

晋西黄土丘陵沟壑区人工林下草本植物生物多样性研究

高艳鹏^{1,2}, 赵廷宁¹, 骆汉¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 山东省兖州市林业局, 山东 兖州 272100)

摘要: 对黄土丘陵沟壑区不同密度的刺槐林、榆树林、油松林、侧柏林、油松刺槐混交林等林下草本层物种组成及多样性进行了研究, 目的是为人工林生态功能恢复评价和植被建设提供理论依据。研究结果表明, 该区林下草本植物共有 36 种, 多以阳性植物为主; 由于林分树种组成和密度不同, 林下草本物种差异较大; 林下植被演替大多处于植被演替初级阶段, 针阔混交林在物种数量和建种群落上表现最好, 其次是油松纯林和刺槐纯林, 榆树纯林生境条件最差; 无论是丰富度指数还是多样性和均匀度指数, 针阔混交林表现最好, 其次为刺槐、油松纯林, 表现最差的为榆树、侧柏纯林。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 人工林; 草本植物; 多样性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0103-06

中图分类号: S725.7

Biodiversity of Herbaceous Species Under Artificial Forests in Hill and Gully Region of Western Shanxi Province

GAO Yan-peng^{1,2}, ZHAO Ting-ning¹, LUO Han¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, and Key Lab. of Soil & Water Conservation and Combating Desertification of the Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Yanzhou Forestry Bureau of Shandong, Yanzhou, Shandong 272100, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for evaluations on ecological function rehabilitation and vegetation development, the herbaceous structure and diversity of the artificial forests were analyzed in the hill and gully region of the Western Shanxi Province. In this study, vegetation of various densities, including *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis*, *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* mixed forests, were investigated. Thirty-six herbaceous species, of which most were masculine plants, were identified in the drainage basin. The herbage species differed significantly under various forest plantations. The majority of plant successions under the forest plantations were still in their infant stages. In terms of total number of species and dominant species, the conifer-broadleaf forest exhibited the best biodiversity, followed by *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia*, whereas *Ulmus pumila* provided the worst condition for bio-diversification. In addition, conifer-broadleaf forest performed best in regard to species diversity and evenness index, in sequence followed by *Robinia pseudoacacia*, *Pinus tabulaeformis*, *Ulmus pumila*, and *Platycladus orientalis*.

Keywords: hill and gully region; artificial forest; herbage; biodiversity

林下植被是森林生态系统的一个重要组成部分, 在森林生态系统的物质循环^[1-3], 维持森林的生物多样性^[4-5]以及森林的演替、发展等方面具有十分重要的生理生态作用^[6-8]。此外, 林下植被的生长发育还能提高森林, 尤其是人工林的水土保持功能^[9], 并起到对立地条件的指示作用^[10]。人工林的建设不仅直接改变了林下草本层植物的物种组成和生物量, 也通

过环境变化影响了生物多样性的变化^[11-12]。人工林林下生物量的增加, 生物多样性的恢复已经成为人工林经营管理广为接受的目标之一^[13]。揭示人工林下物种组成与群落结构, 不仅是评估人工林生态功能的一个重要途径, 也是判断人工林生态功能恢复效果的一个必要手段, 可以为人工林合理管理与林分结构优化调控, 完善人工林恢复重建提供依据^[14]。

收稿日期: 2010-07-20

修回日期: 2010-08-20

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划“黄土高原丘陵沟壑半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术试验示范”(2006BAD03A1201)

作者简介: 高艳鹏(1973—), 男(汉族), 山东省兖州市人, 博士研究生, 主要研究方向为工程绿化。E-mail: gaoyanpeng88@163.com。

通信作者: 赵廷宁(1962—), 男(汉族), 河北省阳原县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为工程绿化、生态恢复方面的研究。E-mail: zhtning@bjfu.edu.cn。

黄土丘陵区由于特殊的地理环境,降雨量少,气候干旱,植被稀疏,再加上长期以来人们过度放牧,乱砍乱伐,毁林开垦等不合理的开发利用,水土流失严重,生态系统恶化,造成当地经济发展滞后。从 20 世纪 80 年代开始,为了改善当地的生态环境,各级政府大力推行了退耕还林措施,实施了一系列的恢复工程,其中人工植被恢复起到了不可替代的作用,在水土保持中发挥着重要的功能。但是,由于人工林树种组成较为单一,过度密植,造成目前普遍存在林地生产力和土壤肥力下降的现象。特别是林下植被生长不良,物种多样性低,严重威胁生态系统的安全。

