

华南地区桑园和荒地两种生境中红火蚁觅食工蚁的食物组成

张波^{1,2}, 何余容², 陈婷¹, 齐国君¹, 吕利华^{1,*}

(1. 广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640;

2. 华南农业大学资源环境学院昆虫学系, 广州 510642)

摘要:【目的】红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是世界最危险的有害入侵生物之一, 2004 年入侵我国华南地区, 并给农林业安全、生态安全带来极大危害。调查并明确田间红火蚁觅食工蚁的食物种类及数量, 不仅为评估红火蚁猎食对生态环境中节肢动物群落的影响, 而且为红火蚁防治饵剂的改进提供科学依据。【方法】本研究采用蚁道剖析法, 对华南地区桑园和荒地两种生境中红火蚁觅食工蚁搬运的固体残片取样和鉴定; 依搬运工蚁及其固体残片尺寸进行测量分级并称重, 以分析工蚁多态性与固体食物大小的关系; 采用薄层色谱法和氨基酸分析法测定唾液体样品的营养成分及含量。【结果】在华南地区桑园和荒地中, 红火蚁觅食工蚁搬运回巢的固体食物包括固体的动物残片和植物种子, 其中动物残片属于 3 门 7 纲 21 个类群 (包括 14 个昆虫目), 昆虫纲动物所占比例为总固体食物的 45.53% ~ 46.10%。工蚁偏好搬运长 1.400 ± 0.043 mm ~ 2.306 ± 0.063 mm 和宽 0.723 ± 0.028 mm ~ 1.261 ± 0.051 mm 的固体残片, 其重量在 0.203 ~ 0.413 mg 之间。红火蚁觅食工蚁唾液体由多种氨基酸、果糖和葡萄糖组成, 在桑园和荒地采集到的红火蚁唾液体样本中的氨基酸总含量分别为 1 544.31 mg/L 和 861.48 mg/L, 氨基酸种类分别为 33 种和 32 种, 其中 31 种氨基酸为共有的。【结论】华南地区桑园和荒地中, 红火蚁固体食物组成均以昆虫纲动物为主; 参与固体残片搬运觅食工蚁的 80% 属于中型工蚁, 搬运较大型固体残片的大型工蚁仅占 5%; 红火蚁工蚁唾液体含有丰富的氨基酸和单糖。

关键词: 红火蚁; 觅食工蚁; 食物组成; 固体残片; 唾液体; 多态性

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2015)04-0382-09

Dietary composition of foragers of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in two habitats, mulberry orchard and barren land, in South China

ZHANG Bo^{1,2}, HE Yu-Rong², CHEN Ting¹, QI Guo-Jun¹, LU Li-Hua^{1,*} (1. Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Department of Entomology, College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Aim】The red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, one of the worst invasive species in the world, has been found to occur in South China in 2004 and caused serious destruction to agricultural and forestry industry as well as to ecosystem in the infested region. The elaborate survey and analysis on food composition transported by fire ant foragers in the field would not only let us accurately assess the potential impact of fire ant forager predation on arthropod communities, but also provide us a scientific basis for improving baiting efficacy for fire ant control. 【Methods】Foraging solid materials including arthropod pieces and plant seeds were collected by exposing foraging trails and capturing each foraging ant transporting a particle toward to the mound in two habitats, mulberry orchard and barren land, in Guangzhou, Guangdong province, South China. Meanwhile, the size of the foragers transporting those items was measured for the analysis of forager polymorphism. Each solid particle was identified and measured individually by the combination of length and width and weighed, and the components and content of liquid stored in crops of foragers collected on exposed foraging trails were analyzed using Thin

基金项目: 国家国际科技合作计划项目(2011DFB30040); 广东省科技计划项目(2011B031500020); 广州市科技计划项目(2013J4500032)
作者简介: 张波, 男, 1985 年生, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: zb051@foxmail.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: lhlu@gdppri.com

收稿日期 Received: 2014-10-21; 接受日期 Accepted: 2015-03-17

Layer Chromatography (TLC) and amino acid analysis. 【Results】 The results showed that solid particles that fire ant foragers transported for consumption mainly consisted of animal particles and plant seeds, and the former originated from 21 groups (including 14 orders of insects) of 7 classes of 3 phyla of animals. Solid foraging materials from Class Insecta accounted for 45.53% and 46.10% of the solid foraging materials in both habitats of mulberry orchard and barren land. During foraging, 80% foragers, which were medium-sized workers, preferred taking solid particles as large as 1.400 ± 0.043 mm – 2.306 ± 0.063 mm in length and 0.723 ± 0.028 mm – 1.261 ± 0.051 mm in width, being 0.203 – 0.413 mg in weight. The liquid foods from the foragers' crops were composed of fructose, glucose, and amino acids. There were 33 and 32 kinds of amino acids with the total contents of 1544.31 mg/L and 861.48 mg/L in crop liquid from foragers in mulberry orchard and barren land, respectively, of which 31 kinds of amino acids were shared by foragers in both habitats. 【Conclusion】 In South China, fire ant foragers prey insect pieces as major food sources. Most foragers involving in transporting solid particles back to nests are medium-sized workers. We assumed that foragers in mulberry orchard and barren land prefer liquid food rich in amino acids and monohydrates.

