

# 澳洲坚果种质果实产量相关性状的多样性分析

谭秋锦, 王文林, 韦媛荣, 郑树芳, 黄锡云, 何铣扬, 陈海生\*

(广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532415)

**摘要:**【目的】探索澳洲坚果种质主要果实产量性状的遗传基础, 提供澳洲坚果生产和高产育种借鉴。【方法】以来自世界各地的45份澳洲坚果种质为供试材料, 对12个果实品质相关性状进行变异分析、主成分分析及聚类分析。【结果】变异分析表明, 12个果实性状的变异系数介于5.61%~17.83%, 果仁的变异系数最大, 为17.83%, 果仁横径的变异系数最小, 为5.61%。相关分析表明, 澳洲坚果各果实性状间存在复杂的相关性, 且多个性状影响产量, 鲜果质量与壳果质量、果仁质量呈显著正相关。主成分分析将45个澳洲坚果的12个果实性状分为3个主成分, 其累计贡献率达79.55%。聚类分析将45份澳洲坚果种质材料分为3大族群, 族群I: 果实较大, 近球形; 族群II: 果实均匀, 近卵圆形; 族群III: 果实较小, 但果实出种率和出仁率高。【结论】澳洲坚果种质资源果实性状具有较为丰富的多样性表现, 这将为澳洲坚果果实遗传改良和优质新品种选育提供重要的参考依据。

**关键词:** 澳洲坚果; 果实性状; 变异系数; 多样性

中图分类号: S664

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2019)12-1630-08

## Diversity analysis of fruit traits related to yield in *Macadamia* germplasm

TAN Qiu-jin, WANG Wen-lin, WEI Yuan-rong, ZHENG Shu-fang, HUANG Xi-yun, HE Xian-yang, CHEN Hai-sheng\*

(Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Longzhou 532415, Guangxi, China)

**Abstract:** 【Objective】The objective of this study was to analyze the phenotypic diversity of the macadamia (*Macadamia integrifolia*) nuts in order to explore the genetic basis of main fruit traits of macadamia, and to provide reference for macadamia high-yield breeding. 【Methods】Forty-five macadamia cultivars around the world were selected and 20 mature fruits of each cultivar were collected for analysis. The fruits of each cultivar were randomly selected from the periphery of the crown of a tree. Twelve quantitative traits of fresh and air-dried nuts of the 45 macadamia germplasm were determined. Two state standards of the quality grade of macadamia and germplasm resources description and data standards were referenced. Clustering analysis and correlation analysis were employed to analyze the phenotypic traits of the nuts of the macadamia germplasm. 【Results】The results of variance analysis showed that the coefficient of variation (*CV*) of the 12 traits related to yield changed from 5.61% to 17.83%, among of which the maximum *CV* was 17.83% for fruit kernel, whereas the minimum *CV* was 5.61% for kernel transverse diameter. Correlation analyses indicated that there were complex correlations among the fruit traits, and the yield was affected by multiple traits. The fresh fruit weight was significantly and positively correlated with the shell weight and the kernel weight. Principal component analysis showed that the fruit related traits were summarized into three principal components and the cumulative contribution rate was 79.55%. The first principal factor was mainly related to the green weight and the shell

收稿日期: 2019-03-12 接受日期: 2019-08-21

基金项目: 广西自然科学基金(2019GXNSFBA185011); 广西科技重大专项(桂科AA17204058-4, 桂科AA17204058-8, 桂科AA17202037-9); 广西科技基地和人才专项(桂科AD17195008, 桂科AD18281087); 广西公益性项目(GXNYRKS201913)

作者简介: 谭秋锦, 女, 助理研究员, 主要从事果树种质资源收集及栽培选种研究。E-mail: 13481146175@163.com

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail: gxnkchsh741129@163.com

weight; the second was mainly related to the kernel and the third was mainly related to the nuts. In addition, the 45 macadamia germplasms were divided into three groups based on the cluster analysis. The group I was characterized by large and nearly spherical fruit. The group II was characterized by ovoid fruit. The group III was characterized by small fruit with high seed yield. 【Conclusion】There were clearly significant differences among different macadamia germplasm. The green weight, the shell weight, the seed percentage, the shell fruit, the nuts and the kernel could be used for evaluating macadamia nut quality. The results of this study indicated that the fruit traits related to yield in macadamia germplasms had rich diversity, which would lay a basis for genetic improvement and breeding of fruits in macadamia.

