

爪哇扁头猛蚁(*Ectomomyrmex javanus* (Mayr))觅食 活动规律研究

潘星燃,南小宁,郭新荣,贺虹*

(西北农林科技大学 林学院,西部森林生物灾害治理国家林业和草原局重点实验室,陕西 杨陵 712100)

摘要:为了研究爪哇扁头猛蚁(*Ectomomyrmex javanus* (Mayr))的觅食活动规律及其食性,探查其觅食活动与环境温湿度的相互关系,采用陷阱诱集法统计不同季节、不同时段外出觅食工蚁的数量,分析环境温湿度与其觅食活动季节动态和日动态的相关性,并通过分析其捕获食物种类确定其食性。结果表明,爪哇扁头猛蚁觅食的季节动态与环境温度、湿度均显著相关($P < 0.01$),夏季是其觅食的高峰时期,秋季开始下降,冬季停止外出觅食,4月再次开始觅食活动;其觅食的日动态在一定范围内与环境温度显著相关($P < 0.01$),但与湿度相关性不显著;一天中8:00是其工蚁外出觅食的高峰期,随着环境温度的上升,其觅食活动开始减少,直到傍晚温度降低时,其觅食活动开始增加。爪哇扁头猛蚁主要取食节肢动物尸体,表现为肉食性。

关键词:爪哇扁头猛蚁;觅食活动规律;温度;相对湿度;取食类型

中图分类号:S763.303

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)06-0147-05

Foraging Activity Rhythms of *Ectomomyrmex javanus* (Mayr)

PAN Xing-ran, NAN Xiao-ning, GUO Xin-rong, HE Hong*

(College of Forestry, Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Management of Forest Bio-Disaster, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: The objectives of this study were to study the foraging activities and feeding habits of *Ectomomyrmex javanus* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae), as well as the relationships between its foraging activity and environmental temperature and humidity. The trapping method was adopted to investigate the number of foraging workers that went out for food in different seasons and different periods of time. Based on the recorded results, we made an analysis on the relativity between the environmental temperature and humidity and seasonal and daily foraging activity of *E. javanus*. In addition, the feeding habit of *E. javanus* was examined by classifying the food they captured. It was found that seasonal foraging activity of *E. javanus* had significantly close relationships with environmental temperature and humidity ($P < 0.01$). The seasonal foraging activity peaked in summer, and the number began to decrease in autumn, which continued all the way to winter when they completely stopped foraging. The activity would begin again in the next April. In summer, the daily foraging activity of *E. javanus* was apparently related to environmental temperature within certain range of temperature ($P < 0.01$), yet had a less connectivity with humidity. The peak of foraging occurred at 8:00 in the morning, and the frequency began to decrease with the rise of environmental temperature until dusk when they started the food searching activity again. Since *E. javanus* mainly feed on the arthropods bodies, a conclusion was made that *E. javanus* was a carnivore.

Key words: *Ectomomyrmex javanus* (Mayr); foraging activity; temperature; relative humidity; food type

收稿日期:2018-12-27 修回日期:2019-04-22

基金项目:国家自然科学基金项目(31070342,31570388);林业公益性行业科研专项(201404302-4)。

作者简介:潘星燃,男,硕士在读,研究方向:森林昆虫学。E-mail:xingran@nwfufu.edu.cn

*通信作者:贺虹,女,教授,博士生导师,研究方向:森林昆虫学。E-mail:hehong@nwsuaf.edu.cn

蚂蚁是昆虫纲 Insecta 膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae 昆虫的通称,是地球上分布最广泛、数量最多的社会性昆虫^[1-2]。蚂蚁亦是变温动物,常常在土壤、枯落物、朽木等环境中筑巢,工蚁外出在地表觅食,对于蚁巢周围环境的变化非常敏感,环境的变化也会直接影响到其筑巢和觅食活动,已被用于生态环境变化的主要生物指示物种^[3-5]。蚂蚁的分布及其行为活动是对复杂多变的外界环境的长期适应,不同地区的地理环境、植被、气候条件决定了相关蚂蚁的食性及活动规律^[6-7],深入了解这些活动规律以及对环境因子的生态反应,有助于揭示蚂蚁生命活动与环境变化的联系,为生态系统的保护和评价提供基本信息。

