

蜜蜂免移虫技术研究与应用

张波, 吴小波, 廖春华, 何旭江, 颜伟玉, 曾志将

(江西农业大学蜜蜂研究所, 南昌 330045)

摘要: 【目的】在养蜂生产中, 养蜂者进行蜂王浆生产和人工培育蜂王时, 都需要人工移虫。人工移虫对养蜂者视力和熟练程度有较高要求, 特别是随着我国劳动力成本的上升和养蜂者老龄化, 人工移虫是养蜂生产亟需解决的一个技术瓶颈。在国家蜂产业技术体系连续十年资助下, 笔者团队一直在从事蜜蜂免移虫技术研究工作, 旨在解决人工移虫问题, 为蜜蜂科学饲养提供技术支撑。【方法】根据蜜蜂生物学特性和仿生学原理, 设计一种食品级塑料空心工蜂巢础, 在空心巢房位置设计有与其对接的托虫器(或单个托虫器)。当空心巢础造好巢脾后, 让蜂王在巢脾上产卵, 取出托虫器(或单个托虫器)并安装在底座带孔的王台上, 即可进行蜂王浆生产(或育王)。利用改进设计后的第10代免移虫蜂王产卵器, 以意大利蜜蜂(*Apis mellifera ligustica*)为试验材料, 检验第10代蜜蜂免移虫技术在蜂王浆生产和人工培育蜂王中的可行性。首先利用有分蜂热蜂群紧缩巢脾, 让工蜂造好10—12张人工塑料空心巢础脾, 再进行免移虫产浆和免移虫育王试验。免移虫产浆试验主要测定单王群、双王群、多王群(4只蜂王)的产卵率, 以及产浆时王台接受率; 免移虫育王试验采用单王群产卵6 h, 同时以人工移虫育王为对照, 比较免移虫以卵育王和人工移虫育王两种方法培育的蜂王初生重和卵巢管数差异。【结果】工蜂能在人工塑料空心工蜂巢础上造好完整的巢脾, 同时蜂王可在造好的巢脾上产卵。单王群产卵、双王群产卵、多王群(4只蜂王)产卵的产卵率分别为91.24%、92.45%和91.29%, 产浆时王台接受率分别为91.12%、92.63%和90.19%, 三者均不存在显著性差异($P > 0.05$); 免移虫以卵育王和人工移虫育王两种方法培育的蜂王初生重分别为 (256.31 ± 3.75) mg和 (243.43 ± 2.05) mg, 单侧卵巢管数分别为 (163.87 ± 9.40) 条和 (154.77 ± 6.74) 条, 两者均存在显著性差异($P < 0.05$)。【结论】本研究改进设计的第10代免移虫蜂王产卵器, 可以进行免移虫蜂王浆生产和免移虫以卵育王, 值得在养蜂生产中推广应用。

关键词: 蜜蜂; 免移虫; 蜂王浆生产; 蜂王培育

Research and Application of Honeybee Non-Grafting Larvae Technology

ZHANG Bo, WU XiaoBo, LIAO ChunHua, HE XuJiang, YAN WeiYu, ZENG ZhiJiang

(Honeybee Research Institute, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

Abstract: 【Objective】 In the beekeeping industry, beekeepers need to conduct artificial larvae grafting either for royal jelly harvesting or for rearing queens artificially. Artificially grafting larvae requires beekeepers to have good eyesight and high proficiency. Especially with the increase of labor cost and the aging of beekeepers, artificially grafting larvae is a technical limitation that needs to be solved in the production of beekeeping. Under the support of the National Bee Industry Technology System for ten consecutive years, our team has been engaged in the research of non-grafting larvae technology. The objective of this study is to remove the limitation of artificially grafting larvae and to provide technical support for scientific beekeeping. 【Method】 Based on the biological characteristics of bees and the principle of bionics, a food-grade plastic worker comb foundation with regular holes was designed. The

收稿日期: 2018-07-10; 接受日期: 2018-08-06

基金项目: 国家蜂产业技术体系(CARS-44-kxj15)

联系方式: 张波, E-mail: 971669722@qq.com。吴小波, E-mail: wuxiaobo21@163.com。张波和吴小波为同等贡献作者。通信作者曾志将, E-mail: bees1965@sina.com