**Key words:** *Macadamia*; Fruit traits; Variation coefficient; Genetic diversity

澳洲坚果(*Macadamia integrifolia*)又名夏威夷果,属山龙眼科(Proteaceae)、澳洲坚果属(*Macadamia* F. Mull),常绿乔木,为亚热带果树。澳洲坚果含脂肪70%以上、蛋白质9%,且含有人体必需的8种氨基酸,营养价值高<sup>[1]</sup>。澳洲坚果原产于澳大利亚昆士兰州与新南威尔州,集中分布于澳大利亚、美国、肯尼亚、南非、哥斯达黎亚、危地马拉、巴西等热带地区<sup>[2]</sup>。我国于20世纪开始引种,主要分布在云南、广西、广东、贵州,由于各省区境内外交叉引种、杂交、早期的实生繁殖以及自然变异选种等,形成了众多的遗传资源,种质资源极其丰富<sup>[3]</sup>,但品种资源间的亲缘关系尚未清楚,存在同物异名或同名异物等现象。种质资源多样性一直是育种工作者所追求的目标。贺熙勇等<sup>[4]</sup>从叶片表型性状研究了澳洲坚果种质资源遗传多样性。张汉周等<sup>[5]</sup>系统观测21份澳洲坚果种质资源的开花结果物候期,发现不同种质的开花结果物候期存在不同程度的差异,可分3类物候期。Domingo等<sup>[6]</sup>根据国际植物遗传资源所(IPGRI)的描述符,选用29个数量性状和16个质量性状对墨西哥国内的56份种质进行了描述,很好地地区分和评价了这些种质资源。Peace等<sup>[7]</sup>利用RAF标记探讨了南非的38个澳洲坚果品种的遗传关系。利用软件POPGENE对其聚类分析,结果表明:741u即是741(Mauka),741s则为800(Makai),解决了先前通过叶和果实特征无法对其区分鉴定的问题,791可能为*M. ternifolia*第二代杂交种,Nelmak 1为*M. integrifolia*和*M. tetraphylla*的第一代杂交种。通过对各品种遗传起源的分析,为南非澳洲坚果种质资源的可持续利用与发展提供了依据。郭凌飞等<sup>[8]</sup>利用ISSR分析了17份澳洲坚果种质的亲缘关系,对澳大利亚和夏威夷品种的遗传背景做了分析,做出了两地澳洲坚果品种的遗传背景和选育历史不同的推测。

澳洲坚果果实性状包括果实质量、果实纵横径、果仁质量、出种率、出仁率等,这些性状具有丰富的多样性差异<sup>[9]</sup>。通过对收集的澳洲坚果种质材料进行调查分析,了解其亲本溯源或遗传背景,有利于澳洲坚果优良基因的挖掘和品种改良<sup>[10]</sup>。笔者在前人研究的基础上精选45份澳洲坚果种质资源,以果实性状为切入点,进行大群体的变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,通过四个指标综合评价澳洲坚果种质资源,以期挖掘澳洲坚果果实品质相关性状的基因挖掘和遗传改良澳洲坚果种质资源提供重要线索。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料及处理

试验于2015—2018年在广西南亚热带农业科学研究所澳洲坚果种质资源圃中进行。从资源圃136份种质中优选45份澳洲坚果种质资源为观测对象,澳洲坚果种质以大树(3~5株)方式保存,常规管理,其编号及来源见表1。

### 1.2 果实表现性状数据的测定

澳洲坚果种质果实表型性状均在果实成熟期观测(成熟度判断:果皮内表面由白色变成褐色,果仁由粉感变成油感)。每份种质从资源圃中随机观测5株,每株从树冠外围中上部东、南、西、北选取发育正常果实20颗。用电子天平测定鲜果质量、壳果质量、壳果干质量以及果仁质量,取平均值,精确到0.01 g。用游标卡尺测量鲜果纵横径、壳果纵横径、果仁纵横径,出种率/%=(壳果质量/鲜果质量)×100;果实出仁率/%=(每果果仁干质量/干壳果质量)×100,遗传变异系数CV/%=标准差/性状平均值×性状平均值×100。

壳果干质量及果仁质量:在45℃下干燥48 h、55℃下干燥72 h,当果仁含水量为质量分数(1.5±

表 1 澳洲坚果种质来源地

Table 1 The origin of macadamia germplasm resources

序号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin	序号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin	序号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin
1	A16	澳大利亚 Australia	16	344	夏威夷 Hawaii	31	203	澳大利亚 Australia
2	NG18	中国 China	17	783	中国 China	32	246	夏威夷 Hawaii
3	788	澳洲利亚 Australia	18	B3	中国 China	33	294	夏威夷 Hawaii
4	南亚 1 号 SA1	中国 China	19	B4	中国 China	34	900	澳大利亚 Australia
5	南亚 2 号 SA2	中国 China	20	B1	中国 China	35	A38	澳大利亚 Australia
6	O.V	澳洲利亚 Australia	21	D	中国 China	36	741	夏威夷 Hawaii
7	B3/74	中国 China	22	O.C	澳大利亚 Australia	37	桂热 1 号 GR1	中国 China
8	B5	中国 China	23	695	澳大利亚 Australia	38	特殊种 Special	中国 China
9	南亚 116 SA116	中国 China	24	J.W	澳大利亚 Australia	39	948	中国 China
10	B7	中国 China	25	皇家大果 HJ	越南 Vietnam	40	951	中国 China
11	DAD	中国 China	26	849	越南 Vietnam	41	906	中国 China
12	Yonik	中国 China	27	实生树 SH	中国 China	42	nelmarkd	南非 South Africa
13	842	越南 Vietnam	28	A4	澳大利亚 Australia	43	广西 1 号 GX1	中国 China
14	814	中国 China	29	660	中国 China	44	508	中国 China
15	H2	中国 China	30	816	越南 Vietnam	45	800	中国 China

