台基直径对中华蜜蜂育王效果的综合评价*

黄知楚[1**] 陈道印[1] 赵东绪[1] 罗谷辉[1] 华启云[1] 倪伟成[2] 苏晓玲[1***]

（1. 金华市农业科学研究院，金华 321017；2. 磐安县药乡蜂谷生态农林有限公司，金华 322300）

摘 要 【目的】探究台基直径对中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 人工育王效果的影响，优化中华蜜蜂人工育王技术操作方法。【方法】开展中华蜜蜂人工育王实验，比较直径为 6.0、7.0、8.0、9.0、10.0、11.0 和 12.0 mm 的 7 种台基对王台大小、蜂王出房率、蜂王初生重的影响，并基于主成分分析法对蜂王初生形态指标进行综合评价。【结果】不同直径台基建造的王台尺寸经中华蜜蜂改造后差异较小，但显著影响蜂王出房率和跗节长、胫节长、背板 5 宽、头长、头宽、上颚宽形态指标（$P < 0.05$）。使用 7.0 mm 直径台基培育蜂王出房率较高，蜂王形态综合评价排序为 7.0 mm > 6.0 mm > 9.0 mm > 8.0 mm > 10.0 mm。【结论】建议中华蜜蜂人工育王生产上优先选择 7.0 mm 直径台基。

关键词 中华蜜蜂；人工育王；台基直径；出房率；蜂王形态

The effect of queen cell cup diameter on the artificial rearing of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) queens

HUANG Zhi-Chu[1**] CHEN Dao-Yin[1] ZHAO Dong-Xu[1] LUO Gu-Hui[1]
HUA Qi-Yun[1] NI Wei-Cheng[2] SU Xiao-Ling[1***]

(1. Jinhua Academy of Agricultural Sciences, Jinhua 321017, China; 2. Pan'an Medicine Township Bee Valley Ecological Agriculture and Forestry Co., LTD., Jinhua 322300, China)

Abstract **[Aim]** To investigate the effect of queen cell cup diameter on the artificial rearing of *Apis cerana cerana* queens. **[Methods]** The effects of seven different cup diameters (6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, and 12.0 mm) on queen cell size, emergence rate, and initial queen body weight, were measured and compared. In addition, principal component analysis was used to compare the morphological characteristics of newly emerged queens from queen cell cups of various diameters. **[Results]** Minimal differences in queen cell size had a significant impact on emergence rate and several morphological indices, such as metatarsus length, tibia length, longitudinal diameter of tergite 5, head length, head width and mandible width ($P < 0.05$). Queens reared in 7.0 mm queen cups had higher emergence rates, and queen cell cup size could be ranked with respect to queen body size as follows: 7.0 mm > 6.0 mm > 9.0 mm > 8.0 mm > 10.0 mm. **[Conclusion]** 7.0 mm diameter cups are the best for the artificial rearing of *A. c. cerana* queens.

Key words *Apis cerana cerana*；artificial queen rearing；cup diameter；emergency rate；queen morphology

蜂王是蜂群中唯一性器官发育完全的雌性蜜蜂，专职产卵，同时分泌蜂王信息素调控蜂群活动，维持蜂群群势秩序（任炳忠等，2024）。作为遗传多样性的载体，蜂王优劣对蜂群的生产性能、抗病力、分蜂性等都有直接影响，因此蜂王培育是蜜蜂养殖中的关键环节。自然状

*资助项目 Supported projects：现代农业（蜂）产业技术体系专项（CARS-44 -SYZ6）；浙江省畜牧技术团队项目（区域试验站）；金华市科技计划项目（2021-2-030）；浙江省农业重大技术协同推广计划（2023ZDXT17-01）

**第一作者 First author，E-mail：zhichu@zju.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：jhmfyjs@163.com

收稿日期 Received：2024-03-06；接受日期 Accepted：2024-07-29

态下，蜂群即将分蜂或需要更替衰老伤残蜂王时会建造分蜂王台和交替王台，但蜂群分蜂时间不可控且自然王台数量少，蜂场通过自然方式培育的蜂王具有较大随机性，无法对拥有稳定性状的优质蜂王进行定向选育，培育效率低。

