

文章编号:1001-1498(2015)02-0289-08

梔子野生居群叶片和果实性状的表型多样性

邓绍勇^{1,2}, 曹 泉³, 余 林², 朱培林², 王贤荣^{1*}

(1. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330032;
3. 上饶市森林资源监测中心, 江西 上饶 334000)

关键词: 梔子; 野生居群; 表型多样性

中图分类号: S759.3

文献标识码: A

Phenotypic Diversity of Leaf and Fruit Traits of Natural *Gardenia jasminoides* Population

DENG Shao-yong^{1,2}, CAO Quan³, YU Lin², ZHU Pei-lin², WANG Xian-rong¹

(1. College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, Jiangxi, China; 3. Shangrao City Forest Resources Monitoring Center, Shangrao 334000, Jiangxi, China)

Abstract: In order to study the phenotypic variation patterns of the leaf and fruit traits of natural *Gardenia jasminoides* populations in different distribution areas, an investigation was made on the leaf and fruit traits of 25 natural *G. jasminoides* populations distributed in nine provinces of China. The results are as follows. The phenotypes of *G. jasminoides* present abundant variations within populations; the phenotypic differentiation coefficient was 85.97% within populations, which was higher than that within groups, suggesting that the variance among populations was the main part of the phenotypic variation. The most unstable phenotypes among different regions were fruit traits, such as size, length, longitudinal rib width, and peduncle length. The leaf traits of *G. jasminoides* were negatively correlated with fruit traits. The fruit size had very significant positive correlation with other fruit traits, while negatively correlated with leaf traits. The longitude was negatively correlated with leaf traits, while positively correlated with fruit traits. The fruit size had very significant negative correlation with latitude, and the length had very significant positive correlation with altitude. The annual average temperature and the average temperature in January were positively correlated with leaf traits, while negatively correlated with fruit traits. The annual rainfall was negatively correlated with fruit traits too, but the annual average sunshine had very significant positive correlation with the peduncle length. Twenty-five natural populations of *G. jasminoides* could be divided into six classes through the clustering analysis of phenotypes.

Key words: *Gardenia jasminoides*; natural population; phenotypic diversity

梔子 (*Gardenia jasminoides* J. Ellis) 为茜草科 (Rubiaceae) 梔子属 (*Gardenia*) 常绿灌木, 广泛分布于长江以南各省区^[1], 它是重要的森林食品及药材资源。其干燥成熟果实具有护肝、利胆、降压、镇静、

止血、消肿等作用, 在中医临床常用于治疗黄疸型肝炎、扭挫伤、高血压、糖尿病等症^[2]; 作为优质的天然色素, 其提取物常添加在面条、糖果等食品中^[3-4]; 因其果肉含有抗癌作用的藏红花素、藏红花酸、苦红

收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 江西省财政林业专项(编号:2011511201)资助

作者简介: 邓绍勇, 男, 博士研究生, 助理研究员, 江西石城人。主要研究方向: 植物资源学。

* 通讯作者: E-mail: wangxianrong66@njfu.edu.cn

花素等天然萜类化合物, 梔子成为近年来药物研发的热点^[5-6]。相对于化学成分和药理作用方面的深入研究^[7-8], 梔子在遗传多样性方面的研究相对滞后。虽然有采用不同的分子标记方法对梔子不同栽培品种间的亲缘关系^[9-11]、野生或栽培居群遗传多样性和遗传分化^[12-14]等方面进行的研究见报, 但作为广布种而言, 其野生居群间存在丰富的变异条件, 如果没有全分布区的广泛取样, 其研究结果就很难真实反映该种的遗传资源现状。目前植物野生居群遗传多样性研究主要针对稀有、濒危或地区特有种^[15-18], 而大多数常用大宗药材原植物均为广布种, 广布种往往具有较高的遗传多样性水平^[16]。因此, 今后药用植物遗传多样性研究对象应以广布性森林药用植物为主^[19]。

由于市场需求量的增大, 上世纪 60 年代末, 梔子野生资源受到极大破坏, 而后又人为大面积的区域引种栽培对其野生居群遗传多样性必然造成极大的影响^[11]。目前梔子生产中也存在诸多问题, 产量低, 整体质量难以控制, 其中一个主要原因是栽培过程中种源未经选育直接从野生母株采种繁育现象普遍, 导致不同类型资源混杂、良莠不齐。对梔子野生遗传资源表型性状尤其与产量关系最密切的果实性状的全面系统调查研究未见涉及, 而表型性状检测遗传多样性是最直接的、简便易行的方法^[20-22]。很有必要从其表型性状特征及性状间的相关性探索梔子居群的变异性和遗传改良的可能性。本文以有梔子分布的 9 个省共 25 个野生居群为研究对象, 通过对其叶片和果实形态表型性状的观测, 结合数理统计软件进行分析, 旨在揭示梔子的表型变异程度及规律, 为丰富梔子栽培群体的遗传资源及定向培育提供必要的参考。

1 材料与方法

1.1 居群选择与材料采集

以梔子主要栽培产区江西、湖南及福建的野生居群为主, 从基本覆盖梔子天然分布区的全国 9 省 25 个野生居群中取样, 调查居群在群落中均为林下的灌木层。采样地点及地理生态因子见表 1。采样时间安排在 2013 年 10—12 月梔子果成熟期间, 为兼顾梔子果成熟期的南北差异, 根据提前预设地点由南往北取样。每个居群选取 30 个无病虫害健壮已结实单株, 株高约 1 m 左右, 个体间间隔 30 m 以上。野外直接剪取树冠外围长约 25 cm 左右带果枝

条, 分单株挂上标签, 装入透气网兜及时带回室内处理, 摘取枝条梢顶成熟叶片 20 ~ 30 片, 成熟且无虫孔果实 30 个, 尽量保证叶柄和果柄完整不缺失, 并及时测量记录原始数据。

