

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201709009

引文格式: 庄平. 32种杜鹃花属植物亚属间杂交的可育性研究 [J]. 广西植物, 2018, 38(12): 1566–1580

ZHUANG P. Cross fertility of inter-subgen. *Rhododendron* of 32 *Rhododendron* species [J]. *Guihaia*, 2018, 38(12): 1566–1580

32种杜鹃花属植物亚属间杂交的可育性研究

庄平

(中国科学院植物研究所华西亚高山植物园, 四川 都江堰 611830)

摘要: 为探索杜鹃花属植物亚属间杂交的可育性规律, 该文对常绿杜鹃亚属 (subgen. *Hymenanthes*)、杜鹃亚属 (subgen. *Rhododendron*) 及马银花亚属 (subgen. *Azaleastrum*)、映山红亚属 (subgen. *Tsutsusi*) 和羊躑躅亚属 (subgen. *Pentanthera*) 的亚属间杂交进行了研究, 共涉及杜鹃花属植物 5 亚属 15 亚组 32 种, 杂交组合 118 个。结果表明: (1) 杜鹃花属植物的亚属间杂交存在明显的生殖障碍, 其可育性水平与亚属及其类群组合有关, 高、中、低与不育比例为 2 : 16 : 8 : 92, 可育比例仅 20.0%, 杜鹃亚属与马银花亚属等 4 个亚属级组合杂交未显现可育性。(2) 亲本杂交组合方式对亚属间杂交有不同程度的影响, 一些类群组合有明显的向性。以杜鹃亚属做母本与常绿杜鹃亚属的云锦杜鹃亚组杂交的可育组合比高于反交, 且在有关大王杜鹃、粘毛杜鹃、露珠杜鹃和马缨花的杂交中也是如此, 但与银叶杜鹃亚组杂交正好相反; 另外, 12 对单向可育组合, 分布于常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属等 4 类亚属级杂交组合中。(3) 杜鹃花属的亚属间杂交不亲和与败育现象明显, 不可育组合百分率占 80%, 不能坐果是败育的主要表征, 所有可育组合的绿苗率比值和单位种子数比值无一例达到相应母本的自然授粉水平。(4) 双亲系统分类上的关系对亚属间可交配性具有重要影响并与可育程度一致, 染色体倍性也有一定的作用。(5) 有关研究为探索和认识杜鹃花属植物亚属间进化遗传联系提供了新的证据和思考, 银叶杜鹃亚组可能是解释常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属进化遗传联系的重要类群, 杜鹃亚属的多鳞杜鹃可能与常绿杜鹃亚属具有广泛的血亲关系, 其中多鳞杜鹃与岷江杜鹃彼此为生态相邻种并有可能在长期的演化过程中有遗传渗透, 百合花杜鹃和毛肋杜鹃分别与映山红亚属、腺果杜鹃与马银花亚属, 越峰杜鹃和繁花杜鹃分别与映山红亚属, 大白杜鹃与羊躑躅亚属间的联系均需要深入研究。

关键词: 可交配性, 单向不亲和, 杂种败育, 远缘杂交, 亚属间杂交, 杜鹃花属

中图分类号: Q943 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2018)12-1566-15

Cross fertility of inter-subgen. *Rhododendron* of 32 *Rhododendron* species

ZHUANG Ping

(West China Sub-Alpine Botanical Garden, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Dujiangyan 611830, Sichuan, China)

Abstract: In order to study the fertile law of the cross of inter-subgenera of *Rhododendron*, we studied the inter-subgenus cross of subgen. *Hymenanthes*, subgen. *Rhododendron*, subgen. *Azaleastrum*, subgen. *Tsutsusi* and subgen.

收稿日期: 2018-03-26

基金项目: 中国科学院战略生物资源技术支撑体系专项项目 (CZBZX-1); 四川省科技厅科技支撑计划项目 (2013NZ0031) [Supported by Special Fund for Strategic Biological and Resources and Technology of Chinese Academy of Sciences (CZBZX-1); Key Planning of Scientific and Technological Office of Sichuan Province (2013NZ0031)]。

作者简介: 庄平 (1957-), 男, 江苏武进人, 研究员, 主要从事植物保育学研究, (E-mail) pzhuang@ibcas.ac.cn。

Pentanthera. The test involved a total of 32 species and 118 hybrid combinations. The results were as follows: (1) The inter-subgenus cross of *Rhododendron* was hard and the fertile level was related to the combination between the subgenera and their groups, and higher, middle and lower and non fertile ratios were 2 : 16 : 8 : 92, the total fertile combinations was 20%, and the cross four combinations of inter-subgenera did not show fertility between subgen. *Rhododendron* and subgen. *Azaleastrum* and the like. (2) The parent combination effected the inter-subgenus cross in different extents and some combinations had a direction. There was higher fertility as female parent of subgen. *Rhododendron* than as father parent in the cross combination of subgen. *Rhododendron* and subsect. *Fortunea* of subgen. *Hymenanthes*, and that showed the same in subgen. *Rhododendron* with *R. rex*, *R. glischrum*, *R. irroratum*, *R. delavayi* respectively, but with subsect. *Argyrophylla*, and twelve pairs of unilateral fertile combinations distributed in four types of inter-subgenus combinations such as subgen. *Hymenanthes* and subgen. *Rhododendron*. (3) Incompatibility or sterility of inter-specific hybridization in the inter-subgenus was very serious and the nonfertile combinations occupied 80%, mainly present as nonfruit setting, and in all of the fertile combinations, the ratios of green seedling rate and unit number of fertile seed were lower than the natural pollination as female parent. (4) Relationship between subgenus in plant systematics had an important influence in mating fertility and correlated the fertile extent, and meanwhile polyploid also carried weight. (5) That provided some new evidence and way of thinking for exploring and finding out the relationship of evolution and heritance in inter-subgenus of *Rhododendron*, and subsect. *Argyrophylla* may be an important group in explaining the evolution relationship between subgen. *Hymenanthes* and subgen. *Rhododendron*, and *R. polylepis* of subgen. *Rhododendron* can own a wide relationship with subgen. *Hymenanthes* and we can not exclude a possibility of genetic introgression between this species and *R. hunnewellianum* as neighbor in nature; and the relationship of some combinations need to be studied in depth for example, *R. liliiflorum* or *R. augustinii* (subgen. *Rhododendron*) and subgen. *Tsutsusi*, *R. davidi* (subgen. *Hymenanthes*) and subgen. *Azaleastrum*, *R. yuefengense* or *R. floribundum* (subgen. *Hymenanthes*) and subgen. *Tsutsusi*, *R. decorum* (subgen. *Hymenanthes*) and subgen. *Pentanthera* etc.

Key words: crossability, unilateral incompatibility, hybrid sterility, distant hybridization, inter-subgenus cross, *Rhododendron*

在杜鹃花属植物的亚属间杂交研究中,虽然已涉及到几乎所有的亚属,但常绿杜鹃亚属(subgen. *Hymenanthes*)与杜鹃亚属(subgen. *Rhododendron*)间的杂交研究目前只见较少报道,按系统分类学家的意见,这 2 个亚属间应具有比较密切的进化联系(闵天禄和方瑞征, 1990; 方瑞征和闵天禄, 1995; Chamberlain et al, 1996)。Williams et al (1990) 仅略略提到常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属的越桔杜鹃组杂交困难,而 Tom et al (2007) 报道的 4 个亚属杂交组合中也没有涉及常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属间的杂交。张长芹等 (1998) 研究的 4 个亚属间杂交组合中的 2 个组合为常绿杜鹃亚属的树形杜鹃亚组(subsect. *Arborea*)和露珠杜鹃亚组(subsect. *Irrorata*)与杜鹃亚属有鳞大花亚组(subsect. *Maddenia*)的杂交组合,即马缨花(*R. delavayi*) × 粗柄杜鹃(*R. pachypodum*)和粗柄杜鹃 ×

迷人杜鹃(*R. agastum*),其结果表明其杂交均不能坐果。

但是,有关映山红亚属(subgen. *Tsutsusi*)与羊躑躅亚属(subgen. *Pentanthera*)的研究报道却较多。Tom et al (2007) 认为后映山红亚属与羊躑躅亚属间杂交组合至少单向可育,虽然这些组合在前合子期(pre-zygotic)和后合子期(post-zygotic)均存在杂交障碍。Kenji et al (2000, 2006)、Akihide & Kenichi (2004, 2006)、Akihide et al (2006)、Kaori et al (2008) 也先后以映山红亚属的 *R. eriocarpum* 等种类作为母本,羊躑躅亚属的 *R. japonicum* f. *flavum* 作为父本,并选择高交配能力的花粉,成功实现了上述两个亚属的杂交,并获得了具有生活力杂交后代,但反交则不能奏效。Kaori et al (2008) 用四倍体映山红品种代替二倍体的映山红作母本,仍用羊躑躅亚属二倍体的 *R. japonicum* f.

flavum 作父本,其克服了因塑性核基因不亲和而引起的白化苗现象。Kenji et al (2006) 将同样组合产生的 F1 代加倍后得到的四倍体,克服了 F1 代花粉不育。Nobuo et al (2008) 成功地取得了映山红亚属的 *R. nakaharae* 同羊躑躅亚属的树形杜鹃 (*R. arborescens*) 和粘杜鹃 (*R. viscosum*) 正反交组合的亚属间杂种,并证明有生活力的杂种后代中,线粒体基因来自母本的映山红亚属植物,而叶绿体基因来自羊躑躅亚属种类。Akihide & Kenichi (2004) 研究了映山红亚属 13 个种与羊躑躅亚属间杂交,结果表明在 22 个不亲和的组合中,前合子期不亲和、后合子期不亲和与发育障碍的数量分别为 15、6 和 1。