我国蚁科昆虫的分布从南到北种类和数量逐渐减少,并体现在亚科的分布上。《中国蚂蚁》记录蚁科 9 个亚科^[2],而在西北地区,仅发现分布有 3~4 个亚科,蚁亚科 Formicinae、切叶蚁亚科 Myrmicinae、臭蚁亚科 Dolichoderinae 分布比较普遍,但猛蚁亚科 Ponerinae 至今在宁夏、内蒙古、青海和新疆没有报道,在陕西也仅报道有 3 种猛蚁^[8-10],这可以看出猛蚁的分布和活动更容易受气候因素的制约和影响。猛蚁是蚁科中最为原始的类群,工蚁单型,蚁巢较小,可捕食各类昆虫和小型节肢动物,是一类潜在的捕食性天敌昆虫,对于维护生态平衡起着重要作用^[2,11]。国内在猛蚁分类学方面进行了较为深入的研究^[12-15],但是对于猛蚁的行为生态学研究较少^[16]。

爪哇扁头猛蚁 *Ectomomyrmex javanus* (Mayr) 是在中国分布较为广泛的一种土栖肉食性蚂蚁,该种长期被归属于厚结猛蚁属 *Pachycondyla*,又被称为敏捷扁头猛蚁或敏捷厚结猛蚁 (*Pachycondyla astuta* Smith)^[8,12]。Schmidt and Shattuck^[11] 重新恢复扁头猛蚁属 (*Ectomomyrmex*),将该种从厚结猛蚁属 (*Pachycondyla*) 划分至扁头猛蚁属。该蚂蚁的相关研究较少,Wang Chu 等^[17] 对其颊下囊的形态和超微结构进行了研究。爪哇扁头猛蚁的蚁巢小而简单,每巢工蚁数量 10~20 只,野外观察发现环境温度、湿度对其筑巢和觅食活动影响较大。本研究以爪哇扁头猛蚁为例,研究该种蚂蚁在陕西省杨凌地区的觅食活动,包括季节性活动规律、日活动规律以及采集食物类型,分析其觅食活动与季节变化、生境温湿度间的关系,为猛蚁亚科蚂蚁行为生态学的研究提供基础信息。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域选择陕西省杨凌农业示范区,位于关

中平原西部,地处 107°59′—108°09′E,34°14′—34°24′N,海拔 418~540 m。全区属暖温带季风区半湿润气候,四季分明,冬夏较长,春秋气温升降急骤,雨量集中在 7—9 月,年均气温 12.9℃,极端最高气温 42℃,最低气温 -19.4℃,全年无霜期 221 d,年均日照 2 163.8 h,年均降水量 637.6 mm,干燥度 1.56。爪哇扁头猛蚁主要分布于城区、城郊植被密集的区域。

1.2 研究方法

通过野外调查,首先确定爪哇扁头猛蚁活动的区域,参考 F. Osborn 等^[18] 的方法,选取 3 个样地 (A 点 34°15′44″N,108°3′41″E、B 点 34°15′50″N,108°4′2″E 和 C 点 34°15′46″N,108°4′7″E),在每个样地附近分别埋置 3 个直径 7.5 cm、高 9 cm 的塑料杯,杯口与地面齐平,杯内加入等量的火腿肠,杯口保持开放作为陷阱。从 2016 年 7 月至 2017 年 6 月,每月中旬选择天气晴朗的连续 3 d,埋设陷阱后,从 8:00—20:00 每隔 2 h 记录 1 次陷阱内的工蚁数量,同时用 Parrot Flower Power 传感器(法国制造)测定蚁巢的温度和湿度,用于分析爪哇扁头猛蚁的活动规律与环境温湿度的关系。

