

# Analysis on the Seed Traits Variation of *Toona sinensis* Roam Germplasm Resources in Main Distribution Areas of Shandong Province

Lei Wang<sup>1</sup>, Qiuxin Hu<sup>2</sup>, Mei Yu<sup>3</sup>, Dan Wu<sup>1</sup>, Zhigang Bao<sup>1</sup>, Fusheng Wu<sup>1</sup>, Meng Li<sup>1</sup>, Yizeng Lu<sup>1</sup>, Yongjun Zhao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Shandong Forest Germplasm Resources Center, Jinan Shandong

<sup>2</sup>College of Landscape Science and Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan Shandong

<sup>3</sup>College of Food Science and Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan Shandong

Email: \*13305317857@163.com

Received: Mar. 9<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 14<sup>th</sup>, 2020; published: Apr. 21<sup>st</sup>, 2020

## Abstract

In order to understand the differences and regularity of *Toona sinensis* germplasm resources in various distribution areas in Shandong Province, field surveys and collections of them were conducted, and WinSEEDLE was used to scan and determine the *Toona sinensis* phenotype with statistic analysis. The results showed that the phenotypic characteristics of *Toona sinensis* fruits in the main distribution areas of Shandong were significantly different among provenances. The average variation coefficients of seed kernel length and capsule length were 13.5% and 12.6%, and the average variation coefficients of seed kernel width and capsule width were 11.4% and 11.7%, respectively. Capsule length and width, kernel length and seed width of *Toona sinensis* are important reasons for the diversity of their phenotypic traits. The variation of *Toona sinensis* kernels was higher than that of capsule. The cluster analysis divided 11 populations in Shandong Province into five broad categories. Correlation analysis with germination test showed that its germination rate and germination potential were negatively correlated with capsule length, with correlation coefficients of 0.736 and 0.694, respectively.

## Keywords

*Toona sinensis*, Germplasm Resources, Phenotypic Character, Seed Traits, Variation Analysis

# 山东主要分布区香椿种质资源种实性状差异性分析

王磊<sup>1</sup>, 胡秋欣<sup>2</sup>, 于梅<sup>3</sup>, 吴丹<sup>1</sup>, 包志刚<sup>1</sup>, 吴府胜<sup>1</sup>, 李猛<sup>1</sup>, 鲁仪增<sup>1</sup>, 赵永军<sup>1\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 王磊, 胡秋欣, 于梅, 吴丹, 包志刚, 吴府胜, 李猛, 鲁仪增, 赵永军. 山东主要分布区香椿种质资源种实性状差异性分析[J]. 植物学研究, 2020, 9(3): 156-162. DOI: 10.12677/br.2020.93019

<sup>1</sup>山东省林木种质资源中心, 山东 济南

<sup>2</sup>山东农业工程学院园林与工程学院, 山东 济南

<sup>3</sup>山东农业工程学院食品科学与工程学院, 山东 济南

Email: 13305317857@163.com

收稿日期: 2020年3月9日; 录用日期: 2020年4月14日; 发布日期: 2020年4月21日

## 摘要

为了解香椿种质资源在山东省各分布区之间的差异及其规律性, 对山东省内各地的香椿进行实地考察和收集, 利用针叶/种子扫描系统对香椿种实进行扫描测定、统计分析。研究表明: 山东主要分布区香椿种实的表型性状在种源间具有差异显著性。种仁长、蒴果长的平均变异系数分别为13.5%、12.6%, 种仁宽、蒴果宽的平均变异系数分别为11.4%、11.7%。香椿的蒴果长与宽、种仁长与种子宽是香椿表型性状呈现多样性的重要原因。香椿种仁的变异差异高于蒴果。聚类分析将山东省11个群体分成五个大类。与发芽试验的相关性分析表明, 其发芽率、发芽势与蒴果长具有负相关, 相关系数分别为0.736, 0.694。

