

环境颜色对异色瓢虫生长发育及繁殖能力的影响

王^{1,2}, 刘爽^{1,3}, 张帆^{1,*}, 张润志²

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097; 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100101;

3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 在室内利用不同颜色的饲养容器, 对异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 生长发育、体长体重变化及繁殖能力进行了比较研究。结果显示: 不同环境颜色条件对异色瓢虫幼虫各龄历期均有显著影响; 尽管蛹期受不同颜色影响显著, 但其总胚后发育期在各处理间差异不显著。异色瓢虫 1 龄和 2 龄幼虫体长增量在不同颜色处理间无显著差异, 但 3 龄幼虫在红色条件下体长增量显著小于其余各处理。不同环境颜色条件下异色瓢虫各虫期体重增量均有显著差异, 而 4 龄幼虫体重增量在各处理中均显著大于其余各虫期, 并占总胚后发育期体重增量的 50% 以上。异色瓢虫成虫的交配持续时间在各处理间无显著差异, 但其产卵前期在黄色及绿色条件下显著小于其余各处理。其首堆产卵量在各处理间无显著差异, 但在红色及自然光下的 48 h 累计产卵量均显著小于其余处理。

关键词: 异色瓢虫; 环境颜色; 生长发育; 体长; 体重; 产卵前期; 繁殖力

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2008)12-1320-07

Effects of environment color on developmental characteristics and reproduction capability of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae)

WANG Su^{1,2}, LIU Shuang^{1,3}, ZHANG Fan^{1,*}, ZHANG Run-Zhi² (1. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Institute of Plant and Environment Protection, Beijing 100097, China; 2. Chinese Academy of Sciences, Institute of Zoology, Beijing 100101, China; 3. Chinese Academy of Sciences, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: In laboratory conditions, the effects of environment color on development, variation of body length and weight gain, and reproduction capability of *Harmonia axyridis* (Pallas) were investigated through rearing the beetle with differently colored containers. The results showed significant effects of different environment colors on the developmental duration of *H. axyridis* larvae in each instar. The total duration of postovarian development, however, was not significantly different among different color treatments although the effect of environment color on the pupal duration was significant. The different color treatments showed no significant effects on body length increase in 1st and 2nd instar, but the body length increase in 3rd instar in red color treatment was significantly less than in other color treatments. We also found significant effect of environment color on body weight gain. Especially, the weight gain in 4th instar was significantly greater than in other instars in each colored treatment and accounted for over 50% weight gain in the duration of total postovarian development. Although the mating duration of *H. axyridis* was not significantly different among different color treatments, the pre-oviposition duration was significantly shorter in yellow and green treatments than in other treatments. In addition, the observation results of fecundity showed that the accumulated amount of eggs in 48 h was significantly less in red and natural light treatments than in other treatments.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB102005); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-N-42-04); 国家科技支撑计划重点项目《区域农业生态系统害虫生物防治关键技术》项目

作者简介: 王, 男, 1978年12月生, 北京市人, 博士研究生, 从事异色瓢虫生物生理学方向研究, E-mail: oasis@ioz.ac.cn

通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zf6131@263.net

收稿日期 Received: 2008-07-14; 接收日期 Accepted: 2008-11-06

Key words: *Harmonia axyridis*; environment color; development; body length; body weight; pre-oviposition duration; fecundity

捕食性瓢虫作为优秀的生物防治天敌在现代农业生产中发挥着重要作用。在近 100 多年的应用过程中, 捕食性瓢虫已经广泛分布于世界各主要农业产区, 并且在当地发挥了极为显著的控害作用 (Vincent *et al.*, 2007)。近年来, 随着天敌瓢虫开发应用的不断深入, 研究人员开始关注于瓢虫科物种生物学、生理学以及种群变化等方面的研究。其中, 伴随生物防治商业化应用程度的提高, 关于捕食性瓢虫生长发育、种群大规模繁殖以及应用安全性等方面的研究正在成为新的研究热点。

