环境昆虫学报 2021，43（1）：224－232
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2021. 01. 23



陈雪梅，谷星慧，冼继东，张立猛，范悦莉，黄智华，周文兵，赵进龙，张翠萍. 叉角厉蝽对烟草上斜纹夜蛾搜索效率影响因子的研究[J]. 环境昆虫学报，2021，43（1）：224－232.

叉角厉蝽对烟草上斜纹夜蛾搜索效率影响因子的研究

陈雪梅[1]，谷星慧[2,3]，冼继东[1*]，张立猛[2,3]，范悦莉[1]，黄智华[2,3]，周文兵[2,3]，赵进龙[2,3]，张翠萍[2,3]

（1. 华南农业大学植物保护学院，广州 510642；2. 云南省烟草公司玉溪市公司，云南玉溪 653100；
3. 烟草行业病虫害生物防治工程研究中心，云南玉溪 653100）

摘要： 叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata*（Wolff）是捕食烟草上斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*（Fabricius）的重要天敌，是斜纹夜蛾生物防治的潜在控制因子。为了探明不同因子对叉角厉蝽搜索效率的影响，提高田间释放的控害效果，本试验采用二次通用旋转组合设计，研究了不同因子（叉角厉蝽释放量、斜纹夜蛾幼虫密度和烟草植株数量）对叉角厉蝽搜索效率的影响，根据测得的不同因子处理下叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食率，所建立得到的搜索效率（Y）与叉角厉蝽释放量（X_1）、斜纹夜蛾幼虫密度（X_2）和烟草植株数量（X_3）3个试验因子的关系的回归模型：$Y = 67.82809 + 6.74050X_1 - 4.92690X_2 - 1.22581X_3 - 9.22848X_1^2 - 1.32656X_2^2 - 9.98862X_3^2 + 4.17500X_1X_2 + 8.17500X_1X_3 + 0.87500X_2X_3$，能较好地拟合参试因子与叉角厉蝽搜索效率的关系。单因子效应分析表明，对叉角厉蝽搜索效率的影响依次为叉角厉蝽释放数量（X_1）＞斜纹夜蛾幼虫密度（X_2）＞烟草植株数量（X_3），叉角厉蝽释放数量对天敌的搜索效率有显著的正效应。在交互效应分析中，随着烟草植株数量的上升，叉角厉蝽的搜索范围扩大，抑制了叉角厉蝽数量和斜纹夜蛾密度的增益效果，对捕食效率产生负效应。叉角厉蝽释放数量、斜纹夜蛾幼虫密度和烟草植株数量均能影响叉角厉蝽的搜索效率，且各因子之间的交互作用明显。

关键词： 叉角厉蝽；斜纹夜蛾；烟草害虫；搜索效率；生物防治
中图分类号： Q968.1；S476　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2021）01－0224－09

A study on influence factors of search efficiency of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera) on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in tobacco

CHEN Xue-Mei[1], GU Xing-Hui[2,3], XIAN Ji-Dong[1*], ZHANG Li-Meng[2,3], FAN Yue-Li[1], HUANG Zhi-Hua[2,3], ZHOU Wen-Bin[2,3], ZHAO Jin-Long[2,3], ZHANG Cui-Ping[2,3] (1. College of Plant Protection, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China; 2. Yuxi Tobacco Company in Yunnan Province, Yuxi 653100, Yunnan Province, China; 3. Engineering Center for Biological Control of Diseases and Pests in Tobacco Industry, Yuxi 653100, Yunnan Province, China)

Abstract: The predatory stink bug, *Eocanthecona furcellata* (Wolff) is an important polyphagous insect predator which as a kind of important biological agents to control on *Spodoptera litura* (Fabricius) in tobacco fields. In order to find out the influence of different factors on the search efficiency of *E. furcellata* and improve the control efficiency in the field, based on the quadratic general rotary unitized design, the

基金项目： 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目专项（2017YN15）
作者简介： 陈雪梅，女，硕士研究生，主要从事害虫生物防治研究，E－mail：XUEMEI_ Sunshine@163. com
* **通讯作者** Author for correspondence：冼继东，女，博士，副教授，主要研究方向为有害生物生态控制、昆虫生态学、生物防治，E－mail：jdxian@ scau. edu. cn
收稿日期 Received：2019－12－26；**接受日期** Accepted：2020－03－31

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

effects of different factors (such as release density, larval density and number of tobacco plants) on the search efficiency of *E. furcellata* were studied in this paper. The results showed that the quadratic orthogonal regression model of the predation efficiency (Y) for release density of *E. furcellata* (X_1), larval density of *S. litura* (X_2), and number of tobacco plant (X_3) was $Y = 67.82809 + 6.74050X_1 - 4.92690X_2 - 1.22581X_3 - 9.22848X_1^2 - 1.32656X_2^2 - 9.98862X_3^2 + 4.17500X_1X_2 + 8.17500X_1X_3 + 0.87500X_2X_3$, with good fitting degree. The single factor effect analysis showed that the influencing extent of factors on the search efficiency of *E. furcellata* was release density of *E. furcellata* (X_1), larval density of *S. litura* (X_2), and number of tobacco plant (X_3). The release density of *E. furcellata* had a significant positive effect on the search efficiency of predator. The result of analysis on interactive effect indicated that the search ranges of *E. furcellata* was expanded with the increase of the number of tobacco plants, which inhibited the gain effect of *E. furcellata* and *S. litura* density, and made negative effects on the predation efficiency. The different factors such as release density of *E. furcellata*, larval density of *S. litura*, and number of tobacco plant had effect on the search efficiency of predator which the interaction among there factors was obvious.

