

水土保持林土壤改良效益评价研究

沈 慧*, 姜凤岐, 杜晓军

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要: 森林效益评价是目前林业研究的热点, 也是难点问题。通过评价水土保持林土壤改良效益, 对效益评价的方法和思路进行了探索。指出水土保持林土壤改良效益指标体系的总目标层为效益评价综合指数, 准则层包括土壤肥力、抗蚀性能和抗冲性能 3 个方面, 指标层由水稳性团聚体含量、有机质含量、土壤酶活性、pH 值、平均重量直径、团聚度、分散率、土壤硬度和渗透系数构成。在计算效益评价综合指数时, 首先要对各项指标的实测数据进行处理, 使之转化为无量纲的标度值; 然后可根据层次单排序的权值分步进行计算, 也可按照层次总排序的权值直接计算, 获得效益评价综合指数。为消除立地因子的影响, 要对效益评价综合指数进行校正, 校正后的综合指数可以反映出不同水土保持林土壤改良效益的好坏。

关键词: 水土保持林; 土壤改良效益; 综合指数; 校正

Benefit evaluation on soil improvement by the water and soil conservation forest

SHEN Hui, JIANG Feng-Qi, DU Xiao-Jun (*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, China*)

Abstract: The research of forest benefit evaluation is a hotspot and difficulty at present. We evaluated soil improvement benefit of water and soil conservation forest (WSGF). We tried to find a method that can be used for forest evaluation, and illustrated that comprehensive index of benefit evaluation on soil improvement of WSCF can be regarded as total objective layer of index system, and criterion layer consists of soil fertility, soil anti-erodibility and anti-sourability. The index layer is composed by soil enzyme activities, organic matter content, water stable aggregate content, mean weight diameter, disperse ratio, aggregate degree, soil rigidity, infiltrate coefficient and pH. To calculate the comprehensive index of benefit evaluation, the data of indexes practically measured should be translated into scalar quantity first. Then the comprehensive index could be calculated directly to hierarchy-total-array weights, or step by step according to hierarchy-single-array weights, which produced the same results. The comprehensive index should be emended to remove the influences of site factors and could be used to evaluate the benefits of different kinds of water and soil conservation forests.

Key words: water and soil conservation forest; soil improvement benefit; comprehensive index; amendment

文章编号: 1000-0933(2000)02-0753-06 中图分类号: S714.6 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, 但有关效益评价的方法和思路仍旧处于一个摸索和探索的阶段。在水土保持林的多种效益中, 土壤改良效益是一个非常重要的方面, 也是水土保持林最直接、最基本的一项效益。因此, 评价水土保持林土壤改良效益具有重要的理论意义和实践价值。

在效益评价过程中, 首先要筛选指标, 建立指标体系, 确定各项指标权重, 然后再进行效益评价计算。

基金项目: 国家“九五”科技攻关资助项目 (96-007-01-06)

收稿日期: 1999-12-08; 修订日期: 2000-04-23

作者简介: 沈 慧 (1971—), 女, 内蒙古包头人, 博士。主要从事林业生态工程研究。

* 现在中国林业科学院森林生态环境与保护研究所做博士后

关于指标体系建立的方法和原则,已经有许多人做过探讨,在此不做赘述。但有关效益评价计算问题,却很少有人做过系统、详细的说明。为此,本文就水土保持林土壤改良效益的评价计算做一探索,以期对效益评价研究的进一步深入提供新的方法、思路和途径。

1 研究地区概况

辽宁省西部的朝阳地区位于东经 118°50′~121°51′,北纬 40°21′~42°20′。平均海拔 300~600m,属于低山丘陵区。境内山峦起伏,丘陵绵延,沟壑纵横,山地破碎,水土流失非常严重。