对于捕食性瓢虫来说, 环境温度 (Omkar and Pervez, 2002) 以及猎物种类 (Obrycki and Orr, 1990; Omkar and James, 2004) 会对其生长发育产生显著影响。此外, 光环境变化也是影响瓢虫生长发育的重要因素之一。有研究表明, 环境光周期变化会对瓢虫生长发育和繁殖活动产生显著影响 (Omkar and Pathak, 2006)。同样, 环境光照强度也可以影响瓢虫幼虫的生长发育以及成虫的交配繁殖活动 (Hodek and Honek, 1996)。相对于上述光环境影响因素, 尽管环境颜色条件 (环境光波长) 对于昆虫生长发育及生理活动影响显著 (Nilsson, 1989; Stavenga, 2002), 但是目前其对瓢虫科物种相关方面的研究却十分缺乏。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas), 属鞘翅目瓢虫科, 是世界范围内应用最广的捕食性天敌之一 (Koch, 2003)。自上世纪初在北美首次应用以来, 其在全球范围内迅速扩散 (王 等, 2007), 并表现出对环境变化的非凡适应性 (Gordon, 1985; Majerus *et al.*, 2006)。近年来, 随着无公害绿色农业的迅速发展, 如何进行商业化大规模人工饲养异色瓢虫已经成为现代生物防治领域的前沿课题。通过开发优良的人工饲料配方, 改良适宜的人工饲养条件进而提高异色瓢虫在可控条件下的产能和品质, 一直是生防工作者努力的方向 (杨洪等, 2003)。

尽管国内外学者针对瓢虫人工饲养的理化条件进行了大量研究 (Hodek and Honek, 1996), 但对光环境, 尤其是环境颜色对人工饲养产能效率影响的研究却鲜有报道。本实验通过观察比较不同环境颜色条件 (不同环境光波长) 对异色瓢虫各生物学、生理学参数的变化趋势, 研究不同颜色条件对其生长发育以及繁殖活动的影响, 以期改良人工饲养异色

瓢虫的环境条件提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

本实验所用异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 于 2007 年 4 月间采集于北京市平谷区山东庄设施桃园内, 共采集雌成虫 105 头, 雄成虫 223 头。将所采集活体瓢虫转移至北京市农林科学院植物保护环境保护研究所的昆虫繁育室内定殖 (室内环境条件控制为: 温度 25℃, RH 70%, 光照周期 16L: 8D, 光照强度 3 000 lx)。以蚕豆苗饲养的豆蚜 *Aphis caroua* Koch 为食物, 于养虫笼 (45.0 cm × 55.0 cm × 68.0 cm, 铝合金及 120 目塑料纤维纱网制) 内扩繁 2 代供试。

1.2 实验方法

1.2.1 不同颜色环境对异色瓢虫发育历期的影响: 将新羽化的异色瓢虫成虫饲养至性成熟 (≥ 15 日龄) 后移入含有充足食物蚜虫的玻璃养虫笼 (30.0 cm × 45.0 cm × 55.0 cm) 中集中喂养。在笼中摆放白纸条 (10.0 cm × 3.5 cm) 若干作为产卵基质。待交配过的雌成虫在纸条上产卵后, 将所产的新鲜卵立即移入洁净的一次性塑料制培养皿 ($\phi = 4.5$ cm, 下同) 中, 并将当时时间记录为卵期起始时间。皿口覆以封口膜, 并用解剖针扎取通气口若干。将含有样本卵的培养皿置于带有颜色的塑料容器 (40.0 cm × 45.0 cm × 75.0 cm) 中 (按照不同处理设置为红色、黄色、绿色及蓝色, 以自然光为对照)。各容器颜色波长范围经 ZDS-10 型全自动量程照度计测定分别为红色 675.3 nm, 黄色 614.8 nm, 绿色 588.7 nm, 蓝色 478.1 nm。然后将样本放入 Sanyo MH-350 人工气候箱中 (温度 25℃, 相对湿度 75%, 光照周期 16L: 8D, 光照强度 = 3 000 lx), 每隔 2 h 观察一次, 记录各龄期的发育起止时间。

待发现有 1 龄幼虫孵化后, 立即将新孵化的幼虫移入另一含有充足食物的一次性塑料培养皿中 (1 头/皿), 并记录当前时间为 1 龄幼虫起始时间。而后同样每隔 2 h 观察一次, 并且每隔 24 h 更新食物一次。待每次蜕皮完成后, 同样记录该时间为该龄期开始时间。当异色瓢虫幼虫进入 4 龄末期并化蛹后, 记录蛹期开始时间。当成虫从蛹体内羽化时, 记

