环境昆虫学报 2022，44（6）：1452－1457
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 06. 14

李磊，邢增华，韩冬银，张方平，梁昌寿，符悦冠．红火蚁工蚁对颜色信号的选择与利用［J］．环境昆虫学报，2022，44（6）：1452－1457.

# 红火蚁工蚁对颜色信号的选择与利用

李 磊[1]，邢增华[2]，韩冬银[1]，张方平[1]，梁昌寿[1]，符悦冠[1*]
（1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室，海口 571101；
2. 山西农业大学植物保护学院，山西晋中 030801）

**摘要**：为探明红火蚁 *Solenopsis invicta* 工蚁对颜色信号的选择与利用，本研究测定了不同颜色色卡对工蚁的趋向行为以及不同颜色饵料对工蚁觅食行为的影响，以期为红火蚁的高效监测与防控提供重要基础。结果表明颜色显著影响了红火蚁工蚁的趋向行为，黑色对工蚁的引诱率最高，可达 32%；黄色对工蚁的引诱率最低，仅为 7%。研究也发现不同颜色的饵料显著影响了红火蚁工蚁的觅食。在 5 min 时间内，工蚁在黄色、绿色以及蓝色饵料上觅食的数量最多，显著高于在紫色和黑色上饵料的觅食工蚁数；工蚁对红色、橙色、黄色、绿色、蓝色饵料的搬运量最大，显著高于紫色与黑色的饵料。综上，红火蚁工蚁可以识别与利用颜色信号，在制备红火蚁监测与防控饵剂时，可以考虑将饵剂染色红、橙、黄、绿、蓝等反射波长较长的颜色，以便工蚁能快速定位到饵剂并搬运更多的饵剂到蚁巢中。

**关键词**：红火蚁；颜色信号；选择行为；觅食行为
**中图分类号**：Q968. 1；S433 **文献标识码**：A **文章编号**：1674－0858（2022）06－1452－06

## Selective behavior and utilization of *Solenopsis invicta* workers to chromatic cues

LI Lei[1]，XING Zeng-Hua[2]，HAN Dong-Yin[1]，ZHANG Fang-Ping[1]，LIANG Chang-Shou[1]，FU Yue-Guan[1*]（1. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops，Ministry of Agricultural and Rural Affairs，Environment and Plant Protection Institute，Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences，Haikou 571101，China；2. College of Plant Protection，Shanxi Agricultural University，Jinzhong 030801，Shanxi Province，China）

**Abstract**：To explore the selective behavior and utilization of *Solenopsis invicta* workers to chromatic cues，the effect of different color cards on the tendency behavior and different color baits on the foraging behavior of worker ants were examined to provide an important basis for the effective monitoring and control of *S. invicta*. The results showed that color significantly affected the tendency behavior of *S. invicta* workers. The black card had the highest attraction rate to the workers，which was up to 32%. The yellow card showed the lowest attraction rate，which was 7%. The results also indicated that different color baits obviously influenced the foraging behavior of workers. Within 5 min，more worker ants foraged on the yellow，green and blue baits，which was significantly more than that on purple and black baits. The weight of red，orange，yellow，green and blue baits transported by the worker ants was obviously more than that of purple and black baits. In conclusion，*S. invicta* workers can discriminate and utilize the chromatic cues. In the preparation of monitoring and control baits，the baits can be dyed with the

基金项目：国家重点研发计划（2021YFD1000500）；农业部财政项目（1630042020020）；海南省重大科技计划（ZDKJ202002）
作者简介：李磊，男，1985 年生，湖北十堰人，博士，副研究员，研究方向有害生物综合治理，E－mail：lee_lay@163. com
* 通讯作者 Author of correspondence：符悦冠，男，博士，研究员，研究方向为有害生物综合治理，E－mail：fygcatas@163. com
收稿日期 Received：2022－10－08；接受日期 Accepted：2022－10－25

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

color had long reflective wavelength such as red, orange, yellow, green and blue, so that the workers can quickly locate the baits and transport more baits to their nests.

