

设施条件下不同桃品种的开花生物学特性*

张红 安建东** 黄家兴 周志勇

(中国农业科学院蜜蜂研究所 农业部授粉昆虫生物学重点开放实验室 北京 100093)

摘要 桃是主要温带水果之一,在全球范围内广泛栽培。中国桃栽培面积和产量均居世界第一位。近十年来,随着设施农业的迅猛发展,桃设施栽培技术在中国北方地区逐步推广。但在设施桃的生产过程中,常存在授粉不足、座果率低等诸多问题。本研究以设施桃主栽品种“大久保”、“早露蟠”、“瑞光5号”和“90342”为材料,在北京市平谷区进行了不同桃品种的开花动态、花药开裂、花粉数量、花粉活力和柱头可授性等生物学特性观察,旨在为设施桃生产的科学管理和有效授粉提供依据。结果表明:4个桃品种的始花期顺序依次为“瑞光5号”、“早露蟠”、“大久保”和“90342”,最早和最晚相差8 d;单花盛花期“90342”仅为2 d,其他3个品种桃为4~5 d。不同品种花药开裂起始时间、持续时间及高峰期不同;单花花粉数量在不同品种间差异显著,“90342”最高,为 $100\ 360\pm 8\ 017$,其次为“大久保” $91\ 485\pm 8\ 002$ 和“瑞光5号” $73\ 245\pm 5\ 034$ ，“早露蟠”花粉量最少,为 $59\ 609\pm 5\ 048$ ；“大久保”、“瑞光5号”和“90342”的花粉活力在花朵全开当天最强,分别为 $44.8\%\pm 3.1\%$ 、 $52.4\%\pm 4.2\%$ 、 $32.8\%\pm 4.5\%$ ，“早露蟠”在花后第1 d花粉活力达到最高值 $63.3\%\pm 3.7\%$ ；“瑞光5号”与“90342”的花粉寿命仅为3 d,而“大久保”与“早露蟠”的花粉寿命达6~7 d；“大久保”、“早露蟠”和“瑞光5号”的柱头可授性在花后3~4 d最强,可授期为6~7 d,“90342”柱头可授性在花后第2 d最强,可授期仅为3 d。本研究为设施条件下4个桃品种的传粉生态学研究及设施桃花期管理提供了科学依据,也为进一步探索授粉作用机制奠定了基础。

关键词 设施桃 开花 花药开裂 花粉数量 花粉活力 柱头可授性

中图分类号: S662.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2013)10-1249-08

Flowering biology characteristics of different peach cultivars under greenhouse conditions

ZHANG Hong, AN Jian-Dong, HUANG Jia-Xing, ZHOU Zhi-Yong

(Key Laboratory for Insect-Pollinator Biology of the Ministry of Agriculture; Institute of Apiculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract Peach (*Prunus persica*) is a popular temperate fruit now cultivated worldwide. China ranks first in the world both in peach planted area and production. In the last 10 years, peach cultivation has developed quickly and spread to most of northern China. The problem is that the flowering biology of peach cultivars has been insufficiently studied and poor pollination has often caused low fruit set and yield for peach trees in greenhouses. In order to evaluate the flowering biology of different peach cultivars in greenhouses, the flowering dynamics, anther dehiscence, pollen quantity, pollen viability, and stigma receptivity of four major peach cultivars (*Prunus persica* “Okubo”, *P. persica* “Zaolupan”, *P. persica* “Ruiguang 5” and *P. persica* “90342”) were investigated in greenhouses in Beijing. In the study, 80 flowers for each cultivar were studied for the timing of different flowering stages, 18 flowers were used to observe anther dehiscence development, 50 anthers were used to count pollen grains number per anther, 50 flowers were used to count anthers number per flower. A TTC test was used to assess pollen viability, and a benzidine-hydrogen peroxide test was used to assess stigma receptivity. The results showed that the start time of blooming varied by 8 days among cultivars, which were ranked (from earliest to latest) – “Ruiguang 5”, “Zaolupan”, “Okubo”, “90342”. Cultivar “90342” had a two-day full-bloom stage for

* 公益性行业(农业)科研专项课题(201203080-4)和国家自然科学基金项目(30901055)资助

** 通讯作者: 安建东(1975—),男,博士,副研究员,主要从事传粉昆虫资源学、生物学和传粉生态学的研究。E-mail: anjiandong@caas.cn
张红(1988—),女,硕士研究生,主要从事昆虫传粉生态学研究。E-mail: zhanghong_1218@163.com

收稿日期: 2013-02-11 接受日期: 2013-07-05

single flower, which was significantly shorter than other three cultivars. The full-bloom stage of the other three cultivars lasted for 4–5 days. The starting time, duration, and peak period of anther dehiscence varied among the four cultivars. Significant variation in pollen quantity was also observed. Cultivar “90342” had the largest number of pollen grains per flower ($100\ 360 \pm 8\ 017$), followed by “Okubo” ($91\ 485 \pm 8\ 002$), “Ruiguang 5” ($73\ 245 \pm 5\ 034$) and “Zaolupan” ($59\ 609 \pm 5\ 048$). The highest pollen viability was found on the day when the flower opened fully in “Okubo”, “Ruiguang 5”, and “90342”, which were $44.8\% \pm 3.1\%$, $52.4\% \pm 4.2\%$ and $32.8\% \pm 4.5\%$ respectively. The pollen of “Zaolupan” had the highest viability $63.3\% \pm 3.7\%$ one day after the flower opened fully. Pollen viability lasted only three days in “Ruiguang 5” and “90342”, while “Okubo” and “Zaolupan” had a greater longevity of 6–7 days. The receptive period of the stigma remained for 6–7 days, with the strongest receptivity 3–4 days after the flower opened fully in “Okubo”, “Zaolupan” and “Ruiguang 5”. However, the receptive period of cultivar “90342” lasted for just 3 days, with the greatest receptivity 2 days after the flower opened fully. This study contributed new information not only for differences in pollination biology among the four cultivars and for the scientific management of greenhouse peaches, but also for the broader study of pollination mechanisms.

