环境昆虫学报 2021，43（1）：206－213
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2021. 01. 21

晁文娣，吕昭智，赵莉，张鑫，高桂珍，张苹. 七星瓢虫对不同初始密度棉蚜种群的调控作用[J]. 环境昆虫学报，2021，43（1）：206－213.

七星瓢虫对不同初始密度棉蚜种群的调控作用

晁文娣[1,2]，吕昭智[1,2*]，赵 莉[1*]，张 鑫[2]，高桂珍[3]，张 苹[2]
（1. 新疆农业大学农学院，乌鲁木齐 830052；2. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，乌鲁木齐 830011；3. 新疆农业大学林学与园艺学院，乌鲁木齐 830052）

摘要： 为明确七星瓢虫成虫对棉蚜的自然控制能力，本文通过密度－天敌双因素控制试验分析了不同棉蚜初始密度（200 头/株、400 头/株、800 头/株）和不同七星瓢虫数量（0 头、1 头、2 头、4 头）组合处理下棉蚜的种群动态；使用棉蚜种群增长率、益害比、控制效果等指标评估了天敌的控制能力，并建立简单的模型来明确天敌有效控制棉蚜的益害比。结果表明，七星瓢虫和棉蚜初始密度显著影响着棉蚜的种群数量，且两者存在交互作用；益害比与控制效果存在显著的正相关性，种群增长率与控制效果又存在显著的负相关性。投放七星瓢虫 5 d 后，当益害比达到 1∶720 以下时，七星瓢虫可有效控制棉蚜（种群增长率 $r \leqslant 0$），此时控制效果达 44% 以上；此外，当益害比为 1∶671 时，七星瓢虫对棉蚜种群的控制效果达 50%，益害比低于 1∶360 以下时，七星瓢虫对棉蚜种群的控制效果可达 80% 以上。因此，本文通过控制试验建立了七星瓢虫成虫控制棉蚜的防治指标，可以依据该阈值来指导田间棉蚜的综合防治。

关键词： 棉蚜；七星瓢虫；控制效果；益害比
中图分类号： Q968. 1；S433　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2021）01－0206－08

Regulation of *Coccinella septempunctata* and *Aphis gossypii* with different initial density on cotton aphid population

CHAO Wen-Di[1,2]，LU Zhao-Zhi[1,2*]，ZHAO Li[1*]，ZHANG Xin[2]，GAO Gui-Zhen[3]，ZHANG Ping[2]
（1. College of Agronomy，Xinjiang Agricultural University，Urumqi 830052，China；2. State Key Laboratory of Desert and Dasis Ecology Xinjiang Institute of Ecology and Geography，Chinese Academy of Sciences，Urumqi 830011，China；3. College of Forestry and Horticulture，Xinjiang Agricultural University，Urumqi 830052，China）

Abstract: In order to determine the control effect of seven spotted ladybird beetles *Coccinella septempunctata* adults on cotton aphid *Aphis gossypii*，two-factor control experiments were implemented. The population of cotton aphids were monitored inside cages with different initial densities（200 individuals/plant，400 individuals/plant，800 individuals/plant）and different numbers of seven spotted ladybird beetles（0，1，2，4），and compared with a control group. The control ability of natural enemies was evaluated by population growth rate of cotton aphid，predator-prey ratio and control efficiency. The simple model was developed to confirm the predator-prey ratios from natural enemies of effective control to cotton aphid. The results showed that the population of cotton aphids was significantly affected by its initial

基金项目：塔吉克斯坦重要农林入侵物种系统调查及控制技术研究（2017E01019）；乌兹别克斯坦小麦产区几种外来物种对我国入侵风险及其生态防控（2016YFE0120500）
作者简介：晁文娣，女，1993 年生，陕西咸阳人，在读硕士生，主要从事农业昆虫与害虫防治研究，E－mail：1959094458@qq. com
* 通讯作者 Author for corresponding：吕昭智，博士，教授，主要从事昆虫生态学研究，E－mail：zhaozhi@ms. xjb. ac. cn；赵莉，硕士，教授，主要从事草地害虫生物生态学及综合防治研究，E－mail：782122497@qq. com
收稿日期 Received：2020－01－06；接受日期 Accepted：2020－04－09

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

density and the number of seven spotted ladybird beetles, and an interaction effect was detected between the two factors. There was a significant positive correlation between the predator-prey ratios and control efficiency, while a significant negative correlation between population growth rate and control efficiency was found. In addition, the seven spotted ladybird beetles could effectively control cotton aphids after released inside cages for 5 days (population growth rate r ≤ 0) , and led to a control efficiency of 44% when the predator-prey ratios reached below 1 ∶ 720. Similarly, control effect rose to 50% and 80% when the predator-prey ratios reached as low as 1 ∶ 671 and 1 ∶ 360, respectively. In conclusion, this study established the control threshold that adults of seven spotted ladybird beetles prey on cotton aphids through controlled experiment, which can be used to guide integrated control of cotton aphid in the field.

