

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.020

大别山山核桃果实与叶片性状的表型多样性研究

张深梅¹, 奚建伟¹, 洪俊彦¹, 夏国华²,
李岩¹, 黄兴召³, 朱先富⁴, 黄坚钦^{1*}

(1. 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300;
3. 安徽农业大学林学与园林学院, 安徽 合肥 230036; 4. 金寨县富东生态农业开发有限公司, 安徽 六安 237000)

摘要: [目的] 探讨大别山山核桃天然种群的表型多样性, 为种质资源收集、优选、改良提供理论支持, 为大别山山核桃的开发利用奠定基础。[方法] 从 19 个大别山山核桃天然种群中选取 198 个单株, 测定其果实和叶片的表型性状共 16 个, 采用巢式方差分析, 单因素方差分析, 相关性分析, 非加权配对算数平均法 (UPGMA) 等方法揭示大别山山核桃表型性状与地理分布的关系及其变异规律。[结果] (1) 大别山山核桃的 16 个表型性状在种群间和种群内均存在极显著差异 ($P < 0.01$), 表明大别山山核桃的表型多样性非常丰富; (2) 各表型性状的变异范围为 1.64% ~ 26.59%, 平均变异系数为 9.63%; 果实表型与叶片表型的种群内平均变异系数分别为 6.16% 和 15.42%, 果实表型平均变异系数较小, 性状相对稳定; (3) 表型性状间的相关性分析表明, 性状间达极显著相关的有 60 对, 达显著相关的 11 对; (4) 种群间和种群内的平均方差分量百分比分别为 49.28% 和 17.53%, 平均表型分化系数为 66.25%, 表明大别山山核桃表型变异主要来自种群间; (5) 当距离系数为 0.04 时, 19 个种群被分为 4 类, 聚类情况基本与经度的变化一致。

关键词: 大别山山核桃; 种群; 果实; 叶片; 表型变异

中图分类号: S759.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)01-0152-10

植物表型是物种各种形态特征的组合, 是基因与环境共同调控的结果^[1], 表型变异是植物适应不同环境条件的表现, 因此, 其在适应环境与进化上具有重要意义^[2]。遗传多样性是群体间和群体内个体间遗传变异的综合^[3], 表型多样性主要研究群体在不同生境条件下的表型变异规律及分布格局, 是遗传多样性的重要组成部分^[4]。植物经过长期的自然选择与环境压力, 其生长发育水平往往会发生不可逆的变化, 进而引起形态特征的变异产生新的表型^[5]。通过表型性状多样性的研究可以了解植物对生态环境的响应机制和遗传变异规律^[6-7], 尤其在物种种质资源的收集、保存、评价与利用研究等方面极为重要, 保持丰富的变异对于天然群体十分

有利。

大别山山核桃 (*Carya dabieshanensis* M. C. Liu et Z. J. Li) 是胡桃科 (Juglandaceae) 山核桃属 (*Carya* Nutt.) 的多年生落叶乔木, 是一种重要木本油料树种, 同时兼具较高的经济和生态价值^[8-9], 主要分布于我国安徽、湖北、河南三省交界的大别山区 (29 ~ 31°N, 115 ~ 116°E, 海拔 600 ~ 900m)。大别山山核桃是刘茂春等^[10] 在进行植物调查时首次在金寨县燕子河镇发现, 认为大别山山核桃是另一个不同于山核桃 (*C. cathayensis* Sarg.) 的新种, Youjun, et al^[11] 也支持此观点, 并通过基因组测序得出大别山山核桃与山核桃的亲缘关系最近。与山核桃相比, 大别山山核桃具有籽大、壳薄、出

收稿日期: 2019-05-24 修回日期: 2019-09-26

基金项目: 浙江省农业新品种选育重大科技专项“山核桃新品种选育”(项目编号: 2016 C 02052-13)

* 通讯作者: 黄坚钦, 教授, 博士生导师. 研究方向: 经济林培育与利用; 植物发育生物学. E-mail: huangjq@zafu.edu.cn

仁率和出油率较高的优点^[12-15], 其果仁中所含的丰富的不饱和脂肪酸、维生素、氨基酸等营养成分对于健脑、抗肿瘤和预防心脑血管疾病具有重要作用^[16], 有很好的开发利用价值。

目前, 对大别山山核桃的研究主要涉及到果实营养品质、繁殖栽培方法、生产开发以及新品种选育等方面^[17-20], 而大别山山核桃种群遗传多样性的调查是开展各项研究的基础, 近年来对其调查范围及取样数量也不断增多。王正加等^[21]选取3个天然群体利用RAPD分子标记技术对大别山山核桃的种群遗传多样性进行调查, 发现其种群内有较丰富的变异; 夏国华等^[15]选取了9个种群对其表型及脂肪酸组分进行分析, 认为坚果表型性状和脂肪酸组分遗传变异丰富; 庞赛^[22]选取13个种群, 对坚果经济性状和营养物质含量进行分析, 认为大别山山核桃具有较好的遗传多态性, 存在着丰富的变异。基于前人对大别山山核桃的研究, 本文选取了19个天然种群的大别山山核桃, 旨在更系统全

面的揭示大别山山核桃表型性状与地理分布的关系及其变异规律, 为后续的种质资源收集、优选、改良提供理论支持, 为大别山山核桃的开发利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在大别山山核桃自然成熟期间, 于2017年9月上中旬在其主要分布区进行取样, 各取样点分别位于安徽省六安市金寨县吴家店镇、天堂寨镇、斑竹园镇、燕子河镇、古碑镇、关庙乡、长岭乡、果子园镇、沙河乡和霍山县太阳乡及湖北省罗田县九资河镇, 共选取198个单株。根据各种群的大小确定适量的采样植株数, 选取树龄、长势相近的健康植株, 单株间距50 m以上, 对其拍照并用全球卫星系统定位各单株地理位置及海拔, 各种群地理位置信息见表1, 对应的种群分布见图1。

分别取果实和叶片两部分样品, 每个单株取中

表1 大别山山核桃天然种群地理位置信息及取样情况

Table 1 The situation of geographical location information and sampling in *C. dabieshanensis*