朝阳地区年平均气温 7~10℃,平均相对湿度 50%~70%,年平均降水量 450~650mm,年平均蒸发量 1600~1800mm。各年降水分布极不均匀,常形成周期性的旱年。按全国植被区划,朝阳地区的植被多属华北植物区系。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。土壤主要发育于黄土和红土母质的淋溶褐土、褐土、褐土性土和棕色森林土,西北部还分布有少量碳酸盐褐土。土层瘠薄,腐殖质含量低,保水能力很差。

为改善生态环境,恢复生态平衡,建国以来朝阳地区营造了大面积的水土保持林。以油松(*Pinus tabulaeformis*)纯林为主,面积达 53.3 万/hm²[1]。此外还有油松-阔叶树混交林以及樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、元宝槭(*Acer truncatum*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、山杏(*Prunus sibirica*)、大扁杏等的纯林及混交林。这些水土保持林在改良土壤、防止土壤侵蚀、控制水土流失和改善生态环境方面各自发挥着不同的作用。

2 研究方法

本项研究中,选取油松纯林、樟子松纯林、刺槐纯林、紫穗槐纯林、沙棘纯林、刺槐-油松、元宝槭-油松、蒙古栎-油松以及沙棘-油松、黄栌-油松、锦鸡儿-油松、山杏-油松、大扁杏-油松、樟子松-沙棘和刺槐-紫穗槐等作为各种不同类型水土保持林的代表。此外,根据这些水土保持林立地条件的不同,分别设置了无林空旷地作为对照(见表 1)。

测定、分析的项目有:土壤硬度(硬度计法[2])、初渗速度(环刀法[3])、脲酶活性(比色法[4])、蔗糖酶活性(比色法[4])、磷酸酶活性(比色法[5])、土壤结构(Yoder 法[6])、机械组成(吸管法[6])、微团聚体(吸管法[6])、有机质含量(油溶加热-K₂Cr₂O₇容量法[7])和 pH 值(电位法[7])等。

3 水土保持林土壤改良效益的评价计算

本项研究中,根据效益一体化的系统原则,在听取和参考专家意见的基础上,确定水土保持林土壤改良效益评价指标体系的总目标层为效益评价综合指数。选取土壤肥力、抗蚀性能和抗冲性能作为反映水土保持林土壤改良效益的指标,形成指标体系的准则层。选定以土壤酶活性、有机质含量、水稳性团粒含量和 pH 值作为土壤肥力的评价指标;以有机质含量、水稳性团聚体含量和平均重量直径、分散率和团聚度作为土壤抗蚀性能的评价指标;以土壤硬度、渗透参数、有机质含量、水稳性团聚体含量、平均重量直径作为土壤抗冲性能的评价指标[8~12]。这些指标构成了指标体系的指标层。

3.1 指标数据处理

在评价计算过程中,有些效益评价指标尚无公认的评价等级可以依循,而且各指标之间的单位和量纲也不相同,所以应首先把各具体指标值转化为无量纲的标度[13]。

1)对与水土保持林土壤改良效益成正效应的指标,计算时以指标实测值与相应指标的最大值相比,以消除量纲的影响。计算公式为:

$$C_{ij} = V_{ij}/V_{jmax} \quad (i = 1, 2, \dots, 20, j = 1, 2, \dots, 9)$$

式中, C_{ij} :第 i 样地、第 j 指标实测值归一化处理后的相对值; V_{ij} :第 i 样地、第 j 指标实测值; V_{jmax} :第 j 指标的最大值。

2)对与水土保持林土壤改良效益成负效应的指标,计算公式为:

万方数据
$$V_{ij} = (V_{jmax} - V_{ij}) / (V_{jmax} - V_{jmin}) \quad (i = 1, 2, \dots, 20 \quad j = 1, 2, \dots, 9)$$

式中, C_{ij} :第 i 样地、第 j 指标实测值归一化处理后的相对值; V_{ij} :第 i 样地、第 j 指标实测值; V_{jmax} :第 j 指

