

黄土丘陵区沙棘群落天然化发育过程中 植物物种多样性研究

张希彪^{1,2}, 上官周平², 赵爱萍¹

(1. 陇东学院生命科学系, 甘肃 庆阳 745000;

2. 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 运用空间代替时间的方法, 对黄土丘陵沟壑区不同发育阶段(3 a、8 a、15 a、25 a)的沙棘人工林群落内植物的种类、盖度、密度等进行调查, 并分析了沙棘人工林群落天然化发育过程中物种多样性动态变化。结果表明:

1. 沙棘人工林群落天然化发育过程中主要以菊科、禾本科、豆科植物为主。其生活型变化为: 一年生草本群落→多年生草本群落→半灌丛群落→灌丛群落。2. 不同发育阶段沙棘群落灌木层物种丰富度呈增加趋势, 草本层的物种丰富度呈先减少后增加的趋势; 灌木层和草本层的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数在不同阶段沙棘群落中表现出大致相同的趋势, 即草本层>灌木层。同一层次的物种多样性指数 D' 和 H' 虽然数值不同, 但在不同发育阶段有基本一致的趋势。草本层多样性指数在荒草地阶段较高, 其他阶段的沙棘群落随发育时间的增加而减少; 灌木层物种多样性指数随发育时间的增加而呈波动性增加。3. 随着群落发育, 群落相似性增加。总体上, 随着沙棘群落的发育, 不同科属的植物种类在增加, 群落生态优势度增加, 到 15 a 时群落趋向稳定。

关键词: 黄土丘陵区; 沙棘群落; 物种多样性; 天然化发育

中图分类号: Q 948.12; S791.254

文献标识码: A

植被恢复是退化生态系统重建的重要途径和步骤^[1-4]。物种多样性是群落的重要特征, 植被恢复过程中物种多样性的变化反映了植被的恢复程度, 同时也是群落环境演变、种群侵入与扩散、竞争作用等生态过程共同作用的结果^[3-5]。沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 具极强的生态适应性, 是黄土高原地区能同时在森林带、森林草原带和典型草原带生长的少数树种之一^[6,7], 是典型的克隆植物^[4], 根蘖和空间拓展能力极强, 4~5 a 即可形成良好的灌木-草本群落, 具较高的水土保持效益, 被称为水土保持的“生态先锋树种”^[7-9]。在黄土丘陵区干旱阳坡、半阳坡和半阴坡其他乔灌木树种很难存活的情况下, 沙棘种群能够天然发育, 形成纯林或占优势的群

落^[8-10]。许多学者认为沙棘是植物群落次生演替过程的先锋种群, 即随着演替进展, 沙棘必将被地带性植被类型所代替^[5-9]。但也有学者认为, 在立地条件恶劣、植被稀少的地段, 沙棘能够依靠自身较高的繁殖能力和极强的适应性维持群落稳定性^[10,11]。然而, 这些争议都缺乏充足的理论依据。在黄土丘陵区实行退耕还林、利用自然力和乡土种封育天然生态系统的需求下, 研究沙棘人工林群落天然化发育过程中物种多样性动态特征, 对黄土丘陵区植被建设具有重要意义^[7-11]。迄今, 对黄土丘陵干旱区沙棘群落的研究仅限于分布、群落特征^[7]、种群数量动态^[10,11,13]、林地水分、养分等^[8,9]方面, 有关沙棘人工林天然化发育过程中生物多样性变化研究较

收稿日期 (Received date): 2006-11-20; 改回日期 (Accepted): 2007-03-01。

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展规划项目 (2002CB111502)、中国科学院西部行动计划项目 (KZCX1-06); 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室资助项目。[Supported by National State Key Basic Research Special Foundation Project (No. 2002CB111502)]

作者简介 (Biography): 张希彪 (1963-), 男, 甘肃武威市人, 副教授, 硕士, 研究方向: 植被生态学和景观生态学。[Zhang Xibiao (1963-), Associate professor mainly engaged in plant ecology and landscape ecology. E-mail: zhxbiao@163.com]

