

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.004.012

不同产地三花槭繁殖体表型变异及选择研究

孙安然¹, 张明², 庞忠义³, 于海洋⁴, 于海洋¹,
谢影¹, 张世凯¹, 赵曦阳^{1*}

(1. 林木遗传育种国家重点实验室, 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 四平市林业科学研究院, 吉林 四平 136000;
3. 国有新民市机械林场, 辽宁 新民 110300; 4. 吉林省红石林业局, 吉林 红石 132405)

摘要: [目的] 阐明东北地区不同产地三花槭繁殖体表型性状变异规律, 为三花槭种质资源保护和良种选育提供基础。[方法] 以黑龙江、辽宁和吉林三省的4个产地的三花槭繁殖体为材料, 对其表型和活力等性状进行测定分析。[结果] 果实方差分析结果表明: 除翅果长宽比 ($P = 0.787$) 外, 其它性状在产地间均差异极显著 ($P < 0.01$), 不同产地间三花槭表型性状存在显著差异。各性状间相关性分析结果表明: 果实长与果实宽、翅果长、着生痕长、翅长和空壳率呈显著正相关 ($0.368 \leq r \leq 0.421$), 种子生活力与空壳率和翅果长呈极显著负相关 ($r = -0.897, r = -0.507$)。三花槭繁殖体与环境因子的相关性分析表明: 翅果长、翅果宽、果实厚度和翅长均与海拔呈极显著负相关 ($-0.556 \leq r \leq -0.529$), 果实长、果实宽和千粒质量与海拔呈显著负相关 ($-0.456 \leq r \leq -0.380$), 空壳率与年均气温呈极显著负相关 ($r = -0.549$), 种子生活力与年均气温呈极显著正相关 ($r = 0.516$)。利用多性状综合评价法对产地和家系进行综合评价, P2 产地综合评价价值较高, 果实长等现实增益为 2.83%~22.08%。以 20% 的入选率, 初选出 6 个优良家系, 果实长等现实增益为 1.13%~78.65%。[结论] 三花槭繁殖体表型性状存在丰富的差异, 主要受海拔和年均气温 2 个环境因子的影响。根据多性状综合评价初步选定 P2 产地和家系 19、12、6、22、27、28 为优良材料。

关键词: 三花槭; 果实性状; 遗传变异; 家系选择; 产地选择; 现实增益

中图分类号: S792.35

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)04-0112-11

三花槭 (*Acer triflorum* Komarov) 属槭树科 (*Aceraceae*) 槭属 (*Acer* Linn.) 植物, 落叶乔木, 是我国的珍稀濒危树种^[1-4]; 其主要分布于日本、朝鲜、俄罗斯、蒙古和中国, 在中国主要分布于黑龙江、吉林和辽宁地区^[5]。三花槭在秋季颜色艳红, 引人注目, 是优良的绿化、美化工程的点缀树种, 也是营造彩叶景观特别是廊道彩叶林景观的优选树种^[6-7]。因其较高的应用价值, 研究者对三花槭的生理生化^[8]、播种繁殖^[9]、种子内含物^[10]、叶色变化和呈色机制等^[1,11]进行了研究, 并取得了

一定的进展。

种子发育是林木生长过程中重要的阶段, 由于生长环境迥异、植物长期自然选择和遗传因素的综合影响, 使其具有极其丰富的变异, 在林木育种中具有重要意义^[12-13]。长期以来, 在槭属树种研究中, 国外对于三花槭的表型变异研究较少, 只对三花槭的叶绿体全基因组进行分析^[14], 利用全基因组超矩阵对槭树周期性迁移、大规模灭绝和迅速的谱系分化及槭树的历史生物地理学等进行研究^[15-16]。在国内主要研究三花槭的叶片生理特性、山地移植

收稿日期: 2021-04-06 修回日期: 2021-05-26

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发技术项目 (项目合同编号: GA20B402)

* 通讯作者: 赵曦阳, 博士, 教授。研究方向: 林木遗传育种。Email: zhaoxyphd@163.com

技术、播种繁殖技术和种实多样性等方面。贾庆斌等^[8]对3种叶色型三花槭叶片生理特性比较, 不同叶色型三花槭的叶片生理存在显著性差异; 在其它树种中, 姬志峰等^[17]以五角枫为实验材料, 探究不同海拔种群的表型多样性, 表明五角枫不同种群表型性状存在丰富的遗传变异, 为五角枫种质资源的保护、评价和利用提供重要的理论依据; 王丹等^[18]探究茶条槭不同海拔种群的表型多样性, 结果表明5个不同海拔种群表型具有丰富的变异, 茶条槭种群内、种群间变异的利用对其遗传改良具有重要的意义; 赵阳等^[19]探究文冠果种子及苗期生长性状地理种源变异, 发现种子性状变异主要受海拔的影响, 不同种源间文冠果表型性状均存在极显著差异, 且这些差异能够稳定遗传, 为文冠果种质基因资源的遗传改良和引种推广提供了遗传背景和实验依据。一系列研究发现, 植物繁殖体表型性状的研究将有助于提供丰富的基础数据, 也为其资源保护及合理利用提供宝贵资料。

由于槭树是我国的濒危树种, 了解其表型变异及生态地理变异规律, 为树种良种选育、资源保护利用和制定保护对策等提供参考依据。梁坤楠等^[20]以种源/家系柚木生长、形质性状和适应性为指标, 筛选出最适宜生长的优良种源/家系, 结果

