

黄土高原丘陵沟壑区植被恢复 重建后的物种多样性研究

王国梁, 刘国彬, 侯喜禄

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 黄土高原丘陵沟壑区是我国物种多样性研究相对较薄弱的地区。目前关于该区植被恢复重建后的物种多样性研究尚未见报道。研究该区植被恢复重建后的物种多样性对退化生态系统的植被恢复重建具有重要的指导意义。本文选取 6 个物种多样性指数对纸坊沟流域主要的天然及人工群落物种多样性进行了研究, 研究发现: 天然灌木林物种多样性最高, 均匀度最大, 人工乔木林和天然草本的物种多样性及均匀度接近, 人工灌木林的多样性和均匀度最小。人工林纯林(包括纯乔木林、纯灌木林及单一乔灌混交林)具有很强的抵抗其它乔灌物种入侵和定居的能力, 对林下草本也有很强的控制能力。因此, 要建造一个具有较高物种多样性的群落, 在建造初期就要选择多物种混交, 并注意初植密度。

关键词: 黄丘区; 植被恢复重建; 物种多样性

中图分类号: Q16

文献标识码: A

物种多样性的保护和恢复是国际关注的全球环境问题之一。《全球生物多样性策略》一书中明确提出对生物多样性“挽救、研究和持续利用”的目标^[1]。生物多样性保护不再是消极被动的保护, 而是要把保护与恢复重建、保护与持续利用结合起来。目前, 我国在物种多样性的保护和恢复方面做了大量的工作, 但多集中在部分关键地区, 黄土高原地区研究相对较少, 具体到黄土丘陵沟壑区则更为薄弱, 关于该区植被恢复重建后的物种多样性研究尚未见报道。本文以黄丘区纸坊沟流域为研究单元, 该流域 1938~1973 年由于毁林开荒, 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^[2]。1973 年中国科学院水土保持研究所在该流域开展了水土保持综合治理, 对该区植被进行了大规模恢复重建, 此后采取了封禁措施, 经过 20 多年的保护恢复, 流域内人工和天然植被基本得到了恢复, 生态系统开始进入良性循环。因此, 研究该区物种多样性对退化生态系统的植被恢复重建具有重要的指导意义。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

纸坊沟(36°51'N, 109°19'E)位于陕西省安塞县。属黄土丘陵沟壑区第二副区。流域面积 8.27km², 海拔 1 010m~1 431m。在气候区划上属暖温带半干旱气候。年均降雨量 483.9mm, 其中 7~9 月份的降雨占全年的 58%, 干燥度 1.48, 多年平均气温 8.8℃, 年日照时数在 2 300h~2 400h 之间。无霜期 160d 左右。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查

通过对全流域现有植物的全面调查, 选取纸坊沟流域现有的 15 种主要植物群落。在这些群落分布的典型地段设置样地, 样地的设置采用典型取样法, 取样面积分别为: 乔木样方 20m×20m, 灌木样方 10m×10m, 草本样方 1m×1m。每个乔木样地内设置 4 个乔木样方, 4 个灌木样方, 8 个草本样方; 每个灌木样地内设置 4 个灌木样方, 4 个草本样方; 每个

收稿日期: 2001-09-10。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606), 中科院知识创新项目(KZCX1-06)。

作者简介: 王国梁, 男, 陕西西安人, 1996 年毕业于西北林学院, 在读硕士, 主要研究方向: 植被恢复与环境效应。E-mail: gl.w@sohu.com。

草本样地内设置 4 个草本样方。共设置样方 116 个。记录项目主要包括①乔木和灌木的高度、枝下高、胸径、基径、冠幅、盖度等;②草本植物的高度、盖度、频度、多度(采用 Drude 的七级制多度^[3])、生物量及物候期等;③样地描述包括地理位置、海拔、坡度、坡向、坡位、地形、外界干扰、土壤类型,乔木和部分灌木样地还描绘了林相图。本项工作于 2000—04~2001—09 完成。

1.2.2 资料分析

群落物种多样性统一应用各个物种在该层(乔、灌、草)中的重要值(IV)这一综合指标来计算,各个物种的重要值计算公式为

$$IV(\%) = (\text{相对高度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度(或盖度)}) / 3$$

对于物种多样性指数的计算,许多学者都提出了不同的计算公式^[4],归纳起来可以分为三类,即丰富度指数、多样性指数和均匀度指数。本文采取使用较为普遍的几个物种多样性指数的计算公式

