

华南地区典型生境中红火蚁觅食行为及工蚁召集规律

许益鏊 ,陆永跃 ,曾 玲* ,梁广文

(华南农业大学红火蚁研究中心/昆虫生态研究室 ,广州 510642)

摘要 观察研究了华南地区几种典型生境中红火蚁对不同类型食物的觅食行为和工蚁召集动态规律。研究结果表明红火蚁觅食行为存在搜寻、召集及搬运等主要过程。不同生境中红火蚁对食物的搜寻时间存在一定差异 ,荔枝园中搜寻时间明显长于其它生境 ,荔枝园、荒地、路边生境中红火蚁对蜂蜜的搜寻时间明显长于其它几种食物 ,同一生境中红火蚁对不同重量的同种食物搜寻时间无明显变化。发现食物后召集的工蚁数量随着时间延长呈现不断增加的趋势 ,对于较大的食物一般 30min 左右召集的工蚁数量达到最大 ,之后趋于稳定并逐渐减少 ,而对于可以直接搬动的食物发现后 15min 左右群体召集数量达到最大并很快将其搬走。召集工蚁数量与发现后时间的关系符合二次非线性方程 ,建立了火腿肠、花生油和蜂蜜等食物上红火蚁工蚁召集数量与发现时间的关系模型 ,分别为 $Na = 4183.91e^{-0.0327T} - 4231.48e^{-0.0346T}$, $Na = 3253.78e^{-0.0233T} - 3314.59e^{-0.0271T}$, $Na = 117.97e^{-0.0131T} - 163.93e^{-0.0808T}$ 。对于不同食物红火蚁发现后召集的最大工蚁数量间有明显差异 ,其中花生油上最大 ,平均为 176.3 头 ,火腿肠上次之 ,为 90.4 头 ,蜂蜜上最少 ,为 68.0 头。对于不同重量的同种食物 ,工蚁的召集动态规律较为一致 ,发现食物后 25 ~ 30min 左右工蚁的召集数量均达到最大值 ,之后缓慢减少 ,发现食物后时间长度和食物上工蚁数量也符合房室模型函数 $Na = c_1 \times \exp(-c_2T) - c_3 \times \exp(-c_4T)$ 。同种食物不同重量之间同一时间召集的工蚁数量存在较大差异 ,呈随食物重量增大而增大趋势。不同生境中对相同质量同种食物工蚁召集数量动态总体变化规律相近 ,但在发现食物后工蚁数量增长的速度和最大召集工蚁的数量存在明显差异 ,以路边工蚁数量增长最快、工蚁总数最多 ,苗圃次之 ,荔枝园、荒地中工蚁增长速度均较低。红火蚁对不同食物种类切割、搬运耗时存在很大差异 ,搬运完 0.5g 的火腿肠需要 26.23h ,而黄粉虫幼虫 (重量约为 0.1g) 仅为 15.6min。不同生境中红火蚁对相同重量同一种食物的搬运耗时也不同 ,荔枝园要长于其它生境。

关键词 红火蚁 ;觅食行为 ;召集 ;食物

文章编号 :1000-0933 (2007)03-0855-07 中图分类号 :Q143 文献标识码 :A

Foraging behavior and recruitment of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren (HYMENOPTERA :FORMICIDAE) in typical habitats of South China

XU Yi-Juan , LU Yong-Yue , ZENG Ling* , LIANG Guang-Wen

Red Fire Ant Research Centre Lab of Insect Ecology and Imported , South China Agricultural University , Guangzhou 510642 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (3) 0855 ~ 0861.

Abstract : Foraging behavior and recruitment of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren were found to be dependent on habitat and food source. Detailed information about the sources of food was transferred by the first foragers to the other workers who subsequently came and collaborated in foraging. This phenomenon is known as "recruitment". The communication was complicated among the workers. *S. invicta* were observed in the field in typical habitats of South China ,

基金项目 :国家 "973" 计划资助项目 (2002CB111400) ;国家自然科学基金资助项目 (305712427) ;广东省科技计划资助项目 (2005A20401001)

收稿日期 :2006-02-28 ;修订日期 :2006-09-26

作者简介 :许益鏊 (1978 ~) 男 ,博士生 ,从事昆虫生态学研究。E-mail :xuyijuan@scau.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :zengling@scau.edu.cn