0.5%)时,把干燥的壳果冷却降温称质量,去壳后,称果仁干质量。

### 1.3 数据处理方法

实验数据用 Microsoft Excel 2010 进行统计,用 SPSS 25.0 软件进行遗传变异、相关分析、主成分分析和聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实性状的变异统计分析

45 份澳洲坚果种质鲜果质量、鲜果横径、鲜果纵径、壳果质量、壳果横径、壳果纵径、出种率、壳果干质量、果仁质量、出仁率、果仁纵径、果仁横径的变异系数介于 5.61%~17.83%(表 2),研究发现鲜果质量等 6 个性状的变异系数大于 10%,说明澳洲坚果

种质的果实表型性状差异大、变异类型丰富,有利于特异种质材料的比较和筛选。

果实大小:鲜果(NIH)质量、鲜果横径和鲜果纵径的均值分别为 19.66 g、31.26 mm 和 36.77 mm,鲜果质量变异系数最大,为 17.35%。鲜果质量最大值为 27.83 g,最小值为 12.50 g;鲜果横径最大值为 35.76 mm,最小值为 24.56 mm;鲜果纵径最大值为 46.58 mm,最小值为 27.65 mm。

壳果性状:壳果(NIS)质量、壳果横径、壳果纵径、出种率、壳果干质量的均值分别为 9.78 g、25.55 mm、25.62 mm、48.94%、7.02 g。变异系数最大是壳果干质量 17.44%,壳果质量最大值为 13.95 g,最轻为 6.19 g;壳果横/纵径最长分别为 31.14 mm、32.15 mm,最短是分别为 21.76 mm、21.09 mm;壳果干质

表 2 12 个数量性状多样性统计分析

Table 2 Analysis of diversity for 12 numerical characters

性状 Trait	最小值 Minimum	最大值 Maximum	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
鲜果质量 Fresh weight of single NIH/g	12.50	27.83	15.33	19.96	3.46	17.35
鲜果横径 Transverse diameter of NIH/mm	24.56	35.76	11.20	31.26	2.46	7.88
鲜果纵径 Vertical diameter of NIH/mm	27.65	46.58	18.93	36.77	4.94	13.42
壳果质量 Fresh weight of single NIS/g	6.19	13.95	7.76	9.78	1.71	17.43
壳果横径 Transverse diameter of NIS/mm	21.76	31.14	9.38	25.55	2.00	7.82
壳果纵径 Vertical diameter of NIS/mm	21.09	32.15	11.06	25.62	2.34	9.12
出种率 Seed percentage/%	43.42	55.21	11.79	48.94	3.21	6.56
壳果干质量 Weight of NIS(baked)/g	5.07	10.72	5.65	7.02	1.22	17.44
果仁质量 Single kernel weight/g	1.81	3.70	1.89	2.42	0.43	17.83
果仁横径 Transverse diameter of kernel/mm	16.58	20.73	4.15	18.15	1.02	5.61
果仁纵径 Vertical diameter of kernel/mm	13.16	18.00	4.84	15.10	1.06	7.02
出仁率 Kernel yield/%	24.37	43.67	19.30	34.72	4.10	11.80

量最大值为 10.72 g, 最小值为 5.07 g; 出种率最大值为 55.21%, 最小值为 43.42%。

果仁性状: 果仁质量、果仁横径、果仁纵径和出仁率的均值分别为 2.42 g、18.15 mm、15.10 mm、34.72%, 果仁质量变异系数为 17.83%; 果仁质量最大值为 3.70 g, 最小值为 1.81 g; 果仁横径最大值为 20.73 mm, 最小值为 16.58 mm; 果仁纵径最大值为 18.00 mm, 最小值为 13.16 mm; 出仁率最大值为 43.67%, 最小值为 24.37%。

### 2.2 主要性状的相关分析

对 45 份澳洲坚果种质资源 12 个主要果实性状进行相关性分析, 结果(表 3)表明, 鲜果质量与鲜果横径、鲜果纵径、壳果质量、壳果横径、壳果纵径、壳

果干质量、果仁质量、果仁横径、果仁纵径呈极显著正相关, 与出种率呈显著负相关; 壳果质量与壳果横径、壳果纵径、壳果干质量、果仁质量、果仁横径、果仁纵径呈极显著正相关, 与出仁率呈显著负相关。壳果干质量与果仁质量、果仁横径、果仁纵径呈极显著正相关, 与出仁率呈显著负相关; 果仁质量与果仁横径、果仁纵径、出仁率呈极显著正相关。衡量澳洲坚果产量是以鲜果质量、壳果质量、果仁质量为标准, 三者相互间呈极显著相关; 说明鲜果质量的增加利于壳果质量的增加; 壳果质量的增加也有利于果仁重量的增加, 随着果仁质量的增加有利于果实产量的提高, 这与谭秋锦等<sup>[1]</sup>对澳洲坚果的研究相一致。由此说明, 澳洲坚果各农艺性状之间相互影响、