物种丰富度指数 S ;

Simpson 指数 $D = 1 - \sum P_i^2$;

Shannon-wiener 指数 $H' = -\sum P_i \ln(P_i)$;

种间相遇机率 $PIE = \sum n_i(N - n_i) / N(N - 1)$;

Pielou 均匀度指数

$J_{sw} = (-\sum P_i \ln(P_i)) / \ln(S)$, $J_{gi} = (1 - \sum P_i^2) / (1 - 1/S)$;

Alatalo 均匀度指数

$E_a = [(\sum P_i^2)^{-1} - 1] / [\exp(-\sum P_i \log P_i) - 1]$ 。

式中 P_i 为种 i 的相对重要值; n_i 为种 i 的重要值, N 为种 i 所在层所有种的重要值之和, S 为种 i 所在样地所在层的物种数 J 。

2 结果

纸坊沟地处森林(落叶阔叶林)和草原的过渡区。从环境条件来说,由于纸坊沟地形复杂多样,不

同的坡度、坡向以及沟坡的不同部位造成了水分、光照、热量以及土壤的差异,形成一个个不同的小生境。森林和草原群落同时出现在同一气候条件下,并处于激烈的竞争状态,最终形成两种群落成分在不同微地形上较稳定的镶嵌分布。本文按照乔、灌、草三个大类进行多样性分析。

2.1 草本植物群落丰富度及多样性比较

从表 1 可以看出,7 个草本群落中,铁杆蒿群落(*Artemisia sacrorum*)和芨蒿(*Artemisia giraldii*)群落的物种丰富度指数 S 、多样性指数 D 、 H' 及种间相遇机率 PIE 指数最高,均匀度指数仅次于白羊草(*Bothriochloa ischenum*)群落,这和纸坊沟流域草本群落中以两个群落分布最广、面积最大、植物种类成分最多的实际情况相符。同时这两个群落相比较,铁杆蒿群落(阴坡)各项指数又大于芨蒿群落(阳坡),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、光照等生态因子有关。

长芒草群落(*Stipa bungeana*)和白羊草群落的 6 个指数相近,这是由于两个群落在物种数目和组成结构上相似,和前两个群落相比,二者的丰富度指数和多样性指数都远低于前两个群落,这是因为长芒草和白羊草生长在土层较薄、铁杆蒿和芨蒿难以生长的地方,长芒草和白羊草须根发达,竞争力强,各自在自己的群落内占有绝对优势,其它物种很难与之竞争,导致物种组成较少,丰富度和多样性指数较低。同时,其它物种较少且均一,使得这两个群落均匀度指数反而较高,甚至超过前两个群落。

茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)和甘青针茅(*Stipa przewalskyi*)群落的 6 个指数较为相似,物种多样性低,均匀度小,说明两个群落结构较前 4 个群落简单。厚穗滨草(*Aneurolepidium dasystachys*)群落分布在水分条件较好的沟道中,厚穗滨草过于繁盛(80 株/ $m^2 \sim 100$ 株/ m^2),导致群落内其它物种很少且分布不均,从而使以上 6 个指数都较低。

表 1 草本群落物种丰富度及多样性比较表

Table 1 the richness, diversity and evenness of herb communities

多样性指数	厚穗滨草	铁杆蒿	长芒草	白羊草	芨蒿	茵陈蒿	甘青针茅
S	5.50	18.25	8.50	7.25	13.25	6.00	6.00
D	0.55	0.89	0.82	0.69	0.84	0.61	0.62
H	1.13	2.53	1.90	1.48	2.17	1.21	1.32
PIE	3.29	5.34	4.92	4.12	5.07	3.64	3.70
J_{sw}	0.67	0.87	0.90	0.75	0.84	0.68	0.74
J_{gi}	0.67	0.94	0.94	0.80	0.91	0.73	0.74
E_a	1.09	1.77	1.85	1.39	1.73	1.24	1.17

2.2 灌木群落丰富度及多样性比较

2.2.1 灌木层群落物种丰富度及多样性比较

从表 2 可以看出, 尽管人工沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 林和柠条 (*Caragana korshinski*) 林这两种群落已经有 25a 的发育历程, 但灌木层仍没有其它物种出现。主要原因是着两个群落初植密度大, 限制了其它物种的入侵和定居。可见, 人工建造植被对群落结构有着长期而重要的影响。我们这里重点讨论天然灌木群落的情况。从表 2 看出, 从物种丰富度上来看, 杂灌木群落> 树锦鸡儿 (*Caragana pygmaea*) 群落> 狼牙刺 (*Sophora vivifolia*) 群落。从物种多样性来看: Shannon-wiener 指数 H' 和种间相遇机率 PIE 指数相一致, 均为杂灌木群落> 树锦鸡儿群落> 狼牙刺群落, 而 Simpson 指数 D 则不同, 为树锦鸡儿群落> 杂灌木群落> 狼牙刺群落。

