

## 66个薄壳山核桃实生单株果实性状变异选择研究

李永荣<sup>1</sup>, 李晓储<sup>1,2\*</sup>, 吴文龙<sup>3</sup>, 翟敏<sup>1</sup>, 郭忠仁<sup>3</sup>

(1. 南京绿宙薄壳山核桃科技有限公司, 江苏 南京 210014; 2. 江苏省中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014;  
3. 江苏省农委老科技工作者协会, 江苏 南京 210036)

**摘要:**对南京地区20世纪50—60年代引种的66个薄壳山核桃实生单株果实性状测定表明:单株间单果质量、出仁率、含油率、果型指数、果壳厚度、果横径、果宽度、果纵径性状均有显著差异,具有明显选择改良潜力;果型指数与单果质量、出仁率、含油率、果壳厚性状间无相互制约关系,可按果型指数分类、选择。经果型指数性状分类进行综合坐标法评选,从11个大果型指数类群中选出4个优良单株,其果型指数、单果质量分别比对照群体均值增加11.90%~17.26%、2.81%~21.84%,果壳厚度除Ⅱ东27外,多数小1.96%~13.73%,单果出仁量增加8.01%~24.33%,单果含油量增加6.14%~31.14%;比江苏省地方优良品种钟山25号果型指数大39.26%~45.93%,单果质量一般增加7.39%~17.80%(Ⅵ西19与对照2相近),出仁率增加8.56%~15.44%,果壳厚度小0.97%~14.56%,平均单果出仁量增加8.01%~24.33%,单果含油量增加6.14%~31.14%。从44个中果型指数类群中选出9个优良单株,除个别单株外,其单果质量、出仁率多数分别比对照群体均值增加12.95%~25.43%、2.51%~7.68%,果壳厚度小4.90%~14.71%,含油率一般增加1.56%~6.35%,平均单果出仁量增加8.01%~26.71%,单果含油量增加15.35%~33.77%;比钟山25号单果质量一般增加12.36%~24.27%,果型指数大11.85%~37.77%,果壳厚度多数小5.83%~15.53%,出仁率增加4.17%~14.36%,除个别单株外,含油率多数相近,平均单果出仁量增加10.98%~30.18%,单果含油量增加15.35%~33.77%。从11个小果型指数类群中选出3个优良单株,其含油率与对照群体均值相近或略高,除个别单株外,单果质量、出仁率分别增加17.32%~24.96%、1.10%~29.30%(个别单株除外),果型指数小11.33%~17.86%,平均单果出仁量增加10.68%~26.11%,单果含油量增加6.14%~33.33%;比钟山25号品种果型指数大2.22%~10.37%,果壳厚度多数小0.97%~6.80%,单果质量一般增加13.42%~20.81%,出仁率增加5.14%~37.33%,平均单果出仁量、单果含油量分别增加13.72%~29.57%、6.14%~33.33%。选出的优良单株可供嫁接扩繁与无性系测定及品种选育应用。

**关键词:**薄壳山核桃;实生单株;果实性状;性状变异;选择改良

中图分类号:S759.3

文献标识码:A

### Study on Nut Characteristics Variation and Superior Tree Selection of *Carya illinoensis*

LI Yong-rong<sup>1</sup>, LI Xiao-chu<sup>1,2\*</sup>, WU Wen-long<sup>3</sup>, ZHAI Min<sup>1</sup>, GUO Zhong-ren<sup>3</sup>

(1. Nanjing Green Universe Pecan Science & Technology Co. Ltd, Nanjing 210014, Jiangsu, China; 2. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu, China; 3. Senior Scientists and Technicians Association in Agriculture Committee of Jiangsu Province, Nanjing 210036, Jiangsu, China)

**Abstract:** In this study, the nut characteristics of sixty-six *Carya illinoensis* seedlings introduced to Nanjing in the 1950s were investigated. All traits of these varieties, including the fruit weight, kernel rate, oil yield, fruit shape

收稿日期:2012-08-16

基金项目:江苏省林业三项工程项目“薄壳山核桃优良新品种选育与示范推广”(JSX(2009)01)

作者简介:李永荣(1938—),男,江苏靖江人,高级工程师,主要从事园林植物资源开发研究。E-mail:LL194288@yahoo.com.cn

\* 通讯作者:江苏省林业科学研究院研究员,现为江苏省农委老科协常务理事,南京绿宙薄壳山核桃科技有限公司科技顾问。E-mail: xiaochuli@yeah.net

index, nutshell thickness, fruits' transect diameter, fruit width and fruit longitude diameter, showed significant differences and great potential of genetic improvement. There was no relationship among the fruit shape index, fruit weight, kernel rate, oil yield and nutshell thickness of the sixty-six *C. illinoensis* seedlings. The pecan can be classified and selected based on the fruit index. According to the fruit index classification by standard deviation, four excellent individuals were selected from eleven big fruit index groups by general coordinate evaluation method. The fruit index and fruit weight of four excellent individual increased by 11.90% - 17.26% and 2.81% - 21.84% compared with the control group, the nutshell thickness decreased by 1.96% - 13.73% except one, the fruit kernel increased by 8.01% - 24.33%, and the oil content increased by 6.14% - 31.14%. Compared with Jiangsu's native good variety Zhongshan 25, the fruit index increased by 39.26% - 45.93%, the fruit weight increased by 7.39% - 17.80% (VI westig is similar with control group), the kernel rate increased by 8.56% - 15.44%, the nutshell thickness decreased by 0.97% - 14.56%, the average fruit kernel increased by 8.01% - 24.33%, and the oil content increased by 6.14% - 31.14%. Nine excellent individuals were selected from forty-four middle fruit index groups by general coordinate evaluation method. Generally, their fruit weight and oil yield increased by 12.95% - 25.43%, 2.51% - 7.68% compared with that of the control group, the nutshell thickness decreased by 4.90% - 14.71%, the kernel rate increased by 1.56% - 6.35%, the average fruit kernel increased by 8.01% - 26.71%, and the oil content increased by 6.14% - 31.14%. Compared with Zhongshan 25, the fruit weight increased by 12.36% - 24.72%, the fruit index increased by 11.85% - 37.77%, the nutshell thickness decreased by 5.83% - 15.53%, the kernel rate increased by 4.17% - 14.36%, while the oil content remained the similar. The average fruit kernel increased by 10.98% - 30.18%, and the oil content increased by 15.35% - 33.77%. Three excellent individual were selected from eleven small fruit index groups by general coordinate evaluation method. The oil yield was similar or slightly higher compared with the control group, the fruit weight and kernel rate increased by 17.32% - 24.96% and 1.10% - 29.30% (except some individuals), the fruit index decreased by 11.33% - 17.86%, the average fruit kernel increased by 10.68% - 26.11%, and the oil content increased by 6.14% - 33.33%. Compared with Zhongshan 25, the fruit index increased by 2.22% - 10.37%, the nutshell thickness decreased by 0.97% - 6.80%, the fruit weight increased by 13.42% - 20.81%, the kernel rate increased by 5.14% - 37.33%, and the oil content and average fruit kernel increased by 13.72% - 29.57% and 6.14% - 33.33%. The selected excellent individuals can be used in the grafting propagation, clone test and variety breeding.

