

DOI: 10.5846/stxb201303210473

王甦, 郭晓军, 张君明, 张帆. 异色瓢虫不同光环境下的交配行为. 生态学报, 2014, 34(24): 7428-7435.

Wang S, Guo X J, Zhang J M, Zhang F. Copulatory behavior of predacious ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) under different illuminative conditions. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(24): 7428-7435.

异色瓢虫不同光环境下的交配行为

王 甦, 郭晓军, 张君明, 张 帆*

(北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要:光照条件是影响昆虫生长发育及生理行为变化的重要环境因子之一。以重要的捕食性天敌异色瓢虫为研究对象,借助动物行为自动观察系统对其在不同光照强度、光周期和光波长下的交配行为及繁殖力进行了分析研究。结果显示:(1)异色瓢虫的各交配行为和繁殖能力在有光和黑暗处理间具有显著差异;(2)异色瓢虫的求偶行为不受光照强度变化的影响,而交配持续时间及交配间隔时间在高光照强度下均显著短于低光照强度。尽管异色瓢虫的累积产卵量在不同光照强度间未见显著性差异,但是其幼虫孵化率随光照强度的增强显著降低;(3)异色瓢虫在光照时间较长的条件下表现出较高的交配求偶欲望,交配持续时间及交配间隔时间随光照时间的延长而缩短,其累积产卵量和幼虫孵化率均随光照时间的延长而显著增加;(4)不同环境颜色对异色瓢虫的求偶行为没有显著影响,但是其交配持续时间及交配间隔时间随照射光波长的增加而显著降低,雌虫的累积产卵量和幼虫孵化率均在黄色(575 nm)和绿色(510 nm)条件下最高,且显著大于其它处理。结果表明异色瓢虫的交配受光照条件影响极为显著,为进一步深入研究异色瓢虫环境适应性及提升其在生物防治中大规模饲养中的扩繁效率提供了重要的理论依据。

关键词:求偶行为;繁殖力;光周期;光照强度;光波长

Copulatory behavior of predacious ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) under different illuminative conditions

WANG Su, GUO Xiaojun, ZHANG Junming, ZHANG Fan*

Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

Abstract: As one of the most important environmental factors, the light condition may influence the performance of development and physiological behavior in insect. The variation of light environment could induced many negative phenomenon, such as diapause, courtship inhibition and lower food consume. The intensive research on the light influences may promote the efficiency in massive rearing and population manipulation of the natural enemy. We focused on the key predacious natural enemy coccinellid *Harmonia axyridis*, which has been utilized as efficacious biological control agent to suppress various arthropod herbivores at present study to reveal the influences of light intensity, photoperiod and wavelength to the copulatory behavior and fertility by using an animal behavior automatic observation monitoring system. Totally 3 illuminative factors and 17 treatments, included light intensity (600 lx, 900 lx, 1200 lx, 1500 lx, 1800 lx 及 2100 lx), photoperiod (light: dark=0:24, 6:18, 12:12, 18:6 and 24:0), and light wavelength (violet (395 nm), blue (480 nm), green (510 nm), yellow (575 nm), orange (610 nm) and red (685 nm)) were set as different environment conditions respectively. By reviewing the video records, the results showed that: (1) There are significant differences of each copulatory behavior and fertility between light and dark conditions of *H. axyridis*; (2) the courtship behavior was not

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2013CB127605);公益性行业(农业)专项(2013030245, 201303108)

收稿日期:2013-03-21; **网络出版日期:**2014-03-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zf6131@263.net

influenced by light intensity but showed significant shorter in high intensity (in 1800 lx and 2100 lx) of copulation and interval duration than darker conditions (600 lx and 900 lx). We also did not find some significant influences by the variation of light intensity on pre-duration of mating. The offspring hatchability decreased with the increasing of light intensity although we did not find some differences of accumulation fecundity; (3) Long photoperiod and full day-light environment may enhance the courtship frequency. The ladybird couples showed significantly shorter pre-duration of mating in full-dark and short photoperiod conditions. The copulation and interval duration decreased with the prolonging of photoperiod but showed increasing in accumulated fecundity and offspring hatchability; (4) The light wavelength did not show significant influences to the courtship of male. Similarly, all couples in all colored conditions represented no different in pre-duration of mating. The mating duration and intervals duration decreased with the increasing of light wavelength. Both accumulative fecundity and larvae hatchability were showed significant highest in yellow (575 nm) and green (510 nm) conditions than rest colored treatments. The results of present study indicated the significant influences of light variation to the mating process in *H. axyridis* and it provided theoretical values for our continuous work on the environmental fitness and enhancement of plasticity adaption in biological control processes of *H. axyridis*. It indicated high illuminative intensity, long day-light photoperiod and in moderate colored (light wavelength) conditions could benefit the predacious ladybird *H. axyridis* in both massive rearing or in inoculative releasing via augmentative biological control application in greenhouse or other agroecosystem. Our study have provided the empirical witness of the value in light manipulation in insect conservation and augmentation system.

