

河南平顶山煤矸石山植被恢复的适宜性评价研究

赵晓亮¹, 李瑞锋², 齐庆杰³

(1. 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 中煤国际工程集团北京华宇工程有限公司 西安分公司, 西安 710061; 3. 辽宁工程技术大学 安全科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:煤矸石山植被恢复适宜性评价是对煤矸石山植被恢复适宜程度进行的评价, 同时是开展煤矸石山植被恢复的工作基础。以河南平顶山一矿煤矸石山为评价对象, 将不同海拔高度、不同光照条件下的矸石山划分为 6 个单元, 因地制宜地选择了土层厚度、田间持水量等 7 个评价因子, 应用主成分分析法对研究对象进行植被恢复适宜性评价。评价结果表明: 一矿煤矸石山植被恢复的主要限制因子为土层厚度、田间持水量和有机质含量, 各评价单元适宜性得分分别为: A1 区域为 2.68、A2 区域为 1.84、B1 区域为 2.97、B2 区域为 1.98、C1 区域为 3.11、C2 区域为 2.97, 由此得出海拔低的区域比海拔高的区域更适宜植被恢复, 矸石山阴面区域比阳面区域更适宜植被修复的结论。

关键词:煤矸石山; 植被恢复; 适宜性; 评价

中图分类号: X171.4; F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)06-0264-04

Research on Suitability Assessment of Vegetation Restoration for Pingdingshan Coal Vague Mountain

ZHAO Xiao-liang¹, LI Rui-feng², QI Qing-jie³

(1. College of Resources and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. Chinese National Coal Co. Ltd Xi'an Branch Company, Xi'an 710061, China; 3. College of Safety and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: The suitability assessment for the gangue mountain vegetation restoration is an appraisal to assess the suitable degree of the gangue mountain vegetation resilience. The suitability appraisal has been developed to be the foundation for study on the restoration of the gangue mountain vegetation. The study site is located in a gangue mountain of Pingdingshan, He'nan Province, which is divided into six units according to the altitudes and the solar irradiance. Seven assessment factors such as depth of soil layer, water holding capacity of soil were chosen according to the local conditions. The recovery of the vegetation was evaluated by using the principal component analysis. The results show that the main restrictions for vegetation restoration are the depth of the soil, water holding capacity of soil and the content of organic matter. The suitability scores for different regions were 2.68 for unit A1, 1.84 for unit A2, 2.97 for unit B1, 1.98 for unit B2, 3.11 for C1, 2.97 for unit C2. It can be seen that the regions with lower altitudes are much more suitable for the restoration of the vegetation compared with the regions with higher altitudes. It can also be found out that the shady side of hillock is much more suitable for the restoration of the vegetation compared to the southern aspects of the regions.

Key words: gangue mountain; vegetation restoration; suitability; assessment

煤矸石植被恢复适宜性评价是评价对煤矸石山特定用途的适宜程度^[1]。通过对煤矸石山的自然、经济属性的综合描述, 阐明煤矸石山属性所具有的生产潜力以及对耕地、园地、林地、牧草地等不同用途的

适宜性和适宜程度差异的评定, 评价过程大致相同但评价的具体方法较多, 如杨伦等用经验法确定矿区废弃地的各评价因子的权重, 评价结果受主观性影响较大^[2], 有学者用最小限制因素法对矿区土地复垦

适宜性评价,该法有一定的片面性^[3],肖文发等人用 Landsat TM 遥感影像结合灰色系统关联度分析了评价过程中对各评价因子等级划分和评分时所产生的不确定性因素^[4],王莹等人将三标度打分法与层次分析法相结合,确定了各因素的权重;采用模糊综合评价—灰色关联优势分析的方法,建立了煤矿废弃地植被恢复潜力评价模型^[5]。鉴于煤矸石山植被恢复的多评价因子的特殊性,选择主成分分析法对煤矸石山植被修复进行进一步探讨和细化评价过程研究。

1 评价单元的划分方法

采取把土地利用现状图与各影响土地质量的参评因子分级图进行套叠,求取最小图斑,并以此最小图斑作为最基本的评价单元。这样各评价单元内土地利用方式是一致的,土地属性、土地质量也是相对一致的。选取平顶山一矿煤矸石山不同海拔高度,不

同风化程度的单元作为评价单元,同海拔高度土壤植被等特征也基本一致,煤矸石的风化程度不宜量化,排矸年限一致的阴、阳坡,水分、日照条件明显不同,风化程度也存在很大差别,因此用日照条件间接表征风化程度。具体划分单元见表 1。

