

云南省德宏州西南桦人工林立地指数表编制*

张雪琴^{1,2}, 刀保辉³, 王春胜², 唐 诚^{1**}, 曾 杰²

(1. 石河子大学农学院, 新疆石河子 832003; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东广州 510520;

3. 德宏州林业科学研究所, 云南瑞丽 678600)

摘要:【目的】以云南省德宏州 5 县(市)西南桦人工林为研究对象, 编制该州西南桦人工林立地指数表。【方法】共设置 65 块样地进行生长调查, 每个样地选取 1 株平均优势木进行树干解析, 获得 1 009 对树高—林龄数据; 应用 3 倍标准差法剔除异常数据, 选取 Korf、Richards 和 Weibull 等 8 个常用方程拟合 1 000 对优势树高—林龄数据, 通过决定系数(R^2)、绝对残差(AMR)、均方根误差(RMSE)和相对残差(RAR)等统计指标筛选导向曲线; 应用标准差调整法编制立地指数表, 并对其进行卡方检验、预报精度检验和落点检验。【结果】经模型拟合筛选出 R^2 最大以及 AMR、RMSE 和 RAR 最小的 Richards 方程作为导向曲线, 方程表达式为 $H = 39.453[1 - \exp(-0.067t)]^{1.018}$; 以基准林龄为 15 年, 指数级距为 2 m, 划分 8 个立地指数级, 据此编制立地指数表; 经卡方检验、预报精度检验和落点检验证明所编表合格。【结论】本研究所编制立地指数表可用于评价云南省德宏州及类似地区西南桦人工林的立地质量, 从而提升该区域西南桦人工林的科学经营管理水平。**关键词:** 西南桦人工林; 标准差调整法; 立地指数表; 立地质量评价; 德宏州
中图分类号: S 758.5 文献标志码: A 文章编号: 1004-390X (2021) 06-1051-06

Establishment of the Site Index Table for *Betula alnoides* Plantations in Dehong Prefecture, Yunnan Province

ZHANG Xueqin^{1,2}, DAO Baohui³, WANG Chunsheng², TANG Cheng¹, ZENG Jie²

(1. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi 832003, China;

2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;

3. Institute of Forestry Science, Dehong Prefecture, Ruili 678600, China)

Abstract: [Purpose] To establish the site index table of *Betula alnoides* plantations in Dehong Prefecture, Yunnan Province based on the object from five counties or cities. [Method] A total of 65 plots were set up for growth investigation. One dominant tree was selected from each plot for stem analysis and 1 009 pairs of tree height-tree age data were obtained. The method of three-time standard deviation was used to eliminate the abnormal data, then eight common equations such as Korf, Richards and Weibull were selected to fit the 1 000 pairs of dominant height-tree age data, and the guide curves were selected by comparing the model statistics indexes including the determination coefficient (R^2), absolute residual error (AMR), root mean square error (RMSE) and relative absolute residual (RAR). The standard deviation adjustment method was used to compile the site index table,

收稿日期: 2020-07-13

修回日期: 2021-03-24

网络首发时间: 2021-11-22 16:11:25

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD60004)。

作者简介: 张雪琴(1994—), 女, 新疆五家渠人, 硕士, 主要从事森林培育研究。

E-mail: 2677340030@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 唐诚(1978—), 男, 甘肃白银人, 博士, 副教授, 主要从事森林培育与经营研究。E-mail: tangcheng1983@163.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20211120.1939.001.html>



and the Chi-square test, prediction accuracy test and landing point test were further conducted for the table. [Result] The Richards equation with the largest R^2 , the smallest AMR, RMSE and RAR was selected as the guide curve, and the equation expression was $H=39.453[1-\exp(-0.067t)]^{1.018}$. Reference tree age was determined as 15 years, eight site index classes were divided by taking two meters as the index interval, and the site index table was established. Through Chi-square test, prediction accuracy test and drop point test, it was proved that the site index table was qualified.

[Conclusion] The site index table developed in the present study can be used to evaluate the site quality of *B. alnoides* plantations in Dehong Prefecture and similar areas, and to improve plantation management of the species.