1.2 表型性状测定

叶和果的表型性状测定参照田胜平等^[23-24]表型参数的测量方法, 同时兼顾梔子自身植物学特性进行, 即叶片表型数据选择测量叶片最宽处即叶宽、最宽处至叶基长、叶长及叶柄长。果实表型数据选择测量果宽、萼齿长、萼长、果长、果柄长及果中部纵棱宽; 果宽及果纵棱宽用游标卡尺测量, 其它参数用直尺测量, 并计算叶长与叶宽比、最宽处至叶基长与叶长之比作为叶形指数。

1.3 数据处理与分析

用 Excel 2010 统计各性状平均数、标准差、最大值、最小值、极差等指数。应用变异系数及系统分组(巢式)方差分析等方法分析各表型性状在居群内和居群间的变异情况, 居群间和居群内的方差分量计算参照葛颂等^[25]的方法, 即定义 $V_{\alpha} = \delta_{\alpha}^2 / (\delta_{\alpha}^2 + \delta_{\beta}^2)$, 其中 V_{α} 为表型分化系数, 表示居群间的变异占总遗传变异的百分比, 用来估算居群间的表型分化值; δ_{α}^2 、 δ_{β}^2 、 δ^2 分别表示群体间、群体内和随机误差的方差分量。利用相关分析分析表型性状间及与地理气候因子间的相关性, 运用 SPSS16.0 软件对数据进行标准化转换, 居群表型性状间的距离采用欧氏距离 (Euclidean distance coefficient), 应用离差平方和法进行聚类并作居群关系树状图。

2 结果与分析

2.1 梔子居群间和居群内叶片和果实性状的表型变异

梔子居群间和居群内叶片和果实性状的变异均方和 F 值见表 2。由表 2 可知, 梔子叶片和果实 12 个表型性状在野生居群间均存在极显著差异; 除果柄长之外, 5 个果实表型性状在居群内均存在极显著差异, 而 6 个叶片表型性状在居群内只有长宽比存在极显著差异。可见, 梔子野生居群果实表型性状在居群间和居群内都存在广泛的变异。

从表 3 可以看出, 梔子叶片和果实性状的形态特征在居群间均存在显著差异。在果实形态特征方面, 果长、果径及纵棱宽最大的均为广西金秀居群, 而最小的分别为广东东莞和江西广丰居群; 江西全南居群萼长、萼裂片长最小, 最大的均为安徽池州居群, 其果

表1 采样点的地理位置及气候因子

采样地点	纬度/N	经度/E	平均海拔/m	年均温/℃	1月均温/℃	7月均温/℃	无霜期/d	年降水量/mm	年日照/h
安徽池州	30°37'	117°31'	18	16.5	3.4	28.3	230	1 556.9	1 971.1
安徽潜山	30°40'	116°30'	79	16.4	3.7	28.4	240	1 368.4	1 936.7
福建龙岩	25°05'	116°58'	497	19.5	11.6	27.5	291	1 718.3	1 760.7
福建顺昌	26°47'	117°49'	164	18.5	7.2	28.8	305	1 756.3	1 740.7
福建永安	25°58'	117°23'	215	19.1	9.1	28.1	297	1 580.8	1 756.1
福建漳州	24°29'	117°44'	90	21.1	13.2	28.8	330	1 501.7	1 770.8
广东东莞	22°57'	113°41'	91	21.9	13.5	29.1	339	1 819.9	1 873.7
广东河源	23°47'	114°38'	176	20.7	11.6	28.7	335	1 768.9	1 687.3
广东梅州	24°14'	116°08'	202	21.3	11.2	28.6	306	1 472.9	1 789.3
广西桂林	25°16'	110°25'	348	19.1	7.9	28.3	309	1 926.1	1 949.5
广西金秀	24°07'	110°12'	874	18.4	10.8	28.4	325	1 345.4	1 709.3
广西平乐	24°37'	110°39'	192	19.9	9.4	28.3	310	1 357.5	1 658.8
贵州榕江	25°56'	108°31'	254	18.1	4.6	27.5	310	1 211.2	1 224.9
湖北武汉	30°30'	114°26'	42	18.7	3.2	29.3	240	1 205.1	1 967.7
湖北宜昌	30°39'	111°26'	109	16.9	4.6	28.1	273	1 235.4	1 705.9
湖南道县	25°39'	111°22'	269	18.6	8.3	28.6	309	1 558.2	1 599.6
湖南洞口	27°05'	110°33'	265	16.6	5.4	27.3	290	1 491.3	1 424.5
湖南邵阳	27°12'	111°27'	269	16.9	4.7	28.2	287	1 450.2	1 425.2
江西广丰	28°24'	118°05'	109	17.9	5.6	29.4	266	1 626.9	1 881.5
江西南昌	28°45'	115°47'	139	17.9	5.3	29.2	270	1 613.7	1 832.9
江西全南	24°42'	114°29'	340	19.8	9.8	29.6	301	1 653.5	1 617.4
江西永丰	27°07'	115°10'	93	18.1	6.5	29.5	279	1 518.8	1 640.3
江西余江	28°12'	116°52'	162	17.6	5.2	29.3	258	1 788.8	1 739.4
浙江绍兴	29°56'	120°35'	50	16.5	4.1	28.7	237	1 443.4	1 907.2
浙江义乌	29°22'	120°02'	107	17.1	4.2	29.3	243	1 303.3	1 989.7

长、果柄长及纵棱宽也较大,而安徽潜山居群果柄最长,广东东莞居群果柄最短。在叶片形态特征方面,叶柄长、叶长及最宽处至叶基最长的均为广东梅州居群,最小的分别为安徽潜山和江西永丰居群;叶片宽最大的为广东东莞居群,最小的为江西永丰居群;叶形最接近椭圆形的为贵州榕江居群,而最接近倒卵形的为福建龙岩居群。

