

杜玉虎, 楚明, 齐边斌, 等. 软枣猕猴桃雄株不同发育阶段花粉特性及加工工艺优化 [J]. 福建农业学报, 2024, 39 (11): 1248–1255.

DU Y H, CHU M, QI B B, et al. Pollen Characteristics and Processing Technology Optimization of Male *Actinidia arguta* at Flower Development Stages [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 39 (11): 1248–1255.

## 软枣猕猴桃雄株不同发育阶段花粉特性及加工工艺优化

杜玉虎, 楚明, 齐边斌, 张力飞, 赵峰松, 王兴国, 翟秋喜\*

(辽宁农业职业技术学院, 辽宁 营口 115009)

**摘要:** 【目的】研究软枣猕猴桃雄株不同发育阶段花粉含量与活力, 分析不同干燥前预处理方法对花粉加工效率的影响及干燥温度对花粉活力的影响, 以优化软枣猕猴桃花粉生产加工工艺。【方法】以软枣猕猴桃雄株品系辽农 3-1 为试材, 比较开花前 5、4、3、2、1 d 和开花 1 d 花 (花蕾) 的花粉含量及花粉活力; 对 6 种干燥前预处理方法 (不处理、剥取花药、匀浆机 3 s、匀浆机 2 s、匀浆机 1 s 和手工掰开成两半) 进行比较; 研究在 22、25、28 °C 等 3 种温度条件下花蕾的干燥速度及花粉活力的差异。【结果】随着花的发育, 花粉量急速增多, 在开花前 2 d 时花粉可采集量最多, 为 1.276%, 之后随着花药的破裂, 可采集花粉量迅速降低, 呈现二次幂曲线形态。花蕾干燥前预处理方法选用匀浆机匀浆 1 s 打碎花蕾, 即可短时间内有效打碎花蕾, 缩短花蕾干燥时间, 同时精粉中杂质含量少, 是有效可行的处理方法。花蕾相对干质量 < 23% 时, 水分减少趋缓, 呈现干燥状态, 随着干燥温度的升高, 干燥用时缩短, 28 °C 条件下干燥用时为 13 h, 花蕾相对干质量为 22.98%, 且花粉活力与 22 °C 和 25 °C 散出花粉没有显著性差异。【结论】大量采集软枣猕猴桃雄株花粉, 可优先选择开花前 2 d 花蕾, 使用匀浆机匀浆 1 s 处理, 然后在 28 °C 条件下干燥后, 使用精粉提取机制取花粉。

**关键词:** 软枣猕猴桃; 雄株; 花粉; 散粉特性

中图分类号: S663

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2024) 11-1248-08

### Pollen Characteristics and Processing Technology Optimization of Male *Actinidia arguta* at Flower Development Stages

DU Yuhu, CHU Ming, QI Bianbin, ZHANG Lifei, ZHAO Fengsong, WANG Xingguo, ZHAI Qiuxi\*

(Liaoning Agricultural Vocational and Technical College, Yingkou, Liaoning 115009, China)

**Abstract:** 【Objective】Contents, vitality, and optimal preservation conditions of male *Actinidia arguta* pollens at flowering stages were studied. 【Method】Average amounts and viability of the pollens in the flower buds of an *A. arguta* Liaonong 3-1 plant in 5, 4, 3, 2, 1 d before and 1 d after flowering were compared. Prior to dehydration, the collected buds were either used as it with no pretreatment (CK), broken in half by hand one at a time, manually picked for anthers, or mechanically homogenized for 3 s, 2 s or 1 s (in the homogenizer). Rates of flower bud dehydration and pollen viability retention at drying temperatures of 22 °C, 25 °C, and 28 °C were measured. 【Result】As the flowers developing on the plants, amount of pollens rapidly increased to reach a maximum of 1.276% by weight 2 d before flowering. Anthers-picking drastically reduced the subsequent pollen production on a plant. A quadratic power function on pollen collection was observed. Homogenizing flower buds for 1 s helped release the pollens facilitating pollen drying in the dehydration and impurity reduction in the final pollen collection. In dehydration, higher temperature hastened the process, and the evaporation slowed down gradually after the relative dry weight of the buds fell below 23%. At 28 °C, the relative dry weight of the flower buds could be brought to 22.98% in 13 h with no significant difference on pollen vitality from what was achieved by drying at 22 °C or 25 °C. 【Conclusion】Male *A. arguta* flower buds could be collected 2 d before flowering to be homogenized for 1 s and dried at 28 °C for 13 h to obtain large quantities of highly vital, fine powder pollens.

**Key words:** *Actinidia arguta*; male plant; pollen; loose powder characteristics

收稿日期: 2024-08-03 修回日期: 2024-10-29

作者简介: 杜玉虎 (1976—), 男, 博士, 副教授, 主要从事果树生殖生理和种质创新研究, E-mail: 7676969@qq.com

\* 通信作者: 翟秋喜 (1978—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事软枣猕猴桃研究, E-mail: 383176347@qq.com

基金项目: 辽宁省教育厅高校基本科研项目 (LJKZ1216); 辽宁省科技特派行动专项计划项目 (2024JH5/10400108)

