

燕沟流域不同植被恢复重建途径下物种多样性研究

卜耀军¹, 温仲明², 焦峰², 焦菊英², 张广军¹

(1. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院、水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要:在燕沟流域选取5个物种多样性指数对其天然及人工群落物种多样性进行了研究, 分析了植被恢复重建途径(自然恢复、人工恢复、自然和人工恢复)与物种多样性的关系。研究表明, 天然灌木林群落物种多样性和均匀度指数最大, 天然草本群落与人工乔木林群落接近, 人工灌木林群落最小; 影响人工乔木林和灌木林群落林下草本层物种多样性和均匀度指数变化的主要因素有植物物种种源、植物自身因素(初植密度)和人为因素(破坏、放牧时间)。

关键词:燕沟流域; 植被恢复重建途径; 物种多样性

中图分类号: Q948.154 文献标识码: A 文章编号: 1001-7461(2005)01-0006-04

Yangou Watershed the Research on Bio-diversity under Ways of Vegetation Restoration

BO Yao-jun¹, WEN Zhong-ming², JIAO Feng², JIAO Ju-ying², ZHANG Guang-jun¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. The Institute of Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: According to the research on the natural and artificial communities by five indexes of species diversity in Yangou watershed, this article discussed the relationship between re-vegetation ways (natural restoration, artificial restoration, natural and artificial restoration) and species diversity. The results showed that as to the indexes of diversity and evenness, natural bush community has the highest ones, and artificial arbor community has no significant difference with the natural herb community, and artificial bush community has the lowest indexes of diversity and evenness. The main factors influencing indexes of the diversity and the evenness of herb layer under the artificial arbor and herb are species source, plants' own factor (plant density) and human factor (destroying, grazing and time).

Key words: Yangou watershed; vegetation restoration way; species diversity

生物多样性作为生态系统恢复过程的目标之一, 在生态系统恢复中占有非常重要的地位。近年来, 针对生态恢复中的物种多样性问题, 已开展了较多的研究。但就目前看, 这些研究或针对特定的植物群落^[1], 或针对特定的恢复演替序列, 如草原植被恢复演替序列^[2], 森林植被恢复演替序列^[3], 而对不同的植被恢复途径下的物种多样性的研究较少。在黄土高原地区, 生态恢复有不同途径, 如人工恢复、半人工恢复及自然恢复等。不同的恢复途径, 对群落物种多样性的恢复的影响也明显不同。系统地分析这些不同恢复途径下的物种多样性变化规律及其特征, 对采取合理的植被恢复途径或不同途径

组合以恢复重建生态系统, 具有重要的指导意义。本文以黄土丘陵区燕沟流域为调查区, 试图通过对不同植被恢复重建途径(自然恢复、人工恢复、自然和人工恢复)与物种多样性的关系进行研究, 以期为该区域植被恢复重建提供一定的理论依据。

1 研究区概况

燕沟流域位于延安市中部, 地处北纬 36°36', 东经 109°28'。地形主要以黄土梁状丘陵为主, 海拔 850~1 350 m, 最高海拔 1 525 m, 气候属暖温带, 年平均气温 9.4℃, 1 月平均气温 -6.7℃, 7 月平均气温 22.9℃, 极端最高气温 39.7℃, 极端最低气温

收稿日期: 2004-04-01

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(B22012900); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-421); 国家自然科学基金项目(40301029)

作者简介: 卜耀军(1978-), 男, 陕西绥德人, 在读硕士, 主要研究方向是环境生物学与生态环境工程。

-25.4℃,≥10°积温3 207℃。年日照2 472 h。年降水量550 mm,且57%集中在7~9月。平均早霜始于10月中旬,晚霜终于4月上旬,无霜期152 d^[4]。

