

辽西油松林水土保持效益评价

杜晓军^{1*}, 姜凤岐¹, 沈 慧¹, 焦志华², 鹿天阁³, 金亚荣⁴

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083; 3. 辽宁省建平县林业局, 叶柏寿 122400; 4. 辽宁省凌源市南刘杖子林场, 南刘杖子 122528)

摘要: 利用 101 块样地的调查资料, 采用综合因子评价方法评价了辽西油松水土保持林的生态效益, 把辽西油松水土保持林划分为低效、较低效、中效、较高效、高效五个等级; 其中牛河梁地区的油松人工林大都为低效林, 欺天林场的油松人工林大都为中效林, 南刘杖子林场的天然次生林大都为高效林。这一研究结果将为辽西油松水土保持林生态系统管理提供重要的科学依据。

关键词: 水土保持; 水土保持林; 效益评价; 低效林; 油松; 辽宁西部

Assessment of ecological benefits of Chinese pine in soil and water conservation forests in Western Liaoning Province

DU Xiao-Jun^{1*}, JIANG Feng-Qi¹, SHEN Hui¹, JIAO Zhi-Hua², LU Tian-Ge³, JIN Ya-Rong⁴
(1. *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*; 2. *China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China*; 3. *Forestry Bureau of Jianping County, Liaoning Province, Yebaishou 122400, China*; 4. *Forestry Centre of Nanliuzhangzi of Lingyuan County, Liaoning Province, Nanliuzhangzi 122528, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2531~2539.

Abstract: In this paper, the ecological benefits of Soil and Water Conservation Forests planted with Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) were assessed for 101 plots in Western Liaoning Province by using the comprehensive-index assessment method. The comprehensive-index assessment method is an indirect but effective method used for estimation, especially when the main functional indices are difficult to measure. In order to use this method, a system of estimation indices assessing the ecological benefits of forests was designed for Western Liaoning, including estimation criteria and classification of benefits. The types of forest ecological benefits were classified based on the weight value of every index (by Analytic Hierarchy Process, i. e. AHP) and the comprehensive estimate index (from the survey materials of forest stands).

The Soil and Water Conservation Forests of Western Liaoning Province were divided into five classes using the comprehensive-index assessment method: lower-benefit forest, low-benefit forest, middle-benefit forest, high-benefit forest and higher-benefit forest. Most forests of the Niuheliang, Qitian, and Nanliuzhangzi regions were classified as low-benefit, middle-benefit, and high-benefit forests respectively.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX3-SW-48); 国家“九五”重点科技攻关资助项目 (96-007-01-06)

收稿日期: 2002-05-18; **修订日期:** 2003-06-15

作者简介: 杜晓军 (1971~), 男, 河南沁阳人, 博士。主要从事防护林生态与经营、恢复生态学与生物多样性研究。

致谢: 感谢辽西相关林业部门在野外工作中提供的帮助, 沈阳农业大学林学院的王丽英等 6 位同学参加了部分野外调查

* 现在中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室工作, 北京 100093 E-mail: dxjzh@yahoo.com

Foundation item: The National Key Project in 9th-five Plan of China (No. 96-007-01-06)

Received date: 2002-05-18; **Accepted date:** 2003-06-15

Biography: DU Xiao-Jun, Ph. D., main research field: protective plantation management, restoration ecology and biodiversity conservation.

In Niuhejiang region, lower-benefit, low-benefit and middle-benefit forests accounted for 79.4%, 14.7% and 5.9% respectively. In Qitian region, lower-benefit forest, low-benefit and middle-benefit forests were 4.5%, 22.7%, 72.7% respectively. In Nanliuzhangzi region, high-benefit and higher benefit forests were 16.7% and 83.3% respectively.

The results showed that forest structural integrity (especially the forests' layer structure) has a great significance in the ability of Soil and Water Conservation Forests to provide ecosystem services. In particular, a key task for ecosystem management in these pine forests is the conservation of the herbage layer and the litter layer on the forest floor. The policy of forest protection should be adopted as an effective approach for ecosystem management in Soil and Water Conservation Forests planted with Chinese pine in Western Liaoning Province.