## 0 引言

【研究意义】软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta*) 属猕猴桃科 (*Actinidiaceae*) 猕猴桃属 (*Actinidia*) 落叶藤本植物, 俗称软枣子、软枣儿、藤梨、藤枣等, 是我国珍贵的野生果树资源。近年来通过野外考察选择出许多果实经济性状优良的品种/品系, 如桓优一号、龙城二号、魁绿、909 等, 大大促进了软枣猕猴桃人工商业化栽培, 除东三省外, 已扩展到河南、河北、山东、浙江等省份。软枣猕猴桃属于功能性雌雄异株, 在目前生产中授粉主要依靠果园配置雄株, 通常雌雄配置比例为 8:1, 并配以花期放蜂辅助授粉。桓优一号和龙城二号软枣猕猴桃不存在单性结实和无融合生殖, 风媒对中华猕猴桃授粉作用甚微, 且软枣猕猴桃花粉大小 (极轴×赤道轴) 显著大于中华猕猴桃花粉, 因此软枣猕猴桃生产不仅需要配制授粉雄株, 还有赖于有效传粉<sup>[1-3]</sup>。与自然授粉相比人工授粉可以促进果实增大, 果型端正, 商品性提升<sup>[1]</sup>。但软枣猕猴桃产业作为新兴果树产业, 花粉制取环节缺失, 花粉采集工艺流程尚不明确, 制约了软枣猕猴桃产业的稳定发展。【前人研究进展】在苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 和梨 (*Pyrus* spp.) 等树种, 及中华猕猴桃 (*A. chinensis* var. *chinensis*) 和美味猕猴桃 (*A. chinensis* var. *deliciosa*) 等大果猕猴桃类型果树上, 制粉工艺日臻完善, 使用商品花粉进行人工授粉能够保障坐果、节省土地资源和简化果园管理, 推动了产业发展<sup>[4]</sup>。阚莹莹<sup>[5]</sup>报道四川省都江堰地区猕猴桃花粉产量为 3 000 kg, 并且雄株园面积还在上升, 雌雄株分园管理, 可节约 20% 左右土地, 还有效减少了溃疡病的花粉传播途径。陈双双等<sup>[6]</sup>报道中华猕猴桃和美味猕猴桃生产中授粉是坐果的关键因素, 人工授粉成为了授粉的主要方式。同时机械授粉技术也悄然兴起, 逐渐替代人工授粉, 王雨晴等<sup>[7]</sup>使用四旋翼无人机进行田间授粉试验, 除能达到与人工授粉同等坐果率的效果之外, 授粉效率也提高了 40 倍。曲旭鹏<sup>[8]</sup>研究表明风送式干粉计量授粉器, 比人工点授和电动授粉器可以节约一半左右的花粉。机械授粉较人工授粉成本降低 23%<sup>[9]</sup>。同时苹果、梨等花粉生产与使用的标准也逐渐完善, 花粉生产俨然成为了果树产业链中不可或缺的重要环节。张九东等<sup>[10]</sup>报道以软枣猕猴桃为母本与中华猕猴桃雄株杂交授粉不能结实, 与美味猕猴桃杂交亲和性较高, 但果实中种子数量显著减少。目前市场上的猕猴桃商品花

粉多为中华猕猴桃和美味猕猴桃的混合粉, 因此无法满足软枣猕猴桃生产的需求。【本研究切入点】目前, 多种果树的花粉加工工艺已较为完善, 商品花粉的应用也十分普遍, 而关于软枣猕猴桃花粉的散粉特性仍不明确, 其花粉生产工艺也尚无相关报道。【拟解决的关键问题】以软枣猕猴桃辽农 3-1 雄性品系为材料, 研究雄花发育不同阶段花粉活力和可采集花粉含量, 以明确花粉加工采集花蕾的发育阶段; 设置花干燥前不同预处理方法, 以确定最适干燥前预处理方法; 设置不同的干燥温度, 以明确不损失花粉活力的情况下更快的干燥效率, 从而优化软枣猕猴桃花粉加工工艺。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为辽宁农业职业技术学院近年来选育的综合表现优良的软枣猕猴桃雄株品系辽农 3-1, 定植于辽宁农业职业技术学院软枣猕猴桃种质资源圃。于 2023—2024 年花期, 采集辽农 3-1 雄株花蕾为试验材料。

### 1.2 试验仪器

FA2104B 电子天平 (上海佑科仪器仪表有限公司, 感量 0.001g); BS-JF-3 型猕猴桃精粉提取机 (西安必胜电子科技有限公司); TENLIN-C 匀浆机 (江苏天翎仪器有限公司, 功率 300W); MGC-350HP-2 人工气候箱 (上海一恒科学仪器有限公司); PH-240A 干燥箱 (上海一恒科学仪器有限公司)。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 不同发育阶段花粉采集与花粉含量测定

花不同发育阶段包括开花 1 d (当天)、开花前 1 d、开花前 2 d、开花前 3 d、开花前 4 d 和开花前 5 d 等 6 个阶段 (图 1)。采集不同发育阶段的花蕾 (花) 50 g 左右, 按照杂交授粉常规做法取出花药, 自然干燥 24 h 左右, 使用精粉机采集精粉, 电子天平称量, 重复 3 次。花粉含量计算公式如下。

$$\text{花粉含量}/\% = \frac{\text{花粉 (精粉) 质量}/\text{g}}{\text{花鲜质量}/\text{g}} \times 100$$

