

草原沙化治理工程生态效益快速评价体系研究^{*}

杨婷婷¹, 吴新宏¹, 李 鹏¹, 王秋菊¹, 姚国征²

(1. 中国农业科学院 草原研究所, 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古 国土资源信息院, 呼和浩特 010020)

摘 要:近年来,为了有效遏制草原沙漠化趋势,我国启动了一系列草原沙化治理工程来改善草原生态圈生态环境。如何对工程生态效益进行评价,建立一套科学、合理、具有可操作性的评价标准和指标体系,便成为当前迫切需要研究和解决的问题。根据我国草原沙化治理工程的实施背景和目的,结合草原沙化治理工程区的环境背景特征,遵循科学、实用及其简明等原则构建了草原沙化治理工程生态效益快速评价的指标体系,并用 AHP 法确定各指标的权重。

关键词:生态效益; 评价; 指标体系; 层次分析法

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0119-04

The Study on Ecological Benefit Evaluation Index System of Grassland Desertification Control Project

YANG Ting-ting¹, WU Xin-hong¹, LI Peng¹, WANG Qiu-ju¹, YAO Guo-zheng²

(1. Grassland Research Institute of Chinese Academy Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China; 2. Inner Mongolia Institute of Land Resources Information, Hohhot 010020, China)

Abstract: Recently, a series of desertification control project was started to improve the environment of grassland. How to evaluate the project and how to build a scientific evaluation system have become the problems should be solved quickly. Based on the background and purpose of desertification control project in grassland of China, combining environment character and social economy status in project area, the ecological benefit evaluation index system of grassland desertification control project was constructed, and the index weight was decided by AHP.

Key words: ecological benefit; evaluation; index system; AHP

随着世界环境问题的日益突出,沙化草原生态系统的恢复与重建越来越受到各界的高度关注。国家、政府启动了各种草原沙化治理工程。但是目前对工程的建设进展情况和工程效益还不清楚。还没有一套公认有效的方法对草原沙化治理工程进行评价。目前的评价方法主要是以点代面,而一旦区域差异较大,该方法就会存在偏差,并难以制定正确的后续措施^[1]。针对这一困难,以 20 世纪 80 年代的草原调查资料作为一个基准,认为它是个理想状态。纵向上工程区内植被、土壤等指标与 80 年代当地同类草地型作对比,横向上工程区内与区外进行对比,使评价体系具有更广泛的适用性。同时将遥感大尺度观测的优势引用到体系中来,遥感影像与地面调查相结合,实现快速评价。

1 评价指标的筛选

1.1 评价指标选取原则

(1) 可比性原则。评价指标和标准应该有明确的内涵和

可度量性^[2]。

(2) 可操作性原则。即指标是否可以量化? 资料是否可以获取? 指标可操作性强,便于选择统计方法和一定的数学模型进行量化分析^[3]。

(3) 相对独立性原则。要求各指标之间具有一定的相对独立性,不能出现起重复作用的指标。

(4) 简单实用性原则。参与评价的指标数量尽可能少,应重点选取那些起主导作用的因素。评价指标应操作简便,评价方法易于掌握。

1.2 评价指标的筛选方法

邀请有关专家召开咨询会议。会议开始时,首先介绍指标体系的框架和各级指标,以及指标的内涵和测量方法,要求与会专家根据自己的知识和经验对评价指标体系框架、各级指标的重要性进行描述。然后请专家填写咨询表,对指标框架和各级指标的构成进行表态,按“赞成、基本合理、需修改、不恰当”4 项,同时对指标的重要性进行表态,按照“很重

^{*} 收稿日期: 2007-12-17

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国农业科学院草原研究所)资助项目“基于 3S 的草原沙漠化治理工程生态效益快速评价体系建立”(项目编号: 2006-01-08)

