

# 核桃杂交种‘中宁奇’与北加州黑核桃、 魁核桃生长特性比较\*

李莉<sup>1</sup>, 徐慧敏<sup>2</sup>, 赵荣军<sup>3</sup>, 张俊佩<sup>\*\*</sup>, 裴东<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 林木遗传育种国家重点实验室, 北京 100091;  
2. 河南省洛宁县林业技术指导站, 河南 洛宁 471700; 3. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

**摘要:** [目的] 通过对核桃杂交种‘中宁奇’以及北加州黑核桃、魁核桃的年轮生长特性进行比较研究, 掌握‘中宁奇’的树体生长进程, 为品种应用和优质木材生产提供参考。[方法] 利用树木解析法, 对河南省洛宁县 23 年生核桃杂交种‘中宁奇’以及北加州黑核桃、魁核桃的胸径、树高及材积生长量及生长进程进行比较分析。[结果] 在生长进程方面, 3 个树种的胸径、树高、材积的生长率呈逐年降低的趋势, 第 14 年以后生长率基本平稳。23 年生树体胸高形数为 0.37~0.42, 干形较通直。‘中宁奇’和北加州黑核桃的胸径速生期为第 2~8 年, 魁核桃为第 2~10 年, 其中, ‘中宁奇’胸径总生长量和平均生长量最大, 分别为 36.68、1.59 cm。3 个树种树高速生期也主要集中在前 8 年。在整个生长过程中, 3 个树种材积总生长量和平均生长量一直处于增长趋势, 直到 23 年生时, 材积生长量仍未达到数量成熟, 其中, ‘中宁奇’材积总生长量和平均生长量分别为 0.49、0.02 m<sup>3</sup>, 明显高于北加州黑核桃和魁核桃。[结论] ‘中宁奇’作为核桃良种砧木的同时, 可作为速生优质硬阔用材树种, 是培育阔叶大径材的优良选择, 将为培育高档家具用材发挥重要作用。

**关键词:** ‘中宁奇’; 北加州黑核桃; 魁核桃; 树干解析; 生长特性

中图分类号: S792.13

文献标识码: A

## Comparative Study on Growth Characteristics of Walnut Hybrid ‘Zhongningqi’, *Juglans hindsii* and *Juglans major*

LI Li<sup>1</sup>, XU Hui-min<sup>2</sup>, ZHAO Rong-jun<sup>3</sup>, ZHANG Jun-pei<sup>1</sup>, PEI Dong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Forestry Technical Guidance Station of Luoning Country, Luoning 471700, He'nan, China; 3. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** [Objective] The aims of this study are to understand the tree growth process of walnut hybrid ‘Zhongningqi’ (*Juglans hindsii* × *Juglans regia* var. Zhongningqi), and provide reference for its variety application and high quality wood production through comparative studies on the tree-ring growth characteristics of “Zhongningqi”, *Juglans hindsii* and *Juglans major*. [Method] By stem analytical method, the growth of DBH, tree height, volume and growth process of ‘Zhongningqi’, *Juglans hindsii* and *Juglans major* planted in Luoning County of He'nan Province were analyzed. [Result] In the growth process, with the increase of age, the growth rates of DBH, tree height and volume of the three species showed a tendency of decrease and the growth rates were basically stable after

收稿日期: 2016-05-19

基金项目: “十二·五”国家科技支撑计划“核桃和长山核桃高效生产关键技术研究示范”(2013BAD14B01)

作者简介: 李莉(1982—), 女, 在读博士研究生。主要研究方向: 经济林遗传育种。Email: lili\_1543@126.com.

\* 致谢: 试材采集得到中国林业科学研究院林业所王伟博士的帮助, 林业所研究生朱安明同学参加了部分数据的测定工作, 在此一并表示感谢!