Foundation item :The project was financially supported by the State Basic Research Program (No. 2002CB111400) ; The National Natural Science Foundation of China (No. 305712427) ; Science and Technology Key Project of Guangdong (No. 2005A20401001)

Received date 2006-02-28 ; **Accepted date** 2006-09-26

Biography :XU Yi-Juan , Master , Ph. D. candidate , mainly engaged in insect ecology. E-mail :xuyijuan@scau.edu.cn

to determine how type of food and habitat affected foraging and recruitment. The foraging behaviour consisted of three steps : searching ,recruitment and transportation. Searching time was different for different foods ;the searching time for honey was longer than for any other food tested ,The searching time was also affected by habitat ,with the searching time of fire ants in a litchi orchard significantly longer than for other habitats ($p < 0.01$). However ,the mass of the food had no obvious effect on the searching time. The recruitment of fire ant workers during foraging was regular ,and there was a strong relationship between the number of recruited workers and transportation time ,described by the formula $Na = c_1 e^{-c_2 T} - c_3 e^{-c_4 T}$. When the food was too heavy to transport immediately into nest ,the number of recruited workers was a maximum 30 min after the food was initially found. For smaller food sources maximum workers were able to be recruited sooner and the food was more rapidly transported back to the nest. For different foods ,the dynamics of recruitment were similar although the number of recruits was different. The mass of the food and the habitats also affected deeply on the time spent of transportation.

Key Words : *Solenopsis invicta* ; foraging behavior ; recruitment ; food

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种重要的入侵生物。作为一种社会性昆虫 ,和其它蚂蚁一样在觅食过程中红火蚁个体间有着复杂的信息联系 ,存在召集工蚁的社会性现象。红火蚁的觅食行为受自身需求、食物因素及外界环境因子的制约 ,其中内部需求来源于其饥饿状况及巢内蚁群的品级结构^[1-2] ;食物因素主要指生境中食物种类、距离巢远近及食物的营养组成等^[3-5] ;而外界环境因素包括了空气温湿度、土壤温湿度、刮风及下雨等^[6] ,红火蚁觅食存在着上限及下限温度 ,光线也影响着红火蚁觅食的取向^[7-8] 。2004 年底发现红火蚁已经入侵中国大陆南方局部地区并发生危害^[9-10] 。关于该虫在华南的生境类型、局域传播扩散规律等已有研究^[11] 。本文观察了华南地区典型生境中红火蚁的觅食行为特征 ,研究了红火蚁对不同食物种类及食物重量的觅食行为差异。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验使用的食物种类包括花生油 (深圳金龙鱼食品公司生产)、火腿肠 (河南省漯河双汇集团生产)、蜂蜜 (市面购买百花蜜)、黄粉虫幼虫 (由市场购买以麦麸饲养后供试 ,黄粉虫幼虫体重约为 0.1 g/头左右)。

1.2 试验生境情况

试验在广东省深圳市宝安区进行。根据调查 ,该区域内红火蚁为多蚁后型。选择了 4 种华南地区常见的典型生境类型 :荔枝园、苗圃、公路路边、荒地。

荔枝园 :试验时园内杂草已被清理 ,地面较为光秃 ,仅有一些枯枝落叶覆盖。其中红火蚁活动蚁巢密度为 17.1 个/100m²。

苗圃 :苗圃内主要露地或盆栽一些苗木 ,地面有较稀疏的杂草等植物生长。其中红火蚁活动蚁巢密度为 6.4 个/100m²。

公路路边 :生长着较密的杂草 ,主要以茅草为主。其中活动蚁巢密度为 22.4 个/100m²。

荒地 :长满杂草 ,很少受到干扰。其中红火蚁活动蚁巢密度为 18.8 个/100m²。

1.3 试验方法

红火蚁觅食过程、搜寻时间试验在 12 00 ~ 15 00 进行 ,试验时在红火蚁的发生地直接放置供试食物 ,其中蜂蜜和花生油先滴在纸巾上再放于地面。观察红火蚁对各种食物的搜寻时间、对工蚁的召集情况及觅食所需要的耗时情况。同时用相机拍摄记录放置食物后不同时间的工蚁数量。选择一天中不同时间段调查比较红火蚁的觅食活动程度 ,并记录一天中的环境温湿度变化情况。试验时地面温度为 18 ~ 25℃ ,空气湿度 40% ~ 55%。拍摄用相机为 Sony DSC-S85 数码相机。

