

重庆市茶园蚂蚁物种多样性及空间分布格局*

郭 箫 林 强 崔晋波 高冬梅** 许姗姗 盛忠雷

(重庆市农业科学院 重庆 402160)

摘 要 为筛选茶园害虫的蚂蚁类天敌,采用样地调查法研究了重庆主要产茶区(海拔 371~1 068 m)茶园蚂蚁物种多样性特征与空间分布格局。在重庆主要产茶区茶园,设置 3 条垂直带,每条垂直带划分为低海拔(300~500 m)、中海拔(500~700 m)和高海拔(700 m 以上)3 个水平带,每个水平带设置 3~4 块样地,调查茶园的蚂蚁物种组成、群落多样性及空间分布特点。在物种多样性方面:共采集到蚁科昆虫 4 亚科,39 种。各水平带物种丰富度为 7~13 种,Shannon-Wiener 多样性指数 0.55~1.25, Pielou 均匀度指数 0.08~0.16, Simpson 优势度指数为 0.26~0.65;各水平带蚂蚁群落多样性指数差异不显著,表明其多样性水平比较一致。群落相似性指数为 0.22~0.48,多数处于中等不相似水平。在群落优势种方面:不同海拔茶园蚂蚁优势种数目 1~3 种,常见种最多达 6 种,最少仅 1 种;稀有种最多 17 种,最少 5 种;从重庆范围来看,重庆主要产茶区茶园蚂蚁群落共有 7 种优势种。在蚂蚁空间分布方面:有 17 种蚂蚁具有较宽的垂直空间分布,活动范围涵盖土壤、地表和树冠,有作为天敌昆虫资源的可能。仅有 9 种蚂蚁在不同水平带的茶园中均有分布。结合群落相似性与多样性分析结果,重庆茶园生境破碎,蚂蚁群落间物种交流受阻,不利于茶园生物多样性水平的稳定与提高。

关键词 重庆茶园 海拔 蚁科昆虫 物种多样性 分布格局

中图分类号: S186 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2014)05-0585-09

Biodiversity and spatial distribution patterns of ant species in Chongqing City tea gardens

GUO Xiao, LIN Qiang, CUI Jinbo, GAO Dongmei, XU Shanshan, SHENG Zhonglei

(Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract In order to select tea pest predatory ants in Chongqing tea gardens, a sample-plot survey method was used to study the biodiversity and spatial distribution patterns of ant species in tea gardens in the main tea-growing areas of Chongqing (altitude from 371 to 1 068 m). A total of 3 vertical bands were investigated. Three horizontal bands were designed along the above 3 vertical bands at three altitude ranks of 300–500 m, 500–700 m and 700–1 100 m. A total of 39 species, belonging to 4 subfamilies of Formicidae were identified in tea gardens in the main tea-growing areas of Chongqing. In different altitude tea gardens in the main tea-growing areas of Chongqing, the amounts of dominant ant species, common species, rare species and species richness of ant communities were 1–3, 1–6, 5–17 and 7–13, respectively. The Shannon-Wiener diversity, Pielou evenness and Simpson dominance indexes were in the ranges of 0.55–1.25, 0.08–0.16 and 0.26–0.65, respectively. In the same horizontal band, the Simpson dominance of Yongchuan-Rongchang vertical band was the minimum. The Banan-Nanchuan vertical band had the highest Simpson dominance index. The indexes of biodiversity were not significantly different among the different horizontal bands, which suggested that ant community biodiversities were on the same level. In contrast to a similar research in forest environment, ant species biodiversity was least in tea gardens in the main tea-growing areas of Chongqing. The range of the Jaccard indexes of community similarity was 0.22–0.48 and most communities had medium Jaccard index, moderately dissimilar in the tea gardens. In main tea-growing areas of Chongqing, 7 dominant species [e.g. *Tetramorium caespitum* (Linnaeus)] were found. Seventeen ant species had widened vertical distribution range, with activity range including canopy, ground and underground. They were potential resources of natural enemy

* 重庆市自然科学基金项目(cstc2012jjA80038)、重庆市博士后科研项目特别资助项目(XM20120051)、重庆市永川区科技计划项目(Ycstc, 2013ac1003)资助

** 通讯作者: 高冬梅, E-mail: 13996276486@163.com

郭箫, 研究方向为昆虫生态学与茶树害虫治理。E-mail: qiyeshu2000@163.com

收稿日期: 2013-10-28 接受日期: 2014-02-18

insects of tea plant pests existed. With respect to ant species distribution, only 9 ant species were noted in the range of low to high altitude tea gardens. About 17 ant species were distributed in a vertical band. On the basis of the above analysis, the results showed that inter-community communication of ants was hindered by fragmented tea garden habitats both in the vertical and horizontal directions. The fragmented tea garden habitats were not good for ant biodiversity growth and stability in tea gardens in the main tea-growing areas of Chongqing.

Keywords Tea garden in Chongqing City; Altitude; Formicidae insect; Biodiversity; Distribution pattern

(Received Oct. 28, 2013; accepted Feb. 18, 2014)