人工育王是一项以人工方式诱导蜂群在短时间内培育出大量新蜂王，并定向选择和改良蜂种特性的技术。台基为蜂王幼虫提供发育场所，其数量（Ma *et al.*，2022）、材质（方文富等，1994）、大小等因素都可能影响蜂王发育。研究表明，意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica*（以下简称“意蜂”）使用 9.0 mm 直径台基培育的蜂王初生重和头、胸、腹部形态显著大于 8.0 mm 直径台基培育的蜂王（Mattiello *et al.*，2022），且随台基直径从 9.4 mm 增加至 10.0 mm，蜂王初生重、卵巢管数、胸长与胸宽指标及腹部卵黄蛋白原基因表达均显著上升（周林斌，2017；Wu *et al.*，2018），7.0-8.5 mm 区间直径台基王台在移虫接受率上无显著差异（Adgaba *et al.*，2019）。

基于对意大利蜜蜂台基育王效果的大量研究，多种配套意蜂育王和产浆的塑料台基都相继推广应用。但台基直径对我国本地特色蜂种——中华蜜蜂 *Apis cerana cerana*（以下简称“中蜂”）育王效果则鲜有研究，中蜂生产上直接使用意蜂台基育王成功率和育王质量都不佳，因此亟需补充台基对中蜂育王效果的基础研究，推动中蜂育王配套台基的研发。任勤等（2012）对重庆地区中蜂研究表明，8.0 mm 直径的台基接受率显著高于 9.0 和 10.0 mm 直径台基，台基深度对接受率无显著影响。本研究扩大比较了 7 种台基直径对王台大小、蜂王出房率、蜂王初生重及初生形态指标的影响，旨在确定人工育王技术中最佳台基直径，以期优化中蜂人工育王技术，提高中蜂养殖效益。

1 材料与方法

1.1 试验蜂群

选取群势均为 4 足框的中华蜜蜂试验蜂群 6 群，分别于 2022 年 3 月、4 月和 6 月进行人工育王。所用中华蜜蜂蜂群均饲养于金华市农科院实验蜂场。

1.2 育王框制作

使用直径 6.0、7.0、8.0、9.0、10.0、11.0 和 12.0 mm 7 个尺寸的王台棒制作相应尺寸的蜡质台基，依次将 7 个不同尺寸的蜡质台基垂直均匀地粘在育王条上，每个育王框内放置 3 个育王条（图 1）。

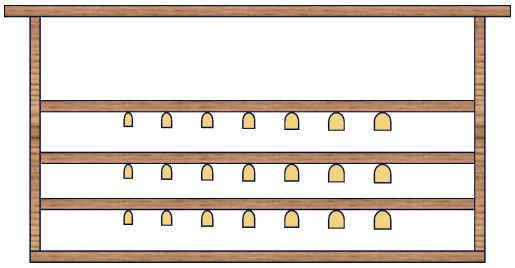

图 1 育王框
Fig. 1 Artificial queen rearing frame

1.3 人工育王操作

将试验育王框在蜂群中清理 4 h 后，点入少量新鲜蜂王浆，在台基内移入 1 日龄小幼虫后将育王框放入提前关王的试验群进行育王。蜂王出房前 24 h 把育王框从蜂箱移入培养箱（宁波江南 DGXM-168）[温度（34±0.5）℃，相对湿度 65%±5%]，使用王台保护罩将各王台进行隔离和收样。蜂王出房后立即称量其初生重，并用游标卡尺测定王台高度、上口（王台盖开口）直径和最大直径等尺寸指标（图 2），然后将蜂王样本置于无水乙醇中 - 20 ℃条件保存，待所有蜂王出房完毕后统计出房率。

1.4 蜂王形态指标测定

参照蜜蜂外部形态特征的标准鉴定方法（Ruttner，1988；Slater *et al.*，2020），将保存的蜂王解剖，用带有图形采集器的体式显微镜（MOTIC K400）采集蜂王各身体组织标准形态图像，并通过 Digimizer 软件测定与蜂王初生形态相关的 18 个形态指标：右前翅[翅长（Fore