#### 1.3.2 花不同发育阶段花药散粉情况观察

取开花前 3 d、2 d、1 d 和开花 1 d 的花, 带回实验室, 立即在解剖镜下观察花药散粉情况。

#### 1.3.3 花不同预处理、自然干燥用时的花粉杂质观测

将刚采摘的开花前 2 d 花蕾 100 g 左右, 干燥前按不处理、剥取花药、匀浆机 3 s、匀浆机 2 s、匀浆



图 1 辽农 3-1 软枣猕猴桃雄株不同花发育阶段的花蕾(花)

Fig. 1 Flower buds of male *A. arguta* Liaonong 3-1 at flower development stages

机 1 s 和手工掰开成两半等 6 种预处理方法处理, 分别统计预处理的用时, 重复 3 次。预处理后的花蕾在室温下 (22 ℃, 湿度 50%) 自然干燥, 统计干燥用时。提取精粉, 在解剖镜下观察提取精粉的杂质。

#### 1.3.4 不同干燥温度的花粉干燥时长

将刚采摘的开花前 2 d 花蕾 100 g 左右, 采用匀浆机 1 s 进行预处理后, 分别在 22 ℃ 室内 (湿度 50%)、25 ℃ 人工气候箱、28 ℃ 干燥箱 3 个温度条件下进行干燥。重复 3 次。

干燥前使用电子天平测量鲜花质量, 干燥过程中, 每隔 1 h, 测量一次质量, 直至花粉质量不变, 测定干燥过程用时, 结束干燥。通过如下公式计算相对干质量。

$$\text{相对干质量}/\% = \frac{\text{干燥过程中的质量}/\text{g}}{\text{干燥前的鲜质量}/\text{g}} \times 100$$

#### 1.3.5 花粉活力测定

取花不同发育阶段 (开花前 4 d、开花前 3 d、开花前 2 d、开花前 1 d、开花 1 d)、干燥前不同预处理方法 (不处理、剥取花药、匀浆机 3 s、匀浆机 2 s、匀浆机 1 s、手工掰成两半) 及不同温度 (22 ℃、25 ℃、28 ℃) 下干燥的花粉, 分别进行花粉活力测定。

花粉活力测定方法采用离体萌发培养方法, 测定花粉萌发率和花粉管长度。培养基为 10% 蔗糖 + 0.005% 硼酸 + 1% 琼脂<sup>[11-12]</sup>。在 25 ℃ 条件下黑暗保湿培养 5 h 后, 在显微镜下观察, 每处理统计 3 个视野, 每个视野不少于 30 粒花粉, 以花粉管长度大于花粉粒直径视为萌发, 测量 50 根花粉管长度, 重复 3 次<sup>[13]</sup>。

#### 1.4 数据处理

使用 Excel2016 整理数据和作图, 使用 OriginPro 2022 对试验数据进行统计分析和显著性检验。

## 2 结果与分析

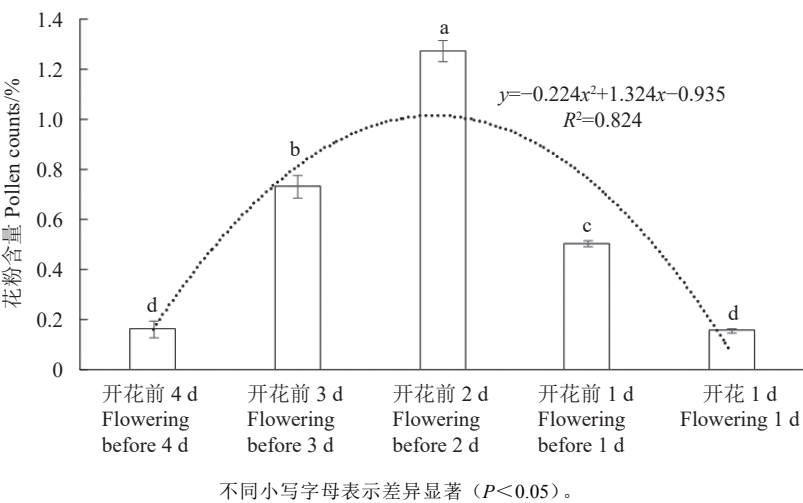
### 2.1 花不同发育阶段对花粉采集量的影响

开花前 2 d 花蕾可采集的花粉量最多, 占鲜质量的 1.276%; 其次为开花前 3 d 花蕾, 为 0.731%; 与预想的不同, 开花前 1 d 花蕾 (气球期) 可采集的花粉含量并不是最高的, 并且显著性低于开花前 2 d 和开花前 3 d 的花蕾, 为 0.506%。开花 1 d 和开花前 4 d 花蕾可采集的花粉量都非常低, 仅为开花前 2 d 花蕾可采集花粉量的 12.5% 左右, 分别为 0.159% 和 0.163%。开花前 5 d 花蕾过小, 花药剥取非常困难, 同时花药在体积上尚未达到成熟花药的大小, 并且互相粘连, 不能散出花粉, 因此作为采集花粉用花蕾暂不做进一步研究。从开花前 4 d 到开花 1 d, 花的不同发育阶段可采花粉量变化呈现为二次幂曲线,  $y = -0.224x^2 + 1.324x - 0.935$ ,  $R^2 = 0.824$ 。即随着花的发育, 花粉在花药内逐渐发育成熟, 可采集量迅速上升, 并在气球期花蕾之前达到一个顶点; 当花药开始破裂, 花粉开始散出时, 可采集花粉随着花粉的飘散而迅速下降 (图 2)。