Key words: *Cahtheconidea furcellata* (Wolff); *Spodoptera litura* (Fabricius).; tobacco pest; predation efficiency; biological control

叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* (Wolff) 属半翅目 Hemiptera 蝽科 Pentatomidae，可捕食鳞翅目 Lepidoptera、鞘翅目 Coleoptera 和半翅目 Hemiptera 等多种农作物害虫。由于叉角厉蝽发生早、时间长、捕食量大、分布范围广、活动能力强，因此被认为是一种极具应用潜力的捕食性天敌 (Rani and Wakamura，1993; Revannavar，2004; Ray and Khan，2011)，在印度和中国台湾叉角厉蝽都被作为一种重要的捕食农作物上害虫的天敌昆虫 (Pillai and Agnihotri，2013; Sahayaraj，2014)。国内外对叉角厉蝽在生物学以及饲养方面进行了较多研究，朱涤芳 (1990) 报道了叉角厉蝽的一些生物学特性；李丽英等 (1988) 对叉角厉蝽的人工饲料进行了研究，发现用大蜡螟幼虫和米蛾幼虫饲养，可以完成正常繁殖；Yasuda and Wakamura (1992) 报道了可用冷冻的斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 幼虫饲养叉角厉蝽；何旭诺等 (2013) 的研究表明，用黄粉虫作为叉角厉蝽的饲料更方便经济。随着人工大量繁殖技术的研究推进，叉角厉蝽作为一种重要的生物防治因子在田间应用已成为可能。斜纹夜蛾是烟草上的常见重要害虫，以幼虫咬食烟叶，形成虫孔、缺刻甚至仅剩叶脉，由于该虫具有暴食性，如果防治不当会对烟草造成毁灭性损失 (贤小勇，1995；陈代利等，2013)。目前对于烟草上的斜纹夜蛾仍以化学防治为主 (孙光军等，2003；庞云红等，2007；汤心砚等，2018)，而利用捕食性天敌叉角厉蝽防治烟草上的斜纹夜蛾，将可有效地解决化学防治带来的 “3R” 问题。研究表明，叉角厉蝽对斜纹夜蛾具有极强的捕食能力 (Yasuda and Wakamura，1996; Kumar and Singh，2007)，且更倾向于捕食斜纹夜蛾的中、高龄幼虫 (蒋杰贤和梁广文，2001)。因此，叉角厉蝽可用于斜纹夜蛾的生物防治。

利用天敌昆虫来防治害虫，是害虫生物防治中的一个重要手段。提高天敌昆虫在田间控害效果，降低经济成本是天敌昆虫推广应用的重要保证 (Debach and Rosen，1991; Morris *et al.*，2004; Tylianakis *et al.*，2007)。在目前的实际应用中，利用天敌昆虫防治害虫在田间控害效果往往不稳定，从而影响生产效益，使得天敌难以在田间推广应用 (陈学新，2013)。而想要有效地推广应用叉角厉蝽防治烟草上的斜纹夜蛾，一方面需要明确叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食潜能，以确定田间释放密度；另一方面还要确定叉角厉蝽在烟草上对斜纹夜蛾的搜索效率，以确定田间释放方法。陈然等 (2015) 在室内研究了叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食潜能，得到单头叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食能力，为田间释放密度提供了依据。但是，叉角厉蝽在烟草上对斜纹夜蛾的搜索效率方面的研究尚未见报道。本文采用二次通用旋转组合设计，研究了在烟草上斜纹夜蛾的密度、叉角厉蝽释放数量和烟草株数这 3 个因子对叉角厉蝽捕食效率的影响，并分析了单因子主效应以及双因子

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

效应，旨在为烟田上人工释放叉角厉蝽防治斜纹夜蛾提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 材料

叉角厉蝽：叉角厉蝽的卵采自于广州华南农业大学试验基地的甘薯叶上，待卵孵化后于室内温度 26 ± 1℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期 14 L∶10 D 的人工培养箱中，以斜纹夜蛾幼虫喂饲至多代，备用。

斜纹夜蛾：采用陈其津等（2000）的人工饲料配方进行饲养，室内饲养条件同叉角厉蝽。

烟草 *Nicotiana tabacum* L.：由云南省烟草公司玉溪市公司提供的实生烟苗一批，移至直径为 16.5 cm 的塑料花盆中，待烟草新长出 5 张叶片后用于试验。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验采用二次通用旋转组合设计，选择叉角厉蝽释放数量、斜纹夜蛾幼虫密度和烟草植株数量 3 个因子作为参试因子，以斜纹夜蛾幼虫被捕食量为目标函数，根据丁希泉（1986）试验设计要求共设 20 个处理，各处理按参试因子的编码值进行一一组合，重复 3 次。参试因子的水平及编码值如下（表 1）。

