

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201706023

引文格式: 庄平. 23种常绿杜鹃亚属植物种间杂交的可育性研究 [J]. 广西植物, 2018, 38(12): 1545–1557

ZHUANG P. Cross fertility of intra-subgen. *Hymenanthes* of 23 *Rhododendron* species [J]. *Guihaia*, 2018, 38(12): 1545–1557

## 23种常绿杜鹃亚属植物种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:** 该文对常绿杜鹃亚属 (subgen. *Hymenanthes*) 的 12 个亚组 23 种杜鹃花的 64 个杂交组合进行了研究, 包括云锦杜鹃亚组 (subsect. *Fortunea*)、银叶杜鹃亚组 (subsect. *Argyrophylla*) 及同亚属的其他 10 个亚组 [杯毛杜鹃亚组 (subsect. *Falconera*)、弯果杜鹃亚组 (subsect. *Campylocarpa*)、麻花杜鹃亚组 (subsect. *Maculifera*)、粘毛杜鹃亚组 (subsect. *Glischra*)、露珠杜鹃亚组 (subsect. *Irrorata*)、大理杜鹃亚组 (subsect. *Taliensia*)、树形杜鹃亚组 (subsect. *Arborea*)、蜜腺杜鹃亚组 (subsect. *Thomsonia*)、星毛杜鹃亚组 (subsect. *Parishia*)、火红杜鹃亚组 (subsect. *Neriiflora*)]。结果表明: (1) 常绿杜鹃亚属内的异种杂交具有很高的可育性, 在 64 个杂交组合中可育与高可育组合 56 个 (占 87.5%), 无弱可育等级。(2) 不亲和与败育组合 8 个, 不能坐果 (Cab)、不能结实 (Sab) 和结实不发芽 (Sng) 之比为 3 : 1 : 4, 并与杂交双亲的亲缘有一定关联, 初步推断同时存在前合子期不亲和 (pre-zygotic incompatibility) 与后合子期败育 (post-zygotic abortion) 的情形。(3) 与相应的自然授粉比较, 常绿杜鹃亚属内杂交会不同程度地导致可育性降低, 但有 15 个组内与组间杂交组合表现了某种“超亲和”现象, 尽管不能完全排除人工杂交对于结实与可育性的加强作用。(4) 常绿杜鹃亚属内不同种类间杂交, 存在双向可育与单向不育 (unilateral sterility) 现象, 但未见双向不育情况。

**关键词:** 常绿杜鹃亚属, 亚属内杂交, 亲和性, 可育性, 杜鹃花属

中图分类号: Q943 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)12-1545-13

## Cross fertility of intra-subgen. *Hymenanthes* of 23 *Rhododendron* species

ZHUANG Ping

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

**Abstract:** We studied the special cross of intra-subgen. *Hymenanthes*, 64 hybridized combinations between 23 species of twelve subsections of *Rhododendron* subgen. *Hymenanthes*. Twelve subsections were subsect. *Fortunea*, subsect. *Argyrophylla* and the other ten subsectiones (subsect. *Falconera*, subsect. *Campylocarpa*, subsect. *Maculifera*, subsect. *Glischra*, subsect. *Irrorata*, subsect. *Taliensia*, subsect. *Arborea*, subsect. *Thomsonia*, subsect. *Parishia*, subsect. *Neriiflora*). The results were as follows: (1) In the specific cross of intra-subgen. *Hymenanthes* the hybrid showed a good and high fertility,

收稿日期: 2018-01-29

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 Resources and Technology of Chinese Academy of Sciences (CZBZX-1); Key Planning of Scientific and Technological Office in 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。

combined fertile accounted for 87.5%, and no weak fertility. (2) There were eight hybridized combinations for incompatibility and sterility occurred before or after fruit stage and capsul aborted (Cab), seed aborted (Sab) and seed not germinated (Sng) showed 3 : 1 : 4, which had the relationship with both parents and may have pre-zygotic incompatibility and post-zygotic abortion. (3) Compared with the corresponding natural pollination, hybridization of some fertile indicators usually appeared a declining to different degrees, but there was “super affinity” phenomenon from fifteen hybridized combinations in the part of intra- or inter- subsections although that not completely eliminated the artificial hybridization to strengthen the phenomenon for seeding and fertility. (4) There were phenomena of bilateral fertility and unilateral sterility but bilateral sterility in different kinds of inter-specific hybridizations of subgen. *Hymenanthes*.

**Key words:** subgen. *Hymenanthes*, intra-subgenus cross, compatibility, fertility, *Rhododendron*

杂交为同一种内不同的基因型个体之间或不同分类等级物种之间的交配情形(孟金陵, 1997)。在自然条件下, 杜鹃花属(*Rhododendron*)植物存在从同种不同基因型之间到同亚属中不同亚组之间的杂交现象。人工杂交又使杜鹃花属的杂交水平提高到了该属植物组与组、亚属与亚属甚至超越了属内水平(Williams et al, 1990; Rouse et al, 1993; Pierce, 1974; Kenji et al, 2000, 2006; Koichi et al, 2005; Tom et al, 2007; 吴荃等, 2013)。Williams et al(1990)在总结以往关于杜鹃花属植物种间杂交研究时指出, 对杜鹃花属这类大类群而言, 种间杂交出现从完全亲和到完全不亲和的情况并不奇怪, 而不亲和的现象可以表现在从花粉不能在柱头上萌发一直到子代种子败育的过程中。这里包含了前合子期不亲和、后合子期败育到子代败育的情况, 并认为常绿杜鹃亚属(subgen. *Hymenanthes*)内杂交现象普遍。

常绿杜鹃亚属计 250 余种, 分属 1 组 24 亚组, 该亚属均为二倍体植物,  $2n = 26$  (Ammal et al, 1950)。该亚属内杂交的研究报道并不多, Milne et al(2003)研究认为 *Rhododendron* × *Sochadzeae* 是土耳其北部常见的常绿杜鹃亚属常绿杜鹃亚组(subsect. *Pontica*)内的自然杂种, 其双亲为同亚组的常绿杜鹃(*R. ponticum*)和高加索杜鹃(*R. caucasicum*)。近年来, 有马缨花(*R. delavayi*)分别与大白杜鹃(*R. decorum*)、露珠杜鹃(*R. irroratum*)和蜜腺杜鹃亚组(subsect. *Thomsonia*)的蓝果杜鹃(*R. cyanocarpum*)天然杂交的报道, 认为迷人杜鹃(*R. agastum*)是马缨花与露珠杜鹃的天然杂种, 并通过人工授粉试验证明有的组合正反交均有可育