**Key words:** *Carya illinoensis*; seedlings; fruit character; character variation; selection for improvement

薄壳山核桃 (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) 又名美国山核桃、长山核桃, 属胡桃科 (Juglandaceae) 山核桃属 (*Carya* Nutt.) 植物, 原产美国和墨西哥北部, 是世界著名的干果类树种。因其果仁色美味香, 无涩味, 富含对人体健康有益的油脂、蛋白质、各种氨基酸、维生素、微量元素等营养成分, 深受人们喜爱。又因树体高大, 树形优美, 生命周期长, 适应性强, 材质优良, 具有重要的生态、经济价值<sup>[1-2]</sup>。我国自 1900 年引种薄壳山核桃以来, 至今已逾百年历史。过去研究主要侧重于种质引进与引种栽培技术, 并因品种选择滞后和嫁接扩繁等技术原因, 至今未形成产业化; 而系统研究薄壳山核桃果实性状遗传变异及选择改良的报道也较少<sup>[3-7]</sup>。

树种群体的性状变异是林木遗传改良和选择育种的基础<sup>[8]</sup>。应用林木选择育种理论和手段, 通过数量性状遗传变异研究, 选择培育优良品种至今仍具有重要的作用<sup>[8-10]</sup>。为了发掘我国引种的薄壳山核桃种质资源, 2008 年至 2010 年, 作者对近 10 a 来收集观测的 20 世纪 50—60 年代引种的薄壳山核桃实生单株开展了果实性状变异测定及选择改良研究, 旨在利用我国在南京地区最早引种的实生单株群体产生的果实性状变异选择优良单株, 选育优新品系, 促进薄壳山核桃特用经济林发展。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试材料

供试材料主要来自我国最早引进薄壳山核桃的

江苏省南京市区(南京中山植物园、中山陵、雨花台景区等地)栽植的实生单株,多为20世纪50—60年代教学、科研人员由北美地区直接引种的实生子代,计307个单株。2008年至2010年连续采种3 a,采种时树龄为55~57 a、60~62 a。

采种地(江苏省南京市)地处 $31^{\circ}14' \sim 32^{\circ}36' N$ ,纬度与薄壳山核桃原产地分布区相近<sup>[3]</sup>。气候为北亚热带季风湿润型气候,年均气温 $16^{\circ}C$ ,极端最高气温 $42.16^{\circ}C$ ,极端最低气温 $-13^{\circ}C$ ,年均降水量 $1106\text{ mm}$ ,年均日照时数 $1686\text{ h}$ ,年无霜期 $237\text{ d}$ ,是我国薄壳山核桃引种的I类栽培区<sup>[1-2,10]</sup>。

## 1.2 性状测定

每个实生单株在树冠南向中上部采果30个,测定单果质量( $x_1$ )、出仁率( $x_2$ )、含油率( $x_3$ )、果型指数( $x_4$ )、果壳厚度( $x_5$ )、果横径( $x_6$ )、果宽度( $x_7$ )、果纵径( $x_8$ )8个果实性状,取其均值统计分析。测定方法按文献[4]进行。重复3个年度。

## 1.3 选择程序与统计分析

首先对307个实生单株进行初选。将出仁率( $x_2$ )和含油率( $x_3$ )性状均高于307个单株群体平均值(分别高于43.10%和56.16%)的66个实生单株选出,组成供试单株群体;然后对选出的66个实生单株群体进行主要果实性状方差分析,性状差异按随机模型分析<sup>[11-13]</sup>。线性模型为 $x_{ij} = \mu + a_i + b_j + e_i$ ( $i$ 为单株, $i = 1, 2, 3, \dots, 66$ ;  $j$ 为年度, $j = 1, 2, 3$ ),方差结构见表1。

表1 随机模型方差

变因	方差	方差模型
单株( $a$ )	$MS_a$	$\sigma_e^2 + b\sigma_i^2$
年度( $b$ )	$MS_b$	$\sigma_e^2 + a\sigma_j^2$
误差( $e$ )	$MS_e$	$\sigma_e^2$

按表1模型计算性状差异的 $F$ 值、广义遗传力( $h^2$ )、性状遗传方差( $\sigma_g^2$ )、遗传变异系数( $CV_g$ )等遗传参数<sup>[12]</sup>。 $h^2 = 1 - 1/F$ ;  $\sigma_g^2 = \sigma_p^2 - \sigma_j^2 - \sigma_e^2$  ( $\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_j^2 + \sigma_e^2$ ),  $\sigma_g^2(\%) = \sigma_g^2/\sigma_p^2$ ;  $CV_g = \sigma_g^2/\bar{\mu}$

式中: $\sigma_p^2$ 为表型方差, $\sigma_j^2$ 为年度方差, $\sigma_e^2$ 为环境方差, $\sigma_g^2(\%)$ 为遗传方差分量。

根据果型指数与其它果实性状的相关性,用标准差法,按果型指数 $\geq \bar{\mu} + 1.06$ (标准差)和 $\leq \bar{\mu} - 1.6$ (标准差)划分大果型指数类群和小果型指数类