表明, 广州龙洞种源、云南芒市种源和2个云南畹町家系是最适宜生长的优良种源/家系, 为我国柚木人工林的发展提供优良的种植材料。三花槭作为优良的园林绿化树种之一, 虽然用途广泛, 但有关其繁殖体表型性状差异及选择研究的报道较少。因此, 对其群体种质资源收集、评价和良种选育显得愈发重要^[21]。本研究以东北地区不同产地三花槭繁殖体为材料, 对其表型与种子活力进行测定, 分析表型性状与环境因子的相关性, 探讨三花槭繁殖体的表型变异程度与变异规律, 最终筛选出优良家系和优良产地, 可为三花槭保存、引种和种质资源开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料来自东北三省的4个地点, 采样地地理环境、气候因子及各地点采样数量见表1。对种子表型和种子生活力(SV)进行测定, 具体测定性状包括翅果长(KFL)、翅果宽(KFW)、翅果长宽比(KFLW)、着生痕长(BM)、果实长(FL)、果实宽(FW)、果实长宽比(FLW)、果实厚度(FT)、翅长(W)、带翅千粒质量(WTKW)、去翅千粒质量(TKW)、空壳率(SR)。

表1 三花槭4个产地的地理环境因子

Table 1 Geographical environmental factors of four producing areas of *A. triflorum*

产地 Origin	数量 Number	家系号 Number	经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude	海拔 Altitude/m	年均气温 Annual temperature/°C	年降水量 Annual precipitation/mm	林型 Forest type
吉林红石林业局P1	10	1~10	127°06'	42°67'	350	3.9	650~750	针阔混交林
黑龙江江山娇林场P2	6	11~16	128°13'	43°44'	195	4.3	450~550	针阔混交林
辽宁本溪草河口P3	4	17~20	123°34'	40°49'	100	7.5	800~900	针阔混交林
黑龙江五常宝龙店P4	10	21~30	126°33'	44°04'	204	3.4	500~800	阔叶林

每个家系随机选择30颗繁殖体进行表型测定, 翅果长、翅果宽、着生痕长、果实长、果实宽、果实厚度和翅长(图1)^[22]用游标卡尺直接测量, 测量精度为0.01 mm; 翅果长宽比和果实长宽比直接计算。每株选取400颗带翅繁殖体, 利用天平测定, 每100颗繁殖体的质量作为百粒质量, 对获得数据乘以10作为带翅千粒质量。测量后手动去翅, 同样方法测量去翅百粒质量并计算去翅千粒质量; 每个单株随机选取400颗繁殖体, 用钳子夹碎, 计算空壳率; 选取200颗繁殖体,

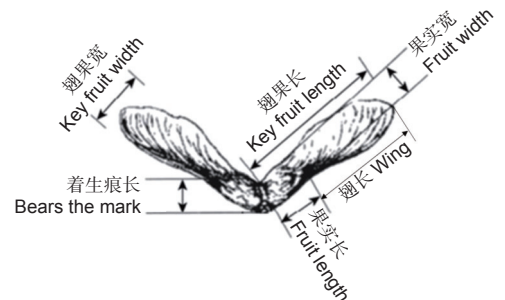
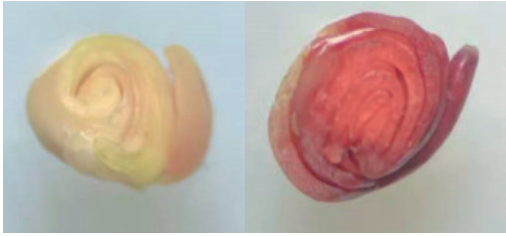


图1 三花槭果实各指标测定示意图
Fig. 1 Diagrammatic drawing of different traits of *A. triflorum* fruits

分成 4 份, 去壳, 温水浸泡 24 h, 放置 30 ℃ 恒温箱中保存。配置 1% 的 TTC 溶液, 进行染色, 放置恒温箱中避光 4~6 h 后, 放在显微镜下观察胚的染色情况 (图 2)。



三花槭胚未染色
Unstained embryo of
A. triflorum

三花槭胚染色
Stained embryo of
A. triflorum

图 2 三花槭胚染色与未染色对比图

Fig. 2 Contrast picture stained and unstand of *A. triflorum* embryo

1.2 数据分析方法

所有数据利用 SPSS 19.0 软件和 EXCEL 2010 进行计算, 空壳率和生活力在方差分析过程中进行反正弦数据转换。

种源间/种源内家系间方差分析线性模型为^[23]:

$$X_{ij} = \mu + F_j + e_{ij}$$

式中: μ 为总体平均值, F_j 为种源效应, e_{ij} 为机误。

表型变异系数 (PCV) 计算公式^[24]:

$$PCV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

式中: S 为表型标准差, \bar{X} 为某一性状群体平均值。

表型相关系数 (r) 计算公式^[25]:

$$r_{A(xy)} = \frac{\sigma_{a(xy)}}{\sqrt{\sigma_{a(x)}^2 \cdot \sigma_{a(y)}^2}}$$

式中: $\sigma_{a(xy)}$ 为 2 个性状的表型协方差, $\sigma_{a(x)}$ 、 $\sigma_{a(y)}$ 分别为 2 性状的表型方差。