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

少。本研究以黄土丘陵区发育 3 a 8 a 15 a 25 a 的沙棘群落为对象,研究沙棘群落天然化发育过程中物种多样性动态变化特征,以揭示沙棘群落不同发育阶段的物种变化及群落稳定性,为黄土丘陵区严酷生境条件下沙棘林的自我更新和天然化以及退化森林草原生态系统的恢复和重建提供理论依据。

1 研究区自然和植被概况

研究区位于黄土高原中部偏南陕甘交界处的子午岭林区 (107°30′~109°40′E, 33°50′~36°50′N), 总面积 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海拔 1100~1756 m, 相对高度 200~400 m, 属黄土堆积与河流侵蚀的不断交替而形成的黄土丘陵沟壑地貌; 具有明显的大陆性气候特征, 属温带半干旱气候, 森林草原区^[14]; 年平均降水量为 450~640 mm, 7~9 月占全年降水的 61%, 年蒸发量 1500.8 mm, 干燥度 0.72, 年均气温 8.3℃, 空气相对湿度 60%~70%^[14]。沙棘群落是当地阳坡和半阳坡地区主要植被类型^[6-9]。主要种有沙棘、杠柳 (*Periploca sepium*)、达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica*)、黄刺玫 (*Rosa xanthina*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*)、土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens*) 等。草本植物主要有披针苔草 (*Carex lanceolata*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)、黄芪 (*Astragalus*)、芡蒿 (*Artemisia giraldii*)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaris*)、铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*)、甘草 (*Glycyrrhiza*)、棘豆 (*Oxytropis*) 等^[14]。

2 研究方法

2.1 样地调查

本研究采用空间代替时间的方法。为了使不同发育阶段的沙棘群落具有可比性, 经过充分踏查后, 于 2005~06~08 选择生境条件基本一致、群落发育较为完整的不同发育年限 (3 a 8 a 15 a 25 a)、沙棘占绝对优势、群落盖度较大的地段设置样地。作为对照, 选择 2000 年封禁的阳坡和半阳坡的荒草坡, 其生境条件基本一致, 均为经过放牧、樵柴破坏, 留有沙棘残桩。取样面积为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, 共设置样地 30 块, 其中不同发育年限的沙棘人工林群落及对照样地各 6 块。在每个样地内分别设置 5 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的灌木样方和 5 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本样方。调查记录各样地内群落总盖度、灌木、草本层的平均高

度、盖度; 各样方内灌、草本分物种的个体数量、高度、盖度、频度、基径和冠幅等。

2.2 物种多样性测度

统一应用各个物种在该层 (灌、草) 中的重要值, 对各层的物种多样性进行测度^[15-18]。

1. 重要值 $IV = \text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}$

2. 物种丰富度指数: $R_0 = S$

3. Simpson 指数 $D = 1 - \sum [N_i(N_i - 1) / N(N - 1)]$

4. Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum P_i \ln P_i$

5. Pielou 均匀度指数: $J_{we} = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S$

6. A latalo 均匀度指数: $E_a = [(- \sum P_i^2) - 1 - 1] / [\exp(- \sum P_i \ln P_i) - 1]$

式中 S 为样方的植物种类总和, 即丰富度指数; n_i 为第 i 个种的重要值, N 为群落的所有物种重要值之和, $P_i = n_i / n$ 为种 i 的个体数占所有种的个体数的比率。

2.3 群落相似性系数

采用 Sorensen 相似性系数计算群落的相似度: $C = Z_j / (a + b)$, 其中 Z_j 为两个不同发育阶段群落的共有种重要值的总和, a 和 b 分别为 2 个不同发育阶段群落中所有种重要值的总和。