作者简介: 杨婷婷(1981-),女,内蒙古临河人,助理研究员,主要从事草业与荒漠化研究工作。E-mail: ytt198@126.com

要(4)、重要(3)、一般(2)、次要(1)、无法确定(0)“填写咨询表格。经过 3 轮专家咨询,直到 70% 以上的专家认同,才列入指标体系,形成评价指标。

然后用专家咨询表的定量信息和定性信息进行统计分析,如果有 1/3 以上的专家认为某项指标一般或不重要,该指标即被淘汰,对于权重很小的指标,并入相近指标中。对于补充指标,在会上提出,请专家表态,若 70% 以上的人赞成增补的,作为保留指标。

通过会内法,专家建议将土壤含水量指标去掉,因为不同季节土壤含水量差异很大。沙漠化等级是一个综合指标,概括性太高,也去掉。将准则层的景观指标和沙化程度指标合为一个,起名为“风沙活动”。景观优势度与破碎度是两个相对的指标,保留一个破碎度指标即可。有些指标命名不准确,将“相对植被盖度、相对地上生物量、相对植物种数、相对草层高度”修改为“植被盖度变化、地上生物量变化、植物种数变化、草层高度变化”。同意将 80 年代的草原调查资料作为一个基准进行比较。

最后,根据专家咨询结果,把课题组整理提出的指标进行调整和归并,初步确定了草原沙化治理工程生态效益快速评价指标体系(表 1)。

表 1 草原沙化治理工程生态效益快速评价体系结构

目标层 A	准则层 B	指标层 C	数据来源
生态效益	植被 B ₁	植被盖度变化 C ₁	现有数据、野外监测、TM 影像
		地上生物量变化 C ₂	现有数据、野外监测
		草层高度变化 C ₃	现有数据、野外监测
		植物种数变化 C ₄	现有数据、野外监测
		一年生植物比例 C ₅	野外监测
	风沙活动 B ₂	固定沙地比例 C ₆	TM 影像
		固定沙地破碎度 C ₇	TM 影像
		裸沙地比例 C ₈	TM 影像
	土壤 B ₃	裸沙地破碎度 C ₉	TM 影像
		土壤风蚀模数 C ₁₀	野外监测
		土壤有机质 C ₁₁	野外监测
		细沙比重 C ₁₂	分析数据、野外监测
		土壤结皮 C ₁₃	野外监测

2 评价指标的内涵界定、提出依据和获取途径

2.1 植被指标

(1) 植被总盖度。指植物群落总体地上部分的垂直投影面积与取样面积之比的百分数。它反映植被的茂密程度和植物进行光合作用面积的大小,用目测法测定。这里用相对植被盖度作为一个评价指标,计算方法如下:

$$\text{植被盖度变化} = \frac{\text{工程区内植被总盖度}}{80 \text{ 年代同类草地型盖度}}$$

(2) 地上生物量。单位面积内某一植物种(或全部植物种)地上部分的总重量(鲜重或干重)。它是牧草生长的数量

化指标。地上生物生长量表示牧草的生长速度和再生能力等特征。一般说来,对于同一植物群落,地上生物生长量的多少能表明盖度的大小、叶面积的大小,也能说明光合作用的能力。齐地面剪割草本植物及木本植物当年嫩枝叶的产量。包括可食牧草(含饲用灌木嫩枝叶)产量,牲畜不食草及对牲畜有毒有害草的产量。

