

基于 RFID 技术的西方蜜蜂采集行为研究*

田柳青^{1#} 何旭江^{1,2#} 吴小波¹ 甘海燕¹ 韩旭¹ 刘浩¹ 曾志将^{1**}

(¹江西农业大学蜜蜂研究所, 南昌 330045; ²江西省养蜂研究所, 南昌 330052)

摘要 蜜蜂能够灵活调整出巢觅食行为,从而有效保证蜂群的正常发育与繁衍.为了探索采集蜂的行为特性,本文利用由江西农业大学蜜蜂研究所与广州市远望谷信息技术股份有限公司合作研发的蜜蜂无线射频识别(RFID)系统,对西方蜜蜂进行为期38 d的全天候监控记录.结果表明:两蜂群中分别有63.4%和64.5%的采集蜂存在轮休现象,轮休时间比例为22.5%~26.4%;轮休与非轮休蜜蜂的采集工作总量差异不显著,但轮休蜜蜂寿命显著高于非轮休蜜蜂;提前发育的采集蜂的寿命显著低于正常采集蜂.本研究丰富了蜜蜂社会行为学内容,为进一步探索蜜蜂采集行为的形成机制奠定了基础.

关键词 无线射频识别 采集蜂 轮休 采集工作量 寿命

文章编号 1001-9332(2014)03-0831-05 **中图分类号** S891 **文献标识码** A

Study on foraging behaviors of honeybee *Apis mellifera* based on RFID technology. TIAN Liu-qing¹, HE Xu-jiang^{1,2}, WU Xiao-bo¹, GAN Hai-yan¹, HAN Xu¹, LIU Hao¹, ZENG Zhi-jiang¹ (¹Honeybee Research Institute, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; ²Jiangxi Honeybee Research Institute, Nanchang 330052, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2014, 25(3): 831-835.

Abstract: Honeybee foragers can flexibly adjust their out-hive activities to ensure growth and reproduction of the colony. In order to explore the characteristics of honey bees foraging behaviors, in this study, their flight activities were monitored 24 hours per day for a duration of 38 days, using a radio frequency identification (RFID) system designed and manufactured by the Honeybee Research Institute of Jiangxi Agricultural University in cooperation with the Guangzhou Invengo Information Technology Co., Ltd. Our results indicated that 63.4% and 64.5% of foragers were found rotating more than one day off during the foraging period in two colonies, and 22.5% and 26.4% of the total foraging days were used for rest respectively. Further, although the total foraging time between rotating day-off foragers and continuously working foragers was equal, the former had a significant longer lifespan than the latter. Additionally, the lifespan of the early developed foragers was significantly lower than that of the normally developed foragers. This study enriched the content of foraging behaviors of honey bees, and it could be used as the basis for the further explorations on evolutionary mechanism of foraging behaviors of eusocial insects.

Key words: radio frequency identification (RFID); forager; shift work; foraging time; lifespan.

蜜蜂是一种高级社会性昆虫,具有高度发达的信息交流系统,并且能够资源共享和精细分工.蜜蜂社会行为学特性一直受到蜜蜂研究者的关注^[1-5],一是因为蜜蜂是重要的传粉昆虫,在植物多样性保护和农业生产中发挥着十分重要的作用,二是因为蜜蜂的行为学研究结果往往在社会生物学和行为生态学领域能够产生深远的影响^[6-7].

自然情况下,蜜蜂通过采集行为获得蜂群发育和繁衍所需要的花蜜、花粉及水分等食物来源.研究表明,蜜蜂蜂群中采集蜂的分工十分精细,随着日龄的增加,其采集行为也会发生变化.早期以近距离采集水分与盐分为主,随后主要采集花粉与花蜜,衰老期则几乎不参与花粉的采集工作.蜜蜂还可以自行安排特定时间和地点的行为活动,针对不同环境和时段内蜜粉源植物的开花特性采取相应的采集策略^[8].然而,蜜蜂的社会分工行为及形成机制还不清楚.