种群名称 Population names	地理位置 Geographical location	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude	海拔/m Elevation	取样数量/株 Sampling number
吴包WB	安徽省金寨县吴家店镇包畈村	31°14'	115°38'	712	15
吴蔡WC	安徽省金寨县吴家店镇蔡河村张湾组	31°09'	115°35'	687	4
吴竹WZ	安徽省金寨县吴家店镇竹根河村登山组	31°10'	115°36'	739	15
天渔TY	安徽省金寨县天堂寨镇渔潭村	31°15'	115°50'	685	18
斑漆BQ	安徽省金寨县斑竹园镇漆家店村	31°20'	115°28'	761	5
燕龙YL	安徽省金寨县燕子河镇龙马岩前村	31°16'	115°49'	707	5
燕万YW	安徽省金寨县燕子河镇万畈村王家寨组	31°21'	116°02'	620	6
古太GT	安徽省金寨县古碑镇太古村王湾组	31°19'	115°47'	887	15
古宋GS	安徽省金寨县古碑镇宋河村新民组	31°19'	115°46'	624	10
关南GN	安徽省金寨县关庙乡仙桃村南泥沟组	31°28'	115°22'	652	15
关仙GX	安徽省金寨县关庙乡仙桃村老林沟组	31°29'	115°23'	528	25
关周GZ	安徽省金寨县关庙乡仙桃村周院组	31°30'	115°25'	737	5
长撞CZ	安徽省金寨县长岭乡撞畈村	31°8'	115°55'	733	6
果姚GY	安徽省金寨县果子园镇姚冲村	31°19'	115°39'	706	8
沙吴SW	安徽省金寨县沙河乡祝畈村吴冲组	31°21'	115°23'	850	11
沙卢SL	安徽省金寨县沙河乡祝畈村	31°20'	115°23'	804	5
沙枣SZ	安徽省金寨县沙河乡枣林村柏树冲组	31°22'	115°28'	474	5
太白TB	安徽省霍山县太阳乡金竹坪村白马尖组	31°4.2'	115°60'	875	15
九小JX	湖北省罗田县九资河镇小寨林场	31°10'	115°36'	905	10
总计Total					198



图1 大别山山核桃天然种群分布图

Fig. 1 Map of natural population distribution of *C. dabieshanensis*

下部树冠外围的果实 1.5~3.0 kg, 称鲜质量后放置于编织网中, 保持通风, 以防发霉; 在植株的 4 个方向均选取中下部枝条, 取各枝条中部成熟的完整复叶共 12 片, 带回室内进行表型性状测定。

1.2 测定方法

每单株随机选取 30 个大小均匀无病害的果实进行表型测定, 果实鲜质量与坚果鲜质量均采用 10 粒一组用电子天平称总质量求平均值的方法得出。果实纵径、果实横径、坚果纵径、坚果横径用游标卡尺 (精度 0.01 mm) 进行测量; 蒲壳厚度即外果皮厚度, 取山核桃中部两棱之间的外果皮, 测定其切面的厚度; 敲碎坚果取坚果壳及隔膜, 选择其厚度均匀的部分测量果壳厚度、隔膜厚度。果形指数采用以下公式计算: 果形指数=坚果纵径/坚果横径。

叶片形态中顶生小叶叶长、宽, 侧生小叶叶长、宽, 使用直尺测量 (精度 0.01 cm)。

顶生小叶叶形比=顶生小叶叶长/顶生小叶叶宽。侧生小叶叶形比=侧生小叶叶长/侧生小叶叶宽。每个单株随机选取 3 片大小相似的完整复叶, 顶生小叶选取顶部叶片测定, 侧生小叶选取第一组右侧的叶片测定。

1.3 数据处理

应用单因素方差分析, 嵌套设计方差分析等计算各表型性状在种群间和种群内的变异规律及特征; 应用相关性分析揭示各表型性状间的相关性, 相关系数使用 pearson 系数。在方差分析的基础上对各表型性状进行多重比较, 种群内各表型性状的变异程度为平均值±标准差, 离散程度用变异系数

(CV) 表示。

$$CV=(\text{标准差}/\text{平均值})\times 100\%$$

$$\text{表型分化系数 } V_{ST}=\delta_{t/s}^2/(\delta_{t/s}^2+\delta_s^2)\times 100\%$$

式中: $\delta_{t/s}^2$ 、 δ_s^2 分别为群体间、群体内的方差。

以上数据分析在 Spss22.0 软件上完成, 方差分量的计算在 Minitab 17.0 软件中完成, 非加权配对算数平均法的聚类分析在 R3.4.3 软件中完成, 其他数据处理在 Excel2016 软件完成。

2 结果与分析

2.1 果实与叶片性状在种群间和种群内的变异特征

大别山山核桃 16 个表型性状的方差分析见表 2。经 F 值检验, 果实与叶片性状在种群间和种群内差异极显著 ($P<0.01$), 说明大别山山核桃在种群间和种群内变异丰富。各表型性状的平均值、标准偏差和多重比较结果 (表 3) 表明: 大部分种群间存在显著差异, 其中, 沙枣 (SZ) 种群的果实鲜质量、果实横径、坚果横径最大, 外果皮、坚果壳最厚; 吴包 (WB) 种群的果形指数最大 (1.31), 果实形态为椭圆形; 古宋 (GS) 种群果形指数最小 (1.07), 果实形态为圆形, 其坚果纵径最小。吴蔡 (WC) 种群的坚果壳厚度与隔膜厚度均最小, 沙吴 (SW) 种群的果实鲜质量、果实横径最小, 蒲壳也最薄。沙卢 (SL) 种群的坚果鲜质量、坚果纵径最大, 其顶生小叶叶长、叶宽, 侧生小叶叶长、叶宽均最小, 沙枣 (SZ) 种群顶、侧生小叶叶形比最小, 关周 (GZ) 种群顶、侧生小叶叶形比最大。

2.2 大别山山核桃表型性状的变异情况

19 个大别山山核桃种群的表型性状变异范围为 1.64%~26.59%, 平均变异系数为 9.63% (表 4)。不同种群间同一表型性状的变异范围不同, 同一种群内的表型变异也因不同性状而有差别。

在所有表型性状中, 以顶生小叶叶宽的平均变异系数最高 (18.66%), 其次是侧生小叶叶宽 (17.85%), 果形指数的平均变异系数最小 (2.98%)。16 种表型性状的变异情况不同, 但总体上叶片表型的变异程度高于果实表型。对于不同的种群, 平均变异系数最大的是 YL 种群 (11.59%), 其次为 GX 种群 (11.42%), 而 TY 种群的平均变异系数最小 (8.68%), 这表明

表 2 大别山山核桃种群间和种群内的表型性状方差分析

Table 2 Analysis of variance of phenotypic traits among and within populations in *C. dabieshanensis*

