

# 基于主成分分析法的煤矸石山植被水土保持功能评价<sup>\*</sup>

贺 尧<sup>1</sup>, 苏芳莉<sup>1</sup>, 郭成久<sup>1</sup>, 周月杰<sup>1</sup>, 张才厚<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161; 2. 抚顺市矿务局林场, 辽宁 抚顺 113107)

**摘 要:** 运用主成分分析方法对抚顺西排土场植被水土保持功能进行评价。遴选植被冠层截留量、植被冠层高度、乔灌木郁闭度、基部盖度、枯枝落叶层截留量、枯枝落叶层厚度和有效根密度 7 个指标建立评价体系, 选取 5 种植被为研究对象, 选择栽植后恢复 3 a 和恢复 5 a 的植被分别进行研究。对各植被水土保持功能指标进行计算和比较, 运用 SPSS 13.0 统计软件得出各植被水土保持功能的综合值。结果为恢复 3 a 的植被水土保持功能排序为沙棘、紫穗槐、刺槐、小叶杨、油松; 恢复 5 a 的植被水土保持功能排名为刺槐、沙棘、紫穗槐、小叶杨、油松。研究表明: 灌木在植被恢复早期所具有的水土保持功能较好, 随着恢复时间的增加, 阔叶乔木的水土保持功能逐渐增强。建议煤矸石山生态修复中采取阔叶乔木和灌木混交的模式。

**关键词:** 煤矸石山; 水土保持功能; 植被恢复; 主成分分析

中图分类号: S157      文献标识码: A      文章编号: 1002-3409(2009)01200742-04

## Evaluation of Vegetation Soil and Water Conservation Function in Coal Waste Piles Based on Principal Component Analysis

HE Yao<sup>1</sup>, SU Fangli<sup>1</sup>, GUO Chengjiu<sup>1</sup>, ZHOU Yuejie<sup>1</sup>, ZHANG Caizhou<sup>2</sup>

(1. School of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Mining Bureau of Forest Farm in Fushun, Fushun, Liaoning 113107, China)

**Abstract:** The evaluation of soil and water conservation function to vegetation effect on coal waste piles of 5 restored vegetations in Fushun West waste dump are calculated and compared through principle component analysis by setting up a series of indexes, including canopy interception, canopy height, canopy density, coverage, litter of weeds interception amount, litter of weeds thickness, effective density of roots. With the statistical software SPSS 13.0, the evaluation of soil and water conservation function is calculated. From high to slow, the restoration of 3 years are shrubby falseindigo, Sea buckthorn, Locust, Simon poplar, Chinese pine, the restoration of 5 years are shrubby Locust, falseindigo, Sea buckthorn, Simon poplar, Chinese pine. Research shows that the evaluation of soil and water conservation function of shrubs is better in early restoration of vegetation. As time passes the evaluation of soil and better conservation function of broadleaved trees become better and better. The authors advise that the broadleaved trees and shrubs mixing apply to coal waste piles to reconstruct ecological.

**Key words:** coal waste piles; soil and water conservation function; the restoration of vegetation; principal component analysis

煤炭在我国一次性能源消费结构中所占比例一直在 70% 左右, 在国民经济发展和人民生活中起着极其重要的作用<sup>[1]</sup>。煤矸石是与煤伴生的岩石, 在煤的采掘和煤的洗选过程中均有排出, 煤矸石是我国目前排放量和累计存量最大的工业废弃物, 而煤炭的综合利用率不到 20%<sup>[2]</sup>。大量的煤矸石堆积成矸石山,

矸石山不仅占压土地, 破坏景观, 对矿区大气环境造成严重污染, 矸石山大部分位于植被稀少的干旱半干旱生态环境脆弱地区, 因此容易造成水土流失。

植被恢复是矸石山生态修复中最常用也是最为有效的方法, 在煤矸石山植被与水土流失的研究中, 基于影响水土流失因素的复杂性以及植被对煤矸石

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-08-05

基金项目: 辽宁省博士启动基金(基金编号 20081070); 辽宁省水利厅 2008 年度水利工程; 沈阳农业大学青年基金

作者简介: 贺尧(1983-), 男, 辽宁鞍山人, 硕士研究生, 从事土壤侵蚀规律及其治理研究。E-mail: heyao83216@163.com

通信作者: 郭成久(1964-), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 从事土壤侵蚀规律及其治理研究。E-mail: chengjiuguo11@163.com

山生态系统适应的多样性, 要寻求一个通用的反映水土保持功能的指标是不现实的。随着植被水土保持机理研究的深入, 近年来许多学者指出多个指标进行评价<sup>[3]</sup>。应用主成分分析方法综合评价植被的水土保持功能, 可进一步从整体上揭示植被保持水土的实质, 比较客观地反映植被的水土保持功能。该文选择了 7 个指标。采用主成分分析方法对供试植被水土保持功能进行了综合评价。为遴选适合抚顺地区煤矸石山的水土保持树种提供依据。

