

# 黄土丘陵区沙棘人工林发育过程中物种多样性及种间关联变化\*

郭连金<sup>1,2</sup> 张文辉<sup>1\*\*</sup> 刘国彬<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 西北农林科技大学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; <sup>2</sup> 上饶师范学院, 江西上饶 334001;

<sup>3</sup> 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 根据野外调查资料,分析了不同发育阶段沙棘人工群落物种多样性及种间关联的变化特征.结果表明,群落各层及总体物种多样性基本呈“S”形波动变化.在不同发育阶段的沙棘群落中,物种丰富度和多样性指数均呈现草本层>灌木层的趋势.灌木层物种多样性指数在撂荒地中较低,随群落发育逐渐增加,灌木层物种均匀度指数在13年生的沙棘林中较高;草本层多样性指数在3年生的人工林中较高,在8年生的人工林中较低,在25年生的人工林中较高.人工沙棘林中种间关联正负绝对值基本呈抛物线形变化,13年生左右显著程度和联结强度较弱,群落内物种间物种替代速度缓慢,竞争较少,群落组成和结构相对稳定.在沙棘人工林的经营和管理上,应是13年生以前以保护为主,到25年生时进行适度择伐,抚育萌生幼苗,促进种群更新发育.

**关键词** 物种重要值 相似性系数  $\alpha$ -多样性 种间联结性 人工林

**文章编号** 1001-9332(2007)01-0009-07 **中图分类号** Q948.1 **文献标识码** A

**Species diversity and interspecific association in development sequence of *Hippophae rhamnoides* plantations in loess hilly region.** GUO Lian-jin<sup>1,2</sup>, ZHANG Wen-hui<sup>1</sup>, LIU Guo-bin<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup> Shangrao Normal College, Shangrao 334001, Jiangxi, China; <sup>3</sup> Water & Soil Conservation Institute, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(1): 9-15.

**Abstract:** Based on field investigation, this paper analyzed the characteristics of species diversity and interspecific association at different development stages of *Hippophae rhamnoides* plantations. The results showed that the species diversities of shrub layer, grass layer, and whole community of *H. rhamnoides* plantations were all fluctuated in “S” shape. At different development stages, the species richness and diversity were higher in grass layer than in shrub layer. The shrub species diversity was lower on bare land, but increased gradually with development stage. Shrub evenness index was higher in 13-year forest stand, while grass diversity index was higher in 3-year plantation, lower in 8-year plantation, and higher in 25-year plantation. The positive and negative absolute values of interspecific association between *H. rhamnoides* and other principal species changed in parabola shape, and the notable degree and the interspecific association intensity were weaker in 13-year plantation, showing that the species substitution rate was slower, competition was less, and community composition and its structure were relatively stable. To improve ecological environment, the *H. rhamnoides* plantations younger than 13 years old should be given priority to protection, while for those of 25 years old, moderate thinning should be made to promote the regeneration.

**Key words:** species importance value; similarity index;  $\alpha$ -diversity; interspecific association; plantation.

\* 中国科学院知识创新工程项目“黄土高原水土保持与可持续生态建设试验示范研究”、黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501.159)和上饶师范学院科研基金资助项目(0610).

\*\* 通讯作者. E-mail: zwhckh@163.com.

2006-01-05 收稿, 2006-11-04 接受.

## 1 引言

植物群落物种多样性是反映植物群落组成结构和稳定性的重要指标. 种间关系是群落形成、演化和稳定性的重要数量特征<sup>[1,4,6-7,9]</sup>. 研究群落不同发育阶段物种多样性和种间关系,可以更好地认识群落的组成、结构和功能与环境的关系,为群落经营管理提供重要参考<sup>[5,8,21]</sup>.

沙棘(*Hippophae rhamnoides*)是黄土高原重要的水土保持树种和经济林树种. 沙棘人工林在黄土高原地区面积广,可自我更新,是黄土高原丘陵沟壑区较理想的人工群落. 沙棘造林后,随着群落的发育和乡土植物入侵,群落物种多样性增加,种间关系发生了一系列变化. 对沙棘人工群落天然化发育过程中物种多样性增加、物种关系及其联结性变化规律的研究,可以为沙棘林可持续经营利用、水土保持生态功能持续发挥提供重要参考<sup>[10]</sup>. 以往对沙棘林研究主要集中在水土保持效益、群落结构和分类方面<sup>[3,11,16-17]</sup>,对群落物种多样性及种间关联变化规律的研究不多. 本文分析了从撂荒地造林到幼龄林、成熟林阶段沙棘人工林物种组成、多样性变化以及种间关联变化趋势,旨在阐明不同发育阶段的沙棘人工林各物种重要值和多样性指数及种间联结性动态过程,为黄土高原沙棘人工林经营管理和持续利用提供依据.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然概况

研究区位于陕西省安塞县(36°51'N, 109°19'E)的纸房沟和县南沟流域. 地处黄土高原腹地,属典型的梁峁状丘陵沟壑区,海拔1010~1431 m. 属暖温带半干旱气候,年平均降雨量535 mm,年均气温8.8℃,≥10℃年均积温3113.9℃. 植被区划上属森林草原区,土壤类型主要为黄绵土<sup>[17,21]</sup>.