Key words: *Solenopsis invicta*; foraging worker; dietary composition; solid particle; crop liquid; polymorphism

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是世界 100 种最危险的入侵生物之一 (Lowe *et al.*, 2000)。2004 年在广东省吴川市首次发现红火蚁入侵 (曾玲等, 2005), 其后该害虫相继在香港、澳门、湖南、广西、福建、江西、海南、四川、云南等省 (区) 发生与为害。红火蚁入侵不仅影响当地居民生活、农林业生产安全, 而且影响到本地生物的多样性 (Vinson, 1997)。

据报道, 在美国红火蚁觅食蚁猎食多种土栖性节肢动物 (Wilson *et al.*, 1969; Tennant and Porter, 1991; Vogt *et al.*, 2002), 搬运植物种子 (Smittle *et al.*, 1983; Adams *et al.*, 1983), 吸食介壳虫和蚜虫分泌的“蜜露”及植物分泌物等液态食物 (Ricks and Vinson, 1972; Agnew *et al.*, 1982), 从而直接地或间接地改变了当地生物群落组成。红火蚁觅食工蚁“搬运”的食物由固体和液体食物组成 (Tennant and Porter, 1991; Vogt *et al.*, 2001)。觅食工蚁捕食猎物并将昆虫等地栖动物撕成较小碎片, 然后将食物残片沿地下蚁道或地表蚁路搬运回巢, 通过交哺作用与蚁巢其他同伴分享 (Hays and Hays, 1959)。红火蚁入侵我国后, 研究人员通过采集红火蚁弃尸堆和蚁道剖析等方法, 采样并分析了红火蚁固体残片的组成, 间接或直接地揭示了该入侵昆虫猎食的偏好性 (许益鏊等, 2009; 张波等, 2012), 而且分析了觅食工蚁“搬运”食物的物态的季节与日变化规律 (仇小龙等, 2014)。此外, 研究表明固体食物的大小或重量会影响蚂蚁搬运食物的速率与数量 (Hooper-Bùi *et al.*, 2002), 而且收获蚁个体多态性与取食种类存在密切关系 (Heredia and Detrain,

2005)。红火蚁工蚁个体大小分布有较高的多态性, 根据工蚁日龄和个体大小变化, 工蚁分工也会变化 (Mirenda and Vinson, 1981; Hölldobler and Wilson, 1990)。国内外学者研究了诱饵颗粒大小或引诱剂与红火蚁取食偏好性的关系 (许益鏊等, 2006; 黄胜先等, 2007; Neff *et al.*, 2011), 但国内尚未有自然状态下觅食工蚁个体多态性与其“搬运”固体食物间关系的报道。此外, 虽然野外观察了“搬运”固体残片和液体食物工蚁的季节变化与日变化 (仇小龙等, 2014), 但尚未有对觅食蚁嗉囊液体的种类及含量方面的研究报道。

本研究在广州桑园和荒地两种红火蚁生境内开展, 利用蚁道剖析法采集红火蚁觅食蚁返巢的固体残片以及摄取并贮存在嗉囊中的液体, 将样品带回室内, 进行鉴定和分析, 统计分析“搬运”固体残片的工蚁大小与所衔食物体积或重量间的关系, 以探明中国华南地区自然条件下红火蚁觅食的偏好性。研究结果可为评价红火蚁对新入侵地节肢动物群落的潜在影响提供科学数据, 也为红火蚁防治饵剂的改进提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 红火蚁固体残片的收集和分类

1.1.1 固体残片的收集: 调查于 2011 年 5 – 11 月在广州市白云区钟落潭镇广东省农业科学院金颖园内的桑园和荒地 ($23^{\circ}23'31.91''N$, $113^{\circ}26'18.99''E$) 中进行。在两种生境中, 随机选取直径约 20 cm、高

约 20 cm 的红火蚁成熟蚁巢作为调查对象。采用蚁道剖析法(张波等, 2012)寻找并剖析蚁道, 当觅食蚁道剖面上蚂蚁个体形成“蚁路”后, 用软镊子(4748 BioQuip Products, Inc., USA)随机夹取返巢的觅食工蚁及其所衔固体残片(动物残片或植物种子)。每天 8:30 - 11:30 采集样本, 每次采集时间约 2.5 h。每种生境调查时间累计达 14 d。当发现供试蚁巢转移时, 在同生境内另选取大小相当的蚁巢作为供试蚁巢, 继续采集。将每天收集的固体动物残片或种子带回实验室, 注明日期和生境类型, 存放在 -30°C 冰箱中, 待鉴定。

1.1.2 固体残片的鉴定分类: 在 OLYMPUS SZ61 体视显微镜下, 对收集的残片进行鉴定分类, 将昆虫纲动物鉴定到科, 其他动物分类到纲(钟觉民, 1990; 尹文英, 1998), 将植物种子鉴定到种水平(王枝荣, 1990; 印丽萍和颜玉树, 1997)。鉴定并记录可鉴定动物残片及植物种子的种类及其数量, 最后按生物分类系统将其分类, 并将其在群落中的功能群划分为有害类群、中性类群及天敌类群, 将无法鉴定的归为未知类。本实验中已鉴定的动物残片及植物种子被保存于 75% 酒精, 并注明取样时间和地点, 保藏在广东省农业科学院植物保护研究所。

1.2 觅食工蚁体型大小及所衔固体动物残片的测量和分级

采用 1.1 节蚁道剖析法, 随机夹取返巢并衔固体动物残片的觅食工蚁, 将工蚁及所衔固体残片一起装入一个直径 2 cm 离心管内, 每管 1 头工蚁和其相应的动物残片, 标记编号。共取样 100 管。将采集的工蚁和固体动物残片带回实验室, 存放到 -30°C 冰箱中, 以供测量和分级。

在体视显微镜 SZ61 (Olympus, Japan) 下, 用 $10\times$ 目镜、放大倍数 $2\times$ 测量供试工蚁头壳宽度与其所衔食物长度(length, L)和宽度(width, W)。用钢尺(最小刻度 1 mm)校正测微尺, 重复 10 次, 测微尺每格为 0.052 ± 0.0012 mm。