## 1 研究地概况

试验区位于辽宁省抚顺市西排土场, 地理坐标为: 东经 123b49c63d- 123b50c80d, 北纬 41b51c40d- 41b50c80d, 平均海拔 171. 8 m, 属大陆性季风气候, 常年主导风向为东北风。年均降雨量 800 mm, 最大蒸发量接近于降水量, 年均蒸发量 800 mm, 年均相对湿度 70% 以上。年均温度为 7e, 历年日最高气温 36. 3 e, 日最低气温- 35. 2e。无霜期为 125 ~ 131 d, 终霜期在 4 月下旬, 初霜期在 9 月下旬, 冰冻期在 140 d 左右, 最大冻土深度 1. 42 m。试验区以绿泥岩、碳质页岩、油母页岩和煤矸石为主, 目前生长的草本植物有: 猪毛菜、碱蓬等典型旱生植物, 在矸石风化时间较长、水肥条件得到改善的地段有茜草、野艾蒿、益母蒿等一些菊科植物生长。

## 2 试验材料与方法

### 2. 1 试验材料

根据矸石山立地条件的干燥、少土、地表温度高等特点, 选择了 1 刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、° 小叶杨 (*Populus simonii*)、» 油松 (*Pinus tabulaeformis*)、¼ 紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*)、½ 沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 为研究对象。选择上述树种 2 年生植株进行栽植, 选取栽植后恢复 3 a 和恢复 5 a 的树种分别进行研究。

### 2. 2 试验方法

2007 年 8 月在抚顺西排土场按 20 m@20 m 设置固定标准样地 5 个, 各标准样地地形条件一致(坡度 8°、土壤类型为碳质页岩); 地理位置靠近。在每个标准样地内随机选取 5 个 1 m@1 m 草本样方。调查内容如下: 1 实测树木胸径(灌木测地径)、树高、枝下高。根据调查资料计算平均树高和平均胸径, 选取平均木, 推算各器官的干物质重量, 推算林分生物量。° 在 1 m@1 m 样方内取枯枝落叶总储量, 测其厚度, 称其鲜重及干重, 推算出样地枯枝落叶量。» 测量各样地内的郁闭度和草本盖度。

从植被水土保持的机理出发, 从植被的冠层、地

表层和根层 3 个层面评价植被的水土保持功能, 故选取以下 7 个指标构成综合评价指标体系, 冠层:  $x_1$  为植被冠层截留量(mm)、 $x_2$  为植被冠层高度(m); 地表层:  $x_3$  为乔灌木郁闭度(%)、 $x_4$  为基部盖度(%)、 $x_5$  为枯枝落叶层截留量(mm)、 $x_6$  为枯枝落叶层厚度(mm); 根层:  $x_7$  为有效根密度(根/100 cm<sup>2</sup>)。植被冠层截留量采用简易吸水法<sup>[4]</sup>, 植被冠层高度是指从地面到最低分枝的长度<sup>[5]</sup>, 通过实地测量选取平均值。植被覆盖度是研究植被与水土流失关系中用的最多的一个指标<sup>[5]</sup>, 良好的植被覆盖度可以有效的抑制水土流失<sup>[6]</sup>。为了提高测量的精确度本文采用线样法和样点法<sup>[3]</sup>对郁闭度进行量测。采用网格目测法<sup>[8]</sup>测量草本盖度。枯枝落叶层的截留量采用/简易吸水法<sup>[4]</sup>, 枯枝落叶层厚度采用实测法。采用大型挖掘剖面法<sup>[5]</sup>测量有效根密度。

### 2. 3 分析方法

采用 SPSS 13. 0 软件进行主成分分析。

## 3 结果与分析

### 3. 1 原始数据矩阵

对煤矸石山植被水土保持功能进行综合评价, 将评价植被分为植被恢复 3 a 和植被恢复为 5 a 两部分分别评价。原始数据见表 1。

### 3. 2 将原始数据标准化

为了尽可能地反映实际情况, 排除由于各项指标的单位不同以及其数值数量级间的悬殊差别所带来的影响, 避免不合理现象的发生, 需对评价指标进行标准化处理。

植被冠层高度为极小型指标, 其余均为极大指标。为了与其他指标进行相同的无量纲化处理, 消除综合评价结果的敏感性, 对该指标进行如式(1)变化<sup>[9]</sup>。

$$x_c = M - x \tag{1}$$

式中:  $M$ ))) 指标  $x$  的一个允许上界(或最大值), 本文  $M$  取所有标准样地中植被冠层高度的最大值, 植被恢复 3 a 的取 1. 79 m, 植被恢复 5 a 的取 2. 32 m。标准化数据见表 2。