Key words: *Aphis gossypii*; *Coccinella septempunctata*; control efficiency; the predator-to-pest ratio

棉蚜 *Aphis gossypii* 属半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 蚜属 *Aphis*，是一种世界性的农业害虫，广泛分布于世界各地区，尤其对棉花的影响极大（梁彦等，2013；冯丽凯等，2015；Akköprü，2018）。其主要通过口器刺吸棉花汁液和分泌蜜露两种方式影响棉花生长发育及棉絮产量，由于棉蚜为害时间长、危害重、繁殖快、对田间生态系统适应能力强等特点，极易暴发成灾，给棉花生产造成巨大的损失（马祁，2002）。大量研究表明天敌是有效控制棉蚜暴发成灾的重要因子之一，其中捕食性天敌起着主要作用（毕守东等，2000；Bianchi *et al.*，2003；Bianchi *et al.*，2007）。与草蛉 Chrysopidae、蜘蛛 Araneida 等捕食性天敌相比，棉田中瓢虫数量与棉蚜数量的相关性最大，对棉蚜的控制作用最强，在棉田生态系统害虫的生态调控中发挥着重要作用（戈峰等，2002；潘洪生等，2018）。在我国各棉区，每年小麦收割后就会有大量的瓢虫迁入棉田，此阶段棉蚜的种群数量也随天敌的数量多少而发生变化，许多研究显示瓢虫与棉蚜种群数量呈较明显的跟随效应，前者比后者滞后时间大约一周（Ali，2013；于汉龙等，2014）。前期的大量研究都认为当益害比在 1∶150 ~ 1∶300 范围内时，天敌可以有效控制住棉蚜，不需要进行化学防治（林德成等，2000；冯宏祖等，2000）。但是这些益害比指标大多数是在实践中提出的经验性指标，缺乏确切的理论依据作为支撑，并且 21 世纪以来，气候和作物结构均有变化，且此类研究较少，传统的经验性指标无法准确反映当前棉田中益虫具体对田间棉蚜的实际控制效果。七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 作为棉蚜的一种重要天敌，有着极强的捕食棉蚜能力，1 头成年的七星瓢虫每天捕食棉蚜的最大量可达 220.7 头，对控制田间棉蚜的发生有着重要作用（颜金龙等，2016）；且在我国分布广泛（新疆棉区、黄河流域棉区和长江流域棉区均有分布），近年来已实现规模化人工饲养技术，采用七星瓢虫作为天敌试验材料，更有利于将试验成果应用到大田实践当中（程英等，2006）。因此，在本试验中天敌以七星瓢虫为例，通过密度 - 天敌双因素控制试验，研究天敌控制棉蚜的防治指标（防治阈值），从而为棉蚜的生态调控与综合防治提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试地点

试验地点为新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市中国科学院新疆生态与地理研究所试验田（N: 43.5150°，E: 87.3355°）。

1.2　供试虫源

棉蚜虫源：于 2018 年 8 月初采自新疆石河子市 121 团棉田，带回实验室后采用搭叶法将其及时接种于试验区棉花叶片上，待棉蚜繁殖至三代以后，选择长势一致、6 ~ 8 叶期的健壮棉花，将棉蚜接在棉株上部较嫩的叶片上进行繁殖，备用。

七星瓢虫虫源：于 2018 年 8 月中旬从福建艳璇生物防治技术有限公司（福建省福州市）购买，属人工饲养且为同一批次的成虫，羽化时长一致。试验开始前在实验室用棉蚜进行饲养，备用。

1.3　供试棉花

供试棉花为常规棉品种“新陆早 61 号”，用点穴法播种在花盆里（口径 25 cm，高 22 cm），待长至 6 ~ 8 叶期备用。

1.4　试验方法

试验于 2018 年 8 月 23 日至 9 月 14 日进行，根据棉田间常见的瓢蚜比范围，设置 3 个棉蚜初始密度，分别为 200、400、800 头/株；3 个天敌

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

水平：1、2、4 头七星瓢虫，并设置无天敌的对照组，将其进行组合，即 12 种处理（见表 1），每个处理设置 5 次重复。待繁殖出足量棉蚜，分别挑选每株棉蚜（各龄蚜虫为自然环境下的随机分布）达到 200、400 和 800 头以上的棉花各 20 株，并将多余棉蚜剔除，按处理分别引入不同数量的七星瓢虫（已饥饿处理 24 h），为了尽量消除瓢虫性别差异对棉蚜捕食数量产生影响，因此同一处理选用的成虫为 50% 的雌性，50% 的雄性，若处理组仅投放 1 头，则均选择雌性七星瓢虫。然后将整株用尺寸为 20 cm × 30 cm 的尼龙纱袋（60 目）罩好并系紧，并做好标记。每 5 d 定时监测棉蚜种群数量（包括无翅若蚜、无翅成蚜和有翅蚜）。在试验过程中，及时供给棉花充足的水分；另外，每日 9∶00 对瓢虫数量和产卵情况进行检查，若发现产卵，立刻将其移除；若发现有死亡现象及时补充。

表 1 不同处理试验设计

Table 1 Different treatments of test design

天敌数量（头） Number of natural enemy	棉蚜初始密度（头/株） Initial density of cotton aphid		
	200	400	800
空白（CK）	200 – 0	400 – 0	800 – 0
1	200 – 1	400 – 1	800 – 1
2	200 – 2	400 – 2	800 – 2
4	200 – 4	400 – 4	800 – 4

注：“200 – 0”表示棉蚜初始密度为 200 头/株，投放的天敌数量为 0，其他处理组以此类推。Note: “200 – 0” means the initial density of cotton aphid is 200 individual/plant, the number of natural enemy is 0, and so on in other treatment groups.