在爪哇扁头猛蚁蚁巢附近,跟踪外出觅食的工蚁,观察和截获其携带的食物,带回实验室进行分类、鉴定和统计,分析其采集食物的类型。

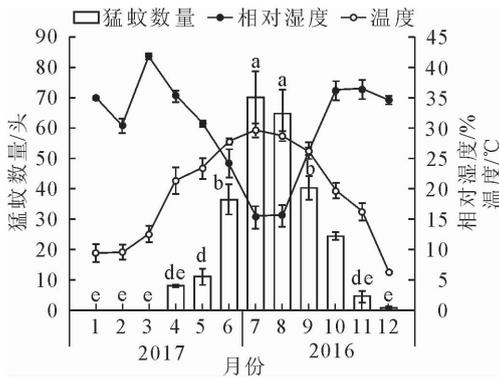
调查所得数据用 Microsoft Excel 进行数据处理,利用 Origin 9.0 作图,用 SPSS 23.0 对相关数据进行方差和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 爪哇扁头猛蚁觅食活动的季节动态

通过统计和分析不同月份爪哇扁头猛蚁外出觅食工蚁的数量。从图 1 可以看出,该种蚂蚁觅食活动呈现明显的季节性规律。春季(4—6 月),随气温的升高,工蚁外出觅食活动数量有明显的上升,其中 4 月诱集到的工蚁数日均为(8.0±0.3)头/杯,5 月为(11.0±2.7)头/杯,6 月为(36.4±5.0)头/杯。夏季(7—8 月),工蚁觅食活动最为旺盛,日均诱集工蚁数量均超过 60.0 头/杯;秋季(9—11 月),随着气温下降,相对湿度升高,诱集到的工蚁数量逐渐减少,其中 9 月日均诱集到的工蚁数量为(40.3±3.9)头/杯,10 月为(24.4±1.2)头/杯,11 月为(4.6±1.8)头/杯。冬季(12 月,1—3 月)气温较低,但 12 月中旬仍发现少量工蚁活动,诱集到工蚁(0.8±0.4)头/杯,此后在野外没有发现和诱集到工蚁。7 月与 8 月诱集工蚁数显著高于其他月份且这 2 个月无显著性差异,6 月和 9 月无显著性差异,1—4 月

和 11—12 月无显著差异,因此,夏季(7—8 月)是爪哇扁头猛蚁外出觅食的高峰期,冬季停止外出觅食,春季 4 月开始外出活动和觅食。



注:不同字母表示经 One-Way ANOVA 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。图 2 同。

图 1 爪哇扁头猛蚁觅食活动的季节性变化规律

Fig. 1 Seasonal variation of the foraging activity in *Ectomyrmex javanus* workers

将爪哇扁头猛蚁觅食工蚁数与 6 种气候因子(月平均气温、月均低温、月均高温、月平均相对湿度、月均低相对湿度、月均高相对湿度)进行相关性分析,结果表明(表 1),觅食工蚁数量与月平均气温、月均高温、月均低温呈正相关,而与月平均相对湿度、月均高相对湿度、月均低相对湿度呈负相关,且相关性均达显著水平($P < 0.01$)。由此说明,爪哇扁头猛蚁觅食活动的季节动态与环境温湿度的变化有着密切关系。

2.2 爪哇扁头猛蚁觅食活动的日动态

在爪哇扁头猛蚁活动期,统计一天中不同时段诱集到的觅食工蚁数量可以看出(表 2):1—3 月没有工蚁活动,4 月工蚁开始活动,4—6 月,每天诱集

表 2 爪哇扁头猛蚁日不同时段觅食工蚁数量变化

Table 2 Daily variation of the worker number involved in foraging activity in *E. javanus*

头

月份	时间						
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
4	2.3±0.4a	0.8±0.2cd	0.6±0.2d	0.5±0.4d	0.8±0.4d	1.3±0.4bc	1.7±0.0b
5	3.1±0.4a	1.6±0.5bc	1.1±0.4bc	1.0±0.5c	0.8±0.5c	1.5±0.7bc	2.0±0.3b
6	8.9±0.5a	6.4±0.5b	4.4±2.2bc	3.3±1.2c	3.5±1.1c	3.5±1.3c	6.3±0.7b
7	25.4±2.8a	11.5±1.2b	7.6±1.5cd	5.2±2.0d	4.4±2.6d	6.3±3.4cd	9.8±2.4bc
8	21.7±3.3a	9.5±1.6b	6.9±3.1bc	5.7±2.4c	5.5±2.6c	7.3±1.8bc	8.2±2.2bc
9	10.0±1.8a	4.2±0.9c	3.8±1.3c	5.1±1.9c	4.8±0.7bc	5.5±1.7bc	6.9±0.8ab
10	5.2±1.5a	3.4±1.0b	3.7±0.7ab	2.4±0.8b	3.8±0.4ab	1.8±0.1b	4.1±2.9ab
11	0.6±0.2a	0.5±0.7a	1.1±0.7a	0.7±0.9a	0.5±0.4a	0.7±0.6a	0.4±0.5a
12	0.0±0.0a	0.1±0.2a	0.2±0.2a	0.1±0.2a	0.2±0.2a	0.1±0.2a	0.3±0.6a