Key Words: courtship behavior; fertility; photoperiod; illumination intensity; light wavelength

昆虫的繁殖作为一种重要的生理活动,会受到诸如食物质量丰度、寄主环境的优劣以及温湿度等自然环境条件的显著影响,继而严重影响到昆虫种群的定殖、扩散及发展^[1]。大量研究表明,自然环境条件的变化不但会改变昆虫自身交配器官的发育、功能及其相关生理代谢途径,还会对昆虫的求偶以及交配行为产生影响^[2]。光环境作为自然环境条件中对生物体影响最为重要的可变因素之一,其对昆虫在生长发育、呼吸代谢、捕食能力等方面的影响已经为人们所关注^[3-5]。大量研究表明,光照强度、光周期、照射光波长以及植物表面的折射光等光环境因素,能够影响多种捕食性及寄生性天敌的生长发育以及繁殖能力^[6-9]。光周期及照射光波长会对赤星瓢虫 *Coelophora saucia* 生长发育及繁殖效率产生显著影响^[8]。光照强度的交替变化会诱导多种捕食性瓢虫进入繁殖滞育状态^[10]。较高的光照强度会显著提升丽蚜小蜂对温室白粉虱的寄生率^[11]。而我们前期的野外调研结果表明,利用异色瓢虫对特殊颜色的趋性差异,可以大幅提高野外越冬样本的采集效率^[12]。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属鞘翅目 (Coleoptera) 瓢虫科 (Coccinellidae), 是一种原产于

古北区南部及东洋区的捕食性瓢虫,能够取食同翅目蚜科、粉虱科、蓟马科以及木虱科的多种植食性昆虫,自 20 世纪初期开始被作为有效生物防治天敌而在世界范围内得到利用和推广^[13]。异色瓢虫具有极强的环境适应能力,其不同地理区域以及不同生境条件下均表现出优良的繁育定殖能力。异色瓢虫自身的交配行为及繁殖效率同样受自身表型特征,季节差异,种群密度等因素的影响^[14]。有证据表明,异色瓢虫在不同季节中的交配选择具有显著的交替性,并且可能与光环境变化有一定的关联。而这种随环境变化选型交配行为也显示着异色瓢虫自身对环境的高可塑性^[15]。

在常规光环境对昆虫行为影响的研究中,利用图像采集技术对昆虫行为进行记录再分析已经成为主要技术手段之一^[16-17]。但是常规的光环境处理具有一定的局限性,尤其是在弱光强和黑暗条件下图像采集会受到极大的影响,无法正常对研究对象的行为进行记录。因此如何解决黑暗条件下的昆虫行为研究已经成为行为学研究技术领域的一个瓶颈^[18]。本试验借助带有红外夜视图像采集功能的卡索动物行为研究系统 (Camsonar, CASO-L), 可以对昆虫在弱光以及黑暗条件下的行为进行实时监测

记录,继而完成对全部光环境变化下的昆虫交配行为的分析研究。因此,本文以不同光照强度、光周期以及照射光波长为处理,观察记录光环境因素对异色瓢虫交配行为及繁殖力的影响,通过量化分析其不同光环境下的几种行为参数,揭示异色瓢虫对光环境的感受差异,了解其在环境适应能力上的变化规律,为更加深入地开发利用以异色瓢虫为代表的捕食性瓢虫提供试验依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 异色瓢虫

采自北京市门头口区灵山自然保护区。在室内条件下(温度 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$,湿度 65%,光照强度 1500 lx 以及光照周期为 12 光:12 暗),将采回的异色瓢虫置于养虫笼内(铝合金+60 目纱网制,45.0 cm \times 45.0 cm \times 50.0 cm),每笼控制密度 50—80 头,以豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* 饲养,建立实验饲养群,扩繁

三代以上供试。

1.2 观察设备

采用卡索动物行为习性观察分析系统(CASO-L, Camsonar, London, UK; Camsonar, 2012)进行试验观察。该系统(图 1)共包括:人工气候室;光敏控制器;行为监测及图像采集系统;多波段 LED 光源系统;红外夜视图像采集器及其它功能扩充模块(如:外源气体输入等)。

操作方法:调节顶置动物行为图像采集系统,将焦点聚于样品盘中央(依照本试验样品活动区域,设置扩散范围半径为 15.0 cm),放置一个直径为 5 mm 的黑色滤纸片于样品盘中央,并调节图像采集色差及对比度,使其满足行为采集要求。设定样品盘转速为 1.5 r/min,设备预运行 1 h 后开始异色瓢虫交配行为观察研究工作。行为仪其它相关参数的设定如下各项研究具体内容设置。