录羽化开始时间。每处理 8 头试虫, 重复 5 次。

1.2.2 不同环境颜色对异色瓢虫体长体重增量的影响: 取性成熟的异色瓢虫成虫, 实验处理及条件同 2.2.1。在异色瓢虫发育过程中记录每一龄期起始及蜕皮(化蛹)时的体长(解剖镜 Nikon 5600 下测量, 单位: mm) 及体重(Casio 电子天平测量, 单位: mg)。待实验结束后根据观察数据计算各龄历期(后一虫期开始时间-前一虫期开始时间), 卵期(1 龄幼虫开始时间-卵期开始时间)及各虫期体重增量(后一虫期体重-前一虫期体重)及各虫期体长增量(后一虫期体长-前一虫期体长)。每处理 8 头试虫, 重复 5 次。

1.2.3 不同环境颜色对异色瓢虫繁殖能力的影响: 将同日龄新羽化成虫(记录羽化时间)按照唇基前端颜色(黑色为雄虫, 白色为雌虫)划分雌雄后分别隔离饲养至小型塑料养虫盒(20.0 cm × 25.0 cm × 35.0 cm)中, 每盒 10 头集中喂养。待其发育至性成熟(≥ 15 日龄)后, 取上述未交配雌雄虫各一只放入洁净的一次性培养皿中。皿口覆以封口膜, 并用解剖针扎取通气口若干。后同 2.2.1 试验处理条件。每 10 min 观察一次, 至雌雄虫开始交配时记录为交配开始时间。而后每 30 min 观察一次, 至交配结束(雌雄虫生殖器完全分离)记录为交配结束时间。然后立即将皿中雄虫移出, 继续在相同环境条件下饲养已交配雌虫至开始产卵, 记录为产卵开始时间, 并记录首堆产卵量。24 h 补充一次食物, 至首次产卵后 48 h, 记录此过程中的累积产卵量。每处理 8 头试虫, 重复 5 次。

计算不同处理异色瓢虫交配持续时间、产卵前期(产卵时刻-成虫羽化时刻)、首批产卵量及 48 h

内累积产卵量。

1.3 数据分析

利用统计软件对各观察内容所得观测值进行统计分析, 获得各观察内容的平均值及标准误。并以不同环境颜色处理为独立变量, 对上述各观察内容在不同处理间的差异进行单因素方差分析(ANOVA)。本实验所作各项统计分析均利用统计软件 SPSS 15.0 完成。

2 结果与分析

2.1 不同环境颜色下异色瓢虫的发育历期

如表 1 所示, 同一虫期在不同环境颜色条件下的发育历期差异显著($F_1 = 79.361, P < 0.01$; $F_2 = 13.468, P < 0.01$; $F_3 = 10.053, P < 0.01$; $F_4 = 11.323, df = 4, P < 0.01$; $F_5 = 1.761, P = 0.015$; $F_6 = 30.603, df = 4, P < 0.01$)。异色瓢虫在绿色及蓝色条件下其卵期间无显著差异, 但显著大于其他各颜色处理; 1 龄幼虫发育历期在自然光条件下最长, 且显著长于其余各处理; 2 龄及 3 龄幼虫在自然光处理下历期最长。2 龄幼虫在黄色及自然光处理下的发育历期无显著差异, 且显著大于其余各处理, 而红色处理下的 2 龄幼虫历期显著小于其余各处理。3 龄幼虫在蓝色处理下的发育历期与自然光处理无显著差异且显著的大于其余各处理(此 3 处理间无显著差异)。4 龄幼虫在黄色处理下的发育历期显著小于其余各处理, 而余下的 4 处理间均无显著差异。在本实验中, 异色瓢虫蛹期均大于 4 d 且在绿色及红色处理条件下显著大于其余各处理(绿红两处理间无差异)。

表 1 不同环境颜色条件下异色瓢虫各发育阶段历期

Table 1 The comparison of the developmental duration of different stages in environments of different color

