

## 不同群体文冠果种实性状变异特征

张毅<sup>1</sup>, 敖妍<sup>1</sup>, 刘觉非<sup>2</sup>, 赵磊磊<sup>3</sup>, 由海德<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 赤峰市林业种苗站, 内蒙古 赤峰 024000; 3. 赤峰市翁牛特旗林业局, 内蒙古 赤峰 024500)

**摘要:** 从中国文冠果 *Xanthoceras sorbifolium* 主要分布区, 选取 7 个群体共 1 044 个单株进行种实采集, 每株树采用四分法选取 20 个果实、50 粒种子, 对 12 个种实性状进行观测。采用方差分析、相关性分析、聚类分析等方法, 探讨文冠果群体间、群体内种实性状变异规律。结果显示: ①群体间种实性状差异均极显著 ( $P < 0.01$ ), 单位投影面积种子产量 ( $C_v=46.39\%$ ), 结果数 ( $C_v=45.32\%$ ) 等产量性状的变异系数较大。果形指数 ( $C_v=8.84\%$ ), 种子横径 ( $C_v=11.50\%$ ) 等种实形态性状的变异系数较小。②文冠果种实性状在群体间 (表型分化系数为 67.86%) 和群体内变异 (表型分化系数为 32.14%) 都较为丰富, 且种实性状在群体间的变异大于群体内变异。③单位投影面积种子产量与果质量 ( $r = 0.786$ ), 结果数 ( $r = 0.782$ ) 和每果种子数 ( $r = 0.688$ ) 极显著正相关; 种子含油量与每果种子数 ( $r = 0.765$ ), 种子横径 ( $r = 0.662$ ), 果实横径 ( $r = 0.627$ ) 和果实纵径 ( $r = 0.541$ ) 极显著正相关。④UPGMA 聚类将 7 个群体分为 3 类。研究表明: 朱代沟 (ZDG) 群体的单位投影面积种子产量 (平均  $0.13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ), 每果种子数 (平均 17.6 粒), 结果数 (平均 77.7 个) 和果质量 (平均 3.67 kg) 等产量性状均优于其他群体, 可作为高产型种质资源收集的重点群体; 坤都 (KD) 和承德 (CD) 群体种子含油量 (平均  $0.35 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 高于其他群体, 可作为高油型种质资源收集的重点群体。图 1 表 5 参 20

**关键词:** 植物学; 文冠果; 种实性状; 变异规律; 表型分化

**中图分类号:** S718.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2019)05-1037-07

## Variable fruit and seed characteristics of *Xanthoceras sorbifolium* in different populations

ZHANG Yi<sup>1</sup>, AO Yan<sup>1</sup>, LIU Juefei<sup>2</sup>, ZHAO Leilei<sup>3</sup>, YOU Haide<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Forestry Seedling Station of Chifeng City, Chifeng 024000, Inner Mongolia, China; 3. Wengniuteqi Forestry Bureau of Chifeng, Chifeng 024500, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** To determine the variable patterns of fruit and seed characteristics for *Xanthoceras sorbifolium* within and among populations, fruits and seeds of 1 044 individuals were collected from seven populations in the main distribution areas. 20 fruits and 50 seeds were selected from each individual by quadruple method to measure 12 fruit and seed characteristics. Analysis of variance, correlation analysis, and cluster analysis were used for the analyses. Results showed that (1) there were highly significant ( $P < 0.01$ ) differences in fruit and seed characteristics among populations. Relatively high variation coefficients were observed in yield characteristics including seed yield per unit projective area ( $C_v=46.39\%$ ) and fruit number ( $C_v=45.32\%$ ). However, relatively low variation coefficients occurred in fruit and seed form characteristics including fruit shape index ( $C_v=8.84\%$ ) and seed width ( $C_v=11.50\%$ ). (2) There were significant variations in fruit and seed characteristics within ( $V_{sa} =$

收稿日期: 2018-11-22; 修回日期: 2019-03-04

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(31600241); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2015ZCQ-LX-02, 2019GJZL02)

作者简介: 张毅, 从事森林培育研究。E-mail: 819300245@qq.com。通信作者: 敖妍, 副教授, 从事森林培育研究。E-mail: aoyan316@163.com

