

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.005.013

# 翅果油树人工林表型性状变异规律研究

杨玉洁<sup>1</sup>, 胡晓艳<sup>1</sup>, 黄尧<sup>1</sup>, 王升级<sup>1</sup>, 程葆昶<sup>1,2</sup>,  
张建国<sup>2</sup>, 杜淑辉<sup>1\*</sup>, 王兆山<sup>2\*</sup>

(1. 山西农业大学林学院, 北方功能油料树种培育与研发山西省重点实验室, 山西 晋中 030800;

2. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** [目的] 分析翅果油树表型性状的多样性, 掌握翅果油树种质资源性状变异规律, 从中挖掘优异种质资源, 为后续林木良种和新品种选育奠定基础。[方法] 从山西省翼城县翅果油树省级自然保护区内选择 100 棵 10 年生翅果油树实生苗, 根据数量分类法编制性状调查表, 采用多种方法对翅果油树种质资源表型性状变异规律进行分析。[结果] 翅果油树表型性状的变异系数为 9.72%~37.66%, 平均变异系数为 22.26%。数量性状的多样性指数 ( $H'$ ) 为 1.056~2.213。相关性分析发现, 单一器官不同性状的相关性均较高, 不同器官间性状普遍没有相关性, 但叶长与 6 个果实性状均具有显著相关性。主成分分析发现, 前 7 个主成分的累积贡献率为 79.053%, 各性状贡献率较分散。果实性状聚类分析表明, 在距离系数为 10 时, 100 棵翅果油树聚为 3 大类, 且类别之间果实性状具有显著性差异。果实性状主成分分析表明, 产量与种仁性状可以作为翅果油树良种选育的首要目标, 因此, 在第 III 类中选择个体 10、17、33、37、56、74 作为未来翅果油树林木良种或新品种选育的首选材料。[结论] 山西省翅果油树人工林表型性状变异丰富, 可分别根据不同育种目标进行选育。

**关键词:** 翅果油树; 种质资源; 表型性状; 变异规律

**中图分类号:** S718.46

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2022)05-0113-10

翅果油树 (*Elaeagnus mollis* Diels.) 是胡颓子科 (*Elaeagnaceae*) 胡颓子属 (*Elaeagnus*) 落叶乔木或灌木, 集中分布于山西省与陕西省, 在河南省也有零星分布<sup>[1]</sup>。由于自然因素与人类活动等影响, 翅果油树分布范围逐步缩减, 种群数量下降明显, 被列为国家二级濒危珍稀保护植物<sup>[2]</sup>。翅果油树有极高的经济价值和生态价值, 是多功能高效益树种, 开发应用潜力巨大<sup>[3]</sup>。作为重要的木本油料树种, 其种仁出油率高达 32.5%, 翅果油含有大量对人体有益的功能成分, 尤其是超高水平的维生素 E (VE) 含量, 具有很高的食用药用及保健价值。Wu 等<sup>[4]</sup> 比较了长梗扁桃 (*Amygdalus pedunculata* Pall.)、文冠果 (*Xanthoceras*

*sorbifolium* Bunge)、油用牡丹 (*Paeonia suffruticosa* Andr.) 和翅果油树 4 种木本油料作物油脂中 VE 含量, 发现翅果油中 VE 含量最高。翅果油树还可作为园林绿化的优良树种, 并且在荒漠治理、绿化美化、改善林业生态等方面也有极其重要的作用<sup>[5]</sup>。目前, 国内外专家学者对翅果油树的研究主要涉及群落分布、叶性特征、化学成分、遗传多样性等方面<sup>[6-17]</sup>, 如权洪峰等<sup>[18]</sup> 对翅果油树种子 CO<sub>2</sub> 超临界萃取物进行成分分析, 发现翅果油树种子出油率为 35.6%, 并从中鉴定出 4 种脂肪酸成分。Du 等<sup>[19]</sup> 采用微卫星分子标记和叶绿体序列片段对翅果油树野生群体的遗传多样性及遗传结构进行研究, 发现翅果油树具有较高的遗传多样

收稿日期: 2021-08-24 修回日期: 2021-12-21

基金项目: 中华人民共和国科技部科技基础资源调查专项子课题: 翅果油种质资源调查收集 (2019FY100802\_04); 山西省基础研究计划 (自由探索类) (20210302124175); 山西农业大学科技创新基金项目 (2016YJ14)

\* 通讯作者: 杜淑辉, 博士, 副教授。主要研究方向: 园林植物种质资源收集与评价。电话: 15535495464。Email: agas231@163.com;  
王兆山, 博士, 副研究员。主要研究方向: 植物学。电话: 13426198846。Email: w@caf.ac.cn

性,遗传变异主要存在于群体内,群体间遗传分化水平较高。

作为一种新兴木本油料树种,良种或新品种选育是翅果油树相关产业发展的重要基础。然而,目前关于翅果油树表型性状,尤其是果实性状变异规律的研究较少开展,不利于翅果油树优异种质资源的挖掘培育及相关产业发展。应用数量分类法分析植物种质资源表型性状变异规律的研究已广泛开展<sup>[20-22]</sup>。种质资源的调查分析是多样性研究的基础,作为衡量物种多样性重要指标的表型多样性,在种质资源的收集、保存、评价与利用研究等方面极为重要。张深梅等<sup>[23]</sup>选取了19个大别山山核桃(*Carya dabieshanensis* M. C. Liu et Z. J. Li)天然种群,对其表型性状的变异规律及与地理分布的关系进行分析,为山核桃种质资源的收集、保护及改良提供了重要的理论支持。柴春山等<sup>[24]</sup>选取了44株文冠果果实的19个表型性状,研究了文冠果人工种群性状的变异情况,为筛选文冠果高产单株奠定了坚实的基础。因此,为了进一步研究及保护翅果油树种质资源,本研究系统全面分析翅果油树表型性状的变异规律,并筛选出一些优良单株,为后续翅果油树林木良种及新品种选育工作的开展奠定坚实的基础。