3 结果与分析

3.1 不同发育阶段沙棘人工林群落的结构及物种构成特征

3.1.1 物种构成特征

从物种的构成来看, 在沙棘人工林群落天然化发育过程中伴随着植被发育和植物种类的更替, 植物物种增加, 群落组成更加复杂化和多样化 (表 1)。从开始发育到 25 a 的沙棘群落, 样方中共出现了高等植物 35 种, 其中菊科植物 8 属 10 种, 禾本科植物 6 属 6 种, 豆科植物 4 属 6 种, 三科合计 26 种, 占全部种数的 45.71%。从重要值来看, 菊科植物在发育 15 a 的群落中占重要地位。禾本科植物种类变化不大, 但重要值较大, 对群落的作用较大。沙棘种群的重要值随发育年限的增加呈波动性变化, 在 8 a 时, 沙棘种群的重要值最大, 达到了 214.38, 形成了沙棘优势群落, 对群落功能起主导作用^[7], 其后略有下降, 并保持稳定。

3.1.2 物种的生活型结构

在沙棘群落发育初期 (发育 3 a), 群落的灌木郁闭度较小, 沙棘林内光照充足, 阳生性物种出现的频度高, 主要由 1 a生和 2 a生的草本植物组成 (表 2)。当群落发育到近成熟阶段 (发育 8 a), 沙棘成了林分的优势种群, 由于沙棘种群的扩张, 林内阳生性植物得不到充足的光照, 1 a生草本植物的生长受到抑制, 频度逐渐减少并逐渐从沙棘林主要成分中退出, 喜荫湿的草本植物种类不断增加。进入成熟林阶段 (发育 15 a)沙棘生长速度开始减慢, 林下阳生性植物的生长发育和恢复有了较好的条件, 阳生

性草本植物再次出现, 喜欢荫湿的草本植物逐渐下降。过成熟龄阶段 (发育 25 a), 林内灌木和草本的种类增加, 沙棘幼林已经成长发育起来, 该林分已经具有了自我更新能力, 并对生态系统功能维持和群落环境演化起重要作用。多年生植物具有比 1 a生植物更强的抵抗环境和维持群落稳定的能力, 物种生活型组成上的这种变化反映植被发育过程生态系统与功能的变化特征, 群落结构趋于稳定, 生态功能增强^[1-4]。

表 1 植被发育系列上沙棘群落种类组成结构

Table 1 Family structure of species of *Hippophae rhamnoides* communities in restoration hillclosed and afforested processes

发育年限 Hillclosing and Afforestation ages	总 属 数 N _g	总 科 数 N _f	菊科 Compositae			禾本科 Gramineae			豆科 Leguminosae			沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	
			属数	种数	重要值	属数	种数	重要值	属数	种数	重要值	重要值	
			N _g	N _s	S _v	N _g	N _s	S _v	N _g	N _s	S _v	S _v	
荒草坡 Barren grassland	13	7	3	5	85.65	433	5	99.62	2	2	51.48	64.37	
3 a	14	8	4	5	93.43	5	6	112.18	3	3	68.73	137.16	
8 a	14	8	4	5	102.34	5	6	116.32	4	5	96.32	214.38	
15 a	16	8	5	6	82.28	4	4	86.68	4	5	103.16	173.81	
25 a	18	9	3	3	78.69	4	4	78.46	4	4	89.17	189.34	

注: N_g - 总属数; N_f - 总科数; S_v - 重要值; N_g - Number of genera; N_f - Number of families; S_v - Significant values

表 2 植被发育系列上沙棘群落种类组成的生活型结构

Table 2 Life form composition species of *Hippophae rhamnoides* communities along the hillclosed and afforested serial

发育年限 Hillclosing and Afforestation ages	1 a生草本植物 Annual herbaceous plants		2 a生草本植物 Biennial herbaceous plants		多年生草本植物 Perennial herbaceous plants		灌木 Shrubs	
	种数	重要值	种数	重要值	种数	重要值	种数	重要值
	N _s	Significant values	N _s	Significant values	N _s	Significant values	N _s	Significant values
荒草坡 Barren grassland	12	234.2	3	55.8	2	23.87	4	300
3 a	8	153.83	4	83.92	4	62.25	5	300
8 a	5	98.45	3	62.54	5	139.01	6	300
15 a	2	76.42	3	89.67	6	133.91	7	300
25 a	1	42.41	2	63.46	6	194.13	8	300