表 3 澳洲坚果种质资源性状相关分析

Table 3 The correlation analysis among major agronomic traits in macadamia

	鲜果质量 Fresh weight of single NIH	鲜果横径 Transverse diameter of NIH	鲜果纵径 Vertical diameter of NIH	壳果质量 Fresh weight of single NIS	壳果横径 Transverse diameter of NIS	壳果纵径 Vertical diameter of NIS	出种率 Seed percent- age	壳果 干质量 Weight of NIS	果仁 质量 Single kernel weight	果仁 横径 Transverse diameter of kernel	果仁 纵径 Vertical diameter of kernel	出仁 率 Kernel yield
鲜果质量 Fresh weight of single NIH	1											
鲜果横径 Transverse diameter of NIH	0.740**	1										
鲜果纵径 Vertical diameter of NIH	0.507**	0.747**	1									
壳果质量 Fresh weight of single NIS	0.910**	0.598**	0.304*	1								
壳果横径 Transverse diameter of NIS	0.714**	0.587**	0.137	0.792**	1							
壳果纵径 Vertical diameter of NIS	0.744**	0.468**	0.228	0.743**	0.842**	1						
出种率 Seed percentage	-0.334*	-0.305*	-0.410**	0.047	0.055	-0.122	1					
壳果干质量 Weight of NIS	0.856**	0.578**	0.285	0.900**	0.726**	0.731**	-0.039	1				
果仁质量 Single kernel weight	0.643**	0.380*	0.121	0.662**	0.622**	0.637**	-0.090	0.735**	1			
果仁横径 Transverse diameter of kernel	0.564**	0.447**	0.310*	0.575**	0.346*	0.318*	-0.071	0.582**	0.685**	1		
果仁纵径 Vertical diameter of kernel	0.618**	0.378*	0.406**	0.623**	0.318*	0.403**	-0.021	0.608**	0.631**	0.663**	1	
出仁率 Kernel yield	-0.271	-0.250	-0.189	-0.310*	-0.147	-0.124	-0.085	-0.332*	0.385**	0.178	0.102	1

注: \*表示在 0.05 水平(双尾)相关性显著, \*\*表示在 0.01 水平(双尾)相关性极显著。

Note: \* and \*\* denote significant difference at 0.05 and 0.01 level (double tail), respectively.

相互制约,如果简单考虑某一性状的提高,会造成其他因素的下降,从而影响产量提高,这与前人<sup>[12]</sup>的研究结果相一致。因此,在育种工作中,特别是性状选择时,应充分考虑性状间的相互制约,只有各性状相互协调,才能选育出高产品种。

### 2.3 澳洲坚果种质资源表现型性状多样性主成分分析

对45份澳洲坚果种质资源的果实性状进行主成分分析,提取特征值大于1的主成分,前3特征值的累计贡献率达79.55%,包含了果实性状的绝大部分信息。从表4可知,第1主成分的特征值为6.28,相应的贡献率为52.36%,第1主成分中鲜果质量特征向量值正值最大(0.95),说明鲜果质量对第1主成分影响最大,其次是壳果质量(0.93)、壳果(烘干)(0.92)、壳果横径(0.80)、壳果纵径(0.80),主要反映了澳洲坚果种质资源果实大小与形状。第2主成分的特征值为1.71,相应的贡献率为14.25%,第2主成分中出仁率特征向量值正值最大(0.66),其次是鲜果纵径(-0.62)、果仁质量(0.52),因此第2主成分为果仁因子。第3主成分的特征值为1.55,相应的贡献率为12.94%,第3主成分中同样是出仁率特征向量值为正值最大(0.63),其次是出种率(-0.59),反映了果实出仁率影响着出种率。

表4 澳洲坚果种质资源性状的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of major agronomic traits in macadamia

性状 Trait	因子1 Factor 1	因子2 Factor 2	因子3 Factor 3
鲜果质量 Fresh weight of single NIH	0.95	-0.18	0.00
鲜果横径 Transverse diameter of NIH	0.75	-0.46	0.15
鲜果纵径 Vertical diameter of NIH	0.49	-0.62	0.44
壳果质量 Fresh weight of single NIS	0.93	0.05	-0.27
壳果横径 Transverse diameter of NIS	0.80	0.11	-0.38
壳果纵径 Vertical diameter of NIS	0.80	0.07	-0.26
出种率 Seed percentage	-0.17	0.46	-0.59
壳果干重 Weight of NIS(baked)	0.92	0.05	-0.22
果仁质量 Single kernel weight	0.78	0.52	0.21
果仁横径 Transverse diameter of kernel	0.68	0.30	0.37
果仁纵径 Vertical diameter of kernel	0.70	0.23	0.30
出仁率 Kernel yield	-0.16	0.66	0.63
特征值 Characteristic value	6.28	1.71	1.55
贡献率 Contributions rate	52.36	14.25	12.94
累计贡献率 Accumulative contributions rate	52.36	66.61	79.55

