doi: 10.11707/j.1001-7488.20140407

秦岭地区栓皮栎天然次生林地位指数表的编制

张 瑜 贾黎明 郑聪慧 张 西

（北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083）

摘 要： 使用秦岭南北坡栓皮栎天然次生林的 104 块标准地和 75 株平均优势木解析木的 498 对树高－年龄数据，采用优势木树高生长与年龄关系的常用数学模型，编制秦岭地区栓皮栎天然次生林地位指数表，对该地区立地质量进行评价。运用 ForStat 2.0 和 SPSS 18.0 统计软件，选择 12 个数学模型拟合树高曲线，最终确定 $\lg H = -0.0146 + 0.7438\lg A$ 作为导向曲线，基准年龄为 35 年，指数级距为 2 m，运用标准差调整法导出树高值为 10 ~ 20 m共 6 条地位指数曲线，最终形成秦岭地区栓皮栎天然次生林地位指数表。导向曲线适合性检验、树高理论值与实际值的 X^2 检验、落点检验和树高生长量检验结果均表明：所编地位指数表精度较高，能够客观反映该地区栓皮栎天然次生林的立地质量。

关键词： 栓皮栎；天然次生林；地位指数表；立地质量评价

中图分类号： S757.6 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001－7488(2014)04－0047－08

Establishment of a Site Index Table for *Quercus variabilis* Natural Secondary Stand in Qinling Mountains

Zhang Yu Jia Liming Zheng Conghui Zhang Xi

(*Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education*，*Beijing Forestry University* *Beijing* 100083)

Abstract： This paper aims to build a site index table through mathematical models established with the relationships of age and height of the dominant individuals，so as to evaluate the site quality of the whole Qinling region. Totally 104 sample plots in a *Quercus variabilis* natural secondary stand on southern and northern slope in Qinling Mountains were selected，and 498 pairs of height-age relations data of 75 analytic and average dominant individuals were collected. Statistical software of ForStat 2.0 and SPSS 18.0 were used. The height-age curve model，$\lg H = -0.0146 + 0.7438\lg A$，was selected out of 12 mathematical models，with the reference age of 35 years and exponential distance of 2 meters. Six site index curves (10－20 m) of the *Q. variabilis* natural secondary stand were developed through the method of standard deviation adjustment. Eventually，the site index table for the *Q. variabilis* natural secondary stand was established. The table has high accuracy validated by the following four methods：correlation coefficient，X^2 test，test of falling point and test of height growth increment. Thus，this method could be used on *Q. variabilis* natural secondary stand site evaluation in Qinling region.

Key words： *Quercus variabilis*；natural secondary stand；site index table；site quality evalucation

立地质量评价通常采用地位指数来衡量(Green *et al.*，1989)。地位级与地位指数是评价林地生产力的指标，在同龄林生长与收获模型中应用较多(Skovsgarrd *et al.*，2008)。20 世纪 70 年代以地位指数法评价林地生产力在北美地区被广泛接受(Monserud，1984)，美国中西部地区林农已经依据地位指数曲线指导生产(Carmean，1978)。随后，立地质量评价融合了各学科及模型模拟(Aertsen *et al.*，2012)方法，环境因子作为变量也被引入(Seynave *et al.*，2005；Monserud *et al.*，2006；Bravo-Oviedo，2010)。例如 Monserud 等(2008)在建立加拿大西部阿尔伯塔省黑松(*Pinus contorta* var. *latifolia*)地位指数模型时，将温度作为影响因子，通过计算某个时期的地位指数值，反映林地生产力的

收稿日期：2013－08－16；修回日期：2013－11－07。

基金项目：北京市教育委员会科学研究与科研基地建设项目(SYSBL2009)；国家林业局林业科技成果推广项目(2011－44)；林业公益性行业科研专项经费项目(201004021)。

变化情况。

我国学者认为地位指数表是目前评价林地生产力的主要方法，由林分年龄和林分优势木树高的关系编制(孟宪宇，2006)。近年来对地位指数表编制的研究较多，研究内容包括编表方法、编制技术、最优数学模型的选取及地位指数表适用性的检验等(骆期邦，1989；孟宪宇等，2001；孙圆等，2006)。国外早在20世纪初就开始编制和使用地位指数表，我国自20世纪80年代起，各地开始编制松(*Pinus*)、杉(*Cunninghamia lanceolata*)等主要树种的地位指数表(南方十四省(区)杉木栽培科研协作组，1982)。国内对栓皮栎(*Quercus variabilis*)林地位指数表的研究包括中条山和太行山地区栓皮栎天然次生林地位指数表的编制(侯箕等，1993；马增旺等，1995)，但区域相对集中，样本数较少。郑聪慧等(2013)编制的华北地区栓皮栎林地位指数表克服了上述不足，适用范围广、适用性强。