注:同行数据后不同字母表示经 One-Way ANOVA 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

2.3 爪哇扁头猛蚁的采集食物类型

通过野外定点观察,发现爪哇扁头猛蚁的工蚁在地面单独觅食。从工蚁采集食物的类型可以看出(表 4),工蚁主要表现为肉食性,采集的食物主要是

表 1 爪哇扁头猛蚁工蚁觅食活动的季节动态与环境温湿度的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between the seasonal variation and the ambient temperature and relative humidity for the foraging activity of *E. javanus* workers

项目	样本量	回归方程	相关系数 r
月均相对湿度/%	12	$Y=100.397-2.634X$	-0.903**
月均高相对湿度/%	12	$Y=105.734-2.695X$	-0.886**
月均低相对湿度/%	12	$Y=96.471-2.601X$	-0.913**
月均温度/℃	12	$Y=-31.531+2.661X$	0.856**
月均高温/℃	12	$Y=-31.229+2.443X$	0.827**
月均低温/℃	12	$Y=-21.147+2.573X$	0.808**

注:**表示在 0.01 水平上显著相关。

到的工蚁数量相对较少;7—8 月觅食工蚁数量增多,一般 8:00 诱集到的工蚁数量最多,是其活动的高峰期,10:00 以后外出觅食的工蚁数量锐减;18:00 外出觅食工蚁数量又有回升;9 月之后,整体上诱集到的工蚁数量比较少,10 月开始日活动规律无明显的差异。

7 月觅食工蚁日动态不同时段差异较大。从图 2 可以看出,工蚁觅食活动的日动态与环境因素的变化呈现出一定相关性,一天中,早晨温度较低,工蚁的觅食活动极为频繁,但随着环境温度的升高,外出觅食工蚁的数量明显减少,而当傍晚温度降低时,觅食工蚁数又有所回升,而相对湿度日变化幅度较小。相关性分析结果表明(表 3),爪哇扁头猛蚁在 7 月的觅食日动态与温度变化呈负相关,且相关性极显著($P < 0.01$),而与相对湿度变化呈正相关($P < 0.05$)。从表 3 可以看出,在一定温度范围内觅食工蚁日动态与环境温度呈负相关,而环境相对湿度与其日动态相关性不显著。

一些节肢动物的尸体,包括膜翅目、半翅目和鳞翅目昆虫,以及蚯蚓、马陆、蜈蚣等,未见其主动捕食活体昆虫和动物,偶尔发现有工蚁采集植物叶片和未知种子回巢。

表 3 4—10 月爪哇扁头猛蚁觅食活动日动态与环境温湿度相关性分析

Table 3 Correlation coefficients between number of workers involved in foraging activity of *E. javanus*, temperature, and relative humidity in the period from April to October

月份	温度/℃			相对湿度/%		
	样本量	回归方程	相关系数 r	样本量	回归方程	相关系数 r
4	7	$Y=5.043-0.182x$	-0.724	7	$Y=-10.764+0.338x$	0.211
5	7	$Y=6.801-0.224x$	-0.907**	7	$Y=-21.345+0.745x$	0.548
6	7	$Y=43.545-1.380x$	-0.941**	7	$Y=-9.964+0.628x$	0.214
7	7	$Y=176.310-5.613x$	-0.916**	7	$Y=-46.792+3.709x$	0.808*
8	7	$Y=140.835-4.592x$	-0.856*	7	$Y=-46.570+3.589x$	0.526
9	7	$Y=51.009-1.728x$	-0.745	7	$Y=-5.369+0.424x$	0.202
10	7	$Y=15.744-0.623x$	-0.517	7	$Y=-31.819+0.975x$	0.612