通过正确的抚育管理措施,促进林下植被的发育,对整个林生态系统稳定性和多样性发展都有重要意义。以往的大多数研究都集中在人工林的林分生产力、土壤肥力、土壤水分特性上^[15-16],但是对林下植物多样性的研究较少^[14]。

本文以黄土丘陵沟壑区退耕还林中不同人工林林分的林下植被为研究对象,研究林下草本物种组成及其多样性之间的差异,以期通过对生物多样性的分析,了解该地区群落的组成、结构和变化,为人工林生态功能恢复评价和植被建设提供理论依据。

1 研究区概况

试验区地处山西省西部方山县峪口镇花果山,属于典型的黄土丘陵沟壑侵蚀地貌,最高海拔 1 485 m,最低海拔 1 170 m,相对高差达 315 m,平均海拔

1 300 m 左右。该区气候多样,光照充足,属暖温带半干旱气候区,年均气温 8.7 °C,1 月均温 -8.2 °C,7 月均温 22 °C,年均降水量 440~650 mm,霜冻期为 9 月下旬至翌年 5 月上旬,无霜期为 90~150 d。造林地的土壤为黄绵土,由黄土母质直接发育形成,层次过渡不明显;土层深厚,质地均匀,为中壤土,pH 值为 8.0~8.4。乔木树种主要有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、白榆(*Ulmus pumila*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、侧柏(*Platycladus orientalis*);灌木主要有黄刺玫(*Rosa xanthina*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*)、大果榆(*Ulmus macrocarpa*)、矮卫矛(*Euonymus nanus*)等;流域内多年生草本和 1,2 年生草本相对较为丰富,多年生草本有赖草(*Leymus secalinus*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、苔草(*Carex trisetachya*)、铁丝草(*Adiantum capillus-veneris*)等,1,2 年生草本植物有茜草(*Rubia cordifolia*)、败酱草(*Patrinia heterophylla*)、野豌豆(*Vicia amoena*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在试验示范区内选取不同密度的刺槐林、榆树林、油松林、侧柏林、油松刺槐混交林共 18 个样地,造林时间为 20 世纪 80 年代中期。样地的选择标准要具有代表性和典型意义,不同类型样地之间差异明显。样地设置基本情况见表 1。

表 1 调查样地基本特征

样地编号	树种	密度/ (株·hm ⁻²)	郁闭度	经度	纬度	海拔/ m	坡向	坡度/ (°)	坡位
1	刺槐	475	0.60	110°14'09"E	37°43'31"N	1 258	NW14	3	中
2	刺槐	925	0.81	110°13'55"E	37°43'28"N	1 183	SW29	17	上
3	刺槐	1 450	0.71	110°14'60"E	37°43'26"N	1 216	SW51	35	上
4	刺槐	1 600	0.72	110°14'06"E	37°43'26"N	1 264	SW23	34.5	上
5	刺槐	1 800	0.72	110°14'33"E	37°43'30"N	1 291	SW51	21	上
6	刺槐	2 000	0.82	110°13'52"E	37°43'31"N	1 187	SW39	18	中
7	榆树	925	0.70	110°14'08"E	37°43'25"N	1 220	SW34	3.5	中
8	榆树	1 150	0.71	110°14'01"E	37°43'27"N	1 231	SW60	11	中
9	榆树	1 850	0.74	110°14'03"E	37°43'26"N	1 226	SW45	9	中
10	油松	1 600	0.75	110°14'46"E	37°43'28"N	1 313	NE19	7	上
11	油松	1 850	0.73	110°15'14"E	37°43'19"N	1 445	NW6	3.5	上
12	油松	2 025	0.73	110°14'53"E	37°43'25"N	1 357	SW75	4	上
13	侧柏	1 300	0.60	110°13'45"E	37°43'37"N	1 196	SW43	14	中
14	侧柏	1 600	0.60	110°13'56"E	37°43'29"N	1 213	SW27	20	中
15	侧柏	1 850	0.60	110°13'55"E	37°43'30"N	1 211	SW63	14	中
16	油松、刺槐	550	0.60	110°14'32"E	37°43'31"N	1 270	NE31	3	上
17	油松、刺槐	875	0.68	110°14'38"E	37°43'30"N	1 299	SW54	7.5	上
18	油松、刺槐	1 825	0.75	110°14'14"E	37°43'29"N	1 263	NW79	3	上

