

唐元鸿,李月,包满珠,等.月季种质资源倍性及授粉亲和性鉴定[J].华中农业大学学报,2025,44(6):210-221.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.06.021

## 月季种质资源倍性及授粉亲和性鉴定

唐元鸿,李月,包满珠,宁国贵,梁梅

华中农业大学园艺林学院/果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室,武汉 430070

**摘要** 为探究月季不同倍性材料的自交与杂交亲和性,以资源圃186份不同月季类型为材料,采用流式细胞仪结合染色体压片方法对所有材料的倍性进行鉴定,并分析不同倍性月季材料的花粉萌发率、自交亲和性以及杂交亲和性。结果显示,186份材料中,二倍体材料有64份,主要包括野生种与古老月季;三倍体材料相对较少,仅有21份;四倍体材料有101份,主要包括现代月季。二倍体材料的花粉萌发率介于16.89%~51.91%,平均为32.37%,四倍体材料萌发率介于40.88%~63.57%,平均为51.50%,而三倍体月季花粉基本不萌发。进一步对53份自交授粉材料与12份杂交授粉材料的花粉管进行生长状态检测,发现13份二倍体材料均表现为自交不亲和,花粉管在花柱1/3处停止生长;40份四倍体材料均为自交亲和,花粉管能成功进入子房。杂交授粉结果显示,以四倍体为父本的杂交组合,花粉管均能成功进入子房;而以二倍体为父本的杂交组合,部分杂交组合的花粉管在花柱中停止生长。结果表明,四倍体材料花粉萌发力较好,且杂交授粉亲和力强,在月季杂交育种中可利用性高。

**关键词** 月季; 倍性; 花粉萌发; 自交亲和性; 杂交亲和性

**中图分类号** S685.12    **文献标识码** A    **文章编号** 1000-2421(2025)06-0210-12

月季(*Rosa hybrida*)是蔷薇科蔷薇属植物,是世界四大鲜切花之一,被誉为花中皇后,具有重要观赏价值<sup>[1]</sup>。目前育成的月季品种超过35 000个,其中80%的品种通过人工杂交育种得到<sup>[2-3]</sup>。现代月季具有花开多季、花色丰富等特点,但其抗虫、抗病以及抗逆能力普遍较差,长期的品种间杂交和反复杂交,导致月季品种的遗传背景狭窄。相较现代月季品种,野生以及古老月季种质虽不具优良的外观品质,花色花型单一,但往往具有较强抗性。因此,如何拓展现代月季种质资源的遗传范围,并有效利用野生资源是现代月季育种亟需解决的问题。

杂交育种是拓宽品种遗传背景的有效育种途径,通过杂交可将野生种与古老月季的优良抗性基因渗入现代栽培品种,培育兼具观赏性与抗逆性的优良月季新品种<sup>[4]</sup>。马燕等<sup>[5]</sup>使用中国古老月季‘秋水芙蓉’与报春刺玫、单瓣黄刺玫、疏花蔷薇等蔷薇属野生种进行杂交,获得了‘雪山娇霞’‘一片冰心’

‘春芙蓉’等新品种。杨树华等<sup>[6]</sup>使用抗寒野生种弯刺蔷薇与现代月季进行杂交,获得了抗寒月季‘天香’‘天山白雪’等5个品种。虽然我国育种家利用野生种与古老月季进行种质创新取得一定成就,但对月季亲本杂交组合亲和性的认识还不够全面,亲本选配仍处于盲目阶段。月季与苹果、梨、草莓等其他蔷薇科植物一样,普遍具有自交不亲和性状<sup>[7]</sup>。不同月季品种相互杂交,如果自交不亲和基因型相同,父本花粉则不能在母本花柱上正常生长,进而无法获得杂交后代,这也是许多月季品种杂交无法坐果的重要原因。因此,对不同月季品种进行自交不亲和性状的鉴定以及杂交授粉亲和性的研究,对于月季杂交育种中亲本的选择、遗传改良和种质创新具有重要的指导意义。

月季野生种存在多种倍性,如中甸刺玫(*R. praelucens*)为十倍体,大叶蔷薇(*R. macrophylla*)、刺蔷薇(*R. acicularis*)和华西蔷薇(*R. moyesii*)为六

收稿日期:2025-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(32302596)

唐元鸿,E-mail:herztang@webmail.hzau.edu.cn

通信作者:梁梅,E-mail:meiliang@mail.hzau.edu.cn

倍体,狗蔷薇(*R. canina*)为五倍体,红刺玫(*R. multiflora* var. *cathayensis*)为三倍体,单叶蔷薇(*R. berberifolia*)和长尖叶蔷薇(*R. longicuspis*)为二倍体<sup>[8-12]</sup>。月季自交不亲和性状是否受倍性影响仍未知。本研究以华中农业大学月季资源圃186份不同类型月季为材料,以流式细胞术与茎尖细胞压片的方法普查资源圃月季倍性多样性情况,设计不同倍性材料的自交、杂交授粉组合,鉴定其亲和性情况,以期为月季杂交育种创制新种质提供理论支撑和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

供试的186份资源材料均保存于华中农业大学月季资源圃,其中野生/古老月季56份,现代月季130份。

### 1.2 流式细胞仪检测

使用流式细胞仪(Partec, cyflow space, Germany),参照解凯东等<sup>[13]</sup>的方法。以二倍体‘月月粉’(*R. chinensis* ‘Old Blush’)作为对照,取0.5 cm<sup>2</sup>叶片于塑料皿中,加入没过叶片的CyStain DNA一步法试剂(Sysmex, Japan)(每10 mL一步法试剂加入0.5 g PVP40粉末),用刀片将其切碎,加入约1.5 mL ddH<sub>2</sub>O,用30 μm的微孔滤膜将样品过滤到2.5 mL的上样管中,上样检测。DNA含量分布曲线由Flo Max软件自动生成。

### 1.3 染色体制片检测

染色体制片参照于新海等<sup>[14]</sup>的方法。上午10:00—12:00选取幼嫩萌发的月季茎尖,剥去外层幼嫩叶,纵切茎尖成薄片。0.002 mol/L 8-羟基喹啉处理4 h后,用现配的卡诺固定液(无水乙醇:冰醋酸=3:1)于4℃固定2 h。镜检前将茎尖用5 mol/L盐酸溶液,37℃处理10 min。使用卡宝品红染液染色10 min后,在显微镜下观察有丝分裂中期染色体分裂情况,并拍照统计染色体条数。

### 1.4 花粉收集与活力测定

在晴天上午08:00—11:00,将未开放花朵的花药收集于培养皿中,28℃烘箱散粉过夜。采用含25%蔗糖和0.01%硼酸的液体培养基测定花粉活

力,滴加1~2滴液体培养基于凹形载玻片上,将花粉均匀撒在液体培养基表面,置于26℃恒温培养箱避光培养4 h,镜检。花粉管长度大于花粉粒直径视为生活力较强,短于花粉粒直径或不生长则视为无生活力花粉或不育花粉。统计有活性的花粉粒与总花粉粒,重复3个视野,每个视野花粉粒数大于50粒。

