

# 不同种群米槁果实与种子表型特征多样性分析

吴 媛, 张 娜, 黎前利, 杨武海, 吴之坤\*

贵州中医药大学药学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年3月16日; 录用日期: 2023年4月17日; 发布日期: 2023年4月24日

## 摘要

为研究米槁果实和种子的表型差异,选取贵州和广西6个种群的米槁成熟果实和种子为材料,采用变异分析、Pearson相关性分析、逐步回归分析、主成分分析和聚类分析等方法研究其表型性状,同时,结合19个气候因子和3个地理因子分析各种群的9个表型特征。结果表明,群体内表型性状变异较小(变异系数4.61%~13.81%),群体间变异较大(变异系数12.05%~16.19%);9个表型特征中的果托直径、果形指数和种形指数与4个气候因子——最干旱季度平均降水量、降水季节性、最冷月平均气温、最干旱月份降水量和3个地理因子——经度、海拔、纬度有显著相关性;主成分分析结果表明:米槁果实与种子的形状因子、果实的表型特征、果托的表型特征前3个主成分的累积贡献率达81.750%;聚类分析结果表明:在欧氏距离为20时,米槁种群被分为两个大类,并以此为基础,把米槁分为大果型与小果型两种类型。通过本研究可以为作为中药材产业发展的米槁优良种质资源筛选提供方向。

## 关键词

米槁, 表型特征, 变异分析, Pearson相关性分析, 主成分分析, 聚类分析

# Analysis on Fruits and Seeds Phenotypic Diversity of *Cinnamomum migao* from Different Populations

Yuan Wu, Na Zhang, Qianli Li, Wuhai Yang, Zhikun Wu\*

School of Pharmacy, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

Received: Mar. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Apr. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Apr. 24<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

To study the phenotypic differences of fruits and seeds of *Cinnamomum migao*, the mature fruits

\*通讯作者。

文章引用: 吴媛, 张娜, 黎前利, 杨武海, 吴之坤. 不同种群米槁果实与种子表型特征多样性分析[J]. 农业科学, 2023, 13(4): 290-299. DOI: 10.12677/hjas.2023.134041

and seeds of *C. migao* from 6 populations in Guizhou and Guangxi were selected to analyze their phenotypic traits by using variation analysis, Pearson correlation analysis, stepwise regression analysis, principal component analysis and cluster analysis. Furthermore, 19 climatic factors and 3 geographical factors were combined to analyze 9 phenotypic characteristics of each population. The results showed that the variation of phenotypic characteristics was not significant within the population (coefficient of variation was 4.61%~13.81%), but much more obvious through different populations (coefficient of variation was 12.09%~16.19%). Among the 9 phenotypic characteristics, hypocarp diameter, fruit shape index and seeds shape index were significantly correlated with four climatic factors which are average precipitation in the driest season, precipitation seasonality, average temperature in the coldest month, precipitation in the driest month and three geographical factors which are longitude, altitude and latitude. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first three principal components was 81.750%, including the shape factor of fruit and seed, the phenotypic characteristics of fruit and the phenotypic characteristics of hypocarp. The results of cluster analysis showed that the populations of *C. migao* could be divided into two groups when the Euclidean distance is 15, which means that *C. migao* could be grouped into two types, large and small fruit, consequently. This study will provide a direction for the screening of excellent *C. migao* germplasm resources in future.

## Keywords

*Cinnamomum migao*, Phenotypic Diversity, Variation Analysis, Pearson Correlation Analysis, Principal Component Analysis, Cluster Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

表型特征是生物基因与环境条件共同作用的结果[1]。因此，表型特征变异是评价生物遗传变异的方法之一。遗传变异的多样性可以通过表型测定、细胞学、生化和分子标记等手段来研究分析，其中表型特征测定是最直接和最现实的研究手段[2]。通过测定表型特征的变化规律，可以揭示生物遗传基因对环境因子反应的结果，进一步解释生物对外界环境的适应性。表型特征[3]在植物的系统分类上有着重要意义，其中最为分类学家所重视的便是花果性状。作为物种种质资源评价的参考依据之一[4][5]，种子和果实表型特征是植物遗传变异表现的重要特征，开展表型特征研究对了解植物适应性和进化方式、机制及其影响因素具有重要意义。目前，基于植物表型性状的遗传多样性分析已经被广泛应用于核桃[6]、蓝莓[7]等类群的经济作物上。此外，表型特征变异的遗传多样性分析在中药材上也被广泛应用，如野生多花黄精[8]、民族药朱砂根[9]等。

