

生态工程综合效益测算指标体系和评价方法初探

彭 鸿^{1,2}, 邓民兴¹, 卫 伟³, 王 燕¹, 高 恒¹, 张大全¹

(1 陕西省水土保持局, 西安 710004;

2 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨陵 712100; 3 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 任何生态工程的监测和效益评价首先应该对各类设施和措施的数量和质量进行清查。通过对比分析提出了土壤侵蚀模数、土壤容重、种类丰富度等 16 个生态效益测算的指标, 劳动生产率、GNP 增量等 4 个经济效益测算指标, 就业职数、对景观文化美学的支付意愿等 6 个社会效益的测算指标。将生态工程的措施分为工程的、生物的、耕作的和几个社会方面。提出了在进一步明确各类措施的不同后, 确定相应的抽样调查方案, 测定各个抽样样区的可定量的数量、质量和生态经济效益指标后, 构筑回归模型思路, 从而可准确客观地评价单项措施、单项指标在治理前后的差别。运用层次分析法可对治理的不同时期的生态、经济和社会效益进行排序, 最后计算综合效益指数。

关键词: 生态工程; 综合效益; 指标体系; 评价; 方法

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0012-04

A Primary Study on Targets of Integrated Benefits for Ecological Projects and Their Methods of Evaluation

PEN G Hong^{1,2}, DEN G M in-xing¹, W E I W ei³, W A N G Yan¹, G A O H eng¹, Z H A N G D a-quan¹

(1. Shaanxi Provincial Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an 710004, China;

2. College of Life Sciences, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China;

3. College of Resources and Environment, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Monitoring and benefit evaluation of any ecological projects should begin with inventory of quality and quantity of various measures and installed facilities. 16 Targets for ecological benefits evaluation, such as erosion module, volume gravity, species richness and so on, were selected after comparison and integrated analysis, 4 targets, such as labor efficiency, GDP, land productivity and so on, for economic benefits, 6 targets as employment percentage, degree of damage to culture, esthetic quality etc. for social benefits were presented. Measures of ecological project are divided into engineering, biological, farming, and social groups. A sampling design should be made according to groups of different undertaken measures, so that to have a quantitative and qualitative description of samples observations, and to have a regression constructed, by which an objective evaluation of difference of single measures, targets between before and after project implemented is possible. Ecological, economic and social benefits of project in different periods may be ranked after an analytic hierarchy process (AHP), and finally to calculate integrated benefit index.

Key words: ecological project; integrated benefits; target system; evaluation; method

1 前 言

近百年来, 全球气候变化、人为毁林、过度放牧和农垦等导致森林退缩, 土地退化问题日益突出, 特别是黄河流域的土壤侵蚀和北方的沙漠化问题愈演愈烈。自上个世纪中叶开始, 我国启动并实施了一系列旨在增加植被盖度、恢复和改善区域环境的生态工程, 如“三北”(西北、华北、东北)地区的

防护林建设、榆林通过飞播草籽进行沙漠治理、黄河流域水土保持综合治理等。近年来更进一步加大了生态建设的力度, 启动了“天然林保护”、“退耕还林”和各项水利水土保持工程。这些工程在控制水土流失, 改善区域环境, 增加农民收入等方面起了至关重要的作用。

计划经济时代, 人们对各类项目的评价仅限于质量和数量。市场经济时代, 特别是随着经济全球化进程, 客观评估各

收稿日期: 2004-02-10

基金项目: 长江水土保持委员会项目“南水北调中线水源区水土保持预防保护工程对植被恢复、土壤侵蚀和饮水质量的影响研究”(2003-2007)资助

作者简介: 彭鸿(1966-), 男, 留德博士, 副教授, 从事生态学、森林培育学和水土保持监测方面的研究和管理工作的。

项工程甚至单项措施的生态经济和社会效益,是项目评估验收、进一步立项的重要依据。然而生态系统的综合性和复杂性决定了客观评价生态工程或项目工作的多样复杂性。已有众多学者研究了各类生态工程综合效益的评价方法^[1,2],并制定了一些技术规程^[3]。但必须看到,很多效益的测算指标已过时,或者在市场经济条件下和社会法制逐步发展的过程中,它们的科学性和取得的途径将受到质疑。如人均纯收入的测定,是很难准确的,而且涉及个人隐私权的问题。本文试图探讨现存生态工程效益测算中存在的一些问题,提出其效益评价的指标体系和综合评价方法,为各项山川秀美工程的动态监测、技术评估和综合评价起到参谋作用。