在20世纪30~70年代,燕沟流域毁林开荒,植被遭到极大破坏,尤其森林植被几乎破坏殆尽,流域生态系统严重退化。之后,随着生态治理工程的开展,在该流域采用人工恢复、半人工恢复及封禁治理等不同措施进行生态恢复,经过近20 a的保护恢复,流域植被得到初步恢复,生态系统逐渐呈现良性循环。流域内不同恢复途径形成的植物群落,为本研究的开展提供了较好的试验条件。

2 材料与方法

2.1 材料收集

通过对燕沟流域现有植被进行调查,并设置样方18个,样地的设置采用典型取样法,乔木样方面积10 m×10 m,灌木样方4 m×4 m,草本样方1 m×1 m。每个乔木样方内设置1个灌木样方,10个草本样方;每个灌木样方内设置10个草本样方。记录的主要项目包括植被类型、恢复时间、恢复方式、人类影响方式、土壤类型等;草本植物的盖度、生物量、高度、频度、多度、株(丛)数等(表1)。

2.2 分析方法

表1 燕沟流域样地基本信息
Table 1 Description of experimental plots in Yangou

样地号	群落类型	恢复年限/a	海拔/m	坡向	坡位	坡度/°	恢复方式
1	达乌里胡枝子	15~16	1 180	阳坡	中部	26	自然
2	长芒草	17~18	1 180	阳坡	中部	25	自然
3	阿尔泰狗娃花	5~6	1 180	阳坡	中部	21	自然
4	白羊草	18	1 180	阳坡	上部	35	自然
5	人工沙棘林	4	1 312	半阳坡	上部	25	人工+自然
6	猪毛蒿	3~4	1 321	阳坡	上部	21	自然
7	苔草-灌木林	自然	1 315	阴坡	中部	15	自然
8	铁杆蒿	20	1 344	阳坡	上部	22	自然
万方数据	猪毛蒿	6~7	1 350	半阳坡	上部	22	自然
	人工荆条林	40	1 349	半阴坡	上部	19	人工+自然
10	达乌里胡枝子-长芒草	4	1 148	阳坡	下部	13	自然
11	酸枣-狼牙刺	40	1 148	阳坡	中部	25	自然
12	达乌里胡枝子	25	1 092	阳坡	中部	27	自然
13	达乌里胡枝子-长芒草	21~22	1 196	阴坡	中上部	26	自然
14	人工柠条林	27~28	1 212	阴坡	中部	25	人工+自然
15	人工柠条林	27~28	1 212	半阴坡	下部	20	人工+自然
16	人工小叶杨	45	1 238	阴坡	下坡	22	人工
17	人工刺槐林	27~28	1 273	阴坡	中坡	26	人工
18							

调查采用的相关指数和计算公式如下^[5]：
(1)物种丰富度指数 S ；
(2)Simpson 多样性指数 $D = 1/\sum P_i^2$ ，式中 P_i 为种的个体数占群落中总个体数的比例；
(3)Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ；
(4)Pielou 均匀度指数 $Jsw = H/H_{max}$ 式中： H ($H = -\sum P_i \ln P_i$) 为实际观察的物种多样性指数， H_{max} 为最大的物种多样性指数， $H_{max} = \ln S$ (S 为群落中的总物种数)；
(5)Alatalo 均匀度指数 $Ea = [(\sum P_i^2) - 1]/[\exp(-\sum P_i \ln P_i) - 1]$ 。

3 结果与分析

3.1 植被自然恢复过程及其物种多样性变化

从表2可以看出,在6个草本群落中,长芒草

(*Stipa bungeana*)群落和铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)群落的物种丰富度指数 S 、多样性指数 D 、 H' 、和均匀度指数 Jsw 、 Ea 均为最高,且长芒草群落的各项指数均大于铁杆蒿群落,反映了由于生境差异而造成群落成分和结构的差别,这可能与生境的水分、光照、养分等因子有关。
达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica*)群落和白羊草(*Bothriochloa ischaemun*)群落的各个指数基本相近,这是由于2个群落在物种数目和组成结构上相似,和前2个群落相比,二者的丰富度指数和多样性指数都略低于前2个群落,这是由植物自身的因素造成的,即达乌里胡枝子和白羊草须根发达,竞争力强,各自在自己的群落内占有绝对优势,其他物种很难与之竞争,导致物种组成较少,丰富度和多样性指数降低。
阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)和猪毛蒿

