

## 黄河小浪底库区山地植物群落恢复进程研究

赵勇<sup>1</sup> 樊巍<sup>2</sup> 范国强<sup>1</sup>

(1 河南农业大学环境系 2 河南省林业科学研究院)

**摘要:**为定量分析植被恢复进程的变化特征,该文以黄河小浪底库区山地植物群落为研究对象,在样方调查的基础上,应用主成分分析法对影响恢复进程的指标进行了分析;采用层次分析技术构建了恢复进程的评价指标体系,结合聚类结果,利用植被恢复度指数对研究区的植被恢复进程进行了评价。结果表明:研究区植物群落可以划分为15种类型,其中4个乔木群落、6个灌木群落和5个草本群落。主成分分析表明,土壤含水量、群落盖度、土壤容重、土壤有机质等指标在第一主成分(PC1)表达式中具有较大的特征值,土壤条件和群落盖度对第一主成分贡献较大;在第二主成分(PC2)的表达式中,Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$  的影响最大,其次是坡向和土壤厚度;在第三主成分(PC3)的表达式中,坡度特征值最高,影响最大,其次是土壤有机质和群落盖度的影响。聚类分析将调查样方分为4个类别,利用层次分析法,采用植被恢复度指数把研究区植被恢复进程划分为恢复稳定期、恢复中期、恢复进展期和恢复初期4个等级。通过检验,所构建的评价模型可靠性较高。

**关键词:**小浪底; 植被恢复; 主成分分析; 层次分析; 恢复度指数

**中图分类号:**S718.54<sup>+1</sup> **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2008)02-0033-06

ZHAO Yong<sup>1</sup>; FAN Wei<sup>2</sup>; FAN Guo-qiang<sup>1</sup>. **Vegetation restoration process in Xiaolangdi Reservoir Region of Henan Province.** *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(2) 33-38 [Ch, 12 ref.]

<sup>1</sup> Department of Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, P. R. China;

<sup>2</sup> Henan Academy of Forest Sciences, Zhengzhou, 450003, P. R. China.

In order to analyze the characteristics of the vegetation restoration process, taking the communities of the sample sites in Xiaolangdi Reservoir Region as an investigation object, the indices influencing vegetation restoration process had been set up using the method of principle component analysis (PCA). The factor system impacting restoration process was established by the analytic hierarchy process (AHP) in this paper. Depending upon cluster analysis, the restoration process of vegetation in this region had been studied using AHP method with the vegetation restoration index. The results showed that the vegetation in these areas could be divided into 15 communities, including four tree communities, six shrub ones and five herb ones according to plant life-form. The soil indices including water content, soil bulk density, soil organic matters and the community coverage had bigger eigenvalues, indicating that the soil condition and the community coverage were important on the first principal component (PC1). The Shannon-Wiener index  $H'$  was the highest on the second principal component (PC2), whereas the slope aspect and thickness of soil were higher than other indices on PC2. The slope, organism and coverage of trees and shrubs have higher eigenvalues on the third principal components (PC3). According to cluster analysis and restoration degree index, the vegetation restoration process could be classified into four types in the study area, including the initial restoration stage (IRS), the progressive restoration stage (PRS), the middle restoration stage (MRS) and the stable restoration stage (SRS). The models established by AHP analysis are credible and good for predicting vegetation restoration process.

**Key words** Xiaolangdi Reservoir Region; vegetation restoration; principle component analysis (PCA); AHP analysis; restoration degree index