2 效益分类

对效益进行测算,首先要对其进行分类。不同的效益类型,权重、测算方法不尽相同。一般来讲,任何一项以生态工程均产生不同程度的生态、经济和社会效益。但由于行业的差别,导致侧重点和目的不同,人们在效益测算时,有可能忽略某一方面的效益。经济效益的表现很直接,工程开始投资就产生经济效益和社会效益,因为工程必然提供就业机会,增加劳动者收入。生态和社会效益的发挥却是逐渐的,有时并不明显。

水土保持是相对比较综合的生态工程,包含工程、生物和耕作不同措施,经济效益是明显的,生态和社会效益虽不能及时但仍会逐渐表现出来。焦居仁和刘震等(2001)将水土保持工程的基本功能保土和保水作用定义为基础效益^[3],并作为国家行业技术规程得到了认可。其中保水作用包括:拦蓄地表径流,增加降水入渗;保土作用表现为:拦蓄坡沟泥沙,减轻土壤侵蚀。可见这些效益均表现在生态功能的改善,与其说基础效益不如说是生态效益。

生态系统通过发挥各种效益为人类提供服务,即生态系统的服务功能(Ecosystem service)。这种服务功能体现在经济、生态和社会等多个方面^[4]。生态效益得到发挥是经济效益和社会效益得到体现和持续发展的基础,社会效益常常是生态效益在人类社会的延续。比如,生态环境的改善增强了社会的可持续发展能力,森林涵蓄水源和提供休闲场所的功能带来社会效益。生态效益通过量化折价即可作为间接经济效益,如森林涵蓄水源的量相当于建造多少座水库的价值,保土蓄肥相当于建造多少个氮肥钾肥和磷肥厂^[5]。

不管是造林还是水利水土保持工程等,一个综合治理小流域,或者一个区县,工程涉及区域或工程本身均可视为一个生态系统。生态系统由于各项措施而提供的服务功能(或者叫综合效益),均可概括为经济、生态和社会三个方面。不论国内外学界还是生产单位大部分认可这样的分类,因此下文沿用这样的类别讨论测算指标和方法。

3 测算指标

可以用来定量描述一项生态工程的指标很多,人们首先关心的是工程单项措施数量和质量,也可以从景观生态学的角度去描述景观斑块的变化。对生态、经济和社会效益等的描述需要选取一些指标去衡量,一般来说这些指标应该满足以下条件:

(1)应具有明确的含义,反映或者与某个重要的生态系统过程、功能和服务密切相关。

(2)它们对环境扰动和变化很敏感。

(3)简单易于测量。

3.1 措施类型

生态工程的措施类型复杂,但一般来说,可分为工程的、生物的、农耕的和社会的4个方面(见图1)。前面3个措施是针对自然生态系统的,社会措施是管人的。比如封禁防护,通过乡规民约限制人的行为,不去砍伐森林破坏植被等。预防保护和生态修复工程主要是针对人的行为工程。

实践中纯粹的单一措施几乎很少,要达到一个治理目标通常需要工程、生物等多项措施同时进行(图1)。如造林总少不了要整地,整地采用水平阶或者“鱼鳞坑”的方式,就是一项工程措施。

对生态工程进行评价的第一步应该准确清查各项措施的数量和质量。如兴修梯田多少公顷,造林多少公顷,成活率如何等。

3.2 景观指标

措施类型的不同导致土地利用类型的差异。从景观生态学的角度同样可以定量描述这种变化。首先应该按照土地利用类型的不同,遵循同质性的原则,充分考虑地形因子,区划景观类型。用GPS现场标记各类景观斑块的边界,最后计算景观优势度、多样性指数等指标。工程实施前后,不同时间段的景观优势度和多样性是不同的。如图2反映了陕西延安杜甫川曹家沟小流域在世界银行水土保持贷款项目实施后治理前后的景观变化状况。根据我们2003年夏天在该地的调查资料,项目实施后景观优势度明显减低,而多样性指数升高(图2)。

