

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 2 期
Vol.31 No.2
2011



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 31 卷 第 2 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布	潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)
冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系	赵 梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)
黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析	王乃江,刘增文,徐 钊,等 (316)
两种抗生素对龙须菜的光合生理效应	简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)
典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征	潘复静,张 伟,王克林,等 (335)
塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响	陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)
基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价	宋富强,邢开雄,刘 阳,等 (354)
火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响	贺郝钰,苏洁琼,黄 磊,等 (364)
4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应	冯慧芳,薛 立,任向荣,等 (371)
城市带状绿地宽度与温湿效益的关系	朱春阳,李树华,纪 鹏,等 (383)
西藏斧钺水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化	张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)
王朗自然保护区大熊猫生境选择	康东伟,康 文,谭留夷,等 (401)
东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局	陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)
台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响	白 义,施时迪,齐 鑫,等 (421)
青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境	杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)
叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理	王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)
C ₃ 和 C ₄ 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响	叶乐夫,付 雪,戈 峰 (449)
3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系	毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)
坝上地区农田和恢复生境地地表甲虫多样性	刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)
若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征	牛 佳,周小奇,蒋 娜,等 (474)
红枣贮藏期果面微生物多样性	沙月霞 (483)
CO ₂ 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响	刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等 (491)
丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响	彭思利,申 鸿,袁俊吉,等 (498)
新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析	吴江超,高小其,曾 军,等 (506)
石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响	黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)
不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应	何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)
基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析	潘 影,刘云慧,王 静,等 (529)
基于生态足迹的生态地租分析	龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)
深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系	刘语凡,陈 雪,李贵才,等 (547)
专论与综述	
美国、加拿大环境和健康风险管理方法	贺桂珍,吕永龙 (556)
植物蜡质及其与环境的关系	李婧婧,黄俊华,谢树成 (565)
油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展	庄 文,初立业,邵宏波 (575)
叶际微生物研究进展	潘建刚,呼 庆,齐鸿雁,等 (583)

3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系

毕守东^{1,*}, 柯胜兵¹, 徐劲峰², 周夏芝¹, 邹运鼎¹, 党凤花¹, 禹坤¹, 赵学娟¹, 施晓丽¹

(1. 安徽农业大学, 合肥 230036; 2. 潜山县植保植检站, 安徽潜山 246300)

摘要:用灰色系统分析法和生态位分析法对安徽省潜山县高、中、低 3 种海拔茶园中 2 种主要害虫与其天敌在数量和空间上的相互关系进行研讨, 经综合排序得出: 低海拔茶园假眼小绿叶蝉的主要天敌是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和鞍型花蟹蛛, 中海拔茶园为八点球腹蛛、锥腹肖蛸和鞍型花蟹蛛, 高海拔茶园为锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和草间小黑蛛。低海拔茶园柑橘粉虱的主要天敌是八点球腹蛛、茶色新圆蛛和异色瓢虫, 中海拔茶园为鞍型花蟹蛛、八点球腹蛛和茶色新圆蛛, 高海拔茶园为锥腹肖蛸、八点球腹蛛和斑管巢蛛。上述几种天敌与 2 种主要害虫在数量和空间上有显著的追随关系。不同海拔高度茶园中 2 种主要害虫的主要天敌种类存在差异。

关键词:不同海拔; 茶园; 假眼小绿叶蝉; 柑橘粉虱; 天敌

Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes

BI Shoudong^{1,*}, KE Shengbing¹, XU Jinfeng², ZHOU Xiaozhi¹, ZOU Yunding¹, DANG Fenghua¹, YU Kun¹, ZHAO Xuejuan¹, SHI Xiaoli¹

1 Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2 Plant Protection Station of Qianshan, Qianshan, Anhui 246300, China

Abstract: To conserve and utilize natural enemies for comprehensive control of insect pests in tea gardens, the quantity and space framework of the green leafhopper (*Empoasca vitis* Gothe), citrus whitefly (*Dialeurodes citri* Ashmead) and their natural enemies in three different altitudes in Qianshan area, Anhui province were systematically studied using grey system analysis and ecological niche analysis. The results showed that the greatest values of the correlation degree, spatial niche overlaps index and spatial niche proportional similarity of natural enemies for *Empoasca vitis* (Gothe), respectively, were *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) (0.9144), *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) (0.5985) and *Xysticus ephippiatus* (Simon) (1.5290) in low-altitude tea garden; *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.) (0.8644), *Xysticus ephippiatus* (Simon) (0.5143) and *Neoscona theisi* (Walckenaer) (0.1990) in mid-altitude tea garden; *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) (0.9693), *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) (0.6564) and *Neoscona theisi* (Walckenaer) (2.2027) in high-altitude tea garden; whilst for *Dialeurodes citri* (Ashmead), they were, respectively, *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.) (0.8809), *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.) (0.5143) and *Neoscona theisi* (Walckenaer) (0.6316) in low-altitude tea garden; *Xysticus ephippiatus* (Simon) (0.8832), *Xysticus ephippiatus* (Simon) (0.4222) and *Xysticus ephippiatus* (Simon) (0.6929) in mid-altitude tea garden; *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) (0.9518), *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) (0.4807) and *Clubiona reichini* (Schenker) (1.6661) in high-altitude tea garden. In addition, our results also indicated that *Empoasca vitis* (Gothe), *Dialeurodes citri* (Ashmead) and *Erigonidium graminicolum* (Sundrall) were aggregated distribution, while *Tetragnatha maxillosa* (Thorell) was random distribution in three altitudes tea gardens. The synthetic ranking results indicated that the orders of main natural enemies of *Empoasca vitis* (Gothe) in tea gardens of

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871444); 安徽省教育厅重点项目(KJ2008A139)

