

群落尺度植被水土保持功能评价模型的构建

——以大别山北麓安徽省金寨县为例

张洪达^{1,2}, 赵传普², 戴玉婷¹, 袁利², 杨绮梦¹, 吴傲¹, 刘霞¹

(1.南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏省水土保持与生态修复重点实验室, 江苏 南京 210037; 2.水利部 淮河水利委员会 淮河流域水土保持监测中心站, 安徽 蚌埠 233001)

摘要: [目的] 探索群落尺度植被水土保持功能评价模型, 为大别山区植被水土保持与生态建设提供参考依据。[方法] 基于已有研究通过文献计量法、专家经验法筛选建立植被水土保持功能初选指标(包括植被类型、植被结构、地形等 30 项)。通过野外调查获取指标实测值, 利用随机森林法、决策树法分析、衡量各指标, 以指标实测值与土壤侵蚀量建立多元逐步回归关系, 构建群落尺度植被水土保持功能评价模型。[结果] 基于随机森林的全局回归建模(R^2 为 0.71)较决策树的局部回归建模(R^2 为 0.69)效果更优。基于随机森林全局回归方式, 构建了包括坡度、林龄、灌木盖度、草盖度、枯落物厚度 5 项指标的评价模型。植被水土保持功能为: 防护林(0.705) > 用材林(0.529) > 经济林(0.513) > 灌草(0.457)。[结论] 在群落尺度植被水土保持功能评价中, 随机森林法所构建的模型其应用性、可操作性较强且易于掌握。

关键词: 群落尺度; 水土保持功能; 随机森林; 多元回归; 大别山区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2022)01-0122-08

中图分类号: S157

文献参数: 张洪达, 赵传普, 戴玉婷, 等. 群落尺度植被水土保持功能评价模型的构建[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 122-129. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.017; Zhang Hongda, Zhao Chuanpu, Dai Yuting, et al. Construction of evaluation model for soil and water conservation function of vegetation at community scale [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 122-129.

Construction of Evaluation Model for Soil and Water Conservation Function of Vegetation at Community Scale

—Taking Jinzhai County, Anhui Province at Northern Foot of Dabie Mountains as an Example

Zhang Hongda^{1,2}, Zhao Chuanpu², Dai Yuting¹, Yuan Li², Yang Qimengdi¹, Wu Ao¹, Liu Xia¹

(1. Collaborative Innovation Center of Sustainable Forestry in Southern China of

Jiangsu Province, Jiangsu Provincial Key Lab of Soil Erosion and Ecological Restoration, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 2. Monitoring Center Station of Soil and Water Conservation, Huaihe River Commission, Ministry of Water Resources, Bengbu, Anhui 233001, China)

Abstract: [Objective] An evaluation model for the soil and water conservation function of vegetation at community scale was explored in order to provide a reference for soil and water conservation and ecological construction of vegetation in the Dabie Mountains. [Methods] Based on existing research, through the bibliometric method and expert experience method, the primary selection index for soil and water conservation function of vegetation was established, including 30 items characterizing vegetation type, vegetation structure, terrain, and so on. The measured values of the indicators were obtained through field investigation, and the indicators were analyzed and measured by the random forest method and the decision tree method. A multiple stepwise regression relationship between the measured values of the indicators and soil erosion was established to construct an evaluation model for soil and water conservation function of vegetation at community scale.

收稿日期: 2021-08-01

修回日期: 2021-10-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“坡式经济林地土壤水分运移动态及内在机理”(32071840), “沂蒙山区退耕坡地土壤结构与入渗动态及其分形学机理”(31070627); 水利部重点项目(SBJ2018010); 江苏省“333 工程”科研项目(BRA2019069)。

第一作者: 张洪达(1988—), 男(汉族), 山东省临沂市人, 博士研究生, 主要从事水土保持监测与评价工作。Email: linyizhda@163.com。

通信作者: 刘霞(1971—), 女(汉族), 山东省菏泽市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持监测与评价方面的研究。Email: liuxia@njfu.edu.cn。

[Results] A global regression model based on a random forest ($R^2=0.71$) was better than the local regression model based on a decision tree ($R^2=0.69$). Based on the global regression model of random forest, an evaluation model which included slope, forest age, shrub coverage, grass coverage, and litter thickness was constructed. The soil conservation functions of vegetation in the study area followed the order of protection forest (0.705) > timber forest > (0.529) economic forest (0.513) > shrub-grass (0.457). [Conclusion] In the evaluation of vegetation soil and water conservation function at community scale, the model constructed by random forest method has strong applicability, operability and is easy to grasp.