## 1 试验区概况和试验材料

### 1.1 试验区概况

试验区位于山西省翼城县翅果油树省级自然保护区(35°23'~35°52'N, 111°34'~112°03'E),海拔500~1 500 m,年平均气温10~12℃,年平均日照时数2 400 h,年降水量550 mm左右,霜冻期为10月下旬至次年4月上旬,无霜期约200 d。属暖温带大陆性气候,日照充足,四季分明,为山西省光热资源丰富、雨量较多、无霜期长的地区之一<sup>[25]</sup>。

### 1.2 试验材料

本研究所用的翅果油树人工林是对翅果油树就地保护工作的一部分,位于山西省翼城县翅果油树省级自然保护区内。2011年8—9月在山西省翼城县、绛县及乡宁县等地收集天然林种子,基本覆盖了翅果油树在我国的自然分布区,2011年冬季采用随机混合播种法育苗,2014年定植。2020年7—9月间,本文作者所在研究团队对保护区内翅果油树种质资源结实情况进行了全面细致的调查,从中选取了100棵生长健壮、无病虫害且结实量

大的10年生单株作为进一步调查对象,并于2021年3—4月翅果油树萌芽期、花期对其植株、叶片、花等表型性状进行了进一步的调查、测量与分析。

## 2 研究方法

### 2.1 翅果油树性状调查表

根据《中国植物志》<sup>[26]</sup>、《山西树木志》<sup>[27]</sup>等记载的翅果油树形态特征,从中选取24个表型性状建立性状调查表,包括假质量性状4个,包括叶缘(1:全缘;2:浅波状;3:其他)、叶基(1:宽楔形;2:近圆形)、花萼形状(1:萼筒钟状;2:其他)、花冠形状(1:钟状;2:管状;3:其他),数量性状20个,包括树高、冠幅、地径、叶长、叶宽、叶形指数(叶长/叶宽)、叶柄长、叶色、盛花期花径、花瓣长、花瓣宽、花梗长度、花色、果实纵径、果实横径、果形指数(果实纵径/果实横径)、果实鲜质量、果实干质量、种子干质量、种仁干质量(图1)。



图1 翅果油树果实形态

Fig. 1 Detailed morphology of *E. mollis* fruit

### 2.2 叶片性状测定

选取测试植株树冠中上部当年生枝条的叶片(每个植株选取5个枝条,每个枝条3个叶片),用游标卡尺测量叶片的长度、宽度和叶柄长度,叶片颜色采用英国皇家园艺协会(RHS)植物比色卡测定,叶片其他性状通过直接观测得到。

### 2.3 花朵性状测定

盛花期时选取植株树冠中上部枝条中上段花序(每个植株5个花枝,每个花枝10个花朵),用游标卡尺测量花径、花柄长度、花瓣大小等,花瓣颜色采用英国皇家园艺协会(RHS)植物比色卡测定,其他性状通过直接观测得到。

### 2.4 果实性状测定

果实成熟期选取植株树冠中上部当年生结果枝条(每个植株随机采集30个果实),用游标卡尺

测量果实长(纵径)、宽(横径),用电子天平测量鲜质量(质量皆为30个果实的总质量)。将果实放置于烘箱中,50℃烘24h,待果实烘干后,称果实干质量。去除外果皮,只保留种子,用电子天平测量种子干质量。去除种皮,只保留种仁,用电子天平测量种仁质量。

## 2.5 其他性状测定

树高的测定采用美国RD1000测树仪,冠幅和地径均采用直尺测量,其中,地径取离地面约10cm处的树干直径。

## 2.6 数据处理

试验获得的全部数据均采用Excel 2010及SPSS18.0软件进行处理分析。对100棵翅果油树的24个表型性状进行方差分析、多样性指数计算、相关性分析、主成分分析与聚类分析,其中,相关系数使用pearson系数,聚类方法运用非加权配对算数平均法(UPGMA)。数量性状划分为10级,1级为 $< -2\sigma$ ,10级为 $\geq +2\sigma$ ,中间每级相差 $0.5\sigma$ , $\sigma$ 为标准差。表型性状多样性采用Shannon-Weaver( $H'$ )指数评估,公式为:

$$H' = -\sum P_i \times \ln P_i$$

式中: $i=1, 2, 3, \dots, n$ ,  $P_i$ 指第*i*级的个体数占总样品数的百分比<sup>[28]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 翅果油树表型性状多样性

调查分析发现,100棵翅果油树叶色均为144A,花色均为145B,花冠形状均为管状,花萼形状均为钟状,叶缘均为全缘,叶基均为宽楔形,因此,后续不再对这6个性状进行分析。从表1可看出:果实纵径平均为16.774mm,果实横径平均为18.294mm,果形指数平均为0.926,表明翅果油树的果实多为近圆形或阔椭圆形。叶长平均为9.830cm,叶宽平均为4.463cm,叶形指数平均为2.238,表明翅果油树叶片多为卵形或卵状椭圆形。翅果油树表型性状的变异系数(CV=标准差/平均值×100%)为9.72%~37.66%,其中,果实鲜质量的平均变异系数最高(37.66%),果形指数的最小(9.72%)。翅果油树18个数量性状的多样性指数( $H'$ )为1.056~2.213,平均为1.801,表明翅果油树种质资源数量性状的变异类型较丰富。

