

不同饥饿程度的拟小食螨瓢虫成虫摄食 朱砂叶螨前后的运动格局变化*

陈俊谕^{1**} 马华博² 张方平¹ 韩冬银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, 海口 571101; 2. 海南大学环境与植物保护学院, 海口 570228)

摘要 【目的】对比分析饥饿和未饥饿的拟小食螨瓢虫 *Stethorus parapauperculus* 成虫取食朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 前后的运动格局变化, 为探明其搜索行为的生态学机制提供参考。【方法】基于 Nakamuta 装置原理, 跟踪并绘制拟小食螨瓢虫成虫取食前后的运动轨迹, 采用 ArcGIS 空间分析模块对运动轨迹进行处理, 获取其统计参数, 对比分析该瓢虫在两种状态下取食前后的搜索距离、搜索速度、搜索角度变化等特征, 并阐述其搜索行为特性。【结果】饥饿 24 h 和未饥饿瓢虫取食单头朱砂叶螨所需时间分别为 (5.99 ± 0.91) min 和 (2.25 ± 0.58) min。饥饿 24 h 的瓢虫在取食前多呈直线或锐角行走, 运动轨迹主要分布于试验区域近边缘处, 且各停点间曲线距离、搜索速度均大于取食后; 取食后掉头次数频繁, 活动角度转换增大, 运动轨迹主要在猎物附近区域进行搜索, 且在取食后 60~75 s 的搜索距离、搜索速度与取食前均存在显著差异。未饥饿状态瓢虫取食前后运动轨迹角度波动较大, 无明显规律, 且各停点间的曲线长度、搜索速度经 t 检验无显著差异。【结论】拟小食螨瓢虫成虫对猎物的搜索行为受其饥饿状态的影响。饥饿状态下, 取食前为广域型搜索, 取食后一段时间内为地域集中型搜索; 未饥饿状态下的瓢虫取食前后的搜索行为则无明显规律, 其搜索类型兼有广域和地域集中型搜索特征, 具有一定随机性。

关键词 拟小食螨瓢虫, 运动格局, 轨迹, ArcGIS

Changes in the movement patterns of adult *Stethorus parapauperculus* in response to starvation

CHEN Jun-Yu^{1**} MA Hua-Bo² ZHANG Fang-Ping¹ HAN Dong-Yin¹ FU Yue-Guan^{1***}

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China;

2. College of Environment and Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract [Objectives] To analyze changes in the movement patterns of starved and replete *Stethorus parapauperculus* in order to better understand the ecological mechanisms underlying the prey searching behavior of this species. [Methods] Based on the Nakamuta device, we tracked and plotted the movement trajectory of *S. parapauperculus* fed on *T. cinnabarinus*. The statistical parameters of tracked movements were obtained by spatial analysis techniques performed using ArcGIS 10.0. The searching distances, searching speeds, and changes in search angle of *S. parapauperculus* subject to different levels of starvation were analyzed comparatively, and prey searching behaviors characterized. [Results] Starved and replete *S. parapauperculus* needed (5.99 ± 0.91) and (2.25 ± 0.58) mins, respectively, to consume a single spider mite head. The starved *S. parapauperculus* usually moved in straight lines and acute angles, the trajectory of which was concentrated on the edges of the study area. The curved distances between track points and searching speeds were higher during the pre- than during the post-feeding period. After feeding, starved *S. parapauperculus* frequently turned around, and their turn angles were larger. The trajectory of *S. parapauperculus* was mainly distributed around prey. Pre- and post-feeding search distances and speeds of *S. parapauperculus* were significantly different. The search trajectory of replete *S. parapauperculus* fluctuated markedly between

* 资助项目 Supported projects: 南亚办项目 (14RZBC-15)

**第一作者 First author, E-mail: jychnen@163.com

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

收稿日期 Received: 2015-10-09, 接受日期 Accepted: 2015-12-07

pre- and post-feeding with no clear pattern. The curved length between track points and search speeds was not significantly different between pre- and post-feeding. **[Conclusion]** The prey searching behavior of *S. parapauperculus* is influenced by hunger. Starved *S. parapauperculus* tended to search extensively during the pre-feeding period, but concentrated their search effort in a smaller area after feeding. There was no consistent difference in the pre- and post-feeding prey searching behavior of replete *S. parapauperculus* with both extensive and localized searching tending to occur random.

