

广州地区澳洲坚果种质开花物候期观测分析*

刘 姚 张金云 杨 光 宋 杰 阳桂芳 吴世军

(广东生态工程职业学院 园艺与食品学院, 广东 广州 510520)

摘要 系统观测 12 份澳洲坚果 *Macadamia* spp. 种质的开花物候期, 分析其开花物候期的变异规律, 并根据物候变异划分物候类型。结果表明: 不同种质的开花物候期存在不同程度的变异, 变异系数为 6.73%~38.07%。进入花芽萌动期、花序抽生期、开花期、谢花期的时间差分别为 32、24、23、14 d。所调查的种质花序开放顺序是从花序基部先开始, 向顶端依次开放。不同种质的开花批次、花序长度、花朵颜色、花多数量存在不同程度的差异。通过聚类分析可将 12 份澳洲坚果种质分为 4 类, 主成分分析第一主成分、第二主成分累计贡献率为 71.199%。

关键词 澳洲坚果; 种质; 开花生物学特性; 物候期; 广州地区

中图分类号: S 664.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053(2023)02-0103-05

Observational Analysis on Blooming Phenophase of *Macadamia* spp. Germplasm in Guangzhou Area

LIU Yao ZHANG Jinyun YANG Guang SONG Jie
YANG Guifang WU Shijun

(Guangdong Eco-engineering Polytechnic, School of Gardening and Food, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract The blooming Phenophase of 12 *Macadamia* spp. was systematically observed, the variation of the blooming phenological period was analyzed, and the phenological types were divided according to the phenological variation. The results showed that there were different degrees of variation in blooming Phenophase of different germplasm, and the coefficient of variation was 6.73%-38.07%. The time difference between entering the flower bud sprouting stage, inflorescence sprouting stage, flowering stage, and deflorating stage was 32, 24, 23, and 14 days respectively. The inflorescence opening sequence of the investigated germplasm was from the base of the inflorescence to the top. There were different degrees of variation in flowering batch, inflorescence length, flower color, and number of flowers in different germplasm. Twelve *Macadamia* spp. germplasm could be classified into four categories by cluster analysis. The cumulative contribution rate of the first and second principal components of principal component analysis is 71.199%.

Key words *Macadamia* spp.; germplasm; flowering biology characteristics; phenophase; Guangzhou area

* 基金项目: 2021 年省级农业科技创新推广及农业资源与生态环境保护建设项目“澳洲坚果全产业链深度研发”。

第一作者: 刘姚 (1988—), 女, 讲师, 主要从事林果精深加工等研究, E-mail: 793932860@qq.com。

通信作者: 吴世军 (1984—), 男, 副教授, 主要从事林木遗传育种研究, E-mail: 626535349@qq.com。

澳洲坚果 *Macadamia* spp. 又名夏威夷果、澳洲胡桃、昆士兰栗等, 属于山龙眼科, 天然分布于澳大利亚昆士兰州南部和新南威尔士州北部的沿海亚热带雨林地区。澳洲坚果果仁营养价值高, 风味独特, 富含脂肪、蛋白质、碳水化合物、钙、磷、B 族维生素等多种营养素, 脂肪含量高达 80%, 其中不饱和脂肪酸达 75%。经常食用有降低胆固醇、改善血液循环、增强记忆力等诸多作用, 享有“干果皇后”、“干果之王”的美称, 因此备受消费者青睐^[1-3]。澳洲坚果人工栽培历史已有 160 余年。澳洲坚果作为一种新兴的高档坚果类果树, 已被广泛关注, 越来越多的国家和地区开始引种试种。20 世纪 70 年代末, 中国才开始引种试种, 主要种植区域分布在云南省、广西壮族自治区、贵州省和广东省^[4], 种植面积已达 26 万 hm^2 , 中国已成为世界上澳洲坚果种植面积最大的国家, 占全球种植面积的 70% 左右。

