

文章编号: 1008 - 2786 - (2014) 2 - 171 - 08

# 晋冀北部农牧交错区针阔树种人工林群落 稳定性评价

赵 昕<sup>1 2</sup> 张万军<sup>1\*</sup> 曹建生<sup>1</sup> 刘秀萍<sup>1</sup> 曾歆花<sup>1 2</sup> 沈会涛<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 农业水资源重点实验室 河北省节水农业重点实验室,  
河北 石家庄 050021; 2. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘 要:** 以晋冀北部农牧交错区 5 种主要人工林为研究对象, 利用主成分分析法和关联维数评价林地群落稳定性、分析群落结构。结果表明: 随着群落稳定性变差, 胸径和树高关联维数均呈增加趋势。针叶树种的稳定性强于阔叶树种。胸径关联维数针叶树种 0.58 小于阔叶树种 0.64, 树种排序为油松 0.57 < 落叶松 0.59 < 樟子松 0.61 < 山杏 0.62 < 杨树 0.67; 树高关联维数针叶树种 0.53 小于阔叶树种 0.60, 树种排序为落叶松 0.41 < 油松 0.56 < 山杏 0.58 < 樟子松 0.61 < 杨树 0.62。基于两种维数, 不同树种稳定性从强到弱依次为落叶松 > 油松 > 山杏 > 樟子松 > 杨树, 与主成分分析法的稳定性评价结果一致。因此, 针叶树种, 尤其是落叶松具有较强的稳定性, 是该地区生态环境恢复、树种优选的主要树种。

**关键词:** 晋冀北部; 农牧交错区; 针阔树种; 人工林; 稳定性; 主成分分析; 关联维数

中图分类号: Q948

文献标志码: A

农牧交错区属生态交错带, 连接着农耕区和草原牧区两个景观斑块, 结构、功能及生态过程复杂, 对气候变化和人类干扰十分敏感<sup>[1]</sup>。我国农牧交错区主要分布于内蒙古、河北、山西和陕西等省区, 其中晋冀北部特殊的地理位置决定了它重要的生态意义, 它是京津地区的重要水源地和生态屏障, 也是京津地区的主要沙源地和风沙通道, 因此该地区的研究直接关系到京津地区的生态安全及生产生活<sup>[2]</sup>。随着人类长期不合理开垦和放牧, 该区域生态环境日益脆弱, 遭到了强烈的干扰与破坏, 面临着严重的生态风险。为了改善该地区生态环境, 自 2001 年开展了大面积造林工作, 取得了重大进展。其中落叶松、油松、樟子松、杨树、山杏是该地区工程造林的典型植被, 也是针叶、阔叶树的代表树种, 发

挥着防风固沙、固碳释氧、保持水土、涵养水源的生态功能, 因此人工林的稳定性评价对该地区群落演替、生态环境恢复有重要意义。

稳定性<sup>[3]</sup>是植物群落结构与功能的综合特征, 是生态系统存在的必要条件和重要功能表现<sup>[4]</sup>。了解植被群落的稳定性, 有助于分析群落行为的内部反馈机制<sup>[5]</sup>。稳定性研究方法众多, 学者从多样性<sup>[6]</sup>、年龄结构<sup>[7]</sup>、群落演替模型<sup>[8]</sup>等方面进行群落稳定性的测度与评价, 主成分分析法则综合考虑多种环境因子对群落稳定性的影响, 并且对环境因子进行了有效筛选<sup>[9]</sup>。反映群落内部机制的群落结构不仅决定群落功能, 也是研究群落稳定性的基础, 而分形方法<sup>[10-13]</sup>是描述群落结构的主要手段。关联维数( correlation dimension) 是分形理论方法的

收稿日期( Received date): 2013 - 06 - 15; 改回日期( Accepted): 2013 - 12 - 20。

基金项目( Foundation item): 中国科学院战略性先导科技专项课题京津风沙源治理工程固碳速率和潜力研究( XDA05060600)。[Supported by the strategic leading subject of science and technology, Chinese Academy of Science, Beijing - Tianjin sandstorm source control project of carbon sequestration rate and potential research.]

