

柿属部分品种杂交亲和性以及结实性的研究

赵 丹^{1,3}, 王 飞^{2,*}, 赵秀明², 杨凤美¹, 余 亮², 牛 佳¹

(¹西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; ²西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; ³陕西职业技术学院, 西安 710000)

摘 要: 以柿属中柿种的 5 个品种和美洲柿种的 1 个品种为母本, 柿种的 4 个雄株为父本进行杂交, 研究结实特性。通过离体培养法比较雄株的花粉活力, 利用荧光显微镜观察不同杂交组合花粉与柱头的亲和性, 统计其亲和指数和坐果率。4 个雄株花粉活力大小依次为 ‘杂 3-2’ > ‘禅寺丸’ > ‘杂 4-2’ > ‘正月’; 在 24 个杂交组合中亲和性最高的是 ‘新昌牛心柿’ × ‘杂 3-2’ 组合, 亲和指数为 1.30, 坐果率为 73.88%, 亲和性最低的是 ‘美洲柿’ × ‘正月’ 组合, 亲和指数为 0.03, 坐果率为 17.22%。‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’ 存在真单性结实和刺激性单性结实现象, ‘花县大红柿’ 为真单性结实, ‘美洲柿’、‘若杉次郎’ 和 ‘帽盔柿’ 为假单性结实。柿种间杂交亲和性小于种内杂交亲和性, 同种内不同品种间杂交亲和性与坐果率也存在着差异, 且亲和指数与坐果率密切相关。

关键词: 柿; 杂交; 花粉活力; 亲和性; 坐果率

中图分类号: S 665.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2012) 11-2229-09

Studies of Cross Compatibility and Fecundity on Part of *Diospyros*

ZHAO Dan^{1,3}, WANG Fei^{2,*}, ZHAO Xiu-ming², YANG Feng-mei¹, YU Liang², and NIU Jia¹

(¹Department of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; ²Department of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; ³Shanxi Vocational & Technical College, Xi'an 710000, China)

Abstract: Five varieties of *Diospyros kaki*, one variety of *Diospyros virginiana* were used as female plants, and four varieties of *Diospyros kaki* were used as male plants to study the fecundity of the hybrid. Pollen viability was observed by culture in vitro method. Cross compatibility among different crossing combinations was determined using fluorescence microscope. Fruit setting rate and compatibility index resulted from different combinations of crossing were calculated. The pollen viability of four male plants from the highest to the lowest was ‘Za 3-2’, ‘Zenjimarui’, ‘Za 4-2’, ‘Shougatsu’. Among the 24 crossing combinations under study, ‘Xinchang Niuxinshi’ × ‘Za 3-2’ had the highest compatibility index (1.30) and fruit setting rate (73.88%), while the lowest compatibility index (0.03) and fruit setting rate (17.22%) were observed in Meizhoushi × Shougatsu. The phenomenon of parthenocarpy and sti-parthenocarpy was observed in Mopanshi and Xinchang Niuxinshi. The phenomenon of parthenocarpy was observed in Huaxian Dahongshi. The phenomenon of non-parthenocarpic was observed in Meizhoushi, Maokuishi and Wakasugikeijirou. The cross compatibility of interspecific persimmon fruits was lower than that of

收稿日期: 2012-06-29; 修回日期: 2012-10-12

基金项目: 农业部种质资源保护项目 (NB2010-2130135-21)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: xnwangfei521@126.com)

intraspecific persimmon fruits; The cross compatibility and fruit setting rate varied among different varieties, and the cross compatibility index had close correlation with fruit setting rate.

Key words: permission; hybrid; pollen viability; compatibility; fruit setting rate

柿是柿科 (Ebenaceae) 柿属 (*Diospyros*) 植物中作为果树利用的代表种 (罗正荣 等, 1996), 有甜柿、不完全甜柿及涩柿之分 (陈建业, 2007); 同时柿染色体组成有 $2x$ 、 $6x$ 、 $9x$, 易导致配子减数分裂的不正常, 进而影响到杂交的亲合性; 而且柿中有单性结实、花粉刺激性结实以及假单性结实现象 (扈惠灵 等, 2006); 同时在柿不同组合的杂交后代中, 有的表现为有核, 有的表现为无核; 这些原因导致了柿属植物进行常规杂交育种的亲本选配以及获得真正杂交种子, 较其他果树困难得多 (童敏 等, 2008)。因此, 研究柿属的杂交亲和性和结实性对柿杂交育种亲本的选择, 具有重要的理论依据和实用价值。近年来, 国内外学者在柿属杂交育种方面的研究取得了一些进展。主要集中在对柿杂种败育以及胚挽救等方面的研究, 如徐莉清 (2008) 等研究了次郎幼胚发育阶段对胚抢救效果的影响, 扈惠灵等 (2006) 对‘磨盘柿’的杂种形成与败育状况进行了系统的调查研究。但柿种间及种内雌雄株的杂交亲和性如何, 以及种内杂交雄株对后代坐果率的影响, 迄今鲜有深入系统的研究报道。

