

七星瓢虫对豇豆蚜的捕食能力及效率研究

赵海英¹, 张 琰², 王宏山³, 张 鑫², 陈俊华², 朱庆松²

(1. 信阳市农业科学院 河南信阳 464000; 2. 信阳农林学院 河南信阳 464000;

3. 罗山县高店镇产业发展服务中心 河南罗山 464200)

摘 要:为明确七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*)对豇豆蚜(*Aphis craccivora*)的生物防控潜能,在室内测定七星瓢虫幼虫和雌成虫对豇豆蚜的捕食功能反应、搜寻效应,并探究了七星瓢虫雌、雄成虫的种内自身密度干扰效应和捕食效率。结果表明,七星瓢虫幼虫和雌成虫均能捕食豇豆蚜,且捕食功能反应遵循 Holling II 模型。不同发育阶段七星瓢虫对豇豆蚜的控害效能为:七星瓢虫雌成虫>4龄幼虫>3龄幼虫>2龄幼虫>1龄幼虫。七星瓢虫雌成虫、4龄与3龄幼虫对豇豆蚜的日最大捕食量分别为123.325、200.359和75.352头,由此可见,七星瓢虫4龄幼虫和雌成虫对豇豆蚜的捕食能力较强。随着猎物密度的降低,七星瓢虫对豇豆蚜的搜寻效应逐渐提升。此外,七星瓢虫成虫的捕食作用受到自身密度的干扰,且表现为雌成虫>雄成虫。捕食效率的测定结果表明,当猎物密度为120头·盒⁻¹时,七星瓢虫雌、雄成虫搜索时长分别为2.47 s、2.53 s,均显著短于猎物密度为40头·盒⁻¹时的搜索时长,且雄成虫的取食时长普遍短于雌成虫。综上,七星瓢虫对豇豆蚜具有较强的控害能力,可利用七星瓢虫雌成虫和高龄幼虫防治豇豆蚜。

关键词:豇豆;七星瓢虫;豇豆蚜;搜寻效应;种内干扰;捕食效率

中图分类号:S643.4

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)08-221-08

Study on the predation capacity and efficiency of *Coccinella septempunctata* against *Aphis craccivora*

Zhao Haiying¹, Zhang Yan², Wang Hongshan³, Zhang Xin², Chen Junhua², Zhu Qingsong²

(1. Xinyang Academy of Agricultural Sciences, Xinyang 464000, Henan, China; 2. Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, Henan, China; 3. Luoshan County Gaodian Town Industrial Development Service Center, Luoshan 464200, Henan, China)

Abstract: To clarify the biocontrol potential of *Coccinella septempunctata* against *Aphis craccivora*, the predatory functional responses and searching efficiency of larvae and female adults of *C. septempunctata* to *A. craccivora* were determined under laboratory conditions. Additionally, the intraspecific interference effects and predation efficiency of male and female adults of *C. septempunctata* were investigated. The results showed that both larvae and female adults of *C. septempunctata* could prey on *A. craccivora*, and their predatory functional responses fitted the HollingII model. The pest control efficiency of *C. septempunctata* at different developmental stages was ranked as follows: Female adults> 4th-instar larvae>3rd-instar larvae>2nd-instar larvae>1st-instar larvae. The maximum predation capacities of female adults, 4th-instar and 3rd-instar larvae of *C. septempunctata* on *A. craccivora* were 123.325, 200.359 and 75.352 individuals, respectively, indicating that the 4th-instar larvae and female adults of *C. septempunctata* exhibit a strong predatory capacity against *A. craccivora*. The searching efficiency analysis revealed that the searching efficiency of *C. septempunctata* increased gradually with the decrease of prey density. Furthermore, the predation of *C. septempunctata* adults was interfered by their own density, and the interference effect of female adults was stronger than that of male adults. The predation efficiency results showed that when the prey density was 120 individuals per box, the searching time of female and male adults of *C. septempunctata* was only 2.47 s and 2.53 s, respectively, which was significantly shorter than that at the prey density of 40 individuals per box. The chewing duration of male adults was generally shorter than that of female adults. In conclusion, *C. septempunctata* exhibits strong pest control ability against *A. craccivora*, female adults and late-instar larvae of *C. septempunctata* can be used as a biological control agent for *A. craccivora* management.

Key words: Cowpea; *Coccinella septempunctata*; *Aphis craccivora*; Searching efficiency; Intraspecific interference; Predation efficiency

收稿日期:2026-03-11;修回日期:2026-06-15

基金项目:河南省科技攻关项目(252102111155);国家自然科学基金(12305399)

作者简介:赵海英,女,副研究员,研究方向为作物病虫害综合防控。E-mail:zhy292@126.com

通信作者:朱庆松,男,教授,研究方向为园艺植物栽培。E-mail:zqs43@126.com

豇豆蚜(*Aphis craccivora*)属半翅目(Hemiptera)蚜科(Aphididae),又名苜蓿蚜、花生蚜,在适宜气候条件下,该蚜繁殖力极强,主要以无翅胎生雌蚜孤雌生殖产若蚜进行种群扩增^[1]。豇豆蚜以成蚜和若蚜群聚在豇豆、蚕豆等豆科作物的嫩梢、幼叶、叶柄、花序和豆荚上,刺吸植物汁液,造成作物苗期发育迟缓,成株长势衰弱,叶片皱缩卷曲,进而影响植株开花结实;同时,豇豆蚜会大量分泌“蜜露”,覆盖叶面后影响植物的光合作用^[1-3]。此外,豇豆蚜还可传播多种植物病毒(如豇豆花叶病毒 cowpea mosaic virus)。现阶段田间防治该害虫仍主要依赖化学药剂,然而长期施用单一化学农药易导致其产生抗药性,迫使菜农增加用药剂量和施药频率,进而引发农药残留超标等一系列问题^[4-7]。同时,农药制剂也会对蜜蜂等传粉昆虫造成严重生存威胁^[8]。因此,在蔬菜生产中,研发和推广绿色无公害豇豆蚜防治技术已成为亟待解决的关键问题。

