

# 美国山核桃矮化砧的筛选

勒栋梁<sup>1,2</sup>, 李永荣<sup>2</sup>, 彭方仁<sup>1\*</sup>, 王克春<sup>1</sup>, 何海洋<sup>1</sup>, 李小飞<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037; 2. 南京绿宙薄壳山核桃科技有限公司, 江苏 南京 210014)

**摘要:**以美国山核桃 9 株自由授粉结果母树的种子分家系播种的 1 年生实生苗和未知亲本的野生混合种子播种的 1 年生实生苗为材料, 研究了美国山核桃半同胞家系苗期生长状态和遗传特性; 依据株高表型对苗圃的 1 年生实生苗进行了矮化苗选择, 并对筛选苗进行了集中移栽养护、调查和复选。结果表明: 不同美国山核桃半同胞家系 1 年生实生苗的苗高和茎粗有差异, 且茎粗和苗高呈显著正相关; 半同胞家系及其混合群体子代苗的茎粗和苗高均呈正态分布的特点; 茎粗和苗高受遗传因素影响均较大, 遗传力分别为 0.88 和 0.89。在苗圃中筛选出嫁接未剪砧矮化苗 499 株和矮化实生苗 531 株, 经移栽和 1 个生长季的养护, 得健壮嫁接未剪砧矮化苗 280 株, 矮化实生苗 382 株; 经复选, 获得极矮化美国山核桃已嫁接单株 10 个和实生单株 12 个。

**关键词:**美国山核桃; 矮化砧; 实生选育; 矮壮系数

中图分类号: S723

文献标志码: A

文章编号: 1000-2006(2015)04-013-06

## The selection of dwarfing rootstock of *Carya illinoensis*

LE Dongliang<sup>1,2</sup>, LI Yongrong<sup>2</sup>, PENG fangren<sup>1\*</sup>, WANG Kechun<sup>1</sup>, HE Haiyang<sup>1</sup>, LI Xiaofei<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Nanjing Green Universe Pecan Science & Technology Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

**Abstract:** We used one year old seedlings propagated by open pollinated seeds from nine parent trees and other seeds from unknown parent trees of pecan (*Carya illinoensis*) as testing materials. The pecan seedling growth and genetic characteristics of half-sib families were studied. Dwarfing rootstock were selected based on the height phenotype, and then transplanted and investigated. The results showed that the height and stem diameter of different half-sib family seedlings were different, and stem diameter and height were significantly correlated. Stem diameter and height of half-sib progeny and a mixed population of seedlings showed a normal distribution characteristics. Stem diameter and height were highly influenced by genetic factors. The heritability of stem diameter and height were 0.88 and 0.89, respectively. 499 grafted but not stumped plants and 531 dwarfing seedlings were selected in the nursery. After one season's maintenance, 280 strong grafted but not stumped plants and 382 dwarfing seedlings were preserved. Ten grafting plants and twelve dwarfing seedlings were selected in the second round selection.

**Keywords:** *Carya illinoensis*; dwarfing rootstock; seedling selection; stocky index

美国山核桃 (*Carya illinoensis*) 是用途广、收益期长、经济效益高、社会效益和生态效益均明显的优良经济树种<sup>[1-4]</sup>。美国山核桃引种到我国已有 110 余年, 对其引种、育种、栽培和良种繁育等方面研究较多<sup>[5-11]</sup>。美国山核桃属高大乔木, 树高可达 20~30 m, 但过高的树体不利于园艺化的果园栽培管理, 且进入丰产期的时间长达 8~10 a。为了达到早实丰产、降低果园管理难度等目的, 矮化密植是大型果树园艺化栽培的趋势, 使用矮化砧是实现矮化密植的重要手段。矮化砧选育的主要途径有:

从同属同种中选择生长正常的矮生变异类型, 如苹果中的乐园苹果; 对树形矮小的同种同属, 经嫁接有矮化效应的单株进一步选育; 通过物理和化学诱变育种; 通过杂交育种等。苹果、梨、桃、樱桃等重要果树树种均有相应的矮砧密植技术和理论体系, 但是美国山核桃矮化砧相关研究报道尚少见<sup>[12]</sup>。笔者以 9 个自由授粉的美国山核桃半同胞家系 1 年生实生苗和规模化繁育的苗圃实生苗为材料, 以表型选择为主要依据, 以筛选矮壮苗为主要目标, 通过分析美国山核桃半同胞家系 1 年生实生苗的