作者简介( Biography): 赵昕( 1987 - ), 女, 河北石家庄人, 在读硕士研究生, 研究方向: 山地生态系统碳汇过程。[ Zhao Xin ( 1987 - ), female, born in Shijiazhuang, Hebei Province, Master candidate, major in mountain ecosystem carbon sequestration process. ] E-mail: zhaoxin8779@163.com; Tel.: 15830117963

\* 通信作者( Corresponding author): 张万军[ Zhang Wanjun ], E-mail: zhangwj@sjziam.ac.cn

具体度量,反映出 一个集合中点元素的关联特征<sup>[14]</sup> 揭示群落在结构上的尺度变化特征。其在生态学的研究多集中在空间格局与外部形态<sup>[14-16]</sup> ,但缺少在群落结构的应用。

基于此 本文在晋冀北部农牧交错区选取落叶松、油松、樟子松、杨树、山杏 5 种优势人工林作为研究对象,使用主成分分析法确定其群落稳定性;通过分形方法中的关联维数研究群落的空间结构特征,初步解释群落稳定性发挥的内部机制;分析不同树种在不同稳定性下的适应性表现,以期 为人工林植被的建立、利用、保护、发展提供科学依据,为农牧交错区生态环境治理、树种优选提供参考。

1 研究区概况

研究区位于晋冀北部农牧交错区的丰宁、围场、张北、浑源、大同( 113°48′38.50″ ~ 117°46′ 30.90″ E,39°34′ 46.8″ ~ 42°18′ 13.40″N) ,海拔 598.7 ~ 1 421.2 m;属温带大陆性季风气候,年均温 7.5℃ ,

年平均降水量 390.2 mm,降水多集中在 6—8 月,降水量占全年的 60 % 以上。土壤呈地带性分布,高原为黄土,山地为棕壤、褐土,土壤全碳量为 7.47 mg/g,土壤全氮量为 0.64 mg/g,土壤全磷量为 0.46 mg/g,土壤容重为 1.28 g/cm<sup>3</sup>。植被属暖温带区,植物种类丰富<sup>[17-18]</sup>。

2 研究方法

2.1 样地设置及群落调查内容和方法

在该地区选取主要人工林植被油松、落叶松、樟子松、杨树、山杏作为研究对象,在这 5 种类型的群落中设置面积为 20 m × 20 m 的典型样地 25 块,其中油松 5 块,落叶松 3 块,樟子松 3 块,杨树 8 块,山杏 6 块,每个树种为一块样地,依据丰宁—围场—张北—大同—浑源的调查顺序对样地进行编号,样地基本情况见表 1。每块样地内沿对角线设置 5 m × 5 m 的灌木样方 5 个,1 m × 1 m 的草本样方 5 个。群落调查内容包括:1. 群落复层数目、物种种数、林

表 1 样地基本情况描述  
Table 1 Description of the plots

树种 Tree species	地区 Districts	土壤类型 Type of soil	样地编号 Plots No.	海拔 Elevation /m
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	丰宁	棕壤 Brown soil	1	945.0
			2	923.3
			3	920.0
落叶松 <i>Larix gmelin</i>	围场	褐土 Cinnamon soil	16	1 235.6
			18	1 232.2
	围场	褐土 Cinnamon soil	19	1 381.4
			20	1 228.5
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> Litv.	大同	黄土 Loess	25	1 719.6
	围场	褐土 Cinnamon soil	17	1 233.9
			22	1 320.3
	大同	黄土 Loess	22	1 320.3
			23	1 320.3
山杏 <i>Prunus armeniaca</i> var. <i>ansu</i>	丰宁	棕壤 Brown soil	4	618.0
			5	622.5
			6	626.8
	围场	褐土 Cinnamon soil	10	783.9
			11	786.7
			12	787.9
杨树 <i>Populus</i>	丰宁	棕壤 Brown soil	7	598.7
			8	600.3
			9	606.6
	围场	褐土 Cinnamon soil	13	1 097.5
			14	1 108.4
			15	1 103.3
	张北	黄土 Loess	21	1 421.2
			24	1 115.2

分密度及郁闭度;2. 乔木树种的胸径、树高;3. 草本个体数量、盖度、高度、频度;4. 生境因子:土壤类型、地貌、坡度;5. 每一样地取0~10 cm土壤样品,带回实验室进行土壤全碳、全磷的测定;6. 乔灌木生物量测定:乔木生物量通过每个样地3株解析标准木得到,灌木、草本生物量均通过收获法获得。

## 2.2 指标计算

Shannon - Wiener 指数  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ;  $P_i$  为种  $i$  个体数占所有种的个体数的比率。

生物量  $B = \sum B_i$ ;  $B_i$  为种  $i$  的生物量。

## 2.3 群落稳定性判定方法

### 2.3.1 群落稳定性评价指标体系

选取13项表征群落结构和环境特征的指标构成指标体系,分别为:复层数目  $a_1$  (个/样方),物种种数  $a_2$  (个),平均胸径  $a_3$  (cm),平均树高  $a_4$  (m),林分密度  $a_5$  (株/hm<sup>2</sup>),郁闭度  $a_6$  (%),草本 Shannon - Wiener 指数  $a_7$ ,林龄  $a_8$  (年),草本层总盖度  $a_9$  (%),坡度  $a_{10}$  (°),生物量  $a_{11}$  (t/hm<sup>2</sup>),0~10 cm全碳含量  $a_{12}$  (g/kg),0~10 cm全磷含量  $a_{13}$  (g/kg)<sup>[19]</sup>。根据此指标体系进行主成分分析。