发育阶段 Developmental stage	发育历期 (d) Developmental duration				
	绿色 Green (588.7 nm)	黄色 Yellow (614.8 nm)	红色 Red (675.3 nm)	蓝色 Blue (478.1 nm)	自然光(对照) Natural light (control)
卵期 Egg	2.74 ± 0.06 a	2.19 ± 0.06 c	2.58 ± 0.02 b	2.86 ± 0.04 a	2.24 ± 0.04 c
1 龄幼虫 1st instar	1.71 ± 0.04 c	1.83 ± 0.06 b	1.68 ± 0.04 c	1.92 ± 0.06 b	2.12 ± 0.04 a
2 龄幼虫 2nd instar	1.34 ± 0.05 b	1.45 ± 0.02 1	1.25 ± 0.01 c	1.38 ± 0.02 b	1.47 ± 0.02 a
3 龄幼虫 3rd instar	1.65 ± 0.04 b	1.59 ± 0.02 b	1.59 ± 0.03 b	1.76 ± 0.04 a	1.85 ± 0.02 a
4 龄幼虫 4th instar	4.27 ± 0.30 a	3.81 ± 0.10 b	3.89 ± 0.07 a	4.12 ± 0.08 a	3.90 ± 0.07 a
蛹期 Pupa	4.50 ± 0.02 a	4.43 ± 0.03 b	4.55 ± 0.02 a	4.26 ± 0.02 c	4.29 ± 0.03 c

表中各数据均为平均值 ± 标准误。同行内标记相同小写字母表示其在 0.05 水平下无显著差异。The data in the present table are mean ± SE. The data in same line followed with same lowercase letter means no significant differences at 0.05 level.

异色瓢虫在不同环境颜色条件下的总幼虫历期及总发育历期变化如图 1 所示。异色瓢虫总幼虫期均在 8 d 以上且受不同颜色环境条件影响显著 ($F = 6.48, P < 0.001$), 但其胚后发育期在各处理间无显著差异 ($F = 1.298, P = 0.282$), 均大于 15 d。

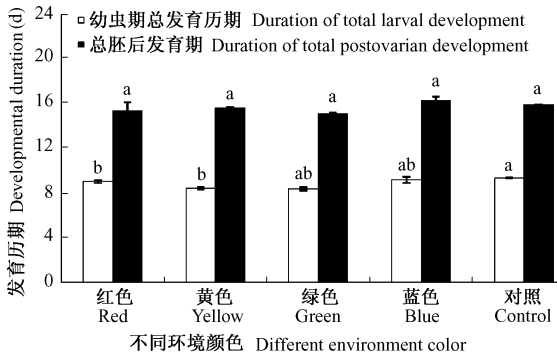


图 1 不同环境颜色条件下异色瓢虫总幼虫期及胚后发育期比较

Fig. 1 The comparison of duration of total larval development and postovarian development of *Hamonia axyridis* in environments of different color

同一色系柱顶所标字母相同者, 表示其在 0.05 水平下无显著差异, 下同。The same letter at the top of columns in same identical style means no significant differences at 0.05 level. The same below.

3.2 异色瓢虫幼虫在不同环境颜色条件下的体长增量

3.2.1 异色瓢虫同一幼虫发育阶段在不同环境颜色条件下的体长变化: 本实验分别对异色瓢虫 1~3 龄幼虫在不同颜色环境下的体长变化趋势进行了观察研究, 其结果如表 2 所示。除 3 龄幼虫体长增量在各颜色环境处理间有显著差异外 ($F = 9.707, P < 0.001$), 1 龄及 2 龄幼虫在各处理间的体长增量均

表 2 异色瓢虫各幼虫发育阶段在不同环境颜色条件下的体长变化比较

Table 2 The comparison of body length variation of each developmental stage of *Hamonia axyridis* larvae in environments of different color

环境颜色 Environmental color	各发育阶段内体长净增量 (mm) Net increase of body length of each developmental stage		
	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar
	绿色 Green	1.54 ± 0.12 a**	1.72 ± 0.10 a**
黄色 Yellow	1.81 ± 0.13 a*	1.57 ± 0.13 a*	2.04 ± 0.20 b*
红色 Red	1.69 ± 0.15 a*	1.48 ± 0.11 a*	1.56 ± 0.13 c*
蓝色 Blue	1.68 ± 0.07 a**	1.35 ± 0.04 a**	2.68 ± 0.08 a*
自然光 (对照) Natural light (control)	1.61 ± 0.06 a**	1.58 ± 0.06**	2.15 ± 0.08 b*