3.3 生态效益

分别对生态系统的主要组成部分:水、大气、土壤及母质、生物群落的变化进行定量测定(见图3)。

多年的实践表明,水土保持生态工程拦截泥沙、减少侵蚀、减少地表径流的作用很明显。如小流域在修造梯田后,滞洪、拦沙的作用很快就表现出来,因而可以通过简单的径流和水文观测就可以推算出滞洪、拦沙的总量,在一定年限的重复观测后可得到径流模数、侵蚀模数值。这些指标可以看作生态工程对土壤基质的贡献。相对于土壤基质的迅速变化,土壤物理化学性质的改变却有一个滞后的时期,只有在措施实施之后的一定时限,土壤水分、肥力的变化才能表现出来,因为破坏力量停止,修复措施不断加深后土壤结构的变化是缓慢的,如果措施不连续或者强度不够的话,它们对基质的影响可能显著但对土壤理化性质的影响可能很轻微,甚至检测不出。简单易于测量的、反映土壤理化性质变化的指标有:土壤含水量、温度、容重等,这些可以通过土壤温、湿度传感器测量,而土壤肥力的测量较复杂,条件具备的话,可以测量有机质含量、氮磷钾等营养元素的含量变化。

近年来的研究表明,生态工程对生物多样性的变化影响显著,首先表现在种类多样性的变化^[6],可以按照Shannon的方法测量植物种类多样性指数、丰富度、均匀度^[7]。只要具备基本的植物或者动物分类学知识,最简单的方法是测量种类数目的增量或者减少。生物量的测定比较复杂,但它是反映生态系统生产力的很有意义的一项指标,可按照佐藤大七郎和提利夫的方法直接测定或者参考已有的回归方程推算^[8]。