### 2.3.2 主成分分析法

利用 SPSS16.0 统计分析软件进行主成分分析,对各样地分别建立  $m$  个主成分的方程,表达式可表示为

$$F_i = \sum_{j=1}^{13} e_{ij} a_j \quad (i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, 13) \quad (1)$$

式中  $F_i$  为第  $i$  个主成分方程;  $e_{ij}$  为特征向量;  $a_j$  为样地第  $j$  个指标的各个指标的因子负荷量。依据标准化后的数据和此主成分线性方程计算出各样地  $m$  个主成分得分。

### 2.3.3 稳定性评价

根据各个主成分的得分和  $m$  个主成分的权重系数对这  $m$  个主成分进行综合分析,即对样地的  $m$  个主成分得分进行加权求和得群落稳定性评价指标公式

$$F = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_m F_m \quad (2)$$

式中  $F$  为主成分评价价值;  $\alpha$  为权重系数;  $F_1 \dots F_m$  为各个样地的  $m$  个主成分得分。

### 2.3.4 稳定性强弱划分

计算各个样地主成分值的平均值  $\bar{X}$  和标准差  $S$ ,并计算出标准误  $S_{\bar{X}}$ ,标准误的计算采用公式

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

根据当地森林群落的发育情况,以95%的可靠性将主成分评价价值划分为3个区间:当主成分值  $> (\bar{X} + 2S_{\bar{X}})$  的稳定性为强,介于  $(\bar{X} - 2S_{\bar{X}}) : (\bar{X} + 2S_{\bar{X}})$  之间的稳定性为中,  $< (\bar{X} - 2S_{\bar{X}})$  的稳定性为差<sup>[20]</sup>。

## 2.4 关联维数理论模型

胸径和树高是识别群落生长规律和的群落结构的重要因素,它是植被横向和纵向空间占据能力的度量,这种空间结构决定了树木之间的竞争及其空间生态位,在很大程度上决定群落的稳定性<sup>[21]</sup>,因此测得样地内所有乔木的胸径和树高进行关联维数的计算

$$D_c = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\log(N(L))}{\log(L)} \quad (4)$$

先计算样方内的每一乔木个体的胸径或树高与其他个体间的胸径或树高的欧氏距离,然后给定一个距离值,查找小于该欧氏距离的个数( $N_i$ );不断变换距离值,就可以得到一系列的  $N_i$ ;通过每一距离值对应的距离个数和距离总个数( $N$ )的比值得到  $C(L)$ 。将  $C(L)$  与对应的距离值在双对数坐标下进行直线拟合,所得到的拟合直线的斜率的绝对值为其关联维数  $D_c$ <sup>[14]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 主成分分析

经主成分分析计算后得到表2,第一主成分  $i_1$  的特征根为3.60,解释了总变异的24.38%;第二主成分  $i_2$  的特征根为3.00,解释了总变异的23.10%;第三主成分  $i_3$  的特征根为1.60,解释了总变异的12.29%;其余变量依次类推,而累积贡献率是各个变量的贡献率之和,由表2的特征根、贡献率和累积贡献率可知,前6个主成分的累积贡献率达到87.48%,超过85%,包含了13个指标的大部分信息。

表2中划线的数字是对各主成分影响较大的正或负指标,对第一主成分正效应最大的是林龄、林分密度、草本层总盖度,所以第一主成分主要表示为林分密度、林龄、草本层总盖度的综合因子;第二主成分主要表示为坡度、平均胸径、平均树高的综合因子;第三主成分主要表示为0~10 cm全磷含量、0~10 cm全碳含量的综合因子。由于第一主成分对群落稳定性影响最大,所以对群落稳定性影响最大的3个因子为林龄、林分密度、草本层总盖度。

表 2 各参评因子的负荷矩阵、特征向量、特征根及贡献率

Table 2 Component matrix, Eigenvectors, Eigenvalues and Proportion of each component