本研究中以柿属柿种的 5 个品种和美洲柿种的 1 个品种为母本, 柿种的 4 个雄株为试材进行杂交研究, 旨在探明其杂交亲和性和结实性状况, 为柿属杂交育种亲本的选择以及杂交组合的选配提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验室外工作于 2010—2011 年在陕西省国家柿种质资源圃进行, 室内工作是在西北农林科技大学园艺学院实验室完成。供试材料母本为柿种的 5 个品种, 美洲柿的 1 个品种, 父本为柿种的 4 个品种 (表 1)。

1.2 花粉采集及活力鉴定

每个雄株品种选 3 株在大蕾期采集花蕾, 剥除花药, 温室阴干, 研磨过筛后放入青霉素小药瓶里, 置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中备用。

花粉活力测定采用离体萌发法 (贾爱平 等, 2010a, 2010b), 培养基为 0.5% 琼脂 + $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 硼酸 + 20% 蔗糖, pH 值为 $6.4\sim 6.8$, 在载玻片上用滴管滴上配好的培养基, 用头发丝蘸花粉均匀播种于培养基中, 放入底部铺有湿滤纸的培养皿中, 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温箱中进行离体培养, 分别于培养 1.5、3、4.5、6、7.5 和 9 h 时进行观察。每次随机取 5 个视野进行观察, 观察的总花粉数, 不少于 100 粒。每个处理重复 3 次。

1.3 授粉组合及方法

4 种处理包括对照, 套袋自交, 无生活力的花粉授粉杂交和不同杂交组合的杂交试验。其中, 将保存于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中的 2009 年采集的花粉, 经过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温处理 1 h 得无生活力的花粉。

不同杂交组合的杂交试验, 父本在头状花序开放散粉前套袋隔离, 收集已套袋的父本新鲜花粉。母本选取完全雌花且发育良好的花蕾, 授粉时选取树冠不同部位的结果枝, 在舌状花刚露色时进行套袋。6 个雌株与 4 个雄株, 共 24 个杂交组合, 每个杂交组合授粉 30 朵, 3 次重复, 共计 90 朵花。

分别于父本花粉采集后的第 2 天对‘帽盔柿’、‘若杉次郎’、‘新昌牛心柿’、‘磨盘柿’和‘华县大红柿’进行授粉，第 4 天对‘美洲柿’进行授粉，挂牌标记。

1.4 花粉亲和力观察

用刀片将授粉后 8 h 的花柱从基部切除，用 FAA（99%酒精：乙酸：福尔马琳 = 90：5：5）固定 24 h 以上，再用 1 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液在 65 ℃下软化脱色，样品变为褐色后（约 2 min）用清水冲洗，以 0.1 mol·L⁻¹ K₃PO₄ 的 0.1%水溶性苯胺蓝溶液浸泡 12 h，花柱的压片参照 Kho 和 Bear(1968)的方法，用 Olympus BHF 荧光显微镜观察柱头上的花粉附着与萌发情况（激发滤片 BG12，阻断滤片 475）并拍照。

亲和性判定采用 Thompson（1997）的方法，即根据花粉在柱头的萌发情况和花粉管在花柱组织内的生长判断其亲和程度。花粉管在花柱表面扭曲，生长停滞，伸入不到柱头里面为授粉不亲和，花粉管大量伸入到柱头里面并沿花柱道向下生长且受精结实为授粉亲和，有花粉萌发但萌发量少、受精结实低的为部分亲和。亲和指数 = 结籽数/花序数。

表 1 供试材料
Table 1 Material used in experiment

材料 Material	品种 Variety	倍性 Ploidy	类型 Type	特点 Feature	来源 Origin
雄株 Male plant (♂)	杂3-2 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Za3-2’	2n = 6x = 90	PCA	只开雄花，花粉量多 Staminate flower only, a large amount of pollen	中国陕西 Shaanxi, China
	杂4-2 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Za4-2’	2n = 6x = 90	PCA	雌花雄花和完全花同株，雄花花粉量大 Pistillate flower, staminate flower and complete flower, staminate flower has a large amount of pollen	中国陕西 Shaanxi, China
	禅寺丸 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Zenjimaru’	2n = 6x = 90	PVNA	雌花和雄花，雄花花粉量大 Pistillate flower, staminate flower, staminate flower has a large amount of pollen	日本 Japan
雌株 Female plant (♀)	正月 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Shougatsu’	2n = 6x = 90	PVNA	雄花的花粉量中等 Staminate flower has a large amount of pollen	日本 Japan
	新昌牛心柿 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Xinchang Niuxinshi’	2n = 6x = 90	PCA	果实中等大，种子少 Medium fruit, few seed	中国河南 Henan, China
	帽盔柿 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Maokuishi’	2n = 6x = 90	PCA	果实中等大，有种子1~3粒 Medium fruit, one to three seeds	中国陕西 Shaanxi, China
	若杉次郎 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Wakasugikeijirou’	2n = 6x = 90	PCNA	有种子1~4粒 One to four seeds	日本 Japan
	花县大红柿 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Huaxian Dahongshi’	2n = 6x = 90	PCA	果实中等大，种子少 Medium fruit, few seed	中国广东 Guangdong, China
	磨盘柿 <i>D. kaki</i> Thunb. ‘Mopanshi’	2n = 6x = 90	PCA	果实极大，味甜，无核 Huge fruit, sweet, seedless	中国河北 Hebei, China
	美洲柿 <i>D. virginiana</i> ‘Meizhoushi’	2n = 6x = 90		果实小，有种子4~5粒 Little fruit, four or five seeds	以色列 Israel