用红火蚁工蚁头壳宽(head capsule width)(两复眼之间的距离)代表工蚁体型大小, 并依此区分工蚁类型(小型工蚁: $\text{HW} \leq 0.595$ mm; 中型工蚁: $0.595 \text{ mm} < \text{HW} \leq 1.000$ mm; 大型工蚁: $1.000 \text{ mm} < \text{HW}$)(Porter and Tschinkel, 1985)。用手术刀将工蚁头部切下, 并将其放在载物台上, 再用目镜测微尺测量其格数。同理, 测量每头工蚁搬运固体残片的长度和宽度。注意工蚁与其所衔残片必须一一对应。根据实验采集的工蚁及对应固体残片的数据,

按以下 5 个标准将食物分为 5 级, 分级标准: I : $0 \text{ mm} < L \leq 1 \text{ mm}, 0 \text{ mm} < W \leq 1 \text{ mm}$; II : $1 \text{ mm} < L \leq 2 \text{ mm}, 0 \text{ mm} < W \leq 1 \text{ mm}$; III : $1 \text{ mm} < L \leq 2 \text{ mm}, 1 \text{ mm} < W \leq 2 \text{ mm}$; IV : $2 \text{ mm} < L \leq 3 \text{ mm}, 0 \text{ mm} < W \leq 2 \text{ mm}$; V : $3 \text{ mm} < L \leq 5 \text{ mm}, 1 \text{ mm} < W \leq 2 \text{ mm}$ 。依照上述分级标准将残片分为 5 级, 用电子天平 BSA224S(Sartorius, GER, 精度 0.0001)分别称 5 个级别中固体残片的总重量, 从而获得每个类别固体动物残片的平均重量。将与每个固体残片对应的工蚁分为上述 5 组, 计算每组工蚁平均头壳宽度。

1.3 红火蚁工蚁嗉囊液体收集

2011 年 8 - 11 月在桑园和荒地中采集返巢的腹部节间膨大明显的觅食工蚁。采样地点同方法 1.1 节。觅食工蚁通常将摄取的液体储存于腹部嗉囊内。当嗉囊内充有液体时, 工蚁腹部会膨大且节间膜外露, 肉眼可见其腹部有明暗相间的纹理, 本实验中将腹部膨大且有明暗条纹的工蚁定为摄取液体的工蚁(张波等, 2012)。采用蚁道剖析法获得观察剖面, 当有腹部膨大的觅食工蚁作为采集对象。当该类型工蚁出现时, 迅速用镊子将其夹住并放入直径 2 cm 离心管内。每管收集工蚁 50 头, 每次 3 ~ 5 管。

将采集的工蚁带回实验室, 用镊子将工蚁逐个夹出, 用手轻轻挤压其腹部, 再用直径 0.1 mm 毛细管对准其口部, 吸取挤压出的液体。用 1 根毛细管可收集 5 ~ 10 头工蚁嗉囊储存的液体, 用石蜡密封毛细管两端, 标记生境类型, 存放到 -30°C 冰箱中, 待分析。

1.4 红火蚁嗉囊液体中糖类和氨基酸的测定

分别收集采自桑园和荒地的红火蚁觅食工蚁嗉囊内储存的液体 0.6 mL 和 0.4 mL(来源工蚁数分别约 620 头和 430 头)。采用薄层色谱测糖法(王桂红等, 2003)比较野外采集的嗉囊液体和标准糖溶液(0.01 g/mL)的显色结果, 计算 Rf 值, 确定采集样中糖的种类。采用日立 L-8800 型氨基酸分析仪, 测定样品氨基酸成分及含量。测定方法为 JY/T019-1996 氨基酸分析方法通则。

1.5 数据处理

利用 DPS7.05 软件, 统计分析搬运 5 级食物的觅食工蚁体型大小之间的差异(唐启义和冯明光, 2007)。

2 结果

2.1 红火蚁的固体残片的种类及组成

从桑园和荒地中分别收集回巢红火蚁工蚁所衔

固体残片 1 359 片和 1 254 片,其中可鉴定的分别为 764 片和 690 片,数量占总采样量的 56.22% 和 55.02% (表 1)。

红火蚁搬运所衔的固体残片包括动物残片和植物种子,这两类残片在桑园的总残片量中所占比例分别为 50.04% 和 6.18%,在荒地的总残片量中所占比

例分别为 50.64% 和 4.39%。在两种生境采集到的动物残片分属 3 门 7 纲和 2 门 6 纲,为节肢动物门、环节动物门和软体动物门。其中,节肢动物门中有昆虫纲、蛛形纲、多足纲、甲壳纲和唇足纲 5 纲;环节动物门和软体动物门各有 1 纲,为环带纲和腹足纲。

在两种生境中,收集的动物残片分属 21 个动物

表 1 桑园和荒地内红火蚁觅食工蚁“搬运”的固体残片种类、数量及功能类群

Table 1 Composition of solid particles transported by foragers of the red imported fire ant *Solenopsis invicta* in mulberry orchard and barren land