收稿日期: 2009-11-25; 修订日期: 2010-09-15

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

three different altitudes were, respectively, *Tetragnatha maxillosa* (Thorell), *Neoscona theisi* (Walckenaer), *Xysticus ephippiatus* (Simon) in low-altitude tea garden; *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.), *Tetragnatha maxillosa* (Thorell), *Xysticus ephippiatus* (Simon) in mid-altitude tea garden; *Tetragnatha maxillosa* (Thorell), *Neoscona theisi* (Walckenaer), *Erigonidium graminicolum* (Sundrall) in high-altitude tea garden. Whilst the orders of main natural enemies of *Dialeurodes citri* (Ashmead), respectively, were *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.), *Neoscona theisi* (Walckenaer), *Harmonia anyridis* (Pallas) in low-altitude tea garden; *Xysticus ephippiatus* (Simon), *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.), *Neoscona theisi* (Walckenaer) in mid-altitude tea garden; *Tetragnatha maxillosa* (Thorell), *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.), *Clubiona reichini* (Schenker) in high-altitude tea garden. The quantity and space framework of the natural enemies above, were closely related to those of the main insect pests. Furthermore, significant differences in the dominant natural enemy species also existed between *Empoasca vitis* and *Dialeurodes citri* in tea gardens of three different altitudes. These present results may provide an important foundation for further protecting natural enemies and optimizing control strategies of *Empoasca vitis* (Gothe) and *Dialeurodes citri* (Ashmead) in tea gardens.

Key Words: different altitudes; tea garden; *Empoasca vitis* (Gothe); *Dialeurodes citri* (Ashmead); natural enemies

茶树害虫是影响茶叶产量和品质的主要因子之一,茶树害虫天敌是影响害虫种群消长的重要生态因子,害虫-天敌之间在长期协同进化过程中形成了一种互相制约互相依存的关系。关于茶园主要害虫假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* (Gothe) 发生规律及其天敌的种类有大量报道^[1-2],柑橘粉虱 *Dialeurodes citri* (Ashmead) 的种群生命表研究证明了天敌的捕食作用对其 1 龄至 3 龄若虫种群的影响是显著的^[3]。茶树-害虫-天敌三者之间的化学通讯联系可调整害虫和天敌的相互关系^[4-6]。作为害虫的主要天敌,其在数量上、空间上都与害虫有一定的相关性。南方山区有许多茶园,不同海拔高度的茶园群落中动植物组成不同,害虫种类、发生和为害程度有异,主要害虫与其天敌在数、空上的关系是否有别? 对此缺乏研究。以假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱为研究目标,从发生数量和空间关系上评价 3 种海拔茶园 2 种害虫的主要天敌,为揭示 2 种害虫与其天敌的互作关系提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试茶园概况

用型号为 GPSmap76 的手持 GPS 仪测量供试茶园的海拔高度、坡度和经纬度。

高海拔茶园(H) 安徽省潜山县槎水镇后冲村茶场(30°52'N,116°31'E),坡度 45°,茶园面积 313.3hm²,海拔 698.6m。茶园间作杜仲和马尾松,茶树品种为 8 年生黄山大叶茶,行距 2.4m。茶园管理一般,茶树生长茂密,但一直未施用化学农药。

中海拔茶园(M) 安徽省潜山县彭河乡幸福生态茶场(30°57'N,116°31'E),坡度 45°,面积 666.67hm²,海拔 270m,茶园间作板栗,茶树品种为 8 年生天柱山群体种,行距 2.2m。茶园管理水平较高,茶树生长良好,但一直未施用化学农药。

低海拔茶园(L) 安徽省潜山县园艺茶场(30°41'N,116°34'E),小平原,面积 25.3hm²,海拔 46m。为单作茶园,茶树品种为 8 年生天柱山群体种,行距 1.7m。茶园管理水平精细,茶树生长茂密,一直未施用化学农药。

1.2 调查方法

3 种海拔茶园均采用平行跳跃法。随机取 5 行,每行间隔 2m 取一个 1m 长的样方,每行取 6 个样方,共取 30 个样方,盆拍前,先目测,尔后每样方随机选取 10 片叶片,共 300 个叶片,调查一些不易振落的害虫和天敌种类,然后用洗衣粉水液粘虫对样方中所有枝条进行盆拍,调查记载害虫及其天敌物种数和个体数。

1.3 调查时间

调查时间为茶园常年多种害虫高发期的 7 月 13—14 日(2009 年)。

1.4 数学分析方法

1.4.1 茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌数量关系的灰色系统分析^[7]

将假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱及其主要天敌分别看作一个本征性灰系统,茶园假眼小绿叶蝉(Y_1)和柑橘粉虱(Y_2)分别作为该系统的参照序列,其各种天敌(X_j)作为该系统的比较序列,不同样方上的小绿叶蝉(或柑橘粉虱)及其天敌的数量作为序列在第 k 个样方上的效果白化值,进行双序列关系分析:

$$Y_i = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)\}, i = 1, 2; X_j = \{X_j(1), X_j(2), \dots, X_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, m$$

式中, n 是样方数, m 是天敌种类数。经数据均值化后得:

$$y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n)\}, i = 1, 2; x_j = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, m$$

Y_i 与 X_j 在第 k 点上的关联系数:

$$r_{ij}(k) = \frac{\min \min |y_i(k) - x_j(k)| + \rho \max \max |y_i(k) - x_j(k)|}{|y_i(k) - x_j(k)| + \rho \max \max |y_i(k) - x_j(k)|}$$

