

饲养条件与陪伴工蜂数量对离群环境中中华蜜蜂蜂王发育的影响*

何永艳¹, 李焱辉¹, 田桂敏¹, 潘誉木², 黄瑶², 冉釜丞², 张晶³, 张小燕¹

(1. 重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 401331; 2. 重庆西州林业开发有限公司, 重庆 酉阳 409800;
3. 重庆市畜牧技术推广总站, 重庆 401120)

摘要:考察离群环境中中华蜜蜂(*Apis cerana cerana*)(后简称中蜂)蜂王的生长发育情况,并探索中蜂蜂王离群保存的最优方法。首先以聚乳酸为材料通过3D建模与打印技术建立了仿生蜂王存储装置,然后基于该装置在温度为35℃的人工环境控制下,测定了中蜂工蜂在不同的湿度、饮食条件和保存群体大小下的存活时长,并比较分析了离群保存和群内保存的中蜂蜂王在体质量、卵巢质量和受精囊直径方面的差异。结果显示:相较于相对湿度为55%的环境,在相对湿度为65%的环境下工蜂中位生存时间延长了6d;与蔗糖溶液($w_{蔗糖}=50\%$)和花粉的饮食条件相比,在固体方糖、水和花粉的饮食条件下工蜂中位生存时间延长了14.5d;群体内工蜂数量为70头时,工蜂中位生存时间为20.5d,高于群体内工蜂数量为30和50头时的中位生存时间;与群内保存的蜂王相比,仿生蜂王存储装置中蜂王在陪伴工蜂数量至少为50头时的体质量、卵巢质量和受精囊直径发育上没有明显差异,但陪伴工蜂数量为70头时,中位生存时间更长的工蜂可有效降低向仿生蜂王存储装置中补充陪伴工蜂的频率。综合以上结果可知在仿生蜂王存储装置中当环境相对湿度为65%、陪伴工蜂数量为70头并提供固体方糖、水和花粉作为食物时蜂王的离群保存效果最佳,且构建的离群保存体系能够在稳定环境中批量保存中蜂蜂王,并有助于提升中蜂蜂王良种繁育效率。

关键词:中华蜜蜂;蜂王卵巢;离群保存;陪伴工蜂;仿生蜂王存储装置

中图分类号:S894.9

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2025)06-0037-08

中华蜜蜂(*Apis cerana cerana*)简称中蜂,是中国本土特有蜂种,它的适生区域广泛,对复杂多样的中国气候有着很强的适应能力^[1]。在自然界中,中蜂是重要的授粉昆虫,在维护生态平衡和保障农作物生产方面扮演着重要角色^[2]。保护和利用优质中蜂种质资源,是发挥中蜂生态效益和经济效益的关键步骤。

蜜蜂蜂群由数以万头卵巢发育不完全的工蜂、成百上千头雄蜂和1头卵巢发育完全的蜂王组成。蜂王是蜂群中唯一可以同时产下受精卵和未受精卵的成员^[3];同时,它还承担着释放信息素并调控整个蜂群秩序的职能,是蜂群能够维持稳定的关键因素。蜂王在很大程度上决定了整个蜂群的健康状况,而低质量的蜂王是蜂群损失的一个重要因素^[4]。蜂王保存是应对蜂群突发情况、优化养殖管理和蜂王邮寄的重要手段。在蜜蜂遗传学研究和品种改良工作中,蜂王保存也可以为科研人员提供稳定的实验材料,助力相关研究的深入开展,并积极推动蜜蜂养殖技术不断进步。

蜂王保存方法可分为群内保存与离群保存。群内保存是在蜂群内部保存蜂王的方法,通过蜂群自身的环境和工蜂的哺育行为来维持蜂王的生存和健康;离群保存则是将蜂王从蜂群中移出并放置在人工环境中保存,需要提供适宜的温湿度、食物和陪伴工蜂。与群内保存相比,离群保存能够减少对幼年工蜂的消耗数量,还可根据相关装置大小和保存需求装入适量的工蜂。此外,由于离群保存通常在室内或者温、湿度恒定的培养箱内进行,环境温度等外部因素对蜜蜂生活干扰较少,蜂王在保存过程中的安全性大大提升。有研究表明,在培养箱中保存的蜂王能够得到更为稳定的热环境,进行人工授精后的输卵管残留精子较少,受精囊中精子含量较高,管理操作也比群内保存方法更为简便^[5]。

目前,对中蜂种质资源的保护多局限于室外大型保种场。特别是对于中蜂蜂王保存而言,如果采用群内保存方法则对保种场规模和生态资源的要求较高,难于实现大规模蜂王留种,也不利于扩大中蜂分布区域^[6]。相

* 收稿日期:2025-06-24 修回日期:2025-10-22 网络出版时间:2026-01-08T16:51

资助项目:重庆市自然科学基金面上项目(No. cstc2021jcyj-msxmX0425);现代农业产业技术体系建设专项(No. CARS-44);重庆市蜂产业技术体系项目(No. COMAITS202416)

第一作者简介:何永艳,女,研究方向为中华蜜蜂种质资源保护,E-mail:heyongyan2023@163.com;通信作者简介:张小燕,女,副教授,E-mail:xyzhang18@163.com