分类单元 Taxon	固体残片数量及比例 Amount and proportion of categorized solid particles							
	桑园 Mulberry orchard				荒地 Barren land			
	数量(个) Amount (pieces)	比例 Proportion (%)			数量(个) Amount (pieces)	比例 Proportion (%)		
有害类群 Pest group		中性/其他 类群 Neutral/ other group	天敌类群 Natural enemy group	有害类群 Pest group		中性/其他 类群 Neutral/ other group	天敌类群 Natural enemy group	
节肢动物门 Arthropoda								
昆虫纲 Insecta								
鞘翅目 Coleoptera	151	11.11			84	6.70		
同翅目 Homoptera	148	10.89			82	6.54		
鳞翅目 Lepidoptera	140	10.30			93	7.42		
双翅目 Diptera	62	4.56			76	6.06		
膜翅目 Hymenoptera	34			2.50	132			10.53
半翅目 Hemiptera	29	2.13			55	4.39		
弹尾目 Collembola	25		1.84		20		1.59	
直翅目 Orthoptera	12	0.88			22	1.75		
缨翅目 Thysanoptera	8	0.59			3	0.24		
蜻蜓目 Odonata	4			0.29	-			
双尾目 Diplura	3	0.22			-			
蜚蠊目 Blattaria	3		0.22		9		0.72	
脉翅目 Neuroptera	-				1		0.08	
蚤目 Siphonaptera	-				1		0.08	
蛛形纲 Arachnida	40				43			
蜘蛛类 Araneae	40			2.94	42			3.35
蜱虫类 Ixodidae	-				1	0.08		
多足纲 Myriapoda	4				1			
马陆类 Millipedes	4		0.29		1		0.08	
甲壳纲 Crustacea	7				9			
鼠妇类 Pillworms	7		0.52		9		0.72	
唇足纲 Chilopoda	5				3			
蜈蚣类 Scolopendra	5		0.37		3		0.24	
环节动物门 Annelida								
环带纲 Clitellata	4				1			
蚯蚓类 Earthworms	4		0.29		1		0.08	
软体动物门 Mollusca								
腹足纲 Gastropoda	1				-			
螺类 Paludina	1		0.07		-			
动物残片 Animal solid particles	680	40.68	3.53	5.73	635	33.18	3.59	13.88
植物种子 Plant seeds	84		6.18		55		4.39	
未知残片 Unknown particles	595		43.78		564		44.98	

类群(包括 14 个昆虫目),其中蜻蜓目、双尾目和螺类只出现在桑园中,而脉翅目、蚤目和蜉蝣类只出现在荒地中(表 1)。在桑园中,红火蚁的搬运的主要固体残片(5%以上)分属于鞘翅目、同翅目、鳞翅目和植物种子,其比例分别为 11.11%, 10.89%, 10.30% 和 6.18%;在纲分类水平上,昆虫纲残片累计可达 45.53%;在荒地中,红火蚁搬运的固体残片的主要类群有膜翅目、鳞翅目、鞘翅目、双翅目和同翅目,其比例为 10.53%, 7.42%, 6.70%, 6.06% 和 6.54%;在纲分类水平上,昆虫纲的残片累计可达 46.10%。此外,在桑园和荒地中蜘蛛类所占比例较高,分别为 2.94% 和 3.35%。分析表明:在广州的桑园和荒地中红火蚁食谱均较广,并以昆虫纲动物和植物种子为主要食物来源。以物种在生态环境中的功能类群划分,桑园中属于有害类群、中性类群及天敌类群的动物残片所占比例分别为 40.68%, 3.53% 和 5.73%,而荒地中属于有害类群、中性类群及天敌类群的动物残片所占比例分别为 33.18%, 3.59% 和 13.88%。虽然两种生境中 3 种功能类群的生物种类所占比例略有差异,但有害类群的数量最多,其次为天敌类群的,最后为中性类群的。

2.2 觅食工蚁多态型与所衔固体残片大小的关系

将采集到的搬运固体残片的工蚁按照个体大小(头壳宽度)及其对应的残片归类并比较(图 1)。结果表明,搬运固体残片的工蚁 5 个级别(I-V)的头壳宽度分别 0.883 ± 0.038 mm, 0.866 ± 0.023 mm, 0.933 ± 0.345 mm, 0.991 ± 0.043 mm 和 1.020 ± 0.010 mm,前 4 个级别中工蚁为中型工蚁,而级别 V 的工蚁属于大型工蚁(Porter and Tschinkel, 1985)。以工蚁搬运残片的平均重量来衡量时,级别 V 的固体残片最重,为 1.120 mg,其次为级别 III(0.441 mg)、级别 IV(0.413 mg)和级别 II(0.203 mg),级别 I 重量最轻,仅 0.087 mg;统计分析表明,搬运固体残片级别 I 和 II 的工蚁个体与搬运级别 V 的工蚁个体大小存在显著差异($F = 2.719$, $P = 0.0343$),而与其他级别间无显著差异。以工蚁比例来衡量时,搬运级别 II 类固体残片的工蚁比例最高,占总采样量的 38.8%,其次依次为级别 IV、级别 III 和级别 I,分别为 23.5%, 17.3% 和 15.3%,级别 V 的数量最少,仅占 5.1%,说明自然界中红火蚁觅食工蚁搬运级别 II 的最多,其次是搬运级别 III 和 IV 的。综上所述,固体残片体积或重量的差异会影响工蚁觅食时的选择性,即搬运固体食物的觅食工

蚁偏好搬运长 1.400 ± 0.043 mm ~ 2.306 ± 0.063 mm,宽 0.723 ± 0.028 mm ~ 1.261 ± 0.051 mm 或重 0.203 mg ~ 0.413 mg 的固体残片,这部分工蚁数量占总数的 79.6%,其属于中型工蚁;1.020 mm 头壳宽度工蚁选择搬运较大残片(长 3 ~ 5 mm,宽 1 ~ 2 mm),但其数量较少,为大型工蚁。

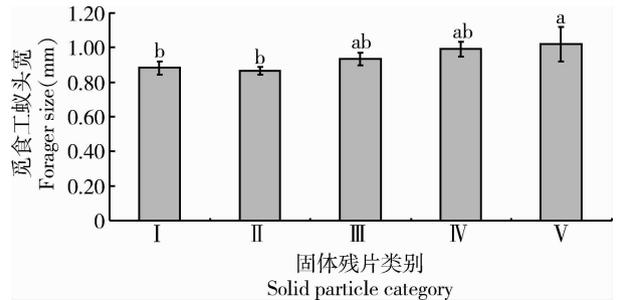


图 1 红火蚁觅食工蚁头壳宽度与其搬运的固体残片级别的关系

Fig. 1 Relationship between forager size (measured with head capsule width) of *Solenopsis invicta* workers and the category of solid particles transported

用 Duncan 氏新复极差法进行检验,具有不同字母的数字表示差异显著($P < 0.05$);I-V 级别固残片的数量分别为 15, 38, 17, 23 和 5 个。Data in the figure with different letters are significantly different at the 0.05 level among five foraging groups with different size or weight of solid particles using Duncan's new multiple range test. The numbers of solid particles collected in five categories I-V were 15, 38, 17, 23, and 5, respectively.