1.4 数据处理

数据由 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 红火蚁的觅食过程

根据国外的研究资料^[5,9],结合观察结果,表明华南典型生境中红火蚁的觅食行为主要包括搜寻、召集及搬运 3 个过程。

搜寻 红火蚁由工蚁负责觅食,主要在蚁巢周围几米的范围内寻找食物,包括在地面,有时也会爬上草尖或树上。在寻找食物的过程中,红火蚁触角不断摆动,接受食物气味源的信号并辨别方向,当发现目标食物时便会停下来作进一步探明或是反复转圈寻找。

召集 在搜寻到食物后,工蚁会直接将较轻的食物搬回蚁巢,而当食物重量超过搬运能力时,工蚁便会返回蚁巢召集其它工蚁。红火蚁一旦发现食物后能很快将蚁巢内的其它工蚁召集到有食物的地点,因为与其它蚂蚁一样它也能准确无误地对食物进行定位。不管能否将食物搬回蚁巢,召集到的工蚁数量是有限的,即达到一定程度后工蚁数量不再增加。

搬运 当召集到一定数量的同伴后,工蚁们便开始尝试搬运食物。试验中,由于提供的黄粉虫幼虫重量较轻,少量的工蚁能比较迅速将其搬回蚁巢,在搬运过程中有轮流搬运的现象。当食物被运回蚁巢内后,被召集来的散布在蚁巢外的工蚁将陆续返回巢内。试验中由于供试火腿肠重量较大(均在 0.5g 以上),红火蚁无法直接搬回蚁巢,每头工蚁便咬取一部分并搬走。在搬运火腿肠颗粒回巢同时一些工蚁会搬取一些碎屑(如小沙粒或枯枝落叶小碎片)将火腿肠围住。

2.2 红火蚁对食物的搜寻时间

不同生境中红火蚁对同一种食物的搜寻时间差异很大,其中荔枝园内红火蚁对几种食物的搜寻时间要明显长于其它几个生境,如荔枝园中红火蚁对蜂蜜的搜寻时间为 1678.9s,苗圃中为 88.7s,公路边仅为 16.5s,对火腿肠(0.5g)的搜寻时间荔枝园、苗圃、荒地、路边分别为 486.2、63.6、13.0、7.9s。同一生境中除了苗圃外,在其它 3 种生境内红火蚁对不同食物的搜寻时间存在显著差异,对蜂蜜的搜寻时间要明显长于其它供试食物。同一生境中红火蚁对不同重量的同种食物搜寻时间较为稳定,如荔枝园中对 0.5~4.0g 火腿肠搜寻时间无差异(表 1)。经分析红火蚁对食物的搜寻时间和生境中红火蚁活动蚁巢密度之间无相关性。表明各生境中红火蚁对食物的搜寻时间差异主要由环境因素影响造成的。

表 1 红火蚁对几种食物的搜寻时间

Table 1 Searching time of the red imported fire ant for different foods					
供试食物 Food	重量 (g) Mass	搜寻时间 (s)Searching time			
		荔枝 Litchi orchard	苗圃 Nursery	荒地 wasteland	路边 Roadside
蜂蜜 Honey	0.5	1678.90 ± 515.58a A	88.70 ± 14.10a B	83.03 ± 16.66a B	16.50 ± 2.43a B
黄粉虫幼虫 Mealworm	0.1	576.91 ± 139.54b A	52.67 ± 5.59a B	11.50 ± 14.01b B	18.50 ± 2.63a B
火腿肠 Hot dog	0.5	486.20 ± 94.87b A	63.60 ± 12.32a B	13.01 ± 3.07b B	7.90 ± 1.14b B
	1.0	348.75 ± 90.79b A	65.21 ± 4.10a B	8.32 ± 1.10b B	6.24 ± 1.15b B
	2.0	343.88 ± 40.81b A	59.78 ± 15.56a B	9.01 ± 1.66b B	7.78 ± 1.43b B
	4.0	262.70 ± 97.47b A	63.01 ± 5.63a B	8.01 ± 1.33b B	9.17 ± 1.41b B
花生油 Peanut oil	0.5	211.75 ± 111.78b A	74.00 ± 10.36a AB	19.80 ± 2.93b B	15.90 ± 1.86a B