收稿日期: 2015-03-02

修回日期: 2015-05-17

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项项目 (201304711); 江苏省林业三新工程项目 [lysx2014(047)]

第一作者: 勒栋梁, 博士生。\* 通信作者: 彭方仁, 教授。E-mail: fipeng@njfu.edu.cn。

引文格式: 勒栋梁, 李永荣, 彭方仁, 等. 美国山核桃矮化砧的筛选[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2015, 39(4): 13-18.

生长指标,在美国山核桃规模化苗圃中筛选嫁接未剪砧和未嫁接矮化实生壮苗,并进行集中移栽养护、调查和复选,以获得美国山核桃矮化砧木,期望为美国山核桃矮化密植栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及实验地概况

材料1为南京林业大学校园内自由授粉的9株结果母树的种子分家系播种的实生苗,编号分别为V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、V9(半同胞家系);材料2为来源于南京市及周边未知亲本的美国山核桃种子播种实生苗。

试验在南京绿宙薄壳山核桃科技有限公司六合基地和南京林业大学美国山核桃试验基地进行。两地属北亚热带季风温湿气候区,气候温和,雨量充沛,光照充足,四季分明,常年平均气温15.1℃,平均降雨1000mm左右,是我国美国山核桃栽培I类适生区<sup>[3-4]</sup>。

### 1.2 实生苗培育及生长指标测定

试验于2012年秋季至2014年秋季进行。于2012年秋季采集种子后,检除空粒和破损种子。将种子经浸种、沙藏和大棚催芽后,于2013年5月初将芽苗移栽至草炭土、珍珠岩、蛭石和泥土混合基质的容器内(容器规格为15cm×20cm),容器苗培育1月左右移栽至大田,定植株行距为20cm×30cm,6株为1行,定植时按容器填装基质高度完全埋入苗床。

材料1每家系移栽35株,共计315株;材料2共计移栽约20万株,栽种面积约2.33hm<sup>2</sup>。移栽后定期进行统一的施肥、排灌和病虫害控制。

苗高用直尺测量植株茎生长顶点至地面的垂直距离;嫁接苗接穗新梢茎生长顶点至接口上方沿接穗茎的方向间距离为接穗新梢高。使用电子游标卡尺测量实生苗基部离地2cm处的粗度(茎粗)和接穗距砧木1cm处的粗度(接穗新梢茎粗)。在苗圃选择矮化苗时测定样方苗高和茎粗,移栽定植后测定选择的矮化嫁接苗(A1)、矮化实生苗(A2)及对照苗(A3)的苗高和茎粗;于2013年生长季末测定9个半同胞家系实生苗的苗高和茎粗;于2014年生长季末测定A1和A3的接穗新梢高度和茎粗、A2的苗高和茎粗。

### 1.3 矮化砧选育

#### 1.3.1 矮化苗的初选

从苗圃中根据株高表型,通过目测的方法于2014年春季美国山核桃萌芽前在苗圃中(地边行

或地边苗床不选)选择粗壮矮化实生苗,同时从已嫁接的苗(带未萌发方块皮芽的实生苗,品种为‘波尼’)中选择明显矮生的和一组明显高的苗为对照。选择时用彩绳标记,全部田块标记好后集中移栽至已准备好的苗床定位编号。嫁接苗和实生苗分开定植,嫁接苗按35cm×35cm定植,实生苗按25cm×25cm定植,共计选择移栽嫁接未剪砧苗群体(A1)499株、矮化实生苗群体(A2)531株、嫁接对照苗群体(A3)65株。

选择矮化苗和对照的同时,在苗圃中使用系统抽样法,沿苗床边每10m随机选1株为样株,测量苗高( $H$ )和茎粗( $D$ ),共计测量895个单株,组成样方(记为S)。