## 关键词

香椿, 种质资源, 表型性状, 种实性状, 差异性分析

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

香椿(*Toona sinensis* Roam)原产于中国, 又名香铃子、椿天、香椿芽等, 已列入我国珍贵树种名录[1], 成材用时短, 树木粗壮高大, 材质纹理美观独特, 有“中国桃花心木”的佳誉[2]。香椿适应能力强, 分布广泛, 较耐湿, 喜光照, 可在 pH 5.5~8.0 的土壤环境正常生长[3]。我国香椿食用历史久远且深受百姓喜欢[4] [5], 有治疗外感风寒、缓解轻度胃痛、润肤明目等功效[6]。目前, 大多数香椿研究集中于集约化栽培[7] [8] [9]、贮藏保鲜[10] [11]、化学药理成分等方面[12] [13], 少数机构开展了表型研究[14] [15], 对山东省分布的种质资源表型差异性分析研究较少。本研究以山东主要分布区的香椿为材料, 分析种实表型性状间的差异, 以对其种质资源收集保护、评价、利用等提供参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 山东省香椿分布情况及资源采集

按照山东省林木种质资源调查结果, 香椿在山东各地市均有分布。分组对山东主要分布区 11 个地市进行采集, 共收集资源 233 份。采集信息见表 1。

### 2.2. 香椿种实表型性状测定

从每份香椿资源中随机选出 30 粒香椿蒴果, 用针叶/种子扫描系统(加拿大 WinSEEDLE)对其进行扫描测定。测量蒴果长、种子长(带种翅)、种仁长(去种翅种子), 蒴果宽、种子宽、种仁宽。每次测量观察种子的饱满度以及完整度, 并对种子长宽进行校准, 防止数据出现偏差。种子经双 15 (温度 15℃, 空气湿度 15%)干燥至恒重, 每份种子随机选出 100 粒, 4 次重复, 用电子天平称量, 精确到 0.01, 得千粒重。

**Table 1.** County level planning schedule**表 1.** 县域等级规划一览表

采集地	编号	数量/份	纬度/N	经度/E	海拔/m	年降水量/mm	年均气温/°C	土壤类型
滨州	BZ	16	37°24'	117°52'	11.4	816	13.5	潮土
德州	DZ	15	36°55'	116°02'	22.7	832.7	14	潮土
菏泽	HZ	13	36°52'	117°10'	50.8	509.1	15.2	潮土
济南	JN	25	37°01'	117°03'	157.8	736	14.8	棕壤
济宁	JNI	28	35°34'	116°52'	45.2	542.5	15.1	褐土、潮土
聊城	LC	18	36°14'	116°16'	34	954.2	13.7	潮土
临沂	LY	15	34°50'	118°14'	86.5	861.7	14.2	棕壤土、褐土、潮土
青岛	QD	26	36°59'	119°48'	77.2	582.6	12.8	棕壤、潮土
泰安	TA	28	36°07'	117°19'	134	663.4	13.6	棕壤土、褐土
烟台	YT	30	37°01'	119°45'	47.8	800	12.5	棕壤、褐土和潮土
淄博	ZB	19	36°51'	117°56'	34.5	709.3	13.5	棕壤、褐土、潮土

### 2.3. 发芽试验

分别选取 11 地市饱满完整的种子，搓掉种子，浸种完毕后放到光照培养箱(杭州绿博 LGZ-380Y)中 25℃进行发芽，每单株设置 3 个重复。每天统一调查发芽势和发芽率，直至发芽结束。

### 2.4. 数据统计及分析

采用 Excel2007 进行数据统计整理，采用 SPSS18.0 进行方差分析、聚类分析、相关性分析和多重比较分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 表型性状差异性分析