表中数据为平均值 ± 标准误。同列内标记相同字母及同行内标记相同数量“*”表示其在 0.05 水平下无显著差异, 下同。The data in the present table are mean ± SE. The following same letters in same column and the same number of “*” means no significant differences at 0.05 level. The same for Table 3.

无显著差异 ($F_1 = 0.862, P = 0.492; F_2 = 2.118, P = 0.091$)。对于 3 龄幼虫来说, 其体长增量在蓝色处理下最大, 但与绿色处理无显著差异; 在红色处理下最小, 并显著小于各处理, 其仅为蓝色处理的 58.2%。

3.2.2 异色瓢虫不同幼虫发育阶段在同一环境颜色条件下的体长变化比较: 实验结果表明, 各龄幼虫间体长增量在黄色及红色处理中差异不显著 ($F_1 = 2.234, P = 0.112; F_2 = 0.698, P = 0.505$); 但在绿色 ($F = 4.562, P < 0.001$)、蓝色 ($F = 141.935, P < 0.001$) 及自然光 ($F = 22.162, P < 0.001$) 处理中均有显著差异。

在各颜色处理中, 除红色处理外其余各组 3 龄幼虫体长增量均为最大, 而除绿色处理外各处理 2 龄幼虫体长增量均为最小。

3.3 异色瓢虫幼虫在不同环境颜色条件下的体重增量

3.3.1 同一幼虫发育阶段在不同环境颜色下的体重变化: 对在不同环境颜色处理下异色瓢虫不同虫期体重变化观察结果 (表 3) 说明: 除 3 龄幼虫外 ($F = 1.029, P = 0.401$) 外, 其 1 龄 ($F = 8.935, P < 0.001$)、2 龄 ($F = 2.868, P < 0.001$)、4 龄 ($F = 63.066, P < 0.001$) 和总幼虫期 ($F = 58.07, P < 0.001$) 体重增量及蛹重 ($F = 54.975, P < 0.001$) 在不同环境颜色处理间均有显著差异。异色瓢虫 1 龄幼虫体重的净增量在黄色与绿色处理二者间无明显差异, 但显著高于其余各处理 (均小于 0.8 mg, 相互间无显著差异)。

3.3.2 同一环境颜色条件下不同幼虫发育阶段的体重变化: 在同一环境颜色下, 异色瓢虫各虫期体重增量随龄期的增加而显著增长 (绿色: $F = 413.011, P < 0.001$; 黄色: $F = 282.361, P < 0.001$; 红色: $F = 559.041, P < 0.001$; 蓝色: $F = 1260.265, P < 0.001$; 对照 (自然光): $F = 706.381, P < 0.001$), 但蛹重与总幼虫期体重增量间无显著差异 (表 3)。异色瓢虫各虫期体重变化在红色及蓝色条件下表现出相似的变化趋势, 除蛹重及总幼虫期增重无差异外, 各虫期间均存在显著差异; 在绿色、黄色及自然光 3 种处理中, 1 龄和 2 龄幼虫体重增量均无显著差异, 两虫期的体重增量均显著小于其余各虫期, 而 3 龄幼虫的体重增量均显著小于 4 龄幼虫体重增量; 在所有处理下, 4 龄幼虫体重增量均最大, 占总幼虫期体重总增量的一半以上。

表 3 异色瓢虫不同幼虫发育阶段在不同环境颜色条件下的体重变化比较

Table 3 The comparison of body weight variation in each developmental stage of *Harmonia axyridis* larvae in environments of different color