米槁 *Cinnamomum migao* H. W. Li 为樟科樟属常绿乔木，是我国特有物种，分布于云南、广西和贵州的极少数地区[10]。其果实(入药称为大果木姜子)在贵州地区作为少数民族布依族、苗族的民族药，被用于治疗腹痛、呕吐、关节疼痛等疾病，具有较高的药用价值。对米槁叶形态的表型特征研究结果表明，叶表型性状在米槁不同天然种群间都存在极显著差异，且种群间的变异远高于种群内的变异。前期我们在对米槁种质资源进行广泛调查时发现，不同种群的米槁果实与种子有明显的变异。因此，对米槁的种子和果实表型特征进行多样性方面的分析，将有利于米槁种质资源的筛选、良种选育和推广示范。

基于此,本研究以贵州和广西两个省区的6个米槁种群的成熟果实和种子为研究对象,以米槁与同属近缘种分类上具有重要意义的性状指标为参数,测量不同种群的米槁果实横径、果实纵径、种子长度、种子宽度、种子高度、果托直径和果托高度等指标,并计算果形指数(果实纵径/果实横径)和种形指数(种子宽度/种子高度),在此基础上,对不同种群的米槁果实和种子的表型特征进行变异分析、Pearson相关性分析、逐步回归分析和主成分分析,基于欧氏距离对本实验6个种群果实和种子的表型性状进行聚类分析,同时结合6个种群的19个气候因子和3个地理因子进行联合分析,以期了解米槁果实和种子表型特征的变异规律,为米槁种质资源的综合评价提供参考及为今后米槁种质资源的选育与保护提供基础数据。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 实验材料

于2021年10月~2021年11月,在贵州和广西两地采集了不同种群的米槁(*Cinnamomum migao* H. W. Li)果实,由于在实际调查中,米槁种群内植株都很少,以采集地点为单位,采集到贵州省5个米槁种群,广西省1个米槁种群,具体来源见表1。

**Table 1.** Samples collection information of *C. migao*

**表 1.** 米槁各种群的自然概况

种源	经度/E	纬度/N	海拔/m
册亨县板纳	105°43'3.48"	24°59'31.27"	980.00
广西天峨县	106°46'55.88"	25°0'44.31"	838.00
望谟县巧乱	106°16'17.34"	25°4'45.07"	805.00
望谟县纳上	106°14'45.98"	25°9'52.18"	740.00
册亨县坝布	106°1'52.90"	25°0'18.35"	482.00
罗甸县平艾	106°30'36.40"	25°15'26.67"	573.00

### 2.2. 实验方法

#### 2.2.1. 米槁果实和种子表型特征测量

使用游标卡尺(精度0.01 mm)测量不同种群的米槁果实横径(垂直于果柄延伸方向的最大直径)、果实纵径(与果柄延伸方向一致的最大直径)、种子长度(沿种子缝合线方向)、种子宽度(垂直于种子子叶方向)、种子高度(平行于种子子叶方向)、果托直径和果托高度,并计算果形指数(果实纵径/果实横径)、种形指数(种子宽度/种子高度),每个种群随机测量米槁果实与种子100粒。

#### 2.2.2. 地理-气候因子来源

共收集6个环境数据,采集样品时用全球定位系统(GPS)工具箱记录其经纬度、海拔。其中19个气候因子从全球气候数据库Worldclim (<http://www.worldclim.org/>)下载1970~2000年监测气候数据的平均值,再根据样品的经纬度提取出所需19个气候因子数据,详见表2。