栓皮栎天然次生林是陕西省境内秦岭南北坡的主要林分类型，具有水土保持、水源涵养等生态效益以及工业和药用价值。近年来由于人为干扰严重，低山和近居民点区域林分多遭到破坏，其生态价值和经济价值大大降低，栓皮栎天然林的恢复与保护工作亟待进行。为改善秦岭地区栓皮栎林经营管理和综合利用效果，需对该地区栓皮栎林的立地条件进行评价。目前对秦岭地区栓皮栎林立地条件评价的研究未见报道。本文通过编制秦岭地区栓皮栎天然次生林地位指数表，对立地质量进行评价，为栎林经营提供参考。

1 资料来源与分析

1.1 资料来源

调查地区分布于陕西省境内的秦岭南北坡，又被称为狭义的“秦岭”，包括商洛市山阳县、镇安县西口回民自治镇、周至县楼观台、太白县黄柏塬镇。于2012年和2013年6—8月进行外业调查工作，根据栓皮栎林立地类型的分布和林龄特征，共设置临时标准地104块，其中标准地面积为20 m×20 m的85块，面积为20 m×30 m的19块。每块样地从4或6株优势木(调查中树高最高或者胸径最大的立木)中选取1株伐倒解析，共获得优势木75株。解析木采取1 m区分段截取圆盘，最后不足一个区分段算做梢头。标准地林分特征统计见表1。研究地区栓皮栎林主要为中、幼龄林，成、过熟林分布较少。林分平均胸径分布在6.3~37.4 cm，平均树高分布在5.1~20.3 m，中、幼龄林林分平均蓄积分别为93.842 6 $m^3\cdot hm^{-2}$和30.187 5 $m^3\cdot hm^{-2}$，近熟林蓄积较中龄林高出33.71%，成熟林蓄积较中龄林高出18.31%，过熟林的蓄积为中龄林蓄积的3.2倍(表1)。优势木年龄和立地分布见表2，由表2可知优势木年龄在各龄组中均有分布，中龄林占绝大多数。解析木所在样地的立地类型有10种，基本涵盖该地区栓皮栎分布的主要立地类型。

根据陕西省2009年陕西省森林资源调查规划手册中栎类树种龄级与龄级划分表(表1)可知，61年以上为过熟林，研究中调查优势木最大年龄为68年，且60年以上的栓皮栎林分布较少，特以70年作为栓皮栎林的年龄上限(表2)。关于编制地位指数表的数据主要来自标准地调查和解析木资料，利用解析木资料编制的地位指数表描述林分幼龄时期的高生长特征更为准确(Palahí *et el.*，2004)。75株平均优势木信息详见表3，在编表前对各龄阶平均高应用3倍树高标准差法将异常优势木数据剔除，最终保留498对样本进行编表。

表1 标准地林分特征统计

Tab. 1 Feature description of the stands

龄级 Age class/a	样地数 Number of sample	平均胸径 Mean DBH/cm	平均树高 Mean tree height/m	林龄 Forest age/a	蓄积 Volume/($m^3\cdot hm^{-2}$)
幼龄林(<20) Young growth (<20)	16	7.2~15.7	7.6~13.1	10~20	30.187 5
中龄林(21~40) Half-mature forest (21~40)	51	6.4~22.6	5.1~24.3	21~40	93.842 6
近熟林(41~50) Nearly mature forest(41~50)	3	11.3~21.5	11.9~20.1	41~50	141.554 9
成熟林(51~60) Mature forest(51~60)	3	15.3~21.2	11.9~12.6	51~60	173.280 1
过熟林(≥61) Overmature forest(≥61)	2	30.7~37.4	19.2~20.3	61~65	301.813 2

表 2　解析木各年龄与立地分布情况统计

Tab. 2　The statistics for age and site distribution of dominate trees

类别 Category	林分年龄/林分立地类型 Age of forest /site types of forest	解析木样本数 Analytic wood samples
年龄 Age distribution	幼龄林 Young growth	8
	中龄林 Half-mature forest	58
	近熟林 Nearly mature forest	4
	成熟林 Mature forest	1
	过熟林 Overmature forest	4
立地类型 Site distribution	低山、阴坡、薄土 Shady-slope，shallow soil，in the low mountains	5
	低山、阳坡、薄土 Sunny-slope，shallow soil，in the low mountains	6
	低山、阴坡、厚土 Shady-slope，thick soil，in the low mountains	1
	低山、阳坡、厚土 Sunny-slope，thick soil，in the low mountains	2
	低中山、阳坡、厚土 Sunny-slope，thick soil，in the low semi	15
	低中山、阴坡、厚土 Shady-slope，thick soil，in the low semi	3
	低中山、阴坡、薄土 Shady-slope，shallow soil，in the low semi	14
	低中山、阳坡、薄土 Sunny-slope，shallow soil，in the low semi	24
	低中山、阳坡、中厚土 Sunny-slope，medium or thick soil，in the low semi	4
	低中山、阴坡、中厚土 Sunny-slope，medium or thick soil，in the low semi	1