3.2 沙棘人工林群落发育过程中物种多样性变化

3.2.1 物种丰富度变化

沙棘群落天然化发育过程中灌木层物种丰富度一直呈现增加趋势, 草本层物种数呈现减少的趋势, 但在发育前期变化较少, 发育 25 a的沙棘群落中最少 (表 3)。这表明沙棘群落中草本的发育是受灌木层生长发育的影响, 主要是灌木层影响了草本所必须的光照条件和水分条件。

3.2.2 物种多样性变化

不同发育阶段的沙棘群落中植物分别按灌木层

和草本层 2 种生态型对多样性指数进行计算 (表 3), 灌木层和草本各层的 Simpson指数和 Shannon-wiener指数, 在不同阶段沙棘群落表现出大致相同的趋势, 即草本层 > 灌木层 (25 a时灌木层 > 草本层)。同一层次的物种多样性指数 *D* 和 *H'* 虽然数值不同, 但在不同阶段沙棘群落有基本一致的趋势, 灌木层物种多样性指数在发育 15 a的沙棘群落中最高, 荒草坡最低; 草本层多样性指数在发育 5 a的沙棘群落中最高, 荒草坡次之, 发育 25 a的沙棘群落中最低。

3. 2. 3 物种均匀度的变化

不同发育阶段沙棘群落中, 各层次植物物种均匀度指数没有相同的变化趋势 (见表 3)。灌木层 J_{se} 和 E_a 的变化趋势完全不同, J_{se} 的最高值出现在发育 15 a 的沙棘群落中, 而最低值出现在荒草坡阶

段。 E_a 的最高值出现在发育 8 a 的沙棘群落中, 而最低值出现在发育 25 a 的沙棘群落中。草本层 J_{se} 和 E_a 的变化趋势基本一致, 其最高值都出现在发育 8 a 的沙棘群落中; 最低值出现在发育 15 a 沙棘群落中。

表 3 不同发育阶段沙棘群落物种多样性指数
Table 3 Species diversity indices in a hillclosed and afforested sequence of *Hippophae rhamnoides* community

发育年限 Hillclosing and Afforestation ages	草本层 Shrub layer					灌木层 Herb layer				
	S	D	H'	J_{se}	E_a	S	D	H'	J_{se}	E_a
荒草坡 Barren grassland	17	0. 825 3	1. 998 7	0. 816 7	0. 772 8	4	0. 313 2	0. 612 4	0. 553 6	0. 562 7
3 a	16	0. 846 2	1. 725 1	0. 863 9	0. 842 7	5	0. 637 6	1. 282 7	0. 688 9	0. 574 3
8 a	13	0. 887 6	2. 196 8	0. 931 2	0. 867 3	6	0. 652 6	1. 372 4	0. 703 4	0. 653 8
15 a	11	0. 723 1	1. 472 9	0. 756 2	0. 723 4	7	0. 678 6	1. 465 3	0. 712 3	0. 534 9
25 a	9	0. 685 7	1. 312 4	0. 812 3	0. 794 3	8	0. 583 7	1. 421 3	0. 684 3	0. 428 3

注: S 、 D 、 H' 、 J_{se} 、 E_a 分别指: 物种丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Aitab 均匀度指数
Note S 、 D 、 H' 、 J_{se} 、 E_a means richness index, Simpson index, Shannon-Wiener index, Pielou index respectively and Aitab index

3. 2. 4 不同发育阶段沙棘群落中植物物种多样性特征比较

不同发育阶段沙棘群落在物种组成、结构和功能等方面存在的差异, 决定了它们在物种多样性 (丰富度, 多样性, 均匀度) 特征上也有一定的差异。在灌木物种多样性特征上, 荒草坡和其他各发育阶段沙棘群落的物种丰富度 (S)、Simpson 指数 (D) 和 Shannon-Wiener 指数 (H') 有差异, 其他无差异; 发育 3 a 与发育 8 a、15 a、25 a 的沙棘群落以及发育 15 a 和 25 a 的沙棘群落都无差异。在草本多样性特征