32.14%) and among ( $V_s=67.86\%$ ) populations. Variation in fruit and seed characteristics among populations was greater than that within populations. (3) Moreover, seed yield per unit projective area was highly significant ( $P<0.01$ ) and positively correlated with fruit weight ( $r=0.786$ ), fruit number ( $r=0.782$ ) and seed number per fruit ( $r=0.688$ ). There were also highly significant ( $P<0.01$ ) and positive correlations between seed oil concentration and seed number per fruit ( $r=0.765$ ), seed width ( $r=0.662$ ), fruit width ( $r=0.627$ ) and fruit length ( $r=0.541$ ). (4) According to results of a cluster analysis, seven populations were divided into three groups. The Zhudaigou (ZDG) population was superior to other populations in yield characteristics including seed yield per unit projective area ( $0.13\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ), seed number per fruit (17.6), fruit number (77.7), and fruit weight (3.67 kg). However, the seed oil concentration ( $0.35\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) in Kundu (KD) and Chengde (CD) populations were higher than other populations. Thus, ZDG could be used for high-yield, germplasm resource collection, and KD and CD populations could be used for high-oil, germplasm resource collection. [Ch, 1 fig. 5 tab. 20 ref.]

**Key words:** botany; *Xanthoceras sorbifolium*; fruit and seed characteristics; variation pattern; phenotypic differentiation

文冠果 *Xanthoceras sorbifolium* 又名土木瓜、温旦革子, 是无患子科 Sapindaceae 文冠果属 *Xanthoceras* 落叶灌木或乔木<sup>[1]</sup>, 主要分布在中国东北、西北、华北的 16 个省、市、区, 为重要的木本油料树种<sup>[2]</sup>。文冠果种子含油量高, 可用于制作食用油和生物柴油的原材料; 其种仁含有丰富的脂肪、蛋白质和微量元素等, 营养价值高, 可直接用于食品加工; 文冠果果壳中的总皂苷等可入药, 用于改善记忆障碍, 果柄制作而成的水浸膏可用于治疗糖尿病<sup>[3]</sup>。因此, 文冠果种子和果实综合利用价值极高。植物的表型性状是基因与环境互作的结果, 表型变异越大, 遗传变异的可能性越大<sup>[4]</sup>。由于分布范围广, 所处环境条件差异大, 在长期进化过程中, 文冠果形成了与环境相适应的遗传变异, 种实性状变异是其遗传变异的重要组成部分<sup>[5]</sup>。目前, 国内外对于文冠果种实性状多样性研究主要集中在结果数<sup>[6]</sup>、单位投影面积种子产量<sup>[7]</sup>、种子含油量<sup>[8]</sup>、千粒重<sup>[9]</sup>等性状。张晓燕<sup>[9]</sup>、张雷等<sup>[10]</sup>、牟洪香<sup>[11]</sup>对不同群体的文冠果进行调查, 发现其产量性状和产油性状存在较大差异, 表现在结果数、种子大小、含油率等方面显著不同。尽管文冠果性状变异的研究工作已取得一定进展, 但其种实性状变异规律仍有争议, 性状与环境间的关系仍不明确<sup>[11]</sup>。要提高产量、筛选良种, 首先应该进行种实性状研究, 明确群体变异规律, 在此基础上确定优良群体。基于此, 本研究对文冠果主要分布区的 7 个群体 12 个种实性状进行了 3 a 的观测研究, 旨在探索文冠果不同群体间、群体内种实性状的变异规律, 以为文冠果种质资源保护、良种选育和定向栽培提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

在资源调查的基础上, 本研究从文冠果主要分布区选取 7 个群体进行采样: 分别为内蒙古赤峰市坤都镇(KD)、内蒙古赤峰市天山镇(TS)、内蒙古赤峰市乌丹镇(WD)、内蒙古赤峰市朱代沟(ZDG)、河北省承德市(CD)、河北省张家口市蔚县(YX)及河南省三门峡市陕县(SX)(表 1)。共调查 1 044 株长势正常、无机械损伤和病虫害的文冠果单株。