多性状综合评价计算公式^[26]:

$$Q_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_j}$$

式中: $a_j = X_{ij} / X_{jmax}$, X_{ij} 为性状的平均值, X_{jmax} 为性状的最优值。

现实遗传增益估算公式^[27]:

$$\Delta G = (S/\bar{X}) \times 100\%$$

式中: S 为选择差, \bar{X} 为总体平均值

2 结果与分析

2.1 不同产地繁殖体表型性状

表 2 表明: P2 产地的果实长、果实宽、翅果宽、着生痕长、翅长最大, 分别为 11.50、10.25、15.70、7.69、33.66 mm; P1 产地的果实长、果实宽、翅果长和翅果宽平均值最小, 分别为 9.85、9.23、38.11、12.82 mm; P3 产地的空壳率最小, 种子生活力最大, 分别为 23.56% 和 87.00%; P4 产地的空壳率最大, 种子生活力最小, 分别为 83.00% 和 16.00%。表明 P2 产地果实生长状况较好, P3 产地种子生活力最好。

2.2 表型变异参数分析

表 3 表明: 在家系内, 不同产地三花槭各性状表型的平均变异系数变幅为 6.74%~36.25%, 总平均变异系数为 12.17%; 各表型性状中, 空壳率变异系数最大 (36.25%), 其次是去翅千粒质量, 变异系数为 15.86%, 果实长的变异系数最小 (6.74%), 种子生活力在 P4 产地中变异系数最大 (20.34%)。各表型性状在不同产地变异程度不同, 平均变异系数的变幅为 10.44%~13.28%, 其中, P1 产地的变异较大。

2.3 不同产地间方差分析

对 4 个不同产地三花槭的 13 个繁殖体表型进行方差分析, 结果 (表 4) 表明: 除翅果长宽比在不同产地间性状差异不显著 ($P = 0.787$) 外, 其它性状均差异极显著 ($P < 0.01$), 该结果说明不同产地间表型性状存在较大差异。

2.4 家系间方差分析

表 5 表明: P1 产地的果实长、果实宽、果实厚度、翅长、带翅千粒质量、去翅千粒质量和空壳率在家系间均差异极显著 ($P < 0.01$); P2 产地的果实宽、翅果长、翅长、空壳率在家系间均差异显著 ($P < 0.05$); P3 产地的翅果长、果实厚度、翅长和空壳率在家系间均差异极显著 ($P < 0.01$); P4 产地的果实长、翅长、带翅千粒质量、去翅千粒质量和空壳率在家系间均差异极显著 ($P < 0.01$)。结果说明果实长、果实宽、千粒质量和空壳率等指标在家系间差异是极显著的。

2.5 相关性分析

2.5.1 表型性状间相关系数 表 6 表明: 果实长

表2 三花槭繁殖体表型性状平均值及标准差

Table 2 Mean average and standard deviation of phenotypic traits of *A. triflorum* propagules

性状 Trait	产地 Origin			
	P1	P2	P3	P4
果实长 FL/mm	9.85 ± 0.60	11.50 ± 0.97	10.20 ± 0.62	10.26 ± 0.66
果实宽 FW/mm	9.23 ± 0.80	10.25 ± 0.81	9.34 ± 0.67	9.72 ± 0.71
果实长宽比 FLW/mm	1.07 ± 0.06	1.13 ± 0.11	1.09 ± 0.06	1.06 ± 0.06
翅果长 KFL/mm	38.11 ± 3.88	43.24 ± 4.78	41.82 ± 2.91	44.75 ± 4.13
翅果宽 KFW/mm	12.82 ± 1.68	15.70 ± 2.12	14.43 ± 1.42	15.00 ± 1.85
翅果长宽比 KFLW/mm	3.00 ± 0.29	2.78 ± 0.33	2.91 ± 0.22	3.01 ± 0.29
果实厚度 FT/mm	6.36 ± 0.58	7.04 ± 0.50	7.07 ± 0.50	6.70 ± 0.45
着生痕长 BM/mm	7.18 ± 0.79	7.69 ± 0.77	7.41 ± 0.66	7.69 ± 0.85
翅长 W/mm	27.78 ± 3.26	33.66 ± 3.78	30.83 ± 2.99	33.25 ± 3.23
带翅千粒质量 WTKW/g	185.93 ± 35.88	220.62 ± 26.78	238.88 ± 9.83	190.48 ± 33.75
去翅千粒质量 TKW/g	161.98 ± 37.79	199.96 ± 27.26	208.04 ± 11.21	165.70 ± 34.91
空壳率 SR/%	36.10 ± 13.49	56.42 ± 18.78	23.56 ± 11.75	83.00 ± 12.00
种子生活力 SV/%	85.00 ± 6.00	73.00 ± 11.00	87.00 ± 4.00	16.00 ± 3.00

表3 三花槭繁殖体各表型变异系数

Table 3 Coefficients of phenotypic variation of *A. triflorum* propagules

%

性状 Trait	产地 Origin				平均值 Mean
	P1	P2	P3	P4	
果实长 FL	6.07	8.43	6.08	6.39	6.74
果实宽 FW	8.71	7.89	7.13	7.34	7.77
果实长宽比 FLW	6.30	9.36	5.72	5.70	6.77
翅果长 KFL	10.19	11.05	6.96	9.22	9.36
翅果宽 KFW	13.14	13.49	9.83	12.35	12.20
翅果长宽比 KFLW	9.80	11.74	7.71	9.73	9.75
果实厚度 FT	9.19	7.15	7.11	6.66	7.53
着生痕长 BM	10.97	9.97	8.93	11.10	10.24
翅长 W	11.75	11.24	9.69	9.73	10.60
带翅千粒质量 WTKW	19.30	12.14	4.11	17.72	13.32
去翅千粒质量 TKW	23.33	13.63	5.39	21.07	15.86
空壳率 SR	37.37	33.28	52.06	22.30	36.25
种子生活力 SV	7.09	15.20	5.05	20.34	11.92
平均值 Mean	13.28	12.66	10.44	12.28	12.17