生物防治是利用活体生物或其代谢产物对有害生物进行防控的技术手段,捕食性天敌作为生物防治体系中的核心生物调控因子,具备绿色安全、环境友好、控害持效长等突出优势,是农业害虫绿色防控的重要组成部分^[9-10]。豇豆蚜的生物防治资源丰富,自然天敌种类较多,常见类群包含食蚜蝇类(Syrphidae)、异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)等;郭佩佩等^[11]研究了多异瓢虫(*Adonia variegata*)不同释放密度对豇豆蚜的防治效果,证实释放 35 d 后在益害比 1:40 的条件下,可对豇豆蚜实现持续有效防控。鞘翅目(Coleoptera)瓢甲科(Coccinellidae)昆虫七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*),是蚜虫类的优势捕食性天敌,具有捕食量大、适应能力强等特点,且其捕食范围广泛,除蚜虫外,还可捕食粉虱、叶蝉、蓟马、螨类等小型节肢动物,以及鳞翅目昆虫的卵和若虫^[12-15]。现有研究表明,七星瓢虫对草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)低龄幼虫^[16]、豌豆修尾蚜(*Megoura crassicauda*)^[17]、核桃黑斑蚜(*Chromaphis juglandicola*)^[18]、茶蚜(*Toxoptera aurantii*)^[19-20]、烟蚜(*Myzus persicae*)^[21]等多种农林重要害虫均具有较强的捕食能力。目前,国内学者已针对七星瓢虫的天然饲料和人工饲料^[22-24]、饲养技术^[25]、存储温度、存储时间^[26]、储蓄植物系统^[27]及高温适应性^[15,28]等开展了系统研究,基本实现了七星瓢虫的人工存储与工厂化繁殖,为该天敌昆虫在害虫生物防治中的推广应用提供了坚实的技术支撑,也为豇豆蚜等蚜虫类害虫的绿色防控提供了重要的天敌

资源保障。

目前国内外对七星瓢虫捕食豇豆蚜的能力和行鲜有相关报道。本研究从捕食功能反应、搜寻效应和种内干扰及捕食效率等几个方面探究不同龄期七星瓢虫对豇豆蚜的捕食能力和行为等,旨在探明七星瓢虫对豇豆蚜的室内控害潜能,为豇豆蚜田间生物防治提供理论依据和实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:七星瓢虫第一代卵于 2025 年 8 月中旬至 10 月下旬采自信阳农林学院二期试验田豇豆植株上;以豇豆蚜为饲料进行实验室人工饲养。豇豆蚜同时期从信阳农林学院二期实验田豇豆植株上获得,于养虫室盆栽的豇豆苗上进行繁殖,采集豇豆蚜高龄若蚜(大小一致)和无翅雌成蚜作为供试虫体。

1.2 方法

1.2.1 七星瓢虫捕食豇豆蚜的捕食量和捕食功能反应测定 根据预试验中七星瓢虫对豇豆蚜的捕食情况,选取七星瓢虫 1~4 龄幼虫和雌成虫,单头置于规格 15 cm × 15 cm × 15 cm 的立方体透明塑料罩(养虫盒)内,进行 24 h 禁食处理;于容器底部放置一块浸湿的脱脂棉。其中 1 龄七星瓢虫幼虫猎物密度分别设置为 10、20、30、40、50 头·盒⁻¹;2 龄七星瓢虫幼虫猎物密度分别设置为 20、40、60、80、100 头·盒⁻¹;3 龄七星瓢虫幼虫猎物密度分别设置为 40、60、80、100、120 头·盒⁻¹;4 龄七星瓢虫幼虫猎物密度分别设置为 50、100、150、200、250 头·盒⁻¹,雌成虫猎物密度分别设置为 60、110、160、210、260 头·盒⁻¹;将各养虫盒中分别接入 1 头经禁食处理的七星瓢虫 1~4 龄幼虫或雌成虫,共计 25 组处理,每处理 4 次重复。盒内投放新鲜豇豆嫩叶或嫩茎,作为蚜虫取食寄主。置于养虫室中,养虫室条件控制为:恒温(26±2)℃、环境相对湿度为 75%±3%,光周期为 12 h 光照:12 h 黑暗。24 h 后记录各处理盒内豇豆蚜的存活数量。

1.2.2 七星瓢虫对豇豆蚜的捕食功能反应 采用 Holling II 型圆盘方程^[29]拟合七星瓢虫幼虫及雌成虫对豇豆蚜的捕食功能反应,拟合方程为 $N_a = aN_0T / (1 + aT_bN_0)$ 。其中 N_a 为七星瓢虫取食豇豆蚜的数目; a 为七星瓢虫对豇豆蚜的瞬时攻击率; N_0 代表豇豆蚜的密度; T 为 1 d; T_b 指七星瓢虫捕食单头豇豆蚜所需的时间。 $1/T_b$ 为该天敌的日最大捕食量

