果 树 学 报 2019,36(9):1112-1120
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20190305

甜樱桃新种质种内及与中国樱桃种间杂交效率分析

吴延军,武凯翔,袁 玥,董梦梦

(浙江省农业科学院园艺研究所,杭州 310021)

摘 要:【目的】探索甜樱桃新种质种内及种间杂交育种规律,提高南方甜樱桃杂交育种效率。**【方法】**以适宜浙江省种植的甜樱桃新种质为母本,以甜樱桃和中国樱桃为父本开展甜樱桃种内及种间杂交试验,调查坐果率、有胚率、胚败育率和F_0果实品质等指标,进行杂交效率分析。**【结果】**授粉7 d后,供试母本的种内及种间坐果率都比较高,随果实发育,至授粉后28 d及成熟期都有不同程度较大幅度的下降。同母本种内杂交坐果率高于种间的。供试母本中'朝阳一号'的种内、种间杂交坐果率均最高;坐果率最低的为'长丰一号'的种间杂交组合。同一母本种内组合比种间组合有胚率高、败育率低。杂种胚成熟时败育率高,仅有4个组合可以得到未败育胚。杂交果未成熟胚败育率低这为胚培养提供了可能。供试母本'朝阳一号'未成熟胚最好,坐果率高有胚率高败育率低;'江南红'有胚率低,败育程度最高;'长丰一号'及'先锋'居中,母本优选'朝阳一号';供试父本未成熟胚中'朝阳一号'和'紫晶'较好。F_0果实成熟期推迟,颜色及形状均表现出了母本果实开放授粉的色泽及形状;可溶性固形物种含量间杂交果低于种内的,均低于开放授粉的母本果实。为获得杂交后代,南方甜樱桃杂交育种可以采用3种方法:利用主产区的杂交后代在南方进行筛选;在南方杂交后进行胚挽救或者尝试混合花粉的开放授粉。**【结论】**甜樱桃种新种质种内及种间组合不同坐果率、杂种胚发育均存在较大差异。同一母本种内杂交坐果率高且败育率低。供试种质中'朝阳一号'是较好的父母本。

关键词:甜樱桃;中国樱桃;种内杂交;种间杂交;育种效率

中图分类号:S662.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2019)09-1112-09

Analysis the efficiency of inter and intra-specific hybridization of new cultivars of sweet cherry and chinese cherry

WU Yanjun, WU Kaixiang, YUAN Yue, DONG Mengmeng

(*Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang, China*)

Abstract:【Objective】To explore the rules of intra-specional and inters-pecific cross breeding of some new sweet cherry cultivars and improve the efficiency of cross breeding of sweet cherry in the area where winter is warm and summer is hot and moist.【Methods】The intraspecial and interspecifichybridization test of sweet cherry was carried out by using sweet cherry as the mother, using sweet cherry and chinese cherry as the father. The rate of fruit set, embryo, embryo abort of the cross and quality of the F_0 fruit were investigated in order to analysis the efficiency of the cross.【Results】The four cultivars of sweet cherry 'Jiangnanhong' 'Chaoyang-1' 'Changfeng-1' and 'Van' were taken as the mother. Five sweet cherry cultivars or selections '04-8' '04-11' 'Chaoyang-1' 'Van' 'Lapins' and five cultivars of chinese cherry 'Chaozaohong' 'Duanbing' 'Gejiawu' 'Heizhenzhu' 'Zijing' were taken as the male parent. Among them 'Jiangnanhong' and 'Zijing' are newly identified cultivars in Zhejiang province, and 'Chaoyang-1' and 'Changfeng-1' are new selections. After pollination for 1 week, the fruit setting rate was relatively high and significant decrease in the 4 weeks and mature stages in intra and inter- species with the development of fruits. In the mature stage, all the fruit setting of the other cross of intra-species were higher than 5%, except that of 'Jiangnanhong'×'04-11' was 1.85% lower than 3%, and that of 'Changfeng-1'×'Lapins' was 4.35% lower than 5%, which indicates the basic affinity between the cross of intra-specific sweet cherry. The fruit setting rate of intraspecific cross was higher