标的最大值; V_{jmin} :第 j 指标的最小值。

表 1 试验地和研究对象概况
Table 1 General situation of sample plots and stands

林分 类型 Plot	标准地 面积 Area (m ²)	林龄 Ages (a)	坡度 Slope (°)	坡向 Slope azimuth	坡位 Slope site	密度 Density (plant/hm ²)	混交比例 Mixed proportion	草本盖度 Herbage cover degree	草本平均高 Height of herbage (cm)
ShY	260	28/16	10	(1)南	1)上	5192.31	5*5	0.4	10
CY	300	28/16	6	(2)东南	1)上	2666.67	5*5	0.4	10
QY	300	28/16	10	(3)西南	2)中	3033.33	3*5	0.4	7
MY	300	28/16	11	(4)西北	1)上	2166.67	1*5	0.5	10
HY	300	28/16	2	(3)西南	2)中	3133.33	2*5	0.4	9
JY	300	28/16	3	(3)西南	2)中	3100.00	2*5	0.4	10
SYn	400	28/8	11	(6)北	1)上	2150.00	3*7	0.6	10
SYs	300	28/8	10	(3)西南	2)中	2466.67	3*7	0.4	10
BY	300	28/8	10	(3)西南	2)中	2566.67	3*7	0.4	10
Y ₁₅	225	15	11	(2)东南	2)中	5111.11	—	0.4	2
Y ₂₈	300	28	9	(3)西南	2)中	3166.67	—	0.4	10
Y ₄₈	400	46	12	(2)东南	2)中	2025.00	—	0.7	3
ZhSh	300	13/13	5	(3)西南	2)中	3200.00	5*5	0.7	7
Zh	300	13	8	(3)西南	2)中	3066.67	—	0.7	4
Sh	300	13	5	(3)西南	2)中	3200.00	—	0.7	7
CZ	100	16	10	(4)西北	1)上	1280.00	3*7	0.8	20
C	400	16	22	(5)西	3)下	1825.00	—	0.8	8
Z	400	16	10	(4)西北	1)上	1950.00	—	0.8	20
Ks	300	—	9	(2)东南	3)下	—	—	—	—
Kn	300	—	8	(7)东北	2)中	—	—	—	—

* ShY:沙棘-油松混交林(*Hippophae rhamnoides*-*Pinus tabulaeformis*),CY:刺槐-油松混交林(*Robinia pseudoacacia*-*Pinus tabulaeformis*),QY:元宝槭-油松混交林(*Acer truncatum*-*Pinus tabulaeformis*),MY:蒙古栎-油松混交林(*Quercus mongolica*-*Pinus tabulaeformis*),HY:黄栌-油松混交林(*Cotinus coggygia*-*Pinus tabulaeformis*),JY:锦鸡儿-油松混交林(*Caragana microphylla*-*Pinus tabulaeformis*),SYn:山杏-油松混交林(*Prunus sibirica*-*Pinus tabulaeformis*),SYs:山杏-油松混交林(*Prunus sibirica*-*Pinus tabulaeformis*),BY:大扁杏-油松混交林(*Prunus*-*Pinus tabulaeformis*),Y₁₅:15a 油松纯林(15a-*Pinus tabulaeformis*),Y₂₈:28a 油松纯林(28a-*Pinus tabulaeformis*),Y₄₈:48a 油松纯林(48-*Pinus tabulaeformis*),ZhSh:樟子松-沙棘混交林(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*-*Hippophae rhamnoides*),Zh:樟子松纯林(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*),Sh:沙棘纯林(*Hippophae rhamnoides*),CZ:刺槐-紫穗槐混交林(*Robinia pseudoacacia*-*Amorpha fruticosa*),C:刺槐纯林(*Robinia pseudoacacia*),Z:紫穗槐纯林(*Amorpha fruticosa*),Ks,Kn:无林地(non-forest lands)。以下同 The same below. 1):Upside,2):Middle,3):Underside,(1):South,(2):South-East,(3)South-West,(4):North-West,(5):West,(6):North,(7):North-East。