Key words *Stethorus parapauperculus*, movement pattern, track ArcGIS

拟小食螨瓢虫 *Stethorus parapauperculus* (以下简称瓢虫) 是木薯、木瓜、橡胶、香蕉等经济作物上的重要食螨天敌。该瓢虫世代发育历期约为 29 d, 成虫寿命为 55~69 d, 产卵量最多可达 75 粒/雌, 且幼、成虫均可捕食不同虫态的叶螨 (林延谋和陈佩珍, 1984), 其中对二点叶螨 *Tetranychus urticae*、六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*、朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*、柑橘全爪螨 *Panonychus citri*、皮氏叶螨 *Tetranychus piercei* 等均具有较好的捕食能力 (林延谋和陈佩珍, 1984; 程立生等, 1989, 1990; 符悦冠等, 2007; 张方平等, 2010), 这对于田间重要作物上害螨的生物防治具有一定的潜在利用价值。天敌的行为是决定其田间控害效能的主要因素之一, 且与天敌昆虫在自然界中的生存和种间竞争能力等方面息息相关 (王俊刚等, 2004)。揭示捕食性天敌的搜索行为特性, 不仅有助于阐明其行为生态学机制, 进一步了解捕食者-猎物之间的相互关系, 也可作为优势天敌评估、进一步完善生物防治中天敌保护和利用方案提供理论依据。

大多数捕食性瓢虫在取食猎物后, 通常会改变其搜索方式以提高搜寻效率 (Nakamuta, 1982)。取食前, 瓢虫在水平方向上较为广阔的区域呈接近直线方向运动来搜索食饵, 即称为广域型搜索; 取食猎物后, 便在取食点处附近小范围区域内通过频繁转换运动方向、增加迂回次数, 从而提高搜索效率的行为, 则称为地域集中型搜索 (王根, 1991)。关于捕食性瓢虫的搜索行为研究已有相关报道, 如二星瓢虫 *Adalia bipunctata* 在捕食蚜虫前搜索轨迹为松散的曲线, 捕食后为迂回曲折的复杂曲线 (Banks, 1957); 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 和多异瓢虫 *Adonia*

variegata 取食前均为广域型搜索, 取食后一段时间内为地域集中型搜索 (Nakamuta, 1982; 邹运鼎等, 1996; 王俊刚等, 2004); 通过不同的食饵刺激, 能激发龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 的搜索行为由广域型搜索向地域集中型搜索转换 (邹运鼎等, 1991)。这种复杂的搜索行为在寄生蜂、鸟类和植食性昆虫中同样也有佐证 (王根, 1991)。本研究以饥饿和未饥饿状态的拟小食螨瓢虫成虫为研究对象, 基于传统的昆虫学行为研究方法, 引入 GIS 的空间分析技术手段, 对比分析了其取食朱砂叶螨前后的运动格局变化, 以为进一步研究该瓢虫搜索行为的生态学机制提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试拟小食螨瓢虫和朱砂叶螨均采自中国热带农业科学院环境与植物保护研究所基地温室大棚, 温度为 25~29℃, 自然光照条件。瓢虫成虫分别置于人工气候箱内进行饥饿 24 h 和提供充足的朱砂叶螨喂食 24 h 两组处理, 温度为 (26±1)℃, RH 75%±5%, 光周期 14L:10D。挑选正常发育且个体大小一致的朱砂叶螨雌成螨作为猎物备用。

1.2 试验条件

试验在室内进行, 环境温度为 23~26℃, 光照强度为 200~230 lx, 试验时间 9:00—17:00。

1.3 试验方法

参考 Nakamuta (1982) 设计装置。选取直径 15 cm、高 1.5 cm 的玻璃培养皿, 在培养皿中心处投入经处理的瓢虫成虫一头, 采用保鲜膜封

口,并于培养皿正上方进行观测。用秒表开始计时,待 1 min 后,以此时瓢虫所处位置作为第一个停点,每间隔 15 s 作为一个停点,用记号笔在保鲜膜上跟踪描绘其运动轨迹,并标注其停点的先后顺序,共观察 3 min。然后在试虫旁投入一头雌成螨令其取食,记录瓢虫取食叶螨所需时间,待取食 1 头猎物完毕后,以摄食点作为取食后的第一个停点,从摄食点开始跟踪描绘其取食后的运动轨迹,每 15 s 作为一个停点,再次观察 3 min。每次试验共计记录 26 个停点,取食前、后分别为 13 个,重复 10 次。

1.4 数据处理

试验完成后,收集描绘有瓢虫运动轨迹的保鲜膜,分别将其平展于 A4 坐标纸上并进行扫描。采用 ArcGIS 10.0 软件分别对获取的轨迹扫描图进行配准,并进行矢量化处理,生成运动轨迹和轨迹点的数字化图。利用 ArcGIS 空间分析模块计算该瓢虫在不同处理下取食前后的轨迹相邻停点间的曲线和直线距离,并生成轨迹点叠加的空间分布图。

数理统计采用 SPSS 20.0 完成,对饥饿和未饥饿状态瓢虫在取食前后的搜索距离、搜索速度进行配对 t 检验。图件采用 ArcGIS 10.0 和 Excel 2007 绘制。