表1 翅果油树表型性状的多样性

Table 1 Variance analysis of phenotypic traits of *E. mollis*

性状 Phenotypic traits	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值±标准误 Mean±SD	变异系数 CV/%	多样性指数 $H'$
树高 Plant height/m	1.50	5.00	2.836±0.787	27.75	1.892
冠幅 Crown breadth/m	1.50	5.00	2.786±0.743	26.68	1.737
地径 Ground diameter/cm	3.00	20.00	9.117±2.920	32.03	1.056
叶长 Blade length/cm	5.97	12.40	9.830±1.296	13.19	2.023
叶宽 Blade width/cm	3.10	6.59	4.463±0.743	16.64	1.860
叶形指数 Blade index	1.45	3.34	2.238±0.342	15.28	1.961
叶柄长 Petiole length/mm	8.14	21.72	12.764±2.058	16.12	2.213
盛花期花径 Flower diameter in full-bloom stage/mm	6.00	19.00	11.835±2.202	18.61	1.960
花瓣长 Petal length/mm	3.00	7.00	4.593±0.882	19.20	1.200
花瓣宽 Petal width/mm	2.00	5.00	3.473±0.720	20.73	1.056
花梗长度 Peduncle length/mm	2.00	9.00	4.769±1.283	26.90	1.610
果实纵径 Fruit length/mm	5.00	22.84	16.774±2.441	14.55	1.922
果实横径 Fruit width/mm	13.14	25.16	18.294±2.094	11.45	2.021
果形指数 Fruit shape index	0.41	1.16	0.926±0.090	9.72	1.949
果实鲜质量 Fruit wet weight/g	12.05	74.58	32.903±12.390	37.66	2.142
果实干质量 Fruit dry weight/g	6.88	36.39	18.204±5.926	32.55	1.922
种子干质量 Seed dry weight/g	6.66	33.82	14.370±4.891	34.04	1.958
种仁干质量 Kernel dry weight/g	1.87	11.73	5.809±1.606	27.65	1.929

### 3.2 表型性状相关性

从表 2 可看出：翅果油树果实纵径与果实横径、果形指数、果实鲜质量、果实干质量、种子干质量、种仁干质量等性状呈极显著正相关；果形指数与果实横径呈极显著负相关；种子干质量与果实纵径、果实横径、果实鲜质量、果实干质量、种仁

干质量呈极显著正相关。除种仁干质量外，叶长与 6 个果实性状均呈显著或极显著正相关，叶形指数与叶宽呈极显著负相关。花径与花瓣长、花瓣宽呈极显著正相关。树高与冠幅呈极显著正相关；地径与树高、冠幅呈极显著正相关。

表 2 翅果油树表型性状的相关性  
Table 2 Correlation analysis of phenotypic traits of *E. mollis*

性状 Phenotypic traits	Ph	Cb	Gd	Bl	Bw	Bi	Pl	Fd	Lp	Pw	Pe	Fl	Fw	Fs	Fww	Fd	Sd	Kd
Ph	1																	
Cb	0.703**	1																
Gd	0.313**	0.414**	1															
Bl	0.293**	0.187	0.152	1														
Bw	0.266**	0.216*	0.018	0.568**	1													
Bi	-0.028	-0.085	0.126	0.303**	-0.601**	1												
Pl	0.188	0.092	0.176	0.461**	0.172	0.240*	1											
Fd	0.058	0.136	0.144	0.230*	0.266*	-0.098	0.104	1										
Lp	-0.034	0.092	0.153	0.051	0.132	-0.103	0.015	0.584**	1									
Pw	-0.023	0.063	0.098	-0.056	0.048	-0.123	0.127	0.347**	0.557**	1								
Pe	-0.011	0.028	0.025	0.043	0.042	-0.020	0.111	0.111	0.162	0.155	1							
Fl	-0.104	0.112	0.149	0.306**	0.144	0.135	0.080	0.019	0.071	0.107	0.096	1						
Fw	0.013	0.176	0.188	0.231*	0.197*	0.018	0.029	0.112	0.032	0.014	0.060	0.634**	1					
Fs	0.024	0.083	-0.036	0.269**	0.040	0.191	0.073	-0.060	0.095	0.079	-0.069	0.400**	-0.292**	1				
Fww	0.079	0.256*	0.266**	0.243*	0.114	0.113	0.200*	0.088	-0.039	0.005	0.007	0.535**	0.660**	-0.028	1			
Fd	0.056	0.207*	0.186	0.258**	0.195	0.033	0.092	0.085	-0.024	-0.005	0.023	0.572**	0.675**	0.009	0.907**	1		
Sd	0.027	0.187	0.169	0.259**	0.169	0.067	0.075	0.080	-0.017	-0.030	0.012	0.546**	0.638**	0.024	0.889**	0.983**	1	
Kd	-0.038	0.115	0.105	0.136	0.135	-0.031	-0.202*	0.054	0.019	-0.090	-0.060	0.288**	0.230*	0.023	0.523**	0.595**	0.632**	1