3)对土壤 pH 值,用下列方法进行处理:

$$C_{i4} = 1 - \frac{|V_{i4} - 7.00|}{7.00} \quad (i = 1,2,\cdots,20)$$

式中, C_{i4} :第 i 样地 pH 值实测值归一化处理后的相对值; V_{i4} :第 i 样地 pH 值实测值;7.00:中性 pH 值。

无林空旷地的原始数据也做以上处理,参与计算。

3.2 效益评价计算

经过归一化处理后,各项评价指标的实测值就变成了无量纲的标度值。标度值不受量纲和单位的影响,只是一个相对数值,可以用于效益的评价计算。

水土保持林土壤改良效益的评价计算可分两步进行,第一步,计算准效益指数,即计算土壤肥力、土壤抗蚀性能和抗冲性能指数。第二步,计算效益评价综合指数。

计算土壤肥力(Y_1)、土壤抗蚀性能(Y_2)和抗冲性能(Y_3)指数的方法是,把它们各自评价指标的标度值同权重的乘积相加^[14],即:

万方数据

$$Y_{i1} = \sum W_j \cdot C_{ij} \quad (i = 1,2,\cdots,20 \quad j = 1,2,3,4)$$

$$Y_{i2} = \sum W_j \cdot C_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 20 \quad j = 1, 2, 5, 6, 7)$$
$$Y_{i3} = \sum W_j \cdot C_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 20 \quad j = 1, 2, 5, 8, 9)$$

式中, Y_{i1} :第 i 样地的土壤肥力指数; Y_{i2} :第 i 样地的土壤抗蚀性能指数; Y_{i3} :第 i 样地的土壤抗冲性能指数; W_j :第 j 指标的层次单排序权值; C_{ij} :第 i 样地、第 j 指标实测值归一化处理后的相对数值。

各项指标的权重可运用层次分析法^[15]计算获得。层次单排序的结果是:对于水土保持林土壤改良效益评价综合指数而言,土壤肥力、抗蚀性能和抗冲性能所占的权重分别为 0.157,0.594 和 0.249。对于土壤肥力而言,水稳性团聚体%、土壤有机质%、土壤酶活性和 pH 值所占的权重分别为 0.102,0.478,0.276 和 0.144。对于土壤抗蚀性能而言,土壤有机质%、水稳性团聚体%、平均重量直径、团聚度%和分散率%所占的权重分别为 0.072,0.396,0.109,0.183 和 0.241。对于土壤抗冲性能而言,土壤有机质%、水稳性团聚体%、平均重量直径、土壤硬度和土壤渗透系数所占的权重分别为 0.066,0.233,0.099,0.425 和 0.177。由此,可以得到各种类型水土保持林土壤肥力、土壤抗蚀性能和抗冲性能 3 项准效益指数的计算值,见表 2。

计算水土保持林土壤改良效益评价综合指数是把这 3 项准效益指数再次赋权以相加^[14],即

$$Y_i = \sum W_j \cdot Y_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 20 \quad j = 1, 2, 3)$$

式中, Y_i :第 i 样地的土壤改良效益评价综合指数; W_j :第 j 指标的层次单排序权值; Y_{ij} :第 i 样地、第 j 项准效益(土壤肥力、土壤抗蚀性能和抗冲性能)指数。

由此,可以计算获得各水土保持林土壤改良效益评价的综合指数,见表 3。

水土保持林土壤改良效益评价综合指数的计算也可以不分步进行,即根据层次分析法计算得到的层次总排序权值直接计算效益评价综合指数,公式为:

$$Y_i = \sum_{j=1}^9 W_j \cdot C_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 20)$$

式中, Y_i :第 i 样地的土壤改良效益评价综合指数; W_j :第 j 指标的层次总排序权值; C_{ij} :第 i 样地、第 j 项指标实测值归一化处理后的相对数值。

