

红火蚁对荔枝园无脊椎动物群落多样性及稳定性的影响

席银宝^{1,2}, 陆永跃¹, 梁广文¹, 曾 玲^{1,*}, 许益鏊¹

(1. 华南农业大学 昆虫生态研究室/红火蚁研究中心, 广州 510642; 2. 安徽农业大学 植物保护学院, 合肥 230036)

摘要:对红火蚁发生区和对照区荔枝园无脊椎动物群落多样性的研究表明:红火蚁发生区的荔枝园树冠、地面植被、地表及土壤中的无脊椎动物群落的物种数和个体数都较对照区出现了明显的下降,群落结构特征也发生了明显的变化,群落及各亚群落的物种多样性、物种丰富度减小,优势度、优势集中性上升,群落由稳定走向波动,群落可侵入性进一步增强。在荔枝树冠,受红火蚁捕食或其它作用影响而明显减少的害虫种类主要是一些鳞翅目幼虫,天敌主要包括广斧螳 *Hierodula patellifera* (Serville)、锥盾菱猎蝽 *Isyndus reticulatus* St、中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tiedler、平腹小蜂 *Anastatus japonicus*、斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* (L. Koch) 及白条锯足蛛 *Runcinia albostrata* Boes. et Str. 等。在地面植被上,受红火蚁影响的害虫种类主要是一些鳞翅目夜蛾科的幼虫,天敌种类主要包括中华大刀螳 *Tenodera aridifolia* sinensis、丽眼斑螳 *Creobroter gemmata* (Stoll)、中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tiedler、线纹猫蛛 *Oxyopes lineatipes* (L. Koch) 及草皮逍遥蛛 *Philodromus cespitum* (Walckenaer) 等。但值得注意的是,在红火蚁轻度发生区,地面植被上的四斑月瓢虫 *Chilomenes quadriglata* Swartz 和六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* Fabricius 的种群数量却出现增加。在荔枝园地表及土壤中的无脊椎动物中,以步甲、隐翅甲等作为生物指示物反映环境条件变化的物种受影响下降明显。但在红火蚁轻度发生区,一些种类(如独角仙 *Xylotrupes gideon* L 幼虫)与红火蚁存在互利共生的关系,其数量非但没有减少,反而有所增加,这在一定程度上增加了对荔枝园有害生物防治的难度。相关分析的研究表明,红火蚁种群数量与荔枝园无脊椎动物群落各特征指数存在一定的相关关系,其中与重度发生区地表及土壤无脊椎动物群落各特征指数高度相关。红火蚁发生区无脊椎动物群落多样性的主成分分析表明,影响荔枝园树冠和地面植被无脊椎动物群落多样性的主要成分都是优势集中性,而影响荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落多样性的主成分却是均匀度。

关键词:红火蚁;无脊椎动物群落;荔枝园

Effects of the red imported fire ant (RIFA), *Solenopsis invicta* Buren, on diversity and stability of invertebrate community in litchi orchards

XI Yinbao^{1,2}, LU Yongyue¹, LIANG Guangwen¹, ZENG Ling^{1,*}, XU Yijuan¹

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

2 College of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: The invertebrate species and their abundance were investigated in lightly and heavily RIFA infested litchi orchard as well as in noninfested orchard as control in Shenzhen, Guangdong, China from August 2005 to July 2006. The results showed that, in the RIFA-infested litchi orchard, the diversity and abundance of invertebrate communities and sub-communities (insect pests, natural enemies and neutral insects) were lower while the dominance and dominant concentration were significantly higher, than those in the control litchi orchard. The indices of the invertebrate community and sub-communities fluctuated evidently with time, and were significantly correlated to the population density of RIFA. In the Litchi canopy, the fire ant significantly influenced the occurrence of lepidopteran larvae and the natural enemies including *Hierodula patellifera* (Serville), *Isyndus reticulatus* St, *Chrysopa sinica* Tiedler, *Anastatus japonicus*, *Oxyopes*

基金项目:国家“973”计划资助项目(2009CB119200);科技基础性工作专项资助项目(2006FY111000-1);国家自然科学基金资助项目(305712427);广东省科技计划资助项目(2007B020710014; 2006A20301005)

收稿日期:2009-05-06; 修订日期:2009-12-31

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

sertatus(L. Koch), *Runcinia albostrata* Boes. et Str. . In the ground vegetation, the fire ant also significantly influenced lepidopteran noctuidae larvae insects, and the natural enemies including *Tenodera aridifolia* sinensis, *Creobroter gemmata* (Stoll), *Chrysopa sinica* Tieder, *Oxyopes lineatipes* (L. Koch) and *Philodromus cespitum* (Walckenaer). however, the individuals of *Chilomenes quadriplagata* Swartz and *Menochilus sexmaculata* Fabricius increased noticeably. Some of ground and soil-dwelling species such as Carabidae and Staphylinidae, which are bio-indicators of assessing success of ecological restoration, decreased dramatically. On the contrary, the individuals of *Xylotrupes gideon* increased steadily, implying that mutualism might exist between *S. invicta*. and *X. gideon*. Invertebrate community charicterisic index correlated with RIFA population size tightly, and the impact of RIFA population size on ground and soil-dwelling invertebrate community was stronger than those in ground vegetation-dwelling and canopy-dwelling invertebrate community. The diversity components of the above three kind invertebrate communities in each type litchi orchard were analyzed using multiple stepwise regression. The result showed that, the change of invertebrate diversity in canopy-dwelling and ground vegetation-dwelling communities was mainly decided by dominant concentration, while the species evenness was the most important factor affecting the invertebrate diversity in ground and soil-dwelling community.

Key Words: *Solenopsis invicta* Buren; invertebrate communities; litchi orchard

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 属于膜翅目 Hymenoptera、蚁科 Formicidae、切叶蚁亚科 Mymicinae、火蚁属 *Solenopsis*, 是一种重大的危险性害虫^[1]。已从南美扩散、蔓延到多个国家和地区^[2-3]。它不仅危害农业生产、公共设施和公共卫生,更以其极大的生态优势,造成入侵地生态环境的极大破坏^[4]。通过大量捕食无脊椎动物,攻击地栖性脊椎动物,或者通过食物竞争,造成无脊椎动物和一些地栖性脊椎动物数量和多样性的锐减^[5-13],许多土著蚂蚁还可能因为红火蚁的入侵而灭绝^[14]。国外已有研究表明,通过竞争,红火蚁使土著蚂蚁的多样性减少 70%,减少个体数达 90% 以上^[15]。土著蚂蚁种类的减少给捕食者或靠其完成生活史的其他物种造成了明显影响。同样非蚂蚁的节肢动物多样性减少 30%,个体数减少 70%。总的节肢动物的物种丰富度下降到原来的 40%^[15]。被红火蚁取食的无脊椎动物种类众多,且捕食处于各个生命阶段的生物,包括卵、幼虫、蛹和成虫^[16]。另外,红火蚁密度的增加也会影响一些无脊椎动物的食物资源,进而对无脊椎动物的种群发展造成不利的影响^[17]。间接导致生态系统内生物和非生物因子的变化^[18]。这些变化改变了生态系统内动植物区系结构,进而对生态系统产生重大影响^[19]。自 2004 年 9 月底在我国广东省吴川市发现红火蚁入侵危害后,我国各方面十分重视该虫的控制与研究。近两年来我国在该虫单倍型及其分布、主要生境类型、活动蚁巢平面空间分布规律、活动蚁巢局域分布的空间相关性、局域扩散规律、觅食行为和工蚁活动节律,以及红火蚁检疫与防治技术等方面开展了研究^[20]。但是,我国华南地区作为新入侵地,红火蚁入侵后对该地生态系统中生物群落的影响目前尚不清楚。本文以深圳市宝安区的一些有代表性的荔枝园为研究基地,通过一系列的调查,对比红火蚁发生区和对照区无脊椎动物类群的差异,阐明红火蚁入侵中国南方后对当地生物群落、生态系统所造成的影响,为红火蚁发生区的生物多样性保护提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在广东省深圳市宝安区荔枝园进行。该园占地 40hm²,品种以桂味为主,标准地坡度小于 5°,南北方向为行,林分为 10 年生结果荔枝树,树高 3m 左右,株、行距均为 3m,林相整齐,林下植被丰富,主要有禾本科、菊科、莎草科、大戟科的一些常见种类。该园一直按照生产绿色无公害果品的要求进行管理,并采用无公害的可持续害虫控制技术控制荔枝园有害生物的为害。试验所选几片荔枝园本身的立地、土壤特性及果园年龄基本相同,管理方式也完全一致。可以认为红火蚁入侵前的无脊椎动物群落是相似的,目前无脊椎动物群落的差异是由于红火蚁入侵程度的不同造成的。该区域荔枝园红火蚁为多蚁后型。根据红火蚁种群密度和活动蚁丘的大致数目将荔枝园划分为 3 个类型。对照区:未发生红火蚁,种群密度为 0,0 个活动蚁丘;轻度发

生区:蚁巢密度为每 100m²有 3—5 个活动蚁丘、每个诱饵上工蚁数量小于 100 头;重度发生区:蚁巢密度为每 100m²有 10 个以上活动蚁丘、每个诱饵上工蚁数量大于 200 头。每种发生区重复数为 10 个,每次随意抽取其中的 4 个小区进行调查,每个小区面积为 10m × 10m,样区间距离大于 10m,定点对比研究红火蚁入侵对荔枝园无脊椎动物群落的影响过程。

1.2 调查方法

1.2.1 荔枝园树冠无脊椎动物群落的调查

系统调查法:按棋盘式取样法,在每个调查区选择 10 株有代表性的荔枝树,从 2005 年 8 月至 2006 年 7 月,每月中旬调查一次,系统调查荔枝树上各种无脊椎动物的种类和数量。每株树分东南西北 4 个方位的上中下 3 个层次,先环绕果树一周目测 2min.,检查在树冠上活动性大的节肢动物,然后在不同方位各选 50cm 长的 4 个 1—2 年生的枝条,用捕虫网套枝取样,详细记载每个枝条上无脊椎动物的种类与数量,花果期外加 1 条花穗、10 个果进行观察。对于暂时不能鉴定的种类,捕获后用毒瓶毒死并编号,带回待鉴。