耿兴敏等(2017)报道了以映山红和马银花[马银花亚属(subgen. *Azaleastrum*)]为母本分别与其他 14 个杜鹃花物种作父本的亚属间杂交情况,并初步证明了映山红与杜鹃亚属的江西杜鹃 (*R. kiangsiense*) 和基毛杜鹃 (*R. rigidum*)、常绿杜鹃亚属的马缨花 (*R. delavayi*) 与云锦杜鹃 (*R. fortunei*) 及羊躑躅亚属的羊躑躅 (*R. molle*) (1 种) 等 5 个组合具有不同程度的亲和性,而马银花仅与杜鹃亚属有鳞大花亚组的江西杜鹃具有微弱的亲和性。

Rouse et al (1993) 研究认为羊躑躅亚属、映山红亚属和马银花亚属等被统称为 *Azalea* 的类群间杂交可以亲和,但通常植株弱,后代不能进入花期;常绿杜鹃亚属与上述 *Azalea* 的类群间杂交的资料非常匮乏,无鳞类杜鹃与有鳞类杜鹃杂交通常存在生殖隔离障碍,很难形成种子;越桔杜鹃亚组与 *Azalea* 的类群间杂交偶尔可产生后代,但后代通常败育,如 *R. retusum* × *R. nudiflorum* 就是例子,杜鹃组植物 sect. *Rhododendron* 作为父本与 *Azalea* 交配则可能产生有生活力的种子,但幼苗羸弱,通常在开花前即死去。Williams et al (1990) 也强调,有鳞类与无鳞类杜鹃杂交困难,而成功的例子如“Griedal” (*R. griersonianum* × *R. dalhousice*), 越桔杜鹃亚组的品种“Lord Walsely”。

本文着重研究了常绿杜鹃亚属别与杜鹃亚属间的杂交,并就该两亚属分别与马银花亚属、映山红亚属、羊躑躅亚及其后 3 亚属间的杂交进行了一些研究。其目的在于探索上述不同亚属的相关

类群间杂交的可能性与育性规律,并期望获得有关进化联系上的新证据。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究涉及的杂交材料与自然授粉与自交材料为同一来源和保育地点(庄平, 2017a, b)。共计 5 亚属 16 亚组 32 种,其中常绿杜鹃亚属 11 亚组 19 种(云锦杜鹃亚组 6 种,银叶杜鹃亚组 3 种,火红杜鹃亚组 2 种,其余 8 亚组各 1 种),杜鹃亚属 4 亚组 10 种(三花杜鹃亚组 7 种,其余各亚组各 1 种),马银花亚属[长蕊杜鹃 (*R. stamineum*)]、映山红亚属[映山红 (*R. simsii*)] 和羊躑躅亚属[羊躑躅 (*R. molle*)] 各 1 个代表种(附录 1)。

除杜鹃亚属三花杜鹃亚组(subsect. *Triflora*) 中的问客杜鹃 (*R. ambiguum*) 与云南杜鹃 (*R. yunnanense*) 与亮鳞杜鹃亚组(subsect. *Heliolepida*) 中的红棕杜鹃 (*R. rubiginosum*) 等 3 种为多倍体植物外,其余所有类群中的 29 个种类均为二倍体植物(Ammal, 1950; Ammal et al, 1950; 闵天禄和方瑞征, 1990; 张长芹等, 1998)。长蕊杜鹃栽培在峨眉山生物试验站(海拔 805 m),映山红、羊躑躅与大白杜鹃、马缨花和露珠杜鹃等 5 种栽培于都江堰玉堂基地(海拔 700 m),其余 26 种均栽培在都江堰龙池基地(海拔 1 700 m)。

1.2 方法

1.2.1 杂交组合 亚属间杂交组合共计 118 个,包括常绿杜鹃亚属分别与杜鹃亚属(62 个)、马银花亚属(9 个)、映山红亚属(14 个)、羊躑躅亚属(14 个),杜鹃亚属分别与马银花亚属(5 个)、映山红亚属(8 个)和羊躑躅亚属(6 个)以及后 3 个亚属间的 4 个组合(附录 1)。多数试材的花期有不同程度的重叠,或利用高低海拔的物候差异,使同一海拔花期不遇的物种在同期能够同时开花,因此实现了当年的鲜花粉授粉。

1.2.2 方法 田间坐果试验、室内单果种子数测定和种子发芽试验、坐果率 (St)、发芽率、绿苗率 (Gs)、单位可育种子数 (Sf)、绿苗率比 (Rgs) = 杂交组合绿苗率/母本自然授粉绿苗率、单位可育种

子数比 (Rsf) 计算整理、指标体系与等级划分、可育性综合评价 (表 1) 等方法与常绿杜鹃亚属内和

杜鹃亚属内种间杂交研究相同。其中, 母本植株量 2~3 株, 授粉花朵量的统一要求在 20 朵以上。

表 1 杜鹃花可育性指标等级与权重分配表

Table 1 Fertile index grade and weight allocations of *Rhododendron*

指标 Index	低 Low		中 Middle		高 High	
	阈值 Threshold	分值 Score	阈值 Threshold	分值 Score	阈值 Threshold	分值 Score
绿苗率 Green seedling rate (Gs) (%)	$0 < G_s < 10$	1.0	$10 \leq G_s < 50$	3.0	$G_s \geq 50$	5.0
绿苗系数 Green seedling coefficient (Gc)	$0 < G_c < 0.6$	0.5	$0.6 \leq G_c < 0.9$	1.5	$G_c \geq 0.9$	2.0
坐果率 Capsul setting rate (St) (%)	$0 < S_t < 20$	0.5	$20 \leq S_t < 40$	1.0	$S_t \geq 40$	1.5
单位可育种子数 Unit number of fertility seed (Sf)	$0 < S_f < 20$	0.5	$20 \leq S_f < 200$	1.0	$S_f \geq 200$	1.5

2 结果与分析

亚属间杂交组合 118 个, 可育组合 26 个, 可育率 20% (附录 1)。

2.1 常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属杂交

杂交组合数共 62 个, 可育组合仅 19 个, 占 30.6%。其中, 黄花杜鹃 (*R. lutescens*) 与腺果杜鹃 (*R. davidi*)、红棕杜鹃 (*R. rubiginosum*) 与腺果杜鹃、岷江杜鹃 (*R. hunnewellianum*) 与黄花杜鹃杂交双向不育, 并出现了 8 对单向可育和 2 对双向可育组合 (表 2)。

2.1.1 常绿杜鹃亚属的云锦杜鹃亚组与杜鹃亚属杂交 13 个杂交组合中, 5 个组合可育占 38.5% (表 2)。其中, 4 个组合以杜鹃亚属种类为母本, 腺果杜鹃 (*R. davidi*) × 问客杜鹃 (*R. ambiguum*) 组合的则以常绿杜鹃亚属种类为母本; 而不可育的 8 个组合中, 以常绿杜鹃为母本的占 5 个, 其 6 个组合中仅 1 例可育; 多鳞杜鹃 (*R. polylepis*) × 腺果杜鹃正交可育, 而反交不育; 另外云锦杜鹃亚组分别与三花杜鹃亚组和亮鳞杜鹃亚组所构成的 2 个组合双向不育。3 个可育组合的坐果率超过 40% 的水平, 问客杜鹃 × 腺果杜鹃和宝兴杜鹃 (*R. moupinense*) × 山光杜鹃 (*R. oreodoxa*) 组合则低于 20% 的坐果率阈值, 腺果杜鹃 × 红棕杜鹃

(*R. rubiginosum*) 组合虽能坐果但不能结实; 绿苗率超过 50% 的组合仅有宝兴杜鹃 × 山光杜鹃, 问客杜鹃 × 腺果杜鹃组合绿苗率居最低阈值范围, 多鳞杜鹃 × 美容杜鹃 (*R. calophytum*) 也接近最低阈值; 问客杜鹃 × 腺果杜鹃组合绿苗系数在 0.6 的最低阈值以下, 明显低于其他组合; 宝兴杜鹃 × 山光杜鹃和多鳞杜鹃 × 腺果杜鹃组合的单位可育种子数量达到中等水平, 其他 3 个组合均居于 20 粒以下的水平, 其中以问客杜鹃 × 腺果杜鹃组合不足 1 粒。表 2 结果表明, 常绿杜鹃亚属云锦杜鹃亚组与杜鹃亚属的杂交比较困难, 而以杜鹃亚属作母本其成功率较高; 红棕杜鹃、问客杜鹃这类杜鹃亚属中的多倍体种类与常绿杜鹃亚属正常的二倍体种类杂交, 尤其作为母本时, 具有明显的生殖障碍, 但并非完全不育; 除了倍性因素外, 腺果杜鹃 × 多鳞杜鹃等 6 个二倍体亚属间杂交组合也不育的事实说明, 亚属间所存在的非染色体倍性遗传差异亦可导致杂交不育。

2.1.2 常绿杜鹃亚属银叶杜鹃亚组与杜鹃亚属杂交 18 个杂交组合中, 9 个组合可育占 50.0% (表 2)。其中, 在 10 个以杜鹃亚属植物为母本的组合中仅有多鳞杜鹃 × 岷江杜鹃、百合花杜鹃 (*R. liliiflorum*) × 峨眉银叶杜鹃 (*R. argyrophyllum* subsp. *omeiense*) 和红棕杜鹃 × 岷江杜鹃等 3 个组合可育; 而以银叶杜鹃亚组种类为母本的 8 个组

表 2 常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属杂交可育组合结果表

Table 2 Cross fertile combinations of subgen. *Hymenanthes* and subgen. *Rhododendron*