地上生物量同样用相对值作为评价指标:

$$\text{地上生物量变化} = \frac{\text{工程区内植被地上生物量}}{80 \text{ 年代同类草地型地上生物量}}$$

(3) 草层高度。草层高度是草层在自然状态下的高度,它能反映牧草的生产状况,对利用方式关系较大。测量时保持草地植物自然状态,量草层的平均高度。

$$\text{草层高度变化} = \frac{\text{工程区内草层高度}}{80 \text{ 年代同类草地型草层高度}}$$

(4) 植物种数:每 1 m² 的植物种数。

$$\text{植物种数变化} = \frac{\text{工程区内植物种数}}{80 \text{ 年代同类草地型植物种数}}$$

(5) 一年生植物比例。一年生植物盖度占植物总盖度的百分比。

2.2 风沙活动指标

(1) 固定沙地比例。固定沙地面积占工程区总土地面积的百分比。

(2) 裸沙地比例。裸沙地面积占工程区总土地面积的百分比。

(3) 土壤风蚀模数。即每年每 1 km² 的土壤风蚀量,常用单位为 t/(km²·a)。

(4) 破碎度。景观破碎化是指由于自然或人文因素的干扰所导致的景观斑块类型由简单到复杂的过程,即景观由单一均质向复杂异质的过程。也是某种景观斑块由大变小的过程,通常用破碎度来表示: $M = n/a$
式中: n ——斑块个数; a ——斑块的总面积。 M 值越高,表示景观破碎化越严重。

2.3 土壤指标

(1) 土壤有机质。土壤有机质含量是最重要的土壤特性指示指标之一,它指示土壤中各种营养元素特别是氮、磷的重要来源,代表着土壤供肥的潜在能力及稳产性,是土壤的健康性与否的关键因素。将土样带回实验室进行分析测定。

(2) 土壤机械组成。是土壤的一个稳定的自然属性,在很大程度上决定着土壤的行为和用途,是研究土壤风蚀必需的基本资料之一。用铝盒取表层沙样进行室内分析。选择其中的细沙比重作为一个评价指标。

(3) 土壤结皮。土壤结皮分为物理结皮和生物结皮两类。物理结皮通常是土壤黏粒在雨水、径流等外力的物理作用下,使土壤表层孔隙堵塞而形成的一层土表硬壳;生物结皮是由不同种类的低等生物组分与其下很薄的土壤共同形成的一个复合的生物土壤层。生物土壤结皮的形成能够提高土壤抗风蚀的能力。

3 评价指标权重的计算

目前采用的权重处理方法主要有:专家评估法(德尔菲法)、频数统计分析法、等效益替代法、指标值法、因子分析法、相对系数法和层次分析法。本研究采用层次分析法来确定各项指标的权重。层次分析法(AHP)是由美国匹兹堡大学教授 T. L. Saaty 最早提出的一种定性与定量分析结合的多目标评价决策方法。它将决策者对复杂系统的评价思维过程数字化。其基本思路是决策者通过把复杂的问题分解为若干层次和要素,在各要素之间简单地进行比较、判断和计算,然后再转为对这些元素的整体权重进行排序判断,最后确立各元素的权重^[4]。

3.1 构造层次分析模型

根据既要快速又要科学合理的对治理工程进行评价的原则和方法,结合研究区实际情况,将评价指标体系分为3个层次,第1层以草原沙漠化治理工程生态效益作为目标层,其下一层为准则层,分为植被、风沙活动、土壤3个功能指标;准则层下为指标层,即每一功能指标又可分为若干个指标。而每一层指标与其下属层次的指标属于完全的包含与被包含的关系,这样也便于下一级层次指标向上一级层次的整合(表1)。

3.2 各层指标相对重要性两两比较

进行专家评分,对同一层次各元素对上一层次各准则的相对重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵。利用专家评分结果,通过统计分析,得出各评价指标权重。判断矩阵中的标度值依据 Saaty 提出的 1 - 9 及其倒数作为衡量尺度的标度方法给出,标度如表 2 所示:

表 2 判断矩阵中各因子标度含义

标度	含义
1	表示 2 个因子相比,具有同等重要性
3	表示 2 个因子相比,前者比后者稍重要
5	表示 2 个因子相比,前者比后者明显重要
7	表示 2 个因子相比,前者比后者强烈重要
9	表示 2 个因子相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示 1,3,5,7,9 相邻判断的中间位
上列值的倒数	表示 2 个因子相比,后者比前者重要的程度