性(张敬丽等, 2007; Zhang et al, 2007; Zha et al, 2010; Ma et al, 2010)。原始种类人工杂交方面的报道也不多, 张长芹等(1998)通过对大白杜鹃 × 桃叶杜鹃(*R. annae*)、马缨花 × 大白杜鹃、桃叶杜鹃 × 马缨花和团花杜鹃(*R. anthosphaerum*) × 疏花杜鹃(*R. annae* subsp. *laxiflorum*)的坐果率的研究表明, 上述同亚属不同亚组间或同亚组内杜鹃花杂交组合的坐果率均在 60% 以上, 而所报道的新品种“朝晖”和“红晕”即是马缨花分别与大白杜鹃和露珠杜鹃经人工杂交育成(张长芹等, 2002)。常绿杜鹃亚属中不同亚组间通过人工杂交获得著名品种的例子当属喇叭杜鹃(*R. discolor*) × 火红杜鹃(*R. neriiflorum*)育成黄色杜鹃品种“Bobolink”(余树勋, 1992), 云锦杜鹃作为常用亲本的一些研究(吴荃等, 2013)。但由于杂交研究工作开展有限, 我们对常绿杜鹃亚属内同一亚组内和不同亚组间的杂交育性仍缺乏全面了解。为了系统地探索常绿杜鹃亚属内异种杂交可育性规律, 笔者以该亚属 13 亚组 23 种为亲本材料, 通过最近 4 a 的试验和数据采集, 共获得了该亚属内不同种类的 64 个杂交组合有关坐果率、单位种子数、单位可育种子数、发芽率、绿苗率和绿苗系数等的育性数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

所用材料与自然授粉与自交材料的相应种类为同一来源和保育地点(庄平, 2017a, b), 包括常绿杜鹃亚属植物 13 亚组 23 种, 其中云锦杜鹃亚组

(subsect. *Fortunea*) 7 种、银叶杜鹃亚组 (subsect. *Argyrophylla*) 5 种、火红杜鹃亚组 (subsect. *Neriflora*) 2 种, 其他 9 个亚组各 1 种(表 1)。栽培于海拔 750 m 的玉堂基地的云锦杜鹃 (*R. fortunei*)、大白杜鹃、露珠杜鹃和马缨花等 4 种有相关杂交研究的报道, 栽培于海拔 1 700 m 的龙池基地的 19 种中, 除火红杜鹃有报道外, 其余 18 种未见有相关杂交研究的报道(吴荭等, 2013)。越峰杜鹃 (*R. yuefengense*) 疑可归并于 *R. platypodum* (Fang et al, 2005), 在本研究中权作独立的种处理。

## 1.2 方法

1.2.1 试验杂交组合 杂交组合 64 个, 其中云锦杜鹃亚组内组合 8 个, 银叶杜鹃亚组 2 个, 云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组 16 个, 云锦杜鹃亚组与其他 9 个亚组组合 22 个, 银叶杜鹃亚组与其他 7 亚组组合 11 个, 另有杯毛杜鹃亚组 (subsect. *Falconera*)、树形杜鹃亚组 (subsect. *Arborea*)、露珠杜鹃亚组 (subsect. *Irrorata*) 蜜腺杜鹃亚组 (subsect. *Thomsonia*) 和粘毛杜鹃亚组 (subsect. *Glischra*) 的 5 个组合(表 1)。

1.2.2 田间试验 坐果试验: 在田间试验点上, 每种选择正常开花的成年植株 2~3 棵, 春季花蕾期视每花序花朵数量情况, 标记并正确计数不少于 20 朵花, 作为观察基数; 在每个花序上第一朵花开花之前去雄并用尼龙袋套袋, 花药开裂时进行人工杂交授粉并确保授粉充分; 秋季果熟期对每个标记的坐果数量逐一统计, 待秋季蒴果充分成熟后, 将果实分种采收备用。

1.2.3 室内测试 (1) 单果种子数测定: 在上述田间和野外收获的果实中选取中等大小的果实 3 颗置于常温荫蔽条件下置放, 待蒴果自然开裂时, 逐一统计单果种子数量, 记录备用。(2) 种子发芽试验: 用定性滤纸 2 层置于培养皿中、加蒸馏水使之充分湿润, 将上述田间和原产地获得的种子随机计数 100 粒分别均匀散播于滤纸上、重复 3 次(数量不足的以实际数量为准)。按白天模式: 温度 17℃、光照 3 000 lx、12 h; 按夜间模式: 温度 12℃、黑暗、12 h 培养 40~50 d。处理发芽率稳定后, 统计各重复的发芽和绿苗数量。

1.2.4 数据整理 (1) 坐果率 (St) = (坐果数/花朵数) × 100%; (2) 发芽率与绿苗率: 发芽率 = (3 次重复发芽数之和/300 或实际数量) × 100%; 绿苗率 (Gs) = (3 次重复绿苗数之和/300 或实际数量) × 100%; (3) 单位可育种子数 (Sf) (粒/果) = (3 粒蒴果种子总数量/3) × 绿苗率 (%); (4) 育性系数 = 杂交单位能育种子数/自然授粉能育种子数

## 1.2.5 指标体系与等级划分

(1) 坐果率 (St, %): 杜鹃花育性适应或适合度的常用指标。划分为 4 个等级: 不能坐果 - 0、0 < 低 < 20、20 ≤ 中 < 40、高 ≥ 40。(2) 绿苗率 (Gs, %): 种子生活力常用指标, 常结合发芽率、黄化率用以分析可育性。划分为 4 个等级: 无绿苗 - 0、0 < 低 < 10、10 ≤ 中 < 50、高 ≥ 50。(3) 绿苗系数 (Gc): 绿苗率与发芽苗率之比, 为阈值 0 ~ ≤ 1 的相对化指标, 互补值 1 - Gc 为败育苗系数。划分为 4 个等级: 无绿苗 - 0、0 < 低 < 0.6、0.6 ≤ 中 < 0.9、高 ≥ 0.9。(4) 单位可育种子数 (Sf, 粒/果): 为具有正常生活力种子的绝对值指标。划分为 4 个等级: 无能育种子 - 0、0 < 低 < 20、20 ≤ 中 < 200、高 ≥ 200。

1.2.6 可育性综合评价 设总权重(最高分值)为 10, 将绿苗率作为主要指标给定最高权重 5 分, 其次为绿苗系数最高权重 2 分, 坐果率与单位可育种子数作为辅助指标分别给定最高权重 1.5 分, 各指标等级和权重分值分配方案如表 2。某种杜鹃花种类的各项指标的等级与得分的确定以该种的试验数据参照各指标给定的阈值加以确定。种类的单项得分之和为该种的总分值, 即能育性值。依据能育性值将能育性划分为 4 个等级, 即 0 ≤ 无 < 2.5、2.5 ≤ 低 < 5、5 ≤ 中 < 8、高 ≥ 8, 其对应的称谓或可为不育型、弱育型、能育型、高育型。

## 2 结果与分析

### 2.1 同亚组内杂交

由表 3 可知, 除云锦杜鹃 × 越峰杜鹃的组合外, 其他 7 个组合的坐果率均达到了 40%; 绿苗率大致显示了相同的趋势, 以前 1 组合为低, 而在后 7 个组合中美容杜鹃 × 腺果杜鹃和云锦杜鹃 × 美容杜鹃达到了 50% 的高绿苗率水平; 腺果杜鹃 ×

