

山东省石灰岩山地不同混交林改良土壤及减蚀效益评价

张如明¹, 李亦然¹, 李泽东¹, 曹振¹, 张起利², 张永涛¹

(1. 山东农业大学 林学院, 山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室,

泰山森林生态系统定位研究站, 山东 泰安, 271018; 2. 山东省潍坊市林业局, 山东 潍坊, 261000)

摘要: [目的] 选择具有良好防护功能的混交林林分类型, 为山东省石灰岩山地森林优化升级提供理论依据。[方法] 选取山东省典型石灰岩山地 5 a 生 8 种不同树种混交林林分, 以侧柏纯林为对照, 采用野外调查和室内测定相结合的方法, 从混交林林分的生长状况、改良土壤理化性状效益、林地土壤水文效益、土壤减蚀效益 3 个方面的 13 个指标(郁闭度、冠幅、树高、土壤容重、总孔隙度、速效氮、速效磷、速效钾、土壤饱和贮水量、稳渗速率、渗透时间、减蚀量、枯落物层厚度)研究其改良土壤与减蚀效益, 通过层次分析法(AHP)对不同树种混交林林分进行综合评定。[结果] 改良土壤与减蚀效益最好的是苦楝侧柏混交林, 其次是刺槐侧柏混交林和黄栌侧柏混交林。[结论] 混交林改良土壤与减蚀效益优于纯林, 其中苦楝侧柏混交林、刺槐侧柏混交林和黄栌侧柏混交林改良土壤与减蚀效益最佳, 适宜石灰岩山地。

关键词: 石灰岩山地; 混交林; 改良土壤; 土壤减蚀效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)01-0220-06

中图分类号: S714.7

文献参数: 张如明, 李亦然, 李泽东, 等. 山东省石灰岩山地不同混交林改良土壤及减蚀效益评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 220-225. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.035; Zhang Ruming, Li Yiran, Li Zedong, et al. Evaluation of soil improvement and erosion reduction benefit of different mixed forests in limestone mountainous area of Shandong Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 220-225.

Evaluation of Soil Improvement and Erosion Reduction Benefit of Different Mixed Forests in Limestone Mountainous Area of Shandong Province

Zhang Ruming¹, Li Yiran¹, Li Zedong¹, Cao Zhen¹, Zhang Qili², Zhang Yongtao¹

(1. Taishan Forest Eco-station of State Forestry Administration, Shandong Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration, College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Forestry Bureau of Wei'fang City, Shandong Province, Weifang, Shandong 261000, China)

Abstract: [Objective] To select the mixed forest types with good protection function, in order to provide a theoretical basis for guiding the optimization and upgrading of limestone mountain forests in Shandong Province. [Methodes] We selected 8 different mixed forests of 5-year-old in the typical limestone mountainous area of Shandong Province, and the *Platycladus orientalis* forest was used as the control. Field investigation was conducted and quantitative analysis methods were used to study the soil improvement and erosion reduction benefit from three aspects: the growth condition of mixed forests stand and benefit of improving soil physicochemical properties, the soil hydrological benefit of forest land and the soil erosion abatement benefit. Totally, 13 indexes including canopy density, crown width, tree height, soil bulk density, total porosity, available nitrogen, available phosphorus, available potassium, soil saturated water storage, steady infiltration rate, infiltration

收稿日期: 2018-09-18

修回日期: 2018-11-16

资助项目: 世界银行贷款山东生态造林项目“干旱瘠薄山地造林树种及造林模型选择研究”(SEAP-KY-1); 欧洲投资银行贷款沿海防护林工程项目“低山丘陵海防林植被恢复技术研究”(SCSFP-KY-3)

第一作者: 张如明(1990—), 男(汉族), 硕士研究生。研究方向为水土保持监测。E-mail: 807969550@qq.com。

通讯作者: 张永涛(1972—), 男(汉族), 博士, 教授, 硕士生导师。主要从事林业生态工程研究。E-mail: yongtaozhang@126.com。

time, amount of erosion and thickness of litter layer were selected. The comprehensive evaluation of different mixed forest stands was carried out by analytic hierarchy process (AHP). [Results] The *P. orientalis*+*Melia azedarach* mingled forest had the best soil erosion reduction benefit, followed by the *P. orientalis*+*Robinia pseudoacacia* and *P. orientalis*+*Cotinus coggygria* mingled forest. [Conclusion] The soil improvement and erosion reduction benefit of mixed forests is better than that of pure forests. The soil improvement and erosion reduction benefit of *P. orientalis*+*M. azedarach*, *P. orientalis*+*R. pseudoacacia* and *P. orientalis*+*C. coggygria* are the best, which is suitable for limestone mountains.

