

DOI: 10.5846/stxb201405221053

杨钊, 赵广亮, 闫国增, 周在豹, 田作宝, 魏婉红, 张东, 李凯. 农林复合环境大草蛉生境选择取向及天敌近随效能. 生态学报, 2015, 35(23): - .
Yang Z, Zhao G L, Yan G Z, Zhou Z B, Tian Z B, Wei W H, Zhang D, Li K. Habitat Selection and Natural Enemy Function of *Chrysopa pallens* Rambur in Agroforestry Systems. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(23): - .

农林复合环境大草蛉生境选择取向及天敌近随效能

杨 钊¹, 赵广亮², 闫国增³, 周在豹³, 田作宝⁴, 魏婉红⁵, 张 东⁶, 李 凯^{6,*}

- 1 天津市河西区绿化管理所, 天津 300222
- 2 北京市八达岭林场, 北京 102102
- 3 北京市林业保护站, 北京 100029
- 4 北京市顺义区林业保护站, 北京 101300
5. 首都机场出入境检验检疫局, 北京 101300
6. 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083

摘要:大草蛉 (*Chrysopa pallens* Rambur) 是华北农区优势天敌昆虫之一。本文围绕华北农区农林复合系统中作物农田、林带所组成的农林生境, 就其中的大草蛉对栖息环境、产卵地点、越冬场所等不同生境的选择取向及天敌追随效能展开了多角度研究, 结果表明: (1) 大草蛉成虫对作物蚜虫具有明显的追随效应, 其幼虫对作物蚜虫的空间跟随作用显著, 且在不同空间层次均有控制作物蚜虫的表现 (空间重叠度指数: $P_{幼空间} > 0.65$); 大草蛉的采食虫态期与蚜虫的发生期同步 (时间重叠度指数: $P_{卵时间} < 0.65$)。 (2) 紧邻农田的林带环境是秋收后大草蛉主要的越冬场所 (差异显著性比较: $P = 0.001 < 0.05, \alpha = 0.05$), 对维系大草蛉在农林生境中的种群延续具有重要作用。 (3) 大草蛉在林带内的树皮裂缝、地表土层、枯枝落叶下结茧化蛹越冬, 并对以上三个地点不存在明显选择性 (差异显著性比较: $P = 0.466 > 0.05, \alpha = 0.05$); (4) 大草蛉在栖息生境中具有季节移动性和偏选择性双重特点: 夏秋两季作物生长期中, 大草蛉从林带迁飞往农田, 偏好在大豆、花生田中栖息 (LSD 法: $P = 0.005 < 0.01, \alpha = 0.01$); 农作物秋收后及冬春两季大草蛉栖居于林带中, 偏好杨树萌条林内栖息 (LSD 法: $P = 0.002 < 0.01, \alpha = 0.01$); (5) 大草蛉对产卵地点具有选择性, 因生境不同表现出一定差异性: 在农田生境, 大草蛉产卵时节贯穿 6 至 9 月, 且偏好于花生与玉米田 (LSD 法: $P = 0.007 < 0.01, \alpha = 0.01$); 在林带生境, 杨树杂木林内具有更高密度卵量 (LSD 法: $P = 0.038 < 0.05, \alpha = 0.05$), 产卵时节集中在 5 至 7 月。

关键词: 农林复合环境; 大草蛉; 生境选择; 追随效能

Habitat Selection and Natural Enemy Function of *Chrysopa pallens* Rambur in Agroforestry Systems

YANG Zhao¹, ZHAO Guangliang², YAN Guozeng³, ZHOU Zaibao³, TIAN Zuobao⁴, WEI Wanhong⁵, ZHANG Dong⁶, LI Kai^{6,*}

- 1 Hexi Virescence Administration Station, Tianjin 300222, China
- 2 Beijing Badaling Forest Farm, Beijing 102102, China
- 3 Beijing Municipal Forestry Protection Station, Beijing 100029, China
- 4 Shunyi Forestry Protection Station, Beijing Forestry Bureau, Beijing 101300, China
- 5 Beijing International Airport Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Beijing 101300, China
- 6 College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: In recent years, agricultural food safety incidents caused by poisonous pesticides have increasingly occurred in

基金项目: 教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-12-0783)

收稿日期: 2014-05-22; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: likai_sino@sina.com

China, which has led to high levels of concern over the safety of agricultural products by the Chinese public. Thus, to solve the agricultural pest problem, there has been a movement toward the implementation of environmentally friendly agriculture, which benefits the health of both human and ecological communities. A number of studies have suggested that predators are the key natural factor for regulating and controlling pest populations. To help construct beneficial habitats in which predators can live and reproduce, scholars in countries outside China have conducted a large number of studies and trials on habitat restoration that focused on various issues, such as habitat selection and the diversity of predator species. However, few similar studies have been conducted in China, with few studies reporting how wind break forests regulate the ecological communities in agroforestry environments. This study evaluated the habitat selection and natural enemy function of the dominant predator in the agricultural fields in China, and analyzed the regulatory effects of shelter forests on the distribution of predatory insect populations in agroforestry environments. The aims of this study are to demonstrate that shelter forests could provide refuges and alternative food for the development and survival of natural enemy population, and to provide a scientific basis for the further investigation of natural enemy resources and proper utilization of non-crop habitats in agroforestry environments.

