

# 异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食作用

王倩倩<sup>1</sup> 张卫光<sup>1</sup> 田恬<sup>1</sup> 王晓艺<sup>1</sup> 周成刚<sup>1,2</sup> 尹淑艳<sup>1,2\*</sup>

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省林业有害生物防控工程技术研究中心, 泰安 271018)

**摘要:** 为明确异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对雪松长足大蚜 *Cinara cedri* 的捕食能力, 采用捕食功能反应方法在室内测定了异色瓢虫各龄幼虫和成虫对雪松长足大蚜4龄若蚜的捕食功能反应、寻找效应、种内干扰效应及环境温度对其捕食能力的影响。结果显示: 异色瓢虫各龄幼虫和成虫对雪松长足大蚜若蚜的捕食功能反应类型均属于Holling II型, 成虫对雪松长足大蚜的捕食能力强于幼虫, 幼虫的捕食能力随虫龄的增大而增强, 1~4龄幼虫及成虫的日最大捕食量分别是11.41、41.32、61.73、140.85、188.68头; 异色瓢虫1~4龄幼虫及成虫对雪松长足大蚜4龄若蚜的寻找效应随猎物密度的增加而下降, 二者之间呈线性相关, 相关系数为0.9758~0.9993, 其中2龄幼虫的搜寻效应随猎物密度的增加, 下降趋势最大, 成虫则下降趋势最小; 异色瓢虫成虫的捕食受到较强的种内干扰, 在猎物密度和捕食空间一定的情况下, 单头日平均捕食量随其自身密度的增加而降低, 二者间关系符合模型  $A=58.8391x^{-0.3313}$ ; 异色瓢虫的捕食受环境温度影响明显, 在15~35℃范围内, 其成虫对雪松长足大蚜的捕食量先增加后减少, 25℃是异色瓢虫最适宜的捕食温度。表明异色瓢虫对雪松长足大蚜有很强的捕食能力, 尤其是成虫和高龄幼虫, 但应用时还需考虑温度因素的影响。

**关键词:** 异色瓢虫; 雪松长足大蚜; 捕食功能

## Predation of *Cinara cedri* by *Harmonia axyridis*

Wang Qianqian<sup>1</sup> Zhang Weiguang<sup>1</sup> Tian Tian<sup>1</sup> Wang Xiaoyi<sup>1</sup> Zhou Chenggang<sup>1,2</sup> Yin Shuyan<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China;

2. Engineering Research Center of Forest Pest Management of Shandong Province,

Tai'an 271018, Shandong Province, China)

**Abstract:** To identify the predation capability of *Harmonia axyridis* to *Cinara cedri*, the functional responses of *H. axyridis* at different developmental stages to the 4th-instar nymph of *C. cedri*, the searching effects, intraspecific interferences and the effects of environmental temperature on predation capability were explored in the laboratory using the predatory functional methods. The results showed that the predatory functional response of *H. axyridis* at different developmental stages were fitted to Holling II equation. The predation capability of *H. axyridis* adults on *C. cedri* was stronger than that of larvae. The predation capability of larvae increased with the age of larvae. The daily maximum predation amount of the 1st- to 4th-instar larvae and adults on *C. cedri* were 11.41, 41.32, 61.73, 140.85 and 188.68, respectively. The searching effects of 1st- to 4th-instar larvae and adults of *H. axyridis* on the 4th instar nymph of *C. cedri* decreased with the increase of the prey density. The relationship between the searching effect and the prey density was linear ( $r=0.9758-0.9993$ ). The downward trend of the searching effect of the 2nd-instar larvae with the increase of the prey density was the greatest but that of the adults was the

基金项目: 泰安市科技发展计划(201640576)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: shuyany@163.com

收稿日期: 2017-09-03

least. The predation of adults was strongly affected by intraspecific interference. Under the same conditions, where the prey density and prey space were constant, the average daily predation amount per ladybird beetle decreased with the increase of its density, and the relationship was in line with the model  $A=58.8391x^{-0.3313}$ . The predation of the ladybird beetle was significantly affected by the temperature. At the temperature range from 15°C to 35°C, the predation amount of the adults on *C. cedri* increased firstly and then decreased. The optimum temperature for predation was 25°C. It was indicated that *H. axyridis*, especially its adults and older larvae, had strong predation capability on *C. cedri*, while the temperature effect should be considered for the application.