**Key words**: *Solenopsis invicta*; chromatic cue; selective behavior; foraging behavior

蚂蚁是一类重要的社会性昆虫，具有复杂的嗅觉与视觉感受系统。一般认为蚂蚁的嗅觉在其大多行为中占据主导地位，但许多研究表明其视觉感受在很多行为活动中也发挥着重要作用(Aksoy and Camlitepe, 2018)。如蚂蚁可以利用反射光的颜色定位资源或特定的位点，很多蚂蚁可识别颜色，并根据外界的光照强弱改变对颜色的偏好(Yanoviak and Dudley, 2006; Camlitepe and Aksoy, 2010; Yilmaz and Spaethe, 2022)。研究发现蚂蚁对颜色的偏好有的是先天性的，也有后期经历或学习形成的记忆(Riabinina *et al.*, 2011; Yilmaz *et al.*, 2017)，但无论是先天还是后天形成的偏好，对其在自然界的行为活动大多是有利的。

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是国际上最具危险性的入侵物种之一，起源于南美洲，现已扩散蔓延至中美洲、北美洲、澳洲以及亚洲等的 24 个国家和地区，对农林生产、生态安全、社会安全造成了巨大影响与威胁(Wang *et al.*, 2019)。我国于 2003 年首次在台湾报导，随后于 2004 年 9 月在广东被发现，现在扩散至 12 个省 534 个市县，且仍处于快速扩张蔓延的阶段(陆永跃等，2019)。针对红火蚁的防控，化学防治仍是主要手段，其中饵剂的应用最为广泛有效。截至 2022 年 1 月 1 日，国内登记在册并在有效期的红火蚁饵剂就有 49 种，占所有红火蚁登记农药的 81.7%(陈雪等，2022)。利用饵剂防控红火蚁主要通过工蚁将毒饵运输回蚁巢，经幼蚁消化交哺散布到整个蚁群，进而杀死整个蚁群。因此，饵剂是否对工蚁具有强引诱力是一个饵剂成功的先决条件。当前，饵剂的研究重点关注在引诱物与毒剂的选择，饵剂的颜色是否会影响红火蚁工蚁的觅食并不明确。基于此，本文研究了红火蚁工蚁对不同颜色的趋向行为，并研究了不同颜色饵料对工蚁觅食行为的影响，以期为红火蚁饵剂的研发及高效监测与防控提供重要基础。

## 1　材料和方法

### 1.1　供试材料与试验地

#### 1.1.1　供试虫源

红火蚁采集于儋州市宝岛新村。蚁巢从田间采回静止一晚后，使用水滴分离法获得红火蚁蚁群(Chen, 2007)。蚁群饲养于中国热带农科院环境与植物保护研究所养虫室内，室内温度为 26 ± 2℃、相对湿度为 60% ± 5%，期间使用黄粉虫幼虫、纯水以及 10% 蔗糖水饲喂。

#### 1.1.2　供试色卡、色素与饵料

根据国家照明委员会(CIE)划分的颜色标准及对应的虚拟波长，选择红(640 nm)、橙(600 nm)、黄(580 nm)、绿(520 nm)、蓝(440 nm)和紫(420 nm)6 种颜色，应用 Dan Bruton 的虚拟波长与 RGB 值的函数关系(Bruton, 1996)，以把相应的波长转化为 RGB 值，分别为(255, 3, 0)、(255, 190, 0)、(255, 255, 0)、(54, 255, 0)、(0, 0, 255)、(106, 0, 255)。利用 Photoshop 软件将 RGB 值转换为 Lab 值，最后转换为 CMYK 值用打印机打印出对应的色卡，虚拟波长与不同色彩模式的转换值见表 1。

