生常绿阔叶林共有植物 47 种,其中乔木植物 18 种,以五桠果(*Dillenia indica* L.)、尖子木(*Oxyspora paniculata* (Don) DC)为主;灌木植物 15 种,以荚蒾(*Viburnum fordiae* Hance.)、油茶(*Camellia oleifera* Abel)为主;草本植物 14 种,以鳞毛蕨(*Dryopteris laeta* Komar. C. Chr.)、紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)、苋(*Amaranthus tricolor* L.)、沿阶草(*Ophiopogon japonicus*)为主。

研究区主要植被类型森林群落中乔木层植物有 7~18 种,灌木层植物 0~20 种,草本层植物有 9~22 种,说明草本层植物具有较高的物种丰富度。表 3 列出了不同植被类型森林群落中重要值排在前 5 位的植物,结合以上分析可以看到,不同植被类型森林群落各层次的植被组成存在较大差异,其中的优势种也不一样,仅有紫茎泽兰和野牡丹重复出现。不同植被类型森林群落中植物物种组成的差异可能与光照条件、林分郁闭度及人为干扰有关。

### 2.2 不同植被类型森林群落的生物多样性比较

2.2.1 物种丰富度比较 物种丰富度是度量物种多样性高低最基本的指标之一<sup>[12]</sup>。图 1 是元阳梯田全福庄流域主要森林群落物种丰富度(S)的比较,由图 1 可见,从整个群落状况来看,物种丰富度大小依次为次生常绿阔叶林>杂木林>次生落叶阔叶林>人工水冬瓜林。乔木层物种丰富度大小为:次生常绿阔叶林>杂木林>次生落叶阔叶林>人工水冬瓜林;灌木层物种丰富度大小为:杂木林>次生常绿阔叶林>次生落叶阔叶林;草本层物种丰富度大小为:人工水冬瓜林>次生落叶阔叶林>次生常绿阔叶林>杂木

林;次生常绿阔叶林及次生落叶阔叶林各植被层的物种丰富度主要受研究区亚热带季风气候的影响;人工水冬瓜林乔木层物种单一,没有灌木层的分布,组成结构简单,上层空间利用率较低,从而表现出较低的

林分郁闭度,加之人为干扰,为草本层植物的生长提供了良好的条件;杂木林灌木层植被物种丰富度最高,草本层植物物种丰富度最低,与其立地条件及较高的林分郁闭度有关。

表 3 元阳梯田全福庄流域不同样地主要植物种类的数量特征

类型	学名	拉丁名	相对密度	相对频度	重要值
次生落叶阔叶林	蒙自连蕊茶	<i>Camellia forrestii</i> Diels Coh. St.	21.05	28.57	24.81
	白背兔儿风	<i>Ainsliaea pertyoides</i> Franch. Var. albo-tomentosa Beauverd	21.28	23.81	22.54
	板栗	<i>Castanea mollissima</i>	21.05	21.43	21.24
	萝藦	<i>Metaplexis japonica</i> Thunb. Makino	17.02	19.05	18.03
	野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>	14.89	14.29	14.59
人工水冬瓜林	水冬瓜	<i>Alnus cremastogyne</i> Burk.	71.43	35.71	53.57
	头花蓼	<i>Polygonum capitatum</i> Buch. —Ham. ex D. Don Prodr	22.89	7.04	14.97
	南蛇藤	<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb	7.14	21.43	14.29
	莎草	<i>Cyperus rotundus</i> L.	7.90	7.04	7.47
	紫茎泽兰	<i>Ageratina adenophora</i>	7.36	7.04	7.20
杂木林	总状折柄茶	<i>Hartia gracilis</i> Chang et Ye	54.05	26.32	40.18
	菴草	<i>Arthraxon hispidus</i> Thunb. Makino	30.70	15.63	23.16
	野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>	26.5	12.2	19.35
	柃木	<i>Eurya japonica</i> Thunb	16.22	21.05	18.63
	玉竹	<i>Polygonatum odoratum</i> Mill. Druce	18.42	15.63	17.02
次生常绿阔叶林	鳞毛蕨	<i>Dryopteris laeta</i> Komar. C. Chr.	26.44	15.38	20.91
	紫茎泽兰	<i>Ageratina adenophora</i>	18.39	19.23	18.81
	五桠果	<i>Dillenia-indica</i> L.	21.31	14.29	17.80
	尖子木	<i>Oxydora paniculata</i> Don DC.	16.39	14.29	15.34
	元江短蕊茶	<i>Camellia yankiangensis</i> Chang	14.75	14.29	14.52