表 1 叉角厉蝽搜索效应研究的参试因子水平及编码值

Table 1 Natural factors level and codes value of three factors

编码值 X_i Code value	X_1：叉角厉蝽若虫释放量（头/笼） Release density of *Eocanthecona furcellata*	X_2：斜纹夜蛾幼虫密度（头/株） Larval density of *Spodoptera litura*	X_3：烟草植株数量（株/笼） Number of tobacco plant
−1.682	1	5	1
−1	2	10	2
0	3	15	3
1	4	20	4
1.682	5	25	5

1.2.2 试验方法

试验前将供试的叉角厉蝽 4 龄若虫单头隔离后，先饱食 24 h，然后饥饿 24 h，使之基本处于相同的饥饿水平，作为被试者备用。试验时，按试验设计的要求，在每个处理的养虫笼（规格为 50 cm × 50 cm × 50 cm）中分别放入相对应数量的烟草盆栽苗、斜纹夜蛾 3 ~ 4 龄幼虫、叉角厉蝽 4 龄若虫，并在容器内放入蘸水棉花团，供叉角厉蝽补充水分，24 h 后观察记录斜纹夜蛾被捕食的情况，并计算出叉角厉蝽的捕食率。所有斜纹夜蛾幼虫密度的处理均设有不接天敌的空白对照，以校正斜纹夜蛾被天敌捕食的数量。试验是在变温条件下进行的，试验期间日平均温度范围为 25 ~ 33℃，平均气温 26.8℃。

1.3 数据处理与分析

应用 Excel 表格进行试验数据初步整理归纳。应用 DPS 9.50 专业版和 SAS 9.2 版，对试验结果进行回归分析和回归模型的失拟性检验、显著性检验以及对各个因子回归系数进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 不同因子与叉角厉蝽搜索效率关系模型的建立

各参试因子试验结构矩阵和对叉角厉蝽捕食效率的影响结果（表 2），其中 Y 代表叉角厉蝽的捕食率，本实验中以捕食率代表相对应的搜索效率。对试验数据进行逐步回归和中心化转换，建立叉角厉蝽搜索效率（Y）和叉角厉蝽数量（X_1）、斜纹夜蛾幼虫密度（X_2）和烟草植株数量（X_3）因素之间的二次多项式回归模型如下：

$$Y = 67.82809 + 6.74050X_1 - 4.92690X_2 - 1.22581X_3 - 9.22848X_1^2 - 1.32656X_2^2 - 9.98862X_3^2 + 4.17500X_1X_2 + 8.17500X_1X_3 + 0.87500X_2X_3$$

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　不同因子处理下叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食率

Table 2　Quadratic general rotary unitized design of three factors and the results

试验号 Test number	参试因子 Test factor						捕食率(%) Predation efficiency Y
	X_1：叉角厉蝽若虫（头/笼） Release density of *Eocanthecona furcellata*		X_2：斜纹夜蛾幼虫密度（头/株） Larval density of *Spodoptera litura*		X_3：烟草数量（株/笼） Number of tobacco plant		
	编码值 Code value	实际值 Actual value	编码值 Code value	实际值 Actual value	编码值 Code value	实际值 Actual value	
1	-1	2	-1	10	-1	2	59.1
2	-1	2	-1	10	1	4	46.6
3	-1	2	1	20	-1	2	63.2
4	-1	2	1	20	1	4	45.4
5	1	4	-1	10	-1	2	24.7
6	1	4	-1	10	1	4	36.1
7	1	4	1	20	-1	2	36.7
8	1	4	1	20	1	4	60.4
9	-1.682	1	0	15	0	3	32.2
10	1.682	5	0	15	0	3	53.4
11	0	3	-1.682	5	0	3	73.5
12	0	3	1.682	25	0	3	56.8
13	0	3	0	15	-1.682	1	44.2
14	0	3	0	15	1.682	5	37.1
15	0	3	0	15	0	3	72.6
16	0	3	0	15	0	3	64.8
17	0	3	0	15	0	3	63.7
18	0	3	0	15	0	3	66.4
19	0	3	0	15	0	3	71.2
20	0	3	0	15	0	3	67.9

对模型进行失拟性检验和回归显著性检验，失拟性检验中的 $F_1 = 0.9572 < F_{0.1}(5, 5) = 3.45$，表明无失拟性因素存在（表 3），显著性检验中的 $F_2 = 37.1389 > F_{0.01}(9, 10) = 3.14$，达 0.01 显著水平，说明该模型能较好的表达不同参试因子与叉角厉蝽搜索效率间的数量关系。