不同的光照、温度、水分、土壤性质等立地条件差异, 使得澳洲坚果品种适应性、开花物候期、结果物候期、产量、果实品质等都出现较大差异^[5]。对澳洲坚果的物候期研究是其种质研究与利用的基础性工作, 国内已有研究者对广东湛江地区、贵州南亚热区的澳洲坚果开花结果物候期进行了详细报道。有研究者利用叶片和果实的形态特征, 对云南省收集保存的种种资源进行鉴别分类, 所调查的种质为 40 份^[6-7]。还有研究者通过对贵州热带地区及南亚热带地区的澳洲坚果区域适应性栽培、结果物候期、植株形状、果实形状、幼树壳果产量和种仁产量进行了详细比较, 为贵州省澳洲坚果推广种植提供了科学依据^[8-9]。为筛选出适合广西合山市种植的澳洲坚果品种, 有研究者通过对澳洲坚果的花穗长度、小花数量、小花座果率、小花成果率和产量等性状进行了观测和分析, 为合山市的澳洲坚果种植推广奠定基础^[10]。另外, 有研究者对广东湛江地区的澳洲坚果种质的开花结果物候期、花序性状、开花习性、花粉活力、果实形态特征、品质特性等方面进行了详细研究^[11]。针对广东广州地区澳洲坚果开花物候期的观察还鲜见报道。

本研究以广州地区 12 份澳洲坚果种质为研究对象, 对其开花物候期及开花生物学特性进行了系统观测, 分析其开花物候期的变异规律, 并基于此通过聚类分析和主成分分析方法对其开花物

候期进行划分, 以期在广州澳洲坚果的种质鉴定和选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以广东生态工程职业学院澳洲坚果资源圃内的 12 份种质为研究对象, 其中 OC、H2、JW、788、922、334、695 为从澳大利亚、美国引进的适应我国气候和土壤特点的优良品种, 桂热 1 号、南亚 1 号、南亚 2 号、南亚 3 号、南亚 12 号、为中国热带农业科学院南亚热带作物研究所自选品种。所有种质均为嫁接成年树, 树龄 5~6 年, 常规管理。

1.2 试验地概况

试验地设置在广东省广州市天河区广东生态工程职业学院澳洲坚果资源圃内, 东经 $113^{\circ}24'$ 、北纬 $23^{\circ}11'$, 平均海拔 11 m, 属于亚热带季风气候, 2021 年 1—3 月的平均气温分别为 $9.5\sim 19.7^{\circ}\text{C}$ 、 $13.7\sim 24.3^{\circ}\text{C}$ 、 $17.8\sim 25.5^{\circ}\text{C}$ 。土壤为砂质壤土, 其渗水速度快, 保水性能差, 通气性能良好, 适合澳洲坚果生长。试验调查在 2021 年 1—3 月进行。

1.3 试验方法

采用完全随机区设计, 3 次重复, 每个小区个选择 3 株生长正常、长势良好、无病虫害的成年植株为观测对象, 于 2021 年定株观测各种种质的花期和结果期。开花物候期观测方法参照《澳洲坚果种植资源描述规范和数据标准》和农业行业标准《澳洲坚果种质资源鉴定技术规范》。

1.3.1 开花物候期观测 参照《澳洲坚果种质资源描述规范和数据标准》^[12] 连续观察、记录开花物候期。初花期: 植株 5%~25% 的花朵开放; 盛花期: 植株 25%~75% 的花朵开放; 末花期: 植株 75% 以上的花朵已开放至全株开花结束; 谢花期: 植株 5%~95% 花朵正常脱落花瓣。

1.3.2 花序性状与开花习性观测 于盛花期, 每株树按东、南、西、北 4 个方位, 在树冠外围的中上部随机标记 20 个已正常发育成熟且即将开花的花序, 参照文献^[11], 结合种质圃内澳洲坚果生长的实际情况, 采用测量法或目测法对花序长度、花序开放顺序及花朵的颜色、数量进行观测, 计算花朵密度(每厘米花序长度上所着生的花朵数量)。以植株完成花穗生长、花序开放和谢花为一次完整的开花历程, 参照 NY/T 1687-2009《澳洲

坚果种质资源鉴定技术规范》^[13]，间隔一定时期观测澳洲坚果种质是否存在多批次开花的现象。

1.4 数据分析

以1月10日的物候期观察数据为基准(0)对其他物候期数据进行换算后，利用IBM SPSS Statistics 21.0 软件进行聚类分析和主成分分析。聚类分析方法为系统聚类组间连接法，采用欧式平方距离绘制聚类结果树状图。

