

匈牙利 2 个优质杏品系自交亲和性分析

马英征 王树芳 倪晓敏 王丹妮 胡佳艺 赵阳 张潞生*

(中国农业大学 园艺学院,北京 100193)

摘要 为更好地利用国外引进的杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.) 种质资源,以北寨红杏 (*A. vulgaris* 'Beizhaihongxing') 和金太阳杏 (*A. vulgaris* 'Goldensun') 为对照,对从匈牙利引进的优质杏品系 Hybrid18/79 (*A. vulgaris* '18/79') 和 Hybrid10/10 (*A. vulgaris* '10/10') 的有效花率、自然座果率和自交座果率以及花粉管生长等特性进行研究,同时,通过 S-allele-specific PCR 扩增程序进行 S 基因型的分析测定。结果表明:Hybrid18/79、Hybrid10/10 和北寨红杏的自交坐果率分别为 18.05%、2.27% 和 1.68%,Hybrid18/79 为自交亲和性品系,北寨红杏和 Hybrid10/10 为自交不亲和品种和品系。与自交亲和的金太阳杏相比,Hybrid10/10 自花授粉后花粉管在花柱中生长受到阻塞,至花柱 2/3 处,花粉管顶端膨大,停止生长,而金太阳杏可以顺利进入胚囊进行受精。Hybrid18/79、Hybrid10/10 和北寨红杏的 S 基因型分别为 $S_{u1}S_{u2}$ 、 $S_{16}S_{16}$ 和 $S_{30}S_{u1}$,序列比对发现 Hybrid18/79 的 2 个 S 基因 (S_{u1} 、 S_{u2}) 都是新发现的 S 基因,北寨红杏的一个 S 基因 (S_{u1}) 与 Hybrid18/79 中的一个 S 基因 (S_{u1}) 一样,也为新发现的 S 基因。目前已在 GenBank 进行了登录,序列登录号为 MF685202 和 MF685203。

关键词 杏品系; 自交不亲和; S 基因型; 匈牙利

中图分类号 S662.2

文章编号 1007-4333(2018)07-0036-07

文献标志码 A

Self-compatibility analysis of two high quality apricot strains introduced from Hungary

MA Yingzheng, WANG Shufang, NI Xiaomin, WANG Danni, HU Jiayi, ZHAO Yang, ZHANG Lusheng*

(College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to make better use of the apricot germplasm resources introduced from Hungary, this study was focused on the effective flower rate, natural fruit setting rate, self-setting fruit rate, pollen tube growth and other characteristics of two high quality apricot strain Hybrid18/79 and Hybrid10/10 introduced from Hungary. Beizhaihongxing and Golden Sun apricot were used as control. The S genotype was assayed and determined by S-allele-specific PCR. The results showed that: The self-pollination fruit setting rates of Hybrid18/79, Hybrid10/10 and Beizhaihongxing were 18.05%, 2.27% and 1.68% respectively. Hybrid18/79 was a self-compatibility strain. Both Beizhaihongxing and Hybrid10/10 were self-incompatibility cultivars and strains. After self-pollinating, the pollen tube growth of Hybrid 10/10 was blocked in style, and the pollen tube expanded to the top and stopped growing. In comparison, the tube of the self-compatibility cultivar Golden Sun apricot had no growth blocking, which could successfully enter embryo sac for fertilization. The S-genotypes of Hybrid18/79, Hybrid10/10 and Beizhaihongxing were identified as $S_{u1}S_{u2}$, $S_{16}S_{16}$ and $S_{30}S_{u1}$ respectively. The results of sequence alignment showed that S_{u1} and S_{u2} were new genes. One S gene (S_{u1}) of Beizhaihongxing apricot was the same as the S_{u1} in Hybrid18/79. The two discovered genes had been registered in GenBank with accession numbers MF685202 and MF685203.