### 1.2 性状观测

2014–2016 年连续 3 a 逐一测定所有单株的冠幅, 果实成熟后按照单株采收所有观测植株的果实、种子, 测定单株种子总产量、结果数、果实鲜质量。采用四分法选取果实 20 个 $\cdot$ 株<sup>-1</sup>, 记录每果种子数, 用游标卡尺测量果实横、纵径, 果皮厚; 在选取的 20 个果实中, 采用四分法选取 50 粒种子, 测定种子横、纵径。种子含油量测定方法参照 GB/T 15690–1995《油籽含油量核磁共振测定法》<sup>[12]</sup>, 采用 HCY-10 核磁共振含油量测量仪测定。单位投影面积种子产量=单株种子总产量/冠幅; 果形指数=果实纵径/果实横径; 种形指数=种子纵径/种子横径<sup>[8]</sup>。

表 1 各群体概况

Table 1 Basic situation of the sampled populations

群体	株数/株	纬度	经度	海拔/m	年均温/°C	年日照时数/h	年降水量/mm	年蒸发量/mm
KD	208	44°13'N	119°18'E	550	5.5	2 900	340	2 075
TS	67	43°10'N	120°03'E	420	5.5	3 050	350	2 067
WD	370	42°57'N	119°00'E	623	5.8	2 923	320	2 235
ZDG	94	42°56'N	119°16'E	500	5.6	2 945	350	2 043
CD	147	40°58'N	118°50'E	510	9.2	2 570	527	2 000
YX	73	39°45'N	114°25'E	850	6.4	2 917	416	1 594
SX	85	34°38'N	111°37'E	760	13.5	2 279	573	2 361

### 1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS 20.0 软件完成。将连续 3 a 性状观测数据取平均值，经过开平方转换后再进行统计分析。采用巢式设计方差分析法分别计算群体间、群体内方差分量及表型分化系数<sup>[13]</sup>。计算种实性状间、种实性状与生态因子间的 Pearson 相关系数<sup>[14]</sup>。利用欧氏平均距离，基于 12 个种实性状数据对 7 个群体进行聚类分析<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 文冠果种实性状变异分析

从表 2 可见：群体间 12 个种实性状差异均极显著( $P<0.01$ )，群体内个体间单位投影面积种子产量、结果数、果实鲜质量差异极显著，每果种子数、果实纵径、果皮厚差异显著( $P<0.05$ )。表明文冠果种实性状在群体间存在广泛差异，不同性状在群体内差异显著性不一致。其中，朱代沟(ZDG)群体单位投影面积种子产量、每果种子数、结果数、果实鲜质量、果实纵径、果形指数等在 7 个群体中均最高；坤都(KD)群体的果实横径、果皮厚、种子横径、种子含油量等指标均最高。

由表 3 可知：产量性状(单位投影面积种子产量、结果数、果实鲜质量等)的变异系数大于种实形态性状(种子纵径、种子横径、果实纵径、果实横径等)，表明种实形态性状的稳定性高于产量性状。12 个种实性状群体内个体间变异系数平均值为 22.07%。其中，平均变异系数最大的性状为单位投影面积种子产量(46.39%)；其次为结果数(45.32%)；平均变异系数最小的性状为果形指数(8.84%)。而种子含油量作为文冠果的重要产油性状，平均变异系数并不大(13.82%)。

### 2.2 文冠果群体间种实性状的表型分化

巢式方差分析(表 4)表明：群体间的方差分量占总变异的 49.42%，群体内的方差分量占总变异的 22.32%；12 个性状的表型分化系数变异为 56.74%~88.35%，其中果实鲜质量的表型分化系数最大，果形指数最小。群体间的平均表型分化系数为 67.86%，表明文冠果种实性状群体间变异大于群体内变异，文冠果群体的种实性状变异主要来自于群体间。

### 2.3 文冠果种实性状间的相关性

对 12 个种实性状进行相关性分析(表 5)表明：产量性状方面，单位投影面积种子产量与每果种子数、结果数和果实鲜质量均极显著正相关( $P<0.01$ )。种子形态性状方面，果实纵径和种子纵径与果实横径、果厚、种子横径极显著正相关；果实横径除与果形指数显著负相关( $P<0.05$ )外，与其他形态指标正相关；种子横径除与种形指数极显著负相关外，与其他形态指标极显著正相关。产油性状方面，种子含油量与每果种子数、果实纵径、果实横径、种子横径极显著正相关，其中，与每果种子数关系最密切( $r=0.765$ )。