2 结果与分析

2.1 开花物候期的变异分析

由表1可看出，澳洲坚果不同种质间开花物

候期存在明显差异。花芽萌动期在1月初至2月中旬，持续时间为3~8 d；花芽萌动期最早的是南亚一号，其次是695；花芽萌动期最晚的是H2、南亚3号、南亚12号和南亚116号，其次是OC。其余均在2月上旬开始萌动，最早和最晚相差32 d。花序抽生期多数在2月下旬开始，到3月上旬结束，多数持续时间一周时间；南亚2号和OC花序抽生期最晚，分别是3月1日和3月4日开始，持续时间分别为6 d和7 d，最早和最晚相差24 d。所观察种质开花期集中在3月上旬，除南亚1号和H2外，南亚1号的开花期从2月22日至2月27日，H2的开花期从3月16日至3月20日，开

表 1 16 份澳洲坚果种质开花物候期观测及变异分析
Table1 The variation analysis of blooming phenology of 16 *Macadamia* strains

序号 Serial No.	种质 Germplasm resources	花芽萌动期 Flower bud germination stage	花序抽生期 Inflorescence pumping stage	开花期 Flowering stage	谢花期 Withering florescence
1	桂热 1 号	02-04/02-11	02-27/03-03	03-02/03-05	03-19/03-23
2	JW	02-01/02-08	02-25/03-01	03-02/03-06	03-21/03-25
3	OC	02-10/02-17	03-04/03-11	03-08/03-12	03-23/03-28
4	H2	02-11/02-17	03-14/03-22	03-16/03-20	03-22/03-29
5	南亚 1 号	01-10/02-10	02-20/02-25	02-22/02-27	03-09/03-14
6	南亚 2 号	02-05/02-12	03-01/03-07	03-08/03-12	03-21/03-25
7	南亚 3 号	02-11/02-17	02-25/02-29	03-01/03-05	03-12/03-15
8	南亚 12 号	02-11/02-14	02-22/03-02	03-02/03-05	03-14/03-19
9	695	01-25/02-02	02-21/02-27	02-28/03-01	03-13/03-18
10	788	02-02/02-10	02-26/03-04	03-05/03-07	03-15/03-21
11	922	02-07/02-13	02-18/02-27	02-28/03-02	03-15/03-20
12	334	02-02/02-10	02-18/03-02	03-03/03-06	03-15/03-20
极差 /d		32	24	23	14
变异系数 CV/%		38.07	14.62	10.94	6.73

花期持续 4~5 d，最早和最晚相差 24 d。另外谢花期集中在3月中下旬，持续时间3~7 d，南亚1号的谢花期在3月9日至3月14日，比其他品种早7 d左右，最早和最晚相差14 d。

各种质间开花物候差异，从变异系数来看，花芽萌动期差异较大，变异系数为38.07%，谢花期差异较小，变异系数为6.73%。

2.2 开花动态调查结果

对澳洲坚果种质的开花动态进行观测，如表2

所示，H2和695资源存在多批次开花现象，所调查的种质花序开放顺序是从花序基部先开始，向顶端依次开放。

2.3 花序形状调查结果

澳洲坚果花序上花朵颜色可以分为乳白色、淡黄色、淡粉色和粉红色4种。桂热1号和JW种质的花朵为乳白色，占比16.7%，695种质的花朵为粉红色，占比8.3%，其余种质的颜色为淡黄色，占比75%。OC种质的花序长度为19 cm，另外还

表 2 澳洲坚果种质开花生物学性状观测
Table 2 The blooming biological characters of *Macadamia* germplasm