* 表中同列数字后小写字母相同者或同行数字后大写字母相同者表示经方差分析 (DMRT),在 5% 水平上差异不显著 Means in the same column followed by the same small letter or in the same row followed by the same capital letter are not significantly different (DMRT) at level of 0.05

2.3 同一生境中对不同食物工蚁的召集动态

在荔枝园里观察了红火蚁发现不同食物后工蚁的召集动态。当一头工蚁发现食物后,便从巢内召集其它工蚁。召集的工蚁数量在开始阶段随着时间延长呈现迅速增加的趋势,对于无法直接搬动的食物如火腿肠、蜂蜜及花生油等一般 30min 左右召集的工蚁数量达到最大,后趋于稳定并缓慢减少,而对于重量较小的黄粉虫幼虫,在 15min 左右召集数量就达到最大并很快将其搬走(图 1)。

召集工蚁数量与时间的关系可用房室模型即一元非线性方程 $Na = c_1 e^{-c_2 T} - c_3 e^{-c_4 T}$ 进行拟合,式中以 Na 表示召集的工蚁数量; T 表示发现食物后的时间。3 种饵料对红火蚁工蚁的召集数量与时间的关系模型

如下：

火腿肠 $Na = 4183.91 \times \exp(-0.032652T) - 4231.4770 \times \exp(-0.034622T)$ $R = 0.928^{**}$

花生油 $Na = 3253.78 \times \exp(-0.023323T) - 3314.5911 \times \exp(-0.027099T)$ $R = 0.969^{**}$

蜂蜜 $Na = 117.97 \times \exp(-0.013072T) - 163.9303 \times \exp(-0.080783T)$ $R = 0.978^{**}$

