

山东省不同种源盐肤木果实表型性状多样性分析

王 尧¹, 吴姝青¹, 张俊康¹, 王延玲^{1,①}, 丰 震¹, 臧德奎¹, 郭廷松², 王庆华²

(1. 山东农业大学林学院 黄河下游森林培育国家林业和草原局重点实验室, 山东 泰安 271000;

2. 山东省徂徕山林场, 山东 泰安 271000)

摘要: 以山东省泰安徂徕山、泰安泰山、临沂蒙山、烟台艾山和烟台昆嵛山 5 个种源 63 株盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.) 的成熟果实为研究对象, 对不同种源果实和种子的横径、纵径和侧径以及果皮和种子的百粒鲜质量、百粒干质量和含水量进行了比较; 在此基础上, 对果实表型性状进行了变异分析、Pearson 相关性分析和主成分分析, 基于欧氏距离对供试 5 个种源进行了聚类分析, 并对果实表型性状与部分地理-气候因子进行了 Pearson 相关性分析。结果表明: 盐肤木上述 12 个果实表型性状在种源间存在显著 ($P < 0.05$) 差异; 烟台昆嵛山种源的果实横径 (4.69 mm)、果实纵径 (4.53 mm)、种子横径 (3.61 mm)、种子纵径 (2.93 mm)、果皮百粒鲜质量 (0.88 g)、种子百粒鲜质量 (1.26 g)、果皮百粒干质量 (0.81 g) 和种子百粒干质量 (1.18 g) 最大, 果实侧径 (2.35 mm) 和果皮含水量 (8.94%) 较大。盐肤木这 12 个果实表型性状种源间变异系数的均值为 24.35%, 种源内变异系数的均值为 12.99%。Pearson 相关性分析结果表明: 大部分果实表型性状间的相关性显著或极显著 ($P < 0.01$), 且与经度、平均海拔和无霜期的相关性显著。主成分分析结果表明: 前 4 个主成分的累计贡献率为 82.62%, 第 1 和第 2 主成分分别为果实和种子的质量性状和形态性状。聚类分析结果表明: 在欧氏距离 6.0 处, 供试 5 个种源被分成 2 组, 一组仅泰安徂徕山 1 个种源, 另一组包括其余 4 个种源。综上所述, 山东省盐肤木果实表型性状多样性较为丰富, 果实表型性状变异以种源间变异为主且受地理位置影响明显; 果实和种子的质量性状和形态性状可作为盐肤木优质种源筛选的重要指标; 烟台昆嵛山种源为供试盐肤木的最优种源。

关键词: 盐肤木; 果实表型性状; 表型多样性; Pearson 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: Q944; S684 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2020)01-0018-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2020.01.03

Analysis on diversity of fruit phenotypic traits of *Rhus chinensis* from different provenances in Shandong Province WANG Yao¹, WU Shuqing¹, ZHANG Junkang¹, WANG Yanling^{1,①}, FENG Zhen¹, ZANG Dekui¹, GUO Tingsong², WANG Qinghua² (1. State Forestry and Grassland Administration Key Laboratory of Silviculture in Downstream Areas of the Yellow River, Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China; 2. Culai Forest Farm, Tai'an 271000, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2020, 29(1): 18-25

Abstract: Taking ripe fruits of sixty-three individuals of *Rhus chinensis* Mill. from five provenances of Culai Mountain of Tai'an, Mount Tai of Tai'an, Mengshan Mountain of Linyi, Aishan Mountain of Yantai, and Kunyu Mountain of Yantai in Shandong Province as research objects, horizontal, vertical and side diameters of fruit and seed, 100-grain fresh and dry masses and moisture content of peel and seed from different provenances were compared; on the basis, variation, Pearson correlation, and principal component analyses on fruit phenotypic traits were performed, cluster analysis on five test provenances were conducted based on Euclidean distance, and Pearson correlation of fruit phenotypic traits with some geographical-climatic factors were analyzed. The results show that there are significant ($P < 0.05$) differences in above twelve fruit phenotypic traits of *R. chinensis* among provenances; fruit horizontal

收稿日期: 2019-03-12

基金项目: 山东省农业良种工程项目(2016LZGC014); 山东省科技创新项目(LYCX01-2018-03); 泰安市 2017 年农业良种工程项目
作者简介: 王 尧(1996—), 男, 山东肥城人, 硕士研究生, 主要从事园林植物种质资源与生物技术育种研究。

