

# 授粉蜂群人工培育蜂王技术研究

孙金辉<sup>1</sup> 丁玲玲<sup>1</sup> 王洪强<sup>1</sup> 匡海鸥<sup>2</sup>

(1 遵义职业技术学院现代农业系, 遵义 563000; 2 云南农业大学动物科学技术学院, 昆明 650000)

**摘要:** 为应对设施草莓冬春季低温、弱光条件下蜜蜂外勤受限与蜂王更替困难导致的授粉效率下降问题, 本研究提出并验证一套室内离巢条件下授粉用功能型蜂王的人工培育与应用技术。方法上, 建立恒温、控湿、弱光环境下的标准化人工育王流程, 设置分期移虫与孔径匹配的“48孔→24孔→12孔”工艺, 并比较不同人工饲料对发育质量的影响; 以外勤蜂频次、访花时长、携粉率与群内取食秩序等为主要评价指标。结果表明, 采用65%蜂王浆与35%无菌水的配方可获得发育完整的羽化蜂王, 适于后续投放; 分期移虫策略能够匹配蜂王幼虫“空间—营养—化蛹静置”的阶段性需求, 显著改善化蛹完整性与羽化质量。将人工羽化蜂王引入无王群后, 群体快速恢复社会秩序, 工蜂在草莓花期表现为稳定外勤、充分携粉并与柱头有效接触, 取食与育幼活动正常, 群势平稳。该技术可在冬季提供蜂王, 降低对传统繁育条件的依赖, 为设施草莓稳定坐果与商品性提升提供可行路径, 并为设施授粉蜂群的标准化供给与应用管理提供参考。

**关键词:** 设施草莓; 蜜蜂授粉; 功能型蜂王; 分期移虫

## Research on Artificial Queen Rearing Techniques for Pollinating Bee Colonies

Sun Jinhui<sup>1</sup>, Ding Lingling<sup>1</sup>, Wang Hongqiang<sup>1</sup>, Kuang Haiou<sup>2</sup>

(1 Department of Modern Agriculture, Zunyi Vocational and Technical College, Zunyi 563000, China; 2 College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, China)

**Abstract:** To address the decline in pollination efficiency caused by limited foraging and difficulties in queen replacement under the low-temperature, low-light conditions typical of winter-spring greenhouse strawberry production, this study proposes and validates an indoor ex nido artificial rearing and application protocol for pollination oriented functional queens. We established a standardized queen-rearing workflow under controlled temperature, humidity, and low-light conditions; implemented a staged larval transfer with matched well sizes (48 well→24 well→12 well); and compared artificial diets for their effects on developmental quality. Key evaluation metrics included foraging frequency, flower-visit duration, pollen-loading rate, and in-hive feeding order. A diet comprising 65% royal jelly and 35% sterile water yielded morphologically complete eclosed queens suitable for subsequent deployment. The staged transfer strategy aligned phase-specific requirements for space, nutrition, and pupal quiescence, significantly improving pupation integrity and eclosion quality. Following the introduction of artificially eclosed queens into queenless colonies, social order was rapidly restored. During strawberry bloom, workers exhibited stable foraging, adequate pollen loading, and effective stigma contact, with normal feeding and brood care and steady colony strength. This technique enables queen availability in winter, reduces dependence on traditional breeding conditions, provides a viable pathway to stable fruit set and improved marketability in greenhouse strawberries, and offers practical guidance for the standardized supply and management of pollination colonies in protected cultivation.

**Key words:** greenhouse strawberry; honey bee pollination; functional queen; staged larval transfer

### 1 引言

随着现代设施农业的快速发展, 草莓因其高经济价值、良好口感和较长的供应周期, 成为我国冬春季温室大棚中重要的经济作物之一<sup>[1]</sup>。草莓花结构较为

特殊, 自花授粉率低, 对授粉昆虫依赖性较高。与人工授粉相比, 利用蜜蜂进行自然辅助授粉可同时提升坐果率与果实品质, 并显著降低人工成本<sup>[2-3]</sup>。国外对于蜜蜂授粉研究起步较早, 欧美、日本等国家已建立

基金项目: 遵市科合 HZ 字 (2023) 135 号; 遵义职业技术学院院级科研项目 (2024-ZZZKZA-04)