**表 1　颜色清单及不同色彩模式参数**

**Table 1　List of colors and their parameters of different color model**

| 虚拟波长(nm) Virtual wavelengths | 颜色 Color | RGB 值 RGB values | Lab 值 Lab values | CMYK 值(%) CMYK values |
|---|---|---|---|---|
| 420 | 紫色 Purple | 106, 0, 255 | 37, 73, −100 | 80, 79, 0, 0 |
| 440 | 蓝色 Blue | 0, 0, 255 | 30, 68, −112 | 92, 75, 0, 0 |
| 520 | 绿色 Green | 54, 255, 0 | 88, −76, 82 | 59, 0, 100, 0 |
| – | 黑色 Black | 0, 0, 0 | 0, 0, 0 | 93, 88, 89, 80 |
| 580 | 黄色 Yellow | 255, 255, 0 | 98, −16, 93 | 10, 0, 83, 0 |
| 600 | 橙色 Orange | 255, 190, 0 | 81, 15, 83 | 3, 33, 90, 0 |
| 640 | 红色 Red | 255, 33, 0 | 55, 78, 70 | 0, 93, 95, 0 |

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

供试色素为油溶性色素，粉末状，由泛亚(武汉) 食品科技有限公司生产，包括红色、橙色、黄色、绿色、蓝色、紫色和黑色 7 种颜色；供试不同颜色饵料由上述色素与广东省罗定市永安化工有限公司生产的 0.08% 茚虫威饵剂混合而成，色素与饵料的质量比约为 1∶33。

**1.1.3** 供试装置

供试六面体测试室由黑色 KT 板制作，测试室高 15 cm，每个侧面的长宽均为 15 cm，内部由黑色 KT 板（高 15 cm，宽 10 cm）隔离成 6 个的单独小室，制作方法参照薛皇娃和吴伟坚（2013）；供试 Y 型嗅觉仪由 Y 管、味源瓶、流量计、空气湿润装置、空气过滤装置和气泵组成（Yang *et al.*，2022），其中两侧臂长 10 cm，内径 1.5 cm，夹角为 75°，直臂长 10 cm，内径 1.5 cm。

### 1.2 试验方法

**1.2.1** 红火蚁工蚁对不同颜色的趋向行为

红火蚁对不同颜色的趋向行为在六面体测试室进行。将 6 种色板随机插入 6 个活动小室的外侧面与底部，每个活动小室一种颜色。将测试室放置在温度为 26 ± 1℃、相对湿度为 60% ± 5% 的条件下，测试室正上方 30 cm 悬挂一盏 100 w 的冷光源节能灯。挑取大小一致的工蚁 200 头置于装置正中心黑色区域中，15 min 后统计每个活动小室与继续停留在黑色区域中红火蚁的数量，以继续停留在黑色区域的工蚁作为其对黑色色卡的选择反应（对照），重复 15 次。

**1.2.2** 红火蚁工蚁对不同颜色色素的选择行为

采用 Y 型嗅觉仪测定红火蚁对不同颜色色素的趋向行为，测试在暗光环境下进行。将 7 种颜色的色素两两组合分成 20 个组，每组每种颜色的色素各 1 g，将测试的色素分别放置在嗅觉仪两侧的味源瓶中。挑取大小一致的红火蚁工蚁 200 头分 10 批置于 10 个 1.5 mL 离心管中，每批每管 20 头，然后依此将离心管口包裹脱脂棉并插入 Y 管主臂入口任其自由选择，当工蚁爬向 Y 管任意一侧臂三分之二处时记录该工蚁做出反应。每批测试完成后用无水乙醇清洗 Y 管，并在烘箱烘干后再进行下一批试验。每组重复 10 次，反应时间为 5 min。