1.2.2 荔枝园地面植被无脊椎动物群落的调查

扫网法:在标记的荔枝树冠下的植被上用捕虫网按对角线取样法,首先在每个方位随机扫网 20 次(网口直径 30cm,摆幅 2m 左右,用白色尼纶纱制作),将扫取的无脊椎动物标本连同植物茎秆一起带回室内,进行镜鉴分类,统计所捕获的无脊椎动物的种类及数量。然后在扫网的相应部位用目测法检查植被上活动的无脊椎动物,再管套捕捉并统计其种类与数量。

1.2.3 荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落的调查

陷阱法:将长为 15cm、直径为 3cm 的塑料离心管埋入地下,管口与地面齐平,管口四周用泥土填平,管中盛 1/3 的 45% 的酒精。每样地设置 10 个采样点,两采样点相距 10m 左右,每个采样点设 4 个陷阱,并按相隔 1m 的口字形排列。陷阱放置 24h 后回收,取出标本放入盛有 75% 酒精的小瓶分别标记保存,带回室内鉴定种类并记录数量。

饵诱法:将火腿肠片放入容积为 50mL 的透明塑料瓶中,加上几滴蜂蜜后把诱集瓶横放于地表,让瓶口靠近地面。放置诱饵的时间在晴天 10:00—15:00。每样地设置 10 个采样点,两样点间距 10m 左右,每个采样点设 4 个诱饵,放置 30min 左右收回,取出标本放入盛有 75% 酒精的小瓶分别标记保存,带回室内鉴定种类并记录数量。

烘烤法:在每个处理区随机取样 10 点,每点又分两种方法取样,一种是用小铲取样 50cm × 50cm,分枯落物层、0—5cm 层、5—10cm 层、10—15cm 层进行手捡,将所得大型土壤无脊椎动物放入盛有浓度为 75% 的酒精容器中杀死,带回实验室分类。同时在附近另取一块 10cm × 10cm 的样方,分枯落物层、0—5cm 层、5—10cm 层、10—15cm 层、15—20cm 层取样,带回室内用干漏斗法烤虫,烤至土干为止,分离出中小型土壤无脊椎动物,然后进行分类鉴定和数量统计。

1.3 分析方法

1.3.1 群落多样性分析方法

Berger-Parker 优势度指数: $D = N_{\max}/NT$, 其中 $N_{\max}$ 为优势种群数量, NT 为全部种的种群数量;用 Shannon-Wiener 平均信息量指数 H' 分析群落多样性: $H' = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln P_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, S$), 其中 P_i 为属于第 i 种的个体数的概率, S 为种类数;均匀度: $J = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$, 其中 J 为均匀度, H' 为多样性指数, $\ln S$ 为种类数 S 取自然对数;个体总数: $N = \sum_{i=1}^S n_i$;优势集中性: $C = \sum (N_i/N)^2$, N_i 为第 i 种的个体数, N 为全部种的个体总数;物种丰富度: $R = S/\ln N$, 其中 s 为种类数, N 为群落中总个体数。

1.3.2 群落稳定性分析方法

用高宝嘉等提出的 S_s/S_i (S_s 为物种数, S_i 为个体数) 和 S_n/S_p (S_n 为天敌种数, S_p 为害虫种数) 两指数^[21] 和

丛建国等提出的一年中多样性值的变异系数 $d_s/d_m^{[22]}$ (d_s 为标准差, d_m 为平均值) 来描述群落的稳定性。

1.4 数据处理

采用 SAS8.1 和 SPSS12.0 软件分析数据。不同处理的多重比较采用 Duncan 法, 相关分析采用 Pearson 相关分析, 在筛选对各群落多样性影响显著的自变量时采用了多元逐步回归法。

2 结果与分析

2.1 荔枝园红火蚁时序动态

由表 1 可知, 在红火蚁轻度发生区, 不同时间诱饵上红火蚁工蚁数量不同, 表现为明显的 2 个盛期, 分别为 4、5、6 月和 8、9、10、11 月, 其中以 5 月份最多, 达到每个诱饵 95 头, 4、6 月份次之, 工蚁数量分别为 79、83 头, 冬季工蚁数量明显较低, 2005 年 12 月和 2006 年 1 月每个诱饵仅诱到了十几头。与轻度发生区相比, 重度发生区红火蚁工蚁数量表现出相似的发生趋势, 但数量明显多于轻度发生区。例如 2006 年 5 月每个诱饵上有工蚁 368 头, 是轻度区的 4 倍。

2.2 荔枝园无脊椎动物群落结构特征

表 2 为在 3 类红火蚁发生区 3 种生境采得的无脊椎动物种类 (S) 和个体数量 (N), 分别计算出优势度 (D)、优势集中性 (C)、多样性指数 (H')、均匀度指数 (J)、物种丰富度 (R)。从表 2 中可以看出, 与对照区相比, 红火蚁发生区荔枝园树冠、荔枝园地面植被及荔枝园地表及土壤 3 种生境无脊椎动物群落的物种数和个体数都出现了明显的下降, 群落结构特征也

表 1 荔枝园红火蚁时序动态

抽样时间 Sampling time	红火蚁工蚁数量 <i>S. invicta</i> workers/(头·诱饵 ⁻¹)	
	轻度发生区	重度发生区
	Area infested lightly	Area infested heavily
2005-08	49.60 ± 0.16e	192.30 ± 0.37g
2005-09	44.60 ± 0.16g	180.40 ± 0.37i
2005-10	59.50 ± 0.17d	228.00 ± 0.47d
2005-11	47.60 ± 0.18f	194.20 ± 0.42f
2005-12	15.00 ± 0.03j	49.60 ± 0.16l
2006-01	18.00 ± 0.05i	64.40 ± 0.16k
2006-02	41.60 ± 0.14h	166.50 ± 0.34j
2006-03	49.60 ± 0.04e	198.20 ± 0.42e
2006-04	79.40 ± 0.12c	311.10 ± 0.60c
2006-05	95.10 ± 0.23a	368.70 ± 0.73a
2006-06	83.20 ± 0.20b	327.00 ± 0.63b
2006-07	47.60 ± 0.15f	188.30 ± 0.37h

表中同列数字后具相同字母者表示经方差分析 (Duncan) 在 5% 水平上差异不显著

表 2 荔枝园无脊椎动物群落指数

指数 Indices	荔枝园树冠无脊椎动物群落 Canopy-dwelling Invertebrate community			荔枝园地面植被 无脊椎动物群落 Ground vegetation-dwelling Invertebrate community			荔枝园地表及土壤 无脊椎动物群落 Ground and soil-dwelling Invertebrate community		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
S	129	89	47	105	71	33	68	43	20
N	17373	8710	3084	14911	7242	1771	17754	8772	4239
D	0.0278	0.0582	0.2675	0.0136	0.0701	0.4658	0.0503	0.0683	0.4916
C	0.0108	0.0159	0.0954	0.0133	0.0201	0.2289	0.0235	0.0336	0.2759
H'	4.6683	4.3340	3.0905	4.4656	4.1043	2.4714	3.9496	3.5736	1.8902
J	0.9606	0.9656	0.8027	0.9595	0.9629	0.7068	0.9360	0.9501	0.6309
R	13.2136	9.8102	5.8502	10.9263	7.9886	4.4122	6.9499	4.7360	2.3946

S : 物种数 Species number; N : 个体数 Individual sum Per four sampling areas; D : 优势度 Predominant index; C : 优势集中性 Dominant concentration; H' : 多样性指数 Species diversity index; J : 均匀度指数 Evenness index; R : 物种丰富度 Species richness; I: 对照区 CK area; II: 轻度发生区 area infested lightly; III: 重度发生区 area infested heavily; 下同

发生了明显的变化, 群落物种多样性、物种丰富度减小, 优势度、优势集中性上升。但不同生境、不同发生区的变化幅度各异。如在荔枝园树冠生境, 在轻度发生区物种类 (S)、个体数量 (N)、多样性指数 (H')、物种丰富度 (R) 较对照区分别降低了 31.0%、49.9%、7.2%、25.8%, 优势度 (D)、优势集中性 (C) 分别为对照的 2.09 倍、1.47 倍, 而在重度发生区相应值则为 63.6%、82.3%、33.8%、55.7%、9.62 倍、8.83 倍; 在荔枝园地

面植被生境,在轻度发生区相应值为 32.4%、51.4%、8.0%、26.9%、5.15 倍、1.51 倍,而在重度发生区则为 68.6%、88.1%、44.7%、59.6%、34.25 倍、17.21 倍;在荔枝园地表及土壤生境,在轻度发生区相应值为 36.8%、50.6%、9.5%、31.9%、1.36 倍、1.43 倍,而在重度发生区则为 70.6%、76.1%、52.1%、65.5%、9.77 倍、11.74 倍。

2.2.1 红火蚁对荔枝园树冠害虫、天敌及中性物种群落的影响

表 3 为 3 类红火蚁发生区荔枝园树冠害虫、天敌及中性物种亚群落指数(计算方法同表 2)。

表 3 荔枝园树冠无脊椎动物群落指数

Table 3 The indices of Canopy-dwelling invertebrate communities in Litchi orchards

指数 Indices	荔枝园树冠害虫群落 Canopy-dwelling pest community			荔枝园树冠天敌群落 Canopy-dwelling natural enemies community			荔枝园树冠中性物种群落 Canopy-dwelling neutral species community		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>S</i>	69	49	26	43	29	13	17	11	8
<i>N</i>	10096	4873	1732	5879	3122	1206	1398	714	149
<i>D</i>	0.0356	0.0419	0.1180	0.0822	0.1624	0.6841	0.1352	0.1508	0.2014
<i>C</i>	0.0186	0.0239	0.0697	0.0341	0.0603	0.4777	0.0845	0.1013	0.1335
<i>H'</i>	4.0830	3.8076	2.8764	3.5573	3.1094	1.3856	2.5717	2.3353	2.0439
<i>J</i>	0.9643	0.9784	0.8828	0.9458	0.9234	0.5402	0.9077	0.9739	0.9829
<i>R</i>	7.4838	5.7705	3.4866	4.9544	3.6042	1.8323	2.3472	1.6741	1.6031