模型中各回归系数 t 检验及概率值 P 结果显示，模型的回归项 b_1、b_2、b_1b_1、b_3b_3、b_1b_2、b_1b_3 的显著水平均小于 0.01，表明上述各回归项与叉角厉蝽捕食效率之间极显著相关（表 4）。说明由参试因子 X_1 和 X_2 代表的叉角厉蝽释放数量和斜纹夜蛾幼虫密度对天敌的捕食效率有着极显著的影响，在交互项中的 X_1X_2 和 X_1X_3 回归项达 0.01 显著水平，说明叉角厉蝽释放数量与斜纹夜蛾幼虫密度、叉角厉蝽释放数量与烟草植株数量的交互作用对搜索效率也有显著影响。而 b_3、b_2b_2 和 b_2b_3 达到 0.5 的显著水平，说明因子烟草植株数量（X_3）和斜纹夜蛾幼虫密度与烟草植株数量的交互作用对叉角厉蝽的搜索效率也有一定的影响。整个模型拟合的相关系数为 0.9720，F 值为 37.1389，极显著相关，即该模型能较好的拟合各参试因子与叉角厉蝽搜索效率的关系。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 回归模型的失拟性检验和显著性检验结果

Table 3 Result of lack of fit test and significance testing on regression model

变异来源 Source of variation	平方和 Sum of square	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	失拟性检验 Lack of fit test	显著性检验 Significance test
$Q_{回归\ Regression}$	4080.4813	9	453.3868		$F_2 = 37.13890$
$Q_{剩余\ Residual}$	122.0787	10	12.2079		
$Q_{失拟\ Lack\ of\ fit}$	59.7053	5	11.9411	$F_1 = 0.9572$	
$Q_{误差\ Error}$	62.3733	5	12.4747		
$Q_{总和\ Total}$	4202.5600	19	–		

表 4 各个因子回归系数 t 检验结果

Table 4 Result of t – test of regression coefficient of different factors

偏相关系数 r Partial correlation coefficient	回归系数 Regression coefficients	检验值 t t – value	P – 值 P – value	显著水平 P Significance level
$r(y, X_1) = 0.9141$	6.7405	7.1293	0.0001	$P < 0.01$
$r(y, X_2) = -0.8549$	-4.9269	5.2111	0.0003	$P < 0.01$
$r(y, X_3) = -0.3793$	-1.2258	1.2965	0.2213	$P < 0.5$
$r(y, X_1 * X_1) = -0.9537$	-9.2285	10.0268	0.0001	$P < 0.01$
$r(y, X_2 * X_2) = -0.4147$	-1.3266	1.4413	0.1774	$P < 0.5$
$r(y, X_3 * X_3) = -0.9601$	-9.9886	10.8527	0.0001	$P < 0.01$
$r(y, X_1 * X_2) = 0.7302$	4.1750	3.3797	0.0061	$P < 0.01$
$r(y, X_1 * X_3) = 0.9023$	8.1750	6.6178	0.0001	$P < 0.01$
$r(y, X_2 * X_3) = 0.2186$	0.8750	0.7083	0.4935	$P < 0.5$
相关系数 $R = 0.9854$				
检验值 $F = 37.1389$	$df = (9, 10)$			
剩余标准差 $S = 3.4940$				
调整后的相关系数 $Ra = 0.97202$				

2.2 影响叉角厉蝽搜索效率的单因子效应分析

用降维法求得叉角厉蝽的搜索效率与叉角厉蝽的数量、斜纹夜蛾和烟草植株数量各主效应的偏回归解析因子模型如下:

$$Ys_1 = 67.82809 + 6.74050X_1 - 9.22848X_1^2$$

X_1: 叉角厉蝽释放量

$$Ys_2 = 67.82809 - 4.92690X_2 - 1.32656X_2^2$$

X_2: 斜纹夜蛾密度

$$Ys_3 = 67.82809 - 1.22581X_3 - 9.98862X_3^2$$

X_3: 烟草植株数量

从模型分析中可以看出，在线性项中，对叉角厉蝽搜索效率的影响依次为叉角厉蝽释放数量(X_1) > 斜纹夜蛾幼虫密度(X_2) > 烟草植株数量(X_3)，其中叉角厉蝽数量对搜索效率的影响最大，且系数符号为正，表明该因子对其捕食效率呈现正影响，而斜纹夜蛾密度和烟草植株数均为负影响。

叉角厉蝽的搜索效率与叉角厉蝽释放数量(X_1)和与烟草植株数(X_3)的关系曲线均为开口向下的抛物线(图 1)，表明叉角厉蝽释放数量和烟草植株数量这两个因素对搜索效率的影响存在一个合理的范围，即叉角厉蝽释放数量在编码值为 0 – 1(3 ~ 4 头/笼)的范围天敌的捕食率最佳，低于或高于该范围的编码值捕食率下降; 烟草植株数量在编码值为 – 0.5(2.5 株/笼)和 0.5

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3.5 株/笼) 的范围天敌的捕食率最佳，低于或高于该范围的编码值捕食率下降。斜纹夜蛾数量 (X_2) 与叉角厉蝽捕食效率的关系曲线较平直接近线性，表明斜纹夜蛾数量这个因子对捕食效率的影响较明显，随着斜纹夜蛾数量的增加，搜索效率逐渐下降。