Keywords: *Betula alnoides* plantations; standard deviation adjustment method; site index table; site quality evaluation; Dehong Prefecture

立地质量评价是指对立地的宜林性或潜在的生产力进行判断和预测^[1],是实现科学造林和合理高效利用林地的重要保证^[2]。林分优势木平均高是评定立地质量的一种最为常用且行之有效的方法^[3],其反映的林地生产力受林分密度调控等经营措施的影响较小,能够更准确地反映立地质量^[4]。立地指数表是森林经营工作的基础数表,可作为评定林地生产力的综合指标^[5]。20 世纪初以来,国外开始对欧洲白蜡 (*Fraxinus excelsior*)^[6]、黑云杉 (*Picea mariana*)^[7]和意大利石头松 (*Pinus pinea*)^[8]等树种进行立地指数研究并评价立地生产力。中国从 20 世纪 70 年代逐步开展该方面的工作,目前,已对楠木 (*Phoebe zhennan*)^[9]、桉树 (*Eucalyptus robusta*)^[10]、黑松 (*Pinus thunbergii*)^[11]、栓皮栎 (*Quercus variabilis*)^[12]、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)^[13]和胡桃楸 (*Juglans mandshurica*)^[14]等树种编制了立地指数表,为这些树种的立地质量评价提供了依据。

西南桦 (*Betula alnoides*) 是中国热带、亚热带地区的珍贵用材树种之一,具有重要的生态和经济价值^[15]。云南是西南桦人工林最主要的栽培区,其中德宏州为西南桦商品材主要产区。德宏州自 1997 年开始规模化种植西南桦,其人工林面积迅速扩大,截至 2016 年已超过 10 万 hm^2 ,占全州林业用地面积的 18.7%,约占中国西南桦人工林面积的 50%,在德宏州林业产业和生态建设中占有至关重要的地位。然而,在西南桦人工林大规模发展过程中,由于立地选择不合理等原因而导致林木分化严重、林分生产力低下等诸多问题,已严重影响全州西南桦人工林产业的可持续发展。编制德宏州西南桦人工林立地指数表是

解决这些问题的有效途径。因此,本研究基于样地调查与优势木树干解析,编制立地指数表用于西南桦人工林立地质量评价,为该州乃至类似地区西南桦适宜造林的立地选择和人工林合理经营管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省德宏州芒市、瑞丽市、盈江县、梁河县和陇川县共 5 个县(市)($\text{N}23^{\circ}59' \sim 24^{\circ}51'$, $\text{E}97^{\circ}42' \sim 98^{\circ}38'$),属于典型的亚热带季风气候,海拔 820~1 660 m,年平均气温 18~20 $^{\circ}\text{C}$,年降水量约 1 500 mm,年日照时间 2 200~2 400 h。德宏州光、热、水、土和气资源优越,为西南桦人工林的生长提供了得天独厚的条件。

1.2 试验方法

1.2.1 数据来源

于 2019 年进行外业调查工作,考虑到西南桦人工林林龄和立地因子等因素,设置 20 m $\times$ 20 m 的样地 65 块,对样地进行每木检尺,测量胸径、树高、冠幅和枝下高,并记录海拔、经纬度和造林年份等信息。以每块样地中树高最高的 5 株为优势木,计算其平均值即为优势高;选取其中 1 株无病虫害且树干通直的优势木进行树干解析,得到 1 009 对树高—林龄数据,计算平均树高和标准差后,运用 3 倍标准差法剔除异常数据,最终得到 1 000 对树高—林龄数据用于编制立地指数表。解析木基本信息见表 1。