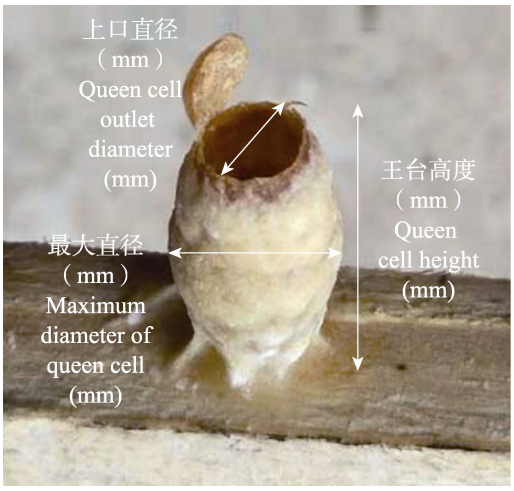

图 2　王台尺寸测量指标

Fig. 2　Queen cell size measurement indicators

wing length，FL）、翅宽（Fore wing width，FW）]，右后足[胫节长（Tibia length，Ti）、股节长（Femur length，Fe）、跗节长（Metatarsus length，MtL）、跗节宽（Metatarsus width，MtW）]，背板[背板 2 宽（Longitudinal diameter of tergite 2，T2）、背板 3 宽（Longitudinal diameter of tergite 3，T3）、背板 4 宽（Longitudinal diameter of tergite 4，T4）、背板 5 宽（Longitudinal diameter of tergite 5，T5）]，背板绒毛带宽[背板 3 绒毛带宽（Width of dorsal hair bands on tergite 3，Td3）、背板 4 绒毛带宽（Width of dorsal hair bands on tergite 4，Td4）、背板 5 绒毛带宽（Width of dorsal hair bands on tergite 5，Td5）]，以及蜂王特有的形态指标：蜂王胸宽（Thorax width，TW），头部[头长（Head length，HL）、头宽（Head width，HW）]，上颚[上颚长（Mandible length，MdL）、上颚宽（Mandible width，MdW）]（Delaney *et al.*，2011）。

1.5　数据分析

通过 Excel 2016 和 SPSS 26.0 统计软件对王台尺寸、蜂王出房率、蜂王初生重及蜂王形态数据结果进行统计分析，用四分位检测并剔除数据异常值。不同处理组出房率、王台尺寸、初生重、形态指标数据采用单因素方差分析（One-way ANOVA）和邓肯氏检验（Duncan’s test）的多重比较法进行差异显著性检验，显著性水平 0.05。应用主成分分析法（PCA）对蜂王形态指标进行综合评价。

2　结果与分析

2.1　台基直径对王台尺寸的影响

不同直径台基建造的王台尺寸结果见表 1，由表 1 可知，工蜂建造的自然王台与不同直径台基建造的人工王台在王台高度和上口尺寸上均无显著差异（P>0.05），自然王台的最大直径

表 1　自然王台、不同直径台基人工王台尺寸指标

Table 1　Dimension comparison between natural queen cells and artificial queen cell with different diameters

台基直径（mm） Queen cell cup diameter (mm)	王台高度（mm） Queen cell height (mm)	上口尺寸（mm） Queen cell outlet diameter (mm)	最大直径（mm） Maximum diameter of queen cell (mm)
自然王台（n=4）Natural queen cell	16.268±0.293 a	7.280±0.063 a	8.888±0.082 c
6（n=29）	17.069±0.283 a	6.985±0.077 a	9.144±0.096 bc
7（n=37）	17.629±0.232 a	7.241±0.064 a	9.280±0.061 bc
8（n=26）	17.169±0.313 a	7.240±0.084 a	9.382±0.085 b
9（n=28）	17.368±0.287 a	7.043±0.052 a	9.321±0.083 bc
10（n=16）	17.598±0.235 a	7.216±0.092 a	9.851±0.154 a
11（n=3）	16.803±0.455 a	6.960±0.346 a	9.423±0.075 b
12（n=0）	–	–	–

表中数据为平均值±标准误，同列数据后不同小写字母表示差异显著（P<0.05，Duncan 氏多重比较检验）。表 2 同。

Data in the table are mean±SE. and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05, Duncan’s multiple range test). The same for Table 2.

与 6.0、7.0 和 9.0 mm 台基王台无显著差异（P>0.05），但显著小于 8.0、10.0 和 11.0 mm 台基王台（P<0.05）。6.0、7.0、8.0 和 9.0 mm 台基的王台尺寸没有显著差异（P>0.05）。

2.2 台基直径对中蜂蜂王出房率的影响

不同直径台基建造的王台影响中蜂蜂王出房率结果见图 1，由图 1 可知，3 月育王时 7.0 和 8.0 mm 台基王台蜂王出房率最高，均为 100%；4 月育王时 7.0 mm 台基王台蜂王出房率最高，为 93.33%；而 6 月育王时 9.0 mm 直径台基蜂王出房率最高，为 80%。可见随着月份推移，蜂群接受的台基最佳直径有增大趋势，但无论何时，蜂群对 10.0 mm 直径以上的台基接受率均很低，12.0 mm 直径台基在 3 个实验月内均无蜂王出房。综合比较下， 7.0 mm 台基培育蜂王出房率（86.96%）除与 8.0 mm 台基蜂王出房率（78.26%）差异不显著（P>0.05）外，均显著高于其他直径台基的蜂王出房率（P<0.05）。6.0（63.04%）、8.0（78.26%）和 9.0 mm（60.87%）台基培育的蜂王出房率差异不显著