2.2 植被调查

在 2008 年 8 月对每个样地分乔、灌、草 3 层进行调查。乔木样方面积为 20 m×20 m,对样地内乔木进行每木检尺,测定其胸径、树高、冠幅、株数、郁闭度;然后于标准地内分别调查 5 个 2 m×2 m 的灌木样方和 10 个 1 m×1 m 草本样方,同乔木样地方法一样进行调查记录。灌木样方主要调查灌木树种、株数、树高、冠幅、地径、盖度;草本样方调查记录每一小样方内所有出现草本的种类、株数、盖度、高度、多度、优势度、分布状况等。

2.3 多样性分析

(1) 重要值=(相对密度+相对高度+相对频度+相对盖度)×100 (1)

(2) 物种丰富度(S)=在样地内出现的物种数 (2)

(3) 群落丰富度指数(Margalef 指数)

$$Q=(S-1)/\ln N \quad (3)$$

(4) Simpson 多样性指数(D_s)

$$D_s=1-\sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

(5) Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H'=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (5)$$

(6) 物种均匀度指数

$$I=H'/\ln S \quad (6)$$

式中:S——群落内的物种数;N——群落内各物种的个体总数量; P_i —— i 物种的个体数量与群落内各物种个体总数的比例。

3 结果与分析

3.1 林下草本植物物种组成

组成群落的主要树种不同,会造成林下植被的差异;即使是树种相同,但密度或郁闭度不同,林下植被的种类或数量也会有较大变化。林下植被优势种的差异在一定程度上反映着群落结构多样性特征,反映了该人工群落林下植被的恢复和发育状况。采用重要值作为种群优势度指标可以比较全面地反映植被不同的发育时期种群在群落中的功能地位和种群在群落中的分布格局。对不同的人工林群落林下草本物种调查情况见表 2。

流域内林下草本植物较为丰富,共有植物种 36 个。林分不同,林下草本物种差异较大。标准地 1 草本层共有 7 个物种,以长芒草为优势种(51.53%,重要值百分率,下同),其次为铁丝草、赖草、灰菜(*Che-nopodium album*)等;标准地 2 草本层含 8 个物种,以赖草(21.59%)和铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*, 19.59%)为优势种,其次为铁丝草、猪毛蒿(*Artemis-*

ia scoparia)、羊草(*Leymus chinensis*)等;标准地 3 草本层由 7 个物种组成,以赖草(25.18%)和狗娃花(*Heteropappus hispidus*, 21.59%)为优势种,其次为猪毛蒿、铁丝草、铁杆蒿;标准地 4 草本层共有 8 个物种,以赖草(24.28%)和抱茎苦麦菜(*Ixeris sonchi-folia*, 23.27%)为优势种,其次为狗娃花、铁杆蒿等;标准地 5 草本层有 7 个物种,以赖草(39.21%)为优势种,其它有苔草、铁杆蒿、狗娃花等组成;标准地 6 草本层由 12 个物种组成,铁丝草(19.28%)、角蒿(*Inacruillea sinensis*, 17.11%)、赖草(14.56%)占据优势,其它有蒙古蒿(*Artemisia mongolica*)、铁杆蒿、狗娃花等;标准地 7 草本层由 7 个物种组成,赖草(27.06%)和猪毛蒿(23.99%)为优势种,其次有铁丝草、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、苔草等物种;标准地 8 草本层由 5 个物种组成,优势种为猪毛蒿(63.97%),其它物种包括猫眼草(*Euphorbia lunulata*)、铁扫帚(*Lespedeza cuneata*)、抱茎苦麦菜、蒙古蒿;标准地 9 草本层由 6 个物种组成,以猪毛蒿(48.03%)和猪毛菜(*Salsola collina*, 21.42%)为优势种,其次为铁丝草、苔草、抱茎苦麦菜、茜草;标准地 10 草本层由 9 个物种组成,以羊胡子苔草(*Carex callitrichos*, 25.59%)和铁杆蒿(24.13%)为优势种,其次为狗娃花、黄花萎菱菜(*Potentilla kleiniana*)、赖草等;标准地 11 草本层由 7 个物种组成,以铁杆蒿(33.86%)为优势种,其次为小红菊(*Dendranthema chanelii*)、赖草、狗娃花等;标准地 12 草本层由 8 个物种组成,铁杆蒿(61.89%)为优势种,其它有赖草、狗娃花等物种;标准地 13 由 9 个物种组成,优势种为赖草(23.89%)和中华绳子草(*Cleistogenes chinensis*, 20.16%),其次为铁杆蒿、猫眼草、太阳花(*Portulaca grandiflora*)等物种;标准地 14 由 6 个物种组成,以铁丝草(32.07%)和赖草(27.24%)为优势种,其次为草木犀(*Melilotus suaveolens*)、铁杆蒿等;标准地 15 只有猪毛蒿(52.81%)和猪毛菜(47.19%)2 个物种;标准地 16 由 8 个物种组成,优势种为铁杆蒿(50.38%),其次为败酱草、狗娃花、赖草等;标准地 17 由 8 个物种组成,以铁杆蒿(41.49%)为优势种,其它有铁丝草、赖草、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)等物种;标准地 18 由 12 个物种组成,优势种为赖草(27.4%),其次为铁杆蒿(17.31%)和苔草(16.56%)。