2 结果与分析

2.1 搜索轨迹分布

瓢虫取食前后搜索轨迹(其中两例)如图 1 所示,其取食前后的运动轨迹与饥饿程度有关。饥饿 24 h 的瓢虫在取食前其搜索轨迹主要在试验区域内沿周边分布;取食后的搜索轨迹逐渐向小范围区域转变。未饥饿瓢虫取食前后搜索轨迹分布则界于前两者之间。将两种状态的所有试虫取食前后记录的轨迹点分别进行叠加(图 2),结果表明,饥饿状态下,取食前后的轨迹点分布存在差异,取食前后 A 区域轨迹点分布比例分别为 89%和 69%,其中取食前 A 区域的轨迹点主要沿周边分布,取食后的轨迹点在该区域范围内则分布相对均匀;而未饥饿的瓢虫取食前后搜索轨迹停点则无明显规律,其活动范围较为广

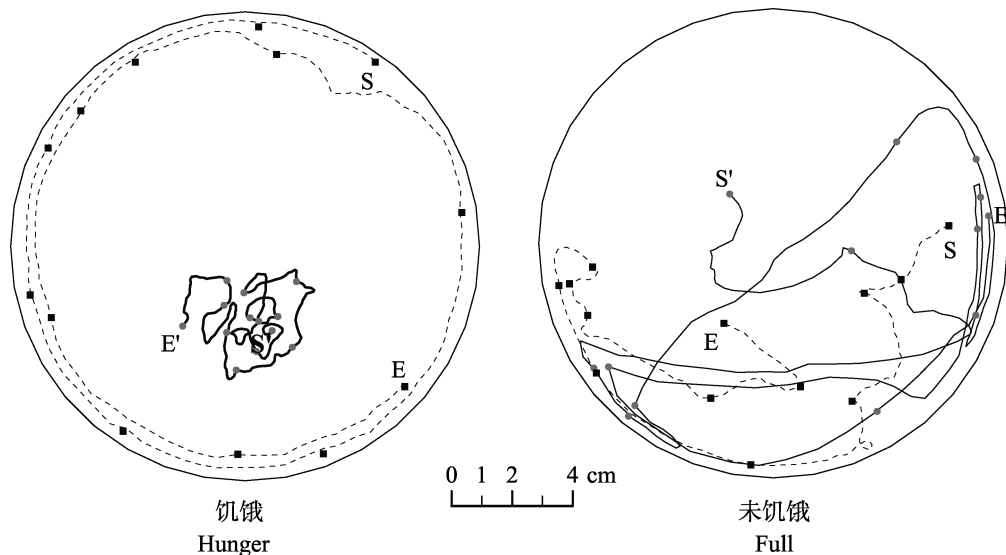


图 1 取食前后搜索轨迹
Fig. 1 Searching track of *Stethorus parapauperculus*

----■---- 取食前 —●— 取食后

S: 取食前搜索起点; E: 取食前 180 s 处停点; S': 取食点; E': 取食后 180 s 处停点。

----■---- Before feeding —●— After feeding

S: First track point before feeding; E: The track point at 180 s before feeding; S': Feeding point;

E': The track point at 180s after feeding.