表 1 常绿杜鹃亚属内杂交组合表  
Table 1 Cross combinations of intra-subgen. *Hymenantes*

亚组 Subsection	组合缩写 Abbreviation of combination	组合 Combination	
云锦杜鹃亚组内杂交 Intra-subsect. <i>Fortunea</i>	Rcl. × Rdv.	美容杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. davidii</i>	
	Rdv. × Rcl.	腺果杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. calophytum</i>	
	Ror. × Rdv.	山光杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. oreodoxa</i> × <i>R. davidii</i>	
	Rdv. × Ror.	腺果杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. oreodoxa</i>	
	Ror. × Rcl.	山光杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. oreodoxa</i> × <i>R. calophytum</i>	
	Rcl. × Ror.	美容杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. oreodoxa</i>	
	Rft. × Rcl.	云锦杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. calophytum</i>	
	Rft. × Ryf.	云锦杜鹃 × 越峰杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. yuefengense</i>	
银叶杜鹃亚组内杂交 Intra-subsect. <i>Argyrophylla</i>	Raro. × Rhw.	峨嵋银叶杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	
	Raro. × Rfl.	峨嵋银叶杜鹃 × 繁花杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. floribundum</i>	
云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Argyrophylla</i>	Rdv. × Rhw.	腺果杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	
	Rhw. × Rdv.	岷江杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. davidii</i>	
	Rdv. × Raro.	腺果杜鹃 × 峨嵋银叶杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i>	
	Raro. × Rdv.	峨嵋银叶杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. davidii</i>	
	Rcl. × Rhw.	美容杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	
	Rhw. × Rcl.	岷江杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. calophytum</i>	
	Rdv. × Rri.	腺果杜鹃 × 大钟杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. ririei</i>	
	Rri. × Rdv.	大钟杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. ririei</i> × <i>R. davidii</i>	
	Rdv. × Rfl.	腺果杜鹃 × 繁花杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. floribundum</i>	
	Rfl. × Rdv.	繁花杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. davidii</i>	
	Ror. × Rhw.	山光杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. oreodoxa</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	
	Rhw. × Ror.	岷江杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. oreodoxa</i>	
	Rri. × Rcl.	大钟杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. ririei</i> × <i>R. calophytum</i>	
	Rri. × Ror.	大钟杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. ririei</i> × <i>R. oreodoxa</i>	
	Rpg. × Rdv.	海绵杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. pingianum</i> × <i>R. davidii</i>	
	Raro. × Ryf.	峨嵋银叶杜鹃 × 越峰杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. yuefengense</i>	
	云锦杜鹃亚组与麻花杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Maculifera</i>	Rdv. × Rpc.	腺果杜鹃 × 绒毛杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. pachytrichum</i>
	云锦杜鹃亚组与露珠杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Irrorata</i>	Rdv. × Rir.	腺果杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. irroratum</i>
	云锦杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Rdv. × Rdl.	腺果杜鹃 × 马缨花 <i>R. davidii</i> × <i>R. delavayi</i>
	云锦杜鹃亚组与火红杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Neriiflora</i>	Rdv. × Rnr.	腺果杜鹃 × 火红杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. neriiflorum</i>
云锦杜鹃亚组与杯毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Falconera</i>	Rdc. × Rxr.	大白杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. rex</i>	
云锦杜鹃亚组与弯果杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Campylocarpa</i>	Rdc. × Rsl.	大白杜鹃 × 白碗杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. souliei</i>	
云锦杜鹃亚组与粘毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Glischra</i>	Rdc. × Rgl.	大白杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. glischrum</i>	
云锦杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Rdc. × Rdl.	大白杜鹃 × 马缨花 <i>R. decorum</i> × <i>R. delavayi</i>	

续表1

亚组 Subsection	组合缩写 Abbreviation of combination	组合 Combination
云锦杜鹃亚组与火红杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Neriiflora</i>	Rdc. × Rcif.	大白杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. citri</i> . var. <i>horaenum</i>
云锦杜鹃亚组与蜜腺杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Thomsonia</i>	Rdc. × Rhy.	大白杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. hylaeum</i>
云锦杜鹃亚组与弯果杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Campylocarpa</i>	Rft. × Rsl.	云锦杜鹃 × 白碗杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. souliei</i>
云锦杜鹃亚组与粘毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Glischra</i>	Rft. × Rgl.	云锦杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. glischrum</i>
云锦杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Rft. × Rdl.	云锦杜鹃 × 马缨花 <i>R. fortunei</i> × <i>R. delavayi</i>
云锦杜鹃亚组与火红杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Neriiflora</i>	Rft. × Rcif.	云锦杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. citri</i> . var. <i>horaenum</i>
云锦杜鹃亚组与蜜腺杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Thomsonia</i>	Rft. × Rhy.	云锦杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. hylaeum</i>
云锦杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Ryf. × Rdl.	越峰杜鹃 × 马缨花 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. delavayi</i>
云锦杜鹃亚组与粘毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Glischra</i>	Ryf. × Rgl.	越峰杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. glischrum</i>
云锦杜鹃亚组与星毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Parishia</i>	Ryf. × Rfa.	越峰杜鹃 × 绵毛房杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. facetum</i>
云锦杜鹃亚组与火红杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Neriiflora</i>	Ryf. × Rcif.	越峰杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. citri</i> . var. <i>horaenum</i>
云锦杜鹃亚组与蜜腺杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Thomsonia</i>	Ryf. × Rhy.	越峰杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. hylaeum</i>
云锦杜鹃亚组与麻花杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Maculifera</i>	Rcl. × Rpc.	美容杜鹃 × 绒毛杜鹃 <i>R. calophyllum</i> × <i>R. pachytrichum</i>
云锦杜鹃亚组与杯毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Fortunea</i> × Subsect. <i>Falconera</i>	Rrx. × Rdv.	大王杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. rex</i> × <i>R. davidi</i>
银叶杜鹃亚组与杯毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Falconera</i>	Raro. × Rrx.	峨嵋银叶杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. rex</i>
银叶杜鹃亚组与粘毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Glischra</i>	Raro. × Rgl.	峨嵋银叶杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. glischrum</i>
银叶杜鹃亚组与大理杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Taliensia</i>	Raro. × Rbl.	峨嵋银叶杜鹃 × 巴郎杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. balangense</i>
银叶杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Raro. × Rdl.	峨嵋银叶杜鹃 × 马缨花 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. delavayi</i>
银叶杜鹃亚组与火红杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Neriiflora</i>	Raro. × Rnr.	峨嵋银叶杜鹃 × 火红杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. neriiflorum</i>
银叶杜鹃亚组与火红杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Neriiflora</i>	Raro. × Rsp	峨嵋银叶杜鹃 × 纯红杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. sperabile</i>
银叶杜鹃亚组与蜜腺杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Thomsonia</i>	Raro. × Rhy.	峨嵋银叶杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. hylaeum</i>
银叶杜鹃亚组与粘毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Glischra</i>	Rfl. × Rgl.	繁花杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. glischrum</i>
银叶杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Rfl. × Rdl.	繁花杜鹃 × 马缨花 <i>R. floribundum</i> × <i>R. delavayi</i>
银叶杜鹃亚组与露珠杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Irrorata</i>	Rfl. × Rir.	繁花杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. irroratum</i>
银叶杜鹃亚组与蜜腺杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Argyrophylla</i> × Subsect. <i>Thomsonia</i>	Rfl. × Rhy.	繁花杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. hylaeum</i>
杯毛杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Falconera</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Rrx. × Rdl.	大王杜鹃 × 马缨花 <i>R. rex</i> × <i>R. delavayi</i>
杯毛杜鹃亚组与蜜腺杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Falconera</i> × Subsect. <i>Thomsonia</i>	Rrx. × Rhy.	大王杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. rex</i> × <i>R. hylaeum</i>
露珠杜鹃亚组与树形杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Irrorata</i> × Subsect. <i>Arborea</i>	Rir. × Rdl.	露珠杜鹃 × 马缨花 <i>R. irroratum</i> × <i>R. delavayi</i>
	Rdl. × Rir.	马缨花 × 露珠杜鹃 <i>R. delavayi</i> × <i>R. irroratum</i>
露珠杜鹃亚组与粘毛杜鹃亚组杂交 Subsect. <i>Irrorata</i> × Subsect. <i>Glischra</i>	Rhy. × Rgl.	粉果杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. hylaeum</i> × <i>R. glischrum</i>