\*\* 通讯作者: 张俊佩, 博士, 副研究员。主要研究方向: 经济林遗传育种。Email: zhangjunpei@aliyun.com

the 14 years-old. The breast height form are 0.37–0.42, so the trunk of the three species are straight. The fast growing period of DBH of ‘Zhongningqi’ and *J. hindsii* is the 2nd to the 8th year, and that of *J. major* is the 2nd to the 10th year. The total DBH increment and average annual increment of ‘Zhongningqi’ are the highest, which are 36.68 cm and 1.59 cm respectively. The fast-growing period of the tree height could last for 8 years. The total growth of timber volume increment and average annual increment are keeping until the 23rd year, but the peak value of annual increment of timber volume does not reach the quantitative maturity then. The total timber volume increment and average annual increment of ‘Zhongningqi’ are the highest, with 0.49 m<sup>3</sup> and 0.02 m<sup>3</sup> respectively.

[ **Conclusion** ] As the rootstock, ‘Zhongningqi’ can be used for fast-growing and high-quality timber species and it is a good choice for cultivating big diameter wood. Meanwhile, ‘Zhongningqi’ will play an important role for cultivating high-grade furniture material.

**Keywords:** *Juglans hindsii* × *Juglans regia* var. Zhongningqi; *Juglans hindsii*; *Juglans major*; stem analysis; growth characteristics

核桃(*Juglans regia* L.)是世界公认的最佳硬阔叶用材树种之一,其木材结构紧密,力学强度较高,主要用作高档家具和胶合板材<sup>[1-3]</sup>。由于国际国内市场对核桃木材的需求量逐年增加,使核桃木供给严重不足,致使其原木价格远高于其他硬阔树种<sup>[4]</sup>。因此,发展材用型核桃对于缓解材用树种资源短缺、调整用材林树种结构具有重要意义。法国、德国等欧洲国家已把发展材用型核桃作为发展的重点<sup>[5-6]</sup>。国外,关于材用型核桃生长特性的研究主要集中在黑核桃上<sup>[7-9]</sup>。北加州黑核桃(*Juglans hindsii* Rehder)、美国黑核桃(*J. nigra* L.)和魁核桃(*J. major* Heller)为美国主要材用型树种,具有较速生、抗性強和材质优良的特性。由于3个树种的地理分布相似,树体特征及木材特性相近,因此,在植物学分类地位上同属于黑核桃组北美类群,且三者系统分类学上亲缘关系很近<sup>[10-13]</sup>。在树体生长特性方面,北加州黑核桃具有生长快,抗病性差等特点;魁核桃根系发达,较速生,基径生长最快,且抗旱能力强于美国黑核桃<sup>[14-15]</sup>。近年来,我国关于黑核桃的研究大多集中在引种试验、品种繁育、栽培管理等方面,在生长特性方面的研究相对薄弱,仅有少量核桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim)和黑核桃方面的文献报道<sup>[16-19]</sup>,关于核桃属其它树种的生长特性研究尚属空白。

‘中宁奇’(*J. hindsii* × *J. regia* var. zhongningqi)是中国林业科学研究院于2011年从北加州黑核桃与核桃的种间杂交种中选育出的速生核桃品种,由于是种间杂交后代,具有生殖能力较弱,营养生长超过双亲,干性通直、分枝角度小的特点。同时,作为优良砧木品种,‘中宁奇’砧穗组合的生长

势、光合能力、抗病性以及耐瘠薄能力等都优于实生核桃砧木<sup>[20-22]</sup>;然而,关于‘中宁奇’是否可以作为优质用材树种,以及树体生长特性方面的研究还未见报道。本文通过树干解析法对河南省洛宁县23年生‘中宁奇’、北加州黑核桃和魁核桃的生长特性进行比较分析,以期掌握‘中宁奇’的生长规律,为该品种应用和优质木材生产提供参考。

## 1 试验区概况

试验地位于河南省洛宁县(110°22′~111°50′E,34°06′~34°10′N),平均海拔300 m,年平均气温13.7℃,极端低温-17℃,极端高温42℃,5—10月平均气温21.9℃。生长期216 d,日照时数2 632.0 h,属暖温带大陆性季风气候,土壤为中性棕壤,土层深厚,pH值为6.0。