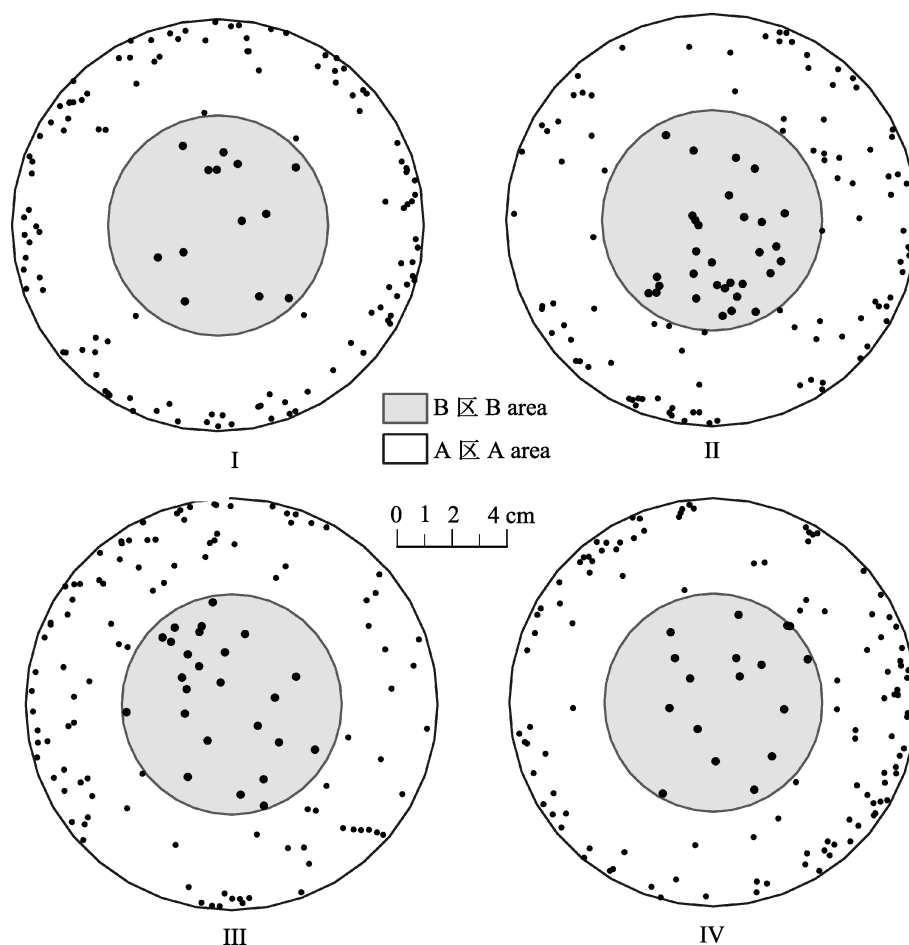


图 2 取食前后搜索区域轨迹点分布图

Fig. 2 Distribution of track points of *Stethorus parapauperculus* in searching area

I : 饥饿 24 h 处理的瓢虫取食前; II : 饥饿 24 h 处理的瓢虫取食后; III : 未饥饿的瓢虫取食前;
IV : 未饥饿的瓢虫取食后。

I : Before feeding of hunger state; II : After feeding of hunger state; III: Before feeding of full state;
IV: After feeding of full state.

泛, 取食前后在 A、B 区域内的轨迹点分布均相对均匀。

2.2 搜索距离变化

饥饿 24 h 处理的瓢虫在取食前各停点间的曲线长度距离均大于取食后, 对取食前后各停点间曲线长度进行 t 检验, 在取食前后 60~75 s 间的曲线长度存在极显著差异 ($t=3.261 < t_{0.05}$, $P < 0.05$), 取食前为取食后的 1.95 倍, 其余则不显著 (表 1)。说明饥饿状态的瓢虫在取食后 60~75 s 期间通过缩短搜索距离来提高搜索效率。未饥饿状态的瓢虫则与上述相反, 表现为取食后各停点间的曲线长度略高于取食前, 但均无显著差

异, 说明未饥饿的瓢虫其搜索距离与取食前、后关系不大。

为比较不同饥饿处理对瓢虫搜索距离的影响, 将饥饿和未饥饿的瓢虫取食前各停点间的曲线长度进行 t 检验 (表 1), 结果表明, 饥饿与否对取食前各停点间的搜索距离影响不显著; 取食后的 t 检验结果可以看出, 饥饿与未饥饿的瓢虫在 60~75 s 处搜索距离差异显著, 说明相比较未饥饿的瓢虫而言, 饥饿状态下的瓢虫在取食后 60~75 s 会通过缩短搜索距离以此提高搜索效率。

2.3 取食所需时间和搜索速度

饥饿与未饥饿瓢虫取食单头朱砂叶螨所需

表 1 轨迹停点间的距离和 *t* 检验结果
Table 1 The curve distances between track points and *t* test

时间 Time (s)	各停点间曲线长度 (cm) [†]				停点间曲线长度 <i>t</i> 检验值 ^{††}			
	The curve distance between track points				<i>t</i> test of distance between track points			
	饥饿 Hunger		未饥饿 Full		取食前后 Before and after feeding		饥饿与未饥饿 Hunger and full	
	取食前 Before feeding	取食后 After feeding	取食前 Before feeding	取食后 After feeding	饥饿 Hunger	未饥饿 Full	取食前 Before feeding	取食后 After feeding
0-15	6.15±0.71	5.43±1.21	4.12±0.57	7.72±1.47	0.453	2.235	1.719	1.107
15-30	6.42±0.55	5.15±0.50	5.68±1.78	6.97±0.80	1.508	0.530	0.391	1.823
30-45	6.09±0.90	5.34±0.55	5.99±0.62	6.42±0.90	0.690	0.404	0.095	0.895
45-60	7.38±1.02	5.35±0.89	6.07±1.14	8.49±1.22	1.818	1.280	0.998	1.796
60-75	8.47±0.78	4.35±1.14	6.34±0.72	6.72±0.76	3.261	0.290	1.859	2.772
75-90	6.31±1.19	5.88±0.91	6.32±1.15	6.58±1.04	0.292	0.174	0.003	0.520
90-105	7.99±1.30	6.86±0.93	5.97±0.80	7.78±1.45	1.215	1.103	1.380	0.532
105-120	7.60±1.18	5.61±0.78	5.08±0.96	6.59±1.22	1.239	1.284	1.372	0.611
120-135	6.78±1.14	5.53±0.92	5.40±1.40	6.47±1.33	0.737	0.571	0.651	0.643
135-150	6.60±1.13	6.45±0.69	5.30±1.05	7.93±1.39	0.129	1.494	0.982	0.903
150-165	6.38±0.92	5.93±1.10	4.63±0.75	6.98±1.09	0.323	1.532	1.495	0.561
165-180	6.66±0.93	6.13±0.91	5.04±1.02	7.02±1.24	0.328	1.115	1.150	0.512

[†]平均值±标准误；^{††} *df*=9, *t*_{0.05}=2.26, *t*_{0.01}=3.25。下表同。

[†] Average ± SE. ^{††} *df*=9, *t*_{0.05}=2.26, *t*_{0.01}=3.25. The same as below.