式中, ρ 为分辨系数,取值介于 0 到 1 之间,一般取 $\rho = 0.5$,为扩大各关联度之间的差异,本文取 $\rho = 0.8$ 。 $\Delta = |y_i(k) - x_j(k)|$ 为序列 Y_i 与 X_j 在第 k 点上的绝对值差; $\min \min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 1 级最小差,表示找出 y_i 与 x_j 序列对应点的差值中的最小差;而 $\min \min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 2 级最小差,表示在 1 级最小差的基础上再找出其中的最小差。 $\max \max |y_i(k) - x_j(k)|$ 与 $\max \max |y_i(k) - x_j(k)|$ 分别为 1 级和 2 级最大差,其含义与上述最小差相似。 $R(Y_i, X_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_{ij}(k)$ 即为第 j 种天敌(X_j)与假眼小绿叶蝉数量(Y_1)或柑橘粉虱(Y_2)的关联度,其大小反映它们之间的联系或影响程度。某种天敌与 Y_1 (或 Y_2)关联度值越大,表明该种天敌与 Y_1 (或 Y_2)在数量上关系越密切。

1.4.2 茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌空间关系的生态位分析

生态位宽度用 Levins^[8] 的生态位宽度指数:

$$B = \frac{1}{S \sum_{i=1}^S P_i^2}$$

式中, B 为物种的生态位宽度; P_i 为物种利用第 i 等级资源占利用总资源的比例; S 为资源系列的等级数。生态位相似性比例采用 Morisita^[9] 相似性系数:

$$C_{jk} = \frac{2 \sum_{i=1}^S P_{ij} P_{ik}}{\sum_{i=1}^S P_{ij} [(n_{ij} - 1)/(N_j - 1)] + \sum_{i=1}^S P_{ik} [(n_{ik} - 1)/(N_k - 1)]}$$

式中, C_{jk} 表示种 j, k 的生态位相似性系数, P_{ij}, P_{ik} 分别表示种 j, k 在第 i 个资源等级上所占的比例, n_{ik} 是 k 物种在 i 营养级上的数量, n_{ij} 是 j 物种在 i 营养级上的数量。 N_j, N_k 分别表示 j 物种和 k 物种的个体数量之和。

生态位重叠采用 Levins^[8] 生态位宽度的生态位重叠指数:

$$L_{jk} = B_j \sum_{i=1}^S P_{ij} P_{ik}$$

式中, L_{jk} 为种 j 对种 k 的生态位重叠系数, P_{ij} 和 P_{ik} 分别为 j 和 k 物种在第 i 资源等级上占的比例, B_j 为种 j 的生态位宽度。

C_{jk} 与 L_{jk} 越大,表明 j, k 物种在利用某种资源上关系越密切。若 j 物种为天敌, k 物种为害虫, C_{jk} 与 L_{jk} 大说明 j 种天敌对 k 种害虫有显著的追随关系。

1.4.3 两种害虫和天敌的空间格局及其差异和原因分析^[10]

分别采用 Poisson 扩散系数 C 、David 等提出的丛生指标数 I 、聚块性指数 I_w 和久野指数 C_A 等 4 种聚集强度指数综合分析测定假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌的空间格局。当 $C > 1, I > 0, I_w > 1$ 和 $C_A > 0$ 时害虫

或天敌的空间格局呈聚集分布;当 $C = 1, I = 0, I_w = 1$ 和 $C_A = 0$ 时害虫或天敌的空间格局呈随机分布;当 $C < 1, I < 0, I_w < 1$ 和 $C_A < 0$ 时害虫或天敌的空间格局呈均匀分布。为了判断两种害虫与其天敌空间聚集程度的差异,用 David 和 Moore^[11] 提出的公式:

$$w = -\frac{1}{2} \ln \left(\frac{S_1^2 / \bar{x}_1}{S_2^2 / \bar{x}_2} \right)$$

式中, $S_1^2, S_2^2, \bar{x}_1, \bar{x}_2$ 分别为两种群的方差和均数,若 $|w| > 2.5 \sqrt{n-1}$, 则按 5% 水平认为两者显著不同。用 Arbous 和 Kerrich^[12] 提出的种群聚集均数公式 $\lambda = \frac{\bar{x}}{2k} \cdot v$, 分析假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱及其天敌的聚集原因,式中 $k = \frac{\bar{x}^2}{S^2 - \bar{x}}$, S^2 为方差, v 为自由度等于 $2k$ 时的 $\chi_{0.05}^2$ 值。

2 结果与分析

调查结果表明,高海拔茶园有 14 种害虫,其前 3 位的害虫是假眼小绿叶蝉、柑橘粉虱、和绿蝻 *Holochora nauae* (Mats. et Shiraki), 其次是茶短须螨 *Brevipalpus theae* (Ma et Yuan)、茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis* (Hood)、梧桐木虱 *Thysanogyna limbata* (Enderlein)、茶角胸叶甲 *Basilepta melanopus* (Lefevre) 等;中海拔茶园有 17 种害虫,其前 3 位的害虫是茶黄蓟马、假眼小绿叶蝉和红蜡蚧 *Ceroplastes rubens* (Maskell), 其次是茶短须螨、柑橘粉虱、茶尺蠖 *Ectropis obliqua* (Warren) 等;低海拔茶园有 17 种害虫,其前 3 位的害虫是茶黄蓟马、假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱,其次为茶尺蠖、红蜡蚧、茶角胸叶甲等。高海拔茶园有 16 种天敌,主要天敌为锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* (Thorell)、八点球腹蛛 *Theridion octomaculatum* (Boes. et Str.) 和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* (Sundevall), 其次为茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* (Walckenaer)、日本蠼螋 *Labidura japonica* (De hocan)、异色瓢虫 *Harmonia anyridis* (Pallas) 等;中海拔茶园有 17 种天敌,其前 3 位的天敌为斑管巢蛛 *Clubiona reichini* (Schenker)、草间小黑蛛和八点球腹蛛,其次为锥腹肖蛸、蠊 *Arma chinensis* (Stinkbugs)、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* (Fabr.) 等;低海拔茶园有 13 种天敌,其前 3 位的天敌为八点球腹蛛、茶色新圆蛛和锥腹肖蛸,其次为日本球腹蛛 *Enoplognatha japonica* (Boes. et Str.)、草间小黑蛛、斑管巢蛛等。将调查结果汇总列于表 1。