## 2 材料与方法

无性系对比试验林于1990年营造,树种分别为‘中宁奇’、北加州黑核桃和魁核桃,按照株行距3 m × 3 m的密度,正交试验设计,3次重复,每重复6株,随机区组排列。样木于2012年12月采自无性系对比试验林,在试验林内全面调查3个树种的树高、胸径、冠幅。根据调查结果,选取生长正常的标准木作为解析木。每个树种选取3株标准木。标准木伐倒后,标记0、1.3 m处的位置,按2 m为一区段分别截取圆盘,厚度约5 cm。圆盘带回实验室,利用Lignostation工作站对圆盘进行打磨、光学扫描、年轮密度测定及校准<sup>[23]</sup>,每个样本测定2个方向。使用COFECHA程序检验交叉定年质量。标准木按照每2年为1个龄级进行树干解析,获得胸径和树

高数据,并利用区分求积法求得材积<sup>[24]</sup>。相关数据处理及图形绘制应用 SPSS 和 Excel 等统计分析软件。

### 3 结果与分析

河南省洛宁县‘中宁奇’、北加州黑核桃和魁核桃试验林的基本生长情况见表1。对3个核桃树种标准木的胸径、树高和材积数据进行平均处理,并计算出平均木的生长率和胸高形数,得到3个树种平均木树干生长过程。

表1 3个核桃树种基本生长情况

树种	树龄/a	去皮胸径/cm	树高/m	枝下高/m	冠幅/m
‘中宁奇’	23	36.68	12.4	2.5	6.68
北加州黑核桃	23	23.95	14.5	2.5	5.25
魁核桃	23	30.08	13.1	2.6	6.42

#### 3.1 胸径生长过程

由胸径(去皮)生长过程(图1)可知:3个树种胸径总生长均呈“S”型曲线,且与树龄呈正相关。3个树种的胸径速生期为第2~8年,第8~16年胸径生长速度变缓,第16年以后生长速度基本平稳。在整个生长过程中,‘中宁奇’胸径总生长量显著高于北加州黑核桃和魁核桃,而北加州黑核桃与魁核

桃总生长量较为接近,第14年以后,魁核桃胸径总生长量逐渐高于北加州黑核桃。23年生时,‘中宁奇’胸径总生长量是其母本北加州黑核桃的1.53倍,是魁核桃的1.22倍。

3个树种的胸径平均生长量为单峰曲线,在第2~8年胸径平均生长量增加幅度大,‘中宁奇’在第8年达到最大值,为2.97 cm,分别是北加州黑核桃和魁核桃的2.22、1.84倍,且‘中宁奇’最大峰值出现的时间比北加州黑核桃和魁核桃分别提前4年和2年。第8年以后,‘中宁奇’平均生长量逐渐降低,至第23年时,‘中宁奇’、北加州黑核桃、魁核桃的平均生长量分别为1.59、1.04、1.31 cm。

3个树种胸径连年生长量呈先增后减的波动式变化,但均在第8年达到最大峰值。‘中宁奇’连年生长量峰值(4.0 cm)明显高于北加州黑核桃(2.12 cm)及魁核桃(2.50 cm),分别是北加州黑核桃和魁核桃的1.89、1.60倍。在第10年左右,3个树种胸径连年生长量曲线与平均生长量曲线相交,此时,‘中宁奇’胸径总生长量为28.54 cm,而北加州黑核桃和魁核桃分别为14.83、16.16 cm。胸径生长过程表明,‘中宁奇’胸径生长明显快于北加州黑核桃和魁核桃,其可作为速生优质硬阔用材树种,具有培育大径材的潜力。

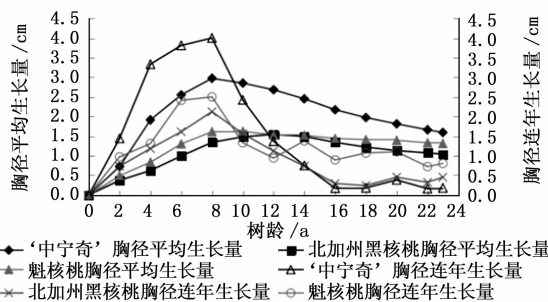
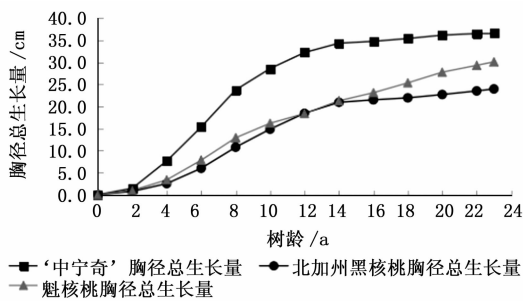