**Key words:** *Harmonia axyridis*; *Cinara cedri*; predatory function

雪松 *Cedrus deodara* 树体高大、树形优美、四季常绿,具有较强的防尘、减噪与杀菌能力,是世界著名的观赏绿化树种。除了北方地区的东三省、内蒙古、新疆以及南方的广东、海南等省区,我国大部分地方都有广泛栽植。雪松长足大蚜 *Cinara cedri* 属半翅目大蚜亚科长足大蚜属,是我国2014年报道的新记录种(虞国跃和王合,2014)。这种蚜虫在春季和秋冬季发生量很大,聚集在雪松枝条上为害,分泌大量蜜露,污染雪松下层枝叶及其下面的地被植物和地面,严重时可导致雪松患煤污病,造成枯针、落针,影响雪松生长和绿化景观及市容市貌。目前,山东、河北、河南、山西、陕西等多个省均发现雪松长足大蚜为害雪松,发生严重时虫株率达100%。目前对雪松长足大蚜的防治以化学防治为主,但由于雪松大多栽植在城镇道路两侧或公园等人员较密集的地方,喷施药剂防治雪松长足大蚜不仅污染环境,还会影响人的健康。此外,在我国雪松长足大蚜是一种新暴发害虫,对其发生为害规律还不了解,盲目用药不仅效果不理想,而且还会因用药量和用药浓度的增加而加重对环境的污染,并容易使害虫产生抗药性。利用天敌生物来防治害虫则是一种安全、环境友好、可持续控害的防治措施,特别适用于城镇园林绿化植物病虫害的防治。

虞国跃和王合(2014)在北京市的调查发现,雪松长足大蚜的捕食性天敌有异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、丽草蛉 *Chrysopa formosa* 和一种食蚜蝇,其中异色瓢虫数量最多。本课题组在山东省泰安市的调查中也发现异色瓢虫是雪松长足大蚜的优势天敌。已有研究表明,异色瓢虫对云南云杉长足大蚜 *C. alba* (马艳芳等,2016)、桃蚜(烟蚜) *Myzus persicae* (李姝等,2014;李英梅等,2015;王媛等,2015)、胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei* (张晓曼等,2015)、豆蚜 *Aphis craccivora* (王甦等,2012;张文秋等,2014;

陈鹏等,2015)、豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* (杜军利等,2015)、绣线菊蚜 *Aphis citricol* (方寅昊等,2013)、槐蚜 *Aphis sophoricola* (梁洪柱等,2007)及落叶松大蚜 *Cinara* sp. (胡玉山等,1989)等多种蚜虫有较好的控害效果或控害潜能。而异色瓢虫对雪松长足大蚜的控害能力如何,目前尚未见相关研究报道。

雪松长足大蚜在我国是一种新记录种,对我国大部分雪松栽培区来说是一种外来种(虞国跃和王合,2014),为了明确异色瓢虫对该新记录外来蚜虫的捕食能力,本试验通过测定异色瓢虫各龄幼虫及成虫对雪松长足大蚜的捕食作用、寻找效应、种内干扰效应及环境温度对其捕食能力的影响,科学评价异色瓢虫对雪松长足大蚜的控害潜能,以期利用异色瓢虫防控雪松长足大蚜的可行性分析提供理论与试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试虫源:雪松长足大蚜各龄若蚜和成蚜及异色瓢虫成虫于2017年4—6月采自山东农业大学校园内的雪松上。将带有雪松长足大蚜的松枝剪下,带回室内,枝条基部用吸足水分的脱脂棉保湿,以防枝条失水引起蚜虫逃逸;异色瓢虫成虫置于直径为15 cm的培养皿中,于室温下饲喂采集的雪松长足大蚜(不区分虫龄),待成虫产卵孵化后,选取各龄幼虫及成虫,饥饿24 h后供试。

供试植物:1~2年生健康的、未被雪松长足大蚜为害的雪松枝条采自山东农业大学校园及周边的公园内,带回室内将稍部幼嫩部分剪掉,保留直径1 cm左右、长10 cm左右的枝段,枝段两端包裹浸水的脱脂棉保湿待用。

仪器:RTOP-380D智能人工气候箱,浙江托普仪器有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食功能反应