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20260108.1520.010

比之下,对中蜂蜂王进行离群保存则可以节约大量的土地和资金。然而,有关中蜂蜂王的离群保存方法研究较少,有关如何在室内环境中保存中蜂蜂王的研究尚不够细致,尤其是在陪伴工蜂的数量、饮食结构等方面的研究数据十分缺乏;同时,目前常见的离群保存装置结构较为简单,不能完全满足需求。为此,本研究以中蜂为研究对象,首先构建了仿生蜂王存储装置实体,然后基于该装置探索了中蜂蜂王离群保存的最佳条件。

1 材料与方 法

1.1 仿生蜂王存储装置材料和供试虫源

仿生蜂王存储装置材料为可降解材料聚乳酸,实验所用中蜂采自重庆师范大学蜜蜂种质资源创新基地。

1.2 方 法

1.2.1 仿生蜂王存储装置构建方法

使用 shapr3D 建模软件进行 1:1 装置建模,随后将各部件分类导出。在 C4M DEV 切片软件中进行模型切片并转换成打印文件。将 STL 文件导入 mostfun Pro 3D 打印机中,使用聚乳酸进行实体模型打印。最后将各部件组装拼接,完成实体装置构建。

1.2.2 不同湿度对工蜂生存率影响的测定

选取 1 箱群势较强的蜂群作为实验蜂群,从中随机抓取工蜂并用体积分数为 70% 的 CO_2 进行麻醉处理 5 min;待工蜂暂时失去飞行能力后,打开 6 个仿生蜂王存储装置滑动式敞口,将它们装入装置中,每个装置中的工蜂为 1 组,每组 30 头;将其中 3 个装置放入温度为 35℃、相对湿度为 55% 的培养箱中,另外 3 个装置则被放入温度为 35℃、相对湿度为 65% 的培养箱中。向所有供试工蜂提供相同的食物即固体方糖、水和花粉,每日记录工蜂死亡情况并清除死亡个体。

1.2.3 不同饮食条件对工蜂生存率影响的测定

选取 1 箱群势较强的蜂群作为实验蜂群,从中随机抓取工蜂分别装入 6 个仿生蜂王存储装置中,每个装置内均装有 30 头工蜂。其中 3 组工蜂的食物为蔗糖溶液($w_{\text{蔗糖}}=50\%$)和花粉,另外 3 组工蜂的食物为固体方糖、水和花粉。将所有仿生蜂王存储装置放入温度为 35℃、相对湿度为 65% 的培养箱中,每日记录工蜂死亡情况并清除死亡个体。

1.2.4 不同保存群体大小对工蜂生存率影响的测定

选取 1 箱群势较强的蜂群作为实验蜂群,从中随机抓取工蜂装入仿生蜂王存储装置中。设置工蜂数量分别为 30、50 和 70 头的保存组,每组进行 3 次生物学重复,每次重复所使用的工蜂均来自同一蜂群。保存组所用的仿生蜂王存储装置中均放置 1 个蜂王王台,确保实验全程均有蜂王存在。将装有上述保存组的存储装置放入温度为 35℃、相对湿度为 65% 的培养箱中,供试工蜂的食物为固体方糖、水和花粉,每隔 1 日更换新鲜的食物。当工蜂存活数量为初始数量的 10% 时,则认定相应的保存组实验结束。每日记录工蜂死亡情况并清除死亡个体。

1.2.5 培育蜂王

蜂王的培育步骤如下:准备育王框,制作并粘贴王台基,将育王框放入蜂群进行修建;对蜂群进行失王处理,取蜂脾上 1 日龄幼虫移入育王框,并放于蜂群中心脾,对蜂群进行奖励饲喂;每日查看其余蜂脾自然王台的搭建情况,待王台封盖,头部颜色变深即可割取。

1.2.6 蜂王离群保存

共准备 18 个王台,分别装入仿生蜂王存储装置中,依靠王台底部蜂蜡的粘性将王台固定在装置中用于喂食固体食物的组件侧面。抓取内勤工蜂,在仿生蜂王存储装置中分别装入 30、50 和 70 头工蜂,每种工蜂数量各设置 6 个组。将上述仿生蜂王存储放置在温度为 35℃、湿度为 65% 的环境中,食物为固体方糖、水和花粉,每隔 1 日更换新鲜的食物。在蜂王出房前,每隔 12 h 观察 1 次仿生蜂王存储装置内的情况,并将蜂王出房时间记为 0 日龄,每日记录工蜂的死亡情况并对死亡个体进行清理。当仿生蜂王存储装置内工蜂死亡数量达到初始数量的 20% 时,将工蜂数量补齐,以确保实验结束前有额定数量的工蜂对蜂王进行饲喂。

1.2.7 蜂王群内保存

使用长、宽、高分别为 37、33、18 cm 的长方体巢箱作为群内保存箱体,以长、宽分别为 29、14 cm 的巢脾作为保存蜂脾。选取有较多封盖子的巢脾和较多蜂蜜存储的蜜脾各 6 脾,每个群内保存箱中放 1 脾封盖脾和 1 脾蜜脾,并抖入 1~2 框蜜蜂,待外勤蜂飞回原群后,查看蜂脾上的幼蜂数量,再根据情况补充蜜蜂数量,使每个群内

保存箱中2个脾子上都有工蜂覆盖。最后将6个群内保存蜂箱搬入细网纱全封闭的隔离观察棚中。失王24 h后,将人工育王的王台粘贴至蜂脾中下部。每隔12 h观察1次蜂群内蜂王的出房情况,记录蜂王首次出房的时间作为0日龄。每隔1日对蜂王保存群进行补充饲喂,食物为蔗糖溶液($w_{\text{蔗糖}}=50\%$)和花粉。对实验蜂群的巢门口进行改造,使用限王片修改巢门口的大小,防止蜂群中的蜂王外出试飞以及与雄蜂进行交配。