对香椿表型性状差异性研究发现，蒴果长度在 22.1~29.6 mm 之间，排列顺序从短到长依次为 QD、JN、DZ、ZB、LY、LC、YT、BZ、HZ、JNI、TA，较长的蒴果分布于 HZ、JNI、TA 等山东西南部；ZB、LY、LC、YT、BZ、HZ、JNI、TA 这 8 个地市差异不显著，但分别与 QD、JN、DZ 这 3 地市差异显著。蒴果宽度在 8.9~13.4 cm 之间，从短到长依次为 QD、BZ、YT、LY、JN、DZ、LC、ZB、HZ、TA、JNI，和蒴果长一样，蒴果较宽的也分布于山东西南部；HZ、TA、JNI 均与 QD 地区蒴果宽差异极显著，与 BZ、YT、LY 差异显著，与 JN、DZ、LC、ZB 差异不显著。种子长度在 14.0~17.5 mm 之间，从短到长依次为 JN、DZ、LY、LC、ZB、QD、JNI、HZ、BZ、YT、TA，TA 与 JN、DZ、LY 种子长差异显著，与其他地市的种子长差异不显著。种子宽度在 4.5~5.5 mm 之间，从短到长依次为 LY、JN、QD、DZ、BZ、HZ、YT、LC、JNI、TA、ZB，ZB 与 LY、JN 种子宽差异极显著，与 QD、DZ、BZ 种子宽差异显著，与 HZ、YT、LC、JNI、TA 种子宽差异不显著。种仁长度在 5.3~6.7 mm 之间，从短到长依次为 LY、LC、ZB、JN、DZ、BZ、QD、HZ、JNI、TA、YT，YT 与 LY、LC 种仁长差异显著，与其他种仁长差异不显著。种仁宽度在 3.6~4.0 mm 之间，各地差异不显著。千粒重在 8.4~11.9 之间，从小到大依次为 DZ、BZ、JN、LC、LY、JNI、ZB、YT、QD、TA、HZ，HZ 地区的千粒重最大，与 DZ、BZ、JN、LC、LY、JNI 差异极显著，与 ZB 地区差异显著，与 YT、QD、TA 地区差异不显著。比较结果详见表 2。

**Table 2.** Analysis on the differences of phenotypic characters of *Toona sinensis***表 2.** 山东主要分布区香椿种实表型性状差异性分析

地区	蒴果长	地区	蒴果宽	地区	种子长	地区	种子宽	地区	种仁长	地区	种仁宽	地区	千粒重
QD	22.1 b A	QD	8.9 c B	JN	14.0 b A	LY	4.5 c B	LY	5.3 c A	LY	3.6 a A	DZ	8.4 c B
JN	22.5 b A	BZ	10.6 bc AB	DZ	14.2 b A	JN	4.5 c B	LC	5.6 bc A	JN	3.6 a A	BZ	8.4 c B
DZ	22.7 a A	YT	10.7 bc AB	LY	14.3 b A	QD	4.6 c AB	ZB	5.7 abc A	QD	3.6 a A	JN	8.6 c B
ZB	23.7 a A	LY	10.8 bc AB	LC	14.5 ab A	DZ	4.7 bc AB	JN	5.7 abc A	LC	3.6 a A	LC	9.1 bc B
LY	24.2 a A	JN	11.2 abc AB	ZB	14.6 ab A	BZ	4.7 bc AB	DZ	5.8 abc A	DZ	3.6 a A	LY	9.2 bc B
LC	24.5 a A	DZ	11.7 ab AB	QD	14.7 ab A	HZ	5.0 abc AB	BZ	5.9 abc A	BZ	3.6 a A	JNI	9.5 bc B
YT	24.9 a A	LC	11.7 ab AB	JNI	14.8 ab A	YT	5.1 abc AB	QD	5.9 abc A	HZ	3.8 a A	ZB	9.7 bc AB
BZ	25.5 a A	ZB	12.2 ab AB	HZ	14.9 ab A	LC	5.1 abc AB	HZ	6.2 abc A	ZB	3.9 a A	YT	10.5 ab AB
HZ	25.5 a A	HZ	12.7 ab A	BZ	15.6 ab A	JNI	5.4 ab AB	JNI	6.3 abc A	TA	3.9 a A	QD	10.6 ab AB
JNI	28.2 a A	TA	13.3 a A	YT	16.3 ab A	TA	5.4 ab AB	TA	6.6 ab A	JNI	3.9 a A	TA	10.6 ab AB
TA	29.6 a A	JNI	13.4 a A	TA	17.5 a A	ZB	5.5 a A	YT	6.7 a A	YT	4.0 a A	HZ	11.9 a A

注：小写字母代表 0.05 水平显著；大写字母代表 0.01 水平显著。

### 3.2. 表型性状变异分析

山东主要分布区香椿表型性状变异系数见表 3。香椿 11 个群体的各表型性状变异系数范围是 7.7%~19.2%，JNI 和 LY 两个群体的变异系数最大，分别为 14.9%、14.4%，表明其表型多样性比较丰富；而 LC 和 JN 两个群体的变异系数最低，分别为 9.4%、9.7%，表明其表型性状变异稳定性较高。香椿 11 个群体的表型性状变异系数由大至小的排列顺序  $JNI > LY > TA = ZB > HZ > QD > BZ > DZ = YT > JN > LC$ ，表明山东中南部地区香椿表型多样性程度较高。从香椿 6 个表型性状的变异系数看，种仁长、蒴果长的平均变异系数分别为 13.5%、12.6%，种仁长的平均变异系数明显高于蒴果长的平均变异系数；种仁宽和蒴果宽的平均变异系数分别为 11.4%、11.7%，二者相差甚微；表明香椿种仁的稳定性低于其蒴果的稳定性。