上限;参数 a/T 用于衡量七星瓢虫对豇豆蚜的控害效能,可评价七星瓢虫对豇豆蚜的捕食潜能。利用卡方检验验证捕食量实测值与模拟拟合理论值的吻合度^[29-30]。

1.2.3 七星瓢虫对豇豆蚜的搜寻效应 根据公式 $S=a/(1+aT_bN_0)$ 拟合七星瓢虫各龄幼虫与雌成虫针对豇豆蚜的搜寻效应^[29,31]。式中 S 为搜寻效应,其余参数的含义参照 1.2.2。

1.2.4 七星瓢虫成虫对豇豆蚜的捕食效率 将七星瓢虫雌、雄成虫与豇豆蚜分别以 1:40、1:60、1:80、1:100、1:120 的比例置于养虫盒中,以测定七星瓢虫雌、雄成虫对豇豆蚜的捕食效率,脱脂棉蘸少量水用以保湿,每个处理重复 8 次,观察记录每个养虫盒内七星瓢虫对豇豆蚜的搜索时长和取食时长^[18]。

1.2.5 七星瓢虫的种内干扰效应 每个养虫盒中接入 400 头豇豆蚜,并放置豇豆嫩枝供蚜虫取食。将经过 24 h 禁食处理的七星瓢虫雌、雄成虫分别设置 1、2、3、4、5 头·盒⁻¹ 共 5 个密度梯度处理,每个处理 5 次重复。饲养 24 h 后统计盒内存活的豇豆蚜数量,以此计算七星瓢虫雌、雄成虫的

捕食量,分析七星瓢虫捕食作用率与种内个体干扰效应。采用种内干扰模型 $E=QP^{-m}$ 拟合七星瓢虫自身密度带来的干扰影响,式中 E 为平均捕食作用率, P 为瓢虫种群密度, Q 为搜寻常数, m 为种内干扰系数^[29,31]。此外,用分摊竞争强度 I 评估种内干扰程度^[32],计算公式为 $I=(E_1-E_p)/E_1$,式中 E_1 为单头七星瓢虫的捕食作用率, E_p 为七星瓢虫密度为 P 时的捕食作用率。参照 1.2.2 的方法,对七星瓢虫捕食量的实测值和拟合理论值开展卡方适合性检验。

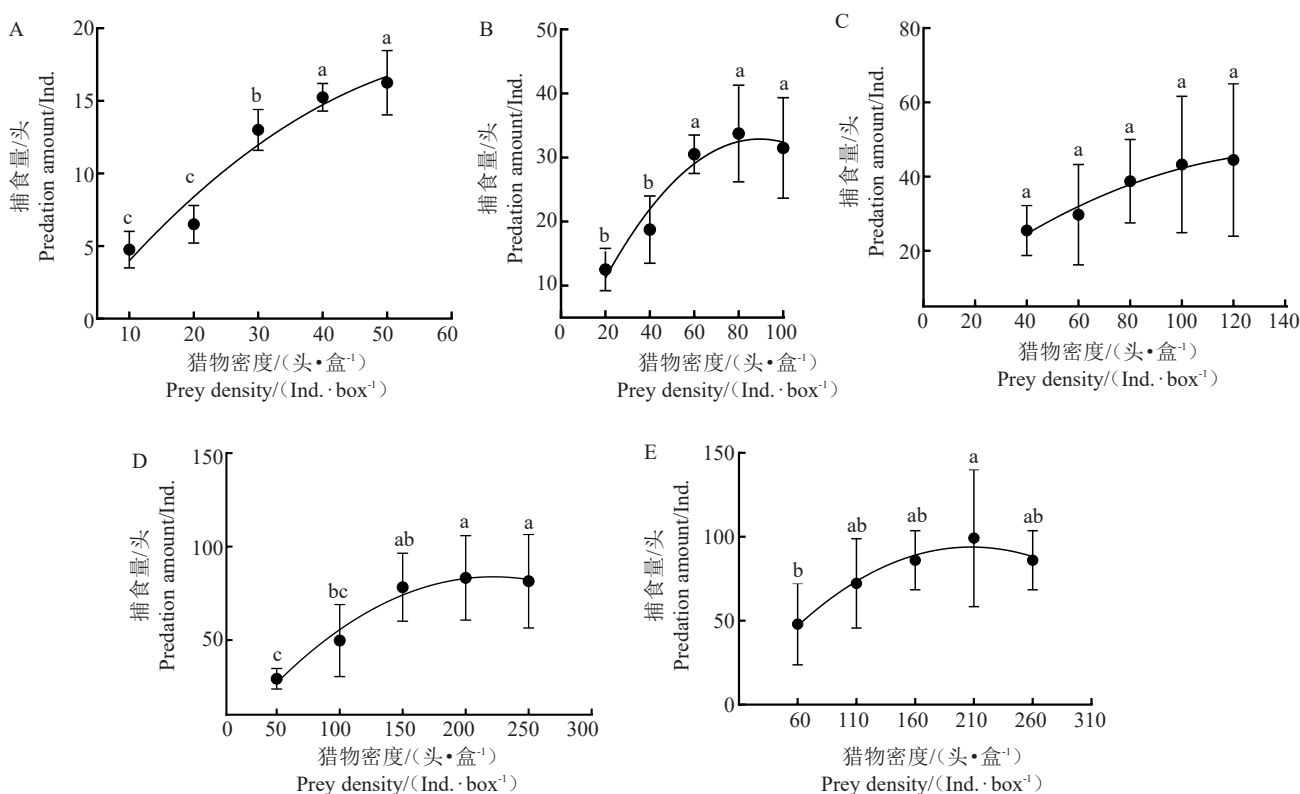
1.3 数据分析

使用 Excel 2019 软件进行试验数据整理汇总;实测捕食量采用 IBM SPSS Statistics22 进行单因素方差分析,并借助邓肯新复极差法进行差异显著性比较;采用 GraphPad Prism9.5.1 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 七星瓢虫对豇豆蚜的捕食量及捕食功能反应