①通信作者 E-mail: wangyl219@126.com

diameter (4.69 mm), fruit vertical diameter (4.53 mm), seed horizontal diameter (3.61 mm), seed vertical diameter (2.93 mm), peel 100-grain fresh mass (0.88 g), seed 100-grain fresh mass (1.26 g), peel 100-grain dry mass (0.81 g), and seed 100-grain dry mass (1.18 g) of Kunyu Mountain of Yantai provenance are the largest, and its fruit side diameter (2.35 mm) and peel moisture content (8.94%) are relatively large. The average of coefficient of variation of these twelve phenotypic traits of *R. chinensis* among provenances is 24.35%, while that within provenance is 12.99%. The Pearson correlation analysis result shows that the correlations among most fruit phenotypic traits are significant or extremely significant ($P < 0.01$), and their correlations with longitude, mean altitude, and frostless period are significant. The principal component analysis result shows that the cumulative contribution rate of the first four principal components is 82.62%, and the first and the second principal components are quality traits and morphological traits of fruit and seed, respectively. The cluster analysis result shows that at Euclidean distance of 6.0, the five test provenances are clustered into two groups, one group only contains Culai Mountain of Tai'an provenance, while the other group contains the rest four provenances. In conclusion, the diversity of fruit phenotypic traits of *R. chinensis* in Shandong Province is relatively abundant, and the variations of fruit phenotypic traits are mainly among provenances and are evidently affected by geographical locations; mass traits and morphological traits of fruit and seed can be used as important indexes for selecting good provenance of *R. chinensis*; Kunyu Mountain of Yantai provenance is the best provenance of test *R. chinensis*.

Key words: *Rhus chinensis* Mill.; fruit phenotypic traits; phenotypic diversity; Pearson correlation analysis; principal component analysis; cluster analysis

盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.) 隶属于漆树科 (Anacardiaceae) 盐肤木属 (*Rhus* Linn.), 为落叶灌木或小乔木, 除辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古和新疆外, 在国内其余各地均有分布^[1]。盐肤木对土壤和环境的适应能力较强^[2], 可用于荒山绿化; 其叶片在秋季和冬季呈鲜红色, 核果呈橘红色, 具有较高的观赏价值, 是一种良好的园林观赏树种^[3]。此外, 盐肤木的根、茎、叶、花和果实均可入药, 具有祛风化湿、消肿软坚及收敛解毒等功效^[4-7]; 其果实含有大量的矿质元素和油脂^[8], 具有较高的经济价值。

目前, 国内学者关于盐肤木遗传多样性的研究很少, 仅段立柱^[9]采用 AFLP 标记技术对陕西和云南等地 12 个盐肤木种群 259 个单株的遗传多样性进行了研究, 结果表明供试盐肤木种群间的遗传变异较大。植物的表型性状多样性不但是衡量植物多样性的重要指标, 而且是评价植物遗传变异的最直接指标^[10-11], 并在确定地方种质资源适应性及育种方面具有重要作用^[12-13]。目前, 植物的表型性状多样性已被应用于掌叶木 [*Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd.]^[14]、枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.)^[15] 和核桃 (*Juglans regia* Linn.)^[16] 等种类的遗传多样性研究。然而, 尚未见不同种源盐肤木果实表型性状多样性方面的研究报道, 不利于盐肤木的良种选育、实际生产及推广应用。

利用分子标记技术结合植物的表型性状可以更

加准确地了解植物的遗传多样性^[17-18], 而果实表型性状变异是植物遗传变异的重要特征^[19], 因此, 开展植物果实表型性状变异研究对于植物的遗传多样性研究具有重要意义。

鉴于此, 作者以山东省 5 个种源 63 株盐肤木的成熟果实为研究对象, 对不同种源盐肤木果实和种子的横径、纵径和侧径以及果皮和种子的百粒鲜质量、百粒干质量和含水量进行了比较; 在此基础上, 对盐肤木果实表型性状进行了变异分析、Pearson 相关性分析和主成分分析, 基于欧氏距离对供试 5 个种源进行了聚类分析, 并对盐肤木果实表型性状与部分地理-气候因子进行了 Pearson 相关性分析, 以期了解盐肤木果实表型性状的变异规律, 为盐肤木种源的综合评价提供参考指标, 并为盐肤木种质资源收集及良种选育奠定基础。

1 种源地自然概况和研究方法

1.1 种源地自然概况

根据盐肤木在山东省的主要分布地区及分布情况, 选取泰安徂徕山、泰安泰山、临沂蒙山、烟台艾山和烟台昆嵛山 5 个种源地进行采样。各种源地气候类型均属于温带季风气候, 土壤多为棕壤或褐土; 其中, 泰安徂徕山种源的伴生植物有刺槐 (*Robinia*

pseudoacacia Linn.)、栓皮栎 (*Quercus variabilis* Bl.)、元宝槭 (*Acer truncatum* Bunge) 和荆条 [*Vitex negundo* var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.] 等; 泰安泰山种源的伴生植物有杨树 (*Populus* spp.)、臭椿 [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle]、旱柳 (*Salix matsudana* Koidz.) 和火棘 [*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) H. L. Li] 等; 临沂蒙山种源的伴生植物有栓皮栎、枫香树

(*Liquidambar formosana* Hance)、山槐 [*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain] 和荆条等; 烟台艾山种源的伴生植物有刺槐、臭椿、榆树 (*Ulmus pumila* Linn.) 和马齿苋 (*Portulaca oleracea* Linn.) 等; 烟台昆嵛山种源的伴生植物有赤松 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)、火炬松 (*Pinus taeda* Linn.)、刺槐和麻栎 (*Quercus acutissima* Carruth.) 等。各种源地的自然概况见表 1。

