

12种金花茶组植物叶片的比较形态学研究*

陈春如¹ 谢佩吾² 邹家通² 连辉明² 汪迎利² 邱文霞¹
何波祥² 蔡燕灵² 梁东成² 陈一群² 陈杰连²

(1. 广东尚善环境建设有限公司, 广东 韶关 512000; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 研究利用万深 LA-S 系列植物图像分析仪和扫描电子显微镜 (SEM) 分别对山茶属金花茶组下 12 个种进行叶片形态数量特征和表皮特征进行比较研究。植物图像分析结果表明, 12 种金花茶属植物在叶周长、叶面积、叶柄长、叶长、叶宽、叶厚、叶长宽比, 以及叶鲜重和干重 9 个性状上差异均极显著, 9 个性状在相同种不同个体之间差异显著, 说明金花茶组植物种间和种内的叶片形态上具有丰富的性状变异, 无法作为组下分类的依据, 但为育种提供了良好的遗传基础。叶表皮形态观测结果表明, 12 个种的叶片上表皮形态结构基本一致, 无气孔分布, 细胞均为不规则形, 细胞间界限不清晰; 12 个种的下表皮均有气孔分布, 并具腺点, 但不同种的气孔形状和细胞垂周壁式样在一些种间存在着明显的差异, 腺点形态也各不相同, 这些性状在种内较为稳定, 可为金花茶组的分类提供参考依据。

关键词 山茶属; 金花茶组; 叶片形态; 扫描电镜

中图分类号: S722 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 06-0007-09

Comparative Leaf Morphology Study of 12 Species of Sect. *Chrysantha* (Theaceae, *Camellia*)

CHEN Chunru¹ XIE Peiwu² ZOU Jiatong² LIAN Huiming²
WANG Yingli² QIU Wenxia¹ HE Boxiang² CAI Yanling²
LIANG Dongcheng² CHEN Yiqun² CHEN Jieliang²

(1. Guangdong Shangshan Environmental Construction Co., Ltd, Shaoguan, Guangdong 512000, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract In this study, the morphological and epidermal features of 12 species of Sect. *Chrysantha* were compared using the LA-S series of plant image analyzers and scanning electron microscopy (SEM). The plant image analysis results showed that the difference of 9 characters, i.e., leaf circumference, leaf area, petiole length, leaf length, leaf width, length/width ratio, leaf thickness, leaf fresh weight and dry weight were extremely significant between 12 species and significant between different individuals of the same species, which suggested the 9 characters could not be used in the intrasection classification of Sect. *Chrysantha* but provided diverse genetic resources of breeding. The SEM observation results indicated the upper epidermis characters of the 12 species were similar, which were the absent of stomata, irregular epidermis cells shape and ambiguous boundaries

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2016KJCX007)。

第一作者: 陈春如 (1981—), 男, 工程师, 主要从事园林景观构建, 森林培育研究, E-mail: 121121714@qq.com。

通信作者: 何波祥 (1966—), 男, 研究员, 主要从事森林培育研究, E-mail: heboxiang@163.com。

between the cells; the lower epidermis of all the 12 species were presented with stomata and gland, however, the stomata and gland shapes, as well as the anticlinal wall patterns were different among species, which provided evidences for the taxonomy of Sect. *Chrysantha*.

Key words *Camellia*; Sect. *Chrysantha*; leaf character; scanning electron micro scopy (SEM)

植物形态特征和生长特性的改变是适应生存环境的表现形式^[1]。植物通过调节自身形态结构及生理特征来响应和适应环境变化^[2-3]。叶片对生存环境的变化较为敏感且可塑性较大,因此,同一物种在不同地区的叶片长、叶片宽、叶片面积、叶缘周长、叶柄等性状可能存在明显差异^[2,4]。

金花茶组 (Sect. *Chrysantha* Chang) 隶属山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia*), 是以金花茶 (*Camellia nitidissima* C.W.Chi) 为代表的具有金黄色花的山茶属植物。它们是山茶属中唯一花色金黄的类群, 是培育黄色山茶系新品种的珍贵种质资源。金花茶组植物具有极高的观赏和科研价值^[5-7], 被誉为“植物界大熊猫、茶族皇后、世界珍品”^[8-10], 被列为国家一级保护植物和《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录 II 中的物种。金花茶分布较为狭窄, 主要分布于我国广西南部, 以及越南北部, 个别种分布于我国云南和贵州^[11], 缅甸、泰国、马来西亚和日本等国仅有少量分布或零星栽培^[12]。金花茶喜温暖湿润的气候和排水良好的酸性土壤, 生长于海拔 700 m 以下, 以海拔 200~500 m 之间的范围较为常见, 垂直分布下限为海拔 20 m 左右, 垂直分布上限可达海拔 890 m。

目前, 国内对山茶属的研究较为丰富, 尤其是亲缘关系鉴定、遗传多样性评价、引种与栽培技术、化学成分和药理作用等方面^[10-11, 13-14], 也有少量关于叶表皮形态的报道^[15-16], 但尚无针对山茶组植物开展的较为全面的叶宏观和微观形态