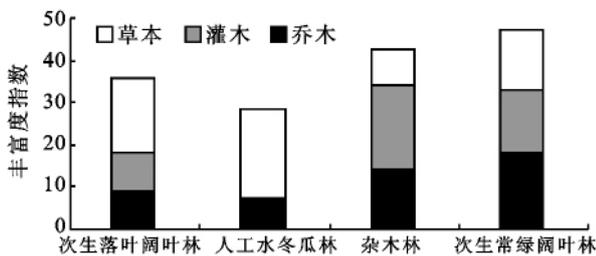


图 1 元阳梯田全福庄流域主要森林群落物种丰富度(S)的比较

2.2.2 乔木层植物的多样性指数比较 研究区主要植被类型森林群落中乔木层的 Simpson 指数(SP)为 0.47~0.88,从图 2 可以直观地看到,Simpson 指数(SP)按人工水冬瓜林<杂木林<次生落叶阔叶林<次生常绿阔叶林的顺序依次升高。

研究区主要植被类型森林群落中乔木层的 Shannon—Weiner 指数(H)为 0.47~1.06,从图 2 可以直观地看到,Shannon—Weiner 指数(H)按人工水冬瓜林<杂木林<次生落叶阔叶林<次生常绿阔叶林的顺序依次升高。

研究区主要植被类型森林群落中乔木层的 Pielou 均匀度指数(J)为 0.24~0.40,从图 2 可以直观地看到,Pielou 均匀度指数(J)按人工水冬瓜林<

杂木林<次生常绿阔叶林<次生落叶阔叶林的顺序依次升高。

乔木层的植被物种多样性从总体上看为:次生常绿阔叶林>次生落叶阔叶林>杂木林>人工水冬瓜林。人工水冬瓜林乔木层植被单一,必然造成较低的多性;杂木林物种丰富度大于次生落叶阔叶林,但其多样性却呈相反趋势,是因为其物种分布的均匀度远低于次生落叶阔叶林。

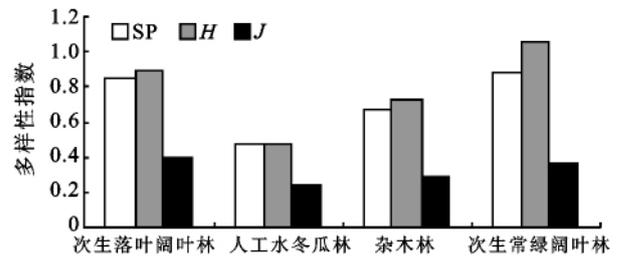


图 2 不同样地乔木层多样性指数的比较

2.2.3 灌木层植物的多样性指数比较 研究区主要植被类型森林群落中灌木层的 Simpson 指数(SP)为 0.00~0.92,从图 3 可以直观地看到,Simpson 指数(SP)按人工水冬瓜林<次生落叶阔叶林<杂木林<次生常绿阔叶林的顺序依次升高。

研究区主要植被类型森林群落中灌木层的 Shannon—Weiner 指数( $H$ )为 0.00~1.15,从图 3 可以直观地看到,Shannon—Weiner 指数( $H$ )按人工水冬瓜林<次生落叶阔叶林<杂木林<次生常绿阔叶林的顺序依次升高。

研究区主要植被类型森林群落中灌木层的 Pielou 均匀度指数( $J$ )为 0.00~0.42,从图 3 可以直观地看到,Pielou 均匀度指数( $J$ )按人工水冬瓜林<杂木林<次生落叶阔叶林<次生常绿阔叶林的顺序依次升高。

灌木层的植被物种多样性从总体上看为:次生常绿阔叶林>杂木林>次生落叶阔叶林。人工水冬瓜林中几乎没有灌木层的分布,水冬瓜作为人为栽培的经济型树种以优势种存在,灌木层可能被人工砍伐铲除。杂木林虽然灌木层植被丰富度最高,但其物种分布的均匀度最低,因此呈现较低的多样性。次生常绿阔叶林与次生落叶阔叶林灌木层植被的均匀度差异不大,因此在物种多样性上呈现与物种丰富度一致的结果。