时间存在差异 (图 3), 饥饿处理下其取食时间高于未饥饿状态, 其取食时间分别为 (5.99±0.91) min 和 (2.25±0.58) min, 表明饥饿状态下的瓢虫需要多耗费约 2.7 倍的时间来完成对猎物的取食。

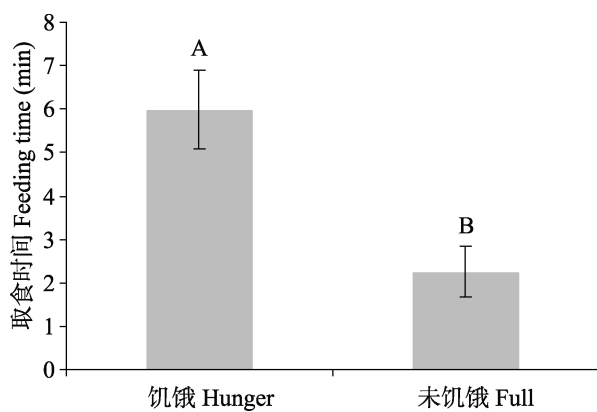


图 3 拟小食螨瓢虫取食单头猎物所需时间
Fig. 3 Feeding time of *Stethorus parapauperculus* to a prey
图中大写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Different uppercase letters indicated significant difference at 0.05 level.

瓢虫取食前后的搜索速度对比结果 (表 2) 表明, 饥饿处理 24 h 的瓢虫取食前搜索速度均大于其取食后, 取食前停点间的搜索速度为取食后的 (1.25±0.25) 倍, 其中除 60~75 s 时取食前后搜索速度差异达极显著水平 (*t*=3.271>*t*_{0.05}, *P*<0.05), 其余停点间无显著差异。未饥饿处理的瓢虫取食前后的搜索速度对比与饥饿处理的结果相反, 表现为取食后的搜索速度为取食前的 (1.32±0.24) 倍, 然而对应的停点间搜索速度无显著差异 (表 2)。表明饥饿状态的瓢虫在取食后 60~75 s 通过降低搜索速度以此来提高搜索效率, 而饱食状态瓢虫的搜索速度与其取食前、后关系不大。

为比较饥饿与未饥饿对搜索行为的影响, 将两者的搜索速度进行比较, 结果表明, 在取食前饥饿处理的瓢虫搜索速度均比未饥饿的快, 但其差异不显著; 而在取食后, 饥饿处理的搜索速度较未饥饿的慢, 并且在取食后 60 s 和 75 s 停点间

表 2 轨迹停点间平均搜索速度和 t 检验结果
Table 2 The average searching speeds between track points and t test

时间 Time (s)	各停点间搜索速度 (cm/s) [†] The searching speeds between track points				停点间搜索速度 t 检验值 ^{††} t test of searching speeds between track points			
	饥饿 Hunger		未饥饿 Full		取食前后 Before and after feeding		饥饿与未饥饿 Hunger and full	
	取食前 Before feeding	取食后 After feeding	取食前 Before feeding	取食后 After feeding	饥饿 Hunger	未饥饿 Full	取食前 Before feeding	取食后 After feeding
	Before feeding	After feeding	Before feeding	After feeding	Hunger	Full	Before feeding	After feeding
0-15	0.41±0.05	0.36±0.08	0.27±0.04	0.51±0.10	0.456	2.241	1.701	1.124
15-30	0.43±0.04	0.34±0.03	0.38±0.12	0.46±0.05	1.512	0.533	0.394	1.844
30-45	0.41±0.06	0.36±0.04	0.40±0.04	0.43±0.06	0.646	0.382	0.044	0.873
45-60	0.49±0.07	0.36±0.06	0.40±0.08	0.57±0.08	1.822	1.296	1.035	1.799
60-75	0.56±0.06	0.29±0.08	0.42±0.05	0.45±0.05	3.271	0.288	1.854	2.768
75-90	0.42±0.08	0.39±0.06	0.42±0.08	0.44±0.07	0.274	0.182	0.017	0.526
90-105	0.53±0.09	0.46±0.06	0.40±0.05	0.52±0.10	1.223	1.134	1.384	0.559
105-120	0.51±0.08	0.37±0.05	0.34±0.06	0.44±0.08	1.224	1.282	1.368	0.605
120-135	0.45±0.08	0.37±0.06	0.36±0.09	0.43±0.09	0.731	0.547	0.649	0.614
135-150	0.44±0.08	0.43±0.05	0.35±0.07	0.53±0.09	0.127	1.520	0.998	0.909
150-165	0.43±0.06	0.40±0.07	0.31±0.05	0.47±0.07	0.323	1.541	1.486	0.563
165-180	0.44±0.06	0.41±0.06	0.34±0.07	0.47±0.08	0.326	1.124	1.161	0.518