的研究。本研究以 12 种金花茶组植物为材料, 对其叶片表型性状和叶表皮形态进行比较分析, 以期探索金花茶组植物叶片形态的量化特征值差异, 旨在生产应用上能快速初步辨别某些金花茶种类, 并开发具有观叶价值的金花茶种类, 为金花茶组的分类及品种选育提供参考依据, 同时也为我国金花茶组种质资源保护与种质创新奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所观察的金花茶属 12 个种均来自广东省佛山植物园 (表 1)。2018 年 7 月中旬, 每个种挑选 3 棵长势良好的植株, 从树冠外缘各采集 0.5~1.0 a 叶龄的 30 片完整且无病虫害的叶片, 及时装入密封塑料袋并用油笔进行编号, 运回实验室, 置于 4 °C 冰箱保存。

1.2 试验方法

利用 Canon Image CLASS MF229dw 多功能扫描仪获得叶片图像, 同一种来自同一植株的叶片放在一起进行正反两面扫描; 运用万深 LA-S 系列植物图像分析仪对叶片进行叶片长度、叶片宽度、叶长宽比、叶柄长、叶缘周长及叶面积的分析; 每个品种随机选取十片叶片测量叶尖、叶中和叶基 3 个部分的厚度, 取平均数, 每个种重复 10 次; 测完的同一个品种叶片称取其鲜重, 再将叶片全部放入烘箱烘干水分, 称取其干重。

对叶表皮的形态研究, 每个品种选取 3 片生

表 1 试验材料
Table 1 Test materials

编号 Number	种名 Species name	拉丁名 Latin name	编号 Number	种名 Species name	拉丁名 Latin name
1	凹脉金花茶	<i>Camellia impressinervis</i>	7	中东金花茶	<i>Camellia achrysantha</i>
2	龙洲金花茶	<i>Camellia longzhouensis</i>	8	夏石金花茶	<i>Camellia xiashiensis</i>
3	柠檬金花茶	<i>Camellia limonia</i>	9	武鸣金花茶	<i>Camellia wumingensis</i>
4	小花金花茶	<i>Camellia micrantha</i>	10	毛瓣金花茶	<i>Camellia pubipetala</i>
5	小果金花茶	<i>Camellia microcarpa</i>	11	金花茶	<i>Camellia nitidissima</i>
6	四季金花茶	<i>Camellia ptilosperma</i>	12	显脉金花茶	<i>Camellia euphlebica</i>

长良好的叶片, 每片叶片于中部相同位置切取 3 块 $7\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的组织片, 迅速浸入 2.5% 戊二醛固定液中, 于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下固定 2 h; 取出后用磷酸缓冲液 (pH 值 6.8) 冲洗 3 次, 每次 10 min, 随后分别用 30%、50%、70% 的乙醇进行梯度脱水, 每次 20 min, 再用无水乙醇脱水 3 次, 每次 15 min; 用双面胶将叶片组织片贴在样品台上, 干燥后用 JFC-1100 离子溅射仪喷金, 之后使用 JSM-6360LV 扫描电子显微镜在 10 KV 电压下观察并拍照。气孔的长度和宽度使用与 SEM 配套的 SMile View 软件 (Ver.2.26, JEOL Ltd.) 测量, 每个样品测量至少 10 个气孔。气孔密度为单位面积的气孔个数, 观测物镜下显微镜视野的气孔数目; 气孔指数计算式为 $I = [S / (S + N)] \times 100\%$ (S 代表一定面积内的气孔数目, N 代表相同面积内表皮细胞的数目), 取平均值。

1.3 统计与分析

采用 Excel 2010 及 SPSS 19.0 软件对叶片性状数据进行多重比较、方差分析和“组间联接”聚类分析。数据结果以平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 种间和种内的叶片性状差异分析

2.1.1 叶片性状多重比较 用 Excel 和 SPSS 对

12 种金花茶组植物的叶片长、叶片宽、叶长宽比、叶柄长、叶缘周长、叶面积、叶鲜重、叶干重及叶厚度的相关数据进行统计分析多重比较, 结果见表 2。金花茶叶片形态的变异, 叶长度变幅是 61.46~169.92 mm, 叶宽度变幅为 29.78~80.99 mm, 叶长宽比变幅为 1.97~2.73 mm, 叶柄长变幅为 5.91~14.39 mm, 叶缘周长变幅是 154.30~437.77 mm, 叶面积变幅为 10 201.79~21 268.11 mm^2 , 叶厚度变幅为 0.13~0.26 mm, 叶鲜重变幅为 0.24~2.69 g, 叶干重变幅为 0.12~1.06 g。叶片长度、叶片宽度、叶缘周长、叶面积、叶鲜重、叶干重 6 个性状最大的均为显脉金花茶, 叶片长度、叶片宽度、叶缘周长、叶面积 4 个性状最小的均是四季金花茶, 叶片长宽比、叶鲜重、叶干重最小的均是柠檬金花茶, 叶柄长最小是中东金花茶, 叶长宽比与叶柄长最大的是金花茶, 叶片厚度最大和最小的分别是龙洲金花茶和武鸣金花茶。

2.1.2 叶片形态性状差异方差分析及变异系数 用 SPSS 对种间和种内的叶片性状进行方差分析, 结果表明 (表 3), 9 个叶片性状在种间均存在极显著差异 ($P < 0.01$), 说明种间的叶片形态差异明显, 表型变异非常丰富。种内 (表 4) 除叶片厚度差异不显著 ($P = 0.93 > 0.05$), 其余表现性状均存在极显著差异 ($P < 0.01$), 说明同种不同个体间的叶

表 2 12 个金花茶组植物 9 个叶片形态统计及多重比较

Table 2 Statistics and Multiple Comparisons of 9 leaf traits in 12 species of Scet. *Chrysantha*

