西北林学院学报 2023,38(1):153-159
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2023.01.21

河南省丘陵低山区刺槐人工林立地分类及立地质量评价

陈　涛[1],王露露[2],王思崇[2],朱学灵[2],叶永忠[3]

(1.河南林业职业学院,河南 洛阳 471002;2.河南省远志林业规划设计有限公司,河南 郑州 450000;
3.河南农业大学 生命学院,河南 郑州 450002)

摘　要:为确定河南省丘陵低山区刺槐适宜的生长环境,为刺槐的经营管理和立地生产潜力提升提供参考。以河南省丘陵低山区106块1～26年生刺槐人工林为研究对象,采用典型抽样方法,调查样地内对树高生长有显著影响的环境因子,利用数量化理论Ⅰ分析各调查指标对刺槐生长的影响,对刺槐人工林进行立地类型划分与立地质量评价。结果表明,影响刺槐人工林立地质量的主要环境因子依次为土壤质地、海拔高度、土层厚度、坡向;复相关系数的 t 检验得 $t=14.96$,复相关系数及各立地因子偏相关系数均达显著水平,此次所构建的数量化立地指数表适用于河南省丘陵低山区刺槐人工林。采用土壤质地、海拔高度、土层厚度、坡向4个主要因子的组合,划分为10个立地类型组、80个立地类型。将80个立地类型划分为好、中、差3个立地等级,对每个立地类型立地质量评价分析得出,研究区有75%的样地立地质量在中等以上。河南省丘陵低山地区刺槐人工林最适宜生长的环境为中厚(>30 cm)、壤土、小坡度、阴坡。

关键词:河南省;丘陵低山区;刺槐;立地分类;立地质量评价

中图分类号:S792.26　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2023)01-0153-07

Site Classification and Quality Evaluation of *Robinia pseudoacacia* Plantation in Hilly and Low Mountainous Areas in Henan

CHEN Tao[1], WANG Lu-lu[2], WANG Si-chong[2], ZHU Xue-ling[2], YE Yong-zhong[3]

(1. *Henan Forestry Vocational College, Luoyang* 471002, *Henan, China*;
2. *Henan Yuanzhi Forestry Planning and Design Co. Ltd., Zhengzhou* 450000, *Henan, China*;
3. *College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou* 450002, *Henan, China*)

Abstract: The objective of this study was to determine the suitable growth environment of *Robinia pseudoacacia* in the hills and low mountains in Henan Province to provide a reference for the management of *R. pseudoacacia* and the improvement of site production potential. Taking 106 1-to 26-year-old *R. pseudoacacia* plantations in the hilly and low mountainous areas in Henan Province as the research objects, the typical sampling method was used to investigate the environmental factors that had significant impacts on the tree height growth in the sample plots, and the quantitative theory-I was used to analyze the influence of each survey index on the tree growth. The site type classification and site qualitative evaluation were carried out. The results showed that according to the geographical environment and quantification theory-I, the main environmental factors affecting the site quality were soil texture, altitude, soil layer thickness, and slope aspect. The test of the multiple correlation coefficient yielded $t=14.96$, the multiple correlation coefficient and the partial correlation coefficient of each site factor reached significant levels. The quantitative site index table constructed was suitable. Using the combination of soil texture, altitude, soil layer thickness

收稿日期:2021-11-24　**修回日期**:2022-01-29
基金项目:国家科技攻关计划项目(85-018-02-13);河南省科技攻关计划项目(172102110239)。
第一作者:陈　涛,硕士,副教授。研究方向:森林培育。E-mail:lyylct@163.com

and slope aspect, 10 site type groups and 80 site types were classified. The 80 site types were divided into three site grades: good, medium and poor. The site quality evaluation and analysis of each site type showed that 75% of the sample sites in the study area were above medium grade. The most suitable growth environment was medium thickness (>30 cm), loam, sunny slope and light grade slope.