性状 Phenotypic trait	均值±标准偏差 Mean ± SD	均方 Mean square			F值 F value	
		种群间 Among populations	种群内 Within population	随机误差 Random errors	种群间 Among populations	种群内 Within population
FFW/g	15.204±3.437	258.308	9.684	1.454	26.776**	6.662**
FHD/mm	30.546±2.388	127.900	4.969	0.454	25.742**	10.934**
FVD/mm	31.569±3.512	349.180	4.486	0.494	77.843**	9.088**
PT/mm	5.032±1.076	30.494	0.590	0.073	51.704**	8.112**
FNW/g	5.426±0.904	17.468	0.635	0.136	27.613**	4.657**
NHD/mm	20.646±1.061	16.878	1.569	0.205	10.758**	7.651**
NVD/mm	24.371±1.979	103.068	1.977	0.263	52.140**	7.518**
NSI	1.183±0.833	0.187	0.003	0.001	74.803**	3.460**
ST/mm	1.001±0.117	0.344	0.009	0.001	39.621**	9.843**
SMT/mm	0.595±0.109	0.297	0.007	0.001	40.597**	7.879**
TLL/mm	16.875±3.029	42.406	11.170	6.549	3.797**	1.705**
TLW/mm	4.847±0.967	4.485	1.105	0.673	4.059**	1.643**
TLSR	3.526±0.471	1.430	0.212	0.163	6.763**	1.299**
LLL/mm	16.703±2.842	25.753	10.860	5.915	2.371**	1.836**
LLW/mm	4.606±0.869	3.269	0.930	0.546	3.516**	1.702**
LLSR	3.667±0.461	1.126	0.255	0.146	4.422**	1.748**

注:**，极显著相关， $P<0.01$ 。FFW: 果实鲜质量; FHD: 果实横径; FVD: 果实纵径; PT: 蒲壳厚度; FNW: 坚果鲜质量; NHD: 坚果横径; NVD: 坚果纵径; NSI: 果形指数; ST: 坚果壳厚度; SMT: 隔膜厚度; TLL: 顶生小叶叶长; TLW: 顶生小叶叶宽; TLSR: 顶生小叶叶形比; LLL: 侧生小叶叶长; LLW: 侧生小叶叶宽; LLSR: 侧生小叶叶形比。下同。

Notes: **, Highly significant correlation, $P<0.01$. FFW: Fresh fruit weight. FHD: Fruit horizontal diameter. FVD: Fruit vertical diameter; PT: Pericarp thickness; FNW: Fresh nut weight; NHD: Nut horizontal diameter; NVD: Nut vertical diameter; NSI: Nut shape index; ST: Shell thickness; SMT: Shell membrane thickness; TLL: Terminal leaflet length; TLW: Terminal leaflet width; TLSR: Terminal leaflet shape ratio; LLL: Lateral leaflet length; LLW: Lateral leaflet width; LLSR: Lateral leaflet shape ratio. The same below.

YL、GX 种群的表型变异更丰富。综合比较果实表型与叶片表型在种群内和种群间的平均变异系数，种群内的平均变异系数均小于种群间。分开来看，果实性状在种群内的变异系数（6.16%）小于叶片性状的变异系数（15.42%），在种群间的变异系数（12.95%）也小于叶片表型的变异系数（16.62%）。表明大别山山核桃的叶片性状较果实性状其变异程度更大，果实与叶片性状在种群间的变异均大于种群内。

2.3 大别山山核桃果实及叶片性状间的相关性

果实与叶片性状的相关性分析（表 5）表明：性状间达极显著相关的有 60 对，达显著相关的有 11 对。在果实表型性状中，果实鲜质量，果实纵径，果实横径这 3 个性状与其他果实表型性状基本上都存在极显著正相关，其中，果实横径与果实鲜质量、蒲壳厚度，果形指数与果实纵径、坚果纵径这 6 组性状的相关性极高，pearson 相关系数均在

0.75 以上。这表明，果实横径的增加会引起果实鲜质量和蒲壳厚度的增加；而果实纵径与坚果纵径的变化也与果形指数的大小紧密相关。对于叶片的表型性状，所有叶片性状相互间均存在显著或极显著相关，其中，顶生小叶叶长与顶生小叶叶宽、侧生小叶叶长，顶生小叶叶宽与侧生小叶叶长、侧生小叶叶宽，侧生小叶叶长与侧生小叶叶宽这 5 组性状的相关性极高，pearson 相关系数均大于 0.7。在果实表型与叶片表型相关的区域，果实鲜质量、果实横径、蒲壳厚度均与顶生小叶叶长、叶宽，侧生小叶叶长这 3 个性状存在极显著正相关，但相关系数较低。

2.4 大别山山核桃种群间的表型分化

大别山山核桃果实与叶片性状的表型分化系数和方差分量（表 6）表明：表型分化系数为 25.23%~89.43%，平均为 66.25%，即种群内的表型分化系数为 33.75%。这表明种群间的遗传分化远大于种

表3 大别山核桃果实表型性状平均值±标准偏差及多重比较

Table 3 Average value, standard deviation and multiple comparison of phenotypic characters of pecan fruit in *C. dabieshanensis*