这样计算得到的结果与分步计算是一样的,只不过更加简单明了。

以上计算是不考虑林分立地因子影响的前提下进行。如果各种类型水土保持林立地条件完全一致,计算到此就可以结束。计算得到的效益评价综合指数,即为各水土保持林土壤改良效益评价综合指数。

但在现实情况下,想找到立地条件完全一致的各种类型的水土保持林很困难,甚至几乎不可能。即便设置无林空旷地作对照,也很难保证它们的立地条件完全相同。所以,找到一种方法来消除立地因子对水土保持林土壤改良效益评价综合指数的影响显得非常必要。

3.3 效益评价综合指数的校正,以及对校正后综合指数的分析

水土保持林土壤改良效益评价综合指数的校正,主要是为了消除立地因子对综合指数的影响。沈佐等在油松人工林立地类型划分研究中得出,在所有的立地因子中,坡向得分排在第一位^[16]。沈国舫等在研究影响油松人工林生长的立地因子时,也认为坡向是一个非常重要的因子。其它如坡度、坡位等对油松生长也有很大影响^[17]。

本项研究的研究地区——辽宁省西部朝阳地区,属于低山丘陵区,所以,在立地因子中,坡向、坡度和坡位成为影响水土保持林土壤改良效益评价综合指数的主导因素。根据沈国舫等对主要立地因子及其分级标准的划分^[17],结合立地因子对土壤各项指标的实际影响,制定分级标准如表 4。

根据坡向、坡位和坡度 3 项主要立地因子对水土保持林土壤改良效益评价综合指数影响作用的大小,运用专家评分法和频数统计分析法确定它们的权重分别为 0.5,0.33 和 0.17。同理,对于坡向而言,阳坡、半阴半阳坡和阴坡所占的权重分别为 0.17,0.33 和 0.5;对于坡度而言,1~10°、11~20°和>20°所占的权重分别为 0.5,0.33 和 0.17;对于坡位而言,坡面上部、中部和下部所占的权重分别为 0.17,0.33 和 0.5。由此,可以计算出各种类型水土保持林立地条件的权系数。

表 2 不同水土保持林土壤肥力、抗蚀性能和抗冲性能的计算值

Table 2 Soil fertility,anti-erodibility and anti-sourability values of different water and soil conservation forests

	土壤肥力 指数 Soil fertility index	抗蚀性能 指数 Soil anti- erodibility index	抗冲性能 指数 Soil anti- sourability index
1 ShY	0.5650	0.6349	0.3554
2 CY	0.7122	0.7488	0.4032
3 QY	0.5386	0.7564	0.4640
4 MY	0.7030	0.7274	0.4689
5 HY	0.5825	0.6022	0.5018
6 JY	0.5732	0.7007	0.4795
7 SYn	0.5197	0.7761	0.4664
8 SYs	0.4264	0.6146	0.3812
9 BY	0.5720	0.6743	0.4263
10 Y ₁₅	0.3180	0.3191	0.4076
11 Y ₂₈	0.4455	0.5525	0.3807
12 Y ₄₈	0.6579	0.8759	0.5108
13 Zh	0.4294	0.5242	0.4715
14 Sh	0.6460	0.6153	0.4981
15 ZhSh	0.5994	0.6900	0.5231
16 C	0.9559	0.7684	0.6129
17 Z	0.8662	0.7007	0.4263
18 CZ	0.9105	0.7185	0.4353
19 Kn	0.3352	0.2959	0.3451
20 Ks	0.2567	0.2336	0.5683

表 3 不同水土保持林土壤改良效益评价综合指数计算值

Table 3 Comprehensive indexes of evaluation on soil improvement benefit of different water and soil conservation forests