1.2.8 蜂王发育指标的测定

离群保存和群内保存的蜂王在羽化后保存至相应日龄时进行以下实验:分别选取4、6、8、10、12和14日龄蜂王各3只,测定它们的体质量、卵巢质量、受精囊直径等3项发育指标。

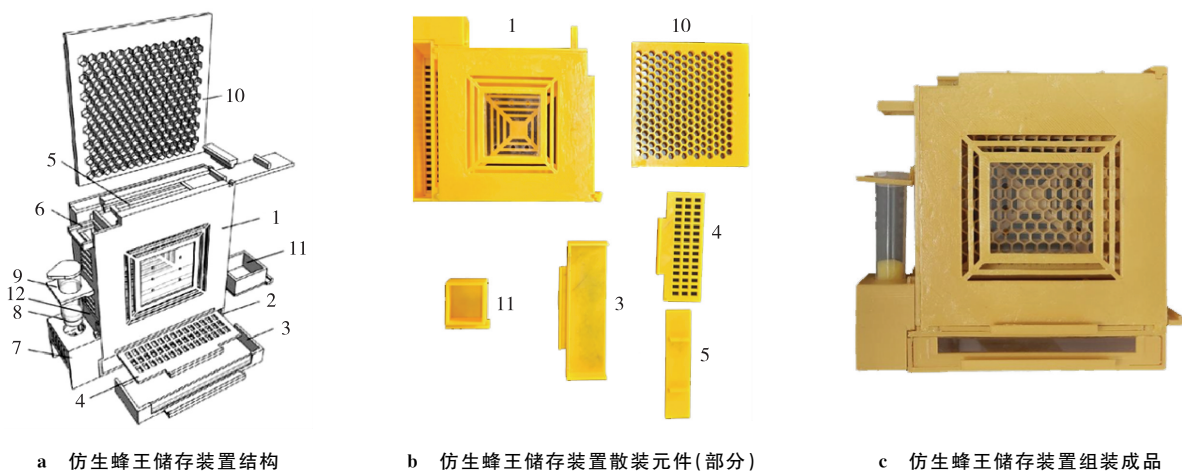
1.2.9 数据处理

工蜂在不同的湿度、饮食条件和保存群体大小下的生存曲线均采用 Gehan-Breslow-Wilcoxon 检验进行分析,并利用 GraphPad Prism 8 制图。蜂王发育指标数据差异使用 SPSS 24.0 软件进行分析,具体步骤如下:1) 对数据进行正态分布性检验。当数据样本量不超过2000时,选择 Shapiro-Wilk 检验数据正态分布情况。如 $p>0.05$,无法拒绝零假设,各组数据服从正态分布;如 $p<0.05$,拒绝零假设,则各组数据不服从正态分布。2) 当数据符合正态分布后进行方差分析。当数据组别为2时,用 t 检验对数据进行分析;当数据组别不低于3时,用单因素方差分析对数据进行分析。根据 Levene 检验的数据,当 $p>0.05$ 时,各组数据均值相等、方差齐,以单因素方差分析结果为最终结果,而各组数据间的多重比较以 Bonferroni 检验为最终结果;当 $p<0.05$ 时,各组数据均值不全相等、方差不齐,以 Welch 检验和 Brown-Forsythe 检验结果为最终结果,而各组数据间的多重比较以 Tamhane 检验为最终结果。3) 当数据不符合正态分布时,进行非参数检验并进行差异比较。在有2组及以上实验组且各组互为独立时,使用 Kruskal-Wallis 检验。实验数据均以“平均值±标准误”形式呈现,所有实验进行3次生物学重复,每个生物学重复进行3次技术重复。

2 结果与分析

2.1 基于3D打印的仿生蜂王存储装置

本研究采用了自主研发的仿生蜂王存储装置^[7]作为实验的关键装置,具体结构如图1所示。该装置主要由4个部分组成。第1部分为蜜蜂活动空间,主要由生活室和隔离室组成,其中生活室是蜜蜂主要的活动空间,并附有具气孔的透明观察窗以便观察蜜蜂活动情况;隔离室则是暂时存放引入新蜂王或工蜂的空间,也是后续饲养过程中清理收集死亡蜜蜂个体的区域。第2部分为蜜蜂投入口,位于整个仿生蜂王存储装置主体的上部,该部分根据使用方式可分为滑动式敞口和按压式开口,可应对不同数量或状态的蜜蜂装入需求。第3部分为蜜蜂喂食部件,其中喂水笼、储水管和支撑水架是喂食蜜蜂液体食物的组件;开敞式立方盒是喂食蜜蜂固体食物的组件。第4部分为仿生蜂巢,用以满足蜜蜂的爬行习惯和生活习性。该装置所有部件均用可降解材料聚乳酸单独打印后再进行组装。



注:1为生活室;2为隔离室;3为抽屉;4为隔板;5为滑动式敞口;6为按压式开口;7为喂水笼;8为储水管;9为支撑水架;10为仿生蜂巢;11为开敞式立方盒;12为挡片。