由图 1 可知,七星瓢虫各龄幼虫和雌成虫均可捕食豇豆蚜,捕食量均与蚜虫密度呈正相关且



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 七星瓢虫 1 龄(A)、2 龄(B)、3 龄(C)、4 龄(D)幼虫和雌成虫(E)对豇豆蚜的捕食量

Fig. 1 Predation capacity of 1st instar (A), 2nd instar (B), 3rd instar (C), 4th instar (D) larvae and female adults (E) of *Coccinella septempunctata* on *Aphis craccivora*

捕食量增长速度均随猎物密度升高而减缓。当猎物密度达到阈值水平后,七星瓢虫捕食量无显著差异。除七星瓢虫3龄幼虫外,其余各龄期幼虫和雌成虫的捕食量均受猎物密度影响显著。七星瓢虫捕食豇豆蚜时,随着七星瓢虫龄期增大,对豇豆蚜的捕食数量均逐步增加。由图1-A可知,随豇豆蚜密度的增加,1龄七星瓢虫幼虫的捕食量也显著升高;由图1-B可知,当豇豆蚜密度大于80头·盒⁻¹时,2龄七星瓢虫幼虫的捕食量略有下降,但与豇豆蚜密度为80头·盒⁻¹时差异不显著。由图1-C可知,随豇豆蚜密度增加,3龄七星瓢虫幼虫的捕食量逐渐增加,但各豇豆蚜密度下3龄七星瓢虫幼虫的捕食量差异均不显著;由图1-D可知,豇豆蚜密度为200头·盒⁻¹时,4龄七星瓢虫幼虫的捕食量最大,为83.25头,显著高于豇豆蚜密度为50、100头·盒⁻¹时捕食量;由图1-E可知,豇豆蚜密度为210头·盒⁻¹时,七星瓢虫雌成虫对豇

豆蚜捕食量最高,为99.25头。以上结果表明七星瓢虫4龄幼虫和雌成虫对豇豆蚜的捕食能力最强。

采用Holling II型圆盘方程,拟合七星瓢虫1~4龄幼虫和雌成虫捕食豇豆蚜的捕食功能反应模型,得出了相应的方程式(表1)。结果表明,随虫龄增大,1~4龄七星瓢虫幼虫对豇豆蚜的控害效能与日最大捕食量均持续上升,对猎物的处理时间则随虫龄增长不断缩短。雌成虫的猎物处理时间为0.008 d,稍高于4龄幼虫(0.005 d);瞬时攻击率以雌成虫最高,达1.725,3龄幼虫(0.931)次之,1龄幼虫瞬时攻击率最低,仅为0.512。对七星瓢虫各虫态捕食量实测数值与方程拟合理论值开展卡方适合性检验,不同发育阶段七星瓢虫的捕食量卡方值均低于临界值 $\chi^2_{0.05}=9.488$,证实实测捕食量与拟合捕食量无显著差异,构建的功能反应模型可以反映不同发育阶段七星瓢虫对豇豆蚜

表1 七星瓢虫幼虫和雌成虫捕食豇豆蚜的捕食功能反应

捕食者虫态 Stage of predator	功能反应方程 Functional response equation	瞬时攻击率 Instant attack rate	处理时间 Handling time/d	控害效能 Predation capacity	日最大捕食量/头 Maximum daily consumption/Ind	r	χ^2
1龄 1st instar	$N_e=0.512N_0/(1+0.013N_0)$	0.512	0.024	20.917	40.860	0.971	0.949
2龄 2nd instar	$N_e=0.766N_0/(1+0.012N_0)$	0.766	0.016	48.802	63.685	0.948	1.234
3龄 3rd instar	$N_e=0.931N_0/(1+0.012N_0)$	0.931	0.013	70.152	75.352	0.982	0.470
4龄 4th instar	$N_e=0.688N_0/(1+0.003N_0)$	0.688	0.005	137.808	200.359	0.950	3.863
雌成虫 Female adult	$N_e=1.725N_0/(1+0.014N_0)$	1.725	0.008	212.761	123.325	0.935	1.878

的捕食能力。

2.2 七星瓢虫对豇豆蚜的搜寻效应

由图2可知,随着豇豆蚜密度持续增加,七星瓢虫1~4龄幼虫及雌成虫搜寻效应均呈降低趋势。随七星瓢虫发育推进,对同一密度猎物的搜寻效应也逐渐增高,以雌成虫的搜寻效应最高,表明随着豇豆蚜密度增加,七星瓢虫寻找猎物的时间不断缩短。当1龄七星瓢虫捕食豇豆蚜时,其搜寻效应随豇豆蚜密度升高降低较慢,搜寻效应由猎物密度为10头·盒⁻¹的0.455降到猎物密度为50头·盒⁻¹时的0.315。七星瓢虫雌成虫对豇豆蚜的搜寻效应受密度影响最大,猎物密度为60头·盒⁻¹时为0.826,而猎物密度为260头·盒⁻¹时仅为0.353。

2.3 自身密度干扰下七星瓢虫成虫对豇豆蚜的捕食效应

由表2可知,在固定捕食空间内,随着七星瓢

虫雌、雄成虫密度升高,实测捕食量均呈上升趋势。七星瓢虫雄成虫密度由1头·盒⁻¹提高到5头·盒⁻¹时,单头七星瓢虫对豇豆蚜的日均捕食量由140.50头递减至54.15头,存在明显的种内干扰。拟合得到干扰模型参数搜寻常数 $Q=0.330$,种内干扰系数 $m=0.602$,模型公式为 $E=0.330P^{-0.602}$,卡方检验值 $\chi^2_{0.05}=6.981<9.488$,表明实测值与拟合值差异不显著,该方程可以准确描述雄成虫受自身密度影响的种内干扰效应规律。