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关, * 表示在 0.05 水平上显著相关。

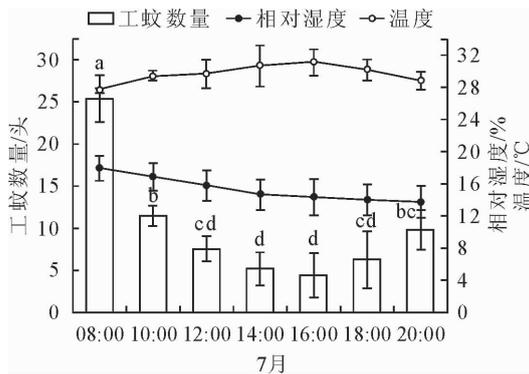


图 2 7 月爪哇扁头猛蚁工蚁日觅食活动规律

Fig. 2 Daily foraging activity of *E. javanus* in July

表 4 爪哇扁头猛蚁采集和捕食食物的类型

Table 4 Food items collected and captured by

E. javanus

食物类型	数量/头	占比/%
膜翅目	13	50.00
半翅目	4	15.38
蚯蚓	3	11.53
马陆	2	7.69
鳞翅目	1	3.85
蜈蚣	1	3.85
叶片	1	3.85
种子	1	3.85
合计	26	100

本研究共收集到 26 个食物样本,在其所采集和取食的食物中,膜翅目昆虫所占比例最高,为 50.00%,但主要以其他蚂蚁的尸体为主,其中蚁亚科的日本弓背蚁(*Camponotus japonicus*, 38.47%)和日本黑褐蚁(*Formica japonica*)尸体(23.08%)比例较高,其次为切叶蚁亚科的草地铺道蚁(*Tetramorium caespitum*, 15.38%)和日本盘腹蚁(*Aphaenogaster japonica*, 15.38%),还有少量的蜂类尸体(7.69%)。采集的半翅目昆虫占 15.38%,主要有金绿宽盾蝽(*Poecilcoris lewisi*)的尸体。

采集蚯蚓的比例为 11.53%,马陆尸体比例为 7.69%;鳞翅目昆虫和蜈蚣的尸体以及植物叶片和未知种子所占比例最低,均为 3.85%。

3 结论与讨论

3.1 觅食活动的季节动态与日动态

对爪哇扁头猛蚁在陕西杨凌地区觅食活动规律的研究发现,工蚁觅食活动的季节性波动较大,觅食活动与环境温度呈正相关,与相对湿度呈负相关,在夏季 7 月和 8 月觅食活动达到高峰,9 月以后开始减少觅食,而在冬天则停止觅食,到了春天再次开始出巢活动,这与 A. Mashaly 等^[6]对阿拉伯半岛的赛那尔短猛蚁(*Brachyponera senaarensis*)研究结果相似。但爪哇扁头猛蚁与巴西地区的方头恐猛蚁(*Dinoponera quadriceps*)的觅食活动规律存在差异,后者变化幅度相对较小,在旱季初期(11 月)达到高峰,在季末(2 月)下降,雨季后期(8 月)再次增加,觅食的季节动态与相对湿度呈负相关^[7,19],造成这种差别的主要原因应该是由温带与热带地区的温度和气候存在差异,在热带地区温度降到最低时仍能维持觅食工蚁的正常活动,并且湿度等环境因素造成的较高的物种丰富度能够有效地降低觅食活动的季节差异。而在温带地区,季节差异明显,温度较高的月份食物较为丰富,进入寒冷季节食物则较匮乏。

在觅食活动的日动态方面,8:00 左右是爪哇扁头猛蚁觅食活动的高峰期,10:00 以后外出觅食的工蚁数量锐减,18:00 之后外出觅食工蚁数量又有所回升,这与热带地区猛蚁亚科蚂蚁的觅食日动态有一定差异,如在巴西北部,巨人恐猛蚁(*Dinoponera gigantea*)觅食日规律呈现出“双峰模型”,即其觅食活动频率 7:00—8:00 和 17:00—18:00 均达到峰值,而在中午显著降低^[20];沙特阿拉伯的赛那尔短猛蚁(*Brachyponera senaarensis*)在 7:00—9:00 处于觅食活动高峰期,11:00—14:00 停止觅食^[21]。