从以上分析来看,优势种主要为禾本科、菊科植物,包括铁杆蒿、杆蒿、狗娃花、猪毛蒿、铁丝草等,分布广泛,其出现频率和重要值相对较高,在群落发展中起到了绝对的作用。其次为耐荫的林下伴生种,包括茜草、蒙古蕊巴(*Cymbaria mongolica*)、猫眼草、抱

茎苦苣菜、鹅绒藤、小红菊、凤毛菊 (*Saussurea gossypiphora*)、太阳花、紫花地丁 (*Viola philippica*)、苦苣菜 (*Sonchus oleraceus*)、羊草、刺儿菜等, 出现频率及重要值都相对建群种较低, 但是它们在群落演替中有不可取代的作用, 由于其种类较多, 对于当地生态多样性的发展有着重要的意义。

3.2 林下草本植物聚类分析

采用层次聚类分析方法对林下草本植物的重要值进行聚类分析。在层次聚类分析中, 测量样本之间的亲疏程度是关键, 样本若有 k 个变量, 则可以将样本看成是一个 k 维的空间的一个点, 样本与样本之间的距离就是 k 维空间点和点之间的距离, 这反映了样本之间的亲疏程度。测定亲疏程度的方法有多种, 在本文中采用欧氏距离平方 (squared euclidean distance) 系数来计算, 欧氏距离平方计算公式为:

$$SEUCLID = \sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2 \quad (7)$$

式中: k ——每个样本的变量数; x_i ——第 1 个样本在第 i 个变量上的取值; y_i ——第 2 个样本在第 i 个变量上的取值。

首先对表 2 中重要值原始数据进行标准化处理, 然后采用欧氏距离平方系数来计算, 进行聚类, 其计算过程应用 Spss 16.0 数据处理系统完成。对 18 个标准地进行聚类得到聚类树状图 (图 1), 根据树状图对不同群落的林下草本植物群系进行划分。在具体划分时要结合具体调查的实际情况, 以及植被的组成、结构和群落动态特征、生态外貌、立地条件和环境条件加以综合考虑。以群落建群种为基础, 得到 4 个群系, 分别为:

I = (8, 9, 15)——猪毛蒿群系

II = (1)——长芒草群系

III = (2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14, 18)——赖草群系

IV = (10, 11, 12, 16, 17)——铁杆蒿群系。

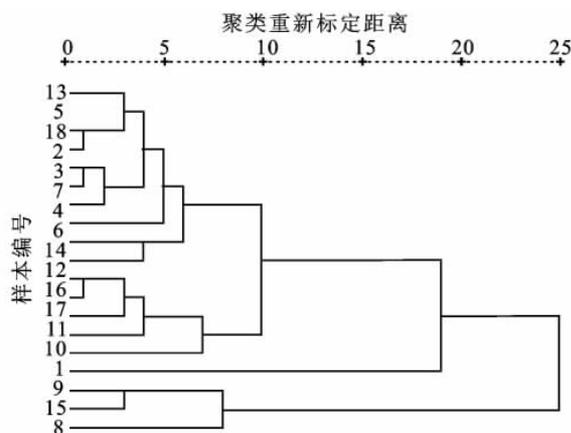


图 1 植物群落聚类树状图

3.3 物种多样性

物种多样性是指群落中的物种数目、个体数及个体分配均匀度的综合, 是度量一个群落结构和功能复杂性的指标, 研究物种多样性能够更好地认识群落的组成、变化和发展。物种多样性不仅反映了群落组成中物种的丰富程度、变化程度和均匀度, 而且反映了不同的自然环境与群落的相互关系, 以及群落的稳定性和动态, 是群落组织结构的重要特征^[17]。林下植被对于促进整个系统的物种多样性, 特别是人工林系统的多样性显得十分重要, 同样对物种多样性的研究可以更好地认识群落特征。