1.2.2 导向曲线拟合

采用 Korf、Richards 和 Weibull 等 8 个常用的方程拟合树高—年龄数据,选用决定系数

表 1 解析木基本信息
Tab. 1 Basic information of stem analysis

林龄/a tree age	样本数 number of samples	优势高平均值/m mean for dominant height	标准差 standard deviation (SD)	平均值+3倍标准差/m mean+3×SD	平均值-3倍标准差/m mean-3×SD
1	63	2.93	2.159	9.403	-3.549
2	65	4.74	2.747	12.983	-3.496
3	65	6.90	3.020	15.958	-2.160
4	65	9.00	3.253	18.761	-0.757
5	65	11.03	3.502	21.535	0.520
6	65	12.84	3.513	23.378	2.301
7	65	14.23	3.596	25.019	3.441
8	65	15.71	3.825	27.188	4.240
9	65	17.08	3.940	28.895	5.258
10	62	18.21	4.019	30.269	6.157
11	45	20.31	4.164	32.806	7.819
12	43	21.55	3.995	33.531	9.562
13	42	22.63	3.901	34.336	10.932
14	38	23.99	3.896	35.682	12.305
15	36	25.34	3.708	36.459	14.212
16	36	26.21	3.586	36.969	15.452
17	36	26.93	3.617	37.779	16.075
18	31	27.31	3.675	38.336	16.285
19	27	27.98	3.569	38.690	17.276
20	17	27.99	3.802	39.393	16.583
21	12	29.04	3.203	38.652	19.434

(R^2)、绝对残差 (AMR)、均方根误差 (RMSE) 和相对残差 (RAR) 等 4 个常用统计指标进行模型筛选。选择 R^2 大以及 AMR、RMSE 和 RAR 较小且具有生物学意义的方程作为树高生长方程。各统计指标见表 2。

表 2 模型统计指标
Tab. 2 Index of model statistics

统计指标 statistics index	公式 formula	符号 symbol	理想值 ideal value
决定系数 coefficient of determination	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \widehat{H}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (H_i - \overline{H})^2}$	R^2	1
绝对误差 absolute error	$\sum_{i=1}^n \frac{ H_i - \widehat{H}_i }{n}$	AMR	0
均方根误差 root mean square error	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \widehat{H}_i)^2}{n - p}}$	RMSE	0
相对误差 relative error	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ H_i - \widehat{H}_i }{\overline{H}}$	RAR	0

注： $\widehat{H}_i$ 、 H_i 和 $\overline{H}$ 分别表示树高的第*i*个观测值、估计值和平均观测值；*n*为观测值数目；*p*为模型参数的数量。
Note: $\widehat{H}_i$, H_i and $\overline{H}$ represent the observation value, estimated value and average observed value of tree height, respectively; *n* means the number of observed value; *p* means the number of model parameters.

1.2.3 基准年龄与指数级距

德宏州西南桦人工林的平均生长量和连年生长量表现与广西大青山西南桦人工林相似，因此，参照唐诚等^[16]的方法将云南西南桦人工林的基准林龄定为 15 年，指数级距定为 2 m。

1.2.4 立地指数表编制方法

选用标准差调整法^[5]编制西南桦人工林立地指数表。

1.2.5 立地指数表检验

运用卡方检验、预测精度检验^[17]及落点检验^[18]对所编立地指数表的适用性和精确性进行检验，验证所编立地指数表是否能够客观评价云南省德宏州西南桦人工林的立地质量。其中，落点检验以 65 块样地中每块样地选取的 1 株优势木树高值作散点图，运用 R 软件将其绘制于立地指数曲线簇上。

2 结果与分析

2.1 导向曲线筛选

由表 3 可知：8 个方程中，对数双曲线式的 R^2 最小，说明其拟合效果最差；Weibull 和 Richards 方程的 R^2 最大，AMR 和 RMSE 均最小，且 Richards 方程的 RAR 比 Weibull 方程略小，说明

Richards 方程拟合效果最佳。因此,选择 Richards 作为最优导向曲线方程。其方程表达式为: $H=39.453[1-\exp(-0.067t)]^{1.018}$, 其中 H 为优势高, t 为年龄。

2.2 立地指数表编制

采用基准林龄 15 年和指数级距 2 m 编制立地指数表 (表 4)。德宏州西南桦优势高变动范围为 17.0~33.0 m, 其绝对变动幅度为 13.9 m, 可划分为 8 个指数级, 分别为 18、20、22、24、26、28、30 和 32。