群,其余的为中果型指数类群,供进一步评选。

根据划分出的大、中、小3类果型指数类群,分类进行果实综合性状评选。用综合坐标评定法,按

$P_i = \sqrt{\sum_j W_j (1 - a_{ij})^2}$ 式排序选择( $a_{ij} = x_{ij}/x_{j\max}$ ,  $x_{j\max}$ 为供试各果型类群 $j$ 性状的最大值)。  $P_i$ 值逾小愈优<sup>[10]</sup>。式中: $i$ 为各类果型指数类群的单株, $j$ 为性状, $P_i$ 为供试各类单株的综合坐标值; $W_j$ 为 $j$ 性状的权重。

选择单果质量( $x_1$ )、出仁率( $x_2$ )、含油率( $x_3$ )、果型指数( $x_4$ )、果壳厚度( $x_5$ )5个主要果实性状,分别对选出的大、中、小果型指数类群给予性状权重。大果型指数类群: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 分别取0.20、0.30、0.30、0.10、0.10,侧重全面改良。中果型指数类群: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 分别取0.20、0.25、0.30、0.05、0.15,侧重改良 $x_3$ 和 $x_5$ 。小果型指数类群: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 分别取0.20、0.35、0.30、0.10、0.05,侧重改良 $x_2, x_3$ 。

## 1.4 选择效果估算

用供试66个实生单株果实性状 $x_1 \sim x_5$ 的均值 $\bar{\mu}$ 为对照1,分别对从大、中、小果型指数类群中选出的单株进行选择效果估算。按相对选择差 $(x_{ij} - \bar{\mu}_i)/\bar{\mu}$ 式计算选择增益,并以江苏省地方推广用品种——钟山25号<sup>[10,13]</sup>为对照2,计算相对增益,评价改良效果。同时选用单果出仁量( $x_1, x_2$ )(g)和单果含油量( $x_1, x_2, x_3$ )(g)2个间接经济指标,进一步评估选择的综合效果。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实性状的变异

表2结果表明:供试66个薄壳山核桃实生单株的8个果实性状均有极显著的差异,性状变幅大,性状遗传力( $h^2$ )高,遗传方差分量( $\sigma_g^2(\%)$ )大,统计置信度达99%;而年度间除含油率性状外,均无明显差异。由此可见,供试实生单株群体的果实性状选择具有明显改良潜力。

由表中结果( $CV_g$ )还可看出:实生单株的果实性状变异:出仁率( $x_2$ ) > 单果质量( $x_1$ ) > 含油率( $x_3$ ) > 果型指数( $x_4$ );果横径( $x_6$ ) > 果纵径( $x_8$ ) > 果宽度( $x_7$ ) > 果壳厚度( $x_5$ )。说明测定的果型指数性状与果壳厚度性状的变异相对较小。

表 2 66 个薄壳山核桃实生单株主要果实性状的变异

果实性状	性状变幅	均值	方差分析 F 值		h <sup>2</sup>	σ <sub>g</sub> <sup>2</sup> /%	CV <sub>g</sub> /%
			单株间	年度			
单果质量(x <sub>1</sub> )/g	3.53 ~ 8.53	6.41	21.957 0 **	1.940 0 ns	0.954 5	85.32	22.00
出仁率(x <sub>2</sub> )/%	43.29 ~ 71.18	52.50	20.041 0 **	1.680 0 ns	0.950 1	84.56	35.17
含油率(x <sub>3</sub> )/%	56.27 ~ 74.44	67.84	7.945 0 **	3.303 0 *	0.874 1	67.06	16.63
果型指数(x <sub>4</sub> )	1.35 ~ 2.09	1.68	35.255 0 **	0.349 0	0.971 6	52.53	2.04
果壳厚度(x <sub>5</sub> )/mm	0.73 ~ 1.21	1.02	39.000 0 **	0.360 0	0.974 4	45.36	0.81
果横径(x <sub>6</sub> )/mm	25.52 ~ 48.39	35.94	57.803 0 **	0.621 0 ns	0.982 7	94.23	49.38
果宽度(x <sub>7</sub> )/mm	16.65 ~ 26.54	21.50	54.211 0 **	0.189 0 ns	0.981 6	94.49	24.92
果纵径(x <sub>8</sub> )/mm	15.18 ~ 26.25	20.96	39.000 0 **	0.105 0 ns	0.974 4	92.71	25.25

注:F 单株临界值为 F<sub>0.01</sub> = 1.384 0, F<sub>0.05</sub> = 1.374 0; F 年度临界值为 F<sub>0.01</sub> = 4.760 0, F<sub>0.05</sub> = 3.063 0; F > F<sub>0.01</sub>, F > F<sub>0.05</sub> 分别用 \* 和 \* 表示。ns 表示差异不显著。

2.2 果实性状的相关

从表 3 分析看出:薄壳山核桃实生单株的果型指数性状与单果质量、出仁率、含油率性状均无明显制约关系,且 4 个果实性状间也无明显的相互制约关系。其结果与作者 2011 年对 21 个薄壳山核桃引

进品种果实性状的相关分析相同<sup>[3]</sup>。由此说明,单一果实性状选择改良一般不会引起其它性状的明显改变,为按果型指数大小划分类群,分类综合评选确定性状权重系数提供了科学依据。

表 3 果型指数与单果质量等 3 个果实性状相关分析

果实性状	果型指数(x <sub>4</sub> )	单果质量(x <sub>1</sub> )	出仁率(x <sub>2</sub> )	含油率(x <sub>3</sub> )
果型指数(x <sub>4</sub> )	1			
单果质量(x <sub>1</sub> )	0.124 0	1		
出仁率(x <sub>2</sub> )	0.042 3	-0.183 0	1	
含油率(x <sub>3</sub> )	-0.131 4	-0.192 2	-0.006 3	1

注:R 临界值为 R<sub>0.01</sub> = 0.315 8, R<sub>0.05</sub> = 0.242 8。

同时,从表 4 中还可看出:果型指数性状与果纵径、果宽度、果横径等 4 个果实性状大多有显著相关关系。除果型指数与果壳厚度相关系数为 -0.105 4 外,与其它性状相关系数绝对值均大于

0.600 0,其中,果型指数与果纵径呈极显著正相关,与果宽度和果横径均为极显著负相关(表 4)。因此,可按果型指数大小划分类群,选择偏长果型和偏圆果型的优良单株。