### 2.2 花不同发育阶段对花药散粉的影响

采摘开花当天的花时, 只需轻微震动, 便能观察到花粉飘散。带回实验室后, 采用解剖镜进行观察, 发现花药周围及各花器官上均覆盖着大量花粉, 这些花粉散落后, 花药多呈空瘪状态。开花前 1 d (气球期) 花蕾带回实验室后, 观察到花瓣大多微微张开 (图 1, 开花前 1 d), 花药表面明显附着大量花粉, 说明此时花药的药室已经打开, 在解剖镜下, 可以清晰地看到花药壁开裂, 花粉散出, 已经开始散粉。开花前 2 d 花蕾中的花药成熟饱满, 花药壁包裹完整, 未有花粉散出。而开花前 3 d 花蕾中的花药颜色呈黄绿色, 大小已经与成熟花药一致, 花粉处于发育的最后阶段, 即将成熟 (图 3)。在





不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。  
Data with different lowercase letters indicate significant difference at  $P<0.05$ .

图 2 花不同发育阶段对花粉采集量的影响

Fig. 2 Quantity of pollen collected at various stages of flower development



a~c 依次为开花 1 d 花、花药整体、花药特写；d~f 为开花前 1 d 花蕾、花药整体、花药特写；g~i 为开花前 2 d 花蕾、花药整体、花药特写；j~l 为开花前 3 d 花蕾、花药整体、花药特写。  
a-c: buds of 1 d after flowering, intact anthers, and highlighted anther features, respectively; d-f: buds of 1 d before flowering, intact anthers, and highlighted anther features, respectively; g-i: buds of 2 d before flowering, intact anthers, and highlighted anther features, respectively; j-l: buds of 3 d before flowering, intact anthers, and highlighted anther features, respectively.

图 3 花不同发育阶段花药散粉情况

Fig. 3 Pollen production of anthers at various flower development stages

2.1 的试验过程和结果发现，开花前 4 d 花蕾的花粉含量极少，和开花前 5 d 花蕾一样，花药也不易剥取，因此对于采集花粉工艺而言，不宜作为原材料应用，本试验不再考察其散粉特性。

2.3 花不同发育阶段对花粉生活力的影响

从开花前 2 d 花蕾开始到开花当天的花粉萌发率均大于 88%，且没有显著性差异，花粉管长度都在 1 200 μm 左右，同样不存在显著性差异。而开花前 3 d 花粉萌发率与花粉管长度显著低于开花前 2 d，开花前 4 d 显著低于开花前 3 d，呈现出花蕾越幼小花粉活力越差的趋势，但即便是开花前 4 d 的小花蕾，花粉萌发率也大于 50%，具有可育性（表 1）。

2.4 干燥前不同预处理方法用时、对干燥用时及杂质含量的影响

对开花前 2 d 的花蕾采用不同的预处理方法，观察其预处理用时及干燥用时的情况（表 2、图 4）。干燥前不进行预处理，在室温自然干燥用时需 72 h，干燥用时最长，且干燥后，花蕾依然紧闭，无法直接抽取花粉，只能对干燥后的花蕾进行破碎后才可以抽取花粉。干燥前预处理方法采用剥取花药，每 100 g 花蕾用时 3.5 h；采用手工掰成两半，用时 0.5 h，这两种预处理方法每人每天可预处理的花蕾数量有限，效率低，不能满足生产用粉需求。采用匀浆机 3 s、2 s 和 1 s 等 3 种预处理方法，用时短，预处理花蕾的工作效率高，室温自然干燥用时 20~26 h。匀浆机 2 s 和匀浆机 3 s 的预处理，精粉中杂质含量增多，影响了花粉的纯度。匀浆机 1 s 的预处理花粉中含有的杂质较少，更适合应用于大规模的花粉采集。

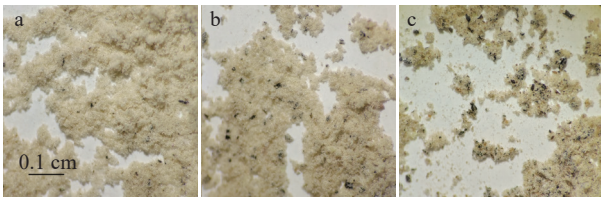
表 1 花不同发育阶段对花粉萌发及花粉管生长的影响  
Table 1 Germination and tube growth of pollens collected at stages of flower development

花发育阶段 Floral stage	花粉萌发率 Pollen germination rate/%	花粉管长度 Pollen tube length/ $\mu\text{m}$
开花前4 d	57.06 $\pm$ 5.78c	905.73 $\pm$ 82.19d
开花前3 d	70.27 $\pm$ 3.83b	1086.05 $\pm$ 65.34bc
开花前2 d	88.76 $\pm$ 1.09a	1208.09 $\pm$ 43.37a
开花前1 d	89.15 $\pm$ 1.08a	1224.17 $\pm$ 65.30a
开花1 d	88.75 $\pm$ 2.14a	1155.94 $\pm$ 42.61ab

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。表3、表4同。  
Data with different lowercase letters on same column indicate significant differences at  $P<0.05$ . Same for Table 3 and 4.

