

基于层次分析和模糊综合评判的 尾矿库植物群落评价

于晓燕, 宋宇辰, 魏光普, 肖凤洁, 高耀辉

(内蒙古科技大学, 内蒙古 包头 014010)

摘 要:以最具代表性的稀土污染城市植物群落-包头轻稀土尾矿库周边植物景观为研究对象,将该区域分为5个研究地块,进行实地调查,并采用AHP(层次分析法)和综合模糊评判法从植物群落生态修复方面进行评价,计算指标层各因素的权重后加权计算各样地的综合评价得分并排序,以为轻稀土污染城市的植物景观改造和建设提供参考。结果表明:轻稀土尾矿库周边共有植物30科、70属、101种,经问卷调查得出尾矿库周边群落模糊综合评判结果均为中,土壤生态恢复植物群落特征评价S2区综合得分最高为0.326,其次为S3区得分为0.304,S5区得分最低为0.278,评价结果S5区为Ⅰ级,其余均为Ⅱ级,说明人工植物群落的修复效果和稳定性均优于自然植物群落,自然植物群落演替不能有效的改善土壤生态环境。

关键词:AHP;模糊综合评判;轻稀土尾矿库;植物群落;生态修复

中图分类号:S731.6

文献标识码:A

文章编号:1004-0277(2020)05-0070-10

植物群落是指特定区域内所有植物的集合,每个植物单体通过种内竞争和种间竞争等相互作用形成的全体植物组合,是适应共同生存环境的结果^[1]。植物群落是生态环境的重要组成部分,也是主要承载者和参与者^[2]。目前植物景观规划设计研究主要集中在植物的美学和空间利用,缺少对污染环境下的生态和美学的植物群落设计。本研究以包头轻稀土尾矿库周边修复地为研究地,通过AHP(层次分析法)和模糊综合评判的方法定性和

定量的分析植物群落生态修复效果,结合生态环境和美学效果对植物群落质量进行评价,科学规划尾矿库周边的植物配置,以期提供适合矿山型城市植物景观评价的方法。

1 研究地概况

1.1 自然条件

包头市海拔1067.2 m,属于半干旱、中温带大陆性季风型气候,四季分明,自然气候条件较差,

收稿日期:2019-07-04

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金项目(2018LH07002,2017MSLH0305);内蒙古科技大学创新启动基金项目(2017QDL-S05);

内蒙古自治区研究生(博士重点)创新基金项目(B20171012904Z)

作者简介:于晓燕(1985-),女,内蒙古包头人,博士,副教授,主要从事矿山生态修复及其评价工作, E-mail: yuxiaoyan2005@163.com;

通讯作者:魏光普(1986-),博士,副教授, E-mail: weigp2007@163.com

DOI:10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.20200038

冬、春两季风沙大(以西北风为主),年平均风速 1.8 m/s;夏季炎热、雨季集中在 7-8 月,年降水量 421.8 mm;日照强烈、增发量大,冬季寒冷、昼夜温差相差 20℃左右,冬夏温差相差 55℃左右,其中 2017 年年平均气温 7.2℃,最高气温 35.5℃,最低气温 -27.6℃;年日照时数 2882.2 h;辖区包括 14.49%山地,75.51%丘陵草原,10%平原;野生植物共有 95 科,380 属,843 种。

包头轻稀土尾矿库(109°42'E,40°39'N)是包钢选矿厂重要的生产、安全、环保设施,是国家重要的稀土、铈等战略资源储备库。尾矿库周边地势北高南低,平均坡度为 0.4%。尾矿库区北部和西北部为栗钙土,其余区域为草甸土。轻稀土尾矿库位于包头市城区西侧 15 km 处,黄河以南 12 km 处,南距包兰铁路 250 m~400 m。库区南北长 3.5 km,东西宽约 3.2 km,坝体总长 11.5 km,总面积约为 11.2 km²,属平地型、国家二等尾矿库。通过 2017 年对该区域植物种类和群落的调查结果显示该区域有 30 科 70 属 101 种植物,其中人工栽植种类为 21 种,野生植物 80 种,东北侧植物群落较好,东南侧较差,植物多样性差,物种匮乏。优势种为禾本科的赖草 *Leymus secalinus*、芦苇 *Phragmites australis*、藜科的碱蓬 *Suaeda glauca*、猪毛菜 *Salsola collina* 等。