	土壤肥力 指数 Soil fertility index (×0.157)	抗蚀性能 指数 Soilanti- erodibility index (×0.594)	抗冲性能指数 Soil anti- sourability index (×0.249)	效益评价 综合指数 Comprehen- sive index
ShY	0.0887	0.3771	0.0885	0.5543
CY	0.1118	0.4448	0.1004	0.6570
QY	0.0846	0.4493	0.1155	0.6494
MY	0.1104	0.4321	0.1168	0.6592
HY	0.0915	0.3577	0.1249	0.5741
JY	0.0900	0.4162	0.1194	0.6256
SYn	0.0816	0.4610	0.1161	0.6587
SYs	0.0669	0.3651	0.0949	0.5269
BY	0.0898	0.4005	0.1061	0.5965
Y ₁₅	0.0499	0.1895	0.1015	0.3410
Y ₂₈	0.0699	0.3282	0.0948	0.4929
Y ₄₈	0.1033	0.5203	0.1272	0.7508
Zh	0.0674	0.3114	0.1174	0.4962
Sh	0.1014	0.3655	0.1240	0.5909
ZhSh	0.0941	0.4099	0.1303	0.6342
C	0.1501	0.4564	0.1526	0.7591
Z	0.1360	0.4162	0.1061	0.6584
CZ	0.1429	0.4268	0.1084	0.6781
Kn	0.0526	0.1758	0.0859	0.3143
Ks	0.0403	0.1388	0.1415	0.3206

表 4 主要立地因子及其分级标准
Table 4 Main site factors and classification criterions

立地因子 Site factors	分级标准 Classification criterions
坡向 Slope azimuth	阳坡(S,SW)记为 1,半阴半阳坡(E,SE,W)记为 2,阴坡(NW,NE,N)记为 3
坡度 Slope degree	1~10°记为 3,11~20°记为 2,>20°记为 1
坡位 Slope site	坡面上部(upside)记为 1,中部(middle)记为 2,下部(underside)记为 3

以权系数来校正水土保持林土壤改良效益评价综合指数,校正后的数值基本上可以认为是,消除了立地因子影响之后的水土保持林土壤改良效益评价综合指数,如表 5。需要说明的是,这种消除立地因子影响的方法是基于现实状况下的一种方法尝试,或许并不成熟,但是这种尝试所具有的意义却是毋庸置疑的。

从表 5 可以清楚地看出,各种类型水土保持林校正后的效益评价综合指数都大于无林空旷地,这对水土保持林的土壤改良效益是一个很好的映证。

在各种水土保持林中,油松阔叶树混交林(ShY,CY,QY,MY,HY,JY,SYn,SYs,BY)与油松纯林(Y₂₈)相比,综合指数有了明显的提高。

不同林龄的油松纯林,其效益评价综合指数的大小依次是 Y₄₈>Y₂₈>Y₁₅。这说明,随着林龄的增长,水土保持林的土壤改良效益也在增加。

所研究的各种水土保持林中,油松-沙棘混交林的效益评价综合指数最大,说明沙棘-油松混交林对于土壤改良效果最好。元宝槭-油松混交林的效益评价综合指数也较高,可见元宝槭-油松混交林也是值得推广的一种混交类型。此外,棘槐、黄栌、小叶锦鸡儿、紫穗槐、扁杏等与油松混交林的效益评价综合指数也

较高,说明它们也是较好的水土保持林类型。因此在朝阳地区,应大力推广油松和豆科或非豆科固氮树种的混交林,这对当地水土流失的控制及水土保持林体系的建设具有重要的实践价值和意义。

4 结论

4.1 在水土保持林土壤改良效益评价计算之前,首先需要对各项指标的测实数据进行处理,使之转化为无量纲的标度值。

4.2 效益的评价计算可按照层次单排序的权值分步进行,也可根据层次总排序的权值直接计算,得到的结果是一致的。

4.3 计算得到的效益评价综合指数在考虑立地因子影响的情况下,需进行校正。校正后的效益评价综合指数可用来评价不同水土保持林土壤改良效益的好坏。

4.4 比较不同水土保持林土壤改良效益评价综合指数可以看出,水土保持林对土壤具有明显的改良效果;在各种水土保持林中,混交林时土壤改良效益大于纯林;林龄越大的林分,土壤改良效果越好;油松和豆科或非豆科固氮树种混交林的综合指数较大,可以作为当地值得推广的水土保持林类型。