Keywords apricotgermplasm; self-incompatibility; S genotype; Hungary

收稿日期: 2017-09-15

基金项目: 农业部引进国际先进农业科学技术计划(948 计划)项目(2010-Z14); 农业部(2015-2019)落叶果树遗传与分子育种创新团队项目; 科技部政府间科技合作项目(国科外字 2013-83); 中国农业大学-新疆科研院校合作基金项目(2017TC011); 国家自然科学基金项目(31661143046)

第一作者: 马英征, 硕士研究生, E-mail: 810980927@qq.com

通讯作者: 张潞生, 副教授, 主要从事果树遗传育种与果品质量安全研究, E-mail: lusheng@cau.edu.cn

杏起源于我国,中国传统地方杏以风味独特、品质优良享誉国内外,但研究发现大多数品种表现为自交不亲和或自交结实率很低^[1-2],这在一定程度上造成了中国传统地方杏“满树花、稀疏果”等问题。杏为典型的配子体型自交不亲和果树,该性状受单一基因座(S-locus)的复等位基因控制,在S基因座中至少包括2个基因,即花柱S基因与花粉S基因^[3]。中国杏自交不亲和性问题多年来一直受到研究者的关注,目前一些品种的*S-RNase*基因已经得到鉴定^[4-6],Chen等^[7]和Feng等^[8]还对国外引入的自交亲和的‘凯特’杏与不亲和的中国杏杂交后代群体的自交(不)亲和的遗传特性进行了分析。中国杏自交不亲和问题的解决,在一定程度上取决于优质自交亲和育种关键材料的获得以及更加深入的基础性研究。

匈牙利生产用杏品种发展较晚,大多数品种是后期人工选育的,市场竞争力较强。其选育的品种一般都具有果大质优、丰产和自交亲和性强的特性。中国农业大学近年来引进匈牙利优良杏品种和品系,通过引种评估和筛选,选育出了多个鲜食和酿酒优良品种(品系)。为了更有利地消化和利用国外资源,培育具有中国特色的自交亲和杏品种,本研究以起源于北京本土的北寨红杏和美国引入的金太阳杏为对照,针对其中选育的匈牙利极早熟和极晚熟优质品系Hybrid18/79和Hybrid10/10进行自交亲和性的研究,以期为其在杂交育种中进一步利用打下基础,同时也为匈牙利优质杏品系的生产推广提供帮助。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2016和2017年在中国农业大学上庄试验站进行,该种植园海拔为50.21 m,年均最高气温为36℃,最低气温为-17℃,年平均气温为13.4℃,年平均降水量621 mm,年平均相对湿度为40%~60%,试验田土质为沙壤土。试验材料为北寨红杏和金太阳杏,以及匈牙利引进的极早熟杏品系Hybrid18/79和极晚熟杏品系Hybrid10/10。树龄7年,树势生长状况良好,所有试验材料的立地条件和管理措施以及方法完全一致,以消除外界因素对品种表现的影响。

1.2 方法

1.2.1 有效花率、自然座果率

选取待测品种、品系枝条上的300~500朵花挂

标签,按照长果枝(30 cm以上)、中果枝(15~30 cm)、短果枝(15 cm以下)进行调查,统计记录花朵总数和有效花数。有效花即雌蕊高于雄蕊或等高的花,相反雄蕊高于雌蕊的花或雌蕊已退化的花为无效花(败育花)。计算有效花率。盛花4周后统计计算自然座果率。

1.2.2 自花授粉座果率

选取待测品种、品系生长状况一致的枝条,分别选取长果枝、中果枝及短果枝,在花期前用防虫网(30目)对整个枝条进行遮套,并统计记录各种枝条上的总花数。大蕾期进行人工自花授粉,谢花一周后去除防虫网,谢花4周后统计计算自花授粉坐果率。