将1.1中准备的雪松枝段置于直径为15 cm的培养皿中,用小毛笔接入个体大小基本一致的雪松长足大蚜4龄若蚜,然后接入1头2日龄、饥饿24 h的异色瓢虫幼虫或成虫。蚜虫密度设5个处理,每个处理5次重复。异色瓢虫幼虫或成虫对雪松长足大蚜的捕食密度:1龄幼虫设置4、6、8、10、12头/皿蚜虫,2龄幼虫设置8、12、16、20、24头/皿蚜虫,3龄幼虫设置20、30、40、50、60头/皿蚜虫,4龄幼虫设置40、60、80、100、120头/皿蚜虫,成虫设置60、80、100、120、140头/皿蚜虫,置于温度为25℃、相对湿度为60%、光周期为L:D=16 h:8 h的人工气候箱中,24 h后统计各个培养皿中未被捕食的蚜虫数量和自然死亡的蚜虫数量,计算异色瓢虫的日捕食量。用所得数据以倒数法拟合Holling圆盘方程 $N_a = aTN/(1+aT_h N)$ (吴坤君等,2004),式中: $N_a$ 为被捕食的猎物数量; $a$ 为瞬时攻击率; $T$ 为捕食者总利用时间(本试验为1 d); $N$ 为猎物的初始密度; $T_h$ 为捕食1头猎物所需要花费的时间,即平均处理时间。 $1/T_h$ 即为最大日捕食量,瞬间攻击率 $a$ 和处理时间 $T_h$ 之比可衡量天敌对害虫的控制能力,用 $a/T_h$ 值来评价捕食能力, $a/T_h$ 越大,表明天敌对害虫的控制能力越强。

### 1.2.2 异色瓢虫对雪松长足大蚜的寻找效应

异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食反应符合Holling II型功能反应模型,利用拟合模型所得到的参数估算异色瓢虫各龄幼虫及成虫对雪松长足大蚜的寻找效应 $S$ , $S=a/(1+aT_h N)$ 。

### 1.2.3 异色瓢虫捕食的种内干扰效应

培养皿中接入200头雪松长足大蚜,方法同1.2.1,每个培养皿再按1、2、3、4、5头的密度接入饥饿24 h的异色瓢虫成虫,然后置于温度为25℃、相

对湿度为60%、光周期为L:D=16 h:8 h的人工气候箱中,24 h后统计各个培养皿中未被捕食的蚜虫数量和自然死亡的蚜虫数量,每个密度5次重复。数据用Watt(1959)的干扰与竞争模型 $A=QP^{-m}$ 模拟,式中: $A$ 为单头捕食者平均捕食量, $P$ 为捕食者密度, $m$ 为互相干扰系数, $Q$ 为 $P=1$ 头时的最大捕食量。

### 1.2.4 温度对异色瓢虫捕食功能的影响

培养皿中接入100头雪松长足大蚜和1头饥饿24 h的异色瓢虫成虫,方法同1.2.1,分别置于温度为15、20、25、30、35℃的人工气候箱内,光周期为L:D=16 h:8 h、相对湿度为60%,24 h后统计各培养皿中未被捕食的蚜虫数量和自然死亡的蚜虫数量,每个温度4次重复,分析温度对异色瓢虫捕食的影响。

## 1.3 数据分析

各模拟方程的理论值与实际值的卡方( $\chi^2$ )检验均应用SPSS 16.0软件进行统计分析,参数均采用最小二乘法估计,并利用Duncan氏新复极差法对异色瓢虫自身密度及温度对捕食量影响的数据进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食功能反应

异色瓢虫各龄幼虫和成虫对雪松长足大蚜的日捕食量随雪松长足大蚜密度的增大而增加,但增加的趋势呈负加速趋势,捕食功能反应均符合Holling II型,用最小二乘法拟合方程并得到各参数(表1)。方程的相关系数 $r=0.9758\sim 0.9993 > r_{(0.01,3)}=0.9587$ ,表明异色瓢虫的捕食量与雪松长足大蚜的密度极显著相关。用拟合方程计算得到的理论值与实测值进行卡方检验, $\chi^2=0.0461\sim 1.1487 < \chi^2_{(0.05,4)}=9.488$ ,表明理论值与实测值差异不显著,拟合的Holling II型圆盘方程能较好地描述试验数据。

表1 异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食功能反应

Table 1 Predation functional response of *Harmonia axyridis* to *Cinara cedri*

虫态 Insect stage	圆盘方程 Disk equation	相关系数 Correlation coefficient	$\chi^2$	瞬间攻击率	处理时间	日最大捕食量	捕食能力
				Instant attack rate $a$	Handling time $T_h$	Daily maximum predation amount $1/T_h$	Predation capacity $a/T_h$
1龄 1st instar larvae	$N_a=0.63N/(1+0.0876N)$	0.9814	0.3681	0.63	0.0876	11.41	7.19
2龄 2nd instar larvae	$N_a=0.90N/(1+0.0242N)$	0.9758	0.4317	0.90	0.0242	41.32	37.19
3龄 3rd instar larvae	$N_a=0.94N/(1+0.0162N)$	0.9993	0.0461	0.94	0.0162	61.73	58.02
4龄 4th instar larvae	$N_a=1.20N/(1+0.0070N)$	0.9991	1.1487	1.20	0.0070	140.85	169.01
成虫 Adult	$N_a=1.09N/(1+0.0053N)$	0.9983	0.4083	1.09	0.0053	188.68	205.66

$N_a$ : 被捕食的猎物数量;  $N$ : 猎物初始密度。  $N_a$ : Predation amount;  $N$ : prey initial density.