与翅果宽呈极显著正相关 ($r = 0.477$), 与果实宽、翅果长、着生痕长、翅长和空壳率均呈显著正相关 ($0.368 \leq r \leq 0.421$); 果实宽与翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长、翅长和千粒质量均呈极显著正相关 ($0.512 \leq r \leq 0.795$); 翅果长

与翅果宽、果实厚度、着生痕长和翅长均呈极显著正相关 ($0.545 \leq r \leq 0.902$); 翅果宽与果实厚度、着生痕长、翅长、带翅千粒质量和去翅千粒质量均呈极显著正相关 ($0.523 \leq r \leq 0.841$); 带翅千粒质量与去翅千粒质量呈极显著正相关 ($r =$

表 4 三花槭繁殖体表型性状产地间方差分析

Table 4 Variance analysis of phenotypic traits of *A. triflorum* propagules between origins

性状 Trait	变异来源 Variance source	自由度 df	均方 MS	F	P
果实长 FL	产地间 Producing areas	3	19.297	40.176	0.000
果实宽 FW	产地间 Producing areas	3	9.484	16.720	0.000
果实长宽比 FLW	产地间 Producing areas	3	0.029	5.714	0.001
翅果长 KFL	产地间 Producing areas	3	450.894	26.470	0.000
翅果宽 KFW	产地间 Producing areas	3	57.918	17.814	0.000
翅果长宽比 KFLW	产地间 Producing areas	3	0.051	0.353	0.787
果实厚度 FT	产地间 Producing areas	3	2.493	10.137	0.000
着生痕长 BM	产地间 Producing areas	3	2.608	4.420	0.006
翅长 W	产地间 Producing areas	3	271.282	25.018	0.000
带翅千粒质量 WTKW	产地间 Producing areas	3	11 565.028	11.786	0.000
去翅千粒质量 TKW	产地间 Producing areas	3	10 797.737	9.739	0.000
空壳率 SR	产地间 Producing areas	3	3.028	109.547	0.000
种子生活力 SV	产地间 Producing areas	3	2.940	685.948	0.000

0.993); 种子生活力与空壳率和翅果长呈极显著负相关 ($r = -0.897$, $r = -0.507$)。说明三花槭繁殖体大部分性状间存在较大的相关性。

2.5.2 表型性状与环境因素间相关性分析 表 7 表明: 果实长、果实宽、千粒质量与海拔呈显著负相关 ($-0.456 \leq r \leq -0.380$); 翅果长、翅果宽、果实厚度、翅长与海拔呈极显著负相关 ($-0.556 \leq r \leq -0.529$); 空壳率与纬度呈极显著正相关 ($r = 0.764$), 与年均气温呈极显著负相关 ($r = -0.549$); 种子生活力与年均气温呈极显著正相关 ($r = 0.516$), 与纬度呈极显著负相关 ($r = -0.736$)。说明果实的长宽随着海拔的升高而减小, 相应的千粒质量也减轻; 空壳率随着年均气温的升高而减少, 相反种子生活力随着年均气温的升高而增强。

2.6 主成分分析

表 8 表明: 主成分 I 特征值为 5.087, 贡献率为 39.133%, 累计贡献率为 38.133%, 果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长和翅长等性状特征值较高, 分别为 0.727、0.840、0.699、0.748、0.752、0.747、0.753; 主成分 II

特征值为 2.544, 贡献率为 19.571%, 累计贡献率为 58.704%, 带翅千粒质量、去翅千粒质量和种子生活力等性状特征值较高, 分别为 0.633、0.615、0.838; 主成分 III 特征值为 1.367, 贡献率为 10.513%, 累计贡献率为 69.217%, 其中, 果实长宽比特征值较高, 为 0.777; 主成分 IV 特征值为 1.332, 贡献率为 10.243%, 累计贡献率为 79.460%, 其中, 翅果长宽比特征值较高为 0.795。包含了供试产地和性状的大部分信息。

2.7 优良产地选择

依据主成分分析和相关性结果表明, 以果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长、翅长和生活力为选择指标对 4 个产地进行综合评价, P1、P2、P3、P4 产地的 Q_i 值分别为 2.657、2.793、2.744、2.631。由于 P2 产地具有较高的综合评价价值 (2.793), 入选为优良产地, 该产地果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长、翅长均值分别为 11.50、10.25、43.24、15.70、7.04、7.69、33.66 mm, 带翅千粒质量、去翅千粒质量均值分别为 220.62、199.96 g, 种子生活力均值为 73.00 (表 2), 各性状的现实增益

表5 三花槭繁殖体表型性状家系间方差分析

Table 5 Variance analysis among families of phenotypic traits *A. triflorum* propagules