3.3 分层次建立判断矩阵

首先分析第二层 B 中各因素相对 A 而言的相对重要性, 构成 $A-B$ 判断矩阵。同理分析第三层 C 中各因素相对于 B 而言的相对重要性构成 B_1-C, B_2-C, B_3-C 判断矩阵。

评价因子的比较判断矩阵:

$$A - B = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad B_1 - C = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 3 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_2 - C = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad B_3 - C = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

3.4 求解判断矩阵

计算方法有 3 种:算数平均值法、几何平均值法和最大特征根法。这里采用几何平均法。例如,根据 $A - B$ 判断矩阵,推算对问题 A 的相对重要性系数。

计算判断矩阵每行所有元素积的方根,

$$\overline{W}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n w_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

对 $\overline{W_i}$ 进行归一化处理, 得到归一化权重值: $W_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{W_i}}$

由于判断矩阵是由专家凭借经验模糊量化的,做到完全一致是不可能的。为此, T. L. Saaty 提出随即一致性比之概念,记为 CR ,且当 $CR < 0.1$ 时,则认为一致性得到满足,否则需对矩阵进行重新调整。 CR 的计算公式如下: $CR = CI/RI$,式中: RI ——比例系数,与判断矩阵的阶数 n 有关(见表 2); CI ——一致性指标。

表3 随机一致性比例系数 RI 取值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
取值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

$$CI = (\max_i - n) / (n - 1), \quad \max_i = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

式中: \max ——判断矩阵的最大特征根。

判断矩阵计算结果如下:

A - B 判断矩阵

A	B_1	B_2	B_3	$\overline{W_i}$	W_i
B_1	1	3	5	2.466	0.637
B_2	1/3	1	3	1	0.258
B_3	1/5	1/3	1	0.405	0.105
					1

$$\max = 3.039 \quad CI = 0.019 \quad RI = 0.58 \quad CR = 0.033 < 0.1$$

B_1 - C判断矩阵

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$\overline{W_i}$	W_i
C_1	1	2	3	2	2	1.888	0.340
C_2	1/2	1	3	2	2	1.431	0.258
C_3	1/3	1/3	1	1/2	1/2	0.488	0.088
C_4	1/2	1/2	2	1	1	0.870	0.157
C_5	1/2	1/2	2	1	1	0.870	0.157

$$\max = 5.072 \quad CI = 0.018 \quad RI = 1.12 \quad CR = 0.016 < 0.1$$

B₂ - C 判断矩阵

B ₂	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	$\overline{W_i}$	W _i
C ₆	1	3	2	3	3	2.221	0.394
C ₇	1/3	1	1/2	1	1	0.699	0.124
C ₈	1/2	2	1	2	2	1.320	0.234
C ₉	1/3	1	1/2	1	1	0.699	0.124
C ₁₀	1/3	1	1/2	1	1	0.699	0.124
							1

$$\max = 5.01 \quad CI = 0.002 \quad RI = 1.12 \quad CR = 0.002 < 0.1$$

B₃ - C 判断矩阵

B ₃	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	$\overline{W_i}$	W _i
C ₁₁	1	3	2	1.817	0.540
C ₁₂	1/3	1	1/2	0.550	0.163
C ₁₃	1/2	2	1	1	0.297
					1

$$\max = 3.009 \quad CI = 0.005 \quad RI = 0.58 \quad CR = 0.008 < 0.1$$

4 结论

通过召开专家咨询会,对指标体系进行了调整和归并。通过专家对评价指标两两重要性进行打分,并运用层次分析法构建判断矩阵,计算出各指标权重,并进行一致性检验,最终得出草原沙化治理工程生态效益快速评价体系的指标权重(表 4)。