性状 Character	描述 Describe	种质 Germplasm resources	份数 Quantity	比例 / % Proportion
多批次开花 Multi-batch flowering	有	H2、695	2	16.7
	无	桂热 1 号、JW、OC、南亚 1、南亚 2、南亚 3、南亚 12、788、922、334	10	83.3
花朵开放顺序 Flower opening order	自花序轴基部向顶端依次开放	桂热 1 号、JW、OC、南亚 1、南亚 2、南亚 3、南亚 12、788、922、334、H2、695	12	100
花朵颜色 Flower color	乳白色	桂热 1 号、JW	2	16.7
	淡黄色	OC、H2、南亚 1、南亚 2、南亚 3、南亚 12、788、922、334	9	75
	粉红色	695	1	8.3
花序长度 / cm Inflorescence length	< 20	OC、南亚 2、南亚 12、695、788、922、334	7	58.3
	> 20	桂热 1 号、JW、H2、南亚 1、南亚 3	5	41.7
	150~200	桂热 1 号、JW	2	16.7
花朵数量 / 朵 Flowers/number	> 200	OC、H2、南亚 1、南亚 2、南亚 3、南亚 12、788、922、334、695	10	83.3

有南亚 2、南亚 12、695、788、922、334 种质的花序小于 20 cm，占比 58.3%；其他种质的花序大于 20 cm，占比 41.7%，其中 JW 的花序最长，为 29 cm。在供试的澳洲坚果种质中，所有种质花序上的花朵数量均大于 150 朵，其中大于 200 朵的种质包括：OC、H2、南亚 1、南亚 2、南亚 3、南亚 12、788、922、334、695 等 10 个种质，占比 83.3%。

2.4 物候聚类分析

为了进一步分析不同澳洲坚果种质间的关联，以开花物候期为指标，采用组间联接（平方欧式距离）法对 12 种澳洲坚果进行聚类分析。聚类结果如图 1 所示，当距离为 7 时，12 种澳洲坚果种质被分为 4 大类群，分别为早花早谢型、中花早谢、中花晚谢、晚花晚谢 4 种类型。早花早谢型包含南亚 1 号，中花早谢型包含桂热 1 号、JW、OC、南亚 2 号和南亚 3 号，中花晚谢型包含南亚 12 号、695、788、922、334，晚花晚谢型包括 H2。

2.5 物候期的主成分分析

主成分分析结果如表 3 所示，前 2 个主成分累计贡献率达到 71.199%。第一主成分的贡献率为 47.141%，主要为花芽萌动期、开花期、谢花期的开始时间，其特征向量绝对值较大，主要反映了花的生长物候期特点。第 2 主成分的贡献率为

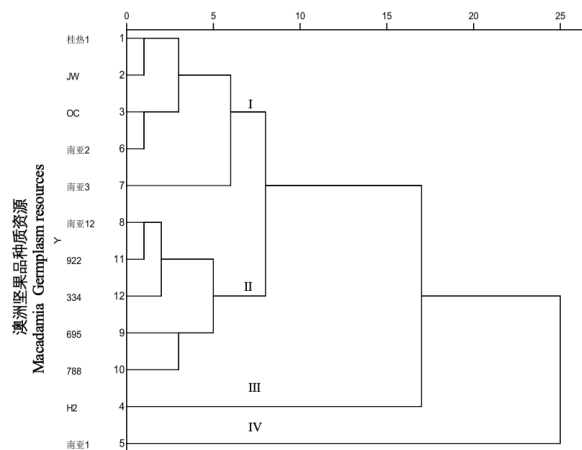


图 1 12 份澳洲坚果种质开花物候期聚类分析
Fig. 1 Dendrogram of blooming phenophases of 12 *Macadamia* germplasm resources

24.058%，开花期持续时间的特征向量绝对值较大。

3 讨论与结论

开花物候不仅与植物类群的系统发生及遗传特性有关，还与纬度、海拔、光照、温度、湿度等环境因素密切相关。种质是作物遗传育种及新品种选育的物质基础，开展澳洲坚果种植物候期的研究，发掘优异种质，对于澳洲坚果的育种具有重大意义。就广州地区 12 份澳洲坚果种质而言，其开花物候期存在一定差异，进入花芽萌动

表 3 主成分的特征向量、特征值和累计贡献率
Table 3 The eigenvector, latent root and accumulative contributor ratio of the principal component