注：PCA 为完全涩柿，PCNA 为完全甜柿，PVNA 为不完全甜柿。据资料统计，美洲柿类型目前不详。
Note: PCA: Completely astringent persimmon; PCNA: Completely non-astringent persimmon; PVNA: Incompletely astringent persimmon. Statistically, the type of Meizhoushi is unknown.

1.5 坐果率统计

于授粉当天挂牌记载日期，待果园内所有雄花开放结束后，方可去袋。待果实成熟时调查各杂交组合的坐果率。坐果率（%）=（坐果数 / 授粉花朵数）× 100。

2 结果与分析

2.1 不同柿品种间花粉生活力的比较

如图 1 所示, 离体培养 9 h, 4 个供试雄株的花粉萌发率从高到低依次为‘杂 3-2’和‘禅寺丸’、‘杂 4-2’、‘正月’。‘杂 3-2’与‘禅寺丸’之间花粉萌发率差异不大, 但与‘杂 4-2’和‘正月’间差异明显。离体培养, 3~6 h 花粉萌发较快, 6~9 h 相对较慢。

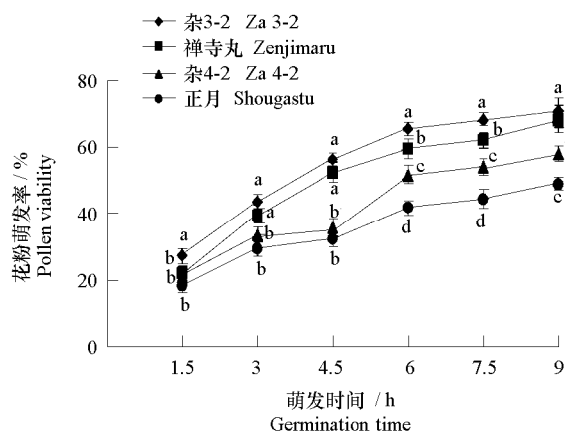


图 1 不同雄株花粉生活力的比较

Fig. 1 Comparison of pollen viability of different male plants

2.2 柿不同种间以及种内品种间杂交亲和性比较

对柿种和美洲柿种进行种间杂交, 花粉在柱头上均有不同程度的粘附与萌发。由表 2 和图 2 中 F1~F4 可知, 虽每个柱头上黏附的花粉粒数量较多, 但仅有极少量的萌发受精, 原因是柱头乳突细胞表面有不同程度的沉积胼胝质, 影响了美洲柿与其它柿种的亲和性, 试验证明柿种和美洲柿种种间杂交亲和性很低。根据两年的数据, 分析确定亲和指数小于 0.6 的为低亲和, 大于 0.6 小于 1.1 的为中亲和, 大于 1.1 的为高亲和。

从表 2 和图 2 中 A1~E4 可知, 种内杂交, 授粉后柱头乳突细胞表面无胼胝质沉积, 花粉粒在柱头上黏附萌发且受精; 从柱头上萌发的花粉数量及亲和指数来看, 种内各杂交组合之间存在差异。

同一父本与不同母本杂交, 亲和性存在一定的差异。如当父本同为‘杂 3-2’, 母本为‘帽盔柿’、‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’、‘花县大红柿’和‘若杉次郎’时, 5 个杂交组合中亲和性最高的为‘新昌牛心柿’×‘杂 3-2’, 亲和指数为 1.30, 亲和性最低的为‘磨盘柿’×‘杂 3-2’, 亲和指数为 0.19。试验证明‘杂 3-2’作为父本与‘新昌牛心柿’、‘帽盔柿’、‘若杉次郎’、‘花县大红柿’杂交易获得种子, 而与‘磨盘柿’杂交不易获得种子(表 3)。