的搜索速度存在显著差异 ($t=2.768>t_{0.05}$, $P<0.05$), 表明饥饿与否对取食后的 60 s 到 75 s 之间的搜索速度有显著影响。

2.4 搜索轨迹的角度变化

为求得瓢虫的运动轨迹角度变化, 拟定比值 f_x 为各停点间实际曲线长度与两点间的直线距离比值。假设以下两种情况, 一种是当瓢虫呈直

线行走时, 即角度为 0, 则 $f_x=1$; 另一种是当瓢虫向完全相反方向行走时, 两停点重叠, 即角度为 180° 时, 则 $f_x=+\infty$ 。即 f_x 范围为 $1\sim+\infty$, 因此两者比值越大, 说明瓢虫的运动轨迹角度转换越大。

结果表明 (图 4), 饥饿 24 h 的瓢虫取食前角度变化幅度较小, 运动轨迹主要呈直线或锐角行走, f_x 值范围为 $1.09\sim1.78$; 而取食后, 比值增大, 角度转换增大, 运动轨迹出现掉头次数频

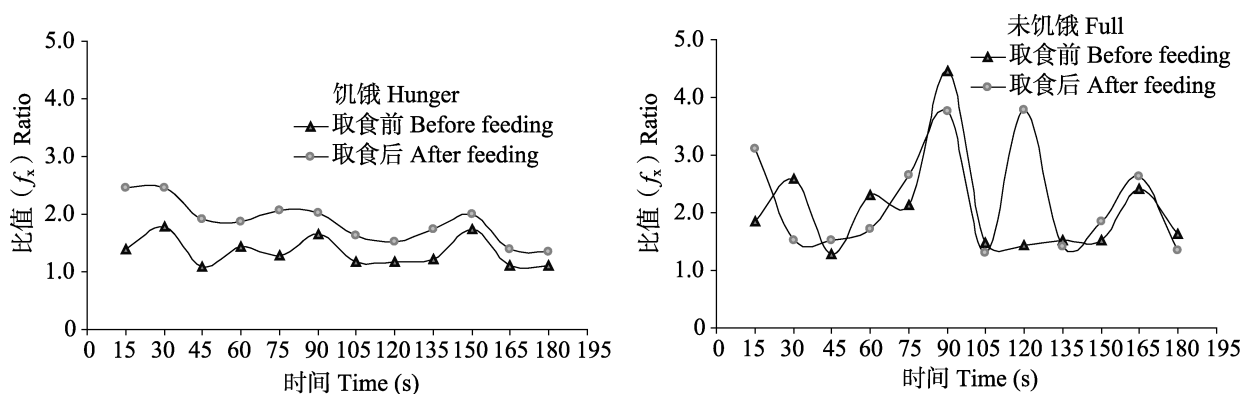


图 4 瓢虫取食前后搜索轨迹各停点间平均角度变化差异
Fig. 4 Comparisons of the average curvilinear angle between track points of *Stethorus parapauperculus* before and after feeding

繁,但总体上角度变化较为平缓, f_x 比值分布在 1.35~2.45。说明取食前瓢虫为广域型搜索,取食后则为地域集中型搜索;未饥饿处理的瓢虫在取食前后的运动角度转换则无明显规律, f_x 比值为 1.28~4.45,其搜索类型介于广域与地域集中型搜索之间。

为更清楚地比较饥饿与未饥饿对搜索角度的影响,将对比结果示于图 5。取食前,饥饿处

理的瓢虫较未饥饿的搜索角度总体变化幅度小,未饥饿瓢虫各停点间角度变化分别为饥饿处理的 1.32、1.44、1.73、1.62、1.66、2.68、1.27、1.22、1.26、0.87、2.17、1.46 倍;取食后,饥饿处理的搜索角度变化较为均匀且平缓,而未饥饿的瓢虫搜索角度则有较大的波动,各停点间角度分别为饥饿处理的 1.27、0.62、0.80、0.92、1.29、1.87、0.80、2.47、0.82、0.92、1.90、0.99 倍。