表 2 干燥前不同预处理方法对处理用时、干燥用时及杂质含量的影响  
Table 2 Effects of pretreatments on treatment time, drying time, and impurity content in pollen powder

处理编号 Treatment number	处理方法 Treatment method	每100 g 处理用时 Every 100 g of processing time/h	室温自然 干燥用时 Dry naturally at room temperature/h	花粉中 杂质含量 Content of impurities in pollen
1	不处理	0	72	少
2	剥花药	3.5	14	很少
3	手掰两半	0.5	24~36	很少
4	匀浆机3 s	0.01	20~26	多
5	匀浆机2 s	0.01	20~26	少
6	匀浆机1 s	0.01	20~26	很少



a 为匀浆机 1 s; b 为匀浆机 2 s; c 为匀浆机 3 s。  
a: homogenized for 1 s; b: homogenized for 2 s; c: homogenized for 3 s.

图 4 匀浆机不同时长预处理后花粉中杂质情况

Fig. 4 Impurities in pollen after different durations of pretreatment by homogenizer

2.5 干燥前不同预处理方法对开花前 2 d 花粉活力的影响

干燥前采用不同预处理方法对花粉活力产生了显著影响。不处理直接干燥花蕾,由于用时过长,花粉萌发率只有 46.92%,花粉管生长长度也最短,为 537.01  $\mu\text{m}$ 。采用将花蕾手工掰成两半、剥取花药

和匀浆机 1 s 处理的方法,花粉萌发率和花粉管长度均高,这 3 种方法之间没有显著性差异。其中手工掰成两半的萌发率最高,为 91.40%,花粉管长 1 223.13  $\mu\text{m}$ ;匀浆机处理 1 s 的方法制取的花粉萌发率略有下降,为 87.95%。随着匀浆机处理时间的加长,花蕾破碎程度增加,花粉萌发率显著降低,花粉管长度显著变短(表 3)。

表 3 干燥前不同处理方法对花粉萌发及花粉管生长的影响  
Table 3 Effects of pretreatments on germination and tube growth of pollens

干燥前不同预处理方法 Treatment methods before drying	花粉萌发率 Pollen germination rate/%	花粉管长度 Pollen tube elongation length/ $\mu\text{m}$
不处理	46.92 $\pm$ 5.52d	537.01 $\pm$ 200.33d
剥取花药	91.15 $\pm$ 1.55a	1 197.80 $\pm$ 80.69ab
匀浆机3 s	67.95 $\pm$ 5.44c	715.50 $\pm$ 79.34cd
匀浆机2 s	79.45 $\pm$ 4.52b	933.39 $\pm$ 60.70bc
匀浆机1 s	87.95 $\pm$ 1.47ab	1 200.17 $\pm$ 76.62ab
手掰两半	91.40 $\pm$ 0.92a	1 223.13 $\pm$ 66.63a

2.6 温度对开花前 2 d 花蕾干燥所需时间的影响

花蕾干燥所需的时间随着温度的升高而减少。花蕾相对干重约为 23% 时,呈现为干燥状态,随着时间的延长进一步干燥,相对干重可降至 21% 左右。花蕾在 22  $^{\circ}\text{C}$  条件下(室温下自然晾干)干燥所需时间最长,用时 22 h,相对干重为 22.81%。在 25  $^{\circ}\text{C}$  条件下(人工气候箱)相对干重降至 22.58%,约需 17 h。在 28  $^{\circ}\text{C}$  条件下(干燥箱),干燥所需时间最短,用时 13 h,相对干重降至 22.98%(图 5)。

2.7 不同干燥温度对开花前 2 d 花蕾散出花粉活力的影响

在 22  $^{\circ}\text{C}$ 、25  $^{\circ}\text{C}$  及 28  $^{\circ}\text{C}$  条件下,散出的花粉经离体培养后,花粉萌发率没有显著差异,花粉管生长长度随着干燥温度的升高呈现变短的趋势,但也未达到显著性差异水平(表 4)。因此软枣猕猴桃在 28  $^{\circ}\text{C}$  条件下干燥散粉是安全的。

3 讨论与结论

3.1 采集软枣猕猴桃花粉应收集开花前 2 d 花蕾为主

软枣猕猴桃雄花为多歧聚伞花序,通常为 3~4 歧,次第开放,辽农 3-1 属于 4 歧共 15 朵花。软枣猕猴桃的雄花小,作为花粉加工原料的花蕾,从工作效率上不能一朵一朵采集最适宜的花蕾,只能在

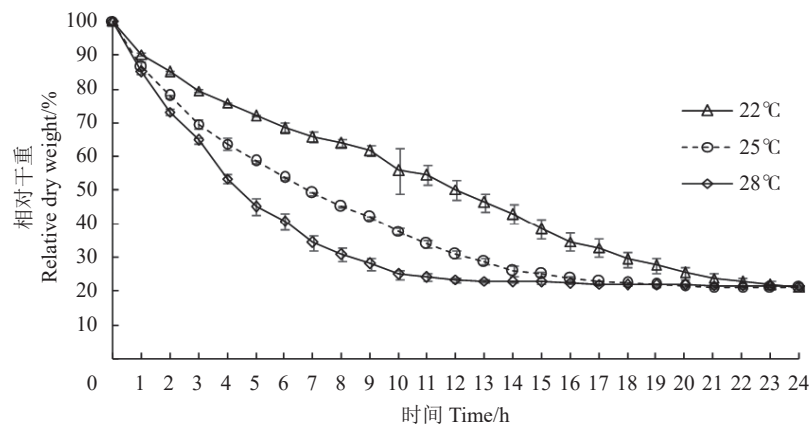


图 5 温度对预处理后开花前 2 d 花蕾干燥用时的影响

Fig. 5 Effect of temperature on drying time of buds collected 2 d before flowering