收稿日期:2007-01-06

<http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

**基金项目:**“十一五”国家科技支撑项目(2006BAD03A1102)、河南省科技攻关项目(0624090010)。

**第一作者:**赵勇,教授。主要研究方向:恢复生态学。电话:0371-63555314 Email: zhaoyonghnd@163.com 地址:450002 河南农业大学环

植被演替和恢复进程研究是恢复生态学的一项基础性工作<sup>[1-2]</sup>。以往的研究发现:处在不同演替阶段的群落存在较大的差异,一般随着植被恢复进程,群落的土壤质量、生物多样性指数、生产力以及植物生理生态指标等都有显著变化<sup>[3-4]</sup>。人工植被恢复进程的群落指标要显著高于自然恢复<sup>[5]</sup>;处于不同退化阶段的建群种光饱和和具有较大的差异,有些研究认为退化植被的生物量、净光合速率及蒸腾速率均比自然恢复进程中的群落高,而水分利用效率则相应较低<sup>[6]</sup>。这种差异主要与群落演替进程和群落类型有关<sup>[7]</sup>。因此,利用生境和群落学指标的差异进行植被恢复进程分类研究是一个有效的途径。国内学者曾选用不同演替阶段的生境指标,应用聚类分析和相异系数等方法综合反映群落在生态系统演替中的相对位置,取得了满意的结果<sup>[8-9]</sup>。相对而言,目前国内外在群落恢复进程划分的指标研究上还较薄弱,植被恢复演替阶段的生态解释上还不够成熟,恢复进程的评判方法还比较缺乏<sup>[10-11]</sup>。植被恢复进程尚不能得到定量的、有效的判定。为此,作者以黄河小浪底库区为研究区,利用样方调查的方法,尝试采用多种分析手段进行群落恢复进程研究。

## 1 研究区概况

### 1.1 地理位置和地形地貌

黄河小浪底库区地理坐标为 34°57'N, 112°20'E, 海拔 327 m, 它位于中条山、王屋山的晋豫黄河峡谷中, 库区全长 130 km, 总面积 278 km<sup>2</sup>。研究区地形破碎, 主要由侵蚀剥蚀的低山和丘陵等地貌类型组成。调查样地位于水库库区周边的低山丘陵地带, 海拔在 350~700 m 之间。

### 1.2 气候和土壤

研究区属于暖温带大陆性季风气候, 季风环流影响明显, 四季分明, 气候干燥, 光热资源十分丰富。年平均气温 14.2℃, 7 月平均气温 26.2℃, 1 月平均气温 -0.5℃, 极端气温为 -17.2 和 43.7℃。日均温 ≥10℃ 的积温在 3 600~4 400℃ 之间。全年无霜期平均 235 d。年降雨量一般在 600~800 mm, 多年平均降水量为 655.2 mm。年内降水量分配极不均匀, 多集中在 7、8、9 这 3 个月份, 常出现春旱、秋涝的局面, 易形成水土流失。

研究区土壤主要为在花岗片麻岩的土壤母质上发育起来的山地褐土, 土壤结构不良, 石砾含量大, 且多属粗骨土, 易侵蚀, 土层浅薄, 厚度在 10~50 cm 之间, 平均土层厚度 34 cm, 阳坡平均土层厚度 20 cm 左右。土壤有机质含量 1.26%, 全氮 0.071%, 碱解氮 67.0 mg/kg, 速效磷 1.83 mg/kg, 速效钾 98.6 mg/kg。

kg, pH 值 7.7, 土壤保肥保水能力差, 渗透性能较高。

### 1.3 植被概况

黄河小浪底库区境内山峦起伏, 丘陵绵延, 沟壑纵横, 地形破碎。由于人为干扰严重, 加之相对海拔高度小, 因而植被的垂直地带性分布规律不明显, 植被的分布主要是以土壤条件和坡向而产生的水热条件的分异为基础的。由于环境条件的限制, 研究区以草本群落分布面积最大, 植被低矮, 盖度较低是该区植被的主要特征。以耐旱的种类为主, 主要草本植物有: 芨草 (*Arthraxon hispidus*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、茜草 (*Rubia cordifolia*)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaris*)、野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia*)、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、苦苣菜 (*Ixeris denticulata*)、白草 (*pennisetum flaccidum*)、紫花地丁 (*Viola philippica* ssp. *munda*)、白 敛 (*Ampelopsis japonica*)、地 黄 (*Rehmannia glutinosa*)、黄背草 (*Themeda japonica*)、中华隐子草 (*Cleistogenes chinensis*) 等。组成灌木群落的种类主要有: 酸枣 (*Ziziphus acidujubus*)、荆条 (*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、杠柳 (*Periploca sepium*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、唐棣 (*Amelanchier sinica*)、小叶鼠李 (*Rhamnus bungeana*)、锦鸡儿 (*Caragana sinica*)、三裂绣线菊 (*Spiraea trilobata*)、黄刺玫 (*Rosa xanthina*) 等。建群种主要为荆条、酸枣和胡枝子。乔木群落分布最少, 且以人工林为主, 主要树种有刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、臭椿 (*Ailanthus altissima*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 等; 最常见的群落类型有刺槐、栓皮栎、侧柏形成的纯林。