表 4 果型指数与果纵径等 4 个果实性状相关分析

果实性状	果型指数(x <sub>4</sub> )	果壳厚度(x <sub>5</sub> )	果纵径(x <sub>8</sub> )	果宽度(x <sub>7</sub> )	果横径(x <sub>6</sub> )
果型指数(x <sub>4</sub> )	1				
果壳厚度(x <sub>5</sub> )	-0.105 4	1			
果纵径(x <sub>8</sub> )	0.607 3 **	-0.004 3	1		
果宽度(x <sub>7</sub> )	-0.632 1 **	0.137 2	0.216 3	1	
果横径(x <sub>6</sub> )	-0.658 4 **	0.145 1	0.181 2	0.974 0 **	1

注:R 临界值为 R<sub>0.01</sub> = 0.315 8, R<sub>0.05</sub> = 0.242 8。\* \* 表示 |R| > R<sub>0.01</sub>。

2.3 果型分类选择

根据薄壳山核桃实生单株果实性状相关分析结果,将果型指数 ≥ μ̄ + 1.6 的单株划分为大果型指数类群, ≤ μ̄ - 1.6 的单株划分为小果型指数类群, μ̄ - 1.6 < 果型指数 < μ̄ + 1.6 的单株归于中果型指数类群。共划分出大果型指数单株 11 个,中果型指数单株 44 个,小果型指数单株 11 个(表 5 ~ 7);然后,

分类对大、中、小果型指数类群进行综合坐标法评选,计算各类群单株的 P<sub>i</sub> 值。分类群按 P<sub>i</sub> 值愈小愈优排序。结果从大果型指数类群中选出 4 个果实综合性状优良的单株:Ⅱ东 27、Ⅳ东 18、Ⅲ南 17、Ⅵ西 19(表 5);从中果型指数类群中选出 9 个果实综合性状优良的单株:Ⅳ东 17、Ⅲ北 55、Ⅳ东 16、Ⅱ东 20、Ⅳ东 3、Ⅲ北 5、Ⅲ南 54、Ⅴ西 9、Ⅲ南 35(表 6);

从小果型指数类群选出3个果实综合性状较优的单株:Ⅲ北5-1、Ⅲ南14、Ⅵ2(表7)。上述优良单株中选率分别占大、中、小果型指数类群的36.4%、20.5%和27.3%。

表5 大果型指数类群果实性状测定

单株编号	果实性状								综合性状评选	
	单果质量 ( $x_1$ )/g	出仁率 ( $x_2$ )/%	含油率 ( $x_3$ )/%	果型指数 ( $x_4$ )	果壳厚度 ( $x_5$ )/mm	果横径 ( $x_6$ )/mm	果宽度 ( $x_7$ )/mm	果纵径 ( $x_8$ )/mm	$P_1$ 值	排序
★Ⅱ东27	7.81	53.66	71.40	1.97	1.02	39.84	21.58	21.17	0.086 833	1
★Ⅳ东18	7.63	49.59	66.57	1.88	0.88	38.60	23.92	23.49	0.115 168	2
★Ⅲ南17	7.12	53.85	63.00	1.88	0.95	40.42	21.68	21.41	0.118 237	3
★Ⅵ西19	6.59	55.20	71.36	1.89	1.00	35.85	19.50	19.31	0.127 432	4
Ⅲ南45	6.36	55.51	65.22	1.93	0.95	33.98	24.70	24.22	0.133 312	5
Ⅱ东8	7.13	49.79	67.46	2.09	1.11	39.09	20.32	19.37	0.143 314	6
Ⅲ南10	6.73	52.65	65.79	1.98	1.18	31.89	21.60	21.06	0.144 132	7
Ⅱ东17	7.71	48.07	65.96	2.07	1.12	37.34	18.39	17.62	0.144 938	8
Ⅰ西4	6.92	49.19	68.32	1.94	1.09	33.79	24.09	23.70	0.156 477	9
Ⅱ西9	6.33	50.92	69.71	1.87	1.08	37.09	19.98	19.75	0.167 356	10
西5	3.83	54.50	65.77	1.93	0.73	33.40	17.52	17.06	0.238 627	11
权重系数	0.20	0.30	0.30	0.10	0.10					

注:大果型指数单株为果型指数 $\geq \bar{\mu} + 1.6$ ,即 $\geq 1.87(1.68 + 0.19)$ 的单株;★为选出的优良单株,表6、7同。

## 2.4 果实性状选择效果

**2.4.1 大果型指数单株选择效果** 从表8看出:选出的薄壳山核桃优良单株主要改良了单果质量( $x_1$ )、果型指数( $x_4$ )性状,其次为果壳厚度( $x_5$ )性状。与对照1(群体均值)相比,单果质量( $x_1$ )、果型指数( $x_4$ )选择增益分别为2.81%~21.84%、11.90%~17.26%。果壳厚度( $x_5$ )除Ⅱ东27单株与对照1相近外,其它单株比对照1小1.96%~13.73%。与现行推广用品种钟山25号<sup>[13]</sup>(对照2)相比,选出的优良单株果型指数( $x_4$ )大39.26%~45.93%,果壳厚度( $x_5$ )小0.97%~14.56%,单果质量( $x_1$ )增加7.39%~17.80%(Ⅵ西19与对照2相近)。出仁率( $x_2$ )增加8.56%~15.44%,含油率( $x_3$ )与对照2相近,仅Ⅲ南17低9.50%。其中,多数性状均优于对照2的是Ⅱ东27单株(表8)。

**2.4.2 中果型指数单株选择效果** 由表8看出:选出的9个优良单株与对照1(群体均值)相比,果实性状均得到明显改良,其中以单果质量( $x_1$ )、果壳厚度( $x_5$ )、含油率( $x_3$ )性状改良较为突出。单果质量( $x_1$ )选择增益为12.95%~25.43%(个别单株与对照1相近),果壳厚度( $x_5$ )选择增益一般为-4.90%~-14.71%(负值为比对照1低,值愈小愈优;Ⅵ东17除外,Ⅲ南35、Ⅳ东16与对照1相近)。出仁率( $x_2$ )除个别单株与对照1相近,多数增加2.51%~7.68%。含油率( $x_3$ )绝大多数略高于对照1,选择增益1.56%~6.35%。与对照2(钟山25号)相比,