表 3　解析木特征统计

Tab. 3　The statistics for feature description table of the dominate trees

龄级 Age class/a	样本数 Number of samples	平均年龄 Mean age/a	平均树高 Mean tree height/m	标准差 Standard deviation	3 倍标准差的上限 3 times the standard deviation limit to the upper	3 倍标准差的下限 3 times the standard deviation limit to the lower
5	75	5.00	2.692	0.922 4	-0.074 8	5.459 5
10	75	10.00	5.319	1.541 4	0.695 3	9.943 6
15	81	15.14	8.094	2.083 2	1.844 5	14.343 5
20	71	20.01	9.899	2.465 8	2.501 7	17.296 6
25	74	25.07	12.423	2.565 2	4.727 6	20.119 1
30	51	30.18	13.630	2.609 3	5.801 8	21.457 7
35	28	34.93	13.847	2.614 1	6.005 1	21.689 8
40	14	40.07	14.984	2.780 8	6.641 9	23.326 5
45	7	44.86	15.132	2.845 9	6.594 2	23.669 7
50	7	50.14	16.248	2.830 9	7.754 9	24.740 3
55	5	55.00	18.579	3.046 9	9.438 5	27.720 1
60	5	60.20	20.006	3.223 8	10.334 3	29.677 4
65	4	64.75	20.660	3.719 6	9.501 6	31.819 0
70	1	68.00	20.800	0.000 0	20.800 0	20.800 0

1.2　研究资料的分析

秦岭地区栓皮栎天然次生林树种组成中，栓皮栎占 80% 以上，属纯林。随机选择一块栓皮栎标准地，林分平均直径 15.0 cm，运用统计软件 SPPS 18.0 对该林直径分布频次作图（图 1），从图 1 可知直径主要分布于 10.0 ~ 20.0 cm 区间。进一步作直径 $P-P$ 概率图与残差分布（图 2，3），其直径实际概率分布与正态累积概率分布相吻合，因为散点围绕在一条直线周围（图 2），且实际累积概率与理论累积概率之差分布在对称于以 0 为水平轴的带内（图 3）。即栓皮栎林分直径分布为一条单峰、左右近似对称的山状曲线，该分布曲线近似以林分算术平均直径为峰点，中等大小林木占多数，两端径阶的林木株数逐渐减少，近似于正态分布特征，与同龄纯林直径分布规律相符合（孟宪宇，2006）。同理对其它林分作同样分析，得出结果基本一致，即认为该地区栓皮栎天然次生林为相对同龄林。

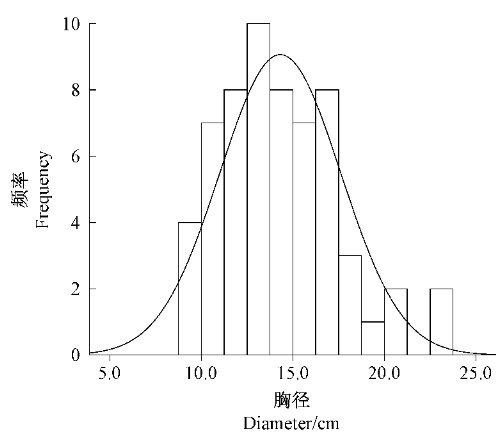

图 1　栓皮栎林直径分布频次

Fig. 1　The diameter frequency distribution histogram of *Quercus variabilis* stand

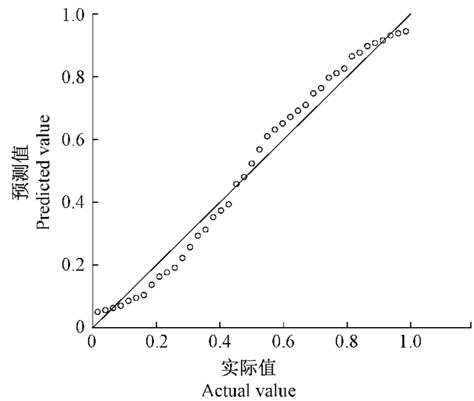

图 2　直径分布正态检验 $P-P$ 图

Fig. 2　The normality test $P-P$ diagram of diameter distribution

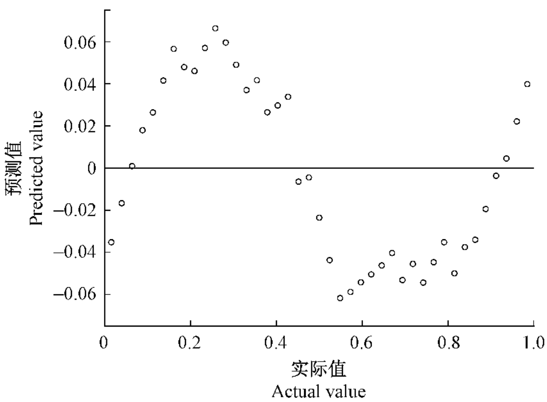

图 3　预测值与实际值残差分布

Fig. 3　The residual distribution diagram of predicted value and the actual value of the diameter distribution