## 2 材料与方法

### 2.1 样地选择

黄河小浪底水库水岸线蜿蜒曲折。为了使调查样地具有代表性, 本次研究采用样方法, 根据小浪底水库的走向, 沿水库一侧按照水平线设置样方; 另外选择典型地段沿垂直方向设置样方。样方设置既照顾到群落类型(乔木、灌木、草本), 也要考虑地形条件(海拔、坡向、坡位、坡度)。共设置调查样方 51 个, 其中乔木群落样方 20 个, 灌木群落样方 13 个, 草本群落样方 18 个。乔木群落样方面积为 20 m × 20 m, 灌木群落样方为 5 m × 5 m, 草本群落样方为 1 m × 1 m。

### 2.2 调查指标

1) 地形因子。现场测定并记录各样方所处的海拔、坡向、坡度等。

2) 土壤因子。包括土壤含水量、容重、有机质、pH 值、土壤流失程度、石砾含量、土壤厚度等 7 项指标。

3)林木调查。调查植物种类、起源、郁闭度、高度、密度、胸径、年龄、冠幅等因子。

4)灌木、草本调查。调查指标为植物种类、株数、高度、多度、盖度等。

2.3 数据处理方法

1)调查中定量指标按照实际调查结果处理。

2)Shannon-Wiener 指数计算公式：

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中,  $P_i$  为  $P_i = N_i / N$ ,  $N$  为群落中全部种的总个体数,  $N_i$  为种  $i$  的个体数;  $S$  为群落总植物种数。

3)均匀度指数计算公式：

$$J_{sw} = H' / \ln S$$

式中,  $J_{sw}$  为 pielou 均匀度指数。

4)定性指标处理方法。如土壤流失程度、坡向等指标,为了便于进行数量分析,本次采用专家评分

法,即多位专家对该项指标的评分。

2.4 分析方法

1)选用主成分分析(PCA)法进行重要生态因子筛选。

2)恢复进程分类。采用聚类分析法对群落恢复进程进行分类。

3)恢复进程综合评价。利用层次分析法,采用植被恢复度指数对群落恢复进程进行综合评价。

以上数据经标准化处理后,使用 SPSS12.0 和层次分析法进行分析和计算。

3 结果与分析

3.1 典型群落特征

经对调查样方统计,研究区分布有 15 种群落,其中乔木群落 4 个、灌草群落 6 个、草本群落 5 个。各群落特征见表 1。

表 1 调查样地群落特征

TABLE 1 Community characteristics of the sample sites

生活型	植被类型	高度/m	郁闭度或盖度/%	物种数
草本	白草+芨草+白敛群丛	0.3	85	12
	中华隐子草+地黄+蒲公英群丛	0.25	65	13
	魁蒿 ( <i>Artemisia princeps</i> ) + 茜草群丛	0.55	95	8
	狗尾草+芨草群丛	0.4	85	10
	芨草+紫花地丁群丛	0.35	90	15
灌木	唐棣+胡枝子-白草群丛	0.85	75	13~20
	荆条-芨草+狗尾草群丛	1.8	85	13~22
	酸枣-野菊 ( <i>Dendranthema indicum</i> ) + 茜草群丛	2.5	70	14~22
	胡枝子-白草+中华隐子草群丛	0.3	65	12~23
	杠柳-魁蒿群丛	1.6	90	15~22
	小蘗 ( <i>Berberis heteropoda</i> ) - 芨草群丛	0.4	65	10~17
乔木	刺槐+臭椿-胡枝子群丛	12	0.75	25
	侧柏+黄连木-胡枝子群丛	8	0.6	17
	黄连木+栓皮栎-小叶鼠李群丛	14	0.85	27
	栓皮栎-荆条-三裂绣线菊群丛	15	0.9	18