Keywords: limestone mountain; mixed forest; soil improvement; soil erosion reduction benefit

山东省石灰岩山地总面积约 1.50×10^6 hm², 约占全省的面积 26% [1], 海拔 300~900 m, 土层瘠薄, 土壤厚度在 25 cm 以下的约占总面积的 80% 以上, 岩石裸露, 立地条件恶劣, 造林困难, 水土流失严重 [2]。自上世纪 80 年代, 为改善生态环境, 开始大量造林, 但因抚育管理不当及其他原因 [3-4], 导致成活率较低。为充分发挥已存林分的生态效益, 在早期造林基础上进行了后期补种, 形成混交林分, 但仍面临林分结构较差, 树种选择不当, 防护效益不佳。近年来中国对石灰岩山地荒山绿化多注重不同立地条件、不同林分密度、不同树种水土保持效益研究 [5]。如王永文等 [6] 对尾松混交林林下植被结构及生物量特征研究, 李小倩等 [7] 对鲁中南石灰岩山地针阔混交林土壤理化性状及水文效益, 胡建朋等 [8] 对山东石灰岩山地不同林分类型土壤入渗特征研究, 刘丽 [9] 对济南主城区石灰岩山地公园适生木本植物选择研究, 杨菲等 [10] 对鲁中南片麻岩低山丘陵针阔混交林蓄水保土效益研究。

人工林作为陆地森林生态系统中的重要组成部分 [11] 其在荒山绿化中改善生态环境起到较好的作用。提高人工林生态效益, 关键在于选择优良的树种, 配置结构良好的林分, 目前国内单从不同林分的生长状况、改良土壤理化性状效益、土壤水文效益、减蚀效益等方面研究不同林分蓄水保土效益的文章较多 [7-8, 10], 但在石灰岩山区进行不同树种混交的防护林进行改良土壤效益与土壤减蚀效益综合评价的文章不多见, 对于哪些树种混交更加适宜石灰岩山地缺乏研究。因此本文拟在适宜石灰岩山地对混交树种及其混交林分进行研究和评价, 以期对造林生产实践产生重要的指导意义, 发挥森林改良土壤与减少水土流失等生态效益, 同时满足人们对森林多功能效益的需要 [12], 为山东退化石灰岩山地混交林大面积营造提供技术指导和理论依据。

1 研究区概况

研究区位于山东省莒县浮来山镇宋家山村、蒙阴县云蒙湖生态区张家楼村黄斗顶、新泰市扒石山 3 个

地方 (118°44'—117°48'E, 35°44'—35°36'N), 海拔高度 185~480 m, 土壤种类为褐土, 土层厚度 8~50 cm, 坡度 8°~28°, 岩石为石灰岩, 属于鲁中南低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区, 多年平均气温 12.8 °C, 年最低气温 -15 °C, 年最高气温 39.4 °C, >10 °C 年有效积温为 4 195 °C, 年平均日照时数 2 450 h, 无霜期 195 d, 多年平均降水量 773 mm, 造林前土壤侵蚀模数为 25 t/(hm²·a)。在山坡上营造模型不同类型混交林各 2 hm², 以石灰岩山地传统林分类型侧柏纯林作为对照。主要物种有: 侧柏 (*Platycladus orientalis*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、黄栌 (*Cotinus coggygria*)、苦楝 (*Melia azedarace*)、臭椿 (*Ailanthus altissima*)、皂角 (*Gleditsia sinensis*)、黄荆 (*Vitex negundo*)、酸枣 (*Ziziphus jujube* var. *spinosa*)、连翘 (*Forsythia suspensa*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 等灌木、藤本及草本 (详见表 1)。