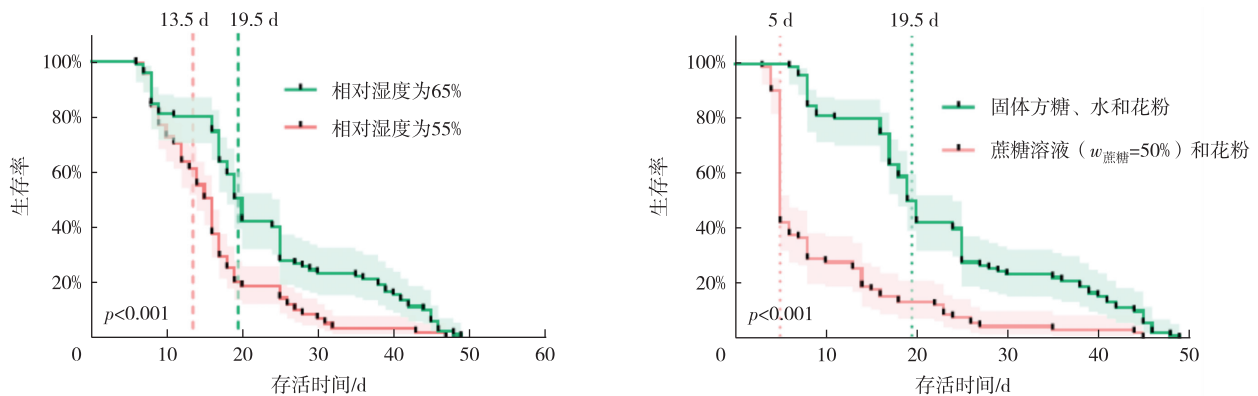
图1 仿生蜂王存储装置图

Fig. 1 Diagram of a bionic queen bee storage device

2.2 工蜂在仿生蜂王存储装置中离群保存条件的探索

2.2.1 湿度和饮食条件的探索

在本研究中,蜂巢的中心温度稳定在 $34.5\sim 35.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而根据文献[8]的总结,众多研究中培养箱环境下的培养温度均设定为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。综合考虑后本研究未进一步探讨工蜂的最佳存活温度。图 2a 显示:工蜂在不同湿度条件下的生存率存在统计学意义上的差异($p<0.001$),且环境相对湿度分别为 65% 和 55% 时,工蜂中位生存时间分别为 19.5 和 13.5 d。上述结果表明,环境相对湿度为 65% 时更适宜工蜂的生存,并为后续实验提供了参照。图 2b 则显示:工蜂在不同的饮食条件下的生存率也存在统计学意义上的差异($p<0.001$);在培养箱环境下,用固体方糖、水和花粉喂食工蜂时,工蜂中位生存时间可达 19.5 d,而食用蔗糖溶液($w_{\text{蔗糖}}=50\%$)和花粉的工蜂中位生存时间仅为 5 d。这一结果表明喂食固体方糖、水和花粉的组合会更有利于工蜂在培养箱条件下的生存。



a 不同湿度条件下仿生蜂王存储装置中工蜂生存曲线

b 不同饮食条件下仿生蜂王存储装置中工蜂的生存曲线

注:不同颜色竖线代表中位生存时间,下同。

图 2 仿生蜂王存储装置中工蜂最佳保存条件探索

Fig. 2 Exploration of optimal preservation conditions for worker bees in the bionic queen bee storage device

2.2.2 保存群体大小的探索

不同保存群体大小的工蜂生存情况如图 3 所示:工蜂生存率因保存群体中工蜂数量的不同而存在统计学意义上的差异($p<0.001$); 30 、 50 和 70 头的陪伴工蜂保存组的中位生存时间分别为 11 、 8 和 20.5 d。尽管群体大小与工蜂中位生存时间不存在正向关联,但是由 70 头工蜂组成的群体有着最高的寿命。因此,在保存蜂王时装入 70 头陪伴工蜂有望获得更长的保存时间。

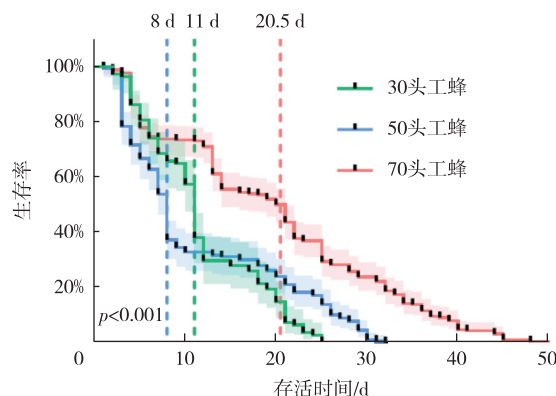


图 3 不同保存群体规模下仿生蜂王存储装置中工蜂的生存曲线

Fig. 3 Survival curves of worker bees in the bionic queen bee storage device under different colony sizes

2.3 蜂王发育指标分析

2.3.1 仿生蜂王存储装置离群保存蜂王体质量分析

由图 4a 可知:群内保存组蜂王体质量在 4 日龄时最小,但随着日龄增加,体质量也逐步增加,在 12 日龄时达

到最大值;3组离群保存组蜂王的体质量在6日龄时均最小,而30头陪伴工蜂组和50头陪伴工蜂组的蜂王在12日龄时体质量均达到最大值,70头陪伴工蜂组蜂王体质量则在14日龄时达到最大值。