表 5 水土保持林土壤改良效益评价综合指数的校正
Table 5 Amendment of comprehensive index of evaluation on soil improvement benefit of water and soil conservation forests

	校正前的效益 评价综合指数 Comprehensive index before amendment	权重 Weight	校正后的效益 评价综合 指数 (V_i) Comprehensive index after amendment	相对于无林 地的综合指数 (V_i/V_{ks}) Compared to that of non- forest land
ShY	0.5543	0.2222	2.4944	3.46
CY	0.6570	0.3056	2.1502	2.98
QY	0.6494	0.2778	2.3378	3.24
MY	0.6592	0.3611	1.8255	2.53
HY	0.5741	0.2778	2.0668	2.86
JY	0.6256	0.2778	2.2522	3.12
SYn	0.6587	0.3611	1.8241	2.52
SYs	0.5269	0.2778	1.8968	2.63
BY	0.5965	0.2778	2.1474	2.98
Y ₁₅	0.3410	0.3333	1.0230	1.42
Y ₂₈	0.4929	0.2778	1.7744	2.46
Y ₄₈	0.7508	0.3333	2.2524	3.12
Zh	0.4962	0.2778	1.7863	2.48
Sh	0.5909	0.2778	2.1272	2.95
ZhSh	0.6342	0.2778	2.2831	3.12
C	0.7591	0.3611	2.1021	2.91
Z	0.6584	0.3333	1.9752	2.74
CZ	0.6781	0.3333	2.0343	2.82
Kn	0.3143	0.4167	0.7543	1.05
Ks	0.3206	0.4444	0.7214	1.00

参考文献

[1] 沈 慧,姜凤岐. 辽西水土保持林土壤改良效应的研究. 应用生态学报,1998,9(1):1~6.

[2] 庄季屏,南寅镐. 土壤硬度及其田间快速测定的方法. 土壤,1978,(2):61~63.

[3] 卫茂荣. 一次取样连续测定土壤物理性质的方法. 辽宁林业科技,1990,(1):56~57,49.

[4] 关松荫,等著. 土壤酶及其研究法. 北京:农业出版社,1986.

[5] 严昶升主编. 土壤肥力研究方法. 北京:农业出版社,1988.

[6] 刘孝义编著. 土壤物理及土壤改良研究法. 上海:上海科技出版社,1981.

[7] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京:科学出版社,1983.

[8] 田积莹. 黄义端. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究. 土壤学报,1964,12(3):286~296.

[9] 邱凤琼,等. 东北黑土有机质和酶活性与土壤肥力的关系. 土壤学报,1981,18(3):244~254.

[10] 刘秉正,王佑民,等. 刺槐林地土壤抗冲性的试验研究. 西北林学院学报,1984,(1):83~93.

[11] Hewlett J D,Hibbetr A R. Factors affecting the response of watersheds to precipitation in humid areas. Inter. Symp. On forest hydrology. Pregramon. Press,1967,(6):768~781.

[12] Lowery B,Swan J,et al. Physical properties of selected soils by erosion class. J. Soil Water Conserv. ,1995,50(3):306~311.

[13] 胡秉民,王兆骞,等. 农业生态系统结构指标体系及其量化方法研究. 应用生态学报,1992,3(2):144~148.

[14] 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.

[15] 赵焕臣,许树柏,等著. 层次分析法——一种简易的新决策方法. 北京:科学出版社,1986.

[16] 沈 佐,曹雅宁,等. 晋东南石灰岩山地油松人工林立地类型划分及评价. 林业科学,1996,32(1):16~23.

[17] 沈国舫,方芳数据 影响北京市西北地区油松人工林生长的立地因子. 北京林学院学报,1979,(1):96~104.