1.2.3 S基因型的确定和进化关系分析

选取北寨红杏、Hybrid18/79和Hybrid10/10的幼嫩叶片,采用CTAB法提取基因组DNA,进行S基因特异PCR扩增。引物为*PurC2*(5'-TGGCCAAGTAATTATTCAAACC-3'),*PurC4*(5'-GGATGTGGTACGATTGAAGCG-3')。S-allele-specific PCR扩增程序为:94℃预变性5 min,94℃变性30 s,50℃退火45 s,72℃延伸90 s,33个循环后72℃延伸10 min。反应体系为:25 μL反应体系中包含1×PCR Buffer, MgCl₂ 2.0 mmol/L, dNTP 0.2 mmol/L,各引物0.2 μmol/L,20~50 ng模板,Taq酶1.25 U。反应结束后,用1.4%的琼脂糖凝胶电泳,溴化乙锭(EB)染色法检测PCR产物的有无和大小。将得到的*S-RNase*基因序列同数据库中已注册的杏*S-RNase*基因核酸序列进行相似性比对,确定S基因。利用MEGA 5.0对*S-RNase*基因进行多重序列比对,分析其结构并用邻接法(Neighbor-joining method)构建系统进化树,进而分析其进化关系。

1.2.4 花粉管生长的观察

采用荧光显微镜观察花粉管生长,取授粉后4、12、24和48 h的Hybrid10/10和金太阳杏的雌蕊,FAA固定液固定。固定的雌蕊经过自来水冲洗5 min后,置于60℃下2 mol/L的NaOH溶液中软化3.5 h,蒸馏水清洗过后,用苯胺蓝溶液(0.1%苯胺蓝,0.1 mol/L K₃PO₄溶液,4℃保存)黑暗染色4 h。荧光显微镜(DP2-BSW Olympus)下观察花粉管生长情况。

2 结果与分析

2.1 不同品种品系有效花率和自然授粉坐果率比较

有效花率采取短、中、长果枝分别调查的方式。结果如表1所示,各品种品系三类枝条有效花率不同,北寨红杏是短枝有效花率高于中长果枝有效花率;Hybrid10/10长果枝和短果枝有效花率差别不大,中果枝有效花率高于短果枝和长果枝的有效花

率;Hybrid18/79中长短果枝有效花率较高。品种有效花率与自然授粉座果率之间存在着正相关的关系,有效花率高其自然座果率也高,这一点恰恰反映了雌蕊败育现象对杏树座果率及其产量的影响。匈牙利引进的Hybrid10/10和Hybrid18/79平均有效花率分别为52.2%和51.3%,高于北寨红杏的44.1%,自然座果率Hybrid10/10和Hybrid18/79分别为25.00%和16.33%,也高于北寨红杏的3.35%。

表1 杏有效花率(Rvf)和自然授粉座果率(Ropfs)

Table 1 Rate of valid flower (Rvf) and open-pollination fruit setting (Ropfs) of apricot %

品种和品系 Cultivar or strain	短果枝	中果枝	长果枝	平均	自然座果率
	有效花比率	有效花比率	有效花比率	有效花比率	(花朵数)
	Short shoot	Meduim shoot	Long shoot	Average	Ropfs
	Rvf	Rvf	Rvf	Rvf	(Flower number)
Hybrid18/79	49.8	53.5	50.4	52.8	25.00(224)
Hybrid10/10	51.2	53.2	49.2	51.3	16.33(357)
北寨红杏	43.6	41.4	42.3	42.1	3.35(537)

2.2 不同品种品系自交坐果率比较

根据自交亲和判断标准:凡自交座果率 $\geq 6\%$ 为自交亲和(SC),否则为自交不亲和(SI)^[9]。表2结果表明,Hybrid18/79是自交亲和的,而北寨红杏和Hybrid10/10是自交不亲和的。并且Hybrid18/79表现出有效花比率高,自交亲和性强和自然座果率高的优良性状。

表2 杏自交座果率(Rspfs)