异色瓢虫幼虫随着虫龄的增大,对雪松长足大蚜的瞬间攻击率 $a$ 随之增大,处理时间 $T_h$ 随之缩短,日最大捕食量 $1/T_h$ 也依次增大,分别为11.41、41.32、61.73和140.85头。成虫的瞬间攻击率略小于4龄幼虫,处理时间短于4龄幼虫,日最大捕食量为188.68头,明显高于各龄幼虫。异色瓢虫各虫态对雪松长足大蚜的捕食能力,即 $a/T_h$ 值,依次为成虫>4龄幼虫>3龄幼虫>2龄幼虫>1龄幼虫。

2.2 异色瓢虫对雪松长足大蚜的寻找效应

在雪松长足大蚜不同密度处理中,异色瓢虫各龄期幼虫及成虫的寻找效应随着猎物密度的增加而降低(图1)。寻找效应与猎物密度之间的关系

呈线性相关,采用最小二乘法进行拟合,异色瓢虫1~4龄幼虫和成虫的寻找效应与猎物密度间的线性方程分别为 $y=0.0066x+0.5837$  ( $r=0.9228>r_{(0.05,3)}=0.8783$ )、 $y=-0.0069x+0.8512$  ( $r=0.9822>r_{(0.01,3)}=0.9587$ )、 $y=-0.0029x+0.8229$  ( $r=0.9838>r_{(0.01,3)}=0.9587$ )、 $y=-0.0022x+0.9956$  ( $r=0.9869>r_{(0.01,3)}=0.9587$ )、 $y=-0.0012x+0.9102$  ( $r=0.9448>r_{(0.05,3)}=0.8783$ )。异色瓢虫2龄幼虫的寻找效应随猎物密度增加而下降的趋势最大,成虫下降的趋势最小。在相同的猎物密度下,异色瓢虫成虫与4龄幼虫的寻找效应相近,2龄与3龄幼虫的寻找效应相近,都明显高于1龄幼虫的寻找效应。

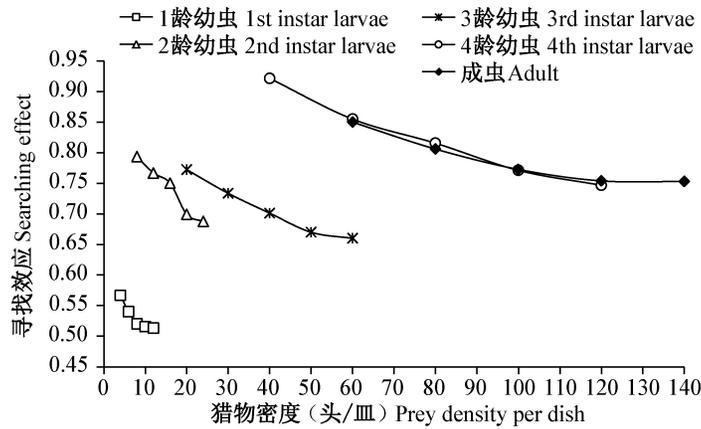


图1 异色瓢虫寻找效应与雪松长足大蚜密度的关系

Fig. 1 The relationships between searching effects of *Harmonia axyridis* and the density of *Cinara cedri*

2.3 异色瓢虫捕食的种内干扰效应

在雪松长足大蚜密度和捕食空间一定的情况下,异色瓢虫成虫对雪松长足大蚜的总捕食量随自身密度的增大而显著增大,但平均每头的捕食量显著下降(表2),说明异色瓢虫成虫在捕食雪松长足大蚜时,个体间存在相互干扰和竞争。用Watt干扰

与竞争模型模拟,所得模型为 $A=58.8391x^{-0.3313}$ ,相关系数 $r=0.9969>r_{(0.01,3)}=0.9587$ ,表明异色瓢虫成虫单头的日平均捕食量与其自身密度极显著相关。经卡方适合性检验得出 $\chi^2=1.0313<\chi^2_{(0.05,4)}=9.488$ ,表明理论值与实测值差异不显著,试验数据与模型的拟合性良好。