表 1 平顶山一矿煤矸石山植被恢复评价单元的划分

位置	阴面	阳面
高(山顶部)	A1	A2
中(山腰)	B1	B2
低(山底部)	C1	C2

2 评价因子的选取

因为评价区的面积较大,考虑的因素比较多,在特殊性下考虑共性,生态因子的差异主要表现在土壤质量的差异上,依据评价因子的选取原则^[6]选取土层厚度、沙粒含量、容重、有机质、pH 值、坡度、田间持水量作为评价因子(表 2)。

表 2 平顶山一矿煤矸石山植被恢复适宜性评价因子

指标名称	选取原因
土层厚度	反映土壤生产潜力、植被根系的发育和固着
沙粒含量	影响水肥气热供应
容重	反映土壤结构、松紧度、孔隙度和土壤内部生物活动,影响土壤团聚体营养元素的固定和释放
有机质	反映土壤的营养供应状况,一定程度上决定土壤 N、P、K 的含量,调节土壤生物的动力,影响其他理化性质
pH 值	影响植被生长,植被对营养的吸收情况,土壤微生物的生长繁殖
坡度	影响矸石山的持水性和工程难度
田间持水量	反映土壤水分状况

3 主成分分析的计算方法

(1)原始数据的标准化。将数据进行标准化处理,将所有的数据标准到同一个水平上衡量^[7]。假设 N 个样本,每一个样本有 P 个指标,则这 N 个样本组成的向量和 P 个指标构成的向量可得。对数据进行标准化处理,使每一个变量的平均值为 0,方差为 1。对 X 矩阵中的数据进行标准化处理可以达到统一指标间量纲的目的,处理后可得到,矩阵 X 与标准化矩阵 Z 。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1P} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NP} \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1P} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{N1} & z_{N2} & \cdots & z_{NP} \end{bmatrix} = [z_1 \ z_2 \ \cdots \ z_P]$$

$$\text{令 } z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}; \bar{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij};$$

$$S_j^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \tag{1}$$

其中: $i=1,2,\cdots,N; j=1,2,\cdots,P$ 。

(2)求相关矩阵计算相关矩阵。设 R 是标准化矩阵 Z 的协方差阵 Σ 的相关矩阵。标准化矩阵 Z 的协方差阵 Σ 为:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} S_1^2 & \text{cov}(1,2) & \cdots & \text{cov}(1,P) \\ \text{cov}(2,1) & S_2^2 & \cdots & \text{cov}(2,P) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{cov}(P,1) & \text{cov}(P,2) & \cdots & S_P^2 \end{bmatrix}$$

其中: $\text{cov}(x,x) = S_x^2$ (2)

$$\text{cov}(x,y) = \text{cov}(y,x) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \tag{3}$$

$$\text{由 } r_{ij} = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{S_x S_y} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N z_{ik} z_{jk} = \frac{1}{N-1} Z \cdot Z^T \text{ 可求出相关矩阵 } R。$$

式中: N ——样本个数; Z ——标准化矩阵; R —— Z 的协方差阵 Σ 的相关矩阵。

(3) 求相关矩阵的特征值与特征向量。解 $|R - \lambda I|$ 方程得到 p 个非负特征值, 设其特定值从大到小排列为: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$, 依次为第一, 第二, \dots , 第 k 主成分, 且 y_i 的方差 $\text{cov}(y_i)$ 所对应的特征值为 λ_i 。主成分的确定基于最大方差原则, 因此数据的大部分方差包含于第一个主成分中, 第二个主成分比第三个主成分所包含的信息多, 且主成分矢量之间相互正交。并且第一主成分的贡献最大, 起主导作用。主成分越靠后, 其提供的方差贡献率越少, 其重要性就越小。根据所有主成分所包含的方差百分数, 计算出所需的主成分^[8]。

(4) 计算特征值的贡献率与累积贡献率

表 3 平顶山一矿煤矸石山的各评价因子初始值

项目	pH 值	坡度/(°)	容重/(g · cm ⁻³)	沙粒含量/%	有机质/%	田间持水量/%	土层厚度/m
A1	4.51	6.31	1.22	26.45	10.70	5.23	25.26
A2	4.47	9.66	1.19	20.89	6.52	4.51	13.32
B1	6.07	16.50	1.15	30.12	16.33	9.12	30.89
B2	5.94	16.10	1.09	20.52	9.45	6.47	18.11
C1	5.85	21.54	1.35	33.60	28.56	12.23	36.24
C2	5.62	23.17	1.48	26.36	22.71	9.87	23.30