2.2 梔子叶片和果实性状的表型变异特征

梔子25个居群叶片和果实性状的表型变异系数见表4,12个表型性状的平均变异系数为17.49%,变异幅度为5.86%~28.78%。果实平均变异系数为18.27%,其中果柄长变异系数最大为26.74%,果径变异系数最小为11.33%;叶片平均变异系数为16.71%,其中叶柄长变异系数最大为28.78%,最宽处至叶基长与叶长之比变异系数最小为5.86%;可见各表型性状间果柄长和叶柄长稳定性低,而叶型及果径相对较稳定。

另外,相同性状在不同居群内的变异幅度也差异显著,果实和叶片表型变异系数较大的分别为广

东梅州居群和广西平乐居群,而变异系数较小的分别为江西广丰居群和安徽潜山居群。比较不同野生居群表型性状的变异系数后发现,25个居群所有性

表2 梔子居群间和居群内果实和叶片表型性状方差分析

性状	均方			F值	
	居群间	居群内	随机误差	居群间	居群内
萼裂片长	2.213	0.317	0.134	16.464*	2.359*
萼长	2.421	0.410	0.172	14.078*	2.385*
果长	2.464	0.527	0.060	41.019*	8.768*
果柄长	0.319	0.027	0.047	6.784*	0.568
果径	0.366	0.152	0.018	20.417*	8.492*
纵棱宽	0.025	0.002	0.001	30.014*	2.359*
叶宽	4.910	0.326	0.355	13.822*	0.917
叶长	29.806	3.598	3.078	9.683*	1.169
叶柄长	4.910	0.326	0.355	13.822*	0.917
长宽比	2.899	0.412	0.143	20.260*	2.877*
最宽处至叶基长	9.902	1.247	1.093	9.056*	1.141
最宽处至叶基长与叶长之比	0.008	0.001	0.001	6.999*	0.985