2 植物群落生态恢复特征评价

2.1 植物群落特征指标选取

包头轻稀土尾矿库植物群落特征指标要从不同方面反映植物群落的生态学特性,因此主要选取群落结构特征指标和土壤理化指标两个方面共 20 个因子定性指标作量化数据分析^[3]。植物群落结构特征指标包括:乔木层性状、灌木层盖度、草本层盖度、群落结构完整性、物种多样性、丰富度指数和均匀度等 7 个指数;土壤理化性质包括:土壤含水量、非毛细管空隙、毛细管空隙、容重、pH 值、有机质、全 N、全 K、全 P、速效氮、速效钾、有效磷和轻稀土含量等 13 个(数据来源 2017 年内蒙古科技大学旱、寒型矿山园林植物生态修复矿山实验室)。计

算指标层各因素的权重后加权计算各样地的综合评价得分并排序^[4]。

2.2 植物群落结构特征指标分析

2017 年 7 月调查包头轻稀土尾矿库围墙内及围墙外周边 1 km 范围内的植物种类及植物群落。调查工具包括 GPS、测绳、钢尺、卷尺、胸径尺等。测定乔木的高度、冠幅、胸(地)径;灌木的高度、冠幅;地被的高度^[5]。植物群落的调查,以轻稀土尾矿库边坑为起点,采用经典样方法设置 16 个 20 m×20 m 调查样方,在每个样方内再设置 5 个草本样方为 1 m×1 m;5 个灌木样方为 2 m×2 m。①设置 16 个调查样方,在每一个调查点,选取表现均一、没有明显中断的群落片段;②在样线上每隔 5 m~10 m 设一样方。分别调查分析,记录样方内乔、灌、草植物的种名、株数、高度、盖度、多度等数据。16 个典型样方设置在 5 个不同区域,分为东南方向的撂荒地、湿地(1,2,3),西南方向的撂荒地(4,5,6),西北方向的废弃地(7,8,9),东北方向的撂荒地、工业用地(10,11,12)和尾矿库内绿地(13,14,15,16)进行植物多样性调查和植物群落多样性分析。点位设置方法见图 1。乔木样地内的灌木样方取对角线和四角灌木样方,草本样方为每个灌木样方的四角加中心进行调查,见表 1。

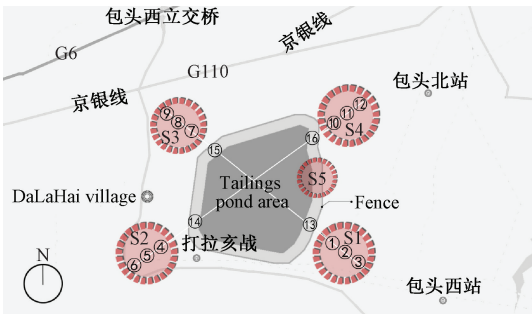


图 1 包头轻稀土尾矿库区位置示意图
Fig. 1 Location diagram of Baotou LREE tailings pond area

2.3 基于专家-层次分析法(AHP)的群落特征评价
专家-层次分析法可以定性判定该区域植物群落特征评价各指标权重。AHP 法需要经五个步骤:

(1) 明确问题建立层次结构;(2) 行业专家打分建立判断矩阵;(3) 层次单排序;(4) 层次总排序;(5) 一致性检验。后三个步骤在整个过程中需要逐层进行^[6]。