Table 2 Rate of self-pollination fruit setting (Rspfs) of Apricot

品种和品系 Cultivar or strain	自花授粉花朵数 Flower numbers	自花授粉坐果率/% Rspfs
Hybrid18/79	354	18.05
Hybrid10/10	176	2.27
北寨红杏	380	1.68

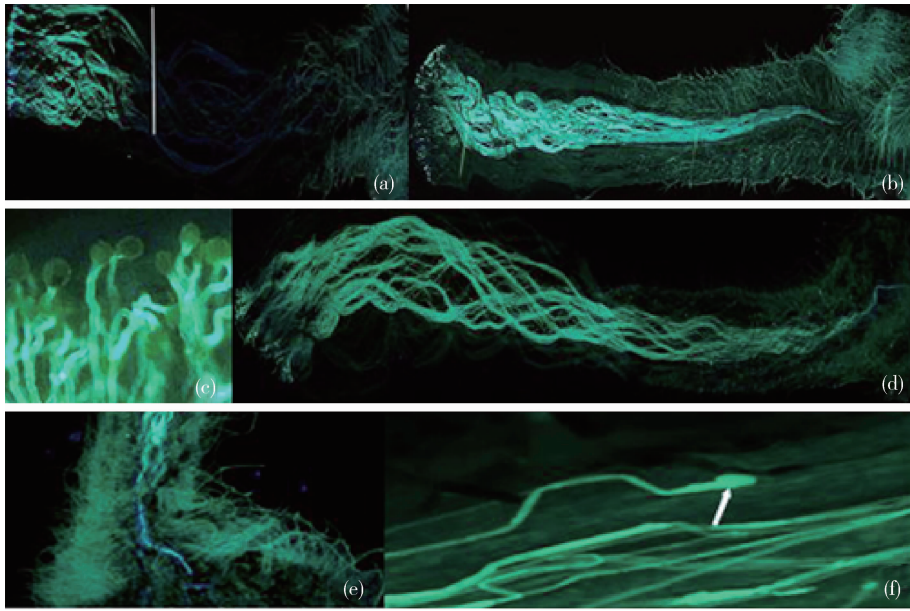
2.3 花粉管生长特性观察结果与分析

荧光显微镜观察花粉管生长结果表明,金太阳自然授粉4h后,花粉管生长至花柱1/3处(图1(a)),48h后,花粉管生长至花柱底部

(图1(b)),随后进入胚囊进行受精。Hybrid10/10异花授粉花粉正常萌发,花粉突起、萌发的花粉管伸入柱头(图1(c)),48h后花粉管生长至花柱底部,随后花粉管进入胚囊(图1(e))。而Hybrid10/10自花授粉48h后,花粉管生长至花柱2/3部位(图1(d)),出现花粉管顶端膨大停止生长现象(图1(f)),不能进入胚囊。比较Hybrid10/10和金太阳授粉花粉管在花柱中的生长荧光观察结果,说明Hybrid10/10属于自交不亲和类型。

2.4 S基因型的确定

S-allele-specific PCR扩增出了Hybrid18/79(1)品系379和325bp 2条带,北寨红杏(2)572与379bp 2条带,以及Hybrid10/10(3)品系365bp一条带(图2)。通过与GenBank中相似性最高的基因比对,确定了Hybrid18/79和北寨红杏的S基因型分别为 $S_{u1}S_{u2}$ 和 $S_{30}S_{u1}$,Hybrid10/10的S基因型为 $S_{16}S_{16}$ 。序列比对发现Hybrid18/79的2个S基因(S_{u1} 、 S_{u2})和北寨红杏的一个S基因(S_{u1})都是新发现的S基因(表3),目前已经在GenBank进行了登录,登录号为MF685202和MF685203。



