#### Forestry and Environmental Science

## 基于叶片和果实性状的桃金娘天然居群表型多样性分析\*

覃俏梅¹ 彭莉霞¹ 丁 鑫¹ 贺春燕² 孟祥玉¹ 廖柏勇³ 敖家维¹ 杨燕华¹

(1. 广东生态工程职业学院风景园林学院,广东广州 510520; 2. 广东生态工程职业学院林业工程学院,广东广州 510520; 3. 仲恺农业工程学院园艺园林学院,广东广州 510225)

摘要 为了全面且深入地研究桃金娘 Rhodomyrtus tomentosa 天然居群表型多样性,研究对桃金娘自然分布区内 36 个居群的果实和叶片表型性状进行分析,选取桃金娘 15 个表型指标,计算其平均值、标准差、变异系数、表型分化系数、Shannon-Wiener 多样性指数,并完成表型性状的聚类分析。结果表明,桃金娘各性状的平均变异系数为 6.87%~40.83%,胎座宽度、叶长、叶面积和叶周长的平均变异系数较大,均在 15%以上。文山、桂林和雷州居群的表型性状变异系数较大,均在 17%以上。各性状的平均 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.68~2.39,单轮种子数的平均 Shannon-Wiener 多样性指数明显低于其他性状。各居群性状的平均 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.19~2.02,来宾、惠州和汕尾居群的表型性状多样性指数较大。居群间的方差分量占 22.91%,居群内的方差分量占 38.13%,表型分化系数为 0.14~0.83。基于表型性状,桃金娘居群划分为 4 类。惠州、汕尾居群可作为选育大果的优良种质资源,昌江、五指山、温州居群可作为选育可溶性固形物含量高的优良种质资源。

关键词 桃金娘科; 种质资源; 表型变异; 多样性分析; 聚类分析

中图分类号: S722 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2024) 06-0001-09

DOI: 10. 20221/j. cnki. 2096-2053. 202406001

# Phenotypic Diversity Analysis of *Rhodomyrtus tomentosa* Natural Populations Based on Leaf and Fruit Traits

QIN Qiaomei<sup>1</sup> PENG Lixia<sup>1</sup> DING Xin<sup>1</sup> HE Chunyan<sup>2</sup> MENG Xiangyu<sup>1</sup> LIAO Boyong<sup>3</sup> AO Jiawei<sup>1</sup> YANG Yanhua<sup>1</sup>

- (1. School of Landscape Architecture, Guangdong Eco-engineering Polytechnic, Guangzhou, Guangdong 510520, China;
  - 2. School of Forestry Engineering, Guangdong Eco-engineering Polytechnic, Guangzhou, Guangdong 510520, China;
    - 3. College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering,

Guangzhou, Guangdong 510225, China)

Abstract To comprehensively and deeply study the phenotypic diversity of natural populations of *Rhodomyrtus tomentosa*, the phenotypic traits of fruits and leaves of 36 populations in the natural distribution area of *R. tomentosa* were analyzed. Fifteen phenotypic indicators of *R. tomentosa* were selected to calculate the

<sup>\*</sup>基金项目: 广州市科技计划 (202201011461), 广东生态工程职业学院校级科研课题 (2020kykt-xj-zk05), 广东省林业科技创新项目 (2020KJCX011)。

第一作者: 覃俏梅(1991—),女,副教授,主要从事植物资源保护与利用研究,E-mail: qmqin@ foxmail.com。

通信作者: 彭莉霞 (1980— ), 女, 副教授, 主要从事园林教学和研究, E-mail: gongzai28@ 163. com。

mean values, standard deviations, coefficients of variation, phenotypic differentiation coefficients, and Shannon-Wiener diversity indices, and the cluster analysis of phenotypic traits was conducted. The results showed that the average coefficient of variation for each trait ranged from 6.87% to 40.83%. Notably, the placenta width, leaf length, leaf area, and leaf perimeter exhibited higher average coefficients of variation, all exceeding 15%. The phenotypic trait variation coefficients for the populations in Wenshan, Guilin, and Leizhou were relatively high, all exceeding 17%. The average Shannon-Wiener diversity index for each trait ranged from 0.68 to 2.39, with the average Shannon-Wiener diversity index for the number of seeds per whorl being significantly lower than that of other traits. The average Shannon-Wiener diversity indices for the phenotypic traits of the populations ranged from 1.19 to 2.02, with the populations in Laibin, Huizhou, and Shanwei exhibiting higher phenotypic trait diversity indices. The variance component among populations accounted for 22. 91%, while the variance component within populations accounted for 38. 13%. The phenotypic differentiation coefficients ranged from 0.14 to 0.83. Based on the phenotypic traits, the populations of R. tomentosa were classified into four groups. Notably, R. tomentosa populations from Huizhou and Shanwei are identified as superior germplasm sources for the selection and breeding of large-fruit varieties, while the populations from Changjiang, Wuzhishan and Wenzhou are recognized as superior germplasm sources for the selection and breeding of high brix varieties.