1.5 统计分析

利用 Excel 2007 对每次监测棉蚜的数量进行统计分析，计算棉蚜种群增长率、控制效果，应用 Origin 9.0 软件进行制图和多项式函数拟合，数据一般由平均值 ± 标准误（SE）表示。采用 SPSS 20.0 软件双因素方差分析（Two-way ANOVA）分析棉蚜初始密度和七星瓢虫对棉蚜种群数量的影响是否显著，以 Tukey HSD 法对各处理组的防治效果进行多重比较，分析各处理组的差异显著性（显著性水平 $\alpha = 0.05$）。

棉蚜种群增长率以及控制效果计算公式如下：

$$r = \frac{\ln [N_t] - \ln [N_0]}{T} \tag{1}$$

$$\text{控制效果} = \left(1 - \frac{\text{对照组虫口基数} \times \text{处理组活虫数}}{\text{处理组虫口基数} \times \text{对照组活虫数}}\right) \times 100\% \tag{2}$$

注：N_t 表示第 n 天棉蚜种群数量，N_0 表示棉蚜初始种群数量，T 为试验开始至监测当日的天数；$r > 0$，种群呈正增长；$r = 0$，种群数量不变；$r < 0$，种群呈负增长。

2 结果与分析

2.1 七星瓢虫对不同初始密度的棉蚜种群数量的影响

研究结果（图 1）表明，棉蚜初始密度相同，短期内棉蚜种群数量随着天敌七星瓢虫数量的增加而降低，200 头/株的棉蚜初始密度，投放 0、1、2 和 4 头天敌下 5 d，棉蚜数量分别为 273.6、41.4、36.0、4.0 头；400 头/株的棉蚜初始密度，投放 0、1、2 和 4 头天敌下 5 d，棉蚜数量分别为 1 287.3、172.7、71.6、16.6 头；800 头/株的棉蚜初始密度，投放 0、1、2 和 4 头天敌下 5 d，棉蚜数量分别为 1 535.5、1 112.8、155.5、15.0 头，随着时间推移，这种规律性越来越弱，只有在 800 头/株的棉蚜初始密度，20 d 内存在此规律。七星瓢虫数量相同时（4 头除外），棉蚜种群数量随初始密度的增加而增加，200、400、800 头/株的棉蚜初始密度分别投放 1 头天敌 5 d，棉蚜种群的数量分别为 41.4、172.7 和 1 112.8 头/株；投放 2 头天敌 5 d，棉蚜种群的数量分别为 36.0、71.6 和 155.5 头；投放 0 头天敌 5 d，棉蚜种群的数量分别为 273.6、1 287.3 和 1 535.5 头/株。在无天敌的对照组，棉蚜种群峰值随初始密度的增加呈先上升后下降的趋势（200、400、800 头/株的棉蚜初始密度分别到达的峰值为 1 527.0、2 041.5 和 1 822.7 头/株），到达峰值的时间随着棉蚜初始密度的增加而缩短（200、400、800 头/株的棉蚜初始密度分别到达峰值的时间为 20、20、10 d）。

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

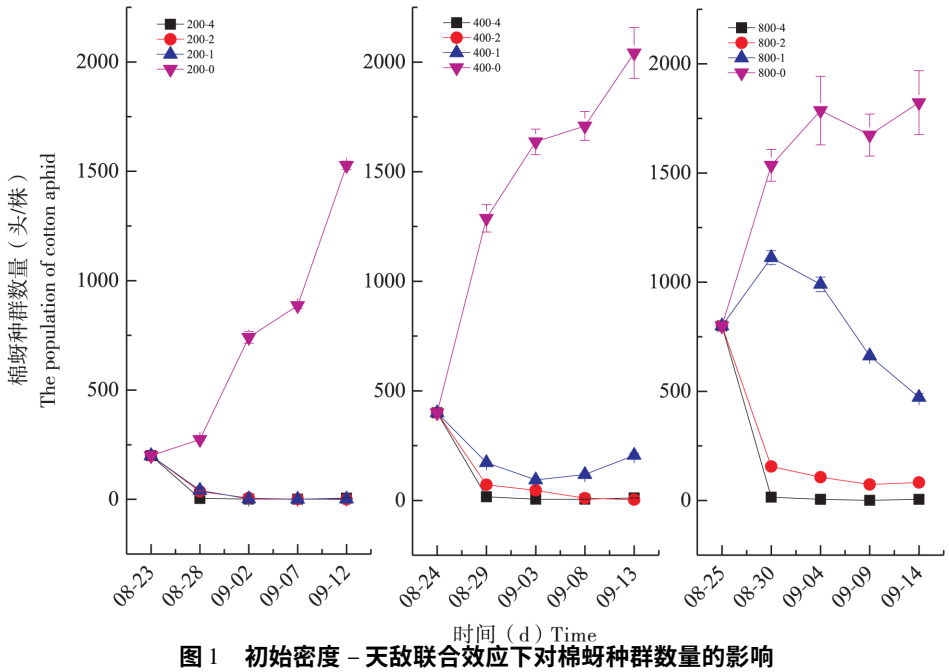


图 1　初始密度－天敌联合效应下对棉蚜种群数量的影响

Fig. 1　Population growth rate of cotton aphid under the combination of initial density of aphids and predators