图1 3个树种胸径总生长量、平均生长量及连年生长量曲线

#### 3.2 树高生长过程

由树高总生长曲线(图2)可知:23年生时北加州黑核桃树高总生长量最大,为14.5 m;其次是魁核桃,树高为13.1 m;‘中宁奇’最低,为12.4 m。3个树种树高总生长趋势与胸径总生长趋势相近,‘中宁奇’在第2~6年生长较快,第6年以后树高生长趋于平稳,而北加州黑核桃和魁核桃在第2~8年生长迅速。方差分析表明:3个树种间树高总生长量的差异不显著。

树高平均生长量曲线表明:‘中宁奇’在第6年

达到平均生长量峰值,为0.83 m,比北加州黑核桃和魁核桃提前2年。3个树种在第8年以后平均生长量缓慢平稳下降,到第23年时为0.54~0.63 m。树高连年生长量曲线表明:‘中宁奇’连年生长量曲线较平缓,在第6年达到最大值0.87 m。北加州黑核桃和魁核桃均在第8年达到最大值,分别是1.7、1.1 m。‘中宁奇’和魁核桃平均生长量曲线与连年生长量曲线均在第6~8年左右相交,北加州黑核桃在第10年左右相交。3个树种相比,在第6~14年,北加州黑核桃的连年生长量高于‘中宁奇’和魁

核桃,第14年以后三者较为接近且平稳,连年生长

量保持在0.25~0.45 m。

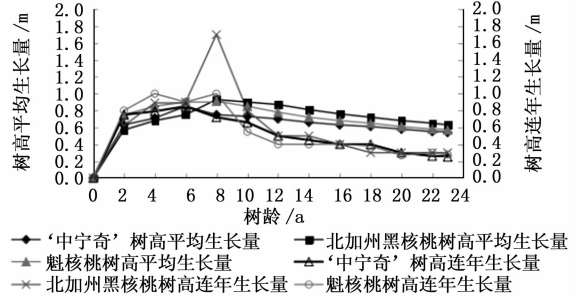
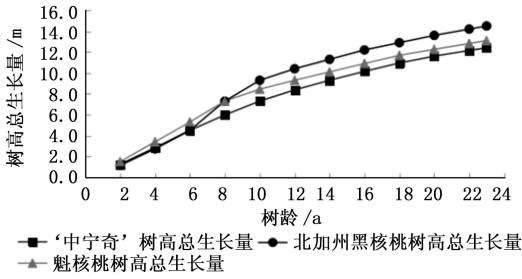


图2 3个树种树高总生长量、平均生长量及连年生长量曲线

### 3.3 材积生长过程

按伐倒木区分求积法计算各龄阶的材积,由材积(去皮)生长曲线(图3)可知:在整个生长过程中材积总生长量和平均生长量均呈平稳增长趋势,其中,‘中宁奇’的材积生长量最大,其次是魁核桃,而北加州黑核桃最小。23年生‘中宁奇’的材积总生长量为 $0.4852\text{ m}^3$ ,分别比魁核桃( $0.3431\text{ m}^3$ )和北加州黑核桃( $0.2746\text{ m}^3$ )增加41.42%、76.69%。3

个树种材积连年生长量波动较大,‘中宁奇’和魁核桃材积连年生长量最高值均出现在第20年,分别为 $0.0349$ 、 $0.0237\text{ m}^3$ ,而北加州黑核桃在第18年达到连年生长量最高值 $0.0281\text{ m}^3$ 。