Key words Myrtaceae; germplasm resources; phenotypic variation; diversity analysis; cluster analysis

桃金娘 Rhodomyrtus tomentosa 为桃金娘科桃金娘属的一种常绿灌木,主要分布于中国、中南半岛、菲律宾、日本、印度、斯里兰卡、马来西亚及印度尼西亚等地[1]。桃金娘广泛分布于中国热带和亚热带地区,在长期的生态适应过程和自然选择作用下,产生了丰富的遗传多样性,具有极高的经济价值<sup>[2]</sup>。在药用方面,其全株均可入药,具有抗菌、抗炎和抗氧化等作用<sup>[3-4]</sup>;在食用方面,其果实风味独特、甘甜多汁,营养物质非常丰富<sup>[5-6]</sup>;在绿化方面,桃金娘适应性强,四季常青,花期长,花多且花色多变,可制作盆景或丛植作花篱和绿化带等<sup>[7]</sup>。但是,野生桃金娘面临因人为砍伐导致的种群衰退风险,导致桃金娘种质资源的保护和改良受到严重制约,限制了桃金娘产业的发展<sup>[2]</sup>。

表型多样性是植物进化的基础<sup>[8]</sup>,通过研究植物表型性状能够挖掘植物资源,有效利用现有种质资源<sup>[9]</sup>。曲凯伦等<sup>[10]</sup> 通过对酸枣 Ziziphus jujuba 表型性状进行分析,掌握了中国不同种源酸枣的表型多样性及其与地理气候因子的相关性;张鹏等<sup>[11]</sup> 通过对高州油茶 Camellia drupifera 的叶片进行变异分析,选出了变异系数最大的阳春种群;张学超等<sup>[12]</sup> 通过对野苹果 Malus pumila 表型性状进行评价,筛选出特异种质。

近年来,关于桃金娘的研究集中在繁育栽

培[13-16]、光合特性[17-18]、活性成分[19-22] 等方面, 对桃金娘资源多样性研究较少。胡安琪等[2] 利用 单核苷酸多态性标记技术 (Single nucleotide polymorphisms, SNP) 对中国 20 个种源地的桃金娘进 行亲缘关系分析,将供试桃金娘分为7类:邱文武 等[23] 利用相关序列扩增多态性(Sequence-related amplified polymorphism, SRAP) 对广西的野生桃金 娘进行亲缘关系分析,将供试桃金娘分为3类;刘 舒等[24-25] 从我国局部地区收集了桃金娘资源,通 过同质源栽培,观测其子一代的花、果和叶片性状 并进行资源评价,筛选了一些特异种质。但是,关 于桃金娘天然居群表型多样性仍缺乏全面且深入的 研究。针对这一问题,本研究对中国9个省区36个 桃金娘居群的果实和叶片表型性状进行分析, 探讨 各表型性状的变异和多样性, 以期为桃金娘的选择、 保护、可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

#### 1.1 样品采集

在桃金娘自然分布区内采用网格法选择 36 个居群,各居群的基本信息见表 1。每个居群选取 10 株无明显病虫害的个体作为样株,样株树龄 3 a 以上,样株间距 50 m 以上。2020 年 7—10 月,采集样株中上部向阳方向的成熟叶片 30 片,果实 30 个,放入装有冰袋的保温箱保存。

居群 Population	地点 Location	经度 E/ (°) Longitude	纬度 N/ (°) Latitude	平均海拔/ m Mean altitude	居群 Population	地点 Location	经度 E/ (°) Longitude	纬度 N/ (°) Latitude	平均海拔/ m Mean altitude
福州	福建福州	118.6	25. 8	331.0	百色	广西百色	106. 6	24. 0	194. 3
龙岩	福建龙岩	116.6	24. 9	334. 0	崇左	广西崇左	107. 8	22. 3	145. 4
宁德	福建宁德	119.6	26. 6	15. 8	防城港	广西防城港	108. 3	21.9	94. 0
泉州	福建泉州	118. 2	25. 3	367. 0	桂林	广西桂林	110. 4	25. 4	186. 1
漳州	福建漳州	117.7	24. 8	76. 0	贺州	广西贺州	111. 2	24. 1	153.0
恩平	广东恩平	112. 1	22. 2	163. 2	来宾	广西来宾	109. 1	23.5	133. 5
广州	广东广州	113.5	23.5	84. 9	柳州	广西柳州	109. 1	25. 0	224. 1
河源	广东河源	114. 2	24. 4	232. 7	钦州	广西钦州	109. 3	22. 1	76.8
惠州	广东惠州	114. 9	22. 7	78. 2	梧州	广西梧州	111. 1	23.7	72. 7
雷州	广东雷州	110.0	20.8	33.8	荔波	贵州荔波	108. 1	25. 3	56. 9
茂名	广东茂名	110.8	21.6	27. 9	昌江	海南昌江	109. 1	19. 3	603.0
梅州	广东梅州	116. 2	24. 0	308.0	郴州	湖南郴州	113.8	25. 4	398.6
韶关	广东韶关	113. 2	24. 8	232. 6	海口	海南海口	110. 5	19.7	37. 0
汕头	广东汕头	117. 1	23.5	414. 6	三亚	海南三亚	109. 7	18. 4	211.0
汕尾	广东汕尾	115. 2	23.0	64. 8	五指山	海南五指山	109. 7	18. 9	247. 0
兴宁	广东兴宁	115.6	24. 3	230. 5	赣州	江西赣州	114. 6	24. 6	427.6
信宜	广东信宜	111. 1	22. 5	262. 9	文山	云南文山	106. 4	23.5	278. 0
北海	广西北海	109. 2	21. 9	63. 3	温州	浙江温州	120. 3	27. 6	136. 5