这种日动态差异的原因可能是温带和热带地区相对湿度和温度对觅食活动的影响不同。本研究结果显示,在一定温度范围内爪哇扁头猛蚁觅食活动日动态与温度变化呈负相关,与相对湿度相关性不显著,而 Medeiros 和 Oliveira^[22]对巴西东南部亚热带地区厚结猛蚁属的 *Pachycondyla striata* 觅食活动规律的研究结果显示,不同季节其觅食活动日动态均与温度变化呈正相关,这与它们不同的习性有一定关系。爪哇扁头猛蚁的季节动态与温度呈正相关,与相对湿度呈负相关,而其日动态与温度呈负相关,与相对湿度相关性不显著,这可能是温度与相对湿度间存在相互作用,对其季节动态和日动态有不同的影响。

3.2 取食类型与食性

本研究发现,爪哇扁头猛蚁采集食物的类型主要是节肢动物尸体,包括膜翅目、半翅目、鳞翅目昆虫以及蚯蚓、马陆等尸体,偶尔采集种子和植物叶片,主要表现为肉食性,这与其他猛蚁种类的取食类型比较相似,如巨人恐猛蚁(*Dinoponera gigantea*)^[19]、条纹厚结猛蚁(*Pachycondyla striata*)^[22]和方头恐猛蚁(*D. quadriceps*)^[23]。但也有研究发现厚结猛蚁属 *Pachycondyla* 和大齿猛蚁属 *Odontomachus* 的一些种类会选取含较多脂质和蛋白的植物种子和果实搬运回蚁巢供工蚁和幼虫食用^[24-26],而敏捷扁头猛蚁(*Ectomomyrmex astutus*)巢中发现有白蚁,二者可能存在共栖或捕食和被捕食的关系^[16],这都说明不同种类的猛蚁其食性存在差异。此外,研究也发现爪哇扁头猛蚁采集的食物中其他蚂蚁的尸体占有极大的比例,但没有观察到其攻击主动其他蚂蚁的现象,这可能与其活动区域内其他食物资源比较匮乏有关。同时发现爪哇扁头猛蚁觅食工蚁存在对觅食区域的竞争行为,不同蚁巢的工蚁常常将上颚彼此咬在一起相互比拼力量,这种行为与巨人恐猛蚁(*Dinoponera gigantea*)^[20]非常相似。

通过研究廓清了爪哇扁头猛蚁觅食活动的季节性动态、日动态与环境温湿度间的关系,确定了其取食食物的类型,为进一步研究爪哇扁头猛蚁行为生态学奠定了基础。

参考文献:

[1] HÖLLDOBLER B, WILSON E O. The Ants[M]. Harvard: Cambridge University Press, 1990:1-2.
 [2] 吴坚,王常禄. 中国蚂蚁[M]. 北京:中国林业出版社,1995:1-29.
 [3] PECK S L, MCQUAID B, CAMPBELL C L. Using ant species (Hymenoptera:Formicidae) as a biological indicator of agroec-

osystem condition[J]. Environmental Entomology, 1998, 27 (5):1102-1110.