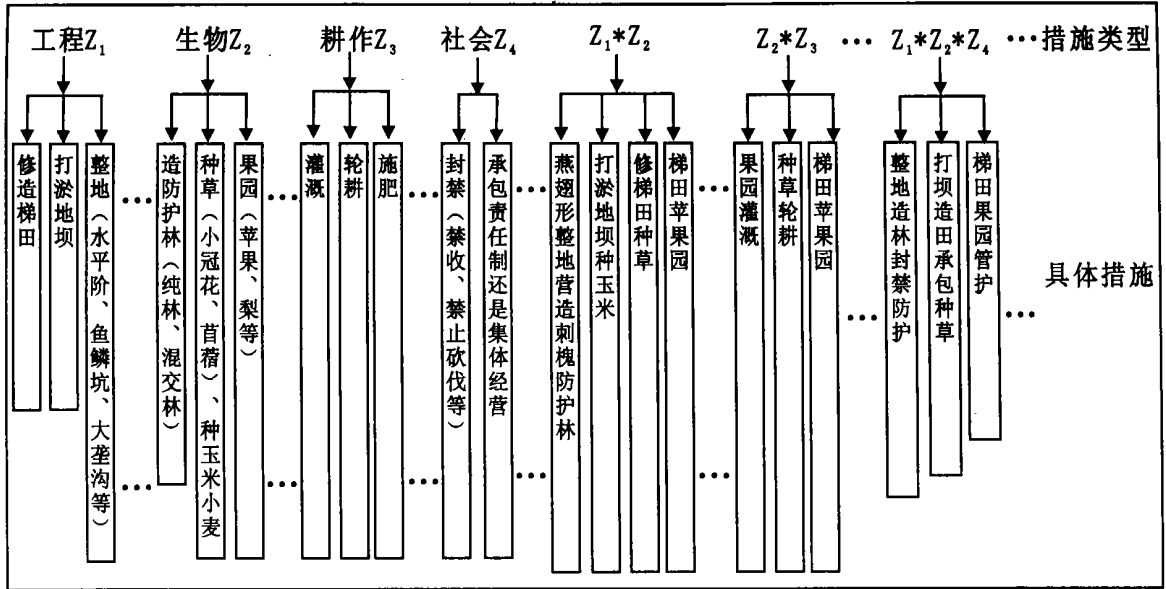


图 1 生态工程措施类型

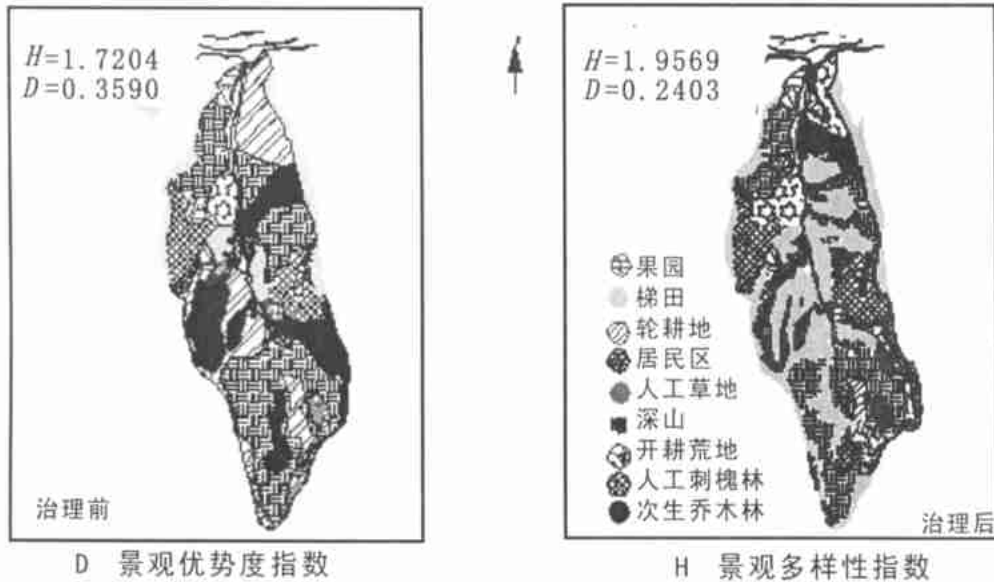


图 2 陕西延安杜甫川曹家沟小流域的景观类型（治理前后的动态变化）

3.4 经济效益

需要说明的是，实践中人们惯用人均纯收入作为一项指标反映一个区域或系统内人们的经济状况和富裕程度。事实上，这与当今的实际情况出入很大，因为近年来个人收入的差别愈来愈大。另外个人收入的调查很困难，涉及隐私权的问题。同时很难界定哪些收入是因为工程所致。用经济总量指标 GNP、劳动生产率、土地生产率、产投比等来反映经济水平的变化符合市场经济的运行规则，人均纯收入可作为一种参考。

3.5 社会效益

工程肯定会带来就业机会，因而就业人数的增加是最直接的社会效益。同时社会效益还表现在基础设施的改变、教育文化水平的提高、对景观美学、文化遗产、人文背景、科学教育质量等的正面或者负面影响等各个方面（图 3）。基础设施的改变表现在道路密度、水电通讯设施、农田基本建设等方面，其中道路密度和基础设施总量的变化是敏感而易于测

量的指标。

通过意愿调查法，可以定量描述人们对生态工程造成的人文景观、美学价值等的满意程度和愿意支付的量。恩格尔系数从一个侧面反映了人们用于教育和娱乐的支出在总支出中所占的百分比，易于测量但并不敏感，可作为一个参考指标。

4 综合评价

4.1 单项措施效应

工程的(Z_1)、生物的(Z_2)、耕作的(Z_3)和社会的(Z_4)各项措施，其综合效应(Y_n)可由以下模型进行定量描述和评价：

$$Y(1 \dots n) = a_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4 + b_5 Z_1 Z_2 + b_6 Z_1 Z_3 + b_7 Z_1 Z_4 + b_8 Z_2 Z_3 + b_9 Z_2 Z_4 + b_{10} Z_3 Z_4 + b_{11} Z_1 Z_2 Z_3 + b_{12} Z_1 Z_2 Z_4 + b_{13} Z_2 Z_3 Z_4 + b_{14} Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 + e$$