上, 荒草坡和发育 3 a 的沙棘群落没有差异; 荒草坡与发育 15 a 的沙棘群落 Shannon-Wiener 指数 (H') 有差异; 与发育 25 a 的沙棘群落物种丰富度 (S) 及 Shannon-Wiener 指数 (H') 有差异, 其他无差异; 发育 3 a 和发育 8 a、15 a、25 a 的群落 Shannon-Wiener 指数 (H') 有差异, 其他无差异; 发育 8 a 与发育 15 a、25 a 的沙棘群落物种丰富度 (S) 及 Shannon-Wiener 指数 (H') 有差异, 其他无差异; 发育 15 a 和发育 25 a 的沙棘群落各指数无差异 (表 4)。

表 4 不同发育阶段沙棘群落中物种多样性显著性检验
Table 4 Significant test of species diversity of *Hippophae rhamnoides* community in different stage of hillclosing and afforestation

层次 Layers	多样性指数 Diversity indices	t值 t-Value									
		A-B	A-C	A-D	A-E	B-C	B-D	B-E	C-D	C-E	D-E
草本层 Herb layer	S	-0. 896	-1. 945	-1. 512	-3. 591*	-2. 431*	-3. 198*	-3. 248*	-0. 884	-0. 945	-1. 937
	D	-0. 634	-0. 732	-0. 914	-0. 997	-1. 328	-1. 861	-1. 986	-0. 743	-0. 832	-1. 364
	H'	-1. 167	-1. 576	-2. 883*	-3. 361*	-2. 346*	-2. 883*	-2. 974*	-2. 866*	-2. 938*	-0. 996
	J_{se}	-1. 016	-1. 125	-1. 327	-0. 931	-1. 125	-1. 327	-1. 532	-0. 834	-0. 925	-0. 726
	E_a	-0. 912	-0. 834	-0. 634	-0. 425	-0. 621	-0. 763	-0. 942	-0. 984	-1. 252	-0. 664
灌木层 Shrub layer	S	-3. 643*	-3. 438*	-3. 102*	-3. 796*	-1. 134	-1. 324	-1. 586	-0. 976	-1. 214	-0. 637
	D	-3. 1961*	-3. 195*	-3. 194	-3. 182*	-1. 245	-1. 716	-1. 823	-1. 214	-1. 335	-0. 914
	H'	-2. 894*	-3. 125*	-3. 536*	-2. 779*	-0. 832	-0. 947	-1. 145	-0. 906	-1. 143	-1. 638
	J_{se}	-1. 433	-1. 547	-2. 298	-2. 637	-1. 135	-1. 298	-1. 334	-0. 884	-0. 982	-0. 912
	E_a	-1. 883	-1. 432	-0. 731	-1. 317	-1. 352	-1. 752	-1. 763	-1. 365	-1. 527	-1. 392

注: A、B、C、D、E 分别为荒草地、发育 3 a、8 a、15 a、25 a 沙棘群落; 自由度 $f = 5$, $T_{0.05} = 2. 756$, * 差异显著
Note A、B、C、D、E means Barren grass land, Hillclosing and afforestation 3 a, 8 a, 15 a, 25 a, T degree of freedom, $f = 5$, $T_{0.05} = 2. 756$, * Difference is significant

3.3 群落相似性分析

从表 5 可以看出, 所有群落相似性系数有一个规律: 随着发育时间的延长, 群落之间的演替时间相隔越长, 则相似性系数越低, 表明群落之间的物种组成差异也越明显^[11], 每一发育阶段的群落类型总是与其下一阶段最邻近的群落具有较高的相似度。相

似性系数的这种变化表明了群落演替过程中物种组成结构的渐变性。随着发育进展, 相邻发育阶段的群落相似性系数越来越大, 表明群落的组成结构趋向均匀和稳定, 发育 15 a 与 25 a 的群落之间相似系数达到 0.785 7, 说明沙棘群落正趋向于稳定。