### 2.3. 数据处理与统计分析

#### 2.3.1. 数据处理

本试验所有数据均采用Office 2010统计,计算各指标平均值,并对样本的各指标或平均值之间的关系用SPSS 23.0进行分析。

**Table 2.** Climatic factor variables of different populations of *C. migao***表2. 米槁不同种群的气候因子变量**

种源	bio1	bio2	bio3	bio4	bio5	bio6	bio7	bio8	bio9	bio10	bio11	bio12	bio13	bio14	bio15	bio16	bio17	bio18	bio19
板纳	35.34	84.04	1315.00	8.23	569.41	23.30	17.67	731.00	23.98	254.00	9.92	60.00	13.00	9.92	5.00	23.98	731.00	28.30	60.00
天峨	32.23	76.42	1269.00	7.77	608.81	24.10	16.78	648.00	23.63	236.00	8.65	65.00	17.00	8.65	3.80	23.63	648.00	27.90	65.00
巧乱	34.44	79.94	1239.00	8.30	594.01	24.10	17.78	657.00	24.38	237.00	9.78	56.00	13.00	9.78	4.70	24.38	657.00	28.80	56.00
纳上	33.47	78.76	1246.00	8.07	601.46	24.10	17.59	653.00	24.28	238.00	9.50	59.00	14.00	9.50	4.60	24.28	653.00	28.70	59.00
坝布	34.67	81.40	1239.00	8.22	587.41	23.70	19.41	669.00	25.88	237.00	11.48	55.00	12.00	11.48	6.70	25.88	669.00	30.40	55.00
罗甸	33.23	75.81	1232.00	8.24	618.90	24.80	17.88	622.00	23.82	231.00	9.62	63.00	17.00	9.62	4.60	24.82	618.00	29.40	63.00

注: bio1, 等温性; bio2, 降水季节性; bio3, 年降水量; bio4, 平均日程; bio5, 温度季节性; bio6, 温度年范围; bio7, 年均温; bio8, 最潮湿季度降水量; bio9, 最潮湿季度平均温度; bio10, 最潮湿月份降水量; bio11, 最干旱季度平均温度; bio12, 最干旱季度降水量; bio13, 最干旱月份降水量; bio14, 最冷季度平均温度; bio15, 最冷月最低气温; bio16, 最热季度平均温度; bio17, 最热季度降水量; bio18, 最热月份最高温度; bio19, 最冷季度降水量。

Note: bio1, Isothermality; bio2, Precipitation Seasonality; bio3, Annual Precipitation; bio4, Mean Diurnal Range; bio5, Temperature Seasonality; bio6, Temperature Annual Range; bio7, Annual Mean Temperature; bio8, Precipitation of Driest Quarter; bio9, Mean Temperature of Wettest Quarter; bio10, Precipitation of Wettest Month; bio11, Mean Temperature of Driest Quarter; bio12, Precipitation of Wettest Quarter; bio13, Precipitation of Driest Month; bio14, Mean Temperature of Coldest Quarter; bio15, Min Temperature of Coldest Month; bio16, Mean Temperature of Warmest Quarter; bio17, Precipitation of Warmest Quarter; bio18, Max Temperature of Warmest Month; bio19, Precipitation of Coldest Quarter.

### 2.3.2. 统计分析

本试验采用 SPSS 23.0 进行变异分析(消除测量尺度和量纲带来的影响)、Pearson 相关性分析(变量为随机变量且呈正态分布)、逐步回归分析(分析多个变量)、主成分分析(多个变量时找出主要变量)和聚类分析(多个指标分类)。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 米槁果实与种子表型特征统计分析

**Table 3.** Fruits and seeds phenotypic characteristics and variation coefficient analysis of *C. migao* from different provenances**表3. 不同种群米槁果实与种子表型特征及变异系数分析**