注：\*\*  $P < 0.01$ ，\*  $P < 0.05$ 。Ph: 树高；Cb: 冠幅；Gd: 地径；Bl: 叶长；Bw: 叶宽；Bi: 叶形指数；Pl: 叶柄长；Fd: 盛花期花径；Lp: 花瓣长；Pw: 花瓣宽；Pe: 花梗长度；Fl: 果实纵径；Fw: 果实横径；Fs: 果形指数；Fww: 果实鲜质量；Fd: 果实干质量；Sd: 种子干质量；Kd: 种仁干质量。

Notes: \*\*  $P < 0.01$ , \*  $P < 0.05$ . Ph: Plant height; Cb: Crown breadth; Gd: Ground diameter; Bl: Blade length; Bw: Blade width; Bi: Blade index; Pl: Petiole length; Fd: Flower diameter in full-bloom stage; Lp: Petal length; Pw: Petal width; Pe: Peduncle length; Fl: Fruit length; Fw: Fruit width; Fs: Fruit shape index; Fww: Fruit wet weight; Fd: Fruit dry weight; Sd: Seed dry weight; Kd: Kernel dry weight.

### 3.3 主成分分析

相关性分析表明：翅果油树表型性状之间具有较强相关性，因此，将 18 个表型性状标准化后进行主成分分析。表 3 表明：前 7 个主成分累积贡献率为 79.053%，说明各性状的贡献率比较分散，同时也表明翅果油树表型性状变异较丰富，具

有多向性。第 1 主成分的贡献率为 26.172%，载荷最高的特征向量是果实性状，如果实干质量、种子干质量等，称为果实因子；第 2 主成分中载荷最高的特征向量是花朵性状，如花瓣长，花瓣宽等，称为花朵因子；第 3 主成分中载荷较高的特征向量是叶片性状，如叶形指数等，称为叶片因子。

表 3 翅果油树表型性状的主成分分析

Table 3 The principal component analysis of *E. mollis* phenotypic traits

性状 Phenotypic traits	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
树高 Plant height	0.272	0.325	-0.525	0.513	0.315	-0.003	0.079
冠幅 Crown breadth	0.409	0.347	-0.408	0.331	0.474	0.062	0.219
地径 Ground diameter	0.364	0.123	0.087	0.102	0.559	-0.334	-0.036
叶长 Blade length	0.469	0.199	0.160	0.582	-0.419	-0.001	-0.229
叶宽 Blade width	0.473	0.466	-0.402	0.082	-0.544	0.177	-0.026
叶形指数 Blade index	-0.122	-0.372	0.626	0.440	0.245	-0.214	-0.195
叶柄长 Petiole length	0.213	0.174	0.304	0.482	-0.312	-0.398	-0.052
盛花期花径 Flower diameter in full-bloom stage	0.225	0.671	0.216	-0.172	-0.001	-0.071	-0.365
花瓣长 Petal length	0.099	0.708	0.375	-0.301	0.163	0.119	-0.148
花瓣宽 Petal width	0.063	0.601	0.384	-0.278	0.161	0.059	0.115
花梗长度 Peduncle length	0.065	0.254	0.200	-0.095	-0.096	-0.311	0.492
果实纵径 Fruit length	0.616	-0.150	0.422	-0.019	-0.085	0.296	0.431
果实横径 Fruit width	0.728	-0.087	0.024	-0.211	-0.163	-0.235	0.303
果形指数 Fruit shape index	0.003	0.000	0.416	0.426	0.116	0.736	0.130
果实鲜质量 Fruit wet weight	0.899	-0.226	0.052	-0.051	0.099	-0.099	-0.034
果实干质量 Fruit dry weight	0.934	-0.224	0.006	-0.089	0.030	0.001	-0.056
种子干质量 Seed dry weight	0.902	-0.261	0.033	-0.150	0.019	0.024	-0.103
种仁干质量 Kernel dry weight	0.601	-0.239	-0.131	-0.252	0.141	0.243	-0.405
贡献率/%	26.172	12.789	10.383	9.352	7.813	6.803	5.741
累计贡献率/%	26.172	38.961	49.344	58.697	66.510	73.312	79.053

以 18 个表型性状所对应的主成分载荷值为系数构建综合评价函数式:  $F_n = \sum_{i=1}^{18} a_i x_i$ , 式中  $F_n$  为第  $n$  主成分得分值,  $a_i$  为第  $i$  个表型性状对应各主成分的载荷值,  $x_i$  为表型性状。综合得分  $F = \sum_{i=1}^7 (b_i/m) F_i$ , 式中  $b_i$  为各主成分的特征向量值,  $m$  为 7 个特征向量值之和。根据上述函数式计算出各单株的综合得分  $F$  值,  $F$  值越高表明综合性状越优良。经计算 100 份种质平均综合得分  $F$  值为 0.361 6, 个体 48、72 和 73 等 22 份翅果油树的综合得分  $F$  值较高, 表明其性状综合表现良好。以综合得分  $F$  值为因变量, 表型性状值为自变量进行一元逐步回归线性分析, 得到回归方程  $y=0.134+0.755x_2+0.203x_3+0.380x_4+0.350x_5+0.201x_7+0.344x_{12}+0.153x_{13}+0.266x_{15}+0.058x_{16}+0.448x_{17}-0.075x_{18}$ , 方程的相关系数  $R=0.981$ , 决定系数  $R^2=0.962$ , 表明这 11 个性状 (冠幅、地径、叶长、叶宽、叶柄长、果实纵径、果实横径、果实鲜质量、果实干