(a)金太阳自然授粉 4 h,花粉管生长至花柱 1/3 处;(b)金太阳自然授粉 48 h,花粉管生长至花柱底部;(c) Hybrid 10/10 异花授粉,花粉正常萌发,在花柱中生长;(d) Hybrid 10/10 异花授粉 48 h,花粉管生长至花柱底部;(e) Hybrid10/10 异花授粉 48 h 后,花粉管进入胚囊;(f) Hybrid10/10 自花授粉 48 h,花粉管生长至花柱 2/3 部位,出现花粉管顶端膨大停止生长现象。

(a) Pollen tube grows to 1/3 style after 4 h by self-pollination in Golden Sun;(b) Pollen tube grows to the bottom of style after 48 h by self-pollination in Golden Sun;(c) Pollen germinates normally and grows in style after cross-pollination in Hybrid 10/10;(d) Pollen tube grows to the bottom of style after 48 h by cross-pollination in Hybrid 10/10;(e) Pollen tube grows into embryo sac after 48 h by cross-pollination in Hybrid 10/10;(f) Pollen tube grows to 2/3 style after 48 h by self-pollination in Hybrid 10/10, and pollen tube appears to apex expansion and stop growing.

图 1 Hybrid10/10 和金太阳花粉管在花柱中的生长荧光观察

Fig. 1 Fluorescence observation of pollen tube growth of Hybrid 10/10 and Golden Sun in styles

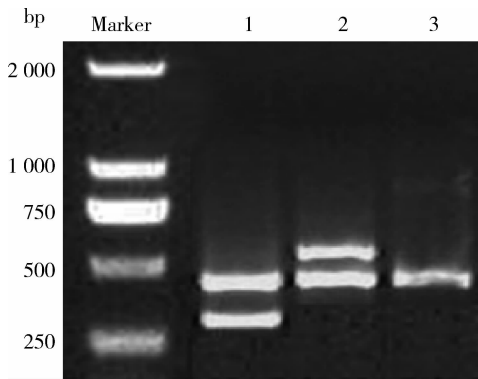


图 2 Hybrid18/79(1)、北寨红杏(2)及 Hybrid10/10(3) S 基因 PCR 扩增结果

Fig. 2 PCR results of S-gene of Hybrid18/79(1), Beizhaihongxing(2) and Hybrid 10/10(3)

2.5 匈牙利杏品系 *S-RNase* 基因氨基酸序列的系统进化关系

S-RNase 基因氨基酸序列系统进化树(图 3)表明,Hybrid18/79 1(*Unknown 1*)和 Beizhaihongxing 2

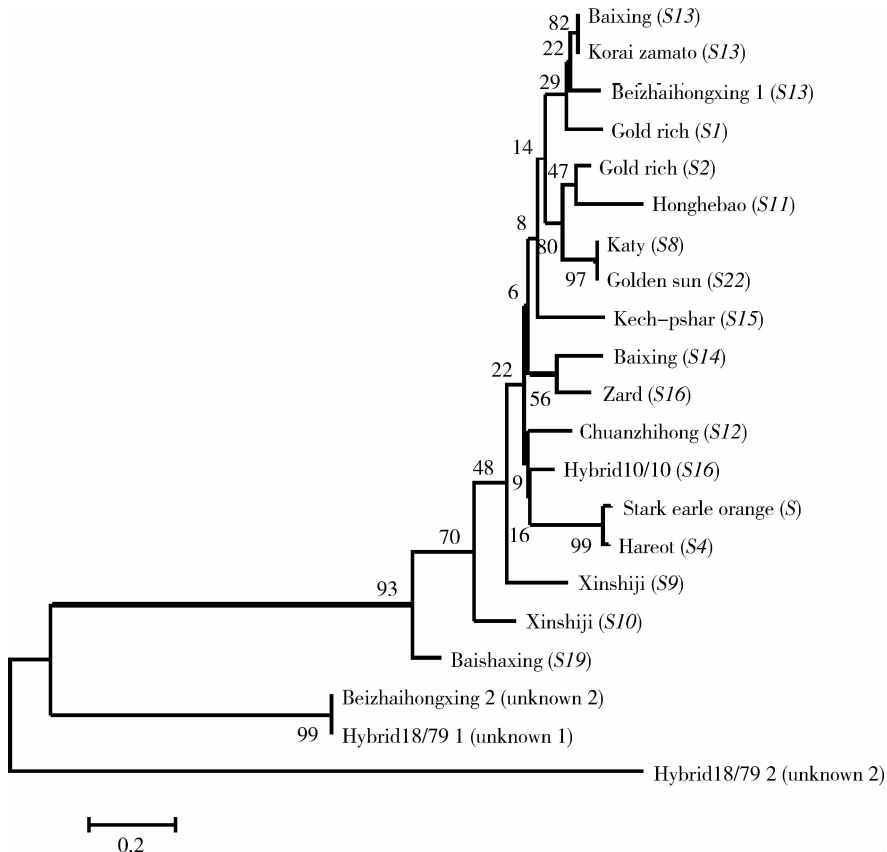
(*Unknown 2*)相似度为 99%,并且为新发现的 S 基因。另外,图 3 的结果还表明,即使是同一品种或品系的复等位基因(*S-allele*)似乎也不存在着物种或者地域起源的关系,*S-RNase* 基因的分布具有随机性。