表 1 36 个桃金娘居群的基本信息

## Table 1 Basic information of 36 populations of *Rhodomyrtus tomentosa*

#### 1.2 果实和叶片形态测定

选取果实横径、纵径、果形指数、单果鲜质量、单轮种子数、单果种子轮数、胎座长与宽、百粒种子重、可溶性固形物、叶长、叶宽、叶形指数、叶面积和叶周长作为指标。

每个居群随机选出 100 粒无虫蛀的健康果实, 采用精度 0.01 mm 的电子游标卡尺测量果实横径和 纵径, 用精度 0.001 g 的电子天平称量果实质量; 每个居群随机挑选 50 粒无虫蛀的健康果实进行横 剖,统计单轮种子数,同时随机挑选 50 粒无虫蛀的健康果实进行横 剖,统计单轮种子数,同时随机挑选 50 粒无虫蛀的健康果实进行纵剖,统计单果种子轮数、胎座长与宽;每个居群随机选出 100 粒无虫蛀的健康果实,洗出种子,晾干后使用电子天平称量 100 粒种子质量;可溶性固形物采用糖度测试仪 SW-3T 测定。

每个居群随机选出 50 片无虫蛀的健康叶,使用打印机 Canon C3322L 扫描叶片,再利用 ImageJ 1.53f51 测量叶长、叶宽、叶面积和叶周长,计算叶形指数。

#### 1.3 数据处理与统计分析

使用 SPSS 27.0 软件对实验数据进行分析, 计算表型性状的平均值、标准差、变异系数、表型分化系数、Shannon-Wiener 多样性指数, 并完成

表型性状的聚类分析<sup>[26]</sup>。聚类方法选择系统聚类,遗传距离选用平方欧氏距离。

## 2 结果与分析

#### 2.1 桃金娘表型性状变异和多样性分析

2.1.1 桃金娘各居群的表型变异 结果 (表 2)显示,各性状的平均变异系数在 6.87%~40.83%之间,其中,胎座宽度、叶长、叶面积和叶周长的平均变异系数较大,均在 15%以上。叶片性状的平均变异系数 为 22.49%,果实性状的平均变异系数 为 11.22%。各居群表型性状的平均变异系数在 10.32%~19.45%之间,其中,文山居群平均变异系数最大 (19.45%),桂林和雷州居群的平均变异系数较大,分别为 19.04%和 17.45%。

2.1.2 桃金娘各居群表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数分析 结果显示 (表 3), 桃金娘 36 个 天然居群各性状的 Shannon-Wiener 多样性指数在 0.00~2.81 之间, 其中五指山居群胎座宽度的 Shannon-Wiener 多样性指数最大, 而多个居群的 单轮种子数的 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.00。各性状的平均 Shannon-Wiener 多样性指数 在 0.68~2.39 之间, 单轮种子数的平均 Shannon-

表2 桃金娘各居群表型性状的变异系数 单位:%

Table 2 Coefficients of variation of phenotypic traits of Rhodomyrtus tomentosa from different populations