holes in the plastic worker comb foundation allow the assembly of larvae supporting devices or single queen cell bases. The idea was to assemble the hollow plastic worker comb foundation and the larvae supporting device or queen cell bases together to make a complete comb foundation firstly, and then to let the workers build the comb. Next, the queen is allowed to lay eggs in the cells of the comb. This is followed by removing the larvae supporting device or queen cell bases and assembling them into the queen cell bar with regular holes. In this way, royal jelly production or breeding queens can be achieved. This study tested the feasibility of the improved 10th generation of the non-grafting larvae technique of royal jelly harvesting and rearing queens, using the Italian bee (*Apis mellifera ligustica*) as the experimental system. Firstly, the number of combs in a colony which is about to swarm was reduced, and then the workers were allowed to build 10-12 pieces of combs based on the hollow plastic comb foundation, then the effect of royal jelly harvesting or rearing queens without larvae grafting was investigated. The experiment of royal jelly harvesting without artificially grafting larvae mainly measured the oviposition rate of one queen, two queens, multi-queen (four queens). The acceptance rate of newly assembled queen cells by nursing bees during royal jelly production was also measured. In the experiment of breeding queens without artificially grafting larvae, a single queen was allowed to lay eggs for 6 h. Then the birth weight and the number of ovarioles of the newly bred queens that developed from the eggs were measured. The methods of rearing queens without and with artificially grafting larvae were compared.

【Result】 Worker bees can build a complete comb based on the plastic hollow comb foundation, and the queen can lay eggs on the newly built comb. The oviposition rate of a single queen, double queens, multi-queen was 91.24%, 92.45% and 91.29%, respectively. The acceptance rate of newly assembled queen cells during royal jelly harvesting was 91.12%, 92.63% and 90.19%, respectively. There was no significant difference among them ($P>0.05$). The weight of the newly queens using the method of egg-based rearing queens without artificially grafting larvae and the method of grafting larvae based rearing queens was (256.31 ± 3.75) mg and (243.43 ± 2.05) mg, respectively. The number of ovarioles in unilateral ovary was (163.87 ± 9.40) and (154.77 ± 6.74) , respectively. There was a significant difference between the two methods ($P<0.05$). **【Conclusion】** This study showed that the improved 10th generation of non-grafting larvae oviposition device can be used in royal jelly production and for rearing queens. It is worth popularizing and applying in the beekeeping industry.

Key words: honeybee; non-grafting larvae; royal jelly harvesting; queen rearing

0 引言

【研究意义】蜂王浆是青年工蜂咽下腺和上颚腺分泌的一种乳白色或淡黄色浆状物质,用来饲喂蜂王和幼虫的一种高营养食物,蜂王浆又称为蜂皇浆或蜂乳^[1]。长期以来,生产蜂王浆仍然是依靠传统人工移虫获得。人工移虫用移虫针将小幼虫从巢房中移出后再放入王台中。随着我国劳动力成本上升和养蜂者老龄化等问题出现,蜂王浆生产规模受到挑战。开展蜜蜂免移虫产浆和育王新技术研究,不仅能提高蜂王浆的生产效率,而且对提高蜂王质量具有重要意义^[2]。

【前人研究进展】1921年, Sherlock Holmes 用真空方法从自然王台中直接吸取蜂王浆。1950年,墨西哥、法国及意大利开始小规模生产蜂王浆,他们开始使用的方法很简单,即人为去掉蜂群中的蜂王,从而迫使蜂群内出现急造王台,然后从急造王台中获取王浆,但这种方法由于使蜂群中无蜂王,群势下降快,同时也影响了蜂蜜产量。后来改进使用了隔王板,达到在有王群中生产蜂王浆的目的。1956年,匈牙利博尔霞博士访问中国并介绍了国外生产蜂王浆方法。1957年,黄子固等在中国试验生产蜂王浆成功。1959年,

中国农业科学院养蜂研究所牵头组织相关单位对生产蜂王浆进行技术攻关,并成功研发了“有王群生产王浆技术”,从而达到蜂群生产蜂王浆和蜂蜜相结合^[2]。50多年来,我国蜂群单产量和总产量得到连续大幅度提高,成为世界蜂王浆生产和出口第一大国。我国蜂王浆生产快速发展,主要是由于成功选育并推广了“浆蜂”、研制并推广了塑料王台以及当时劳动力成本低的优势,正好符合蜂王浆手工生产要求^[3-5]。为了解决蜂王浆生产过程中人工移虫问题,自20世纪80年代以来,我国许多学者做了积极有益的研究工作,如1990年,杨多福^[6]提出用移虫机和标位器移虫,用多王群供应幼虫;2005年,金汤东^[7]提出利用离心原理,把巢房中小幼虫通过离心至王台中,从而达到生产蜂王浆不用移虫的目的;2009年,何世钧^[8]也提出通过离心原理,利用摇蜜机进行移虫和取浆;另外还有大量的有关移虫专利,如向希光(1993年)、谢勇(2006年)、曾志将(2007、2011年)、刘日荣(2009年)、邱汝民(2011年)、王淇(2012年)等。以上工作为解决人工移虫问题打下了良好的基础。蜂王的质量优劣直接关系到群势强弱以及产量高低,显然育王也是养蜂生产中一个关键技术。1888年,美国的