表 1 山东省 5 个盐肤木种源地的自然概况

Table 1 Natural status of five provenance locations of *Rhus chinensis* Mill. in Shandong Province

种源 Provenance	经度 Longitude	纬度 Latitude	平均海拔/m Mean altitude	年均温/℃ Annual mean temperature	年均降水量/mm Annual mean precipitation	无霜期/d Frostless period
泰安徂徕山 Culai Mountain of Tai'an	E117°20'	N36°03'	1 027	13.9	885.0	215
泰安泰山 Mount Tai of Tai'an	E117°06'	N36°16'	1 532	6.0	1 031.3	195
临沂蒙山 Mengshan Mountain of Linyi	E117°58'	N35°33'	1 156	13.1	823.8	191
烟台艾山 Aishan Mountain of Yantai	E120°35'	N37°25'	814	11.3	753.8	207
烟台昆嵛山 Kunyu Mountain of Yantai	E121°46'	N37°15'	922	11.9	984.0	200

1.2 研究方法

1.2.1 果实采集方法 于 2018 年 11 月, 在各种源地内选择株距在 50 m 以上的盐肤木样株进行采样, 泰安徂徕山、泰安泰山、临沂蒙山、烟台艾山和烟台昆嵛山种源的样株数分别为 13、13、21、8 和 8 株。在样株阳面树冠的中上部随机采集生长发育良好的果序, 每株至少选取 10 个果穗, 每个果穗至少采集 60 粒成熟果实。

1.2.2 指标测量方法 选择遗传相对稳定且易于观测的 12 个果实表型性状(包括 6 个形态性状、4 个质量性状和 2 个含水量指标)进行测量分析。

果实横径为果实横截面最大处的直径, 果实纵径为果实纵截面最大处的直径, 果实侧径为果实侧截面最大处的直径, 种子横径为种子横截面最大处的直径, 种子纵径为种子纵截面最大处的直径, 种子侧径为种子侧截面最大处的直径。上述形态性状均采用游标卡尺(精度 0.01 mm)测量, 每个种源采集的所有果实均测量。

采用电子天平(精度 0.01 g)称量果皮和种子的百粒鲜质量(即 100 粒未失去自由水的果皮和种子的总质量)和百粒干质量(即 100 粒失去自由水的果皮和种子的总质量), 在称量果皮和种子的百粒鲜质量后, 将 100 粒果实和种子置于 80 ℃ 条件下烘干至恒质量, 再称量果皮和种子的百粒干质量。每个质量性状重复称量 3 次, 结果取平均值。

此外, 根据上述称量结果分别计算果皮和种子的含水量, 计算公式为含水量 = [(百粒鲜质量 - 百粒干质量) / 百粒鲜质量] × 100%。

1.3 数据统计及分析

利用 EXCEL 2010 软件对实验数据进行录入和整理, 对不同种源果实表型性状进行变异分析; 利用 SPSS 22.0 统计分析软件对相关数据进行方差分析、多重比较(Duncan's 新复极差法)、Pearson 相关性分析和主成分分析, 并根据果实表型性状的测量值计算种源间的欧氏距离, 据此对供试 5 个种源进行聚类分析。此外, 还对各果实表型性状与部分地理-气候因子(包括经度、纬度、平均海拔、年均温、年均降水量和无霜期)进行 Pearson 相关性分析。

2 结果和分析

2.1 盐肤木果实表型性状的比较及变异分析

山东省不同种源盐肤木果实表型性状的比较及变异分析见表 2。由表 2 可以看出: 5 个种源果实的横径、纵径和侧径分别为 3.49~4.69、3.18~4.53 和 1.95~3.67 mm, 均值分别为 4.24、3.91 和 2.35 mm; 种子的横径、纵径和侧径分别为 2.62~3.61、2.16~2.93 和 1.71~1.82 mm, 均值分别为 3.16、2.76 和 1.76 mm; 果皮和种子的百粒鲜质量分别为 0.46~0.88 和 0.80~1.26 g, 均值分别为 0.62 和 0.95 g; 果皮和种子的百粒

干质量分别为 0.42~0.81 和 0.73~1.18 g, 均值分别为 0.57 和 0.89 g; 果皮和种子的含水量分别为 6.16%~10.71% 和 2.20%~13.26%, 均值分别为 8.26% 和 6.76%。方差分析和多重比较结果表明: 盐肤木上述 12 个果实表型性状在种源间均存在显著 ($P<0.05$) 差异。

比较来看, 泰安徂徕山种源的果皮含水量和种子含水量最大, 果实横径、果实纵径、果实侧径、果皮百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量最小, 种子横径和种子百粒鲜质量较小; 泰安泰山种源的种子侧径较大, 果实纵径、果实侧径、果皮百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量较小, 种子百粒鲜