性状 Trait	产地 Origin	变异来源 Variance source	自由度 df	均方 MS	F	P
果实长 FL	P1	家系间 Families	9	0.543	4.156	0.004
	P2		5	1.501	1.935	0.162
	P3		3	0.466	3.009	0.095
	P4		9	1.192	6.584	0.000
果实宽 FW	P1	家系间 Families	9	1.001	5.120	0.001
	P2		5	1.602	4.371	0.017
	P3		3	0.510	0.771	0.542
	P4		9	1.123	3.444	0.010
果实长宽比 FLW	P1	家系间 Families	9	0.004	1.448	0.234
	P2		9	0.012	0.968	0.475
	P3		3	0.002	0.388	0.765
	P4		9	0.002	0.593	0.787
翅果长 KFL	P1	家系间 Families	9	17.935	0.549	0.821
	P2		5	16.334	3.901	0.025
	P3		3	29.499	8.620	0.007
	P4		9	34.198	7.219	0.000
翅果宽 KFW	P1	家系间 Families	9	3.946	2.897	0.023
	P2		5	12.219	2.397	0.100
	P3		3	4.164	3.018	0.094
	P4		9	4.604	3.110	0.017
翅果长宽比 KFLW	P1	家系间 Families	9	0.254	1.284	0.304
	P2		5	0.360	2.123	0.132
	P3		3	0.028	0.572	0.649
	P4		9	0.114	2.503	0.042
果实厚度 FT	P1	家系间 Families	9	0.545	5.327	0.001
	P2		5	0.284	1.425	0.284
	P3		3	1.073	8.149	0.008
	P4		9	0.365	2.583	0.037
着生痕长 BM	P1	家系间 Families	9	0.977	3.348	0.012
	P2		5	0.545	2.001	0.151
	P3		3	1.717	2.372	0.146
	P4		9	1.292	3.410	0.011
翅长 W	P1	家系间 Families	9	19.553	5.135	0.001
	P2		5	37.740	3.992	0.023
	P3		3	27.834	8.747	0.007
	P4		9	20.103	4.549	0.002
带翅千粒质量 WTKW	P1	家系间 Families	9	4 145.949	125.167	0.000
	P2		5	1 872.427	13.586	0.000
	P3		3	257.472	5.056	0.030
	P4		9	3 704.825	85.131	0.000
去翅千粒质量 TKW	P1	家系间 Families	9	4 510.696	83.982	0.000
	P2		5	2 336.348	14.481	0.000
	P3		3	214.040	1.921	0.205
	P4		9	4 121.409	57.383	0.000
空壳率 SR	P1	家系间 Families	9	0.038	13.716	0.000
	P2		5	0.053	3.475	0.036
	P3		3	0.050	20.817	0.000
	P4		9	0.127	11.956	0.000
种子生活力 SV	P1	家系间 Families	9	0.004	1.080	0.418
	P2		5	0.037	17.755	0.000
	P3		3	0.002	0.927	0.471
	P4		9	0.001	1.141	0.381

表 6 三花槭繁殖体表型性状间的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between phenotypic characters of *Acer triflorum* propagules

性状 Trait	果实长 FL	果实宽 FW	果实长宽比 FLW	翅果长 KFL	翅果宽 KFW	翅果长宽比 KFLW	果实厚度 FT	着生痕长 BM	翅长 TL	带翅千粒质量 WTSW	去翅千粒质量 TSW	空壳率 SR
果实宽 FW	0.411 [*]											
果实长宽比 FLW	-0.310	-0.066										
翅果长 KFL	0.368 [*]	0.512 ^{**}	-0.124									
翅果宽 KFW	0.477 ^{**}	0.605 ^{**}	-0.003	0.808 ^{**}								
翅果长宽比 KFLW	-0.277	-0.335	-0.168	-0.004	-0.588 ^{**}							
果实厚度 FT	0.333	0.753 ^{**}	0.133	0.545 ^{**}	0.710 ^{**}	-0.479 ^{**}						
着生痕长 BM	0.371 [*]	0.769 ^{**}	-0.207	0.616 ^{**}	0.698 ^{**}	-0.344	0.699 ^{**}					
翅长 W	0.421 [*]	0.535 ^{**}	0.062	0.902 ^{**}	0.841 ^{**}	-0.188	0.674 ^{**}	0.655 ^{**}				
带翅千粒质量 WTKW	0.267	0.764 ^{**}	-0.055	0.354	0.535 ^{**}	-0.447 [*]	0.763 ^{**}	0.576 ^{**}	0.351			
去翅千粒质量 TKW	0.278	0.795 ^{**}	-0.068	0.333	0.523 ^{**}	-0.451 [*]	0.759 ^{**}	0.573 ^{**}	0.340	0.993 ^{**}		
空壳率 SR	0.376 [*]	0.315	-0.301	0.460 [*]	0.270	0.159	0.090	0.331	0.423 [*]	-0.077	-0.053	
种子生活力 SV	-0.251	-0.175	0.295	-0.507 ^{**}	-0.257	-0.249	-0.077	-0.351	-0.441 [*]	0.193	0.194	-0.897 ^{**}

注: ** 极显著相关水平 ($P < 0.01$); * 显著相关水平 ($P < 0.05$)。下同。

Notes:** means correlation is significant at the 0.01 level;* means correlation is significant at the 0.05 level.The same below.

表 7 三花槭繁殖体表型性状与地理环境因子间的相关系数

Table 7 Correlation between phenotypic traits of *Acer triflorum* propagules and geographical environmental factors

性状 Trait	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude	年均气温 Annual temperature
果实长 FL	0.233	0.130	-0.456 [*]	0.141
果实宽 FW	0.164	0.230	-0.396 [*]	0.012
果实长宽比 FLW	0.162	-0.140	-0.195	0.245
翅果长 KFL	-0.070	0.370 [*]	-0.535 ^{**}	-0.075
翅果宽 KFW	0.008	0.255	-0.556 ^{**}	0.050
翅果长宽比 KFLW	-0.069	0.101	0.230	-0.216
果实厚度 FT	-0.050	0.044	-0.556 ^{**}	0.234
着生痕长 BM	0.093	0.344	-0.322	-0.138
翅长 W	0.072	0.418 [*]	-0.529 ^{**}	-0.103
带翅千粒质量 WTSW	-0.207	-0.280	-0.408 [*]	0.433 [*]
去翅千粒质量 TSW	-0.146	-0.240	-0.380 [*]	0.390 [*]
空壳率 SR	0.167	0.764 ^{**}	-0.242	-0.549 ^{**}
种子生活力 SV	0.003	-0.736 ^{**}	0.300	0.516 ^{**}