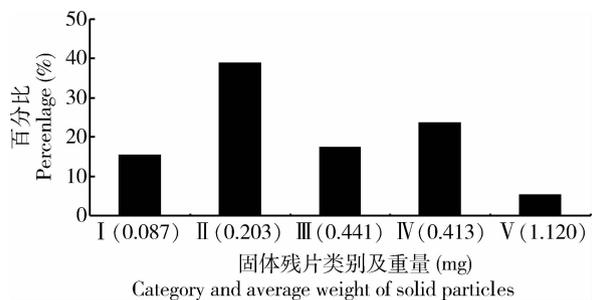


图 2 “搬运” 5 个级别固体残片的红火蚁觅食工蚁比例
Fig. 2 Proportion of *Solenopsis invicta* foragers transporting solid particles in five categories

2.3 红火蚁觅食工蚁嗉囊液体的营养成分分析

2.3.1 红火蚁觅食工蚁嗉囊液体的糖类:通过薄层色谱法,测定了在桑园和荒地采集的红火蚁觅食工蚁嗉囊液体的糖分种类(图 3)。从上述两种生境中采集的液体样本经处理并显色,其为桃红色点和橄榄绿色点,而且其 R_f 值分别为 0.425 和 0.388,与果糖和葡萄糖的标准溶液显色和 R_f 相似,因此确定两种生境中的红火蚁觅食工蚁嗉囊液体含有果糖和葡萄糖两种单糖组分。

$$R_f = \frac{d}{D} \quad (D: \text{层析液展开的高度}, d: \text{样点展开高度})。$$

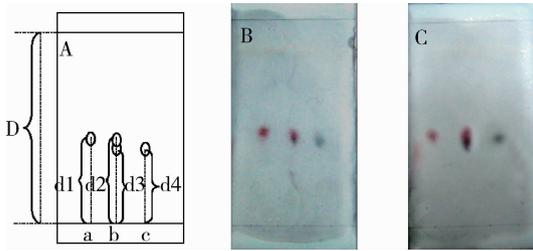


图3 红火蚁返巢觅食工蚁嗉囊液体的薄层色谱示意图(A)以及桑园(B)和荒地(C)样本中糖的薄层色谱图

Fig. 3 TLC diagram of crop liquid (A) from foragers of *Solenopsis invicta* collected from mulberry orchard (B) and barren land (C)

a 和 c 点为果糖和葡萄糖的标准样点, b 点为红火蚁嗉囊液体的样点。Sample spots a and c are standard samples of fructose and glucose, respectively, and spot b is the sample of crop liquid from fire ant foragers. d1 - 4: 样点展开高度 Height reached by the standard or samples of fructose, crop liquid, and glucose after development. D: TLC 溶剂的展开高度 Height reached by the TLC solvent after development.

2.3.2 红火蚁觅食工蚁嗉囊液体氨基酸组成: 利用全自动氨基酸分析仪测定了桑园和荒地中觅食工蚁嗉囊所含液体的氨基酸组分(图4, 表2)。在桑园和荒地中收集的红火蚁觅食工蚁嗉囊液体的氨基酸共计34种(表2), 其中含有共同氨基酸31种; 甲硫氨酸和乙醇胺是桑园觅食工蚁嗉囊液体中存在, 3-甲基组氨酸为荒地觅食工蚁嗉囊液体所特有的。桑园中液态食物中主要氨基酸种类(含量高于5%)有6种, 包括天冬酰胺、谷氨酸、组氨酸、脯氨酸、赖氨酸和丝氨酸, 其比例分别为17.14%, 10.87%, 8.47%, 6.76%, 5.42%和5.18%; 而荒地的主要种类有9种, 包括酪氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、脯氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸和组氨酸, 其比例为11.58%, 11.40%, 9.58%, 6.78%, 6.67%, 5.98%, 5.73%, 5.70%和5.07%。结果说明, 在桑园和荒地两种生境中红火蚁觅食工蚁嗉囊液体中氨基酸种类相似度较高, 但主要氨基酸种类略有不同。