表 2 杜鹃花育性指标等级与权重分配表  
Table 2 Fertile index grades and their weight allocations

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 Capsule 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

山光杜鹃组合的绿苗系数稍低,其他组合均超过 0.9 的高绿苗系数水平;在上述杂交组合中,单位可育种子数差异很大,最值得注意的是美容杜鹃作为母本分别与腺果杜鹃和山光杜鹃杂交时,其单位可育种子数比该母本自然授粉(274 粒)分别增加了 1 136.7 粒和 85.6 粒,其他 6 个组合的单位可育种子数均不同程度地低于相应母本的自然授粉单位可育种子数。同时还可以看到前 6 个组合分别构成 3 对正反交,其正反交育性指标有不同程度的波动和差异,正反交育性有不对称情况。表 3 的最后 2 组合为银叶杜鹃亚组内不同种类的杂交,以峨眉银叶杜鹃 (*R. argyrophylla*. subsp. *omeiense*) 作为母本分别与岷江杜鹃 (*R. hunnewellianum*) 和繁花杜鹃 (*R. floribundum*) 杂交显现了完全不同的结果,后 1 组合虽然能坐果其单位种子量 3.7 粒,但种子不能发芽因而不育。另有不完整试验数据显示,后一组合的反交,即繁花杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃的坐果率可达到 62.2%,繁花杜鹃 × 岷江杜鹃的坐果率达到了 40%,但尚不能证明究竟能否可育。

以上结果表明,云锦杜鹃亚组内不同种类间杂交比较容易,甚至个别组合如美容杜鹃 × 腺果杜鹃可能存在极高的亲和性,而正反交存在一定的不对称性。银叶杜鹃亚组内不同种类杂交同时存在可育与不育现象,但由于试验组合数量不足,其可育性程度尚不十分清楚。

## 2.2 云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组杂交

在有关云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组杂交的 16 个组合中,有岷江杜鹃 (*R. hunnewellianum*) × 山光杜鹃和海绵杜鹃 (*R. pingianum*) × 腺果杜鹃等 2 个杂交组合虽能坐果并能少量结实(单位种子量分别为 3.7 粒和 5.7 粒)但种子不能发芽(表 4)。

其余 14 个组合均具有一定的可育性,其中 10 个组合的坐果率超过或等于 50%;腺果杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃、岷江杜鹃 × 美容杜鹃、腺果杜鹃 × 繁花杜鹃与大钟杜鹃 (*R. ririei*) × 美容杜鹃的绿苗率值分别超过了相应母本的自然授粉绿苗率值(净增加值依次为 22.0%、15.7%、8.7% 粒和 5.0%),其余 10 个组合的相应值不同程度地低于自然授粉,减少量最多的组合为峨眉银叶杜鹃 × 越峰杜鹃(自然授粉 99.7%,该杂交组合 53.0%),但未出现绿苗率低于 10% 的情况。在 14 个可育的组合中,仅 2 例组合稍低于 0.9 的高绿苗系数阈值;大钟杜鹃 × 美容杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 越峰杜鹃、岷江杜鹃 × 美容杜鹃等 3 个组合的单位可育种子数比相应母本自然授粉有明显增加(净增量分别为 503.1 粒、222.6 粒和 127.6 粒),其余 11 个组合均有不同程度下降,其中腺果杜鹃为母本分别与峨眉银叶和大钟杜鹃杂交的单位可育种子净降值分别为 473.8 粒和 458.7 粒,前者的反交下降了约 9 倍且低于 20 粒的阈值,其余各可育组合的单位可育种子数均高于此阈值。在表 1 所示的 6 对

表 3 云锦杜鹃亚组内及银叶杜鹃亚组内杂交结果表

Table 3 Cross of intra-subsect. *Fortunea* and intra-subsect. *Argyrophylla*

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
美容杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. davidii</i>	34.5	62.0	0.995	1 410.7
腺果杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. calophytum</i>	75.0	37.0	0.909	413.3
山光杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. oreodoxa</i> × <i>R. davidii</i>	53.3	44.0	1.000	137.0
腺果杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. oreodoxa</i>	44.1	27.3	0.752	107.6
山光杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. oreodoxa</i> × <i>R. calophytum</i>	44.2	31.3	1.000	58.6
美容杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. oreodoxa</i>	58.2	39.7	0.968	359.6
云锦杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. calophytum</i>	66.7	73.0	0.982	208.8
云锦杜鹃 × 越峰杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. yuefengense</i>	7.7	15.6	1.000	14.5
峨眉银叶杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	41.4	73.7	0.953	27.3
峨眉银叶杜鹃 × 繁花杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. floribundum</i>	51.9	—	—	—

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

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

表 4 云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组杂交结果表

Table 4 Cross of subsect. *Fortunea* and subsect. *Argyrophylla*

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
腺果杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	73.7	33.7	0.991	321.2
岷江杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. davidii</i>	52.9	55.0	1.000	307.8
腺果杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. arg.</i> subsp. <i>omei</i>	37.7	66.3	1.000	120.0
峨眉银叶杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. davidii</i>	34.7	45.5	0.910	6.5
美容杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	61.1	43.7	0.956	112.7
岷江杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. calophytum</i>	37.8	89.0	1.000	181.6
腺果杜鹃 × 大钟杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. ririei</i>	75.3	17.3	0.852	35.1
大钟杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. ririei</i> × <i>R. davidii</i>	75.0	45.5	1.000	30.3
腺果杜鹃 × 繁花杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. floribundum</i>	25.0	53.0	0.958	146.7
繁花杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. davidii</i>	100.0	19.7	1.000	66.4
山光杜鹃 × 岷江杜鹃 <i>R. oreodoxa</i> × <i>R. hunnewellianum</i>	52.9	20.0	0.952	68.6
岷江杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. hunnewellianum</i> × <i>R. oreodoxa</i>	34.5	—	—	—
大钟杜鹃 × 美容杜鹃 <i>R. ririei</i> × <i>R. calophytum</i>	83.3	65.7	0.956	605.6
大钟杜鹃 × 山光杜鹃 <i>R. ririei</i> × <i>R. oreodoxa</i>	50.0	59.0	0.833	33.4
海绵杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. pingianum</i> × <i>R. davidii</i>	4.3	—	—	—
峨眉银叶杜鹃 × 越峰杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. yuefengense</i>	53.3	99.7	0.997	281.5