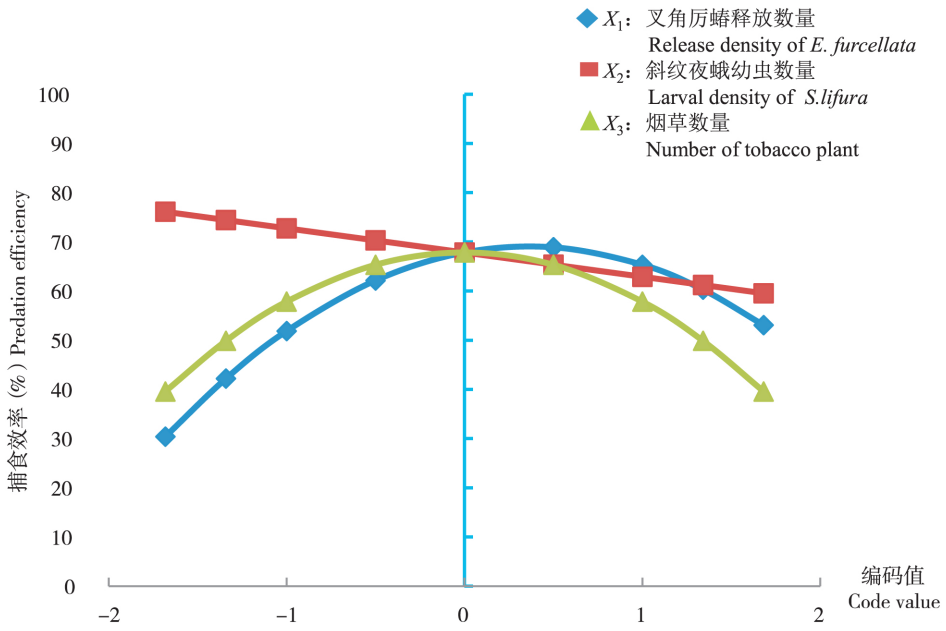


图 1　单因子效应分析

Fig. 1　Analysis on single-factor effect

2.3　影响叉角厉蝽捕食效率的交互效应分析

叉角厉蝽释放数量 (X_1)、斜纹夜蛾幼虫密度 (X_2) 和烟草植株数量 (X_3) 三个因子之间的交互作用对叉角厉蝽搜索效率 (Y) 的影响如图 2 所示。

其中，叉角厉蝽搜索效率 ($Ys_{1,2}$) 与叉角厉蝽释放数量 (X_1) 和斜纹夜蛾密度 (X_2) 的关系式如下：$Y = 67.82809 + 6.74050X_1 - 4.92690X_2 - 9.22848X_1^2 - 1.32656X_2^2 + 4.17500X_1X_2$，相应的影响叉角厉蝽搜索效率的双因子 ($X_1$，$X_2$) 效应分析表明，叉角厉蝽的搜索效率随着叉角厉蝽数量的增加而增加 (图 2A)，在增加到一定阶段又在缓慢下降，在斜纹夜蛾幼虫密度较低时，增加幅度较大，随着斜纹夜蛾幼虫密度的增加，搜索效率对叉角厉蝽释放数量的依赖程度在逐渐减弱。

叉角厉蝽搜索效率 ($Ys_{1,3}$) 与叉角厉蝽释放数量 (X_1) 和烟草植株数量 (X_3) 的关系式如下：$Y = 67.82809 + 6.74050X_1 - 1.22581X_3 - 9.22848X_1^2 - 9.98862X_3^2 + 8.17500X_1X_3$，相应的影响叉角厉蝽搜索效率的双因子 ($X_1$，$X_3$) 效应分析表明，随着叉角厉蝽释放数量和烟草植株数量的同时增加，叉角厉蝽的搜索效率呈现先增加后下降的趋势 (图 2B)，当两个因子的编码值达到 0 (3 头/笼) 时或接近 1 (4 头/笼) 时，搜索效率也达到最大值，此后，随着烟草植株数量的加大，搜索效率对叉角厉蝽数量的依赖程度变小，而不再随着蝽量的增加而增加，反而呈下降的趋势，说明烟草植株数量对叉角厉蝽的搜索效率也存在一定的影响。

叉角厉蝽搜索效率 ($Ys_{2,3}$) 与斜纹夜蛾密度 (X_2) 和寄主植物植株数量 (X_3) 的关系式如下：$Y = 67.82809 - 4.92690X_2 - 1.22581X_3 - 1.32656X_2^2 - 9.98862X_3^2 + 0.87500X_2X_3$，由此关系式得到影响叉角厉蝽搜索效率的双因子 ($X_2$，$X_3$) 效应分析表明，在斜纹夜蛾幼虫低密度时，叉角厉蝽搜索效率随着烟草植物植株数量的增加而增加 (图 2C)，当编码值达到 0 (3 头/笼) 时，叉角厉蝽的捕食率最大，而随着斜纹夜蛾密度的增加，减缓了这种增加的趋势。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