表2 异色瓢虫密度对其平均捕食量的影响

Table 2 Effects of the density of *Harmonia axyridis* on average predation amount

异色瓢虫密度 (头/皿) Density of <i>H. axyridis</i> per dish	总捕食量 Total predation amount	单头捕食量 Predation amount per <i>H. axyridis</i>
1	58.0±1.11 a	58.0±1.11 a
2	76.0±1.41 b	38.0±0.71 b
3	85.0±2.14 c	28.3±0.71 c
4	92.0±1.15 d	23.0±0.29 d
5	100.0±0.25 e	20.0±0.05 e

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at  $P<0.05$  level by Duncan's new multiple range test.

2.4 温度对异色瓢虫成虫捕食能力的影响

在15~35℃范围内,异色瓢虫成虫对雪松长足

大蚜的捕食量先增加后降低,在25℃时的捕食量最大,平均为50.5头,显著高于其余温度处理。当温度

过低或过高时均不利于异色瓢虫的捕食,在15℃和35℃下异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食量分别是23.0头和28.5头,显著低于25℃下对雪松长足大蚜的捕食量(图2)。

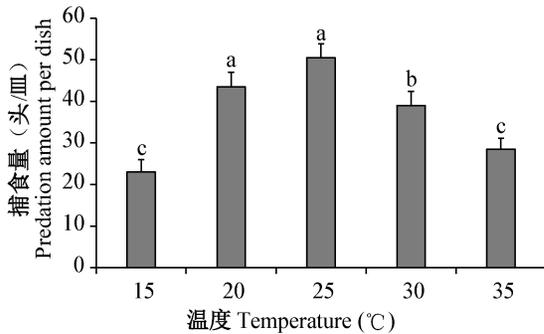


图2 温度对异色瓢虫捕食量的影响

Fig. 2 Effects of temperature on predation amount of *Harmonia axyridis*

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters indicate significant difference at  $P<0.05$  level by Duncan's new multiple range test.

### 3 讨论

本研究结果表明,异色瓢虫对雪松长足大蚜有很强的捕食能力,成虫的捕食能力强于幼虫,高龄幼虫的捕食能力强于低龄幼虫,1~4龄幼虫及成虫对雪松长足大蚜的日最大捕食量分别是11.41、41.32、61.73、140.85和188.68头。1头异色瓢虫4龄幼虫对云南云杉长足大蚜3龄若蚜的日最大捕食量为82.95头(马艳芳等,2016),而1头成虫对落叶松大蚜若蚜的日最大捕食量为132.85头(胡玉山等,1989),相比较而言,异色瓢虫对雪松长足大蚜的控制能力更强,对雪松长足大蚜的生物防治潜能更大。但是,捕食者对猎物的捕食功能反应受到如捕食者的生理状态、猎物的大小和密度、试验的环境条件等多种因素的影响,以上比较可能并不准确,但在一定程度上能够表明异色瓢虫对雪松长足大蚜具有很强的捕食能力。

异色瓢虫各龄幼虫及成虫对雪松长足大蚜的捕食功能反应类型均属于Holling II型,与其对多种蚜虫如云南云杉长足大蚜(马艳芳等,2016)、桃蚜(李英梅等,2015;王媛等,2015)、胡萝卜微管蚜(张晓曼等,2015)、豆蚜(王甦等,2012;张文秋等,2014;陈鹏等,2015)、绣线菊蚜(方寅昊等,2013)、槐蚜(梁洪柱等,2007)等和对其它种昆虫如枸杞木虱*Paratrioza*

*sinica*(巫鹏翔等,2017)的捕食功能反应类型相同,但不同于其对松大蚜的捕食功能反应类型(Holling III型)(胡玉山等,1989)。异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应属于Holling II型,不同于对松大蚜的捕食功能反应类型,推断这种差异可能与蚜虫体型大小有关。豆蚜体型较大(5 mm),在短时间内瓢虫就能补充足够能量,因此豆蚜数量越大,异色瓢虫的捕食效率就越小;松大蚜体型较小(3 mm),因此在一定蚜虫数量范围内,瓢虫捕食率随松大蚜密度的增加而增大,当蚜虫数量使得瓢虫的食量达到稳定时,其捕食效率开始下降(张文秋等,2014)。异色瓢虫对雪松长足大蚜、云南云杉长足大蚜、落叶松大蚜的捕食功能反应类型的异同是否与不同大蚜的体型有关尚需进一步研究验证。这3项研究中所用的大蚜均为若蚜且虫龄不同,而目前缺少关于这些大蚜的基础数据,因此对其捕食功能反应类型还有待进一步研究分析。