正反交组合中,仅有山光杜鹃与岷江杜鹃的一对组合出现了单向不亲和现象,岷江杜鹃×山光杜鹃杂交无可育性,而反交可育。

由此可见,云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组杂交显现了广泛的可育性,尽管多数组合的绿苗率和单位可育种子数比相应的自然授粉情况有不同程度的下降,但很少有组合的育性指标下降到低阈值区域,而约有 1/4 的组合的某些育性指标还有比较明显的上升;同时在上述 2 个亚组的杂交中,正反交双向亲和或可育更加普遍,但也存在单向不亲和(不育)情况。

### 2.3 云锦杜鹃亚组与其他 9 个亚组杂交

在云锦杜鹃亚组与其他 9 亚组计 22 个杂交组合中(表 5),有 4 个组合无可育性。其中,3 个组合不能坐果,腺果杜鹃(*R. davidii*)×露珠杜鹃(*R. irroratum*)杂交能坐果其单位种子量 24 粒,但无发芽能力,据不完整数据显示其反交露珠杜鹃×腺果杜鹃组合的坐果率达 62.9%,故不排除这对组合单向不育的可能性。

其余 18 个组合均能不同程度地坐果,其中 12 个组合的坐果率超过了 40% 的水平;坐果率在 20% 以下的组合包括腺果杜鹃×马缨花(*R. delavayi*)、云锦杜鹃(*R. fortunei*)×粉果杜鹃(*R. hyalaeum*)、越峰杜鹃(*R. yuefengense*)×绵毛房杜鹃(*R. facetum*)、越峰杜鹃×粉果杜鹃和美容杜鹃(*R. calophytum*)×绒毛杜鹃(*R. pachytrichum*)等 5 个组合。

12 个组合的绿苗率超过了 50% 的水平,越峰杜鹃作为母本与马缨花等 5 个不同亚组种类杂交的绿苗率不同程度地超过了越峰杜鹃自然授粉的绿苗率水平,绿苗率未超过 20% 的组合出现在以腺果杜鹃为母本分别与绒毛杜鹃和马缨花构成的杂交组合中。17 个组合的绿苗系数均高于 0.9 的水平,仅腺果杜鹃×绒毛杜鹃的绿苗系数未超过 0.8 的阈值。

单位可育种子数差异较大。与相应的自然授粉情况比较,有 9 个杂交组合的单位可育种子数不同程度地超过了前者,包括以越峰杜鹃为母本的全部 5 个组合、云锦杜鹃分别与白碗杜鹃(*R. souliei*)、粘毛杜鹃(*R. glischrum*)和美艳橙黄杜鹃

(*R. citriniflorum* var. *horeaum*) 杂交的 3 个组合和大白杜鹃(*R. decorum*)×粉果杜鹃的组合,尤其是越峰杜鹃×绵毛房杜鹃(423.5/27.8)、云锦杜鹃×粘毛杜鹃(880.0/202.6)和大白杜鹃×粉果杜鹃(1 003.3/682.6)等组合的单位可育种子数增加明显。但同时,腺果杜鹃×绒毛杜鹃(85.0/593.8)、腺果杜鹃×马缨花(12.0/593.8)、云锦杜鹃×粉果杜鹃(4.0/202.6)等组合的相应比较减量也十分明显。

由此可知,云锦杜鹃亚组与其他 9 个相关亚组杂交的情况下,其组合可育率可达 80%;不育组合中,败育可能主要源于不能正常坐果,但可育组合仍有较高的坐果率;与自然授粉比较,多数组合的绿苗率偏低,但越峰杜鹃为母本的一些组合的绿苗率值可超过前者;大约 50% 的组合单位可育种子数不同程度地高于相应的自然授粉值,而腺果杜鹃作为母本的杂交组合的单位可育种子数的相应减量则十分明显。

### 2.4 银叶杜鹃亚组与其他 7 个亚组杂交

实际上银叶杜鹃亚组与其他 7 个亚组间的组合主要反映了分别以峨眉银叶杜鹃(*R. argyrophylla*. subsp. *omeiense*)和繁花杜鹃(*R. floribundum*)与其他亚组的杂交情况(表 6)。总体而言,所涉及的 11 个组合的 4 项育性指标均显示了较高的可育性,没有不育组合出现。比较明显的结果还有,仅峨眉银叶杜鹃×马缨花的杂交组合坐果率未超过 10% 的阈值;所有 11 个组合的绿苗率均不低于 30%,其中 9 个组合超过了 50% 的高阈值;9 个组合的绿苗系数超过了 0.9 的阈值,仅峨眉银叶杜鹃×大王杜鹃(*R. rex*)的绿苗率值未达到 0.8;与相应的自然授粉比较,所有的以峨眉银叶杜鹃为母本的 7 个杂交组合以及以繁花杜鹃为母本分别同粘毛杜鹃和粉果杜鹃的杂交组合的单位可育种子数均不同程度地低于前者,唯繁花杜鹃×马缨花(385.7/51.1)与繁花杜鹃×露珠杜鹃(133.9/51.1)的组合其单位可育种子数有显著提高。

以上结果表明,本研究所涉及的银叶杜鹃亚组×其他 7 个亚组间杂交的全部组合中,多数组合的各项育性指标均显现了较高可育性值,未出现

表 5 云锦杜鹃亚组与其他 9 亚组杂交结果表  
Table 5 Cross of subject. *Fortunea* with other nine subsections

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
腺果杜鹃 × 绒毛杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. pachytrichum</i>	69.2	12.0	0.784	85.0
腺果杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. irroratum</i>	16.7	—	—	—
腺果杜鹃 × 马缨花 <i>R. davidii</i> × <i>R. delavayi</i>	10.0	11.5	1.000	12.0
腺果杜鹃 × 火红杜鹃 <i>R. davidii</i> × <i>R. neriflorum</i>	0	—	—	—
大白杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. rex</i>	83.3	52.3	0.969	318.4
大白杜鹃 × 白碗杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. souliei</i>	88.2	99.0	1.000	509.9
大白杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. glischrum</i>	77.8	76.3	1.000	581.6
大白杜鹃 × 马缨花 <i>R. decorum</i> × <i>R. delavayi</i>	61.3	67.7	1.000	343.7
大白杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. citri</i> var. <i>horeaum</i>	73.3	91.7	0.972	606.7
大白杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. decorum</i> × <i>R. hylaeum</i>	100.0	58.3	1.000	1 003.3
云锦杜鹃 × 白碗杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. souliei</i>	63.6	97.3	0.983	386.0
云锦杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. glischrum</i>	60.9	100.0	1.000	880.0
云锦杜鹃 × 马缨花 <i>R. fortunei</i> × <i>R. delavayi</i>	0	—	—	—
云锦杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. citri</i> var. <i>horeaum</i>	47.4	100.0	1.000	260.0
云锦杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. fortunei</i> × <i>R. hylaeum</i>	16.7	30.8	1.000	4.0
越峰杜鹃 × 马缨花 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. delavayi</i>	25.0	59.9	0.972	31.0
越峰杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. glischrum</i>	90.9	23.0	1.000	130.6
越峰杜鹃 × 绵毛房杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. facetum</i>	14.3	76.0	0.983	423.5
越峰杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. citri</i> var. <i>horeaum</i>	75.0	17.0	0.909	29.9
越峰杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. yuefengense</i> × <i>R. hylaeum</i>	12.5	73.9	0.985	68.0
美容杜鹃 × 绒毛杜鹃 <i>R. calophytum</i> × <i>R. pachytrichum</i>	17.2	41.0	1.000	168.9
大王杜鹃 × 腺果杜鹃 <i>R. rex</i> × <i>R. davidii</i>	0	—	—	—