3 讨论

根据匈牙利引种资料 and 在北京引种观察,Hybrid18/79 与骆驼黄成熟期相近,果实圆形,外观漂亮;可溶性固形物 15.7%,品质极佳(图 4(a))。Hybrid10/10 8 月底—9 月初成熟,是国内很少见的极晚熟品种,可溶性固性物含量高达 18.9%,品质优良(图 4(b))。与原产地有关引进品系果实的研究记载相比,自交亲和性方面的资料相对匮乏。因此,此方面的研究有利于优选品种在杂交育种以及生产推广中更加有效的利用,也可以为杏自交不亲和性的基础研究提供理论依据。

表3 杏品种品系的S等位基因
Table 3 *S*-allele of apricot cultivars or strains

品种和品系 Cultivar or strain	片段大小/bp Fragment size	与 GenBank 中相似性 最高的基因及登录号 Similarity genes and accession number in GenBank	相似性/% Similarity	品种等位基因 Allele gene of cultivar
Hybrid18/79	379	Unkown	0	Unkown
Hybrid18/79	325	Unkown	0	Unkown
Hybrid10/10	365	<i>Prunusarmeniaca S16-RNase gene</i> (HM053569)	100	S16
北寨红杏	572	<i>Prunusarmeniaca S22-RNase gene</i> (FJ477418)	100	S30
北寨红杏	379	Unkown	0	Unkown



参与构建系统进化树的杏 *S-RNase* 基因氨基酸序列在 GenBank 中的登录号: S(AAP33485), S1(AAT69244), S2(AAT69245), S4(AAT69248), S8(AAW80850), S9(AAW62238), S10(DQ003310.1), S11(ABQ51152.1), S13(ABQ51153.1), S14(ABI30634.1), S15(ABQ51154), S16(ABQ51155), S22(HM053569.1), S30(EF185301.1)。

Amino acid sequence accession numbers in GenBank of apricot *S-RNase* gene involved in the construction of phylogenetic tree: S(AAP33485), S1(AAT69244), S2(AAT69245), S4(AAT69248), S8(AAW80850), S9(AAW62238), S10(DQ003310.1), S11(ABQ51152.1), S13(ABQ51153.1), S14(ABI30634.1), S15(ABQ51154), S16(ABQ51155), S22(HM053569.1), S30(EF185301.1)。