质量、果皮含水量和种子含水量最小; 临沂蒙山种源的果实横径、果实纵径、种子横径、种子纵径、种子百粒鲜质量、种子百粒干质量和种子含水量较大, 种子侧径和果皮含水量较小; 烟台艾山种源的果实侧径和种子侧径最大, 果皮百粒鲜质量和果皮百粒干质量较大, 果实横径和种子含水量较小, 种子横径和种子纵径最小; 烟台昆嵛山种源的果实横径、果实纵径、种子横径、种子纵径、果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量最大, 果实侧径和果皮含水量较大, 种子侧径最小。

由表 2 还可以看出: 从盐肤木果实表型性状种源内变异系数来看, 临沂蒙山种源的果实表型性状变异

表 2 山东省不同种源盐肤木果实表型性状的比较及变异分析¹⁾

Table 2 Comparison and variation analysis on fruit phenotypic traits of *Rhus chinensis* Mill. from different provenances in Shandong Province¹⁾

种源 ²⁾ Provenance ²⁾	果实横径 Fruit horizontal diameter		果实纵径 Fruit vertical diameter		果实侧径 Fruit side diameter		种子横径 Seed horizontal diameter		
	$\bar{X}\pm SE/\text{mm}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{mm}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{mm}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{mm}$	CV/%	
P1	3.49±0.40c	11.46	3.18±0.19c	5.97	1.95±0.33c	16.92	3.07±0.29c	9.45	
P2	4.43±0.30a	6.77	3.71±0.50b	13.48	2.04±0.34c	16.67	3.12±0.14bc	4.49	
P3	4.50±0.41a	9.11	4.32±0.47a	10.88	2.30±0.23b	10.00	3.29±0.30b	9.12	
P4	4.04±0.09b	2.23	3.77±0.09b	2.39	3.67±0.23a	6.27	2.62±0.09d	3.44	
P5	4.69±0.06a	1.28	4.53±0.07a	1.55	2.35±0.04b	1.70	3.61±0.09a	2.49	
均值 Average	4.24±0.53	6.17	3.91±0.60	6.85	2.35±0.59	10.31	3.16±0.35	5.80	
CV ₂ /%	12.50		15.35		25.11		11.08		
种源 ²⁾ Provenance ²⁾	种子纵径 Seed vertical diameter		种子侧径 Seed side diameter		果皮百粒鲜质量 Peel 100-grain fresh mass		种子百粒鲜质量 Seed 100-grain fresh mass		
	$\bar{X}\pm SE/\text{mm}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{mm}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{g}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{g}$	CV/%	
P1	2.82±0.29a	10.28	1.76±0.16ab	9.09	0.46±0.10c	21.74	0.84±0.19c	22.62	
P2	2.82±0.24a	8.51	1.79±0.10ab	5.59	0.54±0.08c	14.81	0.80±0.12c	15.00	
P3	2.86±0.24a	8.39	1.73±0.09ab	5.20	0.64±0.15b	23.44	1.03±0.14b	13.59	
P4	2.16±0.15b	6.94	1.82±0.07a	3.85	0.68±0.09b	13.24	0.88±0.05c	5.68	
P5	2.93±0.05a	1.71	1.71±0.04b	2.34	0.88±0.03a	3.41	1.26±0.05a	3.97	
均值 Average	2.76±0.32	7.17	1.76±0.11	5.21	0.62±0.17	15.33	0.95±0.20	12.17	
CV ₂ /%	11.59		6.25		27.42		21.05		
种源 ²⁾ Provenance ²⁾	果皮百粒干质量 Peel 100-grain dry mass		种子百粒干质量 Seed 100-grain dry mass		果皮含水量 Peel moisture content		种子含水量 Seed moisture content		CV ₁ /%
	$\bar{X}\pm SE/\text{g}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\text{g}$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\%$	CV/%	$\bar{X}\pm SE/\%$	CV/%	
P1	0.42±0.09d	21.43	0.73±0.17c	23.29	10.71±4.32a	40.34	13.26±4.08a	30.77	18.61
P2	0.50±0.08cd	16.00	0.78±0.12c	15.38	6.16±1.11b	18.02	2.20±0.40c	18.18	12.74
P3	0.59±0.15bc	25.43	0.96±0.13b	13.54	7.83±4.76ab	60.79	6.38±3.02b	47.34	19.74
P4	0.62±0.09b	14.52	0.84±0.04c	4.76	8.16±2.75ab	33.70	5.08±1.75b	34.45	10.96
P5	0.81±0.03a	3.70	1.18±0.05a	3.91	8.94±0.47ab	5.26	6.26±0.22b	3.51	2.90
均值 Average	0.57±0.16	16.22	0.89±0.19	12.18	8.26±3.79	31.62	6.76±4.50	26.85	
CV ₂ /%	28.07		21.35		45.88		66.57		

¹⁾ \bar{X} : 均值 Average; SE: 标准误 Standard error; CV: 变异系数 Coefficient of variation; CV₁: 种源内变异系数 Coefficient of variation within provenance; CV₂: 种源间变异系数 Coefficient of variation among provenances. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference.