Doolittle 出版《科学育王法》一书，首次介绍了人工育王技术，当时单式移虫培育蜂王技术即被西方养蜂者普遍采用。我国黄子固先生于 20 世纪 40 年代在单式移虫育王法的基础上发明了复式移虫育王法。相对移虫育王方法，还有移卵育王方法，即人工把蜂王产在工蜂巢房中的卵移入王台中。常用移卵方法有两种，一是用移卵铲移卵，二是用移卵管移卵。由于市场上没有专门移卵铲或移卵管销售，而养蜂者自己制作移卵铲或移卵管有一定困难，因此这两种移卵育王法在养蜂生产中没有得到推广应用^[2]。但有研究表明以卵育王蜂王质量优于移虫育王^[9-11]，这说明在养蜂生产中很有必要推广以卵培育蜂王技术。【本研究切入点】人工移虫生产蜂王浆和培育蜂王，不仅劳动强度大，费时费力，而且受到虫源和视力的限制。在国家蜂产业技术体系连续资助下，从 2008 年开始，笔者研究室根据蜜蜂生物学特性，应用仿生学原理，设计生产了第 1 代免移虫蜂王产卵器，并在养蜂生产中试用，请养蜂者针对生产中存在不足，提出可行性改进建议，然后逐代完善^[12-17]。历经 10 年，现已改进设计生产了第 10 代免移虫蜂王产卵器，成功解决了养蜂生产中人工移虫技术瓶颈。【拟解决的关键问题】针对养蜂生产中人工移虫技术难题，研制第 10 代蜜蜂免移虫技术，解决目前我国养蜂生产中劳动力成本上升和养蜂者老龄化等瓶颈问题，并为我国推广一人多养的饲养方法提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

试验蜂群为意大利蜜蜂 (*Apis mellifera ligustica*)，饲养于江西农业大学蜜蜂研究所院内 (28.46°N, 115.49°E)。试验时间为 2016 年 9 月至 2018 年 6 月。

1.2 第 10 代免移虫蜂王产卵器改进设计思路

为了让蜜蜂免移虫技术更贴近养蜂生产实际，根据蜜蜂生物学特性以及养蜂者使用后提出的修改建议，对第 9 代免移虫蜂王产卵器进行改进设计，主要针对人工塑料空心巢础脾空心巢房数较少、利用率低，以及空心巢础脾、托虫器和产浆条容易变形问题。

1.3 人工塑料空心巢础造巢脾方法

1.3.1 塑料空心巢础预处理 首先利用水浴锅将蜂蜡融化，然后用毛刷蘸取蜂蜡在塑料巢础上反复涂刷，使塑料巢础上均匀的附有一层蜂蜡。刷蜡时用毛刷蘸取蜂蜡后，在容器上轻轻刮去多余蜂蜡，以免毛刷上的蜂蜡过多堵住空心巢础。

1.3.2 组织蜂群造脾 选择有分蜂热的较强蜂群，将蜂群中留一张封盖子脾，其余的巢脾抖掉蜜蜂之后移出，将处理好的免移虫塑料脾放在子脾外侧，每晚对造脾蜂群喂足够的糖水，蜂王没有地方产卵加上有足够的糖水，蜜蜂造脾积极性高，造脾的速度也会加快。

1.4 免移虫产浆试验

1.4.1 产卵群的分区管理 用改造的框式隔王栅(用薄木板、硬纸板或塑料盖住 2/3—3/4 隔王栅)把蜂群分为产卵区和孵化区，产卵区巢门关闭，孵化区巢门正常开放。在产卵区放 1 张空心巢础巢脾和 1 张封盖子脾，让蜂王在空心巢础巢脾上产卵。

1.4.2 产卵方法 有以下 3 种产卵方法。(1) 单王群产卵：用控王产卵器控制蜂王在免移虫巢脾一侧产卵 15 h 后，再将蜂王转到另一侧再产卵 15 h；(2) 双王群产卵：在双王群中用控王产卵器将两只蜂王控制在免移虫巢脾的两端产卵 15 h (两只蜂王不可见面)；(3) 多王群产卵：将免移虫产卵脾放入提前组织好的有 4 只蜂王的多王群进行产卵 8 h。

统计蜂王产卵率，蜂王产卵率 (%) = (每次蜂王在固定区域内产卵数量/每次蜂王在固定区域内空的工蜂巢房数量) × 100。

1.4.3 取虫 取 1 日龄内小幼虫。在取托虫器操作时，要轻、快、稳，托虫器安入产浆条中要压紧，否则会影响王台的接受率。统计每次每个产浆框中托虫器上幼虫数量。

1.4.4 插框 将产浆框及时插入产浆群，最好插在幼虫脾和蜜粉脾之间。

1.4.5 取浆 插框 68—72 h 后，从产浆群中提出产浆框，先轻抖落产浆框上的工蜂，再用蜂刷扫去余蜂，然后进行取蜂王浆。取完蜂王浆的产浆条，用免移虫清台器对王台进行清理。当产浆条上的王台清理后，可继续安装带有小幼虫的托虫器进行循环生产蜂王浆。