蚂蚁为膜翅目(Hymenoptera)蚁科(Formicidae)昆虫的俗称。蚂蚁种类繁多,数量巨大,全世界已知有 12 500 余种^[1]。多数蚂蚁以肉食为主,兼食其他有机杂物,因此多数蚂蚁可作为天敌昆虫加以利用^[2]。目前,已经在柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)、芒果(*Mangifera indica* Linn.)、玉米(*Zea mays* Linn.)、柚子[*Citrus grandis* (Linn.) Osbeck]等近 10 种农作物上应用蚂蚁防治害虫,防治对象包括鳞翅目(Lepidoptera)、鞘翅目(Coleoptera)、双翅目(Diptera)等多种害虫^[3-6]。蚂蚁除了是重要的天敌昆虫外,因其对生态环境的重要性,也常用作生物多样性与环境变化的指示物种^[7]。无论是利用蚂蚁控制农林害虫还是指示环境变化,都需要全面掌握当地蚁科昆虫种类、分布与物种多样性特征。因此,近年来,国内外学者对蚂蚁物种多样性展开了深入研究^[8-10]。但相关研究主要集中在生态热点地区,而研究目的也主要是为相关地区的生物多样性保护与生态环境治理提供理论参考^[10-13]。有关农田环境下蚂蚁物种多样性的研究鲜见报道。茶树(*Camellia sinensis* O. Ktze.)为多年生木本植物,是我国重要的传统经济作物。茶树害虫种类繁多,已经明确的约有 800 种,常发性害虫 40 余种^[14]。目前茶园害虫防治多以化学防治为主,受当前茶农害虫防治水平的影响,常常出现农药不当使用的情况,由此给茶叶质量安全带来隐患,甚至影响到整个茶产业的健康发展^[15-16]。生物防治不会引起农药残留问题,但在茶园大规模使用的天敌昆虫少之又少,一方面是因为天敌昆虫释放所要求的环境条件较为严格,另一方面是缺少在茶园成功应用的天敌昆虫资源^[17-18]。

本文拟通过研究茶园蚂蚁物种多样性与分布特征,明确重庆地区茶园蚂蚁物种种类、蚂蚁群落特征以及分布格局,为筛选茶园捕食性天敌蚂蚁并利用其控制茶园害虫提供依据。

1 研究方法

1.1 调查样地设置

在重庆茶叶主产区渝西茶区、渝东南茶区和渝东北茶区各设置一条垂直带,分别为永川—荣昌垂直带、巴南—南川垂直带、万州垂直带。根据我国

西南地区茶叶栽培的传统划分方法:400~500 m 以下为低山茶园,700~800 m 以上为高山茶园;结合重庆茶园实际分布特点以海拔 300~500 m 为低海拔水平带,海拔 500~700 m 为中海拔水平带,海拔 700 m 以上为高海拔水平带。每个水平带设置 3~4 块样地,每块样地面积约 800 m²,每块样地设置 5 块样方,每个样方面积 1 m×1 m,样方间相距不低于 10 m。调查时间为 2012 年和 2013 年的 6—9 月。各样地基本情况见表 1。

1.2 调查方法

调查时,先在每个样方仔细寻找地表活动或筑巢的蚂蚁,记录数量并将其放入 95%酒精中保存。然后挖开土壤,深度约 20 cm,边挖边寻找,遇到蚂蚁个体直接放入采集瓶,遇到整巢的蚂蚁需将蚂蚁巢整个移入白色磁盘中,快速统计蚂蚁个体数量并采集 30 头左右放入采集瓶。样方调查完后,用 2 m×2 m 的白布置于样地内茶树下,猛烈振动或摇动树木枝条,旨在将树木上活动的蚂蚁震落下来,然后将落下的蚂蚁全部放入采集瓶,共重复 5 次。

1.3 物种鉴定

将采集的标本按照徐正会^[11]的方法进行制作,然后采用形态分类学方法对本标本进行分类鉴定。

1.4 物种多样性等指标参数的计算

物种丰富度为样地内所采集到的蚂蚁物种数目,用 S 表示。

优势种的确定:各样地蚂蚁群落优势种依据其所占百分比确定,>10%为优势种,1%~10%为常见种,≤1%为稀有种^[19-20]。

优势度指数:根据 Simpson 优势度公式计算优势度指数(D)^[21]:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \{N_i(N_i - 1) / [N(N - 1)]\} \quad (1)$$

多样性指数:根据 Shannon-Wiener 多样性公式计算多样性指数(H)^[21]:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (P_i = N_i / N) \quad (2)$$

均匀度指数:根据 Pielou 均匀度公式计算均匀度指数(E)^[21]:

表 1 重庆市茶园蚂蚁群落调查样地基本情况

Table 1 General situations of sample-plots for ant community investigation in tea gardens of Chongqing City

地点 Sampling site	海拔 Altitude (m)	茶树主栽 品种 Tea cultivar	周边植被 Surrounding vegetation	茶园类型 Tea garden type	地点 Sampling site	海拔 Altitude (m)	茶树主栽 品种 Tea cultivar	周边植被 Surrounding vegetation	茶园类型 Tea garden type
荣昌县 Rongchang County	371 (低海拔 Low altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	针阔混交林 Theropence-drymion	普通茶园 Common tea garden	巴南区 Banan District	598 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	茶园 Tea plantation	普通茶园 Common tea garden
永川区 Yongchuan District	400 (低海拔 Low altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林 Broadleaf forest	普通茶园 Common tea garden	南川区 Nanchuan District	628 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	竹林+稻田 Bamboo forest + paddy	无公害茶园 Safety tea garden
荣昌县 Rongchang County	500 (低海拔 Low altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林+茶园 Broadleaf forest + tea plantation	普通茶园 Common tea garden	南川区 Nanchuan District	803 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林+茶园 Broadleaf forest + tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden
永川区 Yongchuan District	518 (中海拔 Middle altitude)	蜀永 2 号 Shuyong 2	阔叶林+茶园 Broadleaf forest + tea plantation	茶树资源圃 Tea germplasm resource garden	南川区 Nanchuan District	831 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	松林 Pinewood	无公害茶园 Safety tea garden
永川区 Yongchuan District	615 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	灌丛+茶园 Shrub + tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden	南川区 Nanchuan District	912 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	松林+茶园 Bamboo forest + tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden
荣昌县 Rongchang County	632 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	茶园 Tea plantation	普通茶园 Common tea garden	万州区 Wanzhou District	588 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	阔叶林 Broadleaf forest	普通茶园 Common tea garden
永川区 Yongchuan District	701 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	松林 Pinewood	普通茶园 Common tea garden	万州区 Wanzhou District	696 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	阔叶林 Broadleaf forest	无公害茶园 Safety tea garden
永川区 Yongchuan District	724 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	松林 Pinewood	无公害茶园 Safety tea garden	万州区 Wanzhou District	700 (中海拔 Middle altitude)	巴渝特早 Bayutezao	茶园 Tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden
永川区 Yongchuan District	937 (中海拔 Middle altitude)	川茶群体种 Sichuan population species	竹林+灌丛 Bamboo forest + shrub	撂荒茶园 Abandoned tea plantation	万州区 Wanzhou District	1 025 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林+茶园 Broadleaf forest + tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden
巴南区 Banan District	530 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林 Broadleaf forest	无公害茶园 Safety tea garden	万州区 Wanzhou District	1 060 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林+茶园 Broadleaf forest + tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden
巴南区 Banan District	572 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	针阔混交林 Theropence-drymion	无公害茶园 Safety tea garden	万州区 Wanzhou District	1 068 (中海拔 Middle altitude)	福鼎大白茶 Fuding Dabaicha	阔叶林+茶园 Broadleaf forest + tea plantation	无公害茶园 Safety tea garden