表 1 群落特征评价体系指标体系计算说明

Table 1 Interpretation of plant community characteristics evaluation index system			
Target Layer	Rule Layer	Index Layer	Index Calculation Description
Evaluation of community characteristicsA1	Community Structure Characteristic	Tree Layer Character C1	Average height, DBH and crown width of trees
		Shrub Coverage C2	Visual observation
		Herbaceous Coverage C3	Visual observation
		Community Integrity C4	Score by 2 (herbaceous layer only) , 4 (herbaceous layer only) , 6 (herbaceous layer only) , 8 (herbaceous layer only)
		Index B1	Species Diversity C5
			Richness Index C6
			Uniformity Index C7
			Non Capillary Porosity C8
			Capillary Porosity C9
			Water Content C10
			Bulk density C11
			pH C12
	Soil Physicochemical Index B2	Organic Matter C13	According to the national standards for classification of soil quality grade, the data were measured in the laboratory
		Nitrogen C14	
		Potassium C15	
		Phosphorus C16	
		Available Nitrogen C17	
		Available Potassium C18	
		Available Phosphorus C19	
		Light rare earth content C20	According to the standard of rare earth background value of soil in Inner Mongolia, the grade was divided and measured in the laboratory

2.3.1 构建层次结构模型

按照 AHP 法对植物群落特征评价体系中各指标间的相关性进行分析,将层次分析模型分为三层,即最高层、中间层和最底层。最高层是目标层;中间层是准则层(也称为条件层);最底层是指标层,是实现评价目标的具体实施方案^[7]。

2.3.2 确定判断矩阵

完成层次结构模型的建立后构建判断矩阵^[8]。专家是由具有包头轻稀土尾矿库相关研究工作的 9 名教师、研究生、实验员和技术员组成,相关领域内专家 6 名,风景园林专业研究生 3 名。专家在明确

判断矩阵的概念、含义以及判断的标准后,按评价因子个数确定表格的列与行数并进行打分,见表 2。

设因素 i 和因素 j 比较判断,重要性 a_{ij} 是因素 i 与因素 j 之比。按表中标准得到各准则下的判断矩阵, $A = (a_{ij})_{\max}$, 它具有以下性质:

① $a_{ij} > 0$;② $a_{ij} > 1/a_{ji}$;③ $a_{ij} = 1$

(1)层次单排序可以归结为计算判断矩阵的特征值和特征向量问题,为了检验判断矩阵的一致性,需要计算它的一致性指标 CI ,定义: $CI = \frac{\gamma_{\max} - n}{n - 1}$,其中, $\gamma_{\max}$ 为判断矩阵的特征值。

表 2 层次分析法评价指标重要程度标度值及其含义

Table 2 The valve and conception of the important degree of AHP assessment index

Scale	Meaning
1	Indicates that two factors are of equal importance
3	Indicates that one factor is slightly more important than the other
5	Indicates that one factor is significantly more important than the other
7	Means that one factor is more important than the other
9	Means that one factor is more important than the other
2,4,6,8	Between the two adjacent scales

显然,当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$ 。如果 $\gamma_{\max} - n$ 越大, CI 就越大, 矩阵的一致性就越差。为了检验判断矩阵是否具有满意的一致性, 需

要将 CI 与平均随机一致性指标组进行比较。 RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标, $1 \sim 9$ 阶的判断矩阵的 RI 值, 见表 3。

表 3 多阶判断矩阵平均随机一致性指标 RI 值

Table 3 The valve of average random unifying index of multi-rank judgment matrix

Order	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

对于一、二阶判断矩阵, RI 只是形式上的, 当阶数大于 2 时, 判断矩阵的一致性指标 CI 与同阶平均随机一致性的指标 RI 之比称为判断矩阵的随机一致性比例, 记为 CR , 当 $CR = CI/RI \leq 0.01$ 时, 判断矩阵具有满意的一致性, 否则就需要对判断矩阵进行调整。

(2) 层次总排序

利用同一层次中所有层次单排序的结果, 就可以计算针对上一层次而言本层次所有元素重要值的权值, 这就是层次总排序。假定上一层次所有元素 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 的总排序已完成, 得到的权值分别为 $a_1, a_2, \dots, a_m$ 与 a_i 对应的本层次元素 B_1, B_2, B_n 单排序的结果为 b_{1i}, b_{2i}, b_{ni} 。若 B_j 与 A_i 无关, 则 $b_{ji} = 0$, 见表 4。

