

恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫种群生命表

赵 静^{1, 2}, 肖 达¹, 张 帆¹, 王 甦¹

(¹北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097; ²潍坊科技学院, 山东潍坊 262700)

摘要:【目的】异色瓢虫 (*Harmonia axyridis* Pallas) 是一种重要的捕食性天敌昆虫, 广泛应用于害虫生物防治。生命表是研究外界环境因子对昆虫发育、繁殖、存活及种群动态影响的工具。室内恒温下异色瓢虫生命表研究已有报道, 但是在田间释放时经历的是昼夜波动温度。与恒温相比, 波动温度能显著改变昆虫的生物学特性。论文通过构建室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫种群生命表, 比较分析异色瓢虫在两种条件下的生活史和生命表参数, 为规模化生产、释放提供技术支撑, 充分发挥其在生物防治中的作用。【方法】利用年龄-龄期两性生命表分析室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫发育历期、存活率和繁殖率数据, 并利用统计软件 SPSS17.0 *t*-test 比较两种温度下生活史数据间的差异; 应用 Bootstrap 方法计算种群参数的平均数和标准误, 并利用 TWOSEX-MSChart 的 *t*-test 比较两种温度下种群参数间的差异。【结果】温室波动温度下异色瓢虫发育历期延长、成虫寿命缩短, 繁殖力降低。由年龄-阶段特定存活率 (s_{xj}) 和年龄-特定存活率 (l_x) 可知温室波动温度下异色瓢虫各发育阶段存活率明显降低。由繁殖力曲线 (f_x 、 m_x) 可以看出室内恒温下异色瓢虫产卵时间长, 产卵量高。两种条件下异色瓢虫期望寿命 (e_{xx}) 均随年龄增加而缩短, 且温室条件下其期望寿命更短。生殖价值 (v_{xj}) 是个体对未来种群的贡献, 随着异色瓢虫雌虫的羽化生殖价值增加, 当雌虫产卵生殖价值达到最大, 温室波动温度下异色瓢虫的生殖价值要明显低于室内恒温下的。室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫内禀增长率 (r) 分别为 0.1395 和 0.0613 d^{-1} , 周限增长率 (λ) 分别为 1.150 和 1.062 d^{-1} , 净增殖率 (R_0) 为 257.3 和 13.3 后代/个体, 种群平均世代周期 (T) 为 39.7 和 42.7 d。【结论】室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫生活史特性和种群参数存在显著差异, 恒温可能过高或过低的估计许多生命表参数, 依据恒温下得到的生命表数据进行田间释放应用存在一定误差, 从而影响其防控效果。

关键词: 异色瓢虫; 年龄-龄期两性生命表; 试验种群; 温室种群; 种群参数

Life Tables of *Harmonia axyridis* Pallas Under Laboratory Constant and Greenhouse Fluctuating Temperatures

ZHAO Jing^{1, 2}, XIAO Da¹, ZHANG Fan¹, WANG Su¹

(¹Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing 100097;

²Weifang University of Science & Technology, Weifang 262700, Shandong)

Abstract: 【Objective】 The ladybird beetle *Harmonia axyridis* Pallas is a well-known aphid predator and plays an important role as a biological control agent in its native regions. Life table can provide a comprehensive description of the development, survival, and fecundity of a population. The life history of *H. axyridis* has been studied using the traditional life table in controlled laboratory conditions. However, when released, *H. axyridis* were exposed to fluctuating temperatures which can significantly change the biological characteristics of insects. The objective of this study is to build life tables for *H. axyridis* both at constant temperature in the laboratory and at fluctuating temperatures in the greenhouse, and to facilitate the effective use of this species as a biological