至第23年时,3个树种的材积连年生长量一直高于平均生长量,曲线均未相交,说明树木还处于材积迅速增长时期,仍未达到数量成熟龄,可见,3个树种的材积生长潜力较大。

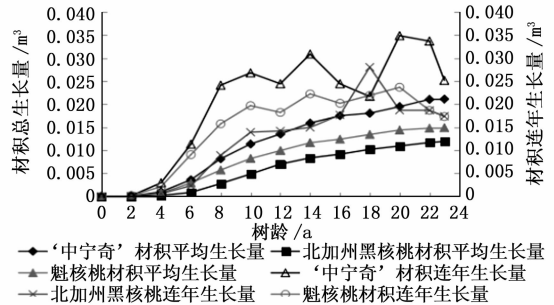
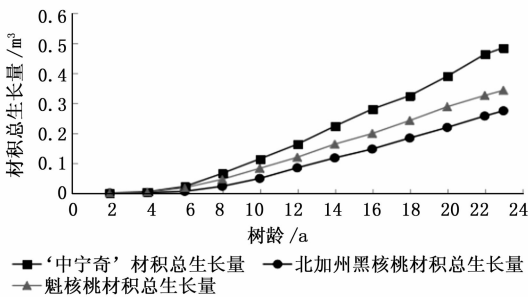


图3 3个树种材积总生长量、平均生长量及连年生长量曲线

### 3.4 生长率及胸高形数

生长率是树木某调查因子的连年生长量与其原有总生长量的百分比,是表明树木相对生长速度的关键因子。从表2可知:3个树种胸径、树高、材积的生长率均呈逐年降低的趋势,且在第2~8年降低幅度较大,第8~14年缓慢降低,第14年以后基本平稳。‘中宁奇’在第2~8年,胸径生长率高于树高生长率,说明胸径对材积生长量的影响较大;而第8年以后,树高生长率高于胸径生长率,说明这一阶段树高生长较旺盛。虽然3个树种间的胸径、树高、材积生长率相当,但‘中宁奇’在生长前期胸径积累量较大,使其胸径总生长量和材积总生长量最大。

‘中宁奇’和北加州黑核桃的胸高形数逐渐降低,至第14年时,分别为0.26、0.30,而第14年以后又缓慢平稳升高。魁核桃在第2~23年随着树龄的增加胸高形数逐渐降低。在第23年时,北加州黑核桃的胸高形数最大,为0.42,而‘中宁奇’和魁核桃为0.37,说明3个树种干形较通直。

### 3.5 生长方程拟合

采用SPSS软件对3个树种的胸径、树高、材积进行回归方程拟合,建立测树因子与树龄间的回归方程<sup>[25]</sup>。根据最优原则,将拟合优度最高、残差平方和最小的模型选为生长预测模型。从表3可知:胸径、树高、材积的拟合优度均在0.987以上,拟合效果较好。

从胸高形数的变化趋势看:在第2~14年,‘中

表2 3个核桃树种胸径、树高、材积生长率及胸高形数

树龄/a	胸径生长率/%			树高生长率/%			材积生长率/%			胸高形数		
	‘中宁奇’	北加州黑核桃	魁核桃	‘中宁奇’	北加州黑核桃	魁核桃	‘中宁奇’	北加州黑核桃	魁核桃	‘中宁奇’	北加州黑核桃	魁核桃
2	200.00	200.00	200.00	85.71	74.70	72.73	200.00	187.34	195.19	0.72	1.16	1.28
4	55.73	61.64	48.83	32.31	39.65	34.48	116.97	128.55	114.80	0.28	0.54	1.00
6	30.05	31.14	36.58	20.86	26.36	18.18	71.10	59.51	69.74	0.26	0.46	0.68
8	17.43	21.82	21.47	11.89	22.22	14.71	45.30	50.03	41.56	0.25	0.38	0.48
10	8.84	11.08	8.58	9.47	8.99	6.70	26.73	33.45	27.22	0.24	0.30	0.47
12	4.36	6.24	5.22	6.15	4.93	4.40	16.25	18.48	16.54	0.24	0.30	0.48
14	2.20	3.55	6.71	4.96	4.52	4.04	14.88	13.63	14.64	0.26	0.30	0.45
16	0.51	1.34	3.93	4.02	3.33	3.74	9.12	12.81	10.71	0.29	0.33	0.44
18	0.52	1.10	4.31	3.72	2.35	3.31	6.90	16.54	9.49	0.30	0.38	0.41
20	1.07	2.00	4.04	2.62	2.23	2.23	9.37	8.92	8.58	0.33	0.40	0.39
22	0.45	1.38	2.50	2.16	2.14	2.37	8.48	7.53	5.90	0.36	0.42	0.38
23	0.49	1.91	2.69	2.04	2.09	2.16	4.68	6.55	5.18	0.37	0.42	0.37

