园 艺 学 报 2009, 36 (9): 1277 - 1282
Acta Horticulturae Sinica

不同授粉方式下‘度尾蜜柚’亲和性及其生物学效应

王 平[1,2], 吕柳新[1*]
([1]福建农林大学园艺学院, 福州 350002; [2]福建农林大学园艺植物遗传育种研究所, 福州 350002)

摘 要: 通过 3种授粉处理, 对‘度尾蜜柚’自交不亲和性及产生的若干生物学效应进行了观察。结果表明: 在正常自交的情况下, ‘度尾蜜柚’存在不亲和性, 大部分果实无籽, 随着果实的成熟, 果形指数逐步降低, 中心柱空心, 果顶皮层厚度逐渐变薄, 裂瓣大量产生, 同时一部分果实顶部裂开, 霉菌侵染果肉, 失去食用价值; 蕾期自交能在一定程度上克服不亲和性, 产生少量的种子, 能有效防止果实横向和纵向不均衡生长, 促进果实中心柱较好地保持实心状态, 果顶皮层增厚, 从而显著降低了裂果和裂瓣; 用‘琯溪蜜柚’花粉异交授粉, 果实种子数显著增多, 果形指数变化较小, 中心柱实心, 少有裂果和裂瓣发生, 但食用品质受到影响。

关键词: 柑橘; 度尾蜜柚; 授粉方式; 不亲和性
中图分类号: S 666.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-353X (2009) 09-1277-06

Incompatibility of *Citrus grandis* ‘Duweimiyou’ and Its Biological Effects by Different Kinds of Pollination

WANG Ping[1,2] and LÜ Liu-xin[1*]
(*[1] College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou* 350002, *China;* *[2] Institute of Genetics & Breeding in Horticultural Plants, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou* 350002, *China*)

Abstract: Three different pollination methods were used to observe the self-compatibility and some biological effects from *Citrus grandis* ‘Duweimiyou’. The results indicated that *Citrus grandis* ‘Duweimiyou’ showed incompatibility under the condition of normal self-pollination, and most of the fruits were seedless; the fruit shape index decreased gradually in fruit ripening, the central column was hollow, the fruit-top peel was gradually thinned, and sac cracking was substantially produced while the peel on fruit top dehisced slowly, and fungi invasion made the flesh lose edible value; Self-pollination at bud stage could solve the self-incompatibility in a certain extent which produced a few seeds, it effectively prevented fruits from growing disproportion in lateral and longitudinal, it also helped the central column of citrus fruit to maintain the solid state, and enhanced thickness of the fruit top peel which could significantly decrease fruit and sac cracking; Cross-pollination with *Citrus grandis* ‘Guanximiyou’, the seed number of *Citrus grandis* ‘Duweimiyou’ increased significantly, the change of fruit shape index was relatively limited, the central column was solid, fruit and sac cracking were less, but the edible quality was affected.

Key words: *Citrus*; *Citrus grandis* ‘Duweimiyou’; pollination method; incompatibility

‘度尾蜜柚’(*Citrus grandis* ‘Duweimiyou’)果实大小适中, 无籽, 品质优, 是一个经济价值很高, 具有很大发展潜力的福建地方名贵品种, 深受广大消费者的喜爱。但‘度尾蜜柚’在果实成熟过程中存在裂果、裂瓣问题, 一般年份裂果率 20%～40%, 个别年份高达 70%, 严重影响其商品价

收稿日期: 2009-03-19; **修回日期**: 2009-07-28
基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771488); 福建省科技计划项目 (2007F5018)
*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: lxlu2000@yahoo.com.cn)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

值。

前人的研究表明，‘度尾蜜柚’果顶开裂和裂瓣，系由于它们的种子败育导致果实发育过程中激素供给和分布的不平衡，并因此引起果顶的果皮发育不正常所致（李三玉 等，1999；陈清西 等，2008）。进一步的研究证明，柚的种子败育大多是由于自交不亲和引起（Brewbaker，1957；Ton & Krezdorn，1967；Lange，1973）。‘度尾蜜柚’亦是自交不亲和的无籽品种（王平 等，2002a，2002b），因此常出现果顶开裂和裂瓣问题。对于解决其果顶开裂和裂瓣问题，以往人们主要从施肥、灌水等方面考虑解决，但生产实践证明采用一般栽培措施难以克服。作者试图通过蕾期自交、正常自交和异交3种不同的授粉方式，对‘度尾蜜柚’果实顶部果皮和中心柱的发育状况以及裂果和裂瓣的发生过程进行观察，探究解决自交不亲和带来的裂果和裂瓣等不良性状的有效方法。