收稿日期: 2015-02-12; 接受日期: 2015-05-06

基金项目: 国家“973”计划 (2013CB127605)、北京市农林科学院博士后基金

联系方式: 赵静, E-mail: zhjlovely@163.com。通信作者王甦, E-mail: anthocoridae@163.com

control agent. 【Method】 Developmental, survival, and fecundity rate data were analyzed by using the age-stage, two-sex life table under laboratory and greenhouse conditions and the significant differences were compared with t -tests at a 5% significance level by SPSS17.0. Means and standard errors of population parameters were calculated by using the bootstrap method and the significant differences were compared with t -tests by the TWOSEX-MSChart computer program. 【Result】 *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory developed more quickly in the pre-adult stage and were longer-lived compared with those in the greenhouse. Moreover, significant reductions in survival and reproduction of *H. axyridis* under greenhouse conditions were observed in the curves of s_{xj} , l_x , f_x and m_x . The life expectancy of *H. axyridis* decreased gradually with age while the life expectancy were shorter and varied significantly at fluctuating temperatures in the greenhouse. The contribution of an individual to the future population was described by the reproductive value (v_{xy}) which under greenhouse conditions was lower and more varied than that in the laboratory. According to the age-stage, two-sex life table, the intrinsic rate of increase (r), net reproductive rate (R_0), finite rate of increase (λ), the mean generation time (T) were 0.1395 and 0.0613 d^{-1} , 257.3 and 13.3 offspring, 1.150 and 1.062 d^{-1} , 39.7 and 42.7 d, respectively, under laboratory and greenhouse conditions. 【Conclusion】 It revealed significant differences of life history and population parameters between life tables collected under laboratory and greenhouse conditions. The results indicated that at constant temperature, one could under- or over-estimate the values of numerous life-history traits compared to the fluctuating temperatures. There exist some definite errors in the field release application according to life table data obtained by constant temperature, which affects the control effects.

Key words: *Harmonia axyridis*; age-stage, two-sex life table; experimental population; greenhouse population; population parameters

0 引言

【研究意义】异色瓢虫 (*Harmonia axyridis* Pallas) 属鞘翅目 (Coleoptera) 瓢虫科 (Coccinellidae), 是一种重要的优势捕食性天敌昆虫, 对蚜虫有很好的控制效果, 据报道异色瓢虫可以捕食 27 种蚜虫^[1]。明确环境因子对异色瓢虫种群生态学的影响对于大规模扩繁释放异色瓢虫进行生物防治非常重要, 而生命表研究为描述外界因子对昆虫生长发育、繁殖、存活以及种群动态的影响提供了强有力的工具^[2-3]。【前人研究进展】关于异色瓢虫生物生态学^[1,4]、繁殖策略和自残行为^[5-9]、色斑遗传多样性^[10-12]、温度适应性^[13-14]等方面的研究已相当深入。此外, 在人工饲养及释放应用方面也已初具规模^[15-16], 而且从单纯的释放控害评估等经典生物防治向扩繁接种释放的增强型生物防治以及生物农药联合的保护型生物防治过渡。在异色瓢虫扩繁应用中, 温度是影响其生长发育和繁殖的重要环境因子之一。室内恒定温度下异色瓢虫生命表研究已有报道, 例如利用生命表评价猎物^[17-19]、温度^[20]、杀虫剂^[21]对其生物学特性的影响; Lanzoni 等^[22]利用生命表评价异色瓢虫与本地种多异瓢虫 (*Hippodamia variegata*) 和二星瓢虫 (*Adalia bipunctata*) 生物学特性的差异。但是自然条件下昆虫经历的是昼夜波动温度。与恒温相比, 波动温度能显著改变昆虫的生物学特性 (发育历期、存活、生殖等)^[2]。【本研究切入点】关于异色瓢虫生命表研究均是利用传统生命表进

行分析的。传统生命表仅考虑雌虫对种群的贡献, 忽视了雄虫和雌雄个体间发育速率的不同, 对于天敌昆虫在生物防治中的应用具有一定的局限性^[23]。Chi 等^[24]创建了年龄-龄期两性生命表理论, 已广泛用于昆虫、螨类等生命表的分析^[2,25-27]。一种天敌昆虫对害虫的控制作用最终决定于田间实际防控效果, 因此, 异色瓢虫温室条件下生命表研究对于其释放应用也是非常重要的。【拟解决的关键问题】通过比较分析异色瓢虫室内恒温 and 温室波动温度下生活史和生命表参数, 为其规模化生产、释放提供技术支撑, 充分发挥其在生物防治中的作用。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