质量、种子干质量、种仁干质量) 可以决定综合得分  $F$  值总变异量的 96.2%, 构建的综合评价函数式可用于对翅果油树种质资源进行综合分析评价, 可靠度达 96.2%。

### 3.4 表型性状聚类分析

利用本研究制定的翅果油树性状调查表中所有性状进行聚类分析 (图 2), 其中, 个体 5、15、19、35、38、42、43、46、67、68、78、83、85、86、92、97~100 在进行调查时未开花, 花朵性状数据缺失, 因此, 不对以上个体进行分析。在距离系数为 10 时, 翅果油树个体聚为 3 类。对 3 类的表型性状进行差异显著性分析, 发现树高、冠幅在 3 类间差异显著, 地径、叶长、叶宽、果实鲜质量在第 I 类与第 II 类间差异显著, 其他性状在 3 类间差异均不显著。作为一种具有良好发展前景的木本油料树种, 获得优质高产的果实及种子是目前翅果油树良种和新品种选育的首要目标。因

此, 后续仅利用果实性状对 100 棵翅果油树重新进行了 UPGMA 聚类分析与主成分分析, 同时为了更全面地分析与评价所选择的翅果油树作为林木良种选育材料的潜力, 进一步计算了种子得率(种子干质量/果实干质量)与种仁得率(种仁干质量/种子干质量), 并作为果实性状参与上述分析。聚类分析结果表明: 所有翅果油树个体仍分为 3 类(图 3), 果实鲜质量、果实干质量与种子干质量在 3 类间均差异显著, 果形指数和种子得率在 3 类间无差异, 果实横径与种仁得率在第 I 类与第 II 类间差异显著(表 4)。第 I 类的平均果实纵

径、果实横径、果实鲜质量、果实干质量及种子干质量大于第 II 类和第 III 类, 而果形指数小于第 II 类和第 III 类, 第 III 类的种子得率、种仁得率均大于第 I 类和第 II 类。果实性状主成分分析结果(表 5)表明: 前 4 个主成分的累计贡献率达 89.687%, 第 1 主成分的贡献率为 44.775%, 其中, 产量相关性状的载荷最高, 如果实干质量、种子干质量等, 说明产量可以作为目前翅果油树良种选育的首要目标; 第 2 主成分中载荷较高的性状是种仁干质量、种仁得率等, 表明在提高产量的同时需进一步重视种仁相关性状表现, 这直接关系到最终翅果油产量的高低。

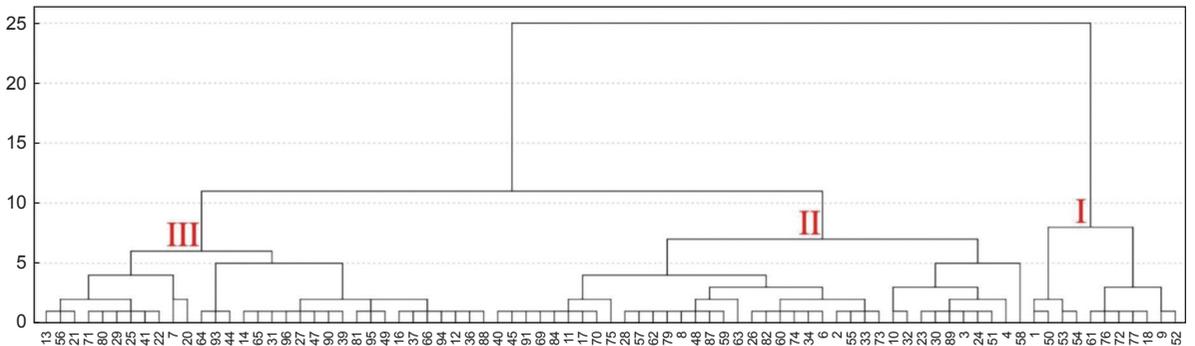


图 2 翅果油树表型性状聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis of phenotypic traits of *E. mollis*

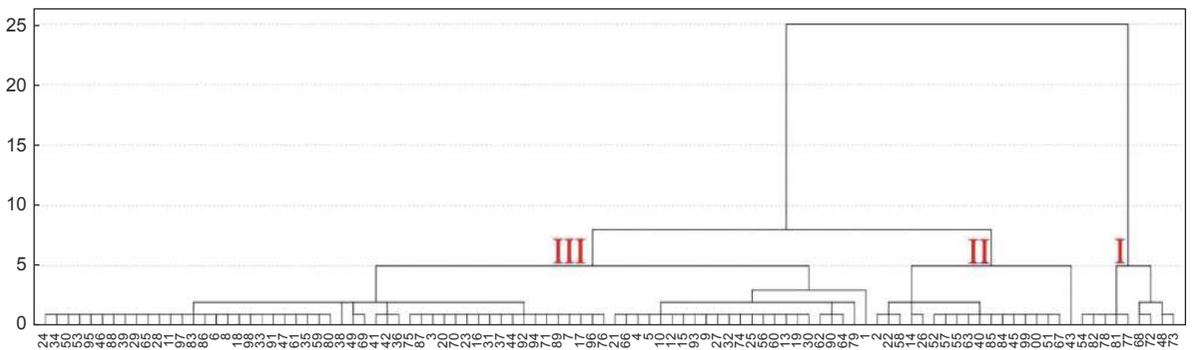


图 3 翅果油树果实性状聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of fruit traits of *E. mollis*