2　地位指数曲线方程的选择与拟合

常用的导向曲线模型有对数双曲线式、对数曲线式、抛物线式、单分子式、理查德式、双曲线式(孟宪宇，2006)。本研究使用 12 个曲线方程拟合树高曲线，使用 ForStat 2.0 和 SPSS 18.0 统计软件，各方程表达式及计算结果见表 4。综合考虑决定系数、回归标准差和残差平方和，比较 12 个曲线方程，最终的导向曲线拟合公式确定为对数曲线式 $\lg H = a + b\lg A$，即

$$\lg H = -0.0146 + 0.7438\lg A。\qquad (1)$$

式中：H 为优势木树高；A 为优势木年龄。其决定系数 $R^2=0.9751$，回归标准差 S 最小，为 0.907 6；残差平方和 Q 最小，为 0.020 5。

3　基准年龄 A_0 和地位指数级距 D 的计算

当树高生长趋于稳定且能灵敏反映立地条件差异的年龄即为基准年龄 A_0；在基准年龄时优势木树高的变动范围与指数级个数的比值称为指数级距，国内多采用 1 m 或 2 m 作为指数级距(孟宪宇，2006)。确定基准年龄和指数级距时需综合考虑树种生长规律和培育目的，一般参考树高(或林分蓄积量)的平均生长量或连年生长量最大的时期(段劼等，2009)。国外学者们计算基准年龄时依据树种的生活史(詹昭宁，1982)。前人在编制其他地区栓皮栎地位指数表时选用的基准年龄有 30，40 和 50 年这 3 种(中国林业科学研究院林业研究所，1993；郑聪慧等，2013)。

表 4　曲线方程表达式及其计算结果统计①

Tab. 4　The statistics for expression and calculation results of the curve equation

方程名称 Equation	表达式 Expression	a	b	c	d	R^2	S	Q
对数曲线式 Logarithmic curve	$\lg H = a + b\lg A$	−0.014 6	0.743 8			0.975 1	0.907 6	0.020 5
对数双曲线式 Logarithmic inverse	$\lg H = a + b/A$	1.310 9	−4.851 2			0.936 7	0.907 6	0.936 7
理查德式 Richards	$H = a[1-b\mathrm{Exp}(-cA)]^{1/(1-d)}$	1 495.331 7	1.000 0		−0.826 3	0.986 7	20.286 5	5.482 4
单分子式 Mitscherlich	$H = a[1-\mathrm{Exp}(-bA)]$	25.611 8	0.023 3			0.980 9	20.543 9	7.859 7
韦布尔式 Weibull	$H = a\{1-[\mathrm{Exp}(-bA)]^c\}$	25.611 9	0.366 5	0.063 7		0.980 9	20.284 1	7.859 7
抛物线 Parabola	$H = a + bA + cA^2$	1.474 7	0.441 7	−0.002 4		0.978 0	21.001 2	0.978 0
坎派兹式 Gompertz	$H = a\mathrm{Exp}[-b\mathrm{Exp}(-cA)]$	22.723 8	2.123 8	0.042 9		0.970 8	20.431 1	12.029 7
对数曲线式(2) Logarithmic curve(2)	$H = a + b\lg A$	−10.702 6	16.521 0			0.962 9	20.005 1	15.261 1
指数曲线方式 Exponentin(cuve)	$H = a/[1+b\mathrm{Exp}(-cA)]$	18.148 7	8.586 1	0.116 2		0.939 5	6.718 7	42.305 7

①仅列出 R^2 值在 0.9 以上的方程。This table only lists equation which the R^2 value in 0.9 above. H：优势木各龄阶平均树高 Mean tree height in each age class；A：优势木各龄阶平均年龄 Mean age in each age class；a,b,c,d：相关参数 Parameter；R^2：决定系数 The coefficient of determination；S：回归标准差 Return standard deviation；Q：残差平方和 Residual sum of squares.