收稿日期:2019-07-03 接受日期:2019-08-26

基金项目:浙江省农业新品种选育重大科技专项果品新品种选育(2016C02052-9);第三次全国农作物种质资源普查与收集行动

作者简介:吴延军,副研究员,女,博士,主要从事樱桃研究。Tel:0571-86058831, E-mail:wyjwjht@163.com

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

than that of interspecific cross. The fruit setting rate of ‘Chaoyang-1’ was the highest in both intraspecific and interspecific hybridization. The interspecific hybrid combination of ‘Changfeng-1’ had the lowest fruiting rate. The embryo rate and abortion rate of the intraspecific cross were higher than those of interspecific cross when the female parent is same. The abortion rate is high when hybrid embryos mature，and only 4 crosses group can obtain non-abortion embryos，which are the hybrid cross of ‘Jiangnanhong’ with ‘04-8’ ‘Lapins’ ‘Chaozaohong’，and the cross of ‘Changfeng-1’ with ‘Van’. The abortion is lower when the hybrid embryos immature. The embryo rate was lowest and the abortion degree was the highest of the cross of ‘Jiangnanghong’ in immature embryo stage. The cross with the mother of ‘Chaoyang-1’ was the best with high setting rate，high embryo rate and low abortion rate in immature embryo stage，so ‘Chaoyang-1’ is the best female parent in this test. ‘Chaoyang-1’ and ‘Zijing’ were the better fathers in the ten test male parents for the cross with them had a high embryo rate (65.84% and 75.21%，respectively)，and most of the embryos were bright white and full with good development in the immature embryos stage. ‘Chaoyang-1’ is the best female and male parent in this test. The cross between ‘Chaoyang-1’ and ‘Van’ shows ‘Chaoyang-1’ is the better female than male parent. The ripening stage of F_0 fruit was delayed，and the color and shape of F_0 fruit showed the same color and shape of open pollination of parent fruit. The soluble solid of interspecific hybrid fruit was lower than that the intra-specific hybrid，and they all lower than that of the open pollinated female fruit. In order to obtain hybrid offspring，the author suggests three methods could be used in the area where is warm in winter，hot and moist in summer: one is selecting hybrid offspring which comes from the main producing areas，which means making cross and getting hybrid offspring in the main producing areas but select it in future planting area. The other is using embryos rescue technology after getting immature fruit; the third one is using mixed pollen for open pollination.【Conclusion】The fruit set and embryo development have significant differences among the different cross group in the area where winter is warm and summer is hot and moist. The fruit set is higher and the embryo abort is lower of intraspecific cross than that of interspecific cross when the mother is the same sweet cherry. ‘Chaoyang-1’ is the best female and male parent in this test when making cross.

Key words: Sweet cherry; Chinese cherry; Intra-specific hybridization; Inter-specific hybridization; Hybrid efficiency

樱桃是蔷薇科（Rosaceae）李属（*Prunus*）樱桃亚属（*Ceraras*）植物，我国主栽的樱桃种有欧洲甜樱桃和中国樱桃。欧洲甜樱桃（*Prunus avium* L.，又名大樱桃、甜樱桃）起源于地中海区域，在我国主要集中在温带的环渤海湾区和陇海铁路沿线[1]。它味美色艳、果实大可食率高、耐贮运能力强，商品性极好。但大部分的欧洲甜樱桃不能自花结实，坐果率较低，胚易败育，且对南方气候的适应性较差，南方急需开展欧洲甜樱桃的育种。中国樱桃（*Prunus. pseudocerasus* L.）原产我国，果实成熟期早、自花结实、抗病抗涝性强，但果个小肉软、不耐贮运、成熟期集中。将甜樱桃与中国樱桃进行杂交，从后代中选育出自交亲和、果实大、成熟期早的新品种或耐涝抗病新砧木具有重要意义。

自2004年陈学森等[2]在国内外首次获得中国樱桃与欧洲甜樱桃杂种以来，Schuster等[3]用甜樱桃和酸樱桃杂交获得了抗樱桃叶斑病的种间杂种。目前广泛应用的‘吉塞拉’[4]、‘考特’等[5]甜樱桃砧木均为杂交选育。樱桃杂交育种在获得优质新品种以及创造果树新型种质等方面愈加重要。然而直至2016年，我国育成甜樱桃品种44个，通过杂交选育的品种仅9个[6]，随后仅增加了‘江南红’（‘红灯’×‘拉宾斯’）[7]、‘春雷’（‘红灯’×‘先锋’）[8]等品种。

甜樱桃杂交育种进展缓慢与育种的难度及育种规律的不清晰是分不开的。为数不多的甜樱桃杂交试验研究主要针对主产区，不仅采用适于冷凉区域及起源地的品种在主产区开展试验，且定向选择的方向为满足主产区的需要，这些研究虽为南方甜樱桃杂交育种提供借鉴，但参考价值有限。近年来我国南方已成为甜樱桃的试验试种区域，其育种研究

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

经历了引种及利用主产区杂交后代在南方选择的起步阶段，尚未有在夏季高温高湿冬季温暖区域开展的甜樱桃种内种间杂交研究。加之甜樱桃研究材料基因型不同杂交结果存在很大差异[9-12]，在国内外未见本试验所涉及基因型杂交组合的研究报告。笔者以适宜浙江地区的甜樱桃及中国樱桃为研究材料，开展种内及种间杂交研究，为探索其杂交规律并为丰富甜樱桃新种质打下基础。

1 材料和方法

试验于2017年3月至2019年3月在浙江省农业科学院园艺研究所、浦江县长丰果园及嵊州市生钧樱桃研究所进行。

1.1 供试材料

以甜樱桃‘江南红’‘朝阳一号’‘长丰一号’和‘先锋’4个品种为母本；以5种甜樱桃‘04-8’‘04-11’‘朝阳一号’‘先锋’‘拉宾斯’和5种中国樱桃‘超早红’‘短柄’‘葛家坞’‘黑珍珠’‘紫晶’等10个品种为父本进行杂交。试验樱桃树5~9 a(年)生，甜樱桃采用‘吉塞拉’矮化砧，中国樱桃采用草樱砧木。试验树树势健壮，生长结果正常。其中‘江南红’(浙认果2008002)和‘紫晶’(浙R-SV-CP-007-2018)是浙江省新认定品种，‘朝阳一号’和‘长丰一号’是新品系。

1.2 方法

1.2.1 花粉收集 分别于2017年3月11—12日，2018年3月6日在嵊州市生钧樱桃研究所收集中国樱桃‘葛家坞’‘黑珍珠’‘短柄’‘超早红’和‘紫晶’；2017年3月30日—4月3日、2018年3月27—30日在长丰果园收集甜樱桃‘04-8’‘04-11’‘先锋’‘拉宾斯’和‘朝阳一号’的花粉。收集花粉时采集铃铛花期上述品种的自然花，室内剥取花药，25 ℃干燥条件下阴干至花药开裂并散粉后，收集于棕色玻璃瓶中，密封在4 ℃冰箱中保存备用[13]。