Key words Greenhouse peach, Flowering, Anther dehiscence, Pollen quantity, Pollen viability, Stigma receptivity
(Received Feb. 11, 2013; accepted Jul. 5, 2013)

开花是被子植物生活史的重要阶段,花期、花粉活力、柱头可授性等开花生物学特性与植物结实密切相关^[1-3]。Ruiz 等^[4]分析了 43 个杏品种的开花特性,发现始花期、落花率等花期性状与最终座果率高度相关;在作物杂交育种工作中,父本花粉活力低或柱头花粉沉降数量不足是导致受精失败的主要原因^[5];适宜的花粉落在具有一定可授性的柱头上才会正常萌发,而多种植物雌蕊与雄蕊的发育并非一致,柱头滞后成熟或提前衰老均可缩短植物的有效授粉期,进而影响植物的座果结实^[6-7]。

桃 [*Prunus persica* (Linn.) Batsch] 隶属蔷薇科 (Rosaceae)、李亚科 (Prunoideae)、李属 (*Prunus*), 原产于中国^[8], 目前在亚洲、欧洲、美洲、大洋洲均有栽培^[9]。联合国粮农组织统计数据库 (FAOSTAT, 2013) 公布数据显示, 截至 2010 年, 中国桃的栽培面积为 73.24 万 hm^2 , 产量为 $1\ 082.83$ 万 t, 二者均居世界首位。桃属于时令性鲜果, 不耐储藏。随着设施栽培技术的发展, 许多果品实现了反季节供应。20 世纪 90 年代中期, 我国实现了设施桃的产业化栽培^[10]。近 10 多年来, 桃设施栽培技术在黄河以北地区广泛推广, 目前在设施桃主产区已形成较为完善的产业链, 具有明显的规模效应^[11]。桃的设施栽培技术可以较好地延长其市场供应期, 满足消费者对新鲜、无污染、反季桃的需求, 同时, 也为种植者带来了丰厚的利润。

设施栽培通过改变影响植物生长的环境因子如光照、温度、水分、 CO_2 、土壤条件等, 达到调节果实成熟期的目的^[12]。然而设施栽培在促进桃树提前开花的同时也容易造成花器官发育不良, 加之设施环境相对封闭, 空气湿度大, 不利于自然授粉, 开花多结果少现象在设施桃栽培中普遍存在^[13]。因此

选择花粉量大、花粉活力高的栽培品种并在花期进行人工或蜂类授粉已成为设施桃丰产栽培中的重要措施之一, 而了解设施桃开花特性对于设施桃生产中授粉树的合理配置、花期科学管理及授粉工作的顺利进行有重要的指导意义。Nava 等^[14]的研究结果表明, 花前及花期的高温处理会降低设施桃的花粉活力, 推迟雌蕊组织的成熟, 导致受精不足, 产量下降; 叶正文等^[15]以 92 个桃品种为试材, 探讨了不同桃品种的花粉量及花粉活性, 为设施栽培中授粉树的选择提供了一定理论依据; 屈海泳等^[16]以露地桃和设施桃为材料, 对桃花粉活力的测定方法进行了评价。目前对设施桃开花生物学特性的系统研究尚少见报道。

本研究以北京地区设施桃主要栽培品种——“大久保”、“早露蟠”、“瑞光 5 号”和“90342”为试验材料, 对其开花动态、花药开裂过程、单花花粉数量、花粉活力和柱头可授性等开花生物学特性进行系统分析, 旨在为设施桃丰产栽培过程中花期科学管理以及进一步探索授粉作用机制提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2012 年 1 月中旬至 2 月下旬在北京市平谷区山东庄镇鱼子山村设施桃示范基地进行。设施类型为标准型塑膜日光温室, 东西走向, 北面和东西两面为砖墙结构, 朝南半坡由金属骨架和透明塑料薄膜构建, 塑膜上覆盖有由智能通风控温机控制的复合保温被。温室东西长 150 m, 跨度 7 m, 北墙高 2.3 m, 脊高 3.2 m。供试材料为桃品种“大久保” (*Prunus persica* “Okubo”)、 “早露蟠” (*P. persica* “Zaolupan”)、和“90342” (*P. persica* “90342”) 以及油桃

品种“瑞光 5 号”(P. persica “Ruiguang 5”), 均为平谷区设施桃主栽品种。“大久保”果型大, 开花期间对设施环境适应性好, 座果率较高; “早露蟠”果实扁平, 花期对温度要求严格, 易出现开花不结实现象; “瑞光 5 号”为优质油桃品种, 果皮光滑, 是最早上市的设施桃品种之一; “90342”果实成熟期较短, 色泽鲜艳, 风味浓郁。4 个桃品种均为 2006 年定植, 株行距 1.5 m×2 m, 在温室内混合栽培, 植株生长健壮, 管理方式一致。2011 年 11 月中旬扣棚升温, 春节前后进入花期。开花期间, 一般上午 8:30 左右使用自动卷帘机揭开保温被, 下午 4:30 左右覆盖保温被。