注: *表示在5%水平上差异显著。

表 3 柘子 25 个野生居群间果实和叶片表型性状的平均值及其标准差

种群	平均值 ± 标准偏差											
	萼裂片长	萼长	果长	果柄长	果径	纵棱宽	叶宽	叶长	叶柄长	长宽比	最宽处至叶基长	叶基至最宽处长与叶长之比
安徽池州	3.214 ± 0.166a	3.814 ± 0.241a	2.579 ± 0.358b	1.018 ± 0.213b	1.55 ± 0.156cd	0.204 ± 0.026b	3.772 ± 0.523bcd	11.465 ± 1.611ab	0.437 ± 0.088bcd	3.046 ± 0.241cdef	6.143 ± 0.929abc	0.536 ± 0.031hijk
	2.192 ± 0.323defghi	2.725 ± 0.333cdefg	1.542 ± 0.287ij	0.833 ± 0.299bcde	1.192 ± 0.21gh	0.117 ± 0.021fgh	3.378 ± 0.891def	10.311 ± 2.418bcdef	0.4 ± 0.077def	3.133 ± 0.721bcde	5.711 ± 1.466bcd	0.553 ± 0.04defghi
浙江绍兴	2.236 ± 0.419cdefgh	2.739 ± 0.482cdefg	1.833 ± 0.377fgh	0.767 ± 0.307cdefg	1.214 ± 0.161fgh	0.082 ± 0.033jk	3.033 ± 0.443fg	9.554 ± 1.361def	0.367 ± 0.105fg	3.176 ± 0.423bcde	5.383 ± 0.868cdef	0.563 ± 0.029cdefg
	1.464 ± 0.378jk	1.982 ± 0.389ij	1.782 ± 0.194fghi	0.573 ± 0.237fgh	1.355 ± 0.152ef	0.092 ± 0.018hij	3.157 ± 1efg	9.371 ± 2.849defg	0.375 ± 0.073efg	3.008 ± 0.339defg	4.871 ± 1.705efgh	0.515 ± 0.037k
贵州榕江	2.392 ± 0.188cde	2.967 ± 0.242bcde	3.625 ± 0.234a	0.717 ± 0.083cdefgh	1.758 ± 0.1a	0.25 ± 0.037a	3.021 ± 0.826fg	7.841 ± 2.634hij	0.371 ± 0.136fg	2.599 ± 0.454jkl	4.559 ± 1.511fghi	0.583 ± 0.03abc
	2.45 ± 0.456bcd	3.017 ± 0.465bcd	2.013 ± 0.193ef	0.721 ± 0.17cdefgh	1.538 ± 0.119cd	0.125 ± 0.045efg	3.188 ± 1.027efg	10.547 ± 3.415bcde	0.303 ± 0.117efg	3.326 ± 0.378bc	5.629 ± 2bcde	0.53 ± 0.038ijk
广西金秀	1.982 ± 0.483efghi	2.514 ± 0.56efgh	2.032 ± 0.212def	0.6 ± 0.141efgh	1.623 ± 0.181abc	0.135 ± 0.032def	3.397 ± 0.679def	9.863 ± 1.444cdef	0.327 ± 0.094def	2.95 ± 0.349defgh	5.39 ± 0.942cdef	0.545 ± 0.031fghij
	2.258 ± 0.306cdefg	2.8 ± 0.364cdef	2.292 ± 0.412cd	0.554 ± 0.164fgh	1.608 ± 0.12bc	0.186 ± 0.053bc	3.611 ± 0.563cde	9.511 ± 2.123defg	0.311 ± 0.115cde	2.619 ± 0.273ijkl	5.182 ± 1.098def	0.546 ± 0.021fghij
湖南洞口	2.633 ± 0.64bc	3.108 ± 0.717bc	1.917 ± 0.502fg	0.621 ± 0.18efgh	1.621 ± 0.262abc	0.159 ± 0.027cd	4.068 ± 0.802ab	11.041 ± 2.639abc	0.379 ± 0.081ab	2.7 ± 0.224hij	6.274 ± 1.285ab	0.573 ± 0.041abcde
	2.347 ± 0.306cdef	2.82 ± 0.386cdef	2.037 ± 0.233def	0.717 ± 0.189cdefgh	1.44 ± 0.115de	0.135 ± 0.044def	3.017 ± 0.6fg	9.406 ± 1.804defg	0.333 ± 0.124fg	3.17 ± 0.57bcde	5.161 ± 1.071def	0.548 ± 0.025efghij
福建永安	2.195 ± 0.167defghi	2.785 ± 0.181cdefg	1.77 ± 0.337fghi	0.555 ± 0.139fgh	1.293 ± 0.1efgh	0.078 ± 0.034jk	3.1 ± 0.365fg	8.183 ± 1.174ghi	0.326 ± 0.149fg	2.646 ± 0.27ijk	4.674 ± 0.787fgh	0.57 ± 0.039abcdef
	2.125 ± 0.377defghi	2.633 ± 0.377cdefg	1.542 ± 0.278ij	0.692 ± 0.219cdefgh	1.217 ± 0.174fgh	0.094 ± 0.017ghij	3.387 ± 0.581def	9.723 ± 1.285cdef	0.29 ± 0.097def	2.899 ± 0.278efghi	5.777 ± 0.984bcd	0.592 ± 0.047a
福建漳州	1.825 ± 0.188hij	2.506 ± 0.202efgh	1.591 ± 0.239hij	0.666 ± 0.259defgh	1.147 ± 0.107h	0.098 ± 0.01ghij	2.49 ± 0.668hi	8.998 ± 0.953fgh	0.352 ± 0.106hi	3.805 ± 0.827a	5.329 ± 0.691def	0.591 ± 0.032ab
	1.871 ± 0.832ghi	2.386 ± 1.059fghi	1.593 ± 0.449hij	0.521 ± 0.138gh	1.314 ± 0.282efg	0.114 ± 0.027fghi	3.761 ± 0.347bcd	11.886 ± 2.096a	0.468 ± 0.198bcd	3.169 ± 0.526bcde	6.782 ± 1.574a	0.566 ± 0.048bcdef
广东河源	1.775 ± 0.451ijk	2.3 ± 0.544ghij	1.35 ± 0.152jk	0.642 ± 0.156efgh	1.192 ± 0.124gh	0.093 ± 0.024ghij	3.35 ± 0.402def	10.575 ± 1.485bcde	0.385 ± 0.103def	3.157 ± 0.249bcde	6.15 ± 0.867abc	0.583 ± 0.03abc
	1.417 ± 0.225k	2.133 ± 0.115hij	1.25 ± 0.18k	0.483 ± 0.161h	1 ± 0.132i	0.1 ± 0.02ghij	4.34 ± 0.679a	10.122 ± 1.519bcdef	0.419 ± 0.107a	2.35 ± 0.277i	5.739 ± 0.787bcd	0.57 ± 0.048abcdef
湖北武汉	2.51 ± 0.306bcd	3.075 ± 0.347bcd	1.829 ± 0.451fgh	0.731 ± 0.132cdefgh	1.436 ± 0.246de	0.144 ± 0.032def	3.208 ± 0.338efg	10.154 ± 1.226bcdef	0.254 ± 0.078efg	3.172 ± 0.282bcde	5.3 ± 0.677def	0.522 ± 0.029jk
	1.933 ± 0.513fghi	2.467 ± 0.569fgh	2.283 ± 0.029cd	0.933 ± 0.115bc	1.583 ± 0.076bcd	0.083 ± 0.006ijk	3.85 ± 0.553bc	8.997 ± 1.313fgh	0.388 ± 0.072bc	2.34 ± 0.16l	4.647 ± 0.74fgh	0.516 ± 0.02k
江西广丰	2 ± 0.1efghi	2.4 ± 0.1fghi	1.883 ± 0.029fg	0.65 ± 0.05efgh	1.55 ± 0.05cd	0.053 ± 0.006k	3.928 ± 0.368abc	9.325 ± 0.979efg	0.359 ± 0.111abc	2.376 ± 0.164kl	5.031 ± 0.645defg	0.538 ± 0.025ghijk
	1.893 ± 0.392ghi	2.363 ± 0.453fghi	1.85 ± 0.305fgh	0.793 ± 0.301bcdef	1.387 ± 0.134e	0.134 ± 0.023def	2.135 ± 0.31i	6.835 ± 0.865j	0.35 ± 0.09i	3.226 ± 0.365bcd	3.829 ± 0.523i	0.561 ± 0.039cdefgh
湖北宜昌	1.94 ± 0.391fghi	2.51 ± 0.456efgh	2.5 ± 0.389bc	0.85 ± 0.304bcde	1.72 ± 0.217ab	0.212 ± 0.054b	3.212 ± 0.33efg	10.747 ± 1.112abcd	0.429 ± 0.105efg	3.359 ± 0.313b	6.182 ± 0.795abc	0.575 ± 0.033abcd
	2.794 ± 0.552b	3.281 ± 0.589b	2.006 ± 0.345ef	1.425 ± 0.406a	1.569 ± 0.183cd	0.153 ± 0.035de	2.779 ± 0.193gh	7.714 ± 0.494hij	0.282 ± 0.067gh	2.792 ± 0.286fghij	4.307 ± 0.332ghi	0.558 ± 0.026cdefgh
江西余江	2.14 ± 0.483defghi	2.6 ± 0.505defgh	2.2 ± 0.122de	0.92 ± 0.13bcd	1.61 ± 0.164bc	0.122 ± 0.018efgh	2.431 ± 0.367hi	7.478 ± 1.469ij	0.325 ± 0.073hi	3.075 ± 0.361bcdef	4.092 ± 0.805hi	0.548 ± 0.023efghij
	1.975 ± 0.504efghi	2.378 ± 0.55fghi	1.689 ± 0.274ghi	0.711 ± 0.232cdefgh	1.303 ± 0.237efg	0.079 ± 0.023jk	2.98 ± 0.622fg	7.78 ± 1.948hij	0.363 ± 0.09fg	2.595 ± 0.232jkl	4.305 ± 1.1ghi	0.553 ± 0.03defghi
江西南昌	1.41 ± 0.314k	1.871 ± 0.342j	1.381 ± 0.187jk	0.681 ± 0.134cdefgh	1.171 ± 0.126gh	0.073 ± 0.015jk	3.27 ± 0.49ef	8.922 ± 1.404fgh	0.43 ± 0.118ef	2.734 ± 0.22ghij	4.985 ± 0.883defg	0.557 ± 0.023cdefgh