表 2　采用双因素方差分析棉蚜初始密度、天敌对棉蚜种群数量的影响

Table 2　Effect of aphid initial density, and predator on population number of *Aphis gossypii* analyzed by two-way ANOVA

时间（d）Time	因子 Factor	自由度 df	*F* 值 *F* value	*P* 值 *P* value
5	密度（Dens）	2	35. 923	<0. 01
	天敌（Natu）	3	84. 369	<0. 01
	密度×天敌（Dens × Natu）	6	2. 209	0. 059
10	密度（Dens）	2	26. 658	<0. 01
	天敌（Natu）	3	46. 371	<0. 01
	密度×天敌（Dens × Natu）	6	6. 182	<0. 01
15	密度（Dens）	2	43. 591	<0. 01
	天敌（Natu）	3	65. 775	<0. 01
	密度×天敌（Dens × Natu）	6	13. 532	<0. 01
20	密度（Dens）	2	21. 401	<0. 01
	天敌（Natu）	3	43. 085	<0. 01
	密度×天敌（Dens × Natu）	6	11. 491	<0. 01

注　“Dens”表示密度，“Natu”表示天敌。Note: “Dens” means density, “Natu” means natural enemy.

采用双因素方差分析对 5、10、15、20 d 后的棉蚜种群数量进行分析（先对其进行标准化处理，取 ln 值），结果（表 2）表明在 5 ~ 20 d 时间内，天敌（七星瓢虫）和棉蚜密度均极显著影响棉蚜的种群数量（df = 6，P < 0. 01），且在 10 ~ 20 d 期间，两者间存在交互作用。

2. 2　七星瓢虫对不同初始密度棉蚜的种群增长率的调控

七星瓢虫调控不同初始密度棉蚜的种群增长率结果（图 2）表明，总体上来说，相同棉蚜初始密度下，七星瓢虫数量越多，棉蚜种群增长率越小，且随初始密度的增加，这种规律越明显，800 头/株棉蚜初始密度下投入 0、1、2 和 4 头七

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

星瓢虫 20 d，r 值分别为 0.146、0.057、 −0.059、−0.555；400 头/株初始密度下投入 0、1、2 和 4 头七星瓢虫 20 d，r 值分别为 0.081、 −0.002、−0.306、 −0.177；200 头/株初始密度下投入 0、1、2 和 4 头七星瓢虫 20 d，r 值分别为 0.102、−0.427、 −0.442 和 −0.291。七星瓢虫数量越少，棉蚜种群增长率的变化幅度越小（4 头七星瓢虫组的 r 值为 −1.000 ~ −0.242；2 头七星瓢虫组的 r 值为 −0.523 ~ −0.059；1 头七星瓢虫下 r 值为 −0.748 ~0.066，未投放瓢虫组的 r 值为 0.062 ~ 0.146）；随着时间的延长，种群增长率变化的幅度越小，趋于稳定的趋势（200 密度下的 r 值范围从 −1.000 ~0.062 缩窄至 −0.291 ~0.102；400 密度下的 r 值范围从 −0.638 ~0.233 缩窄至 −0.177 ~ 0.081；800 密度下的 r 值范围从 −0.798 ~0.129 缩窄至 −0.555 ~0.146）。由此可知初始密度对棉蚜种群增长率的影响没有显著的规律。