选出的优良单株单果质量( $x_1$ )增加12.36%~24.27%(Ⅴ西9除外),出仁率( $x_2$ )增加4.17%~14.36%,含油率( $x_3$ )相近(Ⅳ东3除外),果型指数( $x_4$ )大11.85%~37.77%。果壳厚度( $x_5$ )除Ⅵ东17较厚外,个别单株厚度相近外,多数小5.83%~15.53%。其中,各个性状优于对照2的单株有Ⅲ北55、Ⅱ东20、Ⅲ北5、Ⅲ南54和Ⅴ西9。

**2.4.3 小果型指数单株选择效果** 从表8结果还看出:选出3个优良单株的果型指数( $x_4$ )均显著低于对照1(群体均值),选择增益为-11.31%~-17.86%。其中,Ⅲ北5-1单株各个性状均优于对照1;与对照1相比,其果型指数( $x_4$ )小11.31%,果壳厚度( $x_5$ )小5.88%,单果质量( $x_1$ )增加24.96%,含油率( $x_3$ )提高5.38%,出仁率( $x_2$ )高1.10%。与对照2(钟山25号)相比,选出的优良单株果型指数( $x_4$ )大2.22%~10.37%,含油率( $x_3$ )相近,出仁率( $x_2$ )增加5.14%~37.33%,果壳厚度( $x_5$ )小0.97%~6.80%(Ⅲ南14除外);Ⅲ北5-1和Ⅵ2 2个单株单果质量( $x_1$ )增加13.42%~20.81%,而Ⅲ南14则较对照2低17.04%。其中,最优者仍是Ⅲ北5-1单株(表8)。

## 2.5 果实性状选择综合效果

表9结果看出:选出的各类薄壳山核桃优良单株的单果出仁量、单果含油量均明显高于对照。大果型指数优良单株:单果出仁量比对照1(群体均值)增加8.01%~24.33%,比对照2(钟山25号)增

表6 中果型指数类群果实性状测定

单株编号	果实性状								综合性状评选	
	单果质量 ( $x_1$ )/g	出仁率 ( $x_2$ )/%	含油率 ( $x_3$ )/%	果型指数 ( $x_4$ )	果壳厚度 ( $x_5$ )/mm	果横径 ( $x_6$ )/mm	果宽度 ( $x_7$ )/mm	果纵径 ( $x_8$ )/mm	$P_i$ 值	排序
★IV东17	7.64	54.28	72.09	1.86	1.20	37.13	20.04	19.54	0.149 028	1
★III北55	7.80	54.21	70.17	1.63	0.92	38.26	23.64	23.22	0.164 274	2
★IV东16	7.24	54.74	68.92	1.64	1.03	39.81	24.41	24.30	0.166 224	3
★II东20	7.34	53.82	71.26	1.64	0.96	37.95	23.52	22.81	0.170 360	4
★IV东3	7.62	55.13	63.68	1.78	0.93	41.26	23.71	22.80	0.171 171	5
★III北5	8.04	53.06	71.47	1.51	0.96	37.84	25.40	24.68	0.172 703	6
★III南54	7.26	52.12	71.82	1.86	0.97	36.80	20.19	19.37	0.178 547	7
★V西9	6.44	56.53	72.17	1.68	0.87	36.29	22.45	22.04	0.179 419	8
★III南35	7.53	51.49	68.99	1.71	1.05	40.21	23.61	23.35	0.181 193	9
III北52	6.67	55.30	66.37	1.58	1.05	37.35	22.45	22.11	0.184 055	10
III北41	6.86	53.64	68.45	1.67	0.96	37.09	22.04	21.25	0.185 049	11
II东21	7.8	50.20	66.66	1.86	1.06	36.00	21.83	21.38	0.189 546	12
IV东5	6.56	52.86	72.37	1.66	1.06	33.32	20.23	20.02	0.190 321	13
III北12	6.62	55.14	65.10	1.62	0.98	36.85	23.79	22.97	0.190 375	14
II东7	6.54	52.63	72.21	1.72	1.07	35.95	21.28	20.64	0.190 575	15
IV东11	6.35	55.32	65.35	1.78	0.88	37.00	20.87	20.51	0.197 268	16
II东4	7.23	49.94	69.72	1.62	1.15	37.42	23.42	22.84	0.197 615	17
博东5	5.81	57.63	71.45	1.50	0.94	29.81	19.98	19.65	0.200 196	18
II东32	6.88	43.29	66.39	1.65	1.21	39.86	24.19	23.23	0.257 337	19
II西2	6.45	51.16	71.55	1.52	1.06	36.27	22.63	22.06	0.210 871	20
III南23	6.37	51.40	66.24	1.68	1.08	35.46	24.85	24.16	0.212 605	21
西13	5.78	54.44	64.95	1.85	1.07	37.09	20.95	19.84	0.213 812	22
VI13	5.97	54.10	62.60	1.86	1.04	37.62	19.73	19.23	0.216 227	23
II东9	6.40	51.14	64.98	1.71	1.03	30.70	18.36	17.78	0.216 754	24
IV东2	6.24	51.31	67.57	1.79	0.91	38.07	20.51	19.72	0.218 051	25
II东28	6.70	47.87	71.04	1.78	1.16	34.05	22.63	22.06	0.218 482	26
II西4	6.70	48.80	68.56	1.63	1.09	34.48	23.64	23.34	0.218 945	27
III南56	7.22	46.16	68.58	1.83	1.08	39.21	21.66	21.17	0.224 651	28
II东26	4.35	71.18	69.86	1.84	0.99	28.43	15.65	15.18	0.225 523	29
V西15	5.39	53.55	70.61	1.77	1.02	32.88	18.61	18.45	0.225 703	30
III北6	6.39	48.91	65.38	1.74	1.06	34.31	20.22	19.23	0.229 380	31
VII4-1	5.61	51.12	72.98	1.68	1.04	36.26	21.81	21.26	0.231 233	32
博东14	5.18	54.19	69.58	1.67	1.08	34.72	21.13	20.37	0.232 146	33
III南24	7.95	49.08	56.27	1.72	1.04	46.02	22.36	21.73	0.232 914	34
III南4	7.17	46.55	61.78	1.63	1.15	39.96	23.63	22.90	0.239 914	35
II东14	4.72	53.68	70.19	1.75	1.09	37.56	21.74	21.13	0.251 007	36
II东23	8.53	47.72	65.19	1.68	1.10	36.38	22.43	21.76	0.210 230	37
V西18	4.76	51.20	72.25	1.60	1.06	31.29	19.67	19.46	0.264 368	38
II东17	5.48	45.44	72.52	1.76	1.10	32.52	18.63	18.38	0.268 996	39
II东19	4.50	51.11	69.15	1.70	0.95	30.70	18.36	17.78	0.277 863	40
II西20	3.61	60.31	66.57	1.53	0.97	25.52	16.89	16.41	0.288 938	41
西22	4.13	49.97	68.79	1.59	1.02	29.02	18.42	17.97	0.299 387	42
西18	4.66	44.73	74.44	1.70	1.16	31.77	18.93	18.54	0.300 829	43
草坪	3.53	50.65	69.74	1.53	1.07	26.71	17.55	17.34	0.321 194	44
权重系数	0.20	0.35	0.30	0.10	0.05					