编号 Number	叶片长/mm Leaf length	叶片宽/mm Leaf width	叶长宽比 Leaf aspect ratio	叶柄长/mm Petiole length	叶缘周长/mm Leaf perimeter	叶面积/ mm^2 Leaf area	叶鲜重/g Fresh leaf weight	叶干重/g Leaf dry weight	叶厚度/mm
1	151.86 \pm 18.17b	69.40 \pm 9.06b	2.20 \pm 0.23de	10.06 \pm 1.89d	395.21 \pm 46.49b	7 441.68 \pm 1 645.78b	1.45 \pm 0.32b	0.61 \pm 0.16b	0.19 \pm 0.03cd
2	107.86 \pm 16.20e	48.58 \pm 6.85f	2.22 \pm 0.18d	9.82 \pm 1.56de	270.57 \pm 39.83g	3 711.54 \pm 945.22f	1.06 \pm 0.25d	0.49 \pm 0.12d	0.26 \pm 0.02a
3	63.91 \pm 8.21h	32.70 \pm 4.40h	1.97 \pm 0.25g	7.74 \pm 1.52f	162.72 \pm 19.44j	1 406.50 \pm 322.71hi	0.24 \pm 0.08g	0.11 \pm 0.04g	0.14 \pm 0.03f
4	132.76 \pm 19.47c	62.86 \pm 9.61c	2.12 \pm 0.2ef	11.43 \pm 1.98c	332.03 \pm 47.35d	5 924.02 \pm 1 642.55c	1.11 \pm 0.32d	0.48 \pm 0.17d	0.19 \pm 0.02cd
5	120.77 \pm 15.12d	57.04 \pm 6.59d	2.13 \pm 0.23ef	9.90 \pm 2.86de	305.10 \pm 34.23e	4 771.62 \pm 1 004.45e	0.87 \pm 0.24e	0.38 \pm 0.10e	0.18 \pm 0.01d
6	61.46 \pm 9.92h	29.78 \pm 3.85i	2.09 \pm 0.39f	6.60 \pm 1.33g	154.30 \pm 20.12j	1 268.11 \pm 278.30i	0.25 \pm 0.07g	0.12 \pm 0.03g	0.17 \pm 0.02de
7	72.36 \pm 14.24g	30.71 \pm 4.17hi	2.38 \pm 0.46c	5.91 \pm 1.32h	175.63 \pm 29.36i	1 467.00 \pm 422.41hi	0.27 \pm 0.10g	0.12 \pm 0.05g	0.15 \pm 0.03ef
8	92.00 \pm 12.12f	34.98 \pm 3.90g	2.63 \pm 0.19b	9.34 \pm 1.00e	218.65 \pm 26.86h	2 222.24 \pm 507.00g	0.38 \pm 0.16f	0.19 \pm 0.07f	0.14 \pm 0.01f
9	76.98 \pm 9.31g	31.89 \pm 3.14hi	2.42 \pm 0.18c	7.91 \pm 1.80f	187.52 \pm 21.05i	1 703.88 \pm 362.37h	0.28 \pm 0.08g	0.13 \pm 0.04g	0.13 \pm 0.02f
10	116.10 \pm 12.44d	48.27 \pm 4.39f	2.41 \pm 0.14c	6.37 \pm 1.74gh	286.42 \pm 29.56f	3 983.32 \pm 711.53f	0.83 \pm 0.16e	0.39 \pm 0.07e	0.21 \pm 0.01bc
11	148.19 \pm 26.25b	54.08 \pm 7.55e	2.73 \pm 0.24a	14.39 \pm 2.33a	353.7 \pm 60.02c	5 559.96 \pm 1 723.66d	1.27 \pm 0.46c	0.57 \pm 0.21c	0.20 \pm 0.02c
12	169.92 \pm 13.34a	80.99 \pm 7.50a	2.11 \pm 0.16f	12.34 \pm 2.35b	437.77 \pm 33.96a	10 201.79 \pm 1 572.26a	2.69 \pm 0.46a	1.06 \pm 0.21a	0.23 \pm 0.02b

注: 表中数据为平均值 \pm 标准差; 同列不同小写字母表示差异显著。

Note: The data in the table are mean \pm standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant differences.

片形态差异较为明显。这说明不同种金花茶组植物以及相同种不同个体间在叶片形态上均存在较大差异,这些性状无法作为辨认不同物种的依据,但同时也表明它们的叶片可塑性强,能够为山茶属的品种选育和杂交育种提供良好的遗传材料。

此外,12个品种叶片表型性状的变异系数大小

顺序为:叶干重(29.40%)>叶鲜重(29.40%)>叶面积(23.04%)>叶柄(19.80%)>叶片长(13.61%)>叶缘周长(12.60%)>叶片宽(12.19%)>叶厚(10.64%)>叶长宽比(10.47%)(表5)。

表3 种间叶片形态性状方差分析

Table 3 Variance analysis of leaf morphology between 12 species

变差来源 Source of variation	性状 Character	自由度 Df	平方和 Sum of squares	均方和 Mean square sum	F值 F value	P值 P value
种间 Among varieties	叶长 Leaf length	11	1 226 499.52	111 499.96	543	< 0.01
	叶宽 Leaf width	11	244 979.21	22 270.84	575.41	< 0.01
	叶长宽比 Leaf aspect ratio	11	45.27	4.12	66.87	< 0.01
	叶柄长 Petiole length	11	6 015.36	546.85	157.66	< 0.01
	叶缘周长 Leaf perimeter	11	8 080 864.37	734 624.03	648.74	< 0.01
	叶面积 Leaf area	11	6 509 106 894	591 736 990.4	557.62	< 0.01
	叶鲜重 Fresh leaf weight	11	396.94	36.09	587.77	< 0.01
	叶干重 Leaf dry weight	11	64.24	5.84	424.64	< 0.01
	叶厚度 Leaf thickness	11	0.14	0.01	25.6	< 0.01