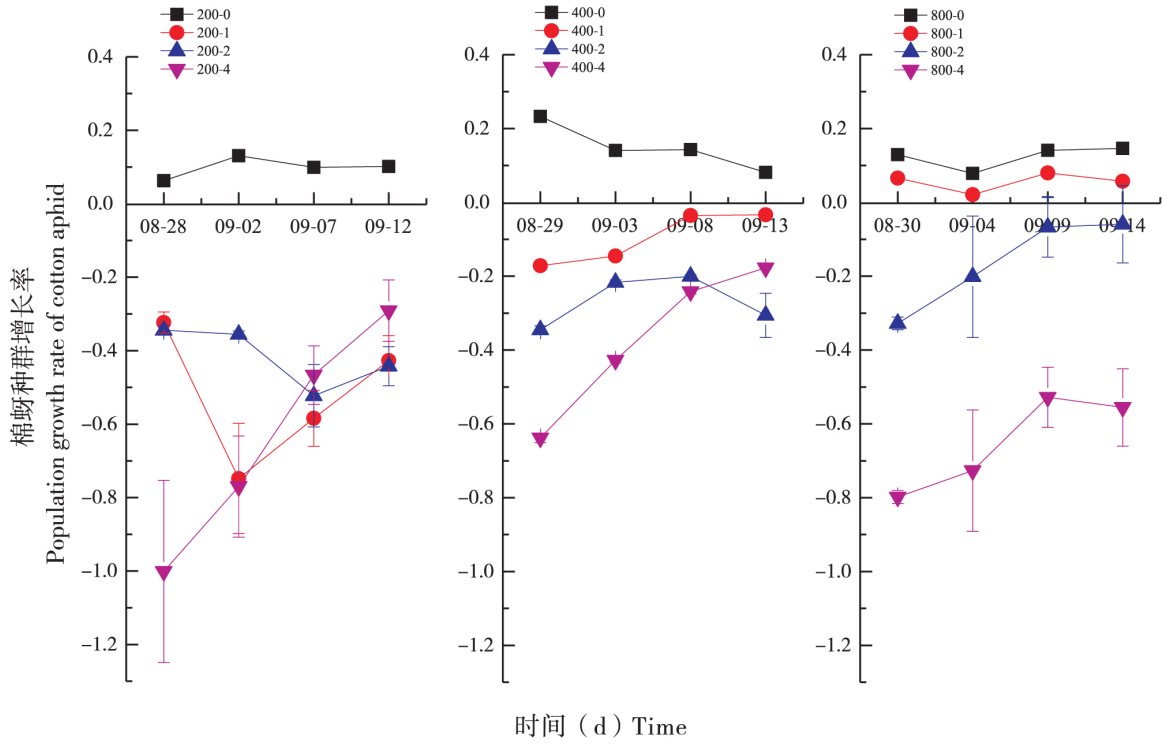


图 2 初始密度 − 天敌联合效应下棉蚜的种群增长率

Fig. 2 Population growth rate of cotton aphid under the combination of initial density of aphids and predators

2.3 七星瓢虫对不同初始密度的棉蚜的控制效率

七星瓢虫对不同初始密度棉蚜的控制效率结果（图 3）表明，5 d 时，200 头/株和 400 头/株较低的棉蚜初始密度下，投入 1 ~4 头七星瓢虫其控制效果都较高，均达 84.87% 以上，800 头/株棉蚜初始密度下各天敌（七星瓢虫）数量水平的控制效果则为 27.53% ~99.02%。试验结果还表明，200 头/株密度下 4 头七星瓢虫对棉蚜的防治效果显著高于 1 头和 2 头天敌下的控制效果（$P < 0.05$），其他处理间均不存在显著差异（$P > 0.05$）；400 头/株密度下 4 头七星瓢虫下的控制效果显著高于 1 头下的防治效果（$P < 0.05$），其他处理间均不存在显著差异（$P > 0.05$）；800 头/株密度下 4、2、1 头七星瓢虫的控制效果差异均显著（$P < 0.05$）。3 种初始密度下，控制效果最好的均为 4 头七星瓢虫的处理组。随着时间推移，在 10 ~20 d 期间，仅 800 头/株初始密度下1 头七星瓢虫水平下的控制效果显著低于其他处理组的控制效果（$P < 0.05$），其他处理组之间差异不显著（$P > 0.05$），前者控制效果为 44.56%，后者均达到 94% 以上。

2.4 控制效率与益害比和棉蚜种群增长率的关系

将投放七星瓢虫 5 d 对棉蚜的控制效果和益害比（即七星瓢虫数量与棉蚜数量的比值，为作图直观取其倒数）建立模型（Polynomial fit，$y = 90.953 + 0.052x - 1.639E-4x^2$，$R^2 = 0.895$，$F = 175.701$，$P < 0.01$），发现控制效果与益害比两者呈显著的正相关（图 4）。研究结果表明，用七星

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

瓢虫成虫来控制棉蚜时，益害比在 1∶50 ~ 1∶800 的范围内，七星瓢虫对棉蚜种群的控制效果随着益害比的增加而上升，益害比越大，控制效果越好。投放七星瓢虫 5 d，益害比为 1∶937 时，七星瓢虫对棉蚜的控制效果为 0，益害比为 1∶671 时，七星瓢虫对棉蚜种群的控制效果达 50%，益害比低于 1∶360 以下时，七星瓢虫对棉蚜种群的控制效果可达 80% 以上。

将投放七星瓢虫 5 d 对棉蚜的控制效果和棉蚜种群增长率建立模型，研究结果（图 4）表明，两者存在显著的负相关性（Polynomial fit，$y = 44.618 - 188.448x - 153.488x^2$，$R^2 = 0.898$，$F = 176.972$，$P < 0.01$），即七星瓢虫对棉蚜的控制效果随着棉蚜种群增长率的增加而降低。$r < 0$ 时，棉蚜种群数量下降，此时七星瓢虫对棉蚜种群的控制效果达 44% 以上。