²⁾ P1: 泰安徂徕山 Culai Mountain of Tai'an; P2: 泰安泰山 Mount Tai of Tai'an; P3: 临沂蒙山 Mengshan Mountain of Linyi; P4: 烟台艾山 Aishan Mountain of Yantai; P5: 烟台昆嵛山 Kunyu Mountain of Yantai.

最大,变异系数为 19.74%;烟台昆嵛山种源的果实表型性状变异最小,变异系数仅 2.90%;泰安徂徕山、泰安泰山和烟台艾山 3 个种源的果实表型性状变异居中,变异系数分别为 18.61%、12.74%和 10.96%。从盐肤木果实表型性状种源间变异系数来看,种子含水量的种源间变异最大,变异系数为 66.57%,种子侧径的种源间变异系数最小,变异系数为 6.25%。经计算,盐肤木 12 个果实表型性状种源间变异系数的均值为 24.35%,而其种源内变异系数的均值为 12.99%。

2.2 盐肤木果实表型性状的 Pearson 相关性分析

根据山东省不同种源盐肤木果实表型性状,对盐肤木果实表型性状进行 Pearson 相关性分析,结果见表 3。由表 3 可以看出:果实横径与果实纵径、种子横径、种子纵径、果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量呈极显著 ($P<0.01$) 正相关,与果皮含水量和种子含水量呈极显著负相关;果实纵径与种子横径、种子纵径、果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量呈极显著正相关,与果实侧径呈显著

($P<0.05$) 正相关,与种子含水量呈极显著负相关,与果皮含水量呈显著负相关;果实侧径与果皮百粒鲜质量和果皮百粒干质量呈极显著正相关,与种子侧径呈显著正相关,与种子纵径呈极显著负相关,与种子横径和种子含水量呈显著负相关;种子横径与种子纵径、果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量呈极显著正相关;种子纵径与种子百粒鲜质量和种子百粒干质量呈极显著正相关;果皮百粒鲜质量与种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量呈极显著正相关,与种子含水量呈显著负相关;种子百粒鲜质量与果皮百粒干质量和种子百粒干质量呈极显著正相关;果皮百粒干质量与种子百粒干质量呈极显著正相关,与种子含水量呈极显著负相关;种子百粒干质量与种子含水量呈显著负相关;果皮含水量与种子含水量呈显著正相关。总体来看,除了种子侧径外,果实形态性状间的相关性达到显著水平;果实 4 个质量性状间的相关性达到极显著水平,并且,果实质量性状与果实形态性状(不包括种子侧径)间的相关性大多达到极显著水平。

表 3 山东省盐肤木果实表型性状间的 Pearson 相关性分析¹⁾

Table 3 Analysis on Pearson correlations among fruit phenotypic traits of *Rhus chinensis* Mill. in Shandong Province¹⁾

性状 Trait	果实表型性状间的相关系数 Correlation coefficient among fruit phenotypic traits												
	FHD	FVD	FSD	SHD	SVD	SSD	PFM	SFM	PDM	SDM	PMC	SMC	
FHD	1.000												
FVD	0.815**	1.000											
FSD	0.167	0.268*	1.000										
SHD	0.497**	0.514**	-0.305*	1.000									
SVD	0.330**	0.351**	-0.501**	0.566**	1.000								
SSD	-0.026	-0.017	0.279*	-0.115	0.086	1.000							
PFM	0.543**	0.710**	0.365**	0.410**	0.196	0.041	1.000						
SFM	0.492**	0.675**	0.166	0.482**	0.378**	0.133	0.763**	1.000					
PDM	0.580**	0.730**	0.363**	0.391**	0.194	0.041	0.987**	0.737**	1.000				
SDM	0.590**	0.731**	0.213	0.498**	0.364**	0.148	0.808**	0.980**	0.787**	1.000			
PMC	-0.387**	-0.259*	-0.045	0.035	-0.028	0.013	-0.065	0.048	-0.218	-0.010	1.000		
SMC	-0.558**	-0.353**	-0.265*	-0.090	0.035	-0.208	-0.315*	-0.079	-0.342**	-0.271*	0.305*	1.000	

¹⁾ FHD: 果实横径 Fruit horizontal diameter; FVD: 果实纵径 Fruit vertical diameter; FSD: 果实侧径 Fruit side diameter; SHD: 种子横径 Seed horizontal diameter; SVD: 种子纵径 Seed vertical diameter; SSD: 种子侧径 Seed side diameter; PFM: 果皮百粒鲜质量 Peel 100-grain fresh mass; SFM: 种子百粒鲜质量 Seed 100-grain fresh mass; PDM: 果皮百粒干质量 Peel 100-grain dry mass; SDM: 种子百粒干质量 Seed 100-grain dry mass; PMC: 果皮含水量 Peel moisture content; SMC: 种子含水量 Seed moisture content. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

2.3 盐肤木果实表型性状与部分地理-气候因子的 Pearson 相关性分析

对山东省盐肤木果实表型性状与部分地理-气候因子进行 Pearson 相关性分析,结果见表 4。由表 4 可以看出:果实横径与无霜期呈极显著 ($P<0.01$) 负