本试验所用异色瓢虫采集于北京市昌平区流村镇王家园村七星苹果合作社 (E116°23'09", N40°10'42"), 挑选健康成虫在北京市农林科学院植物保护环境保护研究所天敌昆虫研究室昆虫繁育室内饲养。饲养方法: 将成虫在养虫笼 (50 cm×50 cm×50 cm, 100 目) 内集中饲养, 每笼 30 头, 笼内放置带有足量豆蚜 (*Aphis curviness*) 的蚕豆苗, 每 48 h 更新一次。待成虫交配产卵后, 将带有新鲜卵块的叶片移入另一洁净塑料培养皿 (D=9.0 cm) 中, 待卵孵化后转移至另一养虫笼内继续饲养至成虫羽化。饲养期间为降低幼虫自残行为的发生, 每笼放置 50 头幼虫, 且每天提供充足的蚜虫。养虫室环境条件为温度 (25±1) °C、相对湿度

(70±5)%、光周期 16L:8D, 光照强度 2 000 lx。室内异色瓢虫种群均饲养两代以上用于试验。

1.2 室内恒温下异色瓢虫种群生命表构建

挑选同一时间羽化的 10 对异色瓢虫成虫成对置于指形管(7 cm×2 cm)中饲喂瓜蚜(*Aphis gossypii*)至产卵(饲养条件为温度(25±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期 16L:8D)。将同一时间所产的新鲜卵块(92 粒)立即移入洁净培养皿(D=5 cm)中,皿口覆盖封口膜,并用解剖针扎取若干通气口。将培养皿转移至上述饲养条件下,每天 8:00、16:00 观察两次,待卵孵化,观察记录卵的孵化数量,并统计卵的发育历期。

挑取同一时间孵化的 1 龄幼虫用毛笔轻触至指形管内单头饲养,每天饲喂充足的蚜虫,且 8:00、16:00 观察幼虫的发育并记录各龄期的存活情况。待幼虫化蛹,记录蛹期及成虫羽化数。成虫羽化后雌、雄配对置于指形管中用纱布封口,饲喂充足的蚜虫,每管放置 1 对。继续在养虫室内饲养至成虫产卵,每天定时记录产卵量至成虫死亡,统计雌虫产卵前期、产卵历期、逐日产卵量、总产卵量和寿命。

1.3 温室波动温度下异色瓢虫种群生命表构建

试验在北京诺亚有机蔬菜农场(40°6'N, 116°59'E)450 m² 的温室中进行,释放异色瓢虫防控温室黄瓜(*Cucumis sativus*)上的瓜蚜。将同一时间羽化的 20 对成虫用微虫笼(底直径 8 cm,顶口直径 9 cm,高 8.5 cm)笼罩在植株上,为保证充足的食物,定期将成虫转移至有蚜虫的叶片上。待产卵将同一时间的新鲜卵块(205 粒卵)移入洁净培养皿(D=5 cm)中,皿口覆盖封口膜,并用解剖针扎取若干通气口。将培养皿置于温室条件下,每天 8:00、16:00 观察两次,待卵孵化,记录卵的孵化数量,统计卵的发育历期。

将同一时间孵化的 1 龄幼虫用毛笔轻触至微虫笼内单头笼罩在叶片上,试验期间定期观察植株叶片上的蚜虫数量,如果蚜虫不足,及时将幼虫转移至蚜虫充足的叶片上。每天 8:00、16:00 观察幼虫的发育并记录及各龄期的存活情况。待幼虫化蛹,记录蛹期及成虫羽化数。成虫羽化后雌、雄配对笼罩在蚜虫充足的植株叶片上,期间如果蚜虫数量不足,及时更换叶片。每笼放置 1 对至成虫产卵,每天定时记录产卵量至成虫死亡,统计雌虫产卵前期、产卵历期、逐日产卵量、总产卵量和寿命。