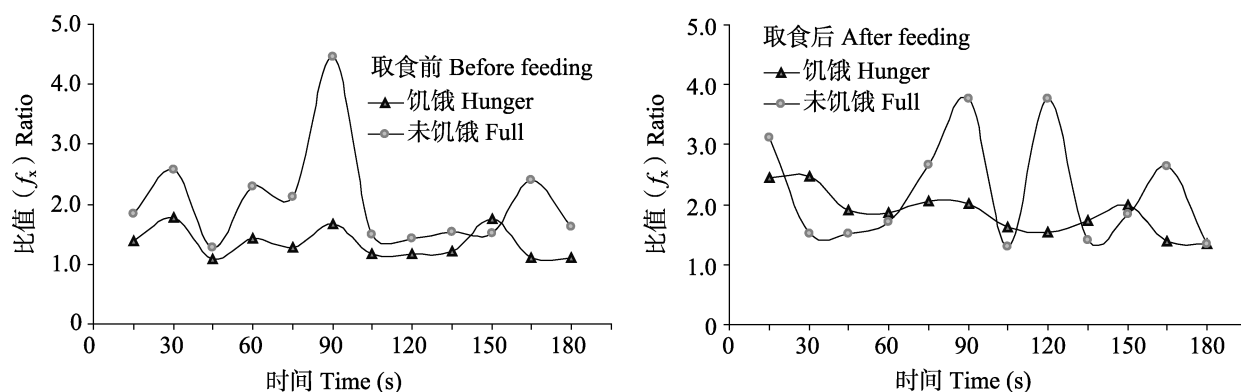


图 5 不同饥饿处理瓢虫的运动轨迹各停点间平均角度变化差异
Fig. 5 Comparisons of the average curvilinear angle between track points under different hunger states of *Stethorus parapauperculus*

3 讨论与展望

3.1 GIS 空间分析在瓢虫搜索行为研究中的应用

前人对昆虫搜索行为中运动轨迹的研究多通过人为测量或采用曲线计的方法来获取昆虫运动轨迹的曲线距离、运动角度变化等参数 (Nakamuta, 1982; 邹运鼎等, 1996; 王俊刚等, 2004), 这势必难以避免的引入了手动测量的误差, 并且不能实现将多次观测结果进行叠加处理后进行轨迹点的分布特征分析。本研究首次将基于 GIS 空间分析的方法引入昆虫行为轨迹研究中, 较好地实现了在昆虫行为轨迹空间配准基础上的数字化处理, 形成昆虫运动轨迹的矢量化文件, 这不仅方便的实现了点和线的空间属性分析 (如: 曲线长度、停点间距离、特定区域的停点数量等参数的获取), 还可将多次观测获取的昆虫运动轨迹或轨迹点进行叠加, 有效确保了数据信息的完整性和准确性, 这对于有效识别昆虫运动规律特征具有重要意义。

3.2 饥饿和未饥饿瓢虫的搜索行为特征

瓢虫的搜索行为与其饥饿与否关系紧密。饥饿状态下, 拟小食螨瓢虫在取食前表现为广域搜索, 在其取食猎物后则转变为地域集中型搜索为主, 表现为取食后的搜索角度较取食前变换频繁, 这可能是瓢虫在饥饿状态下为提高其搜寻效率而采取的特定行为机制, 这与前人对七星瓢虫、龟纹瓢虫和异色瓢虫的研究结果类似 (Nakamuta, 1982; 邹运鼎等, 1991, 1997)。饥饿状态下的瓢虫在取食前搜寻轨迹曲线长度均大于取食后, 但仅在 60 s 和 75 s 间存在显著差异 ($P < 0.05$), 表现为瓢虫取食后会在其捕获到前一头猎物的附近区域进行频繁掉头迂回搜索, 这说明瓢虫会通过改变其搜寻策略 (如缩短搜索距离、降低搜索速度) 来提高猎物搜索效率。此外, 瓢虫取食前后的运动轨迹也可能与其猎物 (叶螨) 在叶片上的聚集分布特点有关 (王俊刚等, 2004)。未饥饿状态的瓢虫在取食前后的运

动轨迹均无明显规律, 且各相邻停点间的搜寻角度亦有较大波动, 其搜索类型总体表现为介于广域和地域集中型搜索之间, 其运动轨迹具有一定随机性。这可能是瓢虫在未饥饿状态时, 其体内能量维持在较高水平, 推测瓢虫的运动动机并非仅为搜寻和取食猎物。同时, 根据最优捕食理论, 其为了获取最大的净收益维持生存, 瓢虫又需加快进行搜索活动, 从而更多摄食猎物以维持体内能量 (罗宏伟等, 2006), 这对于拟小食螨瓢虫在田间发挥其对叶螨的控制作用具有重要意义。

3.3 地域集中型与广域搜索间的转换

当瓢虫在有限时间内不能继续发现下一个猎物时, 它将放弃对该区域的搜索, 地域集中型搜索将再次转换为广域搜索, 该时间则称之为放弃时间 (GUT, Giving up time)。邹运鼎等 (1991) 认为, 瓢虫的空腹度越高, GUT 越长。研究表明, 龟纹瓢虫幼虫取食一头蚜虫后的 GUT 为 25.04 s (邹运鼎等, 1991); 七星瓢虫在取食后进行地域集中型搜索的维持时间为 72 s (Marks, 1977)。本研究主要观察并分析了拟小食螨瓢虫在取食后 180 s 内的运动轨迹特征, 暂未涉及其 GUT 和激发因子等方面的研究。由于 GUT 也是天敌最佳捕食战略研究中不可或缺的重要参数, 因此, 下一步将对拟小食螨瓢虫取食后的地域集中型搜索的 GUT 进行界定, 以便进一步了解其搜索行为之间的互相转换机制。