2.3 立地指数表检验

2.3.1 卡方检验

本研究中立地指数为 18~32, 随机抽取林龄大于基准林龄的 3 株优势木进行卡方检验, 其 χ^2 值分别为 1.83、1.10 和 1.59 (表 5), 而其卡方临界值依次为 31.41、28.87 和 26.30^[16], 可见其 χ^2 值远小于相应临界值, 说明优势高生长趋势与立地指数曲线之间无明显差异。

2.3.2 预报精度检验

由表 5 可知: 各林龄的立地指数预测误差在

表 3 拟合公式及结果
Tab. 3 Fitting formulas and results

方程 equation	表达式 expression	参数估计值 estimate of parameter			统计指标 statistical index			
		a	b	c	R^2	AMR	RMSE	RAR
Richards	$H=a[1-\exp(-bt)]^c$	39.452 5	0.066 8	1.017 6	0.838 8	2.77	3.58	0.26
Korf	$H=a\exp(-b/t^c)$	280.766 6	4.883 2	0.257 2	0.837 9	2.78	3.59	0.26
Gompertz	$H=a\exp[-b\exp(-ct)]$	30.849 5	2.489 1	0.165 8	0.836 9	2.80	3.60	0.30
Mitscherlich	$\log H=a+b\exp(-ct)$	28.900 5	6.758 8	0.256 8	0.816 0	2.94	3.82	0.35
Schumacher	$H=a\exp(-b/t)$	36.455 2	6.002 5	—	0.811 7	3.04	3.86	0.28
Logistic	$H=a/[1+\exp(b-ct)]$	28.645 2	1.923 3	0.263 9	0.831 9	2.85	3.65	0.33
Weibull	$H=a[1-\exp(-bt)^c]$	39.040 3	0.064 0	1.017 5	0.838 8	2.77	3.58	0.27
对数双曲线式 logarithmic hyperbolic curve	$\log H=a+b/t$	1.370 0	-1.208 1	—	0.716 5	0.13	0.19	0.02

表 4 云南省德宏州西南桦人工林立地指数表
Tab. 4 Site index table of *Betula alnoides* at Dehong Prefecture, Yunnan Province

林龄/a tree age	立地指数/m site index							
	18	20	22	24	26	28	30	32
2	2.7~3.3	3.3~3.8	3.8~4.3	4.3~4.8	4.8~5.3	5.3~5.8	5.8~6.3	6.3~6.8
3	3.8~4.6	4.6~5.4	5.4~6.2	6.2~7.0	7.0~7.9	7.9~8.7	8.7~9.5	9.5~10.3
4	5.1~6.1	6.1~7.1	7.1~8.1	8.1~9.2	9.2~10.2	10.2~11.2	11.2~12.2	12.2~13.3
5	6.3~7.5	7.5~8.7	8.7~9.9	9.9~11.1	11.1~12.2	12.2~13.4	13.4~14.6	14.6~15.8
6	7.6~9.0	9.0~10.3	10.3~11.6	11.6~12.9	12.9~14.3	14.3~15.6	15.6~16.9	16.9~18.2
7	8.8~10.3	10.3~11.7	11.7~13.2	13.2~14.6	14.6~16.0	16.0~17.5	17.5~18.9	18.9~20.3
8	10.1~11.6	11.6~13.2	13.2~14.7	14.7~16.2	16.2~17.8	17.8~19.3	19.3~20.9	20.9~22.4
9	11.2~12.8	12.8~14.4	14.4~16.1	16.1~17.7	17.7~19.3	19.3~20.9	20.9~22.6	22.6~24.2
10	12.3~14.0	14.0~15.7	15.7~17.4	17.4~19.1	19.1~20.8	20.8~22.5	22.5~24.2	24.2~25.9
11	13.4~15.2	15.2~16.9	16.9~18.7	18.7~20.5	20.5~22.2	22.2~24.0	24.0~25.8	25.8~27.6
12	14.4~16.2	16.2~18.0	18.0~19.9	19.9~21.7	21.7~23.5	23.5~25.4	25.4~27.2	27.2~29.0
13	15.3~17.2	17.2~19.1	19.1~20.9	20.9~22.8	22.8~24.7	24.7~26.6	26.6~28.5	28.5~30.4
14	16.2~18.1	18.1~20.1	20.1~22.0	22.0~24.0	24.0~25.9	25.9~27.9	27.9~29.8	29.8~31.8
15	17.0~19.0	19.0~21.0	21.0~23.0	23.0~25.0	25.0~27.0	27.0~29.0	29.0~31.0	31.0~33.0
16	17.7~19.8	19.8~21.8	21.8~23.9	23.9~25.9	25.9~28.0	28.0~30.0	30.0~32.1	32.1~34.1
17	18.5~20.6	20.6~22.7	22.7~24.8	24.8~26.8	26.8~28.9	28.9~31.0	31.0~33.1	33.1~35.2
18	19.1~21.3	21.3~23.4	23.4~25.5	25.5~27.7	27.7~29.8	29.8~31.9	31.9~34.1	34.1~36.2
19	19.8~22.0	22.0~24.2	24.2~26.3	26.3~28.5	28.5~30.7	30.7~32.8	32.8~35.0	35.0~37.2
20	20.4~22.6	22.6~24.8	24.8~27.0	27.0~29.2	29.2~31.4	31.4~33.6	33.6~35.8	35.8~38.1
21	20.9~23.2	23.2~25.4	25.4~27.7	27.7~29.9	29.9~32.2	32.2~34.4	34.4~36.7	36.7~38.9