Key words: Henan Province; hill and low mountain; *Robinia pseudoacacia*; site classification; site quality evaluation

林木所处的立地条件与其生长状况密切相关[1]。20 世纪 90 年代起，林地立地类型的划分和立地质量评价是国内外林业和生态学工作者的研究热点问题之一，这项工作被有关学者视为营林、育林、构建森林经营管理决策支持系统等工作的理论基础[2-5]。Testh[6]认为气候、土壤和水文等是影响林木生长的重要立地因子，并综合利用地理学、土壤学等多学科对森林立地分类及评价；刘平书[7]以主导环境因子为自变量，以样地林分立地指数为因变量，采取数量化分析并进行立地分类和质量评价；袁雪丽等[8]基于数量化理论对树种进行了立地质量评价；滕维超等[9]系统论述了我国森林立地分类与质量评价研究方法。林业生产存在着生长周期长、见效慢、受周围环境影响大等特点，在研究林业中的科学造林等生产实际问题时，面临到诸多问题，其中林木所处的环境因子是主导问题之一，对林木生长起主导作用的环境因子的研究显得尤为重要，也是目前我国在林业生产实际中所面临的重点问题[10]。

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)原产北美洲，1887 年由德国引入我国，在 23°－46°N、86°－124°E 的广大区域内均有栽植[11]。刺槐喜温暖、湿润，对土壤适应性很强，在酸性、中性或微碱性土上能够生长，抗逆性强，萌蘖力强，在水土保持、涵养水源、固定流沙和改良土壤等生态环境建设方面发挥重要作用[12-15]。唐洋等[16]提出黄土丘陵区随坡位上升，刺槐的叶氮含量、磷含量、有机碳含量、根磷含量、氮含量、比叶面积、叶厚度均呈减小趋势；根有机碳含量和叶组织密度呈增大趋势，单长卷等[17]研究表明，刺槐在生长初期、中期、末期 3 个时期半阴坡、半阳坡、阳坡 3 种立地间土壤水分的差异均达极显著水平。目前我国林业科技工作者对影响刺槐生长的立地条件已有部分研究[18-19]，但河南省对刺槐林立地条件却鲜有研究。河南省丘陵低山区是全省刺槐人工林种植的主要地区，复杂的地形使其造林立地条件多样，因此开展丘陵低山区刺槐人工林立地质量评价对河南省林分管理具有重要意义。该研究对刺槐人工林的调查数据进行数量化理论Ⅰ分析，进行分类及评价立地质量，寻找适宜的立地条件，为河南省刺槐人工林经营管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河南省地处我国中部腹地(31°23′－36°22′N，110°21′－116°39′E)，处于我国地形中第 2 级地貌台阶向第 3 级地貌台阶的过渡带，地形复杂，总的地势是西高东低。北部、西部和南部分别有太行山、伏牛山、桐柏山和大别山四大山系，东部平畴千里，是广阔的黄淮海冲积平原，山区与平原之间的过渡地带多系丘陵低山或垄岗。

1.2 样地设置与调查

在河南省内丘陵低山区采用典型选样法进行抽样，共设置 106 块 20 m×30 m 的刺槐人工林样地，样地林分年龄为 1～26 a，确保样地块数至少应为所分类目总数的 5 倍以上，并要求在各个类目中均匀分布。在每块标准地进行每木检尺，测定胸径、树高、郁闭度等生长指标，并选取 6 株优势木测定树高(平均每 100 m^2 内选 1 株最高的树木作为优势木)，以其算术平均值作为优势木平均高，同时记录样地的立地因子(海拔、坡向、土壤质地、土层厚度、土壤类型等)，在样地中间位置设置长 1.5 m、宽 1 m、深 0.8～1.0 m 的土壤剖面，植被、地形应具有代表性，地段内近期无人为或自然损坏。

1.3 数据统计与方法

数量化理论Ⅰ：标准样地内与单株产量显著相关的生长性状作为因变量，各立地因子作为自变量，利用数量化理论Ⅰ对河南省丘陵低山区林地进行立地类型划分和立地质量评价。根据 m 个项目 x_1，…，x_m 对一定量变量进行预测，设项目 x 有 z 个类目，并取得了 n 个样品的观测数据。令：

$$S_t(i,j)=\begin{cases}1, & \text{当第 } t \text{ 个样本第 } i \text{ 个项目属于第 } j \text{ 个类目时；}\\ 0, & \text{否则。}\end{cases} \tag{1}$$