Keywords: community scale; function of soil and water conservation; random forest; multiple regression; Dabie Mountains area

植被是防止水土流失、维持生态平衡、改善生态环境的重要因素^[1],具有涵养水源、保持水土、防风固沙等作用^[2]。植被作为影响水土流失的一个重要因子受到人们的广泛关注^[3-4],而研究植被水土保持功能对生态保护、减少地表径流及土壤流失等研究具有重要意义。

长期以来,植被水土保持功能评价主要以植被覆盖度单一指标为主,在植被覆盖度与土壤流失量定量关系研究中^[5],植被覆盖度与土壤流失量之间相关性显著,但尚未形成统一的定量关系^[6]。此外,在相同覆盖度下,不同植被类型、结构的水土保持功能存在明显差异。因此,采用单一指标评价其结果存在一定的局限。随着植被水土保持机理研究的深入,近来许多学者提出了包含植被垂直结构(层次)、植被类型、枯枝落叶层、根系层等^[7]多指标体系的综合评价方法,可较全面的反映植被特性。但因受地理区域、自然条件差异影响,确定的最优水土保持植被类型、植被结构、群落组成都不相同。到目前为止,尚未能形成一个公认统一的指标体系,综合性的评价指标研究还停留在小尺度的定点观测上,未能满足于生产实践的需要^[8-11]。

大别山区为中国中部地区的重要生态功能区和淮河上游地区生态屏障。随着区域经济社会发展,该区水土流失问题日益严峻,其植被水土保持功能状况及其评价成为研究热点。本文以大别山区北麓金寨县为研究区,以森林、灌草植被为研究对象,探索面向群落尺度的植被水土保持功能评价模型构建方法,期为大别山区植被水土保持生态建设提供参考依据。

1 研究区概况

研究区位于鄂豫皖 3 省交界的大别山主脉北麓安徽省金寨县(115°22'—116°11'E, 31°06'—31°48'N),总面积 3 814 km²。地势南高北低,以斜坡(8°~15°)、陡坡(15°~25°)为主。属北亚热带湿润季风气候区,多年平均降雨量 1 389.6 mm,多年平均气温 15~16.3℃。岩石主要为花岗岩和花岗片麻岩,土壤主要是粗骨

土、黄棕壤、山地棕壤、紫色土等。研究区森林覆盖率达 74.1%。防护林主要树种有马尾松(*Pinus massoniana*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、化香(*Platycarya strobilacea*);用材林主要树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、毛竹(*Phyllostachys edulis*);经济林主要树种有板栗(*Castanea mollissima*)、山核桃(*Carya cathayensis*)、油茶(*Camellia oleifera*)、茶(*Camellia sinensis*)等。

2 材料与方法

2.1 数据获取

2.1.1 数据来源 金寨县森林资源 2 类调查图斑数据和森林资源分布图(1:30 万,2018 年)由林业部门提供,SRTM 分辨率 30 m 数字高程模型来源于地理空间数据云。文献数据源来自于 2020 年中国学术期刊网络数据库,检索相关研究文献并分析研究热点,统计高频词频次。

2.1.2 野外调查 基于森林资源分布图,植被类型分为防护林、用材林、经济林、灌草 4 个组,在考虑代表性、易获取性及空间分布均匀等原则基础上,按照植被类型采用分层抽样方法确定野外调查样区。在每组优势树种中按图斑数量随机抽取 1%,研究区整体抽样比例为 0.67%,结合坡度、坡向、高程等确保在各等级均有分布。确定地面调查样区 120 个、多光谱无人机调查样区 100 个,于 2019 年 8 月开展野外实地调查。调查样区选择结果见表 1,其空间分布见图 1。

表 1 野外调查样区统计

样区来源	森林			灌草	总计
	防护林	用材林	经济林		
地面样区/个	36	30	44	10	120
无人机样区/个	30	32	33	5	100

野外调查包括地面调查和无人机调查。其中,地面调查样方设置为乔木层(30 m×30 m)、灌木层(5 m×5 m)、草本层(1 m×1 m)地被层(1 m×1 m)。

郁闭度、盖度及叶面积指数测量采用五点测量法,即以样区 4 个角点和中心点为测定位置,多次测量求平均值;采用植被覆盖度动态测量系统测量郁闭度、盖度;叶面积指数仪(型号:LAI-2 000)测量叶面积指数。

无人机调查借助无人机(型号:大疆 m600-pro)搭载多光谱传感器(型号:MicaSense RedEdge-M)获取植被覆盖度信息。航线规划不低于 75% 的航向、旁向重复度,飞行相对高度为 200 m,主航向重叠率设置 80%,范围 500 m×500 m。