### 1.5 人工授粉试验

选择健壮植株作为授粉母本,去除多余花苞。在授粉前,除拟进行自交的植株以外,摘除其他母本植株花朵的花瓣,进行去雄处理。于晴天上午,对母本进行人工授粉,使用授粉笔蘸取前期测定具有活力的花粉,均匀涂抹于母本柱头表面,并采取严格的套袋措施以防止污染。

### 1.6 授粉亲和性实验

参照Matton等<sup>[15]</sup>的方法,采用苯胺蓝染色观察授粉后花粉管在花柱中的生长情况。将授粉3 d后的柱头置于卡诺固定液(无水乙醇:冰醋酸=3:1),固定12~24 h,使用95%乙醇溶液清洗3次,转入70%乙醇溶液备用。使用8 mol/L NaOH溶液,65℃金属浴1.5 h,软化柱头。清水清洗表面残余NaOH,采用苯胺蓝法植物胼胝质染色液试剂盒(Solarbio, China)染色1 h。压片后,正置荧光显微镜下观察并拍照记录。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同月季品种倍性鉴定

对华中农业大学月季资源圃186份月季材料进行倍性鉴定:85份材料采用流式细胞术鉴定;28份材料采用染色体压片鉴定;73份材料采用流式细胞术与染色体压片2种方法结合鉴定,其中13份材料经2种方法检测呈现不同倍性结果,最终这13份材料的倍性以染色体压片结果为准(表1,图1)。经统计,资源圃中54.3%为四倍体,11.3%为三倍体,剩余34.4%为二倍体。56份野生/古老月季大多数为二倍体,三倍体与四倍体均较少,三倍体与四倍体分别仅有3份和2份;130份现代月季多数为四倍体,总计99份,二倍体与三倍体月季分别仅有13份和18份。

表 1 186 份月季种质资源倍性与自交亲和性

Table 1 The ploidy and self-compatibility of 186 rose germplasm resources

序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility
1 <sup>a</sup> <i>R. gigantea</i>	大花香水月季	2x	NA	63 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Iceberg'	冰山	3x	NA	125 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Trinity'	4x	NA
2 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> var. <i>spontanea</i>	单瓣月季花	2x	NA	64 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Margareta'	玛格丽特王妃	4x	SC	126 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Royal Diva'	4x	SC
3 <sup>a</sup> <i>R. soulieana</i> var. <i>sangpanensis</i>	大叶川滇蔷薇	2x	NA	65 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Pink da Vinci'	粉色达芬奇	4x	SC	127 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'The poet's wife'	4x	SC
4 <sup>a</sup> <i>R. maximowicziana</i>	金花蔷薇	2x	NA	66 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Luo Shen'	洛神	4x	NA	128 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Creamy Eden'	4x	SC
5 <sup>a</sup> <i>R. kwangtungensis</i>	广东蔷薇	2x	NA	67 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Peach Avalanche'	蜜桃雪山	4x	SC	129 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Ju Shuiyue'	4x	NA
6 <sup>a</sup> <i>R. rubus</i>	悬钩子蔷薇	2x	NA	68 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Jinhui'	金辉	3x	NA	130 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Pope John Paul II'	4x	SC
7 <sup>a</sup> <i>R. hadingensis</i>	泸定蔷薇	2x	NA	69 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Sheherazad'	天方夜谭	3x	NA	131 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Sally Holmes'	4x	SC
8 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'Macye'	重瓣毛叶粉团	2x	SI	70 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Queen of Sweden'	瑞典女王	3x	NA	132 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Jia Shu'	4x	NA
9 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> var. <i>multiflora</i>	野蔷薇	2x	NA	71 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Black Magic'	黑魔术	4x	NA	133 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Sunny Antike'	4x	SC
10 <sup>a</sup> <i>R. filipes</i>	腺梗蔷薇	2x	SI	72 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Menta'	曼塔	4x	NA	134 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Canary'	4x	SC
11 <sup>a</sup> <i>R. setipoda</i>	刺梗粉团蔷薇	2x	NA	73 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Movie Star'	影星	4x	NA	135 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Sunny Beach'	4x	NA
12 <sup>a</sup> <i>R. rubus</i> f. <i>glandulifera</i>	腺叶悬钩子蔷薇	2x	NA	74 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Julietta'	朱莉叶塔	2x	NA	136 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Shell'	4x	SC
13 <sup>a</sup> <i>R. soulieana</i> var. <i>soulieana</i>	川滇蔷薇	2x	NA	75 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Cappuccino'	卡布奇诺	4x	NA	137 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Juicy Terraza'	4x	SC
14 <sup>a</sup> <i>R. luciae</i>	光叶蔷薇	2x	NA	76 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Tineke'	坦尼克	4x	NA	138 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'André Tureat'	4x	NA

续表1 Continued Table 1

序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility
15 <sup>a</sup> <i>R. banksiae</i> var. <i>internis</i>	单瓣无刺白木香	2x	NA	77 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Sweet Pretty'	3x	NA	139 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Brass Band'	4x	SC
16 <sup>a</sup> <i>R. cymosa</i>	小果蔷薇	2x	SI	78 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Golden Scepter'	2x	NA	140 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Sweet Jumilia'	4x	NA
17 <sup>a</sup> <i>R. banksiae</i> var. <i>banksiae</i>	白木香	2x	NA	79 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Jin Bian'	3x	NA	141 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Bourbon Street'	3x	NA
18 <sup>a</sup> <i>R. laevigata</i> f. <i>laevigata</i>	金樱子(遂川)	2x	NA	80 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Claude Monet'	4x	NA	142 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Monique Darve'	4x	NA
19 <sup>a</sup> <i>R. laevigata</i> f. <i>laevigata</i>	金樱子(富宁)	2x	NA	81 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Shinoburedo'	4x	NA	143 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Neptune King'	4x	SC
20 <sup>a</sup> <i>R. bracteata</i> var. <i>bracteata</i>	硕苞蔷薇	2x	NA	82 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Red da Vinci'	4x	NA	144 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Star Cute'	4x	NA
21 <sup>a</sup> <i>R. roxburghii</i> l. <i>normalis</i>	粉单瓣绣丝花	2x	NA	83 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Misty Bubbles'	2x	NA	145 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Cherustoper'	4x	NA
22 <sup>a</sup> <i>R. kwetschowensis</i>	贵州绣丝花	2x	SI	84 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Double Delight'	4x	SC	146 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Ying He'	4x	NA
23 <sup>a</sup> <i>R. chengkouensis</i>	城口蔷薇	2x	NA	85 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Coral Gelee'	4x	SC	147 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Topolina'	4x	SC
24 <sup>a</sup> <i>R. rugosa</i>	玫瑰	2x	SI	86 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Angela'	3x	NA	148 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Bornéo Odore'	4x	SC
25 <sup>a</sup> <i>R. xanthina</i> var. <i>xanthina</i>	黄刺玫	2x	NA	87 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Rose Eden'	4x	SC	149 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Plume'	4x	NA
26 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> var. <i>internis</i>	无刺野蔷薇	2x	NA	88 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Abraham Darby'	4x	NA	150 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'The Ahwick'	4x	NA
27 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Zhai Ye'	窄叶月季花	2x	NA	89 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Yellow Peace'	4x	NA	151 <sup>b</sup>	秋日胭脂	4x	SC
28 <sup>a</sup> <i>R. odorata</i> 'Xiaoye Fenhua'	小叶月季花	2x	SI	90 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Alec's Red'	4x	NA	152 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Autumn Rouge'	4x	SC
29 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Zi Yu'	紫玉	2x	NA	91 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Sonus Faber'	4x	NA	153 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Miyabi'	4x	NA
30 <sup>a</sup> <i>R. odorata</i> 'Chonghan Baihua'	重瓣白香水月季	2x	NA	92 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Carola'	4x	SC	154 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Monica Bellucci'	4x	SC
31 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Dahua Climbing'	大花藤本月月粉	2x	SI	93 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Masora'	3x	NA	155 <sup>b</sup>	桃灼蓝天	4x	SC