环境颜色 Environmental color	各发育阶段内体重净增量 (mg) Net weight gain of each developmental stage					蛹重 Pupal weight
	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	总幼虫期 Total larval stage	
	绿色 Green	0.91 ± 0.07 a***	2.01 ± 0.12 b***	6.88 ± 0.38 a**	12.38 ± 0.63 d**	
黄色 Yellow	1.07 ± 0.06 a***	1.93 ± 0.10 b***	7.13 ± 0.51 a**	15.79 ± 0.82 c**	25.92 ± 0.95 c*	26.16 ± 0.95 c*
红色 Red	0.73 ± 0.53 b***	2.08 ± 0.10 ab***	6.27 ± 0.23 a**	13.22 ± 0.58 d**	22.44 ± 0.55 d*	22.45 ± 0.57 d*
蓝色 Blue	0.73 ± 0.39 b***	1.87 ± 0.08 b***	6.52 ± 0.23 a**	21.31 ± 0.46 b**	30.43 ± 0.59 b*	31.10 ± 0.52 b*
自然光(对照) Natural light (control)	0.69 ± 0.04 b***	2.30 ± 0.10 a***	6.92 ± 0.26 a**	24.38 ± 0.74 a**	34.49 ± 0.86 a*	34.68 ± 0.87 a*

3.4 不同环境颜色条件下异色瓢虫繁殖能力的比较

图 2 所示试验结果表明,在不同环境颜色条件下异色瓢虫平均交配持续时间无显著差异 ($F = 0.699, P = 0.589$)。异色瓢虫在黄色处理中其平均交配持续时间最长,其次为自然光处理;而在绿色及蓝色处理中为各处理最低。

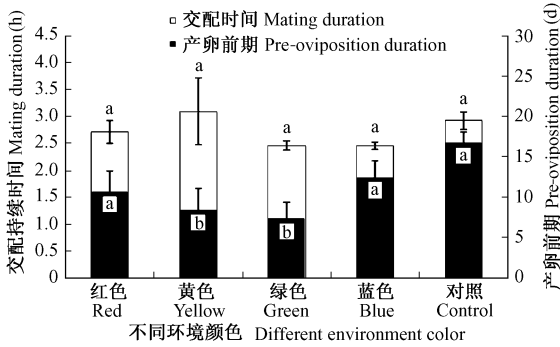


图 2 异色瓢虫在不同颜色环境条件下的平均交配持续时间及产卵前期

Fig. 2 The average mating and pre-oviposition duration of *Harmonia axyridis* in environments of different color

与平均交配持续时间不同,异色瓢虫在不同环境颜色下的平均产卵前期有显著差异 ($F = 11.724, P = 0.037$, 图 2)。在自然光、蓝色及红色处理中,异色瓢虫的平均产卵前期无显著差异,均超过 10 d;而平均产卵前期在黄色及绿色两种处理间无显著差异,均显著小于前述 3 种颜色处理,分别为自然光处理的 50.2% 及 44.0%。

异色瓢虫首堆产卵量受不同颜色环境条件影响 ($F = 1.617, P = 0.192$, 图 3)。而连续观察 48 h 后所得累计产卵量在红色及自然光两处理间累计产卵量无显著差异,但均显著小于前述 3 种处理 ($F = 11.768, P = 0.028$, 图 3)。

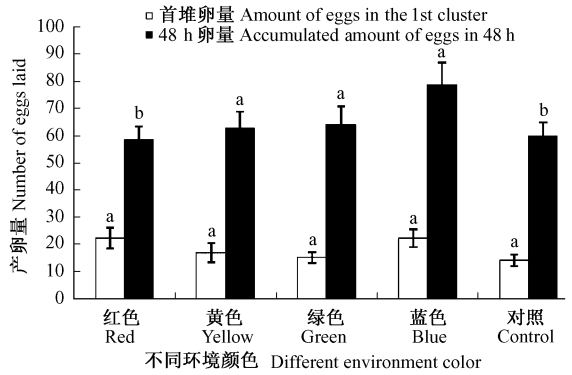


图 3 异色瓢虫在不同环境条件下的首堆产卵量及 48 h 内累计产卵量

Fig. 3 The average number of eggs laid in the first cluster and accumulated fecundity in 48 h of *Harmonia axyridis* in environments of different color