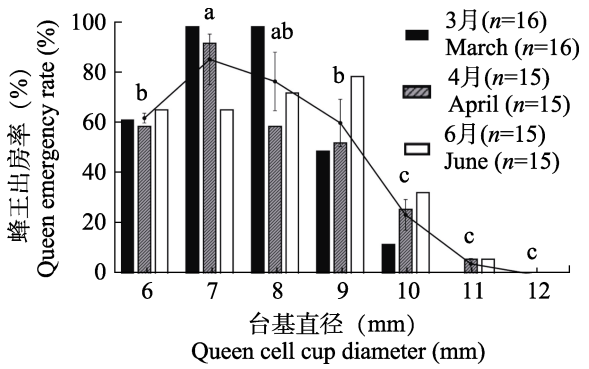

图 3 不同月份及不同台基直径对中华蜜蜂蜂王出房率的影响

Fig. 3 The impact of different queen cell cup sizes on the *Apis cerana cerana* queen emergency rate in experimental months

图中不同小写字母表示差异显著（P<0.05，Duncan 氏多重比较检验）。折线图表示 3 个月份的平均出房率。括号中“n”表示重复数。Data in the figure followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05, Duncan's multiple range test). The line chart represents the average emergency rate for 3 months. The 'n' in parentheses represents the number of repetitions.

（P>0.05），但显著高于 10.0（23.91%）、11.0（4.35%）和 12.0 mm（0%）台基培育的蜂王出房率（P<0.05）。

2.3 台基直径对中蜂蜂王初生重和初生形态指标的影响

不同直径台基对中蜂蜂王初生重和初生形态指标的影响结果见表 2，由表 2 可知，不同台基直径培育的蜂王初生重差异不显著（P>0.05）。不同直径台基育王对蜂王的跗节长、胫节长、背板 5 宽、头长、头宽、上颚宽的影响差异显著（P<0.05）。其中，10.0 mm 台基蜂王跗节长、胫节长显著大于 7.0 mm 台基蜂王（P<0.05）；9.0 mm 台基蜂王背板 5 宽、头长、头宽显著大于 6.0 和 7.0 mm 台基蜂王（P<0.05）。蜂王的头长、头宽随着台基直径增加而增加（P<0.05），上颚宽随着台基直径增加而减少（P<0.05），上颚长也随着台基直径增加呈减少趋势（P>0.05），即台基直径越小，上颚占头部的比重越高。

2.4 基于主成分分析评价不同直径台基培育的中蜂蜂王形态指标

对 6.0、7.0、8.0、9.0 和 10.0 mm 台基直径培育的中华蜜蜂蜂王的 18 个初生形态指标进行主成分分析，结果表明蜂王初生形态指标前 3 个成分的特征值均大于 1，累计方差贡献率为 87.32%。依据数据特征，制定指标荷载绝对值大于 0.600 的选择标准，第一主成分反映了 41.98%的原始信息量，主要与蜂王头部和背板形态特征相关，第二主成分反映了 32.27%的原始信息量，主要与胸宽、绒毛带宽相关，第三主成分反映了 13.07%的原始信息量，主要与蜂王足部特征相关。

基于主成分数学分析模型，得出各指标对应的特征向量，以特征向量为权重，得出主成分得分计算公式，将标准化数据分别代入公式，得出 5 个台基直径培育的蜂王形态在 3 个主成分上的得分。以各主成分相对方差贡献率为权重，对前 3 个主成分得分和相应权重进行线性加权求和，构建不同台基直径培育的蜂王形态

表 2　台基直径对中华蜜蜂蜂王初生形态指标的影响

Table 2　The effect of queen cell cup diameter on the morphological indicators of newly emerged *Apis cerana cerana* queens