相关,与年均温呈显著 ($P<0.05$) 负相关;果实纵径与经度呈极显著正相关,与无霜期呈极显著负相关;果实侧径与经度和纬度呈极显著正相关,与平均海拔和年均降水量呈极显著负相关;种子横径与年均降水量呈极显著正相关,与无霜期呈极显著负相关;种子纵

径与平均海拔和年均降水量呈极显著正相关,与纬度呈极显著负相关,与经度呈显著负相关;种子侧径与供试 6 个地理-气候因子的相关性均不显著;果皮百粒鲜质量与经度和纬度呈极显著正相关,与平均海拔呈极显著负相关,与无霜期呈显著负相关;种子百粒鲜质量与经度呈极显著正相关,与年均温呈显著正相关,与平均海拔呈极显著负相关,与无霜期呈显著负相关;果皮百粒干质量与经度呈极显著正相关,与纬度呈显著正相关,与平均海拔和无霜期呈显著负相关;种子百粒干质量与经度呈极显著正相关,与无霜

期呈极显著负相关;果皮含水量与年均温和无霜期呈显著正相关,与平均海拔呈显著负相关;种子含水量与年均温和无霜期呈极显著正相关,与平均海拔呈极显著负相关,与年均降水量呈显著负相关。总体来看,盐肤木果实表型性状(不包括种子侧径)与大部分地理-气候因子的相关性达到显著水平;大部分果实表型性状与纬度、年均温和年均降水量的相关性不显著,但与经度、平均海拔和无霜期的相关性却达到显著水平,且大部分果实表型性状与无霜期呈负相关。

表 4 山东省盐肤木果实表型性状与部分地理-气候因子的 Pearson 相关性分析¹⁾

Table 4 Analysis on Pearson correlations of fruit phenotypic traits of *Rhus chinensis* Mill. in Shandong Province with some geographical-climatic factors¹⁾

果实表型性状 Fruit phenotypic trait	与各地理-气候因子的相关系数 Correlation coefficient with each geographical-climatic factor					
	经度 Longitude	纬度 Latitude	平均海拔 Mean altitude	年均温 Annual mean temperature	年均降水量 Annual mean precipitation	无霜期 Frostless period
FHD	0.226	-0.058	0.244	-0.277*	0.189	-0.714**
FVD	0.353**	-0.038	-0.064	0.074	-0.081	-0.624**
FSD	0.565**	0.498**	-0.522**	0.057	-0.548**	0.075
SHD	0.070	-0.206	0.119	0.105	0.331**	-0.341**
SVD	-0.274*	-0.397**	0.323**	0.044	0.393**	-0.238
SSD	-0.034	0.122	0.046	-0.171	-0.024	0.101
PFM	0.654**	0.332**	-0.331**	0.089	-0.037	-0.269*
SFM	0.489**	0.082	-0.332**	0.313*	-0.061	-0.263*
PDM	0.631**	0.318*	-0.290*	0.048	-0.023	-0.300*
SDM	0.503**	0.104	-0.243	0.182	-0.011	-0.373**
PMC	0.055	0.047	-0.279*	0.314*	-0.124	0.317*
SMC	-0.120	-0.115	-0.424**	0.639**	-0.256*	0.595**

¹⁾FHD: 果实横径 Fruit horizontal diameter; FVD: 果实纵径 Fruit vertical diameter; FSD: 果实侧径 Fruit side diameter; SHD: 种子横径 Seed horizontal diameter; SVD: 种子纵径 Seed vertical diameter; SSD: 种子侧径 Seed side diameter; PFM: 果皮百粒鲜质量 Peel 100-grain fresh mass; SFM: 种子百粒鲜质量 Seed 100-grain fresh mass; PDM: 果皮百粒干质量 Peel 100-grain dry mass; SDM: 种子百粒干质量 Seed 100-grain dry mass; PMC: 果皮含水量 Peel moisture content; SMC: 种子含水量 Seed moisture content. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.4 盐肤木果实表型性状的主成分分析

对山东省盐肤木果实表型性状进行主成分分析,结果见表 5。由表 5 可以看出:第 1、第 2、第 3 和第 4 主成分的累计贡献率为 82.62%,说明这 4 个主成分能够代表盐肤木果实表型性状的大部分信息。其中,第 1 主成分的贡献率最高,达到 44.86%,且果实纵径、果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量 5 个性状特征向量的绝对值较大,说明第 1 主成分主要是与盐肤木果实和种子质量相关的性状;第 2 主成分的贡献率为 16.77%,且果实侧径、种子横径和种子纵径 3 个性状特征向量的绝对值较大,说明第 2 主成分主要是与

盐肤木果实和种子形态相关的性状;第 3 主成分的贡献率为 12.04%,且果实横径、果皮含水量和种子含水量 3 个性状特征向量的绝对值较大,说明第 3 主成分主要是与盐肤木果实和种子含水量相关的性状;第 4 主成分的贡献率为 8.95%,仅种子侧径特征向量的绝对值较大。