分别为 10.97%、6.63%、3.34%、9.48%、5.03%、2.83%、7.92%、9.52%、13.00%、22.08%。

2.8 优良家系选择

依据主成分分析和相关性分析结果对 30 个家

系进行综合评价,各家系 Q_i 值见表 9。按果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长、翅长和生活力现实增益在 2% 以上,兼顾其他性状对家系进行评价选择,入选率为 20%,家系

表8 三花槭繁殖体各表型性状主成分分析

Table 8 Principal component analysis of phenotypic traits of *Acer triflorum* propagules

主要成分因子 Principal Component Factor	主成分I component I	主成分II component II	主成分III component III	主成分IV component IV
特征值 Eigenvalue	5.087	2.544	1.367	1.332
贡献率 contribution/%	39.133	19.571	10.513	10.243
累计贡献率 Cumulative Component/%	38.133	58.704	69.217	79.460
果实长 FL	0.727	0.237	0.321	0.287
果实宽 FW	0.840	0.043	-0.243	-0.089
果实长宽比 FLW	-0.096	0.287	0.777	0.515
翅果长 KFL	0.699	-0.401	-0.039	0.366
翅果宽 KFW	0.748	-0.094	0.395	-0.352
翅果长宽比 KFLW	-0.175	-0.274	-0.506	0.795
果实厚度 FT	0.752	0.227	-0.081	0.072
着生痕长 BM	0.747	0.011	-0.322	-0.199
翅长 W	0.753	-0.290	0.095	0.160
带翅千粒质量 WTSW	0.611	0.633	-0.133	0.064
去翅千粒质量 TSW	0.626	0.615	-0.148	0.061
空壳率 SR	0.423	-0.736	0.145	-0.092
种子生活力 SV	-0.358	0.838	-0.089	0.007

19、12、6、22、27、28 家系入选, 入选家系果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长、翅长均值分别为 10.56、9.66、44.29、14.48、6.76、7.43、33.81 mm, 带翅千粒质量、去翅千粒质量均值分别为 200.56、174.35 g, 生

活力均值为 49%。入选家系的现实增益分别为 11.43%~52.81%、7.03%~78.65%、4.08%~47.19%、3.36%~67.50%、2.68%~53.80%、1.13%~26.37%。

表9 不同家系 Q_i 值Table 9 Q_i value of different families

家系 Families	Q_i 值 $Q_{i\text{value}}$	家系 Families	Q_i 值 $Q_{i\text{value}}$	家系 Families	Q_i 值 $Q_{i\text{value}}$	家系 Families	Q_i 值 $Q_{i\text{value}}$	家系 Families	Q_i 值 $Q_{i\text{value}}$	家系 Families	Q_i 值 $Q_{i\text{value}}$
19	2.692	28	2.668	1	2.663	23	2.653	14	2.633	16	2.605
12	2.681	13	2.667	17	2.662	10	2.652	15	2.633	26	2.568
6	2.680	21	2.665	18	2.662	3	2.649	2	2.620	8	2.561
22	2.680	7	2.664	30	2.657	25	2.649	29	2.616	20	2.510
27	2.673	24	2.664	5	2.656	11	2.636	4	2.608	9	2.490

3 讨论

植物表型性状不仅受遗传因素影响, 还与外部环境相关, 因存在生态适应性, 致使不同产地存在较大的表型变异, 且这种变异可能遗传给下一代^[28-29]。本研究中, 根据方差分析结果表明, 4 个产地的三花槭各性状间差异极显著 (除翅果长宽比外), 这

可能是三花槭对不同生长环境所采取的适应性策略, 这现象与 Gouwakinnou 等^[30] 研究的伯尔硬胡桃 (*Sclerocarya birrea* Rich)、龙凤等^[31] 研究的雷公藤 (*Tripterygium wilfordii* Hook)、Munthali 等^[32] 研究的猴面包树 (*Adansonia digitata* Linn) 和杨志玲等^[33] 研究的石蒜 (*Lycoris radiata* Herb) 等变异

情况相似。变异系数是衡量群体变异程度大小的指标,变异系数越大其性状变异程度越高^[34],本研究三花槭繁殖体各表型变异系数变幅为6.74%~36.25%,平均变异系数为12.17%,说明产地间有丰富的表型变异,可为下一步选择优良产地奠定基础。

林木改良过程中,常要求综合性改良,因此,各性状的相关性也十分重要^[35]。本研究的相关性结果表明,种子生活力与翅果长和空壳率呈极显著负相关,这与王宁等^[36]对野生元宝枫相关性分析研究结果相似,表明种子生活力与空壳率不是独立遗传的2个性状,在对三花槭优良产地筛选时应考虑在内。由于三花槭来源于4个不同产地,可能会产生与其生长环境相适应的遗传变异,根据繁殖体表型性状与环境因子间的相关性分析发现,不同产地三花槭繁殖体表型性状受海拔影响较大,果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、翅长、千粒质量均受产地海拔影响,表现为海拔越高,果实长宽越小,千粒质量越轻。这与林玮等^[34]发现任豆种子厚度随纬度的增大而变薄,种子长宽比随海拔的升高而变小的研究结论相似。千粒质量和种子生活力均与产地年均气温显著相关,表现为气温越高,千粒质量越重,种子生活力越好。这与何霞等^[12]研究发现苦楝在气温较高、日照丰富地区的种源苗生长快和生物量大的结论相似。其次,种子上的果实大小和空壳率与纬度也具有相关性,这与高张莹等^[37]对核桃楸的研究相似,果核形态变异主要受纬度、温度和湿度的影响。因此,在考虑三花槭选取优良产地和引种时,不能只考虑经纬度,还要将海拔和温度等因素考虑在内,为后续联合选择提供依据。