显然, $\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_i b_j^i = 1$ 即层次总排序仍然是归一化正规向量。

(3) 一致性检验

为了评价总排序计算结果的一致性如何, 需要

计算与层次但排序类似的检验量即:

表 4 层次总排序值表

Table 4 Hierarchy of the ranking values

The	A1	A2	...	Am	Lower Combination
Lower					Priority
Element	a1	a2		am	Weight
B1	b_1^1	b_1^2		b_1^m	$\sum a_i b_1^i$
B2	B_2^1	B_2^2		B_2^m	$\sum a_i b_2^i$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
Bn	B_n^1	B_n^2	...	B_n^m	$\sum a_i b_n^i$

CI = 层次总排序一致性指标;
 RI = 层次总排序随机一致性指标;
 CR = 层次总排序随机一致性比例;

它们的表达式分别为: $CI = \sum_{i=A}^m a_i CI_i$
式中 CI_i 为与 a_i 对应的 B 层次中判断矩阵的一

致性指标。 $RI = \sum_{i=1}^m a_i RI_i$

式中: RI_i 为与 a_i 对应的 B 层次中判断矩阵的随机一致性指标。

$CR = CI/RI$, 同样当 $CR \leq 0.10$ 时,我们认为总排序的计算结果具有满意的一致性,否则认为排序结果不合理,需要重新调整判断矩阵^[9]。

2.4 权重的确立

包头尾矿库植物群落生态恢复评价分为植物群落结构特征、土壤理化性质和轻稀土含量两部分进行评价,两者重要性不太一样,经过专家打分后,这两部分权重均设定为 0.528,0.472(总体为 1)。

以下各表则具体介绍尾矿库植物群落特征评价中各指标的权重和计算过程,见表 5,表 6。

表 5 B 层对 A 层建立的判断矩阵与排序结果及一致性检验

Table 5 Layer B on layer A to establish the judgment matrix and sorting results and consistency check				
A	A1	A2	Weight W	Consistency Check
B1	1	1.1	0.528	$\gamma_{\max} = 0.0972$
B2	0.91	1	0.472	

表 6 包头轻稀土尾矿库植物群落生态恢复特征评价模型指标权重

Table 6 Index weights of ecological restoration characteristic evaluation model of plant community around Baotou LREE tailings pond

Target Layer	Points Target Layer	Index Weight
Evaluation of plant community characteristics of ecological restoration in baotou light rare earth tailings pond A	Evaluation factors of community structure characteristics B1=0.528	Tree Layer Character C1=0.042
		Shrub Coverage C2=0.036
		Herbaceous Coverage C3=0.022
		Community Integrity C4=0.033
		Species Diversity C5=0.059
		Richness Index C6=0.029
		Uniformity Index C7=0.050
		Non Capillary Porosity C8=0.020
		Capillary Porosity C9=0.020
		Water Content C10=0.045
	Soil physical and chemical properties evaluation factor B2=0.472	Bulk density C11=0.014
		Ph C12=0.027
		Organic Matter C13=0.014
		Nitrogen C14=0.010
		Potassium C15=0.011
		Phosphorus C16=0.010
		Available Nitrogen C17=0.017
		Available Potassium C18=0.017
		Available Phosphorus C19=0.016
		Light rare earth content C20=0.022

2.5 植物群落特征评价方法的确立

首先在评价指标选择指标 n ,其调查样本树木为 L 个,然后计算指标在评价对象的平均值 M_{nj} 。

①计算平均值

$$M_{n,j} = \frac{[\sum_{k=L} C_{n,k}]}{L}$$

式中: $C_{n,k}$ 是指标 i 介于调查样本中的第 k 个数值。而 $M_{n,j}$ 属于不同植物群落近自然的隶属度 $r_{n,j}$ 可由下列公式推导出。