异色瓢虫各龄幼虫及成虫对雪松长足大蚜的寻找效应随着猎物密度的增加而降低,这种现象在捕食者与猎物及寄生者与寄主系统中是普遍存在的,如大草蛉*Chrysopa pallens*幼虫对烟粉虱*Bemisia tabaci*卵(王然等,2016)、广斧螳*Hierodula patellifera*若虫对荔枝蝽*Tessaratoma papillosa*若虫(王玉洁等,2015)、东亚小花蝽*Orius sauteri*对美洲棘蓟马*Echinothrips americanus*(朱亮等,2015)、短翅蚜小蜂*Aphelinus asychis*对桃蚜(王圣印等,2016)、加州新小绥螨*Neoseiulus californicus*对土耳其斯坦叶螨*Tetranychus turkestanii*(汪小东等,2014)的寻找效应均随猎物或寄主密度的增加而降低。

捕食者(寄生者)在一定的空间范围内,常常对邻近的其它同种个体存在着明显的反应,捕食者同种个体间的干扰常使其捕食效率下降(王利平等,2011)。异色瓢虫成虫对雪松长足大蚜的捕食亦受到较强的种内干扰,在蚜虫密度和捕食空间一定的情况下,异色瓢虫成虫单头日平均捕食量随其自身密度的增加而降低,二者间关系可以用模型 $A=58.8391x^{-0.3313}$ 拟合。因此,若人工释放异色瓢虫防治雪松长足大蚜时,还应进一步研究释放的益害比,即以最经济的投入达到最佳的控害效果。

温度对异色瓢虫成虫的捕食有明显影响。本研究结果表明,25℃是异色瓢虫捕食雪松长足大蚜的最适温度,这也是异色瓢虫生长繁殖的最适温度(陈洁等,2008)。雪松长足大蚜的耐寒能力较强,本课

题组在山东省泰安市的初步观察发现,雪松长足大蚜在每年的3—6月和10月—次年1月都有发生。根据温度对异色瓢虫生长繁殖及捕食的影响推测,异色瓢虫对早春和冬季发生的雪松长足大蚜的控制能力会变弱。据2013年11月份在北京市的调查发现,雪松长足大蚜的捕食性天敌中,异色瓢虫数量最多,但由于温度降低,捕食量减少,控制作用不明显(虞国跃和王合,2014)。因此,雪松长足大蚜耐低温生存的特性有可能成为利用异色瓢虫对其进行防治的一大瓶颈。

一般认为,由于共同的进化,本土捕食者可能更喜欢捕食本土猎物。异色瓢虫能捕食外来入侵害虫烟粉虱和西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*,但当二者与本土害虫棉蚜 *Aphis gossypii* 共存时,异色瓢虫虽然还捕食烟粉虱和西花蓟马,但捕食量下降(Zhang et al., 2016)。雪松长足大蚜对于我国大部分雪松栽培区来说是一种外来种(虞国跃和王合, 2014)。虽然在室内非选择条件下,异色瓢虫对雪松长足大蚜有很强的捕食能力,但当有其它本土猎物存在时,是否会影响异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食有待进一步研究分析。另外,室外自然条件比室内更为复杂,异色瓢虫在野外对雪松长足大蚜的捕食能力还需深入研究。