自20世纪70年代,中国科学院-水利部水土保持研究所对纸房沟流域进行了综合治理,分期分批地采取了封禁、营造人工林和人工草地等植被恢复措施. 人工沙棘林在该流域造林面积最大,生态效益最好,基本实现了自我更新和持续发展<sup>[3,10-11,16]</sup>. 从保留较好的沙棘人工群落来看,经过8年发育基本可达郁闭,13年达到成熟阶段,25年出现老龄个体死亡,更新幼龄个体(根蘖苗)增加,群落向更复杂方向发展. 该区沙棘造林普遍采用穴状整地、植苗造林. 造林株行距为1.5 m×1.5 m,所用沙棘幼苗均

为1年生实生苗,苗高平均0.27 m,基径平均0.16 cm. 县南沟流域与纸房沟流域相邻,从2000年开始治理,其中有大量的荒草坡<sup>[22]</sup>.

### 2.2 研究方法

**2.2.1 样地调查** 经过充分踏查,分别在纸房沟和县南沟选择处于不同发育阶段的人工林沙棘群落,在县南沟流域选择撂荒地和造林3年的沙棘人工林样地. 撂荒地是没有管护措施的荒草坡,灌草总盖度约为27%,平均高度0.20 m. 造林后发育了8年、13年和25年的人工群落选在纸房沟流域. 为了使不同封禁年代的群落有可比性及代表性,样地均为东向或西向坡地,坡度、坡位等生境条件基本一致(表1). 造林后管理措施一致,无灌溉、除草等其他抚育措施,基本做到了禁伐、禁牧. 不同发育阶段人工沙棘林各设置样地3块,共15块,样地面积为20 m×20 m. 在每个样地内设置5个5 m×5 m的灌木样方和5个1 m×1 m的草本样方. 调查内容:1)地形地貌、人为干扰、坡向、坡位、群落内外光照和相对湿度;2)群落学特征. 包括样地内灌草总盖度以及灌木、草本层的平均高度和盖度;样方内灌木层各物种个体坐标值、高度、基径,冠幅;草本层不同物种的个体数量、高度、盖度和基径;同时调查灌草层各物种的频度.

表1 人工沙棘群落不同发育阶段群落的生境概况

Tab.1 Habitat information for *H. rhamnoides* plantations at different development stages

地点 Location	海拔 Altitude (m)	坡位 Slope position	坡度 Slope (°)	坡向 Slope aspect	发育时间 Development time (a)
崖窑沟 Yayaogou	1130	中下部 Middle lower site	15-24	东南 ES	0
老林沟 Laolingou	1120	下部 Lower site	12-40	东北 EN	3
小范家沟 Xiaofanjiagou	1068	下部 Lower site	16-39	东南 ES	8
李塔沟 Litagou	1160	下部 Lower site	16-26	西南 WS	13
后沟 Hougou	1190	下部 Lower site	15-29	东南 ES	25

**2.2.2 重要值与相似性计算** 分别计算不同发育阶段3个样地内所有物种的重要值<sup>[2,7,14,22]</sup>. 采用 Sorensen 相似性指数,计算不同发育阶段群落的相似度( $C$ )<sup>[2,19,23]</sup>:

$$C = Z_j / (a + b)$$

式中, $Z_j$ 为共有种在两群落中重要值的总和, $a$ 和 $b$ 分别为两群落中所有物种重要值的总和.

**2.2.3 多样性计算** 以沙棘人工林不同发育阶段3块样地物种重要值为基础,计算不同发育阶段灌木

和草本层的物种多样性指数、物种丰富度指数( $S$ )、Simpson 指数( $D$ )、Shannon-Wiener 指数( $H'$ )、Pielou 均匀度指数( $J_w$ )和加权参数( $W_i$ )<sup>[2,7-8,14]</sup>。

**2.2.4 种间联结性计算** 选择各发育阶段重要值较高的、共有的 7 个种群,列表统计经过 3 年、8 年、13 年和 25 年发育的沙棘人工林中,不同种群在各样方中的出现(1)、不出现(0)矩阵。采用  $2 \times 2$  列联表、 $\chi^2$  检验、Jaccard 指数的分析方法,分别计算不同发育阶段 7 个种群与沙棘种群间的联结性及种对间的联结强度<sup>[5-6,9,13,15,20]</sup>。