从表 3 中可以看出,荔枝园树冠害虫群落在轻度发生区物种数(*S*)、个体数量(*N*)、多样性指数(*H'*)、物种丰富度(*R*)较对照区分别降低了 29.0%、51.7%、6.8%、22.9%,优势度(*D*)、优势集中性(*C*)分别为对照的 1.18 倍、1.28 倍;而在重度发生区相应值则为 62.3%、82.8%、29.6%、53.4%、3.37 倍、3.75 倍。其中受红火蚁捕食或其它作用的影响而明显减少的树冠害虫种类有荔枝蒂蛀虫 *Conopomorpha sinensis* Bradley、三角新小卷蛾 *Olethreutes leacaspis* Meyrick、灰白卷蛾 *Atgyroploce aprobola* Meyrick、绿额翠尺蛾 *Thalassodes proquadraria* Znouce、双线盗毒蛾 *Porthesia scantillans* Walker、佩夜蛾 *Oxyodes scrobiculata* Fabricius、扁刺蛾 *Thosea sinensis* Walker 等(附表 1)。据观察,红火蚁对这些鳞翅目蛾类的卵及幼虫的捕食作用很强,这在一定意义上说明红火蚁在控制荔枝园害虫方面是有益的。在轻度发生区,一些金龟科类的成虫(比如独角仙 *Xylotrupes gideon*)和一些螨类(比如荔枝瘿螨 *Aceria Litchii*)的种群数量变化不大,而一些与红火蚁有互利共生关系的蚧类的种群数量不但没有减少,而且还出现了较为明显的增加(附表 1)。这与这些昆虫能分泌红火蚁喜食的蜜露有关。

荔枝园树冠天敌群落在轻度发生区物种数(*S*)、个体数量(*N*)、多样性指数(*H'*)、物种丰富度(*R*)较对照区分别降低了 32.6%、46.9%、12.6%、27.3%,优势度(*D*)、优势集中性(*C*)分别为对照的 1.98 倍、1.77 倍,而在重度发生区相应值则为 69.8%、79.5%、61.1%、63.0%、8.32 倍、14.01 倍。在调查的荔枝园受影响的天敌主要有广斧螳 *Hierodula patellifera* (Serville)、锥盾菱猎蝽 *Isyndus reticulatus* St、中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tieder、荔蝽卵跳小蜂 *Ovencyrtas corbetti* Feer、平腹小蜂 *Anastatus japonicus*、斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* (L. Koch)、白条锯足蛛 *Runcinia albostriata* Boes. et Str. 等(附表 1)。但在轻度发生区四斑月瓢虫 *Chilomenes quadriplagiata* (Swartz)和六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* Fabricius 的种群数量非但没有下降,而且还明显增加(附表 1)。

荔枝园树冠中性昆虫群落在轻度发生区物种数(*S*)、个体数量(*N*)、多样性指数(*H'*)、物种丰富度(*R*)较对照区分别降低了 35.3%、48.9%、9.2%、28.7%,优势度(*D*)、优势集中性(*C*)分别为对照的 1.12 倍、1.20 倍,而在重度发生区相应值则为 52.9%、89.3%、20.5%、31.7%、1.49 倍、1.58 倍。受影响的主要物种有黄斑大蚊 *Nephrotoma* Sp、中华按蚊 *Anopheles sinensis* Wiedemann、麻蝇 *Sarcophaga naemorhoidalis* Fallen、大头金蝇 *Chrysomya megacephala* Fabricius、菜粉蝶 *Pieris rapae* L 及中华蜜蜂 *Apis cerana* Fabricius 等(附表 1)。但

是,荔枝树冠上德国小蠊 *Blattella germanica*(L.) 的种群数量却变化不大(附表 1)。分析认为这与德国小蠊具有一定的飞行能力有关。

2.2.2 红火蚁对荔枝园地面植被害虫、天敌及中性物种群落的影响

表 4 为 3 类红火蚁发生区荔枝园地面植被害虫、天敌及中性物种亚群落指数(计算方法同表 2)。

从表 4 中可以看出,荔枝园地面植被害虫群落在轻度发生区物种类(S)、个体数量(N)、多样性指数(H')、物种丰富度(R)较对照区分别降低了 20.6%、49.8%、4.9%、13.7%,优势度(D)、优势集中性(C)分别为对照的 1.08 倍、1.13 倍,而在重度发生区相应值则为 52.9%、89.6%、21.7%、36.1%、1.98 倍、2.11 倍。在众多荔枝园地面植被害虫中,由于红火蚁的为害,一些种类种群密度迅速下降,受影响较大的有日本绿蝽 *Holochlora japonica* Brunner-Wattenwyl、中华剑角蝗 *Acrida cinerea*、长翅草蝽 *Comxephalus longipennis* Cde. Haan、短额负蝗 *Atractomorpha sinensis*、日本条蝽 *Ducetia japonica* (Thunberg)、碧蛾蜡蝉 *Geisha distinctissima* Walker、双线沫蝉 *Prosapia bicincta* L、二斑长蝽 *Lygaeus hospes* Fabricius、黄曲条跳甲 *Phyllotreta vittata* Fabricius、黑足黄守瓜 *Aulacophora femoralis* Motschulsky、小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg、甜菜夜蛾 *Laphygma exigua* Hubner、甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* L、草地螟 *Loxostege sticticalis* L、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、草地夜蛾 *Spodeptera frugiperda* J. E. Smith 及粘虫 *Pseudaletia separate* Walker 等(附表 2)。但是,在轻度发生区,也有一些种类(比如茄二十八星瓢虫 *Henosepilachna vigintioctopunctata* Fabricius 及龟蝽科)的种群数量变化不大(附表 2)。

表 4 荔枝园地面植被无脊椎动物群落指数

Table 4 The indices of ground vegetation-dwelling invertebrate communities in Litchi orchards

指数 Indices	荔枝园地面植被害虫群落 Ground vegetation-dwelling pest community			荔枝园地面植被天敌群落 Ground vegetation-dwelling natural enemies community			荔枝园地面植被中性物种群落 Ground vegetation-dwelling neutral species community		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
S	34	27	16	55	30	8	16	14	9
N	5297	2662	551	7144	3329	1000	2470	1251	219
D	0.0946	0.1021	0.1873	0.0442	0.1523	0.8250	0.1498	0.1589	0.2146
C	0.0408	0.0463	0.0862	0.0253	0.0519	0.6854	0.0863	0.0952	0.1375
H'	3.3515	3.1864	2.6258	3.8135	3.2116	0.7969	2.5953	2.4792	2.0969
J	0.9504	0.9668	0.9471	0.9516	0.9443	0.3832	0.9361	0.9394	0.9543
R	3.9651	3.4234	2.5349	6.1979	3.6989	1.1581	2.0481	1.9631	1.6701

荔枝园地面植被天敌群落在轻度发生区物种类(S)、个体数量(N)、多样性指数(H')、物种丰富度(R)较对照区分别降低了 45.5%、53.4%、15.8%、40.3%,优势度(D)、优势集中性(C)分别为对照的 3.45 倍、2.05 倍,而在红火蚁重度发生区相应值则为 85.5%、86.0%、79.1%、81.3%、18.67 倍、27.09 倍。在荔枝园地面植被众多的天敌类群中,由于遭受红火蚁的为害,以下种类天敌种群数量迅速下降,它们是褐斑异痣螳 *Ischnura senegalensis* (Rambur)、中华大刀螳 *Tenodera aridifolia* sinensis、丽眼斑螳 *Creobroter gemmata* (Stoll)、绿盲蝽 *Lygus lucorum* Meyer-Dur、中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tieder、交迭园蛛 *Araneus alternidens* Schenkel、线纹猫蛛 *Oxyopes lineatipes* (L. Koch)、草皮逍遥蛛 *Philodromus cespitum* (Walckenaer)、纵条蝇狮 *Marpissa magister* (Karsch)、角红蟹蛛 *Thomisus labefactus* Karsch 及黄栌足蛛 *Anahita fauna* Karsch 等(附表 2)。但轻度发生区地面植被上四斑月瓢虫 *Chilomenes quadriplagata* Swartz 和六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* Fabricius 的种群数量非但没有下降,而且出现了一定程度的回升(附表 2),这主要是由于红火蚁在轻度发生区和一些蚜类、蚱类形成了互利共生的关系,从而导致一些蚜类蚱类种群数量有所增加,这也在一定程度上促进了这两种瓢虫的种群数量的上升。而在重度发生区,这两种瓢虫的种群数量却是下降的,初步分析认为,由于重度发生区红火蚁种群数量很大,它们的活动严重干扰了这两种瓢虫的觅食,导致这两种瓢虫因长期得不到足够的食物供给而死亡或迁移到其它地方。

荔枝园地面植被中性昆虫群落在轻度发生区物种数(S)、个体数量(N)、多样性指数(H')、物种丰富度(R)较对照区分别降低了 12.5%、49.4%、4.5%、4.2%, 优势度(D)、优势集中性(C)分别为对照的 1.06 倍、1.10 倍。而在重度发生区相应值则为 43.8%、91.1%、19.2%、18.5%、1.43 倍、1.59 倍。在调查中发现受影响的主要物种有麻蝇 *Sarcophaga naemorhoidalis* Fallen、大头金蝇 *Chrysomya megacephala* Fabricius、小菜蛾 *Putella xylostella* L.、茶鹿蛾 *Amata germane* Felden、菜粉蝶 *Pieris rapae* L. 及中华蜜蜂 *Apis cerana* Fabricius 等(附表 2)。但是,荔枝园地面植被上德国小蠊 *Blattella germanica*(L.) 的种群数量却变化不大(附表 2)。这与德国小蠊具有一定的飞行能力有关。