注:同列不同的字母表示差异显著($p < 0.05$),各性状值单位均为 cm。

状的平均变异系数最大的为广东梅州居群(25.5%), 其次为广西平乐(22.36%)、贵州榕江(21.99%)及江西南昌(21.25%)居群, 这些居群表型变异丰富,

多样性较高; 而平均变异系数最小的为广西桂林(12.4%)、安徽池州(12.1%)和江西广丰(8.97%)居群, 这些居群多样性较低。

表4 栀子25个野生居群果实和叶片表型性状的变异系数(CV)/%

群体	萼裂片长	萼长	果长	果柄长	果径	纵棱宽	叶宽	叶长	叶柄长	长宽比	最宽处至叶基长	最宽处至叶基长与叶长之比	平均
安徽池州	5.157	6.327	13.873	20.895	10.043	12.549	13.868	14.048	20.180	7.908	15.126	5.700	12.140
浙江绍兴	14.748	12.234	18.648	35.939	17.605	18.029	26.378	23.449	19.174	23.006	25.663	7.250	20.177
浙江义乌	18.721	17.583	20.580	40.016	13.239	40.774	14.604	14.248	28.620	13.321	16.117	5.132	20.246
贵州榕江	25.795	19.649	10.888	41.386	11.251	19.974	31.686	30.397	19.393	11.266	35.006	7.154	21.987
广西金秀	7.864	8.173	6.456	11.649	5.666	14.771	27.351	33.594	36.657	17.461	33.150	5.184	17.331
广西平乐	18.623	15.408	9.600	23.561	7.736	36.182	32.214	32.379	38.479	11.371	35.526	7.223	22.359
湖南道县	24.390	22.259	10.456	23.570	11.141	23.822	19.987	14.643	28.846	11.825	17.482	5.757	17.848
湖南邵阳	13.544	13.011	17.988	29.666	7.479	28.331	15.590	22.321	37.025	10.420	21.198	3.870	18.370
湖南洞口	24.307	23.055	26.213	29.030	16.188	17.249	19.705	23.903	21.382	8.283	20.479	7.103	19.741
福建顺昌	13.047	13.682	11.457	26.326	8.004	32.715	19.898	19.181	37.104	17.971	20.753	4.523	18.722
福建永安	7.605	6.515	19.058	24.956	7.765	43.546	11.762	14.350	45.735	10.212	16.837	6.802	17.929
福建龙岩	17.736	14.331	18.022	31.710	14.272	18.371	17.149	13.218	33.356	9.591	17.033	7.947	17.728
福建漳州	10.300	8.075	15.019	38.860	9.346	10.256	26.839	10.587	30.274	21.721	12.970	5.466	16.643
广东梅州	44.463	44.372	28.160	26.468	21.489	23.618	9.214	17.638	42.250	16.611	23.208	8.524	25.501
广东河源	25.430	23.655	11.234	24.352	10.419	25.951	11.989	14.043	26.637	7.876	14.104	5.104	16.733
广东东莞	15.915	5.413	14.422	33.254	13.229	20.000	15.652	15.004	25.582	11.780	13.709	8.482	16.037
湖北武汉	12.179	11.276	24.633	18.013	17.142	22.117	10.550	12.073	30.585	8.885	12.774	5.475	15.475
广西桂林	26.543	23.052	1.264	12.372	4.824	6.929	14.360	14.598	18.550	6.856	15.928	3.882	12.430
江西广丰	5.000	4.167	1.533	7.692	3.226	10.826	9.376	10.504	30.991	6.908	12.814	4.624	8.972
江西永丰	20.695	19.166	16.503	37.955	9.682	17.342	14.524	12.648	25.754	11.312	13.656	6.993	17.186
湖北宜昌	20.162	18.170	15.556	35.781	12.604	25.707	10.275	10.352	24.376	9.312	12.854	5.742	16.741
安徽潜山	19.755	17.955	17.186	28.505	11.672	22.648	6.941	6.408	23.685	10.229	7.698	4.686	14.781
江西余江	22.556	19.422	5.567	14.172	10.159	14.663	15.086	19.646	22.543	11.753	19.670	4.268	14.959
江西南昌	25.528	23.150	16.233	32.674	18.216	28.467	20.867	25.034	24.866	8.948	25.563	5.451	21.250
江西全南	22.312	18.289	13.522	19.631	10.762	19.958	14.975	15.732	27.522	8.052	17.716	4.100	16.048
平均	18.495	16.336	14.563	26.737	11.326	22.192	17.234	17.600	28.783	11.715	19.081	5.858	17.493

2.3 栀子果实和叶片性状的表型分化

各方分量占总变异比例及表型分化系数见表5, 由表5可知, 12个表型性状的表型分化系数变化在71.5%~93.0%之间, 其中表型分化系数最大的为纵棱宽, 最小的为果径, 各性状表型分化系数值均较大, 且叶片表型分化系数均值(86.26%)与果实表型分化系数均值(85.67)大小相当。由叶片和果实12个表型性状方差分量百分数均值可知, 居群间的方差分量占总变异的45.66%, 居群内占7.59%, 随机误差占46.75%, 12个表型性状的平均表型分化系数为85.97%, 说明栀子表型变异居群间的贡献率为85.97%, 居群内的贡献率仅为14.03%, 栀子居群间的表型变异大于居群内的表型变异, 栀子