This study investigated the habitat selection and natural enemy function of *Chrysopa pallens* Rambur, the dominant predator in the agricultural areas of Northern China. The investigation of habitat selection, oviposition sites, and overwintering sites in agroforestry systems including crop fields and shelter forests led to several conclusions. First, the adults of *C. pallens* were proficient in chasing aphid prey, and the larvae also exhibited clear spatial predation, capturing aphids at different spatial levels (spatial niche overlap index: $P_{\text{Larva} \cdot \text{Spatial}} > 0.65$). The predatory stage of *C. pallens* was synchronized with aphid emergences (temporal niche overlap index: $P_{\text{Egg} \cdot \text{Temporal}} < 0.65$). Second, forest belts adjacent to agronomic fields were the main overwintering places for *C. pallens* after the autumn harvest ($P_{\alpha} = 0.001$, $\alpha = 0.05$), which was important for maintaining the *C. pallens* population. Third, by cocooning as prepupae to overwinter in forest belts, the larvae of *C. pallens* primarily used bark cracks, topsoil, and fallen leaves and branches as overwintering places. There was no noticeable preference among these three types of overwintering habitats ($P_{\alpha} = 0.466$, $\alpha = 0.05$). Fourth, *C. pallens* migrated seasonally due to changes in habitat preference. During crop growth in summer and autumn, *C. pallens* migrated from forest belts to agronomic fields, preferring soybean and peanut habitats, where high-densities of aphids first appeared (LSD: $P_{\alpha} = 0.005$, $\alpha = 0.01$). After the fall harvest, and during winter and spring, *C. pallens* generally occupied forest belts, which were the only places left to overwinter after the crops were harvested. *C. pallens* preferred poplar coppice shoots, possibly because of the high aphid densities that occurred during early crop growth, which might serve as alternative food for survival and reproduction (LSD: $P_{\alpha} = 0.002$, $\alpha = 0.01$). Fifth, the preferred oviposition sites of *C. pallens* differed with habitat. In agronomic fields, eggs were laid from June to September, preferentially on peanut and corn plants, where high aphid densities would provide stable food sources for larvae (LSD: $P_{\alpha} = 0.007$, $\alpha = 0.01$). In forest belts, oviposition mainly occurred from May to July, preferentially in the poplar mixed forest belt, which provided a safe environment, in addition to be stable and diverse food sources (LSD: $P_{\alpha} = 0.038$, $\alpha = 0.05$).

This study showed that both adults and larvae of *C. pallens* exhibit clear patterns of aphid chasing behavior. In addition, shelter forest habitats that were stable and complex under natural conditions might provide an important refuge for *C. pallens* in agroforestry environments when the landscape changed sharply after crop harvest. Thus, this study also implies that non-crop agroforestry system habitats are essential for the ecological regulation and management of agricultural pests because they provide a refuge for and improve the survival of natural enemies. Therefore, emphasis on cultivating forest belts in agricultural fields may be vital for the protection and maintenance of natural enemy populations in agricultural systems.

Key Words: Agroforestry; *Chrysopa pallens* Rambur; Habitat selection; Chasing behavior

我国近年来由农药引发的农产品食品安全问题频频遭到曝光^[1-7],引发了社会对于农产品安全的极度重视与高度关注。实施绿色农业从生态环境角度和人类健康角度提出了一种解决虫害问题的新思路。大量的研究及例证发现^[8-10],天敌是调节和控制害虫种群数量的最重要因素^[11]。国外学者开展了诸多涉及生境与天敌多样性等旨在构建有利于天敌繁衍生息的生境修复研究和尝试^[11-14]。张文庆等^[15-17]对节肢动物天敌群落的重建概念进行了论述,对短期农作物生境中天敌保护与群落恢复进行了系统分析;梁军等^[18]就有害生物生态控制的理论基础、原则、评价体系及适用条件进行了概述。但是针对国内农林复合生境中林带的生态调控地位与作用却少有深入的研究和报道。

围绕华北农区常见优势天敌昆虫——大草蛉,本文就其种群时空动态、栖息地和繁育场所选择及大草蛉的天敌追随效能展开了多角度研究,同时就林带在农林生境中生态调控的地位和作用进行了分析,提出了针对农作物虫害可持续控制的农林复合环境构建模式,对农区合理规划和布局具有借鉴和参考作用。

1 研究区域

1.1 试验区域概况

河北廊坊地区耕地面积广阔,主要种植的农作物有:小麦、玉米、花生、棉花、大豆、薯类、辣椒等。当地农户多采用小户耕作的经营模式,农田呈斑块状分布,同块田地不同年份种植的作物种类不固定。农田周围种植有防护林带,为华北平原典型的农业耕作模式与特点。