### 参 考 文 献 (References)

- Chen J, Qin QJ, Sun WY, He YZ. 2008. Influence of temperature on experimental populations of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Journal of Plant Protection*, 35(5): 405–409 (in Chinese) [陈洁, 秦秋菊, 孙文琰, 何运转. 2008. 温度对异色瓢虫实验种群的影响. *植物保护学报*, 35(5): 405–409]
- Chen P, Wang FZ, Li CC, Wang XM, Ruan CC. 2015. Control potential of *Harmonia axyridis* (Pallas) against *Aphis craccivora* (Koch) by life table technique. *Journal of Jilin Agricultural University*, 37(1): 14–19 (in Chinese) [陈鹏, 王凤珍, 李春成, 王秀梅, 阮长春. 2015. 以生命表技术评价异色瓢虫对豆蚜的控害潜能. *吉林农业大学学报*, 37(1): 14–19]
- Du JL, Wu DG, Liu CZ. 2015. Study on predation preference of *Harmonia axyridis* (Pallas) and *Adonia variegata* (Goeze) on red and green color morph pea aphids. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 23(1): 102–109 (in Chinese) [杜军利, 武德功, 刘长仲. 2015. 异色瓢虫和多异瓢虫对两种色型豌豆蚜的捕食偏好研究. *中国生态农业学报*, 23(1): 102–109]
- Fang YH, Tao M, Ma J, Cao KQ, Chen GH, Li Q. 2013. Study of the predation functional responses of *Leis axyridis* Pallas to *Aphis citricol* Vander Goot. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 28(3): 306–309 (in Chinese) [方寅昊, 陶玫, 马钧, 曹克强, 陈国华, 李强. 2013. 异色瓢虫对绣线菊蚜捕食功能研究. *云南农业大学学报*, 28(3): 306–309]
- Hu YS, Wang ZM, Ning CL, Pi ZQ, Gao CQ. 1989. The functional response of *Harmonia (Leis) axyridis* to their prey of *Cinara* sp. *Natural Enemy of Insects*, 11(4): 164–168 (in Chinese) [胡玉山, 王志明, 宁长林, 皮忠庆, 高长启. 1989. 异色瓢虫捕食落叶松大蚜功能反应研究. *昆虫天敌*, 11(4): 164–168]
- Li S, Wang S, Zhao J, Yang LW, Gao XW, Zhang F. 2014. Efficacy of multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) against green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on vegetables under greenhouse conditions. *Journal of Plant Protection*, 41(6): 699–704 (in Chinese) [李姝, 王甦, 赵静, 杨丽文, 高希武, 张帆. 2014. 释放异色瓢虫对北京温室甜椒和圆茄上桃蚜的控害效果. *植物保护学报*, 41(6): 699–704]
- Li YM, Tan Q, Zhang F, Hong B, Zhang SL, Chen ZJ. 2015. The predation functional response of *Harmonia axyridis* to *Myzus persicae* in greenhouse. *Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 1081–1084 (in Chinese) [李英梅, 谭巧, 张锋, 洪波, 张淑莲, 陈志杰. 2015. 异色瓢虫对设施栽培桃树桃蚜的捕食功能反应研究. *环境昆虫学报*, 37(5): 1081–1084]
- Liang HZ, Hu YJ, Chen Q, Hou ZR, Tian HP, Liang XM. 2007. Functional responses of *Harmonias axyridis* preying on *Aphis sophoricola*. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(S): 103–106 (in Chinese) [梁洪柱, 胡雅君, 陈倩, 侯峥嵘, 田会鹏, 梁晓梅. 2007. 异色瓢虫对槐蚜的捕食功能反应. *中国生物防治*, 23(S): 103–106]
- Ma YF, Zhang SL, Zhang YQ, Chang CX, Ma H, Zhu HY, Chen XL. 2016. Predatory efficiencies of the multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* larvae on the aphid *Cinara alba* nymphs. *Plant Protection*, 42(2): 104–108 (in Chinese) [马艳芳, 张山林, 张永强, 常承秀, 马慧, 朱惠英, 陈小玲. 2016. 异色瓢虫幼虫对云南云杉长足大蚜若虫的捕食效应. *植物保护*, 42(2): 104–108]
- Wang LP, Wang YM, Du JP, Zhang GA. 2011. Predation of *Amblyseius swirskii* on *Tetranychus cinnabarinus* nymphs. *Chinese Journal of Biological Control*, 27(2): 171–175 (in Chinese) [王利平, 王永模, 杜进平, 张国安. 2011. 斯氏钝绥螨对朱砂叶螨若虫的捕食作用. *中国生物防治学报*, 27(2): 171–175]
- Wang R, Wang S, Qu C, Li JH, Chen ZQ, Zhang F. 2016. The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 149–154 (in Chinese) [王然, 王甦, 渠成, 李济航, 陈支芹, 张帆. 2016. 大草蛉幼虫对不同寄主植物上烟粉虱卵的捕食功能反应与搜寻效应. *植物保护学报*, 43(1): 149–154]
- Wang S, Wu D, Zhang F, Liu CZ. 2012. A comparison of predatory function response in different search spaces of a French non-fly-ing form *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to