* 国家蜂产业技术体系项目(CARS-45-kxj12)资助.

** 通讯作者. E-mail: bees1965@sina.com

共同第一作者.

2013-05-17 收稿,2013-12-07 接受.

研究人员之前采用颜色或者号码标签标记工蜂,观察蜂群巢门口工蜂的采集行为.这些方法要么无法观察每只工蜂的采集行为,要么因标签不清而漏数标记工蜂的数量^[9-10].人们也采用了摄像机监控技术来记录工蜂的采集行为,该方法记录的信息较为全面,但回放观察的工作量大,工作效率不高^[11].

“无线射频识别”技术(radio frequency identification technology, RFID technology)是20世纪90年代开始兴起的一种自动识别新技术,是一项利用射频信号通过空间耦合实现无接触信息传递,达到识别目标的技术.该技术是由计算机、信息采集处理、无线数据传输和网络数据通信等多技术集合而成,目前在工业自动化、物体跟踪、交通运输控制管理、防伪和军事等领域广泛应用^[12-15].德国 Microsensys 公司应用 RFID 技术原理生产了专门用于蜜蜂研究的 RFID 系统,利用这套系统可确定带有电子标签蜜蜂的出入时间与蜜蜂编号等信息^[16].2010年,江西农业大学蜜蜂研究所与广州市远望谷信息技术股份有限公司合作研发了蜜蜂研究 RFID 系统.与德国蜜蜂研究的 RFID 系统相比,我们研制的电子标签更薄、更轻^[17],并应用此系统对工蜂发育和回巢行为进行了研究^[18].本试验利用国内研发的蜜蜂研究 RFID 系统,进行了蜜蜂采集行为的观察与研究,旨在为进一步探索蜜蜂社会分工的形成机制及采集蜂的行为特性提供理论基础.

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试蜜蜂为江西农业大学蜜蜂研究所饲养的西方蜜蜂(*Apis mellifera*)两群(1号群和2号群),两群试验蜂群由4~6张巢脾的工蜂与1只新蜂王组成,并按照标准化养蜂技术进行饲养^[19].

1.2 试验设计

试验于2012年3—5月在江西农业大学蜜蜂研究所进行.试验期间,外界主要蜜源是油菜(*Brassica campestris*)和柑桔(*Citrus reticulata*).两群蜜蜂同时进行试验.从两蜂群分别取出一张即将羽化出房的封盖子脾放入温室恒湿培养箱(34.4℃、80%RH),次日用虫胶将写好24位ID编号的RFID电子标签贴在刚羽化工蜂的背部,每群标记300只.将标记的工蜂(以下提及的蜜蜂均为粘帖电子芯片的蜜蜂)立即放回蜂巢.从1日龄起,使用RFID记录系统(包括电子标签、天线和XCRF-860型阅读器以及专



图1 蜜蜂 RFID 记录系统包括电子标签、天线和阅读器
Fig. 1 Radio frequency identification (RFID) system including electronic chips, antennae and reader.

门设计的分析软件)(图1)同时对两群工蜂的出巢和归巢时间进行为期38d的全天候监控,并记录数据.

1.3 测定项目及方法

蜂巢入口处安装带有两个RFID天线感应器的通道,标记蜜蜂通过时即可记录蜜蜂的ID编码与通过时刻,并按照通过1号与2号天线感应器的顺序确定蜜蜂出巢或归巢.蜜蜂进出巢门的记录由相连电脑上的配套分析软件进行自动存储.