**2.2.5 数据处理** 应用 SPSS 13.0 统计软件对数据进行回归分析和相关关系检验。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同发育阶段沙棘人工林物种多样性演化

**3.1.1 不同发育阶段植物种类组成动态特征** 在黄土高原丘陵沟壑区,沙棘造林后,乡土植物进入,群落郁闭度迅速增加,4~5 年时郁闭度就可由撂荒地的 30%~40% 达到 80%~90%<sup>[17]</sup>,8 年时,沙棘种群重要值最大,13 年左右时,沙棘个体开始出现衰老迹象,到 25 年时,萌生个体增加,老龄(原栽植)个体明显衰退,物种多样性再次增加。由表 2 可以看出,从撂荒地到发育 25 年的沙棘群落组成及其数量变化趋势为:随着发育时间的推移,灌木层植物物种增加了 4 个,增幅 200%;草本层物种增加 7 个,在演化中退出 3 个,总数增幅 22.7%。在沙棘群落中,虽然大多数是喜光耐旱植物,但是随着郁闭度增大,偏中生或中生的草本植物如葎蒿(*Artemisia anethoides*)、冰草(*Agropyron cristatum*)开始出现,重要值增加;而典型的阳生性草本植物如狭叶米口袋(*Gueldenstaedtia stenophylla*)、臭草(*Melica scabrosa*)和紫花地丁(*Viola yedoensis*)则消失;除建群种沙棘外,群落中其它物种重要值逐步趋于均衡。

**3.1.2 人工沙棘群落不同发育阶段相似性** 在沙棘人工林发育过程中,不同发育阶段植物物种的共有关系可以反映植物物种组成的替代情况<sup>[20]</sup>,是说明群落稳定的重要指标。由表 3 可以看出,随着发育时间的推移,相邻两阶段相似性系数逐渐升高。撂荒地至 3 年阶段相似性系数最小(0.854),说明经过整地和造林,群落结构和组成变化比较剧烈;随后,相邻群落间相似性系数增大,3~8 年为 0.899,8~13 年为 0.882,13~25 年为 0.938,说明随发育时间的推移,群落内物种替代速度减小,群落逐步趋于稳定。

表 2 人工沙棘群落不同发育阶段各物种的重要值  
Tab.2 Important values of species in *H. rhamnoides* plantations at different development stages

层次 Layer	种名 Species	发育时间 Development stage (a)					
		S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>25</sub>	
A	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	269.8	140.90	51.33	57.12	31.44	
	杠柳 <i>Periploca sepium</i>	30.20	14.144	3.07	51.21	48.16	
	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>		144.96	205.60	162.89	180.97	
	插田泡 <i>Rubus coreanus</i>				28.78	25.96	
	葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i>					13.47	
	B	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	62.76	60.22	53.76	15.33	44.07
		长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	27.90	25.72	5.09	11.23	18.32
		蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	26.75	6.23			7.88
		鼠掌老灌草 <i>Geranium sibiricum</i>	24.58	15.60		20.30	57.09
		苦苣菜 <i>Ixeris denticulata</i>	21.51	6.94	9.16	26.99	14.61
臭草 <i>Melica scabrosa</i>		14.52	2.80				
刺儿菜 <i>Cephalanoplos segetum</i>		13.28	11.18	3.84	19.86	4.59	
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>		13.20	11.11		7.90	2.75	
中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i>		13.10	26.75		5.08	6.15	
狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>		12.79	1.45				
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>		11.71	4.61		9.47	9.18	
艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>		11.33	1.98			4.72	
糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>		9.69	6.36	4.25	15.97	5.53	
紫花地丁 <i>Viola yedoensis</i>		7.77	2.36	4.52			
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>		7.53	45.98	8.47	12.50	12.41	
阿尔泰紫菀 <i>Heteropappus altaicus</i>		7.30	10.11	11.01	20.56	10.79	
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>		6.29	24.62	28.13	45.08	12.10	
白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>		6.07	2.00			9.49	
异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i>		1.92	1.88		7.10	2.79	
泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>			12.72	50.54			
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>		8.72	2.63	14.76	12.07		
葎蒿 <i>Artemisia anethoides</i>		5.14	9.10	15.56	14.93		
披针叶茜草 <i>Rubia truppeliana</i>		2.74	63.46	21.73			
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>			46.04	23.056	27.40		
山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>				7.53	6.15		
披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>					16.98		

A: 灌木层 Shrub layer; B: 草本层 Herb layer. S<sub>0</sub>: 撂荒地 Barren plot; S<sub>3</sub>: 发育 3 年 Developed for 3 years; S<sub>8</sub>: 发育 8 年 Developed for 8 years; S<sub>13</sub>: 发育 13 年 Developed for 13 years; S<sub>25</sub>: 发育 25 年 Developed for 25 years. 下同 The same below.