Key words: soil and water conservation; soil and water conservation forest; benefit assessment; low-benefit forest; Chinese pine; Western Liaoning Province

文章编号:1000-0933(2003)12-2531-09 中图分类号:S715 文献标识码:A

森林效益评价是目前林业研究的热点,也是难点问题,但有关效益评价的思路和方法仍旧处于一个摸索和探索的阶段^[1]。很多学者从不同的角度对森林效益评价进行了有益的探讨^[1~18]。特别是近年来,从生态系统的角度出发对生态系统服务功能进行评价成为一个焦点^[4,6,8,10,11,16],这也充分反映了人们对生态系统服务功能的重视与渴望。森林生态效益是林地的重要功能属性,因而也倍受关注^[3,5,9,12~14]。本研究是对已有研究的总结^①,通过综合因子评价法对辽西油松水土保持林的生态效益(主要是水土保持效益)进行评价,为辽西森林生态系统管理提供科学依据,同时对森林生态效益评价的思路和方法作一探索。

1 实验区概况及标准地调查

1.1 实验区概况

辽西地区位于东经 119°~122°,北纬 40°20'~42°20'之间。海拔一般在 400~1200m 之间,属于低山丘陵陵区。土壤地理分区属华北山地燕山、太行山北段淋溶褐土、棕壤区,土层瘠薄,腐殖质含量低,保水能力很差。该区年平均降水量 400~600mm,各年降水量分布极不均匀,降水量在一年中分布也不均衡,夏季 6~8 月份占全年降水量的 60%~70%。本区属华北植物区系边缘,华北与内蒙古植物区系的过渡地带,油松(*Pinus tabulaeformis*)是本区的代表树种,与辽东栎(*Quercus Liaotungensis*)、槲栎(*Quercus aliena*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等组成地带性植被。此区由于雨量集中,暴雨较大,土壤质地粘重,结构不良,加上植被稀少,地形起伏,常形成严重水土流失,是辽宁省水土流失的主要为害地区。辽西地区现有森林面积约 106 万 hm^2 ,森林覆盖率 27%左右,其中油松人工林面积超过 53 万 hm^2 ,占森林总面积的 50%以上,且 90%以上为纯林,70%以上为低产林或小老树^[19~24]。

1.2 标准地调查

本研究在辽西调查油松林标准地 96 块,用于建立辽西油松水土保持林生态效益综合因子评价标准;其中建平县与凌源市交界处的牛河梁地区 68 块,该区为人工油松纯林,林下草本植被稀少、很少保留有枯枝落叶,人为干扰强烈,为非封山区,有明显水土流失,是当前辽西油松低效水土保持林的代表;凌源市欺天林场(主要是聂虎沟和大北沟区)22 块,该区为人工油松纯林,林下草本植被和枯枝落叶保存完好,为封山区,无明显水土流失;凌源市大河北乡南刘杖子林场 6 块,该区为天然(次生林)区,林下植被和死地被物层保存完好,为封山区,无水土流失。另调查标准地 5 块,用于对本研究所建立的水土保持林生态效益评价标准的实例检验。

2 辽西油松水土保持林生态效益综合因子评价

本研究是将辽西地区的林分视为总体,运用系统工程的原理和技术,设计林分水土保持效益综合评价

万方数据

① 杜晓军,辽西油松低价林早期诊断及可持续经营对策研究. 中国科学院博士学位论文,2000

指标体系并确定各评价指标的权重, 指定评价标准, 结合林分调查资料与评价标准得出林分类型评价价值, 然后按评价标准划分森林效益类型。下面以森林生态系统水土保持功能为目标对辽西低山丘陵区油松水土保持林进行评价, 评价方法与步骤如下:

2.1 评价目标与指标体系

以森林的生态效益(本研究中主要指水土保持效益)为评价目标, 设计多级目标的评价指标体系(图 1)。对指标体系进行标准化处理, 使系统中各功能目标既有整体性, 又有可比性, 并制定出林分指标体系标准表(表 1)。

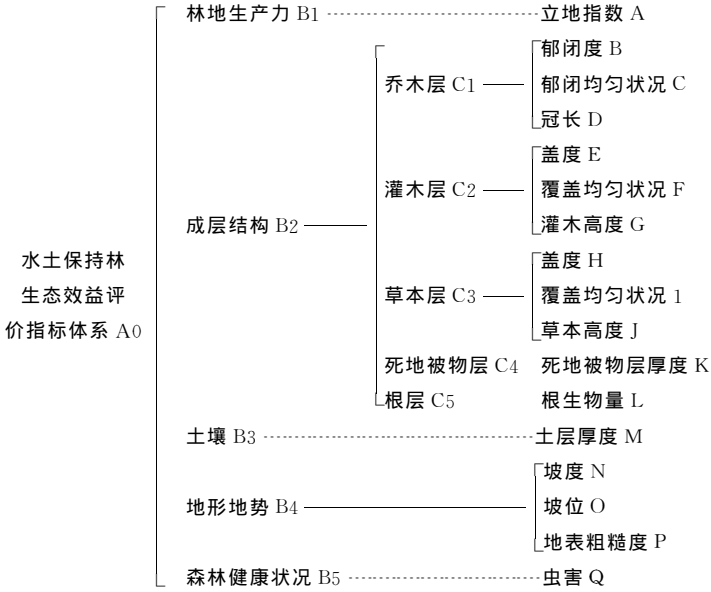


图 1 水土保持林生态效益影响因子结构图

Fig. 1 Structure of index system on ecological benefit evaluation of soil and water conservation forest

A: Index of forest productivity; B: Canopy density of arbor; C: Canopy evenness state of arbor; D: Canopy length of arbor; E: Canopy density of shrub; F: Canopy evenness state of shrub; G: Length of shrub; H: Canopy density of herb; I: Canopy evenness state of herb; J: Length of herb; K: Thickness of dead layer on floor; L: Biomass of root layer; M: Thickness of soil layer; N: Slope degree; O: Slope site; P: Coarseness of floor; Q: Pine insect pest; A0: Index system on ecological benefit evaluation of soil and water conservation forest; B1: Forest productivity; B2: Structure of layer; B3: Soil; B4: Topography; B5: State of forest ecosystem health; C1: Arbor layer; C2: Shrub layer; C3: Herb layer; C4: Dead layer on floor; C5: Root layer; 以下同 the same below

2.2 制定评价标准

林分水土保持功能的综合评价标准, 是一种系统的、综合的尺度, 具有“灰”的特征; 在本研究中, 根据灰色系统理论, 结合考虑评价模型对指标的要求, 采取灰目标白化处理, 将森林水土保持效益综合评价标准分为低效、中效和高效 3 级, 给定相应的评价值 2、3、4, 再以两档之间的临界值划分, 则得到低效、较低效、中效、较高效、高效 5 级, 相对应的评价标准如表 2 所示。

表 2 效益等级与评价标准

Table 2 Benefit class and estimation criterion

效益等级 Benefit class	高效 Higher benefit	较高效 High-benefit	中效 Middle-benefit	较低效 Low-benefit	低效 Lower-benefit
评价标准 Estimation criterion	≥4.0	3.5~4.0	2.5~3.5	2~2.5	<2

表 1 辽西地区水土保持林评价指标体系标准表

Table 1 Classification criterion of ecological benefit evaluation index on soil and water conservation forest in Western Liaoning Province