图3 部分杏 *S-RNase* 基因的系统进化树

Fig. 3 Phylogenetic tree of *S-RNase* genes in some apricots

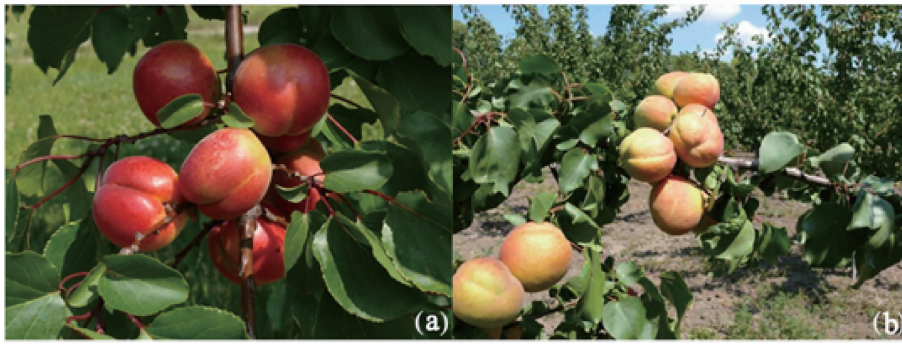


图4 极早熟品种 Hybrid18/79 (a)和极晚熟品种 Hybrid10/10 (b)的果实特性

Fig. 4 Fruit characteristics of early-maturing Hybrid18/79 (a) and late-maturing Hybrid10/10 (b)

生产上败育花^[10-11]和授粉双亲的亲亲和性是杏树坐果非常关键的影响因素,自交不亲和杏品种在雌雄两性器官发育正常的情况下,花粉授到花柱上也会出现不萌发,或者花粉管在花柱中停止生长的现象^[12-13]。这是由于当杏雌蕊和花粉粒的等位基因相同时,自交不亲和性的等位基因会自动抑制花粉管的生长;而自交亲和性的等位基因则允许花粉管在花柱中继续生长,并最终进入胚珠^[14]。实际上,果树的自交和异交不亲和性也会受到性器官的龄期、气候、化学物质处理等多种因子的影响。本研究发现,同一个品种不同年份和地区所测定的自交不亲和性的值有所差异,如北寨红杏,2012年在北寨村实地测定的自花授粉座果率为0.89%^[15],比本研究中的1.68%值偏低,而本研究中 Hybrid10/10 的自花授粉座果率2.27%却比在布达佩斯 Corvinus 大学种质资源实验基地测定的结果偏低,这种现象可能与当时的气候条件和树体的生长状态有很大的关系,这种现象也进一步表明杏的自交亲和性是一个复杂的问题,它不仅与S复等位基因之间有关,可能还受修饰基因等其他因素的调控^[16-17]。因此,还有待于进一步的研究。

参考文献 References

[1] 何天明,陈学森,张大海,徐麟,刘宁,高疆生,许正. 中国普通杏种质资源若干生物学性状的频度分布[J]. 园艺学报,2007,34(1):17-22
Hen T M, Chen X S, Zhang D H, Xu L, Liu N, Gao J S, Xu Z. Frequency distribution of several biological characters in different apricot eco-geographical groups native to China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(1): 17-22 (in Chinese)

[2] 彭晓莉,廖康,贾杨,刘欢,马微,徐乐. 9个新疆杏品种间杂交亲和性研究[J]. 果树学报,2015,32(2):192-199

Peng X L, Liao K, Jia Y, Liu H, Ma W, Xu L. Study on the cross compatibility among 9 apricot cultivars in Xinjiang [J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32 (2): 192-199 (in Chinese)

[3] McClure B A, Cruz-Garcia F, Beecher B S, Sulaman W. Factors affecting inter- and intra-specific pollen rejection in Nicotiana [J]. *Annals of Botany*, 2000, 85: 113-123

[4] Qi J, Gai S P, Zhang J X, Gu M R, Shu H R. Identification of self-incompatibility genotypes of apricot (*Prunus armeniaca* L.) by S-allele-specific PCR analysis [J]. *Biotechnology Letters*, 2005, 27: 1205-1209

[5] Zhang L, Chen X, Chen X, Zhang C, Liu X, Ci Z, Zhang H, Wu C, Liu C. Identification of self-incompatibility (S-) genotypes of Chinese apricot cultivars [J]. *Euphytica*, 2008, 160: 241-248