(*Artemisia scoparia*) 群落的各项指数较为相似, 种类数少, 物种多样性低, 种类中个体分配上的均匀性小, 说明这 2 个群落的成分及其结构较前 4 个群落简单。

综上所述, 造成 5 个多样性指数变化的原因可能与它们的恢复年限有关, 从表 1 可看出, 铁杆蒿群落和长芒草群落的恢复年限最长为 17~20 a, 而达乌里胡枝子群落、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 群落、阿尔泰狗娃花和猪毛蒿群落的恢复年限均小于铁杆蒿群落和长芒草群落, 它们的恢复年限分别为 15~16、18、5~6 a 及 3~4 a。

表 2 草本群落物种丰富度及多样性

Table 2 Richness, diversity and evenness of herb communities

多样性指数	达乌里胡枝子	长芒草	阿尔泰狗娃花	白羊草	铁杆蒿	猪毛蒿
S	11.00	19.00	7.00	9.00	14.00	5.00
D	1.60	2.10	1.10	1.50	1.50	0.90
H'	1.91	2.30	1.29	1.74	1.92	1.37
Jsw	0.44	0.51	0.29	0.39	0.43	0.30
Ea	0.66	0.71	0.63	0.68	0.69	0.64

3.2 自然恢复与人工恢复途径对灌木群落(灌木层/草本层)物种多样性的影响

3.2.1 灌木层物种丰富度及多样性 根据表 3 可以看出, 在物种丰富度方面, 苔草-灌木林群落 > 酸枣-狼牙刺群落。在物种多样性方面, Simpson 多样性指数和 Shannon-Wiener 多样性指数也是苔草-灌木林群落 > 酸枣-狼牙刺群落。在物种均匀度方面, Alatalo 均匀度指数为酸枣-狼牙刺群落 > 苔草-灌木林群落, Pielou 均匀度指数为苔草-灌木林群落 > 酸枣-狼牙刺群落。Alatalo 均匀度指数和 Pielou 均匀度指数出现差异的原因是 Alatalo 均匀度指数的大小与样本大小的关系并不密切, 而 Pielou 均匀度指数的表达式中包含物种的丰富度指数(S), 由于 S 的大小与样本大小有关, 因此, Pielou 均匀度指数的大小对样本的大小非常灵敏。但是后者更强调物种丰富度在群落中的作用, 更能客观反映物种数在群落中的重要影响。

从表 3 和表 1 可看出, 人工荆条 (*Vitex negundo heterophylla*) 林和人工柠条 (*Caragana microphylla*) 林群落分别有 40 a 和 27~28 a 的发育历程, 而人工沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 林群落只有 4 a 的发育历程, 但是 3 个群落的灌木层都只有少量其他物种出现。造成这种现象的主要原因是植物自身因素和人为因素, 即这 3 个物种根系发达、竞争力强以及群落内的初植密度(株距×行距: 荆条和沙棘为 0.5 m

×1 m, 柠条为 0.5 m×0.5 m) 与《黄土高原水土保持》中灌木造林要求相比过大^[6], 限制了其他物种的入侵和定居。

表 3 灌木群落灌木层物种丰富度及多样性

Table 3 Richness, diversity and evenness of bush layer of bush communities

多样性指数	人工柠条林	人工荆条林	人工沙棘林	酸枣-狼牙刺林	苔草-灌木林
S	1.00	1.00	1.00	2.50	9.50
D	0	0	0	0.20	0.90
H'	0	0	0	0.59	1.89
Jsw	-	-	-	0.20	0.65
Ea	-	-	-	0.83	0.81