杂交组合 Cross combination	坐果率 St (%)	绿苗率 Gs (%)	绿苗系数 Gc	单位可育种子数 Sf
云锦杜鹃亚组与杜鹃亚属 Subsect. <i>Fortunea</i> and subgen. <i>Rhododendron</i>				
* 多鳞杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. davidi</i>	71.4	36.0	0.981	28.4
问客杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. davidi</i>	8.3	8.7	0.401	0.3
腺果杜鹃 × 问客杜鹃 <i>R. davidi</i> × <i>R. ambiguum</i>	100.0	11.3	1	4.7
多鳞杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. calophytum</i>	66.7	11.7	0.854	11.2
宝兴杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. moupinense</i> × <i>R. oreodoxa</i>	10.0	54.4	0.711	74.0
银叶杜鹃亚组与杜鹃亚属 Subsect. <i>Argyrophylla</i> and subgen. <i>Rhododendron</i>				
多鳞杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	95.5	45.7	0.979	57.1
岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. polylepis</i>	35.9	68.6	0.936	19.7
* 峨眉银叶杜鹃 × 毛肋杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. augustinii</i>	34.5	6.7	1.000	1.1
* 峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. ambiguum</i>	72.2	0.3	1.000	0.1
* 繁花杜鹃 × 多鳞杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. polylepis</i>	12.5	20.3	1.000	16.0
* 百合花杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. arg.</i> subsp. <i>omei</i>	4	15.2	0.429	12.0
繁花杜鹃 × 百合花杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. liliiflorum</i>	55.6	4.7	0.500	0.7
岷江杜鹃 × 宝兴杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. moupinense</i>	42.9	20.7	1.000	2.0
红棕杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	20.0	9.1	1.000	2.0
其他组合 Other combinations				
* 百合花杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. glischrum</i>	58.8	4.0	0.930	9.0
多鳞杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. rex</i>	4.1	46.3	0.985	43.8
* 多鳞杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. irroratum</i>	100.0	70.5	1.000	65.4
多鳞杜鹃 × 马缨花 <i>R. polylepis</i> × <i>R. delavayi</i>	55.0	49.3	1.000	94.2
* 毛肋杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. augustinii</i> × <i>R. rex</i>	11.5	4.3	1.000	0.5

注: **St.** 坐果率; **Gs.** 绿苗率; **Gc.** 绿苗系数; **Sf.** 单位可育种子数; * 表示单向可育。下同。

Note: **St.** Capsul setting rate; **Gs.** Green seedling rate; **Gc.** Green seedling coefficient; **Sf.** Unit number of fertility seed; * means unidirectional fertility. The same below.

合则有岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 毛肋杜鹃 (*R. augustinii*)、峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃、繁花杜鹃 (*R. floribundum*) × 多鳞杜鹃、繁花杜鹃 × 百合花杜鹃和岷江杜鹃 × 宝兴杜鹃等 6 个组合可育,这与上述云锦杜鹃亚组 × 杜鹃亚属的结果相反;以多倍体的问客杜鹃为母本并分别与峨眉银叶杜鹃和岷江杜鹃杂交的 2 个组合不育,而同为多倍体的红棕杜鹃与岷江杜鹃的组合则表现为弱可育;同时出现了正反交双向可育(多鳞杜

鹃 × 岷江杜鹃)、单向可育(峨眉银叶杜鹃 × 毛肋杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃、百合花杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃)和双向不育[黄花杜鹃 (*R. lutescens*) × 岷江杜鹃]的多种情况。12 个组合能不同程度地坐果,但毛肋杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃、岷江杜鹃 × 黄花杜鹃和多鳞杜鹃 × 繁花杜鹃 3 个组合均不能结实,另外除繁花杜鹃 × 多鳞杜鹃组合的坐果率低于 20% 的阈值外,其他可育组合的坐果率均超过此阈值,其中多鳞杜鹃 × 岷江杜鹃等 4 个可育组

合的坐果率超过了 40% 的阈值; 低于 10% 的绿苗率值依次出现在峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃、繁花杜鹃 × 百合花杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 毛肋杜鹃和红棕杜鹃 × 岷江杜鹃等 4 个组合中, 其中前一组合和最后一个组合有多倍体介入; 百合花杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃和繁花杜鹃 × 百合花杜鹃 2 个组合的绿苗系数低于 0.6 的水平, 而其余 7 个可育组合的绿苗系数均在 0.9 以上; 仅多鳞杜鹃 × 岷江杜鹃组合的单位可育种子数在 20 粒以上, 其他 8 个可育组合均低于此阈值, 其中峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃、繁花杜鹃 × 百合花杜鹃 2 组合甚至不足 1 粒。分析表明, 常绿杜鹃亚属银叶杜鹃亚组 × 杜鹃亚属的杂交成功率高于云锦杜鹃 × 杜鹃亚属; 但父母本搭配效果恰恰相反, 银叶杜鹃亚组作为母本与杜鹃亚属杂交的可育性更高; 在多倍体仍影响杂交结果的同时, 红棕杜鹃 × 岷江杜鹃及峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃 2 个可育组合则表现了银叶杜鹃亚组植物种类与多倍体的杜鹃亚属植物交配具有微弱的可育潜质; 而绿苗率、单位可育种子数的普遍降低及少数组合绿苗系数的降低, 这说明银叶杜鹃亚组虽然与杜鹃亚属杂交有较好的育性, 但其杂交质量同样明显下降。

2.1.3 常绿杜鹃亚属其他类群与杜鹃亚属其他类群杂交 在常绿杜鹃亚属的杯毛杜鹃亚组 (subsect. *Falconera*)、粘毛杜鹃亚组 (subsect. *Glischra*)、露珠杜鹃亚组 (subsect. *Irrorata*) 和蜜腺杜鹃亚组 (subsect. *Thomsonia*) 与杜鹃亚属的有鳞大花亚组 (subsect. *Maddenia*)、川西杜鹃亚组 (subsect. *Moupinensia*)、三花杜鹃亚组 (subsect. *Triflora*) 和亮鳞杜鹃亚组 (subsect. *Helirolepida*) 的亚属间杂交中, 29 个组合中仅 5 个可育, 并均以杜鹃花亚属为母本, 占 17.2% (表 2)。其中, 以常绿杜鹃亚属类群为母本的 7 个杂交组合均无可育性, 大王杜鹃 (*R. rex*) × 毛肋杜鹃 (*R. augustinii*) (16.9%) 和粉果杜鹃 (*R. hylaeum*) × 黄花杜鹃 (*R. lutescens*) (77.8%) 可以坐果, 甚至前一组合还能结实 (9 粒/果), 但种子不能发芽, 而其余 5 个组合则不能坐果。有可育性的 5 个组合都是以杜鹃亚属为母本的组合, 可育数量占杜鹃亚属为母本组合数量的 22.7%, 以多鳞杜鹃为母本的 3 个组

合具有较好的可育性, 毛肋杜鹃 × 大王杜鹃、多鳞杜鹃 × 露珠杜鹃、百合花杜鹃 × 粘毛杜鹃 3 个组合为单向可育。百合花杜鹃 × 粉果杜鹃 (50%)、问客杜鹃 (*R. ambiguum*) × 火红杜鹃 (*R. neriiflorum*) (17.6%)、问客杜鹃 × 粉果杜鹃 (14.3%) 和毛肋杜鹃 × 绒毛杜鹃 (*R. pachytrichum*) (3.4%) 虽能不同程度地坐果, 但不能形成种子。

2.2 其他亚属间杂交

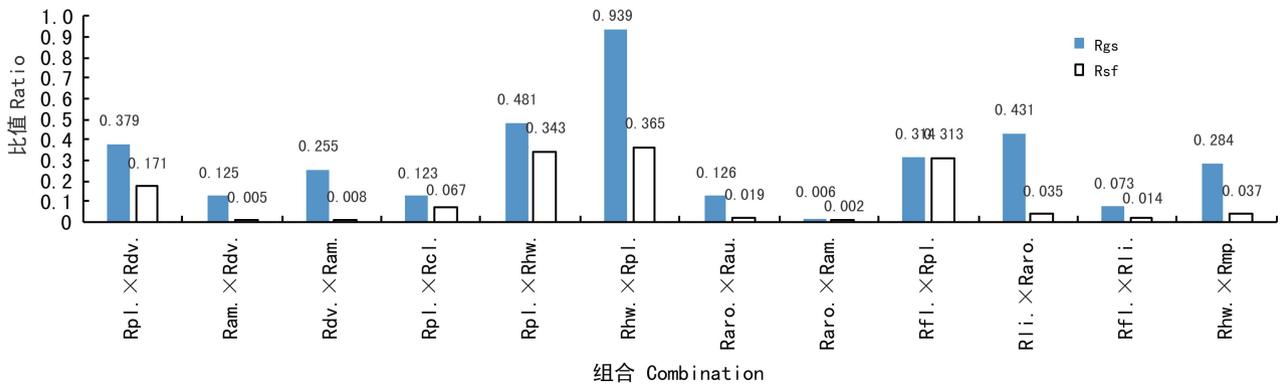
由 5 个亚属构成的其他亚属间组合数 56 个, 可育组合 7 个, 占 12.5% (表 3)。其中, 杜鹃亚属与马银花亚属 (5 个组合)、杜鹃亚属与羊躑躅亚属 (6)、马银花亚属与映山红 (1) 和马银花亚属与羊躑躅 (1) 未出现可育组合; 映山红 × 羊躑躅、映山红 × 百合花杜鹃及长蕊杜鹃 × 腺果杜鹃、越峰杜鹃 × 映山红 4 个组合为单向可育; 长蕊杜鹃与岷江杜鹃杂交双向不育。

杂交可育性稍好的杂交组合有杜鹃亚属与映山红 (2/8)、常绿杜鹃亚属与映山红 (2/14)、常绿杜鹃亚属与马银花亚属 (1/9) 和常绿杜鹃亚属与羊躑躅亚属 (1/10)。其中, 常绿杜鹃亚属 × 马银花亚属的 9 个组合中仅长蕊杜鹃 (*R. stamineum*) × 腺果杜鹃 (*R. davidi*) 有微弱的可育性, 虽然长蕊杜鹃 × 露珠杜鹃 (295 粒/果) 及长蕊杜鹃 × 山光杜鹃 (*R. oreodoxa*) (19 粒) 能结实但不能发芽; 常绿杜鹃亚属 × 映山红亚属 14 个组合中, 仅有越峰杜鹃 (*R. yuefengense*) × 映山红 (*R. simsii*) 和繁花杜鹃 (*R. floribundum*) × 映山红 2 个组合有可育性, 而映山红 × 越峰杜鹃的组合结实虽能达到 144.4 粒, 但种子完全败育; 常绿杜鹃亚属 × 羊躑躅亚属的组合中, 不育组合占 90%, 而有些意外的是大白杜鹃 (*R. decorum*) × 羊躑躅 (*R. molle*) 的组合表现出较高的可育性; 杜鹃亚属 × 映山红亚属的 13 个组合中, 也仅映山红 × 百合花与映山红 × 毛肋杜鹃可育, 其余 11 个组合均不能坐果; 以长蕊杜鹃为父本与杜鹃亚属构成的 4 个组合无可育性, 仅以长蕊杜鹃为母本与宝兴杜鹃 (*R. moupinense*) 杂交的组合能产生种子但不能发芽 (表 4, 附录 1)。长蕊杜鹃 × 羊躑躅杂交可以结实 (5.7 粒), 但种子败育; 映山红 × 羊躑躅的正交组合可育, 但其反交则不能坐果。