式中：$t=1,\cdots,n$；$i=1,\cdots,m$；$j=1,\cdots,z_i$。

数量化理论Ⅰ模型[20]为：

$$y=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{Z_i}S_t(i,j)\cdot b_{ij}+\varepsilon_t \tag{2}$$

式中：y 为因变量；$i=1,2,3,\cdots$；m 为项目的数量；

$j=1,2,3,\cdots$;Z_i 为类目的数量;b_{ij} 为未知系数;$S_t(i,j)$为 t 块标准地的观测数据中,第 i 个项目恰好属于第 j 个类目时的反应;ε_t 为随机误差。

理查德方程(Richard):为常用导向曲线数学模型,以拟合林木树高生长曲线,Richard 生长函数的最大优点是线形符合树高生长规律,整个曲线略呈“S”形,当年龄为 0 时,树高也为 0,生长初期曲线平缓向上,至速生期则急剧抬升,杆材期高生长减慢,曲线逐渐平缓,直至稳定在某一高度。计算公式如下:

$$H=a(1-e^{-bA})^c \tag{3}$$

式中:H 为树高;A 为年龄;a、b、c 为参数。

剩余标准差:对数量化地位指数表进行精度检验,采用剩余标准差和复相关系数的显著性检验 2 种方法,剩余标准差 S_y 是评定对 Y 的估计效果的重要指标,S_y 愈小,估计的精度愈高。计算公式如下:

$$S_y=\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(Y_t-\hat{Y}_t)^2}{n-m-1}} \tag{4}$$

式中:S_y 为剩余标准差;n 为观测次数;m 为环境因子的自变量个数;$\hat{Y}_t$ 为立地指数估计值;Y_t 为样地实测值。

复相关系数及其显著性检验:复相关系数是衡量立地指数理论值与立地因子之间线性相关程度的一个重要指标,复相关系数愈大,说明对优势木树高估计值的估计效果愈好,精度愈高。计算公式如下:

$$R_{ym}=\sqrt{\frac{L_{yy}-Q}{L_{yy}}} \tag{5}$$

$$t=\frac{R_{ym}\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-R_{ym}^2}} \tag{6}$$

式中:$L_{yy}=\sum(Y_t-\bar{y})^2=\sum Y_t^2-\frac{(\sum Y_t)^2}{n}$。

偏相关系数及其显著性检验:偏相关系数是除去 X_i 以外的其他自变量的影响后 X_i 与 Y 的相关,同时对偏相关系数 R_i 做 t 检验,以检验 X_i 对 Y 贡献的显著性。其中,t_i 是自由度为 $n-m-1$ 的 t 分布统计量,可称为 X_i 的 T 值。T 值愈大该因子愈重要,当 $T>1$ 时该因子就有一定影响,>2 时就可以看作是重要因子。计算公式如下:

$$R_i=\frac{-C_{ij}}{\sqrt{C_{ij}C_{yy}}} \tag{7}$$

$$t_i=\frac{R_i\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-R_i^2}} \tag{8}$$

主导因子的选择及立地分类标准:主导因子的选择主要考虑其对立地质量影响的程度,它将直接关系到数量化立地质量评价的准确性。本次筛选出了便于测定和掌握的坡向、海拔高度、土壤质地、土层厚度 4 项主导因子(项目),并对各个因子分级处理,共划分了 8 个类目(表 1)。

表 1　立地因子类目划分

Table 1　Division of site subcategories

立地因子	分级标准	
	1	2
海拔/m	丘陵(海拔≤500 m)	低山(海拔 500～1 300 m)
坡向	阳坡(半阳、阳)	阴坡(半阴、阴)
土壤质地	黏土	壤土
土层厚度/cm	薄层土(≤30 cm)	中厚层土(>30 cm)

2　结果与分析

2.1　基准年龄的确定与树高值的统一

由表 2 可知,刺槐人工林平均树高随林龄不断增加,26 a 时最大平均树高为 15.87 m;树高标准差也呈现不断扩大的趋势,在 26 a 时达到 2.51 m;刺槐人工林在 12 a 时的树高变异系数为 22.52%,从刺槐树高变异系数看,刺槐人工林各龄阶的树高变异系数在 10 a 前递减较快,至 12 a 后树高变异系数基本趋于稳定,从刺槐树高生长情况看,12 a 时的树高能较为准确地反映立地条件,因此确定河南省丘陵低山区刺槐人工林的基准年龄为 12 a。