#### 1.3.2 矮化苗的复选

为缩小考察范围并得到量化复选结果,用矮壮系数来评价筛选苗的矮壮程度。剔除调查的A1和A3群体有缺失的数据(如缺苗等),得到A1剩余280个备选单株、A2剩余382个备选单株。

矮壮系数( $I_s$ )=幼龄实生苗茎粗/株高×100。由此定义可认为,矮壮系数越大苗越矮壮。分别根据两个参试群体2013年的生长指标数据计算矮壮系数,并依据群体的总矮壮系数均值和标准差逐一对照群体内的单株矮粗情况进行考察。

A1群体用2013年的矮壮系数(因在春季进行筛选,美国山核桃尚未萌芽生长,此时测定的苗高和茎粗数据代表的是2013年生长季的生长情况),分别与总体平均值+1.5倍标准差( $\mu+1.5\sigma$ )、平均值+2倍标准差( $\mu+2.0\sigma$ )和平均值+3倍标准差( $\mu+3\sigma$ )标准进行比较,其淘汰率分别为86.64%、95.45%和99.73%。研究中选择淘汰率97.72%或入选率2.28%,即高于( $\mu+2.0\sigma$ )标准的入选。另考虑到嫁接的复杂性,不使用2014年数据进行筛选。

A2群体分别用2013和2014年的矮壮系数与( $\mu+1.0\sigma$ )、( $\mu+1.5\sigma$ )和( $\mu+2.0\sigma$ )标准进行比较。其中:某单株矮壮系数以1a至少高于( $\mu+1.5\sigma$ )标准且另一年至少高于当年( $\mu+1.0\sigma$ )标准,由此淘汰率为97.88%(入选率2.12%);或以某年矮壮系数高于当年( $\mu+2.0\sigma$ )标准的入选,即淘汰率97.72%。因此,该研究中的矮壮苗理论入选率在2.12%~2.28%之间。

### 1.4 数据处理

使用公式 $h^2=1-(1/F)$ 计算美国山核桃实生苗苗高和茎粗的遗传力<sup>[13]</sup>。使用SPSS 19.0和Excel 2007进行数据处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同半同胞家系种子实生苗的生长指标和矮壮系数

经单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验,所有 9 个半同胞家系及其汇总的苗高、茎粗和矮壮系数的渐

进显著性值均大于 0.05 水平,表明所有家系和混合群体的苗高、茎粗及矮壮系数均呈正态分布(表 1 和图 1)。对苗高和茎粗进行相关性检验发现,所有家系苗高和茎粗的相关性均达显著水平,相关系数为 0.384~0.868,除 V2 和 V4 外,其他 7 个家系的相关性均达极显著水平(表 1)。

表 1 美国山核桃半同胞家系生长指标的相关性及 Kolmogorov-Smirnov 检验

Table 1 The correlation of plant height and stem diameter, and their Kolmogorov-Smirnov test of half-sib families of pecan

母树单株 编号 parent tree No.	子代苗数量 seedling number	茎粗/mm stem diameter	苗高/cm plant height	矮壮系数 stocky index	相关性 correlation	单样本检验 single sample Kolmogorov-Smirnov test		
						D	H	I <sub>s</sub>
V1	29	6.42±1.18 abcd	28.90±5.52 a	2.26±0.33	7.59 * *	0.707	0.733	0.813
V2	25	5.79±0.81 de	24.24±5.52 b	2.46±0.53	0.425 *	0.599	0.739	0.301
V3	29	6.21±1.24 bcd	27.38±5.52 ab	2.32±0.43	0.730 * *	0.928	0.999	0.671
V4	32	5.23±0.76 e	20.77±5.52 c	2.56±0.45	0.384 *	0.775	0.966	0.994
V5	30	6.83±1.19 ab	27.25±5.52 ab	2.54±0.43	0.594 * *	0.573	0.753	0.921
V6	29	7.05±1.25 a	28.14±5.52 a	2.53±0.38	0.698 * *	0.472	0.547	0.393
V7	32	5.98±1.28 cd	26.34±5.52 ab	2.29±0.27	0.868 * *	0.496	0.816	0.815
V8	30	7.09±1.22 a	28.13±5.52 a	2.55±0.37	0.754 * *	0.386	0.922	0.672
V9	28	6.72±1.35 abc	28.21±5.52 a	2.39±0.36	0.663 * *	0.677	0.721	0.635
合计 total	264	6.36±1.29	26.56±5.52	2.43±0.41	0.717 * *	0.053	0.109	0.120