种源	果实纵径/mm	果实横径/mm	果托直径/mm	果托高度/mm	种子长度/mm	种子宽度/mm	种子高度/mm	果形指数/mm	种形指数/mm
板纳	9.94 ± 0.74	12.19 ± 0.67	7.56 ± 0.61	5.45 ± 0.75	7.36 ± 0.46	7.88 ± 0.60	7.89 ± 0.51	0.82 ± 0.04	1.00 ± 0.07
天峨	10.47 ± 1.31	14.77 ± 1.40	9.19 ± 0.61	5.58 ± 0.77	8.05 ± 0.57	8.69 ± 0.62	7.88 ± 0.49	0.71 ± 0.07	1.10 ± 0.05
巧乱	13.46 ± 1.31	16.01 ± 1.06	9.94 ± 0.75	6.35 ± 0.77	9.39 ± 0.57	10.12 ± 0.50	9.93 ± 0.58	0.84 ± 0.04	1.02 ± 0.05
纳上	13.93 ± 0.81	16.95 ± 0.71	9.96 ± 0.70	5.77 ± 0.62	9.91 ± 0.95	10.39 ± 0.36	10.14 ± 0.97	0.82 ± 0.04	1.09 ± 0.71
坝布	9.46 ± 0.74	12.98 ± 0.80	7.27 ± 0.44	4.94 ± 0.52	7.77 ± 0.46	8.34 ± 0.48	8.07 ± 0.45	0.86 ± 0.07	1.03 ± 0.04
罗甸	10.93 ± 0.75	14.38 ± 0.79	9.03 ± 0.82	5.78 ± 1.24	7.97 ± 0.49	8.36 ± 0.57	8.20 ± 0.46	0.76 ± 0.05	1.02 ± 0.04
平均值	11.65 ± 1.79	14.55 ± 1.88	8.82 ± 1.25	5.65 ± 0.91	8.43 ± 1.06	8.96 ± 1.08	8.69 ± 1.09	0.80 ± 0.08	1.04 ± 0.06
变异系数/%	15.36	12.92	14.17	16.11	12.57	12.05	12.64	10.00	5.83

米槁不同种群的果实与种子表型特征统计分析结果见表 3。由表 3 可以看出, 不同种群间的果实纵径为 9.46~13.93 mm (均值 11.65 mm), 果实横径为 12.19~16.95 mm (均值 14.55 mm), 果托直径为 7.27~9.96 mm (均值 8.82 mm), 果托高度为 4.94~6.35 mm (均值 5.65 mm), 种子长度为 7.36~10.39 mm (均值 8.43 mm),

种子宽度为 7.88~10.39 mm (均值 8.96 mm), 种子高度为 7.88~10.14 mm (均值 8.69 mm), 果形指数为 0.71~0.86 (均值 0.80), 种形指数为 1.00~1.10 (均值 1.04)。其中果形指数最小的种群为天峨县(0.7), 同时此种群的种形指数最大(1.10), 说明米槁的种形并不受到米槁果形的影响。

### 3.2. 米槁果实与种子表型性状变异的分析

对不同种群间的米槁果实与种子表型特征变异分析结果见表 3。结果表明: 在所有表型特征中, 果托高度的变异系数最高(16.11%), 种形指数的变异系数最低(5.83%)。果实纵径、果实横径、种子长度、种子宽度、种子高度、果托直径和果托高度的变异系数均 > 10%, 表明这几类表型特征在米槁的种群间变异程度较大。另外, 不同种群间的果实纵径、横径、果托直径与果托高度的变异系数均高于种子长度、高度和宽度, 表明米槁种群间的果实表型特征的变异程度高于种子。

对种群内米槁果实与种子表型特征变异分析结果见表 4。结果表明, 在种群内, 不同表型特征的变异系数均值变化幅度为 3.46%~21.57%。其中, 米槁各种群内果托高度的变异系数值均 > 10%, 表明米槁果托高度在种群内存在丰富的变异。从果实与种子表型特征看, 在种群内果托高度的极差最大(10.95%), 其中, 罗甸果托高度值最大(21.57%), 坡布果托高度值最小(10.86%)。种子高度极差最小(2.68%), 其中板纳种子高度最大(6.45%), 纳上种子高度最小(3.77%)。另外, 不同种群内也存在不同程度的变异, 其中广西天峨县种群内的各表型特征变异系数最高(8.6%), 望谟巧乱种群内各表型特征的变异系数最小(5.94%), 但从米槁各种群的表型特征变异系数来看, 总体上米槁果实与种子表型特征在种群内的变异小。