利用拟合的理查德方程:$H=61.792\ 100\times(1-e^{-0.006\ 121\ 358A})^{0.709\ 4}$,$R=0.993$,来统一各标准地的树高值,即将不同年龄的标准地树高值改算为刺槐人工林标准年龄(12 a)时的树高值(立地指数)。

2.2　数量化立地指数表的编制

将 8 个类目等级作为自变量,记为 X,将各样地标准年龄(12 a)时的树高(立地指数)作为因变量,记为 Y,计算出各个类目的得分值,编制了河南省丘陵低山区刺槐数量化立地指数表(表 3)。为了便于计算,将列入的样地原始记录按表 1 的等级划分标准,把立地因子换算成以编码形式表示的数据,依此编制数量化简化反应表(表 4)。根据数量化立地指数表的偏相关系数并结合得分范围判断自变量的影响大小,数值大的作用程度大。由表 3 可知,影响河南省丘陵低山区刺槐人工林林地生产力的重要环境因子,依次为土壤质地>海拔>土层厚度>坡向。

2.3　数量化立地指数表的精度检验

由表 5、表 6 可知,复相关系数进行 t 检验中 $t=14.96>t_{0.01}=3.41$,偏相关系数 t 检验中土壤质地 T 最大为 9.88,坡向 T 最小为 3.05,但 T 均大于 2,4 个自变量因子均对立地质量贡献显著,复相

关系数及各立地因子偏相关系数均达显著水平，说明用数量化模型Ⅰ为基本数学模型对立地质量估计效果好，此次所构建的数量化立地指数表适用于河南省丘陵低山区刺槐人工林。

表2 刺槐人工林不同林龄优势木树高的变异系数

Table 2 Variation coefficient of dominant height at different ages of *Robinia pseudoacacia* plantation

项目	林龄/a												
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
平均树高/m	2.71	4.41	5.85	7.15	8.34	9.45	10.49	11.49	12.43	13.34	14.21	15.06	15.87
树高标准差/m	1.30	1.63	1.82	1.96	2.06	2.15	2.22	2.28	2.34	2.38	2.43	2.47	2.51
树高变异系数(%)	47.97	36.96	31.11	27.41	24.70	22.52	21.16	19.84	18.82	17.84	17.10	16.40	15.82

表3 河南省丘陵低山区刺槐数量化立地指数

Table 3 Quantitative site index of *Robinia pseudoacacia* in Hilly and low mountainous areas of Henan Province

		X_1	X_2	X_3	X_4	偏相关系数 得分范围
土壤质地(X_1)	黏土	6.3	6.7	7.3	7.7	0.701
	壤土	9.8	10.2	10.4	10.7	3.0
海拔高度(X_2)	丘陵(≤500 m)		−1.2	−1.2	−1.2	0.494
	低山(500～1 300 m)		0	0	0	1.2
土层厚度(X_3)	薄层土(≤30 cm)			−1.7	−1.4	0.430
	中厚层土(>30 cm)			0	0	1.4
坡向(X_4)	阳				−0.6	0.290
	阴				0	0.6
复相关系数		0.686	0.750	0.813	0.830	
标准差		1.315	1.200	1.063	1.022	

表4 立地因子数量化简化反应

Table 4 Simplified reaction table of site factor quantification

地貌类型	标准地号	土壤质地	海拔/m	土层厚度/cm	坡向	立地指数
丘陵低山区	1	1	2	2	1	9.2
	2	2	1	2	1	9.2
	3	2	2	2	1	9.1
	…	…	…	…	…	…
	106	2	1	2	2	9.8

表5 复相关系数 t 检验

Table 5 t-Test table of complex correlation coefficient

地貌类型	复相关系数	T 值	备注
丘陵低山区	0.830	14.96*	* 表示达显著水平

表6 偏相关系数 t 检验

Table 6 Partial correlation coefficient t-test table

地貌类型	立地因子	偏相关系数	T 值	得分范围/m
丘陵低山区	土壤质地(X_1)	0.701	9.88*	3.0
	海拔(X_2)	0.494	5.71*	1.2
	土层厚度(X_3)	0.430	4.78*	1.4
	坡向(X_4)	0.290	3.05*	0.6