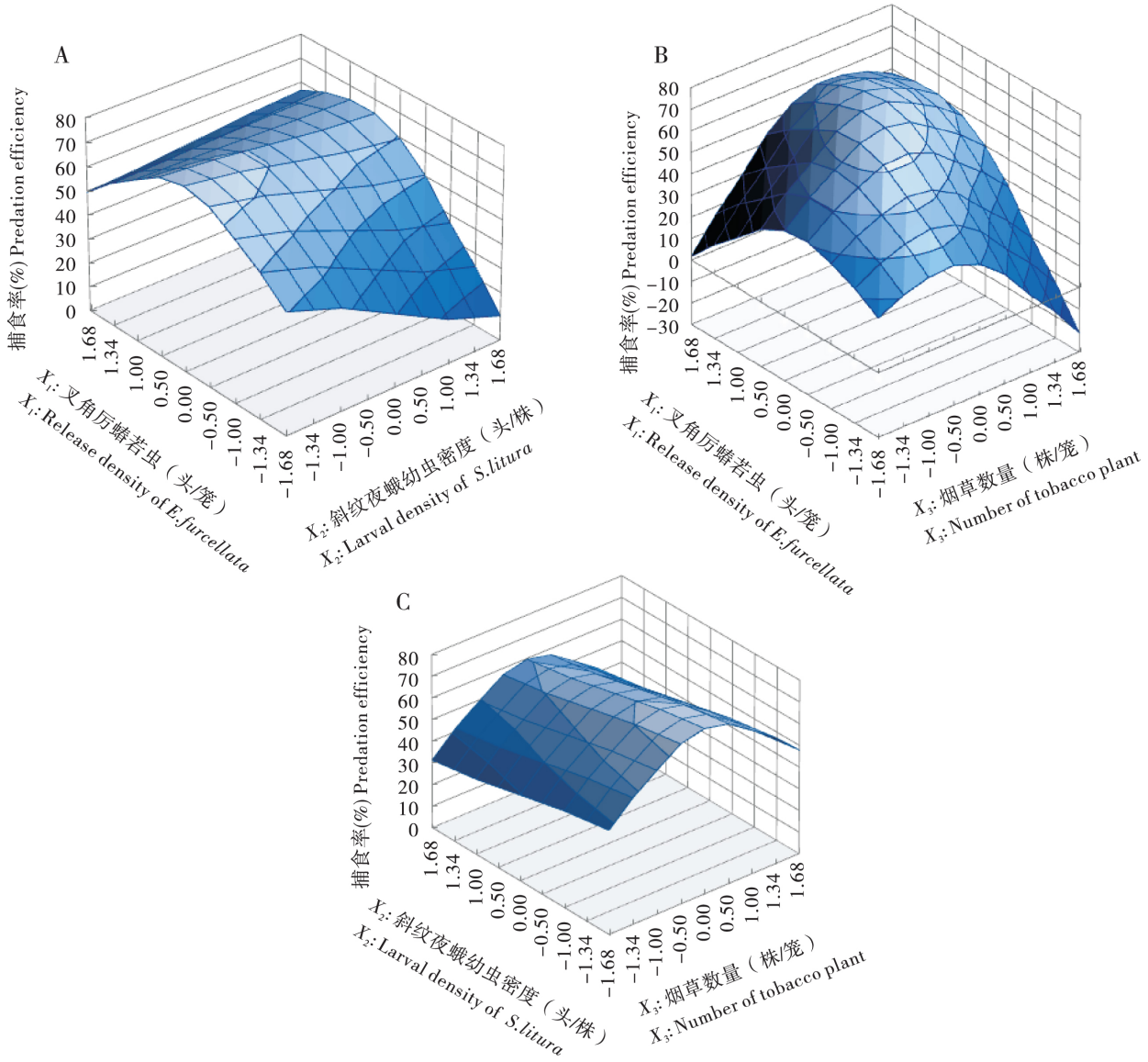


图 2　交互效应分析

Fig. 2　Analysis on interactive effect

3　结论与讨论

利用天敌昆虫防治害虫是害虫生物防治中的一个重要手段，研究阐明天敌昆虫对目标害虫的控害机理，是应用天敌昆虫防治害虫的首要基础（Debach and Rosen，1991；Morris *et al.*，2004；陈学新等，2013）。研究明确捕食性天敌的捕食能力与搜索行为的影响因子，是提高天敌昆虫在田间控害效果的重要依据。本试验采用三因子二次回归旋转组合设计研究了影响叉角厉蝽搜索效率的主因子效应和双因子效应，结果表明，叉角厉蝽释放数量是影响其搜索效率的主要因素，斜纹夜蛾幼虫密度和烟草植株数量依次也对搜索效应产生显著的影响；因子之间的交互作用对搜索效率有一定的影响，但影响不如单独因子的作用大；三个独立因子并不单纯的与搜索效率呈正相关或负相关。这些结论与邓海滨等（2015）所报道的红彩真猎蝽 *Harpactor fuscipes* 对烟蚜 *Myzus persicae* 的捕食作用及寻找效应的研究结果相似。张晓军等（2016）在研究蠋蝽 *Arma chinensis* 对榆紫叶甲 *Ambrostoma quadriimo pressum* 的捕食作用中发现，不同榆紫叶甲幼虫密度梯度下蠋蝽的捕食量不受影响，而高卓等（2012）报道，蠋蝽捕食量不仅