当父本为‘禅寺丸’, 母本为‘帽盔柿’、‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’、‘花县大红柿’和‘若杉次郎’时, 5 个杂交组合亲和性最高的为‘帽盔柿’×‘禅寺丸’, 亲和指数为 1.29。亲和性最低的为‘磨盘柿’×‘禅寺丸’, 亲和指数为 0.16。试验证明‘禅寺丸’作为父本与‘新昌牛心柿’、‘帽盔柿’、‘若杉次郎’、‘花县大红柿’杂交易获得种子, 而与‘磨盘柿’杂交不易获得种子。

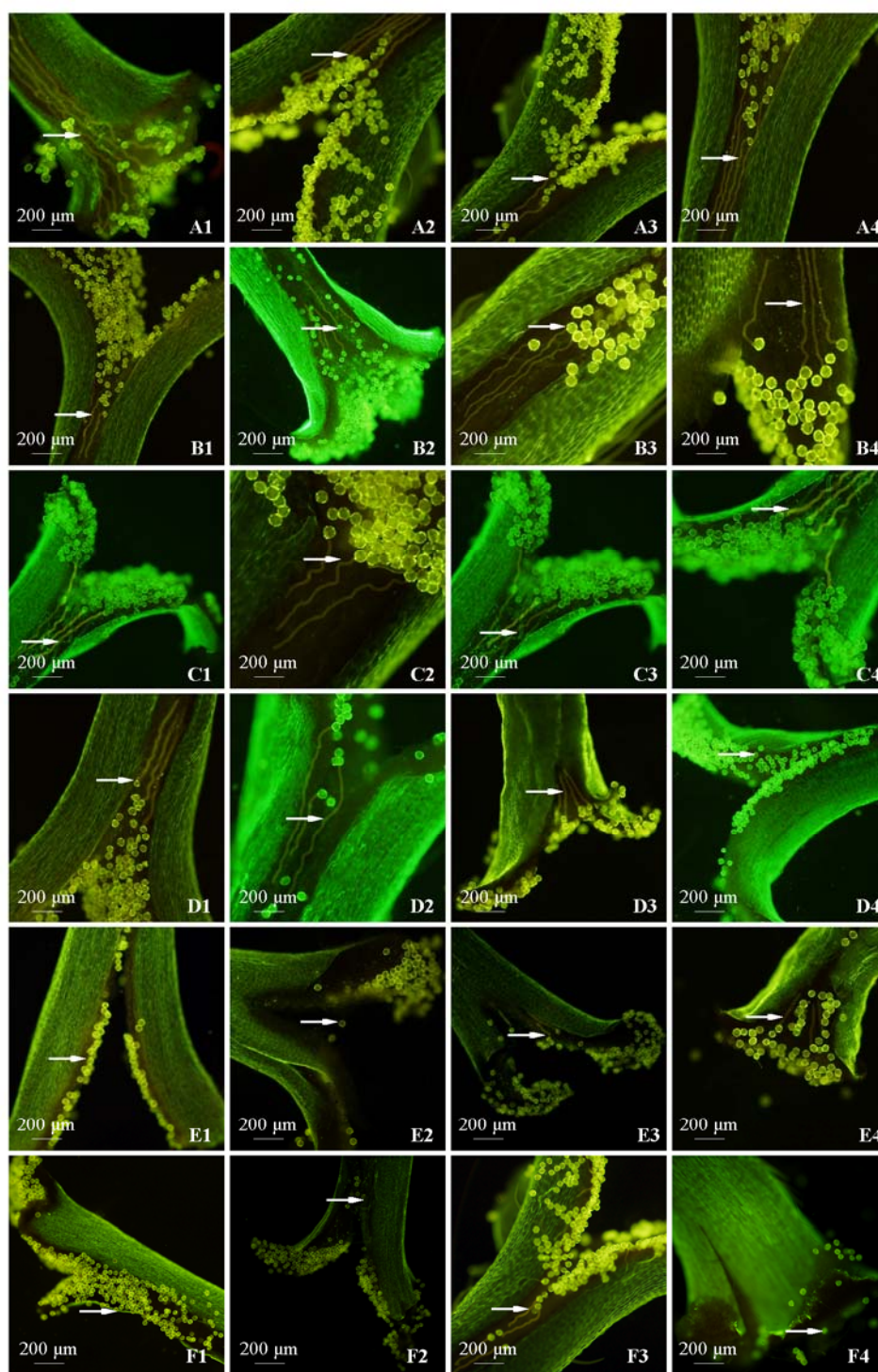


图 2 柿不同杂交组合亲和性的荧光观察

A~F: 母本 (A: ‘新昌牛心柿’; B: ‘帽盔柿’; C: ‘若杉次郎’; D: ‘花县大红柿’; E: ‘磨盘柿’; F: ‘美洲柿’).