**Table 4.** Phenotypic characteristics variation coefficient of *C. migao* fruits and seeds in population (%)

**表 4.** 种群内米槁果实与种子的表型特征变异系数(%)

种源	果实 纵径	果实 横径	果托 直径	果托 高度	种子 长度	种子 宽度	种子 高度	果形 指数	种形 指数	均值
板纳	7.45	5.50	8.11	13.79	6.27	7.6	6.45	5.15	7.25	7.51
天峨	12.61	9.52	6.7	13.77	7.11	7.16	6.29	9.52	4.69	8.6
纳上	9.78	6.68	7.63	12.24	6.07	4.92	5.93	5.04	4.68	6.99
巧乱	5.84	4.2	7.08	10.86	9.65	3.53	3.77	4.95	3.57	5.94
坡布	6.64	6.19	6.05	10.62	5.96	5.78	5.58	8.60	3.46	6.54
罗甸	6.86	5.5	9.09	21.57	6.13	6.91	5.68	6.47	4.00	8.02
均值	8.20	6.26	7.44	13.81	6.86	5.98	5.61	6.62	4.61	7.27

### 3.3. 米槁果实、种子表型特征之间的 Pearson 相关性分析

不同种群米槁果实与种子表型特征之间的相关性分析见表 5。由表 5 可知, 不同米槁种群的果实与种子的 9 个表型特征之间存在着相关性, 相关系数在-0.289~0.945 之间。其中果实横径、种子长度、种子宽度、种子高度、果托直径、果托高度和果形指数与果实纵径之间, 种子长度、种子宽度、种子高度、果托直径和果托高度与果实横径之间, 种子宽度、种子长度、种子高度、果托直径、果托高度和果形指数与种子长度之间, 种子高度、果托直径、果托高度、果形指数和种形指数与种子宽度之间, 果托直径、果托高度和果形指数与种子高度之间, 果托高度与果托直径之间均呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。果形指数与果实横径之间, 种形指数与种子高度之间均呈现极显著负相关。此外, 米槁果形指数与种形指数呈极显著负相关, 表明米槁种形并不受到米槁果形的影响, 这与 2.1 分析结果一致。

**Table 5.** Pearson correlation analysis of phenotypic characteristics of *C. migao* fruits and seeds  
**表 5. 米槁果实与种子表型特征 Pearson 相关性分析**

表型特征	果实纵径	果实横径	果托高度	果托直径	种子长度	种子宽度	种子高度	果形指数	种形指数
果实纵径	1								
果实横径	0.808**	1							
果托高度	0.258**	0.301**	1						
果托直径	0.545**	0.714**	0.520**	1					
种子长度	0.705**	0.713**	0.258**	0.610**	1				
种子宽度	0.686**	0.688**	0.267**	0.600**	0.945**	1			
种子高度	0.719**	0.648**	0.285**	0.563**	0.916**	0.900**	1		
果形指数	0.502**	-0.098*	-0.016	-0.133**	0.136**	0.139**	0.247**	1	
种形指数	-0.126**	0.047	-0.061	0.044	-0.006	0.154**	-0.289**	-0.266**	1

\*\*在 0.01 级别(双尾), 相关性极显著。\*在 0.05 级别(双尾), 相关性显著。

### 3.4. Maxent 中 19 个气候因子与 3 个地理因子对米槁果实与种子表型特征影响的逐步回归分析

经逐步回归分析发现, 地理 - 气候因子对米槁果实与种子部分表型特征的影响不显著, 两者间不存在线性关系。去除与地理气候因子不存在线性关系的果实与种子表型特征, 去除在回归过程种存在多重共线性的地理 - 气候因子。分析结果见表 6, 在 maxent 19 个气候因子中有 4 个气候因子(最干旱季度年平均降水量、降水季节性、最冷月平均气温、最干旱月份降水量)以及采集样品时使用全球定位系统(GPS)工具箱记录的 3 个地理因子(经度、纬度、海拔)对米槁种实性状的果托直径、果形指数和种形指数有影响, 其中降水季节性对果形指数和种形指数均有影响, 此外, 果形指数还受到最干旱季度平均降水量和经度的影响, 种形指数还受到纬度影响, 最冷月平均气温、最干旱月份降水量和海拔共同影响米槁果托直径。3 组回归方程的决定系数  $R^2$  的大小表明地理 - 气候因子能解释米槁果实与种子表型特征 31.5%~71.6% 的变化, 表明地理 - 气候因子对米槁果实与种子表型特征的影响较大, 因此, 可以认为地理 - 气候因子对米槁果实与种子表型特征的变异有显著影响, 同时对表型特征的变异形成一定的规律, 这将对米槁优质种源的筛选提供实质性的数据参考。

**Table 6.** Stepwise regression analysis of geographical and climatic factors on phenotypic characteristics of *C. migao* fruits and seeds