表 5 不同发育年限的沙棘群落的相似性系数

Table 5 Similarity of *Hippophae rhamnoides* communities in series of hillclosed ages

发育年限 Hillclosing and Afforestation ages	发育年限 Hillclosing and Afforestation ages				
	荒草坡 Barren grassland	3 a	8 a	15 a	25 a
荒草坡 Barren grassland	1	0.681 6	0.316 5	0.294 3	0.231 7
5 a		1	0.681 3	0.443 6	0.364 8
8 a			1	0.532 4	0.428 6
15 a				1	0.792 4
25 a					1

4 结论与讨论

黄土丘陵区植被恢复过程中存在着明显的物种更替、群落环境变化等次生演替现象。群落演替的实质是物种的更替, 是物种的环境适应性、群落环境的演变、种间竞争作用等生态因子共同作用的结果^[5]。物种组成与群落恢复的动态变化格局反映了生态系统恢复过程群落环境的变化和生物多样性对这种变化的响应过程^[2-5]。

在黄土丘陵区沙棘天然化发育过程中, 物种组成与当地的植物区系组成基本一致, 即以菊科和禾本科植物为主, 其生活型变化为: 1 a 生草本植物 → 2 a 生草本植物 → 多年生草本植物 → 半灌木 → 灌木^[4]。不同发育阶段沙棘群落灌木层物种丰富度呈增加趋势, 草本层的物种丰富度呈先减少后增加的趋势; 灌木层和草本层的 Simpson 指数和 Shannon - Wiener 指数在不同阶段沙棘群落中表现出大致相同的趋势, 即草本层 > 灌木层。同一层次的物种多样性指数 D' 和 H' 虽然数值不同, 但在不同发育阶段有基本一致的趋势。草本层多样性指数在荒草地阶段较高, 其他阶段的沙棘群落随发育时间的增加而减少; 灌木层物种多样性指数随发育时间的增加而呈波动性增加。

黄土丘陵区水分条件差, 不足以维持植被的发展, 所以较耐旱的植物作为先锋植物出现在荒草坡

阶段^[1-3]。较早入侵的植物大多数为草本植物和部分小灌木, 相对较高的环境异质性为具有不同生物生态习性的草灌木提供了相对丰富的生存空间, 优势物种不太明显, 所以处于该发育阶段的群落内具有较高的草本物种多样性^[2-4, 18]。当依靠种子萌发和极强的根蘖繁殖的沙棘在荒草坡定植后, 迅速形成含沙棘幼苗幼树的草灌丛。由于幼苗幼树个体小, 立地能容纳的个体数量多, 种群密度逐年增大, 约在 8 a 时达到最大值。随着个体的生长, 林冠逐渐郁闭, 灌木和草本植物间的层次结构日益明显。种内竞争导致的种群自疏作用产生, 死亡率增加, 使种群密度急剧下降 (11~15 a)。此时还有少量的其他一些阔叶树种侵入, 它们与沙棘发生种间竞争引起它疏, 其结果仍可导致沙棘种群密度的下降, 但这种作用较弱。由于相对物种变化而言的环境变化的滞后性, 该阶段灌木和草本植物的物种多样性依然很高, 沙棘种群占绝对优势地位^[10, 11]。这种密度的波动性变化保证了沙棘在群落中的稳定性, 并使得群落向更稳定的阶段恢复^[10-12]。

在沙棘群落天然化发育过程中, 物种多样性最高的群落并不是发育时间最长的群落^[1-4], 而是恢复中间时期 (15 a) 的群落, 这时群落环境得到了改善, 为更多的物种提供了生存空间, 使物种多样性达到最大, 而这个阶段只是一个中间的过渡阶段, 随着沙棘群落发育时间的增加, 群落向着更稳定的阶段发育。