表7 小果型指数类群果实性状测定

单株编号	果实性状								综合性状评选	
	单果质量 ( $x_1$ )/g	出仁率 ( $x_2$ )/%	含油率 ( $x_3$ )/%	果型指数 ( $x_4$ )	果壳厚度 ( $x_5$ )/mm	果横径 ( $x_6$ )/mm	果宽度 ( $x_7$ )/mm	果纵径 ( $x_8$ )/mm	$P_i$ 值	排序
★Ⅲ北 5-1	8.01	53.08	71.51	1.49	0.96	35.94	25.40	24.68	0.069 751	1
★Ⅲ南 14	5.50	67.88	64.89	1.41	1.13	37.17	26.64	26.25	0.073 804	2
★Ⅵ2	7.52	51.97	66.64	1.38	1.02	36.43	26.54	26.25	0.118 318	3
Ⅳ东 14	6.72	54.22	61.53	1.47	0.93	35.86	20.41	19.92	0.127 339	4
Ⅲ南 48	7.86	49.37	64.65	1.40	1.09	36.95	26.50	26.18	0.129 464	5
Ⅲ南 8	6.83	50.80	68.93	1.39	1.02	38.60	20.13	19.61	0.135 016	6
Ⅱ东 1	6.09	53.77	67.03	1.41	1.04	37.48	21.35	20.65	0.148 439	7
Ⅲ南 15	6.53	49.24	64.10	1.45	1.05	40.31	20.85	19.90	0.163 551	8
Ⅱ西 23	5.59	50.67	65.02	1.48	1.03	29.18	19.83	19.61	0.183 608	9
Ⅱ东 30	4.27	51.27	70.88	1.40	0.88	27.45	19.94	19.39	0.225 154	10
N802	3.80	50.97	62.00	1.42	0.85	26.36	19.15	18.20	0.258 791	11
权重系数	0.20	0.30	0.30	0.10	0.10					

注:小果型指数单株为果型指数 $\leq \bar{\mu} - 1.6$ ,即 $1.49 \leq (1.68 - 0.19)$ 的单株。

表8 各类实生单株果实性状选择效果

类型	单株 编号	果实性状					综合性状评选									
		单果质量 ( $x_1$ )/g	出仁率 ( $x_2$ )/%	含油率 ( $x_3$ )/%	果型指 数( $x_4$ )	果壳厚度 ( $x_5$ )/mm	选择增益/(比较对照1)					选择增益/(比较对照2)				
							$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
大果型 指数 类群	Ⅱ东 27	7.81	53.66	71.40	1.97	1.02	+21.84	+2.20	+5.22	+17.26	0.00	+17.80	+8.56	+2.57	+45.93	-0.97
	Ⅳ东 18	7.63	49.59	66.57	1.88	0.88	+19.97	-5.54	-1.93	+11.90	-13.73	+15.08	+15.44	-4.37	+39.26	-14.56
	Ⅲ南 17	7.12	53.85	63.00	1.88	0.95	+11.90	+2.57	-7.13	+11.90	-6.86	+7.39	+8.94	-9.50	+39.26	-7.77
	Ⅵ西 19	6.59	55.20	71.36	1.89	1.00	+2.81	+5.14	+5.14	+12.50	-1.96	-0.60	+11.67	+2.51	+40.00	-2.91
中果型 指数 类群	Ⅳ东 17	7.64	54.28	72.09	1.86	1.20	+19.19	+3.39	+6.23	+11.90	+17.65	+18.32	+9.81	+3.56	+37.77	+16.50
	Ⅲ北 55	7.80	54.21	70.17	1.63	0.92	+21.68	+3.26	+3.40	-2.98	-9.80	+20.70	+9.67	+0.80	+20.74	-10.68
	Ⅳ东 16	7.24	54.74	68.92	1.64	1.03	+12.95	+4.27	+1.56	-2.38	+0.98	+12.36	+10.74	-0.99	+21.48	0.00
	Ⅱ东 20	7.34	53.82	71.26	1.64	0.96	+14.51	+2.51	+5.01	-2.38	-5.88	+13.85	+8.88	+2.37	+21.48	-6.80
	Ⅳ东 3	7.62	55.13	63.68	1.78	0.93	+18.88	+5.01	-6.16	+5.95	-8.82	+18.02	+11.53	-8.52	+31.85	-9.71
	Ⅲ北 5	8.04	53.06	71.47	1.51	0.96	+25.43	+1.07	+5.32	-10.12	-5.88	+24.27	+7.34	+2.67	+11.85	-6.80
	Ⅲ南 54	7.26	52.12	71.82	1.86	0.97	+13.26	-0.72	+5.84	+10.71	-4.90	+12.66	+5.44	+3.17	+37.77	-5.83
	Ⅴ西 9	6.44	56.53	72.17	1.68	0.87	+0.47	+7.68	+6.35	0.00	-14.71	+0.45	+14.36	+3.68	+24.44	-15.53
	Ⅲ南 35	7.53	51.49	68.99	1.71	1.05	+17.47	-1.92	+1.67	+1.79	+2.94	+16.68	+4.17	-0.89	+26.66	+1.94
小果型 指数 类群	Ⅲ北 5-1	8.01	53.08	71.51	1.49	0.96	+24.96	+1.10	+5.38	-11.31	-5.88	+20.81	+7.38	+2.73	+10.37	-6.80
	Ⅲ南 14	5.50	67.88	64.89	1.41	1.13	-14.20	+29.30	-4.38	-16.07	+10.78	-17.04	+37.33	-6.78	+4.44	+9.71
	Ⅵ2	7.52	51.97	66.64	1.38	1.02	+17.32	-1.01	+1.80	-17.86	0.00	+13.42	+5.14	-4.26	+2.22	-0.97
对照 1	6.41	52.50	67.86	1.68	1.02											
对照 2	6.63	49.43	69.61	1.35	1.03											