依据栓皮栎林的树高生长过程和各龄阶树高标准差 S_H 及变动系数 CV 的变化幅度来确定基准年龄，当变化幅度接近 1 时，说明该龄阶树高生长趋于稳定(郑聪慧等，2013；李佩萍等，1999)。利用解析木数据分析秦岭地区栓皮栎林的高生长过程，统计 75 株优势木解析木的树高平均生长量、连年生长量的均值，绘制折线图(图 4)。统计各龄阶栓皮栎树高标准差 S_H 和变动系数 CV，得到 S_H 和 CV 的变

化幅度，并绘制折线图（图5）。S_H（或CV）的变化幅度为$S_{H(i+1)}$（或$CV_{(i+1)}$）与$S_{H(i)}$（或$CV_{(i)}$）的比值，i为第i个龄阶。

栓皮栎的树高平均生长量、连年生长量最大值都在5年左右出现。随后连年生长量出现2次峰值的年龄分别为20年和35年，35年后树高平均生长量趋向于稳定。连年生长量S_H的变化幅度和CV的变化幅度都与35年前相比较，其值更接近于1，且随林龄的增加保持稳定（图5）。故本研究认为栓皮栎林的基准年龄A_0为35年。

林分树高的变化范围是确定指数级距D的主要依据，本研究中栓皮栎在基准年龄（A_0 =35年）时优势木树高为9.6～20.7 m，ΔH = 11.1，指数级距D为2 m，最终得到10，12，14，16，18和20 m，共6个指数级。

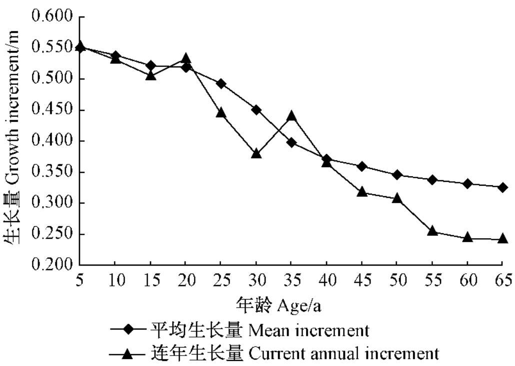

图4　树高生长量变化趋势

Fig. 4　The curves of the tree height growth increment

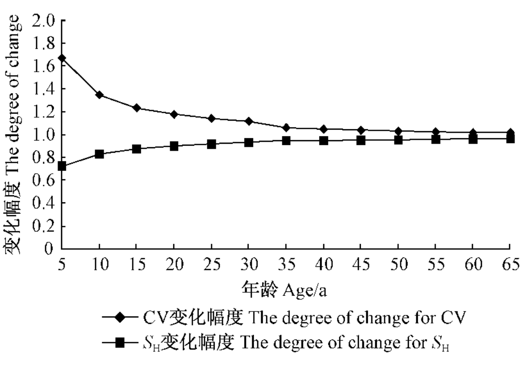

图5　树高标准差与变异系数变化幅度

Fig. 5　The curves of the standard deviation and coefficient change

4　地位指数表编制

常用的编制地位指数表方法有标准差调整法、变动系数法和相对优势高法，前人对于编表过程和方法选择的研究已十分详述（侯箕等，1993；马增旺等，1995；孟宪宇，2006；张咏祀，2008；段劼等，2009；马丰丰等，2008）。以导向曲线为基础，按标准年龄时树高值和指数级距，采用标准差法或变动系数调整法，可形成地位曲线簇（即树高生长曲线簇），这一点有别于变动系数法（孟宪宇，2006）。阔叶树种的地位指数表编制多用标准差调整法，针叶树种的地位指数表编多用变动系数法，且标准差调整法更为简便好用（陶吉兴等，1990）。故相关研究者多采用标准差调整法进行地位指数表的编制（林杰等，1981）。本研究也使用标准差调整法进行地位指数表的编制，具体过程如下。

利用导向曲线方程（1）结合年龄A，依次计算各龄阶导向曲线树高H_{ik}值，具体计算结果如表5。再使用式（2），根据各龄阶树高标准差（S_H）与各龄阶平均年龄的值，得到方程表达式（3）。将年龄A代入式（3）中，得到各龄阶树高标准差的理论值S_{Ai}，计算结果如表5。

$$\lg S_H = a + b\lg A, \tag{2}$$

$$\lg S_H = -0.2740 + 0.4540\lg A。 \tag{3}$$

比例系数K_j为级距值D与基准年龄所在龄阶（龄阶35）的树高标准误差理论值S_{A0}之间的比值，其计算公式为：

$$K_j = D / S_{A0}。 \tag{4}$$

将D = 2，S_{A0} = 2.67代入式（4），得到K_j = 0.7491 m。分别用K_j的值乘以各龄阶树高标准差理论值S_{Ai}，即可得到各龄阶曲线的级距值$K_j \times S_{Ai}$，计算结果如表5。