### 2.4 主要性状聚类分析

选取12个主要果实性状指标,利用SPSS软件将45份澳洲坚果种质资源进行系统聚类(图1)。品种特异性的判定是至少有1个性状明显不同于已知的近似品种,即可认为其具有特异性<sup>[13]</sup>。由图1可知,45个澳洲坚果种质可以聚为三大类,第一类包括1份种质:B3;第二类包括18份种质:A16、B5、OV、203、OC、788、南亚116、实生树、294、A38、南亚1号、B1、246、900、NG18、JW、皇家大果、B3、A4;第三类包括26份种质:849、819、695、660、783、D、H2、Yonik、814、DAD、B4、B3/74、842、741、南亚2号、B7、344、nelmarkd、800、特殊种(special)、948、951、906、508、‘广西1号’‘桂热1号’。

由表5可知,三类种质中第一类果实较大,鲜果半球形,果仁接近球形,鲜果产量高,壳果质量最大,但出种率和出仁率比较低;第二类果实中等,鲜果为卵圆形,壳果接近圆形,鲜果质量和壳果质量均匀,出种率和出仁率均等。第三类果实较小,鲜果、壳果和果仁质量较轻,但出种率和出仁率最高。从地理来源上看,类群I知,来自中国的选育种质。类群II的18份种质中,有9份种质来源于澳大利亚,6份来源于中国,2份来源于美国,1份来源于越南。类群III的26份种质中,19份来源于中国,3份来源于越南,2份来源于美国,澳大利亚和南非各1份。类群I是国内的选育种;类群II主要是比较早期的国外品种,引种国内后部分形状改变或改良,代表的是A16、OC;类群III主要是国外引种后,实生选育,比较有代表的是‘桂热1号’,目前的主栽品种。

由图1可知,来源不同的澳洲坚果种质在同一簇群中是相互交织在一起的,并未按照来源地域区分开来,这暗示澳洲坚果种质间的亲缘关系与其地理来源可能并无显著相关性<sup>[14]</sup>。当然这也可能是由于地理环境的改变导致的表型差异。进一步结合SNP、SSR等分子标记研究可以更准确地探索澳洲坚果种质间的亲缘关系。

## 3 讨 论

表型性状变异系数反映了某一性状数据的离散程度,变异系数越大说明对环境适应性越强,变异系数小则说明性状相对稳定,遗传稳定性较好<sup>[15-16]</sup>。本研究通过对来源不同的45份澳洲坚果种质材料的12个果实产量相关性状进行调查分析,发现有6