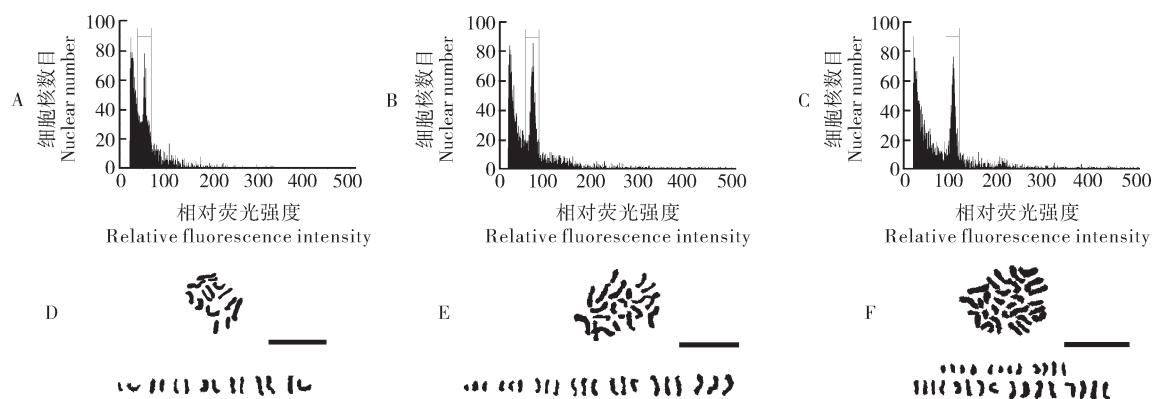
续表1 Continued Table 1

序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility
32 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'YuLinglong'	玉玲珑	2x	NA	94 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Spectra'	4x	SC	156 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Thierry Marx'	4x	NA
33 <sup>a</sup> <i>R. odorata</i> 'Fen Hong'	粉红香水月季	3x	NA	95 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Rouge'	3x	NA	157 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Red Eye'	4x	NA
34 <sup>a</sup> <i>R. gigantea</i> 'Fo Jian Xiao'	佛见笑香月季	2x	SI	96 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'The Lady's Blush'	2x	NA	158 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Chi Yan'	4x	SC
35 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Yipin Zhuyi'	朱衣一品	4x	SC	97 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Pink Fanfare'	4x	NA	159 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Queen of Hearts'	4x	NA
36 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Xiaohua Climbing'	小花藤本月月粉	2x	NA	98 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Ivor's Rose'	2x	NA	160 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Rainy Blue'	3x	NA
37 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Climb Climbing'	藤赤龙含珠	2x	SI	99 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'The Wedgwood'	4x	NA	161 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Blue for You'	4x	NA
38 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Old Blush'	月月粉	2x	SI	100 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Florentina'	4x	SC	162 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Aoi'	4x	NA
39 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'Changgeng'	长梗粉团	3x	NA	101 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Cl Rainbow's End'	2x	NA	163 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Black Baccara'	4x	NA
40 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'Ruich'	锐齿粉团	2x	NA	102 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Mini Eden'	4x	SC	164 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Burgundy Iceberg'	3x	NA
41 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'Nong Xiang'	浓香粉团	2x	NA	103 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Xiao Zixing'	2x	NA	165 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Quezhiwu'	3x	NA
42 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'Fen E'	粉萼重瓣粉团	2x	NA	104 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Purple Knock Out'	4x	NA	166 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Eyes for You'	4x	NA
43 <sup>a</sup> <i>R. longicupis</i> 'Hai Tang'	海棠粉团	2x	NA	105 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Ballerina'	3x	NA	167 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Bull's Eye'	4x	NA
44 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'DaluFaFentuan'	大花粉团	3x	NA	106 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Teasing Georgia'	4x	NA	168 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Eyeconic Lemonade'	4x	NA
45 <sup>a</sup> <i>R. multiflora</i> 'Baibei Zhua'	紫花白背粉团	2x	NA	107 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Apple Blossom'	2x	NA	169 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'For Your Eyes Only'	4x	NA
46 <sup>a</sup> <i>R. banksiae</i> 'Youci Chongban'	有刺重瓣白木香	2x	NA	108 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Jasmina'	2x	NA	170 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Coup de Coeur'	4x	NA
47 <sup>a</sup> <i>R. banksiae</i> 'Lutea'	黄木香	2x	NA	109 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Kent'	3x	NA	171 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Laila'	4x	SC
48 <sup>a</sup> <i>R. fortaneana</i> 'Tu Mi'	大花白木香	2x	NA	110 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Pomponella'	4x	NA	172 <sup>b</sup>	<i>R. hybrida</i> 'Brideside'	4x	