注:对照2(钟山25)为实生单株选育的品种,母树年龄为57a。

加10.98%~27.74%;单果含油量比对照1增加6.14%~31.14%,比对照2增加6.14%~31.14%,其中,以Ⅱ东27单株最优(表9)。中果型指数优良单株:单果出仁量比对照1(群体均值)增加8.01%~26.71%,比对照2(钟山25号)增加10.98%~30.18%;单果含油量比对照1增加15.35%~33.77%,比对照2增加15.35%~33.77%。其中,以Ⅲ北5单株最优,其次为单株Ⅲ北55、Ⅳ东3、Ⅳ

东17、Ⅳ东16和Ⅱ东20(表9)。小果型指数优良单株:单果出仁量比对照1(群体均值)增加10.68%~26.11%,比对照2(钟山25号)增加13.72%~29.57%;单果含油量较对照1和对照2提高6.14%~33.33%,其中,以Ⅲ北5-1单株最优,单果出仁量比对照1增加26.11%,比对照2增加29.57%;单果含油量比对照1和对照2增加33.33%(表9)。

表9 实生单株果实性状选择的综合效果

类型	单株编号	果实性状					选择效果			
		单果质量	出仁率	含油率	单果出仁	单果含	选择增益/%(比较对照1)		选择增益/%(比较对照2)	
		/g	/%	/%	量/g	油量/g	单果出仁量	单果含油量	单果出仁量	单果含油量
大果型 指数 类群	Ⅱ东27	7.81	53.66	71.40	4.19	2.99	+24.33	+31.14	+27.74	+31.14
	Ⅳ东18	7.63	49.59	66.57	3.78	2.51	+12.17	+10.09	+15.24	+10.09
	Ⅲ南17	7.12	53.85	63.00	3.83	2.42	+13.65	+6.14	+16.77	+6.14
	Ⅵ西19	6.59	55.20	71.36	3.64	2.60	+8.01	+14.04	+10.98	+14.04
	Ⅳ东17	7.64	54.28	72.09	4.15	2.99	+23.15	+31.14	+26.52	+31.14
	Ⅲ北55	7.80	54.21	70.17	4.23	2.97	+25.52	+30.26	+28.96	+30.26
	Ⅳ东16	7.24	54.74	68.92	3.96	2.73	+17.51	+19.74	+20.73	+19.74
中果型 指数 类群	Ⅱ东20	7.34	53.82	71.26	3.95	2.82	+17.21	+23.68	+20.43	+23.68
	Ⅳ东3	7.62	55.13	63.68	4.20	2.68	+24.63	+17.54	+28.05	+17.54
	Ⅲ北5	8.04	53.06	71.47	4.27	3.05	+26.71	+33.77	+30.18	+33.77
	Ⅲ南54	7.26	52.12	71.82	3.78	2.72	+12.17	+19.30	+15.24	+19.30
	Ⅴ西9	6.44	56.53	72.17	3.64	2.63	+8.01	+15.35	+10.98	+15.35
	Ⅲ南35	7.53	51.49	68.99	3.88	2.67	+15.13	+17.11	+18.29	+17.11
小果型 指数 类群	Ⅲ北5-1	8.01	53.08	71.51	4.25	3.04	+26.11	+33.33	+29.57	+33.33
	Ⅲ南14	5.50	67.88	64.89	3.73	2.42	+10.68	+6.14	+13.72	+6.14
	Ⅵ2	7.52	51.97	66.64	3.91	2.60	+16.02	+15.04	+19.21	+15.04
对照1		6.41	52.50	67.86	3.37	2.28				
对照2		6.63	49.43	69.61	3.28	2.28				

### 3 结论与讨论

研究表明,供试薄壳山核桃实生单株的主要果实性状(单果质量、出仁率、含油率、果型指数、果壳厚度、果横径、果宽度、果纵径)有显著差异,具有明显选择改良潜力。实生单株的果型指数性状与单果质量、出仁率、含油率性状间均无明显制约关系,与作者对引进品种的果型指数性状相关研究结果相同<sup>[10]</sup>。果型指数性状与果纵径、果宽度、果横径性状有密切的制约关系,相关系数分别为0.607 3、-0.632 1、-0.658 4;但其与果壳厚度无显著相关关系,相关系数为-0.105 4。因此,可按果型指数划分大、中、小果型指数类群进行分类评选,选出偏长果型和偏圆果型的优良单株,培育不同果型优良品种,以满足不同消费者对果型的喜好与需求。

用标准差法,按果型指数 $\geq \bar{\mu} + 1.06$ 、 $\leq \bar{\mu} - 1.06$ 、 $\bar{\mu} - 1.6 < \text{果型指数} < \bar{\mu} + 1.6$ 将供试实生单株划为11个大果型指数类群,44个中果型指数类群,11个小果型指数类群。选用单果质量、出仁率、含油率、果型指数、果壳厚度5个主要果实性状,分类进行综合坐标法评选。从大果型指数类群中选出4个优良单株,中果型指数类群中选出9个优良单株,小果型指数类群中选出3个优良单株,分别占各类群单株36.4%、20.5%、27.3%,占供试单株总数