表 3 沙棘人工林不同发育阶段群落间的相似性系数

Tab. 3 Similarity index between communities of *H. rhamnoides* plantations at different development stages

相似性指数 Similarity index	发育时间 Development time (a)									
	$S_0-S_3$	$S_0-S_8$	$S_0-S_{13}$	$S_0-S_{25}$	$S_3-S_8$	$S_3-S_{13}$	$S_3-S_{25}$	$S_8-S_{13}$	$S_8-S_{25}$	$S_{13}-S_{25}$
	0.854	0.572	0.705	0.693	0.899	0.923	0.904	0.882	0.765	0.938

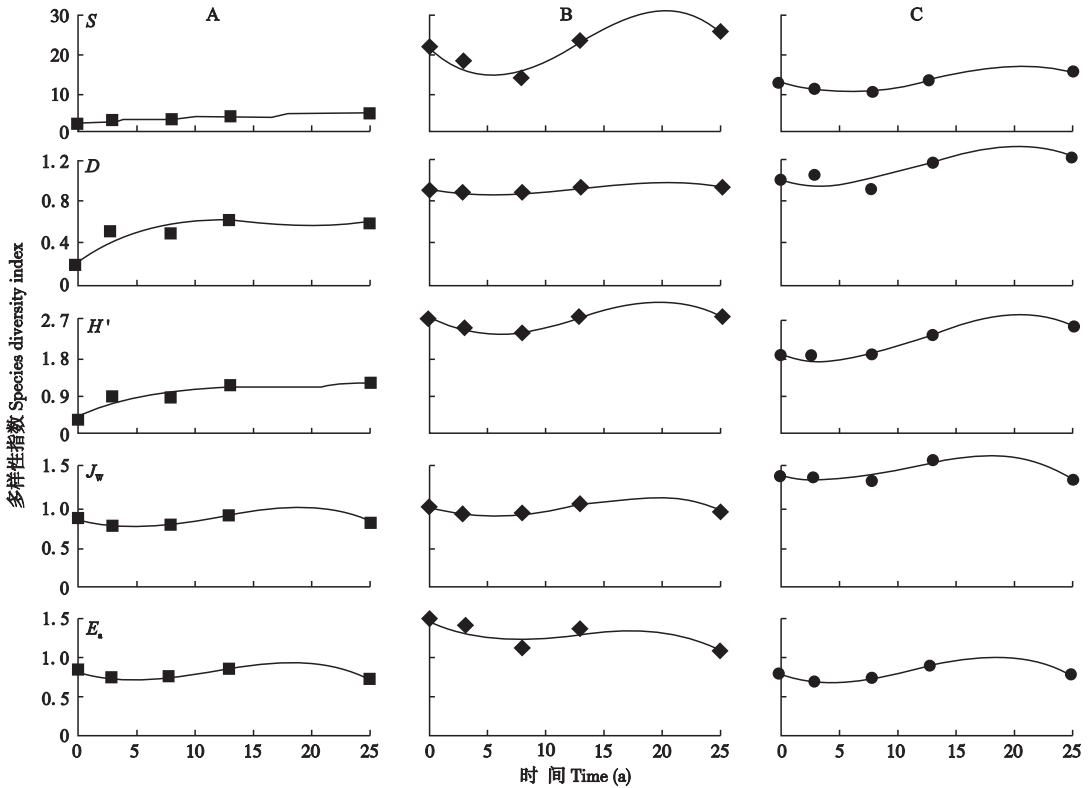


图 1 沙棘人工林不同发育阶段植物多样性指数动态

Fig. 1 Dynamics of the species diversity indices in a development sequence of *H. rhamnoides* plantations.

A: 灌木层 Shrub layer; B: 草本层 Herb layer; C: 总体 Whole community; S: 物种丰富度 Species richness; D: Simpson 多样性指数 Simpson diversity index;  $H'$ : Shannon 多样性指数 Shannon diversity index;  $J_w$ : Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index;  $E_a$ : Alatalo 均匀度指数 Alatalo evenness index.

**3.1.3 不同发育阶段沙棘人工群落物种多样性** 人工群落不同发育时期的多样性指数发生规律性变化, 说明了群落的稳定性<sup>[5,12,18]</sup>. 从撂荒地到造林 25 年间, 灌木层与草本层植物物种多样性指数均呈倒“S”型函数变化(图 1), 多样性指数在 20 年后略有下降. 从群落多样性发育过程来看, 草本层的多样性指数, 尤其是丰富度显著高于灌木层, 而均匀度指数则两层差异较小. 这可能是由于灌木层和草本层相互影响、相互制约的结果.