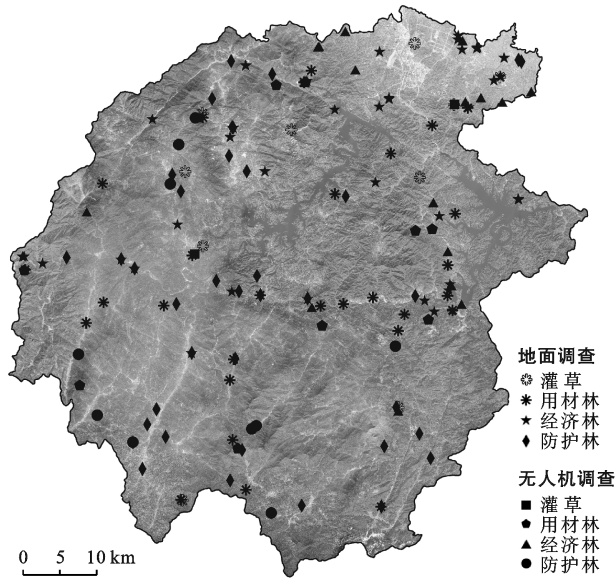


图 1 大别山北麓安徽省金寨县调查样区分布

2.2 研究方法

2.2.1 植被水土保持功能指标筛选

(1) 文献计量法。采用 CNKI 网 5.3.R4 数据分析模块,对涉及植被水土保持功能关键词进行统计,通过有效挖掘和分析比较实现指标预选^[12]。

(2) 专家咨询法。选取从事水土保持功能相关研究的学与科研人员、已发表类似文章且有较高引用率的研究人员、以及研究区具有高级技术职称的水土保持生产实践工作者对预选指标进一步分析与遴选^[13]。

2.2.2 指标变量筛选方法

(1) 随机森林。随机森林方法在对数据进行分类的同时,可以给出各个指标变量在分类中的重要性评分,依据该评分可以对指标变量进行排序来判断指标变量在分类中起到的作用大小,并筛选出相对重要的指标变量^[14-15]。

(2) 决策树。决策树以树状结构表现,叶子结点代表一个结论,内部结点描述一个属性,是从上到下一条路径来确定的分类规则^[15]。通过构建决策树规

则帮助了解各指标变量的贡献大小、方向,指标变量间的关系更加易懂。

2.2.3 土壤流失评价方法 结合野外调查实测数据,基于 CSLE 模型计算调查样区土壤流失量。公式如下^[16]:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中: A 为年单位面积的土壤流失量 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$; R 为降雨侵蚀力因子 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; K 为土壤可蚀性因子 $[\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})]$; L 为坡长因子(无量纲); S 为坡度因子(无量纲); B 为生物措施因子(无量纲); E 为工程措施因子(无量纲); T 为耕作措施因子(无量纲);各因子采用年度水土流失动态监测成果。

2.2.4 植被水土保持功能评价模型 基于随机森林重要性排序指标同土壤流失量建立回归关系。多元线性回归模型可以表示为^[17]:

$$A = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + u_i \quad (2)$$

式中: A 为模型因变量,即土壤侵蚀模数。 X_1, X_2, \dots, X_i 为解释变量,即郁闭度、盖度、坡度、枯落物厚度等; $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_i$ 为模型回归系数,即被估计量; u_i 随机误差项。

3 结果与分析

3.1 植被水土保持功能评价指标筛选

3.1.1 基于文献计量学的评价指标预选 以植被水土保持功能、植被水土保持效应、植被水土保持功能评价等作为主题词,对 1980—2020 年文献进行检索,共检索相关文献 2 916 篇。通过进一步甄别,筛选出中国国内与本研究相关度较高的 198 篇文献进行分析。

基于词频分析法,对植被水土保持功能及评价的相关文献进行分析,并对关键词进行词频统计(表 2)。在植被水土保持功能研究中核心关键词是枯落物层、林分结构和植被类型等。词频统计结果可归纳为 3 大类 72 项指标,即:功能表征指标(如非毛管孔隙度、土壤最大持水量、林冠截留、地表径流、土壤抗冲性、毛管孔隙度等)、功能影响指标(群落类型、结构、数量特征、枯落物层、植被类型、土壤层/根系层等)、地形因子指标(坡度、坡位等)。

3.1.2 基于专家咨询的评价指标初选 专家组由 3 方面人员组成:①从事水土保持与荒漠化防治教学与科研任务的人员;②长期从事水土保持工作,且有 5 a 以上工作经验的并取得高级技术职称的一线工作者;③已发表了类似文章的且有较高引用率的研究人员。确定了 30 名在植被水土保持功能研究及评价领域较为熟悉的专家。