在基准年龄A_0（35年）时，导向曲线的理论树高值H_0为13.57 m（表5），根据上述计算方法，将13.57 m提高为地位指数值S_0 = 14 m，得到比例系数：K = (14 − 13.57)/2.67 = 0.1610 m，根据K值统计各龄阶间距值和14指数级的各龄阶树高值H（表5）。

表5　各龄阶的树高调整值统计

Tab. 5　The table for adjusted height value of each age class

指标 Indices	龄级 Age class/a													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
H_{ik}	3.20	5.35	7.23	8.95	10.57	12.10	13.57	14.99	16.36	17.69	18.99	20.26	21.50	22.71
S_{Ai}	1.10	1.51	1.82	2.07	2.29	2.49	2.67	2.84	3.00	3.14	3.28	3.41	3.54	3.66
$K_j \times S_{Ai}$	0.83	1.13	1.36	1.55	1.72	1.87	2.00	2.13	2.24	2.35	2.46	2.56	2.65	2.74
H	3.37	5.59	7.52	9.29	10.94	12.50	14.00	15.44	16.84	18.20	19.52	20.81	22.07	23.30

根据地位指数级 14 m 及各龄阶的间距值 $K_j \times S_{Ai}$，得到各龄阶各地位指数级的树高值，通过上限排外法最终形成栓皮栎天然次生林地位指数表（表 6），绘制的地位指数曲线簇见图 6。

表 6 秦岭地区栓皮栎天然林地位指数表

Tab. 6 The site index table of *Q. variabilis* natural secondary forest in Qinling Mountains m

龄阶 Age class/a	地位指数 Site index					
	10	12	14	16	18	20
5	1.3~2.5	2.6~3.5	3.6~4.5	4.6~5.5	5.6~6.4	6.5~7.4
10	3.0~4.1	4.2~5.3	5.4~6.6	6.7~7.8	7.9~9.0	9.1~10.3
15	4.0~5.8	5.9~7.0	7.1~8.4	8.5~9.8	9.9~11.3	11.4~12.7
20	5.5~6.8	6.9~8.4	8.5~10.0	10.1~11.7	11.8~13.3	13.4~14.9
25	6.9~8.1	8.2~9.9	10.0~11.7	11.8~13.4	13.5~15.2	15.3~17.1
30	8.0~9.4	9.5~11.3	11.4~13.2	13.3~15.1	15.2~17.1	17.2~19.0
35	9.0~10.9	11~12.9	13.0~14.9	15.5~16.9	17.0~18.9	19.0~20.9
40	9.0~11.7	11.8~13.9	14.0~16.1	16.2~18.1	18.2~20.5	20.6~22.5
45	12.0~12.9	13.0~15.2	15.3~17.5	17.6~19.5	19.6~22.1	22.3~24.0
50	13.0~14.0	14.1~16.4	16.5~18.8	18.9~20.7	20.8~23.0	23.1~25.5
55	14.1~15.1	15.2~17.5	17.6~19.5	19.6~22.0	22.1~24.4	24.6~26.1
60	15.2~16.1	16.2~18.8	18.9~21.0	21.1~23.2	23.3~26.0	26.1~29.0
65	16.3~17.2	17.3~19.5	19.6~22.5	22.6~24.8	24.9~27.6	27.7~30.5
70	17.5~17.9	18.0~21.0	21.1~23.8	23.9~26.8	26.9~29.3	29.4~32.1

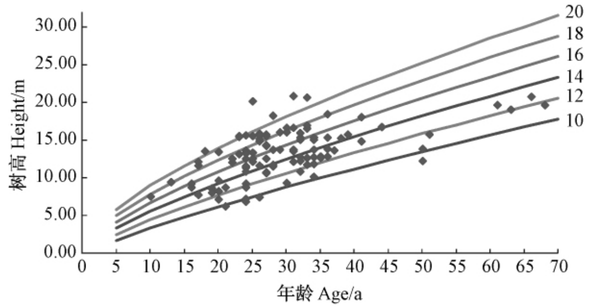

图 6 地位指数曲线簇

Fig. 6 Site index cluster

5 地位指数表精度检验

5.1 导向曲线精度检验

运用 SPSS 18.0 统计软件分析 lg$H$ 与 lg$A$ 的相关系数 R，对导向曲线合适性进行检验。得到相关系数 R 值为 0.987 0，通过查表可知，$R = 0.987\ 0 > R_{0.01} = 0.661\ 42 > R_{0.05} = 0.532\ 4$。另计算出回归标准差为 0.034 0，标准误为 0.004 3。说明回归关系显著，导向曲线回归效果较好。

5.2 树高值的 X^2 检验

利用 75 株优势木解析木年龄与树高数据，在编制的地位指数表中查出其对应的地位指数，求出各龄阶的树高理论值与实际值进行 X^2 检验，计算得出 $X^2 = 0.115\ 0$，远远小于 $X^2_{0.05}$，表明该地位指数表所反映的优势木解析木树高生长过程与实际生长过程差异不显著，即地位指数曲线趋势符合解析木树高生长趋势。