3.2 主成分分析

3.2.1 分析指标

在进行数据分析时,往往涉及很多测量指标,这些指标彼此之间常存在一定程度的相关性,这就使含在观测数据中的信息有一定的重叠。主成分分析能够通过降维技术将多个指标化为少数几个综合指标,而且得到的综合指标之间彼此独立,减少了信息的交叉,从而使分析结果具有客观性和可确定性。经过初步筛选,本文选用地形、群落和土壤 3 个方面共 13 个指标(见表 2)进行主成分分析。

3.2.2 计算结果

通过计算,13 个指标特征值结果见表 3。  
从表 3 看出,前 4 个特征值的累计贡献率已达 89.91%,因此,通过主成分分析可以将 13 个要素指

表 2 主成分分析指标

TABLE 2 Indices of principle component analysis

指标类别	指标名称	
地形	1 海拔	$x_1$
	2 坡度	$x_2$
	3 坡向	$x_3$
群落	4 $H'$	$x_4$
	5 $J_{sw}$	$x_5$
	6 植被盖度	$x_6$
	7 土壤含水量	$x_7$
土壤	8 土壤容重	$x_8$
	9 土壤有机质	$x_9$
	10 pH 值	$x_{10}$
	11 土壤流失程度	$x_{11}$
	12 土壤石砾含量	$x_{12}$
	13 土壤厚度	$x_{13}$

表3 主成分分析特征值、贡献率和累计贡献率  
TABLE 3 Eigenvalue, contributing ratio and accumulative  
contributing ratio of principle component analysis

指标	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	4.175	39.73	39.73
2	2.611	24.85	64.58
3	1.884	17.93	82.51
4	0.778	7.404	89.91
5	0.528	5.025	94.94
6	0.211	2.008	96.95
7	0.155	1.475	98.42
8	0.108	1.028	99.45
9	0.035	0.333	99.78
10	0.011	0.105	99.89
11	0.006	0.057	99.94
12	0.005	0.048	99.99
13	0.001	0.01	100

标减少为4个,在后继分析和处理上会大大简化难度和减少工作量,同时通过对这4个主成分分析,找出主要影响指标。

3.2.3 主成分分析

4个主成分可以表达为原13个指标的加权组合,前4个主成分为:

$F_1=0.428\ 6x_1-0.175\ 2x_2+0.265\ 5x_3+0.202\ 4x_4+0.182\ 4x_5+0.369\ 7x_6+0.498\ 1x_7+0.325\ 6x_8-0.331\ 7x_9-0.172\ 5x_{10}+0.257\ 1x_{11}+0.012\ 1x_{12}+0.240\ 4x_{13}$

$F_2=0.281\ 9x_1+0.042\ 6x_2+0.421\ 2x_3-0.542\ 0x_4+0.265\ 8x_5+0.091\ 7x_6+0.003\ 9x_7+0.357\ 5x_8+0.113\ 5x_9-0.548\ 0x_{10}+0.008\ 9x_{11}+0.093\ 1x_{12}+0.275\ 8\ x_{13}$

$F_3=0.272\ 4x_1-0.524\ 3x_2+0.216\ 0x_3-0.145\ 8x_4-0.115\ 7x_5+0.314\ 4x_6-0.168\ 3x_7+0.257\ 3x_8+0.425\ 6x_9+0.297\ 3x_{10}+0.014\ 7x_{11}+0.037\ 9x_{12}+0.203\ 6x_{13}$