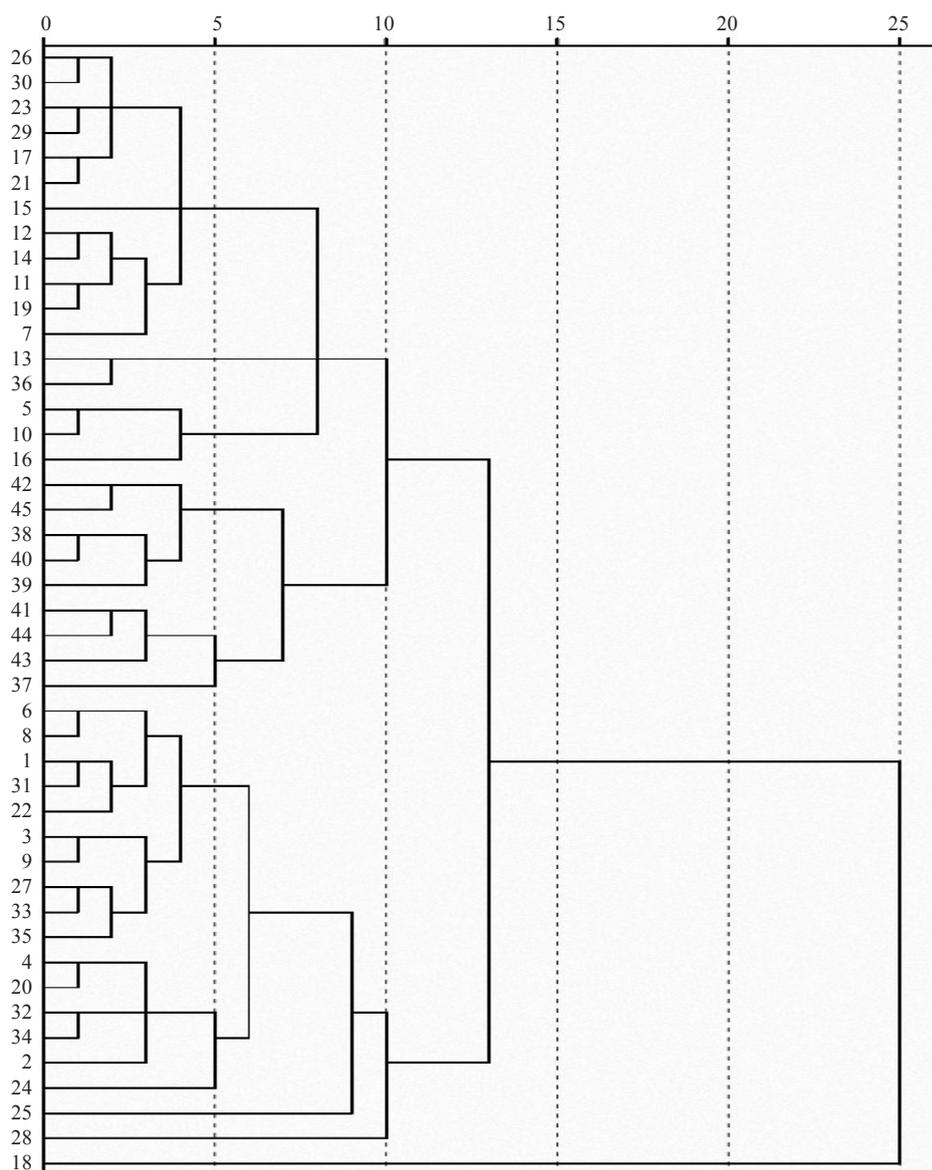


图 1 澳洲坚果种质资源聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis in macadamia germplasm resources map

表 5 不同类群 12 个性状的平均数

Table 5 The average of 12 character in different clusters

类群 Group	鲜果质量 Fresh weight of single NIH/g	鲜果横径/鲜果纵径 Transverse diameter of NIH/vertical diameter of NIH	壳果质量 Fresh weight of single NIS/g	壳果横径/壳果纵径 Transverse diameter of NIS/vertical diameter of NIS	出种率 Seed percentage/%	壳果干质量 Weight of NIS/g	果仁质量 Single kernel weight/g	果仁横径/果仁纵径 Transverse diameter of kernel/vertical diameter of kernel	出仁率 Kernel yield/%
I	27.83	0.76	12.65	0.95	45.45	9.89	2.41	1.09	24.37
II	22.38	0.81	10.66	0.99	47.61	7.54	2.62	1.19	34.81
III	17.98	0.89	9.06	1.00	49.99	6.54	2.29	1.21	35.06

个性状的变异系数都大于 10%，说明澳洲坚果果实产量具有丰富的变异度。贺熙勇等<sup>[4]</sup>分析结果表明，鲜果质量、果仁质量和出仁率的变异系数分别为 15.8%、26.1% 和 16.2%。杨为海等<sup>[12]</sup>研究中的鲜

果质量、壳果质量、果仁质量和出仁率的变异系数分别为 20.39%、24.06%、18.67% 和 10.64%。杜丽清等<sup>[17]</sup>研究发现，鲜果的变异系数最大，为 20.70%，果仁质量的变异系数为 19.25%。从总体上看，本研究

结论与前人研究较为一致<sup>[18]</sup>,均表明澳洲坚果种质资源表型性状的变异程度较高。

相关分析显示,鲜果、壳果和果仁质量三者质量与其他 9 个性状之间互呈极显著或显著正相关,说明这些性状在三者之间存在着明显的相互促进关系;同时,出仁率和壳果、果仁质量的性状均呈显著或极显著相关,表明两者的质量与大小同出仁率关系密切,而出种率与出仁率的相关性不显著;这与杨为海等<sup>[12]</sup>的研究结果一致,也从侧面说明出仁率不受两者质量与大小的影响。因此,在澳洲坚果新品种选育时,不仅要注重果实大小,还应结合果壳厚度、出种率和出仁率等有关性状,选育出具有果大、果壳薄、出种率和出仁率高等特点的优良新品种。

澳洲坚果果实产量包含的相关性状个数较多,这些性状既有数量性状又有质量性状,且各性状之间又相互关联,使得育种工作难度加大<sup>[19]</sup>。主成分分析将较多的变量综合为少数几个公共因子,从而减少数据维度,以减少评价工作量。谭秋锦等<sup>[11]</sup>将 11 个澳洲坚果果实性状归纳为 4 个主成分,累计贡献率为 95.94%。宫丽丹等<sup>[20]</sup>将澳洲坚果的 22 个品质性状综合成为 3 个主成分,且这 3 个主成分构成的信息可解释总信息量的 94.56%。本研究将 12 个果实性状归纳为 3 个主成分,累计贡献率达 79.55%。这 12 个果实性状与澳洲坚果的果实产量密切相关,在第 1 主成分中,除出种率和出仁率外,其他各性状的载荷全部为正。因此在对澳洲坚果某个果实产量性状进行研究时,要综合考虑这 12 个性状间的相互作用。

聚类分析是将一个总体内的各个元素,根据它们之间的相近程度进行分类<sup>[21-22]</sup>。谭秋锦等<sup>[9]</sup>基于果实性状的聚类分析,将供试材料分为 2 个类群。I 类包含 4 个种质,主要表现为带果皮鲜粒质量,带果皮、带壳果和果仁均较大,果壳厚,一级果仁率高;II 类共有 6 份种质,其特点主要是出仁率稍微比 II 类高。贺熙勇等<sup>[4]</sup>根据成熟叶、果实、种子、花序和小花等 41 个形态性状,采用 R 系统聚类法将 64 份澳洲坚果种质材料分为 2 类,分别为近缘种和栽培种。杨为海等<sup>[12]</sup>基于 16 个表型性状,将供试澳洲坚果在欧氏距离 25 时聚为 4 类,第 I 类为果大、壳厚和一级果仁率高的种质,第 II 类为果柄长、壳薄的种质,第 III 类为出仁率和一级果仁率低的种质,第 IV 类为果小、果柄短、出仁率高的种质。基于表型数据的