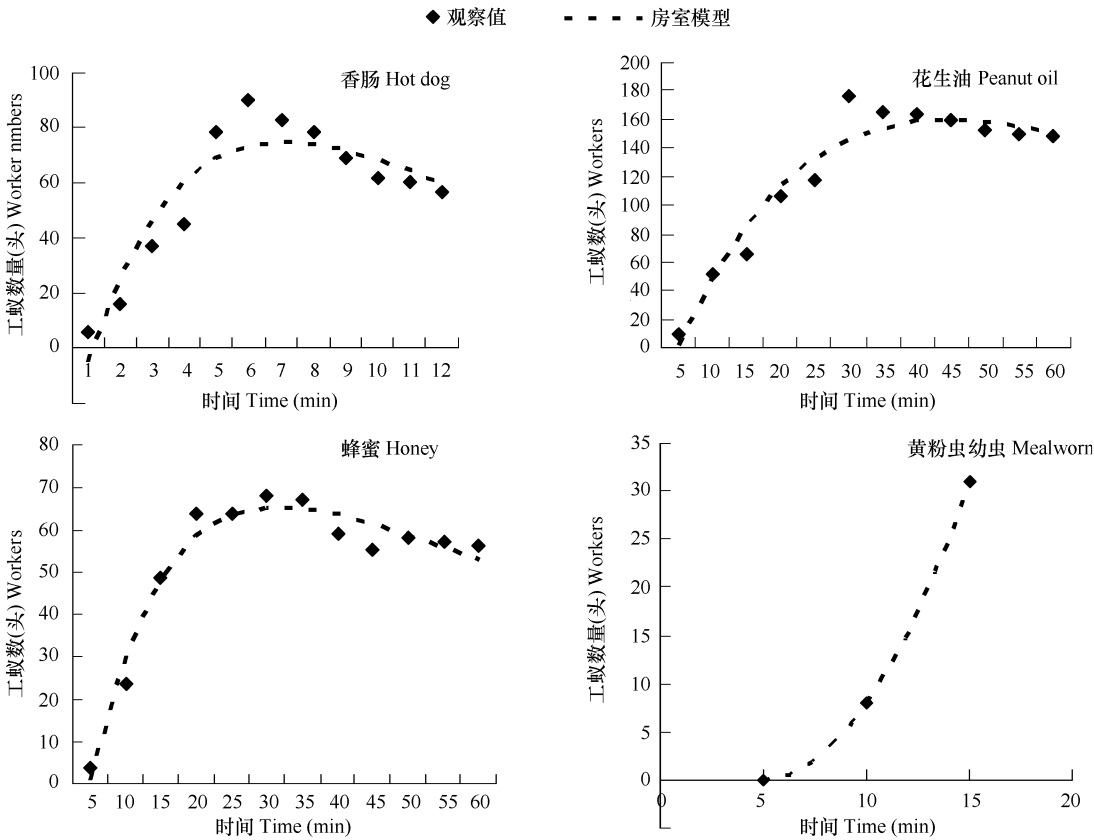


图1 荔枝园内红火蚁对不同食物的工蚁召集动态

Fig. 1 Dynamic of workers recruitment for different foods found in Litchi orchard

对于不同食物红火蚁发现后召集的最大工蚁数量间有明显差异 ,其中花生油上最大 ,平均为 176.3 头 ,火腿肠上次之 ,为 90.4 头 ,蜂蜜上最少 ,为 68.0 头。

2.4 对不同重量同一食物工蚁的召集动态

在荔枝园里观察了红火蚁发现不同重量的火腿肠后工蚁的召集动态。对于不同重量的火腿肠 ,工蚁的召集动态规律较为一致 ,发现食物后 25 ~ 30min 左右工蚁的召集数量均达到最大值 ,之后趋于稳定并随着搬取食物颗粒而缓慢减少 (图 2)。通过分析发现食物后时间长度和食物上工蚁数量存在显著关系 ,用房室模型函数进行描述 ,因此建立了 4 个非线性方程 (表 2)。

表 2 荔枝园内不同重量火腿肠对红火蚁工蚁的召集动态模型

Table 2 Formulae which described the dynamic of workers recruitment on different mass of hot dog in Litchi orchard			
火腿肠重量 Mass (g)	模型 Model	相关系数 Correlative index	显著水平 P value
0.5	$Na = 4183.9128 \times \exp(-0.032652T) - 4231.4770 \times \exp(-0.034622T)$	0.928	0.01
1.0	$Na = 4228.9661 \times \exp(-0.026238T) - 4259.3129 \times \exp(-0.028213T)$	0.945	0.01
2.0	$Na = 2252.9149 \times \exp(-0.020548T) - 2291.3297 \times \exp(-0.023596T)$	0.934	0.01
4.0	$Na = 2643.6364 \times \exp(-0.021410T) - 2684.8637 \times \exp(-0.024491T)$	0.938	0.01

* 表中 Na 表示工蚁数量 ,T 表示食物放置后时间 Na indicates workers number ,T indicates exposure time of food

在不同重量火腿肠上同一时间召集的工蚁数量存在较大差异,表现为随食物重量增大而增大趋势,如30min 时 0.5、1、2、4g 火腿肠上分别有工蚁 90、107、111、130 头 40min 时分别为 78、110、110、119 头(图2)。

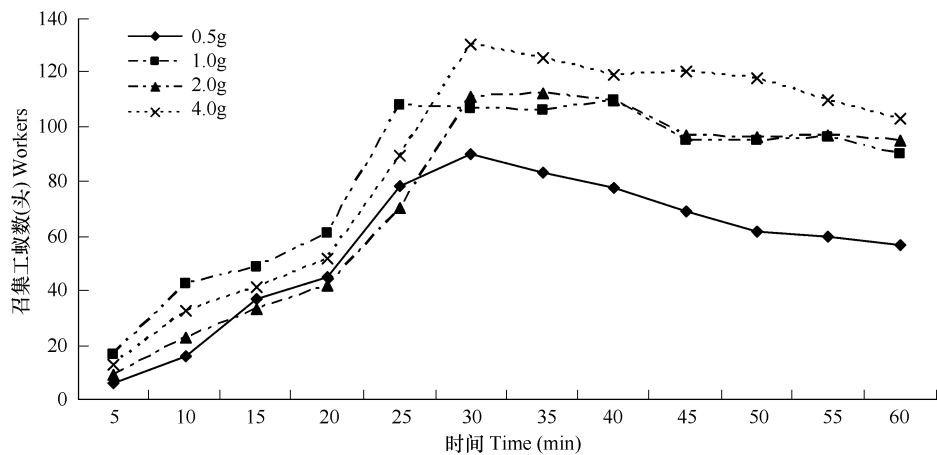


图2 荔枝园中红火蚁对不同重量香肠的工蚁召集动态
Fig. 2 Dynamic of workers recruitment for different of hot dog found in Litchi orchard