3 结论与讨论

昆虫能够敏锐感受光环境条件变化。绝大多数昆虫均具有复杂的复眼结构,这些复眼能够敏锐的感受所处环境内光周期及颜色条件的变化(Numata et al., 1997; Morita and Numata, 1999)。不同颜色的复眼对环境颜色的感受程度有较大差别。鞘翅目瓢虫科物种的复眼多为黑色(Hodek and Honek, 1996; Kuznetsov, 1997),而黑色复眼可以有效地减少散射光对光受体(photoreceptors)的影响(Stavenga, 2002),其对光环境变化十分敏感。大量研究表明,环境光周期的长短变化可以直接影响瓢虫生长发育及繁殖能力(Danilevskii, 1965; Tanaka et al., 1993; Ekesi et al., 1999; Mishra and Omkar, 2005)。有研究发现瓢虫在捕食活动中能自不同环境背景颜色中轻易分辨不同体色的蚜虫,表明瓢虫具有重要的颜色感受机制(Honek, 1977; Harmon et al., 1998)。

本实验在室内条件下对异色瓢虫在不同颜色环

境条件下生长发育及繁殖活动进行了观察研究。结果表明,不同环境颜色条件可以显著影响异色瓢虫发育历期、体长体重变化、交配持续时间、产卵前期及产卵量等重要生物学特性及生理指标。

在本实验中,异色瓢虫各发育阶段的发育历期在不同环境颜色处理下均有显著差异。与 Omkarand 和 Pathak(2006)对黄斑盘瓢虫 *Coelophora saucia* 研究认为白光(自然光)可以显著缩短其总胚后发育历期不同,尽管异色瓢虫总幼虫发育历期在不同环境颜色条件处理下均存在显著差异,但其总胚后发育历期却无显著差异。依本实验结果,可以推断异色瓢虫可能通过调整蛹期长短,借以平衡不同环境颜色条件对其生长发育的影响,以使不同处理间的总胚后发育历期达到一致。因此,蛹期可能作为一个重要的“缓冲虫期”起到协调整个发育历期的作用,也许是其对环境条件变化的适应性机制之一。

体长及体重是重要的生长发育指标,在一定程度上反映了个体发育过程中的营养水平变化。本实验中异色瓢虫在各处理中表现出不同的体长、体重增长变化趋势,但异色瓢虫体重增量在各环境颜色条件下均随虫龄持续成倍增长。对于完全变态昆虫来说,蛹重直接影响成虫的羽化率及健康水平(Majerus, 1994)。在本实验中,在自然光条件下的4龄幼虫体重增量及蛹重均显著大于其余处理,说明各环境颜色条件对老熟幼虫有着明显的不良影响,且这种影响可以间接影响成虫的发育状况。其中,蓝色(短波长)环境下异色瓢虫的老熟幼虫体重增量及蛹重显著大于其余各处理。

在本实验中,异色瓢虫成虫在不同环境颜色条件下采用不同产卵策略。尽管异色瓢虫成虫在不同环境颜色条件下其交配持续时间无显著差异,但其产卵前期在黄绿处理内显著短于其他处理。由此可以推断黄、绿色对异色瓢虫成虫的性成熟有一定的促进作用。尽管异色瓢虫在各颜色环境条件下其首批产卵量无显著差异,但在48 h后其累计产卵量差异显著,这可能是异色瓢虫在不同环境颜色条件下调整产卵策略的结果。

本研究结果表明,不同环境颜色条件对异色瓢虫生长发育及繁殖能力具有显著的影响,可以通过调整异色瓢虫人工饲养的光环境来提高产能效率。尽管各环境颜色及对照条件均对异色瓢虫总发育历期无显著影响,但在自然光条件下幼虫发育程度显著优于其余颜色处理。此外,各颜色处理中蓝色对异色瓢虫生长发育影响较小,其产卵前期较短,而且

48 h 累计产卵量显著高于其余各处理,进而可能对异色瓢虫的世代周期有显著影响。综上,我们在实际人工大规模饲养中可以优先考虑在黄色或绿色环境下集中饲养初羽化母代瓢虫,在短期内提高异色瓢虫的性成熟速度。而后,在蓝色条件下提高母代瓢虫的繁殖效率,以期提高产能。而在子代生长发育阶段调整光环境颜色至自然光,以保证幼虫健康快速生长发育。这种依不同发育阶段调整光环境条件的饲养方法将可以大大提高异色瓢虫室内大规模人工饲养的产能效率。