种群 Population	表型性状 Phenotypic traits							
	FFW/g	FHD/mm	FVD/mm	PT/mm	FNW/g	NHD/mm	NVD/mm	NSI
WB	17.89±2.36bcd	31.52±1.47cdef	36.44±1.84a	5.16±0.59efg	6.18±0.48ab	20.11±0.73def	26.33±0.92ab	1.31±0.04a
WZ	19.16±1.27ab	33.09±0.83bc	36.53±0.96a	6.47±0.37abc	5.30±0.36cde	20.32±0.44def	25.59±0.59abc	1.26±0.02bc
WC	18.13±1.51bcd	32.40±1.35bcd	35.35±1.76ab	6.18±0.41abcd	5.40±0.28bcde	19.93±0.39ef	25.38±0.47bcd	1.28±0.02ab
TY	14.21±1.32fg	30.11±1.19efgh	29.12±1.01gh	4.93±0.45fgh	5.03±0.41cdef	20.90±0.53abcde	23.74±0.70efg	1.14±0.02fgh
BQ	18.61±2.10abc	34.01±1.22ab	30.36±0.95fg	6.76±0.49ab	5.68±0.46bc	21.24±0.68abcd	22.89±0.66fg	1.08±0.03i
YL	17.00±1.99bcdef	31.85±2.20bcde	32.14±1.56cdef	5.63±0.66def	5.54±0.49bcd	20.63±0.89bcdef	25.61±0.59abc	1.24±0.04bc
YW	18.52±1.70abc	33.05±1.21bc	31.43±0.76ef	6.19±0.25abcd	5.44±0.58bcde	21.24±0.85abcd	25.02±0.90bcde	1.18±0.01ef
GT	12.02±0.93gh	28.84±0.66ghi	26.36±0.56i	4.35±0.25hi	4.68±0.28ef	19.86±0.44ef	21.26±0.42h	1.07±0.02i
GS	12.19±1.06gh	29.02±0.68ghi	26.84±0.61i	4.26±0.37hi	4.74±0.22def	19.86±0.42ef	21.17±0.49h	1.07±0.02i
GN	11.91±1.95gh	28.04±1.57hi	30.20±1.49fg	4.16±0.36hi	5.12±0.64cdef	20.60±0.83cdef	24.41±0.84cde	1.19±0.03def
GX	13.97±2.13fg	29.29±1.62fghi	32.57±1.48cde	3.91±0.63i	6.66±0.57a	21.88±0.85ab	26.43±0.91ab	1.21±0.03cde
GZ	14.79±1.36efg	29.88±0.73efgh	33.79±0.92bc	5.14±0.50efg	5.04±0.18cdef	19.47±0.82f	24.14±1.53def	1.24±0.04bcd
CZ	15.41±1.69cdef	30.02±0.74efgh	31.60±0.72def	4.82±0.37gh	5.39±0.36bcde	20.41±0.75def	25.01±0.46bcde	1.23±0.04bcd
GY	19.79±1.89ab	33.12±1.26bc	36.99±1.00a	6.02±0.30bcd	6.15±0.64ab	21.01±0.75abcde	26.27±1.50ab	1.25±0.04bc
SL	14.97±1.04defg	30.38±0.81defg	33.68±0.75bcd	3.91±0.37i	6.81±0.50a	21.79±0.37ab	26.99±0.69a	1.24±0.01bc
SW	10.40±1.42h	27.06±1.14i	27.67±1.13hi	3.61±0.32i	4.89±0.41cdef	19.80±0.60ef	22.46±0.49gh	1.14±0.02fg
SZ	21.71±3.35a	35.47±1.59a	31.65±0.93def	6.83±0.50a	6.18±0.40ab	21.93±0.65a	23.97±0.69def	1.10±0.01ghi
TB	15.44±2.43cdef	31.36±1.54cdef	29.03±1.12gh	5.72±0.41cde	4.67±0.62ef	20.59±1.13cdef	22.33±0.96gh	1.09±0.03hi
JX	14.62±1.33fg	30.27±0.99defgh	33.33±1.28bcde	5.63±0.23def	4.35±0.53f	20.07±0.69def	24.62±0.57cde	1.23±0.03bcde

种群 Population	表型性状 Phenotypic traits							
	ST/mm	SMT/mm	TLL/mm	TLW/mm	TLSR	LLL/mm	LLW/mm	LLSR
WB	0.83±0.03k	0.56±0.03ghi	17.50±2.78ab	5.02±0.83abcd	3.51±0.42bcde	17.14±2.60abc	4.78±0.74abcd	3.61±0.41bcd
WZ	0.98±0.06fg	0.74±0.07b	15.24±2.62bc	4.18±0.76cde	3.68±0.39abc	15.51±2.69bc	4.02±0.77de	3.89±0.40ab
WC	0.81±0.03k	0.46±0.04l	18.48±3.81a	5.63±0.89a	3.29±0.41cde	18.27±3.10ab	5.22±0.95a	3.52±0.30bcd
TY	1.00±0.05efg	0.53±0.03hij	16.44±2.79ab	4.99±0.86abcd	3.31±0.34cde	16.34±2.54abc	4.74±0.76abcde	3.47±0.36bcd
BQ	1.12±0.07b	0.62±0.05ef	16.16±2.27abc	5.21±1.00ab	3.15±0.39de	16.31±1.92abc	5.12±0.83ab	3.23±0.37d
YL	1.09±0.05bc	0.76±0.06b	19.29±4.04a	5.15±1.37abc	3.87±0.75ab	17.11±3.03abc	4.59±1.05abcde	3.78±0.36abc
YW	1.00±0.05efg	0.48±0.04kl	17.69±2.90ab	5.43±0.91ab	3.28±0.33cde	17.23±2.66ab	4.93±0.94abcd	3.57±0.69bcd
GT	1.06±0.06cd	0.49±0.07jkl	17.48±2.79ab	4.64±0.85abcde	3.80±0.36ab	16.34±2.78abc	4.24±0.76bcde	3.88±0.51ab
GS	0.91±0.03ij	0.48±0.03kl	17.13±2.58ab	4.69±0.92abcde	3.71±0.50abc	15.91±2.27abc	4.38±0.81abcde	3.68±0.40abcd
GN	1.01±0.05def	0.60±0.03efg	18.13±2.83ab	5.07±0.77abc	3.59±0.42bcd	17.92±2.75ab	4.89±0.80abcd	3.69±0.40abcd
GX	1.05±0.04cde	0.57±0.05fgh	16.65±3.51ab	4.88±1.08abcd	3.45±0.48bcde	17.18±3.42ab	4.74±0.97abcde	3.65±0.34bcd
GZ	0.86±0.08k	0.50±0.04ijkl	16.40±2.12ab	4.02±0.56de	4.11±0.46a	16.98±2.38abc	4.13±0.48cde	4.14±0.51a
CZ	1.22±0.06a	0.88±0.06a	18.02±3.12ab	5.51±1.09ab	3.31±0.36cde	17.52±3.08ab	5.00±0.93abc	3.54±0.40bcd
GY	0.95±0.07ghi	0.58±0.04fgh	19.02±2.76a	5.19±0.99abc	3.71±0.39abc	18.94±2.69a	5.02±0.83abc	3.81±0.41bcd
SL	0.97±0.03fgh	0.51±0.03ijk	13.08±2.62c	3.84±0.99e	3.48±0.51bcde	14.08±3.05c	3.85±1.02e	3.72±0.44abc
SW	0.98±0.11fg	0.71±0.13bc	15.07±2.59bc	4.79±0.94abcde	3.18±0.44de	15.40±2.53bc	4.70±0.81abcde	3.31±0.41cd
SZ	1.26±0.05a	0.64±0.04de	16.38±2.04ab	5.45±1.14ab	3.07±0.39e	16.57±2.21abc	5.18±0.86a	3.22±0.28d
TB	1.14±0.08b	0.67±0.06cd	16.94±2.29ab	4.88±0.74abcd	3.51±0.39bcde	16.92±2.26abc	4.54±0.69abcde	3.75±0.33abc
JX	0.91±0.04jk	0.57±0.03fgh	16.43±2.42ab	4.59±0.69bcde	3.60±0.37bcd	16.81±3.03abc	4.43±0.73abcde	3.82±0.56ab

注:种群缩写见表1,表型性状缩写见表2注。不同小写字母表示显著性差异(P<0.05)。

Notes: See Table 1 for abbreviation of population, and see Table 2 notes for abbreviation of phenotypic trait. different lowercase letters indicate significant difference (P < 0.05).