统计产浆时王台接受率，王台接受率 (%) = (每次每个产浆框上接受王台数量/每次每个产浆框中托虫器上有幼虫数量) × 100。

1.5 免移虫育王试验

1.5.1 产卵群组织 按 1.4 中方法，采用单王群产卵 6 h，参照文献[1]方法，使用同一蜂王产的卵或幼虫进行免移虫以卵育王和人工移虫育王 (人工移虫日龄控制在 1 日龄)，其中人工移虫育王作为对照组。

1.5.2 蜂王初生重测定 蜂王出房前 2—3 d，用王台保护罩罩住即将出房的王台，以免先出房蜂王咬坏其

他王台。然后放入培养箱中羽化（相对湿度：75%—85%；温度：35℃）。当有蜂王羽化出房时，每隔 2 h 取出刚羽化蜂王，用电子天平称重。蜂王称重后，放入蜂群饲养 7 d 后测定蜂王卵巢管数。

1.5.3 蜂王卵巢管数测定 采用石蜡切片的方法测定蜂王的卵巢管数^[9]。从蜂群中取出饲养 7 d 的蜂王饥饿 2 h，用昆虫解剖针将蜂王固定于蜡盘上，用手术剪沿蜂王腹部中线剪开去除卵巢之外的其他组织后，置于 4% 的多聚甲醛固定液中固定 12 h 后取出，剥离卵巢放入塑料包埋盒。经一系列由低到高浓度的乙醇脱水，二甲苯透明后，进行浸蜡处理，石蜡包埋后，在切片机上切成 5 μm 厚的切片，在摊片机上展开，展好的切片置于 40℃ 烘片机上 30 min，苏木精-伊红染色，封片，显微镜下计数蜂王卵巢管数。

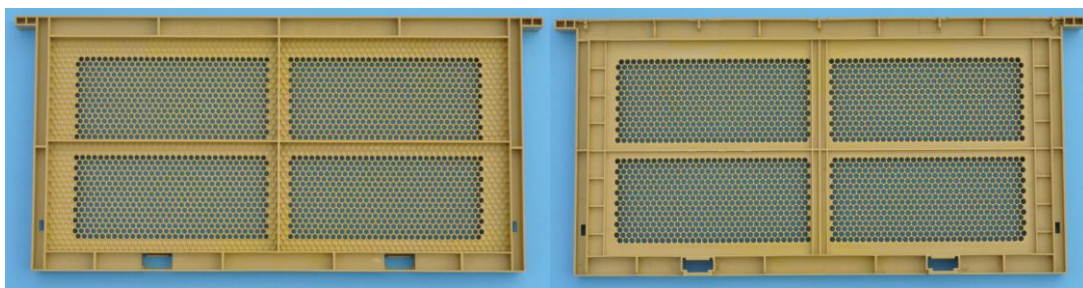


图 1 塑料空心巢础牌（左：正面；右：背面）

Fig. 1 The plastic worker foundation with regular holes (Left: the front side; Right: the back side)

2.1.2 托虫器 托虫器为杯形，可以与塑料巢础空心巢房房基相连，也可以与带孔的王台圆孔相吻合，主要用来承接蜂王产的卵和小幼虫。8 个王台座组成一条，并在王台座背面加提取把手（图 2）。

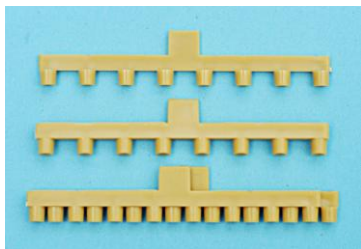


图 2 托虫器

Fig. 2 Cell bottom bar

2.1.3 产浆条 产浆条是双排带孔的王台组成，每排有 32 个带孔的王台，计 64 个王台。托虫器与产浆条

1.6 数据统计与分析

数据采用 StatView 软件“ANOVA and *t*-test”中的“ANOVA or ANCOVA”进行统计分析。

2 结果

2.1 第 10 代免移虫蜂王产卵器结构及主要附件

第 10 代免移虫蜂王产卵器结构主要由塑料空心巢础牌和托虫器两部分组成，其主要附件包括产浆条、产浆框、免移虫清台器等。

2.1.1 塑料空心巢础牌 塑料空心巢础正面是工蜂巢房房基，其中有 32 排空心巢房房基，每排有 64 个空心巢房房基。整个塑料巢础 2 048 个空心巢房房基，约占总巢房房基 67%。为了防止人工塑料空心巢础变形，正面和背面是一个十字筋把面板分成 4 个区域（图 1）。

王台底圆孔相吻合（图 3）。

2.1.4 产浆框 为了防止浆条变形引起的托虫器弹起，在浆框中间加入一条起托起作用的卡槽，使整个浆条始终处于一个水平线上，由 4 根产浆条组合 1 个产浆框（图 4）。