居群 Population		果实横径 果实纵径 Fruit Fruit transverse longitudinal diameter diameter	果形指数 Fruit shape index	单果鲜质量 Fresh weight per fruit	单轮种子数 Number of seeds per whorl	单果种子轮数 Number of seed whorls per fruit	胎座长度 Placenta length	胎座宽度 Placenta width	百粒种 子重 100-sed weight	可溶性 固形物 Brix	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶形指数 Leaf shape index	叶面积 Leaf area	叶周长 Leaf perimeter	平均值 Mean
福州	6.89	7.07	5.08	12.57	12.83	12. 53	12. 42	18. 22	10.00	14. 77	31.90	8.31	12.75	32. 24	20.09	14.51
龙岩	7.73	8.34	7.50	17.45	13.59	11.27	8.53	16.35	9.52	23.99	30.56	7. 18	11. 27	30.08	15. 29	14.58
小衛	4.20	7.68	6.61	3.03	0.00	11.38	16.28	20.00	16.67	7.42	37.06	6.35	11.38	33.62	17. 27	13. 26
泉州	4.27	7.68	6.67	2.53	15.00	7.24	9.83	14.17	9.52	7.10	22. 76	5.05	8.08	20.47	14. 48	10.32
漳州	7.10	6.13	5.74	11.69	14.91	12. 13	9.40	14.67	12.00	12.99	30.51	8. 22	11.25	33.82	13.56	13.61
風平	7.02	7.56	4.42	10.54	14.31	10.08	89 .6	15.91	13.04	16.91	44.89	69.6	13.59	34.52	18.32	15.37
广州	6.10	7.33	5.83	11.59	15.78	12.96	11.91	16.41	8.00	15.17	36.56	9.47	15.89	30.56	14.91	14.57
河源	8.95	8.15	7.63	16.83	13.50	10.40	10.19	13. 13	12.00	18. 25	37.06	9.11	20.19	36.05	17.34	15.92
惠州	10.41	9.33	7.69	24.87	11.71	9, 93	11.60	13.59	11.54	16. 26	37.59	9.21	11.93	28.98	14.75	15. 29
雷州	6.93	8.39	6.03	18.52	12.77	10.39	10.35	24.00	12.50	18.05	43.37	10.88	17.03	42. 14	20.35	17. 45
茂名	8. 44	7.41	8.06	17.17	1.83	13. 18	12. 76	19. 28	12.50	14. 10	42.89	9. 28	10.99	35.31	16.19	15.29
梅州	6.58	7.76	6.03	12.04	13.27	11.13	9.45	11.30	12.00	14.45	43.20	7.29	9.81	29.94	15.31	13.97
韶关	7.51	98.6	5.51	00.00	7.53	10.13	15.47	21. 18	0.00	0.00	50.80	9.48	12. 22	44. 18	22.33	14.41
汕头	7.73	7.24	6.09	18.42	15.12	12. 19	12.69	16.45	11.11	18.38	40.94	8.48	17.85	34.91	19.40	16.47
汕尾	8. 28	7.25	5.00	17.62	8.31	10.38	10.69	15.21	16.00	14.02	44.59	12.63	9.70	31. 29	15.70	15.11
米	6.83	6.08	7.02	8.25	12.11	11.48	9.33	16.67	13.64	17.71	44.51	8.52	10.28	31.83	15.80	14.67
信宜	7.29	7.45	5.93	11.41	14.49	10.27	9.80	17.36	12.50	15.58	42.34	8. 28	7.34	28.95	14.06	14. 20
北海	7.26	7.25	6.25	11.36	13. 42	13.07	10.54	16.14	12.50	15.80	33.25	7.09	10.99	26.39	13.16	13.63
百色	5.89	7.33	6.54	7.10	8.93	15.25	9.19	12.89	9.52	16.29	37.94	7.20	11. 26	28.90	23.49	13.85
崇左	6.68	8.31	9.17	12.50	12.58	12.05	12. 19	14. 29	13.64	17.62	41.15	9.50	11.31	37.55	18.30	15.79
防城港	6.52	7. 28	7.76	8.16	12.64	10.72	7.76	13.91	11.54	16. 22	36.56	7.42	12. 20	28.58	15. 13	13.49
桂林	9.14	10.15	10.48	16.25	14.85	10.76	13.80	19, 10	13.64	17.68	44.49	8.58	47.42	33. 24	16.07	19.04
贺州	8.66	6.89	6.78	13.71	13.04	11.77	9.85	15.87	16.67	25.65	35.60	8.62	26. 12	27.36	16.14	16. 18
米	10.46	9.77	60.6	24.47	11.41	11.49	11.94	15.36	8.33	17.32	43.65	8. 18	10.26	34.47	21.19	16.49
柳州	9.43	7.79	8.94	14. 29	11.43	10.00	13.44	17.42	15.38	20.36	33.71	8.45	13.02	32.65	16.11	15.49
钦州	7.56	7.37	7.44	26.49	96.6	11.25	11.99	16.60	15.38	19.68	34.16	7.34	14.70	27.09	14.11	15.41

平均值 Mean	14. 70	16.26	17.17	12.87	13.72	15. 12	17.24	12. 10	19.45	12. 18	14.98
叶周长 Leaf perimeter	16.41	17.58	12.98	16.62	12.40	16.15	18.32	15.26	23.63	14. 26	16.73
叶面积 Leaf area	26.17	38.39	28. 23	34.56	26.91	32.83	39.59	28. 10	49.68	22. 79	32. 29
叶形指数 Leaf shape index	11. 26	15.17	18.11	11.76	13.80	9.94	8. 21	16.28	8.40	5.64	13.54
叶第 Leaf width	7.41	17.00	21.10	8.29	6.59	8.57	10.05	7.54	13.31	5.92	9.04
叶长 Leaf length	32. 59	49.65	70.01	43.70	36. 79	44. 28	59.82	31.24	63.38	36. 26	40.83
可溶性 固形物 Brix	15.90	17. 45	14.83	0.00	10.58	15.13	9.58	5.54	21.57	12. 43	14.85
百粒种 子重 100-seed weight	17.39	7.41	14. 29	0.00	15.38	14.81	15.38	8.33	13.64	12.00	11.88
胎座宽度 Placenta width	18.39	14.94	12. 71	17.99	13. 76	17.80	22. 58	7.45	18.69	7.86	16.05
胎座长度 Placenta length	12.01	8.64	10.44	14.80	14.07	13.04	17.53	98.6	20. 18	0.56	11.45
单果种子轮数 Number of seed whorls per fruit	10.79	8.30	11.00	11.87	11.97	12.39	13.05	16.42	13.36	11.68	11.51
单轮种子数 Number of seeds per whorl	12.75	8. 11	13.62	13. 22	0.00	00.00	7.68	13. 13	8.93	19.44	11.17
单果鲜质量 Fresh weight per fruit	15.09	17.49	10.00	0.00	22. 29	13. 13	15.91	4.49	12.16	14.07	13. 15
果形指数 Fruit shape index	7. 44	7.76	7.02	3.88	5.93	7.41	60.9	6.67	8.66	7.27	6.87
果实橫径 果实纵径 果形指数 Fruit Fruit Fruit transverse longitudinal shape diameter diameter index	7.84	7.59	7.48	7.99	7.80	12.01	7.42	4.55	7.30	8. 79	7.82
果实横径 果实纵径 居群 Fruit Fruit Population transverse longitudinal diameter diameter	9.03	8.42	5.68	8.35	7.50	9.30	7.45	6.64	8.80	3.71	7.46
居群 Population	梧州	荔波	日江	郴州	神口	11	五指山	義州	文正	温州	平均值

Table 3 Analysis on Shannon-Wiener diversity index of phenotypic traits of Rhodomyrtus tomentosa from different polulations 表 3 桃金娘各居群表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数分析