表4 种内叶片形态性状方差分析

Table 4 Variance analysis of leaf morphological traits between individuals of same species

变差来源 Source of variation	性状 Character	自由度 Df	平方和 Sum of squares	均方和 Mean square sum	F值 F value	P值 P value
种内 Same species	叶长 Leaf length	2	38 330.93	19 165.47	93.34	< 0.01
	叶宽 Leaf width	2	2 374.2	1 187.1	30.67	< 0.01
	叶长宽比 Leaf aspect ratio	2	7.03	3.5	57.08	< 0.01
	叶柄长 Petiole length	2	157.57	78.78	22.71	< 0.01
	叶缘周长 Leaf perimeter	2	213 010.54	106 505.27	94.05	< 0.01
	叶面积 Leaf area	2	137 940 059.2	68 970 029.59	64.99	< 0.01
	叶鲜重 Fresh leaf weight	2	7.14	3.56	58.14	< 0.01
	叶干重 Leaf dry weight	2	1.48	0.74	53.83	< 0.01
	叶厚度 Leaf thickness	2	0.000 070 1	0.000 035 1	0.07	0.93

表 5 9 个性状在 12 个种中的变异系数
Table 5 Variation coefficient of the 9 traits in 12 species

编号 Number	叶片长 Leaf length	叶片宽 Leaf width	叶长宽比 Leaf aspect ratio	叶厚度 Leaf thickness	叶柄长 Petiole length	叶缘周长 Leaf perimeter	叶面积 Leaf area	叶鲜重 Fresh leaf weight	叶干重 Leaf dry weight
1	11.90	12.98	10.18	14.85	18.72	11.70	21.99	21.97	25.10
2	14.93	14.02	8.18	5.99	15.80	14.64	25.33	23.98	23.99
3	12.78	13.38	12.76	23.60	19.58	11.88	22.82	30.99	35.48
4	14.59	15.20	9.24	12.07	17.24	14.18	27.57	28.86	36.10
5	12.45	11.48	10.81	7.53	28.73	11.16	20.93	27.82	25.62
6	16.05	12.86	18.65	9.67	20.08	12.97	21.82	27.63	27.62
7	19.58	13.50	19.03	18.38	22.19	16.62	28.63	38.52	42.83
8	12.96	10.98	7.10	5.29	10.56	12.08	22.43	40.43	35.26
9	12.02	9.80	7.30	10.79	22.62	11.16	21.15	27.12	28.04
10	10.62	9.01	5.97	5.17	27.08	10.24	17.71	19.68	16.64
11	17.62	13.88	8.66	7.39	16.13	16.87	30.83	36.09	36.02
12	7.78	9.18	7.74	6.89	18.89	7.69	15.28	16.91	20.11
均值 Mean	13.61	12.19	10.47	10.64	19.80	12.60	23.04	28.33	29.40

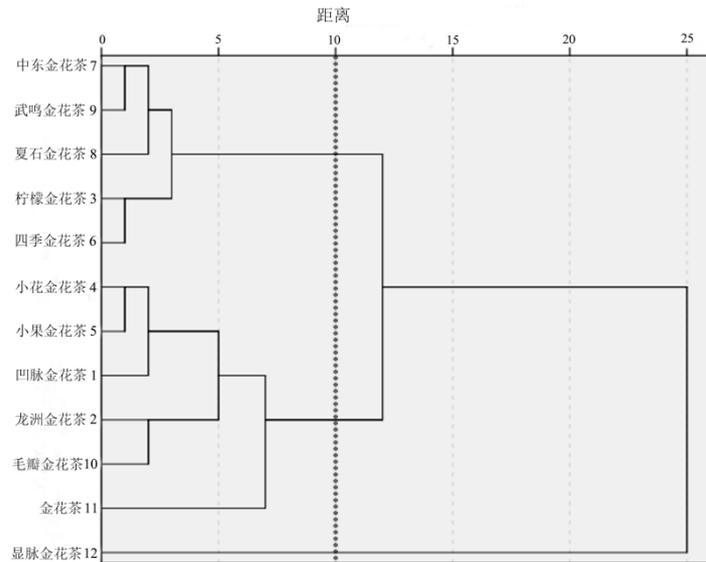


图 1 12 种金花茶组植物叶片性状聚类分析结果

Fig.1 Cluster analysis of 12 species of in Scet. *Chrysanthemum*

2.2 叶片性状的聚类分析

基于 SPSS 采用“组间联接”聚类法对叶片性状进行聚类分析，结果如图 1。分析表明，当阈值为 10 时，12 种金花茶组植物被分为 3 个大类。第 I 类包含柠檬金花茶、四季金花茶、中东金花茶、夏石金花茶、武鸣金花茶，其叶片长度（63.91~92.00 mm）和宽度（29.78~34.98 mm）都