表 3 杜鹃花属其他亚属间杂交可育组合结果表

Table 3 Cross fertile combinations of inter-other subgenera of *Rhododendron*

杂交组合 Cross combination	坐果率 St (%)	绿苗率 Gs (%)	绿苗系数 Gc	单位可育种子数 Sf
* 长蕊杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. stamineum</i> × <i>R. davidi</i>	25.0	0.3	0.150	0.1
* 越峰杜鹃 × 映山红 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. simsii</i>	25.0	9.1	1.000	2.0
繁花杜鹃 × 映山红 <i>R. floribundum</i> × <i>R. simsii</i>	30.0	11.1	1.000	2.0
大白杜鹃 × 羊躑躅 <i>R. decorum</i> × <i>R. molle</i>	75.0	41.0	1.000	81.6
* 映山红 × 百合花杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. liliiflorum</i>	45.0	8.3	0.755	24.4
映山红 × 毛肋杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. augustinii</i>	40.0	48.7	0.979	34.4
* 映山红 × 羊躑躅 <i>R. simsii</i> × <i>R. molle</i>	86.3	4.7	0.940	7.9



注: **Rgs**. 绿苗率比值; **Rsf**. 单位可育种子数比值。

Note: **Rgs**. Green seedling rate ratio; **Rsf**. Unit number of fertile seed ratio.

图 1 云锦杜鹃亚组和银叶杜鹃亚组分别与杜鹃亚属杂交可育性指标比值

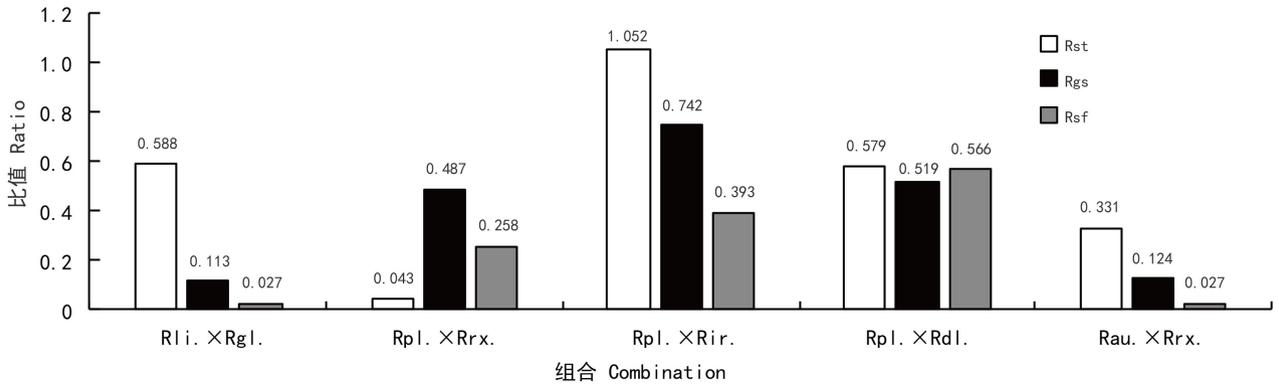
Fig. 1 Ratio of cross fertility index under cross of subject. *Fortunea* and subject. *Argyrophylla* and subgen. *Rhododendron* respectively

2.3 可育性指标比较

除红棕杜鹃和宝兴杜鹃所构成的 2 个杂交组合因自然授粉开花单株数量限制故不宜讨论外,其他 24 个可育组合绿苗率比和单位种子数比无一高于或等于其母本相应的自然授粉值,其中 23 个组合的单位可育种子数比值至少下降了 50%。

2.3.1 云锦杜鹃亚组、银叶杜鹃亚组分别与杜鹃亚属间的比较 考虑到红棕杜鹃与宝兴杜鹃因开花植株有限,其自然授粉的相应指标值可能偏低,因此对涉及此 2 种的组合暂不做讨论(庄平,

2017a)。其他类群与种类构成的 12 个可育组合的比较研究表明(图 1),除岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃组合的绿苗率值(R_{gs})下降不明显外,其余组合的绿苗率比值和单位可育种子数比值(R_{sf})(包括岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃)的下降率均超过了 0.5(下降约 50%);绿苗率比值在 0.2 以下的组合依次有云锦杜鹃亚组参与的多鳞杜鹃 × 美容杜鹃和问客杜鹃 × 腺果杜鹃等 2 个组合与银叶杜鹃亚组的峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃、繁花杜鹃 × 百合花杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 毛肋杜鹃等 3 个组合;而 12 个可育



注: **Rst**. 坐果率比; **Rgs**. 绿苗率比; **Rsf**. 单位可育种子数比。下同。

Note: **Rst**. Capsul setting rate ratio; **Rgs**. Green seedling rate ratio; **Rsf**. Unit number of fertile seed ratio. The same below.

图 2 杜鹃亚属 × 常绿杜鹃亚属部分组合育性指标比值

Fig. 2 Ratio of cross fertility index of subgen. *Rhododendron* × subgen. *Hymenathes*

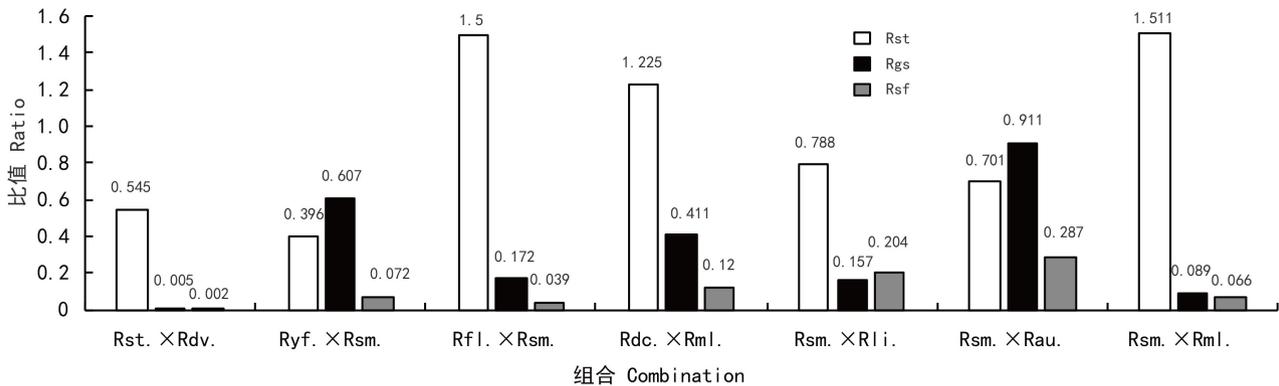


图 3 杜鹃花属亚属间杂交育性指标比值

Fig. 3 Ratio of cross fertility index of inter-subgen. of *Rhododendron*

组合的单位可育种子数比值 (Rsf) 下降的幅度均达 0.6, 其中 8 个组合的相应比值在 0.1 以下, 只有银叶杜鹃亚组构成的 3 个组合, 即多鳞杜鹃 × 岷江杜鹃、岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃和繁花杜鹃 × 多鳞杜鹃的 Rsc 值超过了 0.3 的比值。

在常绿杜鹃亚属的云锦杜鹃亚组和银叶杜鹃亚组分别与杜鹃亚属杂交的情况下, 绝大多数可育杂交组合的绿苗率和单位可育种子数比值严重下降, 而如岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃这类 F1 代绿苗系数较高的情况则比较例外。

2.3.2 杜鹃亚属与常绿杜鹃亚属 4 个亚组的比较

与自然授粉情况比较, 在杜鹃亚属 × 常绿杜鹃亚属的 5 个可育组合中, 除多鳞杜鹃 × 露珠杜鹃的组合外, 其余组合的坐果率均低于 1 (Rst); 绿苗率比值 (Rgs) 高于 0.5 的有多鳞杜鹃 × 露珠杜鹃和多鳞杜鹃 × 马缨花 2 个组合, 占 40%, 低于 0.3 的有百合花杜鹃 × 粘毛杜鹃与毛肋杜鹃 × 大王杜鹃 2 个组合, 占 40%; 单位可育种子数比值 (Rsf) 超过 0.3 的分别有多鳞杜鹃与露珠杜鹃、大王杜鹃和马缨花的杂交组合, 占 60%, 其余 2 个组合的相应比值在 0.05 以下。与前述常绿杜鹃亚属中云锦杜鹃亚组和银叶杜鹃亚组分别与杜鹃亚属成分杂交的