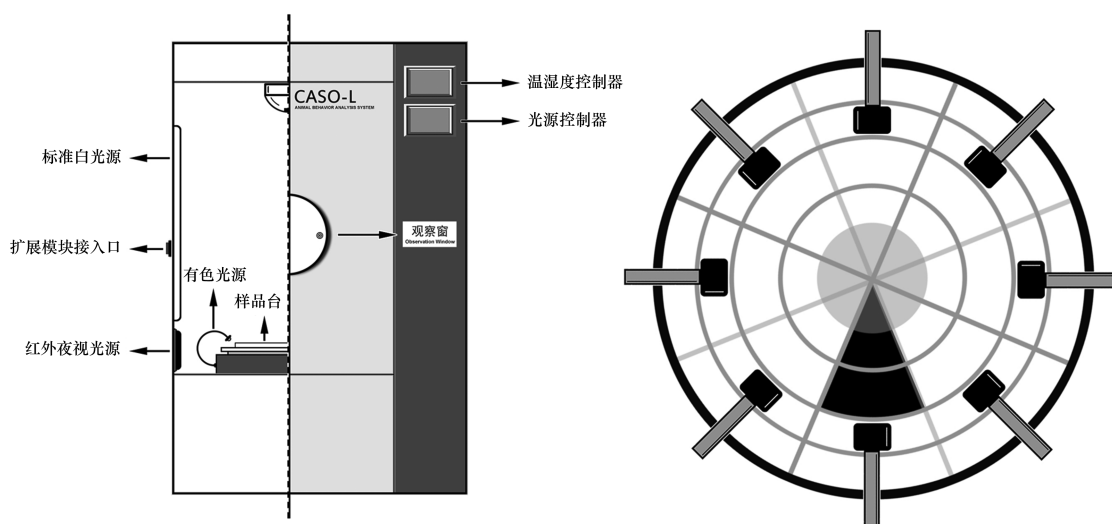


图 1 动物行为习性观察系统(Camsonar, CASO-L)及光波长试验载样盘结构示意图

Fig.1 The structural representation of animal behavior and habitus observation system (Camsonar, CASO-L) and sample plate was used in wavelengths lights experiment

1.3 光照及黑暗条件下异色瓢虫的交配行为

取羽化后 10 日龄未交配的黑底四窗型异色瓢虫雌雄虫 1 对,放于样品盘中央并罩以透明玻璃皿(直径 15.0 cm,高 1.0 cm),同时补充 100 头豌豆修尾蚜若虫作为猎物。至样本放入后开启行为图像采集系统,连续观察采集异色瓢虫的行为动态 24 h。当环境伺服箱光环境自光处理转换成暗处理时,手动开启红外夜视拍摄系统,对黑暗条件下的异色瓢虫交配行为进行采集记录。观察结束后,将雌成虫

置于塑料培养皿(直径为 9.0 cm)中继续饲养至产卵,记录 10 日内累计产卵量并统计子代 1 龄幼虫的孵化率。10 次重复。观察(环境伺服箱)环境条件同 1.1。

1.4 不同光照强度下异色瓢虫的交配行为研究

设置环境伺服箱光照强度分别为 600、900、1200、1500、1800 lx 及 2100 lx 6 个处理,其余均同 1.3。按 1.3 方法分别观察不同光照强度处理下的异色瓢虫交配行为。

1.5 不同光照周期下异色瓢虫的交配行为研究

设置环境伺服箱光照周期(光:暗)分别为为 0:24、6:18、12:12、18:6 及 24:0,其余环境条件、供试异色瓢虫处理与仪器操作使用同 1.3。连续观察采集异色瓢虫的行为动态 48 h,每处理重复 20 次,其它观察和试验方法同 1.3。

1.6 不同颜色(环境光波长)环境下异色瓢虫的交配行为研究

设定样品盘转速为 0。按照图 1-b 中所示,用铝条(高 1.5 cm)将样品盘按照不同颜色 LED 光源进行分隔。设定各 LED 光源的波长值为:紫色(395 nm),蓝色(480 nm),绿色(510 nm),黄色(575 nm),橙色(610 nm)及红色(685 nm)。分别将一对异色瓢虫(同 1.3)放置于各颜色光源试验区内,并将整个试验区罩于一透明的玻璃皿内(直径=40 cm,高 1.5 cm)。设置环境伺服箱为暗处理,开启各颜色 LED 光源,并手动开启红外夜视拍摄系统,对不同颜色条件下的异色瓢虫交配行为进行采集记录 24 h。其它试验观察同 1.3。

1.7 交配行为数据获得及统计分析

利用 Camsonar 行为视讯分析系统, Camsonar Image MP(CIMP 系统)1.0 对所得的各行为视频记录进行自动分析。各行为边际节点设置如下:1)求偶行为,设定接触距离为 1.2—2.0 mm,持续时间为 2.5—3.0 s;2)交配行为,设定接触距离为 0.1—0.5 mm,持续时间>120 s。CIMP 系统基于上述节点参