1~4: 父本 (1: ‘杂 3-2’; 2: ‘禅寺丸’; 3: ‘杂 4-2’; 4: ‘正月’). 箭头所指为花粉的粘附且萌发。

Fig. 2 Fluorescence observation of cross-compatibility among different combinations

A~F: Female plants (A: Xinchang Niuxinshi; B: Maokuishi; C: Wakasugikeijirou; D: Huaxian Dahongshi; E: Mopanshi;

F: Meizhoushi). 1~4: Male plants (1: Za 3-2; 2: Zenjimaruru; 3: Za 4-2; 4: Shougatsu).

Arrows indicate pollen attachment and germination.

表 2 不同杂交组合的亲性和比较
Table 2 Comparison of cross-compatibility between different combinations

雌株 (♀) Female plant	雄株 Male plant (♂)							
	杂 3-2 Za 3-2		禅寺丸 Zenjimaruru		杂 4-2 Za 4-2		正月 Shougatsu	
	萌发情况 Germination condition	亲和指数 Compatibility index	萌发情况 Germination condition	亲和指数 Compatibility index	萌发情况 Germination condition	亲和指数 Compatibility index	萌发情况 Germination condition	亲和指数 Compatibility index
新昌牛心柿 Xinchang Niuxinshi	+++	1.30 a	+++	1.10 a	++	1.08 a	++	0.69 b
帽盔柿 Maokuishi	+++	1.25 a	+++	1.29 a	++	0.99 ab	++	0.76 b
若杉次郎 Wakasugikeijirou	+++	1.15 a	++	1.02 b	++	0.92 b	+	0.48 c
花县大红柿 Huaxian Dahongshi	++	0.86 a	++	0.73 a	++	0.62 b	+	0.53 b
磨盘柿 Mopanshi	+	0.19 a	+	0.16 a	+	0.13 ab	+	0.11 b
美洲柿 Meizhoushi	+	0.09 a	+	0.05 ab	+	0.04 b	+	0.03 b

注：“+++”表示花粉在柱头上粘附，高度萌发，花粉管大量伸入到柱头中且受精；“++”表示花粉在柱头粘附，有一定的萌发，且有部分花粉管伸入柱头并受精；“+”表示有花粉在柱头上粘附，有少量的萌发且受精。同行不同小写字母表示同一雌株与不同雄株杂交组合在 0.5%水平的差异显著。

Note:“+++”represents pollens were adhered on the stigma, a great deal of pollen tubes were formed and entered into the stigma;“++”represents pollens were adhered on the stigma, part of pollen tubes were formed and entered into the stigma;“+”represents only a small amount of pollens were adhered on the stigma, and entered into the stigma. The different lowercase in the same line shows difference among cross combinations of different male plant and the same female plant at 0.5% level.

当父本为‘杂 4-2’，母本为‘帽盔柿’、‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’、‘花县大红柿’和‘若杉次郎’时，5 个杂交组合亲和性最高的为‘新昌牛心柿’×‘杂 4-2’，亲和指数为 1.08。亲和性最低的为‘磨盘柿’×‘杂 4-2’，亲和指数为 0.13。试验证明‘杂 4-2’作为父本与‘新昌牛心柿’、‘帽盔柿’、‘若杉次郎’、‘花县大红柿’杂交易获得种子，而与‘磨盘柿’杂交不易获得种子。

当父本为‘正月’，母本为‘帽盔柿’、‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’、‘花县大红柿’和‘若杉次郎’时，5 个杂交组合亲和性最高的为‘帽盔柿’×‘杂 3-2’，亲和指数为 0.76。亲和性最低的为‘磨盘柿’×‘正月’，亲和指数为 0.11。试验证明‘正月’作为父本与‘新昌牛心柿’、‘帽盔柿’杂交易获得种子。而与‘磨盘柿’、‘若杉次郎’、‘花县大红柿’杂交不易获得种子。

由表 2 和图 2 还可知，同一母本和不同父本杂交，亲和性也存在一定的差异，如当母本同为‘新昌牛心柿’，父本分别为‘杂 3-2’、‘禅寺丸’、‘杂 4-2’、‘正月’时，4 个杂交组合亲和性最高的为‘新昌牛心柿’×‘杂 3-2’，亲和指数为 1.30，亲和性最低的为‘新昌牛心柿’×‘正月’，亲和指数为 0.69。从高到低依次为‘新昌牛心柿’×‘禅寺丸’、‘新昌牛心柿’×‘杂 4-2’。其余 5 个母本与不同父本杂交也存在类似情况。

2.3 不同杂交组合的坐果率和种子数调查

从表 3 不同柿子品种杂交组合及自然授粉的坐果率、种子数以及表 2 的亲指数来看，亲指数、坐果率以及种子数之间有一定的关系，且亲指数高的，其坐果率也高，单果种子数也较多。柿种间的亲和性和坐果率明显小于柿种内各品种之间杂交亲和性和坐果率，以‘杂 3-2’、‘禅寺丸’、‘杂 4-2’、‘正月’与‘美洲柿’杂交，坐果率分别为 28.89%、21.12%、19.68%和 17.22%，单果种子数分别为 0.10、0.07、0.06 和 0.05。