注:若渐进显著性值大于 0.05 则保留样本数据为正态分布的假设,即样本数据呈正态分布;若显著性值小于 0.05 则不保留样本数据为正态分布的假设。不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著。\* 示相关性在 0.05 水平显著;\* \* 示相关性在 0.01 水平显著。

Note: If the progressive significant value is more than 0.05, retain the hypothesis that sample data is normally distributed; otherwise, deny the hypothesis. No significantly different refer to same letters among those treatments, significant different at level 0.05 refer to different letters among those treatments. \* correlation indicate significant at the 0.05 level, \* \* correlation indicate significant at the 0.01 level.

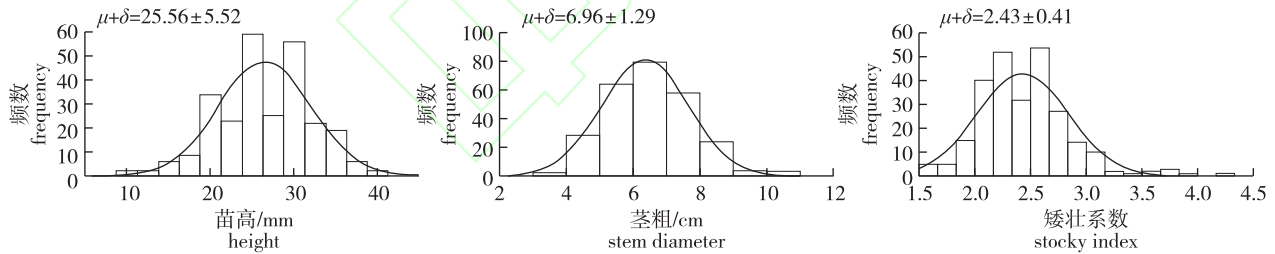


图 1 美国山核桃半同胞家系子代苗生长指标和矮壮系数的频数分布

Fig.1 The frequency distribution of seedling height, stem diameter and stocky index of half-sib families of pecan

### 2.2 不同半同胞家系种子实生苗苗高、茎粗的遗传力

9 个美国山核桃半同胞家系实生苗平均茎粗的范围为 5.23~7.09 mm,最小为 V4,最大为 V8,9 个家系的总平均茎粗为 6.23 mm,实生苗不同家系间的平均茎粗差异均达到显著水平( $F=8.799, P<0.001$ );9 个半同胞家系实生苗平均苗高范围为 20.77~28.90 cm,最小为 V4,最大为 V1,总平均苗高为 26.56 cm,实生苗不同家系间的平均苗高差异均达到显著水平( $F=8.125, P<0.001$ );矮壮系数范围为 2.26~2.56,总平均 2.43。9 个半同胞家系苗

高和茎粗的遗传力分别为: $h^2_{\text{苗高}} = 1 - (1/8.125) \approx 0.88$ ;  $h^2_{\text{茎粗}} = 1 - (1/8.799) \approx 0.89$ 。

### 2.3 不同矮化砧筛选群体生长指标和矮壮系数的差异

不同矮化砧筛选群体的茎粗(接穗茎粗)、苗高(接穗高)指标有差异,且年份间也有差异。2013 年 A1 群体平均茎粗为 7.55 mm,高于 A2 群体的 5.45 mm,小于 A3 的 10.08 mm 和样方 S 的 8.94 cm,其差异均达极显著水平;A1 群体平均苗高为 19.78 cm,高于 A2 的 15.92 cm,低于 A3 的 49.30 cm 和样方 S 的 34.97 cm,其差异均达极显