比较小，叶片短窄且叶面积小，划为小叶型金花茶叶片；第 II 类包含凹脉金花茶、龙洲金花茶、小花金花茶、小果金花茶、毛瓣金花茶、金花茶，该类叶片长度（107.86~151.86 mm）和宽度（48.27~69.40 mm）比较大，该类叶片较长且较宽，划为普通型金花茶；第 III 类仅包含显脉金花茶，其叶片长、叶片宽、叶缘周长及叶面积最大，

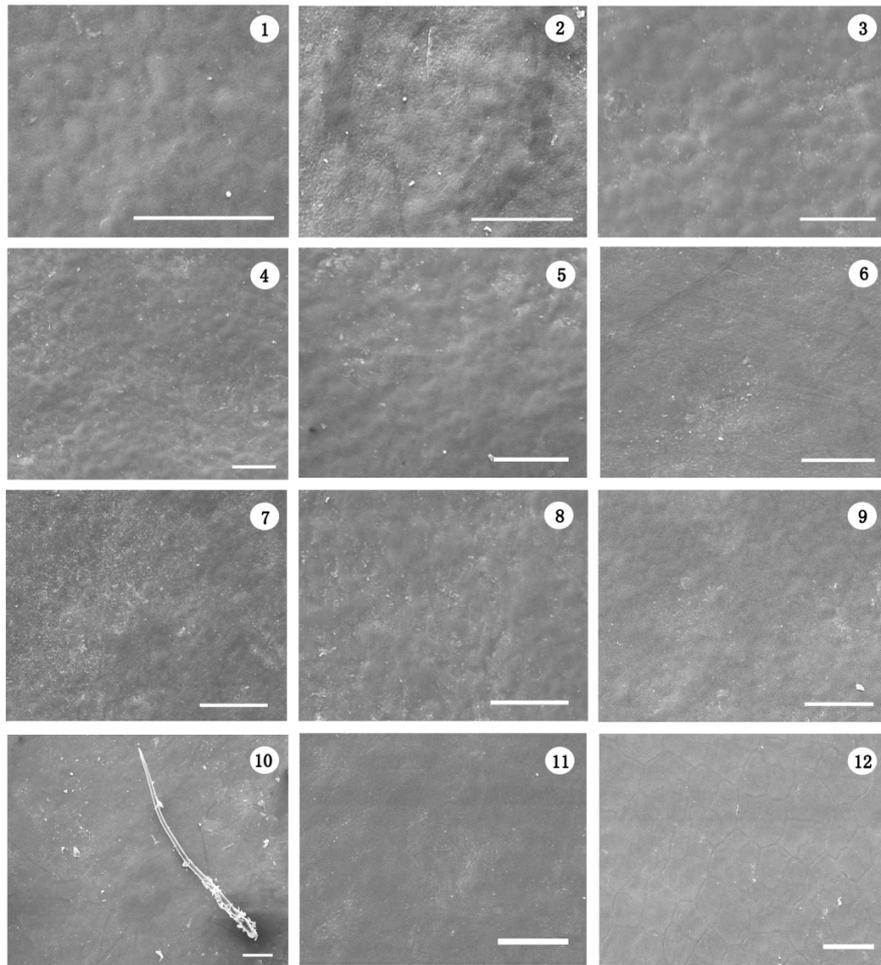
划为大叶型金花茶。

2.3 叶表皮形态结构特征分析

2.3.1 上表皮 在所有观察的12种金花茶组植物叶片中,除显脉金花茶外,其余各种的上表皮性状基本一致,无气孔分布,细胞均为不规则形,角质层厚,且被平滑蜡质层,细胞间界限不清晰(图2-1~12)。显脉金花茶垂周壁式样比较明显且呈较平直状(图2-12)。

2.3.2 下表皮 下表皮结构较为复杂,由表皮细胞、气孔器和腺点组成,下表皮细胞气孔密度、气孔器大小、气孔形状和垂周壁样式等形态结构特征,在一些种间存在较为明显差异(表6):在12个种中,除凹脉金花茶下表皮被稀疏单细胞毛(图3-1),以及毛瓣金花茶下表皮密被单细胞毛之外(图3-10),其余10个种的下表皮均光滑无

毛;下表皮细胞形状均不规则,垂周壁式样分别呈浅波状(显脉金花茶,图3-12)、波状(金花茶和 中东金花茶,图3-11,7)和深波状(其余8个种),外平周壁角质层增厚突起,其中武鸣金花茶(图3-9)下表皮细胞的外平周壁角质层具长短不一的条纹状角质层纹饰,四季金花茶(图3-6)下表皮被较厚的蜡质层,细胞间界限不清晰,因此无法判断表皮细胞垂周壁式样;气孔器均为环列型,即副卫细胞围绕着保卫细胞,形状呈圆形(柠檬金花茶,图3-3)、椭圆形(凹脉金花茶)或近圆形(其余10个种);气孔器主要为散生,偶有两个连生(龙州金花茶,图3-2);气孔密度在112.9个/mm²(四季金花茶)~226.4个/mm²(凹脉金花茶)之间,从气孔器纵径与横径的大小来看,凹脉金花茶的气孔器最小(30.9 μm × 24.9



注: 1.凹脉金花茶; 2.龙州金花茶; 3.柠檬金花茶; 4.小花金花茶; 5.小果金花茶; 6.四季金花茶; 7.中东金花茶; 8.夏石金花茶; 9.武鸣金花茶; 10.毛瓣金花茶; 11.金花茶; 12.显脉金花茶。标尺: 50μm。

Note: 1. *C. impressinervis*; 2. *C. long-zhouensis*; 3. *C. limonia*; 4. *C. micrantha*; 5. *C. microcarpa*; 6. *C. ptilosperma*; 7. *C. achrysantha*; 8. *C. xiashiensis*; 9. *C. wumingensis*; 10. *C. pubipetala*; 11. *C. nitidissima*; 12. *C. euphlebica*. scale bars: 50μm.