5.3 落点检验

统计 104 块标准地中 452 株优势木树高均值，将 104 株优势木高绘在地位指数曲线图 6 上，从图 6 可以看出，有 99 株优势木落在所编的地位指数曲线图内，达到 95.19%。该结果表明所编的地位指数表能够很好地表现出该区域栓皮栎天然次生林的地位质量。

5.4 树高生长量检验

同一地位条件下，树高生长情况除受环境和人为干扰外，树木自身遗传因素也会导致生长情况出现差异。学者认为在对地位指数表进行检验时，所选样本数在各龄阶的跳级个数与总个数的比值在 0% ~5% 区间内，即编制的地位指数表合格，可在实际生产中加以运用（段劼等，2009）。从 75 株优势木解析木中随机选取解析木共 3 株，地位指数级为 12，14 与 18 级，将 3 株解析木各龄阶树高生长实际值 H_m 与编制的地位指数表中树高值 H_i 进行比对，结果显示：地位指数级为 14 的各龄阶树高生长过程与地位指数表完全符合，12 级和 18 级树高值在 5 龄阶均出现跳级情况（表 7），可能与幼林期生长情况较为复杂有关，这一结果与段劼等（2009）关于验证北京低山油松（*Pinus tabulaeformis*）人工林地位指数表的精度时情况相似。

6 结论与讨论

1）编制地位指数表的数据来源通常有固定标准地的多年连续观测、大量临时标准地测量和优势

木解析木数据等。本研究利用优势木解析木数据，根据优势木平均高与优势木年龄的关系，采用标准差调整法编制地位指数表。运用树干解析的资料编制出的地位曲线更能准确反映林分优势高的生长情况，因不同林分基准年龄的树高值为实测值（郑聪慧等，2013；李玉明，1998）。

表 7　树高生长量检验①

Tab. 7　Test of tree height growth increment　m

龄阶 Age class/a	立地指数 Site index 12		14		18	
	H_m	H_i	H_m	H_i	H_m	H_i
5	2.5	2.6～3.5	3.7	3.6～4.5	4.6	5.6～6.4
10	4.7	4.2～5.3	5.7	5.4～6.6	8.0	7.9～9.0
15	6.5	5.9～7.0	7.1	7.1～8.4	10.8	9.9～11.3
20	7.4	6.9～8.4	8.6	8.5～10.0	13.2	11.8～13.3
25	8.7	8.2～9.9	10.5	10.0～11.7	15.0	13.5～15.2
30	10.6	9.5～11.3	12.0	11.4～13.2	16.4	15.2～17.1
35	11.3	11.0～12.9	13.3	13.0～14.9	17.2	17.0～18.9
40	11.9	11.8～13.9	14.7	14.0～16.1	18.2	18.2～20.5
45	13.2	13.0～15.2	15.4	15.3～17.5	18.6	19.6～22.1
50	13.9	14.1～16.0	16.8	16.5～18.8	20.2	20.8～23.0

① H_m: 各龄阶树高生长实际值 Measured tree height of each age class; H_i: 编制的地位指数表中各龄级树高值 Index table tree height of each age class.

2）采用 104 块标准地和 75 株平均优势木解析木的 498 对树高－年龄数据，选择 12 个常用树高与年龄关系的数学模型，拟合优势木树高生长与年龄关系的曲线，编制秦岭地区栓皮栎天然次生林地位指数表。综合考虑回归系数、回归标准差和残差平方和，最终选定 $\lg H = -0.0146 + 0.7438 \lg A$ 作为导向曲线，基准年龄为 35 年，指数级距为 2 m，运用标准差调整法导出的地位指数表通过了导向曲线适合性检验、树高理论值与实际值的 X^2 检验、落点检验和树高生长量检验，所编地位指数表精度较高，能够客观反映该地区栓皮栎天然次生林的地位质量。

3）参与编表的材料包括部分栓皮栎成过熟林的数据，说明该地位指数表在一定程度上能客观评价栓皮栎成过熟林的地位质量。

4）栓皮栎是我国分布范围最广的落叶树种之一，而其在我国的核心分布区研究者观点各异，但秦岭至大别山一带为其分布中心之一均得到认可（罗伟祥等，2009）。对比郑聪慧等（2013）对栓皮栎林地位指数表的研究发现，秦岭地区栓皮栎优势木各龄阶平均树高值均大于华北地区栓皮栎各龄阶优势木平均树高值。华北地区对于栎类树种龄组划分标准认为 40 年及以下为幼龄林，41～60 年为中龄林，而秦岭地区将 20 年及以下为幼龄林，21～40 年为中龄林。说明秦岭地区是栓皮栎这一树种的适生区。

5）由于秦岭地区近居民点和低山地区栓皮栎林人为干扰严重，遭到多次砍伐，近年来实施的天保工程对栓皮栎林保护工作起到了一定的作用，使该地区成过熟林分布较少，多为中幼龄林。为了进一步提高该地区地位指数表的精度，后期研究应增加成过熟林的数量。

参　考　文　献

段　劼，马履一，贾黎明，等. 2009. 北京低山地区油松人工林立地指数表的编制及应用. 林业科学，45(3): 7－12.