基于文献计量学指标预选结果,对每一项指标通过“A(极重要),B(重要),C(一般),D(不重要)”4个选项来咨询,保留均值 $X \geq 3$ 且变异系数 $CV \leq 0.25$ 的指标^[13],确定了植被水土保持功能初选指标集。

以植被水土保持功能为评价的总体目标,指标体系包括自然因素和人为因素两大类。构建了 3 层指标体系,其中一级指标 4 项,二级指标 7 项,三级指标 30 项。植被水土保持功能初选指标详见表 3。

表 2 植被水土保持功能研究关键词统计

指标类型	关键词	频次
功能表征	非毛管孔隙度	23
	最大持水量	18
	林冠截留量、持水量、地表径流、毛管孔隙度	16
	产沙量、坡面径流、径流量、输沙量	12
	入渗、土壤侵蚀量、产流、土壤含水量、林冠蒸发量	11
	土壤黏粒、土壤蓄水量、土壤初渗值、土壤硬度	5
	林冠降雨截持率、渗透性、土壤厚度、土壤水分、稳渗值	3
	土壤有机质含量、土壤受蚀性指数、土壤硬度	1
功能影响	枯落物层	59
	植被类型	29
	土壤层、根系层、枯枝落叶层、土壤抗冲性	16
	植被结构、灌木层、植被覆盖度、植被盖度、灌草	15
	叶面积指数、树种组成、冠幅、郁闭度、层高、枯落物分解层	12
	胸径、层次结构、枝下高、林龄	9
	树种组成、垂直结构、生物量、根系	7
	枯落物组成、枯落物分解状态、年龄结构、群落组成	6
	水平结构、林下地被物	5
	灌草生物量、林冠特征	4
	管理方式、枯落物组成、植被格局	3
	森林经营方式、植被恢复	2
	林下地被物	1
地形因子	坡度	8
	坡位	5
	坡向、海拔	3
	分水岭	1

表 3 植被水土保持功能初选指标

目标层	指标类型	一级指标	二级指标	三级指标
植被水土保持功能评价	自然因素	植被类型	防护林	层次性、叶面积指数、乔木(种类、密度、冠幅、冠层高度、郁闭度、枝下高、胸径)
			森林	
		经济林	灌木(种类、密度、盖度/草本盖度、高度)	
		灌草		
		群落结构	乔灌层	枯落物厚度、苔藓(有/无)
	层次		根系深度	
	林龄			
	立地条件	地形	坡度	距村庄距离
			坡向	
			坡位	
海拔				
人为因素	人为活动	村落	村落密度	距交通道路距离
交通	公路/铁路里程			

3.2 基于决策树的植被水土保持功能评价模型构建

3.2.1 基于决策树的指标相关关系分析 为进一步分析各特征指标的作用规律,利用指标决策树分类回

归模型通过一些显著指标进行量化。根据生成的复杂度参数与交叉验证误差(图 2),查找其最优的切分变量和最理想的分割节点,目的是将决策树大小控制

在一个理想的范围内。可知决策树最优分割为 4 个节点时误差达最小。

由图 2 及图 3a 可知,决策树各节点对应的指标特征同下文的指标重要性特征规律基本一致。其中,在决策树中坡度是一项具有全局性的重要变量指标,阈值 9.5° 时决策树分成了左、右两类。为了更好的分析坡度指标对侵蚀量的影响,绘制了坡度与侵蚀量的散点图(图 3b),由图 3b 可知,在 10° 临界坡度处土壤侵蚀模数分布特征存在显著差异,在 $<10^\circ$ 范围呈现明显“聚集性”分布特征;在 $>10^\circ$ 范围呈正相关关系。

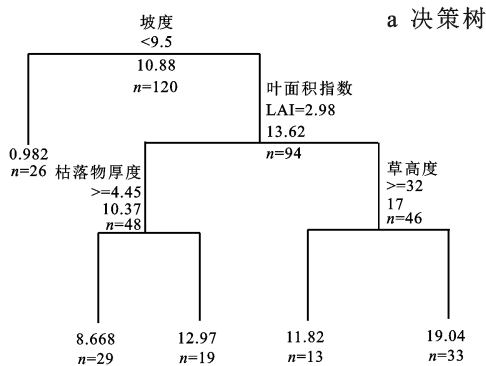


图 3 植被水土保持功能决策树、坡度与土壤侵蚀关系

综合上述指标变量间决策树关系分析,较清晰的展示出了指标同土壤流失量相互关系,基于此在群落尺度植被水土保持功能评价模型构建。根据坡度关键变量特征 10° 坡度为临界值,以 $<10^\circ$ 坡度和 $\geq 10^\circ$ 坡度划分成两部分,将野外调查实测值分别进行局部回归建模。