表 5 立地指数表显著性和预报精度检验
Tab. 5 Site index table significance and prediction accuracy test

林龄/a tree age	立地指数级 site index class						S _i
	18		24		30		
	H _{i18}	H _{o18}	H _{i24}	H _{o24}	H _{i30}	H _{o30}	
2	4.0	21.7	4.4	23.6	6.1	30.2	2.80
3	7.2	25.4	6.8	24.4	7.7	26.7	1.39
4	9.2	25.1	10.3	27.3	9.6	25.8	2.89
5	10.2	23.6	11.1	25.0	11.4	25.6	2.55
6	14.7	27.7	11.7	23.2	13.8	26.3	1.61
7	17.2	28.5	13.1	22.9	17.1	28.4	1.31
8	18.5	27.9	14.6	22.9	19.7	29.5	1.07
9	20.0	27.8	15.6	22.4	21.5	29.6	1.16
10	21.2	27.4	17.1	22.6	23.6	30.3	1.21
11	22.3	27.1	18.3	22.6	25.4	30.5	1.23
12	23.7	27.1	19.2	22.3	26.9	30.6	1.35
13	24.8	27.0	20.3	22.3	27.9	30.3	1.19
14	25.8	26.9	21.3	22.3	28.6	29.8	0.96
15	27.1	27.1	22.8	22.8	29.3	29.3	0.67
16	27.5	26.5	24.6	23.6	29.8	28.7	0.16
17	28.0	26.1	25.4	23.6	30.0	28.0	0.44
18	28.2	25.5	26.0	23.4			0.46
19	28.9	25.3	26.5	23.2			0.59
H _{om} 均值 mean H _{om}		26.2		23.4		28.7	
χ ²		1.83		1.10		1.59	
S _e		1.55		1.20		1.69	

注: H_{im} , 第*i*龄阶第*m*指数级的树高; H_{om} , 基准林龄时第*m*指数级的树高; S_i , 不同林龄立地指数预测误差; χ^2 , 卡方计算值; S_e , 不同立地指数级的预测误差。
Note: H_{im} , tree height in age class *i* and index class *m*; H_{om} , tree height in index class *m* at reference tree age; S_i , the prediction error of site index at different tree ages; χ^2 , Chi-square value; S_e , the exponential prediction error at different sites.