作者简介: 孙金辉, 男, 博士, 讲师, 研究方向为蜜蜂养殖与蜂病防治

通讯作者: 匡海鸥, E-mail: 77856373@qq.com

成熟的温室授粉蜂群管理体系。研究多集中于蜜蜂授粉行为、蜂群生理调控和设施环境适应。如日本在温室番茄与草莓授粉中广泛应用人工选择培育的长寿蜂王群体，以控制群势变化<sup>[4, 5]</sup>；欧洲国家则通过人工饲喂与光温调控技术，实现冬季蜂群结团半休眠与授粉调度结合，提高蜂群利用率<sup>[6-8]</sup>。我国近年在设施授粉研究方面发展迅速，针对草莓、番茄、茄子等作物的授粉效率与蜂群管理进行了大量探索。

目前国内主要采用意蜂或中蜂授粉，但冬季大棚常见的低温、高湿与弱光环境抑制蜜蜂外出活动，导致群势下降、蜂王老化与繁殖停滞，进而影响授粉效率与蜂群稳定性<sup>[9, 10]</sup>。传统蜂王培育与更替依赖正常的婚飞与分蜂行为，在冬季封闭环境中受季节性限制尤为明显<sup>[11]</sup>。对于以授粉为主要任务的室内蜂群而言，蜂王的关键价值在于通过信息素维持群体秩序与工蜂工作活性，而非产卵繁殖本身。因此，在室内离巢条件下培育已完成交配、能稳定领导工蜂开展授粉工作的“功能型蜂王”，具有重要的生产意义。

本研究以室内离巢冬季蜂王培育为研究对象，探讨蜂王培育的适宜环境条件、群体行为调控与生理特性，为构建高效、可控的授粉蜂群提供理论与技术支持。该技术有助于减少外购蜂群依赖，推动本地授粉蜂系的就地繁育与利用，有助于农业生态系统的多样化与经济效益提升。

## 2 材料与方法

### 2.1 主要材料及仪器

中华蜜蜂、意蜂蜂王浆、洋槐花蜂蜜、荷花花粉均由遵义职业技术学院实训蜂场提供，设施草莓由绥阳县春光草莓园提供。48孔、24孔、12孔培养板（NEST），层照培养箱（上海博讯医疗生物仪器股份有限公司，BXG-400），恒温培养箱（上海一恒科学仪器有限公司，DHP-9052B）。

### 2.2 动物实验

#### 2.2.1 幼虫饲料配方

设计两种中蜂幼虫饲料进行蜂王培育（表1），根据表2对不同日龄的幼虫饲喂不同的饲料量。

表1 中蜂幼虫饲料

成分	饲料1	饲料2
意蜂蜂王浆	50%	65%
蜂蜜	14%	0%
花粉提取物	1%	0%
无菌水	35%	35%

表2 不同日龄幼虫饲喂量

幼虫日龄 (d)	2	3	4	5
饲喂量 ( $\mu\text{L}/\text{d}$ )	50	100	100	150

#### 2.2.2 蜂王培育流程

(1) 小幼虫的转移：在培养板中加入50  $\mu\text{L}$  饲料，并置于35 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中预温10 min。从蜂脾上移出2日龄小幼虫，置入预温后的培养板，每孔1只。

(2) 幼虫培养：将转移幼虫后的培养板放入34.5 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度95%的避光人工气候箱，观察幼虫日发育情况。饲料照方案添加，每次添加新饲料前，吸弃剩余饲料。

(3) 化蛹板的准备：同一型号的12孔培养板在孔内垫2层干燥的无菌纸巾。

(4) 大幼虫的转移：把即将化蛹的幼虫移入化蛹板，每孔1只，盖上无菌纸，无菌纸不能接触虫体，培养板置于34.5 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度75%的避光恒温培养箱或人工气候室。此后不再移动虫体，观察幼虫在孔中完成排便、化蛹、蜕茧衣和羽化的过程。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同饲料配比对人工培育蜂王羽化与发育完整性的影响

在相同培育条件下，分别采用两种不同配比的饲料进行蜂王人工培育。培养至第12天，两组均获得羽化个体。羽化率方面，饲料1组的羽化率为18.75%，高于饲料2组的13.54%（表3），表现出的差异可能来自人工误差。发育完整性方面，饲料1组羽化个体发育不完全，形态处于工蜂与蜂王之间的中间状态；饲料2组羽化个体发育完整，符合用于后续实验的要