不同群落林下草本层多样性指数见表 3。上层林木的密度状况直接影响林下植物的生存条件, 因而林分密度不同, 林下草本层的多样性指数也有差异。在密度不同的刺槐纯林中, 丰富度指数变化较为复杂, 先随着林分密度的增大而增大, 标准地 4 (密度为 1 600 株/hm²) 达到顶峰, 丰富度指数为 1.667, 随后降低到最小值 1.289 (标准地 5); 但是丰富度指数在标准地 6 (密度为 2 000 株/hm²) 中达到最大, 为 2.346, 几乎是标准地 5 的 2 倍, 可能是由于密度大, 郁闭度也较大, 一些耐阴植物逐渐入侵群落, 丰富了物种多样性; Simpson 指数和 Shannon—Wiener 指数基本上是随着林分密度的增大逐渐增大, 均匀度指数也是如此。在榆树纯林中, 丰富度指数和多样性指数变化不是太明显, 但还是表现出一定的规律, 就是随林分密度的增大而减小, 均匀度指数随林分密度的增大而增大; 可见在榆树群落中, 密度越大, 生境条件越差, 不利于植物生存, 因而林下草本植物较少。油松纯林的物种丰富度指数随林分密度的增大而逐渐减少, Simpson 指数、Shannon—Wiener 指数、均匀度指数随密度的增大先增大后减小, 标准地 12 明显低于标准地 10 和 11, 主要是因为标准地 12 中, 铁杆蒿个体株数占到总个体株数的 90% 以上, 成为绝对优势树种, 导致多样性和均匀度指数过低。在侧柏纯林中, 丰富度指数、Simpson 指数、Shannon—Wiener 指数随林分密度的增大而减小, 标准地 13 的丰富度是标准地 15 的 2.3 倍, 差异显著, 均匀度指数随密度的增大而增大, 标准地 15 的均匀度指数达到 1; 在标准地 15 中只有 2 种植物, 而且盖度也很低, 因此多样性表现较差, 说明生境条件较差, 不利于植物的入侵。在油松、刺槐混交林中, 无论是丰富度指数还是多样性指数, 随密度的增大而逐渐增大, 标准地 18 的丰富度指数和 Shannon—Wiener 指数明显高于其它标准地, 分别达到 2.309 与 1.46。可见, 林分密度的大小对林下草本植物多样性的影响不能一概而论, 适宜的

造林密度更有利于林分本身的生长,同时为林下植物提供了良好的光照、水分、温度、湿度等环境条件,多样性增加,巩固了群落稳定性。从表 3 可以看出,在所有标准地中,丰富度变化趋势较为复杂,但总体来说,油

松、刺槐混交林的丰富度指数最高,其次为油松纯林和刺槐纯林,榆树和侧柏纯林最小;不管是丰富度指数还是多样性和均匀度指数,针阔混交林表现最好,其次为刺槐、油松纯林,表现最差的为榆树、侧柏纯林。