1.2 开花动态观察

每个桃品种选择 10 棵长势一致的树, 于花期观察整株的群体开花动态。参照 Dafni^[17]和王力荣等^[18]方法, 将设施桃的群体花期划分为 3 个阶段: (1)始花期: 植株 5%~25%的花开放; (2)盛花期: 植株 25%~75%的花开放; (3)末花期: 植株 75%以上的花开放结束至全株开花结束。每个桃品种挂牌标记 80 个花蕾, 从花蕾饱满露红开始每天观察单花发育情况, 进行单花花期调查。在 Nava^[14]方法基础上将桃单花开放进程划分为 4 个阶段: (1)露红期: 从花蕾顶端开裂, 露出粉色花瓣至萼片松开直立, 花瓣露出部分与萼片等长; (2)半开期: 从萼片外翻, 花瓣仍合拢但可见雄蕊雌蕊至花瓣完全张开; (3)盛开期: 从花瓣完全张开至花丝颜色加深、弯曲; (4)萎蔫期: 从花药柱头萎蔫至花瓣凋落。

1.3 花药开裂

在天气晴朗条件下观察桃花开花当天花药开裂情况, 于桃树盛花期选择不连续的 3 d 进行试验观察。于上午 8:30 进行挂牌标记, 每个桃品种选择 3 棵树, 每棵树挂牌标记 6 朵即将开放(花瓣张开, 可见雄蕊雌蕊)的花, 从 9:00 起每隔 1 h 统计处于开裂状态的花药个数, 并计算每朵花中开裂花药的百分比, 直至全部花药开裂完毕, 同时使用光照强度检测仪(HJ15-TE5-1332, 中国)及温湿度测定仪(HTC-1, 中国)测定温室内光照强度、温度及相对湿度。

1.4 单花花粉粒数量统计

参考并改进 Costa 等^[19]统计花粉粒数量的方法, 调查设施桃花药中花粉数量。于上午 9:00 进行取样, 每个桃品种选择 10 朵花药尚未开裂的花, 每朵花中取 5 粒花药。将单个花药放入 1.5 mL 离心管中, 烘箱内 50 ℃ 处理 2 h, 促进花药开裂。每个离心管中加入 1.2 mL 孔雀石绿染液(0.1%孔雀石绿溶液与 1% NaCl 溶液按 1:400 配置), 摇床震荡染色。染色完成后将花药移入装有 10 mL 孔雀石绿染液的平底试管中, 使用超声波细胞破碎仪(JY92- DN,

中国)破碎花药, 使花粉粒充分散出。取出花药外壁, 在 Olympus SZX16 显微镜下统计花药中残余的花粉粒数量。真空抽滤富含花粉粒的染色液, 将载有花粉粒的滤膜置于载玻片上, 使用玻片扫描仪(尼康 9000ED, 日本)将其扫描为电子照片, 利用 ImageJ 软件统计花粉粒数量, 与花药中残余的花粉粒数量相加, 得出每个花药中花粉粒数量, 并计算单药花粉粒平均值。每个桃品种随机选取 50 朵大花蕾, 剥开花瓣, 统计其中单花花药数量。将单花花药数和单药花粉粒数相乘, 即可获得单花花粉粒总数。

1.5 花粉活力测定

采用 TTC 染色法^[20]测定桃花粉活力。挂牌标记发育较一致的花蕾, 每天观察单花发育状态并标记开花时间。取样工作于上午 9:00 进行, 采集露红后期(花瓣突出, 与花萼等长)、半开(花瓣合拢, 可见雌蕊、雄蕊)、全开(花瓣平展, 雄蕊雌蕊全部露出)3 个状态及全开后 1~8 d 的花各 6 朵, 进行花粉活力测定。使用 Olympus DP71 显微数码 CCD 相机进行拍照, 具备活力的花粉被染为红色或浅粉色, 无活力花粉不被染色, 呈黄色或无色(图 1)。

花粉活力=染色花粉数量/花粉总数量×100% (1)

1.6 柱头可授性测定

采用联苯胺-过氧化氢法^[21]测定柱头可授性。取样方法与采集花药方法相同。将柱头浸泡在联苯胺-过氧化氢反应液中并及时在 Olympus SZX16 显微镜下观察桃花柱头气泡冒出情况, 气泡冒出速度越快且越大表示柱头可授性越强。本试验柱头可授性划分标准如图 2 所示。

1.7 数据分析

使用 SAS 8.1 软件进行数据分析。利用单因素方差分析(one-way ANOVA)对不同品种设施桃单花花期、单花花药数量、单个花药花粉粒数量、单花花粉数量等进行差异显著性分析, 并采用最小显著差数法(LSD 法)进行数据间多重比较。使用 Origin 8.5 软件和 Microsoft 2007 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 设施条件下不同桃品种的开花动态

桃花辐射对称, 5 基数, 两性; 萼片红绿色, 彼此相连; 花瓣颜色从浅粉到深粉不等, 相互分离; 雌蕊单个, 1 室, 内含 2 枚胚珠; 雄蕊多个, 着生在萼筒内侧子房周围。“早露蟠”桃雌蕊低于雄蕊, “瑞光 5 号”、“大久保”和“90342”3 个桃品种的雌蕊均高于或与雄蕊等长。