4.1 数据标准化

为了消除由于量纲的不同可能带来的不合理的影

响, 应先对原始数据进行统一标准化。由 Matlab 软件调用 `zscore` 函数对样本矩阵求出, 结果如下:

$$m = \begin{bmatrix} 4.5100 & 6.3100 & 1.2200 & 26.4500 & 10.7000 & 5.3500 & 25.2600 \\ 4.4700 & 9.6600 & 1.1900 & 20.8900 & 6.5200 & 4.5100 & 13.3200 \\ 6.0700 & 16.5000 & 1.1500 & 30.1200 & 16.3300 & 9.1200 & 30.8900 \\ 5.9400 & 16.1000 & 1.0900 & 20.5200 & 9.4500 & 6.4700 & 18.1100 \\ 5.8500 & 21.5400 & 1.3500 & 33.6000 & 28.5600 & 12.2300 & 36.2400 \\ 5.6200 & 23.1700 & 1.4800 & 26.3600 & 22.7100 & 9.8700 & 23.300 \end{bmatrix}$$

$$Z = \text{zscore}(m)$$

$$Z = \begin{bmatrix} -1.2368 & -1.4079 & -0.1859 & 0.0248 & -0.5880 & -0.8938 & 0.0889 \\ -1.2917 & -0.8973 & -0.3949 & -1.0632 & -1.0784 & -1.1344 & -1.3454 \\ 0.9070 & 0.1453 & -0.6737 & 0.7429 & 0.0725 & 0.4060 & 0.7652 \\ 0.7283 & 0.0843 & -1.0919 & -1.1356 & -0.7346 & -0.4795 & -0.7700 \\ 0.6046 & 0.9135 & 0.7202 & 1.4239 & 1.5074 & 1.4451 & 1.4079 \\ 0.2886 & 1.1620 & 1.6262 & 0.0072 & 0.8211 & 0.6566 & -0.1466 \end{bmatrix}$$

4.2 相关系数矩阵及特征值与特征向量

求出原始样本数据标准化后的相关系数矩阵, 从各指标间的相关系数可看出, 90% 以上的数据绝对值大于 0.1, 表明全部变量至少与一个以上的其它变量有较大的相关系数, 因而适宜用主成分分析法研究变量之间的关系。计算相关矩阵的特征值及相应特征

$$\text{令 } g_i = \lambda_i / \sum_{j=1}^p \lambda_j; \quad G_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i / \sum_{j=1}^p \lambda_j \quad (4)$$

式中: g_i ——第 i 个主成分的贡献率, 指标的方差反映了指标的变化。它越大, 表明指标概括 z_1, z_2, \dots, z_p 的能力越强。显然, 第一主成分 y_1 的贡献率最大, y_2 次之, 其它依次类推到 y_p 贡献率依次减小。 G_i ——前 k 个主成分的累计贡献率。当累计贡献率 $\geq 80\%$ 时, 选这前 k 个主成分基本就能满足要求, 因为它们的方差之和已占全部方差的 80% 以上^[9]。

4 主成分分析法中的数值处理与分析

由表 1 与表 2 可知, 样本数为 6, 评价因子数为 7, 以河南平顶山一矿煤矸石山为测量对象, 沙粒含量、有机质、田间持水量以剖面 20 cm 深度测量, 原始数据见表 3。

向量结果见表 4。

4.3 贡献率、累计贡献率以及指标等级划分

各因子的贡献率见表 5, 主成分个数按累积贡献率 $G_i \geq 90\%$ 原则来确定。每个主成分都反映一种不同的限制因子, 因此对评价因子较多的植被恢复适宜性评价问题来说主成分分析法具有很好的客观性^[10-11]。

表 4 平顶山一矿煤矸石山评价因子特征值及特征向量

土层厚度	田间持水量	有机质	沙粒含量	容重	坡度	pH 值
λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
4.9793	1.0174	0.9539	0.0340	0.0153	0.0000	-0.0000
V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
0.3110	0.7052	-0.0595	-0.5163	-0.0274	-0.0100	-0.3675
0.3780	0.2615	-0.4763	0.2223	-0.2176	0.3360	0.5935
0.2815	-0.5937	-0.4984	-0.5339	-0.0830	-0.1561	-0.0598
0.3823	-0.2145	0.4780	0.0444	-0.6885	0.2636	-0.1837
0.4390	-0.1647	-0.0710	0.3146	0.5487	0.4380	-0.4281
0.4454	0.0648	-0.0361	0.4382	-0.0426	-0.7715	-0.0842
0.3792	-0.0673	0.5353	-0.3256	0.4100	-0.0776	0.5339