表 2 不同人工林林下物种重要值

标准地	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
长芒草	51.53	—	—	—	—	5.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.88	—	4.51
铁扫帚	3.44	4.70	—	—	—	—	—	10.44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.54
铁丝草	11.30	13.40	14.88	—	9.67	19.28	14.57	—	9.51	—	—	—	—	32.07	—	4.58	23.29	—
赖草	11.17	21.59	25.18	24.48	39.21	14.56	27.06	—	—	6.03	11.66	9.30	23.89	27.24	—	8.20	11.42	27.40
灰菜	9.48	—	—	9.83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
蒙古蒿	5.42	—	—	5.71	—	13.18	—	8.54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.94
铁线莲	7.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
铁杆蒿	—	19.59	11.41	10.72	12.82	6.31	4.76	—	—	24.13	33.86	61.89	16.14	11.12	—	50.38	41.49	17.31
猪毛蒿	—	14.32	17.16	—	—	2.28	23.99	63.97	48.03	—	—	—	—	—	52.81	—	—	—
狗娃花	—	8.54	21.59	15.52	11.17	6.12	6.45	—	—	9.52	10.77	8.01	5.36	—	—	8.42	3.31	5.30
太阳花	—	5.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.18	—	—	—	—	—
羊草	—	12.65	—	—	—	3.33	—	—	—	—	—	—	—	8.08	—	—	—	—
鹅绒藤	—	—	4.44	3.70	—	4.59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.56	—
苔草	—	—	5.36	—	16.16	—	11.43	—	9.47	—	—	—	5.58	—	—	—	—	16.56
野豌豆	—	—	—	6.81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.98	—	—	—	—
抱茎苦麦菜	—	—	—	23.27	—	—	—	9.09	5.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—
地梢瓜	—	—	—	—	7.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
茜草	—	—	—	—	3.15	—	—	—	5.67	—	7.70	6.31	—	—	—	7.08	—	4.01
猫眼草	—	—	—	—	—	2.74	—	7.97	—	—	—	—	12.82	—	—	—	—	—
角蒿	—	—	—	—	—	17.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
黄花蒿	—	—	—	—	—	5.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
刺儿菜	—	—	—	—	—	—	11.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.64
羊胡子苔草	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25.59	—	—	—	—	—	—	—	—
小红菊	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.20	22.24	3.14	2.82	—	—	—	—	2.48
黄花萎蕤菜	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.30	—	—	—	—	—	—	—	—
蒙古蕊巴	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.13	5.77	—	—	—	—	3.22	5.14	—
紫花地丁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.52	—	3.69	—	—	—	—	—	—
广布野豌豆	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.72	—	—	—	—	—	—	—	—
凤毛菊	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.00	3.60	—	—	—	—	—	2.32
短尾铁线莲	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.05	—	—	—	—	—	—
中华蝇子草	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20.16	—	—	—	—	—
杠柳	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.05	—	—	—	—	—
猪毛菜	—	—	—	—	—	—	—	—	21.42	—	—	—	—	—	47.19	—	—	—
草木犀	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.50	—	—	—	—
败酱草	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.24	—	2.01
苦菜	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.90

注:表中部分植物的学名为:野豌豆 *Vicia cracca*, 杠柳 *Periploca sepium*, 黄花蒿 *Artemisia annua*, 地梢瓜 *Cynanchum thesioides*, 铁线莲 *Clematis florida*, 短尾铁线莲 *Clematis brevicaudata*。

4 结论

整个流域内共有 36 种草本植物,从组成群落的物种和各物种重要值的排序顺序可知,在所有人工林群落中林下草本植物较为发达,多为阳性植物,这与

早期的森林群落演替规律差不多。流域内人工林都是在 20 世纪 80 年代栽植的,经过 20 a 多的封山育林,在森林演替初期上层乔木的郁闭度较低,湿润的土壤与充足的阳光辐射使草本层中生阳性植物较早侵入并迅速发育,随着郁闭度的提高,草本层中一些

耐阴植物(猫眼草、败酱草、太阳花、刺儿菜等)逐渐侵入到林下。例如标准地 6,18 林下草本植物物种数都达到 12 种以上,丰富了物种多样性。

表 3 不同林分林下草本层多样性指数

标准地	物种丰富度 S	丰富度指数 O	Simpson 指数 D_s	Shannon—Wiener 指数 H'	均匀度指数 E
1	7	1.379 6	0.527 0	1.075 7	0.552 8
2	8	1.422 3	0.713 6	1.338 5	0.643 7
3	7	1.382 9	0.651 0	1.263 8	0.649 5
4	8	1.667 2	0.701 0	1.423 3	0.684 5
5	7	1.289 2	0.729 0	1.491 0	0.766 2
6	12	2.345 7	0.790 6	1.813 0	0.729 6
7	7	1.334 0	0.620 9	1.208 0	0.620 8
8	6	1.323 7	0.619 5	1.206 3	0.673 3
9	5	1.074 3	0.614 0	1.152 0	0.715 8
10	9	1.846 1	0.601 5	1.176 9	0.535 6
11	7	1.757 2	0.719 0	1.513 0	0.777 5
12	8	1.735 9	0.173 3	0.448 6	0.215 7
13	9	1.268 8	0.645 4	1.289 1	0.586 7
14	6	1.234 5	0.617 9	1.152 9	0.643 4
15	2	0.558 1	0.500 0	0.693 1	1.000 0
16	8	1.356 8	0.622 5	1.169 3	0.562 3
17	8	1.404 2	0.633 7	1.208 8	0.581 3
18	12	2.309 0	0.710 7	1.459 5	0.587 4