表3 3个核桃树种生长模型的拟合结果

测树因子	树种	拟合方程	R <sup>2</sup>	残差平方和
胸径	‘中宁奇’	$D = 0.003 T^3 - 0.246 T^2 + 6.016 T - 11.061$	0.993	11.142
	北加州黑核桃	$D = -0.002 T^3 + 0.007 T^2 + 1.976 T - 4.399$	0.987	10.362
	魁核桃	$D = -0.050 T^2 + 2.470 T - 4.584$	0.996	3.957
树高	‘中宁奇’	$H = -0.021 T^2 + 0.976 T - 0.612$	1.000	0.041
	北加州黑核桃	$H = -0.017 T^2 + 1.900 T - 1.317$	0.993	1.325
	魁核桃	$H = 0.010 T^3 - 0.049 T^2 + 1.338 T - 0.930$	0.998	0.112
材积	‘中宁奇’	$V = -0.000 04 T^3 + 0.002 T^2 - 0.005 T - 0.002$	0.999	0.000
	北加州黑核桃	$V = -0.000 032 T^3 + 0.002 T^2 - 0.009 T + 0.110$	0.999	0.000
	魁核桃	$V = -0.000 037 T^3 + 0.002 T^2 - 0.006 T + 0.004$	0.999	0.000

## 4 讨论

生长率是反映林木生长相对速率快慢的指标。Hao等<sup>[26]</sup>基于矩阵生长模型对长白山区混交林的生长进行了研究,认为长白山区水曲柳(*Fraxinus mandschurica* Rupr.)、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)、核桃及杨树(*Populus* L.)具有较高的胸径生长率,4个树种可划为一类,且水曲柳>核桃>蒙古栎>杨树。本研究中,‘中宁奇’、北加州黑核桃以及魁核桃3个树种的胸径、树高、材积的生长率均呈逐年降低的趋势,第14年以后基本平稳。3个树种间的胸径、树高、材积生长率相对较一致。从胸高形数看,第23年生时,‘中宁奇’以及母本北加州黑核桃、魁核桃胸高形数为0.37~0.42,与主要乔木树种的平均实验形数(0.40)比较接近<sup>[24]</sup>,表明3个树种干性较通直。

‘中宁奇’、北加州黑核桃和魁核桃3个树种的胸径速生期均在第2~8年。‘中宁奇’胸径总生长量显著高于北加州黑核桃和魁核桃,且在第4~8年间胸径连年增长量为3.35~4.00 cm,这表明‘中

宁奇’具有突出的早期速生性,可用于培育短周期的速生用材林。Lek等<sup>[8]</sup>报道,140年树龄的美国黑核桃胸径可达50~60 cm,树高40 m以上。本研究中,23年生‘中宁奇’胸径为36.68 cm,树高12.40 m。与父本树种核桃相比,23年生时,‘中宁奇’胸径是其父本的1.31倍。核桃楸是核桃属的速生乔木树种,又是东北地区“三大硬阔”树种之一。与同树龄的核桃楸相比,‘中宁奇’胸径是核桃楸的3.28倍<sup>[16,27]</sup>,而与“三大硬阔”树种中的水曲柳<sup>[17,28]</sup>、黄菠萝(*Phellodendron amurense* Rupr.)<sup>[17]</sup>及山杨(*Populus davidiana* Dode.)<sup>[29]</sup>、落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.)<sup>[30]</sup>、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)<sup>[17]</sup>等北方速生丰产树种相比,23年生‘中宁奇’胸径是其2.63~6.32倍。可见,‘中宁奇’胸径生长较快,是培育大径材的优良选择。从树高生长量看,‘中宁奇’树高与水曲柳<sup>[28]</sup>、落叶松<sup>[30]</sup>相近,但低于小黑杨(*Populus × xiaohei* T. S. Hwang et Liang)<sup>[31]</sup>。第23年生时,‘中宁奇’树高是小黑杨的0.72倍<sup>[31]</sup>,是其他北方速生丰产树种的1.01~