平均值 Mean	1.72	1.71	1.44	1.19	1.75	1.86	1.88	1.87	2.00	1.84
叶周长 Leaf perimeter	1.40	1. 23	1.60	1.30	1.13	1.62	1.38	1.45	1.44	1.62
叶面积 Leaf area	1.18	1.17	1.55	0.47	1.37	1.57	1.43	1.32	1.52	1.39
叶形指数 Leaf shape index	1. 23	1.02	0.81	0.47	1. 23	1.49	1.74	1.40	1.35	1.52
叶宽 Leaf width	1.31	1.07	1.37	1.00	1.21	1.54	1.67	1.43	1.62	1.57
i叶长 Leaf length	1.58	1.49	1.88	1.16	1.44	2.00	1.68	1.77	1.68	1.94
可溶性固形物Brix	2.08	1.98	0.72	0.72	1.61	2.20	2.01	2. 29	1.95	2.67
百粒种 子重 100-seed weight	1.94	1.82	2. 17	1. 49	2.25	2.04	1.95	2. 10	2.53	2.03
胎座宽度 Placenta width	2. 62	2.52	2. 12	1.92	2.64	2.69	2.75	2.41	2.76	2.53
胎座长度 Placenta length	2. 25	1.91	2.17	1.92	2.16	1.91	2.37	2.01	2.60	2.01
单果种子轮数 Number of seed whorls per fruit	2. 48	2.56	1.52	0.72	2. 42	2. 28	2. 48	2.36	2.39	2.17
单轮种子数 Number of seeds per whorl	0.76	0.85	0.00	1.00	1.16	1.07	1.16	0.83	0.64	0.74
单果鲜质量 Fresh weight per fruit	1.37	1.65	0.72	0.72	1.86	1.79	1.81	1.93	2.39	1.70
果形指数 Fruit shape index	1.51	1.91	1.49	1.49	1.69	1.35	1.62	1.94	2.03	1.54
果实横径 果实纵径 果形指数 居群 Fruit Fruit Fruit Population transverse longitudinal shape diameter diameter index	2.09	2. 42	2. 12	2. 12	2.03	2.16	2. 22	2.32	2. 49	2. 16
果实横径 Fruit transverse diameter	2.05	2.06	1.37	1.37	2. 11	2.15	1.97	2.47	2.59	1.96
居群 Population	福州	龙岩	小	泉州	漳州	感	广州	河源	惠州	雷州

平均值 Mean	1.84	1.77	1.41	1.88	1.94	1.77	1.84	1.70	1.59	1.83	1.63	1.93	1.89	2.02	1.87	1.85	1.84	1.78	1.86	1.25	1.70	1.87	1.93	1.43	1.84	1.34	
叶周长 Leaf perimeter	1.48	1.34	1.88	1.61	1.62	1.34	1.45	1.13	1.43	1.53	1.27	1.48	1.40	1.96	1.40	1.40	1.50	1.52	1.38	1.45	0.84	1.35	1.72	1.35	1.79	1.54	
叶面积 Leaf area	1.50	1.34	1.76	1.39	1.78	1.50	1.65	1.13	1.10	1.40	1.09	1.41	1.38	1.74	1.25	1.21	1. 23	1.49	1.79	1.49	0.94	1.50	2.21	1.10	1.86	1.57	
叶形指数 Leaf shape index	1.36	1.24	1.30	1.61	1. 28	1.38	1.09	1.19	1.34	1.19	1.32	1.56	1.42	1.34	1.32	1.56	1.33	1.63	1.81	1.25	1.41	1.34	1.30	1.61	1.10	0.77	
叶宽 Leaf width	1.58	1.28	1.66	1.48	1.78	1.57	1.59	1.21	1.26	1.48	1.12	1.44	1.58	1.65	1.47	1.44	1.35	1.90	2.17	1.45	1.26	1.55	1.98	1.27	1.85	1.28	
i叶长 Leaf length	1.82	1.84	2. 20	2.04	1.98	1.84	1.79	1.54	1.73	1.89	1.60	1.92	1.77	2.06	1.68	1.78	1.56	1.84	2. 23	1.88	1.44	1.81	2.27	1.57	2.13	1.70	
可溶性 固形物 Brix	1.68	1.75	0.00	1.92	1.88	2.08	1.85	1.98	2.02	2. 12	1.91	2. 13	2.68	2.05	2.16	2. 10	2. 20	1.88	2.11	0.00	1.63	2. 22	1.45	0.47	2. 10	1.90	
百粒种 子重 100-seed weight	2. 26	2.43	0.00	2.06	2.70	2.33	2.34	2. 21	1.55	2. 11	2.32	2.00	2.53	1.96	2.60	2.70	2.37	1.85	2.08	0.00	2.73	2.55	2.49	1.57	2.02	2.52	
胎座宽度 Placenta width	2. 78	2. 19	2. 47	2. 28	2.53	2.66	2.64	2. 19	1.94	2.34	2.06	2.75	2. 68	2.50	2. 47	2.65	2.69	2.25	2.05	2.07	2.56	2.55	2.81	1.92	1.83	1.37	
胎座长度 Placenta length	2.24	2.26	2.10	2.43	2. 28	1.86	1.96	1.95	1.85	2.35	1.67	2.43	1.91	2.36	2.62	2.20	2.20	1.98	1.95	1.92	2.49	2.38	2.64	1.52	2.46	0.00	
单果种子轮数 Number of seed whorls per fruit	2. 42	2.49	2.11	2.54	2.26	2.31	2. 23	2.41	2.61	2. 22	2.20	2.34	2.46	2.41	2.19	2. 20	2.24	1.90	2.32	2. 18	2.41	2.25	2.54	2.32	2.55	1.37	
单轮种子数 Number of seeds per whorl	0.10	0.80	0.30	1.01	0.37	0.68	0.99	0.82	0.40	0.75	0.82	0.94	0.95	0.62	0.61	0.49	0.82	0.38	0.97	0.75	0.00	0.00	0.32	0.72	0.41	1.36	
单果鲜质量 Fresh weight per fruit	1.82	1.55	0.00	2.05	2. 27	1.26	1.93	1.75	1.02	1.49	0.98	1.65	1.48	2.37	1.61	2.03	1.66	2.00	1. 28	0.00	1.77	1.47	1.26	0.97	1.12	0.47	
果形指数 Fruit shape index	2.05	1.60	1. 29	1.45	1.52	1.68	1.58	1.74	1.65	2. 21	1.89	2.35	1.73	2. 18	2. 29	1.85	1.82	1.54	1.72	0.94	1.64	1.76	1.62	1.52	2. 18	1.36	
果实横径 果实纵径 Fruit Fruit transverse longitudinal diameter diameter	2.23	2.26	2. 18	2.02	2.34	1.98	2.27	2. 18	2.14	2.28	2.16	2.41	1.98	2.53	2.13	2. 13	2. 22	2.13	2. 18	1.79	2.20	2.71	2.17	1.57	2.05	1.57	
果实横径 Fruit transverse diameter	2.34	2.12	1.96	2.26	2.47	2.16	2.26	2.10	1.84	2.04	2.04	2.21	2.35	2.52	2.30	2.06	2.35	2.38	1.87	1.61	2.16	2.55	2. 18	1.96	2. 18	1.36	
居群 Population	茂名	梅州	韶关	沿条	汕尾	米宁	信宜	北海	百色	崇左	防城港	桂林	贺州	来原	柳州	钦州	梧州	荔波	昌江	郴州	海口	三派	五指山	赣州	文山	温州	

