

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第9期 Vol.34 No.9 **2014**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 9 期      2014 年 5 月    (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 基于土壤食物网的生态系统复杂性-稳定性关系研究进展 ..... 陈云峰,唐 政,李 慧,等 (2173)
- 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析..... 符文超,田 昆,肖德荣,等 (2187)
- 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究 .....  
..... 李阳兵,罗光杰,白晓永,等 (2195)
- 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原麝鼠的相关性 ... 金 樑,孙 莉,崔慧君,等 (2208)
- 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响..... 黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,等 (2216)

### 个体与基础生态

- 三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响 ..... 葛晓改,肖文发,曾立雄,等 (2228)
- 芦苇、香蒲和蘆草 3 种挺水植物的养分吸收动力学 ..... 张熙灵,王立新,刘华民,等 (2238)
- 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响 ... 胡启武,聂兰琴,郑艳明,等 (2246)
- 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响 ..... 彭海英,李小雁,童绍玉 (2256)
- 遮阴对米槠和杉木原位排放甲烷的影响..... 陈细香,杨燕华,江 军,等 (2266)
- 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性..... 刘 慧,侯柏华,张 灿,等 (2274)
- 鼠尾草属东亚分支的传粉模式..... 黄艳波,魏宇昆,葛斌杰,等 (2282)

### 种群、群落和生态系统

- 养分资源脉冲供给对几种微藻种间竞争的影响 ..... 李 伟 (2290)
- 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价..... 李静鹏,徐明锋,苏志尧,等 (2297)
- 黄土丘陵区植物功能性状的尺度变化与依赖 ..... 丁 曼,温仲明,郑 颖 (2308)
- 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征 ..... 徐露燕,田大伦,王光军,等 (2316)
- 黄土高原春小麦农田蒸散及其影响因素..... 阳伏林,张 强,王文玉,等 (2323)
- 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定..... 李 雯,阎爱华,黄秋娟,等 (2329)
- 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价..... 李东胜,罗 达,史作民,等 (2338)

### 景观、区域和全球生态

- 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性 ..... 蔡建堤,苏国强,马 超,等 (2347)
- 面向土系调查制图的小尺度区域景观分类——以宁镇丘陵区中一小区域为例.....  
..... 卢浩东,潘剑君,付传城,等 (2356)

气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响…………… 胡 玮,严昌荣,李迎春,等 (2367)

### 资源与产业生态

基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析…………… 刘 源,李向阳,林剑艺,等 (2378)

可持续生计目标下的生态旅游发展模式——以河北白洋淀湿地自然保护区王家寨社区为例……………

…………… 王 瑾,张玉钧,石 玲 (2388)

荔枝树干液流速率与气象因子的关系…………… 凡 超,邱燕萍,李志强,等 (2401)

肿腿蜂类寄生蜂室内控害效能评价——以松脊吉丁肿腿蜂为例…………… 展茂魁,杨忠岐,王小艺,等 (2411)

### 城乡与社会生态

内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例……………

…………… 代光烁,娜日苏,董孝斌,等 (2422)

基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究…………… 刘 涓,谢 谦,倪九派,等 (2431)

“交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析…………… 吕志强,代富强,周启刚 (2442)

### 学术信息与动态

美国地理学家协会 2014 年会述评…………… 孙然好,肖荣波 (2450)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 280 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 30 \* 2014-05



**封面图说:** 峰丛洼地石漠化——峰丛主要分布在云贵高原的边缘部分及桂西、桂西北地区,相对高度一般为 200—300m,高的可达 600m 以上。在峰丛之间,岩溶洼地、漏斗、落水洞很发育,常形成峰丛洼地或峰丛漏斗的组合形态。峰丛洼地中的土地相当贫瘠,由于当地人们依靠这些土地种植庄稼为生,石漠化的发展趋势已经越来越明显。尤其在土地承载力低、人口压力大的区域石漠化相当严重,研究峰丛洼地耕地资源分布、土地利用强度和石漠化发育状况之间的机理,有助于从本质上认识石漠化的发生,对石漠化治理实施科学指导。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201308102054

黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,唐颢,黎华寿.周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响.生态学报,2014,34(9):2216-2227.

Li J L, Tang J C, Li X D, Tang H, Li H S. Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2216-2227.

## 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及 叶蝉种群时空结构的影响

黎健龙<sup>1,2</sup>, 唐劲驰<sup>1</sup>, 黎秀娣<sup>1</sup>, 唐 颢<sup>1</sup>, 黎华寿<sup>2,\*</sup>

(1. 广东省农业科学院饮用植物研究所, 广州 510640; 2. 华南农业大学农业部热带农业环境重点实验室, 广州 510642)

**摘要:**为利用天敌实施害虫生态控制,田间调查了周边不同生境条件对茶园蜘蛛及叶蝉种群结构的影响。结果表明:小乔木生境茶园(I)和相思树生境茶园(III)影响下茶园蜘蛛及叶蝉聚集程度较强,茶园I叶蝉聚集数最多,为692头,但与其他生境茶园间差异不显著( $P>0.05$ );茶园III蜘蛛聚集数量最多,为1155头,并与稻田生境茶园(II)、生活区生境茶园(IV)的差异达到显著水平( $P<0.05$ );从蜘蛛功能群聚集情况来看,结网型蜘蛛相对较少,为295头;游猎型蜘蛛最多,为2957头;其中,茶园I与茶园III蜘蛛多样性指数和丰富度数值较大,对叶蝉的跟随效应明显,并与II、IV茶园有显著差异( $P<0.05$ )。多元数据分析结果显示,茶园I和茶园III均能够明显提高蜘蛛群落聚集的时空分布水平;蜘蛛群落的聚集密度时空分布大小表现为:茶园I>茶园III>茶园IV>茶园II。由此可知周边生境结构植物丰富和相对稳定的茶园能通过和谐的生态过程影响蜘蛛和叶蝉的时空格局,提高蜘蛛对害虫叶蝉的自然控制能力。

**关键词:**茶园;不同生境;蜘蛛;假眼小绿叶蝉;种群结构

## Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations

LI Jianlong<sup>1,2</sup>, TANG Jingchi<sup>1</sup>, LI Xiudi<sup>1</sup>, TANG Hao<sup>1</sup>, LI Huashou<sup>2,\*</sup>

1 Drinkable Plants Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China

2 The Key Laboratory of Agro-Environment of Tropics, Agriculture Ministry of China, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** The issue of carbon emissions from tea plantations is currently the focus of global attention. The agricultural field ecosystem is a major factor in maintaining a balance, and plays a significant role in counteracting emissions. Our aim was to explore the aggregation indices, individual number, spatial distribution, dynamic occurrence, and principal component of arthropods, and their effects on tea plantations. Field experiments were conducted at the Drinkable Plants Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Yingde County, Guangdong, China. Sampling was carried out continuously from January to December, 2009.

In order to develop more effective pest control on tea plantations, four plantations were surveyed to quantify the effects of different surrounding habitats on both the pest (the leafhopper, *Empoasca vitis* Gothe) and predatory spider populations. No pesticides were used on the plantations. The results showed that: (1) The biggest aggregation occurred in the tea plantations surrounded by mixed natural woodland (plantation I) or pure *Acacia confusa* communities (plantation III). The greatest numbers of leafhoppers (692) occurred in plantation I; however, this value was not significantly different

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划项目(2011CB100400);国家科技支撑计划项目(2011BAD01B02-10);国家茶叶产业技术体系专项(CARS-23);广东省科技计划项目(2010B031700029,2011B031400001,2012B040301041,2012B060500005)

收稿日期:2013-08-10; 修订日期:2013-11-22

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

from that found in the other three tea plantations ( $P>0.05$ ). The number of predatory spiders in plantation III (1155) was significantly higher than that found in the other three tea plantations ( $P<0.05$ ). (2) Analysis of the behavior of all aggregated spider species showed that the number of spiders that remained in their webs was relatively small (295), which is significantly less than the 2957 spiders that were observed moving. The diversity index and species-rich value were both highest in plantations I and III. This had an obvious effect on leafhopper numbers, which were significantly higher than those found in plantations close to paddy fields (plantation II) or to a village (plantation IV). Both predatory spiders and leafhoppers showed aggregated distribution, caused by their own biological habits and the common environment; different ways of managing habitats lead to significant differences in the size and diversity of the spider communities and the size of the leafhopper population. (3) Multivariate data analysis showed that the comprehensive distribution characteristics of the spider communities—both in time and space—had the potential for significant improvement in plantations I and III, over those in plantations II and IV ( $P<0.05$ ). These data enabled the behavior of predatory spiders in tracking their leafhopper prey to be examined. The aggregation density of spiders in the tea plantations was: plantation I (close to mixed natural woodland) > plantation III (close to pure *Acacia confusa* communities) > plantation IV (close to a village) > plantation II (close to paddy fields). These results indicate that the habitat surrounding a tea plantation, being a relatively stable and complex structure, affects the spatial and temporal pattern of both leafhopper and spider populations through ecological processes. This leads to an increase in the quantity of spiders moving about on the tea trees, which creates a synergistic effect of leafhopper capture, hence improving the ability of predatory spiders to control leafhopper numbers.