从相似性系数分析表明,随着沙棘群落的发育,相邻恢复阶段的群落相似系数越来越大,表明沙棘群落的组成结构趋向于稳定。25 a 的发育时间,沙棘群落从荒草坡发展到较为稳定的群落,群落环境得到了良好的改善,物种多样性达到了较高的水平。所以在水分条件较差的黄土丘陵区,在植被发育和重建中,只要实行严格的封禁措施,为植物物种的入侵、定居、繁殖和发展提供良好的环境条件,自然状态下的植被就可以得到较快的恢复,并发挥良好的生态功能^[1-4]。本研究中发育 15 a 的沙棘群落已形成了沙棘优势群落,并趋于稳定,但这在植被发育中只是初期阶段,由于研究区属于森林草原区,地带性植被是森林草原^[14],所以该群落将向哪个方向发展,需要进一步探讨。

参考文献 (References)

- [1] Wen Yuanguang, Yuan Changan, Li Xinxian, *et al.* Development of species diversity in vegetation restoration process in mountain region of danlingshan guangxi [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(1): 33~40 [温远光, 元昌安, 李信贤, 等. 大明山中山植被发育过程植物物种多样性的变化 [J]. *生态学报*, 1998, 22(1): 33~40]
- [2] Wang Guoliang, Liu Guobin, Liu Fang, *et al.* Changes in composition and structure of plant communities during the course of restoration at loess gully region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2551~2557 [王国梁, 刘国彬, 刘芳, 等. 黄土沟壑区植被发育过程中植物群落组成及结构变化 [J]. *生态学报*, 2003, 23(12): 2551~2557]
- [3] Zhang Guangfu. Species diversity of a shrub community in Tiantong region, Zhejiang Province and its implication for succession [J]. *Chinese Biodiversity* 2000, 8(3): 271~276 [张光富. 浙江天童山区灌丛群落的物种多样性及其与演替的关系 [J]. *生物多样性*, 2000, 8(3): 271~276]
- [4] Zhang Jiye, Zhao Halin, Cui Jianyuan, *et al.* Effects of clonal plants on community structure and function along a restoration gradient in horqin sandy land [J]. *Scientia Silvae Sinicae* 2005, 41(1): 5~9 [张继义, 赵哈林, 崔建垣, 等. 沙地植被恢复过程中克隆植物分布及其对植物物种多样性的影响 [J]. *林业科学*, 2005, 41(1): 5~9]
- [5] Richard S I, Nancey JH, Tilman D, *et al.* On-field succession on a minnesota sand plain [J]. *Ecology*, 1987, 68(1): 12~26
- [6] Li Genqian, Tang Denui, Zhao Yiqing. Summary research on community ecology of *Hippophae Rhamnoides* [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(5): 63~67 [李根前, 唐德瑞, 赵一庆. 沙棘群落生态学研究概述 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(5): 63~67]
- [7] Shangguan Tieliang, Zhang Feng, Li Xiaoling. Studies on the characteristics of community of *Hippophae rhamnoides* L. Subsp. *sinensis* scrub and its reasonable utilization in shanxi province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1996, 14(2): 153~160 [上官铁梁, 张峰, 刘晓玲. 山西沙棘灌丛的群落特征及其合理利用 [J]. *武汉植物学研究*, 1996, 14(2): 153~160]
- [8] Chen Yuming, Liu Guobin, Hou Xih. Ecological benefits of artificial seabuckthorn stands in semiarid hilly region of Loess plateau in soil and water conservation and soil moisture [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1389~1393 [陈云明, 刘国彬, 侯喜录. 黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(11): 1389~1393]
- [9] Ruan Chengjiang, Li Daqing. Community characteristics of *Hippophae rhamnoides* forest and water and nutrient condition of the woodland in loess hilly region [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2002, 13(9): 1061~1064 [阮成江, 李代琼. 黄土丘陵区沙棘群落特性及林地水分、养分分析 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1061~1064]
- [10] Zhang Wenhui, Guo Lianjin, Liu Guobin. Quantity dynamics of *Hippophae rhamnoides* population in different habitats standing in hilly loess regions [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 25(4): 641~647 [张文辉, 郭连金, 刘国彬. 黄土丘陵区不同生境沙棘种群数量动态分析 [J]. *西北植物学报*, 2005, 25(4): 641~647]
- [11] Li Genqian, Zhao Fenxi, Li Xizhai, *et al.* Density and biomass dynamics of *Hippophae rhamnoides* Subsp. *sinensis* population in muus Sandland [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(1): 180~184 [李根前, 赵粉侠, 李秀寨, 等. 毛乌素沙地中国沙棘种群数量动态研究 [J]. *林业科学*, 2004, 40(1): 180~184]
- [12] Li Jing, Shangguan Tieliang. Interspecific relationships of dominant species in *Hippophae rhamnoides* Subsp. *sinensis* community in the north of shanxi [J]. *Journal of Mountain Science* 2006, 24(2): 222~227 [李晶, 上官铁梁. 山西北部沙棘群落优势种种间关系 [J]. *山地学报*, 2006, 24(2): 222~227]
- [13] Li Genqian, Huang Baolong, Tang Denui, *et al.* Age structure dynamics and genetic consequences of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* clone population in muus sandland [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(3): 347~350 [李根前, 黄宝龙, 唐德瑞. 毛乌素沙地中国沙棘无性系种群年龄结构动态与遗传后果研究 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(3): 347~350]
- [14] Zhang Xiaobiao, Shangguan Zhouping. Floristic characteristics of seed plants in Ziwuling of loess plateau [J]. *Chinese Journal of Ecology* 2005, 24(8): 872~877 [张希彪, 上官周平. 黄土高原子午岭种子植物区系特征研究 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(8): 872~877]
- [15] Pielou E. C. *Ecological Diversity* [M]. New York: John Wiley and Sons, 1975.
- [16] Whittaker R. H. Evolution and measurement of species diversity [J]. *Taxon*, 1972, 21: 213~251
- [17] Ma Keping. Community measurement method of biodiversity (I) [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(3): 162~168 [马克平. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法 (I) [J]. *生物多样性*, 1994, 2(3): 162~168]
- [18] Cheng Ruimei, Xiao Wenfa, Li Jianwen. The study of biodiversity on hassocks in three Gorges reservoir area in China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(4): 502~506 [程瑞梅, 肖文发, 李建文. 长江三峡库区草丛群落多样性的研究 [J]. *山地学报*, 2005, 23(4): 502~506]