### 2.4 基于种实性状的文冠果群体聚类分析

对文冠果 7 个群体 12 个种实性状进行聚类分析(图 1)显示：当欧氏距离为 5 时，7 个群体可聚为 3 类，第 1 类为朱代沟(ZDG)群体，该群体单位投影面积种子产量、结果数、果实鲜质量等产量性状最大，种子含油量较高，综合性状最佳，可作为高产型优良群体在生产中推广；第 2 类为坤都(KD)和承德(CD)群体，特点为产量性状较大，种子含油量最高，综合性状较佳，可作为高油型优良群体在生产中推广；第 3 类为蔚县(YX)、陕县(SX)、天山(TS)和乌丹(WD)群体，特点为产量性状较小，种子含油

表2 不同群体文冠果种实性状

Table 2 Fruit and seed characters of *Xanthoceras sorbifolium* in different populations

群体	单位投影面积种子产量/(kg·m <sup>-2</sup> )	每果种子数/ (个·果 <sup>-1</sup> )	结果数/个	果实鲜质量/kg	果实纵径/cm	果实横径/cm
KD	0.11 ± 0.05	16.8 ± 2.9	50.1 ± 22.8	2.01 ± 0.90	4.99 ± 0.62	5.17 ± 0.55
TS	0.12 ± 0.05	15.9 ± 2.6	23.1 ± 10.1	0.66 ± 0.23	4.64 ± 0.64	4.17 ± 0.52
WD	0.07 ± 0.02	15.2 ± 3.8	25.2 ± 11.2	0.71 ± 0.35	4.07 ± 0.69	4.79 ± 0.68
ZDG	0.13 ± 0.05	17.6 ± 3.2	77.7 ± 36.3	3.67 ± 1.56	5.48 ± 0.77	4.39 ± 0.58
CD	0.06 ± 0.03	16.2 ± 3.5	55.9 ± 24.5	2.05 ± 0.97	4.88 ± 0.74	5.08 ± 0.74
YX	0.05 ± 0.03	13.9 ± 3.3	29.7 ± 9.4	0.46 ± 0.16	5.47 ± 0.65	4.63 ± 0.50
SX	0.03 ± 0.01	13.7 ± 3.5	11.3 ± 5.1	0.48 ± 0.21	4.44 ± 0.65	4.56 ± 0.60
总体均值	0.07 ± 0.04	15.4 ± 3.6	37.6 ± 13.5	1.39 ± 0.63	4.56 ± 0.85	4.53 ± 0.72
变幅	0.07~0.71	3.0~28.0	1.0~297.0	0.01~14.22	2.00~8.29	1.70~7.05
群体间 <i>F</i> 值	27.65**	18.18**	51.59**	62.86**	99.72**	50.54**
群体内 <i>F</i> 值	13.12**	7.65*	33.28**	40.32**	8.87*	7.21
群体	果皮厚/cm	果形指数	种子纵径/cm	种子横径/cm	种形指数	种子含油量/(g·g <sup>-1</sup> )
KD	0.51 ± 0.07	1.05 ± 0.08	1.41 ± 0.15	1.41 ± 0.17	1.03 ± 0.09	0.35 ± 0.04
TS	0.50 ± 0.06	1.00 ± 0.08	1.33 ± 0.21	1.13 ± 0.20	1.19 ± 0.28	0.31 ± 0.04
WD	0.49 ± 0.07	0.98 ± 0.10	1.31 ± 0.19	1.11 ± 0.13	1.09 ± 0.19	0.32 ± 0.05
ZDG	0.48 ± 0.07	1.08 ± 0.11	1.35 ± 0.13	1.27 ± 0.13	1.06 ± 0.07	0.33 ± 0.05
CD	0.46 ± 0.09	0.94 ± 0.09	1.36 ± 0.19	1.33 ± 0.15	1.02 ± 0.21	0.35 ± 0.04
YX	0.45 ± 0.06	1.06 ± 0.09	1.47 ± 0.10	1.24 ± 0.09	1.09 ± 0.07	0.33 ± 0.03
SX	0.41 ± 0.06	1.01 ± 0.08	1.19 ± 0.12	1.28 ± 0.12	1.04 ± 0.08	0.32 ± 0.04
总体均值	0.46 ± 0.08	1.01 ± 0.10	1.29 ± 0.19	1.21 ± 0.17	1.08 ± 0.17	0.33 ± 0.05
变幅	0.20~0.77	0.72~1.35	0.56~2.27	0.56~1.79	0.68~2.02	0.20~0.43
群体间 <i>F</i> 值	53.21**	37.07**	46.87**	74.94**	9.70**	13.87**
群体内 <i>F</i> 值	9.82*	7.54	12.10	15.12	1.82	1.76