北京市平谷区设施桃一般在 2 月初左右(农历春节前后)开始开花。本试验发现在相同生长环境及管

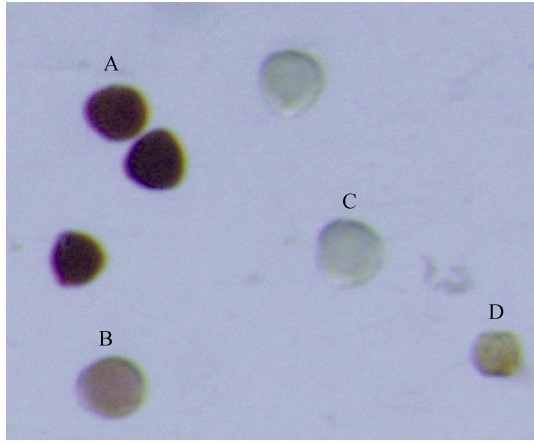


图 1 TTC 法染色后的桃花花粉活力示例

Fig. 1 Pollen viability of greenhouse peach with TTC test
A, B: 有活力花粉; C, D: 无活力花粉。A and B are viable pollens; C and D are dead pollens

理方式下, 4 个桃品种的始花期顺序依次为“瑞光 5 号”、“早露蟠”、“大久保”和“90342”, 即“瑞光 5 号”最早开花, “早露蟠”约 3 d 后开花, “大久保”和“90342”则在 6~8 d 后才陆续开放; “早露蟠”盛花期持续时间最长, 约 8~9 d, 其余 3 个品种 7 d 左右(图 3)。

桃花盛开阶段是完成传粉受精的重要时期, 设施条件下, 不同品种桃花的盛开期存在较大差异。单花动态观察结果表明, 4 个桃品种的露红期、半开期和萎蔫期差异不显著; 但“90342”的单花盛开期仅为 2 d, 明显短于其他 3 个桃品种(表 1)。

2.2 设施条件下不同桃品种的花药开裂状况

天气晴朗条件下, 上午 8:30 所标记的 4 个桃品种的花朵在下午 15:00 之前完成全部花药开裂。在设施条件下, 不同桃品种的花药开裂起始时间、花

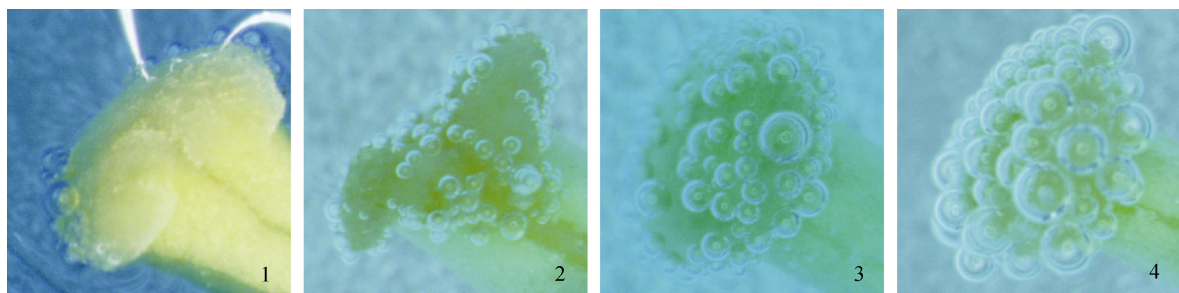


图 2 联苯胺-过氧化氢法测定设施桃柱头可授性

Fig. 2 Stigma receptivity of greenhouse peach with benzidine-hydrogen peroxide test

1: 柱头无可授性 stigma with no receptivity; 2: 柱头可授性较弱 stigma with weak receptivity; 3: 柱头可授性中等 stigma with moderate receptivity; 4: 柱头可授性较强 stigma with strong receptivity.

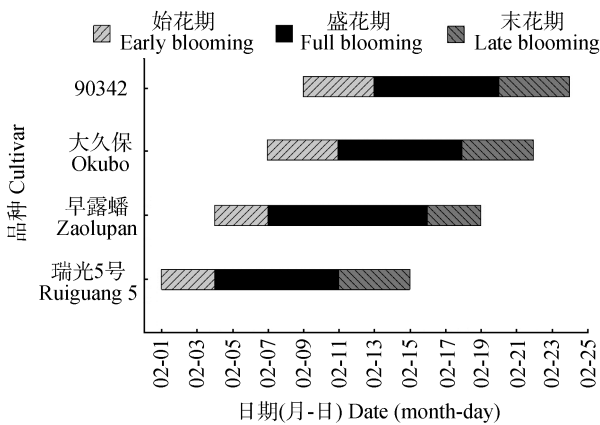


图 3 设施条件下 4 个桃品种的群体花期动态

Fig. 3 Flowering phenophase of the four peach cultivars in greenhouse

药开裂高峰期、单花花药全部开裂所需时间存在较大差异。“大久保”、“早露蟠”、“瑞光 5 号”在半开状态下, 观察到少量花药开裂, 花全开后, 花药开裂速度逐渐增大。“大久保”和“早露蟠”花药在 12:00 前后达到开裂高峰, “瑞光 5 号”则在 13:00 左右花药开裂最多; 这 3 个桃品种从第 1 个花药开始开裂到全部花药开裂完毕均需要 5~6 h。“90342”的花药开裂

过程与其他 3 个桃品种相比有较大差异, 在微开及半开状态的花中未观察到花药开裂, 花完全开放后, 花药迅速开裂, 开裂高峰期集中在 10:00—11:00, 并在 12:00 之前基本完成全部花药的开裂(图 4)。

2.3 设施条件下不同桃品种的花粉粒数量

单花花药个数与花药中花粉粒数量共同决定着桃花粉量的多少。本研究发现不同桃品种花粉粒数量存在较大差异。“90342”单花花药数量与花粉粒总数均显著高于其他 3 个桃品种($P < 0.05$); “大久保”单