Wiener 多样性指数明显低于其他性状。各居群性状的平均 Shannon - Wiener 多样性指数在 1.19~2.02 之间, 其中,来宾居群的平均 Shannon - Wiener 多样性指数最大 (2.02),惠州和汕尾居群的平均 Shannon-Wiener 多样性指数较大,分别为 2.00 和 1.94,以上 3 个居群可作为桃金娘种质资源收集以及优良品种选育的重点关注区域。

方差分析结果表明, 桃金娘居群间的方差分量占比为 22.91%, 居群内的方差分量占比为 38.13%, 说明供试桃金娘的居群内变异是主要变异来源; 表型分化系数在 0.14~0.83 之间, 其中单果鲜质量的表型分化系数最高, 果实横径和可溶性固形物的表型分化系数较高。

#### 2.2 基于表型性状的桃金娘居群聚类分析

基于果实和叶片 15 个表型性状的聚类分析结果 (图 1)显示,在欧氏距离 12.5 处,桃金娘居群被划分为 4 类。其中, I 类包括龙岩、宁德、泉州、漳州、恩平、广州、河源、茂名、梅州、汕

头、兴宁、信宜、北海、百色、崇左、防城港、 桂林、贺州、来宾、柳州、钦州、梧州、荔波、 海口、三亚和赣州共26个居群,该类居群的果实 横径和纵径、单果鲜质量、单果种子轮数、胎座 长、百粒种子重、叶周长均值高于 III 类、低于 II 类,可溶性固形物含量、叶长、叶宽、叶面积均 值低于另外3类居群(表4);Ⅱ类包括惠州、汕 尾2个居群,该类居群的果实横纵径、果实长宽 比、单果鲜质量、单果种子轮数、胎座长、百粒 种子重、叶长叶宽、叶面积和叶周长均值高于另 外3类居群,可溶性固形物含量高于I类,低于IV 类,单轮种子数、胎座宽均值高于 III 类,低于 IV 类; III 类包括韶关、郴州、福州、雷州、文山 5 个居群,主要表现为果实横纵径、单果鲜质量、 单轮种子数、单果种子轮数、胎座长宽、百粒种 子重、叶周长均值小; IV 类包括昌江、五指山、 温州3个居群,主要表现为单轮种子数、胎座宽、 可溶性固形物含量、叶型指数均值大。

表 4 桃金娘各居群表型性状指标平均值

Table 4 Average values of phenotypic traits of Rhodomyrtus tomentosa populations

表型性状 Phenotypic traits	I	II	Ш	IV
果实横径/mm Fruit transverse diameter	13. 17	13. 83	12. 41	13. 72
果实纵径/mm Fruit longitudinal diameter	15. 50	17. 21	14. 79	15. 99
果形指数 Fruit shape index	1. 18	1. 25	1. 20	1. 17
单果鲜质量/g Fresh weight per fruit	2. 04	2. 21	1.44	2. 05
单轮种子数 Number of seeds per whorl	6. 41	6. 24	6. 21	6. 51
单果种子轮数 Number of seed whorls per fruit	9. 20	10. 15	8. 90	9. 38
胎座长度/mm Placenta length	8. 89	10. 31	8. 19	9. 08
胎座宽度/mm Placenta width	2. 57	2. 90	2. 24	2. 93
百粒种子重/g 100-seed weight	0. 24	0. 26	0. 23	0. 25
可溶性固形物/% Brix	10. 47	11. 29	11.76	12. 01
叶长/cm Leaf length	5. 03	5. 80	5. 05	5. 47
叶宽/cm Leaf width	2. 38	2.75	2. 45	2. 53
叶形指数 Leaf shape index	2. 16	2. 15	2. 11	2. 18
叶面积/cm² Leaf area	8. 89	11.66	9. 41	10. 44
叶周长/cm Leaf perimeter	13. 61	15. 60	13. 46	14. 59