表 4 干燥温度对花粉萌发及花粉管生长的影响

Table 4 Effects of drying temperature on germination and tube growth of pollens

干燥温度 Drying temperature/ ℃	花粉萌发率 Pollen germination rate/%	花粉管长度 Pollen tube elongation length/ $\mu\text{m}$
22	87.95 $\pm$ 1.46a	1200.17 $\pm$ 76.62a
25	88.79 $\pm$ 1.33a	1127.65 $\pm$ 110.83a
28	87.32 $\pm$ 0.80a	1074.12 $\pm$ 28.11a

花序大部分花蕾适宜时，从整个花序上捋下大部分花蕾，因此确定可采花粉含量最大的花蕾发育时期至关重要。贺兴江等<sup>[14]</sup>研究发现贵长猕猴桃开花前 1 d 的花蕾已经有 1~3 片花瓣现展开迹象，并且在开花当天有 5.96% 的花粉从花药中散出，但是在开花后第 3 天仍然有 33.09% 的花粉未散出。这与软枣猕猴桃开花进程不同，软枣猕猴桃开花前 1 d 花蕾处于气球期，此时发现花药已经开裂，并且花瓣开放不像贵长猕猴桃那样依次展开，相对而言软枣猕猴桃花瓣的包裹性较弱，因此保湿性较差。气球期（开花前 1 d）花瓣开始松散，干燥空气进入，使花药开裂，可能是导致开花前 1 d 和开花 1 d 花的可采花粉量低、而开花前 2 d 反而高的原因。另外，与苹果、梨、山楂等树种相比，这些树种的花瓣打开后，需要经过一段时间，花药才会逐渐干燥并散出花粉，而软枣猕猴桃的花药在活体上干燥和释放花粉速度相对较快，这种快速的散粉现象可能与其花药壁结构有关，这还有待进一步研究。

刘磊等<sup>[15]</sup>以东红猕猴桃为试材，发现花瓣刚露出花萼时，其花粉母细胞减数分裂已经完成，但小孢子处于单核期与双核期，其形态上与本试验中的开花前 5 d 花蕾相似。同时，63.8% 的小孢子为三核期成熟花粉的花蕾形态与本试验中的开花前 3 d

到开花前 2 d 的花蕾相似<sup>[15]</sup>。由此推断，开花前 5 d 花粉大部分尚未发育成熟，是花粉萌发率低的原因；而开花前 3 d 到开花前 2 d 的花蕾中，成熟花粉的比例大幅提高，从而提高了花粉的萌发率。本试验中，花发育到开花前 3 d 时，花粉萌发率相对较高，开花前 2 d 时，花粉萌发率已经与开花期已无显著性差异。

谢辉等<sup>[16]</sup>采集吊干杏花发育不同阶段的花蕾，发现大蕾期萌发率为 70.82%，而中、小蕾期萌发率分别为 12.58%、1.66%，表现出幼小花蕾的花粉萌发率较低的现象，与本试验结果规律相似。另外，相较于软枣猕猴桃的幼小花蕾，吊干杏花在中、小蕾期的花粉活力更低，这可能与其试验花蕾采自水培花枝的原因有关。

陈永安等<sup>[17]</sup>以中华系 401 猕猴桃为试材，在花不同发育时期采集花粉。研究结果显示，随着花的发育，花粉活力逐渐提升，在大蕾期达到最高，为 82.31%，这与本试验以软枣猕猴桃为试材的变化趋势相似，但中华系 401 随着开花，花粉活力快速下降，开花后 6 h 和 24 h 分别下降至 66.89% 和 31.40%。贺兴江等<sup>[14]</sup>研究发现贵长猕猴桃开花当天花粉萌发率最高，为 51.54%，开花后 2 d 仍大于 30%，但到开花后第 3 天陡然下降至 3.75%。本试验开花 1 d 的材料是采集刚开放的花朵，并未涉及花后的情况，软枣猕猴桃花后花粉活力情况还有待进一步调查。

3.2 花药分离与花蕾破开及花粉纯度

在处理梨、苹果树种和大果型猕猴桃种类等的花蕾时，使用打花机可以成功分离出花药。但软枣猕猴桃的开花前 1 d 之后的花，虽然能分离出一些花药，但经过大幅震动后，出粉率极低，已不能满足制粉要求，而可采花粉量大的开花前 2 d 花蕾小且紧实，利用现有打花机不能有效分离出花药，这一环



节使得软枣猕猴桃花粉制取变得困难,因此采取破开花蕾,跳过了分离花药环节而直接干燥的策略。但从软枣猕猴桃花蕾中分离花药的技术还需进一步研究。

吴素芳等<sup>[9]</sup>采用在花粉萌发培养基上计算花粉萌发率时统计花粉纯度的方法,测定了在贵州修文县经销的 3 种猕猴桃商品花粉的平均纯度为 96.3%。本试验仅在解剖镜下比较了花粉的杂质,花粉纯度的量化测定还有待进一步研究。