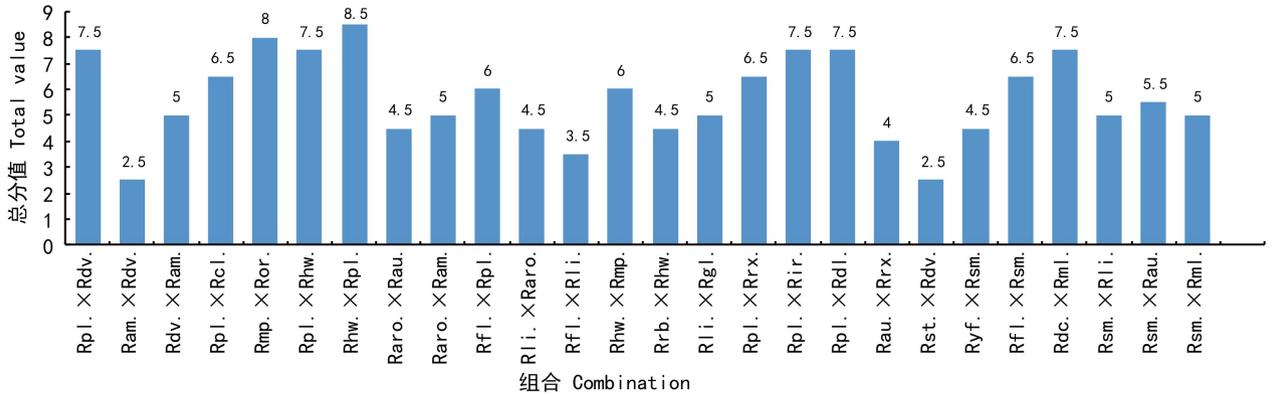


图4 杜鹃花属亚属间杂交可育性综合评价图

Fig. 4 Cross fertility assessment of inter-subgen. of *Rhododendron*

可育性不相上下(图2)。

2.3.3 其他亚属间杂交的比较 考察常绿杜鹃亚属和杜鹃亚属分别与马银花亚属、映山红亚属及羊躑躅亚属间及其后3个亚属相互的可育组合的育性比值可知(图3),坐果率比值(R_{st})波动明显甚至有3个组合的相应比值超过了1;绿苗率比值(R_{gs})高于0.5的组合有越峰杜鹃×映山红与映山红×毛肋杜鹃2个组合,占28.6%,而低于0.3的组合有长蕊杜鹃×腺果杜鹃、繁花杜鹃×映山红、映山红×百合花杜鹃和映山红×羊躑躅等4个组合,占57.1%;单位可育种子数比值(R_{sf})均未超过0.3,相应比值在0.05以下的组合也有2个。总的来看,常绿杜鹃亚属和杜鹃亚属分别与马银花亚属、映山红亚属及羊躑躅亚属间杂交的育性指标比上述常绿杜鹃亚属×杜鹃亚属的可育性有所下降。

3 综合评价

依据本研究设定的综合评价方案,利用上述坐果率、绿苗率、绿苗系数与可育种子数指标及其与阈值和给定的权重,综合评价结果如下:高可育组合(综合分值 ≥ 8)仅2个,岷江杜鹃×多鳞杜鹃和宝兴杜鹃×山光杜鹃;能育组合($5 \leq \sim < 8$)16个,多鳞杜鹃×腺果杜鹃、腺果杜鹃×问客杜鹃、多鳞杜鹃×美容杜鹃、多鳞杜鹃×岷江杜鹃、峨眉

银叶×问客杜鹃、繁花杜鹃×多鳞杜鹃、岷江杜鹃×宝兴杜鹃多鳞杜鹃×粘毛杜鹃、多鳞杜鹃×大王杜鹃、多鳞杜鹃×露珠杜鹃、多鳞杜鹃×马缨花、繁花杜鹃×映山红、大白杜鹃×羊躑躅、映山红×百合花杜鹃、映山红×毛肋杜鹃和映山红×羊躑躅;弱可育组合($2.5 \leq \sim < 5$)8个,问客杜鹃×腺果杜鹃、峨眉银叶杜鹃×毛肋杜鹃、百合花杜鹃×峨眉银叶杜鹃、繁花杜鹃×百合花杜鹃、红棕杜鹃×岷江杜鹃、毛肋杜鹃×大王杜鹃、长蕊杜鹃×腺果杜鹃和越峰杜鹃×映山红;不可育组合($0 \leq \sim < 2.5$)92个组合(附录1)。

4 讨论与结论

4.1 杜鹃花属植物的亚属间杂交存在明显的生殖障碍,其可育性水平与类群组合有关

高、中、低与不育比例为2:16:8:92,可育比例仅为20.0%,比常绿杜鹃亚属内和杜鹃亚属内杂交的可育性分别下降67.5%和25.4%。其中,常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属杂交可育比值为30.6%[云锦杜鹃亚组与杜鹃亚属(38.5%),银叶杜鹃亚组与杜鹃亚属(50.0%),常绿杜鹃亚属杯毛杜鹃亚组(subsect. *Falconera*)等4个亚组与杜鹃亚属的有鳞大花亚组(subsect. *Maddenia*)等4个亚组间杂交可育率17.2%];常绿杜鹃亚属与马银花亚属等5亚属间组合的综合可育率为12.5%,杜鹃亚

属与马银花亚属、杜鹃亚属与羊躑躅亚属、马银花亚属与映山红、马银花亚属与羊躑躅等 4 类亚属杂交均未出现可育组合。

4.2 亲本杂交组合方式对亚属间杂交有不同程度的影响, 一些类群组合有明显的向性

杜鹃亚属做母本与常绿杜鹃亚属的云锦杜鹃亚组杂交的可育比为 4/5, 而反交仅 1/6, 且在有关大王杜鹃、粘毛杜鹃、露珠杜鹃和粉果杜鹃的杂交中, 具有可育性的组合也均以杜鹃亚属种类为母本; 相反, 杜鹃亚属做母本与银叶杜鹃亚组杂交的可育比仅 3/10, 而反交可育比达 6/8。研究还发现了 12 对单向可育(或不育)组合, 分布于常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属、常绿杜鹃亚属与马银花亚属、常绿杜鹃亚属与映山红亚属、映山红亚属与杜鹃亚属和映山红亚属与羊躑躅亚属的亚属间的杂交组合中。另外, 研究还发现了两例(多鳞杜鹃与岷江杜鹃、腺果杜鹃与问客杜鹃)来源于常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属组合有不对称双向亲和现象。

4.3 杜鹃花属亚属间的杂交不亲和与败育现象明显, 绿苗率比和单位种子数比有大幅度下降

亚属间杂交不可育组合百分率占 80%, 尤其是常绿杜鹃亚属与马银花亚属等 5 亚属间组合的综合不育率高达 87.5%, 经初步观察不能坐果是不育的主要类型, 如上述无可育组合的 4 类杂交组合类型, 不能坐果占常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属杂交不亲和或败育率的 76.5%; 对 24 个可育组合绿苗率比和单位种子数比的研究表明, 无一例组合的相关指标值高于或等于其母本相应的自然授粉值, 尤其是有 23 例组合的单位可育种子数比值下降了 50%。相比之下, 在常绿杜鹃亚属内的异种的 56 个可育组合中, 有 15 个杂交组合的绿苗率比和单位可育种子数超过了自然授粉(庄平, 2017a)。

4.4 系统分类关系对亚属间交配可育性具有重要影响, 染色体倍性也有一定的作用

常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属杂交的平均可育率为 30.6%, 除此类组合外的其他亚属级组合的综合可育率降至 12.5%, 而杜鹃亚属与马银花亚属、杜鹃亚属与羊躑躅亚属、马银花亚属与映山红、马银花亚属与羊躑躅等则未见可育组合, 这在很大

程度上反映了可育性与亚属间的系统关系的一致性(闵天禄和方瑞征, 1990; Chamberlain et al, 1996; Kurashige et al, 2001; Goetsch et al, 2005), 如回顾常绿杜鹃亚属内异种杂交的可育率可达 87.5% 的情况, 则更有理由支持这一看法; 同时, 峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃的单向亲和、腺果杜鹃与问客杜鹃所表现的非对称亲和现象说明染色体倍性对于认识亚属间杂交也与认识杜鹃亚属内多倍体杂交一样有特殊的意义(Ammal et al, 1950; 张长芹等, 1997), 但多倍体介入并非意味着绝对的不育。过去在映山红亚属与羊躑躅亚属杂交中积累的胞质不育(cytoplasmic sterility)的证据较多(Kenji et al, 2000, 2006; Akihide et al, 2006; Kaori et al, 2008; Nobuo et al, 2008)。

4.5 有关研究为探索和认识杜鹃花属植物亚属间进化遗传联系提供了新的证据和思考

(1) 常绿杜鹃亚属的银叶杜鹃亚组作为母本与杜鹃亚属杂交可育性高并有较大的反交潜力的事实及其与同亚属其他类群交配行为的比较研究说明, 银叶杜鹃亚组可能是解释常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属进化遗传关系的重要类群, 结合杜鹃亚属为常绿杜鹃分化的一个进化分枝的观点(闵天禄和方瑞征, 1990; Chamberlain et al, 1996; Kurashige et al, 2001; Goetsch et al, 2005), 甚至可以设想杜鹃亚属的进化可能源于类似于银叶杜鹃亚组这样的中等进化程度的类群, 而不倾向于认为出于云锦杜鹃亚组那样的原始类群。(2) 杜鹃亚属的三花杜鹃亚组的多鳞杜鹃与多个常绿杜鹃亚属类群(腺果杜鹃、岷江杜鹃、大王杜鹃、露珠杜鹃、马缨花)杂交可育的现象说明, 该种可能与常绿杜鹃亚属具有广泛的血亲关系, 值得注意和深入研究。笔者注意到多鳞杜鹃与岷江杜鹃彼此为生态相邻种, 有可能在漫长的演化过程中通过多代遗传渗透积累(Milne et al, 2003; Tagane et al, 2008; Kron et al, 1993), 使二者的可交配性得到了某种程度的满足, 从而显现出了较高的可育性, 甚至不排除上述 2 个来自不同亚属的杜鹃花种在其分布交错区有天然杂交后代的可能性。(3) 杜鹃亚属的有鳞大花亚组中的百合花杜鹃和三花杜鹃亚组的毛肋杜鹃分别与映山红杂交可育

的现象,说明其与后者可能存在被低估了的亲缘关系。(4)常绿杜鹃亚属云锦杜鹃亚组中的腺果杜鹃与马银花亚属的长蕊杜鹃的联系、同亚组的越峰杜鹃和银叶杜鹃亚组的繁花杜鹃分别与映山红的联系、云锦杜鹃亚组的大白杜鹃与羊躑躅的联系等等,均需要深入研究和重新认识(闵天禄和方瑞征,1990;方瑞征和闵天禄,1995;Chamberlain et al, 1996)。

4.6 尽管杜鹃花属亚属间杂交存在不同程度甚至难以逾越的障碍,但也有意想不到的机会

一些可育性较好,性状特征突出的种类间的杂交可育组合,如宝兴杜鹃(附生小灌木)×山光杜鹃(大灌木或小乔木)、百合花杜鹃(灌木)×峨眉银叶杜鹃(大灌木或小乔木)、多鳞杜鹃(灌木)×大王杜鹃、大白杜鹃(大灌木)×羊躑躅(小灌木、黄花)以及映山红×毛肋杜鹃等杂交的初步成功,不但为杜鹃花属植物选育提供了机会,而且也为育种者提供了新的思路。从耿兴敏等(2017)有关亚属间杂交的研究结果中也能发现类似的情况。

致谢 本研究田间与室内试验和数据采集工作由李焯与唐桂英女士完成,英文摘要得到高贤明研究员的倾力帮助,峨眉山生物试验站为本研究给予了大力支持,在此一并致谢!