注：* 说明该环境因子贡献显著。

2.4 河南省丘陵低山区刺槐立地分类结果

根据《中国森林立地》分类系统和有关用材林基地立地分类系统，把不同产区分属到不同的立地类型区域、立地类型区和立地类型亚区。在以上3个高级单元划分的基础上，进行低级单元的划分，本次采用的立地分类系统如下：立地类型区域、立地类型区、立地类型亚区、立地类型小区、立地类型组、立地类型。

根据相关标准[21]并结合地貌类型及刺槐分布的实际情况，将该刺槐立地区域划分为：华北暖温带立地区域、丘陵低山立地区。由表7可知，根据数量化立地指数表结果，以海拔高度作为立地类型组划分的依据，而以坡向、土层厚度和土壤质地作为立地类型划分的依据。由表8可知，以地貌类型作为小区分类依据，将河南省丘陵低山区划分成3个立地亚区、5个立地小区、10个立地类型组和80个立地类型。

2.5 河南省丘陵低山区立地质量评价

由表9可知，根据各立地类型的立地因子查取数量化立地指数表，求得各立地类型的立地指数，立地指数变幅为4.5～10.7。按立地指数级≥9 m、6～9 m、≤6 m为标准，将各立地类型合并为生产力水平相近的好、中、差3个立地等级。等级为好、中的立地类型，应优先考虑发展刺槐；差的立地类型，

表 7　立地类型组、立地类型分类依据及分级标准

Table 7　Classification basis and grading standards of stand type groups and site types

丘陵低山区	立地类型组	依据	海拔/m					
		分级	丘陵(≤ 500 m)		低山(500～1300 m)			
	立地类型	依据	坡向		土层厚度		土壤质地	
		分级	阴(半阴、阴)	阳(半阳、阳)	薄层土(≤ 30 cm)	中厚层土(>30 cm)	粘	壤

表 8　河南省丘陵低山区刺槐立地类型

Table 8　List of site types of *R. pseudoacacia* in hilly and low mountainous areas in Henan Province

立地区域	立地区	立地亚区	立地小区	立地类型组	立地类型
华北暖温带立地区域	丘陵低山立地区	伏牛山北坡立地亚区	伏牛山北坡西部丘陵低山立地小区	丘陵(≤500 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
				低山(500～1 300 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
			伏牛山北坡东部丘陵低山立地小区	丘陵(≤500 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
				低山(500～1 300 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
		伏牛山南坡立地亚区	伏牛山南坡西部丘陵低山立地小区	丘陵(≤500 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
				低山(500～1 300 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
			伏牛山南坡东部丘陵低山立地小区	丘陵(≤500 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
				低山(500～1 300 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
		豫西黄土丘陵低山亚区	豫西黄土丘陵低山立地小区	丘陵(≤500 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。
				低山(500～1 300 m)	1)阳坡薄层黏土;2)阳坡薄层壤土;3)阳坡中厚层黏土;4)阳坡中厚层壤土;5)阴坡薄层黏土;6)阴坡薄层壤土;7)阴坡中厚层黏土;8)阴坡中厚层壤土。

可考虑其他树种或林种。

由表 10 可知,河南省丘陵低山区主要立地特征为:丘陵低山土层深厚壤土适宜刺槐生长,丘陵低山土层深厚壤土(少量坚实)较适宜刺槐生长,丘陵低山土层较薄黏土不适宜刺槐生长。

3　结论与讨论

3.1　结论

运用数量化理论Ⅰ分析表明,影响刺槐生长的主导因子是土壤质地、海拔高度、土层厚度、坡向,前三者的影响更为显著。结合地貌类型及刺槐分布的实际情况,最终将河南省丘陵低山区划分为 1 个立地区域(华北暖温带立地区域)、1 个立地区(丘陵低山区)、3 个立地亚区、5 个立地小区、10 个立地类型组、80 个立地类型。