数,对视频记录中异色瓢虫的行为进行自动分类输出各项交配行为定量数据,包括:求偶次数;交配预备时间(交配开始时间-样品初次置入时间);交配持续时间(异色瓢虫分离时间-交配开始时间);交配间隔时间(上次交配结束时间-次回交配开始时间);本试验以统计分析软件 SPSS 20.0 (SPSS, 2011)对本试验种所得各项数据进行分析。以各光照条件处理为独立样本对各交配行为量化结果进行单因素方差分析,并以 LSD 多重比较对不同处理水平间的差异在 $P=0.05$ 水平下进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 光照及黑暗条件下异色瓢虫的交配行为

异色瓢虫在光照及黑暗条件下的交配行为量化比较结果参见表 1。经独立样本的 t 检验分析,雄虫的求偶次数在光照条件下显著多于黑暗条件($t=4.195$, $df=37$, $P<0.01$);雌雄虫的交配预备时间在光照和黑暗条件下均未表现出显著差异($t=1.700$, $df=37$, $P=0.097$);异色瓢虫在光照条件下的交配持续时间($t=-6.485$, $df=37$, $P<0.01$)与交配间隔时间($t=-4.102$, $df=37$, $P<0.01$)均显著短于黑暗条件。交配后的雌虫 10 日内累计产卵量不受光环境的影响(图 2, $t=-0.568$, $df=37$, $P<0.01$),而其一龄幼虫的孵化率在黑暗条件下显著大于光照条件(图 2, $t=-4.842$, $df=37$, $P<0.01$)。

表 1 光照及黑暗条件下异色瓢虫的交配行为量化观察结果*

Table 1 The quantificational observation results of *H. axyridis* copulation in light and dark environments

光环境 Luminous Environment	求偶次数 Courtship number	交配预备时间/min Pre-duration of mating	交配持续时间/min Mating duration	交配间隔时间/min Intervals between copulations
光照 Light	4.2±0.2	380.4 ± 10.5	81.2 ± 3.3	303.6 ± 16.9
黑暗 Dark	1.3 ± 0.1	343.2 ± 9.8	135.1 ± 7.8	410.3 ± 13.4

* 表中各项数据均为平均值±标准误

2.2 不同光照强度下异色瓢虫的交配行为

异色瓢虫雄虫的求偶次数($F=0.721$, $df=5,54$, $P=0.611$),以及雌雄虫交配前的预备时间($F=1.354$, $df=5,54$, $P=0.256$)长短均不受环境光照强度的影响;异色瓢虫在低光照强度下(600lx 和 900lx),其交配持续时间($F=11.163$, $df=5,54$, $P<0.01$)及交配间隔时间($F=4.109$, $df=5,54$, $P<$

0.01)均显著长于其它光照强度处理,而在 2100 lx 处理下的时间均为最短(表 2)。异色瓢虫雌成虫在不同光照强度处理间的 10 日内累计产卵量无显著差异(图 3, $F=0.117$, $df=5,54$, $P=0.988$),而 1 龄幼虫孵化率随光照强度的增加而显著降低(图 3, $F=6.261$, $df=5,54$, $P<0.01$)。

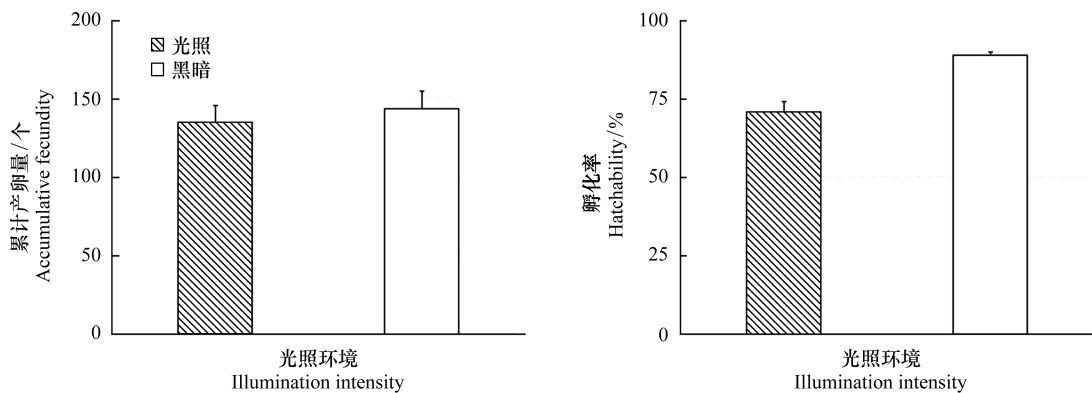


图2 光照及黑暗条件下异色瓢虫雌成虫的10日累计产卵量及1龄幼虫孵化率

Fig.2 The accumulative fecundity within 10 days and 1st instar larvae hatchability of *H. axyridis* female in light and dark environments

表2 不同光照强度下的异色瓢虫交配行为量化观察结果*

Table 2 The quantificational observation results of *H. axyridis* copulation in different illumination intensities