台基直径（mm）Queen cell cup diameter (mm)	初生重（mg）Emergency weight (mm)	前翅部 Fore wing		后足部 Hind leg				背部 Dorsum							胸部 Thorax	头部 Head			
		翅长 FL（mm）	翅宽 FW（mm）	跗节长 MtL（mm）	跗节宽 MtW（mm）	胫节长 Ti（mm）	股节长 Fe（mm）	背板 2 宽 T2（mm）	背板 3 宽 T3（mm）	背板 3 绒毛带宽 T3d（mm）	背板 4 宽 T4（mm）	背板 4 绒毛带宽 T4d（mm）	背板 5 宽 T5（mm）	背板 5 绒毛带宽 T5d（mm）	胸宽 TW（mm）	头长 HL（mm）	头宽 HW（mm）	上颚长 MdL（mm）	上颚宽 MdW（mm）
6（*n*=20）	195.70± 2.41 a	9.317± 0.087 a	3.191± 0.054 a	2.109± 0.022 ab	1.011± 0.014 a	3.434± 0.022 ab	2.989± 0.030 a	3.088± 0.042 a	2.750± 0.028 a	1.550± 0.026 a	2.567± 0.026 a	1.423± 0.025 a	2.363± 0.027 b	1.467± 0.025 a	3.911± 0.017 a	3.047± 0.159 c	2.643± 0.157 c	1.177± 0.015 a	0.406± 0.006 a
7（*n*=19）	190.84± 2.48 a	9.337± 0.083 a	3.205± 0.026 a	2.040± 0.017 b	1.028± 0.013 a	3.370± 0.021 b	2.991± 0.020 a	2.976± 0.050 a	2.721± 0.031 a	1.548± 0.036 a	2.569± 0.033 a	1.428± 0.025 a	2.380± 0.047 b	1.456± 0.019 a	3.918± 0.044 a	3.081± 0.122 bc	2.715± 0.144 bc	1.175± 0.014 a	0.392± 0.008 ab
8（*n*=18）	196.50± 3.07 a	9.360± 0.054 a	3.229± 0.029 a	2.075± 0.028 ab	1.045± 0.015 a	3.421± 0.017 b	2.972± 0.020 a	3.046± 0.049 a	2.748± 0.024 a	1.528± 0.024 a	2.587± 0.028 a	1.448± 0.022 a	2.473± 0.026 ab	1.463± 0.022 a	3.918± 0.040 a	3.166± 0.103 ab	2.836± 0.147 ab	1.145± 0.017 a	0.386± 0.008abc
9（*n*=19）	190.42± 2.54 a	9.364± 0.213 a	3.134± 0.127 a	2.059± 0.09 ab	1.002± 0.065 a	3.437± 0.079 ab	2.992± 0.042 a	3.071± 0.105 a	2.732± 0.137 a	1.536± 0.118 a	2.646± 0.117 a	1.407± 0.105 a	2.569± 0.144 a	1.495± 0.075 a	4.005± 0.110 a	3.198± 0.096 a	2.933± 0.125 a	1.165± 0.073 a	0.376± 0.043 bc
10（*n*=12）	196.33± 3.36 a	9.401± 0.073 a	3.212± 0.034 a	2.125± 0.039 a	1.020± 0.044 a	3.517± 0.085 a	2.989± 0.042 a	3.045± 0.056 a	2.716± 0.068 a	1.506± 0.060 a	2.617± 0.057 a	1.436± 0.052 a	2.449± 0.043 b	1.454± 0.027 a	3.912± 0.051 a	3.187± 0.064 ab	2.921± 0.094 a	1.147± 0.041 a	0.361± 0.011 c

图中不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$，Duncan 氏多重比较检验）。Data in the table followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's multiple range test).表中简写字母分别为 The abbreviated letters in the table are: FL：前翅长 Forewing length；FW：前翅宽 Fore wing width；MtL：跗节长 Metatarsus length；MtW：跗节宽 Metatarsus width；Ti：胫节长 Tibia length；Fe：股节长 Femur length；T2：背板 2 宽 Longitudinal diameter of tergite 2；T3：背板 3 宽 Longitudinal diameter of tergite 3；T3d：背板 3 绒毛带宽 Width of dorsal hair bands on tergite 3；T4：背板 4 宽 Longitudinal diameter of tergite 4；T4d：背板 4 绒毛带宽 Width of dorsal hair bands on tergite 4；T5：背板 5 宽 Longitudinal diameter of tergite 5；T5d：背板 5 绒毛带宽 Width of dorsal hair bands on tergite 5；TW：胸宽 Thorax width；HL：头长 Head length；HW：头宽 Head width；MdL：上颚长 Mandible length；MdW：上颚宽 Mandible width.