**1.2.3** 不同颜色饵料对红火蚁工蚁觅食行为的影响

试验在海南省澄迈县村内村撂荒地(19.712122°N，110.143815°E) 进行，试验地平整，红火蚁活动蚁巢密度为 44.5 个/667 $m^2$。试验在上午 9∶00 – 11∶00 进行，晴天无风，期间地面温度 26 ~ 28℃。称取不同颜色的饵料各 10 g 平铺在直径 6 cm 的培养皿中，选择蚁丘直径为 35 cm 以上的活动蚁巢，将 7 个装有不同颜色饵料的培养皿随机环形平铺在蚁巢周边，每个培养皿距离蚁丘 20 cm，重复 20 次。5 min 后统计培养中红火蚁的数量，30 min 后回收培养皿，并称量培养皿中剩余饵料的重量。

### 1.3 统计分析

红火蚁工蚁对不同颜色选择率为不同颜色区域工蚁的数量占测试工蚁的总数，数据采用单因素方差分析（One-way ANOVA）与 Tukey HSD 法进行检验数据间的差异性，工蚁对不同颜色色素的选择行为采用广义线性模型中二元 Logistic 模型对数据进行检验，不同颜色饵料对工蚁觅食行为的数据采用非参数检验的相关样本分析结合 Friedman 检验，当 $P < 0.05$ 认定数据间有显著差异。本研究中的数据均采用 SPSS 20 分析，所有图表采用 Origin 9.0 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 红火蚁工蚁对不同颜色的趋向行为

颜色显著影响了红火蚁工蚁的趋向行为(图 1)。不同颜色色卡对工蚁的引诱率不同，其

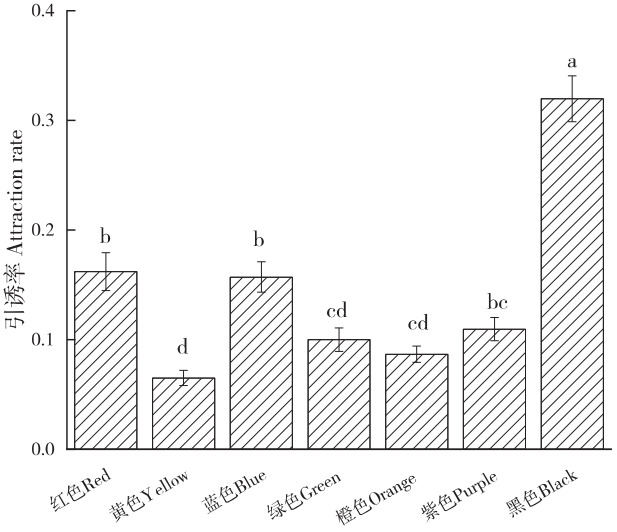


图 1 不同颜色色卡对红火蚁的引诱率

Fig. 1 Attaction rates of different colored cards to *Solenopsis invicta* workers

注：不同字母代表数据间有显著性差异。Note: Different letters indicated significant differences in the data.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中以黑色对工蚁的引诱率最高，平均达 32%；其次为红色、蓝色、紫色；黄色对工蚁的引诱率最低，仅为 7%。

### 2.2　红火蚁工蚁对不同颜色色素的选择行为

红火蚁工蚁对任意两组供试色素的选择数量并无显著差异，这说明 7 种色素并未影响工蚁的选择行为（图 2）。

### 2.3　不同颜色饵料对红火蚁工蚁觅食行为的影响

不同颜色的饵料显著影响了红火蚁工蚁的觅食（图 3）。在 5 min 中时间内，工蚁在黄色、绿色以及蓝色饵料上觅食的数量最多，显著高于在紫色和黑色上饵料的觅食工蚁数，但与在红色、橙色上觅食的工蚁数无显著性差异。研究也发现工蚁在黄色饵料中的平均觅食数量最多。

颜色显著影响了红火蚁工蚁对饵料的搬运（图 4）。工蚁对红色、橙色、黄色、绿色、蓝色饵料的搬运量最大，显著高于紫色与黑色的饵料。研究也发现工蚁对红色、橙色、黄色、绿色与蓝色饵料的平均搬运量最大。