续表1 Continued Table 1

序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility	序号 Count	材料名称 Material name	倍性 Ploidy	自交亲和性 Self-compatibility
49 <sup>a</sup> <i>R. banksiae</i> 'Wuci Chongban'	无刺重瓣白木香	2x	NA	111 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Vanilla ice cream'	香草冰淇淋	3x	NA	173 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Fancy Babylon Eyes'	别致巴比伦眼睛	4x	NA
50 <sup>a</sup> <i>R. rugosa</i> 'Feng Hua'	平阴丰花	2x	SI	112 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Baseball'	棒球	4x	NA	174 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Glorious Babylon'	辉煌巴比伦眼睛	4x	NA
51 <sup>a</sup> <i>R. rugosa</i> 'Si Ji'	四季玫瑰	2x	NA	113 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Pink Swany'	粉天鹅	3x	NA	175 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Pastel Babylon'	粉彩巴比伦眼睛	4x	NA
52 <sup>a</sup> <i>R. damascena</i>	大马士革	2x	SI	114 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Giant Meidiland'	巨型美兰	4x	SC	176 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Sunshine Babylon'	阳光巴比伦眼睛	4x	NA
53 <sup>a</sup> <i>R. rugosa</i> 'Dian Hong'	滇红	4x	SC	115 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Coral Meidiland'	珊瑚美兰	4x	SC	177 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Eridu Babylon'	埃利都	4x	NA
54 <sup>a</sup> <i>R. rugosa</i> 'Ku Shui'	苦水玫瑰	2x	SI	116 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Albertine'	艾伯丁	2x	NA	178 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Pretty Kiss'	漂亮的吻	4x	NA
55 <sup>a</sup> <i>R. rugosa</i> 'Tu Wei'	荼薇花	2x	NA	117 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Purple Skyliner'	紫色天际线	2x	NA	179 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Eye Paint'	小画家	4x	NA
56 <sup>a</sup> <i>R. chinensis</i> 'Chilong Hanzhu'	赤龙含珠	2x	NA	118 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Pool Noel'	保罗莫莫尔	2x	NA	180 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Midnight Blue'	午夜深蓝	4x	NA
57 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Lady of Shalott'	夏洛特夫人	4x	SC	119 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Liane Foly'	柠檬酒	3x	NA	181 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Diamond Eyes'	钻石之眼	4x	NA
58 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Rosomanne Janon'	罗曼尼詹森	4x	SC	120 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Japanese Amour'	和室	4x	NA	182 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Rien'	纤扇	4x	NA
59 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Golden Celebration'	黄金庆典	4x	NA	121 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Cherry Parfait'	摩纳哥公爵	4x	SC	183 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Hiogi'	杰奎琳杜普雷	4x	SC
60 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Mellivoine'	藤宝贝	2x	NA	122 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Cache Cache'	躲躲藏藏	4x	NA	184 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Jacqueline du Pré'	遥远的鼓声	4x	NA
61 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Uncle Walter'	瓦尔特大叔	4x	SC	123 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Estoril'	火焰阳台	4x	NA	185 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Distant Drums'	闪电	4x	NA
62 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Red Eden Rose'	红色龙沙宝石	4x	SC	124 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Abracadabra'	流星雨	4x	NA	186 <sup>b</sup> <i>R. hybrida</i> 'Éclair'	闪电	4x	NA

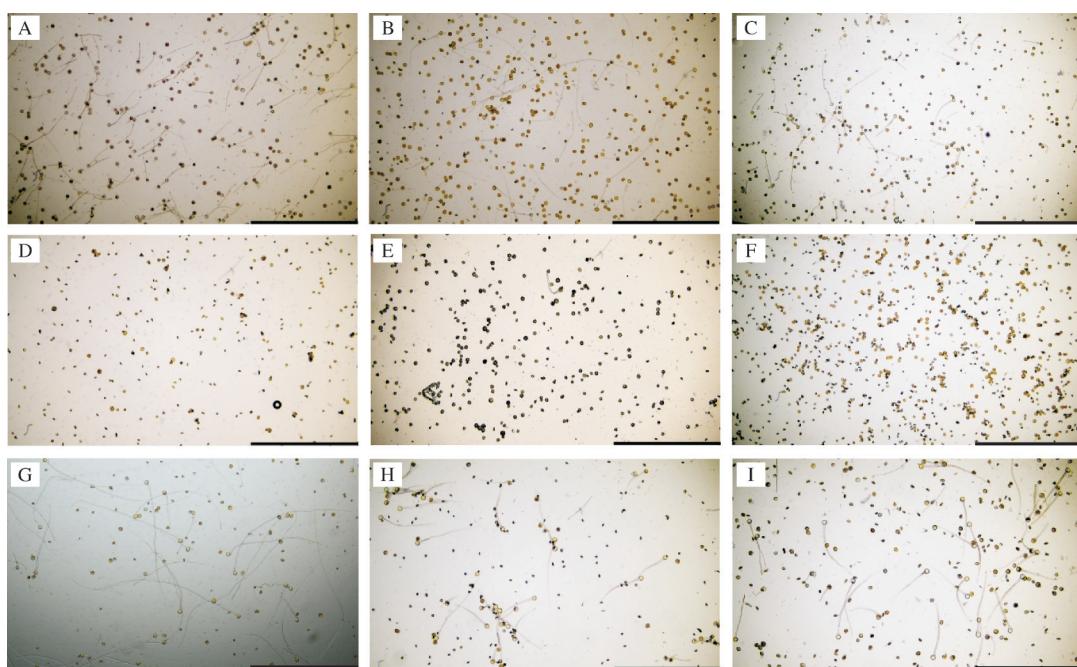
注:<sup>a</sup>为野生古老月季,共56份;<sup>b</sup>为现代月季,共130份;SI代表自交不亲和,SC代表自交亲和,NA代表未进行亲和性实验。Note:<sup>a</sup>represents wild or old roses which contain 56 resources; <sup>b</sup>represents modern roses, including 130 resources.; SI represents self-incompatible, SC represents self-compatible, NA represents not available.



A~C:流式细胞仪倍性鉴定(A:二倍体材料,‘月月粉’;B:三倍体材料,‘长梗粉团’;C:四倍体材料,‘公牛眼睛’). D~F:茎尖染色体计数(D:二倍体材料,单瓣无刺白木香,2n=2x=14;E:三倍体材料,‘藤冰山’,2n=3x=21;F:四倍体材料,‘杰奎琳杜普雷’,2n=4x=28),标尺=10  $\mu$ m。A-C: Ploidy histograms of the diploid, triploid and tetraploid plant determined by flow cytometry (A: Diploid rose, *R. chinensis* ‘Old Blush’; B: Triploid rose, *R. multiflora* ‘Changgeng’; C: Tetraploid rose, *R. hybrida* ‘Bull’s Eye’). D-F: Shoot tip chromosome counting (D: Diploid rose, *R. banksiae* var. *inermis*, 2n=2x=14; E: Triploid rose, *R. hybrida* ‘Ice Burger Climbing’, 2n=3x=21; F: Tetraploid rose, *R. hybrida* ‘Jacqueline du Pré’, 2n=4x=28). The bar is 10  $\mu$ m.