2.1.5 免移虫清台器 免移虫清台器主要用来清理王台中的蜂蜡（图 5）。

2.1.6 免移虫育王器结构和组成 只是对托虫器进行改进设计，形成了单个托虫器，并与单个王台配套使用（图 6）。

2.2 免移虫产浆试验

由图 7 可见，工蜂能接受第 10 代免移虫蜂王产卵器（塑料空心巢础牌），并且在塑料空心巢础上面成功造工蜂巢房，形成完整工蜂巢脾。

从表 1 可知，单王群产卵 15 h、双王群产卵 15 h、多王群产卵 8 h 的产卵率分别为 91.24%、92.45% 和 91.29%，三者之间差异不显著（ $P > 0.05$ ）；产浆时王

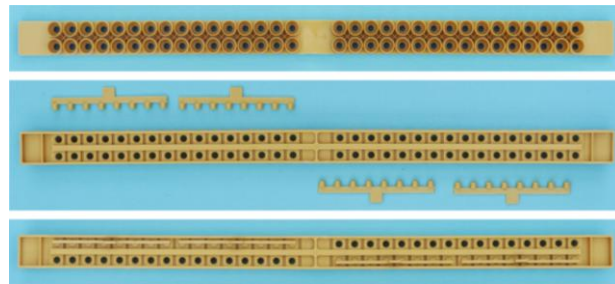


图 3 产浆条

Fig. 3 Royal jelly production bar

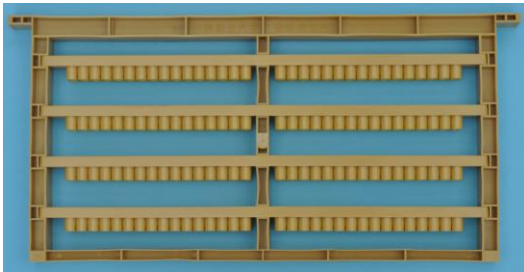


图 4 产浆框

Fig. 4 Royal jelly production frame



图 5 免移虫清台器

Fig. 5 A queen cell cleaner for producing royal jelly without grafting larvae

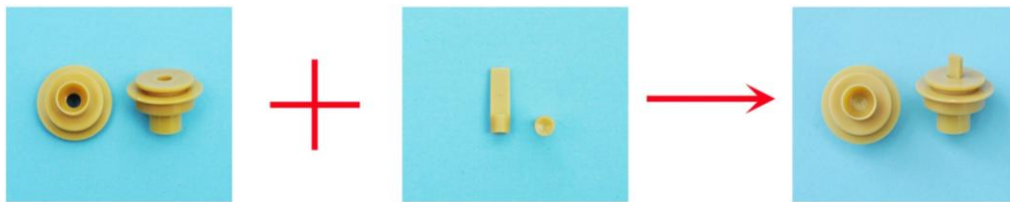


图 6 免移虫育王器结构和组成

Fig. 6 Structure of queen rearing without grafting larvae

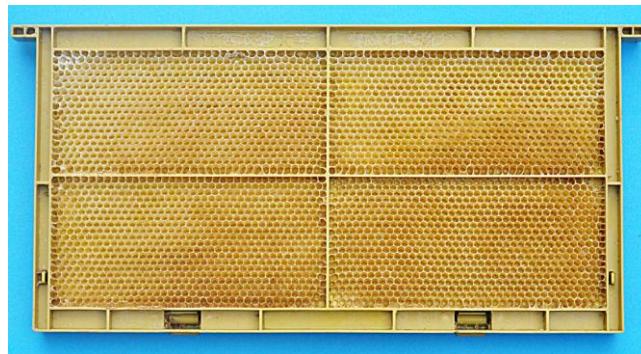


图 7 工蜂造好的空心巢础脾

Fig. 7 The plastic comb of worker construction

表 1 不同产卵方法对蜂王产卵效率及王台接受率的影响

Table 1 Effect of different oviposition methods on the oviposition efficiency and acceptance rate of queen cells

产卵方法	产卵时间	空巢房数 (个)	产卵效率	王台接受率
Oviposition method	Oviposition duration (h)	Number of empty cells	Oviposition efficiency (%)	Acceptance rate of queen cells (%)
单王群 Colony with one queen	15	1024	91.24±4.25a	91.12±4.06a
双王群 Colony with two queens	15	2048	92.45±3.03a	92.63±2.91a
多王群 Colony with multiple queens	8	2048	91.29±3.08a	90.91±3.31a

表中数据为平均数±标准差。同列数据后含有相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同

Data in the table are average±SD. The same lowercase letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

台接受率分别为 91.12%、92.63% 和 90.19%，三者之间也不存在显著性差异 ($P>0.05$)。

2.3 免移虫育王试验

从表 2 可知, 免移虫以卵育王和人工移虫育王两种方法培育的蜂王初生重分别是 (256.31±3.75) mg 和 (243.43±2.05) mg, 单侧卵巢管数分别是 (163.87±9.40) 条和 (154.77±6.74) 条, 两者均存在显著性差异 ($P<0.05$)。由图 8 可见, 通过石蜡切片的方法, 可以清楚显示出蜂王单侧卵巢管数量。