2.5 不同生境中对相同食物工蚁的召集动态

不同生境中红火蚁对 0.5g 火腿肠的工蚁召集数量动态总体变化规律相近,发现食物后一般 30min 左右召集的工蚁数量增长到最大,后逐渐缓慢减少,不同之处仅在于发现食物后工蚁数量增长的速度和最大召集工蚁的数量(图3)。不同生境中以路边工蚁数量增长最快、工蚁总数最多,苗圃次之,荔枝园、荒地中工蚁增长速度均较低,荔枝园、荒地相比最大工蚁数量荔枝园较高。

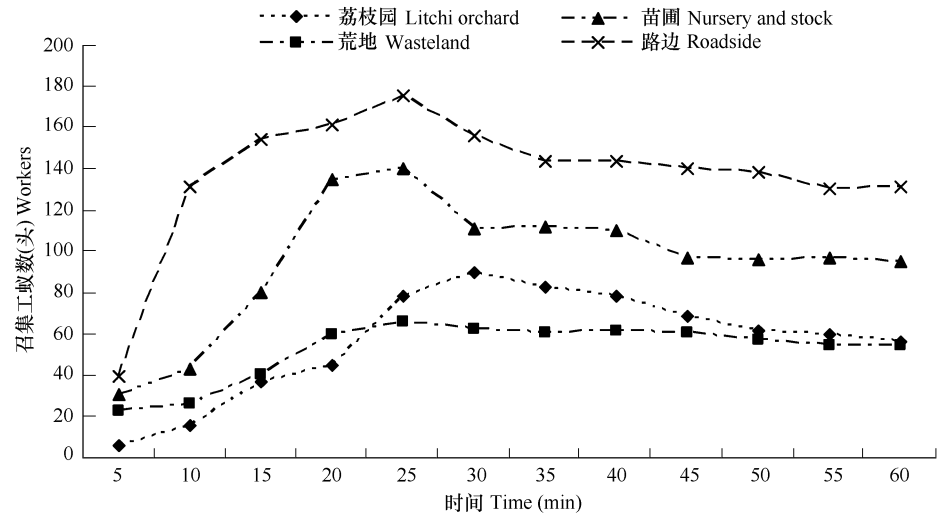


图3 不同生境中红火蚁对火腿肠觅食时的工蚁召集动态
Fig. 3 Dynamic of workers recruitment for hot dog in different habitats

2.6 红火蚁的搬运耗时

荔枝园中对不同食物种类,红火蚁整个搬运过程所消耗的时间存在很大差异。红火蚁切割、搬运完 0.5g 的火腿肠需要 26.2h,而对黄粉虫幼虫(重量约为 0.1g)则仅需要 15.6min。不同生境中红火蚁对相同重量同一种食物的搬运耗时也不同,荔枝园内的搬运耗时要长于其它生境(表3)。

3 讨论

通过观察,发现华南地区几种典型生境中红火蚁对不同类型食物的觅食行为和工蚁召集动态规律存在明

显不同,描述了红火蚁的觅食主要过程,研究了红火蚁对食物的搜寻时间、同一生境中对不同食物的工蚁召集动态规律、对不同重量同一食物的工蚁召集动态规律、不同生境中对相同食物的工蚁召集动态规律和搬运耗时等。红火蚁的觅食行为是复杂的,红火蚁群体(colony)对食物的需求(包括食物种类、数量等)受到群体品级结构、食物营养状况、周围环境等因素影响。在觅食过程中红火蚁关于食物信息的传递也较为复杂,工蚁通过触角感受食物气味,并且对食物的类别、位置及重量等作出准确的判断以确定其召集行为,本文中的蜂蜜与其它饵料之间对红火蚁召集情况的差异也反映这点(表1)。