光照强度 lx Illumination Intensity	求偶次数 Courtship number	交配预备时间/min Pre-duration of mating	交配持续时间/min Mating duration	交配间隔时间/min Intervals between copulations
600	6.4 ± 0.6 a	367.8 ± 10.3 a	126.3 ± 6.2 a	395.8 ± 20.3 a
900	6.9 ± 0.6 a	371.4 ± 10.4 a	131.8 ± 4.6 a	382.4 ± 16.2 a
1200	6.3 ± 0.6 a	365.3 ± 20.2 a	97.2 ± 8.1 b	337.5 ± 15.7 b
1500	5.8 ± 0.8 a	403.1 ± 22.3 a	100.2 ± 9.1 b	334.9 ± 18.5 b
1800	5.5 ± 0.7 a	398.2 ± 22.1 a	84.0 ± 5.4 bc	339.6 ± 23.8 b
2100	5.4 ± 0.8 a	409.4 ± 11.5 a	74.2 ± 6.5 c	288.1 ± 18.1 c

* 同列数据后跟不同字母表示在 $P=0.05$ 水平下经 LSD 多重比较具有显著性差异

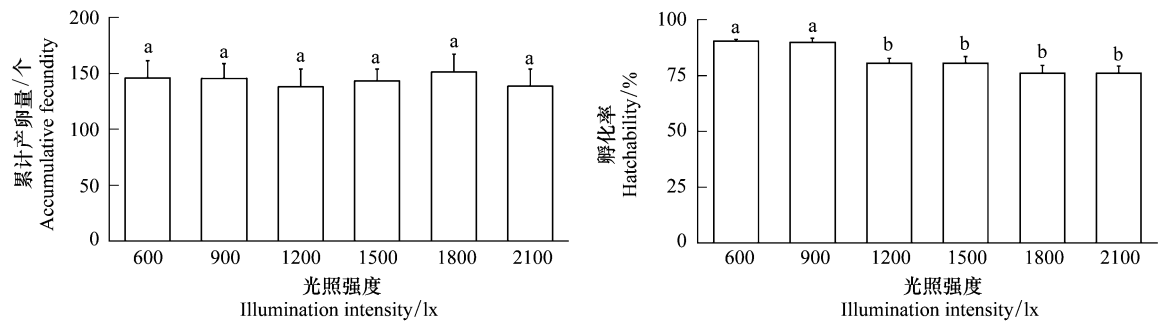


图3 不同光照强度条件下异色瓢虫雌成虫的10日累计产卵量及1龄幼虫孵化率

Fig.3 The accumulative fecundity within 10 days and 1st instar larvae hatchability of *H. axyridis* female in different illumination intensities

2.3 不同光周期下异色瓢虫的交配行为

异色瓢虫雄虫的求偶次数在各光周期处理间随光照时常的延长而显著增加(表3, $F=4.804$, $df=4$, $P<0.01$)。与之相反,异色瓢虫的交配预备时间($F=7.808$, $df=4$, $P<0.01$)、交配持续时间($F=11.295$, $df=4$, $P<0.01$)以及交配间隔时间($F=13.199$, $df=4$, $P<0.01$)均随着光照时常的延长而显著缩短(表3)。异色瓢虫在不同光周期下的的

产卵情况如图4所示。异色瓢虫在10日内的累计产卵量($F=10.815$, $df=4$, $P<0.01$)及1龄幼虫的孵化率($F=4.858$, $df=4$, $P<0.01$)均随光照时常的延长而显著增加。

2.4 不同颜色(环境光波长)环境下异色瓢虫的交配行为研究

与光照强度的影响相同,异色瓢虫雄虫的求偶次数($F=0.255$, $df=5$, $P=0.935$)和交配预备时

间 ($F=0.293$, $df=5,54$, $P=0.913$) 均不受环境颜色 (光波长) 的影响 (表 4)。异色瓢虫的交配持续时间受环境颜色影响显著 (表 4, $F=4.831$, $df=5,54$, $P<0.01$), 且其交配间隔时间随着光波长的增加而显著下降 (表 4, $F=3.346$, $df=5,54$, $P<0.01$)。异色

瓢虫雌虫在 10 日内的累计产卵量 ($F=9.577$, $df=5,54$, $P<0.01$) 及 1 龄幼虫孵化率 ($F=4.055$, $df=5,54$, $P<0.01$) 均在中间波长 (绿色 510 nm 和黄色 575 nm) 下最高, 且显著大于其它颜色处理 (图 5)。

表 3 不同光周期下的异色瓢虫交配行为量化观察结果*

Table 3 The quantificational observation results of *H. axyridis* copulation in different photoperiods