表4 聚类结果及群落特征

TABLE 4 Results of cluster analysis and community characteristics

类别	样方号	样方主要特征
I	1、11、12、41	海拔280~400 m,以乔木林为主,北、东坡向较多,土层较厚、水分条件较好,有机质含量高,干扰较轻,物种多样性较高。
II	2、9、12、13、14、31、38、39、40	海拔320~450 m,乔、灌木林为主,土层20~40 cm,水土流失较轻,物种多样性一般。
III	21、22、24、25、27、28、34、37、40、47、48、50	山坡上部,海拔380~560 m,灌木群落为主,阳坡分布较多,土层10~20 cm,瘠薄,水分条件差,物种多样性不高。
IV	29、30、31、32、33、34、38、39、41、42、43、44、45、46、49、50、51	多在出现坡度较大的阳坡地段,草本植物为主,土层10 cm以下,干旱,瘠薄,植被盖度较低,物种多样性较低,水土流失较重。

3.4 植被恢复进程综合评价

3.4.1 评价指标体系构建

群落的恢复进程是物理、化学和生物变化的综合变化过程,而非单一指标的变化。所以,为定量评价群落的自然恢复程度,需要选择多个指标进行综合分析。而影响植被恢复的因子是复杂的,这些影

$F_4=0.348\ 5x_1+0.137\ 6x_2+0.054\ 2x_3-0.237\ 1x_4-0.364\ 5x_5-0.478\ 1x_6+0.542\ 6x_7+0.150\ 8x_8+0.348\ 5x_9+0.134\ 6x_{10}+0.021\ 6x_{11}+0.083\ 2x_{12}+0.163\ 9x_{13}$

由上述主成分表达式可以得到:在第一主成分的表达式中, $x_7$ (土壤含水量)、 $x_6$ (植被盖度)、 $x_8$ (土壤容重)、 $x_9$ (土壤有机质)具有较大的特征值,因此可以认为土壤条件和植被盖度对第一主成分贡献较大;在第二主成分的表达式中,第4项指标 $x_4$ (多样性指数 $H'$ )的影响极大,远远超过其他指标的影响,其次是 $x_3$ (坡向)和 $x_{13}$ (土壤厚度);在第三主成分的表达式中,第2项指标 $x_2$ (坡度)特征值最高,对第三主成份影响特别大,其次是 $x_9$ (土壤有机质)、 $x_6$ (植被盖度)的影响,可将第三主成份看成是反映地形和土壤的综合指标。

3.3 植被恢复进程分析

经相关程序计算,聚类分析结果见图1。

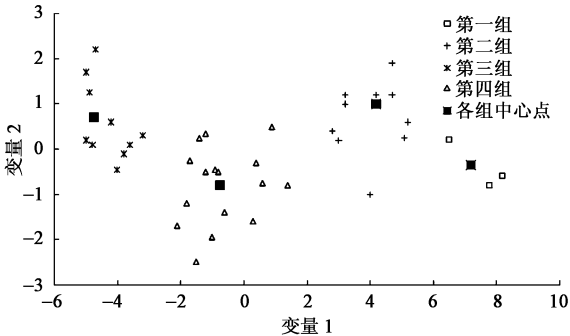


图1 聚类分析结果图  
FIGURE 1 Results of cluster analysis

由图1可知,聚类分析将调查样方分为4类,结合样方分析,这4种类型的环境特征和群落特点见表4。

响因子有自然的,也有人为的。由于研究区的植被恢复是接近自然恢复状态,因此指标选取时重点考虑了土壤、地形和群落学等因子,并以此为基础构建了群落恢复进程的综合评价指标体系,选取了群落特征指标3项、地形方面指标3项、土壤特征指标7项,具体评价指标体系见表5。