指标 index	主成分因子负荷量 component matrix					
	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$i_4$	$i_5$	$i_6$
$a_1$	-0.17	0.10	0.45	<u>-0.66</u>	-0.48	0.13
$a_2$	0.33	0.08	-0.02	-0.29	<u>0.80</u>	0.28
$a_3$	-0.57	<u>0.78</u>	-0.02	-0.00	0.06	0.25
$a_4$	-0.55	<u>0.75</u>	-0.06	0.11	0.14	0.17
$a_5$	<u>0.80</u>	0.22	-0.39	0.07	0.03	-0.07
$a_6$	0.55	0.60	0.23	-0.09	-0.12	0.27
$a_7$	0.10	0.66	0.01	0.31	-0.04	-0.46
$a_8$	<u>0.81</u>	0.07	0.27	-0.36	0.09	-0.10
$a_9$	<u>0.76</u>	0.14	0.14	-0.10	0.02	-0.23
$a_{10}$	0.32	<u>0.86</u>	0.10	0.12	-0.11	-0.04
$a_{11}$	0.56	-0.39	-0.16	0.37	-0.22	0.42
$a_{12}$	0.31	-0.07	<u>0.67</u>	0.57	-0.040	0.27
$a_{13}$	-0.31	-0.23	<u>0.79</u>	0.15	0.33	-0.22
特征根 Eigenvalues	3.56	3.00	1.60	1.28	1.08	0.85
贡献率 Proportion/%	24.38	23.10	12.29	9.85	8.34	6.52
累积贡献率 Cumulative/%	24.38	50.48	62.77	72.62	80.95	87.48
权重系数 $\alpha_i$ Weight coefficient	0.31	0.26	0.14	0.11	0.10	0.08

由表 2 的主成分因子负荷量和特征根求得 13 项指标的各个主成分特征向量,依据标准化后的数据和主成分线性方程(1)计算出各样地 6 个主成分得分,根据各主成分的得分  $F_i$  和  $m = 6$  个主成分的权重系数  $\alpha_i$  对这 6 个主成分进行综合分析,得群落稳定性评价指标主成分评价价值  $F$ 。

### 3.2 稳定性排序

根据稳定性评价及强弱划分,得到群落稳定性排序(表 3)。划分区间为:稳定性强的群落主成分评价价值在  $[0.3282, \infty)$  稳定性中的群落主成分评价价值在  $[-0.2850, 0.2729]$  稳定性差的群落主成分评价价值在  $(-\infty, -0.4642]$ 。稳定性强的群落有 7 个,其中针叶树种 5 个,阔叶树种 2 个;稳定性中的群落有 11 个,针叶树种 6 个,阔叶树种 5 个;稳定性差的群落有 7 个,针叶树种 0 个,阔叶树种 7 个。随着稳定性的减弱,针叶树种的数目减少,阔叶树种的数目增多,可以看出针叶树种群落的稳定性较阔叶树种强,具体到树种,针叶树种稳定性从强到弱依次为落叶松 > 油松 > 樟子松,阔叶树种为山杏 > 杨树。

### 3.4 关联维数分析

由表 3,关联维数经直线拟合呈极显著相关( $r$

均在 0.89 以上,  $P < 0.01$ )。

从总体上看,无论 25 块样地按照稳定性排序,还是划分成强、中、差 3 个稳定性等级,均随着群落稳定性的变差,胸径和树高的关联维数总体呈增加趋势(图 1 2)。

从胸径关联维数分析,针叶树种关联维数 0.58 小于阔叶树种关联维数 0.64,强、中、差 3 个等级均是针叶树种关联维数小于阔叶树种,且在数目上针叶树种多集中在强、中等级,差中无针叶树种(图 3a)。从树高关联维数分析,针叶树种关联维数 0.53 小于阔叶树种关联维数 0.60,同样在强、中、差 3 个等级均是针叶树种关联维数小于阔叶树种(图 3b)。针、阔树种的两种维数均随着稳定性变差,关联维数增加,只有阔叶树种的胸径聚集维数在稳定性中、差的关联维数基本相同(图 3)。

具体到每个树种,胸径关联维数从小到大依次为:油松(0.57)、落叶松(0.59)、樟子松(0.61)、山杏(0.62)、杨树(0.67),则稳定性从强到弱依次为:油松 > 落叶松 > 樟子松 > 山杏 > 杨树;树高关联维数从小到大依次为:落叶松(0.41)、油松(0.56)、山杏(0.58)、樟子松(0.61)、杨树(0.62),

表 3 不同稳定性群落关联维数  
Table 3 Correlation dimention of different stability communities