得分值 Classification criterion	林地生产力 Forest stand productivity		成层结构 R						土壤 Soil		地形地势 Topography		森林健康状况 State of forest ecosystem health				
	乔木层 R1		灌木层 R2		草本层 R3		死地被 物层 K	根层 Root layer	上层厚度 (cm)	坡度 (°)	坡位	地表 粗糙度	松毛虫 害程度 ²⁾				
	郁闭度	郁闭均 匀状况	冠长(m)	盖度%	覆盖均 匀状况	高度(m)	盖度(%)	覆盖均 匀状况						高度 (cm)	厚度(cm)	根生物量 (1000kg/ hm ²)	
1	6.5	0.31~0.40	极不 均匀 a	<0.6	≤5	极不 均匀 a	<0.4	≤5	极不 均匀 a	<10	<2	<5.535	≤15	>35	上 f	光滑 k	极重 p
2	8.3	0.41~0.50	不均 匀 b	0.6~1.2	6~25	不均 匀 b	0.4~0.8	6~25	不均 匀 b	10~30	2~5	5.535~7.38	16~30	26~35	中上 g	稍粗糙 l	重度 q
3	10.1	0.51~0.60	较均 匀 c	1.2~2.5	26~50	较均 匀 c	0.8~1.2	26~50	较均 匀 c	30~50	5~10	7.38~9.23	31~45	16~25	中 h	较粗糙 m	轻度 r
4	12.0	0.61~0.80	均匀 d	2.5~3.5	51~75	均匀 d	1.2~2	51~75	均匀 d	50~80	10~15	9.23~11.07	46~70	6~15	下 i	粗糙 n	很少 成灾 s
5	13.8	>0.80	高度 均匀 e	>3.5	>75	高度 均匀 e	>2	>75	高度 均匀 e	>80	>15	>11.07	>70	≤5	平地或 沟底 j	很粗糙 o	无灾 t

a; lower evenness; b; low evenness; c; evenness; d; high evenness; e; higher evenness; f; up; g; up-middle; h; middle; i; down; j; flat or bottom of gully; k; smooth; l; a little coarse; m; coarse; n; high coarse; o; higher coarse; p; heavy disaster; q; diaster; r; gently disaster; s; little disaster; t; zero disaster; 1) 据辽西油松林 30 年生根平均生物量定为得分值 3 水平的根生物量, 其余以 20% 步长增减获得 according to the following rules; mean root biomass of 30-year old is root biomass in the level of 3, the other acquired by the step-length of 20%^[24]; 2) 根据辽宁省地方标准(松毛虫防治技术), 并结合实际调查访问确定 according to the standard on prevention and cure technology of pine insect pest in Liaoning Province; 以下同 the same below

2.3 确定指标权重

在评价指标体系确定以后,各指标权重的合理确定便成了关键环节。指标权重的确定方法常用的有德尔菲法、层次分析法等^[20],本研究中选用层次分析法来确定各项指标的权重。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP 法), 是美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代中期提出的一种定性定量相结合的多层次权重分析决策方法。其特点是具有高度的逻辑性、系统性、简洁性和实用性, 特别是将决策者的经验判断给予量化, 对目标(因素)结构复杂且缺乏必要数据情况下更为适用^[21]。AHP 法的基本原理是把所研究的复杂问题看作一个大系统, 通过对系统的多个因素的分析, 划分出各因素间相互联系的有序层次; 再请专家对每一层次各因素进行客观的判断后, 相应地给出相对重要性的定量表示; 进而建立数学模型, 计算出每一层次全部因素的相对重要性的权值, 并加以排序; 最后根据排序结果进行规划决策和选择解决问题的措施^[22,23]。其步骤为: (1) 构建层次分析图(图 1); (2) 构建判断矩阵(表 3), 判断矩阵的标度及含义如表 4; (3) 请专家填写判断矩阵; (4) 层次单排序、层次总排序与一致性检验, 根据专家评分表的统计结果, 建立判断矩阵并计算各因子的权重系数(表 5)。

表 3 判断矩阵

Table 3 Estimated matrix

Ak	P1	P2	...	Pn
P1	P11	P12	...	P1n
P2	P21	P22	...	P2n
...
Pn	Pn1	Pn2	...	Pnn

其中, $P_{ij} = W_i / W_j$, 表示对 Ak 而言, 第 i 个因素与第 j 个因素重要度之比。Where, $P_{ij} = W_i / W_j$, shows that the ratio between the important degree of factor W_i and its of W_j