表 3 不同台基直径培育的中华蜜蜂蜂王形态指标主成分荷载矩阵

Table 3 Principal component loading matrix of morphological indicators of queens reared in *Apis cerana cerana* queen cells of different diameters

形态指标 Morphological indicators	第一主成分 PCA1	第二主成分 PCA2	第三主成分 PCA3
翅长 Forewing length	- 0.874	- 0.442	0.043
翅宽 Fore wing width	0.384	- 0.922	0.033
跗节长 Metatarsus length	0.207	0.403	0.891
跗节宽 Metatarsus width	- 0.290	0.795	- 0.462
胫节长 Tibia length	0.677	0.331	0.648
股节长 Femur length	0.065	- 0.645	0.199
背板 2 宽 Longitudinal diameter of tergite 2	- 0.267	0.288	- 0.734
背板 3 宽 Longitudinal diameter of tergite 3	0.423	0.119	- 0.239
背板 3 绒毛带宽 Width of dorsal hair bands on tergite 3	0.756	0.626	0.154
背板 4 宽 Longitudinal diameter of tergite 4	- 0.950	0.308	0.040
背板 4 绒毛带宽 Width of dorsal hair bands on tergite 4	0.192	- 0.954	0.108
背板 5 宽 Longitudinal diameter of tergite 5	- 0.846	0.284	0.283
背板 5 绒毛带宽 Width of dorsal hair bands on tergite 5	- 0.412	0.810	0.074
胸宽 Thorax width	- 0.580	0.751	0.261
头长 Head length	0.950	0.151	- 0.221
头宽 Head width	0.976	0.102	- 0.186
上颚长 Mandible length	0.625	0.722	- 0.067
上颚宽 Mandible width	0.908	0.305	- 0.095

指标综合评价模型如下：

$$F=(0.419\,8\times PCA1+0.322\,7\times PCA2+0.130\,7\times PCA3)/0.873\,2。$$

利用该模型计算得到 5 个台基直径培育的蜂王形态在 3 个主成分上的综合得分及排序结果（表 4）。以各主成分相对方差贡献率为权重进行线性相加求和，蜂王形态综合评价排序为：7.0 mm > 6.0 mm > 9.0 mm > 8.0 mm > 10.0 mm。

表 4 不同台基直径培育的中华蜜蜂蜂王形态得分及排序

Table 4 Morphological scores and ranking of *Apis cerana cerana* queens reared in queen cells of different diameters

台基直径（mm） Queen cell cup diameters (mm)	第一主成分 PCA1	第二主成分 PCA2	第三主成分 PCA3	综合得分 F Principal components score	排序 Rank
6.0	2.870 8	1.147 6	- 2.053 6	1.496 7	2
7.0	2.524 7	0.229 5	1.704 8	1.553 7	1
8.0	0.180 1	- 2.360 5	0.930 9	- 0.646 4	4
9.0	- 2.913 6	3.3032	0.500 2	- 0.105 0	3
10.0	- 2.662 0	- 2.319 8	- 1.082 3	- 2.299 1	5

3 结论与讨论

研究表明，蜂王的发育受王台中食物含量和幼虫发育空间的影响（Kamakura，2011；王颖，2015），而台基直径可以影响王台大小，进而影响蜂王的发育和质量。本研究以表型性状为评价指标，从蜂王出房率、初生重及蜂王形态三个方面对 7 个直径台基培育的中蜂蜂王进行质量评价。

王台尺寸测量数据显示，不同直径台基的王台高度和上口直径无显著差异，最大直径均在 9.0-10.0 mm 之间。实验中我们观察到蜂群中的工蜂会对蜡质台基进行改造，以满足蜂王幼虫的生长需求。自然状态下的蜂群意外失王后，蜂群通过紧急改造直径更小的工蜂幼虫巢房来培育新蜂王（王正操，2007），谢宪兵等（2004）的研究也证明，中蜂蜂群没有自然王台时，工蜂甚至会改造塑料王台以适于蜂王的培育，并认为此举是工蜂接收蜂王信息素作出的响应。经过蜂群改造后的王台大小相似，这可能也是导致蜂王初生重无显著差异的原因之一。