2.2.3 红火蚁对荔枝园地表及土壤害虫、天敌及中性物种群落的影响

表 5 为 3 类红火蚁发生区荔枝园地表及土壤害虫、天敌及中性物种亚群落指数(计算方法同表 2)。

从表 5 中可以看出,荔枝园地表及土壤害虫群落在轻度发生区物种数(S)、个体数量(N)、多样性指数(H')、物种丰富度(R)较对照区分别降低了 29.6%、46.7%、9.4%、24.2%, 优势度(D)、优势集中性(C)分别为对照的 1.28 倍、1.31 倍,而在重度发生区相应值则为 70.4%、79.2%、48.7%、64.0%、2.74 倍、4.11 倍。受影响较大的物种有中华剑角蝗 *Acrida cinerea*、短额负蝗 *Atractomorpha sinensis*、黄脸油葫芦 *Teleogryllus emma*、大蟋蟀 *Brachytrupes portentosus* Lichtenstein、二斑长蝽 *Lygaeus hospes* Fabricius、黄色小长蝽 *Nysius ericae* Schill、同型巴蜗牛 *Bradybena similaria* Ferussac、灰巴蜗牛 *Bradybena ravidu* Bens、非洲大蜗牛 *Achatina fulica* Bowdich 及野蛞蝓 *Agriolima agrestis* 等(附表 3),这对减少荔枝园有害生物的危害有一定的积极意义。其中重度发生区土壤有害生物的种群数量明显减少,土壤的结构和功能随之也发生了明显的变化。但在轻度发生区,由于一些种类(如独角仙 *Xylotrupes Gideon* L. 的幼虫)与红火蚁存在互利共生的关系,其种类非但没有减少,反而有所增加(附表 3)。

荔枝园地表及土壤天敌群落在轻度发生区物种数(S)、个体数量(N)、多样性指数(H')、物种丰富度(R)较对照区分别降低了 46.4%、52.2%、18.1%、41.5%, 优势度(D)、优势集中性(C)分别为对照的 1.53 倍、1.78 倍,而在重度发生区相应值则为 75.0%、59.3%、75.8%、72.1%、6.25 倍、12.29 倍。受影响较大的物种有逗斑青步甲 *Chlaenius virgulifer* Chaudoir、青翅蚁形隐翅甲 *Paederus fuscipes* Curtis、星豹蛛 *Pardosa astrigera* Koch、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*(Sundevall)等(附表 3),其中以步甲、隐翅甲等作为生物指示物反映环境条件的变化的例子国内外都有报道,Allegro 等对不同树龄杨树林地的步甲类群进行连续 10a 的跟踪调查研究,提出了评价杨树林生态复杂性的生态学指数 FA^[23], Niemela 等建立了以步甲作为生物指示物进行全球性景观变化评价的网络^[24]。与步甲相比隐翅虫作为鞘翅目中最大的科之一,在几乎所有类型的生态系统中都有分布,其作为生物环境监测的指示物更适合、更敏感。本文在对照区分离到了大量的隐翅虫,而在重度发生区很少分离到,充分体现了红火蚁对荔枝园地表及土壤天敌的为害情况。

荔枝园地表及土壤中性昆虫群落在轻度发生区物种数(S)、个体数量(N)、多样性指数(H')、物种丰富度(R)较对照区分别降低了 30.8%、61.1%、15.6%、22.1%, 优势度(D)、优势集中性(C)分别为对照的 1.36 倍、1.47 倍,而在重度发生区相应值则为 61.5%、94.4%、44.7%、41.6%、2.20 倍、2.98 倍。由于分离条件所限,在荔枝园地表及土壤中,采集到的主要是个体较大的大中型土壤中性动物,其中受红火蚁影响较大的主要有长角跳虫科 Entomobryidae、铗爪科 Japygidae、蝇科 Muscidae、光角柄科 Meinertellidae、球马陆科 Glomeridae、鼠妇科 Porcellionidae、线蚓科 Enchytraeidae、巨蚓科 Megascolecidae 等类群(附表 3)。其中麻蝇 *Sarcophaga naemorhoidalis* Fallen、大头金蝇 *Chrysomya megacephala* Fabricius、马陆 *Orthomorpha pkuensis*、普通球鼠妇 *Armadillidium vulgare*、远环蚓属 *Amyntas* 等种类在对照区地表及土壤分布量较大,而在红火蚁发生区,双翅目等的幼虫受影响较大,而对马陆的影响主要集中在幼期,对成熟期的马陆则影响不大(附表 3)。同时在调查过程中发现,在轻度发生区,德国小蠊 *Blattella germanica*(L.) 与黑胸大蠊 *Periplaneta fuliginosa* 的个体数较对照区有所上升(附表 3),初步推断它们与红火蚁也存在互利共生的关系。

表 5 荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落指数

Table 5 The indices of ground and soil-dwelling invertebrate communities in Litchi orchards

指数 Indices	荔枝园地表及土壤害虫群落 Ground vegetation-dwelling neutral species community			荔枝园地表及土壤天敌群落 Ground and soil-dwelling natural enemies community			荔枝园地表及土壤中物种群落 Ground and soil-dwelling neutral species community		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>S</i>	27	19	8	28	15	7	13	9	5
<i>N</i>	6876	3664	1431	6252	2986	2547	4626	1801	259
<i>D</i>	0.1276	0.1628	0.3501	0.1310	0.2006	0.8185	0.1930	0.2619	0.4247
<i>C</i>	0.0638	0.0836	0.2623	0.0552	0.0981	0.6788	0.1046	0.1535	0.3121
<i>H'</i>	2.9789	2.6994	1.5288	3.0791	2.5219	0.7441	2.4035	2.0293	1.3284
<i>J</i>	0.9038	0.9168	0.7352	0.9240	0.9313	0.3824	0.9371	0.9236	0.8254
<i>R</i>	3.0558	2.3153	1.1010	3.2034	1.8746	0.8926	1.5404	1.2006	0.8998

2.3 红火蚁种群数量与荔枝园无脊椎动物群落结构特征的相关性

由表 6 可看出,红火蚁种群数量与荔枝园无脊椎动物群落物种数(*S*)、个体数(*N*)、多样性指数(*H'*)、均匀度指数(*J*)、物种丰富度(*R*)、优势度(*D*)、优势集中性(*C*)各特征指数存在一定的相关关系,其中与重度发生区地表及土壤无脊椎动物群落各特征指数存在显著的相关性($P < 0.01$),其相关系数分别为 -0.8404 、 0.9322 、 -0.7799 、 -0.7024 、 -0.9423 、 0.7029 、 0.7473 ,说明红火蚁对重度发生区地表及土壤无脊椎动物群落的影响是最大的。

表 6 红火蚁种群数量与荔枝园无脊椎动物群落指数间的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between RIFA population number and invertebrate communities indices in Litchi orchards

群落类型 Community type	发生区 Infested area	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>H'</i>	<i>J</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>C</i>
荔枝园树冠无脊椎动物群落 Canopy-dwelling Invertebrate community	II	0.2226	0.5832	0.0742	-0.5158	0.0859	0.3365	0.0125
	III	0.3328	0.6778	-0.0989	-0.3579	0.1192	0.1928	0.1109
荔枝园地面植被无脊椎动物群落 Ground vegetation-dwelling Invertebrate community	II	0.2286	-0.0701	0.3244	0.3382	0.4553	-0.1809	-0.3145
	III	0.2816	-0.2577	0.0599	0.0034	0.5308	0.0400	0.0118
荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落 Ground and soil-dwelling Invertebrate community	II	0.4196	0.4840	0.0886	0.0082	-0.4569	0.5182	0.2284
	III	-0.8404 **	0.9322 **	-0.7799 **	-0.7024 **	-0.9423 **	0.7029 **	0.7473 **

* * 表示相关极显著($P < 0.01$)

2.4 荔枝园无脊椎动物群落多样性的主要成分分析

红火蚁入侵后,荔枝园各无脊椎动物群落的多样性均发生了一定的变化,但这种变化的定量关系并不明确,本文以各无脊椎动物群落的物种数(*S*)、个体数(*N*)、优势度(*D*)、优势集中性(*C*)、均匀度(*J*)、物种丰富度(*R*)、红火蚁种群密度(*F*)作自变量,以各无脊椎动物群落的多样性(*H'*)作因变量,进行多元逐步回归分析(表 7)。结果表明:影响荔枝园树冠和荔枝园地面植被无脊椎动物群落的重要成分都是优势集中性(*C*)。其中在红火蚁轻度发生区,树冠和地面植被无脊椎动物群落多样性变化的 98.6% 和 87.8% 受优势集中性的影响,而在红火蚁重度发生区,相应值是 97.4% 和 98.6%。然而,影响荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落多样性的主要成分却是均匀度(*J*),其中在红火蚁轻度发生区,地表及土壤无脊椎动物群落多样性变化的 97.1% 受均匀性的影响,而在红火蚁重度发生区,这一值也高达 96.1%。

2.5 红火蚁对荔枝园无脊椎动物群落稳定性的影响

由表 8 可以看出,评价荔枝园无脊椎动物群落稳定性的 3 个指标的结果有一定的差异,只有 S_n/S_p 指数与

d_s/d_m 的结果基本一致,因而在评价红火蚁对群落的扰动时,用 S_n/S_p 指数与 d_s/d_m 才比较客观。 S_s/S_t 指数之所以误差较大的原因,分析认为,主要是红火蚁对个体数的影响比对物种数的影响要大很多的缘故。

表 7 荔枝园无脊椎动物群落特征值的多元逐步回归分析

Table 7 Stepwise multiple regression analysis of characteristic values of Invertebrate community in Litchi Orchards