表 5 评价指标体系及各级指标权重表  
TABLE 5 Evaluating index system and weigh

index at all levels			
一级指标	权重 $W_i$	二级指标	权重 $W_i$
地形 ( $F_1$ )	0.200 0	海拔 ( $P_1$ )	0.066 7
		坡度 ( $P_2$ )	0.066 7
		坡向 ( $P_3$ )	0.066 7
群落 ( $F_2$ )	0.333 3	$H'$ ( $P_4$ )	0.111 1
		植被 $J_{sw}$ ( $P_5$ )	0.111 1
		植被盖度 ( $P_6$ )	0.111 1
		土壤含水量 ( $P_7$ )	0.066 7
		土壤容重 ( $P_8$ )	0.066 7
土壤 ( $F_3$ )	0.466 7	土壤有机质 ( $P_9$ )	0.066 7
		pH 值 ( $P_{10}$ )	0.066 7
		流失程度 ( $P_{11}$ )	0.066 7
		石砾含量 ( $P_{12}$ )	0.066 7
		厚度 ( $P_{13}$ )	0.066 7

3.4.2 植被恢复进程评价

1)权重确定。据表 5 所示的层次结构,以及层次单排序的结果,用层次分析法进行层次总排序,得到各级指标的权重(表 5)。

2)植被恢复度指数的计算。在确定评价指标权重的基础上,将 13 个评价指标与权重的综合指数定义为植被恢复度指数,其值大小可以反映植被恢复进程,植被恢复度指数计算模型为:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot W_i$$

式中,  $R$  为植被恢复度指数,  $P_i$  为二级指标的标准化值,  $W_i$  为二级指标权重。

3)恢复进程分级。由于植被恢复度指数是反映植被恢复进程的综合性指数,其大小可以表示植被恢复的程度高低。根据聚类分析的结果,研究区群落可以划分为 4 种类型,所以,参照聚类分析把植被恢复度指数也分为 4 级,具体分级标准见表 6。

表 6 植被恢复进程分级标准  
TABLE 6 Classification standards of vegetation restoration process

植被恢复度指数 $R$	等级	恢复进程等级
$>0.75$	I	恢复稳定期
$0.50\sim0.75$	II	恢复中期
$0.25\sim0.49$	III	恢复进展期
$<0.25$	IV	恢复初期

植被恢复度指数代表了植被恢复的不同进程阶段,指数越高,生境条件越好,群落多样性指数和改善环境的作用越显著,因此,它代表了恢复进程的较高级阶段。对 4 个恢复阶段的环境和群落特征分析如下:①恢复等级 I。主要代表了自然演替的乔木林群落,一些演替时间较长的群落如栓皮栎和黄连木群落常常属于这种类型。该群落土壤条件较好,土层较厚,有机质相对较多,水土流失轻微。群落稳

定性和多样性较高,郁闭度较大,结构复杂,对环境的改善能力较强。常分布在低海拔、阴坡,可以认为该类型的群落处于恢复的高级阶段,可以将其归为恢复稳定阶段。②恢复等级 II 的样方主要分布在海拔 320~450 m,坡向以西北、东北为主的地段,土壤厚度多在 25 cm,水土流失轻微或中等。一些耐干旱瘠薄的灌木样方多属于这种类型,有些乔木群落如刺槐和侧柏,尽管种植后也属于自然演替,但时间较短,所以群落结构和土壤条件相对较差,整体上与耐旱的灌木群落属于同一类型。该类型群落结构比较稳定,对改善环境的作用正逐步增强,因此,可以将其划分到恢复中期。③旱生草本植物群落是等级 III 常见的样方,该类型主要以一些耐旱的草本植物为主,如芎草、地黄、狗尾草、魁蒿等群落,其特点是土层薄、土壤含水量低、养分贫乏、石砾含量多,群落的盖度、高度和物种多样性较低,研究区内的一些低矮小灌木如胡枝子等也属于该类型,由于植被盖度少,在部分陡坡地段水土流失比较严重。由于研究区的环境特征,这种类型分布面积较大,是研究区的主要植被类型,对区域环境改善和防止水土流失作用较大,可以划分到恢复进程的进展阶段。④当恢复度指数小于 0.25 时,该时期样方的特点是常出现在坡度较大的地段,由于特殊地形,群落组成多是一些耐干旱瘠薄的一年生草本,如地黄、中华隐子草、蒺藜 (*Tribulus terrestris*) 等,群落总体特征是物种多样性低,植被盖度小;土壤特征是干旱、瘠薄、母质裸露、石砾含量高。因此该类型具有植被恢复的初期的特征,其恢复进程归为恢复初期阶段。