表 1 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与天敌种群数量

Table 1 Population quantities of *Empoasca vitis* (Gothe) and *Dialeurodes citri* (Ashmead) and their natural enemies in tea gardens of different altitudes

物种 Species	海拔 Altitudes	数量 Numbers	物种 Species	海拔 Altitudes	数量 Numbers
假眼小绿叶蝉 <i>Empoasca vitis</i> (Gothe) (Y_1)	低	128	茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i> (Walckenaer) (X_4)	低	35
	中	236		中	4
	高	553		高	8
柑橘粉虱 <i>Dialeurodes citri</i> (Ashmead) (Y_2)	低	48	鞍型花蟹蛛 <i>Xysticus ephippiatus</i> (Simon) (X_5)	低	8
	中	19		中	8
	高	245		高	3
草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i> (Sundrall) (X_1)	低	16	斑管巢蛛 <i>Clubiona reichini</i> (Schenker) (X_6)	低	16
	中	15		中	33
八点球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i> (Boes. et Str.) (X_2)	高	10	异色瓢虫 <i>Harmonia anyridis</i> (Pallas) (X_7)	高	1
	低	76		低	12
	中	15		中	8
锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thorell) (X_3)	高	11		高	6
	低	33			
	中	15			
	高	44			

2.1 假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌之间的数量关系

用 DPS 软件计算假眼小绿叶蝉种群数量和柑橘粉虱与其天敌之间的关联度。结果列于表 2。在低海拔,

与假眼小绿叶蝉关联度较高的前 3 位天敌是锥腹肖蛸(0.9144)、茶色新圆蛛(0.9066)和八点球腹蛛(0.9055);中海拔,与假眼小绿叶蝉关联度较高的前 3 位天敌是八点球腹蛛(0.8644)、锥腹肖蛸(0.8530)和斑管巢蛛(0.8463);在高海拔,与假眼小绿叶蝉关联度较高的前 3 位天敌是锥腹肖蛸(0.9693)、草间小黑蛛(0.9489)和茶色新圆蛛(0.9486)。在低海拔与柑橘粉虱关联度较高的前 3 位天敌是八点球腹蛛(0.8809)、茶色新圆蛛(0.8789)和锥腹肖蛸(0.8519);中海拔,与柑橘粉虱关联度较高的前 3 位天敌是鞍型花蟹蛛(0.8832)、茶色新圆蛛(0.8495)和八点球腹蛛(0.8343);在高海拔,与柑橘粉虱关联度较高的前 3 位天敌是锥腹肖蛸(0.9518)、八点球腹蛛(0.9469)和斑管巢蛛(0.9448)。

表 2 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与天敌的关联度

Table 2 Relational grade of *Empoasca vitis* (Gothe) and *Dialeurodes citri* (Ashmead) and their natural enemies in tea gardens of different altitudes

害虫 Pests	海拔 Altitudes	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Y_1	低	0.8547	0.9055	0.9144	0.9066	0.8633	0.8737	0.8778
	中	0.8043	0.8644	0.8530	0.8154	0.8344	0.8463	0.8120
	高	0.9489	0.9406	0.9693	0.9486	0.9418	0.9419	0.9367
Y_2	低	0.8506	0.8809	0.8519	0.8789	0.8362	0.8456	0.8505
	中	0.8248	0.8343	0.8115	0.8495	0.8832	0.8092	0.8296
	高	0.9319	0.9469	0.9518	0.9231	0.9341	0.9448	0.9328

2.2 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌之间的空间关系

2.2.1 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌空间生态位重叠指数

将不同海拔天敌与假眼小绿叶蝉空间生态位重叠指数列于表 3,可看出,在低海拔,与假眼小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位的天敌是锥腹肖蛸(0.5985)、茶色新圆蛛(0.5532)和鞍型花蟹蛛(0.4162),天敌锥腹肖蛸与茶色新圆蛛的空间生态位重叠度较高(0.6194);中海拔与假眼小绿叶蝉空间生态位重叠指数前 3 位

表 3 不同海拔假眼小绿叶蝉及其天敌空间生态位重叠指数

Table 3 Space ecological niche overlap indexes of *Empoasca vitis* (Gothe) and its natural enemies in tea gardens of different altitudes

海拔 Altitudes		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
低	Y_1	0.2910	0.3068	0.5985	0.5532	0.4162	0.4106	0.5367
	X_1		0.0595	0.4392	0.1930	0.4244	0.0542	0.1715
	X_2			0.1857	0.5817	0.1338	0.0997	0.1103
	X_3				0.6194	0.5432	0.2429	0.4161
	X_4					0.3580	0.2490	0.2531
	X_5						0.0559	0.5303
	X_6							0.5139
中	Y_1	0.2013	0.4963	0.4880	0.2464	0.5143	0.2241	0.2997
	X_1		0.4179	0.4558	0.2611	0.1508	0.2744	0.4954
	X_2			0.3333	0.2182	0.1260	0.2580	0.4830
	X_3				0.6547	0.1890	0.2580	0.2760
	X_4					0.1443	0.1478	0.1581
	X_5						0.0284	0.2739
	X_6							0.3116
高	Y_1	0.5804	0.3663	0.6564	0.6035	0.4237	0.0715	0.2219
	X_1		0.1296	0.3669	0.1890	0.2390	0.2673	0.0000
	X_2			0.5946	0.0000	0.1085	0.0000	0.1400
	X_3				0.2774	0.1754	0.0000	0.1415
	X_4					0.3162	0.0000	0.3062
	X_5						0.0000	0.0000
	X_6							0.0000