红火蚁在觅食中受环境因素的影响较大。Showler 等^[12]研究了甘蔗地单蚁后红火蚁的觅食情况,发现与无杂草或少杂草的地区相比,红火蚁更喜欢在杂草丛生的地方觅食。而文中的结果也恰好印证了这点:不同生境类型内的红火蚁对食物的搜寻时间大为不同、觅食时对工蚁的召集动态存在差异并且觅食的耗时也有所不同。与荔枝园和苗圃相比,荒地和路边两种生境中的红火蚁的觅食活动则表现的更为积极(表1)。地表温度是红火蚁活动与觅食的重要限制因子,地下2cm处的温度是判断红火蚁觅食活动力的标准^[13];当蚁道的温度在70~90 ℃时,红火蚁的觅食行为最为活跃,而在50 ℃以上109 ℃以下时均会有觅食行为^[14]。另外食物源距离蚁巢越近,召集率越大^[15]。在一些地区蚁群在白天的觅食区域要比晚上大。例如,在德克萨斯红火蚁主要在黄昏后开始觅食。这可能是由于在该地区白天不断的升温会导致觅食的工蚁死亡^[16]。然而不同的生境情况也会有所不同,红火蚁白天在花生地的觅食活动要多于晚上^[17]。季节同样对觅食行为有影响。在秋天到冬天也会有一定的觅食行为,然而降雨能抑制工蚁的觅食行为^[14,18]。

红火蚁确实是种极具觅食能力的蚂蚁。除了在荔枝园中对蜂蜜的觅食时间较长外,本试验中红火蚁对饵料的搜寻时间多在10min之内,这与MacKay等人的研究结果相似^[19]。据研究一个红火蚁蚁群内的工蚁每分钟能搬回超过50项食物^[20]。并且其工蚁能筑起沙桥来越过农药以取得食物^[21]。红火蚁的工蚁能进入新鲜的粪肥中取得蝇蛆^[22],并能爬上至少30m高的桃树去收集叶片上蚜虫的分泌物^[23]。

本试验是在环境温度偏低(18~25℃)并且有风的条件下进行,这可能会对红火蚁的觅食行为会产生一定的影响,如搜寻时间偏长及召集工蚁数量偏低等。而在其它不同温区内的觅食行为有待进一步的研究。

References :

[1] Wallis D I. The relation between hunger , activity and worker function in an ant colony. Proc. Zool. Soc. London ,1962 ,139 :589 — 605.

[2] Howard D F ,Tschinkel W R. The effect of colony size and starvation on food flow in the fire ant ,*Solenopsis invicta* (Hymenoptera :Formicidae). Behav. Ecol. Sociobiol. ,1980 ,7 :293 — 300.

[3] Taylor F. Foraging behavior of ants :experiments with two species of Myrmecine ants. Behav. Ecol. Sociobiol. ,1977 ,2 :147 — 167.

[4] Yao A Y M. Agricultural climatology. In :H. E. Landsberg ed. World survey of climatology , vol. 3 , general climatology , Elsevirer , Amsterdam ,1981. 209 — 210.

[5] Traniello J F A ,Fujita M S ,Bowen R V. Ant foraging behavior :ambient temperature influences prey selection. Behav. Ecol. Sociobiol. ,1984 ,15 :65 — 68.

[6] Talbot M. Response of the ant *Prenolepis imparis* Say to temperature and humidity changes. Ecology ,1943 ,24 :345 — 352.

[7] Bernstein R A. The adaptive value of polymorphism in an alpine ant ,*Formica neorufibarbis gelida* Wheeler. Psyche ,1976 ,83 :180 — 184.

[8] Howard D F ,Tschinkel W R. The flow of food in colonies of the fire ant ,*Solenopsis invicta* :a multifactorial study. Physiol. Entomol. ,1980 ,6 :297 — 306.