说明：数值为平均值±标准差；\*表示在0.05水平上差异显著，\*\*表示在0.01水平上差异极显著

表3 不同群体文冠果种实性状变异系数

Table 3 Variation coefficients of fruit and seed characters of *Xanthoceras sorbifolium* in different populations

群体	变异系数/%												平均值
	单位投影面积种子产量	每果种子数	结果数	果实鲜质量	果实纵径	果实横径	果皮厚	果形指数	种子纵径	种子横径	种形指数	种子含油量	
KD	50.44	18.03	45.55	49.32	12.35	11.40	13.49	7.70	11.33	13.09	9.04	13.71	21.39
TS	44.49	15.50	43.74	35.05	13.79	11.18	12.32	8.40	16.21	17.66	23.82	12.19	20.66
WD	43.72	25.07	44.33	49.73	16.99	16.42	17.18	9.71	16.15	11.59	17.76	14.61	24.97
ZDG	44.24	18.11	46.75	42.44	14.02	11.36	14.30	9.83	9.11	9.02	7.16	16.98	22.22
CD	50.78	25.03	43.92	47.14	17.20	16.30	18.54	10.07	13.93	12.57	18.89	13.72	24.70
YX	47.21	20.49	47.86	34.84	11.90	9.60	12.73	8.05	7.71	7.09	6.28	12.51	19.85
SX	43.87	24.51	45.06	42.75	14.64	13.56	13.01	8.14	8.99	9.50	8.18	13.02	20.71
平均值	46.39	20.96	45.32	43.04	14.41	12.83	14.51	8.84	11.92	11.50	13.02	13.82	22.07

量较低，综合性状较差。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 文冠果种实性状变异规律

植物群体间的变异程度能反映其对不同环境的适应程度，变异系数越大，适应的环境条件越广<sup>[16]</sup>。对文冠果7个群体种实性状研究表明：12个种实性状在群体间、群体内变异都较为丰富，这些变异是遗传和环境因素共同作用的结果，群体间、群体内多层次的变异为文冠果优良种质资源利用提供了物质基础。总体来讲，文冠果产量性状的变异系数较大，样本单株在产量性状上具有较大的选择空间。变异



表 4 文冠果种实性状的方差分量及群体间表型分化系数

Table 4 Variance portions and differentiation coefficients of morphological characters of fruit and seed among populations in *Xanthoceras sorbifolium*

性状	方差分量			方差分量百分比/%			表型分化系数/%
	群体间	群体内	随机误差	群体间	群体内	随机误差	
单位投影面积种子产量	9.29	6.19	7.14	41.06	27.37	31.57	60.01
每果种子数	2.86	1.20	1.28	53.90	21.96	24.13	71.05
结果数	8.98	12.43	16.04	75.93	10.51	13.56	87.84
果实鲜质量	8.59	11.33	12.67	78.16	10.31	11.53	88.35
果实纵径	3.57	2.01	3.33	40.08	22.55	37.38	64.00
果实横径	2.84	1.01	1.30	55.10	19.55	25.35	73.81
果皮厚	0.04	0.02	0.03	42.69	22.00	35.31	65.99
果形指数	0.04	0.03	0.04	38.24	29.15	32.62	56.74
种子纵径	4.19	2.58	3.15	42.26	26.03	31.71	61.88
种子横径	3.22	2.17	2.56	40.57	27.08	32.35	59.97
种形指数	0.03	0.02	0.03	39.69	26.79	33.52	59.70
种子含油量	4.70	2.54	3.11	45.40	24.52	30.08	64.94
平均值	4.03	3.46	4.22	49.42	22.32	28.26	67.86