一般情况下,蜜蜂飞行时间超过5min被视为采集飞行^[20].采集蜂工作日是指当日至少有1次采集飞行时间超过5min;而采集蜂休息日是指该日采集蜂全天出现少于5min的采集飞行或未出现任何飞行.当天气恶劣,如雷雨、大雨、中雨,最高气温低于15℃时,外界客观条件造成蜜蜂被迫留在蜂巢内,蜜蜂无采集工作,不做统计计算.将有“工作日”和“休息日”的蜜蜂定义为“轮休蜜蜂”,将只有“工作日”持续工作的蜜蜂定义为“非轮休蜜蜂”.为了区别工蜂的认巢飞行,本试验把12日龄以后、18日龄之前出巢采集的蜜蜂称为“提前发育采集蜂”,把18日龄以后开始出巢采集的蜜蜂称为“正常采集蜂”^[21].根据RFID记录系统对每只标记蜜蜂自动记录的每日出巢和归巢时间,把蜜蜂从羽化至最后一次出巢的天数,作为蜜蜂的寿命.

选取2个参数描述蜜蜂轮休现象:轮休蜜蜂比例=轮休蜜蜂数/轮休蜜蜂和非轮休蜜蜂的总和;轮休时间比例=轮休蜜蜂的休息日总数/工作日和休息日的总和.

选取2个参数评价轮休对蜜蜂的影响:蜜蜂采集工作总量=每只轮休或非轮休蜜蜂进行首次采集飞行后的总工作时间(min);蜜蜂寿命=每只轮休或

非轮休蜜蜂存活的天数.

选取 1 个参数评价提前发育采集对蜜蜂的影响: 蜜蜂寿命 = 每只提前发育或正常采集蜂存活的天数.

1.4 数据处理

轮休与非轮休蜜蜂比例采用 StatView 软件中的 t 检验进行比较分析, 而轮休与非轮休蜜蜂的采集工作总量和寿命、提前发育与正常采集蜂的寿命等数据则采用 StatView 软件“ANOVA 和 t -test”中的“ANOVA 或 ANCOVA”进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 蜂群的轮休现象

两试验蜂群的轮休蜜蜂和非轮休蜜蜂比例均差异显著 ($P < 0.05$), 1 和 2 号群的轮休蜜蜂比例分别为 63.4% 和 64.5% (图 2). 两群轮休时间比例分别为 22.5% 和 26.4% (表 1), 说明蜂群内存在轮休现象.

2.2 轮休对蜜蜂工作量和寿命的影响

从图 3 可以看出, 两蜂群轮休蜜蜂与非轮休蜜蜂的采集工作总量并无显著差异, 但轮休蜜蜂的平

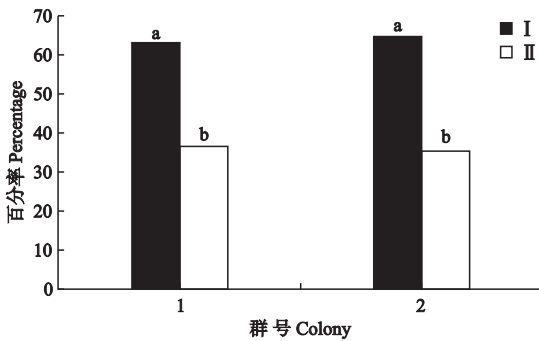


图 2 轮休和非轮休蜜蜂的比例

Fig. 2 Rate of rotating day-off honeybees and continuously working honeybees.

I: 轮休蜜蜂 Rotating day-off honeybees; II: 非轮休蜜蜂 Continuously working honeybees. 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters above bars indicate significant difference at the 0.05 level. 下同 The same below.

表 1 蜂群轮休时间比例

Table 1 Rate of rotating day-off time in colonies

群号 Colony	统计数 Statistical numbers	工作日总和 Total workdays (d)	休息日总和 Total day-offs (d)	轮休时间比例 Rate of rotating day-off time (%)
1	131	723	210	22.5
2	228	1240	445	26.4

工作日总和是指蜂群中所有标记蜜蜂的工作日的具体数量之和, 休息日总和同上 Total workdays meant the total number of workdays of all marked honeybees in each colony, and the total day-off was the same as above.