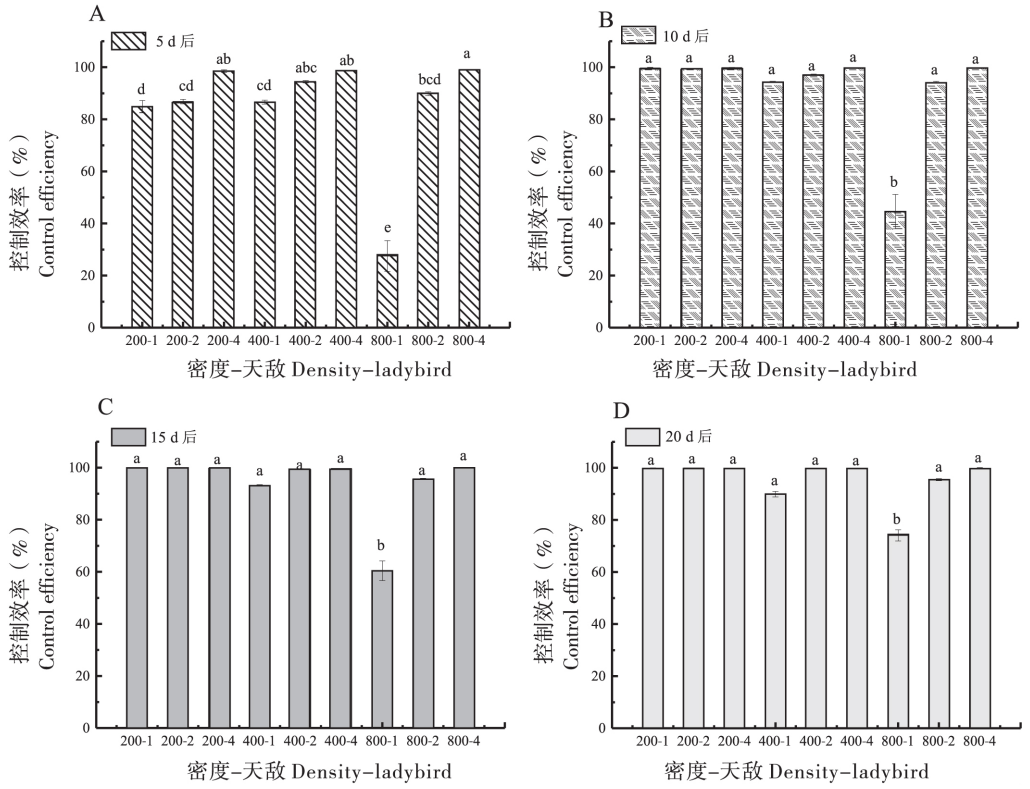


图 3　密度 – 天敌联合效应下对棉蚜的控制效率

Fig. 3　Control efficiency of cotton aphid under the combination of initial density of aphids and predators

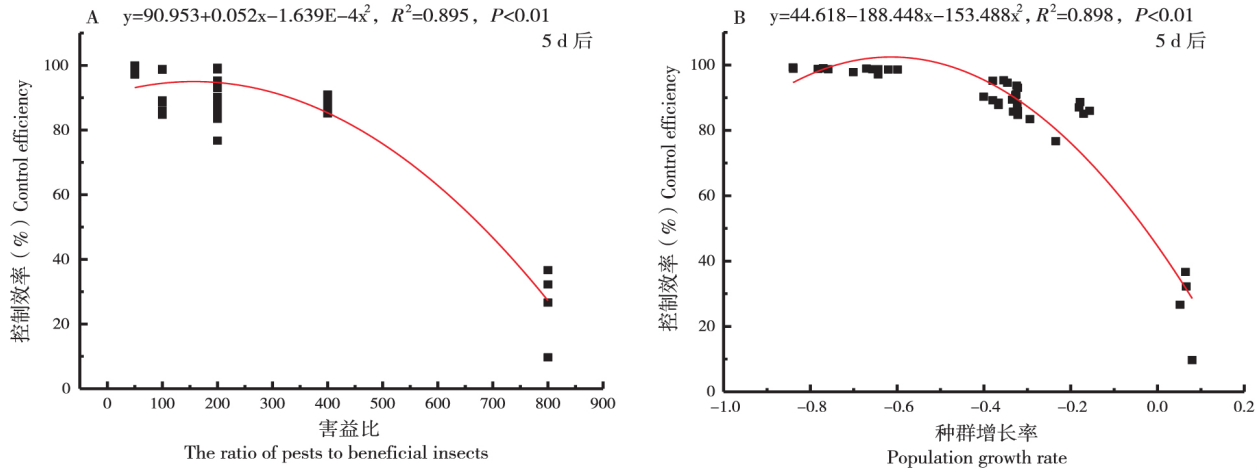


图 4　密度 – 天敌联合效应下控制效果与益害比和增长率的相关性

Fig. 4　Correlation between control efficiency and population growth rate，beneficial insects to pests under the combined effect of density and natural enemy

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

根据益害比与控制效果的模拟公式反推，当防治效果为 44% 时，此时益害比为 1∶720，即益害比在 1∶720 时，投放七星瓢虫 5 d 对棉蚜具有显著的控制作用。此结论可作为七星瓢虫有效控制棉蚜的一个生物防治指标，达到该指标则田间一般不需要进行化学防治也可控制住棉蚜数量。