柿种内杂交，各杂交组合的坐果率存在一定的差异。以雄株品种‘杂 3-2’与母本‘新昌牛心柿’、‘帽盔柿’、‘若杉次郎’、‘花县大红柿’、‘磨盘柿’杂交，平均坐果率为 65.46%，平均单果种子数为 2.93；以‘禅寺丸’作为父本，与各母本杂交的平均坐果率为 61.58%，平均单果种子数为

2.73；以‘杂 4-2’作为父本，与各母本杂交的平均坐果率为 55.56%，平均单果种子数为 2.37；以‘正月’作为父本，与各母本杂交的平均坐果率为 46.09%，平均单果种子数为 1.77；在 20 个杂交组合中坐果率最高的为‘新昌牛心柿’×‘杂 3-2’组合，坐果率为 73.88%，亲和指数为 1.30，单果种子数为 3.98；坐果率最低的为‘磨盘柿’×‘正月’组合，坐果率为 35.55%，亲和指数为 0.11，单果种子数为 0.68（表 2 和表 3）。

从表 3 还可观察到无论哪个组合，人工授粉的坐果率以及种子数均明显高于自然授粉，自然授粉的坐果率最高只有 46.33%，最低仅为 10.56%，均值为 30.13%，自然授粉的种子数最高为 2.00，最低为 0.06，均值为 0.71。可见人工授粉对提高柿坐果率以及种子数具有重要作用。

表 3 不同杂交组合的坐果率以及单果种子数比较
Table 3 Comparison of fruit setting rate and seed number between different combinations

雌株（♀） Female plant	雄株 Male plant（♂）									
	杂 3-2 Za3-2		禅寺丸 Zenjimaruru		杂 4-2 Za4-2		正月 Shougatsu		自然授粉 Natural pollination	
	坐果率/ %	单果种子数 Seed	坐果率/ %	单果种子数 Seed	坐果率/ %	单果种子数 Seed	坐果率/ %	单果种子数 Seed	坐果率/ %	单果种子数 Seed
	Fruit setting rate	number of single fruit	Fruit setting rate	number of single fruit	Fruit setting rate	number of single fruit	Fruit setting rate	number of single fruit	Fruit setting rate	number of single fruit
新昌牛心柿 Xinchang Niuxinshi	73.88 a	3.98 a	68.78 b	3.30 ab	65.55 b	3.12 b	52.82 c	2.12 c	46.33 d	2.00 c
帽盔柿 Maokuishi	71.79 a	3.68 a	72.38 a	3.82 a	60.32 b	2.98 b	55.19 b	2.21 b	41.22 c	1.23 c
若杉次郎 Wakasugikeijirou	69.87 a	3.32 a	61.78ab	3.02 ab	59.92 b	2.87 b	41.11 c	1.83 c	37.00 d	0.80 d
花县大红柿 Huaxian Dahongshi	58.78 a	2.56 ab	53.21 a	2.49 a	51.11 b	2.01 b	45.78 b	1.99 ab	22.89 c	0.38 c
磨盘柿 Mopanshi	53.00 a	1.11 a	51.78 a	1.01 b	40.89 b	0.86 bc	35.55 b	0.68 cd	22.78 c	0.37 d
美洲柿 Meizhoushi	28.89 a	0.10 a	21.12 b	0.07 a	19.68 b	0.06 a	17.22 c	0.05 a	10.56 c	0.06 a

注：同行同项不同小写字母表示不同雄株与同一雌株杂交组合在 0.5%水平的差异显著。
Note: The different lowercase in the same line shows difference among cross combinations of different male plant and the same female plant at 0.5% level.

2.4 不同杂交组合的单性结实及无核果实率比较

由表 4 可看出，6 个供试雌株在自然授粉条件下可产生无核果实，无核果实率从高到低依次为 65.12%、63.23%、60.21%、45.07%、42.58%和 40.17%。而在套袋自交条件下 6 个雌株中，‘磨盘柿’、‘花县大红柿’、‘新昌牛心柿’可正常结实并产生 100%无籽果实，证明‘磨盘柿’、‘花县大红柿’、‘新昌牛心柿’属真单性结实；用无生活力的花粉刺激 6 个雌株，仅‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’可正常结实并产生 100%无籽果实，证明‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’属花粉刺激结实；而‘若杉次郎’、‘美洲柿’、‘帽盔柿’在套袋自交与无生活力的花粉刺激均不结实，证明‘若杉次郎’、‘美洲柿’、‘帽盔柿’属假单性结实。