野生居群表型分化变异以居群间的变异为主。

2.4 栀子叶片和果实表型性状间及其与采样点地理气候因子的相关分析

栀子12个表型性状间的相关分析结果见表6, 作为以果实为收获目的而栽培的大宗药材, 果实大小直接关系到栀子药材的产量和品相。由表6可知, 果径与果萼裂片长、萼长、纵棱宽等果实性状呈极显著正相关, 与萼长呈显著正相关, 与叶宽、叶长、叶柄长、叶长宽比等叶片性状呈负相关; 果长与萼裂片长及萼长呈显著正相关, 与果径及纵棱宽呈极显著正相关, 同样与叶宽、叶长、叶柄长、叶长宽比等叶片性状呈负相关。另外, 果实6性状间相关性均表现为正相关, 且性状之间的相关关系大多表现为显

著正相关,其中萼裂片长、萼长、纵棱宽三个果实性状之间均呈极显著正相关;叶柄长与叶宽、叶长及最

宽处至叶基长均呈显著正相关,而叶宽与长宽比呈极显著负相关。

表 5 梔子果实和叶片表型性状的方差分量及居群间(内)表型分化系数

性状	方差分量			方差分量百分数/%			表型分化系数/%
	居群间	居群内	随机误差	居群间	居群内	随机误差	
萼裂片长	53.110	7.293	33.199	56.740	7.792	35.469	87.926
萼长	58.094	9.433	42.469	52.814	8.576	38.609	86.030
果长	59.124	12.112	14.834	68.693	14.072	17.235	82.997
果柄长	7.661	0.615	11.622	38.500	3.091	58.409	92.567
果径	8.772	3.497	4.422	52.558	20.950	26.493	71.500
纵棱宽	0.597	0.045	0.205	70.511	5.311	24.178	92.996
叶宽	117.833	9.116	144.210	43.455	3.362	53.183	92.820
叶长	715.348	100.741	1249.810	34.626	4.876	60.497	87.656
叶柄长	1.163	0.324	4.647	18.954	5.277	75.769	78.221
长宽比	69.577	11.528	58.094	49.984	8.282	41.735	85.787
最宽处至叶基长	237.647	34.923	443.936	33.167	4.874	61.958	87.187
最宽处至叶基长与叶长之比	0.186	0.031	0.449	27.923	4.587	67.490	85.892
平均	—	—	—	45.660	7.587	46.752	85.965

梔子表型性状与地理因子的相关性分析表明,除叶长宽比之外,叶片各性状与经度呈负相关,果实各性状与经度呈正相关,其中萼长与经度呈显著正相关,果柄长及萼裂片长与经度呈极显著正相关,即在地理位置上由西向东,梔子果大小趋于增大,而叶片大小趋于减小;梔子果径与纬度呈极显著负相关,果长与平均海拔呈极显著正相关。梔子表型性状与气候因子的相关性分析表明,叶片各性状与年均温及1月均温呈正相关,果实各性状与年均温及1月均温呈负相关,其中果径、果柄长、萼长及萼裂片长与1月均温呈显著负相关,与年均温呈极显著负相关;除叶宽、叶柄长及最宽处至叶基长与叶长比之外,年降雨量与叶片和果实的其他性状间均呈负相

关,而年日照与果柄长呈显著正相关(表7)。

2.5 不同地理居群梔子表型性状的聚类分析

为研究居群间的相似性,根据表型性状利用居群间欧氏距离进行UPGMA聚类分析,结果表明(图1),以1.9为阈值时,梔子25个野生居群分为6组,其中来自广东的两个居群和来自广西的一个居群即梅州、东莞及金秀居群单独成一组,安徽池州和湖南洞口居群成一组,来自江西的三个居群即南昌、永丰及余江居群与福建永安、安徽潜山居群成一组,其他15个居群组成一大组。从总体上看,梔子25个野生居群表型特征并没有依地理距离而聚类,来自梔子栽培主产区的江西、湖南、福建三省的梔子野生居群聚类结果也较为分散,说明地理距离的远近和表

表 6 梔子野生居群果实和叶片表型性状间相关关系

性状	萼裂片长	萼长	果长	果柄长	果径	纵棱宽	叶宽	叶长	叶柄长	长宽比	最宽处至叶基长	最宽处至叶基长与叶长之比
萼裂片长	1											
萼长	0.985 **	1										
果长	0.499 *	0.501 *	1									
果柄长	0.542 **	0.507 **	0.303	1								
果径	0.517 **	0.472 *	0.822 **	0.349	1							
纵棱宽	0.550 **	0.589 **	0.781 **	0.268	0.660 **	1						
叶宽	-0.008	0.023	-0.109	-0.331	-0.023	-0.043	1					
叶长	0.133	0.183	-0.168	-0.279	-0.068	0.126	0.679 **	1				
叶柄长	-0.328	-0.304	-0.048	-0.184	-0.196	0.015	0.401 *	0.412 *	1			
长宽比	0.074	0.109	-0.114	0.081	-0.13	0.13	-0.554 **	0.209	-0.054	1		
最宽处至叶基长	0.076	0.133	-0.207	-0.318	-0.156	0.132	0.617 **	0.962 **	0.448 *	0.257	1	
最宽处至叶基长与叶长之比	-0.122	-0.083	-0.107	-0.161	-0.303	0.105	-0.138	-0.036	0.151	0.177	0.237	1