4)模型检验。为验证所建立的恢复评价模型的有效性和适应性,利用样方资料对模型进行了验证,结果见表 7。

表 7 模型计算的恢复指数值

TABLE 7 Restoration indices of the model computing			
群落类型	样地号	植被恢复度指数	恢复等级
乔木林 (栓皮栎群落)	11	0.821	I
乔木林 (刺槐群落)	2、9	0.697	II
灌丛群落 (荆条群落)	22、40	0.373	III
草本群落 (白草群落)	29、33	0.213	IV

根据模型得到的植被恢复度指数值,其中栓皮栎群落为 0.821,对照恢复度分级标准分级表,属于恢复级别 I,群落处于恢复稳定期;荆条灌丛恢复度指数为 0.373,属于恢复级别 III,群落处于恢复进展期;白草群落恢复度指数为 0.213,属于恢复初期阶段。上述计算结果与群落实际情况一致,说明所选取的评价指标和确定的权重是合适的,可以用来对植被恢复进程进行评价。

## 4 结论与讨论

根据调查,研究区植被可以划分为15种群落类型,其中乔木群落4个、灌草群落6个、草本群落5个。通过主成分分析,土壤含水量、植被盖度、土壤容重、土壤有机质等指标在第一主成分表达式中具有较大的特征值,可以认为土壤条件和群落盖度对第一主成分贡献较大;在第二主成分的表达式中,多样性指数  $H'$  的影响极大,远远超过其他指标的影响,其次是坡向和土壤厚度;在第三主成分的表达式中,坡度特征值最高,对第三主成分影响极大,其次是土壤有机质和植被盖度。

在参照聚类分析结果的基础上,利用层次分析法,采用植被恢复度指数将植被恢复进程划分为4个等级,Ⅰ级——恢复稳定期( $R > 0.75$ ),Ⅱ级为恢复中期( $0.50 \sim 0.75$ ),Ⅲ级——恢复进展期( $0.25 \sim 0.49$ ),Ⅳ级——恢复初期( $R < 0.25$ )。通过模型检验,所构建的评价指标体系和确定的权重符合实际,评价模型可靠性较高。

本研究中采用以空间代替时间的方法,通过对各种群落类型生态指标的分析来确定群落的恢复程度。然而由于影响的指标较多,指标之间的关系十分复杂,指标的选取对准确评价恢复进程影响很大。有些研究认为进展演替可以提高物种多样性指数,但是多样性指数随演替进程的变化关系,现有的研究结论还不尽相同。有的学者认为物种丰富度指数随恢复演替过程呈现出抛物线型;即表现出指数逐渐升高然后再下降的趋势;也有的学者发现多样性指数随演替进程先高后低,呈波浪式降低。而群落的指标之间的交互作用,也影响评价结果的准确性,如伴随着群落的演替的进程,土壤理化结构变化与群落多样性指数之间的关系表现的十分复杂,它们之间有些指标呈现正相关关系,有些表现为负相关,也有的不具有显著的相关性,这种因子之间的复杂关系,对准确评价群落恢复进程影响很大。因此,对更多评价指标进行筛选,能够提高评价模型的精度,可以获得更准确的结果。