表 5 文冠果种实性状相关分析

Table 5 Correlation analysis among fruit and seed characters of *Xanthoceras sorbifolium*

性状	每果种子数	结果数	果实鲜质量	果实纵径	果实横径	果皮厚	果形指数	种子纵径	种子横径	种形指数	种子含油量
单位投影面积种子产量	0.688**	0.782**	0.786**	0.562**	0.521**	0.539**	0.530**	0.504**	0.564**	0.036	0.023
每果种子数		0.517**	0.549**	0.638**	0.615**	0.503**	0.532**	0.518**	0.012	0.582**	0.765**
结果数			0.846**	0.557**	0.531**	0.533**	0.575**	0.548**	0.590**	-0.024	-0.589**
果实鲜质量				0.583**	0.635**	0.568**	0.639**	0.646**	0.569**	-0.003	-0.467*
果实纵径					0.842**	0.593**	0.671**	0.672**	0.503**	-0.028	0.541**
果实横径						0.628**	-0.470*	0.537**	0.522**	0.014	0.627**
果皮厚							0.585**	0.610**	0.719**	0.014	0.028
果形指数								0.002	0.581**	-0.473*	0.056
种子纵径									0.554**	0.690**	0.024
种子横径										-0.640**	0.662**
种形指数											-0.679**

说明：\* 表示在 0.05 水平上显著相关，\*\* 表示在 0.01 水平上极显著相关

系数最大的性状为单位投影面积种子产量(46.39%)，因此，以单位投影面积种子产量作为主要筛选指标具有较大选择潜力；种实形态性状相对稳定，这与毛榉 *Cornus walteri*<sup>[17]</sup> 和无患子 *Sapindus mukorossi*<sup>[18]</sup> 种实性状的研究结果一致；不同群体间种子含油量的变异系数不大(13.82%)，这与麻疯树 *Jatropha curcas*<sup>[19]</sup> 种实含油率变异规律一致。

文冠果各种实性状在群体间的平均表型分化系数为 67.86%，文冠果群体的种实性状变异主要来自于群体间。种实性状表型分化系数的差异表明：一方面可能由于群体间地理隔离和环境选择性不同，加之群体间基因交换的几率减少，逐渐形成各自相对比较稳定的群体表型特征；另一方面，由于不同表型性状受不同基因型控制，最终引起了不同程度的表型分化差异<sup>[16]</sup>。由此可见：文冠果种实性状存在丰富的遗传变异，且不同群体的环境异质性增强了种实性状的变异程度，为文冠果优良种质资源选择提供了有利条件。

### 3.2 文冠果种实性状相关性规律

植物在长期的进化过程中，一个性状的变异可能导致其他相关性状的变异，从而使各性状间存在一定关联<sup>[20]</sup>。种实性状相关性分析发现，文冠果种实性状间均存在较为密切的联系。其中，单位投影面积种子产量与每果种子数、结果数和果实鲜质量均极显著正相关；种子含油量与每果种子数、果实纵径、

果实横径、种子横径极显著正相关，与结果数、种形指数极显著负相关。通过这些种实性状的相关性可以推测与其相关的性状，有利于快速、全面地对资源进行客观评价。

### 3.3 文冠果群体性状差异性

本研究采用类平均法，将文冠果7个群体聚为3类，每个组群的性状特征存在显著差异，具有明显的地理区域特征，基本能够反映区域间的形态差异和地理分布格局，这对于良种选育和栽培区域化具有积极意义。朱代沟(ZDG)群体的产量性状优于其他群体，可考虑将其作为高产型文冠果种质资源收集的重点群体；坤都(KD)和承德(CD)群体的产油性状优于其他群体，可作为高油型文冠果种质资源收集的重点群体。

### 3.4 文冠果种质资源的保存与利用

文冠果自然分布跨度大，生长环境条件复杂，通过长期的地理隔离、自然选择，使得文冠果群体间和群体内存在丰富的变异，这为文冠果选择育种、进行种子区划和确定调拨范围提供了重要基础。目标改良性状变异概率越大，变异幅度越大，选择效果越好。因此，在文冠果遗传改良工作中既要重视不同地理群体间目标性状的变异格局，也应注重对群体内重要性状的变异分析，同时综合考虑子代遗传的稳定性，提高优良种质资源的选择力度。