由表 4 还可知，在生产上，‘磨盘柿’、‘花县大红柿’、‘新昌牛心柿’品种可获得无核果实；在育种中要想获得杂交种子数多的后代，可选假单性结实的品种。

表 4 不同杂交组合的无核果实率比较
Table 4 Comparison of seedless fruit rate between different combinations

雌株 (♀) Female plant	杂交组合无核果实率 / % Seedless fruit rate between different combinations					套袋自交 Self-bagging		无生活力的花粉刺激 No pollen vitality stimulate	
	杂 3-2 Za 3-2 (♂)	禅寺丸 Zenjimarū (♂)	杂 4-2 Za 4-2 (♂)	正月 Shougatsu (♂)	自然授粉 Natural pollination	坐果率/% Fruit setting rate	无核果率/ % Seedless fruit rate	坐果率/% Fruit setting rate	无核果率/ % Seedless fruit rate
新昌牛心柿 Xinchang Niuxinshi	3.88 e	6.01 d	6.23 d	8.98 c	40.17 b	21.37	100 a	29.34	100 a
帽盔柿 Maokuishi	5.09 c	5.01 c	7.34 b	8.83 c	42.58 a	0	0 a	0	0 d
若杉次郎 Wakasugikeijirou	5.52 c	7.23 c	7.63 c	12.27 b	45.07 a	0	0 d	0	0 d
花县大红柿 Huaxian Dahongshi	8.78 c	9.02 c	9.12 c	10.13 c	60.21 b	27.65	100 a	0	0 d
磨盘柿 Mopanshi	25.72 e	29.24 d	41.06 c	43.72 c	63.23 b	38.88	100 a	38.67	100 a
美洲柿 Meizhoushi	40.07 c	48.68 b	50.62b	52.73 b	65.12 a	0	0 d	0	0 d

注：同行不同小写字母表示同一雌株的不同杂交组合在 0.5% 水平的差异显著。
Note: The different lowercase in the same line shows difference among cross combinations of the same female plant at 0.5% level.

3 讨论

柿属植物有完全雄花，完全雌花和雌雄同株 3 种类型（张青林和罗正荣，2006；杨勇 等，2005）。不同雄株花粉萌发率不同，这与基因型以及环境有关（Knox，1972）。不同雄株与不同的母本杂交亲和性不同。本试验中 4 种供试雄性花粉的花粉萌发率，‘杂 3-2’ 到 9 h 时萌发率最高，其次为 ‘禅寺丸’，再次为 ‘杂 4-2’，最后为 ‘正月’。为了克服柿杂交不易获得种子，在杂交育种过程中雄株的选择非常重要。

有关花粉与柱头的相互作用机制，Knox（1972）在杨属的种间杂交研究中提出了主动识别的概念，即柱头在识别了不亲和的花粉壁蛋白后，均在乳突细胞内迅速产生胼胝质，阻止花粉管继续侵入。花粉落到柱头之后，需要经过粘附、水合、萌发和花粉管穿过柱头、在花柱内生长、穿过珠孔等一系列过程才能实现受精（孟金陵 等，1997；Mayer & Gottsberger，2000）。本研究中发现，柿种和美洲柿种进行种间杂交，各杂交组合柱头表面粘附和萌发的花粉量少，且柱头乳突细胞表面产生不同程度的胼胝质，可能是柿种间进行杂交，花粉在与雌蕊的相互识别作用过程中雌蕊柱头存在抑制因子，阻碍花粉的萌发，诱导使胼胝质沉积；且柿种间杂交的亲性和性明显小于柿种内各品种杂交的亲性和性；而通过对柿种内各品种杂交的荧光观察结果发现（图 2，表 2），不论同一父本与不同母本杂交，还是同一母本与不同父本杂交，其亲和性均存在差异。因此，通过对柿种间和种内杂交亲和性研究可为柿杂交育种过程中杂交亲本的选配提供重要的理论基础。

通过对柿种间和种内不同品种间杂交坐果率与亲和性的研究发现，坐果率和亲和指数密切相关。本试验中 ‘新昌牛心柿’ × ‘杂 3-2’ 组合的坐果率和亲和指数最高，分别为 73.88% 和 1.30，‘美洲柿’ × ‘杂 3-2’ 组合的坐果率和亲和指数最低，分别为 28.89% 和 0.09。因此，柿杂交育种中亲本的选择与选配是非常重要的。

本研究中通过对不同亲本单性结实调查统计以及杂交后代种子数的研究发现，‘磨盘柿’、‘新昌牛心柿’ 存在真单性结实和刺激性单性结实现象，‘花县大红柿’ 属真单性结实，‘美洲柿’、‘若