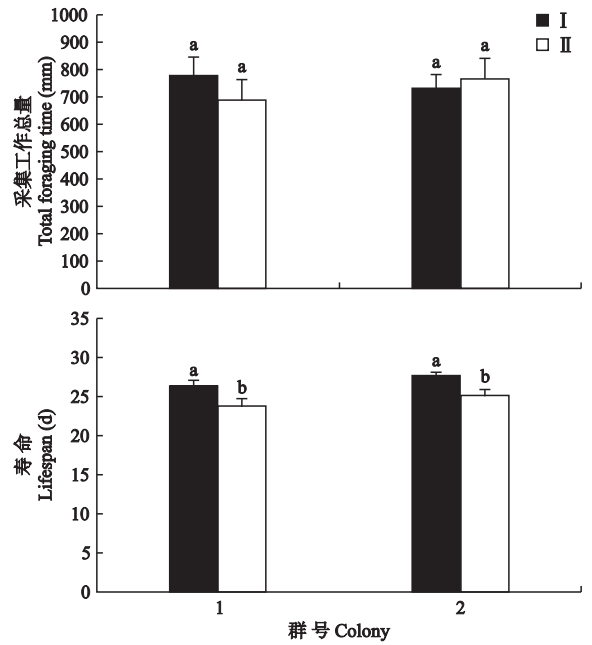


图 3 轮休与非轮休蜜蜂的采集工作总量和寿命比较

Fig. 3 Comparison of total foraging time and lifespan between rotating day-off honeybees and continuously working honeybees.

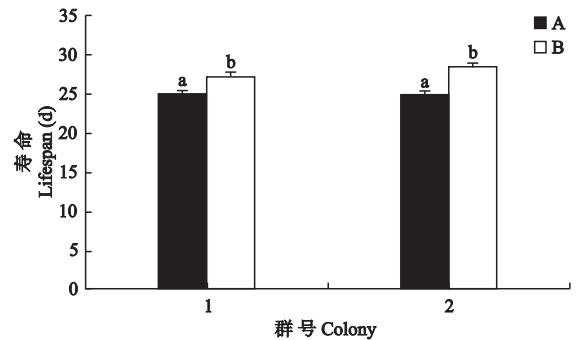


图 4 提前发育采集蜂(A)与正常采集蜂(B)的寿命比较

Fig. 4 Comparison of lifespan between pre-foragers (A) and foragers (B).

均寿命显著高于非轮休蜜蜂. 说明蜜蜂轮休制度可以在保证工作效率不发生变化的前提下, 能合理地降低蜜蜂的工作强度和外出觅食的风险性, 从而显著提高蜜蜂寿命.

2.3 提前发育采集对蜜蜂寿命的影响

从图 4 可以看出, 提前发育的采集蜂寿命显著低于正常采集蜂, 说明提前发育的采集蜂以缩短寿命来弥补短时间内整个蜂群采集工作量的不足.

3 讨论

本研究利用蜜蜂 RFID 记录系统对西方蜜蜂工蜂进行全天候监控, 发现在自然状态下, 蜂群内超过 60% 的采集蜂存在轮休现象. 这与前人通过人工定

时、定点饲喂训练蜜蜂,蜜蜂根据训练中饲喂的时间变化精确调整其采集时间的研究结果一致^[8].这说明工蜂可自行调整工作和休息的时间,其采集分工也如人类一样存在着轮休制度^[22-23].这一发现丰富了蜜蜂社会分工的内容,表明蜜蜂的社会分工远比目前人们所知的分工机制更为精细.