表3 不同饲料条件对蜂王羽化的影响

项目	饲料1	饲料2
移虫数量	96	96
羽化数量	18	13
占比	18.75%	13.54%

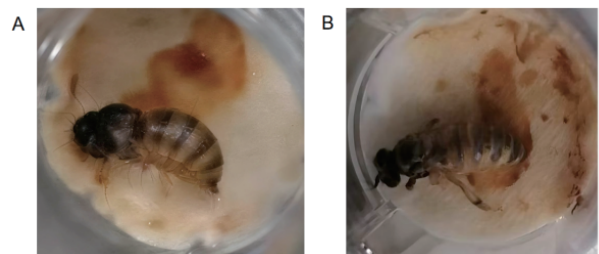


图1 不同饲料条件下幼虫发育情况

A. 饲料1配方下蜂王羽化；B. 饲料2配方下蜂王羽化

求(图1)。总体而言,在相同培育周期内,饲料配比对蜂王发育完整性影响显著,饲料2在保障发育完整性方面更具优势。

### 3.2 培养板孔径与分期移虫策略对中蜂幼虫发育与羽化的影响

在固定孔径条件下培养时,48孔培养板在培养后期因孔内空间受限导致幼虫发育受阻(图2)。24孔培养板在培养后期同样存在空间不足的问题,且在培养初期由于饲料装载量较少,幼虫可接触到的饲料不足(图3)。采用分期移虫策略(在不同发育时段分别使用48孔、24孔、12孔培养板)后,能够满足幼虫在不同阶段对空间与饲料接触的需求,幼虫可顺利完成发育并羽化(图4)。

### 3.3 人工培育蜂王对无王蜂群的影响

在设施栽培条件下,将人工孵化的蜂王引入失王

群后,蜂群能够恢复并维持正常的授粉行为。现场记录与配图显示,工蜂在草莓花间持续进行采集与访花活动,表现为稳定的花间访问、携粉返回与花柱接触等典型授粉动作(图5)。整个观察期内蜂群取食与外勤秩序良好,授粉行为连续性与稳定性满足设施草莓授粉作业需求。上述结果表明,人工孵化的蜂王可有效组织并领导无王蜂群,在设施草莓生产系统中执行常规授粉任务,为后续应用试验提供可行的授粉群体基础。

## 4 讨论

在设施草莓中应用蜜蜂授粉,核心在于以稳定的访花频次与足量花粉转移保障粒间受精均匀,进而显著降低畸形果并提升商品性<sup>[12]</sup>。与人工授粉相比,田间与温室试验显示,蜜蜂授粉可提高坐果率、单果重、一级果率,并可降低畸形