图2 12种金花茶属植物叶片上表皮形态

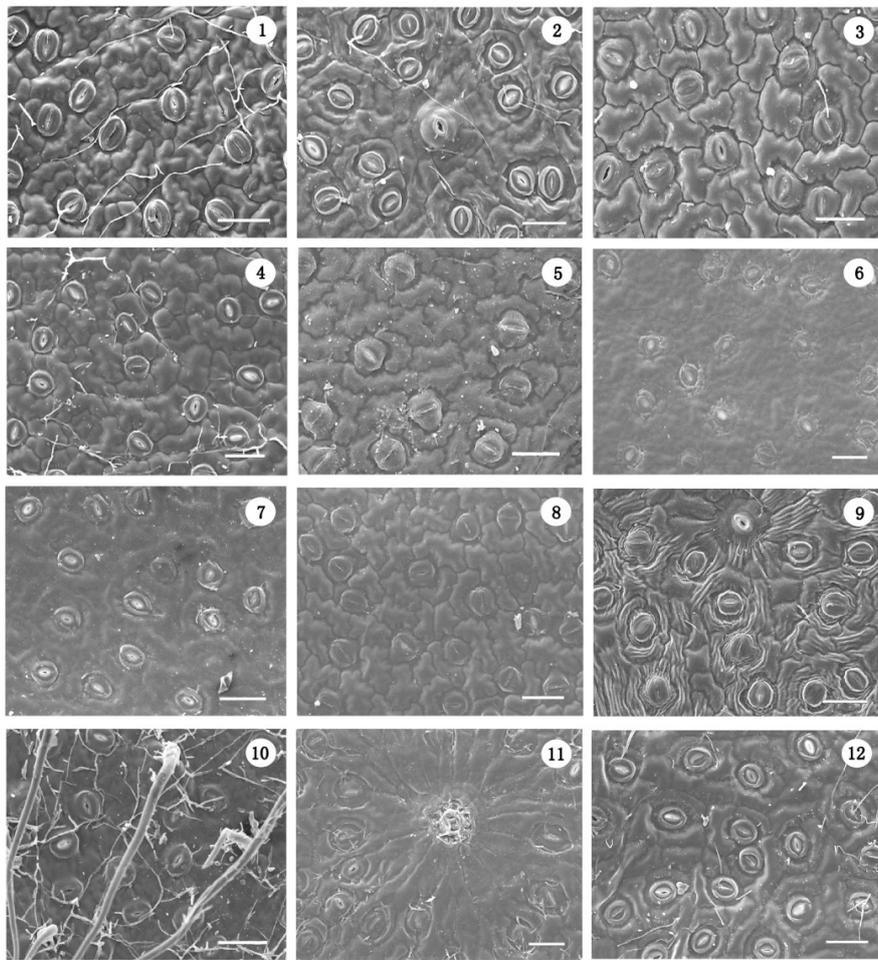
Fig.2 The SEM of upper epidermal morphology of 12 species

μm), 金花茶 ($36.9 \mu\text{m} \times 32.0 \mu\text{m}$) 和小果金花茶 ($38.0 \mu\text{m} \times 33.6 \mu\text{m}$) 的气孔器最大 (图 3-11, 5)。12 种金花茶植物叶片下表皮均具腺点, 腺点均呈近圆形, 由一些较小的细胞聚集而成, 腺点周围无气孔, 均为表皮细胞, 且这些表皮细胞的垂周壁较其它部位表皮细胞更为平直 (图 3-11), 且不同种间腺点形态各不相同。腺点形态大致呈突起、平缓、内陷 3 个类型。第一个类型在腺点突起处中部有类似气孔, 且有大小不同、形状不规则的“凹陷洞”及少量毛状物分布表面 (凹脉金花茶、龙洲金花茶、显脉金花茶、小果金花茶和武鸣金花茶), 另外, 腺点突起且有大量线状物分布表面 (毛瓣金花茶)。第二类型有些腺点大致与表皮细胞相平较为平缓, 且有大小不同、形状不规则的“凹陷洞”及少量毛状物分布表面 (柠檬

金花茶、夏石金花茶、小花金花茶、金花茶和中东金花茶), 第三类型有些腺点呈内陷状且有大小不同、形状不规则的“凹陷洞” (四季金花茶)。

3 结论与讨论

表型多样性是遗传多样性的重要组成部分, 表型性状值差异的度量是分析表型多样性的传统方法, 也是常用的方法^[17]。通过对 12 种不同金花茶组植物叶片形态的测定分析, 我们发现除单株的叶厚度外, 叶片长、叶片宽、叶长宽比、叶柄长、叶周长、叶面积、叶鲜重、叶干重及叶片厚度在种间和种内均存在显著差异, 说明金花茶组植物在这些性状上的可塑性高, 它们是物种自身遗传因素和环境因素共同作用的结果, 我们的观察结果与其他树种, 如刨花润楠



注: 1. 凹脉金花茶; 2. 龙洲金花茶; 3. 柠檬金花茶; 4. 小花金花茶; 5. 小果金花茶; 6. 四季金花茶; 7. 中东金花茶; 8. 夏石金花茶; 9. 武鸣金花茶; 10. 毛瓣金花茶; 11. 金花茶; 12. 显脉金花茶。标尺: $50\mu\text{m}$ 。

Note: 1. *C. impressinervis*; 2. *C. long-zhouensis*; 3. *C. limonia*; 4. *C. micrantha*; 5. *C. microcarpa*; 6. *C. ptilosperma*; 7. *C. achrysantha*; 8. *C. xiashiensis*; 9. *C. wumingensis*; 10. *C. pubipetala*; 11. *C. nitidissima*; 12. *C. euphlebica*. scale bars: $50\mu\text{m}$.