表 4 判断矩阵标度及其含义

Table 4 Measured scales for estimation

标度 Mark value	含义 Meanings
1	两因素 W_i 和 W_j 相比具有同样重要性 The factor W_i is the same important with the factor W_j
3	一个因素 W_i 比另一个因素 W_j 稍微重要 W_i is a little more important than W_j
5	一个因素 W_i 比另一个因素 W_j 明显重要 W_i is markedly more important than W_j
7	一个因素 W_i 比另一个因素 W_j 强烈重要 W_i is strongly more important than W_j
9	一个因素 W_i 比另一个因素 W_j 极端重要 W_i is extremely more important than W_j
2,4,6,8	上述两相邻评判的中值 The median value of above-mentioned two neighbour
倒数 Reciprocal	第 i 与 j 因素比较得 The ratio between W_i and W_j ; $P_{ij} = W_i / W_j$, 反之则为 whereas: $P_{ji} = 1 / P_{ij} = W_j / W_i$

2.4 水土保持林生态效益评价指数及效益等级评价标准检验

将水土保持林评价指标体系标准, 代入标准地各项测定值中, 得到各标准地(林分)的多级目标评价价值, 结合效益等级与评价标准, 作出综合评价(表 6)。

在计算出的水土保持林生态效益综合评价指数 VI(表 6)之后, 以表 2 制定的效益等级及其评价标准为基础, 可以对 3 个主要调查地区即牛河梁、欺天林场、南刘杖子林场的各类林分进行统计, 结果见图 2。可以看出, 牛河梁地区的油松人工林大都属于低效林, 其中低效的占 79.4%, 较低效的占 14.7%, 低效林标准地(含低效和较低效)占本区标准地数量的 94.1%; 中效的占 5.9%。欺天林场(主要指的是聂虎沟、大北沟)的油松人工林的水土保持效益大都高于牛河梁地区, 其中属于低效的占 4.5%, 较低效的占 22.7%, 全部低效林标准地占本区标准地数量的 27.3%; 中效的占 72.7%。所调查的南刘杖子林场的标准地均属于高效林, 其中较高效的占 16.7%, 高效的占 83.3%。

图 2 的统计结果反映了 3 个地区林分水土保持效益的整体水平, 即南刘杖子林场 > 欺天林场 > 牛河梁, 因而可以认为表 2 所制定的效益等级及其评价标准是可行的。对于其它条件相近的牛河梁和欺天林场两地的同龄人工油松林来说, 为什么其水土保持效益会有如此显著的差异呢? 从野外调查可以看出, 牛河梁的草本层、死地被物层情况明显比欺天林场的要差, 这主要是由于牛河梁地区基本上是随意放牧、随意搂枯枝落叶, 而欺天林场区却是封山区, 林下的草本植被和死地被物层保存的较好的缘故, 同时也可以看出这两层在森林生态系统的水土保持效益中的贡献, 也在告诫人们要想使森林提供优质的生态系统服务, 保护森林结构的完整性是非常重要的。