### 3.3 干燥花蕾的温度选择

罗艳等<sup>[18]</sup>研究认为,环境温度的变化会对花粉活力产生不同程度的影响,高温条件下,极易使花粉活力下降,花粉活力与最高温度、温差呈现出极显著相关。Everett 等<sup>[19]</sup>联合加热和干燥处理猕猴桃花粉,在相对湿度 30%、35℃ 的条件下,花粉活力下降至 60%。李子君<sup>[20]</sup>使用 98.5 mg·L<sup>-1</sup> 的 ClO<sub>2</sub> 消毒猕猴桃花粉,在 34℃ 温度条件下,处理时间 25.3 min,花粉活力降低了 22.2%。牛雨佳等<sup>[21]</sup>分析了猕猴桃 8 种花粉采集方法,认为太阳暴晒产生高温以及使用研磨机高速运转产生 30℃ 以上高温是严重影响花粉活力的原因。并建议收集花粉的过程中,应注意温度保持在 28℃ 以下。姚春潮等<sup>[22]</sup>采用下午 16:00~18:00 的阳光日晒干燥花粉,测定温度为 35~37℃,花粉活力低,不提倡采用,而采用灯照干燥(26~28℃)和恒温烘干箱(25~27℃)得到的花粉活力高。这与本试验 28℃ 条件下干燥的花粉拥有较强的活力结果一致。姚春潮等<sup>[22]</sup>认为温度适当的条件下,干燥速度较快的花粉制取方法,能有效保持花粉活力的原因是减少了干燥过程中的损伤。因此与本试验结果相结合,建议采用 28℃ 条件下恒温干燥箱进行干燥,用时 13 h 左右,比 25℃ 和 22℃ 要快 4~9 h。为了大量采集花粉,也可以建设恒温烘干房进行干燥。

陈永安等<sup>[17]</sup>以软枣猕猴桃、中华猕猴桃、毛花猕猴桃和秦雄 201 为试材,测定常温下贮藏的花粉活力发现,6~9 d 即失去生活力。1~5 d 花粉活力,呈现线性快速下降,第 5 天时,4 种花粉的萌发率低于 20%,而低于 20% 通常认为在生产上已经失去了授粉意义,不宜再做授粉使用。贺兴江等<sup>[14]</sup>研究发现贵长猕猴桃花粉在室温下第 3 天花粉活力降至 15.89%。这也说明了在安全的花蕾干燥温度范围内,尽可能缩短干燥用时,是制取高活力花粉的关键。

综上所述,在大量采集软枣猕猴桃雄株花粉时,可优先选择花药尚未开裂、可采花粉量最大的

开花前 2 d 花蕾;使用匀浆机匀浆 1 s 破碎花蕾,既能有效破碎花蕾,也可使得到的花粉杂质含量低;然后选择在 28℃ 条件下干燥,缩短干燥用时,以提高制取花粉的质量。

### 参考文献:

- [1] 秦红艳,张宝香,艾军,等. 2 个软枣猕猴桃品种的花粉育性研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(5): 909-914.  
QIN H Y, ZHANG B X, AI J, et al. Studies on pollen fertility of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* Planch.) two cultivars [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, 37(5): 909-914. (in Chinese)
- [2] 安成立,刘占德,姚春潮,等. 风媒对猕猴桃授粉作用的研究[J]. 北方园艺, 2013(19): 30-33.  
AN C L, LIU Z D, YAO C C, et al. Study on the influence of anemophily on kiwifruit pollination [J]. *Northern Horticulture*, 2013(19): 30-33. (in Chinese)
- [3] 齐秀娟,王然,兰彦平,等. 3 个猕猴桃栽培种花粉形态扫描电镜观察[J]. 果树学报, 2017, 34(11): 1365-1373.  
QI X J, WANG R, LAN Y P, et al. Morphologic study of pollens of three cultivated *Actinidia* species by scanning electron microscopy [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(11): 1365-1373. (in Chinese)
- [4] 王晓春,熊茂林,向晓强,等. 城固猕猴桃花粉专业化生产优势与建议[J]. 西北园艺(果树), 2021(4): 3-5.  
WANG X C, XIONG M L, XIANG X Q, et al. Advantages and suggestions for specialized production of kiwifruit pollen in Chenggu [J]. *Northwest Horticulture*, 2021(4): 3-5. (in Chinese)
- [5] 阚莹莹. 探访西南最大猕猴桃花粉生产基地[N]. 四川日报, 2023-05-30(010).
- [6] 陈双双,陶俊杰,贾东峰,等. 不同花粉配比对‘金艳’猕猴桃坐果率和果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2022(3): 47-52.  
CHEN S S, TAO J J, JIA D F, et al. Effects of different pollen ratios on fruit setting rate and fruit quality of ‘jinyan’ kiwifruit [J]. *Northern Horticulture*, 2022(3): 47-52. (in Chinese)
- [7] 王雨晴,苏永峰,全绍文,等. 库尔勒香梨无人机授粉不同喷施量雾滴沉积分布研究[J]. 中国果树, 2022(12): 20-25.  
WANG Y Q, SU Y F, QUAN S W, et al. Study on the deposition distribution of ‘Korla fragrant pear’ by UAV pollination with different spraying volume [J]. *China Fruits*, 2022(12): 20-25. (in Chinese)
- [8] 曲旭鹏. 风送式猕猴桃干粉对靶授粉技术研究及装置设计[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023  
QU X P. Research on target pollination technology and device design of air-driven kiwifruit dry powder [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2023. (in Chinese)
- [9] 吴素芳,王国立,龙友华,等. 关于猕猴桃商品花粉的研究[J]. 河北农机, 2019(11): 17.  
WU S F, WANG G L, LONG Y H, et al. Research on kiwifruit commodity [J]. *Hebei Agricultural Machinery*, 2019(11): 17. (in Chinese)
- [10] 张九东,王茸茸,徐伟君,等. 软枣猕猴桃的繁育系统与杂交授粉[J]. 生物资源, 2023, 45(3): 236-242.