蜜蜂的轮休制度对整个蜂群与蜜蜂个体均具有重要意义.研究表明,蜜蜂可以通过调节休息时间分布来减少新陈代谢和限制其能量消耗,以此来增加工作效率^[24-25].轮休机制可帮助整个蜂群更合理地分配工作时间,从而改善整个蜂群的工作效率.对于蜜蜂个体而言,采集行为是最为危险的工作,具有高风险(如天敌、微生物入侵与恶劣气候影响)与高耗能特性^[26].在采集期间进行有效的轮休,既可以降低劳动强度,又对采集蜂的生命健康起到了保障作用,自然延长了采集蜂的平均寿命.这也与本试验发现的轮休蜂寿命比非轮休蜂更长相一致.

试验还发现,部分轮休采集蜂在休息日也会出现数十次1~3 min的进出巢门的行为,轮休的采集蜂很可能在轮休日承担了巢门守卫工作,这与前人提出的守卫蜂为青壮年工蜂的结论相一致^[27].这说明轮休机制不仅能有效地延长采集蜂的寿命,还可缓解蜂群内部分工作压力,进而更加有利于群势的发展.总之,蜜蜂轮休现象的存在有力地说明了蜜蜂具有有效而复杂的社会分工与管理机制,尽管其内在的调控机理还不清楚.

蜜蜂的行为具有很高的可塑性,在外界蜜源或群内环境发生变化时,工蜂会自行调节提前发育或推后发育为采集蜂^[28-29].本试验过程中也发现,同一群内的同日龄工蜂中存在部分工蜂提前发育成采集蜂的现象,外界环境与群内需要很可能影响采集蜂发育所需的时间.此外,本研究首次发现,提前发育的采集蜂寿命显著低于正常蜂.这可能是由于提前发育的工蜂发育时间过短,其身体机能存在着某些缺陷和不足,造成了机体的过早衰亡.相关具体机理还有待于进一步研究.

参考文献

- [1] Yu L-S (余林生), Meng X-J (孟祥金), Wu C-W (吴承武). Behavior ecological study on copulation and oviposition of *Apis cerana cerana* Fab. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(11): 1951-1954 (in Chinese)
- [2] An J-D (安建东), Wu J (吴杰), Peng W-J (彭文君), et al. Foraging behavior and pollination ecology of *Bombus lucorum* L. and *Apis mellifera* L. in greenhouse peach garden. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(5): 1071-1076 (in Chinese)
- [3] Zhang H (张含), Zeng Z-J (曾志将), Yan W-Y (颜伟玉), et al. Effects of three aliphatic esters of brood pheromone on development and foraging behavior of *Apis cerana cerana* workers. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2010, **53**(1): 55-60 (in Chinese)
- [4] Page RE Jr, Rueppell O, Amdam GV. Genetics of reproduction and regulation of honeybee (*Apis mellifera* L.) social behavior. *Annual Review of Genetics*, 2012, **46**: 97-119
- [5] Zayed A, Robinson GE. Understanding the relationship between brain gene expression and social behavior: Lessons from the honey bee. *Annual Review of Genetics*, 2012, **46**: 591-615
- [6] Yu L-S (余林生), Han S-M (韩胜明). Effect of habitat and interspecific competition on *Apis cerana cerana* colony distribution. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(4): 553-556 (in Chinese)
- [7] Liu Y-J (刘宇佳), Zhao T-R (赵天瑞), Zhao F-Y (赵风云). *Melissopalynology* and trophic niche of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* in Yunnan Province of Southwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(1): 205-210 (in Chinese)
- [8] Zhang SW, Schwarz S, Pahl M, et al. Honeybee memory: A honeybee knows what to do and when. *Journal of Experimental Biology*, 2006, **209**: 4420-4428
- [9] Page RE Jr, Gary NE. Genotypic variation in susceptibility of honey bees (*Apis mellifera*) to infestation by tracheal mites (*Acarapis woodi*). *Experimental & Applied Acarology*, 1990, **8**: 275-283
- [10] Pankiw T. Directional change in a suite of foraging behaviors in tropical and temperate evolved honey bees. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2003, **54**: 458-464
- [11] Veeraraghavan A, Chellappa R, Srinivasan M. Shape and behavior encoded tracking of bee dances. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, **30**: 463-76
- [12] Wang Y-F (王运峰). The application of RFID technology at engine assemble line. *Equipment Manufacturing Technology* (装备制造技术), 2010(5): 68-69 (in Chinese)
- [13] Huang X-C (黄学成), He Y-B (何远标). The application of RFID technology in logistics management. *China High-Tech Enterprises* (中国高新技术企业), 2010(18): 105-106 (in Chinese)
- [14] Liu D-F (刘德峰). The application of RFID technology for gas safety management. *Technology and Life* (科技与生活), 2010(5): 86 (in Chinese)
- [15] Liang Z-J (梁志君), Zhao J (赵鉴). Research on torpedo maintenance and support information system with RFID. *Modern Electronics Technique* (现代电子技术), 2010(9): 25-28 (in Chinese)
- [16] Sreit S, Boek F, Pirk CW, et al. Automatic life-long