②隶属度计算

正向指标(指标值越大,近自然程度越高)

i 当 $M_{n,j} > S_{n,1}$ 时, $r_{n,1} = 1, r_{n,2} = r_{n,3} = r_{n,4} = 0$

ii 当 $S_{n,j} \geq M_{n,j} \geq S_{n,j+1}$ 时, $r_{n,j+1} = \frac{S_{n,j} - M_{n,j}}{S_{n,j} - S_{n,j+1}},$

$r_{n,j} = 1 - r_{n,j+1}; (j=1,2,3)$

iii 当 $M_{n,j} < S_{n,4}$ $r_{n,4} = 1, r_{n,1} = r_{n,2} = r_{n,3} = 0$

负向指标(指标值越大,近自然程度越低)

i 当 $M_{n,j} < S_{n,1}$ 时, $r_{n,1} = 1, r_{n,2} = r_{n,3} = r_{n,4} = 0$

ii 当 $S_{n,j} \leq M_{n,j} \leq S_{n,j+1}$ 时, $r_{n,j+1} = \frac{S_{n,j} - M_{n,j}}{S_{n,j} - S_{n,j+1}},$

$r_{n,j} = 1 - r_{n,j+1}; (j=1,2,3)$

iii 当 $M_{n,j} > S_{n,4}$ $r_{n,4} = 1, r_{n,1} = r_{n,2} = r_{n,3} = 0$

③作一级综合评价

$$B_y = W_y^\circ \times \begin{bmatrix} r_{1,1} & \cdots & r_{1,j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m,1} & \cdots & r_{m,j} \end{bmatrix}$$

($y = 1,2,3,4; j = 1,2,3,4$) (m 为准则层第 y 个

特征包含的指标个数)

式中: B_y 为准则层特征要素的相对不同群落等级的相对隶属度矩阵, W_y 为准则层第 y 个特征所包含评价指标的权矩阵。

④作二级综合评价

$$A = W^\circ \times \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_y \end{bmatrix} \quad (y = 4)$$

式中: A 为被评价群落的指标总体隶属于不同等级的隶属度, W 为准则层特征要素的权矩阵。

最后按照最大隶属度原则,判定被评价群落所处的等级。其不同等级的隶属度乘以不同等级的赋值的结果即为评价群落的自然度^[10,11]。

2.6 植物群落特征评价标准的确定

尾矿库植物群落特征评价标准按照四级设立,按照优、良、中、差依次为Ⅳ,Ⅲ,Ⅱ和Ⅰ级。其中植物群落结构特征指标的评价标准参考前人研究结果和专家咨询^[12],土壤理化性质及轻稀土含量指标标准参考《国家土壤质量标准》(GB 15618-1995)相关条款制定^[13]。植物群落特征评价标准,见表 7。

表 7 植物群落特征评价标准

Table 7 Evaluation criteria of plant community characteristics

Indicator/Grade	Ⅳ Optimal	Ⅲ Good	Ⅱ Middle	Ⅰ Poor
	D=15 cm;H>6 m;	D=12~15 cm;H>4~	D=8~12 cm;H>3~	D=6~8 cm;H>2~
1. Tree Layer Character	GF>4 m	6 m;GF>2.5~4 m	4 m;GF>2~3 m	3 m;GF>1.5~2 m
2. Shrub Coverage	>60%	40%~60%	20%~40%	<20%
3. Herbaceous Coverage	>85%	60%~85%	30%~60%	<30%
4. Community Integrity	8(Trees, shrubs and grasses)	6(Trees grass)	4(Shrub grass)	2(Trees grass)
5. Species Diversity	>0.7	0.5~0.7	0.3~0.5	<0.3
6. Richness Index	>10	7.5~10	5~7.5	<5
7. Uniformity Index	>0.7	0.5~0.7	0.3~0.5	<0.3
8. Non Capillary Porosity %	>10	8~10	6~8	<6
9. Capillary Porosity %	>50	40~50	30~40	<30
10. Water Content %	>15	8~15	5~8	<5
11. Bulk density g/cm ⁻³	<1.2	1.2~1.5	1.5~1.7	>1.7
12. pH	6.5~7.5	7.5~8.5	8.5~9.0	>9.0
13. Organic Matter g/kg	>40	20~40	6~20	<6
14. Nitrogen g/kg	>2	1~2	0.5~1	<0.5