稳定性级别 Stability Level	主成分评价价值 $F$ PCA value	样地号 Plots No.	关联维数 Correlation dimension			
			胸径 DBH		树高 Tree height	
			$D_c$	$R^2$	$D_c$	$R^2$
强	2.04	19	0.51	0.95	0.56	0.88
	1.77	20	0.53	0.80	0.31	0.81
	0.88	1	0.61	0.93	0.58	0.96
	0.68	10	0.51	0.92	0.58	0.94
	0.55	22	0.62	0.97	0.66	0.96
	0.47	7	0.77	0.96	0.64	0.93
	0.33	16	0.51	0.84	0.38	0.83
均值 Average			0.58		0.53	
中	0.27	21	0.46	0.80	0.52	0.96
	0.16	9	0.77	0.97	0.52	0.98
	0.08	3	0.57	0.92	0.65	0.93
	0.02	11	0.68	0.99	0.53	0.96
	-0.13	12	0.66	0.84	0.45	0.91
	-0.15	18	0.62	0.99	0.52	0.96
	-0.17	13	0.67	0.92	0.65	0.90
	-0.22	2	0.53	0.90	0.69	0.95
	-0.25	17	0.61	0.82	0.60	0.96
	-0.28	23	0.61	0.92	0.58	0.95
	-0.29	25	0.73	0.97	0.37	0.88
均值 Average			0.62		0.56	
差	-0.46	24	0.63	0.93	0.71	0.99
	-0.53	14	0.65	0.92	0.60	0.97
	-0.59	15	0.64	0.92	0.49	0.88
	-0.77	8	0.75	0.95	0.86	0.97
	-1.06	5	0.53	0.87	0.63	0.84
	-1.14	6	0.67	0.97	0.63	0.77
	-1.21	4	0.66	0.93	0.66	0.78
均值 Average			0.65		0.66	

则稳定性从强到弱依次为: 落叶松 > 油松 > 山杏 > 樟子松 > 杨树。基于两种维数结果,关联维数从小到大依次为: 落叶松(0.50)、油松(0.57)、山杏(0.60)、樟子松(0.61)、杨树(0.65) 稳定性从强到弱的树种依次为: 落叶松 > 油松 > 山杏 > 樟子松 > 杨树(图 4)。

关联维数反映要素分布的均衡性,同时可以指示要素之间的关联性。一般情况下,其数值在 0~2 间变化,当  $D_c \rightarrow 0$  时,表明要素高度集中于一点;当  $D_c \rightarrow 2$  时,表明要素的分布很均匀。关联维数相对于趋近 2 来说,更趋近于 0,即胸径和树高关联维数的值趋近于一个点。稳定性强的群落较稳定性差的群落更趋近这个点,体现在关联维数上就是稳定性

强的群落关联维数小。群落内个体相互关联性小,即使一种植物消失,其作用可以由群落内其他物种代替发挥,而不会影响整个群落的发展。也说明稳定性弱的群落较稳定性强的群落生态幅广,即稳定性差的群落需要不断扩展生存空间占据更多的生态位以达到群落结构的稳定。

4 结论与讨论

稳定性是植物群落结构与功能的综合特征,也是生态系统最重要的特征。晋冀北部农牧交错区由于地理位置特殊发生生态环境恶化,对周边环境有重大影响,加之人工林抵抗外界干扰能力差,工程造