依据观测期内各组蜂王体质量最小值对4个实验组进行降序排列,分别为50头陪伴工蜂组(蜂王体质量为 (125.12 ± 2.86) mg)、70头陪伴工蜂组(蜂王体质量为 (122.12 ± 5.17) mg)、群内保存组(蜂王体质量为 (113.68 ± 6.48) mg)和30头陪伴工蜂组(蜂王体质量为 (119.92 ± 7.72) mg)。而依据观测期内各组蜂王体质量最大值对4个实验组进行降序排列,依次分别是70头陪伴工蜂组(蜂王体质量为 (158.73 ± 3.41) mg)、50头陪伴工蜂组(蜂王体质量为 (151.32 ± 14.17) mg)、群内保存组(蜂王体质量为 (150.90 ± 1.52) mg)和30头陪伴工蜂组(蜂王体质量为 (142.18 ± 4.81) mg)。鉴于蜂王体质量数据符合正态分布并具有方差齐性,因此使用单因素方差分析对这一数据进行分析,结果显示:离群保存环境下和群内保存环境下成长的蜂王在体质量方面没有统计学意义上的差异;并且离群保存环境下研究设定的陪伴工蜂数量差异对蜂王体质量没有统计学意义上的影响。由此可见,使用仿生蜂王储存装置对蜂王进行离群保存不会明显影响蜂王的体质量及体质量随日龄的变化。

2.3.2 仿生蜂王储存装置离群保存蜂王卵巢质量分析

图4b显示:随着日龄增加,各实验组蜂王卵巢质量均呈现增加的趋势。除70头陪伴工蜂组蜂王卵巢质量在6日龄时为最小外,其余3组蜂王卵巢质量均在4日龄时最小。依据观测期内各组蜂王卵巢质量最小值对4个实验组进行降序排列,分别为群内保存组、50头陪伴工蜂组、70头陪伴工蜂组和30头陪伴工蜂组,所对应的蜂王卵巢质量分别为 (4.30 ± 0.50) 、 (3.93 ± 0.27) 、 (3.56 ± 1.38) 和 (3.01 ± 0.81) mg。观测期内4组蜂王卵巢质量最大值均出现在14日龄,依据观测期内各组蜂王卵巢质量最大值对4个实验组进行降序排列,分别为50头陪伴工蜂组、70头陪伴工蜂组、群内保存组和30头陪伴工蜂组,所对应的蜂王卵巢质量分别为 (22.60 ± 9.50) 、 (21.76 ± 2.65) 、 (17.98 ± 2.31) 和 (14.26 ± 4.36) mg。由于蜂王卵巢质量数据符合正态分布且具有方差齐性,因此使用单因素方差分析进行进一步分析,结果显示离群保存环境下与群内保存环境下成长的蜂王在卵巢质量上没有统计学意义上的差异,并且离群保存环境下研究设定的陪伴工蜂数量差异对蜂王卵巢质量没有统计学意义上的影响。因此,使用仿生蜂王储存装置对蜂王进行离群保存不会明显影响蜂王的卵巢质量及卵巢质量随日龄的变化。

2.3.3 仿生蜂王储存装置离群保存蜂王受精囊直径的发育分析

受精囊是蜂王用来贮存精子的器官,能够保存蜂王一生中产卵所需的所有精子,因此受精囊的容量大小在一定程度上关系到蜂王产卵的数量和时长,可用来衡量蜂王生殖发育水平。为了探究不同保存条件下蜂王的受精囊发育是否存在差异,本研究对各实验组蜂王的受精囊直径进行了测量。由于受精囊直径数据不符合正态分布,因此采用Kruskal-Wallis检验进行分析。结果显示,各实验组蜂王受精囊直径指标都存在小幅度的波动,但群内保存组和3组离群保存组的蜂王授精囊直径无统计学意义上的差异(图4c)。

综合上述,当仿生蜂王储存装置中陪伴工蜂为50或70头时,蜂王的发育情况无明显差异;但陪伴工蜂数量为70头时,工蜂的中位生存时间更长,可有效降低向仿生蜂王储存装置中补充陪伴工蜂的频率,同时该装置中的蜂王在体质量、卵巢质量以及受精囊的直径方面与群内保存组蜂王无明显差异。这表明在仿生蜂王存储装置中,蜂王的生长发育不会受到明显的影响。