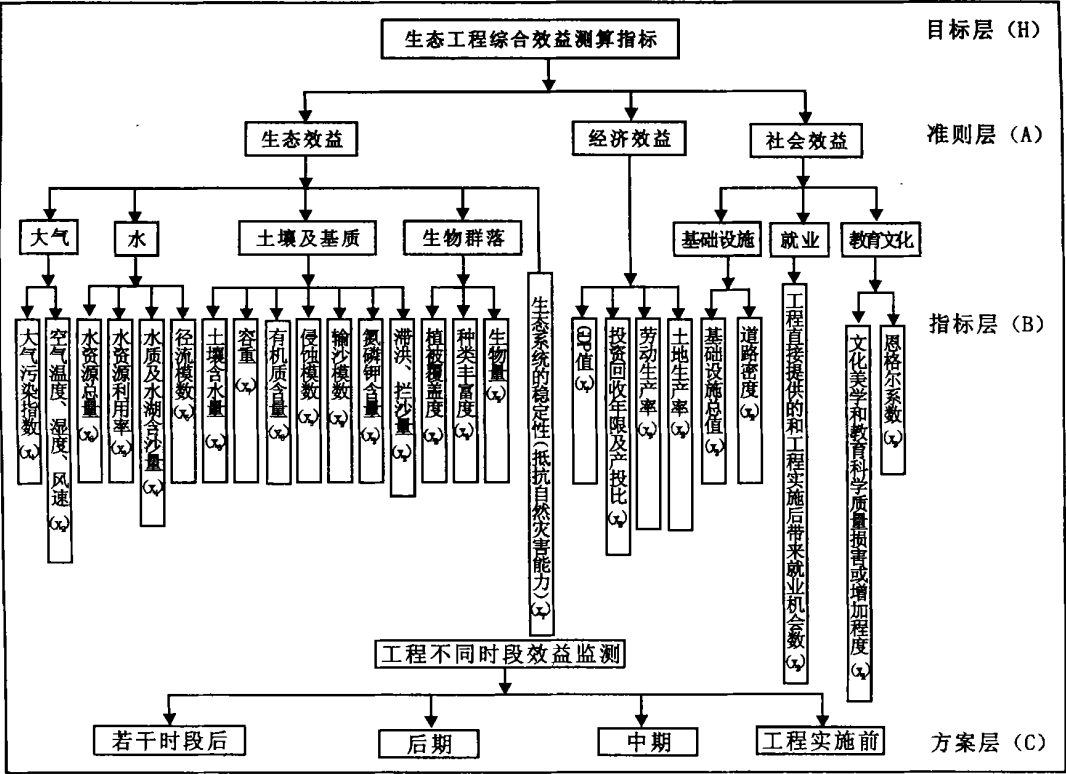


图 3 生态工程综合效益测算指标体系

以一项黄土高原丘陵沟壑区简单的造林工程为例,措施包括整地(Z_1)、树种(Z_2)和封禁管护(Z_3)三个方面。整地分两个水平即:水平阶($Z_1=1$)和鱼鳞坑($Z_1=-1$);树种有油松($Z_2=1$)和侧柏($Z_2=-1$);封禁管护($Z_3=1$)或者未管护($Z_3=-1$)。以上模型则可简单表述为:

$$Y=a_0+b_1Z_1+b_2Z_2+b_3Z_3+b_4Z_1Z_2+b_5Z_1Z_3+b_6Z_2Z_3+b_7Z_1Z_2Z_3+e$$

抽样方法见表 1,需要抽取样区至少 6 个,才能满足计算的要求。可能的话建议重复 2 次,即野外调查 18 个样区。测定抽取样区内的造林成活率、保存率、植被盖度、生物量、土壤容重等因子值,如造林保存率(y),对回归方程系数进行显著性检验, b_1 时说明整地措施对保存率的影响显著与否, b_3 时说明封禁管护措施对保存率的影响显著与否。剔除 b_1, b_2, \dots, b_7 中不显著的项,即得到一个说明造林保存率的评价方程。

表 1 黄土高原丘陵沟壑区造林工程综合效益调查抽样表

调查样地	整地(Z_1)	树种(Z_2)	封禁管护(Z_3)
1	- 1	- 1	- 1
2	- 1	1	1
3	- 1	- 1	1
4	1	- 1	- 1
5	1	1	1
6	1	1	- 1

可见以上方法只能达到两个目的: (1) 各单项措施是否显著影响测定指标; (2) 得到各单项指标的计算方程。此外有的指标(如社会效益的一些评价指标)是无法按措施精确测定的。如对文化美学质量的支付意愿调查,一般只能针对一项工程整体而不是单项措施。对生态经济社会效益综合动态的评价还需借助其他方法。