3 讨论

我国是世界第一养蜂大国, 蜂群饲养量超过 900 万群, 从业人员 30 多万人。近年来, 虽然在蜜蜂生物学和饲养学等方面取得了可喜研究进展^[18-23], 但养蜂生产中人工移虫问题是一直亟需解决的一个技术瓶颈,

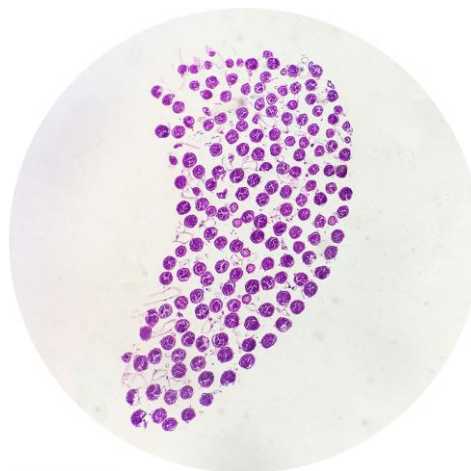


图 8 蜂王单侧卵巢切片

Fig. 8 The section of the queen's unilateral ovary

表 2 免移虫以卵育王和人工移虫育王的比较

Table 2 The comparison between egg-based queen rearing without artificially grafting larvae and artificially grafting larvae based queen rearing

育王方法	育王数量 (只)	蜂王初生重	单侧卵巢管数 (条)
Queen rearing method	Number of emerged queens (individuals)	Birth weight of queens (mg)	Number of ovarioles in one ovary
免移虫以卵育王	32	256.31±3.75a	163.87±9.40b
Egg-based queen rearing without artificially grafting larvae			
人工移虫育王	44	243.43±2.05b	154.77±6.74a
Artificially grafting larvae based queen rearing			

这也是笔者团队多年来的研究方向。

在多年实践中发现, 不同蜂种的工蜂造空心巢础脾速度有差异, 比如具有黑色血统蜂种造脾速度比黄色蜂种快; 具分蜂热蜂群更容易接受筑造空心巢础脾工作; 另外造脾速度还与外界蜜源丰富度密切相关。

从表 1 可见, 多王群产卵效率与双王以及单王群产卵效率差异不显著, 多王群产卵效率受蜂王只数以及蜂王年龄有关, 但许多养蜂者不知道如何组织多王群, 并且多王群会经常出现失王现象, 另外有些季节

不容易保持多王群。单王群在产卵过程中要人为地转换产卵区域, 且产满整张巢脾所需时间较长。因此, 建议在免移虫产浆过程中以推广双王群产卵为主。应用蜜蜂免移虫技术进行产浆, 固定蜂王在工蜂造好的空心巢础脾上同一区域的产卵时间不能超过 15 h, 否则会造成同一产卵区域内幼虫日龄相差很大, 不利于掌握从空心巢础脾上取出取托虫器时间。从空心巢础脾上取出取托虫器时间, 一定要控制托虫器上幼虫日龄不超过 1 日龄, 否则幼虫日龄太大, 容易从托虫器

脱落, 从而会影响王台接受率。

表 2 结果与前人研究结果基本一致^[10-12], 这说明以卵育王优于以虫育王。本研究展示的免移虫育王技术, 为养蜂生产中推广以卵育王提供一种可行操作方法。以卵培育蜂王质量高于以虫育王的原因可能是卵或幼虫发育环境(食物和空间)不同, 从而引起蜂王发育分子机理发生了改变^[12,24-30], 但具体机理有待于进一步探讨。

从试验效果来看, 使用蜜蜂免移虫技术进行产浆和育王, 不需要进行人工移虫, 解决了目前我国养蜂生产中劳动力成本上升和养蜂员队伍老龄化等瓶颈, 为我国推广一人多养饲养方法提供了技术支撑。

4 结论

本研究改进设计的第 10 代免移虫蜂王产卵器, 通过试验证实了蜜蜂免移虫技术在蜂王浆生产和培育蜂王中的可行性, 特别是免移虫以卵培育的蜂王质量优于常规的人工移虫培育的蜂王。