表 4 大别山山核桃天然种群果实、叶片表型性状平均变异系数

Table 4 Average coefficient of variation of phenotypic characters in natural populations of pecan in *C. dabieshanensis*

表型性状 Phenotypic traits	种群 Populations																			种群内 Within population	种群间 Among populations
	WB	WZ	WC	TY	BQ	YL	YW	GT	GS	GN	GX	GZ	CZ	GY	SL	SW	SZ	TB	JX		
FFW	13.69	7.26	8.30	8.70	12.09	11.27	10.77	9.81	9.85	17.42	16.05	10.43	11.63	9.90	8.36	10.77	16.24	16.03	10.33	11.52	22.44
FHD	4.89	2.79	4.58	4.26	3.69	6.65	4.03	2.79	2.95	5.92	5.75	2.46	3.00	4.03	3.08	4.49	4.98	5.00	3.80	4.17	7.77
FVD	5.26	2.89	6.46	3.84	3.52	4.62	3.11	2.70	2.53	5.19	4.84	2.88	2.75	2.98	3.97	4.60	3.99	4.17	4.16	3.92	11.08
PT	11.49	6.19	8.64	10.09	7.28	12.10	5.68	6.51	9.18	9.58	17.01	9.72	11.04	6.01	10.18	9.87	8.52	8.57	5.47	9.11	21.31
FNW	9.15	6.52	7.69	7.51	9.20	9.63	12.21	9.28	6.43	13.08	9.72	3.86	7.43	11.52	8.23	9.29	7.79	13.62	13.38	9.24	16.71
NHD	4.18	2.50	3.13	2.90	3.36	4.85	4.21	2.67	2.42	4.13	4.26	4.95	4.42	3.80	2.23	3.58	3.17	5.48	4.09	3.70	5.14
NVD	3.78	2.62	2.95	3.16	2.82	3.32	3.44	2.54	2.52	3.68	3.84	7.08	3.00	5.81	3.24	2.65	3.12	4.34	2.99	3.52	8.16
NSI	3.81	2.40	3.49	2.38	2.82	4.42	2.37	2.72	2.20	2.66	2.75	3.35	3.68	3.66	2.65	3.03	1.64	3.01	3.60	2.98	7.02
ST	3.43	5.81	3.62	4.78	5.85	4.17	4.53	5.78	3.76	5.22	3.52	9.52	4.66	7.70	3.10	11.33	4.01	7.42	4.69	5.42	11.57
SMT	6.14	9.09	9.63	4.98	8.43	7.59	7.91	13.71	6.61	5.26	8.22	8.64	7.10	6.08	4.94	18.83	5.51	8.30	5.13	8.01	18.31
TLL	15.91	17.20	20.63	16.97	14.03	20.95	16.36	15.95	15.07	15.59	21.08	12.94	17.34	14.51	20.06	17.21	12.46	13.52	14.72	16.45	17.95
TLW	16.51	18.18	15.74	17.22	19.18	26.52	16.81	18.27	19.65	15.17	22.23	13.86	19.83	19.03	25.73	19.53	20.98	15.08	14.99	18.66	19.94
TLSR	12.05	10.55	12.57	10.13	12.52	19.29	9.91	9.55	13.55	11.58	13.90	11.22	10.99	10.53	14.63	13.92	12.84	11.25	10.32	12.17	13.35
LLL	15.14	17.34	16.97	15.57	11.78	17.69	15.42	17.02	14.26	15.33	19.92	14.01	17.58	14.18	21.68	16.41	13.33	13.33	18.00	16.05	17.01
LLW	15.42	19.04	18.24	16.13	16.29	22.94	18.98	17.91	18.46	16.35	20.39	11.75	18.57	16.57	26.59	17.21	16.61	15.27	16.40	17.85	18.87
LLSR	11.33	10.41	8.45	10.25	11.57	9.50	19.21	13.18	10.93	10.94	9.19	12.35	11.28	10.73	11.80	12.50	8.76	8.74	14.56	11.35	12.57
均值 Mean	9.51	8.80	9.44	8.68	9.03	11.59	9.68	9.40	8.77	9.82	11.42	8.69	9.64	9.19	10.65	10.95	9.00	9.57	9.16	9.63	14.33

注: 种群缩写见表1, 表型性状缩写见表2注。

Notes: See Table 1 for abbreviation of population, and see Table 2 notes for abbreviation of phenotypic trait.

表 5 大别山山核桃果实与叶片性状的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of fruit and leaf characters of pecan in *C. dabieshanensis*

	FFW	FHD	FVD	PT	FNW	NHD	NVD	NSI	ST	SMT	TLL	TLW	TLSR	LLL	LLW	LLSR
FFW	1															
FHD	0.860**	1														
FVD	0.652**	0.591**	1													
PT	0.753**	0.861**	0.474**	1												
FNW	0.471**	0.316**	0.490**	-0.033	1											
NHD	0.261**	0.330**	0.219**	0.059	0.581**	1										
NVD	0.403**	0.326**	0.788**	0.116**	0.654**	0.536**	1									
NSI	0.285**	0.145**	0.765**	0.102*	0.330**	-0.117**	0.773**	1								
ST	0.106*	0.174**	-0.277**	0.114**	0.100*	0.384**	-0.120**	-0.422**	1							
SMT	0.152**	0.139**	0.157**	0.217**	-0.059	-0.030	0.086*	0.133**	0.439**	1						
TLL	0.168**	0.161**	0.110*	0.149**	0.034	0.047	0.015	-0.026	-0.026	-0.036	1					
TLW	0.115**	0.120**	0.052	0.114**	0.032	0.093*	0.008	-0.064	-0.008	-0.061	0.755**	1				
TLSR	0.060	0.042	0.078	0.038	0.002	-0.081	0.011	0.069	-0.021	0.041	0.205**	-0.471**	1			
LLL	0.152**	0.147**	0.106*	0.170**	-0.028	0.004	0.002	-0.002	-0.045	-0.006	0.853**	0.706**	0.090*	1		
LLW	0.077	0.086*	0.070	0.096*	0.004	0.039	0.028	0.002	-0.073	-0.057	0.667**	0.791**	-0.279**	0.753**	1	
LLSR	0.088*	0.062	0.030	0.081	-0.043	-0.067	-0.048	-0.005	0.063	0.073	0.148**	-0.222**	0.541**	0.217**	-0.462**	1

注: **, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$ 。Notes: **, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$.