3 结论与讨论

3.1 七星瓢虫对棉蚜种群数量的影响

影响棉蚜种群发生动态的影响因子较多，本文研究表明七星瓢虫数量和棉蚜初始密度均显著影响着棉蚜的种群动态，且两者间具有交互作用。Lu 等（2015）研究表明天敌和棉蚜初始密度是调节棉蚜种群动态的关键因子，与本文研究结果较为相似，不同之处在于后者研究的天敌为南疆地区的瓢虫优势种多异瓢虫 *Adonia variegate*，且棉蚜初始密度较小（5，25，50，75 头/株），本研究则进一步补充了在棉蚜高初始密度下七星瓢虫对棉蚜种群数量的调控作用。棉蚜初始密度相同，短期内棉蚜种群数量随着天敌七星瓢虫数量的增加而降低；七星瓢虫数量（4 头除外）相同时，棉蚜种群数量随初始密度的增加而增加，在 800 头/株的初始密度下投放天敌初期（5 d 内），1 头天敌捕食棉蚜会导致其种群数量增加，即在七星瓢虫食物充足的条件下，棉蚜的数量随着七星瓢虫数量的降低和初始密度的增加呈下降趋势。但是在本研究中无天敌的对照组，棉蚜种群峰值随棉蚜初始密度的增加呈先上升后下降的趋势，与高桂珍等（2009）研究结果不一致，后者研究表明棉蚜初始密度越大，棉蚜种群峰值越高，可能是本研究中采用 800 头/株的初始密度处理，棉花叶片资源的限制加剧了种内竞争，使棉蚜数量无法持续增长。

3.2 七星瓢虫对棉蚜的控制效率

投放七星瓢虫 10 ~ 20 d，七星瓢虫对不同初始密度棉蚜的控制效率都在 44% 以上，均达到了有效防治的指标，其中仅 800 头/株初始密度下 1 头七星瓢虫下的控制效率为 44%，其他处理组都高达 94% 以上。李育静等（2013）通过研究表明在棉田中释放 300 卡/亩（每卡 50 粒卵）的七星瓢虫，虫口基数为 390 头/百叶，挂卡后 7 d 防效为 77.75%，和本实验的结果均表明七星瓢虫对棉蚜有很好的防效。但是该研究是依据棉花种植面积的大小而确定投放瓢虫的数量，然而田间棉蚜种群的发生是动态的，会随时间和空间的移动而改变，因此该研究无法定量分析可有效控制棉蚜的益害比。冯宏祖等（2000）研究表明棉蚜种群增长率与瓢虫数量存在相关性，通过相关分析建立回归方程，当百株瓢虫数达 805.59 头时，棉蚜种群不再增长并很快下降，该研究中也忽略了棉蚜种群在田间的起伏很大，若在棉蚜发生初期，则不需要较多的瓢虫数量就可以控制住棉蚜，过多投入天敌也在无形中增加了防控成本。也有前期的一些研究认为当益害比在 1∶150 ~ 1∶300 范围内时，天敌可以有效控制住棉蚜（冯宏祖等，2000；高强等，2018），但是这些益害比指标大多数是在实践中以观察为主提出的经验性指标，缺乏建立模型作为支撑依据。而本研究就很好的解决了这点，结果明确表明：如果要将棉蚜的种群增长率控制在 0 以下，此时需投放的瓢蚜比在 1∶720 以下。另外，本研究首次将控制效果与种群增长率建立关系，结果表明投入天敌 5 d 控制效率大于 44% 时，七星瓢虫可以有效控制棉蚜。

3.3 研究存在的问题及研究展望

本研究表明，当益害比相同时，七星瓢虫数量越多对棉蚜的控制效率越好，如棉蚜初始密度 200 头/株投放 1 头七星瓢虫，400 头/株投放 2 头七星瓢虫，800 头/株投放 4 头七星瓢虫，这可能与七星瓢虫的种内竞争机制有关。在今后的研究中，需进一步明确多头七星瓢虫捕食棉蚜时是如何促进取食棉蚜效率的。已有的研究均表明，包括七星瓢虫在内的多种瓢虫雌性和雄性对蚜虫的捕食能力存在差异，雌性的捕食能力更强（金剑雪等，2011；程英等，2018；潘洪生等，2020），因此在试验条件下需要考虑性别差异及其不同性别组合对蚜虫的控制。

参考文献（References）

Akköprü EP. The effect of some cucumber cultivars on the biology of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) [J]. *Phytoparasitica*, 2018, 46(4): 511 - 520.

Ali A. Aphids and Natural Enemies Relationship in Wheat and Cotton Ecosystem in Northern China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013: 57 - 74. [Ali A. 华北小麦和棉花生态系统蚜虫与天敌的互作关系研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013: 57 - 74]

Bianchi FJJA, Honěk A, Werf WD. Changes in agricultural land use can explain population decline in a ladybeetle species in the Czech

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

Republic: Evidence from a process – based spatially explicit model [J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22 (10): 1541 – 1554.

Fjja B, Van DWW. The effect of the area and configuration of hibernation sites on the control of aphids by *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in agricultural landscapes: A simulation study [J]. *Environmental Entomology*, 2003, 32 (6): 1290 – 1304.

Lu ZZ, Gao GZ, Sun P, *et al*. Population dynamics of *Aphis gossypii* Glover on cotton: Influence of temperature, initial density and predators [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2015, 25 (2): 415.