表 1 山东省石灰岩山地不同林分类型树木概况

林分类型	密度/ (株·hm ⁻²)	植被覆 盖度/%	混交 比例	坡位	坡度/ (°)
连翘+侧柏	2 500	70	4:6	中上部	22
山杏+侧柏	2 500	75	4:6	中上部	22
黄栌+侧柏	2 500	65	5:5	中上部	22
五角枫+侧柏	1 600	80	5:5	中部	21
刺槐+侧柏	1 600	80	5:5	中部	20
苦楝+侧柏	1 600	80	7:3	中部	22
黄连木+侧柏	1 600	80	5:5	中部	21
臭椿+侧柏	1 600	85	7:3	中部	20
侧柏纯林	2 500	85	纯林	中部	22

2 研究方法

2.1 研究材料

本文选取石灰岩山地为研究对象。研究区的石灰岩山地立地条件普遍较差, 典型的混交模式主要有 8 类, 乔灌混交和针阔混交。乔灌混交类型主要有 3 种: 5 a 生侧柏连翘混交林、侧柏山杏混交林

(*P. orientalis*+*Armeniaca sibirica*)和侧柏黄栌混交林,造林地位于山坡中上部、平均土层厚度 25 cm,坡度 10°~25°,2005 年采用长×宽×深为 0.4 m×0.4 m×0.3 m 的穴状整地,侧柏于同年 7 月采用容器苗造林,连翘、扶芳藤、山杏和黄栌于同年 9 月采用裸根苗造林;针阔混交类型共 5 种:侧柏五角枫混交林(*P. orientalis*+*Acer mono maxin*)、侧柏刺槐混交林、侧柏苦楝、侧柏黄连木混交林(*P. orientalis*+*Pistacia chinensis Bunge*)和侧柏臭椿,造林地位于山坡中上部、平均土层厚度 30 cm、坡度 15°~25°。2005 年采用长×宽×深为 0.7 m×0.5 m×0.4 m 的穴状整地,侧柏于同年 7 月采用容器苗造林,五角枫、刺槐和黄连木于同年 4 月采用裸根苗造林。

2.2 评价指标的构建

评价指标体系的构建是进行不同混交林林分改良土壤及减蚀效益评价的前提条件,而评价指标选取的不同直接影响了评价结果。评价指标的选取需要遵循:客观性、代表性、独立性、可比性等原则,尽量减少因指标选取不当而引起的评价结果的偏离。本文采取调查研究和目标分解相结合的方法,同时结合前人的研究成果^[13],从不同树种混交林分的改良土壤与减蚀效益两个方面选取了 13 个重要指标,包括:郁闭度、冠幅、树高、土壤容重、总孔隙度、速效氮、速效磷、速效钾、土壤饱和贮水量、稳渗速率、渗透时间、土壤减蚀量、枯落物层厚度。具体指标数据如表 2 所示。

表 2 山东省石灰岩山地不同林分类型评价指标

代号	指标	属性	代号	指标	属性
1	郁闭度	-	8	速效钾	+
2	冠幅	+	9	土壤饱和贮水量	+
3	树高	+	10	稳渗速率	+
4	土壤容重	+	11	渗透时间	+
5	总孔隙度	+	12	土壤减蚀量	+
6	速效氮	+	13	枯落物层厚度	+
7	速效磷	+			

注:表中“+”代表正效益指标,值越大改良土壤与减蚀效益越好,“-”代表负效益指标,值越大其改良土壤与减蚀效益越差。

2.3 测定方法

(1) 林木生长量测定。在不同树种混交林分内选取标准地,面积均为 20 m×20 m,测定林分郁闭度、冠幅、树高。

(2) 土壤物理性状和水文效应的测定。在标准地内均匀选取 5 个测点,用铝盒在标准地测点 0—10

cm,10—20 cm 层取样,每层 3 次重复。用烘干法测定土壤含水量,用环刀浸水法测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度,根据测定结果计算出毛管最大持水量、现有土壤贮水量、土壤饱和贮水量等指标。

(3) 土壤氮磷钾含量测定。水解氮用碱解扩散法,有效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法,速效钾用火焰光度计法,全氮用凯氏消煮法,全磷用硫酸—高氯酸溶液—钼锑抗比色法,全钾用氢氧化钠碱熔—火焰光度法。