2.03倍<sup>[17]</sup>。杜娟等<sup>[32]</sup>研究证明,林分间伐对树木胸径生长影响极大,间伐树木胸径为不间伐的177.4%。因此,从培育优质大径材角度考虑,当‘中宁奇’树体长至第8年左右,即胸径生长高峰期时,对密度较大的区域实施适度间伐有利于改善树体营养空间,使优质木保持更长的生长旺盛期。在第2~8年时还应进行适当的肥水抚育管理,以延长胸径和树高速生期,促进树木胸径、树高持续增长。从培育优质胶合板用材考虑,第10年左右时可达到工艺成熟,此时‘中宁奇’胸径达到28.50 cm。

从材积生长量看,23年生‘中宁奇’、北加州黑核桃和魁核桃3个树种的材积还处于迅速增长期,未达到数量成熟龄,说明材用型核桃的材积生长潜力较大,这与Hrib等<sup>[33]</sup>的研究结果一致。理论上,数量成熟是采伐的理想年龄,所以数量成熟时的生长进程及规律还有待后续深入研究。23年生‘中宁奇’材积总生长量为0.485 2 m<sup>3</sup>,分别是北加州黑核桃、魁核桃的1.77、1.41倍,是核桃和核桃楸的2.07、9.52倍<sup>[16]</sup>。另外,‘中宁奇’材积生长量明显高于同树龄的黑杨、水曲柳等北方速生丰产树种,材积总生长量是其1.75~17.33倍<sup>[28-31]</sup>,所以,‘中宁奇’生长势强健,材积生长潜力较大,可作为速生硬阔造林树种。

## 5 结论

‘中宁奇’是中国林业科学研究院于2011年从北加州黑核桃与核桃的种间杂交种中选育出的速生核桃品种,其胸径和树高速生期为第2~8年,具有突出的早期速生性。23年生‘中宁奇’材积未达到数量成熟,其材积生长量高于母本北加州黑核桃和魁核桃,材积生长潜力较大。因此,杂交核桃品种‘中宁奇’生长较速生,作为良种砧木的同时,可作为优质硬阔用材树种,将为培育高档家具用材发挥重要作用。本研究利用树干解析法对河南省洛宁县23年生‘中宁奇’、北加州黑核桃和魁核桃的生长特性进行比较分析,其分析结果可为该品种的科学营林和优质木材生产提供参考。

## 参考文献:

[1] 奚声柯,王哲理,游应天. 美国核桃、黑核桃引种试验[J]. 林业科学研究,1995,8(3):285-290.  
 [2] 裴东,吴燕民,奚声柯. 美国黑核桃的栽培及在我国的发展前景[J]. 河北林果研究,2000,15(1):95-100.  
 [3] 段新芳,裴东,徐虎智,等. 美国黑核桃与核桃、核桃楸木材材