注: λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 分别为上述相关矩阵的 7 个特征值; V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 、 V_7 分别为上述相关矩阵的 7 个相应的特征向量。

表 5 平顶山一矿煤矸石山评价因子贡献率与累计贡献率

因子	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
第一主成分(土层厚度)	4.9793	71.04	71.04
第二主成分(田间持水量)	1.0174	14.53	85.57
第三主成分(有机质)	0.9539	13.63	99.20

评价以《中国 1/100 万土地资源图》等级划分标准作参考,划分出评价各参评因子关于植被恢复适宜性的 4 个等级标准如下,非常适宜、适宜、勉强适宜、暂不适宜分别取 4 分、3 分、2 分、1 分(表 6)。

表 6 平顶山一矿煤矸石山评价指标等级划分及其权重

指标	非常适宜	适宜	勉强适宜	暂不适宜	分值
	4	3	2	1	权重/%
土层厚度/cm	≥40	20~40	10~20	<10	71.04
田间持水量/%	>18	12~18	6~12	<6	14.53
有机质/%	>15	10~15	5~10	<5	13.63

4.4 评价区域的综合得分

各主成分的权重计算评价单元的综合得分公式见式(5)。

$$P=P_1I_1+P_2I_2+P_3I_3+\cdots+P_nI_n \quad (5)$$

式中: P ——评价单元综合得分; P_n ——主成分因子得分; I_n ——主成分因子的权重; n ——主成分个数。

各评价单元的综合得分见表 7。

表 7 平顶山一矿煤矸石山植被恢复评价单元综合得分

评价单元	土层厚度	田间持水量	有机质	综合得分
A1	3	1	3	2.68
A2	2	1	2	1.84
B1	3	2	4	2.97
B2	2	2	2	1.98
C1	3	3	4	3.11
C2	3	2	4	2.97
权重/%	71.04	14.53	13.63	

注:根据《中国 1/100 万土地资源图》等级划分标准以及参考各学者对土地适宜性评价的评分标准,一般认为得分在 2 分以上的适合进行植

被恢复。

5 结 论

(1)河南平顶山一矿煤矸石山植被恢复主要限制因子是煤矸石的风化程度、田间持水量和有机质含量。矸石山阴面山脚单元(C1)综合得分最高为3.11,即现场矸石风化良好,土壤情况适合植被生长,评价结果与实际植被生长状况相符。建议依靠自然条件,辅以人工管理进行植被修复。

(2)矸石山顶阳面和山腰阳面单元(A2、B2)的综合得分较低,分别为 1.84、1.98,即土壤状况不适合植被生长,必须借助覆土、灌溉等工程措施改善土壤理化特性,考虑到节约资金投入,建议利用附近城市污水处理厂产生的熟污泥作为覆土原料,不但解决污水处理厂的污泥排放问题,也有利于充分利用污泥中的大量磷、氮等植被生长营养物质。

(3)各评价单元的综合得分表明:由于煤矸石山的阴面水分蒸发量少,煤矸石较快的风化速度以及溶出的大量元素提高了土壤的质量。海拔较低的评价单元综合得分高于海拔较高的单元,更适宜植被的恢复。建议按照不同海拔高度种植不同类型的恢复植被,遵循由低往高,逐步建立植被群落的原则,利用生态自身的结构与功能演化,加速煤矸石山表面有机土壤层的尽快形成。平顶山矿区地处中原黄土半干旱区域,自然降雨不充沛,所以水源问题是高层单元植被恢复必须首先解决的问题。

参考文献:

[1] 张彩霞,许丽,周心澄. 阜新矿区煤矸石山植被恢复土地适宜性评价[J]. 水土保持研究,2003,10(5):56-58.

[2] 杨伦,范海英,刘茂华,等. 矿区废弃土地资源评价因子及其权重的确定[J]. 矿山测量,2005,7(2):1-3.

[3] 潘元庆,刘晓丽,谷志云,等. 矿山土地适宜性评价及复垦模式:以河南省重点煤炭基地土地复垦工程为例[J]. 国土资源科技管理,2007,10(4):112-115.