3.2.2 草本层物种丰富度及多样性 从物种丰富度、物种多样性和物种均匀度综合来看(表 4), 苔草-灌木林群落 > 酸枣-狼牙刺林群落 > 人工沙棘林群落 > 人工荆条林群落 > 人工柠条林群落。其中苔草-灌木林群落林下草本 5 个指数最高, 说明该群落灌草层的群落结构搭配较好, 物种利用空间资源较合理, 周围植物物种种源也比较丰富, 没有遭到人为破坏和放牧的干扰。人工柠条林群落林下草本 5 个指数最低, 说明该群落灌草层的群落结构搭配比较差, 物种利用空间资源不太合理, 周围植物物种种源比较少, 造成这方面的原因有人为(放牧)和自身的因素(初植密度), 其中初植密度是主要因素, 因为该群落的初植密度(0.5 m×0.5 m)过大, 而使得其它物种不能入侵和定居。其余 3 个群落中, 物种多样性指数 D、H' 和物种均匀度指数 Jsw、Ea 都相差很小。所以, 可以认为均匀度指数大小和多样性指数大小排列一致。

表 4 灌木群落草本层物种丰富度及多样性

Table 4 Richness, diversity and evenness of herb layer of bush communities

多样性指数	人工柠条林	人工荆条林	人工沙棘林	酸枣-狼牙刺林	苔草-灌木林
S	4.00	4.50	5.50	7.00	8.50
D	1.20	1.21	1.37	1.40	1.51
H'	1.16	1.70	1.71	1.73	1.75
Jsw	0.26	0.35	0.36	0.39	0.41
Ea	0.46	0.71	0.76	0.86	0.91

3.3 人工乔木林群落物种丰富度及多样性

选取燕沟最有代表性的人工刺槐林、人工小叶杨林为研究对象, 从表 1 可看出, 人工刺槐林群落有 27~28 a 的发育历程, 而人工小叶杨林群落有 45 a 的发育历程, 结合表 5 可看出, 人工刺槐林群落有灌草层的存在, 而人工小叶杨林群落仅有草本层的存

在。这是因为人工刺槐林群落下的灌木层是人工栽植的,而不是天然生长起来的。

表 5 乔木群落物种丰富度及多样性

Table 5 Richness, diversity and evenness of the tree communities

多样性指数	人工刺槐林			人工小叶杨林		
	乔木层	灌木层	草本层	乔木层	灌木层	草本层
<i>S</i>	1.00	8.50	4.50	1.00	1.00	2.00
<i>D</i>	0	0.86	0.58	0	0	0.25
<i>H'</i>	0	1.86	1.12	0	0	0.45
<i>Jsw</i>	-	0.79	0.81	-	-	0.69
<i>Ea</i>	-	1.64	1.09	-	-	0.63

从表 5 可看出,各指数比较的结果一致,均为人工刺槐林林下草本层 > 人工小叶杨林林下草本层。原因可能是人工刺槐林群落禁牧早,几乎没有遭到人为干扰(放牧)的破坏,周围的植物物种种源较丰富,同时人工刺槐林群落现存密度(株距×行距为 4 m×6 m)较小,导致林下水分条件较好,同时郁闭度低,使林下生境的异质性变大,物种多样性提高。而人工小叶杨林群落周围的植物物种种源也比较少,群落下的草本特别矮,有放牧的迹象,同时人工小叶杨林群落现存密度(株距×行距为 1 m×1 m)较大,林下郁闭度高,限制了喜光草本的生长,多样性指数降低。可见,草本层物种多样性受人为因素(放牧、时间)、植物自身因素(初植密度)、植物物种种源和上层乔灌层等的影响。