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

与其虫龄高低有关，而且与猎物虫龄及体躯大小相关程度明显。许庆辉等（2014）的研究表明，烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis* 对烟蚜的捕食量随着猎物密度增大而增多，且低密度下猎物被捕食的风险明显大于高密度下的猎物，本试验结果中，叉角厉蝽对烟草斜纹夜蛾幼虫的搜索效率随着斜纹夜蛾幼虫密度的增加而降低，这与黑刺益蝽 *Podisus nigrispinus* 及其他捕食者搜寻效应一致（Zanuncio *et al.*，2008；邓海滨等，2015）。在研究捕食性天敌的捕食潜能时，往往没有考虑猎物的寄主植物（高卓等，2012；许庆辉等，2014；邓海滨等，2015；张晓军等，2016）对天敌捕食行为的影响，本试验研究表明，在叉角厉蝽数量、斜纹夜蛾幼虫密度和烟草植株数量三个因子的相互干扰下叉角厉蝽对斜纹夜蛾的搜索效率不同，各个因子的改变所产生的效应也会随之改变，明确各因子改变所产生的干扰反应的大小，这为叉角厉蝽在田间的使用效果、放蝽的数量和质量、田间释放面积、斜纹夜蛾密度情况等都起着至关重要的作用。但本实验是在室内罩笼条件下完成，至于在田间的释放效果还有待进一步验证。

参考文献（References）

Chen DL，Liang YJ，Li XW. Occurrence regularity and comprehensive prevention methods of *Spodoptera litura* Fabricius in Tobacco [J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*，2013，41（16）：7153－7155，7179. [陈代利，梁永江，李喜旺. 烟草斜纹夜蛾的发生与综合防治 [J]. 安徽农业科学，2013，41（16）：7153－7155，7179]

Chen QJ，Li GH，Pang Y. A simple artificial diet for mass rearing of some noctuid species [J]. *Entomological Knowledge*，2000，37（6）：325－327. [陈其津，李广宏，庞义. 饲养五种夜蛾科昆虫的一种简易人工饲料 [J]. 昆虫知识，2000，37（6）：325－327]

Chen R，Liang GW，Zhang ZY，*et al.* The functional response of *Cantheconidea furcellata*（Hemiptera：Aspopinae）to *Spodoptera litura*（Lepidoptera：Noctuidae）[J]. *Journal of Environmental Entomology*，2015，37（2）：401－406. [陈然，梁广文，张拯研，等. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报，2015（2）：401－406]

Chen XX，Ren SX，Zhang F，*et al.* Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*，2013，50（1）：9－18. [陈学新，任顺祥，张帆，等. 天敌昆虫控害机制与可持续利用 [J]. 应用昆虫学报，2013，50（1）：9－18]

Debach P，Rosen D. Biology Control by Natural Enemies [M]. New York：Cambridge University Press，1991：1－443.

Deng HB，Lv YH，Tian MY，*et al.* Functional responses and searching efficiency of *Harpactor fuscipes* on predation of *Myzus persicae* [J]. *Acta Tabacaria Sinica*，2015，21（5）：74－78. [邓海滨，吕永华，田明义，等. 红彩真猎蝽对烟蚜的捕食功能反应及寻找效应 [J]. 中国烟草学报，2015，21（5）：74－78]

Ding XQ. Agricultural Application Regression Design [M]. Changchun：Jilin Science and Technology Press，1986：101－187. [丁希泉. 农业应用回归设计 [M]. 长春：吉林科学技术出版社，1986：101－187]

Gao Z，Wang XW，Zhang LX，*et al.* Study on artificial breeding technology and relasing in field of *Arma chinensis* Fallou [J]. *Journal of Engineering of Heilongjiang University*，2012，3（10）：65－73. [高卓，王晢玮，张李香，等. 蝽蝽人工繁殖技术及田间释放控制研究 [J]. 黑龙江大学工程学报，2012，3（1）：65－73]

He XN，Xian JD，Chen R，*et al.* The effect of four insect feed to the growth and development and breed of *Cantheconidea furcellate* Wolff [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2013，35（6）：795－799. [何旭诺，冼继东，陈然，等. 4 种昆虫饲料对叉角厉蝽生长发育和繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报，2013，35（6）：795－799]

Jiang JX，Liang GW. The selective predation of *Cantheconidae furcellata*（Wolff）on the different instar larvae of *Spodoptera litura* in coexistence of three－age type [J]. *Acta Ecologica Sinica*，2001，21（4）：684－687. [蒋杰贤，梁广文. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾不同龄期幼虫的选择捕食作用 [J]. 生态学报，2001，21（4）：684－687]

Kumar S，Singh SV. Consumption potential of *Canthecona furcellata* Wolff on tobacco caterpillar，*Spodoptera litura* Fab. and rice leaf folder，*Cnaphalocrocis medinalis* Guenee [J]. *Indian Journal of Entomology*，2007，69：181－184.