七星瓢虫雌成虫的单头日均捕食量随自身种群密度升高逐步下降,由188.75头降低至59.30头。种内干扰系数 $m=0.689$,表明七星瓢虫雌成虫取食豇豆蚜过程中,个体间产生的种内干扰作用要强于雄成虫。七星瓢虫雌成虫的分摊竞争强度在种群密度为5头·盒⁻¹时达到峰值,为0.670,该密度条件下雌成虫的种内竞争最激烈。拟合干扰效应方程为 $E=0.444P^{-0.689}$,卡方检验值 $\chi^2_{0.05}=4.570<9.488$,表

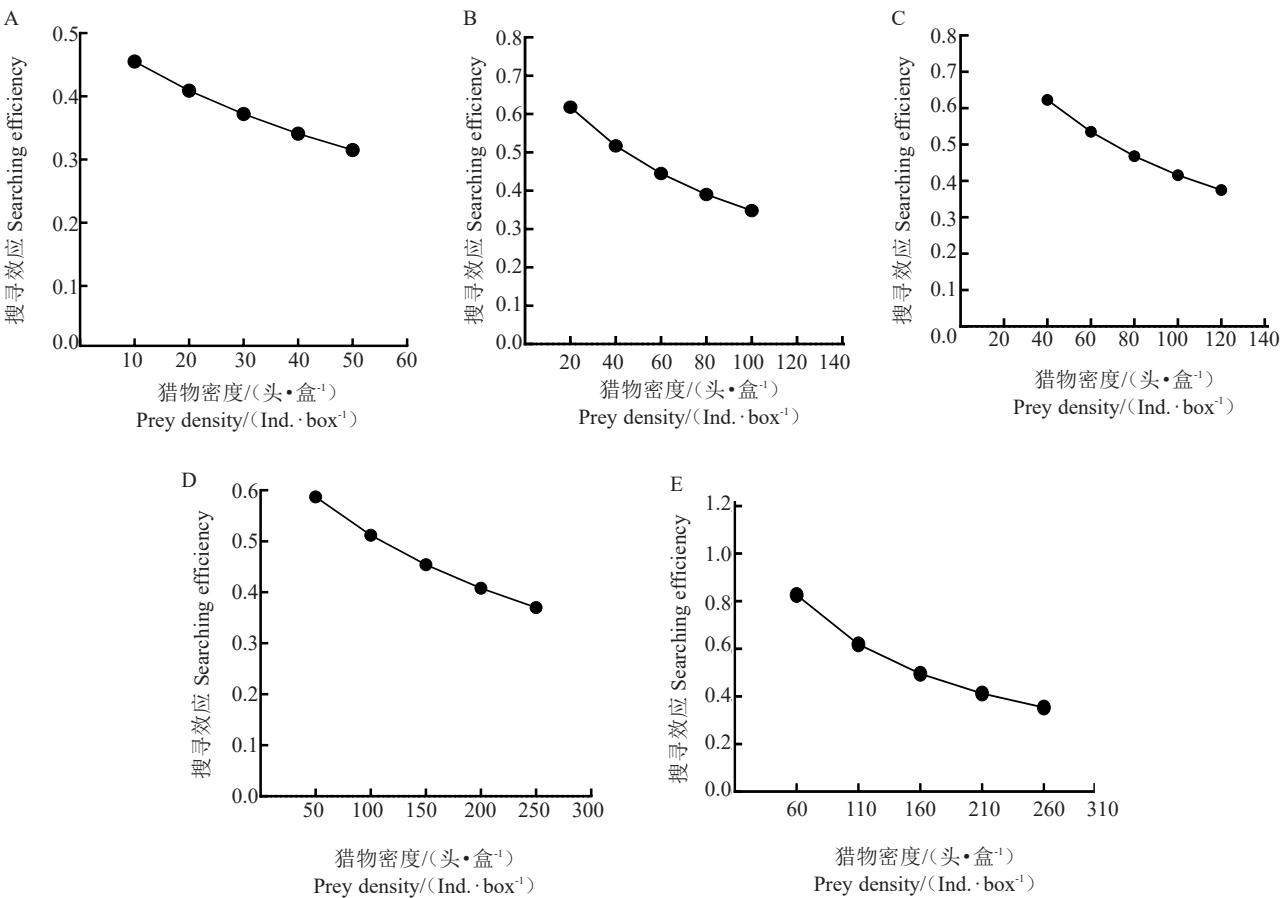


图2 七星瓢虫1龄(A)、2龄(B)、3龄(C)、4龄(D)幼虫和雌成虫(E)对豇豆蚜的搜寻效应
Fig. 2 Searching efficiency of 1st instar (A), 2nd instar (B), 3rd instar (C), 4th instar (D) larvae and female adults (E) of *Coccinella septempunctata* against *Aphis craccivora*

表2 七星瓢虫成虫捕食豇豆蚜时的种内干扰效应
Table 2 Intraspecific interference in predation of *Coccinella septempunctata* adults on *Aphis craccivora*