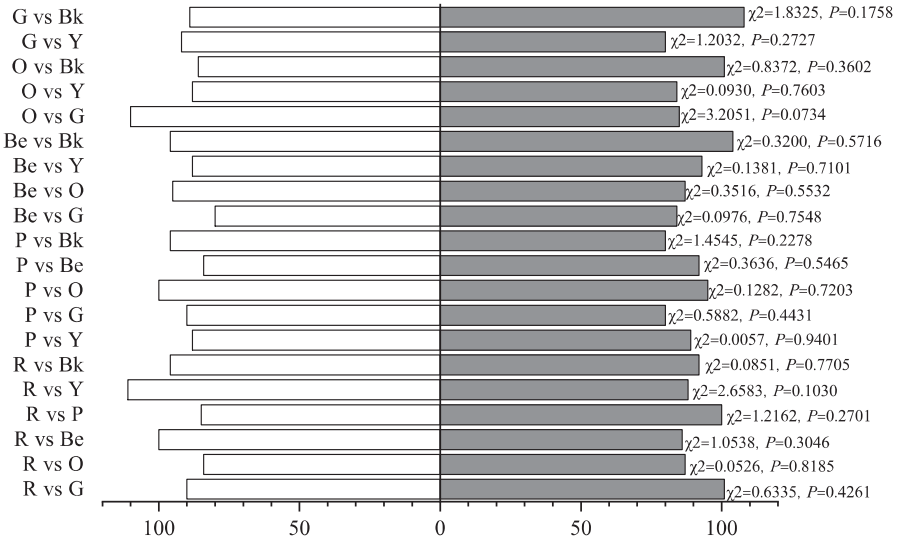


图 2　红火蚁工蚁对不同颜色色素的选择行为

Fig. 2　Selective behavior of *Solenopsis invicta* workers to different coloring matters

注：R、O、Y、G、Be、P、Bk 分别代表红色、橙色、黄色、绿色、蓝色、紫色以及黑色的色素。Note: R、O、Y、G、Be、P、Bk represented red, orange, yellow, green, blue, purple and black coloring matters, repsectively.

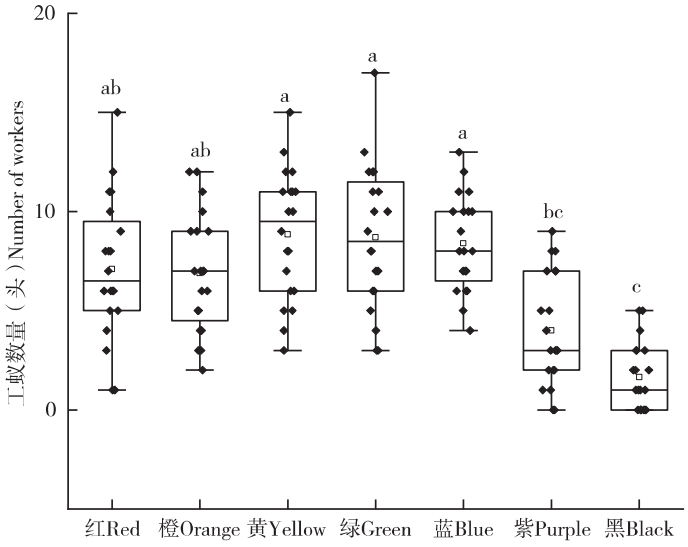


图 3　5 min 时间内不同颜色饵料上红火蚁工蚁数量

Fig. 3　Number of *Solenopsis invicta* workers in different color baits in 5 min

注：不同字母代表数据间有显著性差异。下图同。Note: Different letters indicated significant differences in the data. Same below.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