## 3 讨论与结论

表型性状研究为林木遗传育种工作提供重要依据<sup>[27-29]</sup>。在本研究中,36个桃金娘居群的果实和叶片的性状表现出广泛的变异。如此广泛的变异范围和丰富的种质资源为桃金娘优良品系研发提供了潜力。其中,叶片性状的变异系数均值(22.49%)大于果实性状的变异系数均值

(11.22%),说明供试桃金娘营养器官具有更广泛的变异,这与刘舒等<sup>[25]</sup>的研究结果一致。桃金娘各居群表型性状的变异系数均在10%以上,其中,文山、桂林、雷州居群表型性状的变异程度相对较高,表型变异丰富,这可能是因为植物所处的生境复杂多样,需要更高的表型可塑性适应生态环境的变化<sup>[30]</sup>。桃金娘各居群表型性状的 Shannon—Wiener 多样性指数均值为 1.81,说明这些表型性

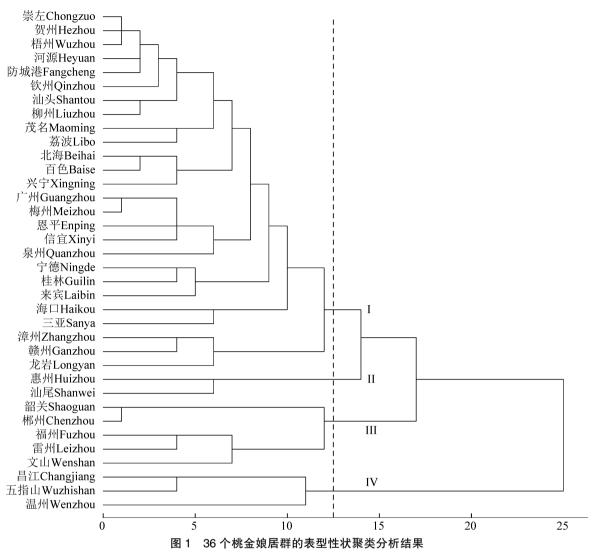


Figure 1 Cluster analysis results of 36 polulations of Rhodomyrtus tomentosa based on phenotypic traits

状的多样性较丰富,来宾、惠州、汕尾居群表型 多样性高,可作为桃金娘种质资源收集及优良品 种选育的重点关注区域。

本研究中,桃金娘居群间和居群内存在不同程度的变异,居群内的方差分量比例(38.13%)大于居群间的方差分量比例(22.91%),说明居群内的变异是桃金娘的主要变异来源,与多数林木种群的表型变异来源一致[31-33]。可能是因为桃金娘的繁育系统既能自花授粉也能异花授粉,且果实可溶性固形物含量高,易被食果鸟类取食,长距离扩散种子,扩大了传播范围,增进了居群间的基因流动,从而减少了居群间的差异[34]。桃金娘的表型分化系数均值为0.38,介于水青树 Tetracentron sinense(0.47)[35] 和格木 Etrthrophleum fordii(0.22)之间[36],表明桃金娘表型分化系数在林木种群中处于中等水平。

根据桃金娘果实和叶片的表型性状,可将 36 个桃金娘居群划分为 4 类。其中, II 类居群具有果实大,单果鲜质量大,单果种子轮数多,叶片大等特点,可用于选育大果优良资源, IV 类居群具有可溶性固形物含量高的特点,可用于选育可溶性固形物含量高的优良居群。各居群并未完全按照地理距离的远近而聚类,表型性状具有不连续性,这与邱文武等<sup>[23]</sup> 和刘舒等<sup>[25]</sup> 的研究结果基本一致,但造成这种差异的主要原因是遗传因素还是环境因子尚不清楚,还需进一步利用种源试验来剖析遗传和环境及其互作效应。

该研究阐明了中国桃金娘天然居群的表型多样性,为桃金娘的栽培提供了基础,为其种质资源的进一步开发和利用提供了理论支持。下一步将从国外引进桃金娘,对种质资源进行全面评估,并对桃金娘的优良品系进行选择、培育和推广。