**Table 3.** Variation coefficient of phenotypic traits of *Toona sinensis* in main distribution areas**表 3.** 山东主要分布区香椿表型性状变异系数(%)

群体	蒴果长	蒴果宽	种子长	种子宽	种仁长	种仁宽	平均
JN	8.5	8	8.8	10.4	11.9	10.8	9.7
HZ	17.4	11.9	13.0	9.9	14.6	11.3	13.0
JNI	19.2	16.7	15.3	14.5	11.7	11.8	14.9
TA	12.2	9.3	14.5	12.8	16.4	13.4	13.1
LY	14.6	15.3	13.1	15.4	15	13.0	14.4
QD	14.1	11.4	11.1	10.2	16.9	11.3	12.5
YT	11.9	12.5	10.0	8.9	12.0	9.2	10.7
LC	7.7	6.4	7.7	10.2	11.2	13.0	9.4
DZ	10.0	11.9	9.3	12.1	11.5	9.2	10.7
BZ	13.2	8.5	15.2	11.2	11.9	9.1	11.5
ZB	9.6	16.7	11.8	12.5	15.7	12.2	13.1
平均	12.6	11.7	11.8	11.6	13.5	11.3	12.1

\*表示在 0.05 水平相关性显著；\*\*表示在 0.01 水平相关性显著(下同)。

### 3.3. 表型性状相关性分析

利用 SPSS 18.0 对香椿 6 个表型性状进行 Pearson 相关性分析[16], 结果见表 4。如表所示, 香椿蒴果长与种子宽呈正相关性, 相关系数为 0.61; 蒴果宽与种子宽、种仁宽呈正相关性, 相关系数分别为 0.72、0.71; 种子长与种仁长呈正相关, 相关系数为 0.70; 种子宽与种仁宽呈极显著正相关, 相关系数为 0.78; 千粒重与种仁长呈正相关, 而与种仁宽的相关性不明显, 相关系数分别为 0.79、0.57。树龄和表型性状间没有直观的相关性。

**Table 4.** Correlation analysis of phenotypic traits of *Toona sinensis* in main distribution areas

**表 4.** 山东主要分布区香椿表型性状相关性分析

性状	蒴果长	蒴果宽	种子长	种子宽	种仁长	种仁宽
蒴果宽	0.246					
种子长	0.543	-0.032				
种子宽	0.605*	0.724*	0.505			
种仁长	0.217	0.184	0.702*	0.476		
种仁宽	0.249	0.705*	0.471	0.784**	0.665*	
千粒重	-0.183	0.194	0.384	0.421	0.793**	0.574
树龄	-0.205	0.488	-0.126	0.313	-0.061	0.022

### 3.4. 表型性状与生态因子间相关性分析

对山东主要分布区 11 个香椿群体的表型性状与地理生态因子进行相关性分析, 结果如表 5 所示。香椿蒴果宽与海拔高度呈负相关, 相关系数为 0.79, 表明蒴果宽度随海拔高度增加而变小; 种子长与年平均气温呈正相关性, 相关系数为 0.68, 表明种子长度随年平均气温升高而变大。