著水平。A2 群体不同年份的苗高、茎粗有差异, 2013 年的苗高和茎粗分别为 15.92 cm 和 29.43 cm, 2014 年的为 5.45 mm 和 9.91 mm, 年份间差异达极显著水平。A1 (2013 年) 矮壮系数最高, 达 3.91, 极显著高于 A2 不同年份 (2013 和 2014) 的

3.47 和 3.53, 极显著高于 A3 的 2.17 和样方的 2.53; A2 群体不同年份的矮壮系数差异不明显 (图 2A、2B)。A1 和 A3 的接穗茎粗分别为 8.03 mm 和 10.31 mm, 接穗高分别为 19.33 cm 和 31.21 cm, 差异均达极显著水平 (图 2C)。

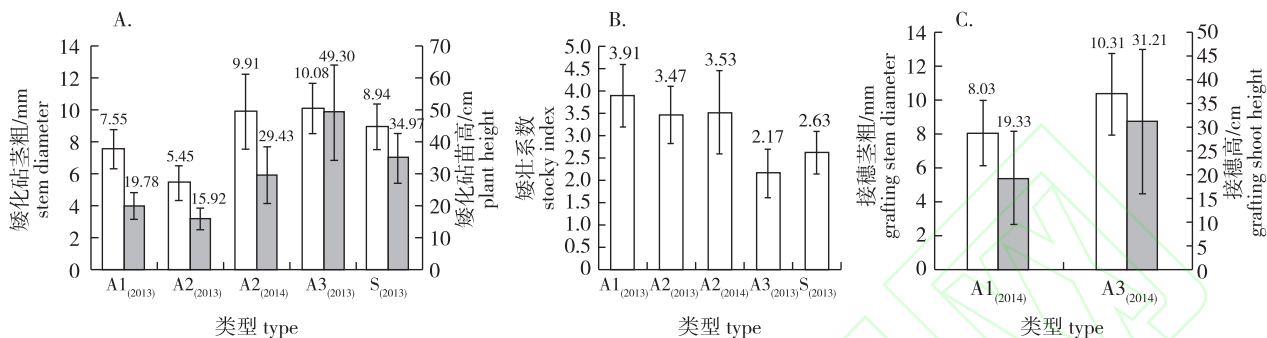


图 2 美国山核桃不同矮化砧筛选群体的生长指标和矮壮系数

Fig.2 Growth indicators and stocky index of different dwarfing rootstock groups of pecan

注: A1. 移栽嫁接未剪砧群体; A2. 矮化实生苗群体; A3. 嫁接对照苗群体; S. 样方。

Note: A1. seedlings were grafted but not pruned above sions; A2. dwarfing seedlings group; A3. control (grafted seedlings); S. quadrats.

## 2.4 美国山核桃矮化砧群体的复选结果

### 2.4.1 嫁接未剪砧群体 (A1) 的复选

经复选, 280 个嫁接未剪砧群体 (A1) 中共有 10 个单株入选; 复选的 10 个单株, 实际入选率为 3.57%, 高于理论值 (2.28%)。入选单株编号分别为 11023、11123、21083、22203、33071、31033、32173、33083、33103 和 33113 (表 2)。其中 22203

的矮壮系数最大, 它与 11023 和 33071 号均通过了 ( $\mu+3.0\sigma$ ) 标准的筛选, 但 11023 和 33071 号的接穗高度分别达到 29 cm 和 27 cm, 明显高于 22203 号。其余单株矮壮系数为 5.34~6.27, 2013 年砧木茎粗和苗高分别在 6.35~9.44 mm 和 11.50~17.60 cm 之间不等, 2014 年接穗茎粗和接穗高分别在 5.76~10.49 mm 和 7~36 cm 之间不等。

表 2 美国山核桃嫁接未剪砧群体 (A1) 经复选入选的单株及相关指标参数

Table 2 A check selected plant and parameters of related indicators in grafted but not stumped group (A1) of pecan