## 4 参考文献

- [1] 汪子洋, 黄炎子, 王俊杰, 等. 文冠果不同果型种实性状的概率分布与选择[J]. 北京林业大学学报, 2017, **39**(9): 22 - 28.  
WANG Ziyang, HUANG Yanzi, WANG Junjie, et al. Probability distribution and selection of seed and fruit traits of different fruit types of *Xanthoceras sorbifolium* [J]. *J Beijing For Univ*, 2017, **39**(9): 22 - 28.
- [2] 敖妍, 段劫, 于海燕, 等. 文冠果研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2012, **17**(6): 197 - 203.  
AO Yan, DUAN Jie, YU Haiyan, et al. Research progress on *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. *J China Agric Univ*, 2012, **17**(6): 197 - 203.
- [3] 严婷. 文冠果优良单株开花结实生物学特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.  
YAN Ting. *Research about the Flowering and Fruit Setting Biological Charactersticts of Superior Individual Plant of Xanthoceras sorbifolia* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [4] 林玲, 王军辉, 罗建, 等. 砂生槐天然群体种实性状的表型多样性[J]. 林业科学, 2014, **50**(4): 137 - 143.  
LIN Ling, WANG Junhui, LUO Jian, et al. Phenotypic diversity of seed and fruit traits in natural populations of *Sophora moorcroftiana* [J]. *Sci Silv Sin*, 2014, **50**(4): 137 - 143.
- [5] 杨韞嘉. 文冠果种实性状变异与根孽幼苗可塑性分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.  
YANG Yunjia. *Variation of Seeds, Fruits Characteristics and Analysis of Root Cuttings Plasticity in Xanthoceras sorbifolia Bunge* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [6] 王娅丽, 杨玉刚, 李海超, 等. 文冠果优良单株选择研究[J]. 黑龙江农业科学, 2016(11): 112 - 116.  
WANG Yali, YANG Yugang, LI Haichao, et al. Study on superior individual selection of *Xanthoceras sorbifolium* Bunge [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2016(11): 112 - 116.
- [7] 孙琳琳. 文冠果种质资源评价与优良单株选择[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.  
SUN Linlin. *Germplasm Resources Evaluation and Superior Individual Selection in Xanthoceras sorbifolia* [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2012.
- [8] 敖妍. 木本能源植物文冠果类型划分、单株选择及相关研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.  
AO Yan. *Type Classification, Individual Selection and Relevant Studies on Woody Energy Plant Xanthoceras sorbifolia Bunge* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2010.

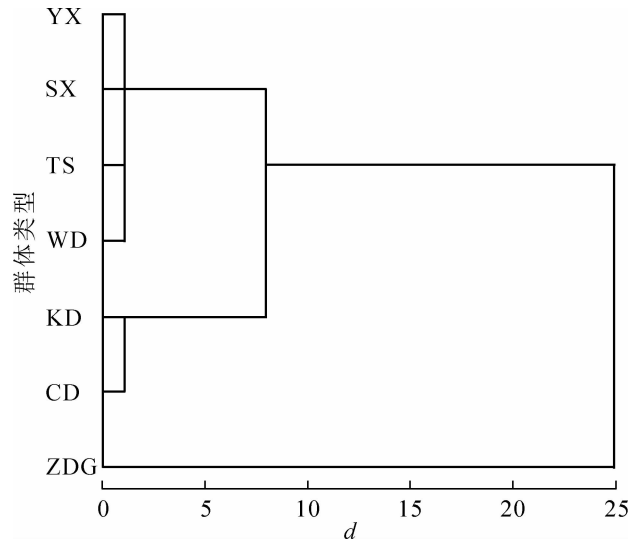


图1 文冠果7个群体的种实性状聚类分析

Figure 1 Cluster analysis diagram based on fruit and seed characters of seven *Xanthoceras sorbifolium* populations