$$E=H/\ln S \quad (3)$$

式中, N_i 是第 i 个物种的个体数, N 是 S 个物种的总个体数。

Jaccard 群落相似性系数(C_j)^[11,21]:

$$C_j = j/(a+b-j) \quad (4)$$

式中, a 和 b 分别为群落 A 和群落 B 的物种数, j 为两个群落的共同物种数。当 C_j 为 0.00~0.25 时, 两群落为极不相似; 当 C_j 为 0.25~0.50 时, 为中等不相似; 当 C_j 为 0.50~0.75 时, 为中等相似; 当 C_j 为 0.75~1.00 时, 为极相似。

1.5 数据处理与分析

采用单因素方差分析方法分析不同海拔茶园蚂蚁群落物种多样性指标变化, 多重比较采用 Duncan 新复极差法, 统计软件为 PASW Statistics 18。

2 结果与分析

2.1 重庆市茶园蚂蚁群落组成

在重庆主要茶园采集的蚁科昆虫经鉴定有 4 亚科, 19 属, 39 种。其中, 猛蚁亚科(Ponerinae)2 属 4

种, 切叶蚁亚科(Myrmicinae)9 属 19 种, 臭蚁亚科(Dolichoderinae)3 属 3 种, 蚁亚科(Formicinae)5 属 13 种。以切叶蚁亚科种类最多, 臭蚁亚科最少。在 39 个物种之中, 上海举腹蚁(*Crematogaster zocensis* Santschi)、贾氏火蚁(*Solenopsis jacoti* Wheeler)、长角狡臭蚁(*Technomyrmex antennis* Zhou)、埃氏平结蚁(*Prenolepis emmae* Forel)、小弓背蚁(*Camponotus minus* Wang et Wu)、少毛弓背蚁(*C. spanis* Xiao et Wang)和重庆弓背蚁(*C. chongqingensis* Wu et Wang)等 7 种为中国特有种, 除重庆弓背蚁和日本弓背蚁(*C. japonicus* Mayr)外, 其余 37 种均为重庆新记录种。

2.2 重庆市不同海拔茶园蚂蚁优势种比较

从表 2 可知, 不同海拔茶园蚂蚁优势种数目相差不大, 均为 1~3 种; 常见种以永川—荣昌垂直带的高海拔茶园最多(6 种), 万州垂直带的高海拔茶园最少(1 种); 稀有种以永川—荣昌垂直带中海拔茶园最多(17 种), 该垂直带高海拔茶园最少(5 种)。

在相同垂直带上, 一些优势种蚂蚁在不同海拔带

上均有发现,如草地铺道蚁[*Tetramorium caespitum* (Linnaeus)]、菱结大头蚁(*Pheidole rhombinoda* Mayr)、沃森大头蚁(*P. watsoni* Forel)等,表明这些蚂蚁能够适应不同海拔茶园环境。从不同垂直带来看,永川—荣昌垂直带与巴南—南川垂直带优势种中均有草地铺道蚁,万州垂直带与巴南—南川垂直带优

势种中均有菱结大头蚁和沃森大头蚁,永川—荣昌垂直带与万州垂直带没有共同的优势种(表 3)。

整体来看,各海拔带均以优势种数目最少,稀有种较多。菱结大头蚁、草地铺道蚁、史氏盘腹蚁(*Aphaenogaster smythiesi* Forel)等 7 种蚂蚁为重庆市茶园主要优势种蚂蚁(表 2)。

表 2 重庆市不同海拔茶园蚂蚁群落的优势种
Table 2 Dominant species of ant communities in tea gardens with different altitudes in Chongqing City

垂直带 Vertical zone	水平带 Horizontal band	优势种数 Dominant species number	常见种个数 Common species number	稀有种个数 Rare species number	优势种 Dominant species	
					种名 Name	比例 Percent (%)
永川—荣昌 Yongchuan—Rongchang	低海拔 Low altitude	2.0	3.0	6.0	布立毛蚁 <i>Paratrechina bourbonica</i> (Forel)	14.5
	中海拔 Middle altitude	1.0	5.0	17.0	草地铺道蚁 <i>Tetramorium. Caespitum</i> (Linnaeus)	71.5
					草地铺道蚁 <i>Tetramorium. Caespitum</i> (Linnaeus)	90.1
高海拔 High altitude	3.0	6.0	5.0	草地铺道蚁 <i>Tetramorium. Caespitum</i> (Linnaeus)	15.2	
巴南—南川 Banan—Nanchuan	中海拔 Middle altitude	3.0	3.0	13.0	史氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster smythiesii</i> Forel	43.3
					爪哇厚结猛蚁 <i>Pachycondyla javana</i> (Mayr)	23.9
					草地铺道蚁 <i>Tetramorium. Caespitum</i> (Linnaeus)	32.9
	高海拔 High altitude	3.0	5.0	7.0	菱结大头蚁 <i>Pheidole rhombinoda</i> Mayr	15.9
					沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i> Forel	34.8
					草地铺道蚁 <i>Tetramorium. Caespitum</i> (Linnaeus)	35.0
万州 Wanzhou	中海拔 Middle altitude	2.0	2.0	12.0	菱结大头蚁 <i>Pheidole rhombinoda</i> Mayr	68.1
					沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i> Forel	12.4
	高海拔 High altitude	2.0	1.0	16.0	菱结大头蚁 <i>Pheidole rhombinoda</i> Mayr	40.1
					沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i> Forel	12.1
					吉氏酸臭蚁 <i>Tapinoma geei</i> Wheeler	42.0