Simpson 指数和 Shannon-wiener 指数产生这种差异的原因是: Simpson 指数是一个把种的多度和种的均匀度结合起来的指数, 致使一个种数少、均匀度高的集合与种数多、均匀度低的集合有相同的多样性, 甚至前者的多样性比后者还高; Shannon-wiener 指数则把种的多度和种的均匀度分别计算, 所以能更客观的反映实际情况。

从物种均匀度上来看, J_{gi} 和 E_a 指数结果一致, 为树锦鸡儿群落> 狼牙刺群落> 杂灌木群落。 J_{sw} 指数为杂灌木群落> 树锦鸡儿群落> 狼牙刺群落。 Pielou 的 J_{gi} 和 J_{sw} 指数出现差异的原因是二者分别由 Shannon-wiener 指数和 Gini 指数带入 Pielou 公式中得到的。而后者更强调物种丰富度在群落种的作用, 更能反映物种数在群落中的重要影响。

表 2 灌木林灌木层物种丰富度及多样性比较表
Table 2 the richness, diversity and evenness of bush layer of bush communities

多样性指数	人工柠条	人工沙棘	树锦鸡儿	狼牙刺	杂灌木
S	1	1	5. 0	2. 00	8. 00
D	0	0	0. 72	0. 35	0. 52
H'	0	0	1. 43	0. 53	2. 30
PIE	—	—	4. 31	2. 10	7. 07
J_{sw}	—	—	0. 89	0. 77	1. 15
J_{gi}	—	—	0. 90	0. 70	0. 59
E_a	—	—	1. 67	0. 86	0. 29

2.2.2 草本层群落物种丰富度及多样性比较

从表 3 可以看出, 杂灌木林下草本 6 个指数最高, 说明该群落灌草两层的群落结构较好, 物种利用空间资源较合理。
其余 4 个群落中, 物种多样性指数及种间相遇机率指数所得结果相同, 为人工沙棘> 人工柠条>

树锦鸡儿> 狼牙刺群落。
均匀度指数中, 人工沙棘和人工柠条的物种均匀度指数相差很小, 可以认为二者无差别。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 3 灌木林下草本层群落物种丰富度及多样性比较表
Table 3 the richness, diversity and evenness of the herb layer of bush communities

多样性指数	人工柠条	人工沙棘	树锦鸡儿	狼牙刺	杂灌木
S	5. 50	6. 25	7. 00	5. 50	11. 00
D	0. 74	0. 75	0. 63	0. 56	0. 85
H'	1. 47	1. 60	1. 35	1. 12	2. 11
PIE	4. 41	4. 50	3. 78	3. 35	5. 11
J_{sw}	0. 87	0. 88	0. 71	0. 67	0. 89
J_{gi}	0. 90	0. 89	0. 74	0. 69	0. 94
E_a	1. 75	1. 68	1. 24	1. 15	1. 93

2.3 乔木群落物种丰富度及多样性比较

对纸坊沟流域及邻近流域植被调查发现, 该区没有天然乔木林存在, 本研究选取纸坊沟最有代表性的人工刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 林、油松 (*Pinus*

tabulaeformis) 林及油松—紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*) 林为研究对象, 调查发现, 上述三个群落样地中仅刺槐林下有灌木存在, 所以这里仅对这三个群落的草本层物种丰富度及多样性进行比较。

表 4 乔木群落物种丰富度及多样性比较表
Table. 4 the richness, diversity and evenness of the tree communities

多样性 指数	人工刺槐林			人工油松林			人工油松—紫穗槐林		
	乔木层	灌木层	草本层	乔木层	灌木层	草本层	乔木层	灌木层	草本层
<i>S</i>	1.00	2.00	5.50	1.00	1.00	9.00	1.00	1.00	9.50
<i>D</i>	0	0.34	0.62	0	0	0.82	0	0	0.81
<i>H</i>	0	0.52	1.27	0	0	1.94	0	0	1.90
<i>PIE</i>	—	2.02	3.74	—	—	4.91	—	—	4.84
<i>J_{sw}</i>	—	0.75	0.76	—	—	0.89	—	—	0.85
<i>J_g</i>	—	0.67	0.77	—	—	0.93	—	—	0.91
<i>E_a</i>	—	0.82	1.34	—	—	1.82	—	—	1.72