- [4] ANDERSEN A N, GRIFFITHS A D. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses[J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 38(7): 8-17.
 [5] UNDERWOOD E C, FISHER B L. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how[J]. Biological Conservation, 2006, 132(2):166-182.
 [6] MASHALY A, AL-MEKHLAFI F A, AL-QAHTANI A M. Foraging activity and food preferences of the samsum ant, *Pachycondyla semaarensis*[J]. Bulletin of Insectology, 2013, 66(2):187-193.
 [7] MEDEIROS J, AZEVEDO D L, SANTANA M A, et al. Foraging activity rhythms of *Dinoponera quadriceps* (Hymenoptera:Formicidae) in its natural environment[J]. Journal of Insect Science, 2014, 14(2):1-8.
 [8] 刘铭汤,魏建荣,魏琮,等. 陕西省蚂蚁区系研究[J]. 西北林学院学报, 1999, 14(3):39-44.
 LIU M T, WEI J R, WEI C, et al. Studies of ants fauna in Shaanxi Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1999, 14(3):39-44. (in Chinese)
 [9] 铁茹,许升全. 西北地区蚂蚁种类及其分布[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(3):4-9.
 TIE R, XU S Q. Variety and distribution of ants in Northwest China[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2004, 25 (3):4-9. (in Chinese)
 [10] 贺虹,刘铭汤,魏琮. 太白山蚂蚁及其生态分布的研究[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(1):32-36.
 HE H, LIU M T, WEI C. A study on ants of Taibai Mts. with dominant population research[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2000, 15(1):32-36. (in Chinese)
 [11] SCHMIDT, C A, SHATTUCK, S O. The higher classification of the ant subfamily ponerinae, (Hymenoptera:Formicidae), with a review of ponerine ecology and behavior[J]. Zootaxa, 2014, 3817(1), 1-242.
 [12] 徐正会. 中国厚结猛蚁属记述(膜翅目 蚁科 猛蚁亚科)[J]. 西南林学院学报, 1998(4):209-220.
 XU Z H. The Chinese species of the ant genus *Pachycondyla* Smith (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae)[J]. Journal of Southwest Forestry College, 1998(4):209-220. (in Chinese)
 [13] 周善义,冉浩. 中国蚂蚁名录—猛蚁型亚科群(膜翅目:蚁科)[J]. 广西师范大学:自然科学版, 2010, 28(4):101-113.
 ZHOU S Y, RAN H. Checklist of Poneromorph subfamilies (Hymenoptera:Formicidae) in China[J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2010, 28(4):101-113. (in Chinese)
 [14] 陈友,罗长维,李卓新,等. 哀牢山西坡地表蚂蚁资源调查[J]. 广东农业科学, 2011, 38(3):130-133.
 CHEN Y, LUO C W, LI Z X, et al. The investigation of ground ants resources on the west slope of mountain Ailao [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(3):130-133. (in Chinese)

- [4] 薛龙,黎静,刘木华. 利用高光谱图像技术检测梨表面碰压伤的试验研究[J]. 粮油加工, 2009(4):136-139.
- [5] 王魏. 哈密瓜外观表皮缺陷分割及纹理分析研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2012.
- [6] 李江波. 脐橙表面缺陷的快速检测方法研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [7] 徐爽. 基于高光谱图像技术的红枣品质无损检测研究[D]. 银川:宁夏大学, 2013.
- [8] 刘海彬. 梨表面缺陷的激光散斑图像检测方法研究[D]. 杭州:浙江大学, 2015.
- [9] 薛晶莹. 基于 GAC 模型的交互式图像分割算法研究及应用[D]. 西安:西北大学, 2009.
- [10] 乔剑敏. 基于 GAC 模型和 C-V 模型的图像分割方法的改进[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011.
- [11] 白雪冰,郭景秋,陈凯. 结合 C-V 模型水平集与形态学的彩色树木图像分割[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2):196-200. BAI X B, GUO J Q, CHEN K. Color tree image segmentation method integrating a set of C-V plane models with morphological processing operation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2):196-200. (in Chinese)
- [12] 谭勇,朱斌. 基于改进 GAC 模型的血细胞显微图像分割[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7):249-253. TAN Y, ZHU B. Segmentation on micrograph of blood cells based on improved GAC model[J]. Computer Simulation, 2011, 28(7):249-253. (in Chinese)
- [13] 时贺,赵于前,王小芳. 交互式 GACV 模型的肿瘤图像分割[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(3):2624-2627, 2667.
- [14] 张建伟,方林,陈允杰. 局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2):215-221. ZHANG J W, FANG L, CHEN Y J. Application of local GAC model in medical image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(2):215-221. (in Chinese)
- [15] 杨松,罗培,罗浩元. 基于改进的 GAC 模型图像分割算法[J]. 光学技术, 2016, 42(2):185-192.
- [16] 王旭. 基于机器视觉的柑橘分级技术研究[D]. 长沙:湖南大学, 2016.
- [17] 多化豫,孙泉雄,袁云梅. 基于图像处理提高木材识别准确性的新方法[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(1):244-247. DUO H Y, SUN X X, YUAN Y M. Improvement of wood identification accuracy based on image processing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1):244-247. (in Chinese)
- [18] YANG Y, ZHANG C M, YU W, et al. Active contour method combining local fitting energy and global fitting energy dynamically[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2010, 61(65):163-172.
- [19] HANH J, LEE C. Geometric attraction-driven flow image segmentation and boundary detection[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2010, 21(1):55-66.
- [20] SHAFIULLAH S, ASAD M, KWANG N C. Hybrid two-stage active contour method with region and edge information for intensity inhomogeneous image segmentation[J]. PLoS ONE, 2018, 13(1).