[9] Zeng L ,Lu Y Y ,Chen Z N. Survey and control for red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren. Guangzhou :Guangdong Science and Technology

表3 不同生境内红火蚁搬运耗时比较
Table 3 Time spent for transportation of the red imported fire ant workers in different habitats

生境类型 Habitats	搬运耗时 Time spent	
	火腿肠 (h) Hot dog	黄粉虫幼虫 (min) Mealworm
荔枝园 Litchi orchard	26.23 ± 1.51a	15.64 ± 1.09a
荒地 Wasteland	21.47 ± 0.55b	7.02 ± 0.25b
苗圃 Nursery and stock	20.83 ± 0.58b	6.42 ± 0.19b
路边 Roadside	17.21 ± 0.98b	3.54 ± 0.18c

* 表中同列数字后字母相同者表示经方差分析 (DMRT) ,在5%水平上差异不显著 Means in th same column followed by the same letter are not significantly different (DMRT) at level of 0.05

Press 2005. 5.

[10] Zeng L , Lu Y Y , He X F. Zhang W Q , Liang G W. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren to invade mainland China and infestation in Wuchuan , Guangdong , China. Entomological Knowledge , 2005 , 42 (2) : 44 — 48.

[11] Xu Y J , Lu Y Y , Zeng L , Xi Y B , Huang J. Study on Location Expansion of Red Imported Fire Ant *Solenopsis invicta* Buren. Journal of South China Agricultural University , 2006 , 27 (1) : 34 — 36.

[12] Showler A T , Knaus R M , Reagan T E. Foraging territoriality of the imported fire ant , *Solenopsis invicta* Buren , in sugarcane as determined by neutron activation analysis. Insect. Soc. , 1989. 36 : 235 — 239.

[13] Sanford D , Porter , Tschinkel W R. Foraging in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera : Formicidae) : Effects of Weather and Season. Environmental Entomology , 1987 , 16 : 802 — 808.

[14] Porter S D , Tschinkel W R. Foraging in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera : Formicidae) : Effects of weather and season. Environ. Entomol. , 1987 , 16 : 802 — 808.

[15] Horthon P M , Hays S B , Holman J R. Food carrying ability and recruitment time of the red imported fire ant. J. Georgia Entomol. Soc. , 1975 , 10 : 207 — 213.

[16] Claborn D M , Phillips Jr S A and Thorvilson H G. Diet foraging activity of *Solenopsis invicta* and two native species of ants (Hymenoptera : Formicidae) in Texas. Tex. J. Sci. , 1988 , 40 : 93 — 99.

[17] Kidd K A , Apperson C S. Enviromental factors affecting relative distribution of foraging imported fire ants [*Solenopsis invicta*] in a soybean field on soil and plants. J. Agric. , 1984 , 1 : 212 — 218.

[18] Markin G P , O'Neal J , Dillier J H , Collins H L. Regional variation in the seasonal activity of the red imported fire ant , *Solenopsis saevissima richteri*. Environ. Entomol. , 1974 , 3 : 446 — 452.

[19] Mackay W P , Porter S , Fowler H , Vinson S B. A distribucao das formigas lava-p s (*Solenopsis* spp.) no estado de Mato Grosso do Sul , Brasil (Hymenoptera : Formicidae). Sociobiology , 1994 , 24 : 307 — 312.

[20] Wilson N L , Oliver A D. Food habits of the imported fire ant in pasture and pine forest areas in southeastern Louisiana. J. Econ. Entomol. , 1969 , 62 : 1268 — 1271.

[21] Troisi S J , Riddiford L M. Juvenile hormone effects on metamorphosis and reproduction of the fire ant , *Solenopsis invicta*. Environ. Entomol. , 1974 , 3 : 112 — 116.

[22] Hu G Y , Frank J H. Effect of the red imported fire ant (Hymenoptera : Formicidae) on dung-inhabiting arthropods in Florida. Environ. Entomol. , 1996 , 25 : 1290 — 1296.

[23] Tedders W L , Reilly C C , Wood B W , Morrison R K , Lofgren C S. Behavior of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera : Formicidae) in pecan orchards. Environ. Entomol. , 1990 , 19 : 44 — 53.

参考文献：

[9] 曾玲, 陆永跃, 陈忠南. 红火蚁监测与防治. 广州 : 广东科技出版社 2005. 5.

[10] 曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 张维球, 梁广文. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查. 昆虫知识 , 2005 , 42 (2) : 44 ~ 48. .

[11] 许益鏊, 陆永跃, 曾玲, 席银宝, 黄俊. 红火蚁局域扩散规律研究. 华南农业大学学报 , 2006 , 27 (1) : 34 ~ 36.