表 4 草原沙化治理工程生态效益快速评价指标权重表

目标层	准则层	权重	指标层	对上层指标的权重	组合权重
草原沙化治理工程生态效益快速评价	植被	0.637	植被盖度变化	0.34	0.217
			地上生物量变化	0.258	0.164
			草层高度变化	0.088	0.056
			植物种数变化	0.157	0.100
			一年生植物比例	0.157	0.100
	风沙活动	0.258	固定沙地比例	0.385	0.099
			固定沙地破碎度	0.112	0.029
			裸沙地比例	0.27	0.070
			裸沙地破碎度	0.121	0.031
			土壤风蚀模数	0.112	0.029
	土壤	0.105	土壤有机质	0.54	0.057
			细沙比重	0.163	0.017
			土壤结皮	0.297	0.031

参考文献:

- [1] 卓莉,曹鑫,陈晋,等.锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价[J].地理学报,2007,63(5):472-479.
- [2] 雷孝章,王金锡,彭沛好,等.中国生态林业工程效益评价指标体系[J].自然资源学报,1999,14(2):175-182.
- [3] 赵英伟.我国草地利用系统可持续性评价指标体系与评价方法研究[D].北京:中国农业大学,2003.
- [4] 王晓光,王珠娜,余雪标,等.退耕还林生态效益评价指标体系研究[J].防护林科技,2006(6):51-53.

(上接第 118 页)

4 结论与讨论

(1) 几种规格相比,2 m × 2 m 规格的沙柳沙障不仅防风固沙效益好,而且也是最有利于植被恢复的一种规格。高永等曾从防风固沙效益角度指出在大风条件下,小规格沙障(小于 2 m × 2 m)成本效益高于大规格的沙障,在小风情况下,大规格沙障(大于 2 m × 2 m)的成本效益大于小规格沙障。表明 2 m × 2 m 是沙柳沙障的关键规格,其防风固沙效益在任何风况下都是较好的,具有持久的防护效益,为植被恢复奠定了基础。

(2) 从沙丘部位看,背风坡在降水较好的条件下更有利于先锋植物种生长,而从植被演替角度看,迎风坡比背风坡更利于植被恢复,同时同一坡向不同坡位间植被恢复情况在沙障设置一年后尚无规律性。

(3) 与迎风坡相比,背风坡沙障破损较严重。每一障格 4 条边破损度表现为迎下 > 迎上 > 顺左 > 顺右。风力作用和重力作用(坡度)分别是影响迎风坡和背风坡沙障破损的主要因子。沙障的破损情况在短时间内未对植被整体恢复产生显著影响,沙障破损度与植被盖度之间无明显的相关关系,推测原因是沙障破损程度较轻,未达到产生影响的程度,

或者是其影响因时间短还没体现出来。

(4) 植被生长对沙障有明显的依附作用,障格中间不利于种子停留和植株生长,在沙丘迎风坡,顺风边植株数量和高度均略高于迎风边,而到了沙丘背风坡,迎风边植株数量和高度都高于顺风边,更进一步证明风力是影响迎风坡植被恢复的主要因子,坡度则是背风坡的主要影响因子。

参考文献:

- [1] 高永,邱国玉,丁国栋,等.沙柳沙障的防风固沙效益研究[J].中国沙漠,2004,24(3):365-370.
- [2] 任余艳,胡春元,贺晓,等.毛乌素沙地巴图塔沙柳沙障对植被恢复作用的研究[J].水土保持研究,2007,14(2):13-15.
- [3] 王博,丁国栋,顾小华,等.毛乌素沙地腹地植被恢复效果初步研究:以内蒙古乌审旗为例[J].水土保持研究,2007,14(3):237-238.
- [4] 张奎壁,邹受益.治沙原理与技术[M].北京:中国林业出版社,1994:111-116.
- [5] 赵廷宁,曹子龙,郑翠玲,等.平行高立式沙障对严重沙化草地植被及土壤种子库的影响[J].北京林业大学学报,2005,27(2):34-37.