**Key Words:** tea plantation; surrounding habitat; spiders; leafhoppers; population structure

优质茶叶的安全低碳生产近年日渐成为人们关注的热点<sup>[1]</sup>。目前,病虫害防治是茶叶质量安全的核心问题<sup>[2]</sup>,茶树害虫记述已有数百种,地处华南的广东茶区害虫种类更多<sup>[3]</sup>,其中假眼小绿叶蝉(*Empoasca vitis* Gothe)为害严重,多年来主要依靠化学农药防治,害虫自然控制或生态控制失效<sup>[4-6]</sup>,导致茶园病虫害的抗性上升,并引发环境污染和茶叶农残超标等问题,天敌锐减;因此,必须减免化学农药使用、拓展叶蝉等害虫的防治新途径。农业生境管理多样化能维持生物物种多样性,特别是有利于为天敌提供适宜生境,增加生物多样性,保持生物群落的稳定性<sup>[7-8]</sup>,有利于提高害虫自然的生态控制<sup>[9]</sup>。

茶叶是多年生常绿灌木作物,容易构成较为稳定的生态系统,如果茶园周边生境进行合理化建设与维护,可能有利于茶园天敌对害虫的生态控制。蜘蛛是茶园害虫的重要捕食性天敌之一,其种类多、数量大,发生数量占捕食性天敌 80%—90%,对假眼小绿叶蝉的控制作用明显,是茶园生态调控重要的一环<sup>[10-11]</sup>。因此,探讨以优化茶园生境管理为中心

的生态技术体系,不施化学农药、充分发挥蜘蛛等天敌自然调控作用,保护茶园生物多样性和实现茶叶持续稳定发展具有重要理论意义和实践价值。不同类型茶园蜘蛛与叶蝉的相互关系已有一些报道<sup>[12-14]</sup>,但针对广东地区茶园多年不施用化学农药情况下,研究不同生境条件茶园对蜘蛛群落、叶蝉种群差异影响却鲜见报道。因此,本文从茶园生境小尺度范围内思考多样性和生态系统功能对蜘蛛与假眼小绿叶蝉之间相互影响并评价生态系统稳定性,分析不同生境条件对茶园蜘蛛以及叶蝉自然控制的效应,为优化茶园生境建设,保护自然天敌,控制害虫发生数量提供新途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试茶园概况

试验在广东省农业科学院饮用植物研究所英德基地及邻近茶园进行,四类周边不同生境的茶园均不施用化学农药,种植的品种主要为金萱,树龄以 4 龄为主,其生境结构、小气候、日常管理、地理位置等情况见如表 1 所示。

表 1 周边不同生境茶园的基本情况

Table 1 Basic status of tea plantation management with different landscape patches

茶园类型 Tea types	生境结构、小气候情况 Landscape description	茶园管理、地理位置情况 Landscape patch management and location
小乔木生境茶园 Tea plantation close to mixed natural woodland	周边生境植物结构丰富,建有缓冲带,生态环境较好,中心隔行间种自然生长茶树,其树高 3—4 m,种植规格株距×行距=1 m×3 m,3000 株/hm <sup>2</sup> ,人为干扰少;茶园遮荫度较大,夏季高温天气,温度为 28—34 ℃,湿度为 62%—88%,光照强度为 13500—40100 lx	为资源圃茶园,以金萱作为重点调查品种;茶叶采摘期从 3—11 月,每隔 10—15 d 采摘 1 次,2 月、5 月施尿素 225 kg/hm <sup>2</sup> ,产量较低;纬度 24°18'09"N;经度 113°23'05"E;海拔 44 m
稻田生境茶园 Tea plantation close to paddy fields	周边生境景观植物相对贫乏,中心间种少量园林树木,其树龄约为 3a,树高 1.5—2.5 m,10 株/hm <sup>2</sup> ,缺少缓冲带,容易受到农事活动干扰;茶园缺少遮荫,夏季高温天气,温度为 29—36 ℃,湿度为 58%—81%,光照强度为 19430—75500 lx	种植茶树为金萱品种,树龄为 4a;茶叶采摘期从 3—11 月,每隔 3—7 d 采摘 1 次,每年 2 月、5 月、7 月施尿素 375 kg/hm <sup>2</sup> ,11 月施有机肥 7500 kg/hm <sup>2</sup> ;纬度 24°18'09"N;经度 113°23'09"E;海拔 38 m
相思树生境茶园 Tea plantation close to pure <i>Acacia confuse</i> communities	周边生境结构植物丰富,分别种植多种景观树,生态环境较好,中心间种台湾相思树,其树龄为 30 多年,树高 15—20 m,种植规格株距×行距=8 m×24 m,50 株/hm <sup>2</sup> ,人为干扰少;夏季高温天气,温度为 28—35 ℃,湿度为 61%—87%,光照强度为 15200—44300 lx	种植茶树为金萱品种,树龄为 4 年;茶叶采摘期 3—11 月,每隔 3—7 d 采摘 1 次,每年 2 月、5 月施尿素 225 kg/hm <sup>2</sup> ,11 月施有机肥 7500 kg/hm <sup>2</sup> ;纬度 24°18'15"N;经度 113°23'16"E;海拔 40 m
生活区生境茶园 Tea plantation close to a village	周边生境的植物相对贫乏,中心间种少量景观树,其树龄为 30 多年,树高 15—20 m,种植规格密度较低,7 株/hm <sup>2</sup> ,缺少缓冲带,容易受到人居生活干扰;茶园遮荫度较小,夏季高温天气,温度为 29—36 ℃,湿度为 59%—82%,光照强度为 19200—74200 lx	种植茶树为金萱品种,树龄为 4 年;茶叶采摘期 3—11 月,每隔 3—7 天采摘 1 次,每年 2 月、5 月施尿素 225 kg/hm <sup>2</sup> ,11 月施有机肥 7500 kg/hm <sup>2</sup> ,其遮荫度 16%—25%;纬度 24°18'14"N;经度 113°23'03"E;海拔 45 m

## 1.2 茶园蜘蛛和叶蝉调查方法

从 2009 年 1 月到 12 月,以随机样方方法,使用平行跳跃法选取 10 个调查点,即每相隔 4 行茶树取一行进行调查,每行调查 2 个点,两点之间相隔 10 m;每月中旬与下旬各调查 1 次,共调查了 24 次。每个调查点详查 1 个样方,每样方为 1 m 茶行,因多数节肢动物在茶丛上,遂将茶行一分为二,随机从每样方的上、中、下层查 2 枝梢上节肢动物的科、种和个体数,再调查茶园地表,每样方为 1 m<sup>2</sup>,比较不同节肢动物群落目、科、种数的差异<sup>[15-16]</sup>。

## 1.3 分析方法

**1.3.1 空间分布型的测定方法**,根据各样本的平均数( $m$ )、样本方差( $S^2$ )等特征数,应用 Water'S 负二项分布参数( $K$ )、Beall 扩散系数( $C$ )、David and Moore 丛生指标( $I$ )、平均拥挤度  $M^*$ 、负二项分布  $K$  值等聚集度指标测定空间分布型;并通过 Iwao 提出 Iwao  $M^* - m$  回归法( $M^* = \alpha + \beta m$ )线性回归方程检验;采用 Blackith 提出的种群聚集均数( $\lambda$ )来确定引起聚集的原因<sup>[17-18]</sup>。

**1.3.2 蜘蛛和叶蝉个体数**,以每次调查作为计量单位,计算平均数、标准差以及绘制发生动态变化等。

**1.3.3 多样性分析方法**,采用物种丰富度指数  $R$ 、

Shannon-Wiener 指数  $H'$  来分析类群多样性,计算公式如式(1)—(2),其中  $S$  为物种数, $N$  为个体数, $P_i$  为第  $i$  个物种占总数的百分比。用均匀性指数  $J'$ 、优势度指数  $C$  来反映群落(类群)的稳定性,式(3)—(4)中  $H'_{\max}$  为  $H'$  的最大理论值, $N_i$  为第  $i$  个物种数量, $N$  为类群个体总数<sup>[19]</sup>:

$$R = S / \ln N \quad (1)$$

$$H' = \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$J' = H' / H'_{\max} \quad (3)$$

$$C = \sum (N_i / N)^2 \quad (4)$$

## 1.4 数据统计分析方法

采用微软 SAS 统计软件(SAS 8.0 Software, SAS Institute Inc.)和 R(ADE-4)多元数据分析软件<sup>[20]</sup>对试验数据进行整理与分析。主成分分析通过在 R 中导入 ADE-4 软件包,比较不同生境茶园间蜘蛛与叶蝉综合特征的差异;多元数据分析结果利用二维空间载荷图和得分图直观而形象地进行反映。