本研究对不同产地的三花槭繁殖体进行初选,利用主成分分析可以把多个测定指标转化为少数指标对待评价植物进行综合评价,选用果实长、果实宽、翅果长、翅果宽、果实厚度、着生痕长、翅长和生活力等性状生长特征值较高的为筛选指标,筛选出P2产地为最优产地,确定的最优家系号为19、12、6、22、27、28。

4 结论

槭树是我国濒危树种之一,因地理环境和人为活动等因素使其表型存在显著变异,了解产地的地理变异规律,可为后续优良三花槭的收集、保存、

利用提供思路。本研究发现三花槭4个产地的果实表型性状之间存在丰富的遗传变异,其主要受海拔和年均气温2个环境因子的影响,果实大小和种子生活力对环境的反映最敏感。初选优良产地和家系,为下一步进行三花槭的遗传多样性研究、种质资源保护和良种选育提供材料与理论基础。

参考文献:

- [1] 庞秋颖,卓丽环. 槭树树冠秋季变色过程中叶片生理指标的空间差异[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(6): 16-17,20.
- [2] 张振全. 色木槭和拧筋槭种子发育过程中物质变化与脱水耐性的关系[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [3] 郭冰,姜卫兵,翁忙玲. 论槭属树种及其在园林绿化中的应用[J]. 江西农业学报, 2010, 22(9): 49-52.
- [4] 国政,臧润国. 中国极小种群野生植物濒危程度评价指标体系[J]. 林业科学, 2013, 49(6): 10-17.
- [5] 徐廷志. 槭树科的地理分布[J]. 云南植物研究, 1996, 18(1): 43-50.
- [6] 陈继卫,沈朝栋,贾玉芳,等. 鸡爪槭转色期叶色变化生理研究[J]. 核农学报, 2010, 24(1): 171-175.
- [7] 吴培培,孙冰,罗水兴,等. 岭南槭不同种源家系种子形态和幼苗生长变异[J]. 林业科学研究, 2017, 30(6): 1015-1021.
- [8] 贾庆彬,孙文生,刘庚,等. 3种叶色型拧筋槭叶片生理特性比较[J]. 北华大学学报:自然科学版, 2020, 21(2): 157-162.
- [9] 史峰,刘文华. 彩叶树种三花槭的苗木培育与应用[J]. 特种经济动植物, 2017, 20(4): 31-32.
- [10] 林士杰,徐丹,崔珍,等. 拧筋槭种子甲醇浸提液生物活性测定[J]. 中国农学通报, 2014, 30(10): 19-22.
- [11] Valentina Schmitzer, Franci Stampar, Robert Veberic, et al. Phase change modifies anthocyanin synthesis in *Acer palmatum* Thunb. (Japanese maple) cultivars[J]. Acta Physiologica Plantarum, 2009, 31(2): 415-418.
- [12] 何霞,廖柏勇,王芳,等. 苦楝种源幼林期生长性状地理变异的研究[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(4): 75-81.
- [13] 陆云峰,王豪,徐沁怡,等. 樟科楠属4种植物种实表型性状及其发芽特性研究[J]. 种子, 2020, 39(12): 107-112,119.
- [14] Xia Xinhe, Yu Xuedan, Fu Qidi, et al. Complete chloroplast genome sequence of the three-flowered maple, *Acer triflorum* (Sapindaceae)[J]. Mitochondrial DNA Part B, 2020, 5(2): 1859-1860.
- [15] Fabiola Areces-Berazain, Damien D Hinsinger, Joeri S Strijk. Genome-wide supermatrix analyses of maples (*Acer*, Sapindaceae) reveal recurring inter-continental migration, mass extinction, and rapid lineage divergence[J]. Genomics, 2021, 113(2): 681-692.
- [16] Gao J, Liao P C, Huang B H, et al. Historical biogeography of *Acer* L. (Sapindaceae): genetic evidence for Out-of-Asia hypo-