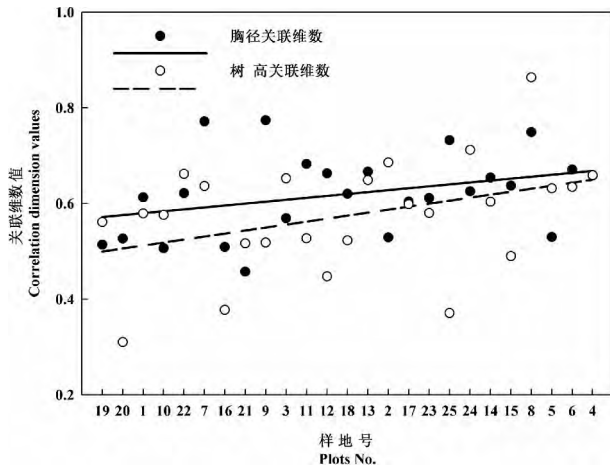


图1 25块样地稳定性从强到弱排序后关联维数趋势

Fig. 1 Correlation dimension trend of 25 plots with lessened community stability

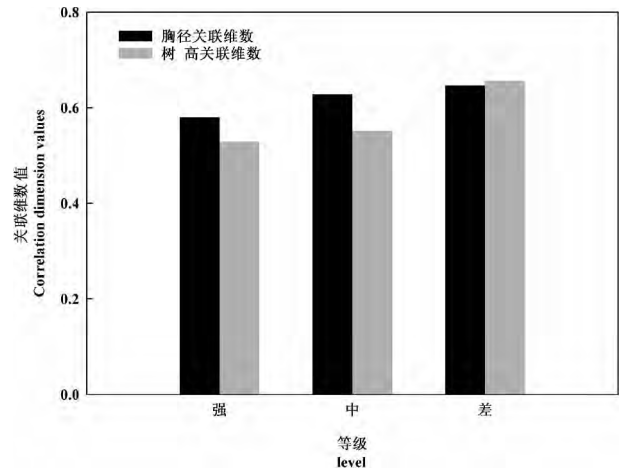
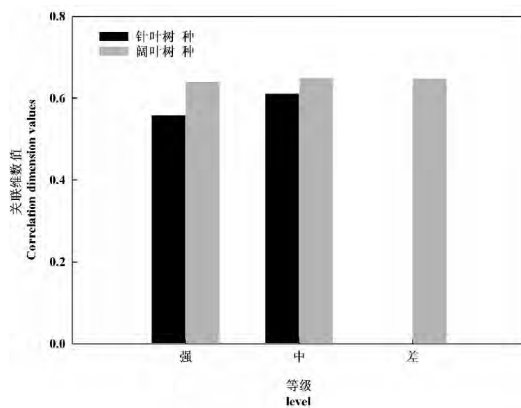
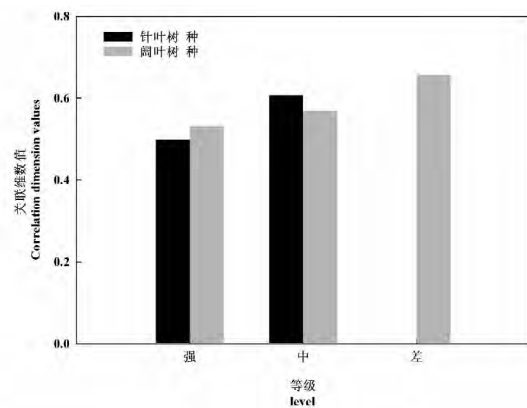


图2 不同稳定性等级关联维数趋势

Fig. 2 Correlation dimension trend of different stability levels



a 胸径关联维数 DBH correlation dimension



b 树高关联维数 tree height correlation dimension

图3 不同稳定性等级针、阔树种关联维数比较

Fig. 3 Comparison of correlation dimension between coniferous and deciduous species in different stability levels

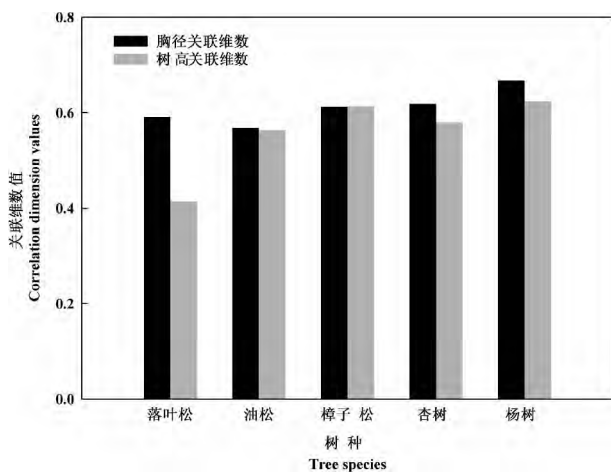


图4 不同树种关联维数比较

Fig. 4 Comparison of correlation dimension of different tree species

林效果有待评估,因此该地区人工林稳定性研究尤为重要。

用主成分分析法评价晋冀北部农牧交错区人工林群落稳定性,结果表明,随着稳定性的减弱,针叶树种的数目减少,阔叶树种的数目增多,即针叶树种的稳定性强于阔叶树种。具体到树种,针叶树种稳定性从强到弱依次为落叶松、油松、樟子松,阔叶树种山杏稳定性较杨树高。

群落内环境因子分布复杂且不均匀,环境因子在连续的尺度上存在变异,不同性质的环境资源具有不同的表现尺度,群落内种群个体对环境条件的适应性以及对环境资源的竞争和分配,导致了群落稳定性的差异以及群落内种群个体的空间占据能力在不同尺度上产生空间异质性<sup>[16]</sup>。分形理论是研究群落空间变异、结构差异的有效方法。结果表

明,随着群落稳定性变差,胸径和树高关联维数均呈增加趋势。针叶树种的稳定性强于阔叶树种。基于两种维数,不同树种稳定性从强到弱依次为落叶松 > 油松 > 山杏 > 樟子松 > 杨树。

闫东峰用主成分分析法与稳定度指数法对宝天曼国家级自然保护区内的栎类天然次生林群落稳定性进行评价,两种方法结果大体一致<sup>[20]</sup>。运用分形理论的关联维数从空间结构角度研究群落稳定性弥补了传统方法不易直接测量的缺点,因此两种方法在度量群落稳定性方向是可行的。

无论从群落与环境因子的关系,还是从群落结构角度分析,两种度量群落稳定性的结果一致,针叶树种较阔叶树种稳定,落叶松树种稳定性最好。针叶树种分枝多,冠幅大,根系发达,繁殖能力强,能在恶劣环境中实现自我更新<sup>[22]</sup>,具有广生态幅和较强的环境适应能力<sup>[23]</sup>,更容易发展为稳定群落。从群落空间结构分析,针叶树种群落稳定性强,抵抗外界干扰能力强,个体间联系较为紧密,占据的资源空间较少,而阔叶树种群落稳定性较差,竞争激烈,需要快速占据空间获得生存发展机会。落叶松因为具有耐寒、耐旱、喜温、喜湿、耐贫瘠等特点而相对于其他树种更稳定因而更适于在该地区生存。因此,在晋冀北部农牧交错区种植针叶树种,尤其是落叶松将是未来人工造林、生态环境治理的重点。