1.2 试验样地选择

本试验地点选在河北省廊坊市固安县东徐村(116.25381°E,39.47413°N),从该地区选取两块具有代表性的 I 号和 II 号样地。I 号样地农田面积约 20,000 m²(250 m×80 m),栽种作物有花生、大豆、玉米等;II 号样地农田面积约 12,000 m²(120 m×100 m),栽种作物有辣椒、甜瓜、白薯、花生等。农田样地周边有四类典型林带(表 1),林下丛生杂草,主要草本植物包括:藜(*Chenopodium album*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、尖头叶藜(*C. acuminatum*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、狗尾草(*Setaria viridis*)和葎草(*Humulus scandens*)等。

表 1 四类林带基本概况

Table 1 General characteristics of four kinds of forest belts

名称 Name	位置 Location	宽度 Breadth /m	树龄 Age /a	树高 Height /m	胸径 Diameter /cm	结构概况 General forest belt structure
杨树杂木林 Poplar mixed forest belt	I 号样地西侧	5	1—7	1—6	1—10	包括杨树、榆树、柳树等树种,其中以杨树数量最多。不同林龄的各种树木呈不均匀排列。林下植被丰富。
成熟防护林 Mature forest belt	I 号样地南侧	2	6—7	6—7	10—11	树种为杨树,林下植被稀少。
中龄防护林 Intermediate-aged forest belt	II 号样地北侧	>10	3—5	5—6	6—11	树种为杨树,树坑和枯枝落叶较多,有少量林下植被。
杨树萌条林 Poplar coppice shoot	II 号样地北侧	>10	1—2	≤2	1—2	树种为杨树,多为新生萌条,成材树木稀少,林内植被丰富。

2 研究方法与数据处理

2.1 调查研究方法

2.1.1 作物秋收后大草蛉对越冬场所的选择

依据大草蛉的生物学特性,调查时间选择为 12 月份,每旬调查一次,共调查 3 次,采用平行线取样法,调

查农田及林带中大草蛉茧的数量:①农田中每种农作物田取 5 条样线,每条 5 个 0.5_m×0.5_m 样方,记录浅表土层和枯枝落叶下大草蛉茧的数量;②选取靠近农田的 5 排林带,每排 10 棵树,10 个 0.5_m×0.5_m 地表样方,记录树皮裂缝、浅表土层和枯枝落叶下大草蛉茧数量。

2.1.2 作物生长期大草蛉对栖息环境的选择

调查时间自 4 月份作物发芽至 10 月份作物秋收后,共调查 15 次。大草蛉在农田及其周边林带内的调查采用:①农田生境为 5 点取样法,每亩农田选取 5 个 2_m×2_m 样方,记录样方内农作物株数、整株作物上大草蛉卵、幼虫及成虫数量及位置;②在四类林带中,每次调查随机选取 35 株杨树(杨树萌条林内随机选取 35 枝新生萌条),测距地 2.5_m 范围内树干和枝条上大草蛉卵、幼虫及成虫数量;③林下杂草生境则采用随机选取 35 个 1_m×1_m 的样方,记录每个样方内杂草上大草蛉卵、幼虫及成虫数量。在上述调查中,成虫数量的调查采用网捕法,每扫网 30 次为一次取样,摆幅为 180°,记录每个样方内大草蛉成虫数量。

2.1.3 大草蛉对农作物蚜虫控制作用及效果

调查时间及次数同 2.1.2,调查地为花生田;采用 5 点取样法,每点调查 20 株,共计 100 株,分上、中、下分别记录大草蛉成虫、幼虫、卵和蚜虫的数量。

2.2 数据处理与分析

2.2.1 生态位的计算

①生态位宽度(Niche Breadth)采用 Levins(1968)提出的公式^[19]:

$$B_i = \frac{1}{n \sum_{k=1}^n P_{ik}^2} \quad (1)$$

(1)式中 B_i 为物种 i 的生态位宽度, n 为生态位资源的等级数, P_{ik} (P_{jk}) 表示物种 i 利用第 k 等级资源占其利用总资源等级的比例,其变动范围 $1/n \leq B_i \leq 1$, $B = 1/n$ 表示物种仅仅利用资源序列中的一个等级; $B = 1$ 表示物种以完全相同的比例利用每一个等级^[20]。

②生态位重叠(Niche Overlap)的估计采用修正后的 Pianka 生态位重叠指数^[21]:

$$P_{ij} = \sum_{k=1}^n P_{ik} P_{jk} / \sqrt{\sum_{k=1}^n P_{ik}^2 \sum_{k=1}^n P_{jk}^2} \quad (1)$$