3.2.2 局部回归 基于上述分析按 10° 坡度为临界点将野外调查点实测值分成两部分,将指标引入多元回归方程,然后根据分析结果剔除统计学意义不显著的变量,直至所构建的回归方程中不再有可剔除变量。经多元逐步回归,当坡度 $<10^\circ$ 时构建方程包括草盖度、枯落物厚度为极显著 ($p < 0.001$),乔木郁闭度、乔木密度为较显著 ($p < 0.01$),灌木高、乔木胸径为显著 ($p < 0.05$) 共 6 项指标,模型决定系数 R^2 为 0.74;当坡度 $\geq 10^\circ$ 构建方程包括草盖度、灌木盖度及枯落物厚度为极显著 ($p < 0.001$),乔冠层厚度较显著 ($p < 0.01$),坡度、乔胸径为显著 ($p < 0.05$) 6 项指标,模型决定系数 R^2 为 0.64。局部回归模型详细参数见表 4。

3.3 基于随机森林的植被水土保持功能评价模型构建

3.3.1 基于随机森林的指标重要性排序 基于 R 语言随机森林,将植被类型、群落结构、地形等因素所选取的 30 项初选指标的实测值为自变量,与对应点位土壤流失量为因变量进行随机森林回归。本文采用

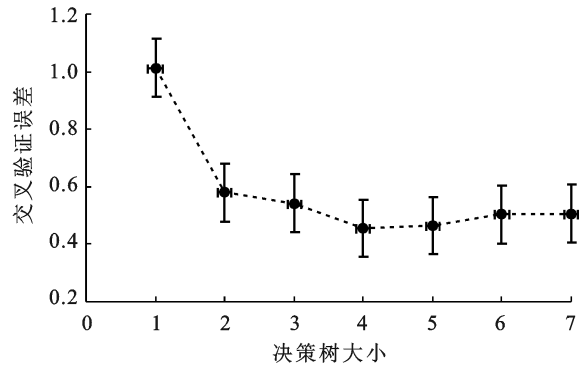
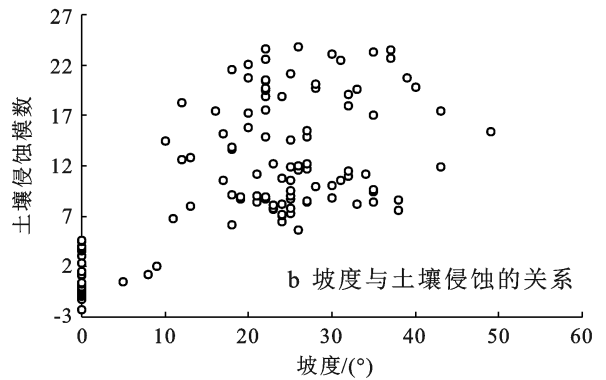


图 2 复杂度参数与交叉验证误差



随机森林重要性评价进行指标分析,分析指标重要性及影响规律,可以为植被水土保持功能评价提供重要指导^[18]。

随机森林中涉及 $ntree$ 和 $mtry$ 两个参数,即决策树颗数和节点分裂的次数。通常在 $ntree$ 增加时,模型预测精度不能提高的情况下, $ntree$ 设定应尽可能小, $mtry$ 设定为变量个数的 $1/3$ 。此外随机森林算法对样本数据的量纲和单位不敏感,故运算时无需对样本数据进行归一化处理^[10]。以初选 30 项指标建立训练集获取最优试算参数,可知,随机森林模型参数为特征数 10 决策树为 500 棵时,误差趋于稳定且达到最小。决策树数量与误差关系图 4。

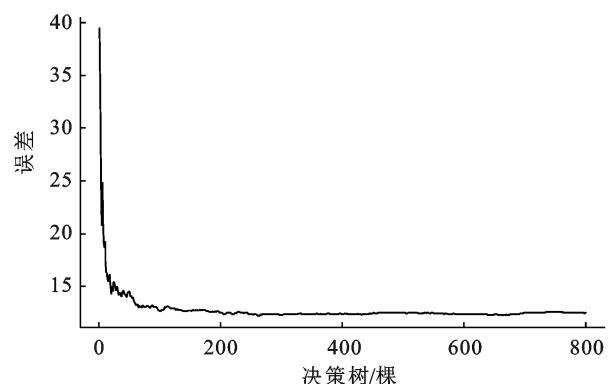


图 4 决策树数量与误差关系

由图 5 指标重要性排序结果可看出,影响水土保持功能的主要指标是坡度、坡位,其次是枯落物厚度、叶面积指数,而道路距离、村庄距离影响最小。如图 5 所示,水土保持功能评价模型指标重要性排序为:坡度>坡位>枯落物厚度>...>村庄距离。由图 5 可知,坡度、坡位、枯落物厚度、叶面积指数等排序前 12 个指标(%IncMSE>3.2),对模型的整体贡献度超 70%,在植被水土保持功能评价模型构建时以前 12 项指标进行回归建模。