1.2.2 人工授粉及坐果率统计 分别于2017年4月5—10日，2018年3月29日—4月5日在浦江县长丰果园选取母本铃铛期花朵进行人工不去雄授粉。用带橡皮头的铅笔蘸取一定量的花粉涂抹于母本花朵的柱头上，重复此操作2~3次。授粉后立即套硫酸纸袋并统计授粉花朵数量，7 d后换网袋(图1)。单株为1个重复，3次重复。2017年分别在授粉后7 d和成熟期统计坐果率，2018年在授粉后7 d和28 d统计坐果率。

图1 杂交过程

Fig. 1 Hybridization process

1.2.3 杂种胚坐果率、有胚率及败育率调查 2017年度于授粉7 d后和完全成熟时分别统计坐果数并计算坐果率。成熟期采收杂交果实取各组合的种子洗种，除去漂浮在水面上的瘪种子和杂质，将水中的种子捞出计数，与湿润河沙混匀，装入容器，4 ℃冷库存放层积沙藏3个月。出库时调查有胚率和败育率。2018年授粉28 d后不同时间采摘未成熟果实，4 ℃低温处理后取出杂种胚，计算有胚率及败育率。凡种胚出现干瘪、皱缩、胚腔内无胚或胚褐化可视为败育。笔者以坐果率*有胚率*(1-败育率)=杂交效率%来判定杂交效果。

1.2.4 杂交果的品质测定 2017年5月和6月于采收成熟度时分别采收‘江南红’、‘朝阳一号’和‘长丰一号’的杂交果，测定果实单果重(1%感量电子天平)、及果实可溶性固形物含量(数显测糖仪)。果实纵横径(德国科立诺电子数显示游标卡尺游标卡尺)并计算果形指数。其中果形指数=果实纵径(mm)/果实横径(mm)。

1.2.5 数据处理 本实验所采用的数据处理软件为Excel 2010软件和spss19.0软件。Duncan新复极差

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

法进行多重比较，表中小写字母代表$p < 0.05$显著水平。

2　结果与分析

2.1　不同父母本对杂交效果的影响

2017年以甜樱桃‘江南红’‘朝阳一号’‘长丰一号’为母本，2018年除以上3个品种外，附加以‘先锋’为母本，分别进行了甜樱桃的种内杂交及其与中国樱桃的种间杂交。杂交坐果率、有胚率及败育率见表1。

以‘江南红’为母本，2017年和2018年授粉7 d后坐果率均较高，说明各组合间均有一定的亲和性。成熟时坐果率与授粉后7 d的相比大幅度下降，平均仅为授粉7 d的16.73%。除父本‘04-11’外，种内杂交坐果率、有胚率均明显高于种间的坐果率及有胚率。成熟时种内、种间杂交坐果率和有胚率最高的父本分别是‘拉宾斯’和‘黑珍珠’。‘拉宾斯’的坐果率（14.69%）及有胚率（71.43%）远高于‘黑珍珠’的8.70%和16.67%，分别为其的1.69和4.28倍。

以‘江南红’为母本成熟时胚败育率高，最高时100%。试验结果表明种间杂交胚比种内杂交胚更易败育。结合坐果率、有胚率及败育率，与‘江南红’杂交可以获得种内未败育胚的机率为4.12%，最有可能得到未败育胚的是‘拉宾斯’（4.90%）而得到种间杂交未败育种子胚的机率仅为0.01%。这个结果说明甜樱桃种内种间杂交收获成熟胚的难度很大，以成熟胚的形式获得杂交苗的可能性比较低。需要考虑以未成熟胚的胚挽救来获得后代。

2018年观察授粉28 d的坐果率及4月29日—5月4日间的胚发育情况，结果表明授粉28 d发生不同程度的落果，平均坐果率下降至20.53%。坐果率低于授粉后7 d，但明显高于2017年成熟期的9.17%。有胚率（38.22%）也明显高于2017年成熟期的25.78%，是后者的1.48倍。硬核期种内杂交坐果率及有胚率普通高于种间杂交。4月29日—5月4日间的胚败育已很明显，种间杂交除父本‘紫晶’外，其余父本组合100%败育。种内以‘先锋’为父本败育率最低。幼胚败育程度相对较低，胚发育情况（有胚率、败育率）明显优于成熟期，多数杂交组合得到了发育正常的亮白色胚，可用于胚挽救。

与母本‘江南红’相似，授粉7 d后，以其他3个母本的种内及种间坐果率都比较高。随果实发育，至授粉后28 d及成熟期都有不同程度较大幅度的下降。4个母本均表现出种内杂交坐果率高的特点，其中以‘朝阳一号’为母本的种内、种间杂交坐果率均最高。而以‘长丰一号’为母本的种间杂交组合坐果率为本次试验所有种内和种间组合中最低，2017年成熟期平均坐果率仅为1.69%，而2018年授粉后28 d也仅为3.32%。以‘先锋’为母本，虽只进行了2018年1 a试验，但结果相同。