参考文献 (References)

- Banks CJ, 1957. The behavior of individual coccinellid larvae on plants. *The British Journal of Animal Behaviour*, 5(1): 12–24.
- Cheng LS, Liu JC, Song GM, 1989. Studies of predation of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 10(2): 99–105. [程立生, 刘君成, 宋国敏, 1989. 拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨捕食作用的研究. 热带作物学报, 10(2): 99–105.]
- Cheng LS, Han YG, Lei JL, 1990. Studies on predation of *Stethorus parapauperculus* to *Panonychus citri*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 11(2): 113–118. [程立生, 韩玉贵, 雷建林, 1990. 拟小食螨瓢虫成虫对柑橘全爪螨的捕食作用. 热带作物学报, 11(2): 113–118.]
- Fu YG, Geng ZL, Zhang FP, Jin QA, Wu WJ, 2007. Effects of temperature on predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adults. *Chinese Journal of Ecology*, 26(9): 1397–1401. [符悦冠, 耿召良, 张方平, 金启安, 吴伟坚, 2007. 温度对拟小食螨瓢虫捕食皮氏叶螨成螨功能反应的影响. 生态学杂志, 26(9): 1397–1401.]
- Lin YM, Chen PZ, 1984. Preliminary observation of biological characteristics of *Stethorus parapauperculus* P. *Natural Enemies of Insects*, 6(3): 126–128. [林延谋, 陈佩珍, 1984. 拟小食螨瓢虫生物学特性初步观察. 昆虫天敌, 6(3): 126–128.]
- Luo HW, Huang J, Wang ZH, 2006. Observation of predatory of behavior of *Delphastus catalinae* on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 22: 14–16. [罗宏伟, 黄建, 王竹红, 2006. 小黑瓢虫捕食行为的观察. 中国生物防治学报, 22(增刊): 14–16.]
- Marks RJ, 1977. Laboratory studies of plant searching behavior by *Coccinella septempunctata* L. larvae. *Bulletin of Entomological Research*, 67(2): 235–241.
- Nakamuta K, 1982. Switchover in searching behavior of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) caused by prey consumption. *Applied Entomology and Zoology*, 17(4): 501–506.
- Wang G, 1991. The foraging behavior of predatory ladybug. *Chinese Bulletin of Entomology*, 28(5): 316–319. [王根, 1991. 捕食性瓢虫的觅食行为. 昆虫知识, 28(5): 316–319.]
- Wang JG, Wang G, He DF, Yang DS, Ji H, 2004. Searching behavior of *Hippodamia (Adonia) variegata* (Goeze). *China Cotton*, 31(6): 18–19. [王俊刚, 王钢, 贺福德, 杨德松, 姬华, 2004. 北疆棉区多异瓢虫搜索行为的研究. 中国棉花, 31(6): 18–19.]
- Zhang FP, Han DY, Zhang JB, Fu YG, 2010. Predation of *Stethorus parapauperculus* on *Eotetranychus sexmaculatus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1236–1239. [张方平, 韩冬银, 张敬宝, 符悦冠, 2010. 拟小食螨瓢虫捕食六点始叶螨的初步观察. 昆虫知识, 47(6): 1236–1239.]
- Zou YD, Xu GC, Wang Y, Tang SH, Chen GC, 1991. Food searching behavior of nymphs of *Propylea japonica*. *Acta Entomologica Sinica*, 34(4): 391–397. [邹运鼎, 徐光财, 王勇, 唐世湖, 陈高潮, 1991. 龟纹瓢虫幼虫的食物搜索行为. 昆虫学报, 34(4): 391–397.]
- Zou YD, Geng JG, Ji J, Meng QL, Chen GC, Sun SH, 1996. Area-restricted searching behavior of *Harmonia axyridis* imagoes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 7(1): 56–60. [邹运鼎, 耿继光, 季近, 孟庆雷, 陈高潮, 孙时荒, 1996. 异色瓢虫成虫的限域搜索行为. 应用生态学报, 7(1): 56–60.]
- Zou YD, Meng QL, Geng JG, Chen GC, Wang GM, 1997. Area-restricted searching behavior of nymphs of *Harmonia axyridis*. *Acta Ecologica Sinica*, 17(2): 145–150. [邹运鼎, 孟庆雷, 耿继光, 陈高潮, 王公明, 1997. 异色瓢虫若虫的限域搜索行为. 生态学报, 17(2): 145–150.]