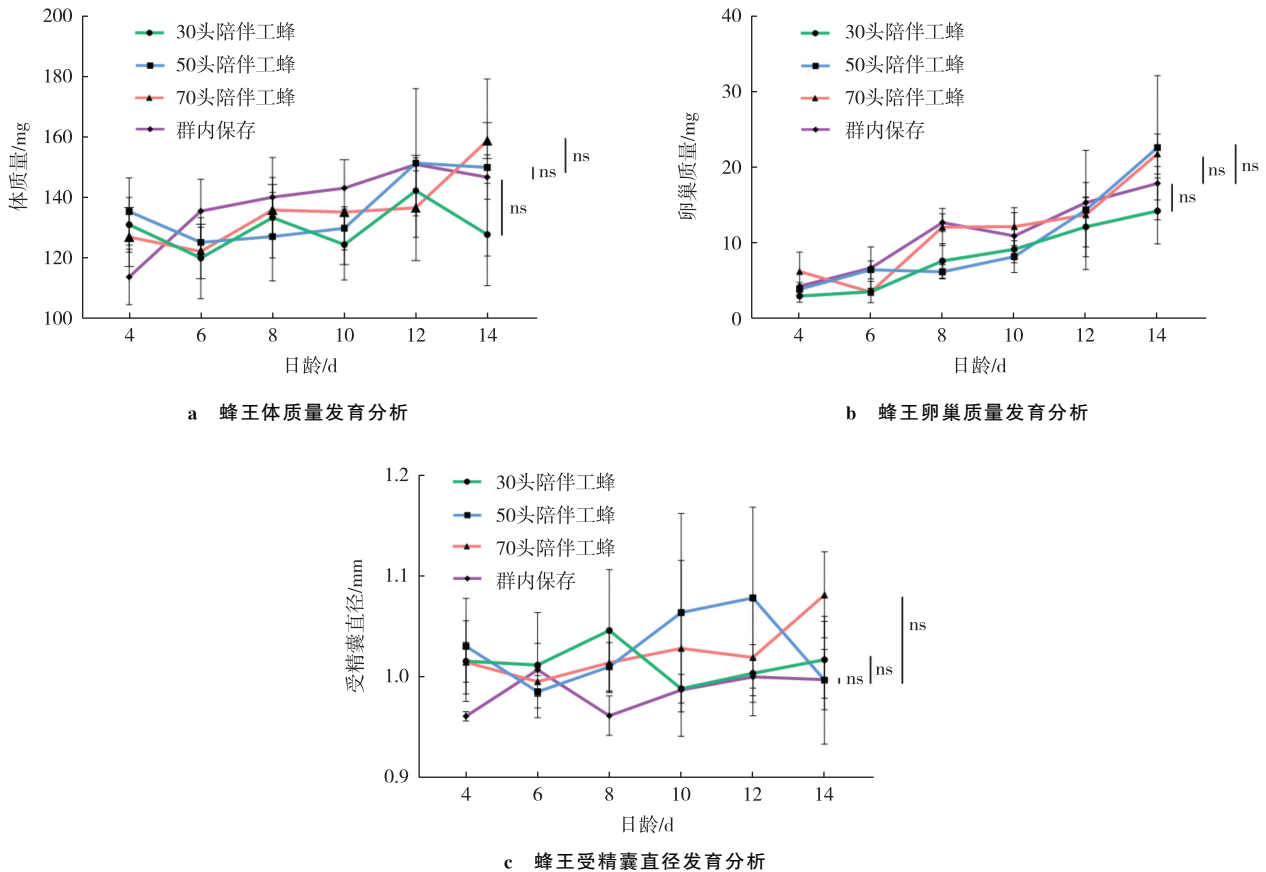
3 讨论

本研究基于仿生蜂王储存装置对中蜂工蜂生存的最适环境湿度、喂食条件和保存群体大小进行了探究,并对最适保存条件下的中蜂蜂王发育指标进行了测量和分析,在考虑保存群体大小、工蜂损耗速度等情况的基础上,发现在装置中装入70只工蜂、温度为 35°C 、相对湿度为65%以及喂食固体方糖、水和花粉能明显延长工蜂中位生存时间,且在此条件下蜂王在体质量、卵巢质量、授精囊直径等3个发育指标上与群内保存环境下成长的蜂王无明显差异。因此,本研究建立的方案能满足中蜂蜂王的生活需求,有助于降低工蜂补充的频率,提高蜂王离群保存效率,并降低保存成本。

Abou-Shaara等人^[9]对不同糖类喂养情况下蜜蜂的食物偏好和存活率进行了研究,发现固体形式的蔗糖相较于糖浆、液体蜂蜜、葡萄糖蜂蜜、蜂蜜果冻、果汁蜂蜜果冻和蜂蜜而言对蜜蜂更加具有持续吸引力,整体消耗量较少,且蜜蜂表现出较长的中位生存时间和最长的终点生存时间。这可能是由于固体蔗糖的甜度最高,比其他形式的蔗糖或其他种类的糖类更能吸引蜜蜂。本研究结果与之一致,因此可以认为固体方糖、水和花粉的喂食

配方更适用于离群蜂王的保存。

通常认为高质量的蜂王应具有以下可测量的基本指标特征:体质量较大、卵巢质量大、卵巢管数目较多、受精囊体积较大、受精囊中精子数量较高、更早开始产卵、日产卵量(繁殖力)高以及不受疾病和虫害的影响^[10]。因此,本研究选择将蜂王的体质量、卵巢质量和受精囊直径作为评估蜂王质量的依据,并主要关注环境因素对这 3 个蜂王身体发育指标的影响。



注: ns 表示组间数据差异无统计学意义。

图 4 中蜂蜂王生长发育指标分析

Fig. 4 Analysis of queen of *A. cerana cerana* developmental indicators

蜂王体质量在出房后的不同时期存在较大差异,处女王体质量在出房时处于较高水平,在随后 36 h 内出现迅速减小,减小幅度接近 20%^[11]。此后随着外界营养补充和自身卵巢发育,蜂王体质量逐步增加,并在授精后回升至羽化后水平^[12]。本研究中群内保存组蜂王的体质量随日龄变化的趋势与上述研究结果相似;但在 3 个离群保存组中,蜂王体质量最小值出现在 6 日龄,这显示仿生蜂王存储装置中的蜂王体质量随日龄变化的趋势相较于群内保存组蜂王而言存在一定滞后。不过随着日龄的增加,仿生蜂王存储装置中的蜂王体质量逐渐增加并与群内保存组蜂王体质量的差距不断缩小,甚至在 14 日龄,50 头陪伴工蜂组和 70 头陪伴工蜂组的蜂王体质量还超过了群内保存组蜂王体质量。有研究认为,蜂王体质量与蜂王达到性成熟的年龄、卵巢管数量和开始产卵的时间无关^[13-14]。由此可以认为,蜂王在仿生蜂王存储装置中的生存状况对它的生殖指标的影响较小。另外在介入蜂群时,体质量更大的蜂王对于吸引工蜂的能力越强,并与接受度呈正相关关系^[15],所以 14 日龄后离群保存蜂王吸引工蜂的能力是否与群内保存蜂王一致,还有待进一步探究。