图1 流式细胞术和茎尖染色体压片鉴定月季倍性

Fig. 1 Ploidy analysis of the roses using flow cytometry and shoot tip chromosome counting technique



A~C:二倍体材料(A:‘月月粉’;B:玫瑰;C:‘绯红夫人’);D~F:三倍体材料(D:‘藤冰山’;E:‘安吉拉’;F:‘甜美人’);G~I:四倍体材料(G:卡罗拉’;H:‘一见钟情’;I:‘漂亮的吻’).标尺=500  $\mu$ m。A-C:Diploid materials (A: *R. chinensis* ‘Old Blush’; B: *R. rugosa*; C: *R. hybrida* ‘The Lady’s Blush’); D-F: Triploid materials (D: *R. hybrida* ‘Ice Burger Climbing’; E: *R. hybrida* ‘Angela’; F: *R. hybrida* ‘Sweet Pretty’); G-I: Tetraploid materials (G: *R. hybrida* ‘Carola’; H: *R. hybrida* ‘Coup de Coeur’; I: *R. hybrida* ‘Pretty Kiss’). The bar is 500  $\mu$ m.

图2 不同倍性月季材料花粉萌发活性

Fig. 2 Pollen germination activity of the roses with different ploidy

## 2.2 不同倍性月季花粉生活力检测

为比较不同倍性月季花粉生活力差异,从所鉴定出的二倍体、三倍体、四倍体材料中各随机选出3份材

料进行花粉活力测试。二倍体材料‘月月粉’、玫瑰与‘绯红夫人’的花粉萌发率分别为(28.33±2.32)%、(51.91±4.97)%和(16.88±2.58)%;三倍体材料‘藤

‘冰山’‘安吉拉’与‘甜美人’的花粉萌发非常少且大多数花粉发育畸形;四倍体材料‘卡罗拉’‘一见钟情’与‘漂亮的吻’花粉萌发率分别为(40.88±5.90)%、(63.57±3.12)%和(50.04±2.09)%。以上结果表明,二倍体、四倍体月季材料既适宜做父本也适宜做母本,而三倍体材料由于较低的花粉活性,可能更适合做母本。

### 2.3 不同倍性月季自交亲和性鉴定

为明确不同倍性水平的月季自交亲和情况,对花粉活性较好的二倍体和四倍体材料进行自交亲和性鉴定。人工自交授粉后的柱头经苯胺蓝染色观察,发现供试的13份二倍体月季材料花粉管在柱头上的生长停止,判断为自交不亲和(表1,部分染色结果见图3A~F);40份四倍体月季材料的花粉管均成功生长至子房,表现为自交亲和(表1,部分染色结果见图3G~L)。

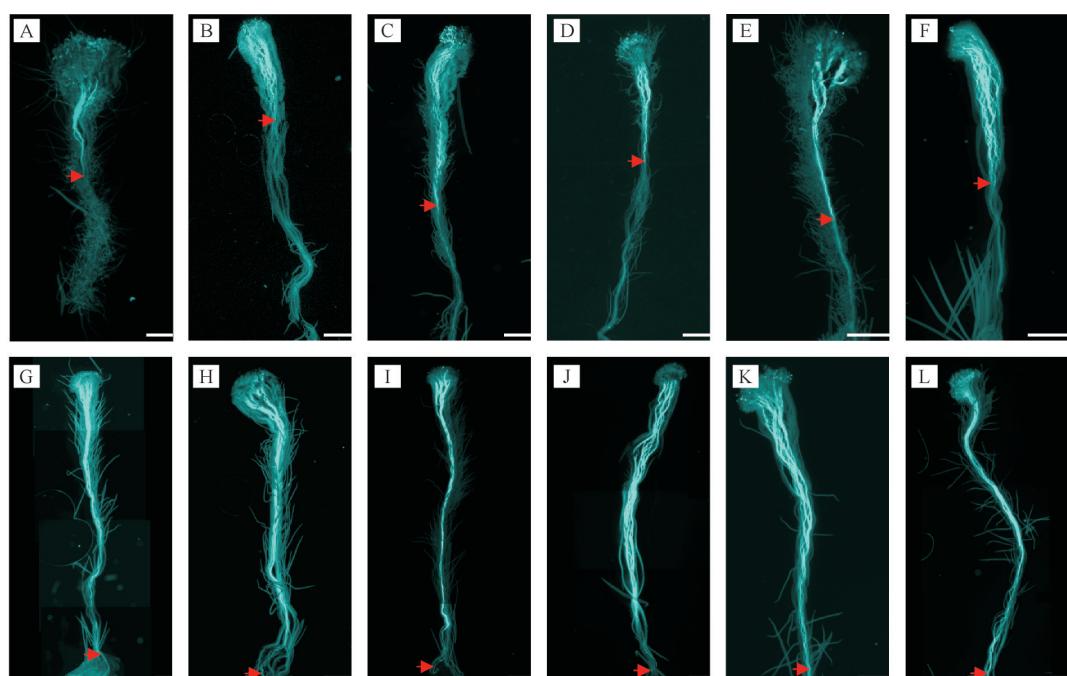
### 2.4 不同倍性月季品种杂交亲和性鉴定

为探究不同倍性月季品种之间的杂交亲和情况,根据资源圃材料倍性统计结果,设计了6种二

倍×二倍、2种三倍×二倍、2种四倍×二倍、2种三倍×四倍杂交组合。对杂交授粉后的花柱进行苯胺蓝染色,结果表明,6种二倍体月季材料的杂交组合中,有5种组合观察到花粉管生长至子房,表现为杂交亲和(图4A~E),仅贵州缫丝花×粉花单瓣缫丝花表现为杂交不亲和(图4F)。进一步分析发现,当以二倍体材料为父本,二倍、三倍或者四倍为母本时,杂交授粉既存在亲和情况,也存在不亲和情况(图4A~J);然而以四倍体材料为父本时,即授粉组合‘芭蕾舞伶’×‘公牛眼睛’和‘芭蕾舞伶’×‘一见钟情’杂交授粉均表现为杂交亲和(图4K、L)。