SPSS 聚类结果与贺熙勇等<sup>[4]</sup>、杨为海等<sup>[12]</sup>的研究结果类似,若要取得更为理想的聚类分析结果,应在严格控制试验环境条件的基础上,结合分子标记等先进技术,对试验进行更加系统的研究,了解种质间丰富的形态多样性,进而更好地为澳洲坚果的新品种选育及遗传改良提供理论依据。

## 4 结 论

澳洲坚果种质间果实表型性状差异较大,存在丰富的遗传多样性,主要影响产量性状的是鲜果质量、壳果质量和果仁质量。聚类分析结果表明,选择育种材料时,优先类群 III:壳果质量、出种率和出仁率高。

## 参考文献 References:

- [1] 谭秋锦,王文林,何铄扬,覃振师,郑树芳,陈海生,许鹏. 土壤养分对澳洲坚果果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2017, 35(3): 219-223.  
TAN Qiujin, WANG Wenlin, HE Xianyang, QIN Zhenshi, ZHENG Shufang, CHEN Haisheng, XU Peng. Effects of soil nutrients on nut qualities in *Macadamia integrifolia*[J]. Economic Forest Researches, 2017, 35(3): 219-223.
- [2] 贺熙勇,陶亮,柳颀,倪书邦. 我国澳洲坚果产业概况及发展趋势[J]. 热带农业科技, 2015, 38(3): 4-10.  
HE Xiyong, TAO Liang, LIU Jin, NI Shubang. Yunnan institute of tropical crops[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2015, 38(3): 4-10.
- [3] 李志强,贺熙勇,吴超,耿建建. 分子标记在澳洲坚果研究中的应用[J]. 热带农业科技, 2018, 41(2): 46-49.  
LI Zhiqiang, HE Xiyong, WU Chao, GENG Jianjian. Application of molecular marker techniques in macadamia research[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2018, 41(2): 46-49.
- [4] 贺熙勇,倪书邦,陈国云,魏丽萍,肖晓明,陶丽. 澳洲坚果种质资源形态性状的遗传多样性分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 206-215.  
HE Xiyong, NI Shubang, CHEN Guoyun, WEI Liping, XIAO Xiaoming, TAO Li. Morphological characteristics analysis on genetic diversity of macadamia(*Macadamia* spp.)germplasm resources[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(3): 206-215.
- [5] 张汉周,王维,杨为海,曾辉,邹明宏,陆超忠,万继锋. 21 份澳洲坚果种质开花结果物候期的变异分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(11): 2039-2043.  
ZHANG Hanzhou, WANG Wei, YANG Weihai, ZENG Hui, ZOU Minghong, LU Chaozhong, WAN Jifeng. Variation analysis of blooming and fruiting phenophase of *Macadamia* spp. germplasm resources[J]. Chinese Journal of Tropical Crops,