(2)式中 P_{ij} 为物种 i 对物种 j 的生态位重叠, n , P_{ik} , P_{jk} 同上。在本研究中,规定当 $P_{ij\text{空间}} \geq 0.65$ 时物种 i 对物种 j 的空间重叠度高, $0 \leq P_{ij\text{空间}} < 0.65$ 时物种 i 对物种 j 的空间重叠度低;当 $P_{ij\text{时间}} \geq 0.65$ 时物种 i 对物种 j 的时间重叠度高, $0 \leq P_{ij\text{时间}} < 0.65$ 时物种 i 对物种 j 的时间重叠度低。

2.2.2 数据分析方法

针对各类调查数据,采用方差分析、多重比较(LSD法)、相关分析等数据分析方法,使用 Excel、SPSS13.0 统计软件实现。

3 结果与分析

3.1 大草蛉对不同越冬场所的选择

通过对农田与林带内大草蛉茧的分布(表 2、表 3)的差异显著性比较,结果表明:农作物秋收后,以农田为主要栖息地、尚具有较强活动能力的大草蛉转移至林带生境内越冬($P = 0.001 < 0.05$, $\alpha = 0.05$)。进一步研究发现,在林带生境内,大草蛉多选择在浅表土层、地表枯枝落叶、树干裂缝中作茧化蛹越冬;差异显著性比较(表 3)表明,林带生境内上述三种不同越冬场所中大草蛉茧的密度差异不显著($P = 0.466 > 0.05$, $\alpha = 0.05$)。这说明在作物秋收后,越冬前的大草蛉幼虫在林带内随机选择适宜的场所和环境作茧化蛹越冬。

3.2 大草蛉对栖息环境的选择

3.2.1 大草蛉对作物田适宜生境的选择

农田不同农作物上大草蛉分布的调查结果(表 4)显示,自 6 月份作物进入生长期至 10 月份作物秋收结

束,大豆田和花生田中大草蛉种群密度总体为最高。双因素(作物×日期)方差分析结果显示,从6月中旬到10月份作物秋收,不同农作物上大草蛉种群密度差异极显著($P=0.000<0.01, \alpha=0.01$)。多重比较(LSD法)结果表明:从6月份作物进入生长期至作物秋收结束,大豆田和花生田中大草蛉种群密度显著高于其他三种农作物($P=0.005<0.01, \alpha=0.01$)。这表明在作物生长期内农田生境中的大草蛉偏好在大豆和花生上栖息。

表2 秋收后不同作物田内大草蛉茧的密度/(个/平方米)

Table 2 Density of *C. pallens* cocoons in different crop fields after autumn harvest/(ind / m²)

日期(月-日) Date/(month-day)	平均密度±标准误差 Mean density±SE/(个/m ²)					Σ
	大豆 Soybean	花生 Peanut	玉米 Corn	白薯 Sweet potato	辣椒 Pepper	
12-02	0	0	0.01±0.01	0	0	0
12-14	0	0	0	0	0	0
12-23	0	0	0	0	0	0
Σ	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	

表3 林带内不同越冬场所中大草蛉茧的密度/(个/平方米)

Table 3 Density of *C. pallens* cocoons in different overwintering places in forest belts

不同环境 Environment	平均密度±标准误差/(个/平方米) Mean density±SE/(ind / m ²)	显著性差异 P _{0.05} Statistical significance at P _{0.05}
浅表土层 Topsoil	0.05±0.03 a	
地表枯枝落叶 Fallen leaves and branches	0.03±0.02 a	0.466
树皮裂缝 Bark cracks	0 a	

表4 不同农作物中大草蛉密度/(只/平方米)

Table 4 Density of *C. pallens* in different crop fields

日期/(月-日) Date/(month-day)	平均密度±标准误差 Mean density±SE/(只/m ²)					Σ
	大豆 Soybean	花生 Peanut	玉米 Corn	白薯 Sweet potato	辣椒 Pepper	
04-26	0	0	0	0	0	0
05-08	0	0	0	0	0	0
05-29	0	0	0	0	0	0
06-13	0	0	0.20±0.20	0	0	0.04±0.04
06-26	0	0.40±0.15	0	0	0	0.08±0.02
07-10	1.95±0.54	2.00±0.30	0.30±0.21	0	0.13±0.09	0.90±0.47
07-17	2.88±0.28	3.20±0.47	0.90±0.28	0.40±0.40	0	1.51±0.68
07-26	0.56±0.29	0.20±0.20	0.20±0.20	0	0	0.16±0.12
08-10	0.13±0.09	0	0.10±0.10	0	0	0.04±0.03
08-19	0	0	0.90±0.19	0	0.27±0.18	0.29±0.21
08-28	0	0	0	0	0.07±0.07	0.02±0.02
09-07	0.07±0.07	0	0.20±0.13	—	0.20±0.14	0.12±0.05
09-19	0.27±0.15	0	0.20±0.13	—	0.20±0.14	0.22±0.02
09-29	—	—	—	—	0.20±0.11	0.10±0.10
10-14	—	—	—	—	0.07±0.07	0.07±0.07
Σ	0.62±0.12 a	0.61±0.31 a	0.27±0.07 b	0.07±0.07 b	0.09±0.03 b	