表 5 评价因子判断矩阵及权重值

Table 5 Estimated matrix and weight value of every index

代码 Code	因子名称 Index	1	2	3	4	5	分层权重值 Weight value of every layer	一致性检验参数 Parameter of coherence test	指标权重值 Weight value of every index
101	生态效益 A0								
211	林地生产力 B1/A	1	1/2	5/2	5/3	3	0.2378		0.2378
212	成层结构 B2	2	1	4	3	5	0.4295	$\lambda_{max}=5.0314$	
213	土壤厚度 B3/M	2/5	1/4	1	5/6	8/5	0.1102	C. I. = 0.0078	0.1102
214	地形地势 B4	3/5	1/3	6/5	1	8/3	0.1508	C. R. = 0.0070	
215	森林健康状况 B5/Q	1/3	1/5	5/8	3/8	1	0.0718		0.0718
212	成层结构 B2								
311	乔木层 C1	1	7/5	8/5	8/5	1	0.2525		
312	灌木层 C2	5/7	1	9/8	9/8	6/7	0.1859	$\lambda_{max}=5.0061$	
313	草本层 C3	5/8	8/9	1	1	3/5	0.1570	C. I. = 0.0015	
314	死地被物层 C4/K	5/8	8/9	1	1	3/5	0.1570	C. R. = 0.0014	0.0674
315	根层 C5/L	1	7/6	5/3	5/3	1	0.2475		0.1063
214	地形地势 B4								
321	坡度 N	1	3/2	4/3			0.4113	$\lambda_{max}=3.0092$	0.0620
322	坡位 O	2/3	1	2/3			0.2491	C. I. = 0.0046	0.0376
323	地表粗糙度 P	3/4	3/2	1			0.3395	C. R. = 0.0079	0.0512
311	乔木层 C1								
411	郁闭度 B	1	2	7			0.6087	$\lambda_{max}=3.0000$	0.0660
412	郁闭均匀度 C	1/2	1	7/2			0.3043	C. I. = -0.0000	0.0330
413	冠长 D	1/7	2/7	1			0.0870	C. R. = -0.0000	0.0094
312	灌木层 C2								
421	灌木盖度 E	1	2	6			0.6000	$\lambda_{max}=3.0000$	0.0479
422	覆盖均匀状况 F	1/2	1	3			0.3000	C. I. = -0.0000	0.0240
423	灌木高度 G	1/6	1/3	1			0.1000	C. R. = -0.0000	0.0080
313	草本层 C3								
431	草本盖度 H	1	2	4			0.5714	$\lambda_{max}=3.0000$	0.0385
432	覆盖均匀状况 I	1/2	1	2			0.2857	C. I. = -0.0000	0.0193
433	草本高度 J	1/4	1/2	1			0.1429	C. R. = -0.0000	0.0096

2.5 水土保持林生态效益评价标准的实例检验

上述水土保持林生态效益评价标准,是建立在对辽西地区林分调查样地资料的基础上,确定评价指标,按基于专家评分的层次分析法分别给予权重,计算得出各林分类型的评价值,对应评价标准,划分出林分水土保持效益的低效、较低效、中效、较高效、高效。

为了检验评价标准的适用性,下面以实际调查的样地资料进行检验,供检标准地概况及检验情况见表 7。

将 5 块标准地资料(表 7)与林分指标体系评价标准表(表 1)相对照,得出指标评价等级,经计算得到评价指数,用评价标准衡量可知:N1 和 N2 为低效林,Q1 和 Q2 为中效林,T 为高效林。这与在野外的直观判断相符合,N1 和 N2 是牛河梁的样地,油松生长势很弱,无灌木层,草本层没有或很差(随意放牧、搂枯枝落叶),有明显的水土流失现象;Q1 和 Q2 是欺天林场的样地,油松生长势和牛河梁的相近,但其林下的草本层和死地被物层保存的很好(本区实行封山),这为水

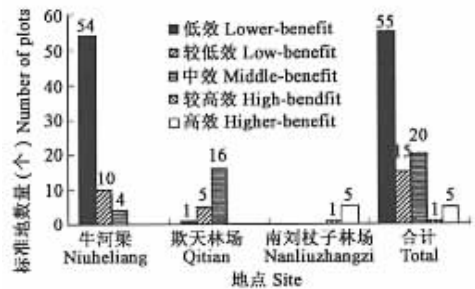


图 2 3 个主要调查区各类型标准地统计

Fig. 2 Statistical number of different type plot in the three investigation regions

土的固持提供了有利条件,这两块样地均无明显水土流失;T 为凌源市大河北乡南刘杖子林场的一块天然油松林,该林分的各个层次保存均很好,坡度虽较大,但无水土流失。这些证明了本研究所建立的评价标准是可行的。