## 2 结果与分析

### 2.1 蜘蛛和叶蝉类群在 4 类茶园中空间分布差异

在不同的生境条件下,蜘蛛空间分布格局有一定差异。蜘蛛在 4 类茶园聚集度指标测定结果相

同:  $C > 1, I > 0, Ca > 0, m^* / m > 1, K > 0$ , 说明蜘蛛在不同境茶园上的空间分布总体为聚集分布(表 2)。应用平均密度( $m$ )和平均拥挤度( $m^*$ )作回归,得到回归方程式: $m^* = 1.50 + 1.37m$ , 相关系数  $r = 0.9843$ , 说明相关性显著。由于  $\alpha = 1.50 > 0$ , 说明其蜘蛛种个体间相互吸引, 存在个体群;  $\beta = 1.37 > 1$ , 表明蜘蛛呈聚集分布。分析其聚集原因, 从春茶到秋茶期间,  $\lambda > 2$ , 是由其自身生物习性和环境共同引起的; 而冬茶期间,  $\lambda < 2$  时, 是由冬天寒冷环境因素所致。此外, 以扩散系数( $C$ )、丛生指标( $I$ )和聚集均数( $\lambda$ )来排序, 聚集程度大小为茶园 I > 茶园 III > 茶园 IV > 茶园 II。说明生境结构复杂和相对稳定的小乔木生境茶园和相思树生境茶园蜘蛛聚集程度较强, 蜘蛛对不同生境具有依赖性, 随着生境的改善群落密度变大。

从聚集度指标测定结果得出(表 3), 在不同的

生境条件下, 叶蝉种群空间分布格局也有一定差异, 在不同生境茶园上的空间分布总体为聚集分布。回归方程式: $m^* = -1.15 + 2.32m$ , 相关系数  $r = 0.9571$ , 说明相关性显著。由于  $\alpha = -1.15 < 0$ , 说明叶蝉种群个体间相互排斥;  $\beta = 2.32 > 1$ , 表明叶蝉种群呈聚集分布。分析其聚集原因, 与蜘蛛趋势一致, 从春茶到秋茶期间  $\lambda > 2$ , 冬茶期间  $\lambda < 2$ ; 说明叶蝉种群聚集由自身生物习性和环境共同引起的, 这可能与叶蝉喜食茶树嫩梢液汁以及在嫩梢上产卵等有关。可见, 按扩散系数( $C$ )和丛生指数( $I$ )排序, 聚集强度为茶园 I > 茶园 II > 茶园 IV > 茶园 III, 而按照负二项参数( $K$ )、聚集均数( $\lambda$ )来排序, 聚集程度大小为茶园 I > 茶园 III > 茶园 IV > 茶园 II。说明小乔木生境茶园对叶蝉聚集程度较强。

表 2 蜘蛛群落在茶树上的聚集度指标

Table 2 Aggregation indices of spiders in tea plantations

季节 Season	茶园类型 Tea types	$C$	$m^*$	$m^* / m$	$I$	$Ca$	$K$	$\lambda$
春茶 Spring tea	I	5.91	15.92	1.71	4.91	0.53	1.90	8.24
	II	1.92	6.32	1.80	0.92	0.22	3.79	3.39
	III	2.32	10.08	1.46	1.32	0.22	5.22	6.83
	IV	2.48	7.12	1.88	1.48	0.36	2.56	3.21
夏茶 Summer tea	I	2.89	12.17	1.44	1.89	0.26	4.48	7.87
	II	2.12	7.61	1.65	1.12	0.24	4.11	4.12
	III	3.02	12.80	1.43	2.02	0.33	4.43	8.42
	IV	2.18	8.67	1.55	1.18	0.04	4.74	4.94
秋茶 Autumn tea	I	3.45	15.32	1.39	2.45	0.19	4.51	10.23
	II	2.76	8.94	1.68	1.76	0.23	3.03	4.70
	III	6.87	19.26	1.64	5.87	0.50	2.01	9.85
	IV	4.12	12.00	1.69	3.12	0.09	2.28	6.78
冬茶 Winter tea	I	1.89	5.23	2.14	0.89	0.39	2.75	2.37
	II	1.05	3.10	2.79	0.05	0.21	23.61	1.16
	III	1.17	3.94	2.15	0.17	0.44	10.71	1.74
	IV	1.06	3.05	2.89	0.06	0.05	18.94	1.10

I: 小乔木生境茶园 Tea plantation close to mixed natural woodland; II: 稻田生境茶园 Tea plantation close to paddy fields; III: 相思树生境茶园 Tea plantation close to pure *Acacia confuse* communities; IV: 生活区生境茶园 Tea plantation close to a village;  $C$ : 扩散系数 Coefficient of diffusion;  $m^*$ : 平均拥挤度 Mean crowding;  $m^* / m$ : 聚集性指数 Aggregation index;  $I$ : 丛生指标 Fascicular index;  $Ca$ : Kuno 指标 Kuno's index;  $k$ : 负二项分布参数 Value of negative dist;  $\lambda$ : 种群聚集均数 Aggregation mean

表 3 叶蝉种群在茶树上的聚集度指标

Table 3 Aggregation indices of leafhoppers in tea plantations

季节 Season	茶园类型 Tea types	$C$	$m^*$	$m^* / m$	$I$	$Ca$	$K$	$\lambda$
春茶 Spring tea	I	32.79	51.63	2.63	31.79	1.62	0.62	7.23
	II	32.22	49.71	2.72	31.22	0.13	0.59	7.10
	III	21.46	39.05	2.20	20.46	0.38	0.87	14.18
	IV	13.04	27.10	1.97	12.04	0.19	1.14	8.35
夏茶 Summer tea	I	1.89	9.73	1.40	0.89	1.71	7.82	6.81

续表

季节 Season	茶园类型 Tea types	<i>C</i>	<i>m</i> *	<i>m</i> * / <i>m</i>	<i>I</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	$\lambda$
秋茶 Autumn tea	II	2.37	5.51	2.42	1.37	0.60	1.67	1.62
	III	2.66	10.57	1.50	1.66	0.55	4.25	6.92
	IV	8.67	18.35	2.00	7.67	3.53	1.20	5.31
	I	5.26	17.08	1.54	4.26	1.15	2.61	9.27
冬茶 Winter tea	II	4.73	12.25	1.81	3.73	0.24	1.82	6.26
	III	2.50	8.02	1.72	1.50	0.32	3.12	4.00
	IV	5.73	14.64	1.78	4.73	3.35	1.74	5.60
	I	1.11	2.60	4.68	0.11	0.87	5.25	0.49
	II	1.59	2.67	16.00	0.59	0.84	0.28	0.13
	III	2.12	3.33	10.00	1.12	0.58	0.30	0.25
	IV	4.00	5.00	22.50	3.00	13.50	0.07	0.68

## 2.2 不同生境茶园对蜘蛛和叶蝉个体数的影响

4类茶园中茶园蜘蛛个体数以相思树生境茶园最多,全年合计为1155头,与稻田生境茶园、生活区生境茶园相比增幅明显,分别为1.09倍、1.08倍;与小乔木生境茶园差异并不显著(表4)。而叶蝉个

体数量在4类茶园之间差异不显著,以小乔木生境茶园数量最多,为692头。从益害比中,相思树生境茶园蜘蛛个体数与叶蝉个体数比值最大,为2.18;而生活区茶园比值最小,为0.98。

表4 蜘蛛和叶蝉在不同生境茶园个体数差异

Table 4 Differences of spiders and leafhoppers in the number of individuals with different tea plantations (mean±SE)

茶园类型 Tea types	蜘蛛个体总数 Total of spider	蜘蛛个体平均数 Mean of spider	叶蝉个体总数 Total of leafhopper	叶蝉个体平均数 Mean of leafhopper	蜘蛛总个体数: 叶蝉总个体数 Total of spider : Total of leafhopper
I	989	41.21±4.98a	692	28.83±8.22a	1:0.70
II	552	23.96±2.95b	501	20.88±6.94a	1:0.91
III	1155	48.13±6.95a	529	23.00±6.96a	1:0.45
IV	556	23.17±3.25b	565	23.54±5.29a	1:1.02

同列不同字母表示差异显著; ( $P < 0.05$ )

## 2.3 不同生境茶园对蜘蛛功能群及多样性的影响

根据蜘蛛结网与否和捕食行为的特点,茶园蜘蛛可划分为两类功能群,即游猎型和结网型。在4类茶园中,以游猎型蜘蛛最多,个体数为2957头,主要包括:跳蛛科、狼蛛科、猫蛛科、管巢蛛科、光盘蛛科、圆颚蛛科、平腹蛛科和蟹蛛科等8个科。此外,游猎型蜘蛛在各类茶园个体数量分布表现趋势大致