蜂王出房率的结果表明，使用直径为 7.0 mm 台基建造的王台出房率显著高于除 8.0 mm 台基外的其他直径组，6.0、8.0 和 9.0 mm 台基王台大小与出房率组间无显著差异，但均显著高于 10.0 mm 以上台基王台出房率。在自然状态下，如果王台过小会限制其生长空间，而过大则可能导致幼虫掉落，中蜂在长期的自然选择和适应中找到了最佳的育王台基尺寸，7.0 mm 台基的王台尺寸与自然王台无显著差异，我们推测，7.0 mm 直径的台基可能提供了最适合蜂王幼虫生长和发育的空间，因此，7.0 mm 的台基直径在培育蜂王时能够达到高出房率。引起出房率差异的原因在于蜂群对不同直径台基的接受程度，如果台基直径超出可改造范围，工蜂会直接放弃对其改造，从而导致最终蜂王出房率下降。超过 10.0 mm 直径的王台接受率很低，这在一定程度上解释了中蜂直接使用意蜂台基育王成功率和育王质量不佳的原因，生产中常用的意蜂塑料台基直径约为 10.0 mm，并不适合中蜂蜂王的发育需求，因此在生产中建议使用更小尺寸的中蜂台基。对出房率结果分析还发现，蜂群接受的最佳台基直径随着时间推移而逐渐变大，3 月和 4 月蜂王出房率最高组别的王台直径为 7.0 mm，分别为 100.00%和 93.33%，本地中蜂育王的适宜时间一般在 3 月底和 4 月（苏晓玲等，2021），因此，从育王效率的角度考虑，生产上选用中蜂育王的最佳台基直径为 7.0 mm。

对蜂王形态进一步分析发现，7.0 mm 台基培育的蜂王跗节长和胫节长显著小于 10.0 mm 台基培育的蜂王，后足是鉴别蜂王的特征形态之一，由于蜂王主要职责是繁殖产卵，其后足花粉刷和花粉栉结构逐渐退化（金梦杰等，2023），这也是生物在长期自然选择和环境适应过程中产生的适应性变化。此外，蜂王上颚占头部的比重随台基直径增大而减小，蜂王的上颚腺能产生具有调控工蜂行为、促进工蜂采集以及婚飞吸引雄蜂等生物功能的蜂王物质（Naumann *et al.*，1991；刘俊峰等，2017），Zheng 等（2012）研究表明切除部分上颚会影响腺体分泌，因此直径更小的台基如 6.0 和 7.0 mm 台基培育的蜂王拥有更发达上颚腺，对蜂群具有更强的调控能力和领导力。为排除单一指标对蜂王质量评价的片面性，应用主成分分析法对不同台基直径的蜂王进行主成分赋分与综合评价，前 3 个主成分分别与蜂王头部和背板、胸宽和绒毛带宽、足部特征有较强的相关性，累计方差贡献率达 87.32%。以足部和头部相关指标为负向指标，通过赋分与加权得到蜂王形态综合评价排序依次为 7.0、6.0、9.0、8.0 和 10.0 mm，7.0 mm 台基培育的蜂王形态较其他组更优。

综上分析，台基直径对蜂王表型质量的影响可能与蜂群对台基的接受程度高相关，后续可进一步测定与生产性能相关的评价指标，以及深入探究台基的接受率和工蜂的改造行为。此外，不同地区中蜂可能存在差异，也需开展更多研究加以验证。本研究使用直径为 7.0 mm 台基培育的本地中蜂蜂王在出房率以及形态特

征方面的表现都较其他组更优，建议在中蜂人工育王生产中优先选择 7.0 mm 直径台基，以提升蜂王质量和养蜂效益。

参考文献 (References)

Adgaba N, Al-Ghamdi A, Tadesse Y, Alsarhan R, Single A, Mohammed SE, Ali Khan K, 2019. The responses of *Apis mellifera jemenitica* to different artificial queen rearing techniques. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7): 1649–1654.

Delaney DA, Keller JJ, Caren JR, Tarpy DR, 2011. The physical, insemination, and reproductive quality of honey bee queens (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 42(1): 1–13.

Fang WF, Zhou LX, Zhou Y, Li WG, 1994. Study on replacing wax cup with plastic cup for queen breeding. *Journal of Fujian Agricultural University*, 23(3): 355–357. [方文富，周立巡，周宇，李文刚, 1994. 采用塑料台基取代蜂蜡台基育王的研究. 福建农业大学学报, 23(3): 355–357.]

Jin MJ, Li Z, Liu JH, Hu YJ, Yang C, Zeng ZJ, 2023. Comparative of morphology and physiological biochemical indexes between newly emerged queen and worker of *Apis mellifera*. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 45(5): 1220–1229. [金梦杰，李震，刘建辉，胡俊彦，杨晨，曾志将，2023. 西方蜜蜂羽化出房蜂王与工蜂形态及生理生化指标比较. 江西农业大学学报, 45(5): 1220–1229.]