—代表农作物已收割

3.2.2 大草蛉对林带的选择

对四类林带内大草蛉分布的调查结果(表5)显示,自4月份作物发芽至10月份作物秋收,杨树萌条林内大草蛉密度总体为最高。双因素(林带×日期)方差分析结果显示,在上述调查时间段内,不同林带中大草蛉密度差异极显著($P=0.000<0.01, \alpha=0.01$)。多重比较(LSD法)结果表明:在调查时间段内,杨树萌条林中大

草蛉密度显著高于其他三个林带 ($P=0.002<0.01, \alpha=0.01$), 且杨树萌条林内大草蛉密度在调查初期与末期 (4月26日、5月8日、5月29日、9月29日和10月14日) 显著高于其它时段。这表明在进入农田前与作物秋收后, 大草蛉明显偏好在杨树萌条林内栖息; 在作物生长期内, 林带生境内的大草蛉偏好在杨树萌条林内栖息。

表5 不同林带内大草蛉密度/(只/株)

Table 5 Density of *C. pallens* in different forest belts/(ind / plant)

日期/(月-日) Date/(month-day)	平均密度±标准误差 Mean density±SE/(只/株)			
	杨树杂木林 Poplar mixed forest belt	成熟防护林 Mature forest belt	中龄防护林 Intermediate-aged forest belt	杨树萌条林 Poplar coppice shoot
04-26	0	0	0	3.85±1.68
05-08	0	0.07±0.04	0	5.27±1.04
05-29	0	0	0	2.93±0.74
06-13	0.07±0.04	0	0	1.73±0.30
06-26	0.13±0.09	0	0	1.20±0.46
07-10	0	0	0	0.27±0.06
07-17	0	0	0	0
07-26	0	0	0	0.13±0.09
08-10	1.40±0.54	0	0	0.20±0.08
08-19	0	0	0	1.00±0.32
08-28	0	0	0	1.40±0.11
09-07	0	0	0	1.53±0.16
09-19	1.73±0.60	0	0	2.33±0.09
09-29	0.67±0.19	0	0	2.87±0.34
10-14	0	0	0	0.87±0.18
Σ	0.31±0.01 b	0.01±0.01 c	0 c	2.16±0.19 a

3.3 大草蛉对产卵地点的选择

3.3.1 作物田内大草蛉对产卵场所的选择

双因素(作物×日期)方差分析结果表明, 自6月份作物进入生长期至10月份作物秋收结束, 不同的农作物中大草蛉卵的密度(表6)差异极显著 ($P=0.000<0.05, \alpha=0.05$)。多重比较(LSD法)结果表明: 从6月中旬到10月份作物秋收, 花生地和玉米地中大草蛉卵的密度显著高于其他三种农作物 ($P=0.007<0.01, \alpha=0.01$), 这表明在作物生长期内农田生境中的大草蛉明显偏好在花生、玉米上产卵。

表6 不同农作物中大草蛉卵的密度/(粒/平方米)

Table 6 Density of *C. pallens* eggs in different crop fields

日期/(月-日) Date/(month-day)	平均密度±标准误差 Mean density±SE/(粒/m ²)					Σ
	大豆 Soybean	花生 Peanut	玉米 Corn	白薯 Sweet potato	辣椒 Pepper	
04-26	0	0	0	0	0	0
05-08	0	0	0	0	0	0
05-29	0	0	0	0	0	0
06-13	0.58±0.23	0.10±0.06	1.25±0.52	0.25±0.00	0.23±0.16	0.45±0.12
06-26	1.29±0.25	1.40±0.48	0.60±0.16	0.27±0.18	1.67±0.21	1.17±0.13
07-10	1.73±0.50	10.05±4.18	2.29±1.08	0.71±0.36	5.80±1.01	3.79±0.67
07-17	4.04±0.73	13.25±3.33	5.70±1.41	0	5.13±1.21	5.22±0.73
07-26	1.29±0.30	0.25±0.08	4.32±1.33	0.09±0.09	0.73±0.19	1.51±0.35
08-10	2.13±0.48	0.20±0.09	0.99±0.41	0	0.67±0.27	1.06±0.21

续表

日期/(月-日) Date/(month-day)	平均密度±标准误差 Mean density±SE/(粒/m ²)					Σ
	大豆 Soybean	花生 Peanut	玉米 Corn	白薯 Sweet potato	辣椒 Pepper	
08-19	1.10±0.49	1.75±0.60	7.14±2.36	0	2.37±0.36	2.65±0.59
08-28	0.77±0.23	0.40±0.29	2.65±0.63	0	1.80±0.38	1.49±0.23
09-07	0.13±0.08	0.05±0.05	2.85±0.76	—	2.03±0.35	1.36±0.27
09-19	0	0.85±0.24	0	—	1.70±0.39	1.36±0.26
09-29	—	—	0.24±0.15	—	0.17±0.08	0.19±0.07
10-14	—	—	—	—	0.87±0.83	0.87±0.83
Σ	1.35±0.14 b	3.05±0.74 a	2.81±0.22 a	0.19±0.07 c	1.93±0.18 b	