在黄土高原植被演替过程中,随着时间的变化植被演替的顺序为猪毛蒿群落→赖草群落→长芒草群落→铁杆蒿群落→灌木群落^[18],因此,从聚类分析结果可以看出土桥沟流域人工林群落林下植被演替大部分还处于植被演替初级阶段。表现最差的为高密度的榆树纯林和侧柏纯林,林下植被为适应性最强,最耐旱的植物,优势种为猪毛蒿,这也说明这些群落生境条件较差,只适于先锋植物生长。在大部分刺槐纯林,低密度的榆树纯林和侧柏纯林,以及高密度的混交林中,经过多年的植被演替,土壤条件发生了变化,其它植物开始侵入,如赖草逐渐成为这些群落的优势种。

在低密度的刺槐纯林中,由于光照和土壤条件较好,长芒草成为该群落的优势种。表现最好的群落为油松纯林和油松刺槐混交林,出现铁杆蒿等多年生的蒿类物种,取代了禾本草群落成为群落的优势种,群落生境条件相对于其它群落较好。由此可见,不同建群种的群落反映了环境的养分条件和水分条件的差异性。针阔混交林无论是在物种数量和建群种上表现最好,其次是油松纯林和刺槐纯林,榆树纯林生境条件最差。

油松、刺槐混交林的丰富度指数最高,其次为油松纯林和刺槐纯林,榆树和侧柏纯林最小;不管是丰富度指数还是多样性和均匀度指数,针阔混交林表现最好,其次为刺槐、油松纯林,表现最差的为榆树、侧柏纯林。在密度低的林分中,阳性植物首先入侵成为优势种,由于密度或郁闭度增大,部分阳性植物逐渐枯死,降低了生物多样性,但是在部分林分中,水分条件充足的情况下,一些耐阴植物逐渐侵入成为优势种;在榆树、侧柏纯林中,由于林分密度过大,乔木耗水较多,造成土壤严重干化,生境条件变差,林下植物吸水能力竞争不过乔木而慢慢地枯死,生物多样性降低,生态系统进一步恶化。

[参 考 文 献]

- [1] Chapin F S. Nitrogen and phosphorus nutrition and nutrition cycling by evergreen and deciduous understory shrubs in an Alaskan black spruce forests[J]. Can. J. For. Res., 1983,13(5):773-781.
- [2] Chastain Jr R A, Currie W S, Townsend P A. Carbon sequestration and nutrient cycling implications of the evergreen understory layer in Appalachia forests[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 231:63-77.
- [3] 杨承栋,焦如珍,屠星南,等. 杉木林下植被对 5—15 cm 土壤性质的改良[J]. 林业科学研究,1995,8(5):514-519.
- [4] 林开敏,黄宝龙. 杉木人工林林下植物物种 β 多样性的研究[J]. 生物多样性,2001,9(2):157-161.
- [5] 褚建民,卢琦,崔向慧,等. 人工林林下植被多样性研究进展[J]. 世界林业研究,2007,20(3):9-13.
- [6] Fabia A, Martins M C, Cerverira C, et al. Influence of soil and organic residue management on biomass and in a *Eucalyptus globules* Labill Plantation[J]. Forest Ecology and Management, 2002,171:87-100.
- [7] Kume A, Satomura T, Tsubei N, et al. Effects of understory vegetation on the ecophysiological characteristics of an overstory pine, *Pinus densiflora* [J]. Forest Ecology and Management, 2003,176:195-203.
- [8] Taylor A H, Jang S W, Zhao L J, et al. Regeneration patterns and tree species coexistence in old growth *Abies—Picea* forests in southwestern China[J]. Forest Ecology and Management, 2006,223:303-317.
- [9] 袁正科,田育新,李锡泉,等. 缓坡梯土幼林林下植被覆盖与水土流失[J]. 中南林学院学报,2002,22(2):21-24.
- [10] 姚茂和,盛炜彤,胸有强. 杉木林下植被对立地的指示意义[J]. 林业科学,1992,28(3):208-212.
- [11] Chapin III F S, Sala O E, Burke I C, et al. Ecosystem consequences of changing biodiversity [J]. BioScience, 1998,48:45-52.