References:

AKIHIDE O, KENICHI S, 2006. Crossability of Kurume Azaleas as a seed parent for hybridizing with *Rhododendron japonicum* (A. Gray) J. V. Suringar f. *flavum* Nakai [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 75 (2): 191-198.

AKIHIDE O, HIROSHI I, KENICHI S, 2006. Variation in crossability among *Rhododendron japonicum* f. *flavum* plants as pollen parents when crossed with evergreen species, *R. eriocarpum* [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 75 (3): 270-272.

AKIHIDE O, KENICHI S, 2004. Cross incompatibility between *Rhododendron* sect. *Tsutsusi* species and *Rhododendron japonicum* (A. Gary) T. V. Suringar f. *flavum* Nakai [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 73 (5): 453-459.

AMMAL EK, 1950. Polyploidy in the genus *Rhododendron* [J]. *Rhododendron* Year Book, 5: 92-96.

AMMAL EK, ENOCH IC, BRIDGWATER M. 1950. Chromosome numbers in species of *Rhododendron* [J]. *Rhododendron* Year Book, 5: 78-91.

CHAMBERLAIN DF, HYAM R, ARGENT G, et al, 1996. The genus *Rhododendron*, its classification and synonymy [M]. Edinburgh: Royal Botanic Garden Edinburgh.

FANG RZ, MIN TL, 1995. The floristic study on the genus *Rhododendron* [J]. Acta Bot Yunnan, 17(4): 359-379. [方瑞征, 闵天禄, 1995. 杜鹃属植物区系的研究 [J]. 云南植物研究, 17(4): 359-37.

GENG XM, ZHAO HJ, WU YQ, et al, 2017. Cross-compatibility of wild *Rhododendron* the effective evaluation indicators [J]. Guihaia, 37(8): 979-988. [耿兴敏, 赵红娟, 吴影倩, 等, 2017. 野生杜鹃花杂交亲和性及适宜的评价指标 [J]. 广西植物, 37(8): 979-988.]

GOETSCH L, ECKERT AJ, HALL BD, 2005. The molecular systematics of *Rhododendron* (Ericaceae): a phylogeny based upon RPB2 gene sequences [J]. Syst Bot, 30: 616-626.

KAORI S, OZAKI Y, URESHINO K, et al, 2008. Interploidy crossing overcomes plastome-nuclear genome incompatibility in "intersubgeneric" hybridization between evergreen and deciduous azaleas [J]. Sci Hortic, 115: 268-274.

KENJI U, MIYOKO K, IKUO M, 2000. Factors of inter-sectional unilateral cross incompatibility between several evergreen azalea species and *Rhododendron japonicum* f. *flavum* [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 69(3): 261-265.

KENJI U, YOSHIKO T, YUKA T, et al, 2006. Cross compatibility of intersubgeneric hybrids of azaleas on backcross with several evergreen species [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 75(5): 403-409.

KRON KA, GAWEN LM, CHASE MW, 1993. Evidence for introgression in azaleas (*Rhododendron*; Ericaceae): chloroplast DNA and morphological variation in a hybrid swarm on Stone Mountain [J]. Geobotany, 80(9): 1095-1099.

KURASHIGE Y, ETOH JI, HANDA T, et al, 2001. Section relationships in genus *Rhododendron* (Ericaceae): evidence from *matK* and *trnK* intron sequences [J]. Plant Syst Evol, 228: 1-14.

MENG JL, 1997. Genetics of plant reproduction [M]. Beijing: Science Press: 296-357. [孟金陵, 1997. 植物生殖遗传学 [M]. 北京: 科学出版社: 296-357.]

MIN TL, FANG RZ, 1990. The phylogeny and evolution of genus *Rhododendron* [J]. Acta Bot Yunnan, 12(4): 353-365. [闵天禄, 方瑞征, 1990. 杜鹃属的系统发育与进化 [J]. 云南植物研究, 12(4): 353-365.]

MILNE RI, TSRZIOGLU S, ABBOTT RJ, 2003. A hybrid zone dominated by fertile F1s: maintenance of species barriers in *Rhododendron* [J]. Mol Ecol, 12: 2719-2729.

NOBUO K, DAIKI M, AKIRA N, et al, 2008. Attaining intersubgeneric hybrids in fragrant azalea breeding and the inheritance of organelle DNA [J]. Euphytica, 159: 67-72.

ROUSE JL, KNOX RB, WILLIAMS EG, 1993. Inter- and intraspecific pollinations involving *Rhododendron* species [J]. J Am Rhodo Soc, 47: 23-28.

TAGANE S, HIRAMATSU M, OKUBO H, 2008. Hybridization

- and asymmetric introgression between *Rhododendron eriocarpum* and *R. indicum* on Yakushima Island [J]. SW Jpn J Plant Res, 121: 387-395.
- TOM E, ELLEN DK, JOHAN VH, et al, 2007. Application of embryo rescue after interspecific crosses in the genus *Rhododendron* [J]. Plant Cell Tiss Organ Cult, 89:29-35.
- WILLIAMS EG, ROUSE JL, PALSER BF, et al, 1990. Reproductive biology of *Rhododendron* [J]. Horticult Rev, 12:1-67.
- ZHANG CQ, FENG BJ, LÜ YL, 1998. Hybridization study of the genus *Rhododendron* [J]. Acta Bot Yunnan, 20: 94-96. [张长芹, 冯宝钧, 吕元林, 1998. 杜鹃花属植物的杂交研究 [J]. 云南植物研究, 20: 94-96.]
- ZHUANG P, 2017a. Natural pollination of 37 *Rhododendron* species under *ex situ* conservation [J]. Guihaia, 37(8): 947-958. [庄平, 2017a. 37 种杜鹃花属植物在迁地保育下的自然授粉研究 [J]. 广西植物, 37(8): 947-958.]
- ZHUANG P, 2017b. Self-fertilization of 32 *Rhododendron* species under *ex situ* conservation [J]. Guihaia, 37(8): 959-968. [庄平, 2017b. 32 种杜鹃花属植物在迁地保育条件下的自交研究 [J]. 广西植物, 37(8): 959-968.]

附录 1 杜鹃花属植物亚属间杂交材料与组合

Appendix 1 Cross groups and their combinations of inter-subgen. *Rhododendron*

亚组 Subsection	组合缩写 Abbreviation of combination	组合 Combination
常绿杜鹃亚属与杜鹃亚属 Subgen. <i>Hymenanthes</i> and subgen. <i>Rhododendron</i>		
* 三花杜鹃亚组 × 云锦杜鹃亚组 Tr × Ft	Rpl. × Rdv.	多鳞杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. davidi</i>
云锦杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ft × Tr	Rdv. × Rpl.	腺果杜鹃 × 多鳞杜鹃 <i>R. davidi</i> × <i>R. polylepis</i>
* 三花杜鹃亚组 × 云锦杜鹃亚组 Tr × Ft	Ram. × Rdv.	问客杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. davidi</i>
* 云锦杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ft × Tr	Rdv. × Ram.	腺果杜鹃 × 问客杜鹃 <i>R. davidi</i> × <i>R. ambiguum</i>
三花杜鹃亚组 × 云锦杜鹃亚组 Tr × Ft	Rlu. × Rdv.	黄花杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. lutescens</i> × <i>R. davidi</i>
云锦杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ft × Tr	Rdv. × Rlu.	腺果杜鹃 × 黄花杜鹃 <i>R. davidi</i> × <i>R. lutescens</i>
云锦杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ft × Tr	Rft. × Rlu.	云锦杜鹃 × 黄花杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. lutescens</i>
* 三花杜鹃亚组 × 云锦杜鹃亚组 Tr × Ft	Rpl. × Rcl.	多鳞杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. calophytum</i>
三花杜鹃亚组 × 云锦杜鹃亚组 Tr × Ft	Rot. × Rdv.	山育杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. oreotrephe</i> s × <i>R. davidi</i>
云锦杜鹃亚组 × 有鳞大花亚组 Ft × Mo	Rdc. × Rli.	大白杜鹃 × 百合花杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. liliiflorum</i>
* 云锦杜鹃亚组 × 川西杜鹃亚组 Tr × Ft	Rmp. × Ror.	宝兴杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. moupinense</i> × <i>R. oreodoxa</i>
亮鳞杜鹃亚组 × 云锦杜鹃亚组 He × Ft	Rrb. × Rdv.	红棕杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. davidi</i>
云锦杜鹃亚组 × 亮鳞杜鹃亚组 Ft × He	Rdv. × Rrb.	腺果杜鹃 × 红棕杜鹃 <i>R. davidi</i> × <i>R. rubiginosum</i>
* 三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Rpl. × Rhw.	多鳞杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. hunnewellianum</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ar × Tr	Rhw. × Rpl.	岷江杜鹃 × 多鳞杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. polylepis</i>
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Rau. × Raro.	毛肋杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. augustinii</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ar × Tr	Raro. × Rau.	峨眉银叶杜鹃 × 毛肋杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. augustinii</i>
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Rlu. × Rhw.	黄花杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. lutescens</i> × <i>R. hunnewellianum</i>
银叶杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ar × Tr	Rhw. × Rlu.	岷江杜鹃 × 黄花杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. lutescens</i>
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Rpl. × Raro.	多鳞杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Ram. × Raro.	问客杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ar × Tr	Raro. × Ram.	峨眉银叶杜鹃 × 问客杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. ambiguum</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ar × Tr	Rfl. × Rpl.	繁花杜鹃 × 多鳞杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. polylepis</i>
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Rpl. × Rfl.	多鳞杜鹃 × 繁花杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. floribundum</i>