试验于 2013 年 5—8 月在北京诺亚有机蔬菜农场进行,温室内平均温度分别为 23.2、25.9、32.5 和 34.7℃,

平均相对湿度分别为 52%、71%、70%和 69%。

1.4 数据分析

利用年龄-龄期两性生命表理论^[24,28]统计室内恒温 and 温室波动温度下的原始数据,计算异色瓢虫后代的发育历期和成虫寿命;根据每天记录的异色瓢虫不同发育阶段的存活和雌虫产卵量计算年龄-阶段特定存活率(s_{xj})(x 指年龄、 j 指发育阶段)、年龄-特定存活率(l_x)、雌虫年龄-特定生殖力(f_x)、年龄-特定生殖力(m_x)。

年龄为 x 阶段为 y 的个体期望寿命(e_{xy})计算公式为 $e_{xy} = \sum_{l=x}^n \sum_{j=y}^m s'_{lj}$, 其中 n 是群体中最后一个年龄,

m 是阶段的数量, s'_{ij} 是一个年龄为 x 、阶段为 y 的个体能存活到年龄 i 阶段 j 的概率。净生殖率(R_0)指一个个体一生中所产的后代总数,计算公式为 $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$ 。

内禀增长率(r)用 Euler-Lotka 公式 $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$,

根据二分迭代法估算。周限增长率 λ 计算公式为 e^r 。平均世代周期(T)是指当种群达到稳定年龄-阶段分布和稳定增长速率(即 r 和 λ)时,增加 R_0 时所需的时间,即 $e^{T^*} = R_0$ 或者 $\lambda^{T^*} = R_0$, 平均世代周期计算公式为 $T = \ln R_0 / r$ 。

原始数据的计算和对生命表参数的计算在程序 TWSEX-MSChart^[29]中运行。生命表参数平均值和标准误用 bootstrap 方法估计^[30]。利用统计软件 SPSS17.0 的 t -test 比较分析恒温和温室波动温度下异色瓢虫生活史参数间的差异;利用 TWSEX-MSChart 的 t -test 比较恒温和温室波动温度下异色瓢虫种群参数间的差异。

2 结果

2.1 不同温度条件下异色瓢虫的生物学特性

在室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫的生长发育、寿命和生殖力明显不同(表 1)。与室内恒温下相比,温室波动温度下异色瓢虫发育历期(卵、1—4 龄幼虫、蛹和成虫前期)显著延长,成虫寿命显著缩短,产卵量显著下降,且总产卵前期(TPOP)延长。

2.2 不同温度条件对异色瓢虫存活、繁殖力的影响

年龄-阶段特定存活率(s_{xj})表示异色瓢虫初产卵可以活到年龄 x 和阶段 j 的可能性。室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫新产卵发育至成虫的概率分别为 68%和 37%。由图 1 可以看出温室波动温度下异色瓢