## 4 讨论

### 4.1 翅果油树性状变异规律

通过实地调查发现, 翅果油树叶色、叶缘、叶基、花色、花冠形状和花萼形状在 100 棵单株之间无变异, 说明上述性状的表现相对稳定, 受外界环境影响较小; 其他 18 个表型性状的变异幅度较大, 平均变异系数达 22.26%, 多样性丰富。18 个表型性状中, 果实性状的变异程度高于其他性状,

其多样性指数也相对较高(表 1), 表明翅果油树果实的变异潜力最高, 为后续进行优质高产翅果油树林木良种的选育提供了丰富的材料。果实鲜质量的平均变异系数最高(37.66%), 由于翅果油树果皮为棉质且具大量丝状棉毛<sup>[29]</sup>, 吸水能力较强, 因此, 果实鲜质量受外界环境(如温度、空气湿度等)的影响较大。在其他物种的性状变异规律研究中也发现了类似规律, 如常君等<sup>[30]</sup>对浙江省杭州市余杭区长乐林场的美国山核桃(*Carya*

表 4 翅果油树果实性状聚类分析差异比较

Table 4 Comparison of the differences of cluster analysis of fruit traits of *E. mollis*

性状 Character	第 I 类		第 II 类		第 III 类	
	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
果实纵径 Fruit length/mm	19.68 a	17.32~22.10	18.18 a	14.98~22.18	15.96 b	5.00~22.84
果实横径 Fruit width/mm	22.30 a	19.31~25.16	18.81 b	16.81~20.32	17.57 b	13.14~22.71
果形指数 Fruit shape index	0.89 a	0.75~1.00	0.97 a	0.75~1.15	0.92 a	0.78~1.16
果实鲜质量 Fruit wet weight/g	61.66 a	52.40~74.58	42.60 b	34.86~50.25	26.77 c	12.05~37.96
果实干质量 Fruit dry weight/g	30.86 a	27.71~36.39	23.75 b	17.74~31.97	15.47 c	6.88~21.63
种子干质量 Seed dry weight/g	23.72 a	20.49~27.89	18.44 b	13.65~26.21	12.41 c	6.66~33.82
种子得率 Seed yield/%	0.77 a	0.73~0.82	0.78 a	0.75~0.86	0.82 a	0.64~2.88
种仁干质量 Kernel dry weight/g	6.92 a	4.28~9.01	7.40 a	5.03~9.00	5.28 b	1.87~11.73
种仁得率 Kernel yield/%	0.30 a	0.17~0.42	0.41 b	0.30~0.56	0.43 b	0.21~0.59

表 5 翅果油树果实性状主成分分析

Table 5 The principal component analysis of fruit traits of *E. mollis*

性状 Character	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
果实纵径 Fruit length	0.713	-0.049	0.494	0.141
果实横径 Fruit width	0.797	-0.361	-0.177	-0.101
果形指数 Fruit shape index	0.029	0.291	0.928	0.132
果实鲜质量 Fruit wet weight	0.923	0.028	-0.101	0.035
果实干质量 Fruit dry weight	0.962	0.073	-0.081	0.072
种子干质量 Seed dry weight	0.948	0.184	-0.077	-0.063
种子得率 Seed yield	-0.061	0.616	0.048	-0.768
种仁干质量 Kernel dry weight	0.558	0.704	-0.241	0.233
种仁得率 Kernel yield	-0.555	0.564	-0.259	0.436
贡献率/%	44.775	18.172	14.601	12.140
累计贡献率/%	44.775	62.947	77.547	89.687

*illinoensis* (Wangenh.) K.Koch.) 进行变异规律研究, 发现 10 个参试无性系性状总体变异幅度最大的是单果质量, 且美国山核桃果实性状在不同无性系间差异极显著。曾少敏等<sup>[31]</sup>对福建省地方梨 (*Pyrus spp.* L.) 资源的果实性状进行多样性分析, 发现 13 个果实数量性状变异系数为 9.83%~67.60%, 不同种源间果实性状存在较大差异, 且多样性丰富。在不同的经济林树种中, 果实性状变异均比较丰富, 这表明果实性状的表达受内在和外在因素的影响比较大, 如植株个体营养水平、生长势或当地立地条件等。在后续翅果油树栽培管理中, 应采取科学合理的措施, 保证果实相关性状的充分表达以提高果实品质与产量。

## 4.2 翅果油树良种选育策略

通过翅果油树表型性状的相关性分析发现, 单一器官性状间均具有显著相关性, 但不同器官表型性状之间相关性较差, 表明单一器官各性状之间可能产生相互影响, 但不同器官间影响较小。在梔子 (*Gardenia jasminoides* J. Ellis)、台湾栾树 (*Koelreuteria elegans* subsp. *Formosana* (Hayata) Meyer) 等其他物种的研究中也发现了相同规律<sup>[32-33]</sup>。本研究发现, 叶长与 6 个果实性状均具有显著相关性, 表明翅果油树营养生长的状况可能对生殖器官的生长发育产生显著影响, 前期积累的营养物质可以保证后期生殖器官生长发育的需要, 这为提前确定优质丰产翅果油树工作的开展提供了一定思路。