根据数量化理论Ⅰ,在立地分类的基础上,编制数量化立地指数表,检验结果表明,复相关系数及各立地因子偏相关系数均达显著水平,此次所构建的数量化立地指数表适用于河南省丘陵低山区刺槐人工林,可用于刺槐人工林的立地质量评价。并且将各立地类型划分好、中、差 3 个立地等级,结果表明河南省丘陵低山区刺槐人工林 75%以上的立地质量都处于中等以上。河南省丘陵低山地区刺槐人工林最适宜生长的环境为中厚(>30 cm)、壤土、小坡度、阴坡。

3.2　讨论

利用优势高估测立地指数以评价同龄纯林的立地生产力,立地质量评价结果显示,河南省丘陵低山

表 9 丘陵低山区各立地类型立地指数

Table 9 Site index table of various site types

立地类型组	立地类型	立地指数
丘陵组	丘陵阳坡薄层黏土	4.5
	丘陵阳坡薄层壤土	7.5
	丘陵阳坡中厚层黏土	5.9
	丘陵阳坡中厚层壤土	8.9
	丘陵阴坡薄层黏土	5.1
	丘陵阴坡薄层壤土	8.1
	丘陵阴坡中厚层黏土	6.5
	丘陵阴坡中厚层壤土	9.5
低山组	低山阳坡薄层黏土	5.7
	低山阳坡薄层壤土	8.7
	低山阳坡中厚层黏土	7.1
	低山阳坡中厚层壤土	10.1
	低山阴坡薄层黏土	6.3
	低山阴坡薄层壤土	9.3
	低山阴坡中厚层黏土	7.7
	低山阴坡中厚层壤土	10.7

表 10 立地等级划分

Table 10 Site classification

立地类型	生长等级	主要立地特征
低山阴坡中厚层壤土	好	丘陵低山土层深厚壤土适宜刺槐生长
低山阴坡薄层壤土		
低山阳坡中厚层壤土		
丘陵阴坡中厚层壤土		
低山阳坡薄层壤土	中	丘陵低山土层深厚壤土(少量坚实)较适宜刺槐生长
低山阳坡中厚层黏土		
低山阴坡中厚层黏土		
低山阴坡薄层黏土		
丘陵阳坡薄层壤土		
丘陵阳坡中厚层壤土		
丘陵阴坡薄层壤土		
丘陵阴坡中厚层黏土		
低山阳坡薄层黏土	差	丘陵低山土层较薄黏土不适宜刺槐生长
丘陵阳坡薄层黏土		
丘陵阳坡中厚层黏土		
丘陵阴坡薄层黏土		

区刺槐人工林各立地类型的立地指数变幅为 4.5～10.7。按立地指数级≥9 m、6～9 m、≤6 m 为标准,将各立地类型合并为生产力水平相近的好、中、差 3 个立地等级。等级为好、中的立地类型,应优先考虑发展刺槐;差的立地类型,不适宜栽植刺槐,可考虑栽植其他树种或林种。从整体评价结果来看,立地评价结果较好的种植区域仍有增长空间,比如林分密度对刺槐人工林的树高有较大的影响[22],在林分管理中应考虑以合理的刺槐林种植密度来提升林分质量。数量化立地质量表可以解决人工林统一评价问题[23],本研究采用数量化立地指数表来评价丘陵低山区刺槐人工林的立地质量问题,为河南省丘陵低山区刺槐人工林的立地生产潜力提升提供参考。

刺槐喜温暖、肥沃、湿润条件,对土壤适应性强,在水土保持、涵养水源和改良土壤等生态环境建设方面发挥重要作用[12-13]。其中土壤厚度能明显增加刺槐树高生长量,这与王林等[24]的研究结果一致,土层浅薄导致土壤水分承载力不足,刺槐易受到较严重的水分胁迫,致使刺槐树高和胸径减小。刺槐是喜阳树种,而本研究从坡向因子来看,小坡度、阴环境更适宜刺槐生长,结果与孔凌霄等[19]、马娟霞等[25]研究结果相似。阴坡土壤的保水保肥能力较强,土壤热量分配较阳坡为少,微环境条件较阳坡好,从而导致阴坡刺槐的生长状况较阳坡好。本研究数量化建模评价结果表明,河南省丘陵低山区刺槐人工林适宜在中厚(>30 cm)、壤土、阴坡且地势较平坦的地方生长,此研究结果可为丘陵低山区刺槐人工林的营造和管理提供理论基础。