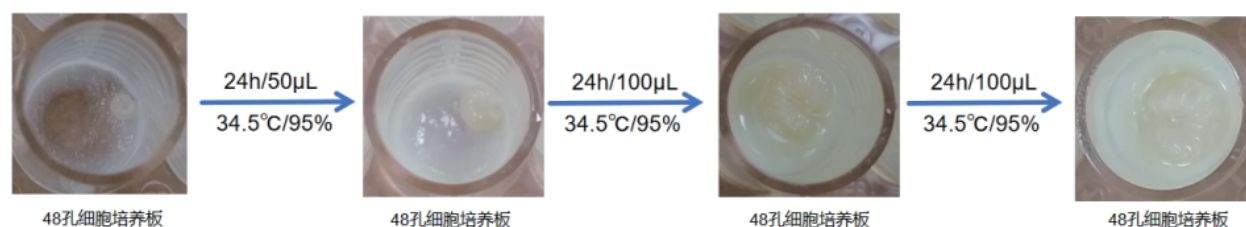


图2 使用48孔板培育幼虫

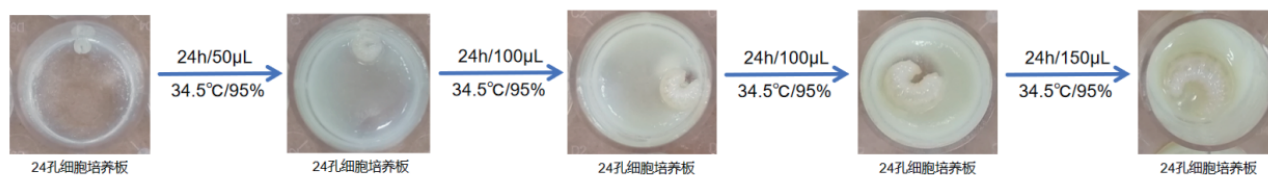


图3 使用24孔板培育幼虫

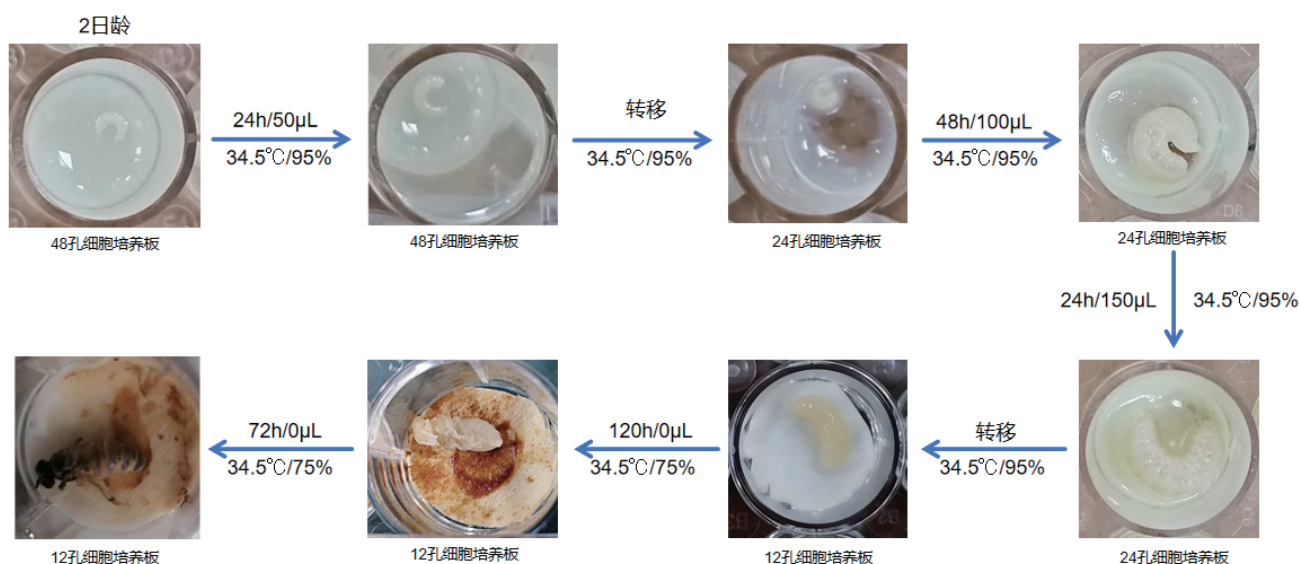


图4 使用不同孔径培养板培育幼虫

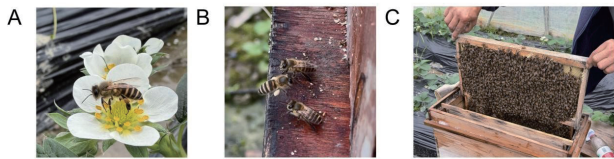


图5 人工培育蜂王的蜂群工作情况

果率<sup>[13, 14]</sup>。温室特有的低温、弱光与紫外截断会抑制外勤，因而需通过“蜂一棚一花”协同优化管理：在蜂群管理上维持适中群势与良好蜂王状态，按开花量与温度动态投放并补饲糖/蛋白源；在棚室微气候上，将日间温度维持在蜜蜂外勤采集适宜温度阈值以上、降低高湿凝水并优化蜂箱位置与朝向；在花期管理上使雌蕊可授粉期内保持稳定访花、并减少农药暴露与病虫胁迫。结果表明，科学配置授粉蜂群并优化棚室管理，是提升设施作物产量与品质、降低人工成本的高性价比策略<sup>[15, 16]</sup>。