光周期 (L:D) Photoperiods	求偶次数 Courtship number	交配预备时间/min Pre-duration of mating	交配持续时间/min Mating duration	交配间隔时间/min Intervals between copulations
0:24	3.2±0.3b	410.7±14.1a	140.5±10.4a	335.2±10.5a
6:18	3.5±0.4b	419.5±17.1a	138.3±10.8a	355.5±10.9a
12:12	4.2±0.5ab	386.0±10.6ab	98.8±11.9b	346.7±16.1a
18:6	4.8±0.4a	353.6±11.7b	83.9±3.2b	298.2±13.7b
24:0	5.3±0.5a	319.1±19.1b	71.9±2.9b	242.6±10.7c

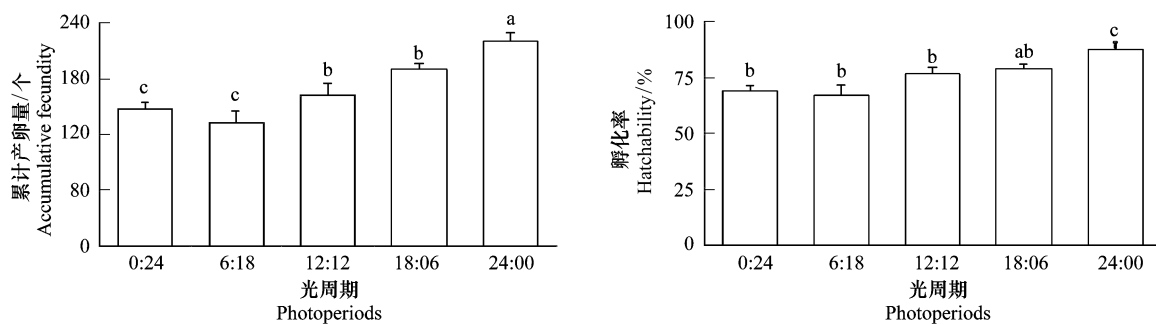


图 4 不同光周期条件下异色瓢虫雌成虫的 10 日累计产卵量及 1 龄幼虫孵化率

Fig.4 The accumulative fecundity within 10 days and 1st instar larvae hatchability of *H. axyridis* female in different photoperiods

表 4 不同波长光环境下的异色瓢虫交配行为量化观察结果*

Table 4 The quantificational observation results of *H. axyridis* copulation in environments under different wavelength lights

光波长 Light wavelength	求偶次数 Courtship number	交配预备时间/min Pre-duration of mating	交配持续时间/min Mating duration	交配间隔时间/min Intervals between copulations
395 nm(紫色,Purple)	3.2 ± 0.7 a	411.5 ± 13.3 a	123.9 ± 8.2 ab	370.4 ± 16.7 a
480 nm(蓝色,Blue)	3.0 ± 0.6 a	399.5 ± 6.7 a	115.3 ± 14.4 b	353.9 ± 18.7 a
510 nm(绿色,Green)	3.7 ± 0.4 a	385.5 ± 20.1a	153.8 ± 8.2 a	267.4 ± 19.8 b
575 nm(黄色,Yellow)	3.6 ± 0.3 a	410.4 ± 20.3 a	153.0 ± 9.9 a	280.9 ± 16.5 b
610 nm(橙色,Orange)	3.0 ± 0.7 a	407.5 ± 30.3 a	108.1 ± 11.3b	272.7 ± 11.5 b
685 nm(红色,Red)	3.2 ± 0.7 a	413.8 ± 19.2 a	81.2 ± 7.6 c	270.3 ± 12.9 b

3 讨论

昆虫具有独特的光感受器(复眼及单眼)结构, 因此其对光环境因素的变化具有极高的敏感性^[19-20]。昆虫往往通过对光环境细微的变化来了解栖境的适合度, 继而调节自身的生理代谢, 最终对整

个种群的发展规模及结构进行调节^[21-22]。

本研究发现异色瓢虫在光照和黑暗条件下的繁殖行为和繁殖效率具有显著差异, 说明异色瓢虫的净繁殖力受光环境影响显著。异色瓢虫在光照条件下表现更为活跃的状态(雄虫求偶次数较高, 拒绝交配的次数也显著增多), 这可能与有光条件下具有更

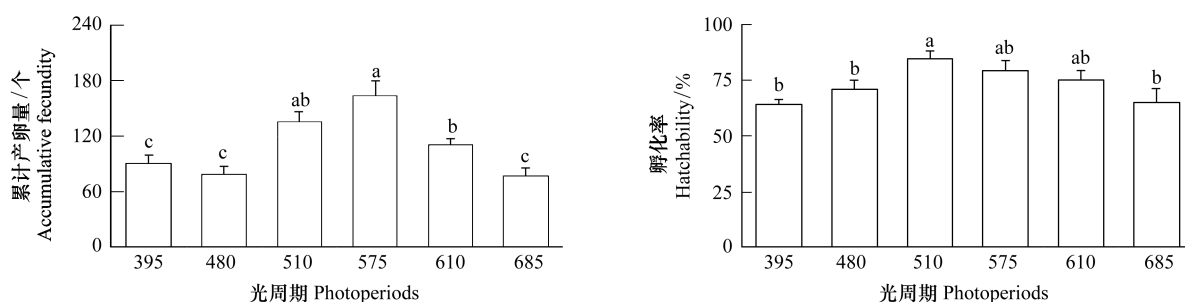


图5 不同颜色(光波长)条件下异色瓢虫雌成虫的10日累计产卵量及1龄幼虫孵化率

Fig.5 The accumulative fecundity within 10 days and 1st instar larvae hatchability of *H. axyridis* female in different colored (wavelength lights) environments