群落类型 Community type	发生区 Infested area	回归步骤 Regression	独立变量 Variables	R^2	通径系数 Path coefficients	占 H' 变异/% Proportion
荔枝园树冠无脊椎动物群落 Canopy-dwelling invertebrate community	II	1	C	0.9858	-21.4181	98.58
		2	S	0.9982	0.0041	1.24
		3	R	0.9994	0.0260	0.12
荔枝园地面植被无脊椎动物群落 Ground vegetation-dwelling Invertebrate community	III	1	C	0.9737	-6.6131	97.37
		1	C	0.8782	-18.1387	87.82
		2	S	0.9974	0.01458	11.93
	II	3	J	0.9999	4.2432	0.25
		1	C	0.9860	-1.9106	98.60
		2	R	0.9964	0.1276	1.04
荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落 Ground and soil-dwelling Invertebrate community	III	3	J	0.9985	1.6419	0.21
		4	S	0.9999	0.02311	0.15
		1	J	0.9714	3.7593	97.14
	II	2	S	0.9999	0.0218	2.86
		1	J	0.9611	2.9447	96.11
		2	S	0.9998	0.03533	3.88
		3	F	0.9999	0.00003	0.01

F 代表红火蚁的种群密度

3 讨论

生物入侵现象在当今社会十分普遍,引发了一系列的生态和经济问题。生物入侵改变物种原有的生物地理分布和自然生态系统的结构与功能,对环境产生巨大影响。入侵种往往形成广泛的生物污染,危及土著群落的生物多样性并影响农、林、牧业生产,造成极大的经济损失^[25]。由于红火蚁食性杂、习性凶猛、繁殖力和竞争力强,一旦进入新的地区,在缺少天敌等控制因素的条件下,该虫种群数量极易膨胀,短期内即可暴发成灾,成为一种严重的外来入侵物种。据国内有关学者的预测,红火蚁在我国东南部的广大地区均可能适生或造成危害^[26-29]。

过去 30a 来,关于该虫对生态系统中生物多样性的影响的研究一直在美国南方这个遍布红火蚁的区域进行着,众多的研究结果显示这种凶猛的入侵者对其它蚂蚁、无脊椎动物和脊椎动物造成的不利影响^[1,7-11,13]。是导致生物多样性丧失的主要威胁之一^[6,12]。虽然红火蚁在土壤中筑巢,但是它们既在树木上取食,也在地表取食,并且可能会影响到林冠层节肢动物^[30]。国内外的调查表明红火蚁可发生于多种类型的生境中,如农田、菜地、果园、荒地、灌丛和城市生态系统等^[31-34]。

关于该虫对我国生态系统中生物多样性的影响的研究是选择了一种华南典型发生生境——荔枝园来进行的。荔枝园生态系统是一个十分复杂的系统,红火蚁入侵改变了该生态系统的结构和功能。通过总结红火蚁对荔枝园无脊椎动物群落的影响,我们初步可以归纳出红火蚁影响荔枝园生物群落的机理主要表现在以下几个方面:(1)直接捕食:如红火蚁是一些荔枝园害虫的贪婪的捕食者,这当中尤为重要的是一些鳞翅目蛾类的卵及幼虫。据作者在荔枝园的观察,红火蚁对这些鳞翅目蛾类的卵及幼虫的捕食作用相当强,这从一定意义上可以说红火蚁在控制荔枝园有害生物方面是有益的。但研究表明,红火蚁在捕食害虫的同时也捕食益虫,可见红火蚁是相对不加选择的杂食性捕食者。(2)种间竞争:如红火蚁在新栖息地荔枝园的竞争能力往往强于处于相似生态位的荔枝园本地蚂蚁哀弓背蚁 *Camponotus dolendus* Forel,这种竞争包括干扰竞争和对资源的掠夺式竞争^[35], (3)种间抑制:如红火蚁具有很强的攻击性,它们严重妨碍一些荔枝园本土昆虫的活动,如觅食、

授粉和栖息等,加之由于多年的协同进化,各物种之间形成了相对固定的食物链关系,某一物种个体数量的减少,会给捕食者或靠其完成生活史的其它物种造成影响,最终导致整个受影响荔枝园各物种的种群数量明显降低。(4)互利共生:如荔枝园中一些与红火蚁有互利共生关系的蚜类、蚧类的种群数量出现了较为明显的增加。这与这些昆虫能分泌红火蚁喜食的蜜露有关。在轻度发生荔枝园,独角仙(*Xylotrupes gideon* L)幼虫种群数量非但没有下降,而且出现了一定程度的回升,推断它们之间存在互利共生的关系。

表 8 红火蚁对荔枝园无脊椎动物群落稳定性的影响
Table 8 Stable effects of red imported fire ants on invertebrate community in Litchi Orchards

稳定指数 Stable index	群落类型 Community type	I	II	III
S_s/S_t	荔枝园树冠无脊椎动物群落 Canopy-dwelling invertebrate community	0.0074	0.0102	0.0152
	荔枝园地面植被无脊椎动物群落 Ground vegetation-dwelling invertebrate community	0.0070	0.0098	0.0186
	荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落 Ground and soil-dwelling invertebrate community	0.0038	0.0049	0.0047
S_n/S_p	荔枝园树冠无脊椎动物群落 Canopy-dwelling invertebrate community	0.6232	0.5918	0.5000
	荔枝园地面植被无脊椎动物群落 Ground vegetation-dwelling invertebrate community	1.6176	1.1111	0.5000
	荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落 Ground and soil-dwelling invertebrate community	1.0370	0.7895	0.8750
d_s/d_m	荔枝园树冠无脊椎动物群落 Canopy-dwelling invertebrate community	0.0404	0.0415	0.0556
	荔枝园地面植被无脊椎动物群落 Ground vegetation-dwelling invertebrate community	0.0277	0.0278	0.1187
	荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落 Ground and soil-dwelling invertebrate community	0.0216	0.0134	0.0814

关于入侵性蚁对群落水平的无脊椎动物的影响,在国外是通过比较动物区系中发生区域与未发生区域而得出的结果。群落对于环境变化或扰动的反映,是通过组成群落的生物种群来实现的,因此,群落的稳定起始于种群和种群中的个体对于环境变化或扰动的反应能力。当一个群落中包含有更多的生物种类,而且每个种的个体数都比较均匀时,它们之间就容易形成一个较复杂的相互关系,这样群落对于环境的变化、干扰或来自群落内某些种群的波动,由于有一个较强大的反馈系统而使群落得到较大的缓冲。这样的群落优势种就不太突出,而且群落多样性的参数值也较大。一般而言,多样性指数和均匀度值较高而优势集中性值较低的群落,其稳定性较好。而在本试验中,正是红火蚁的入侵导致荔枝园树冠和地面植被无脊椎动物群落优势集中性的提高,这一方面是由于红火蚁自身的种群密度很大,另一方面则是由于红火蚁与荔枝园树冠和地面植被上的蚜类、蚧类存在互利共生的相互关系,对它们的种群发展有助增作用,这也导致了优势集中性的提高。另外,由于红火蚁对荔枝园地表及土壤无脊椎动物群落造成的影响最大,导致荔枝园地表及土壤中的大部分物种个体数下降明显,只有一些与红火蚁存在互利共生关系的种类及土栖蚂蚁个体数出现增加或变化较小,这都导致群落的均匀性明显降低,因而受红火蚁扰动后的荔枝园稳定性较差。

然而,这种研究方法也受到很多限制。首先由于红火蚁入侵我国时间不长,大部分的调查通常都是围绕入侵发生后的某一方面进行,缺少对入侵事件进行长期的追踪研究。国外的研究显示入侵性蚁经过一段时间后,可能会自然地“驯服”^[36],本地蚂蚁和节肢动物种类的多样性又恢复到了红火蚁入侵前的水平。因此入侵性蚁在短期内造成的影响并不能够准确地预测出它们对节肢动物群落产生的长期后果。其次,发生区和未发生区在环境方面可能还受一些未知因素的影响,因此,入侵性蚁对荔枝园无脊椎动物群落的影响很难排除环境的作用。在群落水平上,很难对入侵性蚁对某一单一种类的影响进行监测和统计,这对稀有种类尤其是这样。而且,它很难总结出被给定种群到底受到何种影响。例如,一些报道说入侵性蚁对蜘蛛有负面影响,而

另一些却说不能看出有明显影响^[37]。总之,这些结果很难说明蜘蛛和入侵性蚁之间的相互联系。

要明确红火蚁入侵中国南方后所产生的生态学效应必须坚持进行长期研究,而本文大部分的调查通常都是围绕入侵发生后的某一方面进行,缺少对入侵事件进行长期的追踪研究,因此所得的结论并不能够准确地预测出它们对无脊椎动物群落产生的长期后果。要彻底弄清楚红火蚁入侵中国南方后对当地生物群落、生态系统所造成的影响,还需在包括研究方法在内的许多方面做出改进。

References:

- [1] Vinson S B. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera:Formicidae): spread,biology and impact. American Entomology, 1997, 43(1): 23-39.
- [2] Morrison L W, Porter S D, Daniels E. Potential global range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*. Biological Invasions, 2004, 6: 183-191.
- [3] Zeng L, Lu Y Y, Chen Z N. Survey and control for red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2005.
- [4] Nattress R, Vanderwoude C. A Preliminary investigation of the ecological effects of Fire ants (*Solenopsis invicta*) in Brisbane. Ecological Management and Restoration, 2001, 2(3): 220-223.
- [5] Allen C R, Lutz R S, Lockley T, Phillips S A, Demarais S. The non-indigenous ant, *Solenopsis invicta*, reduces loggerhead shrike and native insect abundance. Journal of Agricultural and Urban Entomology, 2001, 18: 249-259
- [6] Cook J. Conservation of biodiversity in an area impacted by the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). Biodiversity Conservation, 2003, 12: 187-195.
- [7] Freed P S, Neitman K. Notes on predation on the endangered Houston toad, *Bufo houstonensis*. Texas Journal of Science, 1988, 40: 454-456.
- [8] Hu G Y, Frank J H. Effect of red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) on dung-inhabiting arthropods in Florida. Environmental Entomology, 1996, 25: 1290-1296.
- [9] Morrison L W. Long-term impacts of an arthropod-community invasion by the imported fire ant, *Solenopsis invicta*. Ecology, 2002, 83: 2337-2345.
- [10] Mount R H, Trauth S E, Mason W H. Predation by the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), on eggs of the lizard, *Cnemidophorus sexlineatus* (Squamata: Teiidae). Journal of Alabama Academy of Science, 1981, 52: 66-70.
- [11] Vinson S B. Effect of the red imported fire ant (Hymenoptera:Formicidae): on a small plant-decomposing arthropod community. Environmental Entomology, 1991, 20: 98-103.
- [12] Wojcik D P, Allen C R, Brenner R J, Forsy E A, Jovenaz D P, Lutz R S. Red imported fire ants; impact on biodiversity. American Entomologist, 2001, 47: 16-23.
- [13] Yusa Y. Predation on eggs of the apple snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) by the fire ant *Solenopsis geminata*. Journal of Molluscan Studies, 2001, 67 (3): 275-279.
- [14] Hook A W, Porter S D. Destruction of harvester ant colonies by invading fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in South-central Texas. Southwest Naturalist, 1990, 35: 477-478.
- [15] Porter S D, Savignano D A. Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. Ecology, 1990, 71: 2095-2106.
- [16] Stiles J H, Jones R H. Top-down control by the red imported fire ant *Solenopsis invicta*. American Midland Naturalist, 2001, 146(1): 171-185.
- [17] Eastwood R F, Abensperg M. Associations between lycaenid butterflies and ants in Australia. Australian Journal of Ecology, 1999, 24: 503-537.
- [18] Folgarait P J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning; a review. Biodiversity Conversation, 1998, 7: 1221-1244.
- [19] Jones C G, Lawnton J H, Schachak M. Organisms as ecosystem engineers. Oikos, 1994, 69: 373-386.
- [20] Wu B Q, Lu Y Y, Zeng L, Liang G W. Influences of *Solenopsis invicta* Buren invasion on the native ant communities in different habitats in Guangdong. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 151-156.
- [21] Gao B J, Zhang Z Z, Li Z Y. Studies on the influence of the closed forest on the structure, diversity and stability of insect community. Acta Ecologica Sinica, 1992, 12(1): 1-7.
- [22] Cong J G. Study on the community of spider in chinese arborvitae forest of Shang-dong central mountains, China. Acta Arachnologica Sinica, 1997, 6(1): 26-30.
- [23] Allegro S R. Assessing the potential role of ground beetles as bio-indicators in poplar stands, with a newly proposed ecological index. Forest Ecology and Management, 2003, 175: 275-284.

- [24] Niemela J, Kotze J, shworth A. The search for common arthropogenic impacts on biodiversity: a global network. *Journal of Insect Conservation*, 2000, 4: 3-9.
- [25] Cumutt J L. Host-area specific climatic-matching: similarity bread plant, the varying success of invaders. *Ecology*, 2000, 77(6): 1661-1666.
- [26] Chen C, Gong W R, Hu B S, Zhou G L, Bao Y X, Liu F Q. Potential establishment areas of *Solenopsis invicta* Buren in China: A prediction based on GIS. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2093-2097.
- [27] Du Y Z, Gu J, Guo J B, Dai L, Ju R T, Hu X N. Study on the potential distribution area of invasive alien pest red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(1): 96-106.
- [28] Shen W J, Wang Y N, Wan F H. Study on the potential distribution of *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) and its invasion probability in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(6): 1673-1683.
- [29] Xue D Y, Li H M, Han H X, Zhang R Z. A prediction of potential distribution area of *Solenopsis invicta* in China. *Entomological Knowledge. Institute of Zoology. Chinese Academy of Sciences*, 2005, 42(1): 57-60.
- [30] Kaspari M. Do imported fire ants impact canopy arthropods? Evidence from simple arboreal pitfall traps. *Southern Naturalist*, 2000, 45: 118-122.
- [31] Eubanks M D. Estimates of the direct and indirect effects of red imported fire ant on biological control in field crops. *Biological Control*, 2001, 21: 35-43.
- [32] Li N D, Lu Y Y, Zeng L, Liang G W, Xu Y J. Study on spatial distribution and sample technology of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren active mounds. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2006, 25(1): 31-35.
- [33] Vogt J T, Grantham R A, Smith W A, Arnold D C. Prey of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in *Oklahoma peanuts*. *Environmental Entomology*, 2001, 30: 123-128.
- [34] 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, 26(1): 40-42.
- [35] Xi Y B, Zeng L, Lu Y Y, Xu Y J, Liang G W, Zhang W Q. Interspecific relationship between *Solenopsis invicta* Buren and *Camponotus dolendus* Forel in Litchi Orchard. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28(4): 6-10.
- [36] Haskins C P, Haskins E F. Final observations on *Pheidole megacephala* and *Iridomyrmex humilis* in Bermuda. *Psyche*, 1988, 95: 177-184.
- [37] Sterling W L, Jones D, Dean D A. Failure of the red imported fire ant to reduce entomophagous insect and spider abundance in a cotton agroecosystem. *Environmental Entomology*, 1979, 8: 976-981.

参考文献:

- [3] 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.
- [20] 吴碧球, 陆永跃, 曾玲, 梁广文. 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*, 2008, 19(1): 151-156.
- [21] 高宝嘉, 张执中, 李镇宇. 封山育林对昆虫群落结构及多样性、稳定性影响的研究. *生态学报*, 1992, 12(1): 1-7.
- [22] 丛建国. 鲁中山地侧柏林区蜘蛛群落的研究. *蛛形学报*, 1997, 6(1): 26-30.
- [26] 陈晨, 龚伟荣, 胡白石, 周国梁, 包云轩, 刘凤权. 基于地理信息系统的红火蚁在中国适生区的预测. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2093-2097.
- [27] 杜予州, 顾杰, 郭建波, 戴霖, 鞠瑞亭, 胡学难. 入侵害虫红火蚁在中国的适生性分布研究. *中国农业科学*, 2007, 40(1): 99-106.
- [28] 沈文君, 王雅男, 万方浩. 应用相似离度法预测红火蚁在中国适生区域及其入侵概率. *中国农业科学*, 2008, 41(6): 1673-1683.
- [29] 薛大勇, 李红梅, 韩红香, 张润志. 红火蚁在中国潜在分布区的预测. *昆虫知识*, 2005, 42(1): 57-60.
- [32] 李宁东, 陆永跃, 曾玲, 梁广文, 许益鏊. 广东省红火蚁生境类型、空间分布和抽样技术研究. *华中农业大学学报*, 2006, 25(1): 31-35.
- [34] 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, 26(1): 40-42.
- [35] 席银宝, 曾玲, 陆永跃, 许益鏊, 梁广文, 张维球. 荔枝园红火蚁和哀弓背蚁种间关系研究. *华南农业大学学报*, 2007, 28(4): 6-10.