“—”代表农作物已收割

3.3.2 大草蛉产卵对林带的选择

不同林带内大草蛉卵的分布调查结果(表 7)显示,自 4 月份作物发芽至 10 月份作物秋收,杨树杂木林内大草蛉卵的密度总体为最高。双因素(树×日期)方差分析结果表明,在上述调查时间段内,不同林带内大草蛉卵的密度存在极显著差异($P=0.006<0.01, \alpha=0.01$)。多重比较(LSD 法)发现:在作物生长期 6—9 月内,杨树杂木林内大草蛉卵的密度显著高于其它三类林带,并存在显著差异($P=0.038<0.05, \alpha=0.05$)。这表明在作物生长期林带生境中的大草蛉明显偏好在杨树杂木林内产卵,且产卵季节主要集中在 5 至 7 月。

表 7 不同林带内大草蛉卵的密度/(粒/株)

Table 7 Density of *C. pallens* eggs in different forest belts/(ind / plant)

日期/(月-日) Date/(month-day)	平均密度±标准误差 Mean density±SE/(粒/株)			
	杨树杂木林 Poplar mixed forest belt	成熟防护林 Mature forest belt	中龄防护林 Intermediate-aged forest belt	杨树萌条林 Poplar coppice shoot
04-26	0.42±0.23	0	0	0.29±0.17
05-08	2.57±0.43	2.17±0.82	1.40±0.56	3.30±1.42
05-29	0.83±0.58	0.30±0.27	0.57±0.35	0.70±0.43
06-13	0	0	0.23±0.11	1.50±0.33
06-26	14.50±0.35	0.37±0.18	0	0.23±0.09
07-10	1.47±0.48	0	0	0
07-17	0.10±0.06	0	0	0
07-26	0.13±0.08	0	0	0
08-10	0	0	0	0
08-19	0	0	0	0
08-28	0	0	0	0
09-07	0	0	0	0
09-19	0	0	0	0
09-29	0	0	0	0
10-14	0	0	0	0
Σ	1.55±0.43 a	0.22±0.06 b	0.17±0.05 b	0.45±0.09 b

3.4 大草蛉对农作物蚜虫控制效果

3.4.1 大草蛉成虫捕食蚜虫量

本试验在室内条件下完成。大草蛉捕食量的测定选取较易采集的槐蚜,通过室内饲养实验得出(表 8):每只大草蛉成虫日实际捕食蚜虫量为(164.33±4.15)头。

3.4.2 大草蛉成虫对作物蚜虫的追随效应

围绕这个问题,本文选择花生田进行了调查。通过对花生田内蚜虫与大草蛉成虫时空分布动态的研究,结果(图 1)显示:花生田内,蚜虫于 6 月下旬出现,7 月上旬时蚜虫种群数量迅速增加,并于 7 月 10 日达到调查峰值((1906.27±265.21)头/百株),进入 7 月中旬后蚜虫种群数量开始明显减少,到 7 月下旬时蚜虫已基

本消失;大草蛉成虫在6月下旬时尚未出现,7月上旬时随着蚜虫数量的骤增,大草蛉成虫数量也迅速增加,并于7月17日达到调查峰值(8.59 ± 1.91)_只/百株),之后在7月末随着蚜虫的消失,大草蛉成虫也逐渐消失。进一步对二者进行相关性分析,结果(表9)表明:在蚜虫高发期(7月10日),大草蛉成虫与花生田蚜虫呈明显负相关(Pearson 相关系数: -0.517 ; $P_{\text{Sig. (2-tail)}} = 0.372 > 0.05, \alpha = 0.05$)。这表明大草蛉成虫对花生田蚜虫具有明显的天敌追随效应。

表8 单只大草蛉成虫日捕食蚜虫量/(头/天)

Table 8 Number of aphids preyed upon by one *C. pallens* adult in one day/(ind / day)

六次实验结果 Results of six experiments							平均值±标准误差/(头/天) Mean quantity±SE/(ind / day)
编号 Number	1	2	3	4	5	6	
日捕食蚜虫数量/(头/d) Quantity of aphids preyed upon in 1 day	161	152	168	164	159	182	164.33±4.15