的天敌是鞍型花蟹蛛(0.5143)、八点球腹蛛(0.4963)和锥腹肖蛸(0.4880);在高海拔茶园,与假眼小绿叶蝉空间生态位重叠指数前3位的天敌是锥腹肖蛸(0.6564)、茶色新圆蛛(0.6035)和草间小黑蛛(0.5804);天敌八点球腹蛛与锥腹肖蛸的空间生态位重叠指数较高(0.5946)。由此可见,从空间生态位重叠角度来看,不同海拔的茶园,假眼小绿叶蝉的优势天敌种类和顺序并不相同。上述部分天敌之间的生态位重叠指数大,说明它们的空间同域性高,对假眼小绿叶蝉进行共同控制。

将不同海拔天敌与柑橘粉虱空间生态位重叠指数列于表4,在低海拔,与柑橘粉虱空间生态位重叠指数前3位的天敌是八点球腹蛛(0.5143)、茶色新圆蛛(0.4833)和异色瓢虫(0.3269),天敌之间八点球腹蛛与茶色新圆蛛、茶色新圆蛛与锥腹肖蛸及异色瓢虫与鞍型花蟹蛛之间重叠指数较大,分别为0.5817、0.6149、0.5303;中海拔,与柑橘粉虱空间生态位重叠指数前2位的天敌是鞍型花蟹蛛(0.4222)和八点球腹蛛(0.1719),其余重叠指数都为0;在高海拔,与柑橘粉虱空间生态位重叠指数前3位的天敌是锥腹肖蛸(0.4807)、八点球腹蛛(0.3726)和斑管巢蛛(0.2560),天敌八点球腹蛛与锥腹肖蛸重叠指数也较大,为0.5946。同样从空间生态位重叠角度来看,不同海拔的茶园,柑橘粉虱的优势天敌种类和顺序不相同。天敌之间的生态位重叠指数大,也说明部分天敌的空间同域性高,对柑橘粉虱进行协同控制。

表4 不同海拔柑橘粉虱与其天敌的空间生态位重叠指数

Table 4 Space ecological niche overlap indexes of *Dialeurodes citri* (Ashmead) and its natural enemies in tea gardens of different altitudes

海拔 Altitudes		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
低	Y_2	0.1281	0.5143	0.3029	0.4833	0.1981	0.0591	0.3269
	X_1		0.0595	0.4392	0.1930	0.4244	0.0542	0.1715
	X_2			0.1857	0.5817	0.1338	0.0997	0.1103
	X_3				0.6194	0.5432	0.2429	0.4161
	X_4					0.3580	0.2490	0.2531
	X_5						0.0559	0.5303
	X_6							0.5139
中	Y_2	0.0000	0.1719	0.0000	0.0000	0.4222	0.0000	0.0000
	X_1		0.4179	0.4558	0.2611	0.1508	0.2744	0.4954
	X_2			0.3333	0.2182	0.1260	0.2580	0.4830
	X_3				0.6547	0.1890	0.2580	0.2760
	X_4					0.1443	0.1478	0.1581
	X_5						0.0284	0.2739
	X_6							0.3116
高	Y_2	0.1368	0.3726	0.4807	0.0272	0.0229	0.2560	0.0591
	X_1		0.1296	0.3669	0.1890	0.2390	0.2673	0.0000
	X_2			0.5946	0.0000	0.1085	0.0000	0.1400
	X_3				0.2774	0.1754	0.0000	0.1415
	X_4					0.3162	0.0000	0.3062
	X_5						0.0000	0.0000
	X_6							0.0000

2.2.2 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌的空间生态位相似性

将不同海拔天敌与假眼小绿叶蝉生态位相似性比例列于表5,低海拔茶园鞍型花蟹蛛与假眼小绿叶蝉空间生态位相似性系数最高,为1.5290,其次是锥腹肖蛸(0.9139)和茶色新圆蛛(0.7884),天敌草间小黑蛛与鞍型花蟹蛛和茶色新圆蛛与鞍型花蟹蛛之间空间生态位相似性系数分别为1.4583和1.7386;中海拔茶园茶色新圆蛛与假眼小绿叶蝉空间生态位相似性比例系数最高,为1.1990,其次是八点球腹蛛(0.9098)和锥腹肖蛸(0.8947),天敌八点球腹蛛与茶色新圆蛛和锥腹肖蛸与茶色新圆蛛之间空间生态位相似性系数分别为2.3333和7.0000;高海拔茶园茶色新圆蛛与假眼小绿叶蝉空间相似性系数最高,为2.2027,其次是草间小黑蛛(1.0507)和锥腹肖蛸(0.8682),天敌草间小黑蛛与茶色新圆蛛、草间小黑蛛与斑管巢蛛及锥腹肖蛸与茶色新圆蛛之间空间生态位相似性系数也较高,分别为1.1250,4.5000,1.4333;由此可见,海拔不同假眼小绿叶

蝉与其同种天敌的空间生态位相似性系数不同。上述部分天敌之间的生态位相似性高,表明它们在空间资源利用上的同域性较高。

表 5 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉与天敌的空间生态位相似性比例

Table 5 Spaces similarity proportions of *Empoasca vitis* (Gothe) and its natural enemies in tea gardens of different altitudes

海拔 Altitudes		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
低	Y_1	0.4040	0.2796	0.9139	0.7884	1.5290	0.5106	1.0949
	X_1		0.0760	0.7463	0.3189	1.4583	0.0893	0.3957
	X_2			0.1934	0.6161	0.2419	0.1250	0.1587
	X_3				1.1728	3.4286	0.3593	1.1556
	X_4					1.7386	0.3650	0.6370
	X_5						0.1563	4.1250
	X_6							1.0392
中	Y_1	0.2618	0.9098	0.8947	1.1990	0.8484	0.2746	0.6486
	X_1		0.8556	0.9333	1.1667	0.3182	0.4253	1.2353
	X_2			1.0889	2.3333	0.3333	0.5111	1.8148
	X_3				7.0000	0.5000	0.5111	1.0370
	X_4					0.8750	0.6857	1.7500
	X_5						0.0550	0.8750
	X_6							0.7427
高	Y_1	1.0507	0.5927	0.8682	2.2027	0.3430	0.7381	0.2167
	X_1		0.3673	0.8356	1.1250	0.3529	4.5000	0.0000
	X_2			1.1976	0.0000	0.1563	0.0000	0.2381
	X_3				1.4333	0.1660	0.0000	0.1635
	X_4					0.5000	0.0000	0.6250
	X_5						0.0000	0.0000
	X_6							0.0000