续表 7

Indicator/Grade	Ⅳ Optimal	Ⅲ Good	Ⅱ Middle	Ⅰ Poor
15. Potassium g/kg	>25	15~25	5~15	<5
16. Phosphorus g/kg	>1	0.6~1	0.2~0.6	<0.2
17. Available Nitrogen mg/kg	>150	90~150	30~90	<30
18. Available Potassium mg/kg	>200	100~200	30~100	<30
19. Available Phosphorus mg/kg	>40	10~40	3~10	<3
20. Light rare earth content				
La (mg/kg)	>32.8	32.8~98.4	98.4~328	>328
Ce (mg/kg)	>49.1	49.1~147.3	147.3~491	>491
Pr (mg/kg)	>5.68	5.68~17.04	17.04~56.8	>56.8
Nd (mg/kg)	>19.2	19.2~57.6	57.6~192	>192
Sm (mg/kg)	>3.81	3.81~11.43	11.43~38.1	>38.1
Pm (mg/kg)	>1.12	1.12~3.36	3.36~11.2	>11.2
Eu (mg/kg)	>0.81	0.81~2.43	2.43~8.1	>8.1

3 结果与讨论

3.1 基于模糊综合评判的植物群落特征评价

2017 年以尾矿库坑边缘为起点,周边 1 km 范围内进行植物多样性调查,将轻稀土尾矿库分为 5 个研究样地,S1 是库外东南方向、S2 是库外西南方向、S3 是库外西北方向、S4 是库外东北方向和 S5 是库内,南低北高平均坡度为

0.4%。分别在 5 个研究样地中选取植物群落较好的地块作为植物群落修复地进行分析见图 1。

参照表 8 中各指标评价标准,将尾矿库 2017 年实测的 5 个区域植物群落恢复土壤结果进行客观评价,根据之前所列评价方法计算隶属度,分别得出尾矿库一级和二级准则层指标模糊评判结果^[14],见表 8,表 9。

表 8 尾矿库一级准则层指标模糊评判结果

Table 8 Fuzzy evaluation results of thefirst-level Indexes around LREE tailings pond

Sample	Level Indicators	Membership Matrix				Evaluation Results	Comprehensive Score
		Ⅳ Optimal	Ⅲ Good	Ⅱ Middle	Ⅰ Poor		
S5	Biological Indicators P1	0.121	0.216	0	0.663	I	0.280
	Soil Indicators P2	0	0.084	0.602	0.314	II	0.277
S4	Biological Indicators P1	0.121	0	0.799	0.080	II	0.316
	Soil Indicators P2	0	0.128	0.558	0.314	II	0.281
S3	Biological Indicators P1	0.121	0.372	0.133	0.373	I	0.324
	Soil Indicators P2	0	0.084	0.658	0.258	II	0.283
S2	Biological Indicators P1	0.121	0.373	0.426	0.080	II	0.353
	Soil Indicators P2	0	0.211	0.530	0.258	II	0.295
S1	Biological Indicators P1	0.121	0.402	0.133	0.344	III	0.330
	Soil Indicators P2	0	0.084	0.658	0.258	II	0.283

表 9 尾矿库二级准则层指标模糊评判结果

Table 9 Fuzzy evaluation results of the second-level indexes of LREE tailings pond

Sample	Secondary Indicators	Membership Matrix				Evaluation	Comprehensive
		Ⅳ Optimal	Ⅲ Good	Ⅱ Middle	Ⅰ Poor	Results	Score
S5	Ecological restoration community characteristics of soil around tailings pond	0.064	0.154	0.284	0.498	Ⅰ	0.278
S4		0.064	0.061	0.685	0.190	Ⅱ	0.300
S3		0.064	0.236	0.381	0.319	Ⅱ	0.304
S2		0.064	0.297	0.475	0.164	Ⅱ	0.326
S1		0.064	0.252	0.381	0.304	Ⅱ	0.308