## 参考文献(References)

- [1] Liu H L, Zhang W H, Wang K, et al. Edge influence of soil moisture at farmland-grassland boundary in agriculture-pasture ecotone of Northern China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 659-664
- [2] Feng Changhong. Study on sand land dynamics and ecological engineering models in Jieba mountain of Northern Hebei Province[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010, 11: 1-3 [冯长红. 冀北接坝山区沙化土地动态与生态工程模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010, 11: 1-3]
- [3] MacArthur R. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability[J]. Ecology, 1955, 36(3): 533-536
- [4] Margalef R. Diversity, stability and mutuality in natural ecosystems[G]// Dobben W H, Lowe-McConnell R H. Unifying Concepts in Ecology. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1975: 151-160]
- [5] Zhao Shutian. Study of stability of dynamic forest resource system[J]. Forest Inventory and Planning. 2001, 26(4): 5-8 [赵书田. 森林资源动态系统稳定性规律的研究[J]. 林业调查规划, 2001, 26(4): 5-8]
- [6] Goodman, D. The theory of diversity-stability relationships in ecology[J]. The Quarterly Review of Biology, 1975, 50: 237-266
- [7] Peng Shaolin. The measurement of the stability and the developments of forest communities-analysis on age structure[J]. Guihaia, 1987, 7(1): 67-72 [彭少麟. 森林群落稳定性与动态测度-年龄结构分析[J]. 广西植物, 1987, 7(1): 67-72]
- [8] Yang Hanxi, Pan Yude, Wu Yegang. Stability analysis of major communities in Malan forest region of Ziwuling mountain[J]. Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin., 1988, 8(3): 211-219 [阳含熙, 潘愉德, 伍业钢. 长白山阔叶红松林马氏链模型[J]. 生态学报, 1988, 8(3): 211-219]
- [9] Feng Changhong. Study on sand land dynamics and ecological engineering models in Jieba mountain of Northern Hebei Province[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010, 11: 1-3 [冯长红. 冀北接坝山区沙化土地动态与生态工程模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010, 11: 1-3]
- [10] Li Shiyong, et al. Nonlinear science and complexity science[M]. Harbin: Harbin Institute Technology Press, 2006: 105-139 [李士勇等. 非线性科学与复杂性科学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006: 105-139]
- [11] Xu Jianhua. Geographical modeling methods[M]. Beijing: Science Press, 2010: 246-254 [徐建华. 地理建模方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 246-254]
- [12] Xu Jianhua. Mathematical methods in contemporary geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 392-418 [徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 392-418]
- [13] Chang Xueli, Wu Jianguo. Fractal models and ecological applications[J]. Chinese Journal of Ecology, 1996, 15(3): 35-42 [常学礼, 郭建国. 分形模型在生态学研究中的应用[J]. 生态学报, 1996, 15(3): 35-42]
- [14] Ma Keming, Zu Yuanggang, Ni Hongwei. Fractal properties of the spatial pattern of Larix gmelini population: correlation dimension[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 353-358 [马克明, 祖元刚, 倪宏伟. 兴安落叶松种群格局的分形特征——关联维数[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 353-358]
- [15] Song Ping, Hong Wei, Wu Chengzhen, et al. Fractal characteristics of pattern of endangered plant Alsophila spinulosa population[J]. Mountain Research, 2009, 27(2): 195-202 [宋萍, 洪伟, 吴承祯等. 濒危植物桫欏种群格局的分形特征[J]. 山地学报, 2009, 27(2): 195-202]
- [16] Liang Shichu. Fractal characteristics of distribution pattern of Carpinus pubescens population[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2001, 19(4): 263-268 [梁士楚. 云贵鹅耳枥种群分布格局的分形特征[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4): 263-268]
- [17] Liu Luo, Xu Xinliang, Duan Jiannan, et al. The spatial-temporal changes monitor of ecological environment in source area of sand and dust endangering Beijing-Tianjin by remote sensing[J]. Journal of Geo-Information Science. 2011, 13(6): 819-823 [刘洛, 徐新良, 段建南等. 京津风沙源区生态环境时空变化的遥感监测分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(6): 819-823]
- [18] Shi Sha, Zou Xueyong, Zhang Chunlai, et al. Investigation of vegetation restoration in the area of Beijing and Tianjin sandstorm