赵吉麟[26]选取地形、海拔、植被类型、土地利用类型、植被覆盖度、土壤含盐量、土壤类型为宁夏地区刺槐立地划分的主导因子,对区域林业发展规划具有重要意义。影响丘陵低山区林地生产力的立地因子(环境因子)很多[27-29],尤其是人为活动的影响。本研究以刺槐基准年龄 12 a 的树高为因变量,以土壤质地、海拔高度、土层厚度、坡向等因子为自变量来建立立地质量评价模型,检验结果表明该模型能够真实反映刺槐人工林各立地的生产潜力,可为河南省丘陵低山区刺槐人工林营造林规划、抚育、管理等提供理论依据。但本研究的立地分类和立地质量评价方面仅选用了 4 个因子 8 个类目,在此基础上,可选取更多的立地因子(如林分密度、土壤养分状况、降雨等),以增强刺槐人工林立地分类系统的准确性和针对性,同时提高立地质量评价模型的精度及适用性。

参考文献:

[1] 罗军伟,郭延松,卞金莉,等. 鲁中山区不同立地条件下侧柏、赤松、刺槐生长研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2018,49(2):303-308,313.

[2] 陆海飞,刘望舒,徐建民,等. 广西中南部尾巨桉人工林立地类型划分及立地质量评价[J]. 林业科学,2021,57(5):13-24.
LU H F,LIU W S,XU J M,*et al*. Site classification and quality evaluation of *Eucalyptus urophylla*×*E. grandis* plantation in the south central Guangxi,China[J]. Scientia Silvae Sinica,2021,57(5):13-24. (in Chinese)

[3] EVERETT C J,THORP J H. Site quality evaluation of loblolly pineon the south carolina lower coastal plain,USA[J]. Journal of Forestry Research,2008,19(3):187-192.

[4] LOUW J H,SCHOLES M. Forest site classifacation and evalu-

ation:a south African perspective[J]. Forest Ecology and Management,2002,171(1/2):153-168.

[5] 段高辉,赵鹏祥,周远博,等. 黄龙山林区油松人工林立地质量评价研究[J]. 西北林学院学报,2019,34(5):161-166,194.
DUAN G H,ZHAO P X,ZHOU Y B,*et al*. On site quality evaluation of *Pinus tabuliformis* plantation the forest region of Huanglong mountain[J]. Journal of Northwest Forestry University,2019,34(5):161-166,194. (in Chinese)

[6] TESCH S D. The evaluationof forest yield determination andsite classification[J]. Forest Ecology and Management,1980(3):169-182.

[7] 刘平书. 云南省普洱县森林立地质量评价[J]. 林业调查规划,2004(3):13-15.

[8] 袁雪丽,汪阳东,黄兴召,等. 基于数量化理论对山苍子立地类型划分及评价[J]. 西北林学院学报,2020,35(5):91-96.
YUAN X L,WANG Y D,HUANG X Z,*et al*. Classification and evaluation of *Litsea cubeba* site types based on quantification theory[J]. Journal of Northwest Forestry University,2020,35(5):91-96. (in Chinese)

[9] 滕维超,万文生,王凌晖. 森林立地分类与质量评价研究进展[J]. 广西农业科学,2009,40(8):1110-1114.

[10] 惠淑荣,李丽锋,刘强,等. 辽东地区日本落叶松立地分类和立地质量研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):139-142.
HUI S R,LI L F,LIU Q,*et al*. A nalysis of site condition and quality of *Larix kaempferi* in eastern Liaoning province[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(3):139-142. (in Chinese)

[11] 中国森林编辑委员会. 中国森林:第 3 卷 阔叶林[M]. 北京:中国林业出版社,2000:1420-1427.

[12] WANG X,ZHONG Z K,LI W J,*et al*. Effects of *Robinia pseudoacacia* afforestation on aggregate size distribution and organic C dynamics in the central Loess Plateau of China:a chronosequence approach[J]. Journal of Environmental Management,2020,268:110558.

[13] SU B Q,Shangguan Zhouping. Response of water use efficiency and plant-soil C∶N∶P stoichiometry to stand quality in *Robinia pseudoacacia* on the Loess Plateau of China[J]. Catena,2021,206:105571.