单株编号 plant No.	2013		2014		矮壮系数 stocky index	入选苗与筛选标准值的差值 the difference between the value of screening		
	茎粗/mm stem diameter	苗高/cm plant height	接穗茎粗/mm grafting stem diameter	接穗高/cm grafting shoot height		( $\mu+1.5\sigma$ )	( $\mu+2.0\sigma$ )	( $\mu+3.0\sigma$ )
11023	7.21	11.50	9.63	29.00	6.27	1.27	0.96	0.27
11123	6.35	11.90	9.40	36.00	5.34	0.34	0.03	-0.66
21083	6.76	12.30	5.76	12.00	5.50	0.50	0.19	-0.50
22203	6.65	10.00	5.78	11.00	6.65	1.65	1.34	0.65
33071	8.01	13.30	7.22	27.00	6.02	1.02	0.71	0.02
31033	9.44	17.60	7.55	17.00	5.36	0.36	0.05	-0.64
32173	7.51	13.80	7.36	16.00	5.44	0.44	0.13	-0.56
33083	7.11	13.10	6.29	7.00	5.43	0.43	0.12	-0.57
33103	8.70	16.10	10.49	17.00	5.40	0.40	0.09	-0.60
33113	9.11	15.80	8.26	18.00	5.77	0.77	0.46	-0.23

注: 入选苗与筛选标准值的差值为正值表示入选某标准, 负值表示不入选。下同。

Note: The difference between the value of screening means positive value indicates selected, a negative value indicates not selected. The same below.

### 2.4.2 矮化实生苗单株群体 (A2) 的复选

经复选程序, 从 382 个矮化实生苗单株群体 (A2) 中筛选出 12 个单株, 入选率为 3.14%, 高于理论值 (2.12~2.28%)。入选单株编号分别为

41181、43141、41122、42153、42064、53052、53062、53093、53113、52124、53194 和 54012。其中 41181、42064、53062、53093、53194 和 54012 等 6 个单株单独由 2013 年矮壮系数与 ( $\mu+2.0\sigma$ ) 标准比较得出,



其余单株均经 2013 年和 2014 年矮壮系数与 2013 年和 2014 年标准值复合比较得出(表 3)。由表 3 可知,41122 号单株 2014 年矮壮系数最大,其余单

株 2013 年矮壮系数在 4.20~5.17 之间,2014 年矮壮系数在 3.72~6.57 之间,苗高和茎粗亦不同。

表 3 美国山核桃矮化实生苗群体(A2)经复选入选的单株及相关指标参数

Table 3 Parameters of related indicators in seedlings group (A2) of pecan after the second round selection

单株编号 plant No.	茎粗/mm stem diameter		苗高/cm plant height		矮壮系数 stocky index		入选苗与筛选标准值的差值 the difference between the value of screening					
							$(\mu+1.0\sigma)$		$(\mu+1.5\sigma)$		$(\mu+2.0\sigma)$	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
41181	5.00	7.86	10.00	20.00	5.00	3.93	0.89	-0.53	0.58	-1.00	0.26	-1.46
43141	6.45	13.26	15.20	24.00	4.24	5.53	0.14	1.07	-0.18	0.60	-0.50	0.13
41122	5.79	9.85	13.30	15.00	4.35	6.57	0.25	2.11	-0.07	1.64	-0.39	1.17
42153	6.80	11.95	16.20	24.00	4.20	4.98	0.09	0.52	-0.23	0.05	-0.54	-0.41
42064	5.25	7.94	11.00	24.00	4.77	3.31	0.67	-1.15	0.35	-1.62	0.03	-2.08
53052	7.98	12.40	16.90	23.00	4.72	5.39	0.62	0.93	0.30	0.47	-0.02	0.00
53062	6.13	8.00	12.50	21.00	4.90	3.81	0.80	-0.65	0.48	-1.12	0.16	-1.58
53093	8.26	11.16	17.30	30.00	4.77	3.72	0.67	-0.74	0.35	-1.21	0.03	-1.67
53113	3.91	7.57	8.30	16.00	4.71	4.73	0.60	0.27	0.29	-0.20	-0.03	-0.66
52124	5.73	9.28	11.30	20.00	5.07	4.64	0.96	0.18	0.65	-0.29	0.33	-0.75
53194	5.19	9.36	11.20	24.00	4.63	3.90	0.53	-0.56	0.21	-1.03	-0.11	-1.49
54012	4.29	9.95	8.30	26.00	5.17	3.83	1.06	-0.63	0.74	-1.10	0.43	-1.57