1 材料与方法

2004年在福建省仙游县度尾镇果园场开展本试验。供试品种为‘度尾蜜柚’，树龄15年。

设3个处理。①蕾期自交：花蕾破绽约前5 d的蕾期，柱头分泌少量粘液时进行人工自花授粉；②正常自交：花蕾破绽，柱头分泌大量粘液时进行人工自花授粉；③异交：以‘琯溪蜜柚’为花粉源进行人工异花授粉。

3个处理于授粉前均严格去雄、套袋隔离，每处理授粉200朵，授粉后柱头干枯时去除隔离袋。按照正常技术措施进行田间管理。

从授粉后60 d开始至采收期，每隔20 d采1次样，每次各处理随机取5个果实，测量果高和果宽，计算果形指数；将果实纵切，测量中心柱海绵层宽度（空心时计为0）和果实顶部的果皮厚度（裂果时计为0）；果实成熟采收时计算种子数、裂果率、裂瓣率，品尝鲜果品质。裂果率（%）=裂果数/总果数×100；裂瓣率（%）=裂瓣数/总瓣数×100。

采用DPS软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同授粉方式对‘度尾蜜柚’种子数的影响

不同授粉方式下果实的种子数不同（表1）。

表1 不同授粉处理对‘度尾蜜柚’种子数和裂果率的影响

Table 1 Effects of different pollination methods on seed number and fruit cracking ratio of Citrus grandis ‘Duweimiyou’

处理 Treatment	种子数 Seed number	裂果率/% Fruit cracking ratio	裂瓣率/% Sac crack ratio	食用品质 Edible quality
正常自交 Self-pollination	0.3 ±0.505cC	25.4 ±7.449aA	85.6 ±5.468aA	优 High
蕾期自交 Bud self-pollination	5.7 ±1.515bB	0.3 ±0.466bB	17.8 ±2.511bB	优 High
异交 Cross-pollination	55.0 ±10.352aA	0.0 ±0.000bB	7.5 ±1.848cC	风味较淡，汁胞较粗糙 Flat flavor, granulated juice sacs

注：不同的大小写字母表示差异显著，检验水平分别为 $P<0.01$ 和 $P<0.05$。

Note: Different letters within column indicate significant differences at $P<0.01$ and $P<0.05$ levels, respectively.

在正常自交的情况下，大部分果实无籽，偶有果实产生1～2粒种子，平均每果0.3粒（图1，A、J）；蕾期自交时，种子有所增加，种子数在2～12粒之间，平均5.7粒（图1，B、K）；当用‘琯溪蜜柚’花粉异交授粉时，果实种子数显著增多，最少有27粒种子，最多89粒，平均55粒（图1，C、L）。说明蕾期自交授粉能在一定程度上克服‘度尾蜜柚’自交不亲和性，能产生少量的种子。但柚果每果种子数若在10粒以下，作为商品仍可视为无籽，消费者能够接受，不影响其商品价值。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 1　不同授粉处理对‘度尾蜜柚’果实生长发育的影响

A、D、G. 正常自交授粉后 100 d的果实；B、E、H. 蕾期自交授粉后 100 d的果实；C、F. 用‘琯溪蜜柚’花粉授粉后 100 d的果实；I. 正常自交果实成熟时果顶皮裂开状况；J. 正常自交果实成熟时果顶皮裂开、裂瓣和中心柱生霉状况；K. 蕾期自交授粉果实成熟时少量裂瓣，种子、中心柱和果顶皮发育状况；L. 用‘琯溪蜜柚’花粉授粉果实成熟时少量裂瓣，种子、中心柱和果顶皮发育状况。

Fig. 1　Effects of different pollination methods on fruit development of Citrus grandis **‘Duweimiyou’**

A, D, G. The fruit 100 d after self-pollination normally; B, E, H. The fruit 100 d after self-pollination at bud mstage; C, F. The fruit 100 d after cross-pollination with *Citrus grandis* ‘Guanximiyou’; I. Cracking status of the fruit top peel during maturation (self-pollination normally); J. Fruit top peel cracking, sac cracking and mildew of central column during maturation (self-pollination normally); K. Few sac crack, development status of seed, central column and fruit top peel during maturation (bud self-pollination); L. Few sac crack, development status of seed, central column and fruit top peel during maturation (cross-pollination with *Citrus grandis* ‘Guanximiyou’).