捕食者性别 Predator sex	捕食者密度/ (头·盒 ⁻¹) Predator density/ (Ind.·box ⁻¹)	实测捕食量/头 Observed predation amount/Ind.	单头日均捕食量/头 Daily per-capita predation/Ind.	拟合捕食量/头 Theoretical predation amount/Ind.	捕食作用率 Predation rate	分摊竞争强度 Intensity of scrambling competition
雄成虫 Male adult	1	140.50±15.47 c	140.50	132.000	0.330	0.000
	2	168.50±18.43 c	84.25	173.934	0.217	0.341
	3	175.75±16.10 bc	58.58	204.394	0.170	0.484
	4	241.00±18.04 ab	60.25	229.189	0.143	0.566
	5	270.75±35.51 a	54.15	250.475	0.125	0.620
雌成虫 Female adult	1	188.75±13.45 b	188.75	177.600	0.444	0.000
	2	198.75±24.80 b	99.38	220.325	0.275	0.380
	3	240.25±16.12 ab	80.08	249.935	0.208	0.531
	4	292.50±26.18 a	73.13	273.328	0.171	0.615
	5	296.5±24.59 a	59.30	292.970	0.146	0.670

注:同列不同小写字母表示同一性别不同密度七星瓢虫成虫的捕食量在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference in predation amount of *Coccinella septempunctata* adults at different densities of the same sex at 0.05 level.

明实测值与拟合值差异不显著,拟合方程能准确描述雌成虫受自身密度影响的种内干扰效应规律。

2.4 七星瓢虫成虫对豇豆蚜的捕食效率测定
由表 3 可知,七星瓢虫雄成虫对豇豆蚜的搜

表 3 七星瓢虫成虫对豇豆蚜的捕食效率
Table 3 Predation efficiency of *Coccinella septempunctata* adults on *Aphis craccivora*

捕食者性别 Predator sex	猎物密度 (头·盒 ⁻¹) Prey density (Ind.·box ⁻¹)	搜索时长 Searching duration/s	取食时长 Chewing duration/s
雄成虫 Male adult	40	42.20±9.44 a	55.33±14.27 ab
	60	30.01±11.57 ab	67.81±12.97 a
	80	35.84±8.49 ab	69.15±14.75 a
	100	10.77±2.32 bc	31.77±5.70 b
	120	2.53±0.40 c	23.77±7.03 b
雌成虫 Female adult	40	11.70±1.46 b	87.65±8.06 a
	60	37.09±8.22 a	75.36±16.00 ab
	80	48.86±14.04 a	63.09±10.54 ab
	100	26.65±2.06 ab	41.86±4.67 b
	120	2.47±0.37 b	71.71±12.65 ab

注：同列不同小写字母表示同一性别七星瓢虫在不同猎物密度下的捕食效率在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in predation efficiency of *Coccinella septempunctata* of the same sex under different prey densities at 0.05 level.

索时长随着猎物密度的增高呈下降趋势，其中豇豆蚜密度为 40 头·盒⁻¹时，与 100 头·盒⁻¹和 120 头·盒⁻¹密度时的搜索时长存在显著差异，豇豆蚜密度为 120 头·盒⁻¹时搜索时长最短；七星瓢虫雌成虫对豇豆蚜的搜索时长在豇豆蚜密度为 40 头·盒⁻¹和 80 头·盒⁻¹范围内呈增长趋势，豇豆蚜密度大于 80 头·盒⁻¹时则搜索时长逐渐缩短。不同豇豆蚜密度间七星瓢虫雄成虫的取食时长差异显著；不同豇豆蚜密度间七星瓢虫雌成虫的取食时长差异较大，其中豇豆蚜密度为 40 头·盒⁻¹和 100 头·盒⁻¹时，两者雌成虫的取食时长差异显著。

3 讨论与结论

我国多数蔬菜产区常年温湿度适宜，害虫无需越冬即可持续繁育，易出现世代重叠现象，导致种群数量快速上升，难以防治，因此化学农药被广泛使用，化学农药的局限性及其相关风险更凸显了对可持续害虫管理策略的需求^[33]。害虫的天敌控害手段可通过本土天敌保护保育以及外源天敌引种扩繁释放两种途径得到应用。截至目前，该技术已在全球多种作物种植体系中实现化学农药用量削减，甚至可完全替代化学农药^[9-10]。Holling II 型圆盘模型是评价捕食性天敌功能反应的常用模型^[34]。本试验结果表明，七星瓢虫各龄幼虫及雌成虫对豇豆蚜的捕食功能反应拟合结果均为

Holling II 型，七星瓢虫各龄幼虫和雌成虫均可高效地捕食豇豆蚜，其中七星瓢虫雌成虫对豇豆蚜的控害效能高达 212.761，拟合方程的日最大捕食量达 123.325 头；七星瓢虫 1 龄幼虫对豇豆蚜的控害效能仅为 20.917，日最大捕食量为 40.860 头，七星瓢虫雌成虫和 1 龄幼虫对豇豆蚜的日最大捕食量均大于七星瓢虫幼虫和成虫对豌豆修尾蚜^[17]和烟蚜 (*Myzus persicae*)^[35]的日最大捕食量，小于七星瓢虫成虫对核桃黑斑蚜 (*Chromaphis juglandicola*)^[36]的日最大捕食量，以上研究表明七星瓢虫日最大捕食量可能与猎物的种类、试验条件等有关。本研究中，七星瓢虫幼虫和雌成虫搜寻豇豆蚜的能力均随豇豆蚜密度的增高而逐渐降低，与七星瓢虫捕食烟蚜时的搜寻效应结果一致^[35]。