[14] 刘林,韩国忠,于博威. 晋西退耕地刺槐人工林水土保持效应研究[J]. 中国水土保持,2020(10):54-57.
LIU L,HAN G Z,YU B W. Soil and water conservation effect of *Robinia pseudoacacia* plantation on abandoned cropland in western Shanxi Province[J]. China Soil and Water Conservation,2020(10):54-57. (in Chinese)

[15] 王岩松,马保明,高海平,等. 晋西黄土区油松和刺槐人工林土壤养分及其化学计量比对林分密度的响应[J]. 北京林业大学学报,2020,42(8):81-93.
WANG Y S,MA B M,GAO H P,*et al*. Response of soil nutrients and their stoichiometric ratios to stand density in *Pinus tabuliformis* and *Robinia pseudoacacia* plantations in the loess region of western Shanxi Province,northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University,2020,42(8):81-93. (in Chinese)

[16] 唐洋,温仲明,刘静,等. 黄土丘陵区刺槐对不同立地环境的适应机制[J]. 水土保持通报,2019,39(5):46-53.
TANG Y,WEN Z M,LIU J,*et al*. Adaptation mechanism of *Robinia pseudoacacia* under different site onditions in loess hill and gully regions[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2019,39(5):46-53. (in Chinese)

[17] 单长卷,梁宗锁,郝文芳,等. 黄土高原不同立地条件下刺槐生长与水分关系研究[J]西北林学院学报,2004,19(2):9-14.
SHAN C J,LIANG Z S,HAO W F,*et al*. Relationship between growth of Locust and soil water in the different habitats on the loess Plateau [J] Journal of Northwest Forestry University,2004,19(2):9-14. (in Chinese)

[18] 程积民,程杰,高阳. 渭北黄土区不同立地条件下刺槐人工林群落生物量结构特征[J]. 北京林业大学学报,2014,36(2):15-21.
CHENG J M,CHENG J,GAO Y. Structure characteristics of community biomass in *Robinia pseudoacacia* plantation under different site conditions at Weibei loess region,northwestern China[J]. Journal of Beijing Forestry University,2014,36(2):15-21. (in Chinese)

[19] 孔凌霄,肖玲,关帅鹏,等. 晋西黄土区不同立地刺槐土壤水分动态特征[J]. 水土保持学报,2018,32(5):163-169.
KONG L X,XIAO L,GUAN S P,*et al*. Dynamics of soil moisture in different stand sites of *Robinia pseudoacacia* at forestlands in loess region of western Shanxi Province[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2018,32(5):163-169. (in Chinese)

[20] 周光亚,董文泉,夏立显. 关于数量化理论Ⅰ、Ⅱ的数学模型[J]. 吉林大学自然科学学报,1979(1):11-18.

[21] 张万儒. 中国森林立地[M]. 北京:科学出版社,1997.

[22] 郭建斌,赵陟峰,骆汉. 晋西黄土区刺槐林种植密度对植被生长状况的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(1):80-84.

[23] 张春霞,冯自茂,李文鑫,等. 陕西黄陵油松人工林立地类型划分及评价[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2021,49(1):55-63.
ZHANG C X,FENG Z M,LI W X,*et al*. Site classification and evaluation of *Pinus tabuliformis* plantations in Huangling,Shaanxi[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry:Natural Science Edition,2021,49(1):55-63. (in Chinese)

[24] 王林,冯锦霞,万贤崇. 土层厚度对刺槐旱季水分状况和生长的影响[J]. 植物生态学报,2013,37(3):248-255.

[25] 马娟霞,肖玲,关帅鹏,等,黄土高原刺槐林地土壤水分与立地因子关系研究[J]. 土壤通报,2010,41(6):1311-1315.

[26] 赵吉麟. 宁夏回族自治区森林立地类型划分及其生态功能重要性评价[D]. 北京:北京林业大学,2019.

[27] CHEN Y W,DONG L L. Site type classification and tree species selection of returning farmland to forest in Luonan County[J]. World Journal of Forestry,2018,7(2):33-37.

[28] 闫烨琛. 大清河流域山丘区立地类型划分与评价[D]. 北京:北京林业大学,2020.

[29] 李国忠. 北亚热带中山区日本落叶松人工林立地分类与质量评价[D]. 北京:中国林业科学研究院,2011.