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。

表7 梔子野生居群果实和叶片表型性状与地理生态因子间的相关关系

性状	经度	纬度	平均海拔	年均温	1月均温	7月均温	无霜期	年降水量	年日照
萼裂片长	0.561 **	0.176	-0.079	-0.586 **	-0.492 *	-0.255	-0.584 **	-0.253	0.308
萼长	0.503 *	0.151	-0.083	-0.507 **	-0.411 *	-0.286	-0.517 **	-0.266	0.325
果长	0.201	-0.361	0.508 **	-0.450 *	-0.256	-0.222	-0.112	-0.269	-0.023
果柄长	0.605 **	0.22	-0.207	-0.529 **	-0.483 *	0.043	-0.600 **	-0.079	0.455 *
果径	0.335	-0.470 *	0.281	-0.563 **	-0.451 *	-0.287	-0.213	-0.25	-0.176
纵棱宽	0.26	-0.352	0.278	-0.417 *	-0.239	-0.308	-0.14	-0.418 *	-0.124
叶宽	-0.177	-0.223	0.048	0.134	0.114	-0.296	0.153	0.229	0.044
叶长	-0.031	-0.081	-0.207	0.148	0.059	-0.345	0.039	-0.14	0.002
叶柄长	-0.174	-0.011	-0.031	0.163	0.187	0.042	0.178	0.145	0.012
长宽比	0.13	0.233	-0.35	0.081	0.008	0.048	-0.076	-0.397 *	-0.033
最宽处至叶基长	-0.118	-0.007	-0.133	0.225	0.213	-0.36	0.126	-0.105	0.001
最宽处至叶基长与叶长之比	-0.299	0.25	0.257	0.266	0.552 **	-0.092	0.304	0.1	0.013

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。

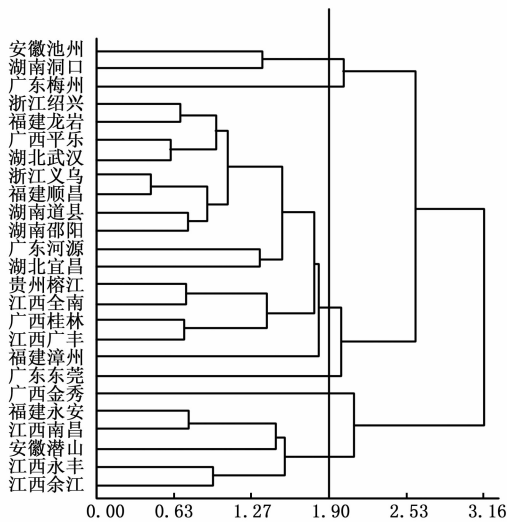


图1 不同地理居群梔子果实和叶片表型性状聚类图

型欧氏距离的大小不存在明显的相关性, 梔子不同居群间叶片和果实性状的变异在空间上是不连续的。

3 结论与讨论

3.1 梔子野生居群叶片和果实表型变异丰富

通过梔子 25 个野生居群叶片和果实 12 个表型性状的调查研究, 发现梔子叶片和果实形态特征在居群间均存在显著差异, 居群间的表型变异极为丰富, 且不同表型性状的变异幅度不同, 居群间和居群内变异系数的变幅为 1.26%~45.74%, 平均表型分化系数为 85.97%, 显著高于白花树 (59.08%)^[20]、紫丁香 (43.93%)^[21]、山苍子 (60.19%)^[23]、浙江柿 (40.14%)^[26] 等树种, 这说明梔子野生居群表型分化系数很大, 加之观察到梔子蕾期其紧贴在膨大柱头上的花药已经裂开, 花粉已成熟并完成授粉, 因此

梔子很可能存在较高的居群内自交率^[21-27]。其野生居群表型分化变异以居群间变异为主, 且以果径、果长、纵棱宽、果柄长等果实性状在不同产地间表现的尤为不稳定, 说明梔子果实性状的形成与产地环境关系密切, 在一定程度上也反映出它们都具有较强的可塑性。环境异质性不仅会导致居群表型变异的差异, 长期的积累也会导致基因型的变异^[28-29], 作为以果实为收获目的而栽培的大宗药材, 有目的的引进野生居群的遗传资源, 如安徽池州、广西金秀居群表现出较大的果长、果径, 这对该种森林药材的遗传改良工作意义重大。

3.2 梔子野生居群叶片和果实性状间相关性明显

在进行目标性状改良时, 应考虑性状间的相关性, 对其中一个性状的改良, 极有可能改变与其相关性显著的其它性状, 因此在性状选择上应当有不同的改良方向 and 选择标准^[30]。梔子叶片和果实表型性状间的相关分析结果表明, 与药材产量和品相息息相关的果径与果实其他性状呈正相关, 而与叶片性状呈负相关, 且梔子的叶形指数与多个果实性状间为负相关, 因此, 在野外进行梔子遗传资源收集过程中, 可以根据营养器官叶片的性状来初步判断其所结果实的性状, 目标性状如果是需要较大的果实, 则选择时更应重点关注叶片较小的株系, 即叶片较小的单株往往可能挂较大的果实。也说明该基因型的植株在土壤肥力相当的情况下, 能有效的把更多营养物质积累用于繁殖后代。

3.3 梔子的表型变异呈现地理气候因子梯度变化趋势

纬度变化主要导致温度因子的变化, 而经度变化主要反映水分状况的变化, 海拔的变化则在两方面因子均有反映。因此, 梔子叶片和果实性状受热

量因子和年降水量的控制明显。地理位置上由西向东, 栀子果大小趋于增大, 而叶片大小趋于减小, 栀子叶片和果实各性状和其它地理气候因子间也存在明显的相关性, 其结果同样说明植物大多数形态变异都与其对生态环境的适应密切相关, 栀子所处不同的气候生态条件的复杂性及多样性, 是其形态学多样性丰富的主要因子。栀子在中国有着极广的野生分布, 有记载栀子引自西域, 在中国有着悠久的栽培历史^[31-33], 栽培历史可追溯到 2100 年前, 如今作为药用及色素植物西至云南, 北至河南均有大面积栽培。而居群表型特征并没有依地理距离而聚类, 可能由于长期大面积的人工栽培, 跨省份、地域引种现象普遍对其野生居群间遗传多样性造成的影响。

综上所述, 栀子野生居群叶片和果实性状的表型变异丰富, 它们是基因型和环境因子共同作用的结果, 本文研究结果对栀子遗传资源选育及遗传改良具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志(第 71 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1999:08.