与母本‘江南红’相似，其他母本的试验结果也表现出种内组合比种间组合有胚率高及败育率低，成熟时胚败育率高的特点（表1，图2）。杂种胚发育存在较大差异，种子破壳后发现败育胚胚体较小，种皮干瘪皱缩，颜色不一，有黄褐色、白褐色和黑褐色；未败育的胚饱满呈亮白色。以‘朝阳一号’为母本的成熟期杂种胚全部败育，胚呈黑褐色或白褐色；未成熟胚败育程度相对较轻，平均败育率71.22%，其中‘朝阳一号’×‘先锋’败育率仅40.00%。以‘长丰一号’为母本成熟时胚败育率超过了95%，未成熟时胚败育率较低，最佳父本为‘朝阳一号’，有胚率92.31%，败育率57.69%。以‘先锋’为母本，仅观察了2018年未成熟胚，同样其种间杂交组合比种内杂交组合有胚率低败育率高。

综合不同时期坐果率、有胚率及败育率可得出，能得到成熟未败育胚仅有4个组合，分别为以‘江南红’的‘04-8’‘拉宾斯’‘超早红’和‘长丰一号’的‘先锋’组合。未成熟时‘江南红’有胚率低，败育程度高，多数种胚干瘪皱缩，呈黑褐色或黄褐色，得到杂种胚数量极少；‘长丰一号’及‘先锋’授粉28 d后坐果率低，杂交亲和性相对较差；若以获得杂交后代的目的，则‘江南红’‘长丰一号’及‘先锋’均不适合选做甜樱桃的杂交母本。而‘朝阳一号’未成熟胚表现相对最好，杂交坐果率、有胚率均较高，败育程度最轻，得到杂种胚的数量最多，就获得较多杂交后代而言，‘朝阳一号’为适合的杂交母本。

父本对甜樱桃杂种胚发育有一定影响。以‘超早红’‘04-8’为父本的杂交组合未成熟胚有胚率较低（平均值37.26%和26.7%），且杂种胚败育严重，平均败育率达96.67%和95.65%，不适合作为杂交父本。以‘紫晶’和‘朝阳一号’为父本的杂交组合未成熟胚有胚率高（分别为65.84%和75.21%），多数胚亮白且饱满，发育情况良好，优选为杂交父本。

以‘朝阳一号’和‘先锋’进行正反交可见（表

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 不同父母本对甜樱桃种内及种间杂交效率的影响

Table 1 The effect of the parents on the hybrid efficiency of intra-species and interspecies cross

组合 Cross			2017年 In 2017					2018年 In 2018				
母本 Female parent	父本 Male parent		坐果率* Fruit-set/ %	坐果率** Fruit-set/ %	有胚率** Embryos/ %	败育率** Aborted embryos/ %	杂交效率** Efficiency of the cross/%	坐果率* Fruit-set/ %	坐果率*** Fruit-set / %	有胚率**** Embryos/ %	败育率**** Aborted embryos/%	杂交效率**** Efficiency of the cross/%
江南红 Jiang nanhong	甜樱桃 Sweet cherry	04-8	77.50 a	10.00 d	66.67 b	50.00 d	3.33	93.10 b	21.55 d	10.53 h	100.00 a	0.00
		04-11	25.93 i	1.85 i	0.00 h	100.00 a	0.00	76.36 h	17.58 h	5.00 i	100.00 a	0.00
		朝阳一号 Chaoyang-1	60.53 d	14.47 b	18.18 d	100.00 a	0.00	94.51 a	24.18 c	83.33 a	66.67 d	6.72
		先锋 Van	50.38 g	13.67 c	38.89 c	100.00 a	0.00	90.63 c	35.94 a	80.00 b	60.00 e	11.50
		拉宾斯 Lapins	52.45 f	14.69 a	71.43 a	53.33 c	4.90	73.96 i	31.25 b	25.00 e	90.00 b	0.78
	中国樱桃 Chinese cherry	超早红 Chaozaohong	64.73 b	6.98 f	11.11 f	94.44 b	0.04	81.29 g	17.74 g	14.29 g	100.00 a	0.00
		短柄 Duanbing	62.18 c	5.70 h	0.00 h	100.00 a	0.00	69.23 j	6.80 j	50.00 c	100.00 a	0.00
		葛家坞 Gejiawu	45.88 h	6.47 g	9.09 g	100.00 a	0.00	88.41 d	10.73 i	50.00 c	100.00 a	0.00
		黑珍珠 Heizhenzhu	53.62 e	8.70 e	16.67 e	100.00 a	0.00	82.56 f	21.51 e	24.00 f	100.00 a	0.00
		紫晶 Zijing	-	-	-	-	-	83.59 e	17.97 f	40.00 d	80.00 c	1.44
朝阳一号 Chao yang-1	甜樱桃 Sweet cherry	04-11	90.00 c	72.00 a	86.11 c	100.00 a	0.00	85.11c	29.79 c	60.87 c	56.52 g	7.88
		先锋 Van	79.76 d	71.43 b	86.67 b	100.00 a	0.00	79.57g	33.33 b	80.00 a	40.00 h	16.00
		拉宾斯 Lapins	76.19 f	52.38 f	100.00 a	100.00 a	0.00	82.61e	23.74 h	50.00 e	100.00 a	0.00
	中国樱桃 Chinese cherry	超早红 Chaozaohong	73.53 g	58.82 e	100.00 a	100.00 a	0.00	92.42 a	22.02 g	47.50 f	90.00 b	1.04
		短柄 Duanbing	90.32 b	61.29 c	88.51 b	100.00 a	0.00	82.11 f	37.30 a	18.18 h	86.36 c	0.93
		葛家坞 Gejiawu	77.27 e	34.09 g	100.00 a	100.00 a	0.00	82.67 d	25.00 f	68.25 b	58.73 f	7.04
		黑珍珠 Heizhenzhu	94.59 a	59.46 d	72.73 d	100.00 a	0.00	89.18 b	27.54 e	39.06 g	78.13 d	2.35
		紫晶 Zijing	-	-	-	-	-	78.22 h	29.70 d	56.67 d	60.00 e	6.73
长丰一号 Chang feng-1	甜樱桃 Sweet cherry	04-8	-	-	-	-	-	93.13 a	13.74 b	69.57 f	86.96 d	1.25
		04-11	84.15 d	17.07 b	100.00 a	100.00 a	0.00	48.57 d	4.76 d	75.00 e	100.00 a	0.00
		朝阳一号 Chaoyang-1	68.48 f	17.39 a	87.50 c	100.00 a	0.00	85.00 b	16.00 a	92.31 c	57.69 i	6.25
		先锋 Van	64.78 g	14.17 c	74.29 e	69.23 b	3.24	78.57 c	11.61 c	100.0 a	75.00 e	2.90
		拉宾斯 Lapins	84.54 b	4.35 d	88.89 b	100.00 a	0.00	79.51 c	15.57 a	94.44 b	72.22 f	4.08
	中国樱桃 Chinese cherry	超早红 Chaozaohong	92.31 a	0.00 i	0.00 h	100.00 a	0.00	95.91a	2.23 e	50.00 h	100.00 a	0.00
		短柄 Duanbing	79.19 e	0.51 g	100.00 a	100.00 a	0.00	85.02 b	4.12 de	25.00 j	87.50 c	0.13
		葛家坞 Gejiawu	63.04 i	3.50 e	44.44 f	100.00 a	0.00	76.00 c	3.00 ef	45.45 i	90.91 b	0.12
		黑珍珠 Heizhenzhu	84.53 c	2.76 f	80.00 d	100.00 a	0.00	83.33 b	3.33 ef	85.71 d	71.42 g	0.82
		紫晶 Zijing	-	-	-	-	-	94.12 a	3.92 de	66.67 g	66.67 h	0.87