不同发育阶段( $x$ )与植物多样性指数( $y$ )拟合结果表明, 相关性达极显著水平( $P < 0.01$ )(表 4). 说明黄土丘陵区人工沙棘群落的发育过程是乡土物种侵入、各层物种多样性和均匀性逐渐增加的过程, 也是群落稳定性逐渐发展的过程.

由图 1 可以看出, 不同阶段沙棘群落总体物种

多样性变化趋势(C)与草本层多样性变化趋势(B)相似, 说明草本层在人工沙棘群落中起重要作用.

### 3.2 不同发育阶段人工沙棘林物种间联结性演化

从沙棘群落中选择重要值较大的 7 个种群, 分别检测其与沙棘种群种间联结性显著度和关联强度. 由图 2 可以看出, 7 个物种与沙棘的种间联结性卡方检验值及 Jaccard 关联指数均呈二次曲线型, 且相关系数均达到了极显著水平( $P < 0.01$ )(表 5). 在群落发育 13 年前后, 沙棘群落中 7 个优势种群中的多数种群与沙棘种群种间联结显著程度较低, 联结强度较弱, 没有显著的负相关, 也没有显著的正相关(卡方检验值的绝对值均小于 3.84), 种群间相对独立. 说明当群落发育到 13 年前后, 沙棘人工林群落内各个种群之间对资源的竞争相对较弱.