表6 大别山核桃表型性状的方差分量及种群间表型分化系数

Table 6 Variance components of phenotypic traits and differentiation coefficient among populations in *C. dabieshanensis*

表型性状 Phenotypic traits	方差分量 Variance component			方差分量百分比/% Percentage of variance component/%		表型分化系数 V_{ST} % Phenotypic differentiation coefficient/%
	种群间 Among populations	种群内 Within population	随机误差 Random error	种群间 Among populations	种群内 Within population	
	FFW	8.161	2.748	1.454	66.01	
FHD	4.017	1.505	0.454	67.22	25.18	72.75
FVD	11.262	1.331	0.494	86.06	10.17	89.43
PT	0.977	0.172	0.073	79.95	14.10	85.03
FNW	0.551	0.166	0.136	64.54	19.49	76.85
NHD	0.500	0.455	0.205	43.13	39.19	52.36
NVD	3.303	0.571	0.263	79.84	13.81	85.26
NSI	0.006	0.001	0.001	82.09	8.07	85.71
ST	0.011	0.003	0.001	75.97	17.93	78.57
SMT	0.009	0.002	0.001	75.45	17.13	81.82
TLL	1.167	1.540	6.549	1.08	16.64	43.11
TLW	0.126	0.144	0.673	13.39	15.28	46.67
TLSR	0.046	0.016	0.163	20.27	7.22	74.19
LLL	0.556	1.648	5.915	6.85	20.30	25.23
LLW	0.087	0.128	0.546	11.47	16.78	40.47
LLSR	0.033	0.036	0.146	15.17	16.93	47.83
均值Mean	1.926	0.654	1.067	49.28	17.53	66.25

群内，大别山核桃表型变异的主要来源为种群间。比较果实性状与叶片性状的平均表型分化系数，果实性状 ($V_{ST}=78.26\%$) > 叶片 ($V_{ST}=46.25\%$)，即果实性状在种群间的分化大于叶片，叶片性状的变异主要来源于种群内。除坚果横径外，果实性状中的其他性状表型分化系数均大于 70%，这表明果实性状以群体间的变异为主要变异。

2.5 大别山核桃种群聚类分析

基于前期对于叶片表型的分析，由于其变异系数大，性状不稳定易受环境影响，而顶生小叶叶形比、侧生小叶叶形比这 2 个性状相对于其他叶片性状变异较小，因此，在进行 UPGMA 聚类分析时，只应用了以上 2 个叶片性状及所有果实表型进行计算。结果 (图 2) 表明：在距离系数为 0.06 时，19 个种群可聚为 2 类，其中，SZ、BQ 种群单独聚为一类，其余种群聚为一类。可能由于 BQ、SZ 2 个种群的经度同为 $115^{\circ}28' E$ ，海拔高差 300 多米，距离较近有利于花粉传播，从而产生基因交流使其单独聚为一类。当距离系数为 0.04 时，可聚为 4 类，SZ、BQ 种群为第 I 类；GZ、

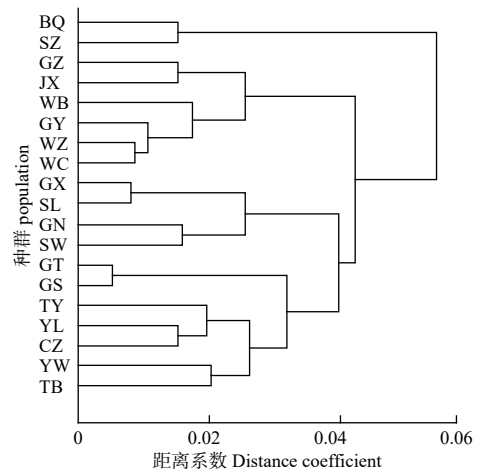


图2 不同地理种群的大别山核桃表型性状的 UPGMA 聚类图

Fig. 2 UPGMA cluster map of phenotypic traits in *C. dabieshanensis* with different geographical populations

JX、WB、GY、WZ、WC 这 6 个种群为第 II 类，除 GZ 种群外，其余 5 个种群经度均为 $115^{\circ}35' \sim 115^{\circ}39' E$ ，且纬度也较接近；GX、SL、GN、SW 4 个种群聚为第 III 类，仅 GN 种群经度为 $115^{\circ}22' E$ ，其余 3 个种群经度均为 $115^{\circ}23' E$ ；GT、GS、

TY、YL、CZ、YW、TB 7 个种群聚为第Ⅳ类, 它们的经度为 $115^{\circ}46' \sim 116^{\circ}10' E$, 属于 19 个种群中的高纬度种群。对应实际的地理位置分布, UPGMA 聚类基本与经度的变化一致, 这可能与局部降水条件有关, 但部分地理位置较近的种群并没有聚在一起。

3 讨论

3.1 大别山山核桃不同种群的表型变异来源

通过对 19 个天然种群的果实与叶片表型性状的调查, 发现大别山山核桃在种群间和种群内均存在极显著差异, 表明大别山山核桃天然种群具有丰富的表型变异, 此结果与郭传友^[23], 庞赛^[22] 对大别山山核桃天然群体的调查结果一致。其他物种如思茅松^[24], 青梅^[25], 香椿^[3], 云南松^[26], 油松^[27] 等在种群间和种群内也表现为极显著差异, 具有很好的育种潜力, 可为后期的遗传品质改良工作奠定重要基础。

表型分化系数表明了物种对于环境的适应情况, 其值的大小与物种能够适应的范围成正比^[24]。大别山山核桃 16 个表型性状的平均分化系数 $V_{ST}=66.25\%$, 高于岷江柏 $V_{ST}=43.4\%$ ^[28]、长柄扁桃 $V_{ST}=45.90\%$ ^[29]、白花树 $V_{ST}=59.08\%$ ^[30] 等物种, 与山苍子 $V_{ST}=60.19\%$ ^[31]、无患子 $V_{ST}=62.21\%$ ^[32]、内蒙古山杏 $V_{ST}=73.03\%$ ^[33] 接近, 而远低于滇西北野生牡丹 $V_{ST}=98.51\%$ ^[34], 表明大别山山核桃天然种群分化程度较高, 对环境的适应能力较强, 种群间变异是表型变异的主要来源。

从地理位置的分布看, 大别山山核桃天然种群的分布范围较狭窄, 经纬度之差 1 度, 而海拔落差约 500 m, 各种群分布于不同的山脉, 产生诸多不同的局部小气候, 且花粉传播也受到山脉的阻隔, 这可能是引起种群间差异的原因之一。从繁殖系统看, 大别山山核桃是雌雄同株异花植物, 风媒异花传粉^[35], 但花期经常会遭受连绵阴雨, 影响花粉传播, 减少种群间的交流。另外, 山核桃果实无休眠期, 在温度湿度合适的情况下即可萌发, 甚至在雨水较多的年份会出现果实未完全成熟却已出芽萌发的状况, 使得种群内部幼苗增多, 种子传播距离也缩短, 种群间交流减少, 逐步形成分化^[36]。