Kamakura M, 2011. Royalactin induces queen differentiation in honeybees. *Nature*, 473(7348): 478–483.

Liu JF, Yang L, Zeng ZJ, 2017. Advances of queen mandibular pheromone. *Journal of Bee*, 37(7): 6–9. [刘俊峰，杨乐，曾志将，2017. 蜂王上颚腺信息素研究进展. 蜜蜂杂志, 37(7): 6–9.]

Ma C, Ahmat B, Li JK, 2022. Effect of queen cell numbers on royal jelly production and quality. *Current Research in Food Science*, 5: 1818–1825.

Mattiello S, Rizzi R, Cattaneo M, Martino PA, Mortarino M, 2022. Effect of queen cell size on morphometric characteristics of queen honey bees (*Apis mellifera ligustica*). *Italian Journal of Animal Science*, 21(1): 532–538.

Naumann K, Winston ML, Slessor KN, Prestwich GD, Webster FX, 1991. Production and transmission of honey bee queen (*Apis mellifera* L.) mandibular gland pheromone. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29(5): 321–332.

Ren BZ, Ke HQ, Wang YL, 2024. Research progress of chemical communication in social insect, *Apis mellifera*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 46(3): 349–357. [任炳忠，柯浩钦，王寅亮，2024. 社会性昆虫西方蜜蜂化学通讯研究进展. 吉林农业大学学报, 46(3): 349–357.]

Ren Q, Dai RG, Cheng S, Guo J, Cao L, Wang RS, Luo WH, Ji CH, 2012. Study on natural queen-cell and artificial queen-cell in *Apis cerana cerana*. *Apiculture of China*, 63(Z3): 8–10. [任勤，戴荣国，程尚，郭军，曹兰，王瑞生，罗文华，姬聪慧，2012. 中华蜜蜂自然台基及人工台基的研究. 中国蜂业, 63(Z3): 8–10.]

Ruttner F, 1988. Biogeography and Taxonomy of Honeybees. Berlin, New York: Springer-Verlag. 284.

Slater GP, Yocum GD, Bowsher JH, 2020. Diet quantity influences caste determination in honeybees (*Apis mellifera*). *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 287(1927): 20200614.

Su XL, Hua QY, Chen DY, Zhao DX, Luo GH, 2021. Key points for artificial breeding and management of *Apis cerana* in the central region of Zhejiang Province in spring. *Apiculture of China*, 72(2): 26–27. [苏晓玲，华启云，陈道印，赵东绪，罗谷辉，2021. 浙中地区中华蜜蜂春季人工分蜂和饲养管理要点. 中国蜂业, 72(2): 26–27.]

Wang Y, 2015. Effects of nutritional factors and living space on the caste determination of honey bees. Doctor dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [王颖, 2015. 营养和空间因素对蜜蜂级型分化的影响. 博士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]

Wang ZC, 2007. Several abnormal queen cup and handling. *Journal of Bee*, 2007(8): 22. [王正操, 2007. 几种异常王台及其处理. 蜜蜂杂志, 2007(8): 22.]

Wu XB, Zhou LB, Zou CB, Zeng ZJ, 2018. Effects of queen cell size and caging days of mother queen on rearing young honey bee queens *Apis mellifera* L.. *Journal of Apiculture Research*, 62(2): 215–222.

Xie XB, Zhang YP, Zeng ZJ, 2004. Study on queen cup size of nutritional hybridization between *Apis cerana* and *Apis mellifera*. *Beekeeping Technology*, 2004(3): 4–5. [谢宪兵，张燕萍，曾志将, 2004. 中、意蜂营养杂交过程的王台规格研究. 养蜂科技, 2004(3): 4–5.]

Zheng HQ, Dietemann V, Hu FL, Crewe RM, Pirk CWW, 2012. A scientific note on the lack of effect of mandible ablation on the synthesis of royal scent by honeybee queens. *Apidologie*, 43(4): 471–473.

Zhou LB, 2017. Effects of queen cell size, queen caging time and transplanting larval age on queen quality of honeybees (*Apis mellifera*). Master dissertation. Nanchang: Jiangxi Agricultural University. [周林斌, 2017. 王台大小、囚王时间及幼虫日龄对西方蜜蜂蜂王质量的影响. 硕士学位论文. 南昌: 江西农业大学.]