表 3 重庆市不同海拔茶园蚂蚁群落多样性特征
Table 3 Diversity characteristics of ant communities in tea gardens with different altitudes in Chongqing City

多样性指数 Indexes of biodiversity	水平带 Horizontal band	永川—荣昌 Yongchuan-Rongchang	巴南—南川 Banan-Nanchuan	万州 Wanzhou
物种丰富度 Species richness	低海拔 Low altitude	8.00±1.53b	—	—
	中海拔 Middle altitude	8.67±2.85ab	8.75±0.48ab	10.00±2.00ab
	高海拔 High altitude	7.33±1.33b	8.67±0.88ab	13.00±2.00a
Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	低海拔 Low altitude	0.55±0.18b	—	—
	中海拔 Middle altitude	0.58±0.15ab	1.25±0.17a	0.81±0.11ab
	高海拔 High altitude	0.85±0.15ab	1.17±0.11ab	1.07±0.26ab
Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	低海拔 Low altitude	0.08±0.03a	—	—
	中海拔 Middle altitude	0.10±0.03a	0.16±0.02a	0.10±0.01a
	高海拔 High altitude	0.13±0.02a	0.14±0.02a	0.12±0.06a
Simpson 优势指数 Simpson dominance index	低海拔 Low altitude	0.26±0.14c	—	—
	中海拔 Middle altitude	0.30±0.10bc	0.65±0.11a	0.44±0.08abc
	高海拔 High altitude	0.43±0.18abc	0.60±0.10a	0.59±0.13ab

表中数据包括地表及树冠活动的蚂蚁,为样地平均值±标准误,经 Duncan 氏多重比较,相同字母表示差异不显著,“—”表示该海拔范围内未设置样地。Ant community includes all ants founded on the ground and in the tea canopy. Data are means ± SE. The same letters following data indicate no significant difference according to Duncan's multiple range test. “—” indicates no sample plots in the altitude.

2.3 不同海拔茶园蚂蚁物种多样性比较

从物种丰富度来看, 万州两个水平带物种丰富度最高, 永川—荣昌低海拔和高海拔带物种丰富度最低, 且显著差异($P < 0.05$)。其余各水平带之间在物种丰富度不存在显著差异($P > 0.05$)(表 3)。

从多样性指数来看, 巴南—南川垂直带两个水平带多样性指数较高, 永川—荣昌垂直带中、高海拔 2 个水平带物种多样性指数较低, 且永川—荣昌低海拔与巴南—南川中海拔间差异显著。其余各水平带之间在多样性指数上不存在显著差异($P > 0.05$)(表 3)。

各水平带在物种均匀度方面不存在显著差异

($P > 0.05$)(表 3)。

优势度指数方面, 从垂直分布来看, 同一垂直带上各水平带间不存在显著差异($P > 0.05$); 从水平分布来看, 相同水平带上以永川—荣昌垂直带优势度指数最低, 万州垂直带居中, 巴南—南川垂直带最高, 且最高与最低间存在显著差异($P < 0.05$)(表 3)。

2.4 重庆市茶园蚂蚁群落相似性比较

永川—荣昌、巴南—南川及万州 3 条海拔带上各样地间蚂蚁群落相似性较低, 只有巴南—南川海拔带上两个水平带间达到中等相似水平(0.55), 其余水平带间多数为中等不相似水平(0.25~0.50)和极不相似水平(0~0.25)(表 4)。

表 4 重庆市不同海拔茶园蚂蚁群落相似性系数
Table 4 Similarity coefficients of ants communities in tea gardens with different altitudes in Chongqing City

		永川—荣昌 Yongchuan—Rongchang			巴南—南川 Banan—Nanchuan		万州中海拔 Wanzhou middle altitude
		低海拔 Low altitude	中海拔 Middle altitude	高海拔 High altitude	中海拔 Middle altitude	高海拔 High altitude	
永川—荣昌 Yongchuan—Rongchang	中海拔 Middle altitude	0.48					
	高海拔 High altitude	0.32	0.37				
巴南—南川 Banan—Nanchuan	中海拔 Middle altitude	0.36	0.35	0.22			
	高海拔 High altitude	0.30	0.36	0.26	0.55		
万州 Wanzhou	中海拔 Middle altitude	0.23	0.34	0.30	0.39	0.24	
	高海拔 High altitude	0.25	0.45	0.43	0.31	0.46	0.40

2.5 重庆市茶园蚂蚁的水平与垂直分布特点

从海拔分布来看, 山大齿猛蚁(*Odontomachus monticola* Emery)等 9 种蚂蚁在低、中、高海拔带均有分布, 克氏铺道蚁(*T. kraepelini* Forel)和长刺细胸蚁(*Leptothorax spinosior* Forel)仅在中低海拔带分布, 有黄足厚结猛蚁[*Pachycondyla luteipes* (Mayr)]等 15 种蚂蚁在中、高海拔带分布, 多毛厚结猛蚁[*P. pilosior* (Wheeler)]等 7 种蚂蚁仅在中海拔带分布, 爪哇厚结猛蚁[*P. javana* (Mayr)]等 6 种蚂蚁仅在高海拔带分布(表 5)。

从分布地域来看, 黄足厚结猛蚁等 16 种蚂蚁仅在一条垂直带上分布, 其中永川—荣昌垂直带有 6 种, 巴南—南川垂直带和万州垂直带各 5 种; 山大齿猛蚁等 12 种蚂蚁在两条垂直带上有分布; 贾氏火蚁等 11 种蚂蚁在 3 条垂直带上均有分布(表 5)。