## 3 讨 论

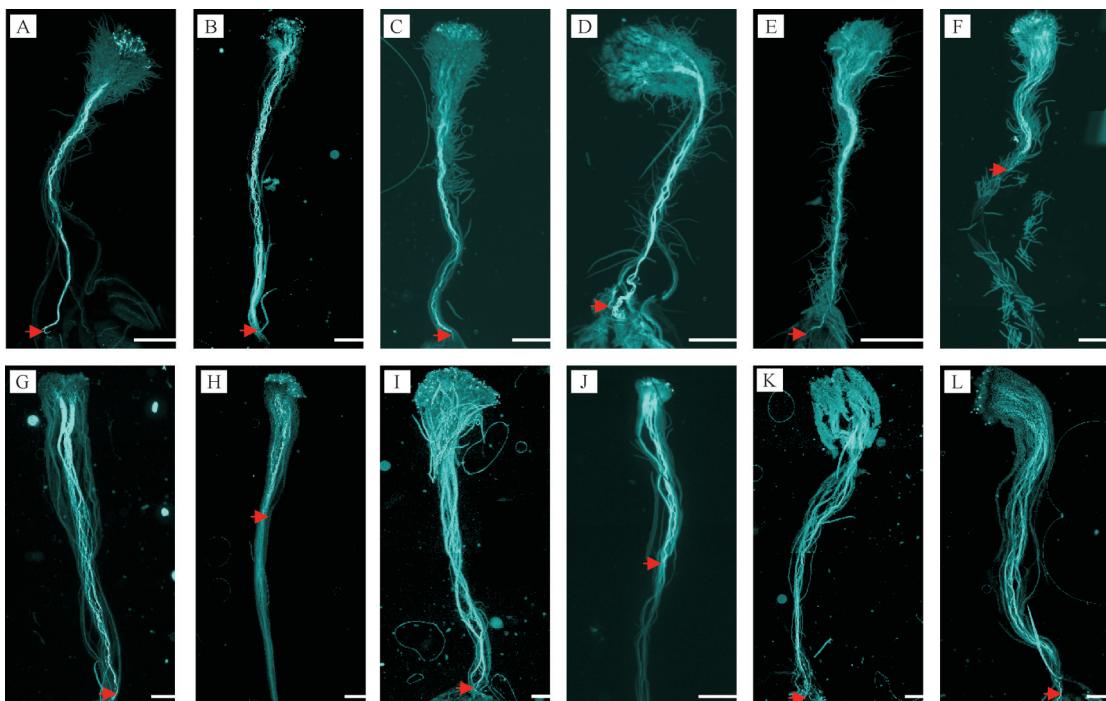
为拓宽现代月季育种的遗传背景,解决栽培品种抗性差的问题,利用杂交育种手段,将野生或古老栽培种的优良抗性基因渗入现代栽培品种是常用且有效的方法。月季存在普遍的自交不亲和现象,自



A~F:二倍体(A:小果蔷薇;B:‘月月粉’;C:‘佛见笑’;D:‘苦水玫瑰’;E:‘平阴丰花’;F:‘重瓣毛叶粉团’);G~L:四倍体(G:‘铜管乐队’;H:‘粉色龙沙宝石’;I:‘莫妮卡贝鲁奇’;J:‘摩纳哥公爵’;K:‘瓦尔特大叔’;L:‘桃灼蓝天’).红色箭头指花粉管停止生长位置,标尺=500 μm。A-F:Diploid roses (A: *R. cymosa*; B: *R. chinensis* ‘Old Blush’; C: *R. gigantea* ‘Fo Jian Xiao’; D: *R. rugosa* ‘Ku Shui’; E: *R. rugosa* ‘Feng Hua’; F: *R. multiflora* ‘Maoye Fentuan’); G-L: Tetraploid roses (G: *R. hybrida* ‘Brass Band’; H: *R. hybrida* ‘Rose Eden’; I: *R. hybrida* ‘Monica Bellucci’; J: *R. hybrida* ‘Cherry Parfait’; K: *R. hybrida* ‘Uncle Walter’; L: *R. hybrida* ‘Taozhuo Lan-tian’). The red arrow indicates the stop position of the pollen tube growth and the bar is 500 μm.

图3 二倍体及四倍体月季自交授粉后花柱苯胺蓝染色

Fig. 3 Aniline blue staining of the styles for the diploid and tetraploid roses after self-pollination



A~F:二倍×二倍(A:粉花单瓣缫丝花×玫瑰;B:‘月月粉’×玫瑰;C:贵州缫丝花×玫瑰;D:‘四季玫瑰’×‘月月粉’;E:小果蔷薇×‘月月粉’;F:贵州缫丝花×粉花单瓣缫丝花);G~H:三倍×二倍(G:‘甜美人’×‘月月粉’;H:‘芭蕾舞伶’×‘月月粉’);I~J:四倍×二倍(I:‘公牛眼睛’×‘月月粉’;J:‘滇红’×‘月月粉’);K~L:三倍×四倍(K:‘芭蕾舞伶’×‘公牛眼睛’;L:‘芭蕾舞伶’×‘一见钟情’).红色箭头指花粉管停止生长位置,标尺=500 μm。A-F:2×2 (A: *R. roxburghii* f. *normalis* × *R. rugosa*; B: *R. chinensis* ‘Old Blush’ × *R. rugosa*; C: *R. kweichowensis* × *R. rugosa*; D: *R. rugosa* ‘Si Ji’ × *R. chinensis* ‘Old Blush’; E: *R. cymosa* × *R. chinensis* ‘Old Blush’; F: *R. kweichowensis* × *R. roxburghii* f. *normalis*); G-H:3×2 (G: *R. hybrida* ‘Sweet Pretty’ × *R. chinensis* ‘Old Blush’; H: *R. hybrida* ‘Ballerina’ × *R. chinensis* ‘Old Blush’); I-J:4×2 (I: *R. hybrida* ‘Bull’s Eye’ × *R. chinensis* ‘Old Blush’; J: *R. rugosa* ‘Dian Hong’ × *R. chinensis* ‘Old Blush’); K-L:3×4 (K: *R. hybrida* ‘Ballerina’ × *R. hybrida* ‘Bull’s Eye’; L: *R. hybrida* ‘Ballerina’ × *R. hybrida* ‘Coup de Coeur’). The red arrow indicates the stop position of the pollen tube growth and the bar is 500 μm.

图4 不同倍性月季杂交花柱苯胺蓝染色

Fig. 4 Aniline blue staining of the styles for the roses with different ploidy after cross-pollination

交授粉或相同基因型杂交授粉时花粉管在花柱1/3处停止生长,最终无法坐果<sup>[7]</sup>。研究者对月季进行自交授粉,通过荧光染色与坐果情况判断其亲和性<sup>[16]</sup>; Kawamura等<sup>[17]</sup>进一步鉴定了决定月季、玫瑰等材料的自交不亲和位点,这些研究极大地推动了月季杂交育种进程。月季种质资源丰富,野生种倍性水平从二倍( $2n=2x=14$ )到十倍( $2n=10x=70$ )分布不等<sup>[8-12]</sup>。不同倍性材料的花粉活力、自交亲和性以及杂交亲和性,将决定其授粉父母本的选择。因此,对月季种质资源进行倍性鉴定,并对不同倍性材料授粉亲和性进行评估是月季杂交育种的重要环节。本研究通过流式细胞仪结合染色体压片方法,调查了资源圃186份月季材料的倍性,结果表明,本资源圃所收集的野生/古老月季,以二倍体与三倍体为主;现代月季以四倍体为主,这与前人研究<sup>[9,18-19]</sup>基本一