从表 4 可以看出, 各指数比较的结果一致, 均为人工油松林下草本层>人工油松—紫穗槐林下草本层>人工刺槐林下草本层。原因可能是油松林处于阴坡, 且现存密度较小, 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。而刺槐林分密度较大, 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上层乔灌层影响。

2.4 群落总体的物种丰富度及多样性比较

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^[5,9], 但高贤明认为^[7], 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

$$W_i = (C_i / C + H_i / H) / 2$$

式中 *C* 为群落的总盖度 ($C = \sum C_i$), ($i = 1$, 乔木层; $i = 2$, 灌木层; $i = 3$, 草本层, 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加权参数; *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: *W₁* = 0.595, *W₂* = 0.227, *W₃* = 0.138。

群落总体多样性指数测度结果列入表 5。

从表 5 和图 1 可以看出: 表示群落物种多样性的 *D*、*H'* 及 *PIE* 指数变化趋势是一致的, 即天然灌丛(杂灌木灌丛、树锦鸡儿灌丛、狼牙刺灌丛)的物种

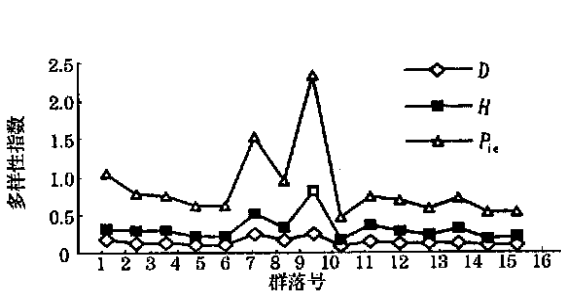


图 1 群落多样性指数变化图

Fig. 1 The index of the community diversity

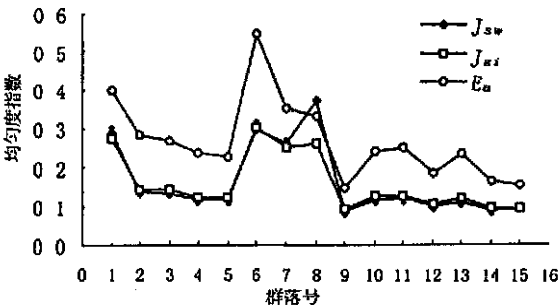


图 2 群落均匀度指数变化图

Fig. 2 The index of the community evenness

表 5 群落总体多样性指数表

Table 5 the richness, diversity and evenness of communities

群落号 ¹⁾	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>PIE</i>	<i>J_{sw}</i>	<i>J_{gi}</i>	<i>E_a</i>
1	1.92	0.17	0.32	1.05	0.29	0.27	0.40
2	2.02	0.13	0.31	0.78	0.14	0.15	0.29
3	2.13	0.13	0.30	0.77	0.13	0.14	0.27
4	0.99	0.10	0.20	0.61	0.12	0.12	0.24
5	1.09	0.10	0.22	0.62	0.12	0.12	0.23
6	2.10	0.25	0.51	1.50	0.30	0.31	0.55
7	1.21	0.16	0.31	0.94	0.27	0.25	0.35
8	3.33	0.20	0.81	0.31	0.37	0.26	1.33
9	0.76	0.08	0.16	0.45	0.09	0.09	0.15
10	2.52	0.12	0.35	0.74	0.12	0.13	0.24
11	1.17	0.11	0.26	0.68	0.12	0.13	0.26
12	1.00	0.09	0.20	0.57	0.10	0.11	0.19
13	1.83	0.12	0.30	0.70	0.12	0.13	0.24
14	0.83	0.08	0.17	0.50	0.09	0.10	0.17
15	0.83	0.09	0.18	0.57	0.10	0.10	0.16

1)1—人工刺槐林; 2—人工油松林; 3—人工油松—紫穗槐林; 4—人工拧条林; 5—人工沙棘林; 6—树锦鸡儿灌丛; 7—狼牙刺灌丛; 8—杂灌木灌丛; 9—厚穗宾草群落; 10—铁杆蒿群落; 11—长芒草群落; 12—白羊草群落; 13—芡蒿群落; 14—茵陈蒿群落; 15—甘青针茅群落