0.16~2.89。2、4 和 5 年林龄的预测误差较大, 变异系数达 49.54%; 6~13 年林龄的预测误差>1, 变异系数为 27.09%; 林龄 13 年后, 各林龄的预测误差<1, 变异系数为 14.95%。表明预测精度呈现随林龄增长而逐渐升高趋势。不同立地指数级的预测误差在 1.20~1.69, 立地指数级为 24 时预测误差最小。

2.3.3 落点检验

由图 1 可知: 仅 3 个点落在立地指数曲线簇外, 精度达 95.4%, 落点检验合格, 说明所编立地指数表能够较好地反映德宏州西南桦人工林立地质量。

3 讨论

本研究中 2、4 和 5 年林龄的预测误差较大, 变异系数接近 50%, 反映出西南桦在幼龄阶段的生长变异性较大; 6~13 年林龄预测误差>1, 变异系数亦较大; 林龄 13 年后, 各林龄的立地

指数预测误差<1, 而且较为稳定, 基准林龄以上时预报精度趋高。可见模型的拟合程度因生长阶段而异。德宏州西南桦人工林解析木数据多集中

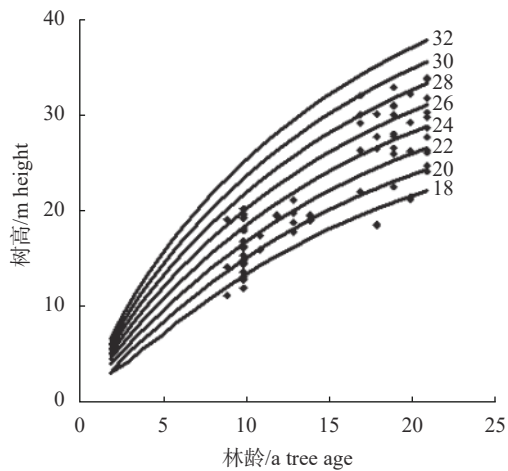


图 1 西南桦人工林立地指数曲线落点检验
Fig. 1 Test of falling point for site index curves of *Betula alnoides* plantations

在中龄林,成、过熟林的数据相对较少,为完善德宏州地区西南桦人工林立地指数表,在未来的研究中可考虑再补充近熟林和成熟林的解析木数据,进一步提高立地质量评价的准确性。

森林经营中应针对不同立地条件的林分制定相应的经营措施。立地条件差的地区应进行低效林改造,立地条件好的地区林分生长较快,应及时进行抚育间伐^[19]。本研究所编立地指数表显示:林龄 2 年时,立地指数 18 与立地指数 32 的树高相差约 4 m;林龄 21 年时,立地指数 18 与立地指数 32 的树高相差达 18 m,故可利用此立地指数表量化德宏州及类似地区西南桦林地的潜在生产力,并根据其生产力水平制定经营方案。

对比分析广西大青山^[16]与云南省德宏州西南桦人工林立地指数表之间的差异可知:基准林龄 15 年时,两地西南桦人工林优势高的范围分别为 15~27 m 和 17~33 m,可见,云南省德宏州西南桦人工林优势高大于广西大青山,其立地质量更好。3 年林龄时,大青山和德宏州立地指数 18~26 对应树高范围分别为 2.9~9.7 m 和 3.8~7.9 m,说明幼龄阶段两地树高差异不大;21 年林龄时,大青山和德宏州立地指数 18~26 对应树高分别为 17.1~30.6 m 和 20.9~32.2 m。可见,随着林龄增大,德宏州西南桦人工林生长速度明显快于广西大青山,说明德宏州更适合种植西南桦。西南桦喜温凉气候^[20],产生此现象的原因可能与气候差异有关。未来可将研究范围扩大至整个西南桦适生区,编制适合西南桦人工林的立地指数表,以全面评价中国西南桦人工林的立地质量。

4 结论

拟合比较 Korf、Richards 和 Weibull 等 8 个常用的数学模型,得出 Richards 方程 $H=39.453[1-\exp(-0.067t)]^{1.018}$ 最优,可作为导向曲线。应用标准差调整法编制云南德宏州西南桦人工林立地指数表,所编表经检验表明可用于评价云南省德宏州及类似地区西南桦人工林立地质量。

[参考文献]