草地铺道蚁、沃森大头蚁、日本弓背蚁等 3 种蚂蚁不仅分布地域广, 在 3 条垂直带上均有分布; 垂直分布范围也很广, 在 3 个不同海拔带上也都有分布(表 5)。

2.6 不同蚂蚁在茶园的垂直分布比较

从蚂蚁活动范围来看, 上海举腹蚁等 17 种蚂蚁活动范围遍及树冠、地表及土壤, 立毛举腹蚁(*C. ferrarii* Emery)和埃氏平结蚁仅在树冠被发现, 其余

20 种蚂蚁仅在地表或土壤中被采集到(表 6)。

从发现频次来看, 发现频次在 100 次以上有草地铺道蚁(134 次), 发现频次在 10~100 次的有上海举腹蚁等 14 种蚂蚁, 发现频次 2~10 次的有山大齿猛蚁等 17 种蚂蚁, 仅发现 1 次的有立毛举腹蚁等 7 种蚂蚁(表 6)。

从发现概率来看, 在树冠被发现概率大于 50% 的蚂蚁有立毛举腹蚁等 5 种, 10%~50% 的有上海举腹蚁等 10 种, 草地铺道蚁等 4 种蚂蚁在树冠层发现的概率低于 10%, 其余 20 种蚂蚁在树冠层未被发现。在地表发现概率大于 50% 有山大齿猛蚁等 12 种, 10%~50% 的有大阪举腹蚁(*C. osakensis* Forel)等 19 种, 低于 10% 仅少毛弓背蚁 1 种, 另有爪哇厚结猛蚁等 7 种未在地表被发现。土壤中发现概率大于 50% 的有山大齿猛蚁等 21 种, 10%~50% 的有无毛凹臭蚁(*Ochetellus glaber* Mayr)等 9 种, 低于 10% 的有上海举腹蚁和伊大头蚁(*P. yeensis* Forel)两种, 另有立毛举腹蚁等 7 种未在土壤中被发现(表 6)。

3 讨论

重庆地区茶园蚂蚁有 39 种, 分属 4 亚科, 19 属。主要优势种有草地铺道蚁等 7 种, 不同海拔茶园物种丰富度为 7~13 种, Shannon-Wiener 多样性指数为

表 5 重庆市不同海拔茶园蚂蚁物种垂直与水平分布
Table 5 Vertical and horizontal distribution of ant species in tea gardens with different altitudes in Chongqing City

物种 Species	永川—荣昌 Yongchuan-Rongchang			巴南—南川 Banan-Nanchuan		万州 Wanzhou	
	低海拔 Low altitude	中海拔 Middle altitude	高海拔 High altitude	中海拔 Middle altitude	高海拔 High altitude	中海拔 Middle altitude	高海拔 High altitude
山大齿猛蚁 <i>Odontomachus monticola</i> Emery	√	√	√	×	×	√	√
黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr)	×	√	√	×	×	×	×
爪哇厚结猛蚁 <i>Pachycondyla javana</i> (Mayr)	×	×	√	×	×	×	×
多毛厚结猛蚁 <i>Pachycondyla pilosior</i> (Wheeler)	×	×	×	√	×	×	×
上海举腹蚁 <i>Crematogaster zoceensis</i> Santschi	×	√	√	×	×	√	√
大阪举腹蚁 <i>Crematogaster osakensis</i> Forel	×	×	×	×	×	×	√
立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i> Emery	×	×	×	×	×	√	×
黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i> Mayr	×	×	×	√	×	×	×
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	×	√	√	√	√	×	√
中华小家蚁 <i>Monomorium chinensis</i> Santschi	×	√	×	√	×	√	×
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	√	√	√	√	√	√	√
克氏铺道蚁 <i>Tetramorium kraepelini</i> Forel	√	√	×	×	×	×	×
沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i> Forel	√	√	√	√	√	√	√
菱结大头蚁 <i>Pheidole rhombinoda</i> Mayr	√	√	×	√	√	√	√
伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i> Forel	×	√	√	×	×	√	√
皮氏大头蚁 <i>Pheidole pieli</i> Santschi	×	×	×	×	√	√	×
棒刺大头蚁 <i>Pheidole spathifera</i> Forel	×	×	×	×	×	√	×
罗伯特大头蚁 <i>Pheidole roberti</i> Forel	×	×	×	√	×	×	×
史氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster smythiesii</i> Forel	√	√	√	√	√	×	×
罗氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster rothneyi</i> Forel	×	√	×	√	√	√	×
长刺细胸蚁 <i>Leptothorax spinosior</i> Forel	√	√	×	√	×	×	×
双针棱结蚁 <i>Pristomyrmex pungens</i> Mayr	×	×	×	×	×	√	×
针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> (Smith)	×	√	√	×	√	×	√
长角狡臭蚁 <i>Technomyrmex antennus</i> Zhou	×	×	×	√	×	×	×
吉氏酸臭蚁 <i>Tapinoma geei</i> Wheeler	×	×	×	√	√	×	√
无毛凹臭蚁 <i>Ochetellus glaber</i> Mayr	×	√	×	×	×	√	√
丝光蚁 <i>Formica fusca</i> Linnaeus	×	×	×	√	√	√	√
耶氏立毛蚁 <i>Paratrechina yerburyi</i> Forel	√	√	×	√	√	×	√
布立毛蚁 <i>Paratrechina bourbonica</i> (Forel)	√	√	×	√	√	×	×
黄足立毛蚁 <i>Paratrechina flavipes</i> (Smith)	√	√	√	×	×	×	×
亮立毛蚁 <i>Paratrechina vividula</i> (Nylander)	×	√	×	×	×	×	×
樱花立毛蚁 <i>Paratrechina sakurae</i> (Ito)	×	√	×	×	×	×	√
那氏平结蚁 <i>Prenolepis naraojii</i> Forel	×	√	×	×	√	×	√
埃氏平结蚁 <i>Prenolepis emmae</i> Forel	×	√	×	×	×	×	×
普通拟毛蚁 <i>Pseudolasius familiaris</i> (Smith)	×	×	√	×	×	√	√
日本弓背蚁 <i>Camponotus japonicus</i> Mayr	√	√	√	√	√	√	√
小弓背蚁 <i>Camponotus minus</i> Wang et Wu	×	×	×	√	×	×	×
少毛弓背蚁 <i>Camponotus spanis</i> Xiao et Wang	×	×	√	√	√	×	√
重庆弓背蚁 <i>Camponotus chongqingensis</i> Wu et Wang	×	×	×	×	×	×	√

“√”代表有分布，“×”代表没有发现。“√” indicates the species exist in the sample plots, “×” indicates no species in the sample plots.