**表 6. 地理气候因子对米槁果实与种子表型特征影响的逐步回归分析**

表型特征	回归方程	$R^2$	F	P
果托直径	41.358 - 3.036X <sub>4</sub> - 0.793X <sub>5</sub> - 0.008X <sub>6</sub>	0.716	52.399	0.000
果形指数	12.735 - 0.012X <sub>1</sub> - 0.1X <sub>2</sub> - 0.008X <sub>3</sub>	0.475	180.088	0.000
种形指数	11.486 - 0.371X <sub>7</sub> - 0.015X <sub>3</sub>	0.315	137.156	0.000

X<sub>1</sub>, 最干旱季度平均降水量; X<sub>2</sub>, 经度; X<sub>3</sub>, 降水季节性; X<sub>4</sub>, 最冷月平均气温; X<sub>5</sub>, 最干旱月份降水量; X<sub>6</sub>, 海拔; X<sub>7</sub>, 纬度。

### 3.5. 米槁果实与种子表型性状的主成分分析

根据米槁种群果实与种子表型特征的平均值，在种群间进行主成分分析。主成分分析中前三个主成分的特征值  $> 1$ ，第 4 个主成分的特征值  $< 1$ ，提取前三个主成分进行分析(表 7)，前三个主成分的累积贡献率为 81.75%，第 1 主成分的贡献率为 49.09%，第 2 主成分的贡献率为 16.52%，第 3 主成分的贡献率为 16.14%。在第 1 主成分的特征值为 4.418，其特征向量中，绝对值较高的性状是果实纵径(0.851)、果实横径(0.807)、种子长度(0.938)、种子宽度(0.950)、种子高度(0.876)、果托直径(0.625)，该成分几乎囊括了米槁果实与种子的所有表型特征，因此第一主成分为果实与种子表型特征因子。在第 2 主成分的特征值为 1.478，其特征向量中，绝对值较高的为果形指数(0.745)，该类表型特征与米槁果实形状有关，表明第 2 主成分为米槁果实形状因子。第 3 主成分特征值为 1.452，其特征向量中，绝对值较高的为果托直径(0.617)和果托高度(0.835)，显示第 3 主成分为米槁果托的形状因子。所有的果实与种子表型特征在第 1 主成分中特征向量均为正值，表明在第 1 主成分中起正向作用。