性的比较研究[J]. 河北农业大学学报,2001,24(1):28-32,45.  
 [4] Ponder F. Soils and nutrition management for Black Walnut [C]// Forest Service-U. S. Department of Agriculture. Proceedings of the 6th Walnut Council research symposium. United Station; North Central Research Station,2004:71-76.  
 [5] 董凤祥,冯月生,裴东. 美国东部黑核桃在我国林业建设中的应用前景、存在问题及对策[J]. 世界林业研究,2000,13(2):52-55.  
 [6] Hemery G E, Clark J R, Aldinger E, et al. Growing scattered broad-leaved tree species in Europe in changing climate: a review of risks and opportunities[J]. Forestry,2010,83:65-81.  
 [7] Lubomir S, Daniel Z, Lubomir T, et al. Black walnut (*Juglans nigra* L.) standing volume in the riparian forests of the Czech Republic [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry,2012,36(5):629-635.  
 [8] Lek L, Hejzmanov P. Comparison of the growth pattern of black walnut (*Juglans nigra* L.) in two riparian forests in the region of South Moravia, Czech Republic [J]. Journal of Forest Science,2011,57(3):107-113.  
 [9] Pedlar J H, Fraleigh S, McKenney D W. Revisiting the work of Fred von Althen-an update on the growth and yield of a mixed hardwood plantation in Southern Ontario [J]. Forestry Chronicle,2007,83(2):175-179.  
 [10] Manning W E. The classification within the Juglandaceae [J]. Annals of the Missouri Botanical Garden,1978,65(4):1058-1087.  
 [11] Mallikarjuna K A, Potter D, Gao F Y, et al. Molecular phylogeny of *Juglans* (Juglandaceae): a biogeographic perspective [J]. Tree Genetics & Genomes,2007,3:363-378.  
 [12] Stanford A M, Harden R, Parks C R. Phylogeny and biogeography of *Juglans* (Juglandaceae) based on matK and ITS sequence data [J]. American Journal of Botany,2000,87(6):872-882.  
 [13] Stone D E, Oh S H, Tripp E A. Natural history, distribution, phylogenetic relationships, and conservation of Central American black walnuts (*Juglans* sect. *Rhysocaryon*) [J]. Journal of the Torrey Botanical Society,2009,136(1):1-25.  
 [14] 裴东,鲁新政. 中国核桃种质资源 [M]. 北京:中国林业出版社,2011.  
 [15] 阿布力米提·买买提明,张俊佩,裴东. 不同类型核桃的光合和蒸腾性能对土壤水分胁迫响应的研究 [J]. 河北农业大学学报,2004,27(4):26-30,70.  
 [16] 柏广新,孙志虎,高波,等. 长白山林区天然次生林胡桃楸的适宜生长空间 [J]. 林业科学,2009,45(12):8-15.  
 [17] 薛佳梦,柴一新,祝宁,等. 哈尔滨城市人工林主要树种生长特征比较 [J]. 东北林业大学学报,2013,41(7):15-18.  
 [18] 赵荣慧,胡承海,何福广,等. 核桃楸生长规律的研究 [J]. 辽宁林业科技,1985(2):15-21.  
 [19] 崔宏安,蔡靖,何玉杰. 美国黑核桃幼树在引种区生长特性研究 [J]. 陕西林业科技,2000(2):27-30.  
 [20] 孟丙南,张俊佩,裴东,等. 不同砧木对核桃光合特性的影响 [J]. 经济林研究,2013,31(2):32-37.  
 [21] 周贝贝. 核桃砧木对树体影响的 DNA 甲基化调控机制研究 [D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.

- [22] Baumgartner K, Fujiyoshi P, Browne G T, *et al.* Evaluating Paradox Walnut Rootstocks for Resistance to Armillaria Root Disease [J]. *HortScience*, 2013, 48(1): 68 - 72
- [23] 侯迎, 王乃昂, 张学敏, 等. 高频光密度测量法在崆峒山树轮年表建立中的应用[J]. *干旱区地理*, 2010, 33(2): 236 - 242.
- [24] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [25] 张雄清, 雷渊才. 基于定期调查数据的全林分年生长预测模型研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(4): 69 - 74.
- [26] Hao Q Y, Meng F R, Zhou Y P, *et al.* A transition matrix growth model for uneven-aged mixed-species forests in the Changbai Mountains, northeastern China [J]. *New Forests*, 2005, 29: 221 - 231.
- [27] 夏德安, 许忠志, 侯丹, 等. 胡桃楸种源遗传变异规律的研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(31): 10956 - 10958.
- [28] 荆涛, 张林玉. 水曲柳的生长规律[J]. *内蒙古农业大学学报*, 2004, 25(1): 36 - 39.
- [29] 毕可姣. 河北省木兰林管局山杨天然次生林生长规律研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(20): 10462 - 10464.
- [30] 杨立文, 杨晓民, 王淑英. 哈思山落叶松人工林生长特性研究[J]. *防护林科技*, 2004(5): 6 - 7, 10.
- [31] 张群, 范少辉, 刘广路, 等. 华北沙地不同密度小黑杨林生长特征[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(2): 288 - 292.
- [32] 杜娟, 卢昌泰. 楠木人工林生长规律的研究[J]. *浙江林业科技*, 2009, 29(5): 9 - 12.
- [33] Hrib M, Kneifl M, Kadavy J. Growth of black walnut (*Juglans nigra* L.) in the floodplain forests of the Zidlochovice Forest Enterprise [J]. *Ekologia Bratislava*, 2003, 22(2): 162 - 176.

(责任编辑:徐玉秀)