Bi SD, Zou YD, Geng JG, *et al*. Geost atistical analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Propylaca japonica* [J]. *China J. Appl. Ecol.*, 2000, 11 (3): 417 – 420. [毕守东，邹运鼎，陈高潮，等. 影响棉蚜种群数量的优势种天敌的灰色系统分析 [J]. 应用生态学报，2000，11 (3)：417 – 420]

Chen Y, Li ZY, Li FL. Research progress of *Coccinella septempunctata* [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2006, 5: 117 – 119. [程英，李忠英，李凤良. 七星瓢虫的研究进展 [J]. 贵州农业科学，2006，5：117 – 119]

Chen Y, Zhi JR, Zhou YH, *et al*. Predation of *Aphis craccivora* by *Coccinella septempunctata* reared on non – insect ingredients artificial diet [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (2): 209 – 213. [程英，郅军锐，周宇航，等. 非昆虫源人工饲料饲养的七星瓢虫对豆蚜的捕食功能 [J]. 中国生物防治学报，2018，34 (2)：209 – 213]

Feng HZ, Wang L, Xiong RC. Control effects of cotton field ladybug on cotton aphid population. In: Li DM, ed. Chinese Entomology towards the 21st Century [C]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2000: 1038 – 1040. [冯宏祖，王兰，熊仁慈. 棉田瓢虫对棉蚜种群控制作用的研究. 见：李典谟，编. 走向21世纪的中国昆虫学 [C]. 北京：中国科学技术出版社，2000：1038 – 1040]

Feng LK, Gao GZ, Lu ZZ, *et al*. Interspecific competition between *Aphis gossypii* Glover and *Acyrthosiphon gossypii* Mordviiko at different temperatures [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (3): 557 – 565. [冯丽凯，高桂珍，吕昭智，等. 不同温度条件对棉蚜、棉长管蚜种间竞争关系的影响 [J]. 应用昆虫学报，2015，52 (3)：557 – 565]

Gao GZ, Ma JH, Lv ZZ, *et al*. Population process of *Aphis gossypii* with different initial density [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28 (10): 2138 – 2141. [高桂珍，马吉宏，吕昭智，等. 不同初始密度棉蚜种群动态过程 [J]. 生态学杂志，2009，28 (10)：2138 – 2141]

Gao Q, Wang ZG, Zhang WN, *et al*. Control effect of *Harmonia axyridis* on *Myzus persicae* and its release technology [J]. *Agricultural Development Equipments*, 2018, 3: 176 – 177. [高强，王志刚，张伟娜，等. 异色瓢虫对烟蚜的防治效果及释放技术 [J]. 农业开发与装备，2018，3：176 – 177]

Ge F, Liu XH, Pan WD. Biological control efficiency of ladybirds on arthropod pests in cotton agroecosystems [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (7): 841 – 844. [戈峰，刘向辉，潘卫东，等. 棉田捕食性瓢虫控害功能的分析 [J]. 应用生态学报，2002，13 (7)：841 – 844]

Jin XJ, Li FL, Chen Y, *et al*. Functional response of *Coccinella septempunctata* to *Aphis craccivora* [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (4): 68 – 71. [金剑雪，李凤良，程英，等. 七星瓢虫对豆蚜的功能反应 [J]. 植物保护，2011，37 (4)：68 – 71]

Li YJ. Preliminary report on the experiment of greenhouse aphids controlled by *Coccinella septempunctata* in Xining Region [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2013, 12: 149 – 151. [李育静. 西宁地区七星瓢虫防治温室蚜虫试验效果初报 [J]. 农业科技通讯，2013，12：149 – 151]

Liang Y, Zhang S, Shao ZR, *et al*. Insecticide resistance in and chemical control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover [J]. *Plant Protection*, 2013, 39 (5): 70 – 80. [梁彦，张帅，邵振润，等. 棉蚜抗药性及其化学防治 [J]. 植物保护，2013，39 (5)：70 – 80]

Lin DC, Peng ZY, Nan SL. Control pests by controlling predator, control pests by insect [J]. *Agricultural Science and Technology*, 2000, 11: 13. [林德成，彭忠颖，南双利. 以益控害，以虫治虫 [J]. 农村科技，2000，11：13]

Ma Q. Occurring and controlling of *Aphis gossypii* in cotton fields in Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2002, 25 (Suppl.): 47 – 50. [马祁. 新疆棉田棉蚜及其防治 [J]. 新疆农业大学学报，2002 (增刊)：47 – 50]

Pan HS, Jiang YY, Wang PL, *et al*. Research progress in the status evolution and integrated control of cotton pests in Xinjiang [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (5): 42 – 50. [潘洪生，姜玉英，王佩玲，等. 新疆棉花害虫发生演替与综合防治研究进展 [J]. 植物保护，2018，44 (5)：42 – 50]

Pan HS, Li HB, Ding RF, *et al*. Predation capacity of *Adonia variegate* to *Aphis atrata* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (4): 628 – 631. [潘洪生，李号宾，丁瑞丰，等. 多异瓢虫对棉黑蚜的捕食能力 [J]. 中国生物防治学报，2020，36 (4)：628 – 631]

Yan JL, Chen QX, Shi L, *et al*. Functional responses of *Coccinella Septempunctata* larval for the predation of three species of aphids in the field [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2016, 22 (6): 96 – 100. [颜金龙，陈全兴，史磊，等. 田间七星瓢虫成幼虫捕食3种蚜虫功能反应初步研究 [J]. 天津农业科学，2016，22 (6)：96 – 100]

Yu HL. Effects of Suppression of Natural Enemies on Cotton Aphids [D]. Jinan: Shandong Agricultural University, 2015. [于汉龙. 自然天敌对麦蚜和棉蚜的控害作用评价及两种瓢虫天敌的耐寒性研究 [D]. 济南：山东农业大学，2015]

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