不可育的情况, 尽管多数组合的单位可育种子数比较值有所下降, 但也有一些反例。我们注意到银叶杜鹃亚组作为母本与其他同亚属的亚组的杂交比云锦杜鹃作为母本的杂交组合在总体上可能具有更高的可育性, 而本次作为母本的峨眉银叶杜鹃与繁花杜鹃均具有很高的自交可育性。

露珠杜鹃 × 峨眉银叶杜鹃 (63.8%) 和露珠杜鹃 × 岷江杜鹃 (*R. hunnewellianum*) 的正反交也有很高的坐果率 (分别为 87.0% 与 40.0%) (庄平, 2017b)。根据上述银叶杜鹃与其他类群杂交可育

性较高的经验推测, 不排除上述 3 个杂交组合具有可育性。

## 2.5 其他 5 个亚组间杂交

表 7 结果表明, 另 5 个常绿杜鹃亚属中亚组之间的杂交组合有 4 个组合可育。其中在露珠杜鹃 (*R. irroratum*) 与马缨花 (*R. delavayi*) 构成的一对正反交组合中, 以露珠杜鹃为母本的正交具有较高的可育性, 但以马缨花为母本的反交则不育, 尽管后者的坐果率和单位种子量分别达到了 100% 和 341 粒, 但种子不能发芽。

表 6 银叶杜鹃亚组与其他 7 个亚组的杂交结果表  
Table 6 Cross of subsect. *Argyrophylla* with other seven subsections

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
峨嵋银叶杜鹃 × 大王杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. rex</i>	85.0	31.5	0.784	15.7
峨嵋银叶杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. glischrum</i>	55.9	80.3	0.976	43.5
峨嵋银叶杜鹃 × 巴郎杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. balangense</i>	53.4	81.0	0.966	60.2
峨嵋银叶杜鹃 × 马缨花 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. delavayi</i>	8.5	54.7	0.948	54.2
峨嵋银叶杜鹃 × 火红杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. neriiiflorum</i>	52.8	41.0	0.815	20.5
峨嵋银叶杜鹃 × 纯红杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. sperabile</i>	79.4	82.7	0.970	56.8
峨嵋银叶杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. argyrophyllum</i> subsp. <i>omeiense</i> × <i>R. hylaeum</i>	34.6	69.5	1.000	17.2
繁花杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. glischrum</i>	18.9	56.3	1.000	15.0
繁花杜鹃 × 马缨花 <i>R. floribundum</i> × <i>R. delavayi</i>	50.0	66.7	0.905	385.7
繁花杜鹃 × 露珠杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. irroratum</i>	63.6	91.7	1.000	133.9
繁花杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. floribundum</i> × <i>R. hylaeum</i>	62.9	80.7	1.000	55.9

表 7 其他 5 个常绿杜鹃亚属亚组间杂交结果表  
Table 7 Cross of other five subsections of subgen. *Hymenantes*

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
大王杜鹃 × 马缨花 <i>R. rex</i> × <i>R. delavayi</i>	71.4	73.3	1.000	37.2
大王杜鹃 × 粉果杜鹃 <i>R. rex</i> × <i>R. hylaeum</i>	66.7	90.1	1.000	33.0
露珠杜鹃 × 马缨花 <i>R. irroratum</i> × <i>R. delavayi</i>	45.5	66.7	0.905	108.7
马缨花 × 露珠杜鹃 <i>R. delavayi</i> × <i>R. irroratum</i>	100.0	-	-	-
粉果杜鹃 × 粘毛杜鹃 <i>R. hylaeum</i> × <i>R. glischrum</i>	100.0	28.0	0.976	31.2

杯毛杜鹃亚组[大王杜鹃(*R. rex*)]分别与树形杜鹃亚组(马缨花)和蜜腺杜鹃亚组[粉果杜鹃(*R. hylaeum*)]杂交、蜜腺杜鹃亚组(粉果杜鹃) × 粘毛杜鹃亚组[粘毛杜鹃(*R. glischrum*)]之间杂交存在一定的可育性,而露珠杜鹃亚组 × 树形杜鹃亚组的组合中有单向不亲和(不育)的情形。

### 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、绿苗系数与单位可育种子数指标及其与阈值和给定的权重,综合评价结果是:不可

育组合(综合分值  $0 \leq \sim < 2.5$ ) 7 个,即峨嵋银叶杜鹃 × 繁花杜鹃、岷江杜鹃 × 山光杜鹃、海绵杜鹃 × 腺果杜鹃和马缨花 × 露珠杜鹃、腺果杜鹃 × 露珠杜鹃、腺果杜鹃 × 火红杜鹃和云锦杜鹃 × 马缨花;弱可育组合( $2.5 \leq \sim < 5$ ) 无;可育组合( $5 \leq \sim < 8$ ) 17 个,即山光杜鹃 × 腺果杜鹃、腺果杜鹃 × 山光杜鹃、山光杜鹃 × 美容杜鹃、云锦杜鹃 × 越峰杜鹃、峨嵋银叶杜鹃 × 腺果杜鹃、美容杜鹃 × 岷江杜鹃、腺果杜鹃 × 大钟杜鹃、大钟杜鹃 × 腺果杜鹃、繁花杜鹃 × 腺果杜鹃、山光杜鹃 × 岷江杜鹃和粉果杜鹃 × 粘毛杜鹃、腺果杜鹃 × 绒毛杜鹃、腺果杜鹃 × 马缨花、云锦杜鹃 × 粉果杜鹃、越峰杜鹃 ×