- [1] 杨海宾,张茂震,丁丽霞,等.基于最大胸径生长率的浙江省杉木人工林立地质量评价[J].浙江农林大学学报,2020,37(1): 105. DOI: 10.11833/j.issn.2095-0756.2020.01.014.
- [2] 王璐,王海燕,何丽鸿,等.天然云冷杉针阔混交林立地质量评价[J].东北林业大学学报,2016,44(3): 1. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.20160118.023.
- [3] 马丰丰,贾黎明,段劫,等.北京山区侧柏人工林立地指数表的编制[J].北京林业大学学报,2008,30(6): 79. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2008.06.006.
- [4] 吴恒,党坤良,田相林,等.秦岭林区天然次生林与人工林立地质量评价[J].林业科学,2015,51(4): 79. DOI: 10.11707/j.1001-7488.2015.04.10.
- [5] 孟宪宇.测树学[M].北京:中国林业出版社,2006.
- [6] CLAESSENS H, PAUWELS D, THIBAUT A, et al. Site index curves and autecology of ash, sycamore and cherry in Wallonia (Southern Belgium)[J]. Forestry, 1999, 72(3): 171. DOI: 10.1093/forestry/72.3.171-182.
- [7] MAILLY D, AUGER I, POTHIER D, et al. The influence of site tree selection method on site index determination and yield prediction in black spruce stands in north-eastern Quebec[J]. The Forestry Chronicle, 2004, 80(1): 134. DOI: 10.5558/tfc80134-1.
- [8] MONTERO G, BRAVO-OVIEDO A. Site index in relation to edaphic variables in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in south west Spain[J]. Annals of Forest Science, 2005, 62(1): 61. DOI: 10.1051/forest.2004086.
- [9] 龚召松,曾思齐,贺东北,等.湖南楠木次生林胸径地位指数表的研制[J].中南林业科技大学学报,2019,39(7): 48. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2019.07.007.
- [10] 李宗俊,刘萍,朱英娟,等.纸浆材桉树人工林地位指数表的编制[J].林业资源管理,2016(1): 59. DOI: 10.13466/j.cnki.Lyzygl.2016.01.011.
- [11] 杨传强,李士美,孔雨光,等.山东省松类人工林立地指数表的编制与应用[J].林业资源管理,2018(2): 43. DOI: 10.13466/j.cnki.Lyzygl.2018.02.009.
- [12] 祝维,张西,贾黎明.伏牛山地区栓皮栎天然次生林地位指数表的编制[J].东北林业大学学报,2017,45(12): 32. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2017.12.007.
- [13] 李斌成,杜超群,袁慧,等.基于理论模型及其差分方程的湖北省杉木立地指数表研制[J].中南林业科技大学学报,2019,39(7): 56. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2019.07.008.
- [14] 罗也,杨雨春,王君,等.吉林省长白山区胡桃楸天然次生混交林立地指数模型[J].应用生态学报,2019,30(12): 4049. DOI: 10.13287/j.1001-9332.2019.12.008.
- [15] 曾杰,郑海水,甘四明,等.广西西南桦天然居群的表型变异[J].林业科学,2005,41(2): 59. DOI: 10.3321/j.issn:1001-7488.2005.02.010.
- [16] 唐诚,王春胜,庞圣江,等.广西大青山西南桦人工林立地指数表编制[J].浙江农林大学学报,2019,36(4): 831. DOI: 10.11833/j.issn.2095-0756.2019.04.024.
- [17] 郑聪慧,贾黎明,段劫,等.华北地区栓皮栎天然次生林地位指数表的编制[J].林业科学,2013,49(2): 84. DOI: 10.11707/j.1001-7488.2013.02.12.
- [18] 张瑜,贾黎明,郑聪慧,等.秦岭地区栓皮栎天然次生林地位指数表的编制[J].林业科学,2014,50(4): 52. DOI: 10.11707/j.1001-7488.2014.04.07.
- [19] 段劫,马履一,贾黎明,等.北京低山地区油松人工林立地指数表的编制及应用[J].林业科学,2009,45(3): 12.
- [20] 曾杰,郭文福,赵志刚,等.我国西南桦研究的回顾与展望[J].林业科学研究,2006,19(3): 380.

责任编辑:何承刚