References

- [1] 曾志将. 养蜂学. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2017.
ZENG Z J. *Apiculture*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2017. (in Chinese)
- [2] 曾志将. 蜂王浆机械化生产技术. 北京: 中国农业出版社, 2013.
ZENG Z J. *Technique for Mechanized Production of Royal Jelly*. Beijing: China Agriculture Press, 2013. (in Chinese)
- [3] 陈盛禄, 林雪珍, 胡福良, 苏松坤, 方章明. 浙农大 A 系意蜂王浆高产试验. 中国农业科学, 1995, 28(5): 89-93.
CHEN S L, LIN X Z, HU F L, SU S K, FANG Z M. An experiment on the high royal jelly production of Zhenongda A line queens. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, 28(5): 89-93. (in Chinese)
- [4] 金水华. 中国平湖意蜂研究. 杭州: 浙江大学出版社, 2008.
JIN S H. *Study on China Pinghu Italian Bee*. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2008. (in Chinese)
- [5] 陈盛禄, 林雪珍. 新型高产全塑台基条的研制. 中国养蜂, 1987, 38(2): 9-10.
CHEN S L, LIN X Z. Design and application of new plastic queen cells for gathering royal jelly. *Apiculture of China*, 1987, 38(2): 9-10. (in Chinese)
- [6] 杨多福. 生产蜂王浆机械化. 蜜蜂杂志, 1990, 10(7): 22-25.
YANG D F. Mechanized production of royal jelly. *Journal of Bee*, 1990, 10(7): 22-25. (in Chinese)
- [7] 金汤东. 快速离心式移虫技术研究初报. 中国蜂业, 2005, 25(3): 6-7.
JIN T D. Initial report on spin-off larval transplantation technology. *Apiculture of China*, 2005, 25(3): 6-7. (in Chinese)
- [8] 何世钧. 用摇蜜机可取浆、移虫. 蜜蜂杂志, 2009, 29(6): 16-17.
HE S J. Getting royal jelly and grafting larvae by honey extractor. *Journal of Bee*, 2009, 29(6): 16-17. (in Chinese)
- [9] 甘海燕, 田柳青, 颜伟玉. 蜂王卵巢切片及染色技术. 蜜蜂杂志, 2012, 32(2): 9.
GAN H Y, TIAN L Q, YAN W Y. Ovarian sectioning and staining of the queen. *Journal of Bee*, 2012, 32(2): 9. (in Chinese)
- [10] WOYKE J. Correlations between the age at which honeybee brood was grafted, characteristics of the resultant queens, and results of insemination. *Journal of Apicultural Research*, 1971, 10(1): 45-55.
- [11] RANGEL J, KELLER J J, TARPY D R. The effects of honey bee (*Apis mellifera* L.) queen reproductive potential on colony growth. *Insectes Sociaux*, 2013, 60(1): 65-73.
- [12] HE X J, ZHOU L B, PAN Q Z, BARRON A B, YAN W Y, ZENG Z J. Making a queen: an epigenetic analysis of the robustness of the honey bee (*Apis mellifera*) queen developmental pathway. *Molecular Ecology*, 2017, 26(6): 1598-1607.
- [13] 刘光楠, 曾志将, 吴小波, 颜伟玉. 免移虫生产蜂王浆技术研究. 蜜蜂杂志, 2009, 29(10): 3-6.
LIU G N, ZENG Z J, WU X B, YAN W Y. Study on the technique of royal jelly production without grafting larvae. *Journal of Bee*, 2009, 29(10): 3-6. (in Chinese)
- [14] 曾志将, 吴小波, 张飞, 刘光楠, 颜伟玉, 王子龙. 蜂王浆机械化生产关键技术研究与应用(I): 蜜蜂仿生免移虫生产器设计. 江西农业大学学报, 2013, 35(4): 842-847.
ZENG Z J, WU X B, ZHANG F, LIU G N, YAN W Y, WANG Z L. Research and application of key technique for mechanized production of royal jelly (I): A design of bionic non-grafting larvae ovipositor. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2013, 35(4): 842-847. (in Chinese)
- [15] 张飞, 吴小波, 颜伟玉, 王子龙, 曾志将. 蜂王浆机械化生产关键技术研究与应用(II): 蜜蜂仿生免移虫蜂王浆生产技术. 江西农业大学学报, 2013, 35(5): 1036-1041.
ZHANG F, WU X B, YAN W Y, WANG Z L, ZENG Z J. Research and application of key technique for mechanized production of royal jelly (II): A bionic non-grafting larvae technique for royal jelly production. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2013, 35(5): 1036-1041. (in Chinese)
- [16] 张飞, 吴小波, 颜伟玉, 王子龙, 曾志将. 蜂王浆机械化生产关键技术研究与应用(III): 仿生免移虫生产蜂王浆蜂群配套饲养技术.