将不同海拔天敌与柑橘粉虱的生态位相似性比例列于表 6,可以看出,低海拔茶园茶色新圆蛛与柑橘粉虱空间生态位相似性系数最高,为 0.6316,其次是异色瓢虫(0.5910)、八点球腹蛛(0.5606)和鞍型花蟹蛛

表 6 不同海拔茶园柑橘粉虱与天敌的空间生态位相似性比例

Table 6 Spaces similarity proportions of *Dialeurodes citri* (Ashmead) and its natural enemies in tea gardens of different altitudes

海拔 Altitudes		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
低	Y_2	0.1859	0.5606	0.4012	0.6316	0.5036	0.0809	0.5910
	X_1		0.0760	0.7463	0.3189	1.4583	0.0893	0.3957
	X_2			0.1934	0.6161	0.2419	0.1250	0.1587
	X_3				1.1728	3.4286	0.3593	1.1556
	X_4					1.7386	0.3650	0.6370
	X_5						0.1563	4.1250
	X_6							1.0392
中	Y_2	0.0000	0.2408	0.0000	0.0000	0.6929	0.0000	0.0000
	X_1		0.8556	0.9333	1.1667	0.3182	0.4253	1.2353
	X_2			1.0889	2.3333	0.3333	0.5111	1.8148
	X_3				7.0000	0.5000	0.5111	1.0370
	X_4					0.8750	0.6857	1.7500
	X_5						0.0550	0.8750
	X_6							0.7427
高	Y_2	0.2292	0.5838	0.5478	0.0625	0.0252	1.6661	0.0731
	X_1		0.3673	0.8356	1.1250	0.3529	4.5000	0.0000
	X_2			1.1976	0.0000	0.1563	0.0000	0.2381
	X_3				1.4333	0.1660	0.0000	0.1635
	X_4					0.5000	0.0000	0.6250
	X_5						0.0000	0.0000
	X_6							0.0000

(0.5036),天敌茶色新圆蛛与锥腹肖蛸、草间小黑蛛与鞍型花蟹蛛、锥腹肖蛸与鞍型花蟹蛛及鞍型花蟹蛛与异色瓢虫之间空间生态位相似性系数也较高,分别为1.1728、1.4583、3.4286和4.1250;中海拔茶园鞍型花蟹蛛与柑橘粉虱空间生态位相似性系数最高,为0.6929,其次是八点球腹蛛(0.2408),天敌鞍型花蟹蛛与异色瓢虫、八点球腹蛛与茶色新圆蛛及八点球腹蛛与异色瓢虫之间空间生态位相似性系数也较高,分别为4.1250、2.3333和1.8148;高海拔茶园斑管巢蛛与柑橘粉虱空间生态位相似性系数最高,为1.6661,其次为八点球腹蛛(0.5838)和锥腹肖蛸(0.5478),天敌斑管巢蛛与草间小黑蛛、八点球腹蛛与锥腹肖蛸及锥腹肖蛸与茶色新圆蛛之间空间生态位相似性系数也较高,分别为4.5000、1.1976和1.4333;可见不同海拔柑橘粉虱与其同一种天敌的空间生态位相似性系数不同。所述的天敌之间的生态位相似性高,表明它们在空间资源利用上的同域性高,对柑橘粉虱种群起协同控制作用。

2.3 不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌空间格局聚集程度差异及原因

将不同海拔的两种害虫及其天敌的聚集强度指数及 $|w|$ 和 λ 值列于表7,按1.4.3的判断标准,假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱及其天敌草间小黑蛛3种海拔均为聚集格局,八点球腹蛛中海拔为随机格局,高、低海拔均为聚集格局,锥腹肖蛸3种海拔均为随机格局,茶色新圆蛛低海拔为聚集格局,中、高海拔为随机格局,鞍型花蟹

表7 假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌的聚集强度指数

Table 7 Aggregation intensity indexes of *Empoasca vitis* (Goehe) and *Dialeurodes citri* (Ashmead) and their natural enemies