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 不同授粉方式对‘度尾蜜柚’果实发育的影响

在3个授粉处理中，正常自交对果实发育影响较大，体现在随着果实成熟，果形指数逐步降低(图2)，有些果实最低达到0.7。这表明正常自交组合的果实横径增长比纵径快，将造成果实的空心(图1，J)。

蕾期自交和用‘琯溪蜜柚’花粉异交两组处理，果实发育过程相似，果形指数变化较小，基本保持在1左右(图2)。这说明由于蕾期自交能产生少量的种子，对果实发育具有调节效应，能有效抑制果实不正常横向生长，恢复平衡状态，其效果与异交情况相当。可见蕾期自交对于减少裂果、裂瓣是有利的(图1，H、K、L)。从这里也可看出种子与果形指数有着较强的相关性。

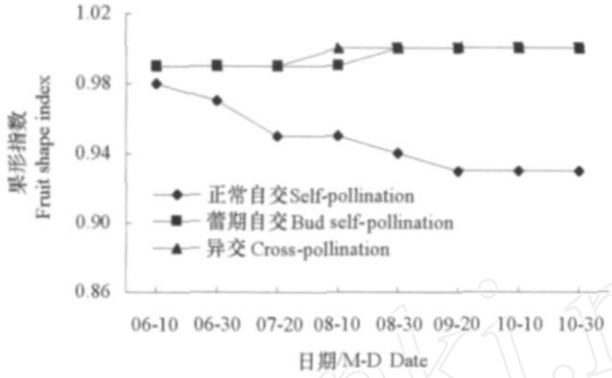


图2 不同授粉方式对‘度尾蜜柚’果实发育的影响

Fig. 2 Effects of different pollination methods on fruit development of Citrus grandis ‘Duweimiyou’

2.3 不同授粉方式对‘度尾蜜柚’果实中心柱发育的影响

观察发现(图3)，正常自交果实从授粉后至8月30日前(约授粉后140 d)，随着果实的增大，中心柱宽度相应增加，表现为实心，维管束发育正常(图1，A)，但在授粉140 d后，中心柱维管束开始逐渐解体，慢慢趋向于空心(图1，J)。

而蕾期自交和以‘琯溪蜜柚’花粉异交处理，在整个果实发育过程中，果实中心柱除宽度相应增加外，维管束仍保持一定程度的发育，表现出半空心状态(图1，K、L)，果蒂与果顶之间仍有维管束相连，这种状态对维持果蒂与果顶之间的营养运输极为有利，促进了果顶皮层的生长。

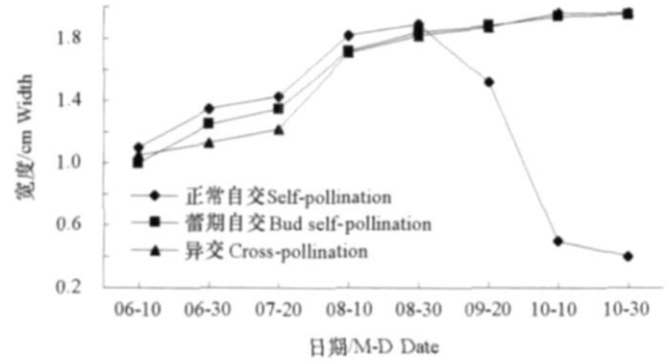


图3 不同授粉处理对‘度尾蜜柚’果实中心柱影响

Fig. 3 Effects of different pollination methods on fruit central column of Citrus grandis ‘Duweimiyou’