- [9] 张晓燕. 神东矿区不同种源地文冠果生长适宜性及耐盐性研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学, 2012.  
ZHANG Xiaoyan. *The Growth Adaptability of Xanthoceras sorbifolia Bge. of Different Seed Source Region and Its Salt Tolerance in Shendong Mining Area* [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- [10] 张雷, 王宝霞, 季雪峰, 等. 内蒙古不同种源文冠果果实特征及种子含油量调查研究[J]. 内蒙古林业科技, 2011, **37**(3): 16 – 20.  
ZHANG Lei, WANG Baoxia, JI Xuefeng, *et al.* Investigations on fruit character and seed oil content of *Xanthoceras sorbifolia* from different provenances in Inner Mongolia [J]. *J Inner Mongolia For Sci Technol*, 2011, **37**(3): 16 – 20.
- [11] 牟洪香. 木本能源植物文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)的调查与研究[D]. 北京：中国林业科学研究院, 2006.  
MOU Hongxiang. *Investigation and Research on Woody Energy Plant Xanthoceras sorbifolia Bunge* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2006.
- [12] 王以群, 鲍元奇, 张颖. 油籽含油量核磁共振测定法：GB/T 15690–2008[S]. 北京：中国标准出版社, 1995.
- [13] 刁松锋, 邵文豪, 姜景民, 等. 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. 生态学报, 2014, **34**(6): 1451 – 1460.  
DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, *et al.* Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(6): 1451 – 1460.
- [14] 刁松锋, 邵文豪, 姜景民, 等. 无患子实生群体种实表型性状变异研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, **42**(5): 75 – 83.  
DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, *et al.* Study on variation in phenotypic traits of fruit and seed of *Sapindus mukorossi* in seedling plantation [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2014, **42**(5): 75 – 83.
- [15] 黄佳聪, 何俊, 尹瑞萍, 等. 腾冲红花油茶自然和人工种群种实性状变异研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, **32**(5): 94 – 101.  
HUANG Jiacong, HE Jun, YIN Ruiping, *et al.* Variations of fruit and seed traits of natural and artificial populations in *Camellia reticulata* L. [J]. *J Beijing For Univ*, 2010, **32**(5): 94 – 101.
- [16] 刘雄盛, 蒋焱, 黄荣林, 等. 江南油杉种实性状变异及其与环境因子的关系[J]. 广西植物, 2017, **37**(1): 118 – 126.  
LIU Xiongsheng, JIANG Yi, HUANG Ronglin, *et al.* Variation in traits of cone and seed of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* and its relationship with environmental factors [J]. *Guihaia*, 2017, **37**(1): 118 – 126.
- [17] 康永祥, 赵宝鑫, 贡玉洁, 等. 毛茛天然群体种实表型多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, **39**(9): 107 – 117.  
KANG Yongxiang, ZHAO Baoxin, YUN Yujie, *et al.* Study on phenotypic diversity of seeds and fruits, characteristic in *Cornus walteri* [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2011, **39**(9): 107 – 117.
- [18] 邵文豪, 刁松锋, 董汝湘, 等. 无患子种实形态及经济性状的地理变异[J]. 林业科学研究, 2013, **26**(5): 603 – 608.  
SHAO Wenhao, DIAO Songfeng, DONG Ruxiang, *et al.* Study on geographic variation of morphology and economic character of fruit and seed of *Sapindus mukorossi* [J]. *For Res*, 2013, **26**(5): 603 – 608.
- [19] 张剑亮, 何琴, 曹干, 等. 麻疯树优良单株筛选重要性状评价指标研究[J]. 热带作物学报, 2011, **32**(5): 800 – 805.  
ZHANG Jianliang, HE Qin, CAO Gan, *et al.* Evaluation indices of important characters of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions [J]. *Chin J Trop Crops*, 2011, **32**(5): 800 – 805.
- [20] 孙海芹, 李昂, 班玮, 等. 濒危植物独花兰的形态变异及其适应意义[J]. 生物多样性, 2005, **13**(5): 376 – 386.  
SUN Haiqin, LI Ang, BAN Wei, *et al.* Morphological variation and its adaptive significance for *Changnienia amoena*, an endangered orchid [J]. *Biodiversity Sci*, **13**(5): 376 – 386.