物种 Species	C	I	I_w	C_A	$ w _{y_1}$	$ w _{y_2}$	λ	备注 Remark	
Y_1	低	2.3265	1.3265	1.3109	0.3109	—	—	3.5483	+
	中	4.0654	3.0654	1.3897	0.3897	—	—	6.6687	+
	高	4.3500	3.3500	1.1817	0.1817	—	—	17.3194	+
Y_2	低	3.9036	2.9036	2.8148	1.8148	—	—	0.6606	+
	中	3.6463	2.6463	5.1786	4.1786	—	—	0.6021	+
	高	17.3207	16.3207	2.9984	1.9984	—	—	3.7129	+
X_1	低	1.6477	0.6477	2.2151	1.2151	0.1725	0.4313	0.4489	+
	中	1.7586	0.7586	2.5172	1.5172	0.4190	0.3646	0.1726	+
	高	1.1035	0.1035	1.3106	0.3106	0.6858	1.3767	0.2769	+
X_2	低	11.0741	10.0741	4.9772	3.9772	0.7801	0.5214	2.2922	+
	中	0.9310	-0.0690	0.8620	-0.1380	0.7370	0.6826	-0.4602	++
	高	1.2195	0.2195	1.5987	0.5987	0.6359	1.3267	0.2597	+
X_3	低	0.8517	-0.1483	0.8517	-0.1483	0.5024	0.7612	-0.915	++
	中	0.9310	-0.0690	0.8620	-0.1380	0.7370	0.6826	-0.4602	++
	高	0.9268	-0.0732	0.9501	-0.0499	0.7731	1.4639	-1.44	++
X_4	低	1.1281	0.1281	1.1098	0.1098	0.3619	0.6207	1.1102	+
	中	0.8965	-0.1035	0.2234	-0.7766	0.7559	0.7015	-0.1225	++
	高	0.7585	-0.2415	0.0946	-0.9054	0.8732	1.5642	-0.1673	++
X_5	低	0.7585	-0.2415	0.0946	-0.9054	0.5606	0.8192	0.1673	++
	中	1.2756	0.2756	2.0333	1.0333	0.5795	0.5251	0.1910	+
	高	1.6210	0.6210	7.2100	6.2100	0.4936	1.1844	0.1413	+
X_6	低	2.0347	1.0347	2.9402	1.9402	0.0670	0.3258	0.2354	+
	中	2.0910	1.0910	1.9918	0.9918	0.3324	0.2780	0.7561	+
	高	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.7351	1.4259	0.0000	++
X_7	低	0.9658	-0.0342	0.9144	-0.0856	—	0.6983	0.3826	+
	中	1.0169	0.0169	1.0633	0.0633	—	0.6385	0.2559	+
	高	1.8625	0.8625	5.3125	4.3125	—	1.1150	0.1962	++

$|w|_{y_1}$ 假眼小绿叶蝉 for *Empoasca vitis* Goehe; $|w|_{y_2}$ 柑橘粉虱 for *Dialeurodes citri* Ashmead; + 聚集格局; ++ 随机格局

蛛和异色瓢虫低海拔均为随机格局,中、高海拔为聚集格局,斑管巢蛛中、低海拔为聚集格局,高海拔为随机格局。由表 7 可看出,求得的 $|w|$ 值均小于 13.4629 ($|w| > 2.5 \sqrt{n-1}, n=30$),表明几种聚集格局的天敌与两种害虫的聚集程度差异不显著。Blachith^[13]曾提出种群聚集均数 λ 的大小可判断分析引起聚集的原因,当 λ 小于 2 时,聚集是由于某种环境因子影响所致,当 $\lambda \geq 2$ 时,其聚集是昆虫主动聚集或任何一种因素引起,表 7 表明,假眼小绿叶蝉的种群聚集均数 λ 均大于 2,其聚集是本身引起的。柑橘粉虱中,低海拔的 λ 值小于 2,高海拔的 λ 值大于 2,表明前者是由于环境所致,后者的聚集为柑橘粉虱本身原因引起的,7 种天敌中,只有低海拔的八点球腹蛛 λ 值大于 2,其余天敌在不同海拔的 λ 值均小于 2,表明其聚集是环境因子所致。

3 小结与讨论

王沅江等^[1]通过调查测定茶园假眼小绿叶蝉与其天敌蜘蛛的生态位,说明在广东英德地区,草间小黑蛛是自然茶园假眼小绿叶蝉的主要优势种天敌,其次是斜纹猫蛛。冷锋等^[3]报道了捕食类天敌瓢虫和蜘蛛等对 1 龄、2 龄和 3 龄时的柑橘粉虱捕食作用最强。韩宝瑜^[14]对幼龄茶园、丰产茶园、母穗园和自然生长的品种标本园中的昆虫群落进行了研究,报道了 4 类茶园中害虫种数和个体数均以中层居多,天敌的种数和个体数亦以中上层居多;水平分布上,害虫种类以朝北方位较多,个体数则以茶丛内层多于外层;天敌的种数和个体数在丰产茶园以外层较多,其他 3 类则以内层较多。邓欣、谭济才等^[2,15]报道了湖南省海拔 600—900m 的生态控制茶园中,昆虫和蜘蛛的丰富度、多样性指数和均匀度较大,海拔 100—300m 的综合防治茶园的多样性指数、均匀度和优势度较低,特别是多样性指数前者是后者的 1.24—1.60 倍;同为生态茶园,海拔 800m 的多样性指数是 600m 和 650m 的 1.11 倍,同为化学防治茶园,物种多样性指数海拔 400m 的是海拔 200m 的 1.15 倍。表明其差异的原因一是海拔不同,二是管理措施不同。

本文利用灰色关联度和生态位分析法,通过对 3 种海拔假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其天敌在数量上的关联度以及空间生态位重叠指数和相似性比例进行综合排序,即先将上述数值无量纲化再求均值,然后按大小次序排列最终得出:(1)低海拔茶园假眼小绿叶蝉主要天敌依次是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和鞍型花蟹蛛,中海拔茶园假眼小绿叶蝉主要天敌依次是八点球腹蛛、锥腹肖蛸和鞍型花蟹蛛,高海拔茶园假眼小绿叶蝉主要天敌是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和草间小黑蛛。(2)低海拔柑橘粉虱主要天敌是八点球腹蛛、茶色新圆蛛和异色瓢虫,中海拔柑橘粉虱主要天敌是鞍型花蟹蛛、八点球腹蛛和茶色新圆蛛,高海拔的柑橘粉虱主要天敌是锥腹肖蛸、八点球腹蛛和斑管巢蛛。(3)锥腹肖蛸在 3 种海拔茶园都是假眼小绿叶蝉的主要天敌;茶色新圆蛛是低、高海拔茶园假眼小绿叶蝉的主要天敌;八点球腹蛛是 3 种海拔茶园柑橘粉虱的主要天敌;茶色新圆蛛是低、中海拔柑橘粉虱的主要天敌。两种害虫不同海拔其主要天敌种类和顺序不尽相同,表明海拔高度对昆虫及其天敌发生和分布有重要影响。说明不同海拔高度茶园中,两种主要害虫的主要天敌种类是有差别的。这可能是由于海拔不同,茶园的湿度、温度及植被也不完全相同,进而影响到害虫和天敌的发育程度、繁殖率等,是害虫、天敌的生物学特性及不同海拔茶园环境特点共同作用的结果。