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.4　不同授粉方式对‘度尾蜜柚’果顶皮层厚度的影响

在3个授粉处理中，正常自交处理总的趋势是随着果实的成熟，果顶皮层厚度逐渐减薄（图4）。果顶皮层变薄在果实生长发育早期就已经开始，其中最重要时期是在授粉后80～100 d之间（图4；图1，D、G）。由于果顶皮层太薄，当8月下旬后遇到雨水情况下，一部分果实果顶慢慢裂开，霉菌侵染果肉，失去了食用价值（图1，I、J）。

而蕾期自交和用‘琯溪蜜柚’花粉异交处理，‘度尾蜜柚’果实发育相对正常，果顶皮层厚度维持在1.2～1.6 cm之间（图4；图1，E、F、H、K、L）。后期虽亦稍有变薄，但一般不会引起开裂。

由此说明，通过蕾期自交处理，度尾蜜柚果实果顶皮层生长得到了明显改善，增厚显著，因而极大地增强了果顶皮层抵抗果实横向生长的拉力，不易发生裂果。

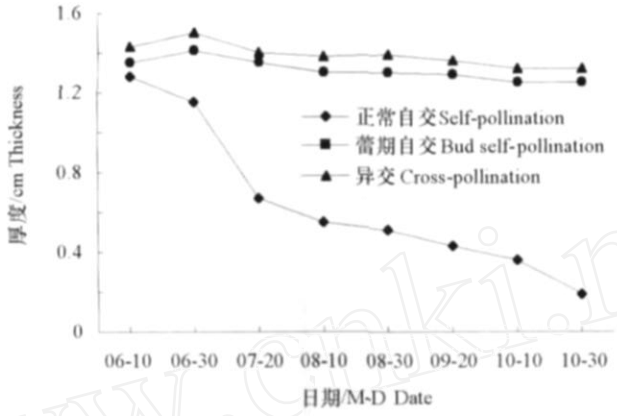


图4　不同授粉处理对‘度尾蜜柚’果顶皮厚度的影响

Fig. 4　Effects of different pollination methods on fruit top peel thickness of *Citrus grandis* ‘Duweimiyou’

2.5　不同授粉处理对‘度尾蜜柚’裂果裂瓣和食用品质的影响

正常自交处理，至成熟时统计，裂果率和裂瓣率分别达到了25.4%和85.6%（表1），并且裂瓣程度较重，整瓣缝合线处完全裂开，中心柱空心，汁胞外露，其中大部分果实裂瓣率达到了100%。

而蕾期自交和异交处理，均可显著地降低‘度尾蜜柚’裂果和裂瓣的发生（表1），而且裂瓣的程度有所减弱，一般裂瓣分别为1/3～1/2之间和不足瓣长的1/3，中心柱呈半空心实心。

蕾期自交授粉的果实食用品质和正常自交所结果实一样都表现优质，甜酸适宜，果肉汁胞柔嫩、汁液较多、化渣。而以‘琯溪蜜柚’花粉异交所结的果实风味较淡，果肉汁胞较粗糙，但汁液仍较多。

3　讨论

本试验结果表明：‘度尾蜜柚’在正常自交情况下仅产生0.2 cm左右的瘪籽，用其他品种授粉时则产生大量的种子。这些结果与通过荧光观察其亲和性和切片观察其胚胎发育的状况（王平 等，2002）相互印证，再次证实了‘度尾蜜柚’存在自交不亲和，不亲和阻抑反应发生在受精之前，而蕾期自交授粉能在一定程度上克服这种不亲和性，产生少量的种子。

果实的生长、发育及成熟是多种激素综合作用的结果（Lieberman, 1977）。扁圆形‘玉环柚’属自交不亲和类型，不能形成种子，而梨形‘玉环柚’果实则有种子，测定它们各个时期果顶部果皮中的IAA、GA、ABA及C_2H_4等内源激素含量，除6—7月间果皮生长期的GA含量较低外，其他都以容易开裂的扁圆形果为高（李三玉 等，1999）。本试验中发现，6—7月是‘度尾蜜柚’自交无籽

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

果实果皮生长变化的最大时期，从 6月 10日至 7月 20日的 40 d中，果实顶部皮层厚度平均减少 0.61 cm。由此可见，6—7月是柚果实以果皮发育为主的关键时期，自交果实的裂果、裂瓣可能与 GA含量有关。这对采取外施生长调节剂等措施的时期确定具有参考意义。