3 结论与讨论

研究所采用的辽西水土保持林生态效益综合因子评价方法为:以辽西地区的林分为一总体,设计林分生态效益综合评价指标体系,指定评价标准,利用基于专家评分的层次分析法确定指标权重,结合林分调查资料得出综合评价指数,进而划分林分效益类型。本研究把辽西水土保持林划分为低效、较低效、中效、较高效、高效五个等级,在整体水平上,牛河梁地区的油松人工林大都为低效林,欺天林场的油松人工林大都为中效林,南刘杖子林场的天然次生林大都为高效林。

研究结果表明,对水土保持林来说,森林结构(特别是层次结构)的完整性对其生态系统服务功能的发挥有着重要意义。对于当前的辽西油松水土保持林,其生态系统管理的主要任务之一应是保护好林下草本植被和死地被物层的完整,因而封山可作为一项针对性的管理措施。

表 7 评价标准检验表

Table 7 Test of estimation criterion

Site	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	VI
N1	4.9	0.56	52	1.0	0	0	0	0	0	0	0	6.56	23	10	中上 g	稍粗 糙 l	极重 p	1.484
N2	5.2	0.53	49	1.3	0	0	0	5	极不 均匀 a	6	0	7.32	35	14	中下 i	较粗 糙 m	重度 q	1.8174
Q1	5.1	0.62	76	1.3	0	0	0	52	均匀 d	32	11	6.85	31	11	上 f	粗糙 n	很少 成灾 s	2.5124
Q2	5.8	0.5	62	1.6	0	0	0	58	均匀 d	35	11	7.20	39	13	下 i	较粗 糙 m	很少 成灾 s	2.508
T	14.2	0.77	82	3.2	13	不均 匀 b	1	12	不均 匀 b	18	14	11.78	70	25	中 h	较粗 糙 m	无灾 t	4.1217

N_i : 牛河梁供检验的油松人工林第 i 号标准地 Plot i of Chinese pine forest in Niuheliang region for test; Q_i : 欺天林场供检验的油松人工林第 i 号标准地 Plot i of Chinese pine forest in Qitian region for test; T 为凌源市大河北乡南刘杖子林场供检验的油松天然次生林 Plot of Chinese pine forest in Nanliuzhangzi region for test

对于森林效益评价来说,当主要功能指标较难测定或很难取得数值时,设立综合评价指标体系进行综合评价不失为一种有效的间接评价方法。

References:

- [1] Shen H, Jiang F Q, Du X J. Benefit evaluation on soil improvement by the water and soil conservation forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5):753~758.
- [2] Chen L J, Qi S D. Types and classification criterions on low-effective forest in middle reaches of Wujiang River. *Guizhou Forestry Science & Technology*, 1991, **19**(3):38~47.
- [3] Chen L J. Analysis on benefit of soil and water conservation of low-effective forest in middle-lower reaches of Wujiang river. *Bulletin of soil and water conservation*, 1991, **11**(6):17~22.
- [4] Chen Z X, Zhang X S. The Value of ecosystem services in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(1):17~22.
- [5] Cheng G W, Zhong X H. The Quantitative indexes of the ecological effects of protective forest system. *Journal of soil and water conservation*, 1992, **6**(3):79~86,90.
- [6] Constanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, **387**:253~260.
- [7] Deng H H. Theory and approach to evaluate the economic function of forest ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae*, 1985, **21**(1):61~67.
- [8] Jiang Y L, Zhou G S. Estimation of ecosystem services of major forest in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23**(5):426~432.
- [9] Lang K J, Li C S, Yin Y, et al. The measurement theory and method of 10 forest ecological benefits for forestry ecological engineering. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, **28**(1):1~7.
- [10] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied*