### 3 讨论

美国山核桃是雌雄同株异熟、异花授粉的植物,其基因型是高度杂合的,而且美国山核桃大多数性状属于数量遗传<sup>[14]</sup>。一般认为,植物的株高和茎粗为数量性状。此次研究结果表明了美国山核桃苗高、茎粗和矮壮系数的数量遗传特点。通过计算,得出美国山核桃 1 年生实生苗的苗高和茎粗遗传力分别为 0.88 和 0.89,表明美国山核桃实生苗苗高和茎粗主要受遗传控制。决定数量性状的基因也不一定都是为数众多的微效基因。植物矮化遗传主要有 2 种类型,即由单基因控制的质量性状遗传和由多基因控制的数量性状遗传。多数矮化突变体都由一对隐性基因控制。如苹果矮化性状主要由来源于“扎矮 76”的显性矮生主基因 Dw 控制<sup>[15-16]</sup>。在规模化的实生苗培育过程中,笔者发现美国山核桃白化苗的比率在 0.1% 左右,因此不排除美国山核桃实生苗发生矮化突变的可能性。

美国山核桃的育种工作主要集中在丰产稳产、品质优良、挂果早、早熟和抗病品种为目标的果用品种的选育上<sup>[17-19]</sup>,该研究中南京绿宙薄壳山核桃科技有限公司每年播种实生苗 20 万株以上,同时从国内外引进的 112 份种质资源均已进入结果期,经初步调查,发现其中不乏短枝数量多、树冠相

对矮小、叶片皱缩、早果丰产的紧凑矮生型品种。充分利用好这些已有的品种资源和实生苗资源,对进行矮化资源和矮化砧选育及矮化机理研究具有重要的现实意义。

基于上述理论和物质基础,以表型选择为主要依据,筛选矮壮苗为主要目标,以矮壮系数为筛选指标,从规模化繁育的混合种源的美国山核桃实生苗中筛选出 10 个嫁接未剪砧单株,其接穗新梢相对矮小,且表现出粗壮、节间紧凑的特点;筛选出的 12 个矮化实生苗单株也具粗壮矮小、节间紧凑的特点。

通过植株高矮表型并引入“矮壮系数”进行矮化苗(砧)的选育方法简单<sup>[20]</sup>,且筛选群体较大,但是表型选择的不确定性和最终嫁接矮化验证,以及矮化单株的无性系扩繁、矮化机制的研究等还需进一步论证和完善。

#### 参考文献(References):

[1] 李永荣,吴文龙,刘永芝.薄壳山核桃种质资源的开发利用[J].安徽农业科学,2009,37(27):13306-13308.  
Li Y R, Wu W L, Liu Y Z. Development and utilization of pecan germplasm resource [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2009, 37 (27): 13306-13308.

[2] 彭方仁,李永荣,郝明灼,等.我国薄壳山核桃生产现状与产业化发展策略[J].林业科技开发,2012,26(4):1-4.  
Peng F R, Li Y R, Hao M Z, et al. Production status and indus-