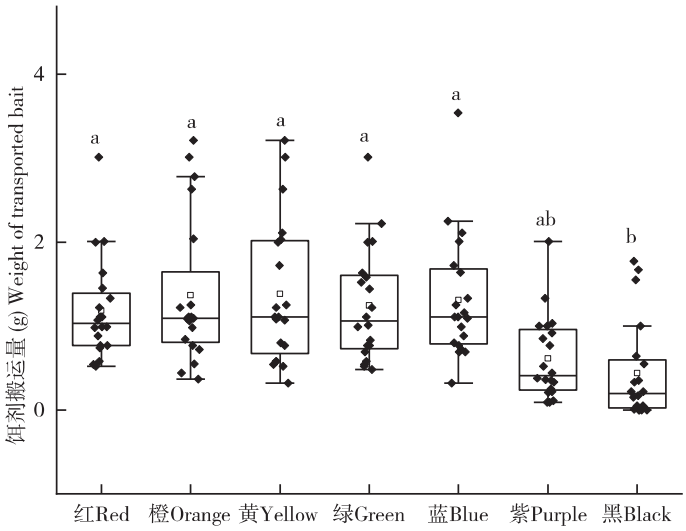


图 4 红火蚁工蚁对不同颜色饵料搬运量

Fig. 4 Weight of different color baits transported by *Solenopsis invicta* workers

## 3 结论与讨论

昆虫对不同颜色的偏好主要是基于其对不同波长的选择。由于虚拟波长无法直接打印，故需要转换将颜色呈现。RGB 色彩模式是由红、绿、蓝 3 个颜色通道叠加得到各种颜色，主要应用在电子显示系统中。CMYK 色彩模式是印刷采用的一种套色模式，由青、洋红、黄、黑 4 种色彩组成的减色模式。RGB 模式如直接以 CMYK 的模式直接打印出来，会导致打印出的颜色失去部分亮度。Lab 色彩模式是一种近似人视觉中的颜色，不因电脑和打印机的改变而改变，且其包含所有 RGB 和 CMYK 的色域。本研究基于 Bruton 的波长与 RGB 值近似转换理论将虚拟波长转换成 RGB 值，再转换对应的 Lab 值，最后通过 CMYK 模式打印出来，因此可以将转换的 RGB 颜色精准地印刷在纸上。有研究发现，经转换打印出来的色卡的反射波长经光谱仪测试可能会与转换前的虚拟波长不能一一对应，但在 CIE 规定的波长与颜色对应的范围内（Li *et al.*，2017）。

Carbaugh *et al.*（2020）测试了红火蚁工蚁在蓝色、绿色、黄色、橙色和红色玻璃沙中的挖掘行为，发现工蚁能区分不同颜色，其对多种颜色均具有偏好性，其中表现出对波长较长的颜色更偏爱。如工蚁对绿色、红色、橙色玻璃沙的挖掘显著高于蓝色，但对前三者玻璃沙的偏好无显著性差异。而本研究发现，红火蚁工蚁更偏好黑色的色卡，其次为红色、蓝色、紫色，造成这种差异的原因一方面可能是由于将红火蚁曝露在不同环境下以及自身行为引起的，当红火蚁曝露在光照并提供不同颜色色卡时，其需要寻找暗环境进行躲避，由于黑色基本不反光，蓝色与紫色的反光能力较弱，所以其更偏好停留在这些区域中。一般来说，昆虫对于长波长的红光敏感度不高，但本研究中发现红火蚁工蚁也偏好停留在红色区域内，这与 *S. saevissima*、*Formica cunicularia*、*Cataglyphis aenescens* 等多种蚂蚁对红光波长敏感的测试研究相似（Camlitepe and Aksoy，2010；Aksoy and Camlitepe，2012；Aksoy and Camlitepe，2018），具体原因需要进一步探究；另一方面，Carbaugh *et al.*（2020）的研究中并未选取黑色的玻璃沙，这也可能导致观察结果与本研究的有一定的差异。此外，本研究发现，在觅食行为过程中，红火蚁工蚁在红、橙、黄、绿、蓝 5 种颜色的饵料上数量更多，搬运的数量也比紫色和黑色多，这说明工蚁可以利用饵料的表面颜色（即反射波长）来快速定位食物，且表现出对反射波长长的食物的偏好性。这与直接测试红火蚁对颜色的结果相反，这说明红火蚁对颜色信号的选择与利用会受环境与自身需求的影响。