在缺乏长期、系统定位观测资料时,“时空互代”方法能够有效地解决研究对象的时空置换问题。但由于不同的空间可能有着不尽相同的背景,造成相互之间在一些问题上可比性较差,这对研究结果可能有一定程度的影响。因此,建立长期的系统定位研究,弥补短时间内研究的不足,以长期和短期、宏观与微观相结合,是今后的努力方向。

### 参考文献

- [1] 章家恩,徐琪.生态退化研究的基本内容与框架[J].水土保持通报,1997,17(6):46-53.  
ZHANG J E, XU Q. Basic content and structure of ecological degradation[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1997, 17(6):46-53.
- [2] 彭少麟,陈卓全.生态恢复的全球性挑战——第十七届国际恢复生态学会综述[J].生态学报,2005,25(9):2454.

- PENG S L, CHEN Z Q. The globe challenge for ecological restoration—the 17th session of the International Conference of Restoration Ecology [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2454.
- [3] 汪殿蓓,暨淑仪,陈飞鹏.植物群落物种多样性进展[J].生态学杂志,2001,20(4):55-60.  
WANG D P, JI S Y, CHEN F P. A review on the species diversity of plant community[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(4):55-60.
- [4] 孔维静,郑征.岷江上游茂县退化生态系统及人工恢复植被地上生物量及净初级生产力[J].山地学报,2004,22(4):445-450.  
KONG W J, ZHENG Z. The aboveground biomass and net primary productivity of degraded and artificial communities in maonian, upper reach of Minjiang River[J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(4):445-450.
- [5] 唐志尧,柯金虎.秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局[J].生物多样性,2004,12(1):108-114.  
TANG Z Y, KE J H. Altitudinal patterns of plant species diversity in Mt. Niubeiliang, Qinling Mountains[J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1):108-114.
- [6] 吴彦,刘庆,乔永康,等.亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J].植物生态学报,2001,25(6):648-655.  
WU Y, LIU Q, QIAO Y K, et al. Species diversity changes in subalpine coniferous forests of different restoration stages and their effects on soil properties[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6):648-655.
- [7] 李新彬,王襄平,罗菊春,等.干扰对长白山北坡次生林群落结构和树种多样性的影响[J].林业科学,2006,42(2):105-110.  
LI X B, WANG X P, LUO J C, et al. Influence of human disturbance on community structure and tree species diversity of secondary forests on northern slope of Mt. Changbai[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(2):105-110.
- [8] 杜晓军,郭浩.辽西低山丘陵区生态系统退化程度的定量确定[J].应用生态学报,2001,12(1):156-158.  
DU X J, GUO H. Quantitative measurement on degradation degree of ecosystem in hilly region of western Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1):156-158.
- [9] 杜晓军,姜凤岐,焦志华.辽宁西部低山丘陵区植被恢复研究:基于演替理论和生态系统退化程度[J].应用生态学报,2004,15(9):1507-1511.  
DU X J, JIANG F Q, JIAO Z H. Vegetation restoration in western Liaoning hilly region: A study based on succession theory and degradation degree of ecosystem [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9):1507-1511.
- [10] 王绪高,李秀珍,贺红土,等.大兴安岭森林景观在不同火干扰及人工更新下的演替动态[J].北京林业大学学报,2006,28(1):14-22.  
WANG X G, LI X Z, HE H S, et al. Spatial simulation of forest succession under different fire disturbances and planting strategies in northern slopes of Great Xing'anling Mountains [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(1):14-22.
- [11] 马世震,陈桂琛,彭敏.青藏铁路沿线高寒草原生态质量评价指标体系初探[J].干旱区研究,2005,22(2):231-235.  
MA S Z, CHEN G C, PENG M. Preliminary study on the index system of evaluation of the ecological quality over the alpine steppes along the Qinghai-Tibet Railway [J]. *Arid Zone Research*, 2005, 22(2):231-235.
- [12] 余建英,何旭宏.数据统计分析与SPSS应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.  
YU J Y, HE X H. *Data statistical analysis and SPSS application* [M]. Beijing: Posts and Telecommunications News Publishing, 2003.

(责任编辑 赵 勃)