- source control project[J]. Science of Soil and Water Conservation , 2009 , 7( 2 ) : 86 – 92 [石莎, 邹学勇, 张春来, 等. 京津风沙源治理工程区植被恢复效果调查[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7( 2 ) : 86 – 92]
- [19] Guo Qiqiang , Zhang Wenhui , Cao Xuping. Estabilishment of an e-valuation model of the forest communtiy stability based on fuzzy synthetic evaluation: a case study of main forest communities in Huanglong mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae 2009 45( 10 ) : 19 – 24 [郭其强, 张文辉, 曹旭平. 基于模糊综合评判的森林群落稳定性评价体系模型构建——以黄龙山主要森林群落为例[J]. 林业科学, 2009, 45( 10 ) : 19 – 24]
- [20] Yan Dongfeng , Wang Xiangyang , Yang Xitian. Comparison of the analysis methods for forest community stability using principal component analysis and stability degree index methods[J]. Journal of Henan Agricultural University , 2011 , 45( 2 ) : 166 – 182 [闫东锋, 王向阳, 杨喜田. 主成分分析法和稳定度指数法评价森林群落稳定性比较[J]. 河南农业大学学报, 2011, 45( 2 ) : 166 – 182]
- [21] Wang Li , Cai Xiaohu , Wang Yu , et al. Spatial structure of Science forest of *Abies faxoniana* in western Sichuan[J]. Journal of Henan Agricultural University , 2013 , 26( 5 ) : 622 – 627 [王丽, 蔡小虎, 王宇, 等. 川西山地岷江冷杉风景林林分空间结构分析[J]. 林业科学研究, 2013, 26( 5 ) : 622 – 627]
- [22] Wang Jihe , Ma Quanlin , Liu Junhu , et al. Effect of wind-breaking and sand-fixing of vegetation in progressive succession on desertification land in arid area[J]. Journal of Desert Research , 2006 , 26( 6 ) : 903 – 909 [王继和, 马全林, 刘虎俊, 等. 干旱区沙漠化土地逆转植被的防风固沙效益研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26( 6 ) : 903 – 909]
- [23] Zhang P , Tian X J , He X B , et al. Effect of litter quality on its decomposition in broadleaf and coniferous forest [J]. European Journal of Soil Biology , 2008 , 44( 4 ) : 392 – 399

## Community Stability Evaluation of Coniferous and Deciduous Plantation in Agro-pastoral Ecotone of Northern Shanxi – Hebei ,China

ZHAO Xin<sup>1 2</sup> , ZHANG Wanjun<sup>1</sup> , CAO Jiansheng<sup>1</sup> , LIU Xiuping<sup>1</sup> ,  
ZENG Xinhua<sup>1 2</sup> , SHEN Huitao<sup>1</sup>

( 1. Center for Agricultural Resources , Institute of Genetics and Developmental Biology , Chinese Academy of Sciences;  
Key Laboratory of Agricultural Water Resources , Chinese Academy of Sciences , Shijiazhuang 050021 , China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

**Abstract:** Principal component analysis ( PCA ) was used to assess the community stability of five plantation community in agro-pastoral ecotone in northern Shanxi and Hebei province ,China. The results showed that stability of coniferous species from strong to weak for larch , pinus tabulaeformis , mongolian pine in turn. The stability of coniferous species is stronger than deciduous species. Studies also showed that the correlation dimension of fractal theory is feasible in measuring community stability from the perspective of community structure. Both DBH correlation dimension and tree height correlation dimension increased with the lessened community stability. DBH correlation dimension of coniferous species and deciduous species are 0.58 and 0.64 , respectively. The magnitude of DBH correlation dimension in different tree species is: *pinus tabulaeformis* ( 0.57 ) < *larch* ( 0.59 ) < *mongolian pine* ( 0.61 ) < *prunus armeniaca* ( 0.62 ) < *poplar* ( 0.67 ) . Similar to DBH correlation dimension , tree height correlation of deciduous species ( 0.60 ) is higher than that of coniferous species ( 0.53 ) . The magnitude of correlation dimension in different tree species is: *larch* ( 0.41 ) < *pinus tabulaeformis* ( 0.56 ) < *prunus armeniaca* ( 0.58 ) < *mongolian pine* ( 0.61 ) < *poplar* ( 0.62 ) . Based on these two correlation dimension , the stability of the different tree species is: *larch* > *pinus tabulaeformis* > *prunus armeniaca* > *mongolian pine* > *poplar* , which is in accord with the results of PCA stability assessment. Therefore , the coniferous species , especially the larch , is the strongest stability species , and it will be the preferred species in future ecological environment restoring.

**Key words:** northern Shanxi – Hebei; agro-pastoral ecotone; plantation; stability; principal component analysis; correlation dimension