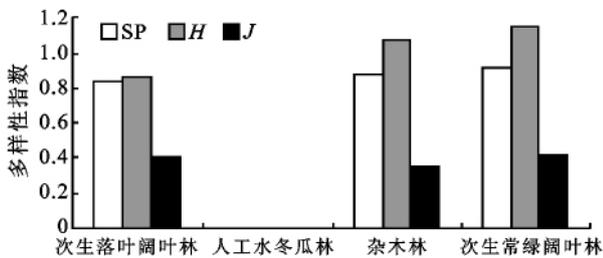


图 3 不同样地灌木层多样性指数的比较

2.2.4 草本层植物的多样性指数比较 研究区主要植被类型森林群落中草本层的 Simpson 指数( $SP$ )为 0.81~0.93,从图 4 可以直观地看到,Simpson 指数( $SP$ )按杂木林<次生常绿阔叶林<人工水冬瓜林<次生落叶阔叶林的顺序依次升高。

研究区主要植被类型森林群落中草本层的 Shannon—Weiner 指数( $H$ )为 0.80~1.19,从图 4 可以直观地看到,Shannon—Weiner 指数( $H$ )按杂木林<次生常绿阔叶林<人工水冬瓜林<次生落叶阔叶林的顺序依次升高。

研究区主要植被类型森林群落中草本层的 Pielou 均匀度指数( $J$ )为 0.35~0.41,从图 4 可以直观地看到,Pielou 均匀度指数( $J$ )按次生常绿阔叶林<杂木林<人工水冬瓜林<次生落叶阔叶林的顺序依次升高。

草本层植物物种多样性从总体上看为:次生落叶阔叶林>人工水冬瓜林>次生常绿阔叶林>杂木林。人工水冬瓜林草本层植物的物种丰富度虽然最高,但

多样性却低于次生落叶阔叶林,是由于其物种分布的均匀度较次生落叶阔叶林小。杂木林及次生常绿阔叶林的物种分布均匀度差别极小,物种多样性与物种丰富度在大小次序上存在一致性。

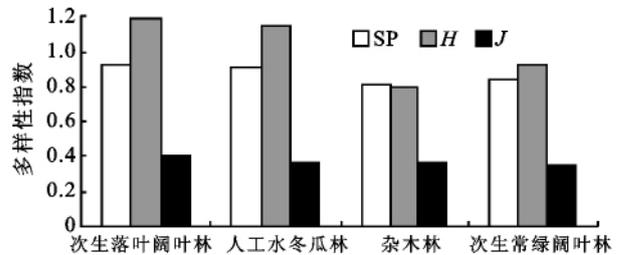


图 4 不同样地草本层多样性指数的比较

### 3 结论

(1) 研究区主要植被类型森林群落共有植物 155 种,隶属 81 科,其中,山茶科、禾本科、蓼科植物占优势。不同植被类型森林群落优势种不一样,物种组成差异较大。

(2) 物种丰富度以次生常绿阔叶林最高,人工水冬瓜林最低;乔灌木层物种多样性表现基本一致,杂木林中灌木层植物物种丰富度表现为最高,这主要与研究区生态环境状况及样地的立地条件有关;草本层物种丰富度为:人工水冬瓜林>次生落叶阔叶林<次生常绿阔叶林<杂木林,这主要与林分郁闭度有关,郁闭度越高,草本层植物的物种丰富度越低。

(3) 研究区主要植被类型森林群落的物种多样性特征为乔木层:次生常绿阔叶林>次生落叶阔叶林>杂木林>人工水冬瓜林;灌木层:次生常绿阔叶林>杂木林>次生落叶阔叶林,人工水冬瓜林没有灌木层的分布;草本层:次生落叶阔叶林>人工水冬瓜林>次生落叶阔叶林>杂木林。

(4) 研究区主要植被类型森林群落的物种多样性各植被层表现不一致,其值与各植被层物种丰富度及植被分布的均匀度有关,后两者对于前者存在交叉影响。

(5) 研究区主要植被类型森林群落总体上植被类型丰富,这种较为丰富的群落植被组成,十分有利于森林群落多种效益的发挥,特别是涵养水源的功能。

参考文献:

- [1] 刘世荣,蒋有绪.中国暖温带森林生物多样性研究[M].北京:中国科学技术出版社,1998.
- [2] 赵军,陈建伟,吕刚.老秃顶子自然保护区森林植被类型的植物多样性[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(5):849-852.