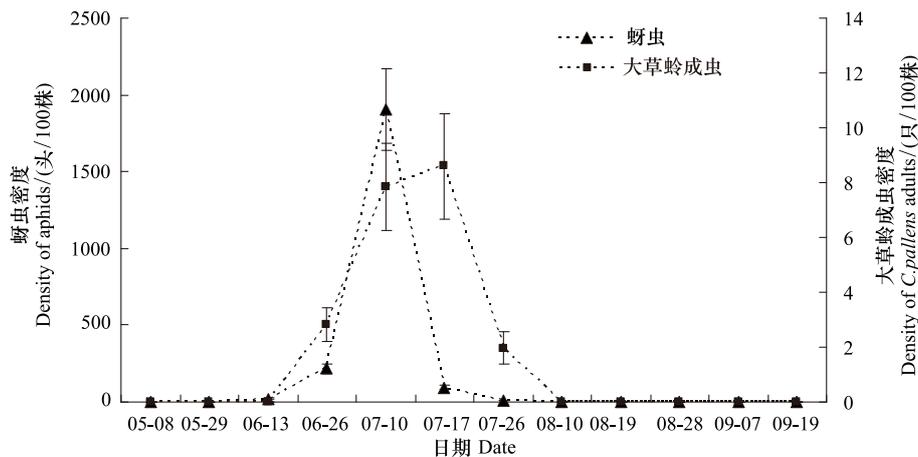


图1 花生田内蚜虫与大草蛉成虫在时间序列上的种群密度动态

Fig. 1 Chronological population density dynamics of aphids and *C. pallens* adults in peanut habitat

表9 花生田内大草蛉成虫与蚜虫密度相关性分析

Table 9 Correlation analysis between density of aphids and *C. pallens* adults in peanut field habitat

调查时间 Date	项目 Items	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	双尾检验概率 Sig. (2-tail)
7月10日	大草蛉成虫—蚜虫	-0.517	0.372

3.4.3 大草蛉幼虫对作物蚜虫时空追随作用的预测

大草蛉卵的时空分布,间接反映着大草蛉幼虫的分布情况。通过对大草蛉卵的时空分布调查,预测大草蛉幼虫对蚜虫的追随作用。

通过对大豆、花生、玉米及辣椒四类农作物中大草蛉卵与蚜虫空间生态位宽度和生态位重叠度的调查(表10),结果显示:四类农作物中大草蛉卵与蚜虫的空间生态位重叠指数均大于0.65,由此推断,大草蛉卵对农作物蚜虫的空间跟随作用显著,大草蛉卵与蚜虫在农作物上栖息的空间比较相似,孵化后的大草蛉幼虫存在于不同的层次空间。进一步研究显示,四类农作物中大草蛉卵与蚜虫的时间生态位重叠指数均小于0.65,表明大草蛉卵期末与蚜虫发生期同步,即大草蛉的采食虫态期与蚜虫的发生期同步。

4 结论与讨论

对于秋收前后农田环境差异巨大的农区,林带以其稳定性甚至唯一性提供了大草蛉主体越冬场所;农作

物秋收后,大草蛉多选择紧邻农田的林带聚集,并以树皮裂缝、地表土层、枯枝落叶下为结茧化蛹越冬场所。因此,农田林带在大草蛉种群繁衍进程中具有重要作用。

表 10 不同作物田内蚜虫及大草蛉卵的时空生态位特征值

Table 10 Characteristic values of temporal and spatial niches of aphids and *C. pallens* eggs in different crop fields

作物 Crops	物种 Species	空间生态位宽度 Spatial niche breadth	空间生态位重叠指数 Spatial niche overlap index	时间生态位宽度 Temporal niche breadth	时间生态位重叠指数 Temporal niche overlap index
大豆 Soybean	蚜虫 大草蛉卵	0.9518 0.9107	0.9296	0.3334 0.5774	0.3030
花生 Peanut	蚜虫 大草蛉卵	0.6575 0.7508	0.6678	0.1175 0.2970	0.6198
玉米 Corn	蚜虫 大草蛉卵	0.3873 0.9341	0.8024	0.1626 0.5938	0.1381
辣椒 Pepper	蚜虫 大草蛉卵	0.6628 0.7436	0.9657	0.4834 0.5556	0.4195

通过对样地内四类林带的调查发现,大草蛉对这些场所的选择取向在作物生长早期明显偏好在具有更多蚜虫的杨树萌条林内栖息(LSD法: $P=0.002<0.01, \alpha=0.01$),在其产卵期则偏重于在生境结构最为复杂的杨树杂木林内产卵(LSD法: $P=0.038<0.05, \alpha=0.05$)。在作物生长早期,农林生境系统中高密度蚜虫发生在杨树萌条林内,杨树萌条林由此成为越冬后大草蛉进入农田前的主要采食场所;在大草蛉产卵时节,为后代提供安全的环境成为选择产卵场所的要素,杨树杂木林内植被种类丰富,生态结构复杂,食物来源多元化,食物资源相对稳定,因此成为大草蛉理想的产卵场所。

通过对作物生长期大豆、花生等作物的调查发现,大草蛉不断追随作物蚜虫的发生、增长在不同作物田间来回迁飞,其对不同作物生境的选择取向在空间上是移动的,这种移动本质上是蚜虫为代表的大草蛉对以蚜虫为的优质食源空间追随作用的结果。在作物生长初期,农林生境系统中高密度蚜虫首先发生在大豆和花生田植株上(LSD法: $P=0.005<0.01, \alpha=0.01$),大豆和花生田由此成为大草蛉从林带进入农田后主要的栖息觅食场所;当大草蛉进入产卵期(6—9月)后,为后代提供稳定优质的食源成为选择产卵场所的重要因素,花生和玉米田内密集的蚜虫能够为孵化出的大草蛉幼虫提供稳定食源保障,因此成为大草蛉理想的产卵场所(LSD法: $P=0.007<0.01, \alpha=0.01$)。