2.5 不同种源盐肤木的聚类分析

基于欧氏距离对山东省供试 5 个种源盐肤木进行聚类分析,结果见图 1。由图 1 可见:在欧氏距离 6.0 处,供试的 5 个种源被分成 2 组,其中,一组仅泰安徕徕山 1 个种源,另一组包括临沂蒙山、烟台昆崂山、烟台艾山和泰安泰山 4 个种源。

表 5 山东省盐肤木果实表型性状的主成分分析

Table 5 Principal component analysis on fruit phenotypic traits of *Rhus chinensis* Mill. in Shandong Province

主成分 Principal component	特征向量 ¹⁾ Eigenvector ¹⁾					SSD	PFM	SFM
	FHD	FVD	FSD	SHD	SVD			
1	0.34	0.38	0.11	0.26	0.18	0.04	0.38	0.37
2	-0.02	-0.01	-0.59	0.42	0.51	-0.22	-0.11	0.09
3	-0.38	-0.13	0.21	-0.07	-0.10	0.18	0.19	0.32
4	-0.01	-0.09	-0.06	0.01	0.36	0.86	-0.16	0.02

主成分 Principal component	特征向量 ¹⁾ Eigenvector ¹⁾				特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
	PDM	SDM	PMC	SMC			
1	0.39	0.39	-0.09	-0.18	5.38	44.86	44.86
2	-0.13	0.04	0.17	0.31	2.01	16.77	61.63
3	0.09	0.22	0.62	0.41	1.45	12.04	73.67
4	-0.16	0.05	0.02	-0.25	1.07	8.95	82.62

¹⁾FHD: 果实横径 Fruit horizontal diameter; FVD: 果实纵径 Fruit vertical diameter; FSD: 果实侧径 Fruit side diameter; SHD: 种子横径 Seed horizontal diameter; SVD: 种子纵径 Seed vertical diameter; SSD: 种子侧径 Seed side diameter; PFM: 果皮百粒鲜质量 Peel 100-grain fresh mass; SFM: 种子百粒鲜质量 Seed 100-grain fresh mass; PDM: 果皮百粒干质量 Peel 100-grain dry mass; SDM: 种子百粒干质量 Seed 100-grain dry mass; PMC: 果皮含水量 Peel moisture content; SMC: 种子含水量 Seed moisture content.

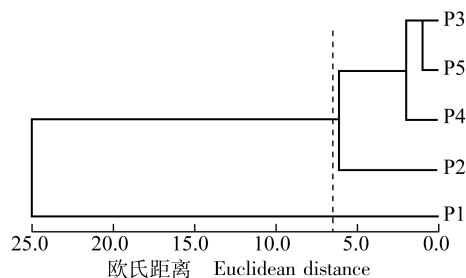


图 1 基于欧氏距离的山东省不同种源盐肤木的聚类分析结果
Fig. 1 Cluster analysis result of *Rhus chinensis* Mill. from different provenances in Shandong Province based on Euclidean distance

图 1 基于欧氏距离的山东省不同种源盐肤木的聚类分析结果
Fig. 1 Cluster analysis result of *Rhus chinensis* Mill. from different provenances in Shandong Province based on Euclidean distance

3 讨论和结论

本研究结果表明:供试盐肤木 12 个果实表型性状在不同种源间存在显著差异,说明山东省盐肤木果实表型性状多样性较为丰富;12 个果实表型性状种源间变异系数的均值(24.35%)明显大于种源内变异系数的均值(12.99%),说明供试山东省不同种源盐肤木的果实表型性状存在较大变异,且其变异以种源间变异为主。值得注意的是,烟台昆嵛山种源的果实横径、果实纵径、种子横径、种子纵径、果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量均大于其余 4 个种源,这可能是由于昆嵛山地处暖温带季风气候区,是中国在该地理带内分布面积最

大、保护最完整的森林生态系统^[20],适宜盐肤木生长。

相关性分析是研究 2 个或 2 个以上处于同等地位的随机变量间相关关系的统计分析方法^[21]。若 2 个随机变量间存在显著相关性,则可以通过一个随机变量的变化推测出另一个随机变量的变化^[22]。总体来看,除了种子侧径外,盐肤木其余果实形态性状间存在显著相关性;果皮百粒鲜质量、种子百粒鲜质量、果皮百粒干质量和种子百粒干质量 4 个果实质量性状间均呈极显著正相关,且果实质量性状与果实形态性状(不包括种子侧径)间大多呈极显著正相关;种子含水量与果实横径、果实纵径和果皮百粒干质量呈极显著负相关。说明盐肤木果实形态性状和质量性状之间关系密切,果实横径、果实纵径和果皮百粒干质量可作为衡量种子含水量的指标。此外,从盐肤木果实表型性状与部分地理-气候因子的相关性分析结果来看,盐肤木果实表型性状(不包括种子侧径)与大部分地理-气候因子间存在显著相关性;大部分果实表型性状与纬度、年均温和年均降水量间无显著相关性,但与经度、平均海拔和无霜期间存在显著相关性,且大部分果实表型性状与无霜期存在负相关性。说明盐肤木大部分果实表型性状明显受到地理位置的影响,但与年均温的相关性较小。