- Ecology*, 1999, **10**(5):635~640.
- [11] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(5):607~613.
- [12] Shen H, Jiang F Q. Benefit evaluation on water and soil conservation forest-A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(4):492~496.
- [13] Song Z M. Study on eco-economical benefit of protective forest system in Huang-Huai-Hai Plain. Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1990.
- [14] Sun L D, Zhu J Z. Evaluation and study on multiple benefits of soil and water conservation forest. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995.
- [15] Wang L X, Wang B R, Zhu J Z, et al. Forestry ecoengineering. Beijing: Chinese Forestry Press, 2001.
- [16] Wu G, Xiao H, Zhao J Z, et al. Forest ecosystem services in Changbai mountain. *Science in China (Series C)*, 2001, **31**(5):471~480.
- [17] Xu X Q, Hu M Q. *Qualification and evaluation of forest multiple benefits*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1992.
- [18] Zhou X F, Jiang M Y. Qualification, evaluation, and compensation for forest benefits in Heilongjiang Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, **35**(3):97~102.
- [19] Ma X H. Forest resources status and management strategies in western Liaoning. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*, 1995, (6):44~46.
- [20] Yan X, Lin Z J. *Evaluation on land in city*. Beijing: Chinese People University Press, 1993.
- [21] Gan Y A. *Operational research*. Beijing: Qinghua University Press, 1990.
- [22] Zhao H C, Xu S B. *Analytic Hierarchy Process: A new simple decision-making method*. Beijing: Science Press, 1986.
- [23] Ni S X. *Evaluation and type of land*. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [24] Xu H C. *Chinese Pine*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1993.

参考文献:

- [1] 沈慧, 姜凤岐, 杜晓军. 水土保持林土壤改良效益评价研究. *生态学报*, 2000, **20**(5):753~758.
- [2] 陈廉杰, 慕山丁. 贵州乌江中游地区低效林类型和划分标准制定. *贵州林业科技*, 1991, **19**(3):38~47.
- [3] 陈廉杰. 乌江中下游低效林水土保持效益分析. *水土保持通报*, 1991, **11**(6):17~22.
- [4] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, **45**(1):17~22.
- [5] 程根伟, 钟祥浩. 防护林生态效益定量指标体系研究. *水土保持学报*, 1992, **6**(3):79~86, 90.
- [6] 邓宏伟. 森林生态效益经济评价的理论和方法. *林业科学*, 1985, **21**(1):61~67.
- [7] 蒋延玲, 周广胜. 中国主要森林生态系统公益的评估. *植物生态学报*, 1999, **23**(5):426~432.
- [8] 郎奎建, 李长胜, 殷有, 等. 林业生态工程 10 种森林生态效益计量理论和方法. *东北林业大学学报*, 2000, **28**(1):1~7.
- [9] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, **10**(5):635~640.
- [10] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, **19**(5):607~613.
- [11] 沈慧, 姜凤岐. 水土保持林效益评价研究综述. *应用生态学报*, 1999, **10**(4):492~496.
- [12] 宋兆民. 黄淮海平原综合防护林体系生态经济效益的研究. 北京: 北京农业大学出版社, 1990.
- [13] 孙立达, 朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [14] 王礼先, 王斌瑞, 朱金兆, 等. 林业生态工程学. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [15] 吴刚, 肖寒, 赵景柱, 等. 长白山森林生态系统服务功能. *中国科学(C 辑)*, 2001, **31**(5):471~480.
- [16] 徐孝庆, 胡沐钦. 森林综合效益计量评价. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [17] 周晓峰, 蒋敏元. 黑龙江省森林效益的计量、评价及补偿. *林业科学*, 1999, **35**(3):97~102.
- [18] 马兴华. 辽西地区森林现状及经营对策. *辽宁林业科技*, 1995, (6):44~46.
- [19] 严星, 林增杰. 城市地产评估. 北京: 中国人民大学出版社, 1993.
- [20] 甘应爱. 运筹学. 北京: 清华大学出版社, 1990.
- [21] 赵焕臣, 许树柏. 层次分析法一种简易的新决策方法. 北京: 科学出版社, 1986.
- [22] 倪绍祥. 土地类型与土地评价概论. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [23] 徐化成. 油松. 北京: 中国林业出版社, 1993.