**Table 7.** Principal component analysis of phenotypic characteristics of *C. migao* fruits and seeds

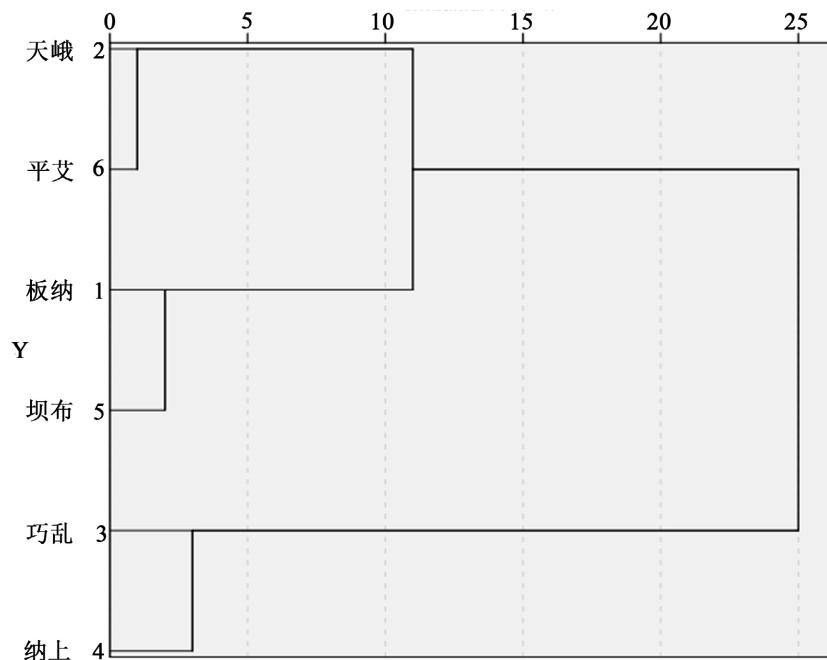
**表 7. 米槁果实与种子表型特征主成分分析**

表型特征	各成分的载荷值		
	1	2	3
果实纵径	0.851	0.320	0.070
果实横径	0.807	-0.146	0.328
种子长度	0.938	0.016	0.117
种子宽度	0.950	-0.084	0.064
种子高度	0.876	0.279	0.180
果托直径	0.625	-0.165	0.617
果托高度	0.176	0.093	0.835
果形指数(果实纵径/果实横径)	0.249	0.745	-0.376
种形指数(种子宽度/种子高度)	0.100	-0.829	-0.265
特征值	4.418	1.487	1.452
贡献率	49.091	16.524	16.135
累计贡献率	49.091	65.625	81.750

### 3.6. 米槁果实与种子表型性状的聚类分析

基于欧氏距离对 6 个米槁种群的果实与种子表型特征进行聚类分析，结果如图 1 所示。由图 1 可见，在欧氏距离为 15 时，米槁种群被分为两个大类，其中第 I 类群包括天峨、罗甸、板纳和坝布四个种群，巧乱和纳上构成第 II 类群。并且第 II 类群的米槁果实和种子表型特征与第 I 类群的表型特征存在明显差异。

由于现存米槁种群非常少，并且每个种群的成年植物都只有个位数，根据聚类分析结果显示，本次研究的米槁种群的果实与种子的表型特征并与地理位置关系十分密切。在欧氏距离为 5 时，聚类分析结果表明，地理位置更为接近的种群被聚为一类。



注：欧式距离为 5 时，地理位置更近的种群被聚为一类，且米槁种群之间的果实表型特征越相似。欧式距离值越小，聚类之间相似性越大，反之聚类之间相似性越小  
Note: The Euclidean distance is 5, which means geographically closer populations was clustered into a group. And the more similar the fruit phenotypic characteristics between the *C. migao*. The smaller the Euclidean distance value, the greater the similarity between clusters. And conversely, the less similarity between clusters

**Figure 1.** Clustering diagram of different *C. migao* populations

**图 1.** 各米槁种群聚类图

## 4. 讨论

### 4.1. 果实与种子的表型特征变异

植物果实与种子表型变异是遗传变异的重要特征之一，一般情况下，果实与种子表型特征在进行正常遗传时不会发生遗传变异[11]，但是由于地理阻断、环境选择、气候等长期影响，使果实和种子表型在种群间产生分化[12]。相关研究认为，当变异系数大于 10% 时，具有较丰富的遗传变异[13][14]，本研究的 6 个米槁种群果实与种子的 9 个表型特征，在种群内的表型变异系数均小于 10%，说明在米槁种群内的果实与种子表型特征遗传较稳定；米槁的果实纵径、果实横径、种子长度、种子宽度、种子高度、果托直径和果托高度在种群间变异系数均大于 10%，说明米槁的果实与种子表型特征在种群间遗传发生了变异，这与李丽霞对米槁天然种群叶片性状变异分析的研究结果一致，即种群间变异是米槁种群表型变异的主要来源[15]。同时，这一试验结果与盐肤木[16]、红河橙[17]、枫香树[18]等植物的果实表型变异研究结果一致。

### 4.2. 地理 - 气候因子对果实与种子表型特征的影响

根据研究表明，影响不同物种表型特征的地理 - 气候因子是不同的。枫香树种群果实与种子性状受到 1 月平均气温、海拔和纬度的影响[18]，温度和地理位置是影响北柴胡种子表型性状的一大因素[19]。此外，对环境因子的响应也根据物种而异。如细叶云南松果实与种子性状值在地理位置上呈现由东向西递增的趋势[20]，高山栲种子性状值随经度增加而减小，随海拔增加而增大[21]。本研究结果也表明地理

- 气候因子对米槁的果实和种子表型特征有影响。陈雪妍等[22]发现土壤养分含量的差异性对黑枸杞的果型存在影响；邓洪平等[23]认为土壤有机质含量、pH值等影响四川大头茶群落的演替，由此可见，土壤对植物果实与种子表型特征存一定影响，而在本研究中出现大小果型的具体原因是否与土壤养分有关需要进一步考究。