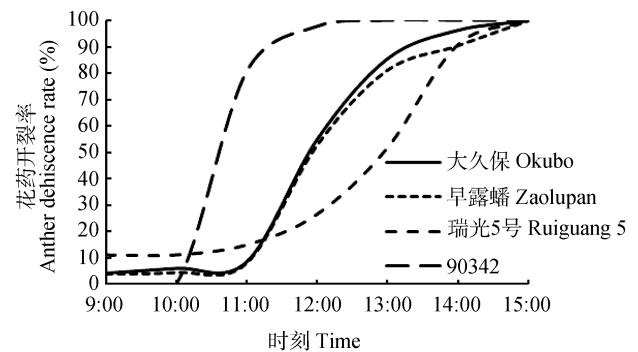


图 4 设施条件下 4 个桃品种的花药开裂动态

Fig. 4 Dynamics of the anther dehiscence of the four peach cultivars in greenhouse

表 1 设施条件下 4 个桃品种的单花开花历期

Table 1 Duration of different flowering stages for single flower of the four peach cultivars in greenhouse

品种 Cultivar	持续天数 Duration of stage (d)			
	露红期 Bud exposing stage	半开期 Half opening stage	盛花期 Full bloom stage	萎蔫期 Wilting stage
大久保 Okubo	4.71±0.75a	2.00±0.58a	4.71±0.76a	2.14±0.69a
早露蟠 Zaolupan	5.78±0.97a	1.78±0.66a	4.78±0.67a	3.78±0.97a
瑞光 5 号 Ruiguang 5	6.17±0.75a	1.33±0.51a	4.17±0.75a	3.33±0.52a
90342	5.89±0.78a	2.11±0.33a	2.44±0.53b	3.44±0.73a

同列数值后不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$),下同。Values in the same column with different letters are significantly different at 0.05 level. The same below.

表 2 设施条件下 4 个桃品种的花粉粒数量

Table 2 Pollen quantity of the four peach cultivars in greenhouse

品种 Cultivar	单花花药数 Number of anthers per flower	单药花粉粒数 Number of pollen grains per anther	单花花粉粒数 Number of pollen grains per flower
90342	55.20±4.41a	1 818.61±373.10b	100 360.30±8 017.42a
大久保 Okubo	45.11±3.95c	2 028.53±301.22a	91 485.33±8 002.85b
瑞光 5 号 Ruiguang 5	47.59±3.27b	1 539.51±185.24c	73 245.00±5 033.91c
早露蟠 Zaolupan	43.35±3.67d	1 375.75±176.11d	59 609.80±5 047.89d

花花药数量低于“瑞光 5 号”($P<0.05$),但由于其单药花粉粒数量最高,单花花粉粒总数高于“瑞光 5 号”($P<0.05$);“早露蟠”无论是单花花药数量,还是单药花粉粒数量均为最少,导致其单花花粉粒总数显著低于其他品种($P<0.05$)(表 2)。

2.4 设施条件下不同桃品种的花粉活力

花粉活力变化与单花发育进程密切相关,并且不同桃品种花粉活力有较大差异。本研究发现(图 5),在设施条件下,4 个桃品种的花在露红阶段花粉即具备一定活力,半开后花粉活力迅速上升,达到最高值后活力逐渐减弱直至花期结束,活力丧失。4 个桃品种在露红至半开阶段,花粉活力无显著差异;半开后的花粉活力差异较大。“瑞光 5 号”、“大久保”、“90342”均是

在花朵全开当天花粉活力最高,分别为 52.4%±4.2%、44.8%±3.1%、32.8%±4.5%;“早露蟠”花后第 1 d 花粉活力达到最高值 63.3%±3.7%。“大久保”的花粉寿命最长,约 7 d,并且花后 5 d 内花粉活力均维持在 30%以上;“早露蟠”的花粉寿命稍短于“大久保”,约 6 d;“瑞光 5 号”和“90342”的花粉寿命仅为 3 d,显著短于“大久保”和“早露蟠”($P<0.05$)。4 个桃品种中,“90342”的花粉活力最低,仅在开花当天达到 30%以上。

2.5 设施条件下不同桃品种的柱头可授性

4 个桃品种的柱头在开花前均具备一定的可授性,开花后可授性逐渐增加,达到最强后又逐渐减弱直至消失。“大久保”、“早露蟠”和“瑞光 5 号”柱头可授性变化趋势较为一致,在花朵全开后第 3 d 的柱头可授性最强,柱头可授期 6~7 d,花后第 7~8 d 柱头开始枯萎,颜色变深,失去活性。“90342”柱头可授性在开花后第 2 d 达到最强后迅速减弱,柱头可授期仅 3 d,开花后第 4 d 柱头枯萎,可授性丧失(表 3)。

3 讨论

不同果树品种的开花时间往往不同。马瑞娟等^[22]对 507 份桃种质资源进行花期调查发现,桃品种间始花期存在较大差异。Asma^[23]在研究杏树开花生物学特性时发现,不同杏品种的初花期可能会间隔 8~10 d。一般认为在相同的生长环境及管理模式下,需冷量少的果树品种开花更早^[24]。不同桃品种间需冷量差异较大,王力荣等^[25]研究认为大多数蟠桃品种需冷量低于水蜜桃品种如“大久保”等。本研究也得出了类似的结果,“瑞光 5 号”的始花期最早,其次为“早露蟠”,“大久保”和“90342”最晚开花,最早和