3.4 群落总体的物种丰富度及多样性

为了进一步将群落做为一个总体进行物种多样性的比较,通常是将各生长型的多样性直接进行相加^[7],但高贤明认为^[8],由于群落不同的生长型对群落的结构、功能、生产力、动态与稳定性等方面的贡献不同,所以,简单将不同生长型的物种多样性指数相加缺乏足够的依据。他提出,根据群落的垂直结构,将不同生长型的叶层(林冠层)的相对厚度和相对盖度之和,作为测度群落总体多样性指数时对不同林层多样性指数加权的参数,其公式为:

$$W_i = \frac{\frac{C_i}{C} + \frac{H_i}{H}}{2}$$

式中:*C* 为群落的总盖度($C = \sum C_i$), (乔木层, $i = 1$; 灌木层, $i = 2$; 草本层, $i = 3$; 下同); *H* 为群落各生长型的总高度($H = \sum H_i$); W_i 为群落第 i 个生长型多样性指数的权重; C_i 为第 i 个生长型的盖度; H_i 为第 i 个生长型的平均高度。其中,乔木层的叶层厚度按乔木层高度的 1/3 计算,灌木层按 1/2 计算,草

本层按 100% 计算。 W_i 计算结果为, $W_1 = 0.595$, $W_2 = 0.227$, $W_3 = 0.138$ 。

从表 6 可以看出,表示群落物种多样性的 *D*、*H* 指数变化趋势是一致的,即天然灌丛林(苔草-灌木林、酸枣-狼牙刺林)的物种多样性指数最高;人工乔木林和草本群落多样性指数相近;人工灌木林的物种多样性指数最低。人工乔木林的物种多样性指数较高的原因是其具有乔灌草 3 层结构,而并非其物种丰富。尽管草本群落具有较高的物种数,但由于只有一个层次,所以物种多样性指数加权后并不高。从表 6 可以看出,表示群落物种均匀性的指数 *Jsw*、*Ea* 也呈现出较为一致的变化趋势,即天然灌丛林的均匀度指数最大,人工乔木林和草本群落接近,人工灌木林的均匀度指数最低。

表 6 群落总体多样性指数

Table 6 The richness, diversity and evenness of communities

样地号	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>Jsw</i>	<i>Ea</i>
1	1.39	0.75	1.75	0.49	0.66
2	2.01	0.82	1.86	0.54	0.74
3	1.67	0.66	1.32	0.48	0.67
4	1.98	0.80	1.77	0.51	0.72
5	2.21	0.62	1.39	0.35	0.61
6	1.59	0.68	1.40	0.37	0.67
7	1.20	0.85	1.89	0.67	0.96
8	1.30	0.71	1.55	0.38	0.64
9	1.99	0.86	2.09	0.54	0.70
10	2.31	0.64	1.40	0.34	0.59
11	1.42	0.80	1.77	0.41	0.65
12	3.69	0.89	1.94	0.73	1.04
13	1.52	0.73	1.57	0.37	0.66
14	1.26	0.78	1.83	0.42	0.67
15	1.85	0.58	1.37	0.45	0.62
16	0.98	0.33	0.94	0.25	0.39
17	1.04	0.76	1.87	0.48	0.66
18	1.23	0.69	1.43	0.49	0.64

4 结论

采用不同的植被恢复重建途径(自然恢复、人工恢复、自然和人工恢复),天然灌木林群落物种多样性指数最高,均匀度指数最大,人工乔木林群落和天然草本群落物种多样性和均匀度指数接近;人工灌木林群落的多样性和均匀度指数最小。

影响人工乔木林和灌木林群落林下草本层物种多样性和均匀度指数变化的因素很多,而且很复杂,应该具体情况采用具体的手段和方法去解决。其主要影响因素有:植物物种种源、植物自身因素(初植密度)和人为因素(破坏、放牧时间)等。

(下转第 15 页)