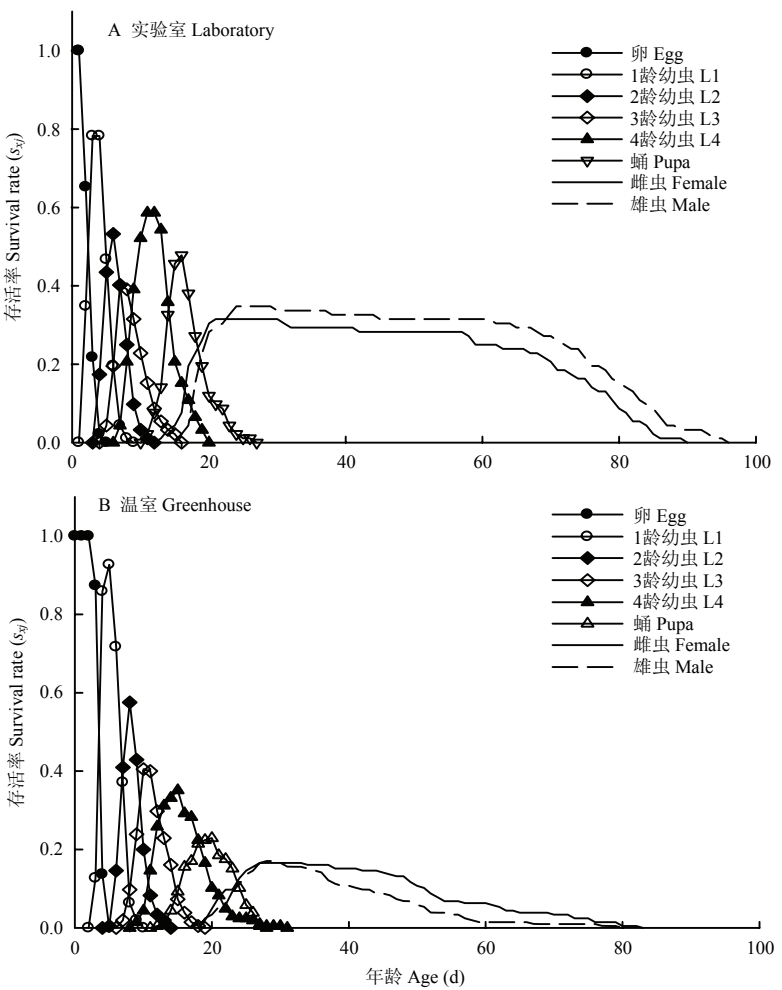


图 1 室内恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫的年龄-阶段特定存活率 (s_{xj})

Fig. 1 Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory and fluctuating temperatures in the greenhouse

表 1 室内恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫基本生活史参数

Table 1 Parameters of life history of *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory and fluctuating temperatures in the greenhouse

生活史参数 Parameters of life history		室内 Laboratory		温室 Greenhouse		P
		个数 n	平均值±标准误 Mean±SE	个数 n	平均值±标准误 Mean±SE	
发育历期 Developmental time (d)	卵 Egg	92	2.89±0.08	198	4.00±0.04	<0.01
	1 龄幼虫 L1	81	2.57±0.08	142	3.20±0.06	<0.01
	2 龄幼虫 L2	75	2.11±0.10	125	2.54±0.09	<0.05
	3 龄幼虫 L3	70	2.36±0.13	112	3.22±0.16	<0.01
	4 龄幼虫 L4	66	5.08±0.14	80	4.59±0.17	<0.01
	蛹 Pupa	63	3.79±0.12	75	5.23±0.12	<0.01
	成虫前期 Pre-adult	63	18.52±0.30	75	22.83±0.32	<0.01
成虫寿命 Adult longevity (d)	雌虫 Female	29	71.07±2.80	36	57.10±2.24	<0.01
	雄虫 Male	34	72.79±3.27	38	46.21±2.05	<0.01
生殖力 Fecundity (F) (eggs/female)	雌虫 Female	29	815.52±69.99	36	82.52±14.8	<0.01
产卵前期 Pre-oviposition period (APOP) (d)	雌虫 Female	28	11.57±0.44	36	10.81±0.74	>0.05
总产卵前期 Total pre-oviposition period (TPOP) (d)	雌虫 Female	28	28.96±0.51	36	33.48±0.84	<0.05

虫 3—4 龄幼虫、蛹期和成虫存活率明显低于室内恒温下的。两种温度条件下异色瓢虫年龄-阶段特定存活率曲线均存在重叠现象,这是由于个体间发育速率不一致导致的。

图 2 中曲线 l_x 表示种群内所有个体的年龄-特定存活率,随着时间延长,室内恒温 and 温室波动温度下 l_x 均逐渐降低。室内恒温下异色瓢虫存活率在发育年龄 20 d 时迅速下降至 72%,随后缓慢下降至 60 d 时存活率达 56%,至 97 d 时个体全部死亡。而温室波动温度下异色瓢虫存活率在年龄 20 d 时存活率仅 41%,发育至 60 d 时存活率仅为 8%,发育至 83 d 时个体全部死