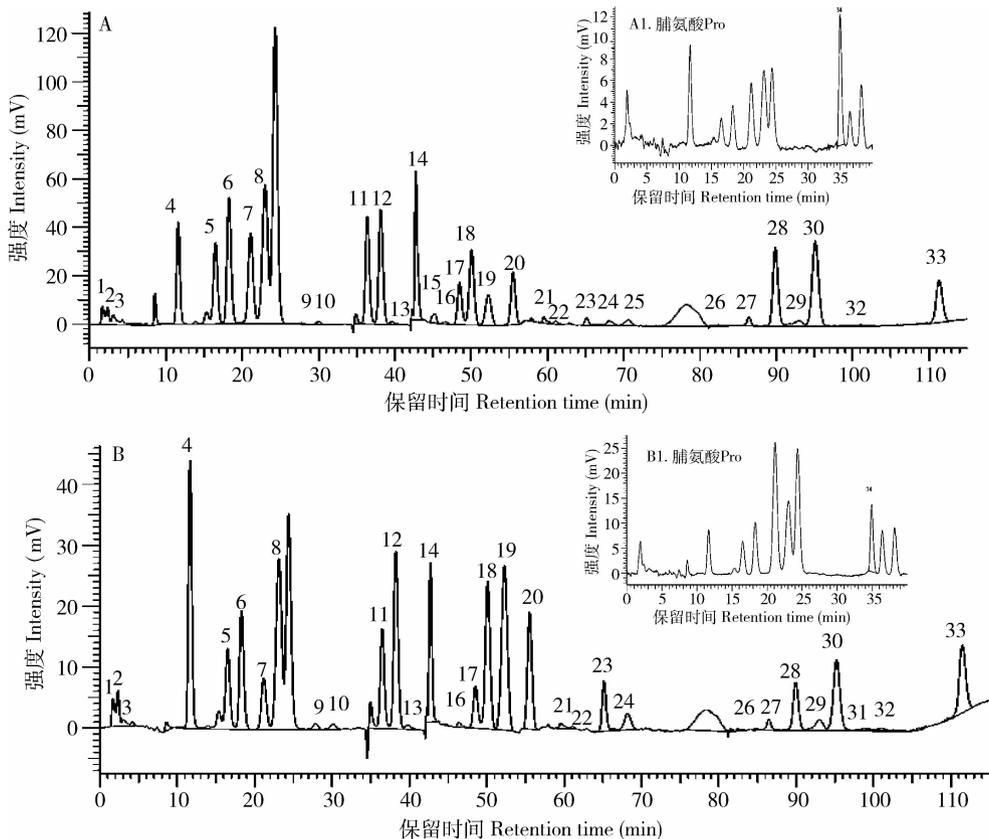


图4 桑园(A)和荒地(B)中红火蚁觅食工蚁嗉囊液体氨基酸色谱图

Fig. 4 Chromatograms of amino acids in crop liquid from foragers of *Solenopsis invicta* collected from mulberry orchard (A) and barren land (B)

1 - 34 色谱峰对应的氨基酸种类见表2, 为在570 nm 通道图谱。右上角插图(A1 和 B1)为440 nm 通道采集的脯氨酸图谱。The corresponding amino acids peaks 1 - 34 obtained in the channel of 570 nm are listed in Table 2. Inserted figures (A1 and B1) in right corner are proline profiles obtained in the channel of 440 nm.

表 2 桑园和荒地内红火蚁觅食工蚁嗉囊液体氨基酸组成和含量
 Table 2 Composition and contents of amino acids in crop liquid from foragers of *Solenopsis invicta* collected from mulberry orchard and barren land

色谱峰号 Peak no.	氨基酸 Amino acid	桑园 Mulberry orchard		荒地 Barren land	
		含量(mg/L) Content	比例(%) Proportion	含量(mg/L) Content	比例(%) Proportion
1	磷酸丝氨酸 P-Ser	15.11	0.98	9.37	1.09
2	牛磺酸 Tau	12.43	0.80	10.41	1.21
3	磷酸乙醇胺 PEA	18.08	1.17	4.32	0.50
4	天冬氨酸 Asp	53.01	3.43	57.45	6.67
5	苏氨酸 Thr	59.13	3.83	25.19	2.92
6	丝氨酸 Ser	80.04	5.18	30.80	3.58
7	天冬酰胺 Asn	264.72	17.14	58.45	6.78
8	谷氨酸 Glu	167.83	10.87	82.53	9.58
9	肌氨酸 Sar	7.91	0.51	16.03	1.86
10	α -氨基己二酸 α -AAA	4.70	0.30	3.52	0.41
11	甘氨酸 Gly	43.39	2.81	16.60	1.93
12	丙氨酸 Ala	60.95	3.95	38.12	4.42
13	瓜氨酸 Cit	3.20	0.21	1.44	0.17
14	缬氨酸 Val	72.45	4.69	31.77	3.69
15	甲硫氨酸 Met	8.58	0.56	—	—
16	胱氨酸 Cysthi	2.06	0.13	2.63	0.31
17	异亮氨酸 Ile	35.15	2.28	14.21	1.65
18	亮氨酸 Leu	66.93	4.33	51.55	5.98
19	酪氨酸 Tyr	46.31	3.00	99.76	11.58
20	苯丙氨酸 Phe	56.85	3.68	49.39	5.73
21	β -丙氨酸 β -Ala	9.56	0.62	4.16	0.48
22	β -氨基异丁酸 β -AiBA	0.87	0.06	0.31	0.04
23	γ -氨基正丁酸 γ -ABA	4.63	0.30	12.85	1.49
24	色氨酸 Trp	14.97	0.97	9.28	1.08
25	乙醇胺 EOHNH2	7.27	0.47	—	—
26	羟赖氨酸 Hyllys	2.09	0.14	1.14	0.13
27	鸟氨酸 Orn	7.23	0.47	3.51	0.41
28	赖氨酸 Lys	83.76	5.42	20.90	2.43
29	1-甲基-组氨酸 1Mehis	6.32	0.41	5.02	0.58
30	组氨酸 His	130.82	8.47	43.64	5.07
31	3-甲基-组氨酸 3Mehis	—	—	1.70	0.20
32	鹅肌肽 Ans	17.3	1.12	8.14	0.94
33	精氨酸 Arg	76.35	4.94	49.07	5.70
34*	脯氨酸 Pro	104.33	6.76	98.22	11.40
总计 Total		1 544.31		861.48	

* 仅第 34 个色谱峰对应的脯氨酸在两种生境觅食工蚁嗉囊中的含量均高于 5% Only proline corresponding to the 34th peak has over 5% content in crops of foragers from both habitats.