由表 9 可以得出,尾矿库一级准则层指标模糊评判结果 5 个研究区生物指标评价由差到良,土壤指标评价为中。生物指标 S3 区和 S5 区为差,S2 区和 S4 区为中,S1 区生物指标为良,这可能与植物群落完整度、多样性和丰富度较差有关;生物综合评分为 S2>S1>S3>S4>S5。土壤指标可能与土壤物理性质和化学性质有关,土壤综合评分为 S2>S1=S3>S4>S5,这可能与植物群落盖度有关。从由表 9 可以得出,尾矿库周边群落模糊综合评判结果均为中,土壤生态恢复植物群落特征评价 S2 区综合得分最高为 0.326,其次为 S3 区得分为 0.304,S5 区得分最低为 0.278,说明植物群落恢复乔灌草合理配置并保证成活率,群落逐步趋于稳定,恢复效果良好。

4 结论

AHP 结合模糊综合评判法评价体系中定量计算,大多数研究为通过研究区内植物群落中植物种类的研究分析群落的稳定性和演替趋势等,本研究认为通过同一研究区域内人工植物群落和自然植物群落的定量分析,可以更科学的评价植物群落稳定性和演替趋势,因此根据评价结果显示,人工植物群落的修复效果和稳定性均优于自然植物群落;自然植物群落演替不能有效的改善土壤环境。因此植物群落恢复土壤效应应遵循生态学理论、恢复生态学理论和景观生态学理论,根据自然规律进行人工植物群落恢复。

参考文献:

[1] 赵丹,崔毓萱,刘筱玮,王涵,计红岩,周晟,岳桦. 寒地校园植物景观评价——以东北林业大学校园为例[J]. 东北林业大学学报,2018,46(9):80-83,88.
Zhao D, Cui Y X, Liu X W, Wang H, Ji H Y, Zhou S, Yue H. Evaluation of plant landscape in campus of cold region——Taking Northeast Forestry University Campus as an example[J]. Journal of Northeast Forestry University,2018,46(9):80-83,88.

[2] 雷金睿,辛欣,宋希强,何荣晓. 基于 AHP 的海口市公园绿地植物群落景观评价与结构分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):262-268.
Lei J R, Xin X, Song X Q, He R X. Landscape evaluation and structure analysis of plant community in Haikou City Parks, based on analytic hierarchy process[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(3):262-268.

[3] 朱云辰,毛一平. 基于层次分析法的浙江大学紫金港东区植物景观评价[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2013,39(4):452-459.
Zhu Y C, Mao Y P. Evaluation of plant landscape at east Zijingang area of Zhejiang University based on analytic hierarchy process [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences),2013,39(4):452-459.

[4] 高洁琼,李锋,杨芳绒. 基于 AHP 的郑州绿博园滨水植物群落的景观评价与分析[J]. 西部林业科学,2017,46(3):109-115.