相同,以跳蛛科和狼蛛科的种类和个体数量最多。结网型蜘蛛相对较少,个体数为295头,主要有:球蛛科、园蛛科和肖蛸科等3个科。按游猎型功能群来排序,个体数量大小为茶园III>茶园I>茶园IV>茶园II;按结网型功能群来排序,个体数量大小为茶园III>茶园I>茶园II>茶园IV。

从表5可以看出,茶园蜘蛛种类多样性指数和

表5 蜘蛛在不同生境茶园多样性差异

Table 5 Differences of the spider diversities in different tea plantations (mean±SE)

茶园类型 Tea types	多样性指数 Diversity index	均匀性指数 Evenness index	丰富度 Richness	优势度指数 Dominance index
I	0.72±0.03a	0.87±0.01a	4.88±0.18a	0.01±0.00ab
II	0.57±0.04b	0.81±0.05a	3.68±0.26b	0.02±0.01a
III	0.67±0.03a	0.87±0.02a	4.29±0.18a	0.01±0.00ab
IV	0.54±0.03b	0.82±0.04a	3.55±0.13b	0.01±0.00ab

丰富度中以小乔木生境茶园与相思树生境茶园数值最大,并与稻田生境茶园、生活区生境茶园有显著差异;此外,均匀性指数、优势度指数在不同茶园间差异并不显著。如图 1 所示,2 月下旬蜘蛛多样性指数开始增大;6—11 月多样性指数较大,群落处于较稳

定状态。在时间序列上小乔木生境茶园与相思树生境茶园蜘蛛多样性指数与丰富度相对较高,试验中蜘蛛多样性指数的动态趋势、数值大小有异,揭示了 4 种不同生境茶园上蜘蛛群落动态差异。

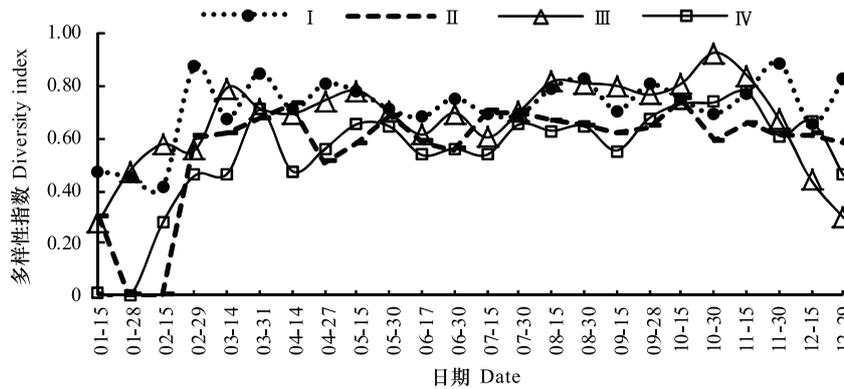


图 1 蜘蛛在不同生境茶园多样性动态变化

Fig.1 Dynamic changes of the spider diversities in different tea plantations

I: 小乔木生境茶园 Tea plantation close to mixed natural woodland; II: 稻田生境茶园 Tea plantation close to paddy fields; III: 相思树生境茶园 Tea plantation close to pure *Acacia confuse* communities; IV: 生活区生境茶园 IV: Tea plantation close to a village

### 2.4 不同生境茶园对蜘蛛和叶蝉个体数的垂直分布影响

从表 6 可以看出,生态环境较好的小乔木生境茶园和相思树生境茶园中,蜘蛛数量以地表较多,分别占 43.28%和 51.77%,中层较少,分别占 18.10%和 13.33%,地表与上、中、下层存在明显差异;叶蝉数量中,相思树生境茶园以上层最多,占 38.41%,小乔木生境茶园却以下层最多,占 36.42%,分别与地表有

显著差异。同样,对于稻田生境茶园和生活区生境茶园蜘蛛地表的数量分布表现出一致的趋势,以地表占比例最多,分别占 51.30%和 48.74%;但是上层较少,分别只占 12.52%和 17.09%,地表与上、中、下层存在明显差异;叶蝉数量以上层最多,分别占 40.52%和 43.36%,分别与中层差异不显著,地表差异显著。可见,叶蝉主要集中在茶树上,以中上层较多。

表 6 蜘蛛和叶蝉个体数在不同生境茶园空间差异

Table 6 Spatial differences of spiders and leafhoppers in the number of individuals with different tea plantations (mean±SE)

茶园类型 Tea types	物种 Species	个体平均数 mean			
		上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	地表 Ground surface
I	叶蝉 Leafhopper	9.08±2.04a	9.13±2.18a	10.50±4.40a	0.13±0.07b
	蜘蛛 Spider	7.75±1.11b	7.46±1.43b	8.25±1.36b	17.83±2.59a
II	叶蝉 Leafhopper	8.46±3.73a	5.79±1.65ab	6.33±2.98ab	0.25±0.14b
	蜘蛛 Spider	3.00±0.50b	4.13±0.71b	3.75±0.74b	12.29±2.26a
III	叶蝉 Leafhopper	8.83±3.03a	8.04±2.37a	5.50±1.75ab	0.63±0.46b
	蜘蛛 Spider	6.83±1.35b	6.42±1.09b	8.83±1.57b	24.92±4.32a
IV	叶蝉 Leafhopper	10.21±2.55a	8.63±1.96ab	4.71±1.23bc	0.29±0.11c
	蜘蛛 Spider	3.96±0.65b	4.21±0.80b	5.00±1.08b	11.29±1.98a

### 2.5 蜘蛛和叶蝉个体数在 4 类茶园中不同季节垂直分布差异

蜘蛛在 4 类茶园中不同层次间数量差异显著

(表 7)。在春茶期间,蜘蛛总个体数以小乔木生境茶园和相思树生境茶园相对较多,分别与稻田生境茶园、生活区生境茶园有显著差异。夏茶期间,下层

个体数以相思树生境茶园最多,并与稻田生境茶园、生活区生境茶园存在显著差异;地表个体数中相思树生境茶园和小乔木生境茶园相对较多,并与生活区生境茶园存在显著差异。秋茶期间,上层个体数以相思树生境茶园最多,并与稻田生境茶园、生活区生境茶园存在显著差异。冬茶期间,小乔木茶园的中间层个体数较多,并与稻田生境茶园、生活区生境茶园存在显著差异。

叶蝉在 4 类茶园中不同层次间数量是有显著差

异(表 8)。夏茶期间,叶蝉上层个体数与总个体数以生活区生境茶园最多,并与小乔木生境茶园存在显著差异。秋茶期间,中层个体数与总个体数以小乔木生境茶园最多,并与其它 3 类茶园存在差异但并不显著。在春茶期间,小乔木生境茶园叶蝉个体总数最多,4 类茶园间不同层次差异并不显著。冬茶期间,小乔木生境茶园的上层个体数较多,相思树生境茶园的总个体最多,但 4 类茶园间在上、中、下层及地表差异并不显著。

表 7 4 类茶园中蜘蛛个体数在不同季节空间分布差异

Table 7 Distribution difference of spider individual numbers of the 4 kind tea plantations in different seasons space (mean±SE)

季节 Season	茶园类型 Tea types	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	地表 Ground surface	总数 Total
春茶 Spring	I	10.67±1.86a	9.83±4.86a	7.50±1.77ab	30.67±4.72ab	58.67±7.78a
	II	4.67±1.41b	3.17±0.75a	2.67±0.92b	16.33±6.77b	27.67±6.33b
	III	7.33±1.33ab	5.50±1.18a	7.83±2.30a	45.83±5.83a	66.50±6.16a
	IV	5.67±1.73b	2.67±0.49a	3.00±1.00ab	18.67±5.09b	22.33±2.29b
夏茶 Summer	I	7.33±2.04a	9.17±2.33a	8.83±1.96ab	23.33±2.49a	48.33±6.23a
	II	3.67±1.02a	6.50±1.48a	3.67±1.12b	17.50±4.02ab	33.67±3.71ab
	III	5.83±1.85a	8.50±1.46a	12.50±2.29a	26.50±3.61a	54.17±5.04a
	IV	4.67±0.99a	6.50±1.75a	5.67±1.61b	12.17±2.55b	28.50±4.35ab
秋茶 Autumn	I	10.33±2.28ab	8.00±1.44a	14.83±3.09a	14.83±2.46a	48.00±8.35a
	II	2.50±0.43c	5.83±1.54a	7.67±1.75a	9.83±1.85a	25.83±4.88a
	III	12.50±3.96a	9.83±3.27a	13.00±4.28a	22.83±10.83a	58.17±21.39a
	IV	4.50±1.15bc	6.83±1.82a	10.00±2.99a	12.67±2.99a	35.83±8.31a
冬茶 Winter	I	2.67±1.28a	2.83±0.60a	1.83±0.70a	2.50±1.26a	9.83±3.26a
	II	1.17±0.17a	1.00±0.45b	1.00±0.45a	5.50±3.12a	8.67±3.64a
	III	1.67±0.67a	1.83±0.48ab	2.00±0.73a	4.50±2.55a	13.67±6.00a
	IV	1.00±0.26a	0.83±0.31b	1.33±0.61a	1.67±0.80a	6.00±2.13a