- ZHANG J D, WANG R R, XU W J, et al. Breeding system and hybrid pollination of *Actinidia arguta* [J]. *Biotic Resources*, 2023, 45(3): 236–242. (in Chinese)
- [11] 齐秀娟, 张绍铃, 方金豹. 培养环境条件对猕猴桃花粉萌发的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2011, 23 (3): 528–532.
- QI X J, ZHANG S L, FANG J B. Effect of culture condition on pollen germination of kiwifruit [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(3): 528–532. (in Chinese)
- [12] 张良英, 刘林, 翟秋喜, 等. 不同软枣猕猴桃雄株花粉离体培养条件及花粉性状的比较 [J]. *经济林研究*, 2023, 41 (1): 255–264.
- ZHANG L Y, LIU L, ZHAI Q X, et al. Comparison of pollen culture *in vitro* conditions and pollen traits of different male plants of *Actinidia arguta* [J]. *Non-wood Forest Research*, 2023, 41(1): 255–264. (in Chinese)
- [13] 杜玉虎, 张绍铃, 姜雪婷, 等. 果梅花粉离体萌发及花粉管生长特性研究 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26 (9): 1846–1852.
- DU Y H, ZHANG S L, JIANG X T, et al. Characteristics of pollen germination and pollen tube growth of *Prunus mume* *in vitro* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(9): 1846–1852. (in Chinese)
- [14] 贺兴江, 任晓晓, 周文才, 等. 贵长猕猴桃散粉规律及花粉活力研究 [J]. *特种经济动植物*, 2021, 24 (3): 10–12, 17.
- HE X J, REN X X, ZHOU W C, et al. Study on the powder scattering pattern and pollen vitality of Guichang kiwifruit [J]. *Special Economic Animals and Plants*, 2021, 24(3): 10–12, 17. (in Chinese)
- [15] 刘磊, 李薇, 宋正江, 等. ‘东红’猕猴桃花蕾形态与花粉发育时期关系研究 [J]. *中国野生植物资源*, 2018, 37 (5): 30–34.
- LIU L, LI W, SONG Z J, et al. Study on the relationship between bud morphology and pollen development stages in ‘Donghong’ kiwifruit [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2018, 37(5): 30–34. (in Chinese)
- [16] 谢辉, 闫文静, 古丽米热·喀斯木, 等. 贮运模式对杏花粉活力及结实特性的影响 [J]. *北方园艺*, 2023 (22): 38–44.
- XIE H, YAN W J, KASIMU G L M R, et al. Effects of storage and transportation modes on the viability and fruiting characteristics of apricot pollen [J]. *Northern Horticulture*, 2023(22): 38–44. (in Chinese)
- [17] 陈永安, 陈鑫, 刘艳飞. 采粉期及贮藏条件对猕猴桃花粉生活力的影响 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2012, 40 (8): 157–160.
- CHEN Y A, CHEN X, LIU Y F. Effects of different collecting pollen periods and storage conditions on pollen viability of kiwifruit [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(8): 157–160. (in Chinese)
- [18] 罗艳, 于琴芝, 王先裕, 等. 温度对樱桃番茄花粉活力及萌发率的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2021, 49 (22): 53–58.
- LUO Y, YU Q Z, WANG X Y, et al. Effects of temperature on pollen viability and germination of cherry tomato [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(22): 53–58. (in Chinese)
- [19] EVERETT K R, VERGARA M J, PUSHPARAJAH I P S. Heat treatments for killing *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* on contaminated kiwifruit pollen [J]. *Acta Horticulturae*, 2016(1144): 385–390.
- [20] 李子君. ClO<sub>2</sub> 溶液对猕猴桃花粉中溃疡菌的消毒效果及对猕猴桃品质的影响 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2022
- LI Z J. Disinfection effect of ClO<sub>2</sub> solution on ulcer bacteria in kiwifruit pollen and its impact on kiwifruit quality [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2022. (in Chinese)
- [21] 牛雨佳, 车小娟, 贺浩浩, 等. 不同采集方法对猕猴桃花粉萌芽率的影响 [J]. *西北园艺 (果树)*, 2019 (2): 44–45.
- NIU Y J, CHE X J, HE H H, et al. The effect of different collection methods on the germination rate of kiwifruit pollen [J]. *Northwest Horticulture*, 2019(2): 44–45. (in Chinese)
- [22] 姚春潮, 龙周侠, 刘旭峰, 等. 不同干燥及贮藏方法对猕猴桃花粉活力的影响 [J]. *北方园艺*, 2010 (20): 37–39.
- YAO C C, LONG Z X, LIU X F, et al. Effects of different dryness and storage methods on pollen viability in *Actinidia deliciosa* [J]. *Northern Horticulture*, 2010(20): 37–39. (in Chinese)

(责任编辑：梁子钧)