致。杂交过程中,2n配子的产生被认为是染色体加倍的主要原因<sup>[20]</sup>。叶雨晴等<sup>[21]</sup>使用二倍体的神农香菊和蒙菊进行杂交,发现后代出现1个四倍体个体。玫瑰<sup>[22]</sup>、柑橘<sup>[23]</sup>、秋海棠<sup>[24]</sup>等物种均被报道过存在自然2n配子的产生。此外,本研究发现利用流式细胞仪测定三倍体材料的倍性,存在一定误判率,需进一步通过染色体压片方法确定其倍性。对不同倍性材料的花粉活力进行检测,相较三倍体月季材料,二倍体与四倍体的花粉具有更高萌发力。

自交不亲和是自然界中一种广泛存在,防止近亲繁殖和物种退化、保持物种遗传多样性的遗传机制<sup>[25]</sup>。前人对月季自交不亲和的机制已经有了一定的研究,主要聚焦在月季自交坐果率、平均种子数、花粉管生长情况、自交不亲和关键基因鉴定<sup>[26-27]</sup>,对

不同倍性水平的月季自交亲和情况报道相对较少。薔薇科、茄科、芸香科、玄参科自交不亲和性状的调控机制均属于非自我识别类,在该类机制的作用下,异源多倍体花粉往往含有2种或2种以上的不亲和基因型,花粉表现出亲和表型<sup>[28]</sup>。本研究对二倍体、四倍体月季材料分别进行自交,通过苯胺蓝染色的方式判断其亲和性。结果表明,受试的二倍体月季材料均表现为自交不亲和,而四倍体月季材料均表现为自交亲和,符合前人研究推论。同时,本研究根据不同月季材料的倍性,设计了不同倍性水平月季杂交组合,结果表明,四倍体材料的花粉在杂交或自交过程中均展现出较高的亲和性;而二倍体材料的花粉存在部分不亲和情况,推测这些二倍体花粉所携带的自交不亲和基因型与花柱相同,由此导致不亲和现象出现。6种薔薇亚属组间的杂交组合,仅有两种表现出不亲和,说明不同薔薇亚属组间的自交不亲和基因型差异较大,存在杂交授粉不亲和的概率较低。本研究结果表明,四倍体材料花粉萌发力较好,且杂交授粉亲和力强,用于月季杂交育种可实施性高,但四倍体材料多为现代栽培品种,遗传背景较为狭窄。为拓宽月季遗传背景,仍需多利用野生资源,一方面可收集高倍性的野生资源,克服其授粉不亲和的情况,另一方面可对二倍体材料的自交不亲和基因型进行分子鉴定,选择不同基因型材料进行杂交授粉。

## 参考文献 References

- [1] 贺蕤,杨希,刘青林.月季育种的国内现状和国际趋势[J].中国园林,2017,33(12):35-41. HE R, YANG X, LIU Q L. Domestic status and international trend for rose breeding [J]. Chinese landscape architecture, 2017, 33(12) : 35-41 (in Chinese with English abstract).
- [2] 源朝政,郑明燕,高小峰,等.月季育种研究进展[J].湖南农业科学,2023(8):96-100. YUAN C Z, ZHENG M Y, GAO X F, et al. Research progress of rose breeding [J]. Hunan agricultural sciences, 2023 (8) : 96-100 (in Chinese with English abstract).
- [3] 程雯慧,梁琪,穆文静,等.226份月季种质资源表型多样性分析及综合评价[J].江苏农业科学,2024,52(9):173-181. CHEN W H, LIANG Q, MU W J, et al. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 226 Chinese rose germplasm resources [J]. Jiangsu agricultural sciences, 2024, 52 (9):173-181 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张非亚,杜运鹏,袁晓娜,等.月季远缘和品种间杂交亲本的选择[J].东北林业大学学报,2015,43(4):24-30. ZHANG F Y, DU Y P, YUAN X N, et al. Rose parent selection between distant and intervarietal crosses [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43(4) : 24-30 (in Chinese with English abstract).
- [5] 马燕,陈俊愉.中国古老月季品种‘秋水芙蓉’在月季抗性育种中的应用[J].河北林学院学报,1993(3):204-210. MA Y, CHEN J Y. Studies on using old Chinese rose cultivar ‘Qiushui Furong’ in breeding hardy everblooming rose new cultivars [J]. Journal of Hebei Forestry College, 1993(3) : 204-210 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨树华,李秋香,贾瑞冬,等.月季新品种‘天香’‘天山白雪’‘天山桃园’‘天山之光’与‘天山之星’[J].园艺学报,2016,43(3):607-608. YANG S H, LI Q X, JIA R D, et al. New rose cultivars Rosa ‘Tianxiang’ ‘Tianshan baixue’ ‘Tianshan Taoyuan’ ‘Tianshanzhiguang’ and ‘Tianshanzhixing’ [J]. Acta horticulturae sinica, 2016, 43(3) : 607-608 (in Chinese with English abstract).
- [7] HIBRAND SAINT-OYANT L, RUTTINK T, HAMAMA L, et al. A high-quality genome sequence of *Rosa chinensis* to elucidate ornamental traits [J]. Nature plants, 2018, 4 (7) : 473-484.
- [8] 方桥,田敏,张婷,等.中甸刺玫及其近缘种基于FISH的核型分析[J].园艺学报,2020,47(3):503-516. FANG Q, TIAN M, ZHANG T, et al. Karyotype analysis of *Rosa praelucens* and its closely related congenic species based on FISH [J]. Acta horticulturae sinica, 2020, 47 (3) : 503-516 (in Chinese with English abstract).
- [9] 曹世睿,张婷,王其刚,等.八个薔薇属种质资源的核型分析[J].北方园艺,2021(13):85-90. CAO S R, ZHANG T, WANG Q G, et al. Karyological analysis on eight gemplasm resources in genus *Rosa* L [J]. Northern horticulture, 2021(13): 85-90 (in Chinese with English abstract).
- [10] 罗玉兰,张冬梅,蔡润.红刺玫染色体的观察和核型分析[J].山东林业科技,2007,37(3):1-2. LUO Y L, ZHANG D M, CAI R. Chromosome observation and karyotype analysis of *Rosa multiflora* var. *cathayensis* [J]. Journal of Shandong forestry science and technology, 2007, 37 (3) : 1-2 (in Chinese with English abstract).
- [11] 惠俊爱,张霞,王绍明.新疆野生单叶薔薇的染色体核型分析[J].山东林业科技,2013,43(4):58-60. HUI J A, ZHANG X, WANG S M. Karyotype analysis of Xinjiang wild hulthemia berberifolia (pall.) dumort [J]. Journal of Shandong forestry science and technology, 2013, 43 (4) : 58-60 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张婷,蹇洪英,莫锡君,等.长尖叶薔薇基于rDNA FISH的核型分析[J].西南农业学报,2018,31(10):2036-2040.