- thesis with multiple dispersals to North America and Europe[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 21178.
- [17] 姬志峰, 高亚卉, 李乐, 等. 山西霍山五角枫不同海拔种群的表型多样性研究[J]. *园艺学报*, 2012, 39(11): 2217-2228.
- [18] 王丹, 庞春华, 高亚卉, 等. 茶条槭不同海拔种群的表型多样性[J]. *云南植物研究*, 2010, 32(2): 117-125.
- [19] 赵阳, 毕泉鑫, 句娇, 等. 文冠果种子及苗期生长性状地理种源变异[J]. *林业科学研究*, 2019, 32(1): 160-168.
- [20] 梁坤南, 黄桂华, 林明平, 等. 琼西南柚木次生种源/家系多性状综合选择[J]. *林业科学研究*, 2020, 33(6): 13-22.
- [21] Loveless M D., Hamrick J L. Ecological Determinants of Genetic Structure in Plant Populations[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2003, 15(1): 65-95.
- [22] 冯秋红, 李登峰, 于涛, 等. 极小种群野生植物梓叶槭的种实表型变异特征[J]. *生物多样性*, 2020, 28(3): 314-322.
- [23] Liang D Y, Ding C J, Zhao G H, *et al.* Variation and selection analysis of *Pinus koraiensis* clones in northeast China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2018, 29(3): 611-622.
- [24] Zhao X Y, Li Y, Zheng M, *et al.* Comparative analysis of growth and photosynthetic characteristics of (*Populus simonii* × *P. nigra*) × (*P. nigra* × *P. simonii*) hybrid clones of different ploidies[J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0119259.
- [25] Zhao X Y, Hou W, Zhang H Q, *et al.* Analyses of genotypic variation in white poplar clones at four sites in China[J]. *Silvae Genetica*, 2013, 62(4-5): 187-195.
- [26] Yin S P, Xiao Z H, ZHAO G H, *et al.* Variation analyses of growth and wood properties of *Larix olgensis* clones in China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2017, 28(4): 687-697.
- [27] Wang F, Zhang Q H, Tian Y G, *et al.* Comprehensive assessment of growth traits and wood properties in half-sib *Pinus koraiensis* families[J]. *Euphytica*, 2018, 214(11): 1-15.
- [28] 孟超, 郑昕, 姬志峰, 等. 山西葛萝槭天然种群表型多样性研究[J]. *西北植物学报*, 2013, 33(11): 2232-2240.
- [29] 魏伊楚. 不同产地元宝枫种实表型性状及化学成分研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [30] Gouwakinnou G N, Assogbadjo A E, Lykke A M, *et al.* Phenotypic variations in fruits and selection potential in *Sclerocarya birrea* subsp. *birrea*. *Birrea*[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(4): 777-783.
- [31] 龙凤, 余传琼, 吴承祯, 等. 不同种源雷公藤叶物候特征比较[J]. *应用与环境生物学报*, 2016, 22(4): 660-666.
- [32] Munthali C R Y, Chirwa P W, Akinnifesi F K. Phenotypic variation in fruit and seed morphology of *Adansonia digitata* L. (baobab) in five selected wild populations in Malawi[J]. *Agroforestry Systems*, 2012, 85(2): 279-290.
- [33] 杨志玲, 杨旭, 谭梓峰, 等. 不同野生居群石蒜表型变异及物候期差异[J]. *应用与环境生物学报*, 2010, 16(3): 369-375.
- [34] 林玮, 周鹏, 周祥斌, 等. 任豆种源种子性状地理变异研究[J]. *华南农业大学学报*, 2016, 37(4): 69-74.
- [35] 蒋路平, 王景源, 张鹏, 等. 170个红松无性系生长及结实性状变异及选择[J]. *林业科学研究*, 2019, 32(1): 58-64.
- [36] 王宁. 野生元宝枫资源调查及种子脂肪酸评价研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [37] 高张莹, 张海峰, 陈国平, 等. 核桃楸种群果核形态及地理变异[J]. *应用与环境生物学报*, 2017, 23(4): 609-615.

Variation and Selection of Phenotypic Traits of *Acer triflorum* Propagules from Different Producing Areas

SUN An-ran¹, ZHANG Ming², PANG Zhong-yi³, YU Hai-yang⁴, YU Hai-yang¹,
XIE Ying¹, ZHANG Shi-kai¹, ZHAO Xi-yang¹

(1. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Siping Forestry Research Institute of Jilin Provenance, Siping 136000, Jilin, China; 3. Xinmin Machinery Forest Farm, Xinmin 110300, Liaoning, China; 4. Hongshi Forestry Bureau of Jilin Provenance, Hongshi 132405, Jilin, China)

Abstract: [Objective] To elucidate the variation pattern of the propagules phenotypic characters of *Acer triflorum* from different origins in Northeast China, and provide the basis for genetic resource conservation and selection breeding of *Acer triflorum*. [Method] *Acer triflorum* propagules from four producing areas of Heilongjiang, Liaoning and Jilin were used to determine the phenotype and vigor of the propagules. [Result] The results of variance analysis showed that, except the ratio of length to width of key fruit ($P = 0.787$), the differences of other traits among origins were extremely significant ($P < 0.01$). There were significant differences in phenotypic characters of *Acer triflorum* among different producing areas. Correlation analysis of each character showed that fruit length was positively correlated with fruit width, samara length, bears mark, wing length and shell percentage ($P < 0.05$, $0.368 \leq r \leq 0.421$), and seed viability was negatively correlated with samara length and shell rate ($r = -0.897$, $r = -0.507$, $P < 0.01$). Correlation analysis between the propagules of *Acer triflorum* and environmental factors showed that the samara length, samara width, fruit thickness and wing length were negatively correlated with altitude ($-0.556 \leq r \leq -0.529$, $P < 0.05$). Fruit length, fruit width and 1000-seed weight were negatively correlated with altitude ($-0.456 \leq r \leq -0.380$, $P < 0.05$). Shell rate was negatively correlated with annual mean temperature ($r = -0.549$, $P < 0.05$), whereas seed viability was positively correlated with annual mean temperature ($r = 0.516$, $P < 0.05$). The comprehensive evaluation value of P2 origin was higher than the others, with realistic gain 2.83%-22.08%. The realistic gain of 6 excellent families was 1.13%-78.65% based on the 20% selection rate. [Conclusion] There are abundant differences in phenotypic traits of *Acer triflorum*, which is mainly affected by two environmental factors: altitude and average annual temperature. According to the comprehensive evaluation of multiple characters, preliminarily selected P2 origin and 6 families including 19, 12, 6, 22, 27, 28 are excellent materials.

Keywords: *Acer triflorum*; fruit character; genetic variation; family selection; producing areas selection; realistic gain

(责任编辑: 徐玉秀)