- 江西农业大学学报, 2013, 35(6): 1261-1265.
- ZHANG F, WU X B, YAN W Y, WANG Z L, ZENG Z J. Research and application of key technique for mechanized royal jelly production (III): Supporting breeding technology with honeybee colony breeding for bionic non-grafting larvae royal jelly production. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2013, 35(6): 1261-1265. (in Chinese)
- [17] 潘其忠, 林金龙, 吴小波, 周林斌, 张飞, 颜伟玉, 曾志将. 蜂王浆机械化生产关键技术研究与应用(IV): 机械化取浆器设计及应用. 江西农业大学学报, 2013, 35(6): 1266-1271.
- PAN Q Z, LIN J L, WU X B, ZHOU L B, ZHANG F, YAN W Y, ZENG Z J. Research and application of key technique for mechanized production of royal jelly (IV): Design and application of a machine for gathering royal jelly. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2013, 35(6): 1266-1271. (in Chinese)
- [18] 邹垂彬, 周林斌, 胡景华, 席芳贵, 袁芳, 颜伟玉. 免移虫育王和两种酯类幼虫信息素对中华蜜蜂蜂王质量的影响. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3662-3670.
- ZOU C B, ZHOU L B, HU J H, XI F G, YUAN F, YAN W Y. Effects of queen-rearing without larvae-grafting and two esters of brood pheromone on the queen quality of *Apis cerana cerana*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(18): 3662-3670. (in Chinese)
- [19] 杜亚丽, 张中印, 潘建芳, 王树杰, 杨爽, 赵慧婷, 姜玉锁. 中华蜜蜂气味结合蛋白基因 *AcerOBP14* 的克隆及时空表达. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3852-3862.
- DU Y L, ZHANG Z Y, PAN J F, WANG S J, YANG S, ZHAO H T, JIANG Y S. Cloning and expression analysis of odorant binding protein gene *AcerOBP14* from *Apis cerana cerana*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(19): 3852-3862. (in Chinese)
- [20] 秦明, 王红芳, 刘振国, 王颖, 王帅, 郝学鹏, 刘春蕾, 张卫星, 胥保华. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂耐寒性能差异比较. 中国农业科学, 2017, 50(12): 2380-2388.
- QIN M, WANG H F, LIU Z G, WANG Y, WANG S, CHI X P, LIU C L, ZHANG W X, XU B H. Comparison of different cold resistance between *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(12): 2380-2388. (in Chinese)
- [21] 谭静, 宋欣密, 傅晓斌, 唐明珠, 吴帆, 华启云, 李红亮. 中华蜜蜂化学感受蛋白 CSP1 的功能模式分析及亚细胞定位. 中国农业科学, 2017, 50(15): 3052-3062.
- TAN J, SONG X M, FU X B, TANG M Z, WU F, HUA Q Y, LI H L. Functional mode and immunocytochemical localization of chemosensory protein 1 (CSP1) in *Apis cerana cerana*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(15): 3052-3062. (in Chinese)
- [22] 江武军, 吴小波, 刘光楠, 何旭江, 颜伟玉, 曾志将. 天然蜂粮生产技术研究与应用. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3828-3836.
- JIANG W J, WU X B, LIU G N, HE X J, YAN W Y, ZENG Z J. Research and application of production technology of natural honeybee bread. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(19): 3828-3836. (in Chinese)
- [23] 李爽, 李建科. 蜂王浆高产蜜蜂与意大利蜜蜂工蜂上颚腺磷酸化蛋白质组分析. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4656-4670.
- LI S, LI J K. Comparative analysis of phosphoproteome between mandibular glands of high royal jelly producing bees and italian bees. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4656-4670. (in Chinese)
- [24] BEGNA D, FANG Y, FENG M, LI J K. Mitochondrial proteins differential expression during honeybee (*Apis mellifera* L.) queen and worker larvae caste determination. *Journal of Proteome Research*, 2011, 10(9): 4263-4280.
- [25] CHEN X, HU Y, ZHENG H Q, CAO L F, NIU D F, YU D L, SUN Y Q, HU S N, HU F L. Transcriptome comparison between honey bee queen- and worker-estimated larvae. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2012, 42(9): 665-673.
- [26] GUO X Q, SU S K, SKOGERBOE G, DAI S J, LI W F, LI Z G, LIU F, NI R F, GUO Y, CHEN S L, ZHANG S W, CHEN R S. Recipe for a busy bee: microRNAs in honey bee caste determination. *PLoS ONE*, 2013, 8(12): e81661.
- [27] SHI Y Y, HUANG Z Y, ZENG Z J, WANG Z L, WU X B, YAN W Y. Diet and cell size both affect queen-worker differentiation through DNA methylation in honey bees (*Apis mellifera*, Apidae). *PLoS ONE*, 2011, 6(4): e18808.
- [28] SHI Y Y, YAN W Y, HUANG Z Y, WANG Z L, WU X B, ZENG Z J. Genome wide analysis indicates that queen larvae have lower methylation levels in the honey bee (*Apis mellifera*). *Naturwissenschaften*, 2013, 100(2): 193-197.
- [29] SHI Y Y, ZHENG H J, PAN Q Z, WANG Z L, ZENG Z J. Differentially expressed microRNAs between queen and worker larvae of honey bee (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 2015, 46(1): 35-45.
- [30] SHI Y Y, LIU H, QIU Y F, MA Z Y, ZENG Z J. DNA methylation comparison between 4-day-old queen and worker larvae of honey bee. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2017, 20(1): 299-303.

(责任编辑 岳梅)