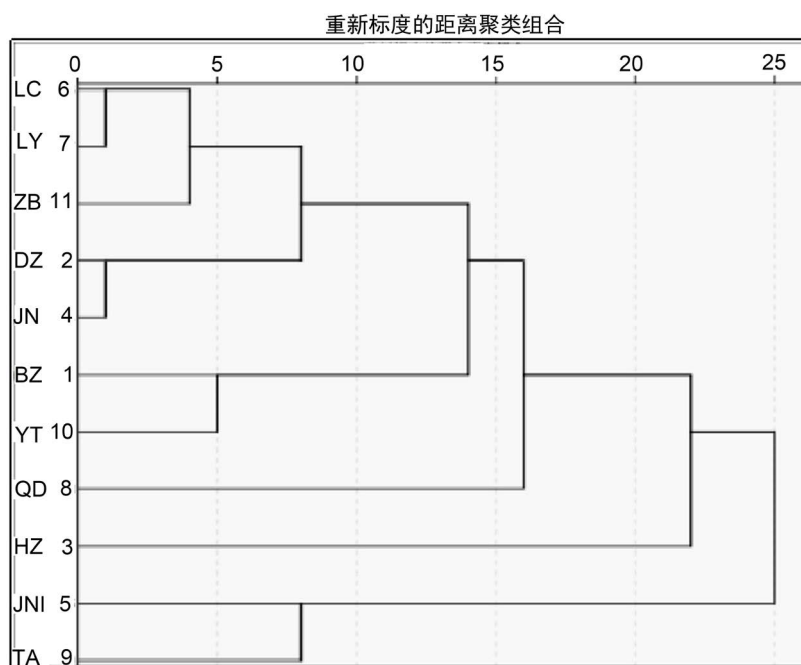
**Table 5.** Correlation analysis between phenotypic characters and ecological factors

**表 5.** 香椿表型性状与生态因子间的相关性分析

表型性状	纬度/N	经度/E	海拔高度/m	年降水量/mm	年平均气温/°C
蒴果长	0.228	-0.451	-0.458	0.147	0.391
蒴果宽	0.282	0.049	-0.791**	0.393	-0.260
种子长	0.300	-0.442	-0.263	-0.360	0.678*
种子宽	0.099	-0.466	-0.083	0.270	0.317
种仁长	0.458	-0.122	-0.173	-0.168	0.129
种仁宽	0.147	-0.040	-0.552	0.051	0.184
千粒重	0.108	-0.247	-0.060	0.106	0.037

### 3.5. 表型性状聚类分析

使用 SPSS 18.0 统计软件进行聚类分析。聚类方式选择组间平均连接法(Between-Groups Linkage), 度量标准采用 Euclidean 距离, 对山东主要分布区 11 个群体种实表型性状数据进行聚类分析, 结果见图 1。图中可见 11 个群体在阈值为 10 时, 可以分成 5 大类。第一类包括 LC、LY、ZB、DZ、JN 距离较近, BZ、YT 聚为一类, JN1 和 TA 聚为一类, QD、HZ 各成一类。JN1、TA、QD 等地表型差异显著, 而 LC 与 LY, DZ 与 JN 等地表型相似度较高。说明各种源之间的相似程度与地域、气候因子之间呈现不完全相关性。



**Figure 1.** Cluster analysis of *Toona sinensis* phenotypic traits  
**图 1.** 香椿表型性状的聚类分析

### 3.6. 发芽实验

#### 3.6.1. 发芽势、发芽率和表型性状的相关性

发芽率、发芽势和其表型性状的相关性见表 6。结果表明，香椿发芽率与蒴果长呈极显著负相关，发芽势与蒴果长呈显著负相关，说明蒴果越长发芽率和发芽势越低。发芽率、发芽势和其他表型性状未发现直观明显相关性。

**Table 6.** Correlation between germination potential, germination rate and phenotypic traits  
**表 6.** 香椿的发芽势、发芽率和其表型性状的相关性

指标	蒴果长	蒴果宽	种子长	种子宽	种仁长	种仁宽	千粒重
发芽率	-0.736**	-0.449	-0.400	-0.407	-0.136	-0.286	0.322
发芽势	-0.694*	0.187	-0.580	-0.074	-0.206	0.061	0.347

#### 3.6.2. 发芽势、发芽率和地域因子的相关性

发芽率、发芽势与地域因子的相关性见表 7。结果表明，香椿的发芽率与海拔之间表现出一定的相关性，这可能与气候适应有关。发芽率、发芽势与经度、纬度未发现相关性，说明香椿在山东地区属于适生区域，经纬度不是香椿繁育的限制性因子。

**Table 7.** Correlation between germination potential, germination rate and geographical factors  
**表 7.** 香椿的发芽势、发芽率和地域因子的相关性