表 8 4 类茶园中叶蝉个体数在不同季节空间分布差异

Table 8 Distribution difference of leafhopper individual numbers of the 4 kind tea plantations in different seasons space (mean±SE)

季节 Season	茶园类型 Tea types	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	地表 Ground surface	总数 Total
春茶 Spring	I	15.17±6.09a	14.83±6.86a	29.00±15.98a	0.00±0.00a	59.00±28.65a
	II	20.67±13.99a	13.33±5.10a	20.83±10.23a	0.67±0.42a	55.50±22.29a
	III	23.00±10.36a	18.50±7.73a	11.83±6.06a	0.33±0.21a	53.67±23.80a
	IV	17.33±7.65a	15.83±4.99a	8.17±2.96a	0.67±0.33a	42.67±14.51a
夏茶 Summer	I	6.83±1.58ab	8.33±1.71a	5.67±1.15a	0.00±0.00a	20.83±3.89ab
	II	2.33±0.99b	3.33±1.17a	1.17±0.48a	0.00±0.00a	7.00±1.93b
	III	6.17±1.08ab	8.83±2.26a	6.17±1.85a	0.17±0.17a	21.33±4.60ab
	IV	11.17±4.36a	9.83±3.66a	6.50±3.21a	0.17±0.17a	25.83±9.39a
秋茶 Autumn	I	13.83±3.06a	13.00±3.56a	6.50±2.16a	0.17±0.17a	33.50±8.08a
	II	10.50±2.93a	6.50±1.73ab	3.33±1.20a	0.33±0.33a	20.67±4.75ab
	III	6.17±1.30a	4.33±1.54ab	3.50±1.34a	0.17±0.17a	14.17±3.81ab
	IV	12.33±3.19a	8.83±2.60ab	3.50±1.36a	0.33±0.21a	25.00±6.07ab
冬茶 Winter	I	0.50±0.22a	0.33±0.33a	0.83±0.31a	0.33±0.21a	2.00±0.82a
	II	0.33±0.21ab	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.33±0.21a
	III	0.00±0.00ab	0.50±0.34a	0.50±0.50a	1.83±1.83a	2.83±1.70a
	IV	0.00±0.00ab	0.00±0.00a	0.67±0.67a	0.00±0.00a	0.67±0.67a

2.6 蜘蛛和叶蝉在 4 类茶园中发生动态的差异

4 类茶园的蜘蛛和叶蝉个体数在不同茶园动态表现各有差异(图 2)。4 类茶园的蜘蛛个体数在 4 月上旬开始增多,11 月下旬逐渐减少,最高峰出现在 10 月下旬相思树生境茶园,峰值为 141 只。4 类茶园的叶蝉个体数发生高峰均出现在 5 月上旬至 6 月

月上旬,最高峰值出现在 5 月上旬小乔木生境茶园,峰值为 186 只。4 类茶园对叶蝉表现出一定的跟随趋势,小绿叶蝉个体数量是随着蜘蛛个体数量增多而减少;其中,小乔木生境茶园和相思树生境茶园蜘蛛对叶蝉的跟随效应相对明显。

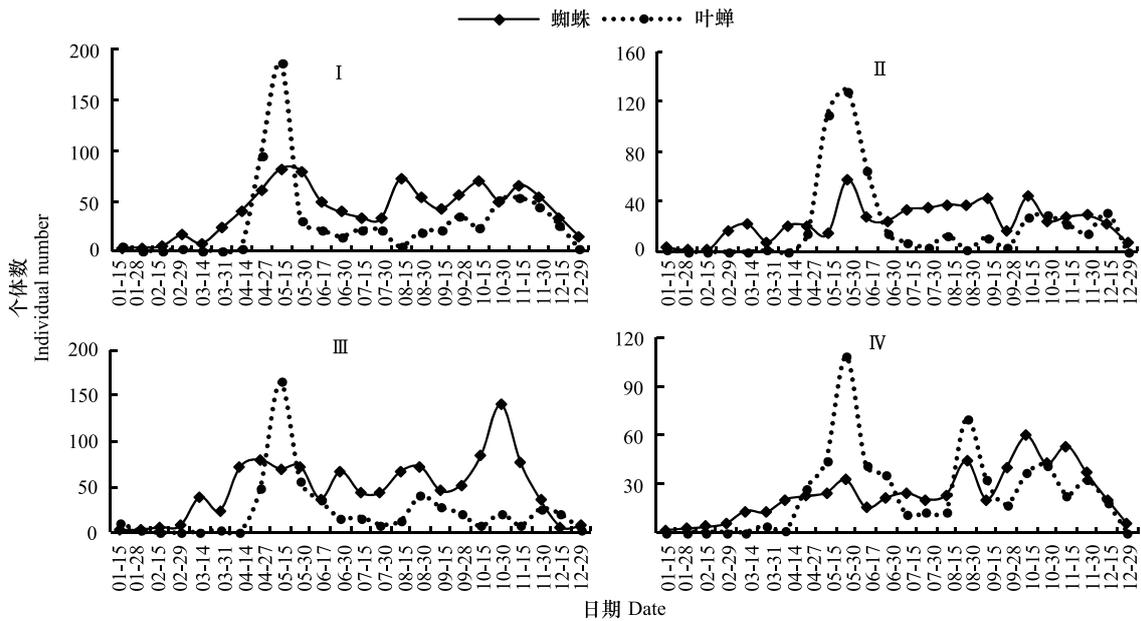


图 2 4 类茶园里蜘蛛和叶蝉的动态变化

Fig.2 Dynamic occurrence of spiders and leafhoppers in the 4 kind tea plantations

2.7 不同周边生境条件下茶园蜘蛛和叶蝉的时空分布特点

对天敌蜘蛛数量时空结构分布的各变量进行多元统计分析结果显示(图 3):由于第一主成分和第

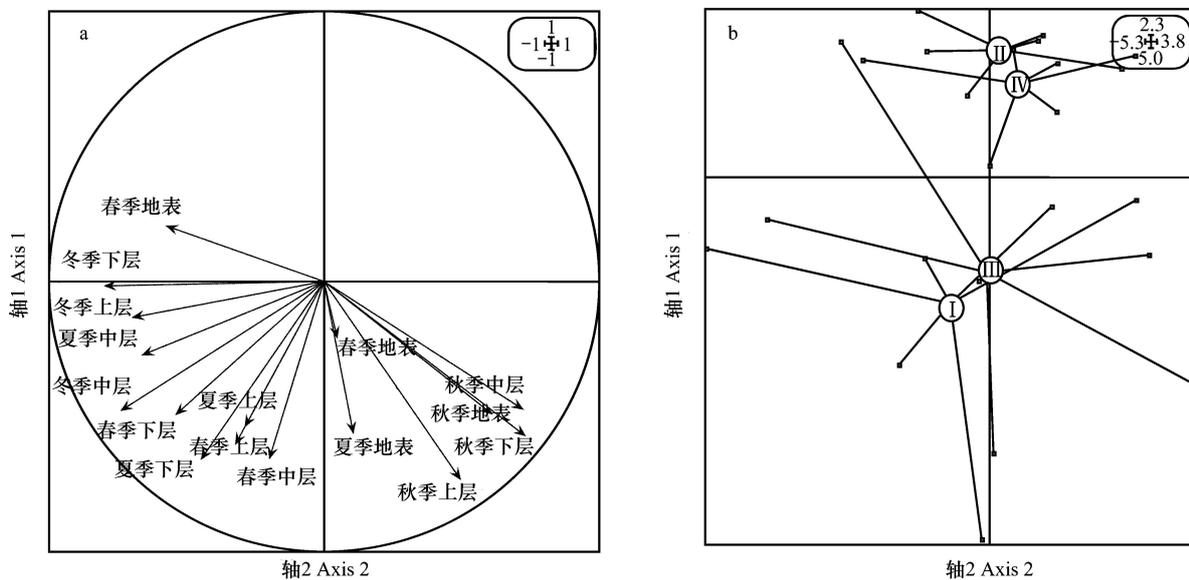


图 3 不同生境茶园蜘蛛群落主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of the spider communities of different tea plantations