主成分分析结果表明:前 4 个主成分的累计贡献率为 82.62%,说明这 4 个主成分能够代表盐肤木果实表型性状的大部分信息;第 1 和第 2 主成分分别为果实和种子的质量性状和形态性状,说明果实和种子

的质量性状和形态性状是盐肤木果实表型性状变异的主要因子,在筛选盐肤木优质种源时应首先考虑果实和种子的质量性状和形态性状。根据上述筛选标准,在供试的 5 个种源中,烟台昆嵛山种源盐肤木的果实表型性状最优。

聚类分析结果表明:在欧氏距离 6.0 处,供试的 5 个种源被分成 2 组,一组仅包括泰安徂徕山 1 个种源,另一组包括临沂蒙山、烟台昆嵛山、烟台艾山和泰安泰山 4 个种源,各种源的聚类结果并未呈现梯度变化特征,据此推测山东省盐肤木果实表型性状的地理变异是随机的。

综上所述,山东省盐肤木果实表型性状多样性较为丰富,果实表型性状变异以种源间变异为主且受地理位置影响明显;果实和种子的质量性状和形态性状是盐肤木优质种源筛选的重要指标;烟台昆嵛山种源为供试盐肤木的最优种源。然而,本研究只对 2018 年的盐肤木果实进行了研究,由于不同年份的气候差异对盐肤木果实表型性状有较大影响,因此,需要对不同年份各种源盐肤木的果实表型性状进行进一步研究。另外,盐肤木果实表型性状与地理-气候因子的响应机制以及各种源间的地理变异机制尚未清楚,亦有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第四十五卷 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 100.
- [2] 路 森. 盐肤木栽培管理[J]. 河北林业, 2017(5): 30-31.
- [3] MEMTHOI D H, IBOYAIMA S N. Traditional medicinal uses and pharmacological properties of *Rhus chinensis* Mill.: a systematic review[J]. *European Journal of Integrative Medicine*, 2018, 21: 43-49.
- [4] 陈存武, 张 莉, 何晓梅, 等. 盐肤木果实常规营养成分分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(4): 2-5.
- [5] 赵 军. 盐肤木抗肿瘤活性成分的研究[D]. 天津: 天津大学药物科学与技术学院, 2006: 7.
- [6] LEE I S, OH S-R, AHN K-S, et al. Semialactone, isofouquierone peroxide and fouquierone, three new dammarane triterpenes from *Rhus javanica*[J]. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 2001, 49(8): 1024-1026.
- [7] 谷仿丽, 陈乃富, 宣 伟. 盐肤木油急性毒性及 30 d 喂养实验[J]. 毒理学杂志, 2009, 23(5): 421-422.
- [8] 刘玉兰, 王小磊, 刘海兰, 等. 盐肤木果及其果油与籽油品质比较[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 197-201.
- [9] 段立柱. 基于 AFLP 标记的盐肤木种群遗传多样性和遗传结构[D]. 太原: 山西大学生命科学学院, 2010: 30-31.
- [10] 刘 旭, 郑殿升, 董玉琛, 等. 中国农作物及其野生近缘植物多样性研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(4): 411-416.
- [11] 江锡兵, 龚榜初, 刘庆忠, 等. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性[J]. 园艺学报, 2014, 41(4): 641-652.
- [12] PENG L, RU M, WANG B, et al. Genetic diversity assessment of a germplasm collection of *Salvia miltiorrhiza* Bunge based on morphology, ISSR and SRAP markers[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 55: 84-92.
- [13] 刘 胤, 陈 涛, 张 静, 等. 中国樱桃地方种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2016, 43(11): 2119-2132.
- [14] 郭 松, 李在留, 薛建辉, 等. 不同种源掌叶木果实和种子表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 11-20.
- [15] 王永康. 枣种质资源鉴定评价技术规范及遗传多样性研究[D]. 晋中: 山西农业大学园艺学院, 2014: 74.
- [16] 包文泉, 乌云塔娜, 杜红岩, 等. 西藏光核桃表型性状遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(16): 5463-5473.
- [17] 陈 巍, 王力荣, 朱更瑞, 等. 基于 SSR 标记和生物学性状进行桃遗传多样性的比较分析[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(1): 86-90.
- [18] 潘存祥, 许 勇, 纪海波, 等. 西瓜种质资源表型多样性及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 59-63.
- [19] 熊春艳, 龚榜初, 应尚蛟, 等. 不同产地金枣柿遗传变异研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(2): 225-232.
- [20] 侯玉平, 牛凯峰, 朱家华, 等. 昆嵛山盐肤木 *Rhus chinensis* Mill. 群落特征及其物种多样性[J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 818-824.
- [21] 潘胜强, 李 彬, 邓 玉, 等. 白果中微量元素与土壤营养因子相关性分析[J]. 湖南林业科技, 2019, 46(4): 1-10.
- [22] 梁吉业, 冯晨娇, 宋 鹏. 大数据相关分析综述[J]. 计算机学报, 2016, 39(1): 1-18.

(责任编辑: 佟金凤)