4.2 综合效益评价

生态经济和社会效益综合评价的方法很多,其中层次分析法具有灵活性大、易于操作的特点,因而更适宜于生态工

程效益的综合评价^[9]。

层次分析法需要确定目标层(H)、准则层(A)、指标层(B)和方案层(C)四个层次(图 2)。其中方案层可为不同的措施、区域,也可为不同的实施阶段。如治理措施前、中期和后期的动态变化。

以生态工程实施前(C_1)、中(C_2)、末期(C_3)和实施若干年后(C_4)的综合效益比较为例(生态建设项目的监测和效益评价一般需要这样的结论)。首先根据各个指标的重要性及其相互关联性,采用专家打分,给各个指标 x_1 到 x_{26} 赋值,赋值范围为 1~ 26。因为是生态工程,生态效益的各个指标赋值应高于社会和经济效益。采用指标赋值及其倒数标度构建判断矩阵。计算判断矩阵的特征值,并以此分别计算层次 B 各个指标对 A 相应效益的相对重要性,各个指标重要性得分相加得到 C_1 到 C_4 的生态、社会和经济效益的单排序和总排序。以总排序中 C_1 各指标数值为基准值 SO_i ,按照公式 $P = P_i$ 计算综合效益指数 P ,其中 $P_i = [(S_i - SO_i) / SO \times 100\%] \times K_i, i = 1, 2, \dots, 26; S_i$ 为 C_2, C_3 和 C_4 的指标值,并规定当该指标相对于 C_1 向好的方向发展时 $(S_i - SO_i) / SO \times 100\%$ 取正值,反之取负值。

这样的应用实例可见雷瑞德等(1991)对陕西韩城市西庄生态林业示范区坡面防护林生态经济效益的研究^[10]。

5 结 语

对任何生态工程的监测和效益评价首先应该对各类设施和措施的数量和质量进行清查。经过对比分析认为土壤侵蚀模数、土壤容重、空气污染指数、温湿度变化、种类丰富度等可作为各项生态工程生态效益测算的指标,劳动生产率、GDP 增量等为经济效益测算指标;就业职数、对景观文化美学的支

4 2 重点治理区农耕地潜在危险程度分级

根据本次土壤侵蚀潜在危险程度调查结果,重点治理区现有耕地中属无险型(抗蚀年限 $r > 1\,000\text{ a}$) $71\,679\,68\text{ km}^2$, 轻险型($100\text{ a} < r < 1\,000\text{ a}$) $31\,306\,76\text{ km}^2$, 危险型($20\text{ a} < r$

100 a) $31\,833\,07\text{ km}^2$, 极险型($r < 20\text{ a}$) $1\,422\,37\text{ km}^2$, 毁坏型(黑土层厚 10 cm) $193\,09\text{ km}^2$ 。轻险以上型占耕地总面积的 47.5% 。

表 2 黑土区水土保持重点治理区耕地潜在危险程度统计表

km^2

水土保持分区	水蚀区坡耕地潜在危险程度分级					
	有险型占耕地面积/%	无险型	轻险型	危险型	极险型	毁坏型
1995 大兴安岭东坡丘陵沟壑水蚀治理区	64.6	6271.42	5373.34	5852.38	205.44	14.12
1992 大小兴安岭、长白山(大黑山)漫川漫岗水蚀治理区	36.7	40885.87	8210.20	15307.48	155.67	17.85
1993 长白山(完达山、张广才岭)低山丘陵中度水蚀治理区	54.7	24522.39	17723.23	10673.20	1061.26	161.12
合 计	47.5	71679.68	31306.76	31833.07	1422.37	193.09

坡耕地不同立地条件侵蚀状态量为:
3~5 坡面,侵蚀模数 $1\,170\sim 1\,920\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,黑土层厚度 $19.1\sim 23.5\text{ cm}$,年均侵蚀厚度 $0.94\sim 1.53\text{ mm/a}$
5~8 坡面,侵蚀模数达 $2\,260\sim 4\,350\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,黑土层厚度在 $15.8\sim 21.1\text{ cm}$ 之间,年均侵蚀厚度 $1.81\sim 3.48\text{ mm/a}$
8~15 坡面,侵蚀模数达 $4\,860\sim 6\,950\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,黑