陈清西等 (2008) 在研究授粉处理对‘度尾文旦柚’果实发育期间内源赤霉素 (GA_3)、脱落酸 (ABA)、生长素 (IAA) 和玉米素核苷 (ZR) 的影响中发现：与自交无籽果实相比，通过授粉后产生的少量种子和大量种子对柚果皮内源激素含量的影响大致类似，增加了果顶果皮的 ABA和 GA_3含量，降低了 IAA含量，增加了柚果实迅速膨大期尤其是授粉后 90～140 d的 ABA/(ZR + IAA + GA_3) 比值。本试验结果表明：在正常自交 140 d左右是中心柱维管束开始逐渐解体，慢慢趋向于空心的转折时期，这可能是由于无籽不能合成果实发育所必需的多种激素以及它们之间合适的比值，从而导致了一系列的后续异常生长反应，如：难以使果实中心柱维管束继续发育而保持实心或半实心状态，树体营养不能从果蒂运输到果顶，使果顶皮层不能正常增厚；果实横向和纵向的生长发育不协调，最终显著增加了裂果、裂瓣的发生；而蕾期自交授粉有少量种子发育，使裂果和裂瓣等得到了改善。

‘度尾蜜柚’裂果和裂瓣的产生原因是复杂的，除自交不亲和的原因外，可能还涉及到果实营养的供应、内源激素的平衡和外界雨水条件等多因素的共同作用。因此，笔者认为在生产中除采取蕾期自交措施外，辅之以肥水调控及外源生长调节物的应用，将可进一步克服‘度尾蜜柚’的裂果裂瓣问题。具体措施有待进一步深入研究。

References

Brewbaker J L. 1957. Pollen cytology and self-incompatibility systems in plants. J Hered, 48: 271 - 277.

Chen Qing-xi, Li Xiao-chu, Peng Jian-ping. 2008. Effect of pollination on endogenous hormones in the pericarp of Duweiwendan pomelo. Chinese Journal of Tropical Crops, 29 (2): 150 - 153. (in Chinese)

陈清西，李小初，彭建平. 2008. 授粉处理对“度尾文旦柚”柚果皮内源激素的影响. 热带作物学报，29 (2): 150 - 153.

Lange J H. 1973. Pollen tube growth in *Citrus*. Agroplatae, 5 (3): 73 - 77.

Lieberman M. 1977. Post harvest responses and plant grow thregulators. Pesticide chemistry in the 20th century. American Chem Society, 37: 280 - 292.

Li San-yu, Chen Yuan-hong, Lü Jun-liang, Lin Ying. 1999. Studies on the relationship between fruit hormones content and fruit cracking in Yuhuan pomelo. Bulletin of Science and Technology, 15 (3): 166 - 169. (in Chinese)

李三玉，陈苑虹，吕均良，林 颖. 1999. 玉环柚果实内源激素含量与裂果关系的研究. 科技通报，15 (3): 166 - 169.

Ton L D, Krezdorn A H. 1967. Growth of pollen tubes in three incompatibe *Citrus* varieties. Proc Amer Soc Hort Sci, 80: 211 - 215.

Wang Ping, Lü Liu-xin, Xue Yong-biao, Zeng Li-hui, Huang Dai-qing, Xiao Hua-shan. 2002a. Observation on the compatibility of self-cross and mutual-cross of Guanximiyou and Duweimiyou. Journal of Fujian Agricultural University, 31 (3): 339 - 342. (in Chinese)

王 平，吕柳新，薛勇彪，曾黎辉，黄代青，萧华山. 2002a. 琯溪蜜柚和度尾蜜柚自交和互交亲和性观察. 福建农林大学学报，31 (3): 339 - 342.

Wang Ping, Lü Liu-xin, Xue Yong-biao, Li Zhou-qi, Chen Gui-xin, Huang Dai-qing. 2002b. Ovule development in *Citrus grandis* cv. Guanximiyou and Duweimiyou under selfing and crossing conditions. Journal of Wuhan Botanical Research, 20 (6): 409 - 412. (in Chinese)

王 平，吕柳新，薛勇彪，李周歧，陈桂信，黄代青. 2002b. 琯溪蜜柚和度尾蜜柚自交和互交胚珠发育状况的比较. 武汉植物学研究，20 (6): 409 - 412.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net