(a) 各变量的相关图; 矢量箭头表示各指标变量, 变量在主成分轴上的投影长短代表其对主成分的贡献, 两个矢量箭头的余弦角度代表其相关关系, 角度越小, 相关性越高; (b) 不同生境茶园影响整体特征得分图, 其位置与空间载荷图上的指标矢量位置相对应

二主成分的累计贡献率达 54.4%，第一主成分贡献率为 30.3%，蜘蛛数量分布受春季下层、夏季中层、秋季中层、秋季下层、秋季地表、冬季上层、冬季中层、冬季下层和冬季地表等影响最大。第二主成分贡献率为 24.1%，其主要与春季上层、夏季上层、夏季下层、夏季地表和秋季上层紧密联系。小乔木生境茶园和相思树生境茶园与其余两种生境茶园样点随第二主成分属性进行空间分布，二者清晰的被划分在第一主成分坐标轴的两边，小乔木生境茶园与相思树生境茶园位置明显向蜘蛛分布较多的季节与层次方向偏移，并且这种偏移表现出小乔木生境茶园>相思树生境茶园>生活区生境茶园>稻田生境茶园的倾向。这一现象表明茶园生境受到过多干扰

会对蜘蛛目等天敌影响较大。

对害虫叶蝉数量时空结构分布的各变量进行多元统计分析结果显示(图 4):第一主成分和第二主成分的累计贡献率达到 40.6%，第一主成分贡献率为 23.3%，与春季上层、中层和下层等密切相关;第二主成分贡献率为 17.3%，主要受夏季上层、中层和下层等变量影响。小乔木生境茶园与相思树生境茶园与其余两种生境茶园样点随第一主成分属性进行空间分布，二者清晰的被划分在第二主成分坐标轴的两边，小乔木生境茶园与相思树生境茶园位置明显向叶蝉分布较多的夏季上层、夏季中层和夏季下层偏移。说明夏季叶蝉发生高峰期，小乔木生境茶园与相思树生境茶具有较高的种群密度。

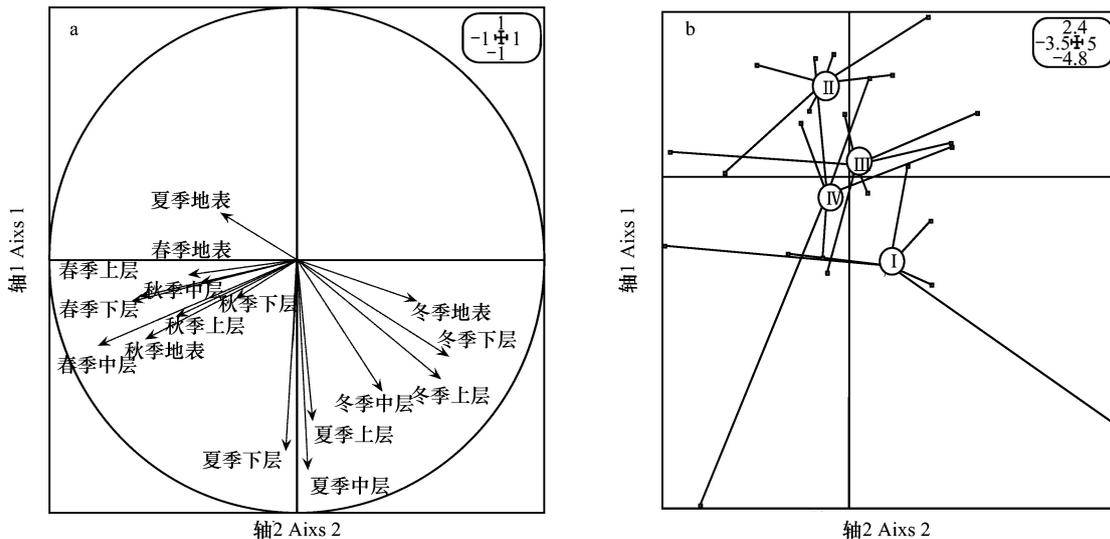


图 4 不同生境茶园叶蝉种群主成分分析

Fig.4 Principal component analysis of the leafhopper populations of different tea plantations

### 3 讨论

#### 3.1 茶园周边生境条件改善能有效提高蜘蛛群落多样性

周边不同的生境类型对天敌栖息影响较大，生境物种多样化与环境相对稳定可以提供天敌多样性与稳定性<sup>[21]</sup>。物种丰富度与景观生境多样性关系密切，邓欣等<sup>[22]</sup>和陈亦根等<sup>[23]</sup>研究表明复合生境茶园节肢动物稳定性指数比单一园高；吴全聪等<sup>[24]</sup>研究表明生态护理能增加节肢动物种群结构和多样性。本研究也表明蜘蛛与叶蝉呈聚集分布，聚集原因是由其自身生物习性和环境共同引起的；不同生境管理对蜘蛛群落个体数与多样性以及叶蝉种群个

体数存在显著差异。蜘蛛种类在茶园生态系统的构成受周边生境条件等影响较大，对不同生境具有依赖性，随着生境的改善群落密度变大；生境管理包括生态系统的小气候条件、茶树品种以及茶园外部特征等。周边生境结构植物丰富，建有缓冲带，改善小气候环境和形成土壤表面覆盖度，能显著增加游猎型蜘蛛类群数量；茶园生境管理较好，人为干扰较少，蜘蛛多样性得到增强，并能吸引更多结网型蜘蛛类群数量，为茶园害虫生态调控奠定了基础。相思树茶园生境管理异质性，蜘蛛聚集程度较强，蜘蛛与叶蝉个体数比值最大，蜘蛛多样性指数较大；生活区茶园生境管理单一，蜘蛛与叶蝉个体数比值最小，蜘蛛多样性指数较小。究其原因，主要是小乔木生境

茶园和相思树生境茶园的四周生境植物丰富,气候、土壤湿度等改善,半自然生境面积较多,为天敌蜘蛛提供栖息场所;另一方面,在吸引天敌种群密度增加的同时也使害虫种群密度变大,为天敌繁衍提供食物源,从而使叶蝉得到有效调控。

### 3.2 茶园周边生境条件改善可有效增强蜘蛛对叶蝉调控效应

害虫种群的有效调控受多样化的天敌群落影响<sup>[25]</sup>,群落多样化与景观生境破碎化的面积关系密切<sup>[26]</sup>,农田生境结构复杂、半自然生境面积增多以及减免化学农药的使用,对害虫的生态控制具有重要意义。茶园蜘蛛是捕食假眼小绿叶蝉的主要天敌类群,生态控制茶园蜘蛛多样性、稳定性最高<sup>[27]</sup>;有机管理方式能够提高节肢动物群落的多样性,有助于实现对害虫的生态控制<sup>[28-29]</sup>;而化学农药的使用对节肢动物多样性产生较大威胁<sup>[30]</sup>。据调查,发现不施用农药的茶园,任何时期都保持相当数量的蜘蛛;施肥、除草、采摘新梢以及喷施农药等人为干扰的农事活动,对茶园蜘蛛发生数量均有一定的影响,尤其以施用化学农药防治害虫影响最大。对长期施用化学农药的茶园调查,在茶园中心很难找到蜘蛛,在茶园周围杂草下发现数量也是很少的。

从叶蝉的生活习性来看,白天晨露干后活动性增强,聚集在茶树上层新梢吸汁为害,但稍受惊动即跳去或者沿茶枝迅速向茶树下层以及地表潜逃;中午阳光强烈,活动减弱,并向茶树中下层转移;夜间或清晨活动性较小,一般是在茶树上层静伏不动。此外,不同生境茶园蜘蛛数量主要集中在地表,而且大部分为游猎型蜘蛛。从蜘蛛寻觅食物的行为分析,游猎型蜘蛛一般没有固定的栖息场所,终日过游猎生活,白天活动性稍差;像狼蛛科、平腹蛛科等蜘蛛,白天一般游猎于茶园地表,晚上活动性变强,还会游猎于茶树中上层;像跳蛛科、猫蛛科、管巢蛛科、蟹蛛科等蜘蛛一般游猎于茶树上层,白天受农事活动和天气环境影响也会游猎于茶树中下层以及地表。

虽然蜘蛛和叶蝉两者在时间和空间上有所重叠没有很好地反映,但从叶蝉生活习性和蜘蛛寻觅食物的行为来分析,不同种类蜘蛛相互存在联系,相互补充的;生态环境较好的小乔木生境茶园和相思树生境茶园蜘蛛数量在地表和茶树上层数量最多,蜘蛛