捕食性天敌昆虫搜寻与取食猎物时，个体之间往往会发生种内干扰效应^[37]。由本研究可知，七星瓢虫成虫在捕食豇豆蚜时存在比较强的种内干扰，且雌成虫种内干扰强度大于雄成虫。种内干扰是普遍存在于捕食性昆虫种群中的一种生态现象，其中猎物资源是种内干扰或竞争的主要原因，此外，种内自残、捕食空间也会对捕食者的取食行为和捕食量产生重要影响^[13,38]。通过种内干扰的相互影响，使天敌昆虫种群数量处于相对平衡状态。陈文书等^[30]探究异色瓢虫捕食栗斑蚜 (*Tuberculatus castanocallis*)、文嫣等^[17]研究七星瓢虫捕食豌豆修尾蚜的试验中，均发现捕食过程存在明显的种内干扰效应。因此，在野外释放七星瓢虫防治害虫时，不宜高密度集中释放，应多点、均匀释放，控制合理益害比，充分发挥天敌昆虫的捕食潜力。

七星瓢虫雌、雄成虫的捕食效率测定结果表明：猎物密度对七星瓢虫成虫取食豇豆蚜的时长影响较大；且雄成虫的取食时长普遍短于雌成虫，在 40 头·盒⁻¹密度下取食时长为 87.65 s。与文霞等^[18]研究的七星瓢虫取食核桃黑斑蚜平均耗时 37.30 s 存在较大差异。取食时长差异可能与猎物种类、捕食者自身状态等有关。本研究中当豇豆蚜密度增加到 120 头·盒⁻¹时，七星瓢虫雌、雄成虫对豇豆蚜的搜索时长分别仅为 2.47 s 和 2.53 s。

生产中，田间各类天敌昆虫常混合发生，捕食者之间的相互作用会干扰天敌昆虫的捕食功能反应^[34]。Liang 等^[39]研究发现，在猎物数量不足时，功能植物金盏菊的花可缓解瓢虫种内竞争带来的不

利影响。也有研究表明蛇床草(*Cnidium monnieri*)能够为天敌昆虫或授粉昆虫提供“助迁、繁育、桥梁、存储”的功能,进而有效控制害虫的发生危害^[40-42]。此外,当多种害虫在田间同时存在并共享天敌时,彼此间也可通过“表观竞争”或“表观互利”而相互影响。同时,Zhu等^[43]研究结果表明,即使猎物种群数存在差异,不同天敌昆虫仍会对不同猎物或猎物虫态表现出捕食偏好。刘思琪等^[36]研究也表明,异色瓢虫对核桃黑斑蚜的捕食能力强于七星瓢虫。因此,在田间使用七星瓢虫防治豇豆蚜时,还应综合考虑田间景观布局和昆虫群落生态体系。

综上所述,七星瓢虫雌成虫和4龄幼虫对豇豆蚜的捕食能力最强,是田间防控豇豆蚜的优势虫态,可作为该害虫生物防治的有效天敌资源。同时,七星瓢虫在猎物搜寻与捕食过程中受猎物密度及种内干扰效应的显著影响。在田间开展豇豆蚜天敌防控时,益害配比可在1:40~1:120间,同时合理调整涵养植物配置模式,以提升七星瓢虫的田间控蚜效能。