附表 1

荔枝园树冠无脊椎动物主要物种 Canopy-dwelling invertebrate main species	对照区 I CK area	轻度发生区 II Area infested lightly	重度发生区 III Area infested heavily
蠹蛾科 Tettigoniidae	27.88 ± 2.33a	15.88 ± 1.29b	4.38 ± 0.42c
大青蝗 <i>Chondracris rosae</i> De Geer	17.13 ± 2.69a	9.88 ± 1.53b	2.75 ± 0.41c
白蛾蜡蝉 <i>Lawana imitata</i> Melichar	34.75 ± 6.81a	19.50 ± 3.77b	
褐边蛾蜡蝉 <i>Salurnis marginella</i> Guerin	16.50 ± 5.25a	9.38 ± 3.00b	
黄绿短头叶蝉 <i>Iassus indicus</i> Lethierry	25.75 ± 5.81a	14.63 ± 3.30b	
小绿叶蝉 <i>Empoasca flavescens</i> Fabricius	21.25 ± 5.46a	12.13 ± 3.12b	
角蜡蚧 <i>Ceroplastes ceriferus</i> Anderson	25.00 ± 1.98b	34.25 ± 1.11a	14.20 ± 0.62c
荔枝蜡 <i>Tessarotome papillosa</i> Drury	44.88 ± 2.81a	45.75 ± 1.53a	25.75 ± 1.53b
斑须蜡 <i>Dolycoris baccarum</i> L.	15.00 ± 0.96a	8.50 ± 0.57b	2.25 ± 0.25c
麻皮蜡 <i>Erthesina fullo</i> Thunberg	12.50 ± 0.78a	7.13 ± 0.44b	2.00 ± 0.00c
独角仙 <i>Xylotrupes Gideon</i> Linnaeus	16.25 ± 3.99a	16.00 ± 2.30a	5.25 ± 0.62b
丽金龟科 Rutelidae	13.38 ± 2.60a	13.63 ± 1.45a	2.00 ± 0.42b
茶材小蠹 <i>Xyleborus fornicatus</i> Eichhoff	20.88 ± 2.15a	11.75 ± 1.21b	3.13 ± 0.30c
荔枝叶瘿蚊 <i>Dasineura</i> sp	15.13 ± 2.07a	8.62 ± 1.18b	2.50 ± 0.33c
茶蓑蛾 <i>Cryptothoea minuscula</i> Butler	11.25 ± 1.89		
扁刺蛾 <i>Thoesa sinensis</i> Walker	20.13 ± 4.56a	11.50 ± 2.56b	
黄刺蛾 <i>Cnidocampa flavescens</i> Walker	16.63 ± 4.26a	9.50 ± 2.49b	
荔枝蒂蛀虫 <i>Conopomorpha sinensis</i> Bradley	30.75 ± 5.81a	17.50 ± 3.28b	
三角新小卷蛾 <i>Olethreutes leacaspis</i> Meyrick	28.88 ± 5.14a	15.25 ± 3.58b	
灰白卷蛾 <i>Atgyroploce aprobola</i> Meyrick	19.25 ± 7.91a	11.00 ± 4.52b	
绿额翠尺蛾 <i>Thalassodes proquadraria</i> Znouce	37.00 ± 10.7a	20.75 ± 5.95b	5.75 ± 1.64c
油桐尺蠖 <i>Buzura suppressaria benescripta</i> Prout	34.75 ± 5.06a	19.88 ± 2.85b	5.38 ± 0.80c
双线盗毒蛾 <i>Porthesia scantillans</i> Walker	14.00 ± 2.00a	8.00 ± 1.13b	
佩夜蛾 <i>Oxyodes scrobiculata</i> Fabricius	40.38 ± 6.23a	22.88 ± 3.51b	6.38 ± 0.89c
荔枝瘿螨 <i>Aceria Litchii</i> Keifer	19.25 ± 4.19a	18.88 ± 2.39a	
黄蜻 <i>Pantala flavescens</i> (Fabricius)	19.13 ± 1.14a	10.88 ± 0.61b	2.88 ± 0.13c
广斧螳 <i>Hierodula patellifera</i> (Serville)	19.75 ± 1.91a	11.50 ± 1.10b	3.25 ± 0.31c
中华大刀螳 <i>Tenodera aridifolia</i> sinensis	17.88 ± 1.88a	10.13 ± 1.08b	2.75 ± 0.37c
广锥猎蝽 <i>Triatoma rubrofasciata</i> De-Geer	8.75 ± 2.13		
南方光猎蝽 <i>Ectrychotes linanensis china</i>	13.13 ± 2.55a	7.38 ± 1.39b	
锥盾菱猎蝽 <i>Isyndus reticulatus</i> St	10.00 ± 1.92a	5.75 ± 1.13b	
中华草蛉 <i>Chrysopa sinica</i> Tiedert	17.38 ± 6.14a	9.75 ± 3.45b	
四斑月瓢虫 <i>chilomenes quadriplagata</i> Swartz	29.00 ± 2.76b	36.50 ± 1.63a	14.63 ± 0.50c
六斑月瓢虫 <i>Menochilus sexmaculata</i> Fabricius	26.63 ± 1.12b	35.25 ± 0.65a	14.13 ± 0.23c
荔枝卵跳小蜂 <i>Ovencyrtas corbetti</i> Feer	7.88 ± 1.72		
姬蜂科 Ichneumonidae	12.50 ± 1.77a	4.25 ± 1.08b	
茧蜂科 Braconidae	9.13 ± 1.46a	5.38 ± 0.82b	
平腹小蜂 <i>Anastatus japonicus</i>	60.38 ± 10.56a	34.25 ± 5.95b	
斑管巢蛛 <i>Clubiona deletrix</i> O. P. -Cambridge	26.00 ± 3.64		
斜纹猫蛛 <i>Oxyopes sertatus</i> (L. Koch)	54.00 ± 9.24a	30.75 ± 5.19b	8.75 ± 1.58c
白条锯足蛛 <i>Runcinia albostrata</i> Boes. et Str.	34.63 ± 3.98a	19.75 ± 2.22b	5.50 ± 0.65c
巾阿卷叶蛛 <i>Ajmonia capuzina</i> Feng	24.13 ± 4.21		
德国小蠊 <i>Blattella germanica</i> (L.)	19.50 ± 1.24a	20.13 ± 0.69a	
黄斑大蚊 <i>Nephrotoma</i> sp	12.63 ± 3.86a	7.13 ± 2.21b	2.00 ± 0.60c
细蚊科 Dixidae	11.13 ± 3.38a	6.38 ± 1.96b	1.75 ± 0.53c
摇蚊科 Chironomidae	10.88 ± 3.03a	6.25 ± 1.78b	1.88 ± 0.50c
中华按蚊 <i>Anopheles sinensis</i> Wiedemann	12.88 ± 3.59a	7.38 ± 2.09b	1.80 ± 0.52c
麻蝇 <i>Sarcophaga naemorrhoidalis</i> Fallen	17.63 ± 2.78a	10.13 ± 1.55b	
大头金蝇 <i>Chrysomya megacephala</i> Fabricius	23.63 ± 5.27a	13.38 ± 3.06b	4.00 ± 0.85c
蝇科 Muscidae	15.50 ± 3.50a	8.75 ± 2.00b	2.63 ± 0.60c
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> L.	14.00 ± 3.66a	8.00 ± 2.13b	2.38 ± 0.60c
中华蜜蜂 <i>Apis cerana</i> Fabricius	17.00 ± 2.35a	9.88 ± 1.38b	2.75 ± 0.37c

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同行数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$),表中空格表示抽样调查时没采到的物种,下同

附表 2

荔枝园地面植被无脊椎动物主要物种 Ground vegetation-dwelling Invertebrate main species	对照区 I CK area	轻度发生区 II Area infested lightly	重度发生区 III Area infested heavily
长翅草蛉 <i>Comxephalus longipennis</i> Cde Haan	25.38 ± 3.47a	13.88 ± 1.73b	3.25 ± 0.53c
日本绿螽 <i>Holochlora japonica</i> Brunner-Wattenwyl	25.50 ± 2.84a	13.75 ± 1.45b	3.25 ± 0.41c
日本条螽 <i>Ducetia japonica</i> (Thunberg)	16.50 ± 2.80a	8.75 ± 1.45b	
螽蜥科 <i>Tettigoniidae</i>	18.00 ± 1.97a	9.75 ± 1.06b	
中华剑角蝗 <i>Acrida cinerea</i>	23.88 ± 2.94a	12.75 ± 1.47b	3.13 ± 0.44c
短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i>	28.88 ± 2.90a	15.50 ± 1.36b	3.75 ± 0.49c
碧蛾蜡蝉 <i>Geisha distinctissima</i> Walker	18.63 ± 3.54a	10.00 ± 1.88b	2.38 ± 0.46c
双线沫蝉 <i>Prosapia bicincta</i> L	19.75 ± 6.00a	10.50 ± 3.18b	2.50 ± 0.78c
芒果扁喙叶蝉 <i>Idioscopus incertus</i> Baker	32.50 ± 4.09a	27.38 ± 2.00b	24.13 ± 0.52c
蚜科 <i>Aphididae</i>	24.25 ± 6.46b	32.88 ± 3.37a	12.68 ± 0.37c
二斑长蝥 <i>Lygaeus hospes</i> Fabricius	62.63 ± 3.02a	34.00 ± 1.32b	8.00 ± 0.33c
黄色小长蝥 <i>Nysius ericae</i> Schill	44.75 ± 3.38a	24.13 ± 1.60b	5.75 ± 0.31c
龟蝽科 <i>Plataspidae</i>	27.13 ± 2.00a	24.63 ± 0.86a	3.50 ± 0.27b
茄二十八星瓢虫 <i>Henosepilachna vigintioctopunctata</i> Fabricius	35.75 ± 1.42a	39.38 ± 0.60a	24.75 ± 0.25b
黄曲条跳甲 <i>Phyllotreta vittata</i> Fabricius	5.13 ± 1.60		
黑足黄守瓜 <i>Aulacophora femoralis</i> Motschulsky	3.50 ± 1.45		
草地螟 <i>Loxostege sticticalis</i> L	14.00 ± 2.73a	7.50 ± 1.36b	
小地老虎 <i>Agrotis ypsilon</i> Rottemberg	5.13 ± 1.29		
甜菜夜蛾 <i>Laphygma exigua</i> Hubner	7.00 ± 1.50		
甘蓝夜蛾 <i>Mamestra brassicae</i> L	9.00 ± 1.50		
粘虫 <i>Pseudaletia separata</i> Walker	19.25 ± 2.43a	7.50 ± 1.32b	
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i> Fabricius	26.25 ± 2.98a	14.25 ± 1.54b	3.38 ± 0.26c
草地夜蛾 <i>Spodoptera frugiperda</i> J E Smith	17.50 ± 2.46a	9.50 ± 1.22b	
绢蛾科 <i>Scythridae</i>	30.38 ± 2.42a	16.50 ± 1.25b	3.88 ± 0.35c
黄蜻 <i>Pantala flavescens</i> (Fabricius)	22.75 ± 2.55a	12.25 ± 1.24b	2.75 ± 0.25c
褐斑异痣螳 <i>Ischnura senegalensis</i> (Rambur)	22.88 ± 1.08a	12.38 ± 0.56b	
中华大刀螳 <i>Tenodera aridifolia sinensis</i>	17.63 ± 2.00a	9.63 ± 1.02b	2.25 ± 0.25c
丽眼斑螳 <i>Creobroter gemmata</i> (Stoll)	19.63 ± 2.10a	10.75 ± 1.06b	2.63 ± 0.26c
猎蝽科 <i>Reduviidae</i>	10.00 ± 1.92		
绿盲蝽 <i>Lygus lucorum</i> Meyer-Dur	12.25 ± 0.67a	6.63 ± 0.32b	
姬蝽科 <i>Nabidae</i>	36.75 ± 5.03a	35.13 ± 2.55a	
中华草蛉 <i>Chrysopa sinica</i> Tiedler	32.00 ± 3.09		
四斑月瓢虫 <i>Chilomenes quadriglata</i> Swartz	30.13 ± 3.64b	36.25 ± 1.93a	13.75 ± 0.41c
六斑月瓢虫 <i>Menochilus sexmaculata</i> Fabricius	29.50 ± 2.83b	36.13 ± 1.59a	13.88 ± 0.30c
姬蜂科 <i>Ichneumonidae</i>	10.38 ± 1.72a	6.20 ± 1.73b	
黑足泥蜂 <i>Sphex subtruncatus</i> Dahlbom	13.63 ± 2.44a	7.38 ± 1.28b	
哀弓背蚁 <i>Camponotus dolendus</i> Forel	13.13 ± 3.97a	8.00 ± 2.04b	
黑草蚁 <i>Lasius fuliginosus</i>	11.38 ± 2.02a	9.50 ± 1.02b	
黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i> Fabricius	12.50 ± 1.61a	9.25 ± 0.82b	
交迭园蛛 <i>Araneus alternidens</i> Schenkel	27.50 ± 1.07a	15.00 ± 0.57b	
卡氏园蛛 <i>Eriovixia cavaleriei</i> (Schenkel)	22.50 ± 1.02a	12.38 ± 0.56b	
加禾马蛛 <i>Hippasa holmerae</i>	24.50 ± 1.25a	13.38 ± 0.63b	
拟环纹豹蛛 <i>Pardosa pseudoannulata</i> (Boes. et Str.)	20.50 ± 1.20a	11.13 ± 0.61b	
草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i> (Sundevall)	22.50 ± 1.22a	12.25 ± 0.53b	
线纹猫蛛 <i>Oxyopes lineatipes</i> (L. Koch)	36.75 ± 1.86a	20.13 ± 0.79b	4.63 ± 0.18c
南方猫蛛 <i>Oxyopes daksima</i> Scherriffs	25.75 ± 1.80a	14.13 ± 0.90b	