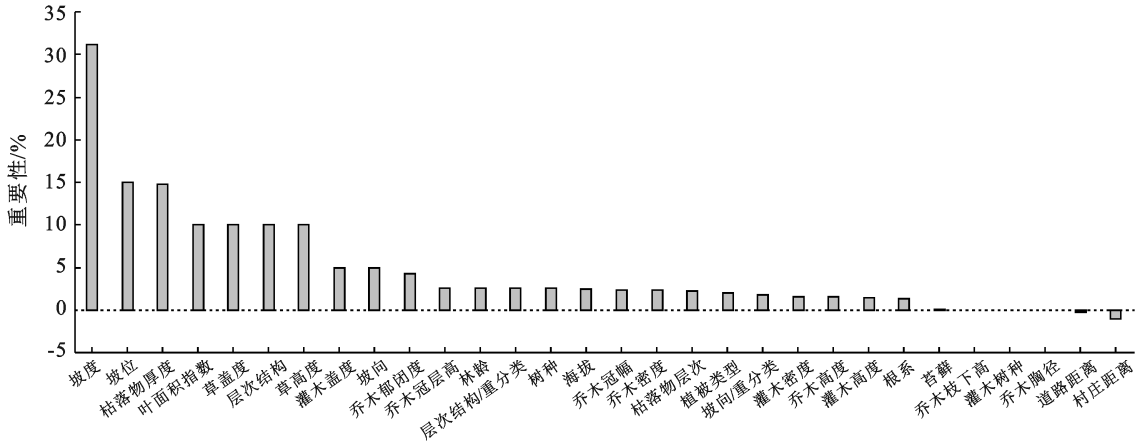


图 5 水土保持功能评价模型评价指标重要性排序

表 4 水土保持功能评价局部回归模型参数

模型分类	指标	估计参数	标准差	t 值	显著性
模型 I (坡度<10°)	综合指标	3.517 7	0.487 1	7.221	***
	草盖度	-0.033 2	0.006 3	-5.279	***
	枯落物厚度	-1.042 4	0.190 3	-5.477	***
	乔木郁闭度	0.049	0.013 8	3.556	**
	乔木密度	-0.000 4	0.000 1	-3.016	**
	灌木高	1.010 8	0.387 5	2.608	*
	乔木胸径	-0.098	0.044 7	-2.194	*
模型 II (坡度≥10°)	综合指标	19.945 03	1.533 2	13.009	***
	草盖度	-0.107 06	0.012 34	-8.673	***
	灌木盖度	-0.052 56	0.014 63	-3.593	***
	枯落物厚度	-1.142 55	0.154 85	-7.378	***
	乔冠层厚度	-0.504 75	0.163 73	-3.083	**
	坡度	0.098 53	0.047 79	2.062	*
	乔胸径	0.125 59	0.051 6	2.434	*

注:***表示 $p < 0.001$ 时差异显著; **表示 < 0.01 时差异显著; *表示 $p < 0.05$ 时差异显著。下同。

综上对比两种建模回归结果来看,其全局回归效果(R^2 为 0.71)较局部回归(R^2 均值为 0.69)更优,可见,坡度在植被水土保持功能中并非其关键变量。因

3.3.2 全局回归 将野外调查点实测值作为一个整体,以指标重要性排序的前 12 项与土壤侵蚀模数建立回归关系,并进行逐步回归根据回归结果剔除统计学意义不显著的变量,直至所构建的回归方程中不再有可剔除变量。表 5 结果显示最终显著性水平高的指标有 5 项,其中,坡度、草盖度和枯落物厚度显著性为极显著($p < 0.001$),林龄、灌木盖度为显著($p < 0.05$),模型决定系数 R^2 为 0.71。全局回归模型详细参数见表 5。