本研究通过优化营养配比与环境控制，使蜂群在非交配条件下依然保持较高的活性与稳定性，蜂王虽未完成婚飞，但仍表现出明确的群体引导行为和信素分泌功能，对维持工蜂工作秩序作用显著。蜂王浆富含蛋白质、脂类、维生素及生物活性物质，这些成分对蜂王幼虫的特化发育极为关键。实验中可见，持续饲喂蜂王浆能有效促进幼虫迅速发育，并显著提升成蜂体重及体壁色泽，说明营养供给直接影响蜂王的形态健全及信素分泌系统的形成。在离巢环境下培育出的蜂王虽然未进行交配，但其在群体中的社会行为功能依旧得以体现。观察表明，这类“非交配蜂王”仍能通过分泌特定信素引导工蜂清理巢脾、采集蜜粉及进行授粉活动，群体合作行为较为稳定。这表明蜂王的领导功能与交配状态并非完全依存关系，其社会角色的维持主要取决于激素与信素的稳定分泌水平，而非产卵功能。

传统授粉蜂群易受季节与环境影响，而通过室内离巢条件下人工培育蜂王，可在不依赖外界交配条件的情况下建立和维持授粉蜂群，为冬季提供可持续蜂源。尤其在连续低温或光照不足的地区，该方法能够显著提高授粉保障的稳定性。人工配制饲料的可控性强，可根据不同蜂种需求调整配比，使蜂群更具适应性。本研究在秋季室内条件下，以蜂王浆为基础饲料，成功培育出具备领导功能的蜂王个体，为突破自然繁殖季节限制提供了新思路。

## 参考文献

- [1] 樊莹, 张立, 陈庆菊, 等. 不同授粉方式对设施草莓产量及品质影响的研究 [J]. 中国蜂业, 2023, 74(11): 33-35.
- [2] 罗文华, 曹兰, 高丽娇, 等. 不同蜂授粉对重庆设施草莓产量、品质及效益的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2017, 32(3): 6.
- [3] 展江, 梁铨, 秦加敏. 草莓熊蜂授粉研究进展 [J]. 蜜蜂杂志, 2023, 43(9): 19-22.
- [4] Asada S, Ono M. Tomato pollination with Japanese native bumblebees (*Bombus* spp.) [J]. Proc. int. symp. on Pollination Acta Hort, 1997(437): 289-292.
- [5] Namin S M, Huang J, An J, et al. Genetic variation and phylogenetic relationships of commercial populations of *Bombus ignitus* (Hymenoptera, Apidae) with wild populations in Eastern Asia [J]. Journal of Hymenoptera Research, 2023, 96: 495.
- [6] Walters J, Barlass M K, Fisher R, et al. Extreme heat exposure of host plants indirectly reduces solitary bee fecundity and survival [J]. Proceedings B, 2024, 291(2025): 20240714.
- [7] Nation L J. Bumblebees: behaviour, ecology, and conservation [J]. Florida Entomologist, 2010, 93(3): 477.
- [8] Sepúlveda Y, Nicholls E, Schuett W, et al. Heatwave-like events affect drone production and brood-care behaviour in bumblebees [J]. PeerJ, 2024, 12: e17135.
- [9] 庄建萍, 赵晓明, 赵羽丰, 等. 上海市冬季草莓生产中采用中蜂授粉的可行性分析 [J]. 上海农业科技, 2022(05): 61-62.
- [10] 杜林, 樊莹, 张立, 等. 贵州省冬季草莓授粉蜂群管理技术 [J]. 中国蜂业, 2022, 73(04): 31-32.
- [11] 黄知楚, 赵东绪, 陈道印, 等. 意大利蜜蜂蜂王浆营养调控中华蜜蜂蜂王的形态和卵巢蛋白质组 [J]. 动物营养学报, 2024, 36(10): 6685-6699.
- [12] 王欢, 曲焱焱, 刘欣玉, 等. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂在设施草莓上的授粉行为差异比较 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59(06): 1307-1315.
- [13] 杨洁, 范武波, 李端奇, 等. 蜜蜂授粉与人工授粉对温室草莓生长动态及品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2017, 30(11): 2557-2561.
- [14] 何欣, 陈毅民, 王刚, 等. 不同授粉方式对塔城地区设施草莓生长、品质及产量的影响 [J]. 新疆农垦科技, 2018, 41(06): 15-16.
- [15] 张云毅, 武敏, 张旭凤, 等. 蜜蜂授粉在设施农业中的应用和发展趋势 [J]. 中国蜂业, 2022, 73(09): 30-32.
- [16] Chang M M Y, Hsu P S, Yang E C, et al. Warming induces short-term phenological shifts in pollinator-plant interactions that enhance larval development in honey bee [J]. Plos one, 2024, 19(12): e0314791. 