综上，红火蚁工蚁可以识别与利用颜色信号，在单独提供色卡时，红火蚁偏好选择黑色，而在颜色与饵料混合后，其更偏好选择红、橙、黄、绿、蓝 5 种颜色的饵料。因此，在制备红火蚁监测与防控饵剂时，可以考虑将饵剂染色红、橙、

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

黄、绿、蓝等颜色，以便工蚁能快速定位到饵剂并搬运更多的饵剂到蚁巢中。

## 参考文献（References）


Aksoy V, Camlitepe Y. Behavioural analysis of chromatic and achromatic vision in the ant *Formica cunicularia* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Vision Research*, 2012, 67: 28 – 36.

Aksoy V, Camlitepe Y. Spectral sensitivities of ants – a review [J]. *Animal Biology*, 2018, 68 (1): 55 – 73.

Bruton D. Approximate RGB values for visible wavelengths [EB/OL]. (1996 – 2 – 20) [2022 – 11 – 12]. http: //www. physics. sfasu. edu/astro/color/spectra. html

Camlitepe Y, Aksoy V. First evidence of fine colour discrimination ability in ants (Hymenoptera, Formicidae) [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2010, 213 (1): 72 – 77.

Carbaugh JR, Renthal RD, Vinson SB, *et al.* Color discrimination and preference in the fire ant *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Insectes Sociaux*, 2020, 67 (1): 167 – 178.

Chen J. Advancement on techniques for the separation and maintenance of the red imported fire ant colonies [J]. *Insect Science*, 2007, 14 (1): 1 – 4.

Chen X, Chen RR, Jiang P, *et al.* Comparative study on the current registration status of pesticides on the red imported fire ants (*Solenopsis invicta* Buren) in China, the United States of America, and Australis [J]. *Chinses Plant Protection*, 2022, 42 (5): 79 – 85. [陈雪，陈冉冉，姜培，等. 中国和美国、澳大利亚红火蚁农药登记现状对比研究 [J]. 中国植保导刊，2022，42 (5): 79 – 85]

Li L, Ma HB, Niu LM, *et al.* Evaluation of chromatic cues for trapping *Bactrocera tau* [J]. *Pest Management Science*, 2017, 73 (1): 217 – 222.

Lu YY, Zeng L, Xu YJ, *et al.* Research progress of invasion biology and management of red imported fire ant [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2019, 40 (5): 149 – 160. [陆永跃，曾玲，许益镌，等. 外来物种红火蚁入侵生物学与防控研究进展 [J]. 华南农业大学学报，2019，40 (5): 149 – 160]

Riabinina, de Ibarra NH, Howard L, *et al.* Do wood ants learn sequences of visual stimuli? [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2011, 214 (16): 2739 – 2748.

Wang L, Xu YJ, Zeng L, *et al.* Impact of the red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren on biodiversity in South China: A review [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18 (4): 788 – 796.

Xue HW, Wu WJ. Preferences of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) to different colors: A quantitative investigation using virtual wavelength [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (2): 161 – 166. [薛皇娃，吴伟坚. 瓜实蝇对虚拟波长下不同颜色的趋性 [J]. 昆虫学报，2013，56 (2): 161 – 166]

Yang FX, Zhang GQ, Liu JL, *et al.* Sublethal exposure to cadmium induces chemosensory dysfunction in fire Ants [J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56 (17): 12440 – 12451.

Yanoviak SP, Dudley R. The role of visual cues in directed aerial descent of *Cephalotes atratus* workers (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2006, 209 (9): 1777 – 1783.

Yilmaz A, Dyer AG, Roessler W, *et al.* Innate colour preference, individual learning and memory retention in the ant *Camponotus blandus* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2017, 220 (18): 3315 – 3326.

Yilmaz A, Spaethe J. Colour vision in ants (Formicidae, Hymenoptera) [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences*, 2022, 377: 1862.


(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net