尽管蜂王质量指标通常以卵巢管数目来进行评估,但是该指标与蜂王幼虫来源和幼年营养关系更为密切,与出房后蜂王摄取的营养和发育情况关系较小^[16]。因此本研究选择用卵巢质量指标评估仿生蜂王存储装置蜂王的发育情况,进而判断用于人工授精的合适时机。蜂王人工授精通常选择在 7~13 日龄间完成,其中 10 日龄时的人工授精成功率最高^[17]。此时蜂王的卵巢系统发育程度较好,精液注射后残留在侧输卵管中的比例较少,授精成功率和蜂王存活率有明显提高^[18]。在本研究中,蜂王卵巢质量在 6~8 日龄明显增加、在 8~10 日龄增速

放缓、在10~14日龄处于快速增加的状态,并且各实验组的蜂王卵巢质量无明显差异。因此可以认为上述推荐的人工授精期也适用于仿生蜂王存储装置中的蜂王。

蜂王受精囊用于存储雄蜂精子,它的体积越大,容纳精子的能力也越强。受精囊体积间接影响着蜂王产卵持续时间,并受饲喂条件和蜂王基因遗传来源的影响,它与蜂王幼虫开始培育的年龄呈反比^[19]。从本研究测量出的受精囊直径上看,较难发现它与蜂王羽化后日龄增加存在一定的关联。因此群内保存条件或仿生蜂王存储装置条件对蜂王受精囊直径指标的影响较小且无明显差异。

此外,本研究观察到,饲喂条件与环境条件的协同优化以及增加工蜂群体规模明显延长了工蜂的寿命,推测该现象可能与营养供给的优化及环境的适宜性有关;在营养供给方面,固体方糖、水和花粉的组合饲喂方案较单一糖源更接近蜂群的自然采食结构,不仅提供稳定的碳源,还补充了蛋白质、脂肪及维持免疫所需的微量营养物质,有助于工蜂的能量平衡与生理稳态^[9];在环境方面,温度和相对湿度分别维持在35℃和65%可能有效降低了工蜂对外界波动的应激反应,减少工蜂额外的代谢消耗,进而提高了工蜂存活率。与此同时,较大的群体规模可能为个体蜜蜂创造了一个更稳定的微环境。有研究表明,高度社会性的费拉弓背蚁(*Camponotus fellah*)在食物和水充足、没有外界威胁的理想实验室环境下被隔离时,寿命也明显缩短^[20]。因此,仿生蜂王存储装置通过在营养供给、温度及湿度稳定性、群体规模等方面的综合优化,可能间接提升了工蜂的生理活力,进而为蜂王的离群保存提供了稳定的群体支撑。

综合上述,本研究成功地构建了基于仿生蜂王存储装置的中蜂蜂王离群保存体系,该体系能有效提高中蜂蜂王的保存效果,从而为后续人工授精保障了充足的处女王材料供应。未来将利用这一仿生蜂王存储装置在蜂王的邮寄、保种等方面进行应用研究,并建立一套完善的蜂王保存和邮寄体系。

参考文献:

- [1] LI H L, LOU B G, CHENG J A, et al. The chemosensory protein of Chinese honeybee, *Apis cerana cerana*: molecular cloning of cDNA, immunocytochemical localization and expression[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(10): 1355-1364.
- [2] 敖塘堰, 熊亮, 马振刚. 中华蜜蜂与意大利蜜蜂访花行为特点与区别[J]. 蜜蜂杂志, 2021, 41(3): 1-4.
AO T Y, XIONG L, MA Z G. Review on the characteristics and differences of visiting behavior between honeybee *Apis cerana* and *Apis mellifera* [J]. Journal of Bee, 2021, 41(3): 1-4.
- [3] ABOU-SHAARA H F, ADGABA N, AL-GHAMDI A A. Current knowledge about behaviors of honey bee queens with highlighting of the importance future studies[J]. The Journal of Basic and Applied Zoology, 2021, 82(1): 37.
- [4] VANENGELSDORP D, TARPY D R, LENGERICHE E J, et al. Idiopathic brood disease syndrome and queen events as precursors of colony mortality in migratory beekeeping operations in the eastern United States [J]. Preventive Veterinary Medicine, 2013, 108(2/3): 225-233.
- [5] KÖHLER A, NICOLSON S W, PIRK C W W. A new design for honey bee hoarding cages for laboratory experiments [J]. Journal of Apicultural Research, 2013, 52(2): 12-14.
- [6] 陈晓, 于福清, 陆健, 等. 我国蜜蜂遗传资源保护现状与对策[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(5): 1-7.
CHEN X, YU F Q, LU J, et al. Current situation and strategy of honeybee genetic resources protection in China [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(5): 1-7.
- [7] 重庆师范大学. 一种仿生蜜蜂离群保存器: CN202221738348. 7 [P]. 2022-10-11.
Chongqing Normal University. A bionic bee isolation storage device: CN202221738348. 7 [P]. 2022-10-11.
- [8] 牛德芳. 低温 24℃ 对蜜蜂工蜂封盖子发育的影响 [D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
NIU D F. The effect of lower temperature 24℃ on the development of capped brood of honeybee workers [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2011.
- [9] ABOU-SHAARA H F. Effects of various sugar feeding choices on survival and tolerance of honey bee workers to low temperatures [J]. Journal of Entomological and Acarological Research, 2017, 49(1): 6-12.
- [10] HATJINA F, BIEŃKOWSKA M, CHARISTOS L, et al. A review of methods used in some European countries for assessing the quality of honey bee queens through their physical characters and the performance of their colonies [J]. Journal of Apicultural Research, 2014, 53(3): 337-363.
- [11] SKOWRONEK W, BIENKOWSKA M, KRUK C. Changes in body weight of honey bee queens during their maturation [J]. Journal of Apicultural Science, 2004, 48(2): 61-68.