在共同捕获叶蝉时表现出明显的协同效应;白天当叶蝉受到游猎于茶树上层蜘蛛的威胁和捕获时,叶蝉会往茶树下层以及地表潜逃避敌,而在地面有狼蛛科等蜘蛛时,靠近茶树下层和落地的叶蝉就遭到蜘蛛猎食,从而使天敌对害虫控制作用得以发挥。而本次研究的四类茶园均不使用化学农药,以便更好地从茶园生境管理角度探讨生态控制茶园对蜘蛛和叶蝉之间的相互作用,结果表明不使用化学农药,周边生境结构植物丰富,建有缓冲带,改善小气候环境和形成土壤表面覆盖度,能明显提高游猎型蜘蛛种群数量在地表和茶树上数量分布,在共同捕获叶蝉时表现出协同效应,形成上下夹击,从而使天敌对害虫控制作用得以发挥。

### 3.3 茶园周边生境条件改善能有效协调蜘蛛和叶蝉的时空变化

生态系统稳定性受小尺度范围内的多样性和生态系统功能以及种群系统功能的影响<sup>[31]</sup>;群落稳定性的保持受复杂食物网的影响等。本研究表明,不同茶园生境天敌蜘蛛群落数量、叶蝉种群数量在时间、空间关系存在差异,生境生物多样与小气候较稳定的茶园能够明显提高蜘蛛群落在茶树上时间与空间分布综合性状,使叶蝉种群数量得以实现生态调控。依据蜘蛛群落多样性指数和数量、叶蝉数量、益害比综合效果,可以评价出不同生境类型茶园对蜘蛛群落多样性和控制叶蝉的效应,结果说明生境特性复杂的茶园能通过生态过程提高天敌蜘蛛群落数量、控制叶蝉能力。究其原因,可推断为复杂化的生境中空间生态位宽广更全面,小气候相对更稳定适宜多物种的生存,而且由于植物枯枝落叶大量增加与腐解过程有助于土壤小动物形成团聚,对蜘蛛种类分布,增加天敌食物链功能上比周边生境管理单一的茶园更具优势。

春茶时期与秋茶时期,动物开始复苏与准备冬眠,生境管理较好的茶园,能增加树冠与地表上的生物群落,为蜘蛛等天敌提供丰富的食物来源,奠定天敌食物链功能基础。此外,夏季的炎热与冬季的严寒,能为蜘蛛群落提供较舒适的栖息场所生活以及繁衍后代,保证蜘蛛群落密度功能基础;而生境管理较差的茶园,茶园缺少遮荫,夏季天气高温,缺少缓冲带,不仅会受到周边农田施肥、防虫、收割等农事活干扰,而且还会受到放养家畜家禽以及人居生活

干扰,从而引起蜘蛛种类和种群数量减少,使有效天敌控制害虫能力减弱,容易导致叶蝉种群数量增加甚至暴发。可见,发挥茶园天敌蜘蛛的控害作用,提高茶园害虫种群密度自然控制力、维持茶园生态平衡的关键因子,对茶叶产业化可持续性发展具有重要意义,符合我国农业生态系统生物多样性战略要求和市场经济需要。由于本次试验调查时间较短,仅为一年数据资料,未能完全了解生境结构的改变是如何影响天敌蜘蛛群落和叶蝉种群数量及种间相互作用;茶园周边生境管理如何进行才最有利于建立蜘蛛群落,降低叶蝉密度,增加茶叶产量等问题还有待进一步深入研究。

#### 4 结论

茶叶作为饮用植物的健康营养产品,需要更加重视其食品安全,病虫害防治是目前生产过程中遇到的最大障碍,如果在茶园中施用过多的农药势必会造成污染环境,减少生物多样性,影响茶叶品质,降低茶园经济效益。本研究表明,在不使用化学农药下,四类不同周边生境的茶园中,生境结构复杂和相对稳定的茶园能通过和谐的生态过程影响蜘蛛和叶蝉的时空格局,提高蜘蛛对害虫叶蝉的自然控制能力。即对茶园周边进行有效生境管理,构建结构复杂、植物相对丰富的生境缓冲带,能增加天敌蜘蛛群落多样性,发挥蜘蛛对害虫叶蝉自然控制作用,从而提高茶叶质量和经济效益。

**致谢:**感谢华南农业大学热带农业环境重点实验室骆世明教授对本文写作的帮助。

#### References:

- [ 1 ] Chen Z M. Study on product quality and safety and environmental safety of Chinese tea industry. *Agricultural Quality & Standards*, 2011, (3): 5-7.
- [ 2 ] Wilby A, Thomas M B. Natural enemy diversity and pest control patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters*, 2002, 5(3): 353-360.
- [ 3 ] Zhang H G, Han B Y. The analysis on the fauna of tea insect pests in China and their regional occurrence. *Journal of Tea Science*, 1999, 19(2): 81-86.
- [ 4 ] He Y P, Shen J L. The genetic origin and molecular basic of the evolution of insect resistance to insecticides. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45(2): 175-181.
- [ 5 ] Yu Y S, Shen G Q, Lu Y T, Cheng G H. Advances in the hormesis of pesticides to the natural enemies. *Plant Protection*, 2009, 35(5): 10-13.
- [ 6 ] Duan M C, Liu Y H, Zhang X, Zeng W G, Yu Z R. Agricultural disease and insect-pest control via agro-ecological landscape construction. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(7): 825-831.
- [ 7 ] Gurr G M, Wratten S D, Luna J M. Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 2003, 4(2): 107-116.
- [ 8 ] Li L, Zhang L Z, Zhang F S. Crop mixtures and the mechanisms of overyielding. *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)*, 2013: 382-395, doi: 10.1016/B978-0-12-384719-5.00363-4.
- [ 9 ] Altieri M A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 1999, 74 (1/3): 19-31.
- [ 10 ] Gao Y, Sun X L, Jin S, Zhang Z Q, Bian L, Luo Z X, Chen Z M. Review and prospect on the research of spider ecology in Chinese tea garden. *Journal of Tea Science*, 2012, 32(2): 160-166.
- [ 11 ] Chen Y F, Song C Q, Liu W W. A review of investigation and protection research of spiders in tea garden in China. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2004, (6): 343-345.
- [ 12 ] Ye H X, Cui L, He X M, Han B Y. Effect of intercropping tea with citrus, waxberry, or snake gourd on population density and spatial distribution of the tea green leafhopper and araneids. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22): 6019-6026.
- [ 13 ] Wang Y, Zang H H, Zou Y D. Study on the community dynamics of spiders and insects in tea plantation garden. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(2): 135-138.
- [ 14 ] Yang L, Guo H, Bi S D, Zou Y D, Zhou X Z, Ke S B, Shi X L, Ke L, Lin Y. Spatial relationships among *Empoasca vitis* (Gothe) and *Toxoptera aurantii* (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13): 4215-4227.
- [ 15 ] Han B Y. Differences in composition and dynamic of insect and mite community among three types of tea gardens. *Journal of Tea Science*, 2005, 25(4): 249-254.
- [ 16 ] Li J L, Miao A Q, Tang J C, Tang H, Wu L R, Li X D. Effects on arthropod communities under multiple intercropping cultivation model in tea garden. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(9): 129-131.
- [ 17 ] Li J L, Tang J C, Tang H, Li J X, Li X D. Population dynamic and the spatial distribution of *Anystis baccarum* (Linnaeus) in tea garden. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(18): 47-48, 63-63.
- [ 18 ] Chen X Y, Tang X S, Zou Y D, Wang W J. Spatial distribution pattern of *Adoxophyes honmai* larvae and sampling technique. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2012, 39(2): 252-256.
- [ 19 ] Liu D G, Xiong J J, Tan B L, Huang M D, Zhang R J. Diversity and stability analyses of arthropod community in litchi herbage complex system. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1596-1601.
- [ 20 ] Thioulouse J, Chessel D, Dole' dec S, Olivier J M. ADE-4: a

- multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 1997, 7(1): 75-83.
- [21] Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel F G, Crist T O, Fuller R J, Sirami C, Siriwardena G M, Martin J L. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 2011, 14(2): 101-112.
- [22] Deng X, Tan J C. The seasonal dynamics of species and quantities of insect pests and natural enemies in tea plantations under ecological control. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1166-1172.
- [23] Chen Y G, Xiong J J, Huang M D, Gu D J. Diversity and stability of arthropod assemblage in tea orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5): 875-878.
- [24] Wu Q C, Zheng S H, Ye W F. Effects of ecological nursing on arthropod community structure and biodiversity in orange orchards in mountain area of Zhejiang Province, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(8): 1559-1565.
- [25] Snyder W E, Ives A R. Interactions between specialist and generalist natural enemies: parasitoids, predators, and pea aphid biological control. *Ecology*, 2003, 84(1): 91-107.
- [26] Connor E F, Courtney A C, Yoder J M. Individuals-area relationships: the relationship between animal population density and area. *Ecology*, 2000, 81(3): 734-748.
- [27] Tan J C, Deng X, Yuan Z M. community structure of insects and spiders in different types of the plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(3): 291-294.
- [28] 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. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1438-1443.
- [29] Li Z Q, Liang G W, Cen Y J, Zeng L. Roles of organic management in restoration of arthropod community diversity in citrus orchard. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(8): 1515-1519.
- [30] Shi G L, Wang Y N, Zhang T Q, Du Y L, Liu S Q, Miao Z W, Li D K, Yu T Q. Arthropod community diversity in jujube orchards with integrated and conventional pest management. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 233-238.
- [31] Gao D, He X H, Zhu S S. Sustainable management on pests by agro-biodiversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7617-7624.
- [5] 余月书, 沈国清, 陆贻通, 程国华. 农药对害虫天敌的 Hormesis 效应研究进展. *植物保护*, 2009, 35(5): 10-13.
- [6] 段美春, 刘云慧, 张鑫, 曾为刚, 宇振荣. 以病虫害控制为中心的农业生态景观建设. *中国生态农业学报*, 2012, 20(7): 825-831.
- [10] 高宇, 孙晓玲, 金珊, 张正群, 边磊, 罗宗秀, 陈宗懋. 我国茶园蜘蛛生态学研究进展. *茶叶科学*, 2012, 32(2): 160-166.
- [11] 陈银方, 宋昌琪, 刘文炜. 中国茶园蜘蛛调查和保护研究综述. *浙江农业科学*, 2004, (6): 343-345.
- [12] 叶火香, 崔林, 何迅民, 韩宝瑜. 茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响. *生态学报*, 2010, 30(22): 6019-6026.
- [13] 王勇, 张汉鹄, 邹运鼎. 茶园蜘蛛、昆虫群落动态的研究. *生态学报*, 1991, 11(2): 135-138.
- [14] 杨林, 郭骅, 毕守东, 邹运鼎, 周夏芝, 柯胜兵, 施晓丽, 柯磊, 林源. 合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系. *生态学报*, 2012, 32(13): 4215-4227.
- [15] 韩宝瑜. 三类典型茶园昆虫和螨类群落组成和动态的差异. *茶叶科学*, 2005, 25(4): 249-254.
- [16] 黎健龙, 苗爱清, 唐劲驰, 唐颢, 吴利荣, 黎秀娣. 复合间作栽培模式对茶园节肢动物群落的影响研究. *广东农业科学*, 2010, 37(9): 129-131.
- [17] 黎健龙, 唐劲驰, 唐颢, 李家贤, 黎秀娣. 茶园圆果大赤螨消长动态及空间分布. *广东农业科学*, 2011, 38(18): 47-48, 63-63.
- [18] 陈向阳, 唐鑫生, 邹运鼎, 王文俊. 茶小卷叶蛾幼虫空间格局及抽样技术. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(2): 252-256.
- [19] 刘德广, 熊锦君, 谭炳林, 黄明度, 张润杰. 荔枝-牧草复合系统节肢动物群落多样性与稳定性. *生态学报*, 2001, 21(10): 1596-1601.
- [22] 邓欣, 谭济才. 生态控制茶园内害虫、天敌种类及数量的季节变化规律. *生态学报*, 2002, 22(7): 1166-1172.
- [23] 陈亦根, 熊锦君, 黄明度, 古德就. 茶园节肢动物类群多样性和稳定性研究. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 875-878.
- [24] 吴全聪, 郑仕华, 叶旺发. 生态护理对山地桔园节肢动物群落结构及多样性的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(8): 1559-1565.
- [27] 谭济才, 邓欣, 袁哲明. 不同类型茶园昆虫、蜘蛛群落结构分析. *生态学报*, 1998, 18(3): 291-294.
- [28] 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. *生态学报*, 2006, 26(5): 1438-1443.
- [29] 李志强, 梁广文, 岑伊静, 曾玲. 有机管理对柑橘园节肢动物群落多样性恢复的作用. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1515-1519.
- [30] 师光禄, 王有年, 张铁强, 杜艳丽, 刘素琪, 苗振旺, 李登科, 于同泉. 综合防治与常规防治下枣园节肢动物群落多样性的比较. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 233-238.
- [31] 高东, 何霞红, 朱书生. 利用农业生物多样性持续控制有害生物. *生态学报*, 2011, 31(24): 7617-7624.

#### 参考文献:

- [1] 陈宗懋. 我国茶产业质量安全和环境安全问题研究. *农产品质量与安全*, 2011, (3): 5-7.
- [3] 张汉鹄, 韩宝瑜. 中国茶树昆虫区系及其区域性发生. *茶叶科学*, 1999, 19(2): 81-86.
- [4] 何月平, 沈晋良. 害虫抗药性进化的遗传起源与分子机制. *昆虫知识*, 2008, 45(2): 175-181.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.9 May ,2014( Semimonthly )**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Research progress on ecosystem complexity-stability relationships based on soil food web .....  
..... CHEN Yunfeng, TANG Zheng, LI Hui, et al (2173)
- The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China .....  
..... FU Wenchao, TIAN Kun, XIAO Derong, et al (2187)
- The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification-cases study based on typical peak-cluster depression ...  
..... LI Yangbing, LUO Guangjie, BAI Xiaoyong, et al (2195)
- Correlation between the distribution characteristics of poisonous plants and *Ochotona curzoniae*, *Myospalax baileyi* in the East of  
Tibetan Plateau Alpine meadow ecosystem ..... JIN Liang, SUN Li, CUI Huijun, et al (2208)
- Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations .....  
..... LI Jianlong, TANG Jingchi, LI Xiudi, et al (2216)

**Autecology & Fundamentals**

- Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir Area .....  
..... GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (2228)
- Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triquetus* .....  
..... ZHANG Xiling, WANG Lixin, LIU Huamin, et al (2238)
- Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii*  
plantation ..... HU Qiwu, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, et al (2246)
- Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner  
Mongolia ..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (2256)
- Effects of shadowing on methane Emissions from *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* .....  
..... CHEN Xixiang, YANG Yanhua, JIANG Jun, et al (2266)
- Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta*  
(Diptera: Tephritidae) on six host fruits ..... LIU Hui, HOU Bohua, ZHANG Can, et al (2274)
- Pollination Mechanisms of genus *Salvia* (Lamiaceae) in East Asia (China) .....  
..... HUANG Yanbo, WEI Yukun, GE Binjie, et al (2282)

**Population, Community and Ecosystem**

- The effect of resource pulse supply on interspecific competition of a few algal species ..... LI Wei (2290)
- Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns .....  
..... LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al (2297)
- Scale change and dependence of plant functional traits in hilly areas of the loess region, Shaanxi Province, China .....  
..... DING Man, WEN Zhongming, ZHENG Ying (2308)
- N and P stoichiometry of *Koelreuteria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland .....  
..... XU Luyan, TIAN Dalun, WANG Guangjun, et al (2316)
- Evapotranspiration and factors influencing evapotranspiration in the spring wheat farmland of China's Loess Plateau .....  
..... YANG Fulin, ZHANG Qiang, WANG Wenyu, et al (2323)
- Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes .....  
..... LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, et al (2329)
- Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li county of Sichuan Province .....  
..... LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al (2338)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Landscape diversity of *Paerargyrops edita* Tanaka stock in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground ..... CAI Jiandi, SU Guoqiang, MA Chao, et al (2347)
- Landscape classification in a small area for soil series survey and mapping: a case study in the Ningzhen hills, China ..... LU Haodong, PAN Jianjun, FU Chuancheng, et al (2356)
- Impacts of climate change on winter wheat growing period and irrigation water requirements in the north china plain ..... HU Wei, YAN Changrong, LI Yingchun, et al (2367)

**Resource and Industrial Ecology**

- Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI method ..... LIU Yuan, LI Xiangyang, LIN Jianyi, et al (2378)
- Evaluation index system of sustainable livelihoods ecotourism strategy: a case study of wangjiazhai community in baiyangdian wetland nature reserve, Hebei ..... WANG Jin, ZHANG Yujun, SHI Ling (2388)
- Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters ..... FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, et al (2401)
- Evaluation on control efficiency of bethylid parasitoids on pest insects indoor: a case of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethylidae) ..... ZHAN Maokui, YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, et al (2411)

**Urban, Rural and Social Ecology**

- The dynamic change of herdsman well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia: take Xilinguole League as example ..... DAI Guangshuo, NA Risu, DONG Xiaobin, et al (2422)
- The construction of the eco-agricultural yards in three gorges reservoir area based on agricultural non-point source pollution zones ..... LIU Juan, XIE Qian, Ni Jiupai, et al (2431)
- Spatial pattern gradient analysis of a transect in a hilly urban area in China from the perspective of transportation corridor sprawl ..... LÜ Zhiqiang, DAI Fuqiang, ZHOU Qigang (2442)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 于贵瑞 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 9 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 9 (May, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元