3 讨论

本研究结果表明,红火蚁觅食工蚁在两种生境中搬运固体残片为多种动物残片和植物种子,具有较广的食谱范围;在其固体残片中,节肢动物门昆虫纲动物为主要类群,占桑园及荒地的动物残片总

量的 91.17% 和 91.02%。以生物群落功能群分类时,在桑园及荒地的固体残片中,以生物群落功能群分类时,在桑园及荒地的固体残片中,属于有害类群的残片分别约占动物总量的 81.46% 和 65.50%,说明可直接捕食生境中的有害生物,减轻有害生物的为害,其又可能被作为生物防治资源利用;属于天敌类群的残片分别占总量的 11.47% 和 25.21%,其中

桑园及荒地的固体残片中,蜘蛛纲动物占总残片量的比例分别高达 2.94% 和 3.35%;膜翅目昆虫的也分别高达 2.50% 和 10.53%,还有部分蜻蜓目,说明红火蚁确实还可以直接捕食天敌类群生物,降低其自然控制作用。这种通过作用相同生态位的蚂蚁种类及数量间接地调节节肢动物群落变化。此外桑园及荒地的固体残片中,属于中性类群的残片分别占动物残片总量的 7.07% 和 7.09%。综上所述,入侵红火蚁的捕食对华南地区生物多样性存在潜在影响很大(吴碧球等, 2008; 高燕等, 2011),而且这种影响已在美国得到证实(Eubanks, 2001; Eubanks *et al.*, 2002; Morrison, 2002)。鞘翅目的瓢虫科、隐翅甲科、步甲科等也是天敌类群的主要种类,本结果分析尚未将以上昆虫类别包括在内,所以华南地区红火蚁对天敌类群的影响是被低估的。在本研究中,两种生境内红火蚁回巢搬运固体残片中,植物种子占总样量 5.32%,该结果与美国红火蚁搬运回巢的食物碎片中植物种子比例 4.8% 相近(Tennant and Porter, 1991),但 Wilson 和 Oliver(1969)的研究报道中植物种子只占总采样量的 1.5%,说明在不同生境中红火蚁对种子的取食率存在差异。

本研究表明,在觅食工蚁中,参与搬运动物固体残片工蚁的约 80% 的觅食工蚁个体属于中型、小型工蚁,主要完成大部分固体食物的搬运,只有约 5% 的大型工蚁个体是搬运体积较大或较重的残片,说明红火蚁觅食工蚁搬运固体残片存在分工。这种工蚁个体大小的多态型分布有利于红火蚁蚁群的资源竞争(仇小龙等, 2014)。再参照红火蚁对饵剂产品的选择性及颗粒大小的关系(Neff *et al.*, 2011)。因此,建议研制和施用的固体饵剂的颗粒适宜重量为 0.20 ~ 0.5 mg,颗粒直径最好为 1.0 ~ 1.85 mm。这些颗粒可被红火蚁蚁巢中占多数的中型工蚁搬运,有可能增加饵剂被搬运的效率(Hooper-Bùi *et al.*, 2002),从而提高防治效果。

红火蚁摄取的液体包含糖分、氨基酸和油脂,觅食工蚁将水溶性的液体储存在嗉囊中,并带回蚁巢,液体可不经 4 龄幼蚁处理就可被交哺给其他工蚁(Vinson, 1997)。研究表明,红火蚁觅食工蚁嗉囊液体的主要糖类有果糖和葡萄糖,而且其还富含 34 种氨基酸。这些营养物质可能来自生境中各种动植物资源,如动物体液、植物汁液、花蜜、同翅目昆虫蜜露等(Ricks and Vinson, 1972; Agnew *et al.*, 1982),红火蚁觅食工蚁摄取液体食物的比例远远高于搬运固体食物的数量(Tennant and Porter,

1991; 仇小龙等, 2014),但摄食液体工蚁个体大小与搬运固体残片的个体间无显著性差异(仇小龙等, 2014)。本研究为开发适用于田间红火蚁防治液体饵剂的改进提供科学依据。

新入侵红火蚁对中国华南生物多样性的潜在影响尚需多地多点调查验证;红火蚁觅食工蚁嗉囊中多种氨基酸或糖类的来源及消化过程也有待进一步实验证明。

参考文献 (References)

- Adams CT, Banks WA, Lofgren CS, Smittle BJ, Harlan DP, 1983. Impact of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera Formicidae) on the growth and yield of soybeans. *Journal of Economic Entomology*, 76(5): 1129 - 1132.
- Agnew CW, Sterling WL, Dean DA, 1982. Influence of cotton nectar on red imported fire ants and other predators. *Environmental Entomology*, 11(3): 629 - 634.
- Eubanks MD, 2001. Estimates of the direct and indirect effects of red imported fire ants on biological control in field crops. *Biological Control*, 21(1): 35 - 43.
- Eubanks MD, Blackwell SA, Parish CJ, DeLamar ZD, Hull-Sanders H, 2002. Intraguild predation of beneficial arthropods by red imported fire ants in cotton. *Environmental Entomology*, 31(6): 1168 - 1174.
- Gao Y, Lu LH, He YR, Qi GJ, Zhang JQ, 2011. Interference competition between the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren and two native ant species (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(5): 602 - 608. [高燕, 吕利华, 何余容, 齐国君, 张金强, 2011. 红火蚁与两种本地蚂蚁间的干扰竞争. *昆虫学报*, 54(5): 602 - 608]
- Hays SB, Hays KL, 1959. Food habits of *Solenopsis saevissima richteri* Forel. *Journal of Economic Entomology*, 52(3): 455 - 457.
- Heredia A, Detrain C, 2005. Influence of seed size and seed nature on recruitment in the polymorphic harvester ant *Messor barbarus*. *Behavioral Processes*, 70(3): 289 - 300.
- Hölldobler B, Wilson EO, 1990. *The Ants*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
- Hooper-Bùi LM, Appel AG, Rust MK, 2002. Preference of food particle size among several urban ant species. *Journal of Economic Entomology*, 95(6): 1222 - 1228.
- Huang SX, Chen XQ, Liu JW, Yang MF, Jiang SH, 2010. Bait selectivity of red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 37(7): 105 - 106. [黄胜先, 陈晓琴, 刘俊武, 杨茂发, 江世宏, 2010. 红火蚁饵料选择性研究. *广东农业科学*, 37(7): 105 - 106]
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M, 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. A Selection from the Global Invasive Species Database. The Invasive Species Specialist Group, World Conservation Union. Hollands Printing Ltd, New Zealand.
- Mirenda JT, Vinson SB, 1981. Division of labor and specification of castes in the red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren. *Animal*