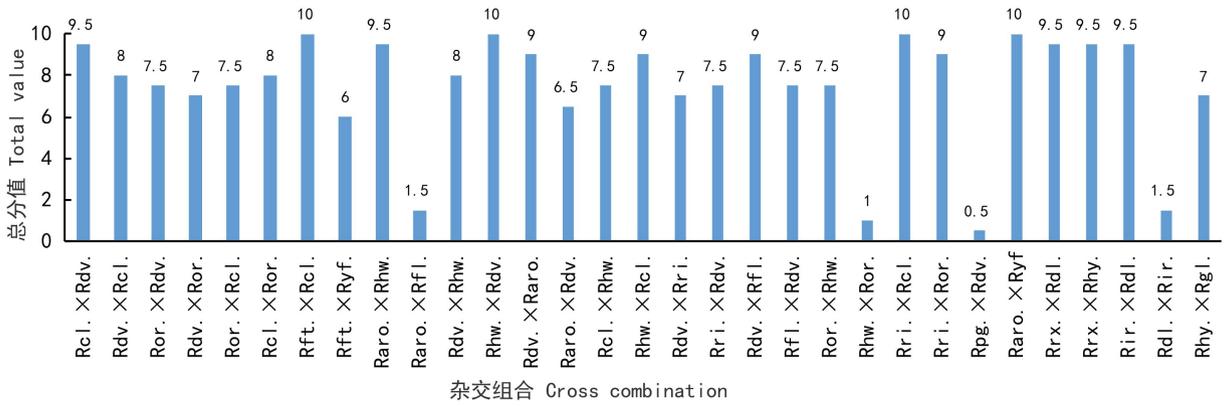


图 1 常绿杜鹃亚属内杂交可育性综合评价图

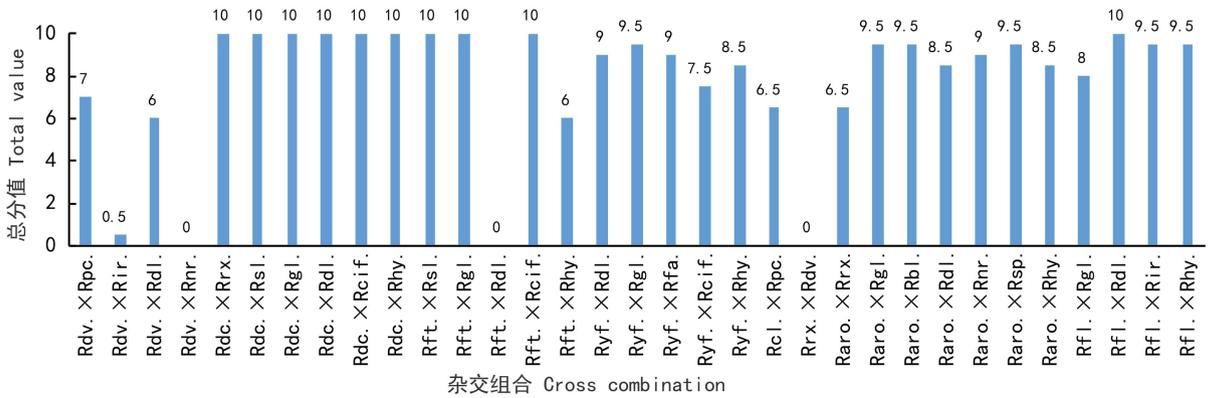
Fig. 1 Fertility assessment of intra-subgen. *Hymenanthes*

图 2 常绿杜鹃亚属内杂交可育性综合评价图

Fig. 2 Fertility assessment of intra-subgen. *Hymenanthes*

美艳橙黄杜鹃、美容杜鹃 × 绒毛杜鹃和峨嵋银叶杜鹃 × 大王杜鹃; 高可育组合 ( $\geq 8$ ) 39 个即美容杜鹃 × 腺果杜鹃、腺果杜鹃 × 美容杜鹃、美容杜鹃 × 山光杜鹃、云锦杜鹃 × 美容杜鹃、峨嵋银叶杜鹃 × 岷江杜鹃、腺果杜鹃 × 岷江杜鹃、岷江杜鹃 × 腺果杜鹃、腺果杜鹃 × 峨嵋银叶杜鹃、岷江杜鹃 × 美容杜鹃、腺果杜鹃 × 繁花杜鹃大王杜鹃、大钟杜鹃 × 美容杜鹃、大钟杜鹃 × 山光杜鹃、峨嵋银叶杜鹃 × 越峰杜鹃、大王杜鹃 × 马缨花、大王杜鹃 × 粉果杜鹃、露珠杜鹃 × 马缨花、大白杜鹃为母本的全部 6 个组合, 云锦杜鹃为母本分别与白碗杜鹃、粘毛杜鹃和美艳橙黄杜鹃的 3 个组合, 以越峰杜

鹃为母本分别与马缨花、粘毛杜鹃、绵毛房杜鹃和粉果杜鹃的 4 个组合, 峨嵋银叶杜鹃为母本与粘毛杜鹃、巴郎杜鹃、马缨花、火红杜鹃、纯红杜鹃与粉果杜鹃的 6 个组合, 繁花杜鹃为母本分别与粘毛杜鹃、马缨花、露珠杜鹃和粉果杜鹃杂交的全部 4 个组合(图 1, 图 2)。

## 4 讨论与结论

### 4.1 常绿杜鹃亚属内的异种杂交具有很高的可育性

在 64 个杂交组合中, 可育与高可育组合 56

个,占 87.5% (可育组合 28.1%、高可育组合 59.4%),无弱可育等级。其中,云锦杜鹃亚组内杂交和银叶杜鹃亚组为母本与其他 7 个亚组杂交的可育组合分别达到 100%、云锦杜鹃亚组与银叶杜鹃亚组杂交 87.5%、云锦杜鹃亚组为母本与其他 9 个亚组杂交 87.1%、其他 5 个亚组间杂交达到了 80%,尤其是银叶杜鹃亚组的峨眉银叶杜鹃与繁花杜鹃与其他亚组构成的 11 个组合,除 1 例未达到高可育水平外,其他 10 个组合均达到了高育性阈值,且未见不育现象。由此为常绿杜鹃亚属内不同种类间杂交现象普遍一说 (Williams et al, 1990; Richard et al, 2010) 提供了新的佐证。

#### 4.2 不亲和或败育比率较小,败育类型与阶段同双亲的亲缘关系有一定联系,但尚需进一步积累相关证据

常绿杜鹃亚属内的异种杂交的 64 个组合中,有 8 个组合不亲和或败育,占 12.5%。其中不能坐果 3 例,出现在腺果杜鹃 × 火红杜鹃、云锦杜鹃 × 马缨花和大王杜鹃 × 腺果杜鹃等 3 个组合中;能坐果但不能结实 1 例(腺果杜鹃 × 露珠杜鹃);而峨眉银叶杜鹃 × 繁花杜鹃、岷江杜鹃 × 山光杜鹃、海绵杜鹃 × 腺果杜鹃与露珠杜鹃 × 马缨花等 4 个组合均表现为能坐果并能不同程度地结实,但种子不能发芽。这说明,在常绿杜鹃亚属内的异种杂交情况下,存在少量的前、后合子期不亲和与败育情况 (Williams et al, 1990; Rouse et al, 1993)。原始的云锦杜鹃亚组与进化程度较高的类群(如火红杜鹃亚组、树形杜鹃亚组)杂交出现前合子期不亲和 (pre-zygotic incompatibility),而银叶杜鹃亚组与云锦杜鹃亚组成成分杂交则易出现后合子期败育(或不亲和)现象 (post-zygotic abortion)。峨眉银叶杜鹃 × 繁花杜鹃、露珠杜鹃 × 马缨花和腺果杜鹃 × 露珠杜鹃的组合也应属后合子期败育类型,前两组合双亲的亲缘关系较近,而大王杜鹃与腺果杜鹃分别所在的亚组在系统分类上比较接近,但其组合却表现了前合子期败育。要清晰地解释这些现象,尚需进一步收集证据。