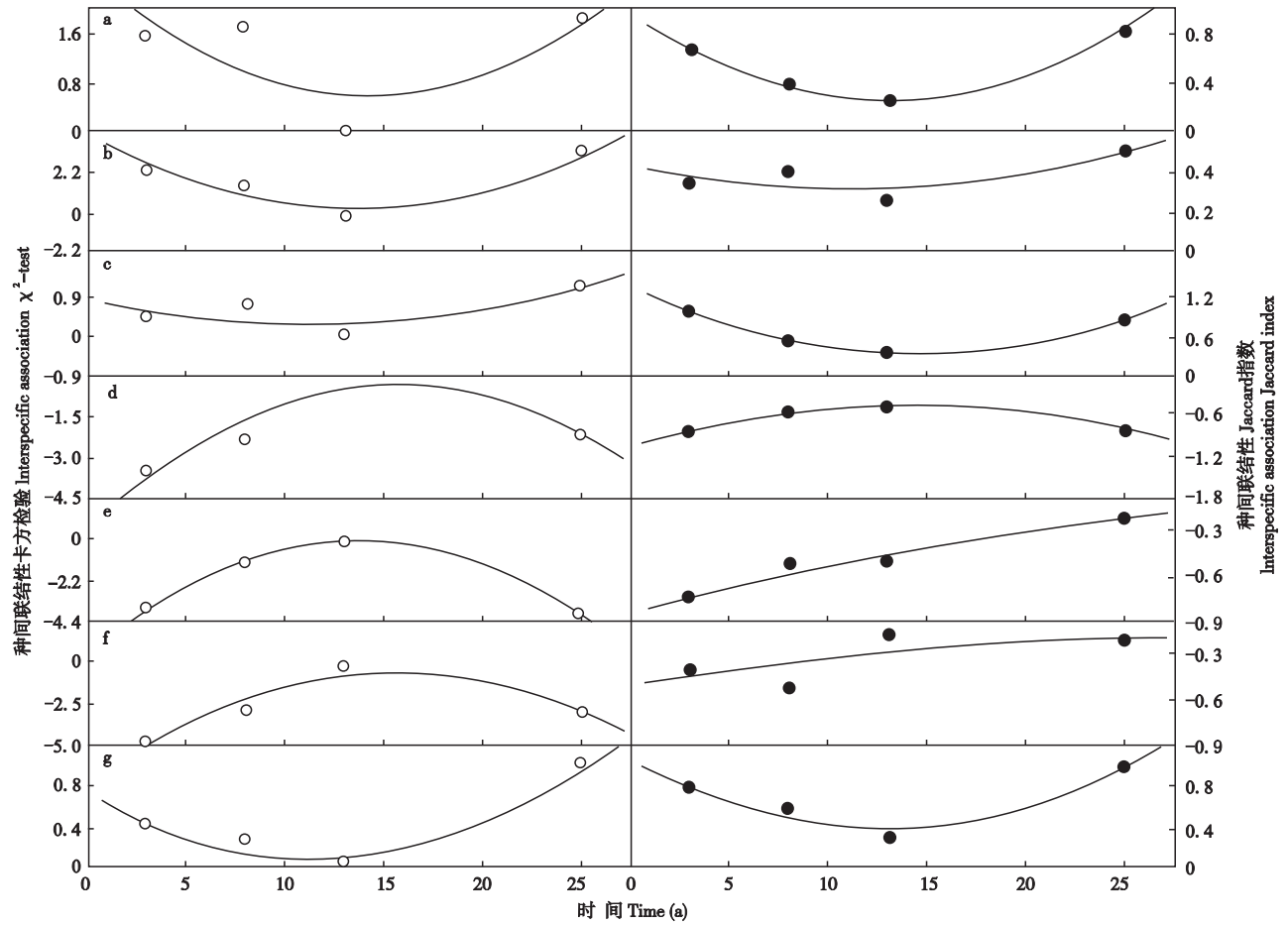


图2 不同发育阶段沙棘及其群落中7种优势种间联结性变化

Fig. 2 Changes of interspecific association between *H. rhamnoides* and 7 species in *H. rhamnoides* plantations at different development stages.

a) 达乌里胡枝子 *L. davurica*; b) 红柳 *P. sepium*; c) 茵陈蒿 *A. capillaries*; d) 铁杆蒿 *A. sacrorum*; e) 苦苣菜 *I. denticulate*; f) 刺儿菜 *C. segetum*; g) 长芒草 *S. bungeana*; h) 沙棘 *H. rhamnoides*.

表4 人工沙棘群落植物物种多样性指数与群落发育时段的回归方程

Tab. 4 Regressive equations between species diversity indices and development stages of *H. rhamnoides* plantations ( $n = 5$ )

层次 Layer	多样性指数 Diversity index	回归方程 Regressive equation	$R^2$	$T_{\max}$
A	<i>S</i>	$y = 0.0001x^3 - 0.0058x^2 + 0.1873x + 2.1448$	0.9482 **	-
	<i>D</i>	$y = 0.0001x^3 - 0.0056x^2 + 0.0822x + 0.2191$	0.859 **	-
	<i>H'</i>	$y = 0.0001x^3 - 0.0065x^2 + 0.1196x + 0.3923$	0.8876 **	-
	<i>J_w</i>	$y = -0.0002x^3 + 0.0057x^2 - 0.0425x + 0.7840$	0.8345 **	18
	<i>E_a</i>	$y = -0.0002x^3 + 0.0073x^2 - 0.0553x + 0.7995$	0.9710 **	18
B	<i>S</i>	$y = -0.0100x^3 + 0.3877x^2 - 3.2867x + 23.082$	0.8568 **	20
	<i>D</i>	$y = -0.00005x^3 + 0.0021x^2 - 0.0171x + 0.9166$	0.9697 **	20
	<i>H'</i>	$y = -0.0005x^3 + 0.0172x^2 - 0.1440x + 2.7024$	0.954 **	18
	<i>J_w</i>	$y = -0.0002x^3 + 0.0059x^2 - 0.0471x + 0.9165$	0.9665 **	18
	<i>E_a</i>	$y = -0.0002x^3 + 0.0076x^2 - 0.0543x + 0.7641$	0.9213 **	17
C	<i>S</i>	$y = -0.0036x^3 + 0.1410x^2 - 1.1953x + 14.0500$	0.8179 **	21
	<i>D</i>	$y = -0.0001x^3 + 0.0050x^2 - 0.0284x + 1.0055$	0.7123 **	21
	<i>H'</i>	$y = -0.0004x^3 + 0.0161x^2 - 0.1012x + 1.9089$	0.9215 **	21
	<i>J_w</i>	$y = -0.0002x^3 + 0.0062x^2 - 0.0399x + 1.3306$	0.6908 **	18
	<i>E_a</i>	$y = -0.0002x^3 + 0.0077x^2 - 0.0794x + 1.4707$	0.7072 **	18

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .  $y$ : 多样性指数 Diversity index;  $x$ : 发育阶段 Development stage.  $T_{\max}$ : 物种多样性指数最大时的沙棘群落发育时间 The development time of *H. rhamnoides* community when its species diversity reached the maximum value.

表 5 沙棘人工林中 7 个优势种群与沙棘间联结性系数的回归方程

Tab.5 Regressive equations of the interspecific association index between 7 populations and *H. rhamnoides* in *H. rhamnoides* plantations ( $n=5$ )