研究比较一种害虫与其多种天敌之间关系的密切程度一般应从两者在时、空、量、构、序等方面的关系进行综合分析^[16],本文从数量和空间上对不同海拔茶园假眼小绿叶蝉和柑橘粉虱与其多种天敌的关系进行分析,探讨海拔对害虫和天敌关系的影响,可以看出,海拔高度影响两种害虫的主要天敌种类和位次,其结果是可信的,究其机制,有待更进一步的探索。

致谢: 本文得到南京师范大学博士马飞教授的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Wang Y J, Xie Z L, Pang X F. Studies on the ecological niche of *Empoasca vitis* (Gothe) and spiders in tea gardens. *Journal of Tea Science*, 2008, 28(6): 401-406.
- [2] 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.
- [3] Leng F, Lin D S, Hou Y M. Study on life table of natural population of *Dialenrudes citri* under different nitrogen quantities. *Journal of*

- Environmental Entomology, 2008, 30(2): 103-107.
- [4] Zhao D X, Chen Z M, Cheng J A. Isolation and activity identification of volatiles among tea plant-Green leafhopper-Evarcha spider. Journal of Tea Science, 2002, 22(2): 109-114.
- [5] Chen Z M, Xu N, Han B Y, Zhao D X. Chemical communication between tea plant-herbivore-natural enemies. Journal of Tea Science, 2003, 23(S): 38-45.
- [6] Han B Y, Chen Z M. Searching behaviour of *Coccinella septempunctata* and four varieties of *Leis axyridis* adults on tea aphid honeydew and analysis of honey-dew component. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(3): 495-501.
- [7] Deng J L. A Course in grey system theory. Wuhan: Huazhong Science and Engineering University Press, 1990: 33-84.
- [8] Levins R. Evolution in changing environments. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1968: 120-121.
- [9] Zhang J T. Methods of quantitative vegetation ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995: 58-78.
- [10] Zou Y D, Wang H F. Insect ecology of agriculture and forestry. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1989: 311-327.
- [11] David F N, Moore P G. Notes on contagious distributions in plant population. Annals of Botany, 1954, 18: 47-53.
- [12] Arbous A G, Kerrich J E. Accident statistics and the concept of accident-proneness. Biometrics, 1951, 7: 340-432.
- [13] Blackith R E. Nearest-neighbour distance measurements for the estimation of animal populations. Ecology, 1958, 39: 147-150.
- [14] Han B Y. Time and spatial patterns, diversity and stability of insect community in tea gardens. Journal of Tea Science, 1997, 17(1): 27-32.
- [15] 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): 289-294.
- [16] Zou Y D. Theory and application of evaluating natural enemy in management of pests. Beijing: China Forestry Press, 1997: 27-90.

参考文献:

- [1] 王沅江, 谢振伦, 庞雄飞. 假眼小绿叶蝉及天敌蜘蛛生态位的研究. 茶叶科学, 2008, 28(6): 401-406.
- [2] 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.
- [3] 冷锋, 林端寿, 侯有明. 不同施氮量条件下柑橘粉虱的自然种群生命表的研究. 环境昆虫学报, 2008, 30(2): 103-107.
- [4] 赵冬香, 陈宗懋, 程家安. 茶树-假眼小绿叶蝉-白斑猎蛛间化学通讯物的分离与活性鉴定. 茶叶科学, 2002, 22(2): 109-114.
- [5] 陈宗懋, 许宁, 韩宝瑜, 赵冬香. 茶树-害虫-天敌间的化学信息联系. 茶叶科学, 2003, 23(增): 38-45.
- [6] 韩宝瑜, 陈宗懋. 七星瓢虫和异色瓢虫四变种成虫对茶蚜蜜露的搜索行为和蜜露的组分分析. 生态学报, 2000, 20(3): 495-501.
- [7] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中科技大学出版社, 1990: 33-84.
- [9] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 科学技术出版社, 1995: 58-78.
- [10] 邹运鼎, 王弘法. 农林昆虫生态学. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989: 311-327.
- [14] 韩宝瑜. 茶园昆虫群落时空格局及多样性稳定性. 茶叶科学, 1997, 17(1): 27-32.
- [15] 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): 289-294.
- [16] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社, 1997: 27-90.

CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in *Populus davidiana* in Changbai Mountain PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucui, et al (297)

The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al (306)

Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al (316)

Photosynthetic responses of *Gracilaria lemaneiformis* to two antibiotics JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al (326)

Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression PAN Fujing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (335)

Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Populus euphratica* in the lower reaches of Tarim River CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al (344)

Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al (354)

Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al (364)

Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al (371)

Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al (383)

Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese *Anser indicus* during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al (395)

The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al (401)

Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (*Microtus fortis*) TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al (410)

Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al (421)

Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al (431)

Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis* WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al (441)

Contribution of C₃ and C₄ host plants for the overwintering and 1st generation of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern China YE Lefu, FU Xue, GE Feng (449)

Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al (455)

The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al (465)

Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al (474)

Microbial diversity of the jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages SHA Yuexia (483)

Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO₂ and temperature LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al (491)

Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al (498)

The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al (506)

The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al (513)

Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al (522)

Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al (529)

Analysis on ecological land rent based on ecological footprint LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali (538)

Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al (547)

Review and Monograph

Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada HE Guizhen, LÜ Yonglong (556)

Plant wax and its response to environmental conditions: an overview LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng (565)

Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo (575)

Advance in the research of phyllospheric microorganism PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al (583)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 2 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 2 2011

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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 70.00 元