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1（续）　Table 1（continued）

组合 Cross			2017年 In 2017					2018年 In 2018				
母本 Female parent	父本 Male parent		坐果率* Fruit-set/%	坐果率** Fruit-set/%	有胚率** Embryos/%	败育率** Aborted embryos/%	杂交效率** Efficiency of the cross/%	坐果率* Fruit-set/%	坐果率*** Fruit-set /%	有胚率**** Embryos/%	败育率**** Aborted embryos/%	杂交效率**** Efficiency of the cross/%
先锋 Van	甜樱桃 Sweet cherry	04-8						100.00 a	33.33 a	0.00 f	100.00 a	0.00
		04-11						76.92 d	13.46 c	85.71 b	71.43 c	3.30
		朝阳一号 Chaoyang-1						76.67 d	6.67 e	50.00 c	50.00 e	1.67
		拉宾斯 Lapins						85.58 c	11.54 d	41.67 d	66.67 d	1.60
	中国樱桃 Chinese cherry	葛家坞 Gejiawu						78.13 d	0.00 g	0.00 f	100.00 a	0.00
		黑珍珠 Heizhenzhu						92.06 b	16.36 b	13.79 e	93.10 b	0.16
		紫晶 Zijing						74.75 e	2.02 f	100.00 a	50.00 f	1.01

注：*授粉后7 d；**成熟期；***授粉后28 d；****未成熟时；-没有杂交组合。下同。

Note: * 7 days after pollination; ** mature stage; *** 28 days after pollination; **** immature stage; -no hybrid cross. The same below.

A. 成熟种子；B. 成熟种胚；C. 未成熟胚；D. 败育成熟胚。

A. Mature seed; B. Mature embryos; C. Immature embryos; D. Aborted embryos.

图2　杂种胚不同发育状态

Fig. 2　Different developmental states of hybrid embryos

2），‘朝阳一号’做母本杂交效率更高。

2.2　不同父母本对甜樱桃种内及种间F_0杂交果实的影响

2017年5—6月对采收的全部杂交果进行果形、果色调查及可溶性固形物含量测定。3种母本不同父本的多个组合的F_0果实颜色及形状均表现出了母本果实开放授粉的色泽及形状，不受父本品种色泽及形状的影响（图3）。母本、种内杂交及种间杂交的果形指数（表3）‘江南红’为0.71，0.72，0.71；‘朝阳一号’和‘长丰一号’的依次为分别：0.86，0.88，0.87和0.93，0.92，0.94。试验结果表明（表3）杂交F_0果实的可溶性固形物含量种间杂交果低于种内的，二者都

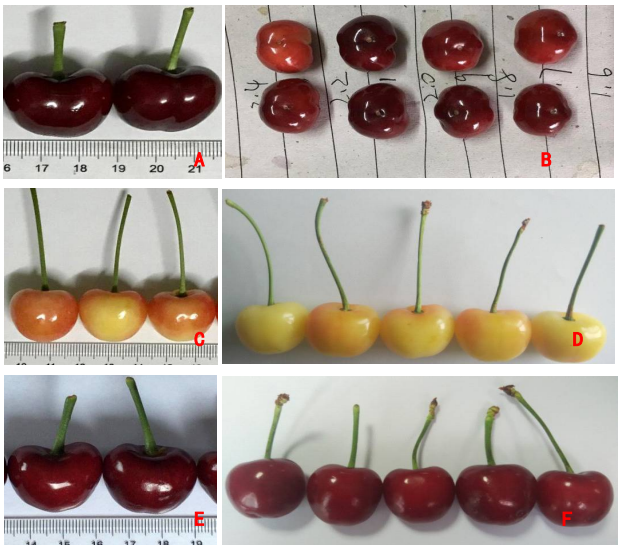
表2　父母本对甜樱桃种内正反交杂交效率的影响

Table 2　The effect of the parent on the hybrid efficiency of orthogonal and inverse crossing