(上接第 151 页)

- [15] 张荣娇,周雪婷,唐祺玲,等. 中国厚结猛蚁属(膜翅目:蚁科)十三种蚂蚁的形态测量学研究[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(5):1130-1137. ZHANG R J, ZHOU X T, TANG Q L, et al. Morphometrics of thirteen species of the genus *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) in China[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2016, 53(5):1130-1137. (in Chinese)
- [16] 柯云玲,田伟金,庄天勇,等. 4 种猛蚁的巢穴结构及巢内生物[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(1):45-50. KE Y L, TIAN W J, ZHUANG T Y, et al. Nest architecture of four ponerine ant species (Formicidae, Ponerinae) and organisms present in their nests[J]. Journal of South China Agricultural University, 2013, 34(1):45-50. (in Chinese)
- [17] WANG C, BILLEN J, Pan X R, et al. Morphology and ultrastructure of the infrabuccal pocket and its lining epithelium in workers of *Ectomomyrmex javanus* (Hymenoptera: Formicidae)[J]. Micron, 2018, 115:50-53.
- [18] OSBORN F, GOITIA W, CABRERA M, et al. Ants, plants and butterflies as diversity indicators; comparisons between strata at six forest sites in Venezuela[J]. Beitrage Zur Neotropischen Fauna, 1999, 34(1):59-64.
- [19] MEDEIROS J, ARAÚJO A, ARAÚJO H F P, et al. Seasonal activity of *Dinoponera quadriceps* Santschi (Formicidae, Ponerinae) in the semi-arid Caatinga of Northeastern Brazil[J]. Revista Brasileira De Entomologia, 2012, 56(1):81-85.
- [20] FOURCASSIE V, OLIVEIRA P S. Foraging ecology of the giant Amazonian ant *Dinoponera gigantea* (Hymenoptera: Formicidae, Ponerinae): activity schedule, diet and spatial foraging patterns[J]. Nature History, 2002, 36(5):2211-2227.
- [21] DÉJEAN A, LACHAUD J P. Ecology and behavior of the seed-eating ponerine ant *Brachyponera senaarensis* (Mayr)[J]. Insectes Sociaux, 1994, 41(6):191-210.
- [22] MEDEIROS N S, OLIVEIRA P S. Season-dependent foraging patterns; case study of a neotropical forest-dwelling ant (*Pachycondyla striata*; Ponerinae)[J]. Food Exploitation by Social Insects; Ecological Behavioral, and Theoretical Approaches, 2009(4):81-95.
- [23] ARAÚJO A, RODRIGUES Z. Foraging behavior of the queenless ant *Dinoponera quadriceps* Santschi (Hymenoptera: Formicidae)[J]. Neotropical Entomology, 2006, 35(9):159-164.
- [24] PIZO M A, OLIVEIRA P S. Interaction between ants and seeds of a nonmyrmecochorous neotropical tree, *Cabralea canjerana* (Meliaceae), in the Atlantic forest of Southeast Brazil[J]. American Journal of Botany, 1998, 85(7):669-674.
- [25] PASSOS L, OLIVEIRA P S. Ants affect the distribution and performance of *Clusia criuva* seedlings, a primarily bird-dispersed rainforest tree[J]. Journal of Ecology, 2002, 90(4):517-528.
- [26] PASSOS L, OLIVEIRA P S. Interaction between ants and fruits of *Guapira opposita* (Nyctaginaceae) in a Brazilian sandy plain rainforest; ant effects on seeds and seedlings[J]. Oecologia, 2004, 139(6):376-382.