Li LY，Guo MF，Wu H，*et al.* An articial diet for *Eocanthecona furcellata* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*，1988，4（1）：41. [李丽英，郭明昉，吴宏，等. 叉角厉蝽的人工饲养 [J]. 生物防治通报，1988，4（1）：41]

Morris RJ，Lewis OT，Godfray HCJ. Experimental evidence for apparent competition in a tropical forest food web [J]. *Nature*，2004，428：310－313.

Pang YH，Xue M，Zhang Y，*et al.* Study on the sensitivity of *Spodoptera litura*（Fabricius）and *Spodoptera exigua*（Hübner）larae to insecticides in tobacco fields [J]. *Acta Tabacaria Sinica*，2007，13（2）：43－46. [庞云红，薛明，张勇，等. 烟田斜纹夜蛾和甜菜夜蛾幼虫对几种药剂的敏感性研究 [J]. 中国烟草学报，2007，13（2）：43－46]

Pillai AK，Agnihotri M. Biology and predatory potential of *Eocanthecona furcellata*（Wolff）on *Maruca vitrata* Geyer [J]. *Madras Agricultural Journal*，2013，100：193－195.

Rani PU，Wakamura S. Host acceptance behaviour of a predatory

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

pentatomid, *Eocanthecona furcellata* (Wolff) (Heteroptera: Pentatomidae) towards larvae of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1993, 14 (2): 141 – 147.

Ray SN, Khan MA. Biology of a predatory bug, *Canthecona furcellata* Wolff (Hemiptera: Pentatomidae) on poplar defoliator, *Clostera fulgurita* walker (Lepidoptera: Notodontidae) [J]. *Journal of Biopesticides*, 2011, 4 (2): 109 – 111.

Revannavar R. Comparativebiology of *Cantheconidea furcellata* (Wolff) (Penta – tomidae: Hemiptera) on different lepidopteran caterpillar pests [J]. *Environment and Ecology*, 2004, 22 (1): 74 – 79.

Sahayaraj K. Biocontrol potential of entomophagous predator *Eocanthecona furcellata* (Wolff) against *Pericallia ricini* (Fab.) larvae [J]. *International Journal of Current Research*, 2014, 6 (10): 9052 – 9056.

Sun GJ, Chen R, Long W, *et al*. Experiment on control of *Prodenia litura* (Fabricius) with 5 kinds of chemicals [J]. *Tobacco Science*, 2003 (5): 40 – 42. [孙光军, 陈尧, 龙文, 等. 5 种药剂对烟草斜纹夜蛾的防效试验 [J]. 烟草科技, 2003, 5: 40 – 42]

Tang XY, Yan L, Zeng WA, *et al*. Control efficiency of different pesticides on *Spodoptera litura* in tobacco in the laboratory and in the field [J]. *Chian Plant Protection*, 2018, 38 (5): 58 – 60, 71. [汤心砚, 谭琳, 曾维爱, 等. 不同杀虫剂对烟草斜纹夜蛾的室内及田间防效 [J]. 中国植保导刊, 2018, 38 (5): 58 – 60, 71]

Tylianakis JM, Tscharntke T, Lewis OT. Habitat modification alters the structure of tropical host – parasitoid food webs [J]. *Nature*, 2007, 445: 202 – 205.

Xian XY. Occurrence and control on *Spodoptera litura* in tobacco [J]. *Guangxi Agricultural Science*, 1995, 4: 175. [贤小勇. 烟草斜纹夜蛾的发生与防治 [J]. 广西农业科学, 1995, 4: 175]

Xu QH, Meng L, Li BP. Predation behaviors of *Nesidiocoris tenuis* on neonate larvae of *Spodoptera litura* at different densities [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (2): 178 – 182. [许庆辉, 孟玲, 李保平. 烟盲蝽对不同密度斜纹夜蛾初龄幼虫的捕食和搜寻行为 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 32 (2): 178 – 182]

Yasuda T, Wakamura S. Behavioral responses in prey location of the predatory stink bug, *Eocanthecona furcellata*, to chemical cues in the larvae of *Spodoptera litura* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1996, 81 (1): 91 – 96.

Yasuda T, Wakamura S. Rearing of the predatory stink bug, *Eocanthecona furcellata* (Wolff) (Heteroptera: Pentatomidae), on frozen larvae of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1992, 27 (2): 303 – 305.

Zanuncio JC, Silvaca D, Lima ER, *et al*. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) [J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2008, 51 (1): 121 – 125.

Zhang XJ, Zhang J, Sun SH. Predation of *Arma chinensis* on *Ambrostoma quadriimopressum* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2016, 35 (1): 13 – 15, 30. [张晓军, 张健, 孙守慧. 蠋蝽对榆紫叶甲的捕食作用 [J]. 中国森林病虫, 2016, 35 (1): 13 – 15, 30]

Zhu DF. Studies on the biological characteristics of *Cantheconidea furcellata* (Hemiptera: pentatomidae, asopinae) [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1990, 12 (2): 71 – 74. [朱涤芳. 叉角厉蝽生物学特性研究 [J]. 昆虫天敌, 1990, 12 (2): 71 – 74]

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net