- ZHANG T, JIAN H Y, MO X J, et al. Karyotype of *Rosa longicuspis* bertol. based on rDNA FISH [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2018, 31(10) : 2036-2040 (in Chinese with English abstract).
- [13] 解凯东,彭珺,袁东亚,等.以本地早橘和慢橘为母本倍性杂交创制柑橘三倍体[J].中国农业科学,2020,53(23):4961-4968. XIE K D, PENG J, YUAN D Y, et al. Production of *Citrus* triploids based on interploidy crossing with Bendizao and Man tangerines as female parents [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2020, 53 (23) : 4961-4968 (in Chinese with English abstract).
- [14] 于新海,李濛,周红昕,等.耐寒月季染色体制片技术与核型分析[J].农业与技术,2017,37(21):42-43. YU X H, LI M, ZHOU H X, et al. Chromosome slicing technique and karyotype analysis of cold-resistant rose [J]. Agriculture and technology, 2017, 37(21):42-43 (in Chinese).
- [15] MATTON D P, MAES O, LAUBLIN G, et al. Hypervariable domains of self-incompatibility RNases mediate allele-specific pollen recognition [J]. *The plant cell*, 1997, 9(10):1757-1766.
- [16] 李茂福,杨媛,王华,等.月季自交不亲和性S-RNase的鉴定与分析[J].园艺学报,2022,49(1):157-165. LI M F, YANG Y, WANG H, et al. Identification and analysis of self incompatibility S-RNase in rose [J]. *Acta horticulturae sinica*, 2022, 49 (1):157-165 (in Chinese with English abstract).
- [17] KAWAMURA K, UEDA Y, MATSUMOTO S, et al. The identification of the *Rosa* S-locus provides new insights into the breeding and wild origins of continuous-flowering roses [J/OL]. Horticulture research, 2022, 9: uhac155[2025-02-27]. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac155>.
- [18] 刘佳,丁晓六,于超,等.7个月季和5个玫瑰品种的核型分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(5):165-172. LIU J, DING X L, YU C, et al. Karyotype analysis of 7 *Rosa* hybrida and 5 *Rosa rugosa* cultivars [J]. *Journal of Northwest A & F University (natural science edition)*, 2013, 41(5): 165-172 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李诗琦,张程,高信芬.应用流式细胞术测定17种中国野生蔷薇核DNA含量[J].植物科学学报,2017,35(4):558-565. LI S Q, ZHANG C, GAO X F. Estimation of nuclear DNA content of 17 Chinese wild rose species by flow cytometry [J]. *Plant science journal*, 2017, 35(4) : 558-565 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张平冬.植物2n配子发生机理研究进展[J].北京林业大学学报,2023,45(7):1-8. ZHANG P D. Research progress on the mechanism of 2n gamete occurrence in plants [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2023, 45 (7) : 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [21] 叶雨晴,孙丽萍,张一驰,等.不同倍性菊花远缘杂交亲和性及子代倍性研究[J].园艺学报,2024,51(10):2329-2342. YE Y Q, SUN L P, ZHANG Y C, et al. Studies on distant crossing compatibility and hybrid ploidy in different ploidy chrysanthemums [J]. *Acta horticulturae sinica*, 2024, 51(10) : 2329-2342 (in Chinese with English abstract).
- [22] CRESPEL L, RICCI S C, GUDIN S. The production of 2n pollen in rose [J]. *Euphytica*, 2006, 151(2):155-164.
- [23] 赵烜.柑橘自然群体2n花粉发生频率调查及其诱导方法探索[D].武汉:华中农业大学,2023. ZHAO X. Investigation of the 2n pollen frequency in citrus natural population and exploration of the methods to improve its frequency [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [24] DEWITTE A, EECKHAUT T, VAN HUYLENBROECK J, et al. Meiotic aberrations during 2n pollen formation in *Begonia* [J]. *Heredity*, 2010, 104(2):215-223.
- [25] LIANG M, CAO Z H, ZHU A D, et al. Evolution of self-compatibility by a mutant *S<sub>m</sub>-RNase* in citrus [J]. *Nature plants*, 2020, 6(2):131-142.
- [26] 于晓艳,赵兰勇,丰震,等.22份国产玫瑰资源的自交亲和性[J].中国农业科学,2009,42(9):3236-3242. YU X Y, ZHAO L Y, FENG Z, et al. Self-compatibility of 22 *Rosa rugosa* Thunb. resources in China [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2009, 42(9):3236-3242 (in Chinese with English abstract).
- [27] DEBENER T, BRETZKE M, DREIER K, et al. Genetic and molecular analyses of key loci involved in self incompatibility and floral scent in roses [J]. *Acta horticulturae*, 2010 (870) : 183-190.
- [28] FUJII S, KUBO K I, TAKAYAMA S. Non-self- and self-recognition models in plant self-incompatibility [J/OL]. *Nature plants*, 2016, 2 (9) : 16130 [2025-02-27]. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.130>.

## Identification of ploidy and pollination compatibility in *Rosa* germplasm

TANG Yuanhong, LI Yue, BAO Manzhu, NING Guogui, LIANG Mei

College of Horticulture and Forestry Sciences/National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** Rosaceae generally exhibit self-incompatibility, which affect both self-compatibility and cross-compatibility. 186 *Rosa* from the germplasm repository were used to study the self-compatibility and cross-compatibility in *Rosa* materials with different ploidy. The flow cytometry and the shoot tip chromosome counting methods were used to identify the ploidy and analyze the pollen germination rate, self-compatibility, and cross-compatibility in the *Rosa* with different ploidy. The results showed that there was 64 diploid *Rosa* among 186 *Rosa*, mainly including wild species and ancient roses. There was relatively few triploid *Rosa*, with only 21. There was 101 tetraploid *Rosa*, mainly including modern roses. The pollen germination rate of diploid and tetraploid *Rosa* ranged from 16.89% to 51.91% and 40.88% to 63.57%, with an average of 32.37% and 51.50%. However, the pollens of the triploid *Rosa* did not germinate at all. The results of further testing growth of pollen tubes of 53 self-pollinated *Rosa* and 12 hybrid pollinated *Rosa* showed that all 13 diploid *Rosa* exhibited self-incompatibility, with pollen tubes stagnating at 1/3 of the style; all 40 tetraploid *Rosa* were self-compatible, and the pollen tubes successfully entered the ovaries. The results of cross-pollination showed that the pollen tubes of hybrid combination with tetraploid as the male parent successfully entered the ovaries; some the pollen tubes of hybrid combinations with diploid as the paternal parent stagnated in the style. It is indicated that the tetraploid *Rosa* has good ability of pollen germination and strong compatibility for cross-pollination, making it highly usable in breeding hybrid *Rosa*.

**Keywords** *Rosa*; ploidy; pollen germination; self-compatibility; cross-compatibility

(责任编辑:葛晓霞)