主成分分析发现,前7个主成分的累积贡献率为79.053%,但相对比较分散。第1主成分中,果实性状的载荷值最高,果实体积越大,果实干质量与种子干质量越大,这与果实性状相关性分析结果一致。第2主成分中载荷最高的是花朵性状,花径越大,果实质量越大,与相关性分析结果一致,前期积累的营养物质可能在开花过程中被大量消耗,导致后期结果阶段养分供应不充足,果实发育较小。翅果油树花含蜜量大,是早春优良的蜜源植物<sup>[34]</sup>,因此,本研究的开展为优良蜜源种质的筛选与培育提供了一定参考,个体3、21、27、48、52、55、62可作为蜜源种质育种材料。第3主成分为叶片因子,翅果油树叶片加工后可作为天然的健康功能饮品,同时叶片作为重要的营养器官,为后续果实发育提供营养物质。因此,叶片性状对翅果油树品种的选育也具有重要意义。根据叶片大小,可以选择个体6、10、21、22、25、26、53、67、73、85作为后续茶用种质育种材料。目前,我国翅果油树产业正处于起步发展阶段,相关分类标准还没有制定,从主成分分析的结果出发,翅果油树种质资源的分类标准可以将果实因子作为第1级,花朵因子作为第2级,叶片因子作为第3级。

当利用所有表型性状进行聚类分析时,虽然也能把100棵翅果油树分成3类,但不同类别之间的差异主要体现在树高、冠幅等方面。目前,翅果油树良种选育仍以优质高产为主要目标,因此,后续只使用果实性状进行了分析。果实性状聚类结果仍将所有个体分为3类,其中果实鲜质量、果实干质量与种子干质量等果实性状在3类间具有显著差异,果形指数和种子得率在3类间无差异。从果实形状与质量等性状比较看,3类翅果油树的划分与赵罕等<sup>[35]</sup>的划分结果基本一致,第I类和第II类的果实整体质量优于第III类,但第III类的种仁得率最高。在实地调查中发现,翅果油树果实大小与果实数量呈明显的负相关,果实越小,果实数量越多,这可能与个体发育过程中积累的营养物质总量有关,果实数量的增加可以弥补质量和重量上的不足。对于不同的翅果油树,采收相同重量的果实,种仁得率越高,获得种仁的质量越大,最终产品翅果油的量也就越大。目前,栽培利用翅果油树的最根本目的是获得种仁,即种仁得率是目前翅果油树良种选育的重要评价指标。第III类个体的种子得

率、种仁得率均大于第I类和第II类,因此,个体10、17、33、37、56、74可以作为后续翅果油树林木良种选育的首选材料。目前,翅果油树的栽培仍以播种繁殖为主,扦插、组培等无性繁殖方法成活率均很低,并且种质退化现象明显,实生苗结果量与果实质量连年下降。因此,目前较为可行的方法是嫁接繁殖,本文作者所在研究团队从选育出的优良单株上采集芽做接穗,在2年生实生苗上进行嫁接。这些都为未来翅果油树良种选育及推广应用奠定了坚实的基础。

## 5 结论

本研究对山西省翼城县翅果油树省级自然保护区内100棵翅果油树实生苗的表型性状变异规律进行分析,发现山西省翅果油树人工林表型性状的变异丰富,同一器官不同性状的相关性较高,不同器官间性状普遍没有相关性。主成分分析发现各性状贡献率较为分散,性状变异具有多向性。果实产量与种仁性状可以作为翅果油树良种选育的首要目标,因此,选择相应个体作为未来翅果油树林木良种或新品种选育的首选材料。同时,也可选择其他翅果油树个体作为蜜源及茶用种质的育种材料。

**致谢:** 本研究得到了翅果生物科技(北京)有限公司张超东、夏良明、明文和山西植康农业开发有限公司刘军、邢延春的大力支持。

## 参考文献:

- [1] 徐振华,王学勇,高云昌. 河北省翅果油树栽培现状和发展对策[J]. 河北农业科学, 2020, 24(4): 105-108.
- [2] 国家环境保护局. 中国珍稀濒危保护植物名录[J]. 生物学通报, 1987(7): 23-28.
- [3] 杨克明,刘珍贵,杨天恩. 高寒阴湿山区翅果油树引种育苗与造林试验[J]. 经济林研究, 2010, 28(4): 104-107.
- [4] Wu Y, Yuan W Q, Han X, et al. Integrated analysis of fatty acid, sterol and tocopherol components of seed oils obtained from four varieties of industrial and environmental protection crops[J]. Industrial Crops & Products, 2020, 154: 112655.
- [5] 张殷波. 翅果油树群落数量生态研究[D]. 太原: 山西大学, 2004.
- [6] 冯宝英,杨坪荣. 翅果油树种仁化学成分分析研究[J]. 山西林业科技, 1989(4): 6-9.
- [7] 李乔,于洋,李娟. 翅果油树叶化学成分的分离与鉴定[J]. 中国药物化学杂志, 2020, 30(1): 39-44.
- [8] 刘俊苹. 翅果油树叶中类黄酮理化性质、稳定性及生物活性研究[D]. 太原: 山西师范大学, 2012.
- [9] 苗艳明,吕金枝,毕润成. 翅果油树叶性特征的动态变化[J]. 植物