由表 3 可知, 恢复 3 a 的植被, 前两个主成分的累积贡献率为 93. 57% > 85%, 表明前两个主成分已代表了全部性状的 93. 57% 的综合信息, 因此取前两个主成分为植被水土保持功能分析的重要成分。恢复 5 a 的植被, 前两个主成分的累积贡献率为 96. 12% > 85%, 表明前两个主成分已代表了全部性状的 96. 12% 的综合信息, 因此取前两个主成分为植被水土保持功能分析的重要成分。

由表 4 可知, 恢复 3 a 的和 5 a 的植被, 在第一

主成分中, 指标  $x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  在主成分上有较高的荷载, 说明第一主成分反映了植被地表层和根层水土保持功能, 可统称为近地表层因子。在第二主成分中, 指标  $x_1, x_2$  在主成分上有较高的荷载, 说明

第二主成分反映了植被冠层水土保持功能, 称为冠层因子。用表 4(初始因子转载矩阵)中的数据除以主成分相应的特征值开平方, 便得到主成分中每个指标的对应的特征向量, 见表 5。

表 1 指标测定结果

恢复时间/a	树种	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
3	刺槐	1.13	1.79	42.65	64.76	0.74	0.08	121.00
	小叶杨	0.82	0.64	40.69	60.46	0.79	0.06	97.00
	油松	0.19	1.22	22.87	43.12	0.32	0.04	68.00
	紫穗槐	0.51	0.72	46.43	76.36	0.71	0.07	152.00
	沙棘	0.62	0.42	46.23	79.65	0.75	0.07	179.00
5	刺槐	2.01	0.92	85.87	80.21	1.45	0.12	151.00
	小叶杨	1.76	1.72	80.43	75.32	1.34	0.09	124.00
	油松	0.32	1.25	34.24	53.21	0.55	0.05	88.00
	紫穗槐	0.74	0.82	65.92	82.32	1.39	0.10	186.00
	沙棘	0.85	0.35	59.32	86.14	1.48	0.14	210.00

表 2 标准化数据表

恢复时间/a	树种	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
3	刺槐	1.358	0.044	0.295	- 0.008	0.403	1.055	- 0.055
	小叶杨	0.474	- 1.565	0.094	- 0.304	0.662	- 0.264	- 0.602
	油松	- 1.324	- 0.178	- 1.732	- 1.498	- 1.769	- 1.583	- 1.264
	紫穗槐	- 0.411	0.655	0.682	0.791	0.248	0.396	0.653
	沙棘	- 0.097	1.043	0.662	1.018	0.455	0.396	1.269
5	刺槐	1.219	0.180	1.019	0.366	0.533	0.590	- 0.017
	小叶杨	0.870	- 1.388	0.751	- 0.009	0.251	- 0.295	- 0.573
	油松	- 1.138	- 0.466	- 1.521	- 1.707	- 1.772	- 1.474	- 1.316
	紫穗槐	- 0.552	0.376	0.038	0.528	0.379	0.000	0.705
	沙棘	- 0.399	1.297	- 0.287	0.821	0.609	1.180	1.201

表 3 方差分析主成分提取表

恢复时间/a	主成分	初步特征值			提取总的平方载荷		
		特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
3	1	4.901	70.020	70.020	4.901	70.020	70.020
	2	1.648	23.546	93.566	1.648	23.546	93.566
	3	0.414	5.912	99.477			
	4	0.037	0.523	100.000			
	5	0.000	0.000	100.000			
	6	0.000	0.000	100.000			
	7	0.000	0.000	100.000			
5	1	4.704	67.198	67.198	4.704	67.198	67.198
	2	2.025	28.926	96.124	2.025	28.926	96.124
	3	0.226	3.233	99.357			
	4	0.045	0.643	100.000			
	5	0.000	0.000	100.000			
	6	0.000	0.000	100.000			
	7	0.000	0.000	100.000			

3.3 主成分综合模型

将特征向量与标准化后的数据相乘得, 然后可以得出主成分表达式。

植被恢复 3 a:

第一主成分  $F_1= 0.29x_1+ 0.20x_2+ 0.45x_3+$

$0.44x_4+ 0.41x_5+ 0.43x_6+ 0.41x_7$

第二主成分  $F_2= - 0.49x_1+ 0.59x_2+ 0.04x_3$   
 $- 0.19x_4+ 0.28x_5- 0.12x_6+ 0.31x_7$

综合主成分  $F= 0.748F_1+ 0.252F_2$

植被恢复 5 a:

第一主成分  $F_1 = 0.25x_1 + 0.25x_2 + 0.34x_3 + 0.45x_4 + 0.45x_5 + 0.44x_6 + 0.40x_7$

第二主成分  $F_2 = 0.57x_1 - 0.56x_2 + 0.47x_3 - 0.04x_4 + 0.10x_5 - 0.12x_6 - 0.34x_7$