母本 Female parent	父本 Male parent	坐果率* Fruit-set/%	坐果率*** Fruit-set/%	有胚率**** Embryos/%	败育率**** Aborted embryos/%	杂交效率**** Efficiency/%
朝阳一号 Chaoyang-1	先锋 Van	79.57	33.33	80.00	40.00	16.00
先锋 Van	朝阳一号 Chaoyang-1	76.67	6.67	50.00	50.00	1.67

低于开放授粉的母本果实（所有杂交组合中除以‘朝阳一号’为母本，‘先锋’为父本的F_0杂交果外），这可能是受到了花粉直感效应的影响。杂交F_0果实的单果质量规律不明显。杂交F_0果实发育均比开放花粉的母本晚7 d左右（其同一日期果实外观如图4所示），这个可能与花粉效应有关，也有可能是杂交果实指定日期授粉，此时开放花粉的母本已经在自然状态下授粉了。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



A. 江南红; B. 江南红×04-8; C. 朝阳一号; D. 朝阳一号×拉宾斯; E. 长丰一号; F. 长丰一号×先锋。

A. Jangnanhong; B. Jangnanhong × 04-8; C. Chaoyang-1; D. Chaoyang-1×Lapins; E. Changfeng-1; F. Changfeng-1×Van.

图 3 F_0杂交果果形与果色

Fig. 3 F_0 Hybrid fruit

3 讨 论

甜樱桃杂交育种成果少与育种难度高年限长且育种规律不明确有关。长期以来我国甜樱桃主要集中在温带的环渤海湾区及陇海铁路沿线，为数不多的杂交试验研究及品种均产生于这些区域。现浙江省实现了甜樱桃北果南移的第一步，完成了其育种的第一阶段[14]，为揭示杂交育种的规律，获得杂交后代，浙江省农业科学院园艺所樱桃小组尝试研究甜樱桃种内杂交及种间杂交，为南方甜樱桃提供有力的支撑。

试验材料多为其他研究中未涉及的材料，有本单位新品种‘江南红’‘紫晶’，新品系‘朝阳一号’，主栽品种‘短柄’‘黑珍珠’及部分适宜品种和品系。

授粉14 d后坐果率急速下降与是否受精有关。通过杂交坐果率的高低来鉴别甜樱桃杂交是否亲和，低至3%不亲和，高于5%则说明亲和[15]。试验授粉7 d后，所有组合的坐果率均较高，说明各组合间有一定的亲和性。随果实发育，至授粉后28 d及成熟期有不同程度较大幅度的下降，这符合果树授粉受精后经过生理落果期坐果率下降的规律。至成熟期时种内除‘江南红’×‘04-11’坐果率1.85%低于3%，‘长丰一号’×‘拉宾斯’坐果率4.35%低于5%，其他组合坐果率均高于5%；种间以‘长丰一号’为母本均低于5%。

亲本尤其是母本对坐果率影响显著，同一母本种间杂交坐果率较低，杨红花等[16]和杜含梅等[11]的研究结果也不同程度的反映了这个结论。本次试验4个母本中‘朝阳一号’的种内和种间杂交坐果率均最高。以‘长丰一号’为母本的种间杂交坐果率为本次试验所有组合中最低。

杂种胚极易败育，阻碍育种工作。本试验结果显示甜樱桃杂种胚发育存在较大差异，成熟时胚败育率高，未成熟则相对较低。甜樱桃不同母本种内杂交组合及其与中国樱桃的种间组合有较大差异。母本‘朝阳一号’成熟期杂种胚全部败育，未成熟时‘朝阳一号’×‘先锋’败育率仅40.00%。本试验甜樱桃种内杂交组合比其与中国樱桃的种间组合有胚率高且败育率低，这与大多数果树种内易于杂交而种间难于杂交的规律一致。

父本对杂种胚发育情况有一定影响，种内以‘朝阳一号’为父本最好，种间以‘紫晶’较好。若仅以得到较多杂交后代为目的，供试父母本中‘朝阳一号’既是很好的母本，又是较好的父本，且其为母本更好。

本试验中F_0果实颜色及形状均表现出了母本果实开放授粉的色泽及形状，不受父本品种影响。这说明F_0果实的颜色及形状受母本影响更大，花粉直感现象不明显。而F_0果实的可溶性固形物表现出种间杂交果低于种内，二者均低于开放授粉的母本果实，且成熟期推迟，这个可能与花粉效应有关。若想进一步分析规律需等到F_1果实。

综合不同时期坐果率、有胚率及败育率发现得到可以萌发成熟胚的可能性极低，这充分说明了甜樱桃育种的难度，尤其是南方甜樱桃育种的难度。为获得杂交后代提高育种效率，笔者建议南方甜樱桃杂交育种中：1)可以利用主产区兄弟单位的杂交后代引入浙江进行有针对性地筛选[14]。2)幼胚挽救也是必走的途径之一。此次试验就反映出未成熟胚败育程度相对较轻，这为胚挽救提供了可能。以本试验获得的未成熟胚挽救，我们已获得了多个杂交苗，进一步的筛选正在进行中。3)若仅以获得杂交后代为目的，为提高杂交效率可以尝试混合花粉的开放授粉。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　不同父母本对甜樱桃种内及种间 F_0 杂交果实性状的影响