- 2015,36(11): 2039-2043.
- [6] DOMINGO R M J, GUTIERREZ M A, RAMIREZ V P, RODRIGUEZ A J. Descriptors for *macadamia* (*Macadamia* spp.) [J]. *Acta Horticulturae*, 2004, 634: 203-208.
- [7] PEACE C P, ALLAN P, VITHANAGE V, TURNBULL C N, CARROLL B J. Genetic relationships amongst *Macadamia* varieties grown in South Africa as assessed by RAF markers[J]. *South African Journal of Plant and Soil*, 2005, 22(2): 71-75.
- [8] 郭凌飞, 邹明宏, 杜丽清, 曾辉, 陆超忠, 刘晓静. 利用 ISSR 分析澳洲坚果的亲缘关系[J]. *园艺学报*, 2011, 38(9): 1741-1746.
- GUO Lingfei, ZOU Minghong, DU Liqing, ZENG Hui, LU Chaozhong, LIU Xiaojing. Analysis on genetic relations of macadamia by ISSR markers[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(9): 1741-1746.
- [9] 谭秋锦, 覃振师, 郑树芳, 王文林. 桂西南 10 种澳洲坚果果实数量性状的研究[J]. *中国热带农业*, 2015(2): 54-58.
- TAN Qiujin, QIN Zhenshi, ZHENG Shufang, WANG Wenlin. Ten fruit quantitative characters of various macadamia germplasm of southwest Guangxi[J]. *China Tropical Agriculture*, 2015(2): 54-58.
- [10] 蔡元保, 杨祥燕, 陈显国, 曾黎明, 郭凌飞, 林玉虹, 崔明勇. 澳洲坚果 SCoT 反应体系的建立及应用[J]. *热带亚热带植物学报*, 2013, 21(3): 253-258.
- CAI Yuanbao, YANG Xiangyan, CHEN Xianguo, ZENG Liming, GUO Lingfei, LIN Yuhong, CUI Mingyong. Establishment and application of SCoT amplification system for macadamia[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2013, 21(3): 253-258.
- [11] 谭秋锦, 许鹏, 宋海云, 黄锡云, 汤秀华. 澳洲坚果主要农艺性状相关分析及产量因素的通径分析[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(22): 84-88.
- TAN Qiujin, XU Peng, SONG Haiyun, HUANG Xiyun, TANG Xiuhua. Correlation analysis of main agronomic traits and path analysis of yield factor in *Macadamia integrifolia*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(22): 84-88.
- [12] 杨为海, 王维, 曾辉, 邹明宏, 罗炼芳, 张汉周, 陆超忠. 澳洲坚果不同种质果实数量性状的研究[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(8): 1434-1438.
- YANG Weihai, WANG Wei, ZENG Hui, ZOU Minghong, LU Lianfang, ZHANG Hanzhou, LU Chaozhong. Fruit quantitative characters of various macadamia germplasm[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(8): 1434-1438.
- [13] 郜战宁, 冯辉, 薛正刚, 杨永乾, 王树杰, 潘正茂. 28 个大麦品种(系)主要农艺性状分析[J]. *作物杂志*, 2018(1): 77-82.
- GAO Zhanning, FENG Hui, XUE Zhenggang, YANG Yongqian, WANG Shujie, PAN Zhengmao. Analysis of main agronomic traits of 28 barley varieties(Lines)[J]. *Crops*, 2018(1): 77-82.
- [14] 李清, 郭禄芹, 方晓霞, 胡倩梅, 杨世超, 刘东明, 杨路明, 马长生. 100 份西瓜种质果实品质相关性状的遗传多样性分析[J]. *中国瓜菜*, 2019, 32(1): 12-17.
- LI Qing, GUO Lujin, FANG Xiaoxia, HU Qianmei, YANG Shichao, LIU Dongming, YANG Luming, MA Changsheng. Genetic diversity analysis of fruit related traits of 100 watermelon germplasm[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2019, 32(1): 12-17.
- [15] 王庆军, 马丽, 郝兆祥, 罗华, 毕润霞, 赵丽娜, 侯乐峰. 观赏石榴种质资源遗传多样性的 ISSR 分析[J]. *浙江农业学报*, 2018, 30(2): 236-241.
- WANG Qingjun, MA Li, HAO Zhaoxiang, LUO Hua, BI Runxia, ZHAO Lina, HOU Lefeng. Analysis on germplasm genetic diversity of ornamental pomegranate (*Punica granatum* L.) by ISSR markers[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(2): 236-241.
- [16] 邓凤彬, 罗立新, 虎海防, 欧阳叶青, 袁雨婷, 张锐. 新疆野核桃坚果表型性状多样性分析[J]. *果树学报*, 2018, 35(3): 275-284.
- DENG Fengbin, LUO Lixin, HU Haifang, OUYANG Yeqing, YUAN Yuting, ZHANG Rui. Analysis of phenotypic diversity of nuts in wild walnut (*Juglans cathayensis* Dode) in Xinjiang [J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(3): 275-284.
- [17] 杜丽清, 曾辉, 邹明宏, 陆超忠, 罗炼芳. 澳洲坚果种质资源果实性状的评价指标[J]. *热带作物学报*, 2006, 27(4): 14-18.
- DU Liqing, ZENG Hui, ZOU Minghong, LU Chaozhong, LUO Lianfang. Evaluation criteria for some fruit quantitative characters of macadamia (*Macadamia integrifolia*) germplasm[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2006, 27(4): 14-18.
- [18] HARDNER C, WINKS C, STEPHENSON R, GALLAGHER E. Genetic parameters for nut and kernel traits in *macadamia*[J]. *Euphytica*, 2001, 117(2): 151-161.
- [19] 赵亚楠, 欧春青, 王斐, 张艳杰, 马力, 姜淑苓. 梨 F<sub>1</sub> 代群体果实性状的遗传分析及相关性研究[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(12): 1811-1818.
- ZHAO Yanan, OU Chunqing, WANG Fei, ZHANG Yanjie, MA Li, JIANG Shuling. Genetic analysis and correlation study on pear fruit characteristics in F<sub>1</sub> generation[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(12): 1811-1818.
- [20] 宫丽丹, 倪书邦, 马静, 贺熙勇. 不同来源澳洲坚果种质品质性状多样性分析[J]. *中国南方果树*, 2019, 48(1): 32-35.
- GONG Lidan, NING Shubang, MA Jing, HE Xiyong. Analysis of quality traits diversity of macadamia nuts from different sources[J]. *South China Fruits*, 2019, 48(1): 32-35.
- [21] 王斌, 赵利, 王利民, 张建平, 谢亚萍, 赵玮. 胡麻种质资源主要品质性状的分析与评价[J]. *中国油料作物学报*, 2018, 40(6): 785-792.
- WANG Bin, ZHAO Li, WANG Limin, ZHANG Jianping, XIE Yaping, ZHAO Wei. Main quality traits analysis and evaluation of oil flax germplasm[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2018, 40(6): 785-792.
- [22] 宋慧, 任锡亮, 张香琴. 芥菜种质资源分子聚类分析[J]. *浙江农业科学*, 2019(2): 226-228.
- SONG Hui, REN Xiliang, ZHANG Xiangqin. Molecular cluster analysis of mustard germplasm resources[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019(2): 226-228.