续附录1

亚组 Subsection	组合缩写 Abbreviation of combination	组合 Combination
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Ram. × Rhw.	问客杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. hunnewellianum</i>
三花杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 Tr × Ar	Rrg. × Raro.	基毛杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. rigidum</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>
* 有鳞大花亚组 × 银叶杜鹃亚组 Md × Ar	Rli. × Raro.	百合花杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>
银叶杜鹃亚组 × 有鳞大花亚组 Ar × Md	Raro. × Rli.	峨眉银叶杜鹃 × 百合花杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. liliiflorum</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 有鳞大花亚组 Ar × Md	Rfl. × Rli.	繁花杜鹃 × 百合花杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. liliiflorum</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 川西杜鹃亚组 Ar × Mo	Rhw. × Rmp.	岷江杜鹃 × 宝兴杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. moupinense</i>
* 亮鳞杜鹃亚组 × 银叶杜鹃亚组 He × Ar	Rrb. × Rhw.	红棕杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. hunnewellianum</i>
杯毛杜鹃亚组 × 有鳞大花亚组 Fl × Md	Rrx. × Rli.	大王杜鹃 × 百合花杜鹃 <i>R. rex</i> × <i>R. liliiflorum</i>
有鳞大花亚组 × 杯毛杜鹃亚组 Md × Fl	Rli. × Rrx.	百合花杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. rex</i>
杯毛杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Fl × Tr	Rrx. × Rau.	大王杜鹃 × 毛肋杜鹃 <i>R. rex</i> × <i>R. augustinii</i>
* 三花杜鹃亚组 × 杯毛杜鹃亚组 Tr × Fl	Rau. × Rrx.	毛肋杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. augustinii</i> × <i>R. rex</i>
露珠杜鹃亚组 × 川西杜鹃亚组 Ir × Mo	Rir. × Rmp.	露珠杜鹃 × 宝兴杜鹃 <i>R. irroratum</i> × <i>R. moupinense</i>
露珠杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Ir × Tr	Rir. × Rpl.	露珠杜鹃 × 多鳞杜鹃 <i>R. irroratum</i> × <i>R. polylepis</i>
* 三花杜鹃亚组 × 露珠杜鹃亚组 Tr × Ir	Rpl. × Rir.	多鳞杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. irroratum</i>
粘毛杜鹃亚组 × 有鳞大花亚组 Gl × Md	Rgl. × Rli.	粘毛杜鹃 × 百合花杜鹃 <i>R. glischrum</i> × <i>R. liliiflorum</i>
* 有鳞大花亚组 × 粘毛杜鹃亚组 Md × Gl	Rli. × Rgl.	百合花杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. glischrum</i>
蜜腺杜鹃亚组 × 三花杜鹃亚组 Th × Tr	Rhy. × Rlu.	粉果杜鹃 × 黄花杜鹃 <i>R. hylaeum</i> × <i>R. lutescens</i>
蜜腺杜鹃亚组 × 亮鳞杜鹃亚组 Th × He	Rhy. × Rrb.	粉果杜鹃 × 红棕杜鹃 <i>R. hylaeum</i> × <i>R. rubiginosum</i>
有鳞大花亚组 × 树形杜鹃亚组 Md × Ab	Rli. × Rdl.	百合花杜鹃 × 马缨花 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. delavayi</i>
有鳞大花亚组 × 蜜腺杜鹃亚组 Md × Th	Rli. × Rhy.	百合花杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. hylaeum</i>
* 三花杜鹃亚组 × 杯毛杜鹃亚组 Tr × Fl	Rpl. × Rrx.	多鳞杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. rex</i>
* 三花杜鹃亚组 × 树形杜鹃亚组 Tr × Ab	Rpl. × Rdl.	多鳞杜鹃 × 马缨花 <i>R. polylepis</i> × <i>R. delavayi</i>
三花杜鹃亚组 × 蜜腺杜鹃亚组 Tr × Th	Rpl. × Rhy.	多鳞杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. hylaeum</i>
三花杜鹃亚组 × 粘毛杜鹃亚组 Tr × Gl	Ram. × Rgl.	问客杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. glischrum</i>
三花杜鹃亚组 × 树形杜鹃亚组 Tr × Ab	Ram. × Rdl.	问客杜鹃 × 马缨花 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. delavayi</i>
三花杜鹃亚组 × 火红杜鹃亚组 Tr × Ne	Ram. × Rnr.	问客杜鹃 × 火红杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. neriflorum</i>
三花杜鹃亚组 × 火红杜鹃亚组 Tr × Ne	Ram. × Rsp.	问客杜鹃 × 纯红杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. sperabile</i>
三花杜鹃亚组 × 蜜腺杜鹃亚组 Tr × Th	Ram. × Rhy.	问客杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. hylaeum</i>
三花杜鹃亚组 × 麻花杜鹃亚组 Tr × Ma	Rau. × Rpc.	毛肋杜鹃 × 绒毛杜鹃 <i>R. augustinii</i> × <i>R. pachytrichum</i>
三花杜鹃亚组 × 粘毛杜鹃亚组 Tr × Gl	Rau. × Rgl.	毛肋杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. augustinii</i> × <i>R. glischrum</i>
三花杜鹃亚组 × 蜜腺杜鹃亚组 Tr × Th	Rau. × Rhy.	毛肋杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. augustinii</i> × <i>R. hylaeum</i>
三花杜鹃亚组 × 露珠杜鹃亚组 Tr × Ir	Rlu. × Rir.	黄花杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. lutescens</i> × <i>R. irroratum</i>
三花杜鹃亚组 × 树形杜鹃亚组 Tr × Ab	Rlu. × Rdl.	黄花杜鹃 × 马缨花 <i>R. lutescens</i> × <i>R. delavayi</i>
三花杜鹃亚组 × 火红杜鹃亚组 Tr × Ne	Rrg. × Rsp.	基毛杜鹃 × 纯红杜鹃 <i>R. rigidum</i> × <i>R. sperabile</i>
三花杜鹃亚组 × 杯毛杜鹃亚组 Tr × Fl	Rot. × Rrx.	山育杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. oreotrepes</i> × <i>R. rex</i>
三花杜鹃亚组 × 蜜腺杜鹃亚组 He × Th	Ryn. × Rhy.	云南杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. yunnanense</i> × <i>R. hylaeum</i>
亮鳞杜鹃亚组 × 露珠杜鹃亚组 He × Ir	Rrb. × Rir.	红棕杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. irroratum</i>
亮鳞杜鹃亚组 × 粘毛杜鹃亚组 He × Gl	Rrb. × Rgl.	红棕杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. glischrum</i>