- Behaviour, 29(2): 410–420.
- Morrison LW, 2002. Long-term impacts of arthropod-community invasion by the imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Ecology*, 83(8): 2337–2345.
- Neff R, Puckett RT, Gold RE, 2011. Particle size and bait preference of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 58(2): 473–486.
- Porter SD, Tschinkel WR, 1985. Fire ant polymorphism: the ergonomics of brood production. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 16(4): 323–336.
- Qiu XL, Zhang B, He YR, Gao Y, Chen T, Lu LH, 2014. Dietary preference and polymorphism of *Solenopsis invicta* foragers in China. *Journal of South China Agricultural University*, 35(6): 63–66. [仇小龙, 张波, 何余容, 高燕, 陈婷, 吕利华, 2014. 夏秋季红火蚁工蚁的觅食偏好性及与多态性的关系. 华南农业大学学报, 35(6): 63–66]
- Ricks BL, Vinson SB, 1972. Changes in nutrient content during one year in workers of the imported fire ant. *Annals of the Entomological Society of America*, 65(1): 135–138.
- Smittle BJ, Adams CT, Lofgren CS, 1983. Red imported fire ants: detection of feeding on corn, okra and soybeans with radioisotopes. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 18(1): 78–82.
- Tang QY, Feng MG, 2007. Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis, and Data Mining. Science Press, Beijing. [唐启义, 冯明光, 2007. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社]
- Tennant LE, Porter SD, 1991. Comparison of diets of two fire ant species (Hymenoptera: Formicidae): solid and liquid components. *Journal of Entomological Science*, 26(4): 450–465.
- Vinson SB, 1997. Invasion of red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): spread, biology, and impact. *American Entomologist*, 43(1): 23–39.
- Vogt JT, Grantham RA, Erica C, Rice SA, Wright RE, 2002. Dietary habits of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in four Oklahoma habitats. *Environmental Entomology*, 31(1): 47–53.
- Wang GH, Kou X, Zhang YB, Xue HZ, Yin MW, 2003. Chromatography analysis improvement in saccharides and amino acids. *Journal of Zhengzhou University*, 38(6): 966–967. [王桂红, 寇娟, 张雁冰, 薛华珍, 殷明文, 2003. 糖类及氨基酸层析分析法的改进. 郑州大学学报, 38(6): 966–967]
- Wang ZR, 1990. Farmland Weeds in China: A Collection of Colored Illuminative Plates. China Agriculture Press, Beijing. [王枝荣, 1990. 中国农田杂草原色图鉴. 北京: 中国农业出版社]
- Wilson NL, Oliver AD, 1969. Food habits of the imported fire ant in pasture and pine forest areas in southeastern Louisiana. *Journal of Economic Entomology*, 62(6): 1268–1271.
- Wu BQ, Lu YY, Zeng L, Liang GW, 2008. Influences of *Solenopsis invicta* Buren invasion on the native ant communities in different habitats in Guangdong. *Chinese Journal Applied Ecology*, 19(1): 151–156. [吴碧球, 陆永跃, 曾玲, 梁广文, 2008. 红火蚁入侵对广东多种生境中蚂蚁类群的影响. 应用生态学报, 19(1): 151–156]
- Xu YJ, Lu YY, Zeng L, Li ND, 2006. Attraction of several baits to workers of red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(6): 856–857. [许益鏊, 陆永跃, 曾玲, 李宁东, 2006. 几种饵料对红火蚁觅食者的引诱作用. 昆虫知识, 43(6): 856–857]
- Xu YJ, Zeng L, Lu YY, Liang GW, 2009. Food content of refuse piles of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Ecologica Sinica*, 29(11): 5792–5798. [许益鏊, 曾玲, 陆永跃, 梁广文, 2009. 红火蚁弃尸堆的食物结构. 生态学报, 29(11): 5792–5798]
- Yin LP, Yan YS, 1997. Pictorial Keys to Weed Seeds. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. [印丽萍, 颜玉树, 1997. 杂草种子图鉴. 北京: 中国农业科技出版社]
- Yin WY, 1998. Pictorial Keys to Soil Animal of China. Science Press, Beijing. [尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社]
- Zeng L, Lu YY, He XF, Zhang WQ, Liang GW, 2005. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(2): 44–48. [曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 张维球, 梁广文, 2005. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查. 昆虫知识, 42(2): 44–48]
- Zhang B, Lu LH, Chen J, Gao Y, Zhong F, Qi GJ, He YR, 2012. Dietary habits of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in mulberry field and wasteland in South China. *Guangdong Agricultural Sciences*, 39(9): 83–86. [张波, 吕利华, 陈健, 高燕, 钟锋, 齐国君, 何余容, 2012. 华南地区桑园和荒地生境内红火蚁食物组成的研究. 广东农业科学, 39(9): 83–86]
- Zhong JM, 1990. Taxonomy of Insect Larva. China Agriculture Press, Beijing. [钟觉民, 1990. 幼虫分类学. 北京: 农业出版社]

(责任编辑: 袁德成)