0.55~1.25, Pielou 均匀度指数为 0.08~0.16, Simpson 优势度指数为 0.26~0.65。各水平带之间多样性指数多数差异不显著, 这表明各水平带蚂蚁群落物种多样性水平比较接近; 而群落相似性水平普遍较低,

相似性指数多数处于中等不相似水平(0.25~0.50)。物种多样性研究属生态系统综合评价范畴, 本研究涉及重庆 4 区 1 县, 属于区域级尺度研究^[22]。与之类似的研究包括西双版纳蚁科昆虫物种多样性

表 6 重庆市茶园蚂蚁在茶园内的发现频数和概率
Table 6 Collection frequency and probability of ant species in tea gardens of Chongqing City

亚科 Subfamily	物种 Species	树冠 Tree crown		地表 Ground		土壤 Soil		频数合计 Total frequency
		频数 Frequency	概率 Probability (%)	频数 Frequency	概率 Probability (%)	频数 Frequency	概率 Probability (%)	
猛蚁亚科 Ponerinae	山大齿猛蚁 <i>Odontomachus monticola</i> Emery	0	0	3	50.0	3	50.0	6
	黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr)	0	0	3	60.0	2	40.0	5
	爪哇厚结猛蚁 <i>Pachycondyla javana</i> (Mayr)	0	0	0	0	2	100.0	2
	多毛厚结猛蚁 <i>Pachycondyla pilosior</i> (Wheeler)	0	0	0	0	2	100.0	2
切叶蚁亚科 Myrmicinae	上海举腹蚁 <i>Crematogaster zoceensis</i> Santschi	2	16.7	9	75.0	1	8.3	12
	大阪举腹蚁 <i>Crematogaster osakensis</i> Forel	2	25.0	1	12.5	5	62.5	8
	立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i> Emery	1	100.0	0	0	0	0	1
	黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i> Mayr	0	0	3	100.0	0	0	3
	贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	1	14.3	1	14.3	5	71.4	7
	中华小家蚁 <i>Monomorium chinensis</i> Santschi	4	44.4	1	11.1	4	44.4	9
	草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	3	2.2	48	35.8	83	61.9	134
	克氏铺道蚁 <i>Tetramorium kraepelini</i> Forel	0	0	2	33.3	4	66.7	6
	沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i> Forel	8	13.1	19	31.2	31	55.7	61
	菱结大头蚁 <i>Pheidole rhombinoda</i> Mayr	0	0	9	22.5	31	77.5	40
	伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i> Forel	3	25.0	8	66.7	1	8.3	12
	皮氏大头蚁 <i>Pheidole pieli</i> Santschi	0	0	1	25.0	3	75.0	4
	棒刺大头蚁 <i>Pheidole spathifera</i> Forel	0	0	1	100.0	0	0	1
	罗伯特大头蚁 <i>Pheidole roberti</i> Forel	0	0	0	0	1	100.0	1
	史氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster smythiesii</i> Forel	1	4.5	8	36.4	13	59.1	22
	罗氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster rothneyi</i> Forel	0	0	4	33.3	8	66.7	12
	长刺细胸蚁 <i>Leptothorax spinosior</i> Forel	0	0	4	44.4	5	55.6	9
	双针棱结蚁 <i>Pristomyrmex pungens</i> Mayr	0	0	1	100.0	0	0	1
	针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> (Smith)	0	0	8	50.0	8	50.0	16
	臭蚁亚科 Dolichoderinae	长角拟臭蚁 <i>Techomyrmex antennus</i> Zhou	0	0	0	0	1	100.0
吉氏酸臭蚁 <i>Tapinoma geei</i> Wheeler		9	37.5	6	25.0	9	37.5	24
无毛凹臭蚁 <i>Ochetellus glaber</i> Mayr		4	50.0	3	37.5	1	12.5	8
蚁亚科 Formicinae	丝光蚁 <i>Formica fusca</i> Linnaeus	1	3.7	14	51.9	12	44.4	27
	耶氏立毛蚁 <i>Paratrechina yerburyi</i> Forel	5	45.5	2	18.2	4	36.3	11
	布立毛蚁 <i>Paratrechina bourbonica</i> (Forel)	2	10.0	7	35.0	11	55.0	20
	黄足立毛蚁 <i>Paratrechina flavipes</i> (Smith)	5	17.9	9	32.1	14	50.0	28
	亮立毛蚁 <i>Paratrechina vividula</i> (Nylander)	0	0	1	100.0	0	0	1
	樱花立毛蚁 <i>Paratrechina sakurae</i> (Ito)	4	57.1	2	28.6	1	18.3	7
	那氏平结蚁 <i>Prenolepis naraojii</i> Forel	3	50.0	2	33.3	1	16.7	6
	埃氏平结蚁 <i>Prenolepis emmae</i> Forel	1	100.0	0	0	0	0	1
	普通拟毛蚁 <i>Pseudolasius familiaris</i> (Smith)	0	0	1	12.5	7	87.5	8
	日本弓背蚁 <i>Camponotus japonicus</i> Mayr	2	5.4	21	56.8	14	37.8	37
	小弓背蚁 <i>Camponotus minus</i> Wang et Wu	0	0	2	100.0	0	0	2
	少毛弓背蚁 <i>Camponotus spanis</i> Xiao et Wang	0	0	1	9.1	10	90.9	11
	重庆弓背蚁 <i>Camponotus chongqingensis</i> Wu et Wang	0	0	0	0	2	100.0	2