续附录1

亚组 Subsection	组合缩写 Abbreviation of combination	组合 Combination
常绿杜鹃亚属与马银花亚属 Subgen. <i>Hymenanthes</i> and subgen. <i>Azaleastrum</i>		
* 长蕊杜鹃组 × 云锦杜鹃亚组 Ch × Ft	Rst. × Rdv.	长蕊杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. stamineum</i> × <i>R. davidi</i>
云锦杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Ft × Ch	Rdv. × Rst.	腺果杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. davidi</i> × <i>R. stamineum</i>
长蕊杜鹃组 × 云锦杜鹃亚组 Ch × Ft	Rst. × Ror.	长蕊杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. stamineum</i> × <i>R. oreodoxa</i>
云锦杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Ft × Ch	Rft. × Rst.	云锦杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. stamineum</i>
长蕊杜鹃组 × 银叶杜鹃亚组 Ch × Ar	Rst. × Rhw.	长蕊杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. stamineum</i> × <i>R. hunnewellianum</i>
银叶杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Ar × Ch	Rhw. × Rst.	岷江杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. stamineum</i>
银叶杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Ar × Ch	Rfl × Rst.	繁花杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. stamineum</i>
长蕊杜鹃组 × 露珠杜鹃亚组 Ch × Ir	Rst. × Rir.	长蕊杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. stamineum</i> × <i>R. irroratum</i>
长蕊杜鹃组 × 树形杜鹃亚组 Ch × Ab	Rst. × Rdl.	长蕊杜鹃 × 马缨花 <i>R. stamineum</i> × <i>R. delavayi</i>
常绿杜鹃亚属与映山红亚属 Subgen. <i>Hymenanthes</i> and subgen. <i>Tsutsusi</i>		
* 云锦杜鹃亚组 × 映山红组 Ft × Ts	Ryf. × Rsm.	越峰杜鹃 × 映山红 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. simsii</i>
映山红组 × 云锦杜鹃亚组 Ts × Ft	Rsm. × Ryf	映山红 × 越峰杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. yuefengense</i>
云锦杜鹃亚组 × 映山红组 Ft × Ts	Rdv. × Rsm.	腺果杜鹃 × 映山红 <i>R. davidi</i> × <i>R. simsii</i>
云锦杜鹃亚组 × 映山红组 Ft × Ts	Rft. × Rsm.	云锦杜鹃 × 映山红 <i>R. fortunei</i> × <i>R. simsii</i>
云锦杜鹃亚组 × 映山红组 Ft × Ts	Rdc. × Rsm.	大白杜鹃 × 映山红 <i>R. decorum</i> × <i>R. simsii</i>
银叶杜鹃亚组 × 映山红组 Ar × Ts	Raro. × Rsm	峨眉银叶杜鹃 × 映山红 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. simsii</i>
银叶杜鹃亚组 × 映山红组 Ar × Ts	Rhw. × Rsm.	岷江杜鹃 × 映山红 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. simsii</i>
* 银叶杜鹃亚组 × 映山红组 Ar × Ts	Rfl. × Rsm.	繁花杜鹃 × 映山红 <i>R. floribundum</i> × <i>R. simsii</i>
粘毛杜鹃亚组 × 映山红组 Gl × Ts	Rgl. × Rsm.	粘毛杜鹃 × 映山红 <i>R. glischrum</i> × <i>R. simsii</i>
露珠杜鹃亚组 × 映山红组 Ir × Ts	Rir. × Rsm.	露珠杜鹃 × 映山红 <i>R. irroratum</i> × <i>R. simsii</i>
映山红组 × 云锦杜鹃亚组 Ts × Ft	Rsm. × Ryf.	映山红 × 越峰杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. yuefengense</i>
映山红组 × 银叶杜鹃亚组 Ts × Ar	Rsm. × Raro	映山红 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. arg.</i> subsp. <i>omei</i>
映山红组 × 粘毛杜鹃亚组 Ts × Gl	Rsm. × Rgl.	映山红 × 粘毛杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. glischrum</i>
映山红组 × 麻花杜鹃亚组 Ts × Ma	Rsm. × Rpc.	映山红 × 绒毛杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. pachytrichum</i>
映山红组 × 火红杜鹃亚组 Ts × Ne	Rsm. × Rnr.	映山红 × 火红杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. neriiflorum</i>
常绿杜鹃亚属与羊躑躅亚属 Subgen. <i>Hymenanthes</i> and subgen. <i>Pentanthera</i>		
云锦杜鹃亚组 × 羊躑躅组 Ft × Pe	Ryf. × Rml.	越峰杜鹃 × 羊躑躅 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. molle</i>
* 云锦杜鹃亚组 × 羊躑躅组 Ft × Pe	Rdc. × Rml.	大白杜鹃 × 羊躑躅 <i>R. decorum</i> × <i>R. molle</i>
露珠杜鹃亚组 × 羊躑躅组 Ir × Pe	Rir. × Rml.	露珠杜鹃 × 羊躑躅 <i>R. irroratum</i> × <i>R. molle</i>
羊躑躅组 × 云锦杜鹃亚组 Pe × Ft	Rml. × Rir	羊躑躅 × 露珠杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. irroratum</i>
羊躑躅组 × 云锦杜鹃亚组 Pe × Ft	Rml. × Rfl.	羊躑躅 × 繁花杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. floribundum</i>
羊躑躅组 × 云锦杜鹃亚组 Pe × Ft	Rml. × Rdl.	羊躑躅 × 马缨花 <i>R. molle</i> × <i>R. delavayi</i>
羊躑躅组 × 云锦杜鹃亚组 Pe × Ft	Rml. × Rhy.	羊躑躅 × 粉果杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. hylaeum</i>
羊躑躅组 × 银叶杜鹃亚组 Pe × Ar	Rml. × Raro.	羊躑躅 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>
羊躑躅组 × 杯毛杜鹃亚组 Pe × Fl	Rml. × Rrx.	羊躑躅 × 大王杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. rex</i>
羊躑躅组 × 粘毛杜鹃亚组 Pe × Gl	Rml. × Rgl.	羊躑躅 × 粘毛杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. glischrum</i>

续附录1

亚组 Subsection	组合缩写 Abbreviation of combination	组合 Combination
杜鹃亚属与马银花亚属 Subgen. <i>Rhododendron</i> and subgen. <i>Azaleastrum</i>		
三花杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Tr × Ch	Rpl. × Rst.	多鳞杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. polylepis</i> × <i>R. stamineum</i>
三花杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Tr × Ch	Rlu. × Rst.	黄花杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. lutescens</i> × <i>R. stamineum</i>
三花杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 Tr × Ch	Ram. × Rst.	问客杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. stamineum</i>
亮鳞杜鹃亚组 × 长蕊杜鹃组 He × Ch	Rrb. × Rst.	红棕杜鹃 × 长蕊杜鹃 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. stamineum</i>
长蕊杜鹃组 × 川西杜鹃亚组 Ch × Mo	Rst. × Rmp.	长蕊杜鹃 × 宝兴杜鹃 <i>R. stamineum</i> × <i>R. moupinense</i>
杜鹃亚属与映山红亚属 Subgen. <i>Rhododendron</i> and subgen. <i>Tsutsusi</i>		
有鳞大花亚组 × 映山红组 Md × Ts	Rli. × Rsm.	百合花杜鹃 × 映山红 <i>R. liliiflorum</i> × <i>R. simsii</i>
* 映山红组 × 有鳞大花亚组 Ts × Md	Rsm. × Rli.	映山红 × 百合花杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. liliiflorum</i>
映山红组 × 三花杜鹃亚组 Ts × Tr	Rpl. × Rsm.	多鳞杜鹃 × 映山红 <i>R. polylepis</i> × <i>R. simsii</i>
* 映山红组 × 三花杜鹃亚组 Ts × Tr	Rsm. × Rau.	映山红 × 毛肋杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. augustinii</i>
三花杜鹃亚组 × 映山红组 Tr × Ts	Ram. × Rsm.	问客杜鹃 × 映山红 <i>R. ambiguum</i> × <i>R. simsii</i>
三花杜鹃亚组 × 映山红组 Tr × Ts	Rlu. × Rsm.	黄花杜鹃 × 映山红 <i>R. lutescens</i> × <i>R. simsii</i>
三花杜鹃亚组 × 映山红组 Tr × Ts	Rrg. × Rsm.	基毛杜鹃 × 映山红 <i>R. rigidum</i> × <i>R. simsii</i>
亮鳞杜鹃亚组 × 映山红组 He × Ts	Rrb. × Rsm.	红棕杜鹃 × 映山红 <i>R. rubiginosum</i> × <i>R. simsii</i>
杜鹃亚属与羊躑躅亚属 Subgen. <i>Rhododendron</i> and subgen. <i>Pentanthera</i>		
羊躑躅组 × 有鳞大花亚组 Pe × Md	Rml. × Rli.	羊躑躅 × 百合花杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. liliiflorum</i>
羊躑躅组 × 三花杜鹃亚组 Pe × Tr	Rml. × Rpl.	羊躑躅 × 多鳞杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. polylepis</i>
羊躑躅组 × 三花杜鹃亚组 Pe × Tr	Rml. × Rau.	羊躑躅 × 毛肋杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. augustinii</i>
羊躑躅组 × 三花杜鹃亚组 Pe × Tr	Rml. × Ram.	羊躑躅 × 问客杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. ambiguum</i>
羊躑躅组 × 三花杜鹃亚组 Pe × Tr	Rml. × Rrg.	羊躑躅 × 基毛杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. molle</i>
羊躑躅组 × 亮鳞杜鹃亚组 Pe × He	Rml. × Rrb.	羊躑躅 × 红棕杜鹃 <i>R. molle</i> × <i>R. rubiginosum</i>
马银花亚属与映山红亚属 Subgen. <i>Azaleastrum</i> and subgen. <i>Tsutsusi</i>		
映山红组 × 长蕊杜鹃组 Ts × Ch	Rsm. × Rst.	映山红 × 长蕊杜鹃 <i>R. simsii</i> × <i>R. stamineum</i>
马银花亚属与羊躑躅亚属 Subgen. <i>Azaleastrum</i> and subgen. <i>Pentanthera</i>		
长蕊杜鹃组 × 羊躑躅组 Ch × Pe	Rst. × Rml.	长蕊杜鹃 × 羊躑躅 <i>R. stamineum</i> × <i>R. molle</i>
映山红亚属与羊躑躅亚属 Subgen. <i>Tsutsusi</i> and subgen. <i>Pentanthera</i>		
羊躑躅组 × 映山红组 Pe × Ts	Rml. × Rsm.	羊躑躅 × 映山红 <i>R. molle</i> × <i>R. simsii</i>
* 映山红组 × 羊躑躅组 Ts × Pe	Rsm. × Rml.	映山红 × 羊躑躅 <i>R. simsii</i> × <i>R. molle</i>

注: **HY.** 常绿杜鹃亚属 **Ft.** 云锦杜鹃亚组; **Fl.** 杯毛杜鹃亚组; **Ca.** 弯果杜鹃亚组; **Ma.** 麻花杜鹃亚组; **Ir.** 露珠杜鹃亚组; **Ar.** 银叶杜鹃亚组; **Ne.** 火红杜鹃亚组; **Pa.** 星毛杜鹃亚组; **Th.** 蜜腺杜鹃亚组; **Ab.** 树形杜鹃亚组; **Gl.** 粘毛杜鹃亚组。 **RH.** 杜鹃亚属 **Md.** 有鳞大花亚组; **Mo.** 川西杜鹃亚组; **Tr.** 三花杜鹃亚组; **He.** 亮鳞杜鹃亚组。 **AZ.** 马银花亚属 **Ch.** 长蕊杜鹃组。 **TS.** 映山红亚属 **Ts.** 映山红组。 **PE.** 羊躑躅亚属 **Pe.** 五药花组。 * 为可育组合。

Note: **HY.** Subgen. *Hymenanthus* **Ft.** Subsect. *Fortunea*; **Fl.** Subsect. *Falconera*; **Ca.** Subsect. *Campylocarpa*; **Ma.** Subsect. *Maculifera*; **Ir.** Subsect. *Irrorata*; **Ar.** Subsect. *Argyrophylla*; **Ne.** Subsect. *Neriiflora*; **Pa.** Subsect. *Parishia*; **Th.** Subsect. *Thomsonia*; **Ab.** Subsect. *Arborea*; **Gl.** Subsect. *Glischra*. **RH.** Subgen. *Rhododendron* **Md.** Subsect. *Maddenia*; **Mo.** Subsect. *Moupinensia*; **Tr.** Subsect. *Triflora*; **He.** Subsect. *Helirolepida*. **AZ.** Subgen. *Azaleastrum* **Ch.** Sect. *Choniastrum*. **TS.** Subgen. *Tsutsusi* **Ts.** Sect. *Tsutsusi*. **PE.** Subgen. *Pentanthera* **Pe.** Sect. *Pentanthera*. * means fertile combinations.