6.1%、13.6%、4.5%。

选出的优良单株果实性状均得到明显改良。大果型指数类群选出单株:出仁率和含油率与群体均值相近或略高。果型指数、单果质量分别比群体均值提高11.90%~17.26%、2.81%~21.84%,果壳厚度小1.96%~13.73%(Ⅱ东27除外)。与钟山25相比,果型指数大39.26%~45.93%,果壳厚度小0.97%~14.56%,单果质量增加7.39%~17.80%(Ⅵ西19除外),出仁率增加8.56%~15.44%,含油率相近(Ⅲ南17除外);其中,Ⅱ东27单株最优,多数性状均优于群体均值和钟山25号。中果型指数类群选出单株:果型指数多数与群体均值相近,部分高1.79%~11.90%。与群体均值相比,果壳厚度多数小4.90%~14.71%,单果质量增加12.95%~25.43%(个别单株除外),出仁率增加2.51%~7.68%(个别单株除外),含油率高1.56%~6.35%(个别单株除外)。与钟山25相比,果型指数大11.85%~37.77%,果壳厚度小5.83%~15.53%(个别单株除外),单果质量增加12.36%~24.27%(Ⅴ西9除外),出仁率增加4.17%~14.36%,含油率相近(Ⅳ东3略低)。多数性状均优于钟山25的单株有Ⅲ北5、Ⅱ东20、Ⅲ北55、Ⅲ南54和Ⅴ西9,以Ⅲ北55单株较优。小果型指数类群选出单株:果型指数比群体均值小11.31%~



17.86%,果壳厚度相近。与群体均值相比,单果质量增加17.32%~24.96%,出仁率增加1.10%~29.30%(Ⅵ2除外),含油率相近或略高(Ⅲ南14除外)。与钟山25相比,含油率相近,果型指数大2.22%~10.37%,果壳厚度小0.97%~6.80%(Ⅲ南14除外),单果质量增加13.42%~20.81%(Ⅲ南14除外),出仁率增加5.14%~37.33%。其中,Ⅲ北5-1单株较优,果型指数大10.37%,果壳厚度小6.80%,单果质量、出仁率、含油率分别增加20.81%、7.38%和2.73%。

选出的优良单株果实性状综合改良效益显著。大果型指数单株:单果出仁量比群体均值增加8.01%~24.33%,单果含油量增加6.14%~31.14%。与钟山25号相比,单果出仁量增加10.98%~27.74%,单果含油量增加6.14%~31.14%,其中Ⅱ东27单株最优。中果型指数单株:单果出仁量、单果含油量分别比群体均值增加8.01%~26.71%、15.35%~33.7%,比钟山25号分别增加10.98%~30.18%、15.35%~33.77%,其中Ⅲ北5单株最优,其次为单株Ⅲ北55、Ⅳ东17、Ⅳ东16、Ⅳ东3和Ⅱ东20。小果型指数单株:单果出仁量、单果含油量分别比群体均值增加10.68%~26.11%、6.14%~33.33%,比钟山25号分别增加13.72%~29.57%、6.14%~33.33%,其中,以Ⅲ北5-1单株较优,单果出仁量、单果含油量分别高于群体均值和钟山25号26.11%、29.57%和33.33%。

实生单株选择是薄壳山核桃选种行之有效的办法,果实性状选择是重要基础。在美国原产地不少品种源于实生单株选育<sup>[14-15]</sup>。例如‘Mahan’品种就是从一颗薄壳山核桃种子生长发育而来(Cennat, 1970),经嫁接测定选育定名<sup>[16]</sup>。又据1997年出版的美国薄壳山核桃栽培手册提供的152个品种中,用实生选育与本地种认定的品种已达98个,占62%,而杂交育种数为58个,仅占38%<sup>[15]</sup>。因此,利用果实性状变异选择优良实生单株对薄壳山核桃良种选育具有重要的现实意义。

虽然进行了3a的果实性状观测,但由于供试薄壳山核桃单株选择材料来自南京地区自然种植状态,具有立地环境、栽培措施的差异,其对产量、果实性状还会产生影响。因此必须通过嫁接扩繁,严格

按照科学试验设计,进行试验、地点和结实年度重复的无性系测定,才能得出更科学的结果,进一步选育出优良品种。

因本研究供试实生单株来自307个单株群体,先进行了初选,淘汰了出仁率、含油率均低于群体均值的241个单株,淘汰率达78.50%,故明显提高了供试群体的均值,致使选择对照性状较优,在一定程度上影响了选择效果(尤其含油率性状)。又因考虑按单一性状独立逐步选择,每选一性状会带来其它性状单株的丢失,以致最终可供选择的优良单株较少,未能进行独立性状逐步选择。至于人为决定权重系数的综合选择结果与独立性状逐步筛选研究结果对比,尚需另作探讨。

#### 参考文献:

- [1] 董凤祥,王贵禧. 美国薄壳山核桃引种及栽培技术[M]. 北京:金盾出版社,2003
- [2] 张日清,吕芳德. 优良经济树种——美国山核桃[J]. 广西林业科学,1998,27(4):202-206
- [3] 习学良,范志远,邹伟烈,等. 10个美国山核桃品种的引种研究初报[J]. 浙江林学院学报,2006,23(4):382-387
- [4] 方亮,吴文龙,李永荣,等. 不同品种薄壳山核桃在南京地区种植的果实品质研究[J]. 江苏农业科学,2010(3):166-169
- [5] 吴国良,张凌云,潘秋红,等. 美国山核桃及其品种性状研究进展[J]. 果树学报,2003,20(5):404-409
- [6] 吴奇坤. 长山核桃优良单株——黄山1号[J]. 经济林研究,1999,17(4):64-65
- [7] 佟海英,吴文龙,闫连飞,等. 薄壳山核桃优良品种及其栽培技术要点[J]. 林业科技开发,2005,19(6):47-49
- [8] 王明麻. 林木育种学概论[M]. 北京:中国林业出版社,1989:67-91
- [9] 马育华. 植物育种的数量遗传学基础[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1982:280-345
- [10] 李永荣,刘永芝,翟敏,等. 薄壳山核桃品种果质性状变异及选择改良研究[J]. 江苏林业科技,2011,38(3):6-11
- [11] 马育华. 试验统计[M]. 北京:农业出版社,1982:386-387
- [12] 南京农学院. 田间试验和统计方法[M]. 北京:农业出版社,1979:94-121
- [13] 江苏省植物研究所. 薄壳山核桃的引种和单株选种[J]. 中国果树,1974(3):19-23
- [14] Sparks D. Pecan cultivars: the orchard's foundation[M]. Watkinsville, Georgia: Pecan Production Innovations,1992:149-155
- [15] McEachern G R, Stein L A. Texas pecan handbook[M]. College Station, Texas: Texas Agricultural Extension Service, 1997
- [16] Thompson T E, Young F. Pecan cultivars: past and present[M]. College Station, Texas: The Texas Pecan Growers Association, 1985:61-70