项目 Item	物种 Species	回归方程 Regressive equation	相关系数 $R^2$	$T_{\min}$	
$\chi^2$ 检验	a	$y=0.0101x^2-0.2861x+2.5898$	0.5468**	14	
	b	$y=0.0040x^2-0.1045x+0.9548$	0.9943**	13	
$\chi^2$ test	c	$y=0.0200x^2-0.5421x+4.1323$	0.8793**	13	
	d	$y=0.0009x^2-0.0207x+0.4197$	0.6405**	10	
	e	$y=0.0041x^2-0.0892x+0.7622$	0.6326**	10	
	f	$y=0.0047x^2-0.1369x+1.3478$	0.9807**	14	
	g	$y=-0.0203x^2+0.6410x-5.4266$	0.8759**	16	
	Jaccard 指数	a	$y=-0.0026x^2+0.0742x-1.0384$	0.995**	14
	Jaccard index	b	$y=-0.0319x^2+0.8812x-6.0824$	0.9999**	13
	c	$y=-0.0003x^2+0.0329x-0.8164$	0.938**	-	
	d	$y=-0.0270x^2+0.8505x-7.2737$	0.8409**	17	
	e	$y=-0.0004x^2+0.0219x-0.4969$	0.459**	-	
	f	$y=0.0046x^2-0.1039x+0.7041$	0.964**	11	
	g	$y=0.0040x^2-0.1036x+1.0572$	0.9502**	13	

\*\*  $P < 0.01$ ; \*  $P < 0.05$ . y: 关联系数 Interspecific association index; x: 发育阶段 Development stage. a) 达乌里胡枝子 *L. davurica*; b) 杠柳 *P. sepium*; c) 茵陈蒿 *A. capillaries*; d) 铁杆蒿 *A. sacrorum*; e) 苦苣菜 *I. denticulate*; f) 刺儿菜 *C. segetum*; g) 长芒草 *S. bungeana*; h) 沙棘 *H. rhamnoides*.  $T_{\min}$ : 种间关联指数绝对值最小时的沙棘群落发育时间 The development time of *H. rhamnoides* community when the absolute value of its interspecific association index reached the minimum value.

## 4 讨 论

### 4.1 群落物种多样性与种间关系的演化过程

人工林天然化发育的理想状态是目的树种生长正常,能够自我更新,物种多样性丰富,病虫害少。尽管黄土丘陵沟壑区环境严酷,但沙棘人工林发育较好,可以实现自我更新<sup>[3,10]</sup>。在不同发育阶段,群落相似性系数提高,多样性指数呈现出“S”形波动变化的趋势;在 13 年前后呈现相对稳定势态。沙棘与其群落内 7 个优势种群之间的关联显著性及强度呈抛物线形变化,发育至 13 年左右,物种之间的关联显著程度低,联结强度弱,说明群落内物种的丢失不会给其他物种带来较大影响<sup>[1]</sup>。这与黄忠良等<sup>[8]</sup>对鼎湖山植物群落多样性研究的结果相似。沙棘人工林群落发育过程中,其多样性、种间关系演化与稳定性有一定联系,并且在 13 年左右达到了较高水平,说明沙棘人工林群落在 13 年左右已经处于了发育的相对稳定阶段,该人工林天然化发育效果良好,是适宜黄土高原丘陵沟壑区生长的人工林类型。

### 4.2 不同发育阶段群落相似性、物种多样性以及建群种与其他物种的种间联结性

一般认为,顶级群落的稳定性要高于演替中的群落<sup>[1,8]</sup>。不同发育阶段的群落相似性是群落物种替代速度的重要指标;多样性虽不能代表稳定性,但它是群落稳定性的必要条件<sup>[12]</sup>。当群落演化到一定程度,物种替代速度减慢,建群种与其它种间联结较

弱,说明此时群落相对稳定。种间关联度分析表明,无论是灌木层,还是草本层,发育到 13 年前后的沙棘人工林,不同发育阶段群落相似性、多样性指数、各种群间关系都达到了较高水平。这是因为经过前期发育过程中的激烈竞争与遴选,一些物种被淘汰,余下的物种也分别找到了各自合适的位置,彼此间互惠共存的因素增加,达到了相对稳定阶段。

### 4.3 适时的抚育管理有利于群落稳定和持续发育

沙棘种群在群落发育过程中始终保持强烈的萌蘖能力,这是种群更新、持续利用的基础。在群落发育过程中,随着乡土灌草物种入侵,沙棘人工林物种丰度指数持续增加,多样性指数呈“S”形增加,在 13 年时形成了复杂的组成,建群种与其他种联结相对较弱。因此,13 年以前对群落应以保护为主,后可以进行适当的择伐,稀疏沙棘过密的无性系团丛,为萌芽幼苗生长发育、乡土物种入侵创造有利条件。在发育 25 年的群落中,原造林沙棘母株已经老化,多样性指数再次增加,沙棘与其他物种的联结性呈现增强趋势。此时对老年植株进行择伐,可以进一步刺激萌蘖和幼苗的更新,使种群更新平稳,生态功能得以持续发挥。

## 参考文献

- [1] Cai X-M (蔡晓明). 2004. Ecosystem Ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [2] Cao C-Y (曹成有), Jiang D-M (蒋德明), Alamusa (阿拉木萨), et al. 2000. Ecological process of vege-