#### 4.3 与相应的自然授粉比较,常绿杜鹃亚属内杂交会不同程度地导致可育性降低,但也有“超亲和”现象

将母本种类的自然授粉绿苗率与单位可育种

子数值(庄平, 2017a)与相应的杂交组合的这两项指标值(表 1-5)相比较后发现,此两项指标均低于自然授粉的杂交组合数量为 49 个,分别占杂交组合总量(64 个)和可育组合量(56 个)的 76.6%和 87.5%,这说明该亚属内的异种杂交大多不能完全达到或远低于自然授粉的可育性水平,会不同程度地降低可育性。但有 15 个杂交组合的上述两项指标值均高于自然授粉的相应值,包括亚组内异种杂交组合 2 个(美容杜鹃 × 腺果杜鹃和峨眉银叶杜鹃 × 岷江杜鹃)和亚组间杂交组合 13 个(岷江杜鹃 × 腺果杜鹃、岷江杜鹃 × 美容杜鹃、大钟杜鹃 × 美容杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 越峰杜鹃、云锦杜鹃 × 粘毛杜鹃、云锦杜鹃 × 美艳橙黄杜鹃、越峰杜鹃 × 粘毛杜鹃、越峰杜鹃 × 棉毛房杜鹃、越峰杜鹃 × 粉果杜鹃、峨眉银叶杜鹃 × 巴郎杜鹃、繁花杜鹃 × 马缨花、繁花杜鹃 × 露珠杜鹃和繁花杜鹃 × 粉果杜鹃),其中 9 个组合以银叶杜鹃亚组为母本,云锦杜鹃亚组的越峰杜鹃与云锦杜鹃也是很好的母本材料。作者认为,拟可将这种超自然授粉可育性的现象称为“超亲和”现象,尽管不排除人工授粉对于部分组合结实与可育性的加强作用(刘晓青等, 2010)。

#### 4.4 常绿杜鹃亚属内不同种类间杂交,同时存在双向可育及单向不育现象,但未见双向败育情况

云锦杜鹃亚组内的 3 对正反交为双向杂交可育,而银叶杜鹃亚组内与露珠杜鹃亚组 × 树形杜鹃亚组的正反交则呈现了单向不育状况,但尚未发现该亚属内杂交有双向不育情况。腺果杜鹃 × 露珠杜鹃和岷江杜鹃 × 露珠杜鹃也可能分别存在单向不亲和与双向亲和现象。

**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,在此一并致谢!

#### References:

- AMMAL EK, ENOCH IC, BRIDGWATER M, 1950. Chromosome numbers in species of *Rhododendron* [J]. *Rhododendron Year, Book*, 5: 78-91.  
FANG MY, FANG RC, HE MY, et al, 2005. *Rhododendron* [M]//WU ZY, HONG DY. *Flora of China*. Beijing:

- Science Press: 260–455.
- KENJI U, MIYOKO K, IKUO M, 2000. Factors of intersectional 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.
- KOICHI K, YUJI K, TOMOHISA Y, et al, 2005. Plastid inheritance and plastome-genome incompatibility of intergeneric hybrids between *Menziesia* and *Rhododendron* [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 74 (4): 318–323.
- LIU XQ, SU JL, LI C, et al, 2010. Study on the fruitfulness of hybridization, selfing and open pollination of *Rhododendron* [J]. Acta Agric Shanghai, 26(4): 145–148. [刘晓青, 苏家乐, 李畅, 等, 2010. 杜鹃花自交、杂交及开放授粉结实性研究[J]. 上海农业学报, 26(4): 145–148.]
- 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.]
- MILNE RI, TERZIOGLU S, ABBOTT RJ, 2003. A hybrid zone dominated by fertile F1s: maintenance of species barriers in *Rhododendron* [J]. Mol Ecol, 12: 2719–2729.
- MA YP, ZHANG CQ, ZHANG JL, et al, 2010. Natural hybridization between *Rhododendron delavayi* and *R. cyanocarpum* (Ericaceae), from Morphological, Molecular and Reproductive Evidence [J]. J Integr Plant Biol, 52 (9): 844–851.
- PIERCE L, 1974. An unusual intergeneric cross [J]. Quart Bul Am Rhodo Soc, 28: 45–50.
- RICHARD I, MILNE RI, CHANTEL D, et al, 2010. Phylogeny of *Rhododendron* subgenus *Hymenanthes* based on chloroplast DNA markers: between-lineage hybridization during adaptive radiation? [J]. Plant Syst Evol, 285: 233–244.
- ROUSE JL, KNOX RB, WILLIAMS EG, 1993. Inter- and intraspecific pollinations involving *Rhododendron* species [J]. J Am Rhodo Soc, 47: 23–28.
- 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.
- WU H, YANG XM, SHAO HM, et al, 2013. Germplasm resource base for *Rhododendron* horticulture: Status, problems and countermeasures [J]. Biodivers Sci, 21 (5): 628–634. [吴荭, 杨雪梅, 邵慧敏, 等, 2013. 杜鹃花产业的种质资源基础: 现状、问题与对策[J]. 生物多样性, 21(5): 628–634.]
- YU SX, 1992. *Rhododendron* [M]. Beijing: Jindun Press: 100–113. [余树勋, 1992. 杜鹃花[M]. 北京: 金盾出版社: 100–113.]
- ZHA HG, MILNE RI, SUN H, 2010. Asymmetric hybridization in *Rhododendron agastum*: a hybrid taxon comprising mainly F1s in Yunnan [J]. Chin Ann Bot, 105: 89–100.
- 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.]
- ZHANG CQ, LUO JF, FENG BJ, 2002. New *Rhododendron* hybrid—“Zaohui” and “Hongyun” [J]. Acta Horticult Sin, 29 (3): 296. [张长芹, 罗吉凤, 冯宝均, 2002. 杜鹃花新品种‘朝晖’和‘红晕’[J]. 园艺学报, 29(3): 296.]
- ZHANG JL, ZHANG CQ, GAO LM, et al, 2007. Natural hybridization origin of *Rhododendron agastum* (Ericaceae) in Yunnan, China: inferred from morphological and molecular evidence [J]. J Plant Res, 120: 457–463.
- ZHANG JL, ZHANG CQ, WU ZQ, et al, 2007. The potential roles of interspecific pollination in natural hybridization of *Rhododendron* species in Yunnan, China [J]. Biodivers Sci, 15: 658–665. [张敬丽, 张长芹, 吴之坤, 等, 2007. 探讨种间传粉在杜鹃花属自然杂交物种形成中的作用[J]. 生物多样性, 15: 658–665.]
- ZHUANG P, 2017a. Natural pollination of 37 *Rhododendron* species under *ex situ* conservation [J]. Guihaia, 37(8): 947–958. [庄平, 2017. 若干杜鹃花属植物在迁地保育条件下的自然授粉研究[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, 2017. 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.]