侯　箕，门海元. 1993. 中条山天然栓皮栎林地位指数表的编制. 山西林业科技，(2): 1－5.

李佩萍，武建林. 1999. 晋中东部山区油松人工林地位指数表的编制. 山西林业科技，(4): 19－27.

李玉明. 1998. 用树干解析资料编制刺槐地位指数曲线. 陕西林业科技，(1): 18 －23.

林　杰，陈平留. 1981. 关于各地位指数级不同龄阶树高值导算方法的探讨. 林业科技通讯，(7): 22－24.

骆期邦. 1989. Richards 函数拟合多形地位指数曲线模型的研究. 林业科学研究，2(6): 534－539.

罗伟祥，张文辉，黄一钊. 2009. 中国栓皮栎. 北京: 中国林业出版社.

孟宪宇. 2006. 测树学. 3 版. 北京: 中国林业出版社.

孟宪宇，陈东来. 2001. 山杨次生林地位指数表编制方法的研究. 北京林业大学学报，23(3): 47－51.

马增旺，毕　君，刘德章，等. 1995. 太行山天然次生林主要树种地位指数表的编制. 山西林业科技，(3): 13－16.

马丰丰，贾黎明，段　劼，等. 2008. 北京山区侧柏人工林立地指数表的编制. 北京林业大学学报，30(6): 78－82.

南方十四省(区)杉木栽培科研协作组. 1982. 全国杉木(实生林)地位指数表的编制与应用. 林业科学，18 (3): 265－278.

孙　圆，程小义，佘光辉. 2006. 江苏省南方型黑杨地位指数表的编制. 南京林业大学学报: 自然科学版，30(1): 29－32.

陶吉兴，唐明荣. 1990. 常规立地指数表的误差来源与分析. 浙江林学院学报，7(4): 391－ 395.

詹昭宁. 1982. 森林生产力的评定方法. 北京: 中国林业出版社.

张咏祀. 2008. 标准差法在森林立地质量评价中的应用——用标准差法编制恩施州马尾松人工林地位指数表. 西华师范大学学报: 自然科学版, 29(4): 348 - 351.

郑聪慧, 贾黎明, 段 劼, 等. 2013. 华北地区栓皮栎天然次生林地位指数表的编制. 林业科学, 49(2): 79 - 85.

中国林业科学研究院林业研究所. 1993. 太行山适地适树与评价研究报告集. 北京: 中国林业出版社.

Aertsen W, Kint W, Vmuys B, *et al*. 2012. Effects of scale and scaling in predictive modelling of forest site productivity. Environmental Modelling and Software, 31: 19 - 27.

Bravo-Oviedo A, Gallardo-Andres C, del Rio M, *et al*. 2010. Regional changes of *pinus pinaster* site index in Spain using a climate-based dominant height model. Cnandian Journal of Forest Research, 40 (10): 2036 - 2048.

Garmean W H. 1978. Site index cuves for northern hardwoods in northern Wisconsin and upper Michigan. New York: Department Agriculture.

Green R N, Marshall P L, Klinka K. 1989. Estimating site index of Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] from ecological variables in southwestern British Columbia. Forest Science, 35(1): 50 - 63.

Monserud R A. 1984. Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. Forest Science, 30(4): 943 - 965.

Monserud R A, Huang S, Yang Y. 2006. Predicting lodgepole pine site index from climatic parameters in Alberta. Forestry Chronicle, 82 (4): 562 - 571.

Monserud R A, Yang Y, Huang S, *et al*. 2008. Potential change in lodgepole pine site index and distribution under climatic change in Alberta. Canadian Journal of Forest Research, 38(2): 343 - 352.

Palahí M, Tomé M, Pukkala T, *et al*. 2004. Site index model for *Pinus sylvestris* in north-east Spain. Forest Ecology and Management, 187 (1): 35 - 47.

Seynave I, Gegout J C, Herve J C, *et al*. 2005. *Picea abies* site index prediction by environmental factors and under storey vegetation: a two-scale approach based on survey databases. Canadian Journal of Forest Research, 35(1): 1660 - 1678.

Skovsgarrd J P, Vanclay J K. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. Forestry, 81(1): 13 - 31.

(责任编辑 郭广荣)