### 参考文献

- [1] 吴征镒,洪德元. 中国植物志(第7卷)(英文版) [Flora of China] [M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 胡安琪. 基于 SNP 的桃金娘种质资源遗传多样性研究 [D]. 湛江:广东海洋大学,2020.
- [3] LIU H X, ZHANG W M, XU Z F, et al. Isolation, synthesis, and biological activity of tomentosenol A from the leaves of *Rhodomyrtus tomentosa* [J]. RSC Advances, 2016.6(31)25882-25886.
- [4] ZHUANG L, CHEN L F, ZHANG Y B, et al. Watsonianone A from *Rhodomyrtus tomentosa* fruit attenuates respiratory-syncytial-virus-induced inflammation in vitro [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2017, 65 (17):3481-3489.
- [5] 王文林, 覃杰凤, 韦持章, 等. 野生桃金娘果实营养成分分析与评价[J]. 中国南方果树, 2011, 40(2):48-49.
- [6] 邹雨辰,罗爽妍,段翰英,等. 预浸泡对桃金娘果汁中抗氧化物质和抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(1):75-80,86.
- [7] 刘宝玉,梁惠凌,唐辉,等. 桃金娘的人工栽培及其药食两用价值研究进展[J]. 中药材,2020,43(9):2303-2311.
- [8] KHADIVI A, SAFDARI L, HAJIAN M H, et al. Selection of the promising almond (*Prunus amygdalus* L.) genotypes among seedling origin trees [J]. Scientia horticulturae, 2019, 256:108587.
- [9] 郭燕,张树航,李颖,等. 燕山板栗种质资源叶片表型性 状多样性研究[J]. 园艺学报,2022,49(8);1673-1688.
- [10] 曲凯伦,张云程,王海青,等.不同种源酸枣表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报,2024,33(2):58-70.
- [11] 张鹏,杨颖,奚如春,等. 高州油茶种群叶片性状变异分析[J]. 林业与环境科学,2018,34(5):13-19.
- [12] 张学超,任海龙,唐式敏,等. 伊犁天山 160 份野苹果种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2021,22(6):1521-1530.
- [13] 郭佳慧,丰锋,向星星,等. 桃金娘花药愈伤组织诱导研究[J]. 中国野生植物资源,2024,43(2):59-63,72.
- [14] 孙利娜,吴林巧,李冰,等. 秋水仙素对桃金娘种子的 诱变效应[J]. 广西林业科学,2022,51(5):670-675.
- [15] 李冰,唐庆,孙开道,等. 桃金娘播种及幼苗移栽关键技术的优化[J]. 中国热带农业,2020(1):64-68.
- [16] 康金林,谢再成,宋祥兰,等. 桃金娘扦插繁育试验 [J]. 北方园艺,2019(20):81-85.
- [17] 孙利娜,陈允椿,孙开道,等.不同种源桃金娘叶片表型及光合特性差异分析[J].广西林业科学,2023,52 (2):186-191.
- [18] 杨通文,高秀梅,韩维栋. 不同季节桃金娘光合特性与 光系统 PSII 活性研究[J]. 西南农业学报,2022,35 (12):2801-2810.

- [19] 邓叶俊,黄立新,张彩虹,等. 桃金娘果实不溶性膳食 纤维理化特征及其抗糖基化性能研究[J]. 林产化学 与工业,2023,43(6):43-50.
- [20] 罗然,王春丽,樊志彤,等.重庆引种3种桃金娘科植物枝叶精油 GCMS 鉴定与品质评价[J].西南大学学报(自然科学版),2024,46(3):40-53.
- [21] 陶静,陈思. 桂林桃金娘果实挥发油活性成分及抗氧 化活性分析[J]. 中国测试,2024,50(5):71-78.
- [22] YANG L, JIN J, LYU S, et al. Genomic analysis based on chromosome-level genome assembly reveals Myrtaceae evolution and terpene biosynthesis of rose myrtle [J]. BMC genomics, 2024, 25(1):578.
- [23] 邱文武,郭凌飞,杨祥燕,等.广西野生桃金娘亲缘关系的 SRAP 分析[J]. 分子植物育种,2021,19(3):899-904.
- [24] 刘舒,马正兵,于晓丽,等. 不同种源桃金娘表型性状 多样性研究[J]. 广西植物,2023,43(10):1932-1940.
- [25] 刘舒,马正兵,于晓丽. 不同种源桃金娘果实表型性状 多样性[J]. 经济林研究,2024,42(2):54-61.
- [26] 吕中跃,裘珍飞,曾炳山,等. 黑木相思 14 个无性系叶片性状变异分析[J]. 林业与环境科学,2018,34(4):43-47.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 梁珊珊,吕芳德,蒋瑶,等. 核桃待选优株坚果品质主成分分析及综合评判[J]. 经济林研究,2015,33(3):7-12,32.
- [30] SUN C, WANG J, DUAN J, et al. Association of fruit and seed traits of *Sapindus mukorossi* germplasm with environmental factors in southern China [J]. Forests, 2017,8(12):491.
- [31] 林玲,王军辉,罗建,等. 砂生槐天然群体种实性状的 表型多样性[J]. 林业科学,2014,50(4):137-143.
- [32] 江锡兵,龚榜初,刘庆忠,等. 中国板栗地方品种重要 农艺性状的表型多样性[J]. 园艺学报,2014,41(4): 641-652.
- [33] LI Y, LI S, LU X, et al. Leaf phenotypic variation of endangered plant *Tetracentron sinense* Oliv. and influence of geographical and climatic factors [J]. Journal of forestry research, 2021, 32(2):623-636.
- [34] 韦明思. 桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*(Ait) Hassk) 的生殖生态学研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2005.
- [35] 李珊,甘小洪,憨宏艳,等. 濒危植物水青树叶的表型性状变异[J]. 林业科学研究,2016,29(5):687-697.
- [36] 李洪果,陈达镇,许靖诗,等. 濒危植物格木天然种群的表型多样性及变异[J]. 林业科学,2019,55(4):69-83.