Table 3 The effect of the parents on the F_0 fruit of species and interspecies cross

母本 Female parent	父本（种内）Sweet cherry male parent	单果质量 Fruit mass/g	横径 Transverse diameter/mm	纵径 Longitudinal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	w（可溶性固形物）Soluble solid content/%	父本（种间）Chinese cherry male parent	单果质量 Fruit average mass/g	横径 Transverse diameter mm	纵径 Longitu-dinal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	w（可溶性固形物）Soluble solids content/%
江南红 Jiang nanhong	04-8	6.10	20.84	15.06	0.72 c	17.21 d	超早红 Chaozaohong	5.11	20.68	15.33	0.74 b	14.19 i
	04-11	8.30	25.00	18.10	0.72 c	19.90 b	短柄 Duanbing	3.92	18.12	13.62	0.75 a	12.33 j
	朝阳一号 Chaoyang-1	6.50	21.20	15.20	0.72 c	14.89 f	葛家坞 Gejiawu	4.56	19.24	13.71	0.71 d	14.76 g
	先锋 Van	7.08	22.98	17.09	0.74 b	16.44 e	黑珍珠 Heizhenzhu	3.74	17.80	12.90	0.72 c	14.43 h
	拉宾斯 Lapins	5.14	20.90	14.57	0.70 e	18.90 c						
	开放授粉	7.00	23.08	16.33	0.71 d	20.35 a						
朝阳一号 Chao yang-1	04-8	-	-	-	-	-	超早红 Chaozaohong	4.34	18.22	16.22	0.89 b	14.98 e
	04-11	4.86	20.74	17.84	0.86 d	16.17 c	短柄 Duanbing	4.94	18.63	16.21	0.87 c	15.31 d
	先锋 Van	2.58	17.69	16.21	0.92 a	13.52 h	葛家坞 Gejiawu	4.30	20.09	17.43	0.87 c	14.68 g
	拉宾斯 Lapins	3.77	19.75	17.15	0.87 c	17.28 b	黑珍珠 Heizhenzhu	4.09	19.53	16.99	0.87 c	14.77 f
	开放授粉	4.34	22.16	19.04	0.86 d	20.43 a						
长丰一号 Chang feng-1	04-8	-	-	-	-	-	超早红 Chaozaohong	-	-	-	-	-
	04-11	-	-	-	-	-	短柄 Duanbing	7.11	22.79	21.22	0.93 b	17.10 e
	先锋 Van	6.67	24.30	22.33	0.92 c	18.30 c	葛家坞 Gejiawu	7.67	23.18	22.48	0.97 a	16.55 f
	拉宾斯 Lapins	6.26	23.25	21.39	0.92 d	19.77 b	黑珍珠 Heizhenzhu	5.18	22.24	20.76	0.93 c	18.10 d
	开放授粉	5.61	23.37	21.84	0.93 e	20.31 a						

A 右．江南红；A 左．江南红× 黑珍珠；B 右．长丰一号；B 左．长丰一号× 短柄；C 右．朝阳一号；C 左．朝阳一号× 04-11。

A right. Jangnanhong; A left. Jangnanhong×Heizhengzhu; B right. Changfeng-1; B left. Changfeng-1 × Duanbing; C right. Chaoyang-1; C left. Chaoyang-1× 04-11.

图 4　同一时间母本成熟果实与杂交果未成熟果实比较

Fig. 4 Maturity of hybrid fruit

参考文献 References:

[1] 张开春，闫国华，张晓明，王晶，段续伟．中国甜樱桃的栽培历史、生产现状及发展建议[J]. 落叶果树，2017，49(6): 1-5.
ZHANG Kaichun，YAN Guohua，ZHANG Xiaoming，WANG jing，DUAN Xuwei. Present situation and development suggestions of chinese sweet cherry cultivation history[J]. Deciduous Fruit，2017，49 (6): 1-5.

[2] 陈学森，杨红花，刘焕芳，李玉晖，冯宝春．利用远缘杂交创造核果类果树新种质的研究[J]. 落叶果树，2004(6): 4-6.
CHEN Xuesen，YANG Honghua，LIU Huanfang，LI Yuhui，FENG Baochun. Employing distant hybridization to create new germplasm of stone fruit trees[J]. Deciduous Fruit，2004(6): 4-6.

[3] SCHUSTER M，GRAFE C，HOBERG E，SCHÜTZE W. Interspecific hybridization in sweet and sour cherry breeding[J]. Acta Horticulture，2013(10): 79-86.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[4] 刘庆忠，张力思，李勃，魏海蓉，艾呈祥，赵红军 . 甜樱桃矮化砧木新品种‘吉塞拉 6 号’[J]. 园艺学报，2006，33(1): 213.
LIU Qingzhong，ZHANG Lisi，LI Bo，WEI Hairong，AI Chengxiang，ZHAO Hongjun. A new cherry dwarf rootstock variety ‘Jisaila 6’ [J]. Acta Horticulturac Sinica，2006，33(1): 213.

[5] 于福顺，姜林，刘方新，张翠玲，刘之洲，王正欣 . 甜樱桃砧木的利用与发展建议[J]. 果树学报，2014，31(增刊): 18-21.
YU Fushun，JIANG Lin，LIU Fangxin，ZHANG Cuiling，LIU Zhizhou，WANG Zhengxin. Suggestions on the development and utilization of the sweet cherry rootstocks[J]. Journal of Fruit Science，2014，31(Suppl.): 18-21.