土层厚度在 $8.4\sim 16.1\text{ cm}$ 之间,年均侵蚀厚度 $3.88\sim 5.55\text{ mm/a}$ 。
按此侵蚀速率纳入 GIS 数据库推算,全区现有农地中的 $9\,417\text{ km}^2$ 耕地黑土层将在 50 年内剥蚀殆尽, $23\,861\text{ km}^2$ 耕地黑土层将在 50~100 年内剥蚀殆尽, $12\,894\text{ km}^2$ 耕地黑土层将在 100~200 年内剥蚀殆尽。

表 3 黑土区水土保持重点治理区耕地抗蚀年限统计表

km^2

水土保持分区	坡耕地抗蚀年限/a					
	0~20	20~50	50~100	100~200	200~1000	>1000
1995 大兴安岭东坡丘陵沟壑水蚀治理区	158.74	1543.95	13763.54	2761.20	5449.00	40885.87
1992 大小兴安岭、长白山(大黑山)漫川漫岗水蚀治理区	1080.13	4828.58	5844.62	6874.77	10848.46	24522.39
1993 长白山(完达山、张广才岭)低山丘陵中度水蚀治理区	206.78	1599.27	4253.11	3258.73	2114.61	6271.42
合 计	1445.66	7971.80	23861.27	12894.69	18412.07	71679.68

5 结 语

上述数据尚基于现有的侵蚀状况所得到的静态分析结论,随着土地深度开发和农业生产规模的逐步扩大,对这一演变趋势的预期值还将大大缩短,黑土层水土流失正愈演愈烈,黑土地水土保持综合治理已势在必行。黑土地治理的紧迫性在于:有限的黑土层下面是黄土状成土母质,这种成土

母质与黄土高原的黄土不同,其有机质含量不足 1% ,土地生产力近乎为零,由于黑土成土是自身腐殖质逐渐积累、转化和分解的长期过程,其自然成土速率据专家考证在 $300\sim 500\text{ a}/1\text{ cm}$,这一速率意味着在人为生产条件下,黑土一旦流失,便难以恢复。因此,鉴于黑土的不可再生性和黑土资源的稀缺性,必须充分预见这一侵蚀形势的灾害性后果。采取有力措施,保护东北黑土区耕地资源。

(上接第 15 页)

付意愿等为社会效益的测算指标。必须注意的是不同类型的生态工程,其效益测算指标的选择应有侧重。如城市水土保持工程,空气污染指数可作为项目植物措施在生态效益方面的指标,但对于山区的生态修复工程则显然是多余的。

生态工程的措施可分为工程的、生物的、耕作的和社会

的几个方面。在进一步明确各类措施的不同后,确定相应的抽样调查方案,测定各个抽样样区的可定量的数量、质量和生态经济效益指标后,构筑回归模型,从而可准确客观地评价单项措施、单项指标在治理前后的差别。

运用层次分析法可对治理的不同时期的生态、经济和社会效益进行排序,最后计算综合效益指数。

参考文献:

[1] 王正秋,何建民,任彦辉 黄土高原沟壑区综合治理开发技术与研究[M] 西安: 陕西师范大学出版社,1996
[2] 朱和荣,杨西民,柳诗众,等 陕西省嘉陵江流域综合治理技术与研究[M] 西安: 西安地图出版社,1997.
[3] 焦居仁,刘震,张学俭,等 水土保持生态建设法规与标准汇编,第三卷: 工程卷: 水土保持综合治理效益计算方法 (GB/T 15774-1995)[S] 北京: 中国标准出版社,2001 3-26
[4] 鲁春霞,谢高地,成升魁,等 水利工程对河流生态服务功能的影响评价方法初探[J] 应用生态学报,2003,14(5): 803-807.
[5] 薛丽霞,赵纯勇,王佑成 张家沟小流域水土保持生态效益分析[J] 水土保持研究,2002,9(1): 133-138
[6] 王国梁,刘国彬,侯喜禄 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究[J] 山地学报,2002,20(2): 182-187.
[7] Naveh Z, Lieberman A S Landscape Ecology: Theory and Application[M] New York: Springer-Verlag, 1984
[8] 佐藤大七郎,提利夫 陆地植物群落的物质生产[M] (聂绍荃译) 北京: 科学出版社,1986 27-137.
[9] 赵焕臣 层次分析法[M] 北京: 科学出版社,1986
[10] 雷瑞德,张柏林,彭鸿,等 坡面防护林生态经济效益综合评价[J] 西北林学院学报,1991,6(4): 1-9