(4) 土壤渗透速率。用单环定量加水法测定。

(5) 土壤侵蚀量的测定。用标尺法测定,取 3 a 土壤侵蚀模数的平均值。

2.4 数据标准化处理

在数据运用之前统一原始数据存在的不同量纲,缩小指标间数量的明显差异,即进行数据的标准化。本文利用极差法,对数据进行标准化。

$$\text{正效益的指标的公式为: } P = \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负效益的指标的公式为: } P = 1 - \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad (2)$$

式中: P ——标准化后所得的数据; P ——某项指标的原始数据; P_{\max} ——某项原始数据的最大值; P_{\min} ——某项原始数据的最小值。

2.5 改良土壤与土壤减蚀效益评价方法

本研究运用层次分析法(AHP)对 9 种 5 a 生的不同树种混交林分类型进行评价。层次分析法是对定性问题进行定量分析的一种简便、灵活而又实用的多准则层决策方法。它能把人的过程层次化、数量化、并运用数学分析、决策或控制提供定量依据。

2.5.1 建立不同混交林层次分析评价模型 建立一个好的混交林层次分析模型,是遴选优势混交树种的关键。将决策的目标、考虑的因素和决策对象按照它们之间的相互关系分为最高层,中间层和决策层绘出层次结构图(如图 1 所示)。

2.5.2 构建判断矩阵 首先建立层次分析模型如图 1 所示,然后在确定各层次各因素之间的权重时,采用相对尺度,将因素两两相比较,构建比较判断矩阵。

为了使各因子 C_{ij} 之间进行两两比较得到量化后的判断矩阵,引入 Santy 标度(详见表 3)。

在建立分析模型后需要对每层的因子相对重要性按着标度给出判断赋值(如表 4 所示):

其中, $C_{ij} = 1/C_{ji}$ ($i \neq j$),且 $C_{ij} > 0$;要由矩阵 C 确定 C_1, \dots, C_n 对 B_k 的权向量。