图 3 12 种金花茶属植物叶片下表皮形态

Fig.3 The SEM of lower epidermal morphology of 12 species

表6 12种金花茶组植物的下表皮形态结构特征
Table 6 The morphology of upper epidermal of 12 species

分类群 Taxon	气孔密度/(个/mm ²) Density (number/mm ²)	气孔类型 Type	气孔器大小(纵径×横径)/μm Stomater size (longitudinal diameter × horizontal diameter)	气孔形状 Shape	细胞垂周壁式样 Cell anticlinal	图序 Diagram sequence
显脉金花茶 <i>C. euphlebia</i>	178.1	环列型	(35.8±3.2) × (33.2±1.8)	近圆形	浅波状	图 3-12
金花茶 <i>C. nitidissima</i>	123.7	环列型	(36.9±3.4) × (32.0±2.7)	近圆形	波状	图 3-11
中东金花茶 <i>C. achrysantha</i>	143.1	环列型	(31.9±2.8) × (28.7±2.6)	近圆形	波状	图 3-7
毛瓣金花茶 <i>C. pubipetala</i>	166.2	环列型	(31.9±2.7) × (26.7±2.1)	近圆形	深波状	图 3-10
武鸣金花茶 <i>C. wumingensis</i>	145.9	环列型	(33.3±2.8) × (29.2±2.3)	近圆形	深波状	图 3-9
夏石金花茶 <i>C. xiashiensis</i>	188.5	环列型	(34.9±1.9) × (30.4±2.3)	近圆形	深波状	图 3-8
四季金花茶 <i>C. ptilosperma</i>	112.9	环列型	(36.8±3.2) × (31.7±4.4)	近圆形	—	图 3-6
小果金花茶 <i>C. microcarpa</i>	152.7	环列型	(38.0±2.1) × (33.6±3.1)	近圆形	深波状	图 3-5
小花金花茶 <i>C. micrantha</i>	162.0	环列型	(36.4±1.9) × (32.1±2.4)	近圆形	深波状	图 3-4
龙州金花茶 <i>C. lungzhouensis</i>	361.4	环列型	(31.7±2.9) × (27.8±2.3)	近圆形	深波状	图 3-2
凹脉金花茶 <i>C. impressinervis</i>	226.4	环列型	(30.9±3.3) × (24.9±2.2)	椭圆形	深波状	图 3-1
柠檬金花茶 <i>C. limonia</i>	162.0	环列型	(32.8±1.5) × (32.0±2.3)	圆形	深波状	图 3-3

注：表中气孔器大小数据为平均值 ± 标准差。

Note: The stoma size data in the table is the mean ± standard deviation.

(*Machilus pauhoi*)、木荷(*Schima superba*)、黎蒴(*Castanopsis fissa*)、楸树(*Catalpa bungei*)等的研究结果相似^[18-23]。聚类分析将12个种根据叶片大小划分成小叶型、普通型和大叶型,这表明金花茶组植物的叶片形态差异主要是由叶片大小(体现为叶面积、周长),9个性状变异系数大小研究结果也表明叶片形态差异主要是叶片大小,也与张冬生等^[18]、杭悦宇等^[19]和吴清等^[24]对其他阔叶树种叶片形态研究结果一致。然而,虽然可以根据叶片大小将12个种分为三大类,但由于叶片长宽、面积、周长等都是连续变化的数量性状特征,并且在研究的12个种中,同种不同个体间变异也十分明显,因此无法将这些性状用作组内分类的特征。

扫描电镜的观察结果也同样表明,金花茶组植物的叶片上表皮形态结构特征基本一致,无分类学意义。但下表皮的形态结构在一些种间存在

着明显的差异,如气孔密度和气孔器大小、气孔形状、垂周壁样式,可以为组下的分类提供形态学依据。

此外我们的观察结果表明,12种金花茶组植物的上表皮均被有很厚的角质层,这是植物具有抗寒性、抗旱性和抗病虫害等抗逆性结构特征^[16, 25-27]。角质层能有效减少水分散失、增强表皮保护、增强叶片反射光辐射及防止病虫害入侵等作用^[28-30],是选育抗寒性、抗旱性及抗病虫害植物品种的一个指标。气孔密度检测表明12种金花茶组植物除龙州金花茶和凹脉金花茶外,气孔密度基本维持在100~200个/mm²之间,龙州金花茶和凹脉金花茶则明显高于其他种,气孔是叶片与外界环境进行气体和水分交换的重要通道,气孔数目和开闭程度影响植物光合和蒸腾作用^[31-32],一般认为高气孔密度可以使植物在一定蒸腾强度下达到最高的光合能力,因此气孔密度也是评价植物抗旱性