综合主成分  $F = 0.748F_1 + 0.252F_2$

将标准化数据带入公式, 得综合主成分分值。

表 4 初始因子转载矩阵

指标	3 年主成分		5 年主成分	
	1	2	1	2
x <sub>1</sub>	0.632	- 0.697	0.534	0.813
x <sub>2</sub>	0.437	0.841	0.539	- 0.792
x <sub>3</sub>	0.981	- 0.057	0.734	0.669
x <sub>4</sub>	0.947	0.267	0.985	- 0.059
x <sub>5</sub>	0.889	- 0.395	0.980	0.143
x <sub>6</sub>	0.937	- 0.175	0.959	- 0.169
x <sub>7</sub>	0.886	0.441	0.860	- 0.486

表 6 综合主成分值

树 种	3 年				5 年			
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F	排名	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F	排名
刺 槐	0.85	- 0.23	0.62	3	0.94	0.32	1.26	1
小叶杨	- 0.23	- 0.32	- 0.55	4	- 0.32	0.47	0.16	4
油 松	- 2.83	0.16	- 2.67	5	- 2.62	- 0.26	- 2.88	5
紫穗槐	0.90	0.20	1.10	2	0.55	- 0.18	0.36	3
沙 棘	1.35	0.26	1.64	1	1.49	- 0.33	1.16	2

4 结论与讨论

通过主成分综合评价的结果可以得出以下结论并分析其原因:

由表 6 可以得出, 紫穗槐、沙棘在植被恢复早期的水土保持功能较好, 随着恢复时间的增加, 刺槐的水土保持功能逐渐增强, 油松的水土保持功能较其他 4 种最差。

笔者认为阔叶乔木( 刺槐、小叶杨) 在植被恢复早期由于郁闭度较小, 枝叶较少, 承载降水较少, 水土保持功能较差, 随着植被不断的生长, 植冠层不断的发育, 枝叶较多, 能够有效的承接大部分降水, 起到涵养水源水土保持的作用。油松虽然为高大乔木, 但其枝叶不发达, 尤其是其针状形叶片, 不能很好的拦蓄降水。灌木树种( 紫穗槐和沙棘) 的郁闭时间较早, 能够很快的发挥其防止地表径流的作用, 而且灌木树种的根系较发达, 有效根较多, 在土体中交织穿插, 提高土壤的固土抗冲能力和土壤渗透性。可见在植被恢复早期灌木能够很快的发挥其水土保持功能, 随着时间的推移, 阔叶乔木的水土保持功能逐渐增强。笔者建议在煤矸石山生态修复中采取阔叶乔木和灌木混交的模式, 这样可以在冠层、地表层和根层 3 个层面起到水土保持的作用。由于研究条

指标	表 5 特征向量表			
	3 年主成分		5 年主成分	
	1	2	1	2
x <sub>1</sub>	0.29	- 0.49	0.25	0.57
x <sub>2</sub>	0.20	0.59	0.25	- 0.56
x <sub>3</sub>	0.45	- 0.04	0.34	0.47
x <sub>4</sub>	0.44	0.19	0.45	- 0.04
x <sub>5</sub>	0.41	- 0.28	0.45	0.10
x <sub>6</sub>	0.43	- 0.12	0.44	- 0.12
x <sub>7</sub>	0.41	0.31	0.40	- 0.34

由表 6 得, 当植被恢复为 3 a 时, 植被水土保持功能分值沙棘> 紫穗槐> 刺槐> 小叶杨> 油松; 当植被恢复为 5 a 时, 植被水土保持功能分值刺槐> 沙棘> 紫穗槐> 小叶杨> 油松。

件和时间有限, 本文只对恢复早期(3 a) 和中期(5 a) 的植被进行调查和研究, 对恢复时间较长的未进行研究; 选取的研究对象也有限, 应增加乔灌混交的模式。相关问题笔者正在进一步研究中。

参考文献:

[1] 卞正富. 我国煤矿区土地复垦与生态重建研究[J]. 资源# 产业, 2005, 7(2): 18224.

[2] 杨社锋, 方维耸, 胡瑞忠. 中国煤矿废弃物环境效应研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(3): 264269.

[3] 韦红波, 李锐, 杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 4892494.

[4] 胡建忠, 李文忠, 郑佳丽, 等. 祁连山南麓退耕地主要植物群落植冠层的截留性能[J]. 山地学报, 2004, 22(4): 4922501.

[5] 张清春, 刘宝元, 翟刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 96101.

[6] 胡良军, 邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1): 4043.

[7] 李永宁, 张宾兰, 秦淑英. 郁闭度及其测定方法研究与应用[J]. 世界林业研究, 2008, 21(1): 4045.

[8] 秦伟, 朱清科, 张学霞, 等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 24(9): 1632170.

[9] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.