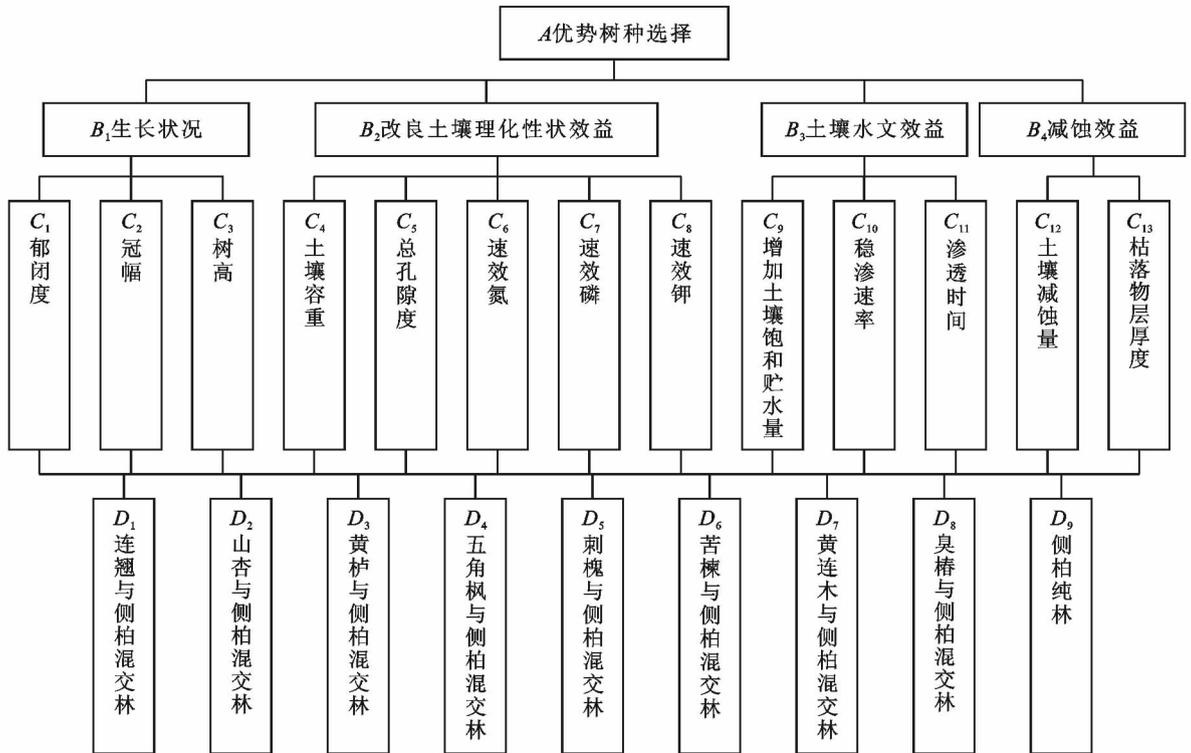


图 1 山东省石灰岩山地不同混交林分改良土壤与减蚀效益层次分析评价模型

表 3 Santy 标度赋值与释义

值	含义
1	表示两个因素相比,具有同样重要性
2	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
7	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
9	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素 i 与 j 比较的判断 C_{ij} , 则因素 j 与 i 比较判断的 $C_{ji} = 1/C_{ij}$

表 4 判断矩阵

B_k	C_1	C_1	C_n
C_1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1n}
C_2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
C_n	C_{n1}	C_{n2}	...	C_{nm}

2.5.3 层次单排序及一致性检验

(1) 层次单排序就是在判断矩阵构造完成后,根据判断矩阵利用数学方法量化计算,计算步骤及公式:首先将 C 因子经过列向量归一化计算;再将 C 因子按行求和;再次将行和向量归一化得到排序权向量,用 W 表示;最后按公式(3)计算最大特征值 λ_{max} 。

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{nW_i} \quad (3)$$

式中: $(CW)_i$ —— CW 第 i 个因子。

(2) 一致性检验能否确认层次单排序,需要进行一致性检验,所谓一致性检验是指对 C 确定不一致的允许范围。一致性检验首先要计算出一致性指标 I_C 。 I_C 计算公式为:

$$I_C = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中: λ_{max} —— 判断矩阵的最大特征值; n —— 比较矩阵的阶数。

- $I_C = 0$, 有完全的一致性;
- I_C 接近于 0, 有满意的一致性;
- I_C 越大, 不一致越严重。

当阶数 n 大于 2 时,为衡量 I_C 的大小,引入随机一致性指标 I_R , 取值如表 5 所示, n 表示矩阵的阶数^[14]。

表 5 随机一致性指标 I_R 取值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I_R	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

当 $R_C = I_C / I_R < 0.10$ 时,即认为判断矩阵 C 的不一致性程度在允许范围内,具有满意的一致性,通过一致性检验,可用其归一化特征向量作为权向量,否则就需要调整判断矩阵。

3 结果与分析

通过对 9 种不同林分指标的分析,可对这些林分优缺点做一个大致的了解,但是每一类不同林分之间又存在一定的差异,为了综合比较 9 种不同林分类型

改良土壤与减蚀效益,需要进行综合(AHP)评价。

改良土壤与减蚀与减蚀效益是衡量不同树种混交林林分类型在生长状况、改良土壤理化性状、土壤水文、土壤减蚀效益等方面存在一定的差异。其生长状况指标包括:郁闭度、冠幅、树高;改良土壤理化性状指标包括:土壤容重、总孔隙度、速效氮、速效磷、速效钾;林分土壤水文指标包括:土壤饱和贮水量、稳渗速率、渗透时间;土壤减蚀量指标包括:土壤减蚀量、枯落物层厚度。具体数据如表 6—7 所示。