高的交配对象辨识度有关。有研究表明,瓢虫自身通过气味与视觉相结合的手段对行为对象,诸如猎物或交配对象定位;而在短距离搜索中主要依赖其视觉能力^[14]。昆虫的交配行为会导致其大量的体能消耗,并且迫使雌雄个体保持在低运动性状态,从而大幅增加了其被天敌攻击的概率^[23-24]。本研究中外色瓢虫在光照条件下趋向快速完结交配行为,可能是为了降低自身生存风险,而较短的交配间隔时间可能是为了弥补交配时间缩短的一种平衡策略。

较高的光照强度可以促进昆虫的生长发育并且提高雌雄虫间的交配欲望^[25-26]。本试验中,尽管外色瓢虫在高光照强度下表现出高交配频率,但未发现更为主动的交配趋性和较高的繁殖力水平,这可能与瓢虫交配中雌虫的二次选择有关。雌性个体会通过在精囊中储存精子,限制其与卵子的结合来调节产卵量和可孵化卵的比例^[14]。而光环对雌虫精卵结合调控的机制还有待于进一步研究探讨。

本试验中选择彼此契合度最差的异色瓢虫黑底+黑底雌雄组合^[15]进行观察。发现其在长光照条件下,雌虫的拒绝交配行为有所增加,而交配预备时间、交配持续时间及交配间隔时间等均显著短于短光照处理。但在长光照周期下最终产卵量和繁殖力也具有优势,说明异色瓢虫在长光照周期下的实际精子传输率维持在一个较高的水平,其雌虫对交配对象的二次选择接受度也随着光照周期的延长而显著增加,符合异色瓢虫的雌虫具有多次交配二次选择(选择不同来源雄精子与自身的卵子结合)的特点^[23]。

颜色条件作为重要的昆虫生理影响因素,一直为人们所关注。一直以来,人们利用昆虫对某些特

定波长照射光(或衍射光)的趋性,对鳞翅目昆虫或者某些植食性昆虫进行高效地诱捕工作,并且在其它天敌昆虫种质资源的采集和回收等方面发挥了重要的作用^[21,27-28]。由于不同昆虫物种间在复眼结构以及感光器官的构成上存在些许结构差别,因此导致昆虫视觉系统在光谱感知及成像上的差异^[29-30]。即便在同一类群中,不同物种之间的光波长感受能力仍然存在着一定的不同^[20]。瓢虫科物种间对不同颜色的感受趋性相似,红色环境条件可以显著抑制捕食性瓢虫的生长发育^[9]。在自然条件下,瓢虫喜好选择植物组织绿色或者黄色的柔嫩部分产卵,因为这些地方往往可以吸引植食性昆虫的聚集,进而为新孵化的子代提供优良的食物营养资源^[14]。本研究中,尽管不同颜色条件不影响雄虫的交配欲求,但是红色环境仍然会严重抑制异色瓢虫的交配活动频率。最终的产卵量和孵化率在不同处理之间的差异也显示异色瓢虫的繁殖能力适应性趋向于自然环境颜色条件(黄色和绿色)。

另外,试验所用的红外夜视系统,便于对黑暗条件下的昆虫行为习性进行了观察,在获得清晰准确的观察资料的同时,并未见此类成像系统物理环境对昆虫的生理行为产生影响。因此利用红外夜视系统可以有效的解决在昆虫夜习行为观察中的一系列限制因素,为进一步了解昆虫在不同时刻的行为变化规律提供了可能。

References:

- [1] Hanks L. M. Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annual Review of Entomology*, 1999, 44(1): 483-505.
- [2] Greenspan R. J. Courtship in *Drosophila*. *Annual Review of*