研究^[20]、袁牢山西坡蚂蚁物种多样性研究^[23]、滇西北云岭东坡蚂蚁物种多样性研究^[13]、藏东南德姆拉山东坡蚂蚁物种多样性研究^[10]以及太白山地区蚂蚁物种多样性研究^[12]。考虑到生境、海拔、纬度等方面差异巨大,因此本研究结果与相关研究结果无法

直接进行比较。但从总体变化趋势上看基本呈现出森林生境下蚂蚁群落物种多样性水平较茶园生境高的趋势,这可能和茶园生境受人为扰动更为频繁且茶园植被较森林植被单一有关。

柯胜兵等^[24]对不同海拔茶园的害虫与天敌群落

进行了研究,发现不同海拔茶园间节肢动物群落多样性指数、个体数及均匀度间存在显著差异,并发现群落稳定性与海拔有一定的关系。本研究中,不同海拔茶园蚂蚁群落物种多样性指数间也存在差异,但变化规律与海拔无明显关联性,这可能与各地茶园管理方式有一定关系,不同的管理方式对茶园节肢动物群落会有不同的影响^[25],从而掩盖了海拔变化对蚂蚁群落带来的影响。

景观斑块结构对茶园节肢动物群落结构和多样性也有较大影响,丰富的茶园周边植被有利于提高茶园节肢动物多样性水平^[26]。在本研究中,各样地周边植被有一定差别,因此,这种差异也会影响茶园蚂蚁物种多样性,导致其变化规律更趋于复杂。本研究还发现,样地周边植被类型相差不大时,茶园蚂蚁物种多样性具有较大差异。不同健康状况的森林内节肢动物多样性具有显著差异^[27],因此,茶园周边植被健康状况也可能会影响到茶园蚂蚁或节肢动物的物种多样性。今后的研究除了重点关注茶园周边植被景观对茶园节肢动物的影响外,茶园周边植被健康状况对茶园节肢动物的影响也应该给予关注。

空间垂直分布是生态位研究的主要内容之一^[28]。徐正会^[11]通过对西双版纳蚁科昆虫生态位的研究发现,猛蚁亚科物种多数以地表和土壤活动为主,但切叶蚁亚科、蚁亚科、臭蚁亚科物种生态位差异较大。本研究结果与之类似:所发现的 4 种猛蚁亚科物种有 2 种在地表和土壤活动,2 种仅在土壤活动。而其他 3 个亚科物种活动范围差异较大。此外,昆虫活动范围一定程度上表明了其觅食能力的强弱。本研究发现的 39 种蚁科昆虫中,有 17 种在地表、土壤和植物灌丛上均被发现,属于宽垂直生态位物种^[11]。因此,从觅食范围的角度来说,重庆地区茶园蚁科昆虫中约有一半的物种是潜在的天敌昆虫资源。

在本研究中,仅有 9 种蚂蚁在低、中、高 3 个海拔带上均有分布,水平分布上,有 16 种蚂蚁仅出现在 1 个垂直带上。群落相似性分析也发现不同海拔带蚂蚁群落相似性较低,处于中等不相似水平。这些均说明重庆地区茶园生境破碎化严重,无论是水平方向还是垂直方向上,生境的隔离导致了蚂蚁群落间缺少交流^[29]。因此,在以后茶园管理中应重视茶园间景观廊道的建设与保护^[30],以促进茶园间生物流动,进而提高茶园生物多样性水平,发挥天敌自然控害能力^[25]。

昆虫种群的时空分布格局是种群的重要属性^[31],掌握蚂蚁种群在重庆茶园的时空分布特征对筛选茶园害虫的蚂蚁类天敌至关重要。本文重点关注了重

庆茶园蚂蚁的空间分布特征,有关茶园蚂蚁时序分布格局应该成为今后研究的重点。

致谢 西南林业大学徐正会教授在蚂蚁物种鉴定方面给予帮助,特此致谢!

参考文献

- [1] Bolton B G, Apert P S W, Naskrecki P. Bolton's Catalogue of Ants of the World[M]. Cambridge: Harvard University Press, 2006: 4-10
- [2] Way M J, Khoo K C. Role of ants in pest management[J]. Annual Review Entomology, 1992, 37: 479-503
- [3] Jutsum A R, Cherrett J M, Fisher M. Interactions between the fauna of citrus trees in Trinidad and ants *Atta cephalotes* and *Azteca* sp[J]. Journal Applied Ecology, 1981, 18: 187-195
- [4] Perfecto I. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as natural control agents of pests in irrigated maize in Nicaragua[J]. Journal of Economic Entomology, 1991, 84(1): 65-70
- [5] van Mele P, Vayssières J, van Tellinghen E, et al. Effects of an African weaver ant, *Oecophylla longinoda*, in controlling mango fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Benin[J]. Journal of Economic Entomology, 2007, 100(3): 695-701
- [6] 张祖兵, 高世德, 周明, 等. 黄猄蚁对柚子花期害虫的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 329-332
Zhang Z B, Gao S D, Zhou M, et al. Effects of *Oecophylla smaragdina* on the insect pests of grapefruit at flowering stage[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(2): 329-332
- [7] Kaspari M, Majer J D. Using ants to monitor environmental change[M]//Agosti D, Majer J D, Alonso L E, eds. Ants: A Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity. Washington and London: Smithsonian Institution Press, 2000: 89-98
- [8] Andersen A N. Ant biodiversity in arid Australia: Productivity, species richness and community organization[J]. Records of the South Australian Museum Monograph Series, 2003, 7: 79-92
- [9] Fayle T M, Turner E C, Snaddon J L, et al. Oil palm expansion into rain forest greatly reduces ant biodiversity in canopy, epiphytes and leaf-litter[J]. Basic Applied Ecology, 2010, 11(4): 337-345
- [10] 于娜娜, 徐正会, 张成林, 等. 藏东南德姆拉山东坡及察隅河谷的蚂蚁群落[J]. 林业科学, 2012, 48(10): 163-169
Yu N N, Xu Z H, Zhang C L, et al. Ant communities from east slope of Mount Demola to Zayu Valley in southeastern Tibet[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(10): 163-169
- [11] 徐正会. 西双版纳自然保护区蚁科昆虫生物多样性研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002: 12
Xu Z H. A Study on the Biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2002: 12
- [12] 贺虹, 魏琮, 刘育生. 太白山不同生境蚂蚁的物种多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 141-144
He H, Wei C, Liu Y S. The species diversity of ants in different habitats in Mt. Taibai[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2003, 31(3): 141-144