(下转第 119 页)

理和方法,对延河流域土壤侵蚀经济损失进行了估算,主要结论如下:(1)延河流域土壤侵蚀严重,并造成了巨大的经济损失,年土壤侵蚀经济损失高达38.52亿元。其中,各单项经济损失中最主要的是土壤养分损失,占到总经济损失的94.73%。(2)流域内土壤侵蚀模数和单位土壤侵蚀经济损失的空间分布规律基本一致,均表现出从西北向东南,从上游到下游逐渐降低的趋势。(3)土壤侵蚀经济损失程度与生态系统服务功能完善程度和植被覆盖状况息息相关,具体表现为生态系统服务功能越完善,植被覆盖情况越好,土壤侵蚀经济损失越轻。(4)延河流域土壤侵蚀经济损失占GDP比例远高于陕西省和全国平均水平,说明该流域生态环境质量明显低于全省和全国平均水平,土壤侵蚀损失对该流域经济可持续发展的影响较大。

另外,由于土壤侵蚀所造成的环境影响十分复杂,许多损失由于数据难以获取或缺少量化方法而暂时无法用经济价值体现出来,因此本研究仅估算了延河流域土壤侵蚀产生的主要经济损失,未考虑其他场内损失(如土壤侵蚀造成景观的破坏所引起美学价值的减少、土壤生物多样性减少或丧失的损失)和场外损失(如土壤侵蚀造成水质污染,继而对人体健康、渔业、旅游业等产生的危害)。

#### 参考文献:

- [1] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
- [2] Lfsen K H. The cost of soil erosion in Nicaragua[J]. Ecological Economics, 1996, 16(2): 129-145.
- [3] Colaciuo D, Osborn T, Alt K. Economic damage from soil erosion[J]. Journal of Soil and Water Conversation, 1989, 44(1): 35-39.
- [4] David P, Harvey C, Resosudarmo P, et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits[J]. Science, 1995, 267(5201): 1117-1123.
- [5] Paterson R, Luger M, Burby R, et al. Costs and benefits of urban erosion and sediment control—the North Carolina experience [J]. Environmental Management, 1993, 17(2): 167-178.
- [6] 许月卿, 蔡运龙. 土壤侵蚀经济损失分析及价值估算: 以贵州省猫跳河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4): 470-474.
- [7] 贾忠华, 赵恩辉. 南水北调中线陕西水源区土壤侵蚀损失估算[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 673-676.
- [8] 王星, 李占斌, 李鹏, 等. 陕西省丹汉江流域土壤侵蚀经济损失分析[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1): 36-43.
- [9] 韩仕峰, 李玉山, 石玉洁, 等. 黄土高原土壤水分资源特征[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 647-654.
- [10] 赵善伦, 尹民, 孙希华. 山东省水土流失经济损失与生态价值损失评估[J]. 经济地理, 2002, 22(5): 160-169.
- [11] 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 141-142.
- [12] 王飞, 穆兴民, 焦菊英, 等. 基于含沙量分段的人类活动对延河水沙变化的影响分析[J]. 泥沙研究, 2007(4): 8-13.
- [13] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [14] 鲁绍伟, 靳芳. 中国森林生态系统保护土壤的价值评价[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 16-21.
- [15] 杨志新, 郑大玮, 李永贵. 北京市土壤侵蚀经济损失分析及价值估算[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 175-178.
- [16] 马国霞, 石敏俊, 李玫. 中国水土流失经济损失的货币化评价[J]. 中国人口·资源环境, 2009, 19(1): 162-168.
- [3] 梁芳, 郭晋平. 林下植物多样性影响因素研究进展[J]. 山西林业科技, 2008(2): 33-35.
- [4] 陈文文. 森林: 哈尼梯田的水塔[J]. 人与自然, 2010(10): 7.
- [5] 红河州林业调查规划队. 云南省元阳县森林资源二类调查报告[R]. 元阳县林业局, 2011.
- [6] 罗德胤, 孙娜, 霍晓卫. 一个哈尼族村寨的建成史: 以云南省元阳县全福庄中寨的形成和发展为例[J]. 住区, 2011, 43(3): 70-77.
- [7] 马克平, 钱迎倩, 王晨. 生物多样性研究的现状与发展趋势[J]. 科技导报, 1995(1): 27-30.
- [8] 师楠, 郎南军, 李晋, 等. 金沙江头塘小流域5种类型人工林林下植物多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6): 3429-3435.
- [9] 林清山, 洪伟. 中国森林碳储量研究综述[J]. 中国农学通报, 2009, 25(6): 220-224.
- [10] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [11] Bazzaz F A. Plants in Changing Environment: Linking Physiological, Population, and Community Ecology [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [12] 太立坤, 余雪标, 杨曾奖, 等. 三种类型森林林下植物多样性及生物量比较[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 229-234.

(上接第114页)