- tation restoration in *Caragana microphylla* sand fixing area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **11**(3): 349–354 (in Chinese)
- [ 3 ] Cheng G-M (程积民), Wang H-E (万惠娥), Yong S-P (雍绍萍), et al. 2003. Soil water dynamics of *Hippophae rhamnoides* in Loess Hilly Region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **23**(8): 1352–1356 (in Chinese)
- [ 4 ] Feng Y-Z (冯耀宗). 2003. Species diversity and managed ecosystem stability. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(6): 853–857 (in Chinese)
- [ 5 ] Greig-Smith P. 1983. Quantitative Plant Ecology. 3rd Ed. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- [ 6 ] Guo Z-H (郭志华), Zhuo Z-D (卓正大), Chen J (陈洁), et al. 1997. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **21**(5): 424–432 (in Chinese)
- [ 7 ] Guo Z-L (郭忠玲), Ma Y-D (马元丹), Zheng J-P (郑金萍), et al. 2004. Biodiversity of tree species, their populations' spatial distribution pattern and interspecific association in mixed deciduous broadleaved forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**(11): 2013–2018 (in Chinese)
- [ 8 ] Huang Z-L (黄忠良), Kong G-H (孔国辉), He D-Q (何道泉). 2000. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20**(2): 193–198 (in Chinese)
- [ 9 ] Janson S, Vegelius J. 1981. Measure of ecological association. *Oecologia*, **49**: 371–376
- [ 10 ] Li G-Q (李根前), Huang B-L (黄宝龙), Tang D-R (唐德瑞), et al. 2001. Age structure dynamics and genetic consequences of *Hippophae rhamnoides* L. subsp *sinensis* clone population in Mu Su sandland. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**(3): 347–350 (in Chinese)
- [ 11 ] Li G-Q (李根前), Tang D-R (唐德瑞), Zhao Y-Q (赵一庆). 2000. Resources and exploitation of *Hippophae. Seabuckthorn* (沙棘), **13**(2): 22–26 (in Chinese)
- [ 12 ] Li Y-Y (李裕元), Shao M-A (邵明安). 2004. The change of plant diversity during natural recovery process of vegetation in Ziwuling area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**(2): 252–260 (in Chinese)
- [ 13 ] Liu P-P (刘萍萍), Cheng J-M (程积民). 2000. Study on plant interspecific association. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), **7**(2): 179–184 (in Chinese)
- [ 14 ] Ma K-P (马克平), Liu Y-M (刘玉明). 1994. Measurement of biotic community diversity I. Measurement of  $\alpha$ -diversity (Part 2). *Biodiversity Science* (生物多样性), **2**(4): 231–239 (in Chinese)
- [ 15 ] Peng S-L (彭少麟), Zhou H-C (周厚成), Guo S-C (郭少聪). 1999. Study on interconnection change of climated vegetable in Dinghu Mountain. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **11**(2): 41–47 (in Chinese)
- [ 16 ] Ruan C-J (阮成江), Li D-Q (李代琼). 2001. Study on the transpiration of artificial *Hippophae rhamnoides* L. forest in the Loess Hilly Region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**(12): 2141–2146 (in Chinese)
- [ 17 ] Ruan C-J (阮成江), Li D-Q (李代琼). 2002. Community characteristics of forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **13**(9): 1061–1064 (in Chinese)
- [ 18 ] Yan C-Z (颜昌宙), Jin X-C (金相灿), Zhao J-Z (赵景柱). 2005. Ecological restoration and reconstruction of degraded lake side zone ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**(2): 360–364 (in Chinese)
- [ 19 ] Zhang J-Y (张继义), Zhao H-L (赵哈林), Zhang T-H (张铜会), et al. 2004. Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin sandy land. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **28**(1): 86–92 (in Chinese)
- [ 20 ] Zhang W-H (张文辉). 1998. Population Ecological Research on *Adenophora lobophylla*. Harbin: Northeast Forestry University Press. (in Chinese)
- [ 21 ] Zhang W-H (张文辉), Xu X-H (徐学华), Li D-W (李登武), et al. 2006. Dynamics of *Sophora davidii* population in loess hilly gully region closed for thirty years in Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**(2): 182–186 (in Chinese)
- [ 22 ] Zhang W-H (张文辉), Xu X-P (许晓波), Zhou J-Y (周建云), et al. 2005. Study on population dynamics of *Abies chensiensis*, an endangered species. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**(10): 1799–1804 (in Chinese)
- [ 23 ] Zhang Y-M (张元明), Cao T (曹同), Pan B-R (潘伯荣). 2003. Species diversity of floor bryophyte communities in Bogda Mountains, Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(6): 887–891 (in Chinese)

---

作者简介 郭连金,男,1976年生,硕士研究生.主要从事生物多样性变化与维持研究. E-mail: guolianjin@163.com

责任编辑 李凤琴

---