- trialization development strategies of pecan in China[J]. China Forestry Science and Technology, 2012, 26(4): 1-4.
- [3] 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.  
Dong F X, Wang G X. Introduction and cultivation techniques of pecan[M]. Beijing: Jindun Publishing House, 2003.
- [4] 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.  
Zhang R Q, Lv F D. An excellent nonwood tree——pecan[J]. Guangxi Forestry Science, 1998, 27(4): 202-206.
- [5] 李永荣, 李晓储, 吴文龙. 66个薄壳山核桃实生单株果实性状变异选择研究林业科学研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(4): 438-446.  
Li Y R, Li X C, Wu W L, et al. Study on nut characteristics variation and superior tree selection of *Carya illinoensis*[J]. Forest Research, 2013, 26(4): 438-446.
- [6] 朱海军, 刘广勤, 曹福亮, 等. 施锌对薄壳山核桃幼苗生长及体内锌分配的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(4): 75-78.  
Zhu H J, Liu G Q, Cao F L, et al. Effects of zinc application on seedling growth and zinc distribution in different organs of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2012, 36(4): 75-78.
- [7] 姚小华, 王开良, 任华东, 等. 薄壳山核桃新品种和无性系开花物候特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(5): 675-680.  
Yao X H, Wang K L, Ren H D, et al. A study on flowering phenology of *Carya illinoensis* new varieties and clones in east China[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2004, 26(5): 675-680.
- [8] 习学良. 美国山核桃在云南引种研究成果及产业化发展前景分析[J]. 林业调查规划, 2006, 31(6): 74-77.  
Xi X L. The introducing achievement of *Carya illinoensis* and the visions for its industrialization development[J]. Forest Inventory and Planning, 2006, 31(6): 74-77.
- [9] 翟敏, 李永荣, 董凤祥, 等. 薄壳山核桃生长季芽接试验[J]. 林业科技开发, 2010, 24(4): 104-106.  
Zhan M, Li Y R, Dong F X, et al. Experiment on *Carya illinoensis* budding in the growing season[J]. China Forestry Science and Technology, 2010, 24(4): 104-106.
- [10] 李永荣, 翟敏, 徐迎春, 等. 生长激素处理薄壳山核桃容器苗生长效应初探[J]. 江苏林业科技, 2010(5): 6-9.  
Li Y R, Zhai M, Xu Y C, et al. The effects of GA<sub>3</sub> and PP<sub>333</sub> hormone treatments on the growth of container seedlings of pecan (*Carya illinoensis*) [J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 2010(5): 6-9.
- [11] 翁春余, 邵慰忠, 叶浩然, 等. 薄壳山核桃 17 个无性系嫁接试验[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(3): 35-38.  
Weng C Y, Shao W Z, Ye H R, et al. Experiment on grafting of 17 *Carya illinoensis* clones [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 1998, 27(4): 202-206.
- [12] Koepke T, Dhingra A. Rootstock scion somatogenetic interactions in perennial composite plants [J]. Plant Cell Reports, 2013, 32: 1321-1337.
- [13] 贾棚. 遗传力的概念、计算及在林木良种选育中的作用[J]. 山西林业科技, 1997(1): 38-39, 46.  
Jia P. The heritability's concept, calculation and effect in the tree breeding [J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 1997(1): 38-39, 46.
- [14] Conner P J. Pecan breeding review [J]. Pecan South, 2012, 45(4): 34-44.
- [15] 廖娇, 黄春辉, 辜青青, 等. 植物矮化相关基因研究进展[J]. 生物技术通讯, 2011, 22(4): 593-597.  
Liao J, Huang C H, Gu Q Q, et al. Research advances of dwarfing genes in crops [J]. Letters in Biotechnology, 2011, 22(4): 593-597.
- [16] 孟庆炎. 苹果属中发现极抗寒矮化种质资源 [J]. 中国果树, 1991(3): 42.  
Meng Q Y. Malus found that extremely cold dwarfing germplasm [J]. China Fruits, 1991(3): 42.
- [17] Conner P J, Thompson T E. Performance of nine pecan cultivars and selections in Southern Georgia [J]. Journal of the American Pomological Society, 2003, 57(3): 115-120.
- [18] Thompson T E. History of USDA pecan breeding program [EB/OL]. [2014-03-21]. <http://extensionhorticulture.tamu.edu/carya/history.htm>.
- [19] 刘广勤, 王秀云, 生静雅, 等. 薄壳山核桃育种研究进展[J]. 林业科技开发, 2011, 25(4): 1-5.  
Liu G Q, Wang X Y, Sheng J Y, et al. Progress of pecan breeding [J]. China Forestry Science and Technology, 2011, 25(4): 1-5.
- [20] 杨国华. 矮化砧及其选育方法 [J]. 江西林业科技, 1986(1): 25-30.  
Yang G H. Dwarfing rootstock and selection method [J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 1986(1): 25-30.

(责任编辑 郑琰燧)