- monitoring of individual insect behaviour now possible. *Zoology*, 2003, **106**: 169-171
- [17] He X-J (何旭江), Zeng Z-J (曾志将), Wang W-X (王文祥), *et al.* The application potential of RFID technology in honeybees. *Apiculture of China* (中国蜂业), 2010, **61**(11): 19-21 (in Chinese)
- [18] He XJ, Wang WX, Qin QH, *et al.* Assessment of flight activity and homing ability in Asian and European honey bee species, *Apis cerana* and *Apis mellifera*, measured with radio frequency tags. *Apidologie*, 2013, **44**: 38-51
- [19] Ben-Shahar Y, Robinson GE. Satiation differentially affects performance in a learning assay by nurse and forager honey honeybee. *Journal of Comparative Physiology A*, 2001, **187**: 891-899
- [20] Calderone NW, Page RE Jr. Genotypic variability in age polyethism and task specialization in the honey bee, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1988, **22**: 17-25
- [21] Moore D, Angel JE, Cheeseman IM, *et al.* Time keeping in the honey bee colony: Integration of circadian rhythms and division of labor. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1998, **43**: 147-160
- [22] Moore D, Siegfried D, Wilson R, *et al.* The influence of time of day on the foraging behavior of the honeybee *Apis mellifera*. *Journal of Biological Rhythms*, 1989, **4**: 305-325
- [23] Klein BA, Seeley TD. Work or sleep? Honeybee foragers opportunistically nap during the day when forage is not available. *Animal Behaviour*, 2011, **82**: 77-83
- [24] Stabentheiner I, Vollmann J, Kovac H, *et al.* Oxygen consumption and body temperature of active and resting honeybees. *Journal of Insect Physiology*, 2003, **49**: 881-889
- [25] Siegel JM. Sleep viewed as a state of adaptive inactivity. *Nature Reviews Neuroscience*, 2009, **10**: 747-753
- [26] Lindauer M. A contribution to the question of the division of labor in bees states. *Journal of Comparative Physiology*, 1952, **34**: 299-345
- [27] Huang ZY, Robinson GE, Borst DW. Physiological correlates of division of labor among similarly aged honey bees. *Journal of Comparative Physiology A*, 1994, **174**: 731-739
- [28] Robinson GE. Regulation of division of labor in insect societies. *Annual Review of Entomology*, 1992, **37**: 637-665
- [29] Guan C (管 翠), Liu T-T (刘亭亭), Yan W-Y (颜伟玉), *et al.* 2011. Advances of honeybee lifespan plasticity. *Chinese Journal of Applied Entomology* (应用昆虫学报), 2011, **48**(4): 1071-1076 (in Chinese)

作者简介 田柳青,男,1987年生,硕士研究生. 主要从事生物学研究工作,发表论文3篇. E-mail: 525938345@qq.com; 何旭江,男,1985年生,博士研究生. 主要从事生物学研究工作,发表论文6篇. E-mail: hexujiang3@163.com

责任编辑 肖 红