通过对作物田内蚜虫与大草蛉成虫、卵的时空分布的调查发现,自然环境下大草蛉对作物蚜虫具有明显的天敌追随效应(Pearson 相关系数: $-0.517; P_{\text{Sig. (2-tail)}} = 0.372 > 0.05, \alpha = 0.05$),其幼虫可以在不同空间层次上捕食到蚜虫并控制蚜虫的爆发($P_{\text{幼空间}} > 0.65$);其卵期未与蚜虫的高发期同步($P_{\text{卵时间}} < 0.65$),表明大草蛉的采食生态期与蚜虫的发生期一致。

本研究表明,大草蛉在控制蚜虫方面,其幼虫和成虫都表现出了明显的追随效应;林带在大草蛉选择越冬场所等生活史的重要时期具有重要作用。因此,重视营造农田林带,对于农区天敌的有效保护和利用具有积极意义。

参考文献 (References):

- [1] 郑风田, 赵阳. 我国农产品质量安全问题与对策. 中国软科学, 2003, (2): 16-20.
- [2] 姚兰, 冯云. 绿色壁垒与中国农产品出口贸易. 合作经济与科技, 2005, (2): 37-38.
- [3] 宋岩. 重庆4家超市检出问题菜肉 大多农药残留物超标. (2009-07-18) <http://cq.qq.com/a/20090718/000016.htm>.
- [4] 陈斌, 冉文. 海南问题豇豆为反季节蔬菜安全性受到质疑. (2010-03-01) <http://news.sohu.com/20100301/n270477016.shtml>.
- [5] 白宇, 陈俊杰. 高毒农药海南仍销售 三亚称武汉打破“潜规则”. (2010-02-28) <http://news.sohu.com/20100228/n270469828.shtml>.
- [6] 王伟华. 河南南阳现毒韭菜_农药残留超标已有10人中毒. (2011-03-30) <http://www.chinanews.com/cj/2011/03-30/2939560.shtml>.
- [7] 中国经营报. “立顿毒茶”疑案:喝茶还安全吗?(2012-05-05) http://www.cb.com.cn/deep/2012_0505/371152.html.

- [8] Pimentel D, Stachow U, Takacs D A, Brubaker H W, Dumas A, Meaney J J, O'Neil J A S, Onsi D, Corzilius D B. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems: Most biological diversity exists in human-managed ecosystems. *BioScience*, 1992, 42(5): 354-362.
- [9] Cornell H, Hawkins B, Hochberg M. Towards an empirically-based theory of herbivore demography. *Ecological Entomology*, 1998, 23(3): 340-349.
- [10] 戈峰. 现代生态学. 北京: 科学出版社, 2002: 445-455.
- [11] Girma H, Rao M R, Sithanatham S. Insect pests and beneficial arthropods populations under different hedgerow intercropping systems in semiarid Kenya. *Agroforestry Systems*, 2000, 50(3): 279-292.
- [12] Brandle J R, Hodges L, Zhou X H. Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry Systems*, 2004, 61: 65-78.
- [13] Burgio G, Ferrari R, Pozzati M, Boriani L. The role of ecological compensation area on predator populations: an analysis on biodiversity and phenology of Coccinellidae (Coleoptera) on non-crop plants within hedgerows in Northern Italy. *Bulletin of Insectology*, 2004, 57(1): 1-10.
- [14] Gareau T P, Shennan C. Can hedgerows attract beneficial insects and improve pest control? A study of hedgerows on Central Coast Farms. *Center for Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2010, 13: 1-10.
- [15] 张文庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 I. 群落重建的概念及特性. *生态学报*, 2000, 20(6): 1107-1112.
- [16] 张文庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 II. 群落重建的分析和调控. *生态学报*, 2001, 21(6): 1020-1024.
- [17] 张文庆, 张古忍, 古德祥. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 III. 群落重建与天敌保护利用. *生态学报*, 2001, 21(11): 1927-1931.
- [18] 梁军, 张星耀. 森林有害生物生态控制. *林业科学*, 2005, 41(4): 168-176.
- [19] Levins R. *Evolution in Changing Environments*. New Jersey: Princeton University Press, 1968: 34-38.
- [20] 王智, 曾伯平, 李文健, 王文彬. 稻田蜘蛛优势种和目标害虫的时间生态位研究. *湖南农业科学*, 2002, (2): 28-29.
- [21] 吴伟坚. 几种十字花科蔬菜害虫生态位的研究. *昆虫知识*, 2003, 40(1): 42-44.