- [26] Jenkinson D S, Adams D E, Wild A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming[J]. *Nature*, 1991, 351:304-306.
- [27] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [28] 郝占庆,陶大立. 长白山北坡阔叶林及其次生白桦林高等植物物种多样性比较[J]. *应用生态学报*, 1994, 5(1):16-23.
- [29] 高贤明,黄建辉. 秦岭太白山弃耕地植物群落演替的生态学研究[J]. *生态学报*, 1997, 17(6):619-625.
- [30] 刘灿然,马克平. 生物群落多样性的测度方法[J]. *生态学报*, 1997, 17(6):601-610.
- [31] 叶万辉,马克平,马克明,等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究——尺度变化对 α 多样性的影响[J]. *生态学报*, 1998, 18(1):10-14.
- [32] 马克平,黄建辉. 北京东灵山地区植物群落多样性研究——丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. *生态学报*, 1995, 15(3):268-277.
- [33] 陈灵芝,钱迎倩. 生物多样性科学前沿[J]. *生态学报*, 1997, 17(6):565-572.
- [34] 刘灿然,马克平. 北京东灵山地区植物群落多样性研究[J]. *生态学报*, 1997, 17(6):584-592.
- [35] 温远光,黄棉. 大明山中山植被恢复过程植物物种多样性的变化[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(1):33-40.
- [36] 张金香,孙吉定. 荒山封禁后植被恢复情况的研究[J]. *河北林业科技*, 1996(2):17-19.
- [37] 贺金生,江明喜. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征[J]. *生态学报*, 1998, 18(4):399-407.
- [38] 王国梁,刘国彬,候喜录. 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究[J]. *山地学报*, 2002, 20(2):182-187.
- [39] 黄河水利委员会. 黄河水土保持志[M]. 郑州:黄河水利出版社,1999.
- [40] 中国科学院黄河中游水土保持综合科学考察队. 山西西部水土保持调查报告[M]. 北京:科学出版社,1957.
- [41] 吴钦孝,赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(4):13-16.
- [42] 余新晓,毕华兴. 黄土地区森林植被水土保持作用研究[J]. *植物生态学报*, 1997, 21(5):433-440.
- [43] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [44] 王棣,吕皎. 油松混交林的水土保持及水源涵养功能研究[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(4):44-46.
- [45] 张鼎华,孙志蓉,翟明普,等. 杨树刺槐混交林沙地土壤的水分物理性质[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(2):122-125.
- [46] 向师庆. 灌草从根系保持土壤资源上的研究[J]. *北京林业大学学报*, 1988, 10(4):15-21.
- [47] Beven K. Linking parameters across scales: subgrid parameterizations and scale dependent hydrological models[M]. In: Kalma J D, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modelling John Wiley & Sons, Chichester[C]. New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1995. 263-280.
- [48] Mahmood R. Scale issues in soil moisture modelling: problems and prospects[J]. *Progress in Physical Geography*, 1996, 20(3):273-291.
- [49] Thomas J H, Xsin-I W U. Scaling theory to extrapolate individual tree water use to stand water use[J]. *Hydrological Processes*, 1995, 9:527-540.

(上接第9页)

参考文献:

- [1] 刘创民,李昌哲. 北京九龙山灌丛植被的物种多样性分析[J]. *林业科学研究*, 1994, 7(2):143-148.
- [2] 邹厚远,程积民. 黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节[J]. *水土保持研究*, 1998, 5(1):126-138.
- [3] 朱志诚,黄可. 陕北黄土高原森林草原地带植被恢复演替初步研究[J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 1993, 16(1):94-100.
- [4] 张振师. 黄土丘陵区植被恢复研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2002. 1-4.
- [5] 马克平. 生物多样性的测度方法[A]. 见:中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理和方法[C]. 北京:中国科学技术出版社, 1994. 141-166.
- [6] 孟庆枚. 黄土高原水土保持[M]. 郑州:黄河水利出版社, 1996. 363-367.
- [7] 谢晋阳,陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征[J]. *生态学报*, 1994, 14(4):337-344.
- [8] 高贤明,黄建辉,万师强,等. 秦岭太白山弃耕地植物群落演替的生态研究Ⅱ. 演替系列的群落 α 多样性特征[J]. *生态学报*, 1997, 11(6):619-625.