[2] Tseng T H, Chu C Y, Huang J M, *et al.* Crocetin protects against oxidative damage in rat primary hepatocytes [J]. *Cancer letters*, 1995, 97(1): 61-67.

[3] Watanabe T, Terabe S. Analysis of natural food pigments by capillary electrophoresis [J]. *Journal of Chromatography A*, 2000, 880(1): 311-322.

[4] Yamada S, Oshima H, Saito I, *et al.* Adoption of crocetin as an indicator compound for detection of gardenia yellow in food products (Analysis of natural coloring matters in food V) [J]. *J Food Hyg Soc Jap*, 1996, 37: 372-377.

[5] Higashino S, Sasaki Y, Giddings J C, *et al.* Crocetin, a Carotenoid from *Gardenia jasminoides* Ellis, Protects against Hypertension and Cerebral Thrombogenesis in Stroke-prone Spontaneously Hypertensive Rats [J]. *Phytotherapy Research*, 2014, 28(9): 1315-1319.

[6] Song J L, Wang R, Shi Y P, *et al.* Iridoids from the flowers of *Gardenia jasminoides* Ellis and their chemotaxonomic significance [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 56: 267-270.

[7] 陈 雁, 张现涛, 张雷红, 等. 栀子化学成分及药理作用研究进展 [J]. *海峡药学*, 2010, (12): 1-5.

[8] Peng K, Yang L, Zhao S, *et al.* Chemical constituents from the fruit of *Gardenia jasminoides* and their inhibitory effects on nitric oxide production [J]. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 2013, 23(4): 1127-1131.

[9] 韩建萍, 陈士林, 张文生, 等. 栀子道地性的分子生态学 [J]. *应用生态学报*, 2006, (12): 2385-2388.

[10] 葛 菲, 周至明. 栀子及其近缘类群的随机扩增多态 DNA 分析 [J]. *时珍国医国药*, 2007, (08): 1917-1918.

[11] 易刚强, 李云耀, 崔培梧, 等. 栀子过氧化物酶、酯酶同工酶的遗传多样性分析 [J]. *中南药学*, 2012, (06): 428-432.

[12] 韩建萍, 陈士林, 张文生, 等. 栀子遗传多样性及遗传分化的 RAPD 分析 [J]. *中国药学杂志*, 2007, (23): 1774-1778.

[13] Han J, Zhang W, Cao H, *et al.* Genetic diversity and biogeography of the traditional Chinese medicine, *Gardenia jasminoides*, based on AFLP markers [J]. *Biochemical systematics and ecology*, 2007, 35(3): 138-145.

[14] 雷 粟, 王 益, 赵阿曼, 等. 栀子道地药材遗传关系的 ISSR 证据 [J]. *中草药*, 2009, (01): 116-120.

[15] Van Rossum F, Triest L. Fine-scale genetic structure of the common *Primula elatior* (Primulaceae) at an early stage of population fragmentation [J]. *American Journal of Botany*, 2006, 93(9): 1281-1288.

[16] 葛 颂, 洪德元. 濒危物种裂叶沙参及其近缘广布种泡沙参的遗传多样性研究 [J]. *遗传学报*, 1999, 26(4): 410-417.

[17] Godt M J W, Walker J, Hamrick J L. Genetic diversity in the endangered lily *Harperocallis flava* and a close relative, *Tofieldia racemosa* [J]. *Conservation Biology*, 1997, 11(2): 361-366.

[18] Zhou S L, Wen J, Hong D Y. Allozyme diversity in *Eleutherococcus senriensis* and *E. brachypus* (Araliaceae) from China and its implication for conservation [J]. *SIDA Contribution to Botany*, 2004, (21): 993-1007.

[19] 郭宏波. 野生与栽培党参遗传多样性及其保存和保护策略研究 [D]. 复旦大学, 2007.

[20] 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, (06): 694-700.

[21] 明 军, 顾万春. 紫丁香表型多样性研究 [J]. *林业科学研究*, 2006, (02): 199-204.

[22] 杨维泽, 金 航, 李晚谊, 等. 濒危植物云南黄连不同居群表型多样性研究 [J]. *云南大学学报:自然科学版*, 2013, (05): 719-726.

[23] 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, (07): 1665-1672.

[24] 王贤荣, 谢春平, 伊贤贵, 等. 不同居群野生早樱形态变异研究 [J]. *植物研究*, 2007, 27(6): 746-752.

[25] 葛 颂, 王明麻, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构 [J]. *林业科学*, 1988, 24(4): 399-409.

[26] 井振华, 李 皓, 邵文豪, 等. 浙江柿天然群体表型多样性研究 [J]. *植物研究*, 2010, (03): 325-331.

[27] Hamrick J L, Godt M J W, Sherman-Broyles S L. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species [M]. *Population genetics of forest trees*. Springer Netherlands, 1992: 95-124.

[28] 金 燕, 卢宝荣. 遗传多样性的取样策略 [J]. *生物多样性*, 2003, (02): 155-161.

[29] Gustavsson B A. Genetic variation in horticulturally important traits of fifteen wild lingonberry *Vaccinium vitisidaea* L. populations [J]. *Euphytica*, 2001, 120(2): 173-182.

[30] 柴春山, 芦 娟, 蔡国军, 等. 文冠果人工种群的果实表型多样性及其变异 [J]. *林业科学研究*, 2013, (02): 181-191.

[31] 方 敏, 姜卫兵. 栀子的民族植物学研究及园林应用概述 [J]. *南方农业: 园林花卉版*, 2010, (005): 30-34.

[32] 俞香顺, 周 茜. 中国栀子审美文化探析 [J]. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2010, (001): 6-12.

[33] 慕 华. 我国栽培作物来源的探讨 [J]. *中国农业科学*, 1981, 4: 86-95.