此,选取全局回归 5 项指标作为评价,从群落尺度评价植被水土保持功能更简便、高效。

表 5 水土保持功能评价全局回归模型参数

指标	估计参数	标准差	t 值	显著性
	9.565 68	1.019 51	9.383	***
坡度	0.379 51	0.029 32	12.943	***
草盖度	-0.105 49	0.011 99	-8.795	***
枯落物厚度	-1.092 45	0.172 57	-6.331	***
林龄	0.071 44	0.033 79	2.115	*
灌木盖度	-0.029 59	0.014 95	-1.980	*

3.4 植被水土保持功能评价结果验证

采用前文研究的群落尺度植被水土保持功能评价全局回归模型,对研究区植被类型进行评价。根据评价结果将植被水土保持功能划分为 5 个等级:优(> 0.8),良($0.6 \sim 0.8$),中($0.4 \sim 0.6$),差($0.2 \sim 0.4$),极差(< 0.2)。由表 6 各植被类型水土保持功能评价结果均值可知,研究区植被水土保持功能为防护林(0.705)>用材林(0.529)>经济林(0.513)>灌草(0.457)。

表 6 金寨县群落尺度植被水土保持功能评价结果

植被类型	坡度/(°)	林龄/a	灌木盖度/%	草盖度/%	枯落物厚度/cm	评价值	功能等级
防护林	25	20	30	40.60	2.5	0.630	良
	27	20	41	35.00	3.5	0.628	良
	27	8	0	30.80	4.5	0.618	良
	16	50	30	10.00	3.5	0.660	良
	22	20	30	52.23	1.5	0.587	中
	22	8	15	10.00	2.0	0.707	良
	22	25	35	25.00	2.0	0.674	良
	28	10	10	30.00	2.7	0.806	优
	40	8	30	49.70	1.0	0.852	优
	28	30	20	15.00	3.0	0.883	优
经济林	5	10	55	0	3.0	0.447	中
	3	0	10	0	0	0.555	中
	26	20	20	80.00	3.0	0.491	中
	13	0	60	95.00	0	0.289	差
	28	10	0	95.00	0	0.554	中
	22	25	40	15.00	5.1	0.588	中
	25	30	67	20.00	7.5	0.504	中
	25	10	20	31.50	3.0	0.630	良
	28	10	20	37.67	3.0	0.647	良
	14	30	25	60.00	3.0	0.427	中
用材林	10	8	20	0	1.0	0.619	良
	18	10	70	0	6.0	0.489	中
	24	10	0	0	10.0	0.488	中
	11	20	15	10.00	5.4	0.464	中
	24	8	50	10.00	5.5	0.566	中
	25	10	55	20.00	6.0	0.523	中
	23	10	35	25.00	5.3	0.526	中
	27	15	70	60.00	7.0	0.363	差
	19	10	53	0	3.5	0.614	良
	25	15	20	0	6.0	0.644	良
灌草	18	0	0	89.00	0	0.438	中
	15	0	0	78.00	0	0.439	中
	16	0	0	80.00	1.0	0.407	中
	8	0	0	55.00	1.0	0.354	差
	10	0	0	61.00	0.5	0.390	差
	20	0	0	73.00	1.0	0.485	中
	15	0	85	10.00	1.0	0.562	中
	23	0	15	75.00	0.5	0.520	中
	25	0	15	76.63	1.0	0.522	中

4 讨论与结论

(1) 水土保持功能评价研究,主要有单一指标评价、多指标综合评价两类^[5]。众多研究表明植被水土保持功能是多个结构层次共同作用的结果,综合指标评价优于单一指标评价。多指标综合评价将植被划分为多个层次(群落组成、垂直结构等),强调枯落物层的作用,多以枯落物的盖度、厚度及持水量等做为

重要指标^[19]。在群落尺度水土保持功能研究中黄进等^[20]利用林冠截留率、灌草层盖度、枯落物盖度等 8 个指标,采用加权综合法对浙江省生态公益林的水土保持功能进行评价。张锐^[21]选取了植被、枯枝落叶、土壤、地形 4 个准则层的 19 个评价指标,以综合评价理想点法比较了 5 种类型人工林地的水土保持功能。以上均对森林的水土保持功能做出合乎实际的科学评价,指标体系也能较为全面地反映植物特性。本文