- 学报, 2012, 47 (3): 257-263.
- [10] 秦永燕, 王祎玲, 张钦弟. 濒危植物翅果油树种群的遗传多样性和遗传分化研究[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28 (4): 466-472.
- [11] 卫 晶, 毕润成, 苗艳明. 翅果油树叶面积和叶重的预测模型[J]. 植物分类与资源学报, 2014, 36 (4): 497-504.
- [12] 许 强, 吕金枝, 苗艳明. 翅果油树群落主要物种空间分布格局及其关联性[J]. 植物学报, 2016, 51 (1): 49-57.
- [13] 叶占洋. 翅果油树遗传多样性和交配系统研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- [14] 张 峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落优势种群分布格局研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24 (5): 590-594.
- [15] 张 峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24 (3): 351-355.
- [16] 张 峰, 上官铁梁. 翅果油树群落优势种群生态位分析[J]. 西北植物学报, 2004, 24 (1): 70-74.
- [17] 朱志敏, 李 艳, 吕金枝. 翅果油树及其群落7种优势木本种类的叶性特征比较[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26 (1): 107-109.
- [18] 权洪峰, 杨 婷, 彭晓东. 翅果油树种子CO<sub>2</sub>超临界萃取物抗炎及神经保护活性初步研究[J]. 宁夏医学杂志, 2017, 39 (11): 980-982 + 960.
- [19] Du S, Ye Z, Hu X, *et al.* Phylogeographic investigation of *Elaeagnus mollis* revealed potential glacial refugia and allopatric divergence in central China[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2020, 306(4): 68.
- [20] 贾 波, 曹帮华, 庞丙亮. 山东省木瓜主栽品种的数量分类及主成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19 (1): 63-68.
- [21] 吴芳芳, 苗润田, 汪安印. 基于花色表型的牡丹和芍药品种数量分类研究[J]. 北方园艺, 2021 (3): 66-75.
- [22] 刘艺平, 吴芳芳, 贺 丹. 基于花色表型的荷花品种数量分类[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2020, 46 (3): 319-326.
- [23] 张深梅, 奚建伟, 洪俊彦. 大别山山核桃果实与叶片性状的表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2020, 33 (1): 152-161.
- [24] 柴春山. 文冠果人工种群的果实表型多样性及其变异[J]. 林业科学研究, 2013, 26 (2): 181-191.
- [25] 陈广锋, 杜 森. 县域有机旱作农业技术体系的建立与应用——以山西翼城县为例[J]. 中国农技推广, 2020, 36 (11): 29-31.
- [26] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [27] 山西省林业科学研究院. 山西树木志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [28] 贾瑞玲, 赵小琴, 南 铭. 64份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价[J]. 作物杂志, 2021, 37 (3): 19-27.
- [29] 李俊楠. 山西省翅果油树发展现状及前景[J]. 林业科技情报, 2018, 50 (2): 8-10.
- [30] 常 君, 杨水平, 姚小华. 美国山核桃果实性状变异规律研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21 (1): 44-48.
- [31] 曾少敏, 陈小明, 黄新忠. 福建地方梨资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J]. 园艺学报, 2019, 46 (2): 237-251.
- [32] 邓绍勇, 曹 泉, 余 林. 梔子野生居群叶片和果实性状的表型多样性[J]. 林业科学研究, 2015, 28 (2): 289-296.
- [33] 孙佳婷, 刘舒雅, 陈 云. 台湾栾树实生后代表型性状遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2021 (5): 1-16.
- [34] 鲁甲龙. 野生和种植翅果油树营养成分分析研究[D]. 太原: 山西大学, 2014.
- [35] 赵 罕, 张华新, 李凤鸣. 山西翅果油天然群体果实类型的划分[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2011, 35 (3): 60-64.

# Phenotypic Traits Variation Pattern of *Elaeagnus mollis* Diels. Plantation

YANG Yu-jie<sup>1</sup>, HU Xiao-yan<sup>1</sup>, HUANG Yao<sup>1</sup>, WANG Sheng-ji<sup>1</sup>, CHENG Bao-chang<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Jian-guo<sup>2</sup>, DU Shu-hui<sup>1</sup>, WANG Zhao-shan<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Shanxi Key Laboratory of Cultivation and Development on Functional oil trees in the Northern China, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030800, Shanxi, China; 2. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091 China)

**Abstract:** [Objective] To excavate high-quality germplasm resources and provide solid foundation for the selection and breeding of superior and new varieties in the future, it is necessary to analyze the phenotypic traits variation pattern of *E. mollis*. [Method] 100 10-year-old seedlings were selected from the provincial nature reserve of *E. mollis* located in Yicheng, Shanxi Province. A trait list of *E. mollis* was compiled according to the quantitative classification method. Various methods were used to reveal the variation pattern of *E. mollis* germplasm resources. [Results] The phenotypic variation of *E. mollis* ranged from 9.72% to 37.66%, with an average coefficient variation value of 22.26%.  $H'$  of the phenotypic traits varied between 1.056 and 2.213. Correlation analysis showed that phenotypic traits of a single organ correlated significantly with each other, phenotypic traits from different organs showed no correlation. However, the leaf length showed significant correlation with fruit traits. PCA result showed that the first 7 principal components contributed 79.053% to the total variation, and the contribution rate of each trait was scattered. Cluster analysis based on phenotypic traits of fruit showed that all the individuals can be divided into 3 groups at the coefficient distance of 10 and differences among these 3 groups were significant. PCA analysis of phenotypic traits of fruit indicated that yield and kernel related traits can be chosen as the primary target in future *E. mollis* breeding. Therefore, individual 10, 17, 33, 37, 56 and 74 were chosen as the primary material for future breeding of superior and new varieties of *E. mollis*. [Conclusion] The phenotypic traits variation pattern of *E. mollis* plantation in Shanxi Province was high, different materials can be chosen based on various breeding targets.

**Keywords:** *Elaeagnus mollis*; germplasm resource; phenotypic traits; variation pattern

(责任编辑: 徐玉秀)