(下转第 261 页)

生态系统健康的动态变化作更深入细致地研究,以便揭示出喀斯特高原地区生态系统演替特征。

依据生态赤字占人均生态足迹比率,建立基于生态足迹的喀斯特高原山地生态系统健康评价标准,对喀斯特地区生态系统健康评价具有借鉴和参考价值。建议在喀斯特地区应大力提倡低碳经济发展模式,加强喀斯特高原山地地区石漠化治理和植被的恢复,使喀斯特生态系统健康状况由亚健康状态和欠健康状态向健康状态的良性循环转化。

西部喀斯特地区是国家退耕还林还草和石漠化治理的重点区域,如何保证退耕还林还草和石漠化治理的成功,加强生态补偿机制的完善和实施,切实保护好喀斯特高原山地生态系统的健康,将是政府和环保部门应密切关注的问题。

喀斯特高原山地地区是我们国家经济发展落后的地区,人地矛盾突出,如何处理好发展经济与生态环境保护问题,将是今后喀斯特高原地区生态系统管理的重要研究方向。

[参 考 文 献]

- [1] 赵旭阳,高占国,韩晨霞. 基于生态复杂性的湿地生态系统健康评价[J]. 地理科学进展, 2008, 27(4): 61-68.
- [2] 张晓琴,石培基. 基于 PSR 模型的兰州城市生态系统健康评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 35-40.
- [3] 官冬杰,苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(10): 1716-1721.
- [4] 刘国彬,胡维银,许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 44-49.
- [5] 张宏锋,李卫红,陈亚鹏. 生态系统健康评价研究方法与发展[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4): 530-535.
- [6] 邢清枝,任志远,王丽霞. 基于生态足迹法的陕北地区水资源可持续利用评价[J]. 干旱区研究, 2009, 26(6): 793-798.
- [7] 薛乃川,安尼瓦尔·阿木提,贡璐. 新疆近十年生态足迹与生态承载力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 24-28.
- [8] Wackernagel M, Yount J D. Footprint for sustainability: the next step[J]. Environment, Development and Sustainability, 2002(2): 21-42.
- ~~~~~
- (上接第 108 页)
- [12] Thompson K. Predicating the fate of temperate species response to human disturbance and global change[M] // Boyle T J B, Boyle C E B eds. Biodiversity Temperate Ecosystems, and Global Change. Heidelberg: Springer-Verlag, 1994: 61-76.
- [13] Spellerberg I F, Sawyer J W D. Standards for biodiversity: A proposal based on biodiversity standards for fore plantations [J]. Biodiversity and Conservation, 1996, 5: 447-459.
- [14] 胡相明,程积民,万惠娥. 黄土丘陵区人工林下草本植物的结构特征[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 41-45.
- [15] 陈海滨,刘淑明,党坤良,等. 黄土高原沟壑区林地土壤水分特征的研究: 土壤水分有效性及其亏缺状况的分析[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 5-8.
- [16] 王孟本. 晋西北黄土区不同人工林生物生产力的研究[J]. 植物学报, 1994, 36(S): 237-240.
- [17] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [18] 卜耀军,温仲明,焦峰,等. 黄土丘陵区人工与自然植物群落物种多样性研究: 以安塞县为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 4-6.
- ~~~~~
- (上接第 140 页)
- [3] 邵明安,杨文治,李玉山. 植物根系吸收土壤水分的数学模型[J]. 土壤学报, 1987, 24(4): 295-304.
- [4] 罗毅,于强,欧阳竹,等. 利用精确的田间实验资料对几个常用根系吸水模型的评价与改进[J]. 水利学报, 2000, 32(4): 73-80.
- [5] 姚立明,康绍忠,龚道枝,等. 苹果树根系吸水模型研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(6): 67-70.
- [6] 虎胆·吐马尔白. 作物根系吸水率模型的试验研究[J]. 灌溉排水, 1999, 18(4): 15-18.
- [7] 张立楨,曹卫星,张思平,等. 棉花根系生长和空间分布特征[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 266-273.
- [8] 阳园燕,郭安红,安顺清,等. 土壤-植物-大气连续体系统中植物根系吸水模型研究进展[J]. 气象科学, 2004, 32(5): 316-321.
- [9] Landsberg J J, McMurtrie R. Water by isolated trees [J]. Agric. Water Manage., 1984(8): 223-242.
- [10] 姚建文. 作物生长条件下土壤含水量预测的数学模型[J]. 水利学报, 1989, 30(9): 32-38.
- [11] 朱李英,孙西欢,马娟娟. 棉花根系吸水模型试验研究[J]. 山西水利, 2009, 45(3): 45-47.