表 6 石灰岩山地不同树种混交林分类型改良土壤与减蚀效益指标

林分类型	生长状况指标			改良土壤理化性状指标				
	郁闭度	冠幅/ m ²	树高/ m	土壤容重/ (g · cm ⁻³)	总孔隙度/ %	速效氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
连翘+侧柏	0.42	2.68	1.64	1.29	48.8	58.1	5.8	69.0
山杏+侧柏	0.36	1.43	1.92	1.3	47.9	57.6	5.4	66.0
黄栌+侧柏	0.49	2.58	2.16	1.27	49.9	61.3	6.3	72.0
五角枫+侧柏	0.52	2.52	2.52	1.25	51.9	62.5	5.8	72.3
刺槐+侧柏	0.51	2.16	3.18	1.22	53.8	65.8	6.2	74.5
苦楝+侧柏	0.55	2.88	2.81	1.23	53.9	65.9	6.3	74.8
黄连木+侧柏	0.47	1.91	2.59	1.27	51.2	62.1	5.6	72.1
臭椿+侧柏	0.50	2.28	2.76	1.26	51.6	62.7	5.7	73.2
侧柏纯林	0.41	1.38	2.43	1.29	47.43	52.4	4.8	59.4

表 7 石灰岩山地不同树种混交林分类型改良土壤与减蚀效益指标

林分类型	土壤水文效益指标			土壤减蚀效益指标	
	土壤饱和贮 水量/mm	稳渗速率/ (mm · min)	渗透时间/ min	土壤减蚀量/ (t · hm ⁻² · a ⁻¹)	枯落物层 厚度/cm
连翘+侧柏	16.80	4.30	21.23	22.27	2.68
山杏+侧柏	15.00	4.10	20.77	21.81	4.34
黄栌+侧柏	19.50	4.90	22.87	23.7	3.25
五角枫+侧柏	24.80	5.29	23.61	21.91	3.60
刺槐+侧柏	30.51	5.72	25.26	22.43	3.80
苦楝+侧柏	30.81	5.75	25.33	22.46	4.10
黄连木+侧柏	22.71	5.21	23.51	21.79	3.20
臭椿+侧柏	23.91	5.26	23.56	21.85	3.50
侧柏纯林	12.93	4.06	20.48	19.53	2.30

9 种不同树种混交林林分类型改良土壤与减蚀效益指标如表 6—7 所示。

从不同树种生长状况 3 个代表性指标来讲,郁闭度是指森林中乔木树冠在阳光直射下在地面的总投影面积(冠幅)与此林地(林分)总面积的比,它反映了林分的密度、植被覆盖度,与改良土壤理化性状和防止土壤侵蚀密切相关。其中郁闭度和冠幅较大的是苦楝侧柏混交林,最小的是侧柏纯林;树高代表不同树种同一时期生长高度,反映了土壤肥力等生产潜力,其中刺槐侧柏混交林生长较高,最低的是侧柏纯林,综合不

同混交林林分的生长状况可以得出苦楝侧柏混交林和刺槐侧柏混交林表现较好,侧柏纯林较差。

从改良土壤理化性状 4 个代表性指标来讲,土壤容重越小,土壤质地越疏松,其蓄水能力,增加降雨入渗,减轻地表径流冲刷能力越强^[15]。其次,土壤的总孔隙度直接影响到土壤的通气性和透水性^[16]和土壤中水、肥、气、热及生物活性^[17],且土壤的总孔隙度对土壤的饱和贮水量、减小地表径流有重要意义^[18]。由表 6 可知,刺槐侧柏混交林土壤容重最小,山杏侧柏混交林土壤容重最大;从土壤总孔隙度来说,苦楝

侧柏混交林最大,侧柏纯林孔隙度最小;从土壤养分含量指标来说,其中苦楝侧柏混交林土壤氮磷钾含量较高,更有利于林分生长,侧柏纯林林下土壤养分含量偏低,说明其改良土壤的能力较小。综合改良土壤理化性状四个指标来看,苦楝侧柏混交林和刺槐侧柏混交林表现较好,侧柏纯林较差。

同理,从土壤水文效益综合来讲,苦楝侧柏混交林的土壤饱和贮水量、稳渗速率、渗透时间表现较好,侧柏纯林表现较差;

从土壤减蚀效益两个代表性指标来讲,不同林分对土壤侵蚀量存在明显的差异,其中黄栌侧柏混交林减少土壤流失效果较好,侧柏纯林较差;枯落物层对减少降雨对土壤的冲击起到很好的保护作用,基本上与土壤减蚀量成正相关关系。从表 7 可以看出,山杏侧柏混交林枯落物层较厚,侧柏纯林较薄,从观测到的土壤减蚀量结果也能看出,黄栌侧柏混交林减蚀效益最好,侧柏纯林较差。