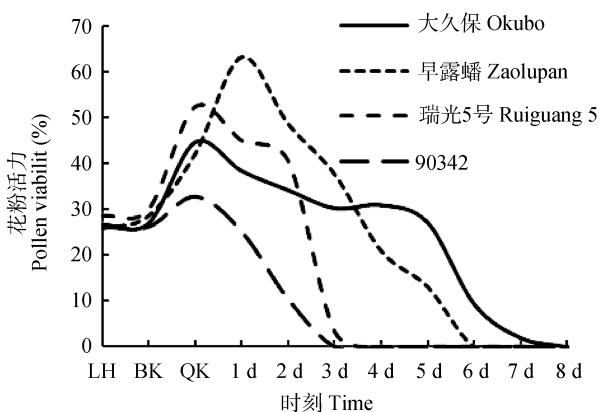


图 5 设施条件下 4 个桃品种的花粉活力动态

Fig. 5 Dynamics of pollen viability of the four peach cultivars in greenhouse

LH: 露红,花瓣突出与萼片等长;BK: 半开,花瓣微绽雌蕊雄蕊露出;QK: 全开,花瓣全部展开;1~8 d: 全开后天数,下同。LH: petals expose with the same height of sepal; BK: flower slightly open with pistil and stamen exposed; QK: flower fully open; 1~8 d: days after the day flower fully opened. The same below.

表 3 设施条件下 4 个桃品种的柱头可授性动态
Table 3 Evolution of the stigma receptivity of the four peach cultivars in greenhouse

时间 Time	品种 Cultivar			
	大久保 Okubo	早露蟠 Zaolupan	瑞光 5 号 Ruiguang 5	90342
LH	+	+	+	+
BK	+	+	+	+
QK	++	+	+	++
1 d	++	++	+	++
2 d	++	++	++	+++
3 d	+++	+++	+++	+
4 d	+++	++	+++	—
5 d	++	+	++	—
6 d	+	+	+	—
7 d	—	+	+	—
8 d	—	—	—	—

—: 柱头无可授性 stigmas with no receptivity; +: 柱头可授性较弱 stigmas with weak receptivity; ++: 柱头可授性中等 stigmas with moderate receptivity; +++: 柱头可授性较强 stigmas with strong receptivity.

最晚的品种始花期存在 8 d 的差异。在设施桃栽培中, 将花期相近或盛花期重叠时间较长的桃品种混合栽培, 不但可以促进桃品种间的异花授粉, 提高座果率, 而且便于设施桃园的统一管理, 如进行花前花后追肥、授粉、疏花疏果等工作。本研究表明, “瑞光 5 号”盛花期结束后, “大久保”和“90342”才开始进入盛花期, 因此“瑞光 5 号”不宜作为“大久保”和“90342”的授粉树, 而适合与花期相近的“早露蟠”搭配种植, 两者互为授粉树; “大久保”和“90342”花期相近, 并且盛花期重叠时间较长, 可以互设为授粉树。虫媒植物依赖大而鲜艳的花冠、特殊气味的花蜜和花粉等吸引传粉昆虫。虽然, 在花朵露红和半开阶段, 花粉和柱头均具有活性, 但是盛花阶段是被子植物授粉受精的主要时期。随着花期时间的推移, 花瓣、花药等逐渐萎蔫, 泌蜜量减少, 对授粉昆虫的吸引力下降, 昆虫访问次数减少, 授粉成功率降低^[26]。本研究中, “90342”单花盛花阶段较短, 在生产中应适当加大人工传粉的力度或传粉蜂群的配置密度, 以提高传粉受精的成功率。

花药开裂情况直接影响着植物的散粉能力, 花药开裂越彻底, 散粉量越大, 越有利于传粉受精过程的进行。本研究发现, 花药开裂的速度和程度与温室内的环境因子密切相关。在晴朗天气下, 早晨开棚后, 温室内温度和光照强度呈现先上升后下降的日变化趋势, 13:00 左右温度和光照强度达到最高值; 相对湿度则呈现先降低后上升的日变化趋势, 但相对湿度的变化稍滞后于温度和光照的变化。观察发现, 早晨开棚后, 随着光照强度的上升, 温室

内温度迅速上升, 当温度到达 20 °C 时, 需要及时开启温室通风口通风降温, 防止温室内温度过高灼烧花器官。随着通风口的开启, 温室内相对湿度迅速降低; 当温室内光照强度和温度分别达到 $3.91 \times 10^4 \text{ lx}$ 和 17.5 °C 以上、相对湿度降至 50% 以下时, 在早晨微开的花朵当天即可完成全部花药开裂。若花期内遇阴、雪天气, 光照强度保持较低或很低的水平, 温室内温度上升幅度很小或者没有上升, 由于温度较低, 不能开棚通风, 温室内相对湿度始终保持在较高的水平, 在此情况下, 花药开裂的速度很慢、散粉量很小, 严重影响传粉受精的顺利进行。理论上讲, 较高的温度可以减轻高湿环境对花药开裂的抑制作用^[27]。但在设施环境中, 相对湿度与温度呈负相关关系, 晴天的早晚或者适逢雨雪天气, 温室内湿度较大的同时温度往往偏低, 加之设施环境相对封闭、空气流通性差, 很容易出现由于湿度过高而抑制花药开裂的现象。最近几年, 有些种植者使用加热系统, 以防止花期内温度过低而影响桃的正常开花、传粉和受精, 起到了很好的效果。因此花期内环境因子的合理控制对保障设施桃花药及时开裂、实现有效授粉具有重要意义。

Yates 等^[28]认为不同果树品种间花药开裂情况并非一致。王定康等^[29]报道了重楼属植物花药开裂闭合现象, 并认为花药开裂时间与花药大小相关。Franchi 等^[30]则认为, 雄蕊在花中的紧密排列使得花丝之间存在某种张力, 第 1 个花药开裂后, 会引发整个雄蕊花丝的伸展, 从而带动其他花药的开裂。本试验中不同桃品种的花药开裂起始时间、开裂高峰期及持续时间均存在一定差异。在 4 个桃品种中, “90342”花药个数最多, 其全部花药开裂所需时间最短, 这可能与该品种花药数量较多、花丝排列紧密有关, 具体原因有待进一步的试验验证。