3.2 大别山山核桃果实与叶片表型的变异规律

种群间的变异反映了地理与生殖隔离上的变异, 植物在种群间保持较大的变异也有在进化上的

积极意义^[34]。大别山山核桃果实与叶片性状在种群间变异均大于种群内变异, 即果实与叶片性状均以种群间变异为主。相比于叶片表型, 果实表型性状相对稳定, 而叶片性状具有更丰富的表型多样性, 此结果与山苍子^[31]、浙江楠^[37] 的调查结果一致。这可能与叶片的功能有关, 叶片属于营养器官, 通过光合作用为植物提供养分, 易受到环境因素的影响, 变异性较强; 而果实属于生殖器官, 主要受自身遗传因素控制, 性状相对稳定, 这也保证了物种遗传上的相似性和稳定性^[38]。

果实性状的变异程度因性状不同而差异较大, 大别山山核桃果实鲜质量、坚果鲜质量与蒲壳厚度在所有果实表型中均呈现较大的变异, 而果实横、纵径和坚果横、纵径的变异程度较小, 这与翟大才等^[39] 对皖南山核桃表型性状的调查结果一致。两地果实性状的变异系数相比, 除蒲壳厚度和坚果鲜质量 2 个性状以外, 皖南山核桃其他果实性状的变异系数均大于大别山山核桃的; 与安徽地区华东野核桃^[40] 和不同无性系的美国山核桃^[41] 对应的果实性状相比, 大别山山核桃的果实表型变异系数均小于华东野核桃和美国山核桃, 即大别山山核桃的果实性状变异程度更低, 更不易受环境的影响, 在遗传上表现也较稳定, 对植物分类有重要作用^[38]。种群变异系数可以反映种群的多样性丰富度, 大别山山核桃 19 个种群的变异程度相似, 平均值为 9.63%, 其中, YL、GX、SL、SW 4 个种群的平均变异系数均大于 10%, 表型多样性较丰富, 由于 YL 种群分布范围较小, 其他 3 个种群的部分性状表现优良, 因此, 在进行种质资源选育与利用时, 可重点考虑 GX、SL、SW 种群。

3.3 大别山山核桃的重要性状及经济效益

大别山山核桃作为优良的油料作物, 富含优质脂肪酸及人体必需氨基酸, 营养价值高, 近年来逐步得到市场认可, 经济价值也逐步提高。蒲壳厚度、坚果壳厚度及隔膜厚度这些性状是评定果实经济价值的重要指标, 蒲壳厚度越小, 出籽率越高; 坚果壳厚度和隔膜厚度越小, 则出仁率越高, 经济效益更好。皖南山核桃果实表型与营养成分的相关性分析表明, 坚果壳厚度与蛋白质、脂肪、油酸和亚油酸的含量呈显著正相关, 因此, 坚果壳较厚的山核桃可能营养价值更高^[39]。蒲壳厚度与果实鲜质量、果实纵径、果实横径呈极显著正相关, 这表明果实越大, 其质量越大, 则蒲壳越厚, 而且扁圆形

果实的蒲壳会更厚。坚果壳厚度与坚果横径、隔膜厚度呈极显著正相关,与果实纵径、坚果纵径、果形指数呈极显著负相关,即坚果横径越大,坚果壳越厚,而坚果纵径越大,果形细长的果实其坚果壳越薄,这在优良种质资源选育中有重要意义。

从经济效益的角度看, WB、WC 2 个种群的坚果纵径、果形指数都较大,坚果壳、隔膜厚度也较薄,坚果呈椭圆形,可在这 2 个种群中选择薄壳椭圆形大果的大别山山核桃; GX、SL 种群坚果鲜质量较大,而蒲壳较薄,可在其中选择籽大壳薄、出籽率高的优良种质; SW 种群蒲壳最薄,果实鲜质量、果实横径在所有种群中最小,坚果壳、隔膜也较薄,可选择小果薄壳出仁率高的大别山山核桃。

4 结 论

大别山山核桃天然种群的果实与叶片性状在种群间和种群内均存在极显著差异,其表型多样性非常丰富,变异主要来自于种群间。果实表型相对于叶片表型其性状更加稳定,其中果形指数的变异程度最小,性状最稳定。WB、WC、GX、SL、SW 种群在经济价值方面表现良好, GX、SL、SW 3 个种群表型多样性丰富且性状优良,可重点关注。在进行种质资源选育时,可从种群间和种群内两个层次展开,在增加取样种群密度的同时也应增大每个种群的取样范围,以选择出最优、最适的种质。大别山山核桃天然种群因生态环境、遗传因子、栽培管理情况的不同,产生了丰富的表型变异,本文对大别山山核桃的表型变异特征、来源及规律进行分析,为大别山山核桃种质资源的改良及新品种选育奠定了理论基础,对于其种质资源的保护、评价和利用有重要意义。

参考文献:

- [1] Chechowitz N, Chappell D M, Guttman S I, et al. Morphological, electrophoretic and ecological analysis of *Quercus macrocarpa* populations in the Black Hills of South Dakota and Wyoming[J]. Canadian Journal of botany Journal Canadien de Botanique, 1990, 68(10): 2185-2194.
- [2] 李 斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(2): 181-188.
- [3] 王金星, 潘 刚, 王 滑, 等. 西藏核桃叶片和坚果表型多样性及其相关关系研究[J]. 林业科学研究, 2012, 25(2): 236-240.
- [4] 李春侨, 周 龙, 陆 彪, 等. 天山樱桃种质资源表型多样性研究[J]. 西北农业学报, 2018, 27(1): 91-97.
- [5] Pigliucci M, Murren C J, Schlichting C D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation[J]. Journal of Experimental Biology, 2006, 209(12): 2362-2367.
- [6] 牟洪香, 侯新村, 刘巧哲, 等. 木本能源植物文冠果的表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(3): 350-355.
- [7] 明 军, 顾万春. 紫丁香表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 199-204.
- [8] 肖 斌, 周根土. 加快大别山山核桃发展的途径[J]. 经济林研究, 2006, 24(3): 80-82.
- [9] 夏国华, 朱先富, 孔令保, 等. 大别山山核桃新品种‘皖金2号’[J]. 园艺学报, 2014, 41(11): 8-8.
- [10] 刘茂春, 黎章矩. 中国山核桃属一新种[J]. 浙江农林大学学报, 1984, 1(1): 41-43.
- [11] Huang Y J, Xiao L H, Zhang Z R, et al. The genomes of pecan and Chinese hickory provide insights into *Carya* evolution and nut nutrition[J]. Giga Science, 2019, 8(5): 1-17.
- [12] 杜洋文, 邓先珍, 周席华, 等. 不同大别山山核桃优树含油率与脂肪酸组分含量分析[J]. 西南林业大学学报: 自然科学版, 2019, 39(3): 124-131.
- [13] 郭传友, 黄坚钦, 王正加, 等. 大别山山核桃果实品质与土壤性质的相关分析[J]. 经济林研究, 2006, 24(4): 19-22.
- [14] 张 鹏, 钟海雁, 姚小华, 等. 四种山核桃种仁含油率及脂肪酸组成比较分析[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(3): 499-504.
- [15] 夏国华, 朱先富, 俞春莲, 等. 不同地理种源大别山山核桃坚果表型性状和脂肪酸组分分析[J]. 果树学报, 2014, 31(3): 370-377.
- [16] 刘 力, 龚 宁, 夏国华, 等. 山核桃种仁蛋白质及氨基酸成分含量的变异分析[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 376-378.
- [17] 肖 斌. 安徽山核桃生产现状与发展对策[J]. 经济林研究, 2003, 21(2): 74-76.
- [18] 程龙飞, 李宝华, 胡振华, 等. 大别山山核桃幼树生长环境及其光合特性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 17-20.
- [19] 谢 地, 夏国华, 朱先富, 等. 大别山山核桃催芽影响因子研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(22): 152-155.
- [20] 何胜前. 青尖林场大别山山核桃发展现状与对策[J]. 现代农业科技, 2017(20): 93-94.
- [21] 王正加, 黄有军, 郭传友, 等. 大别山山核桃种群遗传多样性研究[J]. 植物生态学报, 2006, 30(3): 534-538.
- [22] 庞 赛. 大别山山核桃遗传多样性及经济性状分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [23] 郭传友. 山核桃(*Carya cathayensis*)和大别山山核桃(*Carya dabieshanensis*)生态及遗传多样性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2004.
- [24] 李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等. 思茅松天然群体种实表型变异[J]. 植物生态学报, 2013, 37(11): 998-1009.
- [25] 尚帅斌, 郭俊杰, 王春胜, 等. 海南岛青梅天然居群表型变异[J]. 林业科学, 2015, 51(2): 154-162.
- [26] 许玉兰, 蔡年辉, 陈 诗, 等. 云南松天然群体球果表型变异研究[J]. 种子, 2018, 37(1): 62-67.
- [27] 刘永红, 高桂琴, 崔 崑, 等. 油松天然群体种实性状表型多样性分析[J]. 种子, 2010, 29(9): 44-49.

- [28] 冯秋红, 史作民, 徐峥静茹, 等. 岷江柏天然种群种实表型变异特征[J]. 应用生态学报, 2017, 28(3): 748-756.
- [29] 柳江群, 尹明宇, 左丝雨, 等. 长柄扁桃天然种群表型变异[J]. 植物生态学报, 2017, 41(10): 1091-1102.
- [30] 柳新红, 李因刚, 赵 勋, 等. 白花树天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(6): 694-700.
- [31] 田胜平, 汪阳东, 陈益存, 等. 山苍子天然种群叶片和种实性状的表型多样性[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1665-1672.
- [32] 刁松峰, 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.
- [33] 尹明宇, 姜仲茂, 朱绪春, 等. 内蒙古山杏种群表型变异[J]. 植物生态学报, 2016, 40(10): 1090-1099.
- [34] 苏泽春, 赵 菊, 李兆光, 等. 滇西北野生牡丹天然居群的表型多样性[J]. 中国农学通报, 2018, 34(7): 65-71.
- [35] 夏国华. 山核桃生殖生物学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [36] 王友凤. 福建青冈种子萌发的生理生态学机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [37] 李因刚, 柳新红, 马俊伟, 等. 浙江楠种群表型变异[J]. 植物生态学报, 2014, 38(12): 1315-1324.
- [38] 李文英, 顾万春. 蒙古栎天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学, 2005, 41(1): 49-56.
- [39] 翟大才, 姚 琦, 潘 健, 等. 皖南山核桃果实表型性状和种仁主要养分含量的比较及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(2): 10-17.
- [40] 翟大才, 吴锦菲, 柏晓辉, 等. 安徽地区华东野核桃果实特征和坚果品质的初步评价[J]. 林业科学研究, 2019, 32(4): 129-136.
- [41] 常 君, 杨水平, 姚小华, 等. 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.

A Study on Phenotypic Diversity of Fruit and Leaf Traits in *Carya dabieshanensis*

ZHANG Shen-mei¹, XI Jian-wei¹, HONG Jun-yan¹, XIA Guo-hua², LI Yan¹,
HUANG Xing-zhao³, ZHU Xian-fu⁴, HUANG Jian-qin¹

(1. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. College of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 3. School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China; 4. Jinzhai County Fudong Ecological Agricultural Development Company Limited, Lu'an 237000, Anhui, China)

Abstract: [Objective] To study the phenotypic diversity of natural population of *Carya dabieshanensis* so as to provide theoretical supports for the collection, selection and improvement of germplasm resources, and lay a foundation for the development and utilization of *C. dabieshanensis*. [Method] 198 *C. dabieshanensis* individuals were selected from 19 natural populations and 16 phenotypic characters of the fruits and leaves were investigated and determined. These data obtained were processed using nested analysis, One-Way ANOVA analysis, correlation analysis, and Un-weighted pairing average algorithm to reveal the relationship between phenotypic traits and geographical distribution of *C. dabieshanensis* and its variation. [Result] (1) There were significant differences for 16 traits in phenotypic variation among and within populations ($P < 0.01$), indicating that the phenotypic diversity of *C. dabieshanensis* was very abundant. (2) The variation of 16 phenotypic traits ranged from 1.64% to 26.59%, and the average coefficient of variation was 9.63%. The average variation coefficients of fruit and leaf characters were 6.16% and 15.42%, respectively. Because of the smaller variation coefficient of fruit phenotype, the traits were relatively stable. (3) The results of correlation analysis of phenotypic traits showed that there were 60 pairs with extremely significant correlation among characters and 11 pairs with significant correlation. (4) The percentage of mean variance components among and within populations were 49.28% and 17.53% respectively. The average phenotypic differentiation coefficient was 66.25%, indicating that the phenotypic variation of *C. dabieshanensis* was mainly attributed to among populations. (5) The 19 populations could be divided into 4 categories when the distance coefficient was 0.04. The clustering was basically consistent with the change of longitude.

Keywords: *Carya dabieshanensis*; population; fruit; leaf; phenotypic variation