- [12] AMIRI E, STRAND M K, RUEPPELL O, et al. Queen quality and the impact of honey bee diseases on queen health: potential for interactions between two major threats to colony health[J]. *Insects*, 2017, 8(2): 48.
- [13] KAHYA Y, GENÇER H V, WOYKE J. Weight at emergence of honey bee (*Apis mellifera caucasica*) queens and its effect on live weights at the pre and post mating periods[J]. *Journal of Apicultural Research*, 2008, 47(2): 118-125.
- [14] JACKSON J T, TARPY D R, FAHRBACH S E. Histological estimates of ovariole number in honey bee queens, *Apis mellifera*, reveal lack of correlation with other queen quality measures[J]. *Journal of Insect Science*, 2011, 11(1): 82.
- [15] MORETTO G, GUERRA J C V, KALVELAGE H, et al. Maternal influence on the acceptance of virgin queens introduced into Africanized honey bee (*Apis mellifera*) colonies[J]. *Genetics and Molecular Research*, 2004, 3(3): 441-445.
- [16] DOLASEVIC S, STEVANOVIC J, ALEKSIC N, et al. The effect of diet types on some quality characteristics of artificially reared *Apis mellifera* queens[J]. *Journal of Apicultural Research*, 2020, 59(1): 115-123.
- [17] GERULA D, PANASIUK B, WĘGRZYNOWICZ P, et al. Instrumental insemination of honey bee queens during flight activity predisposition period 2. number of spermatozoa in spermatheca[J]. *Journal of Apicultural Science*, 2012, 56(1): 159-167.
- [18] BIENKOWSKA M, WĘGRZYNOWICZ P, PANASIUK B, et al. Influence of the age of honey bee queens and dose of semen on condition of instrumentally inseminated queens kept in cages with 25 worker bees in bee colonies[J]. *Journal of Apicultural Science*, 2008, 52(2): 23-33.
- [19] TARPY D R, KELLER J J, CAREN J R, et al. Assessing the mating ‘health’ of commercial honey bee queens[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105(1): 20-25.
- [20] KOTO A, TAMURA M, WONG P S, et al. Social isolation shortens lifespan through oxidative stress in ants[J]. *Nature Communications*, 2023, 14: 5493.

Animal Sciences

Effects of Feeding Conditions and the Number of Accompanying Worker Bees on the Development of Queens of *Apis cerana cerana* in Isolated Conditions

HE Yongyan¹, LI Yaohui¹, TIAN Guimin¹, PAN Yumu²,
HUANG Yao², RAN Fucheng², ZHANG Jing³, ZHANG Xiaoyan¹

(1. College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Chongqing Youzhou Forestry Development Co., Ltd., Youyang Chongqing 409800;

3. Chongqing Animal Husbandry Technology Extension Station, Chongqing 401120, China)

Abstract: The development of queens of *Apis cerana cerana* in isolated conditions was investigated, and optimal preservation methods were explored. A bionic queen storage device was first fabricated using polylactic acid via 3D modeling and printing. Under controlled artificial conditions at 35°C, the survival duration of worker bees was measured across varying humidity levels, feeding regimens, and group sizes. Comparisons were further made between isolated and in-colony queens in terms of body weight, ovary mass, and spermatheca diameter. Results showed that, 65% relative humidity (RH) extended worker bees' median survival time by 6 days compared to 55% RH. A diet consisting of solid sugar cubes, water, and pollen prolonged median survival by 14.5 days relative to diets of sucrose solution ($w_{\text{sucrose}} = 50\%$) with pollen. Worker groups of 70 individuals reached a median survival of 20.5 days, outperforming groups of 30 and 50 bees. When accompanied by at least 50 attendant workers in the bionic storage device, queens showed no significant differences in body mass, ovary mass, and spermatheca diameter compared to in-colony queens. Notably, groups with 70 accompanying workers, which exhibited longer median survival, effectively reduced the frequency of worker replenishment in the device. Collectively, optimal preservation of isolated queens was achieved under 65% RH with 70 accompany workers provided solid sugar cubes, water, and pollen. This established isolated preservation system enables batch storage of queens in a stable environment and supports improved efficiency in selective breeding programs.

Keywords: *Apis cerana cerana*; queen ovary; isolated preservation; attendant worker bees; bionic queen storage device

(责任编辑 方 兴)