续表

荔枝园地面植被无脊椎动物主要物种 Ground vegetation-dwelling Invertebrate main species	对照区 I CK area	轻度发生区 II Area infested lightly	重度发生区 III Area infested heavily
草皮逍遥蛛 <i>Philodromus cespitum</i> (Walckenaer)	18.13 ± 0.67a	10.00 ± 0.38b	
纵条蝇狮 <i>Marpissa magister</i> (Karsch)	33.75 ± 1.30a	18.25 ± 0.62b	
角红蟹蛛 <i>Thomisus labefactus</i> Karsch	39.50 ± 4.32a	21.25 ± 2.17b	
黄栎足蛛 <i>Anahita fauna</i> Karsch	36.13 ± 4.02a	19.50 ± 2.03b	
德国小蠊 <i>Blattella germanica</i> (L.)	19.13 ± 1.52a	20.25 ± 0.76a	
一点长足长蝽 <i>Dieuches uniguttatus</i> Thunberg	32.88 ± 3.92a	17.75 ± 2.02b	
黄斑大蚊 <i>Nephrotoma</i> Sp	17.88 ± 4.75a	9.63 ± 2.55b	2.13 ± 0.58c
细蚊科 Dixidae	16.00 ± 4.35a	8.50 ± 2.32b	2.00 ± 0.53c
摇蚊科 Chironomidae	13.75 ± 3.96a	7.25 ± 2.09b	1.88 ± 0.52c
中华按蚊 <i>Anopheles sinensis</i> Wiedemann	17.25 ± 4.64a	9.13 ± 2.48b	2.00 ± 0.53c
麻蝇 <i>Anopheles sinensis</i> Wiedemann	23.63 ± 5.27a	12.63 ± 2.77b	3.00 ± 0.68c
大头金蝇 <i>Chrysomya megacephala</i> Fabricius	23.88 ± 8.53a	13.50 ± 4.41b	5.63 ± 1.18c
蝇科 Muscidae	46.25 ± 8.05a	25.00 ± 4.12b	5.58 ± 0.95c
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> L	18.50 ± 3.92a	10.00 ± 2.09b	2.25 ± 0.53c
茶鹿蛾 <i>Amata germane</i> Felden	20.00 ± 2.03a	10.88 ± 1.03b	2.50 ± 0.27c
中华蜜蜂 <i>Apis cerana</i> Fabricius	12.00 ± 2.35a	6.38 ± 1.24b	

附表 3

荔枝园地表及土壤无脊椎动物主要物种 Ground and soil-dwelling Invertebrate main species	对照区 I CK area	轻度发生区 II Area infested lightly	重度发生区 III Area infested heavily
家白蚁 <i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki	87.70 ± 7.15a	59.70 ± 4.41b	50.00 ± 4.07c
黑翅土白蚁 <i>Odontotermes formosanus</i> Shiraki	68.50 ± 6.53a	46.50 ± 4.44b	39.80 ± 3.80c
黄翅大白蚁 <i>Macrotermes barneyi</i> Light	59.50 ± 6.99a	40.50 ± 4.78b	34.80 ± 4.10c
中华剑角蝗 <i>Acrida cinerea</i>	22.00 ± 3.26a	11.70 ± 1.67b	
短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i>	20.00 ± 3.22a	10.60 ± 1.68b	2.50 ± 0.43c
黄脸油葫芦 <i>Teleogryllus emma</i>	29.90 ± 2.28a	15.90 ± 1.04b	
大蟋蟀 <i>Brachytrupes portentosus</i> Lichtenstein	14.90 ± 2.28a	7.70 ± 1.16b	
二斑长蝽 <i>Lygaeus hospes</i> Fabricius	62.70 ± 6.88a	33.00 ± 3.33b	
黄色小长蝽 <i>Nysius ericae</i> Schill	26.50 ± 2.58a	14.10 ± 1.27b	
龟蝽科 Plataspidae	17.90 ± 2.47a	16.50 ± 1.28a	12.30 ± 0.33b
麻皮蝽 <i>Erthesina fullo</i> Thunberg	18.00 ± 1.55a	9.60 ± 0.82b	2.20 ± 0.25c
独角仙 <i>Xylotrupes Gideon</i> Linnaeus	28.20 ± 5.75b	34.80 ± 3.08a	
丽金龟科 Rutelidae	36.90 ± 5.80b	45.40 ± 3.24a	
鳃金龟科 Melolonthidae	25.30 ± 5.60a	24.40 ± 3.26a	
花金龟科 Cetoniidae	10.80 ± 0.88a	10.50 ± 0.40a	
同型巴蜗牛 <i>Bradybena similaria</i> Ferussac	3.40 ± 0.72		
灰巴蜗牛 <i>Bradybena ravidu</i> Bens	2.90 ± 0.60		
非洲大蜗牛 <i>Achatina fulica</i> Bowdich	4.40 ± 0.70		
野蛞蝓 <i>Agriolima agrestis</i>	4.80 ± 1.08		
蠼螋科 Labiduridae	15.60 ± 2.75		
逗斑青步甲 <i>Chlaenius virgulifer</i> Chaudoir	14.40 ± 1.13		
蠋步甲 <i>Calathus halensis</i> Schaller	4.70 ± 0.93		
奇裂附步甲 <i>Dischissus mieandus</i> Bates	12.60 ± 0.99		
黄斑步甲 <i>Chlaenius micans</i> Fabricius	3.80 ± 0.88		
青翅蚁形隐翅甲 <i>Paederus fuscipes</i> Curtis	28.70 ± 6.02		
寄蝇科 Tachinidae	2.00 ± 0.67		

续表

荔枝园地表及土壤无脊椎动物主要物种 Ground and soil-dwelling Invertebrate main species	对照区 I CK area	轻度发生区 II Area infested lightly	重度发生区 III Area infested heavily
黑足泥蜂 <i>Sphex subtruncatus</i> Dahlbom	1.60 ± 0.40		
土蜂科 Scoliidae	2.60 ± 0.30		
哀弓背蚁 <i>Camponotus dolendus</i> Forel	17.20 ± 2.12a	9.10 ± 1.09b	1.40 ± 0.45c
黑草蚁 <i>Lasius fuliginosus</i>	22.20 ± 2.10a	13.10 ± 1.06b	
史氏铺道蚁 <i>Tetramorium smithi</i> Mayr	19.20 ± 2.20a	16.10 ± 1.07b	
皮氏大头蚁 <i>Pheidole pيلي</i> Santschi	17.20 ± 2.16a	7.10 ± 1.04b	
黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i> Fabricius	21.20 ± 2.14a	13.10 ± 1.05b	5.30 ± 1.11c
花居小家蚁 <i>Monomorium floricola</i> (Jerdon, 1851)	28.20 ± 2.18a	27.20 ± 2.20a	26.80 ± 1.19ab
星豹蛛 <i>Pardosa astrigera</i> Koch	33.70 ± 3.19a	18.00 ± 1.51b	4.30 ± 0.33c
拟环纹豹蛛 <i>Pardosa pseudoannulata</i> (Boes. et Str.)	25.70 ± 3.24a	13.80 ± 1.58b	
草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i> (Sundevall)	33.00 ± 1.33a	17.60 ± 0.60b	
土黄逍遥蛛 <i>Philodromus subaureolus</i> Boes. et Str.	29.60 ± 2.83a	15.70 ± 1.39b	
草皮逍遥蛛 <i>Philodromus cespitum</i> (Walckenaer)	26.60 ± 2.80a	14.30 ± 1.37b	5.30 ± 0.82c
角红蟹蛛 <i>Thomisus labefactus</i> Karsch	26.70 ± 1.68a	14.20 ± 0.73b	3.50 ± 0.22c
黄褐狡蛛 <i>Dolomedes sulfurous</i> C. L. Koch	26.10 ± 2.13		
浙江栅蛛 <i>Hahnina zhejiangensis</i> Song et Zheng	28.70 ± 1.87		
蜈蚣目 Scolopendromorpha	91.90 ± 9.00a	43.40 ± 4.31b	
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	55.30 ± 4.23a	29.40 ± 2.01b	
长角跳虫科 Entomobryidae	44.30 ± 8.80		
铗蛄科 Japygidae	21.60 ± 4.32		
德国小蠊 <i>Blattella germanica</i> (L.)	35.90 ± 2.62b	39.00 ± 1.17a	4.80 ± 0.57c
黑胸大蠊 <i>Periplaneta fuliginosa</i>	39.40 ± 2.86b	46.90 ± 1.43a	5.30 ± 0.45c
露尾甲科 Nitidulidae	24.80 ± 1.58a	23.10 ± 0.80a	3.20 ± 0.20b
麻蝇 <i>Sarcophaga naemorrhoidalis</i> Fallen	12.50 ± 3.08a	8.10 ± 1.79b	
大头金蝇 <i>Chrysomya megacephala</i> Fabricius	16.50 ± 3.00a	10.60 ± 1.48b	
蝇科 Muscidae	14.50 ± 3.20a	10.00 ± 1.83b	
光角柄科 Meinertellidae	22.00 ± 3.90		
马陆 <i>Orthomorpha pkuensis</i>	66.90 ± 6.22a	65.40 ± 2.97a	28.50 ± 0.64b
普通球鼠妇 <i>Armadillidium vulgare</i>	89.30 ± 8.54a	47.20 ± 3.95b	11.00 ± 1.91c
线蚓科 Enchytraeidae	45.00 ± 6.17		
远环蚓属 <i>Amyntas</i>	29.90 ± 4.94a	15.70 ± 2.01b	