主成分 Principal component	特征向量 Feature vector								特征值 Characteristic value	累计 贡献率 /% Cumulative contribution rate
	花芽萌动期		花序抽生期		开花期		谢花期			
	开始 时间	持续 时间	开始 时间	持续 时间	开始 时间	持续 时间	开始 时间	持续 时间		
第 1 主成分 First principal component	0.805	-0.731	0.778	0.259	0.948	-0.024	0.823	0.582	3.771	47.141
第 2 主成分 Second principal component	-0.189	0.419	0.536	-0.682	0.172	0.838	0.333	-0.344	1.925	71.199

期、花序抽生期、开花期及谢花期的分别相差 32、24、23、14 d，变异系数分别为 38.07%、14.62%、10.92%、6.73%。有 8 个种质在 2 月上旬开始花芽萌动，占比 66.67%；有 9 个种质在 2 月中下旬进入花序抽生期，占比 75%；有 8 个种质在 3 月上旬开始开花，占比 66.67%；3 月中旬基本进入谢花期。同一品种在不同地区表现出不同的物候期，可能是与生长环境等因素有关。

聚类分析将 12 份澳洲坚果种质在欧式距离 7 处划分为四大类，分别为早花早谢型、中花早谢、中花晚谢、晚花晚谢 4 种类型。主成分分析澳洲坚果 4 个物候期及其相应的持续时间，筛选出花芽萌动期、开花期、谢花期和开花期持续时间 4 个物候期，可以大致反映广州地区澳洲坚果开花物候期，累计贡献率达到 71.199%。澳洲坚果开花量非常大，但落花率也非常高，高达 90%^[14-15]，澳洲坚果还具有部分自花授粉不育的特性，杂交授粉可明显提高其座果率^[16]。因此，在澳洲坚果规模化种植过程中，要注重品质的选择及搭配，应选择开花期且持续时间基本一致或相似的品种，以提高杂交授粉率，确保澳洲坚果丰产稳产。

参考文献

[1] STEPHENSON R. Macadamia: Domestication and commercialization [J]. Chronica Horticultura, 2005,45(2): 11-15.
[2] 谭秋锦,韦媛荣,黄锡云,等.10份澳洲坚果种质果实性状

与营养成分分析[J].果树学报,2021,38(5):672-680.
[3] 李兵,侯晨,何波祥,等.澳洲坚果果实结构的microCT无损测定分析[J].林业与环境科学,2021,37(1):7-12.
[4] 王文林,陆超忠,曾辉,等.我国澳洲坚果的研究及发展[J].中国热带农业,2008(3):24-25.
[5] BOYTON S J,HARGNER C M.Phenology of flowering and nut production in meadamia[J].Revista Acta Hortscienze(ISHS),2002,575(43):381-387.
[6] 陈国云,岳海,倪书邦,等.12个澳洲坚果品种在云南西双版纳的表现[J].中国果树,2009(5):38-41.
[7] 贺熙勇,陶丽,倪书邦,等.15个澳洲坚果品种在云南的产量及品质[J].热带作物学报,2009(10):1399-1407.
[8] 康专苗,王代谷,张燕,等.贵州5种澳洲坚果果实品质分析[J].农业研究与应用,2021,34(4):17-24.
[9] 李家兴,杨显波,田大清,等.贵州南亚热区澳洲坚果品种结果形状表现[J].江西农业学报,2015,27(2):45-48.
[10] 陈显国,林玉虹,黄华,等.24个澳洲坚果品种在广西合山市的早期表现[J].热带农业科学,2013(6):11-16.
[11] 张汉周,王维,杨为海,等.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.
[12] 陆超忠,杜丽清.澳洲坚果种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2008.
[13] 邹明宏,陆超忠,梁李宏.澳洲坚果种质资源鉴定技术规范: NY/T 1687-2009[S].北京:中国农业出版社,2009.
[14] ITO P J.Effect of style removal on fruit set inn macadamia[J].Hort Science,1980,15:520-521.
[15] HARDNER C M,PEACE C,LOWE A J.Genetic resources and domestication of macadamia[J].Horticultural Reviews,2009,35:1-125.
[16] WALLACE H M,VITHANAGE V,EXLEY E M.The effect of supplementary,pollination on nut set of macadamia[J].Annals of Botany,1996,78:765-773.