林培育学科高新科技的应用主要集中在林木育种和良种繁育、育苗技术、造林技术等领域,通过基因工程(如基因重组、转基因等)、克隆(如体细胞培养等)、倍体育种(如优良多倍体的培育)、辐射育种等高新技术与常规育种(杂交育种)相结合实现森林的多目标培育(速生、丰产、优质、抗性);栽培生理基础研究(细胞及分子水平)及应用基础研究将为良种繁育技术、育苗技术、森林培育的定向及集约技术的发展和新兴的森林培育技术的产生提供坚实的科学基础,也将成为提高森林培育质量的强大动力。

3.3 加强林业有害生物防治技术的研究,应用保障林地水土保持功能的持续提高

对制约西北地区林业生产可持续发展的有害生物问题开展基础理论及防治关键技术的创新。在西北地区林业重大有害生物成灾规律、重大有害生物可持续控制技术创新、植保资源生物多样性及其利用、生物源新农药创制方面有所突破,为林地水土保持功能的持续提高提供保障。

3.4 加强林业科技推广体制创新,促进林业新技术新成果推广与转化

近年来,林业科技工作者通过研究攻关,在森林

培育方面取得了一系列新的技术和成果,但由于推广体制、机制等原因,新技术、新成果没有很快地推广普及到广大林区,没有被林农真正掌握。加快林业科技推广体制改革和创新,建立适宜不同地区林业科技入户的新机制、新模式是当前加快林业科技成果转化为实现生产力的重要途径。根据我国林业科技的发展现状和推广体制存在的问题,应发挥政府、科教单位、企业等多方面的优势,建立多轮驱动、相互协作的多元化林业科技推广新机制、新模式,促进成果转化,将会对林地水土保持功能的持续提高发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 高志义. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 孙玉军. 可持续发展机制及相应林业对策的研究[J]. 东北林业大学学报,1995,23(4):15-20.
- [3] 张华嵩. 植被恢复过程与防止土壤流失效果的研究[J]. 林业科学,1989,25(1):40-49.
- [4] 姜凤岐. 现有林地合理经营与改造技术研究[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [5] 胡贵泉. 水源林、水保林林分结构与密度管理[C]//长江中上游林地建设论文集. 北京:中国林业出版社,1991.
- [6] 姜凤岐,朱教君,曾德慧,等. 防护林经营学[M]. 北京:中国林业出版社,2002.

(上接第 263 页)

- [2] 蓝崇钰,束文圣,孙庆业. 采矿地的复垦[M]//陈昌笃. 持续发展与生态学. 北京:中国科技出版社,1993:132-138.
- [3] Dudka S, Adriano D C. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review[J]. Journal of Environmental Quality, 1997, 26: 590-602.
- [4] Wong M H. Environmental impacts of iron ore tailings:

the case of Tolo Harbour, HongKong[J]. Environmental Management, 1981, 5: 135-145.

- [5] 赵敏慧,杨礼攀. 基于现状植物群落特征的东大河磷矿开采区植被恢复研究[J]. 玉溪师范学院学报,2007,23(8):46-51.
- [6] 吕福军,王晓辉. 通辽市科尔沁区适宜林种结构和树种配置的探讨[J]. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2003,18(1):50-52.

(上接第 267 页)

- [4] 肖文发,雷静品. 三峡库区森林植被恢复与可持续经营研究[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(2):138-144.
- [5] 王莹,李道亮. 煤矿废弃地植被恢复潜力评价模型[J]. 中国农业大学学报,2005,10(2):88-92.
- [6] 焦志芳,高建钰,白中科. 露天煤矿待复垦土地适宜性评价单元类型的划分[J]. 山西农业大学学报,1999,19(1):49-51.
- [7] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. 数学的实践与认

识,2003,33(8):32-35.

- [8] 孙文爽,陈兰祥. 多元统计分析[M]. 北京:高等教育出版,1994:404-415.
- [9] 冯长春,侯玉亭. 城镇土地评价中主成分分析法的应用[J]. 技术经济研究,2007(7):27-31.
- [10] 庞智强. 主成分分析能客观赋权吗[J]. 统计教育,2006,79(4):9-11.
- [11] 刘宏伟,马传明,张洪升. 平顶山矿区煤矸石现状分析与利用研究[J]. 山东煤炭科技,2008,31(2):44-46.