杉次郎’和‘帽盔柿’属假单性结实。因此,通过试验能够掌握哪些柿杂交可以获得种子,哪些种植在一起可保证柿的无核率,这些对柿的杂交育种以及在生产上应用十分重要。

References

- Chen Jian-ye. 2007. Research in cultivar identification and classification of persimmon cultivars. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, (4): 60 - 63. (in Chinese)
- 陈建业. 2007. 柿品种鉴定及分类研究进展. *山东林业科技*, (4): 60 - 63.
- Hu Hui-ling, Leng Ping, Gao Qi-jie. 2006. Study on the seed abortion of persimmon cultivar Mopanshi. *Journal of Fruit Science*, 2 (1): 13 - 16. (in Chinese)
- 扈惠灵, 冷 平, 高琪洁. 2006. 磨盘柿杂种败育特性的研究. *果树学报*, 2 (1): 13 - 16.
- Jia Ai-ping, Wang Fei, Zhang Chao-hong, Yao Chun-chao, Liu Xu-feng. 2010a. Cross compatibility among different cultivars of *Actinidia chinensis* Planch. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (11): 1829 - 1835. (in Chinese)
- 贾爱平, 王 飞, 张潮红, 姚春潮, 刘旭峰. 2010a. 中华猕猴桃品种间亲和性研究. *园艺学报*, 37 (11): 1829 - 1835.
- Jia Ai-ping, Wang Fei, Yao Chun-chao, Wang Gang-gang, Jia Mei-li, Zhao Zhi-ming. 2010b. Interspecific and intraspecific cross compatibility of kiwi fruits. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 30 (9): 1809 - 1814. (in Chinese)
- 贾爱平, 王 飞, 姚春潮, 王刚刚, 贾美丽, 赵智明. 2010b. 猕猴桃种间以及种内杂交亲和性研究. *西北植物学报*, 30 (9): 1809 - 1814.
- Kho Y O, Bear J. 1968. Observing pollen tubes by means of fluorescence. *Euphytica*, 17: 298 - 302.
- Knox R B. 1972. Role of pollen wall proteins as recognition substances in inter specific incompatibility in poplars. *Nature*, 237: 383 - 390.
- Luo Zheng-rong, Cai Li-hong, Hu Chun-gen. 1996. Research development of germplasm resources of *Diospyros* and their utilization. *Journal Huazhong Agricultural University*, 15 (4): 381 - 388. (in Chinese)
- 罗正荣, 蔡礼鸿, 胡春根. 1996. 柿属植物种质资源及其利用研究现状. *华中农业大学学报*, 15 (4): 381 - 388.
- Mayer E, Gottsberger G. 2000. Pollen viability in the genus *Silene* (Caryophyllaceae) and its evaluation by means of different test procedures. *Flora*, (195): 349 - 353.
- Meng Jin-ling, Liu Ding-fu, Cai De-tian. 1997. Plant reproductive and developmental. Beijing: Beijing Science Press. (in Chinese)
- 孟金陵, 刘定富, 蔡得田. 1997. 植物生殖遗传学. 北京: 北京科学出版社.
- Thompson M M. 1997. Incompatibility alleles in *Corylus avellana* cultivars. *Theor Appl Genet*, (54): 29 - 33.
- Tong Min, Kang Zhi-xiong, Cheng Shi-ming, Chen You-wu. 2008. Research progress in the genetic resources of *Dispyros kaki*. *Hubei Agricultural Sciences*, 47 (8): 962. (in Chinese)
- 童 敏, 康志雄, 程诗明, 陈友吾. 2008. 柿树遗传资源学研究进展. *湖北农业科学*, 47 (8): 962.
- Xu Li-qing, Zhang Qing-lin, Luo Zheng-rong. 2008. Effect of embryo development stage on embryo rescue for Jirou persimmon cultivar. *Journal of Fruit Science*, 25 (1): 45 - 48. (in Chinese)
- 徐莉清, 张青林, 罗正荣. 2008. 幼胚发育阶段对次郎柿胚抢救效果的影响. *果树学报*, 25 (1): 45 - 48.
- Yang Yong, Ruan Xiao-feng, Wang Ren-zi, Li Gao-chao. 2005. Advances in research of germplasm resources and breeding of *Dispyros kaki* L. *Journal of Northwest Forestry University*, 20 (2): 133 - 137. (in Chinese)
- 杨 勇, 阮小凤, 王仁梓, 李高潮. 2005. 柿种质资源及育种研究进展. *西北林学院学报*, 20 (2): 133 - 137.
- Zhang Qing-lin, Luo Zheng-rong. 2006. Observation of giant pollen and pollen germination ability *in vitro* of some *Diospyros* spp. and their pollen germination on the stigma of *Diospyros kaki*. *Journal of Fruit Science*, 23 (2): 293 - 296. (in Chinese)
- 张青林, 罗正荣. 2006. 部分柿属雄性种质巨大花粉花粉离体及其在罗田甜柿柱头上的萌发率. *果树学报*, 23 (2): 293 - 296.