参考文献

- [1] 仵均祥,李照会,原国辉,等.农业昆虫学[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [2] 吴青兰,吴海峰.不同温度对豇豆蚜发育与繁殖的影响[J].热带农业科学,2019,39(11):40-43.
- [3] 陈鹏,王凤珍,李春成,等.以生命表技术评价异色瓢虫对豆蚜的控害潜能[J].吉林农业大学学报,2015,37(1):14-18.
- [4] Mofokeng M A, Gerrano A S. Efforts in breeding cowpea for aphid resistance: A review[J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 2021, 71(2): 1-9.
- [5] 陈燕羽,罗劲梅,李萍,等.我国豇豆病虫害绿色防控技术研究应用进展及对策建议[J].植物保护,2025,51(2):1-7.
- [6] 陈奕婷,梁晓,刘迎,等.豇豆的抗蚜性鉴定及抗蚜防御机制初探[J].园艺学报,2025,52(7):1926-1934.
- [7] Macwilliams J R, Dingwall S, Chesnais Q, et al. AcDCXR is a Cowpea aphid effector with putative roles in altering host immunity and physiology[J]. Frontiers in Plant Science, 2020(11): 605.
- [8] Pan S X, Yang Z K, Qu C, et al. Novel methyl salicylate derivatives containing nerol and citronellol moieties for improved *Acyrtosiphon pisum* management[J]. Pest Management Science, 2025, 82(3): 2708-2718.
- [9] 林威,肖正坤,高艳军,等.我国蔬菜害虫生物防治技术研究进展[J].应用昆虫学报,2025,62(5):1396-1416.
- [10] 陈学新,杜永均,黄健华,等.我国作物病虫害生物防治研究与应用最新进展[J].植物保护,2023,49(5):340-370.
- [11] 郭佩佩,帕提玛·乌木尔汗,任豪辉,等.释放不同益害比多异瓢虫对设施豇豆蚜的防效及定殖影响[J].中国生物防治学报,2022,38(2):312-320.
- [12] 朱雷冰,宋泽宇,蒋欣,等.七星瓢虫对胡萝卜微管蚜为害的蛇床及其挥发物的行为反应[J].生态学杂志,2025,44(6): 1761-1771.
- [13] 文霞.异色瓢虫与七星瓢虫的集团内捕食和种内自残及其对生长发育的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2024.
- [14] 游泳,赵建伟,汤保华,等.七种新烟碱类杀虫剂对七星瓢虫的毒性及风险评估[J].昆虫学报,2023,66(6):759-769.
- [15] 伍兴隆,余佳敏,刘国,等.高温处理对七星瓢虫生长发育及繁殖的影响[J].昆虫学报,2024,67(2):223-234.
- [16] 孔琳,李玉艳,王孟卿,等.七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价[J].中国生物防治学报,2019,35(5):715-720.
- [17] 文嫣,何恒果.七星瓢虫对豌豆修尾蚜的捕食功能研究[J].现代农业研究,2024,30(7):90-93.
- [18] 文霞,郭发城,高桂珍.七星瓢虫对核桃黑斑蚜捕食行为的初步研究[J].中国植保导刊,2024,44(2):9-12.
- [19] 刘超,罗怀海,伍兴隆,等.两种瓢虫对茶蚜的防治效果研究[J].湖北农业科学,2022,61(10):80-82.
- [20] 刘超,徐翔,肖科军,等.不同方式饲养的七星瓢虫对茶蚜捕食功能研究[J].茶叶学报,2021,62(3):150-155.
- [21] 徐继伟,肖志新,李丽,等.七星瓢虫和异色瓢虫对烟蚜及被寄生蚜的取食选择与气味反应[J].南方农业学报,2018,49(8): 1548-1554.
- [22] 刘东阳,伍兴隆,陈雨,等.不同种类花粉对七星瓢虫繁殖能力的影响[J].湖南农业科学,2022(11):60-64.
- [23] Cheng Y, Zhi J R, Li F L, et al. Improving the artificial diet for adult of seven spotted ladybird beetle *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) with orthogonal design[J]. Bulletin of Entomological Research, 2018, 108(3): 337-343.
- [24] 张培旭,何恒果,雷敏,等.不同剂型人工饲料对七星瓢虫成虫生物学特性的影响[J].中国生物防治学报,2024,40(1):27-32.
- [25] 刘挺,刘东阳,田水生,等.不同雌、雄比例及饲养密度对七星瓢虫产卵量及孵化率的影响[J].湖北农业科学,2023,62(7): 69-72.
- [26] 马润国,靳江华,袁菲,等.存储温度和时间对七星瓢虫、异色瓢虫和龟纹瓢虫卵孵化的影响[J].昆虫学报,2025,68(4): 509-514.
- [27] 汪加佳,李姝,杨亚洁,等.储藏植物系统田间应用关键参数对七星瓢虫种群定殖及控害的影响[J].环境昆虫学报,2024,46(6):1271-1278.
- [28] 伍兴隆.七星瓢虫和多异瓢虫对高温的适应性研究[D].新疆阿拉尔:塔里木大学,2024.
- [29] 陈俊华,李非凡,杜跃卿,等.蠋蝽对棉铃虫幼虫的捕食能力及捕食偏好[J].河南农业科学,2025,54(1):109-118.
- [30] 陈文书,梁一鸣,高朋,等.异色瓢虫对栗斑蚜的捕食作用[J].环境昆虫学报,2025,47(2):593-600.

- [31] Hassel M P, Varley G C. New induction population model for insect parasitism and its bearing on biological control[J]. *Nature*, 1969, 223: 1113-1137.
- [32] 罗春萍, 卢艳霞, 孙军伟, 等. 斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应[J]. *生物安全学报*, 2018, 27(4): 274-278.
- [33] Zhang S Q, Jin H F, Liu K Y, et al. Sustainable development of Hainan's melon and vegetable industry: New strategies for pest control[J]. *Tropical Plants*, 2025(4): e032.
- [34] 郭世保, 陈俊华, 张龙, 等. 蠋蝽对灰茶尺蠖幼虫的捕食能力及种内干扰反应[J]. *茶叶科学*, 2024, 44(4): 609-617.
- [35] 胡进锋, 林伟, 陈志厚, 等. 七星瓢虫与异色瓢虫对烟蚜的捕食功能反应及寻找效应[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(28): 151-153.
- [36] 刘思琪, 王强, 高桂珍. 异色瓢虫和七星瓢虫对核桃黑斑蚜捕食能力比较[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(17): 118-122.
- [37] 陈俊华, 尤伟晨, 徐孟飞, 等. 叉角厉蝽对棉铃虫幼虫的捕食能力及捕食效率分析[J]. *南方农业学报*, 2024, 55(12): 3507-3516.
- [38] 苏建伟, 盛承发, 杨星科. 叶色草蛉幼虫对棉蚜的捕食效应: 种内干扰和空间异质性[J]. *昆虫学报*, 2000, 43(1): 109-113.
- [39] Liang Y, Chen X, Dai H, et al. Flower provision reduces intraguild predation between predators and increases aphid biocontrol in tomato[J]. *Journal of Pest Science*, 2022, 95(1): 1-12.
- [40] Li Z, Chang C Y, Yuan Y Y, et al. Functional plant, *Cnidium monnieri*, facilitates the conservation and the biocontrol performance of natural enemies[J]. *The Innovation Geoscience*, 2023, 1(3): 100045.
- [41] Jiang X, Zhao L, Serger A, et al. Herbivore-induced plant volatiles (HIPVs) from companion plant could enhance predator recruitment and biocontrol of cereal aphids[J]. *Entomologia Generalis*, 2025, 45(4): 1067-1077.
- [42] Han G, Zhang X, Cai Z, et al. Flower strips enhance the abundance and biocontrol services of predatory arthropods in a pear orchard[J]. *Biological Control*, 2025(200): 105680.
- [43] Zhu A D, Liang X Q, Tang S Q, et al. Predation efficacy of *Neoseiulus bicaudus* on a prey mixture of *Frankliniella occidentalis* and *Tetranychus turkestani*[J]. *Biocontrol*, 2025(70): 475-486.