[6] 吴俊,谷超,张绍铃,张树军,宋宏峰,赵习平,刘铁铮. 11个中国杏品种S-RNase基因的检测与序列分析[J]. 南京农业大学学报,2008,31(4):37-42
Wu J, Gu C, Zhang S L, Zhang S J, Song H F, Zhao X P, Liu T Z. Detection and sequence analyses of S-RNase gene in eleven Chinese apricot (*Prunus armeniaca*) cultivars [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2008, 31 (4): 37-42 (in Chinese)

[7] Chen X S, Wu Y, Chen M X, He T M, Feng J R, Liang Q, Liu W, Yong H H, Zhang L L. Inheritance and correlation of self-compatibility and other yield components in the apricot hybrid F1 populations [J]. *Euphytica*, 2006, 150: 69-74

[8] Feng J R, Chen X S, Wu Y, Liu W, Liang Q, Zhang L J. Detection and transcript expression of S-RNase gene associated with self-incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.) [J]. *Molecular Biology Reports*, 2006, 33: 215-221

[9] 郑洲,陈学森,李玉晖. 杏树营养与生殖生物学研究进展[J]. 西北农业学报,2003,12(1):84-89.
Zheng Z, Chen X S, Li Y H. Recent advance in researches of the nutrition and reproductive biology of apricot [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2003, 12 (1): 84-89 (in Chinese)

[10] 马锋旺,张宏亮,李嘉瑞. 不同品种杏的性器官发育和结实性比较研究[J]. 西北植物学报,1999,19(4):629-635

- Ma F W, Zhang H L, Li J R. Studies on the sexual organ development and fruiting characteristics of different varieties of apricot[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(4):629-635 (in Chinese)
- [11] 扬立峰. 杏树开花规律研究[J]. 河南职业技术学院学报, 2001, 29(1):14-18
- Yang L F. Study on the rules of apricot blossoming [J]. *Journal of Henan Vocation-Technical Teachers College*, 2001, 29(1):14-18 (in Chinese)
- [12] 陈超, 李保国, 齐国辉, 钮力亚, 苏智海. 果树自交不亲和机理及应用研究进展[J]. 河北林果研究, 2005, 20(1):86-90
- Chen C, Li B G, Qi G H, Niu L Y, Su Z H. Recent advance of self-incompatibility in fruit trees[J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2005, 20(1):86-90 (in Chinese)
- [13] 冯建荣, 陈学森, 孔宁. 杏 (*Prunus armeniaca*) 自交不亲和强度及其授粉受精相关特性[J]. 果树学报, 2006, 23(5):690-694
- Feng J R, Chen X S, Kong N. Some characteristics associated with self-incompatibility among the F1 progenies in apricot[J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(5):690-694 (in Chinese)
- [14] Audergon J M, Guerriero R, Monteleone P, Viti R. Contribution to the study of inheritance of the character self-incompatibility in apricot[C]. In: XI International Symposium on Apricot Culture 488. Greece: Veria-Makedoni, 1997: 275-280
- [15] 王洁明, 张璐生, 张文. 北寨红杏自交不亲和生物学研究[J]. 中国果树, 2012, (4):19-22
- Wang J M, Zhang L S, Zhang W. Study on Self-incompatibility biology of Beizhaihongxing[J]. *China Fruits*, 2012(4):19-22 (in Chinese)
- [16] 吴燕, 陈学森, 冯建荣, 陈晓流. 杏杂种一代群体 S 基因的遗传研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(4):397-402
- Wu Y, Chen X S, Feng J R, Chen X L. Inheritance of S2 gene among the F1 progenies in apricot [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(4):397-402 (in Chinese)
- [17] Silva N F, Goring D R. Mechanisms of self-incompatibility in flowering plants[J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2001, 58:1988-2007

责任编辑: 王燕华