Species Diversity Change during the Natural Development Process of *Hippophae rhamnoides* L. Community in the Hilly Loess Regions

ZHANG Xibiao^{1,2}, SHANGGUAN Zhouping², ZHAO Aiping¹

(1. Longdong University, Qingyang 745000, Gansu, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract The plant species coverage and density in the *Hippophae rhamnoides* L. community for different growth phases in the hilly loess regions were investigated using the method of temporal and spatial substitution, and the dynamic changes of species diversity during the natural development process of *H. rhamnoides* community were also studied. The results showed that 1) The *H. rhamnoides* community was mainly dominated by the Compositae, Gramineae and Leguminosae families during its natural development process, and its life-form varied in the following order: annual herbaceous community → perennial herbaceous community → half-shrub community → shrub community. 2) The species richness of the shrub layer increased as the growth phase prolonged, but it decreased first and then increased for the shrub layer. The Simpson index and Shannon-Wiener index of shrub layer and herbaceous layer in different growth phases had similar varying trends, that is, herbaceous layer > shrub layer. Though the diversity indices D' and H' had different values in the same layer, they varied consistently in different growth phases. The diversity index of the herbaceous layer was relatively higher in the phase of deserted grassland, and the amounts of *H. rhamnoides* community in other phases decreased but the diversity index of the shrub layer increased fluctuant as the closing time prolonged. 3) The community similarity was more distinct as the closing time prolonged. In general, plant species of different families and genera increased and the ecological predominance of community increased as the closing time prolonged and the community became stable after 15 years.

Key words hilly loess region, *Hippophae rhamnoides* L. community, species diversity, natural development