- Genetics, 34(1): 205-232.
- [3] Agrell J, McDonald E, Lindroth R. Effects of CO₂ and light on tree phytochemistry and insect performance. OIKOS, 2000, 88(2): 259-272.
- [4] Beck S D. Insect Photoperiodism. London: Academic Press Inc., 1968.
- [5] Chen X X, Yan H Y, Wei W, Qiao W N, Wei G S. Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Propylaea japonica* (Thunberg). Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2350-2355.
- [6] Goff A M, Nault L R. Response of the pea aphid parasite *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae) to Transmitted light. Environmental Entomology, 1984, 13(2): 595-598.
- [7] Malaquias J B, Ramalho F, Fernandes F, Nascimento Júnior J, Correia E, Zanuncio J. Effects of photoperiod on reproduction and longevity of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). Annals of the Entomological Society of America, 2010, 103(4): 603-610.
- [8] Omakr S P. Effects of different photoperiods and wavelengths of light on the life-history traits of an aphidophagous ladybird, *Coelophora saucia* (Mulsant). Journal of Applied Entomology, 2006, 130(1): 45-50.
- [9] Omkar G M, Singh K. Effects of different wavelengths of light on the life attributes of two aphidophagous ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae). European Journal of Entomology, 2005, 102(1): 33-37.
- [10] Danks H. Insect Dormancy: an Ecological Perspective. Ottawa: Biological Survey of Canada, 1987.
- [11] Zilahi-Balogh G M G, Shipp J L, Cloutier C, Brodeur J. Influence of light intensity, photoperiod, and temperature on the efficacy of two aphelinid parasitoids of the greenhouse whitefly. Environmental Entomology, 2006, 35(3): 581-589.
- [12] Wang S, Michaud J P, Tan X L, Zhang F, Guo X J. The aggregation behavior of *Harmonia axyridis* in its native range in Northeast China. BioControl, 2011, 56(2): 193-206.
- [13] Koch R L. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia Axyridis*; a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. Journal of Insect Science, 2003, 3: 32-40.
- [14] Hodek I. Biology of Coccinellidae. Prague: Academia, 1973.
- [15] Wang S, Michaud J P, Zhang R Z, Zhang F, Liu S. Seasonal cycles of assortative mating and reproductive behaviour in polymorphic populations of *Harmonia axyridis* in China. Ecological Entomology, 2009, 34(4): 483-494.
- [16] Belmaain S R, Simmonds M S J, Blaney W M. Behavioral responses of adult deathwatch beetles, *Xestobium rufovillosum* de Geer (Coleoptera: Anobiidae), to light and dark. Journal of Insect Behavior, 2000, 13(1): 15-26.
- [17] Lauder G V, Madden P G A. Advances in comparative physiology from high-speed imaging of animal and fluid motion. Annual review of Physiology, 2008, 70(1): 143-163.
- [18] Noldus L P J J, Spink A J, Tegelenbosch R A J. Computerised video tracking, movement analysis and behaviour recognition in insects. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 35(2-3): 201-227.
- [19] Abenes M L P, Khan Z R. Attractiveness of light color to selected predators of rice pests. International Rice Research Newsletter, 1990, 15(4): 24-25.
- [20] Briscoe A D, Chittka L. The evolution of color vision in insects. Annual Review of Entomology, 2001, 46(1): 471-510.
- [21] Hoback W W, Svatos T M, Spomer S M, Higley L G. Trap color and placement affects estimates of insect family-level abundance and diversity in a Nebraska salt marsh. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1999, 91(3): 393-402.
- [22] Shields E J. Locomotory activity of *Orius tristicolor* under various intensities of flickering and non-flickering light. Annals of Entomological Society of America, 1980, 73(1): 74-77.
- [23] Majerus M E N. Ladybirds. London: Harper Collins, 1994.
- [24] Wing S R. Cost of mating for female insects: risk of predation in *Photinus collustrans* (Coleoptera: Lampyridae). The American Naturalist, 1988, 131(1): 139-142.
- [25] Burks C, Brandl D, Higbee B. Effect of natural and artificial photoperiods and fluctuating temperature on age of first mating and mating frequency in the navel orangeworm, *Amyelois transitella*. Journal of Insect Science, 2011, 11: 48-48.
- [26] Gardner C, Maguire G B. Effect of photoperiod and light intensity on survival, development and cannibalism of larvae of the Australian giant crab *Pseudocarcinus gigas* (Lamarck). Aquaculture, 1998, 165(1-2): 51-63.
- [27] Pawson S M, Watt M S, Brockerhoff E G. Using differential responses to light spectra as a monitoring and control tool for *Arhopalus ferus* (Coleoptera: Cerambycidae) and other exotic wood-boring pests. Journal of Economic Entomology, 2009, 102(1): 79-85.
- [28] van Langevelde F, Ettema J A, Donners M, WallisDeVries M F, Groenendijk D. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. Biological Conservation, 2011, 144(9): 2274-2281.
- [29] Friedrich M, Rambold I, Melzer R. The early stages of ommatidial development in the flour beetle *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). Development Genes and Evolution, 1996, 206(2): 136-146.
- [30] Hämmerle B, Kolb G. Retinal ultrastructure of the dorsal eye region of *Pararge aegeria* (Linné) (Lepidoptera: Satyridae). International Journal of Insect Morphology and Embryology, 1996, 25(3): 305-315.

参考文献:

- [5] 陈晓霞, 闫海燕, 魏玮, 乔玮娜, 魏国树. 光谱和光强度对龟纹瓢虫成虫趋光行为的影响. 生态学报, 2009, 29(5): 2350-2355.