- Aphis carvines*. Journal of Environmental Entomology, 34(1): 80–87 (in Chinese) [王甦, 吴迪, 张帆, 刘长仲. 2012. 异色瓢虫法国种群对豆蚜的捕食效应. 环境昆虫学报, 34(1): 80–87]
- Wang SY, Niu YJ, Tang R, Liang NN, Liu TX. 2016. Feeding and parasitic functional responses of the parasitoid *Aphelinus asychis* Walker to green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer). Journal of Plant Protection, 43(2): 267–274 (in Chinese) [王圣印, 牛雨佳, 唐睿, 梁宁宇, 刘同先. 2016. 短翅蚜小蜂对桃蚜的取食和寄生功能反应. 植物保护学报, 43(2): 267–274]
- Wang XD, Liu F, Zhang JH, Yuan XP, Zhao YY. 2014. Predation of predatory mite *Neoseiulus californicus* on strawberry spider mite *Tetranychus turkestanii*. Journal of Plant Protection, 41(1): 19–24 (in Chinese) [汪小东, 刘峰, 张建华, 袁秀萍, 赵伊英. 2014. 加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食作用. 植物保护学报, 41(1): 19–24]
- Wang Y, Chen Y, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD. 2015. Study on preying potential of different stages of nymphs and adults of *Harmonia axyridis* Pallas on *Myzus persicae* (Sulzer). Journal of Environmental Entomology, 37(5): 1075–1080 (in Chinese) [王媛, 陈越, 张拯研, 曾嵘, 洗继东. 2015. 不同龄期异色瓢虫对烟蚜的捕食潜能研究. 环境昆虫学报, 37(5): 1075–1080]
- Wang YJ, Wu J, Zhao YN, Li RX, Zhao DX. 2015. Functional response and searching rate of giant Asian mantis *Hierodula patellifera* (Serville) nymphs to litchi stink bug *Tessaratoma papillosa* (Drury) nymphs. Journal of Plant Protection, 42(3): 310–315 (in Chinese) [王玉洁, 吴娇, 赵怡楠, 黎荣欣, 赵冬香. 2015. 广斧螳若虫对荔枝椿若虫的捕食功能反应与搜寻效应. 植物保护学报, 42(3): 310–315]
- Watt KE. 1959. A mathematical model for the effect of densities of attacked and attacking species on the number of attacked. Canadian Entomologist, 91: 129–144
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY. 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. Entomological Knowledge, 41(3): 267–269 (in Chinese) [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜. 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41(3): 267–269]
- Wu PX, Ma BX, Xu J, He J, Zhang R, Zhang RZ. 2017. Predation of *Poratrioza sinica* Yang & Li by *Harmonia axyridis* adults. Journal of Plant Protection, 44(4): 582–588 (in Chinese) [巫鹏翔, 马宝旭, 徐婧, 何嘉, 张蓉, 张润志. 2017. 异色瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用. 植物保护学报, 44(4): 582–588]
- Yu GY, Wang H. 2014. First record of *Cinara cedri* Mimeur (Hemiptera, Aphididae, Lachninae) on *Cedrus deodara* in Beijing, China. Journal of Environmental Entomology, 36(2): 260–264 (in Chinese) [虞国跃, 王合. 2014. 中国新记录种——雪松长足大蚜 *Cinara cedri* Mimeur. 环境昆虫学报, 36(2): 260–264]
- Zhang GF, Lövei GL, Wu X, Wan FH. 2016. Presence of native prey does not divert predation on exotic pests by *Harmonia axyridis* in its indigenous range. PLoS ONE, 11(7): e0159048
- Zhang WQ, Guo XH, Hou ZR, Wang L, Yin Z, Hao SD, Guo YY, Wang JZ, Zhang ZY. 2014. The predation functional response of *Harmonia axyridis* Pallas to *Aphis craccivora*. Journal of Environmental Entomology, 36(6): 965–970 (in Chinese) [张文秋, 郭喜红, 侯峥嵘, 王璐, 尹哲, 郝少东, 郭宇暘, 王进忠, 张志勇. 2014. 异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 36(6): 965–970]
- Zhang XM, Xi YM, Wang S, Luo C, Zhang F. 2015. Assessment of potential control of *Semiaphis heraclei* by *Harmonia axyridis*. Chinese Journal of Biological Control, 31(3): 317–321 (in Chinese) [张晓曼, 奚一名, 王甦, 罗晨, 张帆. 2015. 异色瓢虫对胡萝卜微管蚜防治潜能评价. 中国生物防治学报, 31(3): 317–321]
- Zhu L, Ge ZT, Gong YJ, Shi BC, Wang S, Wei SJ. 2015. Effects of temperature on predation of the thrips *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae) by the predatory bug *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae). Journal of Plant Protection, 42(2): 229–236 (in Chinese) [朱亮, 葛振泰, 宫亚军, 石宝才, 王甦, 魏书军. 2015. 温度对东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的影响. 植物保护学报, 42(2): 229–236]

(责任编辑:李美娟)