指标	纬度	经度	海拔高度
发芽率	-0.563	0.044	0.567
发芽势	-0.413	0.127	0.033

## 4. 讨论

植物表型变异是遗传变异的重要表型形式,是基因型和环境因子共同作用的结果,反映了它对于环境因子变化的适应性。本实验对山东主要分布区 11 个群体进行研究发现,香椿蒴果长宽、种子长宽、种仁长宽和千粒重均存在不同程度差异性。这种差异性应是地理环境因子和自身遗传因子双重作用,并经长时间的自然选择出现的[17]。从变异分析看,蒴果长、种仁长两性状的变异系数最大、变异程度最高;JN1 和 LC 群体变异系数最大,两个区域表型多样性程度较高,具有较丰富的变异,可对香椿优良品种选育方向提供一定的理论基础。从与地理生态因子的相关性分析看,香椿蒴果长宽、种子宽、种仁长是影响表型性状多样性的重要因素;蒴果宽度、种子宽度皆随海拔高度增加而变小,种子长度随年平均气温升高而变大。种实与经纬度、年降水量之间的相关性暂未发现明显规律,这可能与山东省内各市间的经纬度差别较小有关,有待进一步研究分析。从聚类分析看,LC 与 LY、BZ 与 YT 最先聚类,但地域不完全接壤、生态因子也不完全一致,这可能存在地域间的相互引种关系;ZB、DZ、JN 地域相连、气候基本一致,可能是形成相似性的原因;QD、HZ、JN1 和 TA 这 4 个群体各成一类,说明 4 个群体的香椿资源具一定地域特色,可作为遗传育种资源的重要选择地。从发芽实验看,发芽率、发芽势与蒴果长呈显著负相关,与其他表型性状和地域因子相关性还需进一步探索分析。

## 基金项目

山东省农业良种工程项目《林木种质资源收集保护与精准鉴定》(2019LZGC018)。

## 参考文献

- [1] 彭方仁, 梁有旺. 香椿的生物学特性及开发利用前景[J]. 林业科技开发, 2005, 19(3): 3-6.
- [2] 周翔宇. 中国香椿属研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [3] 吴玉洲, 张新权, 李社辉, 等. 香椿生物学特性及育苗技术[J]. 北方园艺, 2012(15): 57-58.
- [4] 王江. 广西香椿类型差异性研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2017.
- [5] 刑莎莎, 陈超. 香椿化学成分及药理作用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 8978-8979+8981.
- [6] 陈日红, 刘学松, 沈素娟, 等. 毛红椿天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 南方林业科学, 2018, 46(5): 31-36.
- [7] 刘爱杰, 潘晓芳. 香椿幼苗表型对自然干旱胁迫的响应[J]. 广西林业科学, 2015, 44(2): 141-144.
- [8] 郭利红. 香椿栽培技术[J]. 现代农村科技, 2007(4): 39-40.
- [9] 刘向东, 王轶. 菜用香椿设施栽培技术[J]. 吉林蔬菜, 1995(5): 20-21.
- [10] 王清, 刘涛. 香椿贮藏保鲜及加工应用的研究进展[J]. 农产品加工, 2015(8): 61-63+65.
- [11] 李琳, 钱春桃. 香椿贮藏保鲜方法研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(34): 12296-12298.
- [12] 贺正阳, 林丽. 香椿子化学成分与药理作用研究进展[J]. 甘肃中医学院学报, 2013, 30(4): 64-66.
- [13] 陈玉丽, 阮志鹏, 林丽珊, 等. 香椿的化学成分及药理作用研究进展[J]. 长治医学院学报, 2008, 22(4): 315-317.
- [14] 宋志姣. 广西香椿种源试验与选择[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [15] 吴军, 钟志真, 楼君, 等. 香椿天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(2): 248-256.
- [16] Carroll, J.B. (1961) The Nature of the Data, or How to Choose a Correlation Coefficient. *Psychometrika*, **26**, 347-372. <https://doi.org/10.1007/BF02289768>
- [17] Gitonga, L., Kahangi, E., Muigai, A., Ngamau, K., Gichuki, S., Cheluget, W. and Wepukhulu, S. (2008). Assessment of Phenotypic Diversity of Macadamia. (Macadamia spp.) Germplasm in Kenya Using Leaf and Fruit Morphology. *African Journal of Plant Science*, **2**, 86-93.