## 5. 结论

- 1). 米槁可以根据果实表型特征(果实横径、果实纵径、果托直径、果托高度)与种子表型特征(种子长度、种子宽度、种子高度)均大于平均值的种群归为大果型(纳上, 巧乱)，其余小于表型特征平均值的种群归为小果型(天峨, 坡布, 罗甸, 板纳)。
- 2). 在本研究中获得的3个地理因子(经度、纬度、海拔)以及4个气候因子(最干旱季度平均降水量、降水季节性、最冷月平均气温和最干旱月份降水量)通过逐步回归分析结果表明，此7个因子均对米槁果实和种子表型特征有影响。

## 基金项目

国家自然科学基金委员会 - 贵州省人民政府联合基金项目(U1812403-2)。

## 参考文献

- [1] 肖亮, 蒋建雄, 易自力, 等. 广西省芒野生居群表型多样性研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 43-50.
- [2] 杨树华, 郭宁, 葛维亚, 等. 新疆东天山地区宽刺蔷薇居群表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(3): 455-461.
- [3] 司马永康, 陆树刚, 韩明跃, 等. 木兰科系统分类学研究动态[J]. 西部林业科学, 2012, 41(1): 116-127.
- [4] 李瑶, 李露红, 王永琪, 等. 39份老芒麦种质资源表型多样性分析[J]. 种子, 2021, 40(9): 57-63, 71.
- [5] 肖宇, 魏国江, 王晓飞, 等. 紫苏种质资源表型多样性研究[J]. 种子, 2021, 40(8): 2, 78-84.
- [6] 于秋香, 李扬, 李颖, 等. 基于果实表型的核桃种质资源遗传多样性分析[J]. 华北农学报, 2021, 36(S1): 53-61.
- [7] 李伟, 王攀, 其其格, 等. 蓝莓种质资源表型多样性研究[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(2): 124-134.
- [8] 周新华, 曾平生, 武晓玉, 等. 野生多花黄精种群表型变异研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(6): 99-106.
- [9] 骆亮. 福建省不同居群朱砂根遗传多样性研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2019.
- [10] 赵山, 李鸿玉, 邱德文, 等. 大果木姜子资源, 生态调查——贵州、桂北及湘黔桂接壤区[J]. 贵阳中医学院学报, 1991(3): 35, 59-61.
- [11] 刘宝. 表观遗传变异与作物遗传改良[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 386-393.
- [12] 李珊, 蔡宇良, 徐莉, 赵桂仿. 云南金钱槭果实、种子形态分化研究[J]. 云南植物研究, 2003, 25(5): 589-595.
- [13] 吕伟, 韩俊梅, 文飞, 等. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(1): 234-242, 251.
- [14] 董博文, 李继东, 郑先波, 等. 山茱萸种质资源表型性状多样性及相关性分析[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 163-166.
- [15] 李丽霞. 贵州省米槁种群特征研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [16] 王尧, 吴姝青, 张俊康, 等. 山东省不同种源盐肤木果实表型性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(1): 18-25.
- [17] 高玉红, 魏萌, 李凯迪, 牟凤娟. 不同红河橙居群果实表型的变异[J]. 经济林研究, 2021, 39(4): 88-96.
- [18] 何庆海, 杨少宗, 李因刚, 等. 枫香树种群种子与果实表型性状变异分析[J]. 植物生态学报, 2018, 42(7): 752-763.
- [19] 范娅, 刘丽, 杜衍, 等. 不同产地北柴胡种子挥发油组分及表型性状评价[J]. 种子, 2022, 41(2): 93-100.
- [20] 白天道, 余春兰, 甘泽朝, 等. 细叶云南松种实性状变异与地理气象因子的关联[J]. 植物生态学报, 2020, 44(12):

- 1224-1235.
- [21] 田瑞杰, 巩合德, 雷晨雨, 等. 不同种源高山栲种子性状特征及其变异[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(9): 88-95, 126.
  - [22] 陈雪妍, 祁银燕, 刘小利, 刘桂英. 两种果型黑果枸杞土壤中基本养分含量比较[J]. 北方园艺, 2017(2): 167-171.
  - [23] 邓洪平, 何平, 钟章成. 不同地理种源及演替群落的四川大头茶居群种子形态分化研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1999, 24(2): 75-81.