- [13] 郭箫, 徐正会, 杨俊伍, 等. 滇西北云岭东坡蚂蚁物种多样性研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(5): 660-667
Guo X, Xu Z H, Yang J W, et al. Ant species diversity on the east slope of Yunling Mountain in northwestern Yunnan[J]. Forest Research, 2007, 20(5): 660-667
- [14] 张汉鹄, 谭济才. 中国茶树害虫及其无公害治理[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2004: 1-10
Zhang H H, Tan J C. The Pest and Environment Friendly Integrated Control of Tea Tree in China[M]. Hefei: Anhui Sciences and Technology Press, 2004: 1-10
- [15] 陈宗懋. 我国茶叶中农药残留的研究进展与展望[J]. 中国茶叶, 2001(1): 3-4
Chen Z M. The research advance for pesticide residues in Chinese tea[J]. Chinese Tea, 2001(1): 3-4
- [16] 李秀峰, 林小端, 涂良剑. 我国茶叶农药残留研究进展及展望[J]. 茶叶科学技术, 2007(3): 1-5
Li X F, Lin X R, Tu L J. The research advance for pesticide residues in Chinese tea[J]. Tea Science and Technology, 2007(3): 1-5
- [17] 陈雪芬. 中国大陆茶树害虫生物防治现状与展望[C]. 中国茶叶学会: 海峡两岸茶叶科技学术研讨会论文集, 2000: 138-142
Chen X F. Present situation and prospect of biological control of tea pests in China[C]. China Tea Science Society: Proceedings of Tea Science Symposium Across the Taiwan Strait, 2000: 138-142
- [18] 郭剑雄. 假眼小绿叶蝉农业和生物防治的研究进展[J]. 茶叶科学技术, 2008(1): 10-12
Guo J X. The research advance of agricultural and biological control for *Empoasca vitis*[J]. Tea Science and Technology, 2008(1): 10-12
- [19] 王宗英, 路有成, 王慧英. 九华山土壤螨类的生态分布[J]. 生态学报, 1996, 16(1): 59-60
Wang Z Y, Lu Y C, Wang H F. The ecological distribution of soil mites in Jiuhua Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(1): 59-60
- [20] 徐正会, 杨比伦, 胡刚. 西双版纳片段山地雨林蚁科昆虫群落研究[J]. 动物学研究, 1999, 20(4): 288-293
Xu Z H, Yang B L, Hu G. Formicidae ant communities in fragments of montane rain forest in Xishuangbanna, China[J]. Zoological Research, 1999, 20(4): 288-293
- [21] 马克平. 生物多样性的测度方法[M]//中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994
Ma K P. The measurement methods of biodiversity[M]// Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994
- [22] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1885-1892
Fu B J, Liu S L, Ma K M. The contents and methods of integrated ecosystem assessment (IEA)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(11): 1885-1892
- [23] 陈友, 罗长维, 徐正会, 等. 哀牢山西坡蚂蚁的多样性[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(10): 57-60
Chen Y, Luo C W, Xu Z H, et al. Ant species diversity on west slope of Ailao Mountain[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(10): 57-60
- [24] 柯胜兵, 党凤花, 毕守东, 等. 不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 4161-4168
Ke S B, Dang F H, Bi S D, et al. Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4161-4168
- [25] 韩宝瑜, 崔林, 董文霞. 有机、无公害和普通茶园管理方式对节肢动物群落和主要害虫的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1438-1443
Han B Y, Cui L, Dong W X. The effect of farming methods in organic, safety, and common tea gardens on the composition of arthropod communities and the abundances of main pests[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1438-1443
- [26] 黎健龙, 唐劲驰, 赵超艺, 等. 不同景观斑块结构对茶园节肢动物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1305-1312
Li J L, Tang J C, Zhao C Y, et al. Effects of different landscape patch structure on the diversity of arthropod community in tea plantations[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1305-1312
- [27] 姚绍刚, 陈顺立, 张思禄, 等. 人为干扰对马尾松林节肢动物多样性及其林分健康的影响[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(3): 262-266
Yao S G, Chen S L, Zhang S L, et al. Effects of human interference on the arthropods diversity and the forests health of masson pine stands[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2011, 31(3): 262-266
- [28] 李翌, 朱金兆, 朱清科. 生态位理论及其测度研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(1): 100-107
Li J, Zhu J Z, Zhu Q K. A review on niche theory and niche metrics[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(1): 100-107
- [29] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2424-2435
Wu Z J, Li Y M. Effects of habitat fragmentation on survival of animal populations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2424-2435
- [30] 李正玲, 陈明勇, 吴兆录. 生物保护廊道研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 523-528
Li Z L, Chen M Y, Wu Z L. Research advances in biological conservation corridor[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(3): 523-528
- [31] 王瑞, 翟保平, 孙晓洋. 麦田一代灰飞虱(*Laodelphax striatellus* Fallén)若虫的时空分布[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4536-4546
Wang R, Zhai B P, Sun X Y. Spatio-temporal dynamics of the first generation larvae of *Laodelphax striatellus* Fallén in wheat field[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4536-4546