表 9 石灰岩山地不同树种混交林林分类型得分结果

项 目	林分类型								
	连翘 +侧柏	山杏 +侧柏	黄栌 +侧柏	五角枫 +侧柏	刺槐 +侧柏	苦楝 +侧柏	黄连木 +侧柏	臭椿 +侧柏	侧柏 纯林
得分	0.099 4	0.085 4	0.140 6	0.105 6	0.145 7	0.149 1	0.089 6	0.132 8	0.051 7
排名	6	8	3	5	2	1	7	4	9

由表 8 准则层判断矩阵及其权重可知,在石灰岩山地造林绿化存在困难的情况下,石灰岩山地首先考虑不同树种混交林分在极其恶劣的立地条件下保证其能够正常生长,然后再考虑其改良土壤理化性状效益、土壤水文效益与土壤减蚀效益,其中生长状况权重为 0.519 3,占总权重比例最大,说明生长状况指标对不同林分类型树种影响较大,反之土壤减蚀效益权重为 0.078 9,占总权重比例最小,影响较小,其生长状况权重占总权重的一半多,其中改良土壤理化性状效益和土壤水文效益权重均为 0.200 9,说明其对不同林分类型树种影响相当。

由表 9 不同树种混交林林分类型得分结果可知,苦楝侧柏混交林改良土壤与减蚀效益最佳,得分为 0.149 1,刺槐侧柏混交林次之,得分为 0.145 7,侧柏纯林最差,得分为 0.051 7,其他混交林得分分别为:黄栌侧柏混交林 0.140 6,臭椿侧柏混交林 0.132 8,五角枫侧柏混交林 0.105 6,连翘侧柏混交林 0.099 4,黄连木侧柏混交林 0.089 6,山杏侧柏混交林 0.085 4。由表 9 不同树种混交林林分类型得分结果可知,不同混交林林分大小依次排序为:苦楝侧柏混交林>刺槐侧柏混交林>黄栌侧柏混交林>臭椿侧柏混交林>

为了更好地区分不同混交林改良土壤与减蚀效益,需要把 9 种不同混交林改良土壤与减蚀效益指标标准化后带入 AHP 软件,进行层次分析,分析结果如表 8 所示。

表 8 石灰岩山地不同树种混交林分类型指标层各指标权重蓄水保土效益得分

评价指标	生长状况	改良土壤 理化性状	土壤水文 效益	土壤减蚀 效益
权重	0.519 3	0.200 9	0.200 9	0.078 9

按上述方法,求得

$$\lambda_{\max} = 2, \quad I_C = \frac{\lambda_{\min} - n}{n - 1} = 0$$

经表查的 $I_R = 0$, 因此 $R_C = I_C / I_R = 0 < 0.10$ 表明判断矩阵的一致性符合要求。

同理,不同树种混交林林分类型改良土壤与减蚀效益得分结果如表 9 所示。

五角枫侧柏混交林>连翘侧柏混交林>黄连木侧柏混交林>山杏侧柏混交林>侧柏纯林。

4 结 论

(1) 从不同混交林林分类型的生长状况、改良土壤理化性状、土壤水文、土壤减蚀量的指标权重来讲,在进行荒山绿化时,生长状况对改良土壤和减蚀效益的影响权重最大,然后再是其他指标。

(2) 对不同混交林改良土壤与减蚀效益进行综合 AHP 分析评价,苦楝侧柏混交林优于其它混交林林分,其次是刺槐侧柏混交林,都优于侧柏纯林。

综上所述,在山东省石灰岩山地进行荒山绿化时,兼顾改良土壤及土壤减蚀多功能水土保持效益目标,应优先考虑苦楝侧柏混交林、刺槐侧柏混交林。应该对传统侧柏纯林进行林分混交升级改造。

[参 考 文 献]

[1] 房用,梁玉,王月海,等. 济南石灰岩山地植被特征及其对植被优化配置的研究[J]. 山东大学学报,2008,43(1): 8-13,19.