花粉活力和花粉数量直接影响着植物的繁殖能力, 在不同果树品种间花粉活力和花粉数量差异很大^[31-32]。本研究中, 4 个桃品种在花粉量及花粉活力上均存在较大差异, 其中“早露蟠”花粉量最少, 但花粉活力最高; “90342”花粉活力最低, 但花粉量最大。据推测, 花粉量与花粉活力间的相互弥补可能是植物提高繁殖成功率的一种策略。通过试验结果可看出, 虽然桃花粉寿命与柱头可授期有较长重叠时间, 但花粉活力与柱头可授性并非同时达到最强。桃花粉在开花当天或是花后第 1 d 活力最强, 此时柱头可授性较弱; 而当柱头可授性达到最强时, 花粉活力已呈下降趋势。柱头在可授期内能否接受足够量具备活力的花粉是授粉受精成功的关键, 因

此选择活力较高的花粉对处于柱头可授期内的桃花进行辅助授粉, 对实现设施桃的丰产栽培具有重要意义。目前蜜蜂和熊蜂等蜂类传粉在设施桃栽培中应用广泛。蜂类昆虫在访花过程中偏爱采集活性较高的花粉, 并且携粉量大, 访花频率高, 分布范围广, 可以增加桃的异花授粉机会^[33-35], 在结果上常常表现为座果率高、畸形果率低、果实发育较快等现象^[36]。因此, 在设施桃的丰产栽培中应优先使用蜂类传粉。

本研究探明了设施条件下 4 个桃品种的开花生物学特性, 为设施桃丰产栽培过程中授粉树的合理配置、花期科学管理以及实施有效授粉提供了依据, 也为进一步探究设施桃不同方式传粉的作用机制奠定了基础。

致谢 中国农业科学院蜜蜂研究所硕士研究生秦浩然、高丽娇和徐龙龙等参加部分试验工作, 法国农科院(Institut National de la Recherche Agronomique, INRA)昆虫授粉生态研究室 Bernard E. Vaissière 博士在花粉数量统计方面给予热情帮助, 英国自然历史博物馆生命科学系(Department of Life Science, Natural History Museum) Paul H. Williams 博士修改英文摘要, 在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] Daniel J S, Ashman T L. The evolution of floral longevity: Resource allocation to maintenance versus construction of repeated parts in modular organisms[J]. *Evolution*, 1995, 49(1): 131-139
- [2] Dafni A, Firmage D. Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2000, 222(1/4): 113-132
- [3] Dafni A, Maués M M. A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity[J]. *Sexual Plant Reproduction*, 1998, 11(3): 177-180
- [4] Ruiz D, Egea J. Analysis of the variability and correlations of floral biology factors affecting fruit set in apricot in a Mediterranean climate[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 115(2): 154-163
- [5] Wang Y L, Guan Z Y, Chen F D, et al. Pollen viability, pistil receptivity, and embryo development in hybridization of *Nelumbo nucifera* Gaertn[J]. *The Scientific World Journal*, 2012, 2012: 678-706
- [6] Sanzol J, Herrero M. The “effective pollination period” in fruit trees[J]. *Scientia Horticulturae*, 2001, 90(1/2): 1-17
- [7] González M V, Coque M, Herrero M. Stigmatic receptivity limits the effective pollination period in Kiwifruit[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995, 120(2): 199-202
- [8] 郑殿升, 刘旭, 黎裕. 起源于中国的栽培植物[J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(1): 1-10
Zheng D S, Liu X, Li Y. Cultivated plants originated in China[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(1): 1-10
- [9] 苏明申, 叶正文, 李胜源, 等. 桃的栽培价值和发展概况[J]. *现代农业科学*, 2008, 15(3): 16-18
Su M S, Ye Z W, Li S Y, et al. The summarization of peach cultivation value and development[J]. *Modern Agricultural Sciences*, 2008, 15(3): 16-18
- [10] Gao H J, Wang S M, Wang J X. Fruit protected cultivation in China[J]. *Hunan Agricultural Science & Technology Newsletter*, 2003, 4(3): 2-9
- [11] 张英杰, 焦雪辉, 王舒黎, 等. 中国设施果树区域发展[J]. *农业工程技术: 温室园艺*, 2010(8): 94-100
Zhang Y J, Jiao X H, Wang S L, et al. Regional development of protected fruits in China[J]. *Agriculture Engineering Technology: Greenhouse & Horticulture*, 2010(8): 94-100
- [12] Erez A, Yablowitz Z, Korcinski R. Greenhouse peach growing[J]. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 1998, 465: 593-600
- [13] 王海波, 王孝娣, 王宝亮, 等. 中国果树设施栽培的现状、问题及发展对策[J]. *农业工程技术: 温室园艺*, 2009(8): 39-42
Wang H B, Wang X D, Wang B L, et al. The state, problem and development countermeasure on fruit tree facility cultivation[J]. *Agriculture Engineering Technology: Greenhouse & Horticulture*, 2009(8): 39-42
- [14] Nava G A, Dalmago G A, Bergamaschi H, et al. Effect of high temperatures in the pre-blooming and blooming periods on ovule formation, pollen grains and yield of ‘Granada’ peach[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122(1): 37-44
- [15] 叶正文, 杜纪红, 苏明申, 等. 桃 92 个品种的花粉量及其萌发特性的差异[J]. *园艺学报*, 2010, 37(4): 525-531
Ye Z W, Du J H, Su M S, et al. Cluster analysis for the quantity and germinating characteristics of the pollens from 92 peach cultivars[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(4): 525-531
- [16] 屈海泳, 刘连妹, 孔文涛, 等. 桃花粉活性检测和离体萌发特性的研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(21): 207-212
Qu H Y, Liu L M, Kong W T, et al. Study on viability testing methods and germinating characteristics of peach pollen[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(21): 207-212
- [17] Dafni A. *Pollination ecology: A practical approach*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1992
- [18] 王力荣, 方伟超, 朱更瑞. 桃(*Prunus persica*)种质资源物候期性状遗传多样性的评价指标探讨[J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(2): 144-147
Wang L R, Fang W C, Zhu G R. The evaluating criteria of some fruit phenology character of peach (*Prunus persica*) genetic resources[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(2): 144-147
- [19] Costa C M, Yang S. Counting pollen grains using readily available, free image processing and analysis software[J]. *Annals of Botany*, 2009, 104(5): 1005-1010
- [20] Bolat I, Pirlak L. An investigation on pollen viability, germination and tube growth in some stone fruits[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 1999, 23(4): 383-388
- [21] Navarro L. Reproductive biology of *Anthyllis vulneraria* subsp. *Vulgaris* (Fabaceae) in northwestern Iberian Peninsula[J]. *Nordic Journal of Botany*, 1999, 19(3): 281-287
- [22] 马瑞娟, 宋宏峰, 沈志军, 等. 桃花器和开花特性研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(4): 382-385