与同类研究对比来看指标间存在一定差异,其主要原因是研究区地理位置、立地条件、植被类型及分布差异所致。

(2) 植被水土保持功能评价指标体系构建。本文基于已有研究通过“预选—初选—复选”分层逐级聚焦构建。“预选”是以文献计量法对已发表文献的研究热点及方向进行词频统计分析共选取了 72 项指标;其后利用专家咨询法打分评判方式选取包括植被类型、结构层次等“初选”指标 30 项,以野外调查获取现场实测值;最后以随机森林机器学习方法将初选指标重要性量化排序结合数学建模逐步回归的方式,构建了群落尺度的指标评价体系包括坡度、林龄、灌木盖度、草盖度、枯落物厚度 5 项 R^2 为 0.71。本文利用随机森林机器学习算法与多元线性回归法结合建立植被水土保持功能评价模型,相较于已有研究所采用的层次分析、主成分分析法^[22-23],在处理高维复杂数据时,随机森林算法表现更稳健、是精度和效率均较高的算法,而且结果也更易于解释。线性回归对于功能的综合性、整体性能有较好的体现,此方法在群落尺度水土保持功能评价应用可操作性强更易于掌握。

(3) 研究区植被水土保持功能评价结果为:防护林(0.705) > 用材林 > (0.529) 经济林(0.513) > 灌草(0.457)。评价结果与前人研究基本一致呈现出:林 > 灌 > 草的规律,植被具有成层现象,天然植被相较于人工植被所发挥的水土保持功能更强^[24]。

[参 考 文 献]

- [1] 杨勤科.区域水土流失监测与评价[M].河南 郑州市:黄河水利出版社,2015.
- [2] 李凤霞,颜亮东,吴素霞,等.江河源地区草地植被变化特征及水土保持功能评价[J].草业科学,2007,24(7):6-11.
- [3] 马金平.植被保持水土效益研究综述[J].山西水土保持科技,2005(1):13-15.
- [4] 余新晓,毕华兴,朱金兆,等.黄土地区森林植被水土保持作用研究[J].植物生态学报,1997,21:433-440.
- [5] 刘纪根,张昕川,李力,等.紫色土坡面植被覆盖度对水土流失影响研究[J].水土保持研究,2015,22(3):16-20.
- [6] 符素华,刘宝元.土壤侵蚀量预报模型研究进展[J].地球科学进展,2002,17(1):78-84.
- [7] 韦红波.区域植被水土保持功能遥感评价研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2001.
- [8] 仲艳维.潮白河流域水土保持效益评价及生态补偿制度构建研究[D].北京:北京林业大学,2014.
- [9] 曹文洪,刘国彬,鲁胜力,等.我国水土保持科技近期进展与展望[J].中国水土保持,2013(5):14-18.
- [10] 韦红波,李锐,杨勤科.我国植被水土保持功能研究进展[J].植物生态学报,2002,26(4):489-496.
- [11] 李伯华,罗琴,刘沛林,等.基于 Citespace 的中国传统村落研究知识图谱分析[J].经济地理,2017,37(9):207-214.
- [12] 赵蓉英,许丽敏.文献计量学发展演进与研究前沿的知识图谱探析[J].中国图书馆学报,2010,36(5):60-68.
- [13] 韦菊玲,陈世清.基于 Delphi 法的城市森林可持续经营评价指标体系构建研究[J].林业调查规划,2016,41(1):76-82.
- [14] Breiman L. Random forests [J]. Machine Learning, 2001,45(1):5-32.
- [15] Kabacoff R I. R in Action [M]. New York: Manning Publications Company, 2011.81-85.
- [16] 吴迪,黎家作,张春平,等.县域尺度水土流失监测方法的应用及其结果与分析[J].中国水土保持科学,2015,13(4):74-79.
- [17] 黄思,唐晓,徐文帅,等.利用多模式集合和多元线性回归改进北京 PM₁₀ 预报[J].环境科学学报,2015,35(1):56-64.
- [18] 王全喜,孙鹏举,刘学录,等.基于随机森林算法的耕地面积预测及影响因素重要性分析:以甘肃省庆阳市为例[J].水土保持通报,2018,38(5):341-346.
- [19] 王库,史学正,于东升,等.红壤丘陵区 LAI 与土壤侵蚀分布特征的关系[J].生态环境,2006,15(5):1052-1055.
- [20] 黄进,张晓勉,张金池.开化生态公益林主要森林类型水土保持功能综合评价[J].水土保持研究,2010,17(3):87-91.
- [21] 张锐.重庆市四面山几种人工林的水土保持功能研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [22] 郑学良,陈丽华,李洪洋,等.基于水源涵养功能的辽东防护林体系健康评价[J].中国水土保持科学,2020,18(2):102-110.
- [23] 汪永英,段文标.小兴安岭南坡 3 种林型林地水源涵养功能评价[J].中国水土保持科学,2011,9(5):31-36.
- [24] 刘启慎.豫北太行山石灰岩区不同植被类型水保功能综述[J].河南林业科技,1995,15(4):9-12.