- 及污染物构成时空特征分析[J]. 地理研究, 2014, 33(4):762-776.
- [13] 何志平, 曾凯, 李正确, 等. 四川规模猪场产排污系数测定[J]. 中国沼气, 2010, 28(4):10-14.
- [14] 武淑霞. 我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2005.
- [15] 仇焕广, 井月, 廖绍攀, 等. 我国畜禽污染现状与治理政策的有效性分析[J]. 中国环境科学, 2013, 33(12):2268-2273.
- [16] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: The export coefficient modeling approach[J]. Journal of Hydrology, 1996, 183:323-349.
- [17] 易秀, 陈生婧, 田浩. 陕西省养殖业畜禽粪便氮磷耕地负荷的时空分布[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3):235-240.
- [18] 彭里, 王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1):288-292.
- [19] 焦隽. 江苏省农村主要污染源氮磷污染负荷区域评价及控制对策[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [20] 刘培芳, 陈振楼, 许世远, 等. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5):456-460.
- [21] 陈微, 刘丹丽, 刘继军, 等. 基于畜禽粪便养分含量的畜禽承载力研究[J]. 中国畜牧杂志, 2009, 45(1):46-50.
- [22] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 等. 内蒙古生态环境敏感性综合评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(2):591-598.
- [23] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7):2766-2774.
- [24] Lemerrier B, Gaudin L, Walter C, et al. Soil phosphorus monitoring at the regional level by means of a soil test database[J]. Soil Use and Management, 2008, 24(2):131-138.
- [25] Schroder J J, Aarts H F M, Ten Berge H F M, et al. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use[J]. European Journal of Agronomy, 2003, 20(1/2):33-44.
- [26] 代舜尧. 对甘孜州养殖污染环境治理思考[J]. 中国畜禽种业, 2018, 14(1):5.

(上接第 225 页)

- [2] 张国庆, 杨吉华, 于连家, 等. 石灰岩山地不同整地组合对侧柏林蓄水保土功能的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 7(1):209-214.
- [3] 刘轶. 森林抚育管理的有效途径[J]. 中国农业信息, 2016(11):54-55.
- [4] 赵匡记, 汪加魏, 施侃侃, 等. 北京市西山林场游憩林抚育的森林健康评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(10):65-69.
- [5] 胡建朋, 杨吉华, 罗明达, 等. 山东砂石山区不同林分类型土壤的蓄水效益[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(5):67-72.
- [6] 汪永文, 王力, 王丽丽, 等. 马尾松混交林林下植被结构及生物量特征研究[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2):312-316.
- [7] 李小倩, 杨吉华, 魏晓明. 鲁中南石灰岩山地针阔混交林土壤理化性状及水文效应[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1):208-211, 230.
- [8] 胡建朋, 杨吉华, 罗明达, 等. 山东石灰岩山地不同林分类型土壤入渗特征研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3):54-58.
- [9] 刘丽. 济南主城区石灰岩山地公园适生木本植物选择研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2017.
- [10] 杨菲, 杨吉华, 艾钊, 等. 鲁中片麻岩低山丘陵针阔混交林蓄水保土效益研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2):51-56.
- [11] 董波, 万福绪, 严妍, 等. 徐州市石灰岩山地不同植被恢复模式的碳储量[J]. 水土保持通报, 2015, 35(3):288-292.
- [12] 陈勇, 孙冰, 廖绍波, 等. 城市森林林内景观评价指标筛选研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(16):32-36.
- [13] 赵娟. 层次分析法在太行山中部造林树种选择中的应用[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):201-206.
- [14] 杨洋. 基于层次分析法的绿道景观评价模型的构建与应用[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [15] 刘营营, 余冬立, 刘冬冬, 等. 土地利用与土壤容重双因子对土壤水分入渗过程的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5):84-88, 94.
- [16] 赵筱青, 和春兰, 许新惠. 云南山地尾叶桉类林引种对土壤物理性质的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(11):1810-1816.
- [17] 姜霞, 张喜, 张佐玉, 等. 不同喀斯特峡谷土壤物理性质空间变异的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(4):87-90, 96.
- [18] 衣晓丹. 不同发育阶段杉木人工林土壤理化性质及凋落物养分储存量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.