参考文献 (References)

- Danilevskii AS, 1965. Photoperiodism and Seasonal Development of Insect. Oliver and Boyd, Edinburgh and London. 177 pp.
- Ekesi S, Maniania NK, Onu I, 1999. Effects of temperature and photoperiod on development and oviposition of legume flower thrips, *Megalurothrips sjostedti*. *Entomol. Exp. Appl.*, 93: 149–155
- Gordon RD, 1985. The Coleoptera (Coccinellidae) of America North of Mexico. *Journal of New York Entomological Society*, 93: 1–912
- Hamon J, Losey JE, Ives AR, 1998. The role of vision and colour in the close proximity foraging behaviour of four coccinellid species. *Oecologia*, 115: 387–392.
- Hodek I, Honek A, 1996. Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 302 pp.
- Honek A, 1977. Annual variation in the complex of aphid predators: Investigation by light trap. *Acta Entomol. Bohemoslov.*, 74: 345–348.
- Koch RL, 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: A review of its biology, use in biological control, and non-target impacts. *Journal of Insect Science*, 3: 1–16
- Kuznetsov VN, 1997. Lady Beetles of the Russian Far East. The Sandhill Crane Press, Inc. 19 pp.
- Majerus M, Sawson V, Roy H, 2006. The potential impacts of the arrival of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae), in Britain. *Ecological Entomology*, 31: 207–215.
- Majerus MEN, 1994. Ladybirds. Harper Collins Publishers, UK. 41–43.
- Mishra G, Omkar, 2005. Influence of components of light on the life attributes of an aphidophagous ladybird, *Propylea dissecta* (Coleoptera: Coccinellidae). *Int. J. Trop. Insect Sci.*, 25: 32–38
- Morita A, Numata H, 1999. Localization of the photoreceptor for photoperiodism in the stink bug *Plautia crossota stali*. *Physiol. Entomol.*, 124: 189–195
- Nilsson DE, 1989. Optics and evolution of the compound eye. In: Stavenga DG, Hardie RC eds. Facets of Vision. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Numata H, Shiga S, Morita A, 1997. Photoperiodic receptors in Arthropoda. *Zool. Sci.*, 14: 187–197.
- Obrycki JJ, Orr CJ, 1990. Suitability of three prey species for nearctic populations of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata* and *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of*

- Economic Entomology*, 83: 1 292– 1 297.
- Omkar, James BE, 2004 Influence of prey species on immature survival, development, predation and reproduction of *Coccinella transversalis* Fabricius (Col.: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 128: 150– 157.
- Omkar, Pathak S, 2006 Effects of different photoperiods and wavelengths of light on the life-history traits of an aphidophagous ladybird, *Coelophora saucia* (Mulsant). *Journal of Applied Entomology*, 130 (1): 45– 50
- Omkar, Pervez A, 2002 Influence of temperature on age specific fecundity of the ladybeetle, *Micraspis discolor* (Fabricius). *Insect Sci. Appl.* 22: 61– 65
- Stavenga DG, 2002 Colour in the eyes of insects. *J. Comp. Physiol. A*, 188: 337– 348.
- Tanaka S, Hakomori T, Hasegawa E, 1993. Effects of day length and hopper density on reproductive traits in a Japanese population of migratory locust, *Locusta migratoria* L. *Journal of Insect Physiology*, 39: 571– 580.
- Vincent C, Goettel MS, Lazarovits G, 2007. Biological Control: A Global Perspective. CAB International. 38– 53.
- Wang S, Zhang RZ, Zhang F, 2007. Research progress on biology and ecology of *Hamonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(9): 2 117– 2 126. [王, 张润志, 张帆, 2007. 异色瓢虫生物生态学研究进展. 应用生态学报. 18(9): 2 117– 2 126]
- Yang H, Xiong JW, Zhang F, 2003. Advances of artificial diet for *Hamonia axyridis*. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 22 (2): 169– 172 [杨洪, 熊继文, 张帆, 2003. 异色瓢虫人工饲料研究进展. 山地农业生物学报, 22(2): 169 – 172]

(责任编辑: 袁德成)