- Gao J Q, Li F, Yang F R. Landscape evaluation and analysis on Waterfront Plant Communities in Zhengzhou Green Expo Garden based on AHP[J]. Journal of West China Forestry Science, 2017, 46(3): 109-115.
- [5] 赵琳, 毛洪玉. 基于层次分析法的沈阳高校植物景观调查与评价[J]. 北方园艺, 2013, (7): 85-89.
- Zhao L, Mao H Y. Study on the resources and ornamental characteristics of ranunculus japonicus in Wulian Mountain Area[J]. Northern Horticulture, 2013, (7): 85-89.
- [6] 曾凤, 李许文, 胡晓敏, 陈红锋. 广州白云山典型景区园林植物群落景观评价[J]. 中国园林, 2014, 30(8): 97-101.
- Zeng F, Li X W, Hu X M, Chen H F. Landscape evaluation of typical garden plant communities in Baiyun Mountain Scenic Site of Guangzhou[J]. Chinese Landscape Architecture, 2014, 30(8): 97-101.
- [7] 黄广远, 徐程扬, 朱解放, 毛斌. 基于层次分析法和逼近理想解排序法的高校校园绿地景观评价[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(9): 113-115, 123.
- Huang G Y, Xu C Y, Zhu J F, Mao B. Evaluation of green landscape in college campuses based on a combined AHP-TOPSIS method[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(9): 113-115, 123.
- [8] 沈雯, 李凯, 王秀荣. 层次分析法与美景度评价法在植物景观评价中的综合运用[J]. 北方园艺, 2018, (11): 110-117.
- Shen W, Li K, Wang X R. Comprehensive application of AHP method and SBE method in plant landscape evaluation[J]. Northern Horticulture, 2018, (11): 110-117.
- [9] 金彪, 孙明艳, 李海防. 基于 AHP-模糊综合评价法的桂林“两江四湖”旅游景区植物景观评价[J]. 北方园艺, 2017, (1): 203-207.
- Jin B, Sun M Y, Li H F. Plant landscape evaluation of tourist attraction based on AHP-Fuzzy comprehensive evaluation in Two Rivers and Four Lakes in Guilin[J]. Northern Horticulture, 2017, (1): 203-207.
- [10] 康秀琴, 李海防. 基于层次分析法的桂林市“两江四湖”景区植物景观评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(3): 129-133, 140.
- Kang X Q, Li H F. Plant landscape evaluation of two river and four lakes based on analytic hierarchy process[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(3): 129-133, 140.
- [10] 陈芳洲, 董丽. 基于 AHP 法的西安市 9 个公园绿地冬季植物景观评价[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5): 258-261.
- Chen F Z, Dong L. Evaluation of plantscape in winter by AHP method in Xi'an[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(5): 258-261.
- [11] 康秀琴. 基于 AHP 法的桂林市 8 个公园绿地植物景观评价[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 273-278.
- Kang X Q. Evaluation on plantscape of eight parks in Guilin by AHP method[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6): 273-278.
- [13] 孟亚南, 王佩佩, 谢珊珊, 张琳, 孔德政, 刘艺平. 基于 AHP 法的郑州市人民公园植物群落景观评价[J]. 天津农业科学, 2017, 23(9): 95-100.
- Meng Y N, Wang P P, Xie S S, Zhang L, Kong D Z, Liu Y P. Evaluation of plant community landscape in Zhengzhou People's Park Based on AHP method[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2017, 23(9): 95-100.
- [14] 刘洋, 高宇, 张睿. 基于 AHP 模型的冬季校园植物景观评价——以东北林业大学为例[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(4): 171-173.
- Liu Y, Gao Y, Zhang R. Evaluation of the winter campus plant landscape based on AHP model——A case study of Northeast Forestry University [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(4): 171-173.

Assessment of Plant Community around Baotou LREE Tailings Reservoir Based on
AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

YU Xiao-yan, SONG Yu-chen, WEI Guang-pu, XIAO Feng-jie, GAO Yao-hui

(Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Taking the plant landscape around Baotou light rare earth element (LREE) tailings reservoir, the most representative rare earth polluted urban plant community as the research object, this area is divided into five research plots, and field investigation is carried out. AHP (Analytic Hierarchy Process) and comprehensive fuzzy evaluation method are used to evaluate the ecological restoration of plant communities, and corresponding optimization countermeasures are put forward to solve the existing problems, in order to provide a reference for the plant landscape reconstruction and construction of the city pollution by LREE. The results show that there are 101 species of plants in 30 families, 70 genera and 101 species in the vicinity of the tailings pond. The results of the questionnaire survey show that the fuzzy comprehensive evaluation of the community around the tailings pond is moderate. The highest comprehensive score is 0.326 in S2 area, followed by 0.304 in S3 area, and the lowest score is 0.278 in S5 area. The evaluation results show that S5 area is grade I and the rest are grade II. The restoration effect and stability of the man-made plant communities are better than that of natural plant communities, and the succession of natural plant communities cannot effectively improve the soil ecological environment.

Key words: AHP; fuzzy comprehensive evaluation; light rare earth tailings pond; plant community; ecological restoration