[6] 郑玮，潘凤荣 . 我国选育的甜樱桃品种特点分析及展望[J]. 中国果树，2016 (3): 51-54.
ZHENG Wei，PAN Fengrong. Analysis and prospect of the characteristics of sweet cherry varieties selected in China[J]. China Fruits，2016 (3): 51-54.

[7] 吴延军，刘庆忠，陈鸿才，吴江，陈再宏，郑家祥 . 适宜亚热带地区种植的甜樱桃新品种‘江南红’[J]. 园艺学报，2018，45(S2): 2721-2722.
WU Yanjun，LIU Qingzhong，CHEN Hongcai，WU Jiang，CHEN Zaihong，ZHENG Jiaxiang. A new sweet cherry cultivar ‘Jiangnan Hong’ in subtropical region[J]. Acta Horticulturac Sinica，2018，45(S2): 2721-2722.

[8] 李明，赵改荣，刘聪利，李玉红，黄贞光，耿乐乐 . 早熟欧洲甜樱桃高效胚培养成苗技术研究[J]. 果树学报，2014，31(增刊): 70-73.
LI Ming，ZHAO Gairong，LIU Congli，LI Yuhong，HUANG Zhenguang，GENG Lele. High seeding percentage obtained by embryo culture of the early maturing sweet cherry (*Prunus avium*)[J]. Journal of Fruit Science，2014，31(Suppl.): 70-73.

[9] 程和禾，吴雅琴，吴永杰，李玉生，陈龙，赵艳华 . 甜樱桃杂交后代自交亲和性鉴定[J]. 河北农业科学，2012，16(7): 63-65.
CHENG Hehe，WU Yaqin，WU Yongjie，LI Yusheng，CHEN Long，ZHAO Yanhua. Identification of self-compatibility of hybrid progenies of sweet cherry[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences，2012，16(7): 63-65.

[10] 李春侨，周龙，陆彪，刘春燕，董凯向 . 天山樱桃野生居群遗传多样性 ISSR 分析[J]. 分子植物育种，2017，15(6):2420- 2426.
LI Chunqiao，ZHOU Long，LU Biao，LIU Chunyan，DONG Kaixiang. Analysis of genetic diversity of wild Cerasus tianschanica populations by SSR molecular markers[J]. Molecular Plant Breeding，2017，15(6)：2420-2426.

[11] 杜含梅，王小蓉，陈涛，张宏伟，杜涛 . 中国樱桃种内及与欧洲甜樱桃杂交的初步分析[J]. 广西植物，2015(2): 227-230.
DU Hanmei，WANG Xiaorong，CHEN Tao，ZHANG Hongwei，DU Tao. Preliminary study on intraspecific hybridization of *Cerasus pseudocerasus* and interspecific hybridization with *C. avium*[J]. Guihaia，2015(2): 227-230.

[12] 王浩，黄智林，陈涛，张静，王燕，陈清，汤浩茹，王小蓉 . 基于 ITS 序列的中国樱桃、欧洲甜樱桃和毛樱桃种内遗传多样性及种间关系分析[J]. 园艺学报，2018，45(1): 126-138.
WANG Hao，HUANG Zhilin，CHEN Tao，ZHANG Jing，WANG Yan，CHEN Qing，TANG Haoru，WANG Xiaorong. Genetic diversity and relationship analysis among *Cerasus pseudocerasus*，*C. avium*，and *C. tomentosa* based on internal transcribed spacer(ITS) sequences[J]. Acta Horticulturac Sinica，2018，45(1): 126-138.

[13] 王钦丽，卢龙斗，吴小琴，陈祖铿，林金星 . 花粉的保存及其生活力测定[J]. 植物学通报，2002，19(3): 365-373.
WANG Qinli，LU Longdou，WU Xiaoqin，CHEN Zukeng，LIN Jinxing. Pollen preservation and its viability test[J]. Chinese Bulletin of Botany，2002，19(3): 365-373.

[14] 吴延军，戚行江，周慧芬，袁玥，武凯翔 . 浙江省甜樱桃品种选育现状与发展策略[J]. 果树学报，2018，35(12): 1559-1564.
WU Yanjun，QI Xingjiang，ZHOU Huifen，YUAN Yue，WU Kaixiang. Current situation and strategies of sweet cherry breeding in Zhejiang province[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(12): 1559-1564.

[15] 孙玉刚，王绛辉，秦志华，闫桂红 . 甜樱桃授粉不结实的原因及授粉品种的配置[J]. 落叶果树，2007，36(6): 15-19.
SUN Yugang，WANG Jianghui，QIN Zhihua，YAN Guihong. Reasons for pollination of sweet cherry and the configuration of pollination varieties[J]. Deciduous Fruits，2007，36(6): 15-19.

[16] 杨红花，陈学森，冯宝春，刘焕芳，郑洲 . 利用远缘杂交创造核果类果树新种质的研究Ⅱ. 李、杏远缘杂种胚抢救及杂种鉴定[J]. 中国农业科学，2004，37(8): 1203-1207.
YANG Honghua，CHEN Xuesen，FENG Baochun，LIU Huanfang，ZHENG Zhou. Creating new germplasm by distant hybridization in stone fruits Ⅱ. embryo rescue and hybrid identification between plum and apricot[J]. Scientia Agricultura Sinica，2004，37(8): 1203-1207.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net