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。人工乔木林指数较高的原因是其具有乔灌草三层结构,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。可见物种多样性指数能够较好的评价一个地区的群落结构,从群落的结构也可以较好的反映群落的功能情况。从反映群落差异上讲, *PIE* 指数最灵敏, *D* 和 *H'* 较不敏感。

从表5和图2可以看出,表示群落物种均匀性的 *J_{sw}*、*J_{gi}* 和 *E_a* 指数也呈现出较为一致的变化趋势,即:天然灌丛均匀度最大,人工乔木林和草本群落相近,但略高于草本群落。从反映群落差异上来看, *E_a* 指数最敏感, *J_{sw}* 和 *J_{gi}* 指数则对群落的变化不敏感。

3 结论

1. 群落总体多样性指数和均匀度指数都得出基本一致的结论:天然灌木林物种多样性最高,均匀度最大;人工乔木林和天然草本接近;人工灌木林的多样性和均匀度最小。

2. 工林纯林(包括纯乔木林、纯灌木林及单一乔灌混交林)具有很强的抵抗其它乔灌物种入侵和

定居的能力,对林下草本也有很强的控制能力。

3. 各种多样性指数及均匀度指数的灵敏性具有一定的差别。从反映黄丘区植物群落多样性及均匀度指数来看,7个指数都能较客观、全面的反映这两个方面。但种间相遇机率指数 *PIE* 和 *Alatalo* 均匀度指数 *E_a* 对样方差异反映敏感,是两个较好的指标。因此,在评价群落多样性和均匀度时,要多选几个参数,避免单一指标带来的片面性。

参考文献:

[1] WRI, IUCN and UNDP. Global biodiversity strategy: Guideline for action to save, Study and use biotic wealth and equitably. Washington, D.C. 1992.

[2] 卢宗凡, 梁一民, 刘国彬. 黄土高原生态农业[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997: 15~18.

[3] 李博. 普通生态学[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1993: 104~117.

[4] 马克平. 生物多样性的测度方法[A]. 见: 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.

[5] 郝占庆, 陶大立, 赵士洞. 长白山北坡阔叶红松林及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.

[6] 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.

[7] 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.

The Research of Species Diversity after the Vegetation Restoration in Loess Hilly Region

WANG Guo-liang, LIU Guo-bin and HOU Xi-lu

(*Water and Soil Conservation Institute of Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, Yanglin, Shaanxi, 712100 China*)

Abstract: The research on species diversity in Loess hilly region is relatively less, and no research on species diversity after vegetation restoration has been reported in this region. But the research on species diversity has guidance to vegetation rebuilding, according to the research on the natural and artificial communities by six indexes of species diversity in Zhifanggou watershed. We found that the natural bush communities have the highest index of the diversity and the evenness, and the artificial arbor communities have no distinct difference with that of the natural herb, and the artificial bush communities have the lowest index of diversity and evenness. The artificial communities can prevent other bush and arbor from invading and resident. It is important to plan a rational density at the beginning of planting for building a community with high species diversity.

Key words: loess hilly region; vegetation restoration; species diversity

征集英文科技论文启事

为了有效地开展和扩大学术交流, 有力地 向国际学术界推介和宣传中国山地科学学者及其研究成果, 更好地使中国山地研究与国际山地研究接轨, 本刊已从去年开始不定期插发少量英文科技论文。据反馈信息, 插发英文科技论文形式可取, 效果较好。为此, 本刊今后将坚持不定期插发英文科技论文。(由于《山地学报》从 今年开始已将原来的每期 96 页增至每期 128 页, 所以插发英文论文后, 并不会减少中文论文的信息量。)

现将征集英文科技论文有关事宜通告如下:

1. 选题

宜集中在两方面:

- (1) 山地环境演变及其与人类活动关系 要求从野外观测实验中实际获取的第一手资料总结的成果;
- (2) 山区发展技术与管理经验 要求有区域代表性、可重复性、可操作性。

2. 内容

应是有国际学术交流背景和前提, 须与国际同类题材研究处在同一学术研究平台上。

3. 来稿方式

可以直接写成英文论文投稿(但须附对译中文稿), 也可先投中文稿, 待编辑部审定后, 再译成英文稿。

本刊对英文文稿优先处理, 优先发表, 一般在收到稿件 15 天内告之处理意见。一旦接受发表, 待刊期 30~50 天, 最长不超过 60 天。

《山地学报》编辑部