- Ma R J, Song H F, Shen Z J, et al. Studies on the characters of bloom of peach[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(4): 382-385
- [23] Asma B M. Determination of pollen viability, germination ratios and morphology of eight apricot genotypes[J]. African Journal of Biotechnology, 2008, 7(23): 4269-4273
- [24] Ruiz D, Campoy J A, Egea J. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61(3): 254-263
- [25] 王力荣, 朱更瑞, 左覃元. 中国桃品种需冷量的研究[J]. 园艺学报, 1997, 24(2): 194-196
Wang L R, Zhu G R, Zuo T Y. Studies on the chilling requirement of peach varieties[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1997, 24(2): 194-196
- [26] Harder L D, Johnson S D. Adaptive plasticity of floral display size in animal-pollinated plants[J]. Proceedings of the Royal Society B, 2005, 272(1581): 2651-2657
- [27] Yates I E, Sparks D. Environmental regulation of anther dehiscence and pollen germination in pecan[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1993, 118(6): 699-706
- [28] Yates I E, Sparks D. External morphological characteristics for histogenesis in Pecan anther[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(1): 181-189
- [29] 王定康, 孙桂芳, 陈雪, 等. 几种重楼属植物花药开裂和关闭现象的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(9): 3709-3710
Wang D K, Sun G F, Chen X, et al. Observation on the anther opening and closing phenomena of several of *Paris* genus[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2008, 36(9): 3709-3710
- [30] Franchi G G, Nepi M, Matthews M L, et al. Anther opening, pollen biology and stigma receptivity in the long blooming species, *Parietaria judaica* L. (Urticaceae)[J]. Flora, 2007, 202(2): 118-207
- [31] Sharafi Y. An investigation on the pollen germination and tube growth in some *Prunus persica* genotypes and cultivars[J]. African Journal of Microbiology Research, 2011, 5(14): 2003-2007
- [32] 赵纪伟, 李莉, 彭建营, 等. 梨不同品种花粉生活力测定及授粉特性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 152-156, 162
Zhao J W, Li L, Peng J Y, et al. Pollination characteristics and pollen viability test of different pear cultivars[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(1): 152-156, 162
- [33] 安建东, 吴杰, 彭文君, 等. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂在温室桃园的访花行为和传粉生态学比较[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1071-1076
An J D, Wu J, Peng W J, et al. Foraging behavior and pollination ecology of *Bombus lucorum* L. and *Apis mellifera* L. in greenhouse peach garden[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 1071-1076
- [34] 陈文锋, 安建东, 董捷, 等. 不同蜂在温室草莓园的访花行为和传粉生态学比较[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 290-296
Chen W F, An J D, Dong J, et al. Flower-visiting behavior and pollination ecology of different bee species on greenhouse strawberry[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(2): 290-296
- [35] 赵亚周, 安建东, 周志勇, 等. 意大利蜜蜂和小峰熊蜂在温室桃园的传粉行为及其影响因素[J]. 昆虫学报, 2011, 54(1): 89-96
Zhao Y Z, An J D, Zhou Z Y, et al. Pollination behavior of *Apis mellifera ligustica* and *Bombus hypocrite* (Hymenoptera, Apidae) and the influencing factors in peach greenhouse[J]. Acta Entomologica Sinica, 2011, 54(1): 89-96
- [36] 董捷, 安建东, 黄家兴, 等. 不同蜂传粉对设施桃果实生长发育和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 836-842
Dong J, An J D, Huang J X, et al. Effects of pollination by different bees on peach fruit development and quality under greenhouse conditions[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(4): 836-842

欢迎订阅《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办的大豆专业领域学术性期刊,也是被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及科技种田的农民。

《大豆科学》为双月刊,16开本,每期144页。国内外公开发行,国内每期订价10.00元,全年60.00元,邮发代号14-95。国外每期订价10.00美元(含邮资),全年60美元,国外代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅,也可向编辑部直接订购。

热忱欢迎广大科研及有关企事业单位刊登广告,广告经营许可证号:2301030000004。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《大豆科学》编辑部(邮编:150086) 电话:0451-86668735

网址:www.haasep.cn E-mail:dadoukx@sina.com ddkexue@126.com