的重要指标^[33-34]。由此可见, 不同表皮和气孔性状的金花茶组植物为培育抗金逆茶花新品种提供了丰富的遗传资源。

参考文献

- [1] MULLER I, SCHMID B, WEINER J. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species plants [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2000, 3: 115-117.
- [2] DALE J E. The growth of leaves [M]. London: Edward Arnold Limited, 1982: 93-102.
- [3] 刘金环, 曾德慧, Lee Don Koo. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 921-925.
- [4] 阎爱民, 陈文新. 苜蓿、草木樨、锦鸡儿根瘤菌的表型多样性分析[J]. *生物多样性*, 1999, 7(2): 1-8.
- [5] 李吉涛, 谢伟玲, 柴胜丰, 等. 五种金花茶组植物的耐寒性比较研究[J]. *广西植物*, 2016, 36(12): 1403-1409.
- [6] LV J, CHEN R, ZHANG M, et al. Plant regeneration via somatic embryogenesis and shoot organogenesis om immature cotyledons of *Camellia nitidissima* Chi[J]. *Journal of plant physiology*, 2013, 170 (13) : 1202-1211.
- [7] 张乃燕, 江泽鹏, 陈林强, 等. 金花茶嫁接繁殖砧木亲和力试验[J]. *经济林研究*, 2007, 25(3): 55-58.
- [8] FU L G, 1992. *China plant red data book*[M]. Beijing: Science Press.
- [9] 梁盛业. 金花茶[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 1-5.
- [10] 王坤, 黄晓露, 梁晓静, 等. 11种金花茶组植物叶片活性成分含量对比[J]. *经济林研究*, 2018, 36(1): 110-114.
- [11] 张宏达, 任善湘. 中国植物志(第49卷第3分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 103-112.
- [12] FU L K, JIN J M. *China plant red data book-rare and endanger red plants: volume 1*[M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [13] 路雪林, 陈海玲, 梁雪雁, 等. 金花茶边缘种群及变种小果金花茶的遗传多样性分析[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(1): 301-306.
- [14] 陈俏蓉, 刘付月清, 林思诚, 等. 金花茶的引种及栽培技术要点[J]. *南方农业*, 2018, 12(20): 48-49.
- [15] 李凤英, 唐绍清, 梁士楚. 山茶属金花茶组金花茶系植物叶表皮形态学研究[J]. *广西植物*, 2013, 33(3): 376-382.
- [16] 李凤英, 王玉国, 唐绍清. 山茶属金花茶组金花茶系的叶表皮特征及分类学意义[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2001(4): 75-79.
- [17] 李斌, 林富荣. 表型多样性分析方法探讨[C]// 中国科学院生物多样性委员会、国家环境保护总局自然生态保护司、国家林业局野生动植物保护司, 等. 第五届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文摘要集, 杭州: [出版者不详], 2002.
- [18] 张冬生, 叶雪兰, 谢金兰, 等. 刨花润楠叶片形态表型分析[J]. *广东林业科技*, 2015, 31(3): 24-28.
- [19] 杭悦宇, 黄春洪, 穆森, 等. 盾叶薯蓣叶片形态多样性研究[J]. *云南植物研究*, 2004(4): 398-404.
- [20] 何承忠, 张晏, 段安安, 等. 滇杨优树无性系苗期叶片性状变异分析[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(6): 28-32.
- [21] 彭婵, 王俊青, 马林江, 等. 楸树不同种质叶片性状分析[J]. *湖北林业科技*, 2014, 43(6): 16-20.
- [22] 闫利萍, 张方秋, 潘文, 等. 广东省木荷群体叶片表型多样性研究[J]. *广东林业科技*, 2013, 29(5): 35-38.
- [23] 徐朝斌, 钟全林, 程栋梁, 等. 江西 4 刨花楠种源苗木叶片表型性状与生物量分配的比较[J]. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(6): 920-924.
- [24] 吴清, 何波祥. 黎蒴叶片形态的表型多样性分析[J]. *广东林业科技*, 2014, 30(3): 920-924.
- [25] YEATS T H, ROSE J K C. The formation and function of plant cuticles[J]. *Plant Physiol*, 2013, 163: 5-20.
- [26] GONZALEZ A, AYERBE L. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley[J]. *Euphytica*, 2010, 172: 341-349.
- [27] 刘鹏. 青岛常见园林树种叶表面结构观察[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2016.
- [28] SKORSKA E, SZWARC W. Influence of UV-B radiation on young triticale plants with different wax cover[J]. *Biol Planta*, 2007, 51: 189-192.
- [29] 栗扬, 姚露花, 郭欣, 等. 三种豆科绿肥作物茎和叶角质层蜡质化学组成分析[J/OL]. *作物学报*, 2019, 1-12[2019-12-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20190719.1721.008.html>.
- [30] 顾俊, 王飞, 张鹏, 等. 植物叶表皮蜡质的生物学功能[J]. *江苏农业学报*, 2007(2): 144-148.
- [31] 王瑞丽, 于贵瑞, 何念鹏, 等. 气孔特征与叶片功能性状之间关联性沿海拔梯度的变化规律: 以长白山为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(8): 2175-2184.
- [32] HETHERINGTON A M, WOODWARD F I. The role of stomatal in sensing and driving environmental change[J]. *Nature*, 2003, 424(6951): 901-908.
- [33] 张德巧, 徐增莱, 褚晓芳, 等. 蓝莓叶片与抗旱性相关的解剖结构指标研究[J]. *果树学报*, 2008, 25(6): 864-867.
- [34] CASSON S, GRAY J E. Influence of environmental factors on stomatal development[J]. *New Phytologist*, 2008, 178(1): 9-23.