亡。室内恒温 and 温室波动温度下雌虫年龄-特定生殖力 (f_x) 和年龄-特定生殖力 (m_x) 均随时间延长先增加后降低,由这两条生殖力曲线可以看出室内恒温下异色瓢虫产卵量明显高于温室波动温度下的。

图 3 年龄-阶段期望寿命 (e_{xy}) 表示年龄 x 阶段 y 的个体预期能存活的总时间。由此可知两种温度条件下异色瓢虫的期望寿命都随着年龄增加而缩短,且室内恒温下年龄-阶段期望寿命要比温室波动温度下的期望寿命长。

图 4 年龄-阶段生殖价值 (v_{xy}) 表示年龄 x 阶段 j 的个体对未来种群的贡献。室内恒温 and 温室波动温度下异

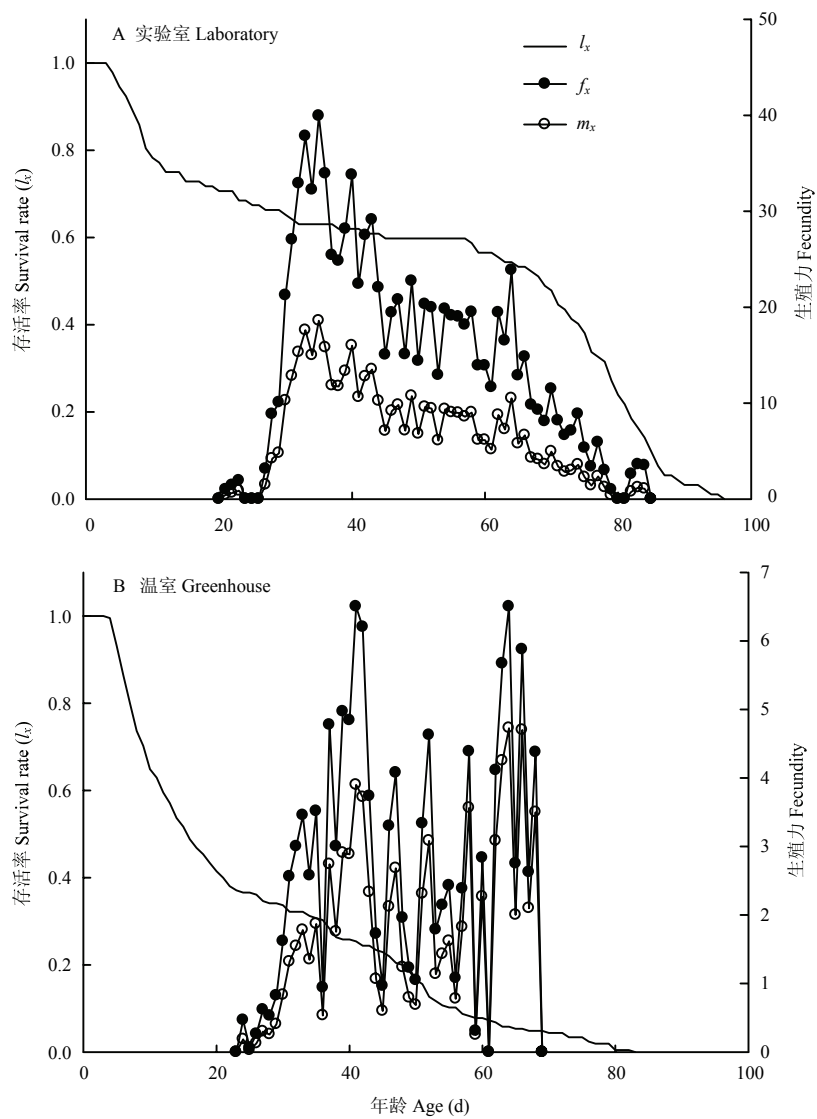


图 2 室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫年龄-特定存活率 (l_x)、雌虫年龄-特定生殖力 (f_x)、年龄-特定生殖力 (m_x)
Fig. 2 Age-specific survival rate (l_x), female age-stage specific fecundity (f_x) and age-specific fecundity (m_x) of *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory and fluctuating temperatures in the greenhouse

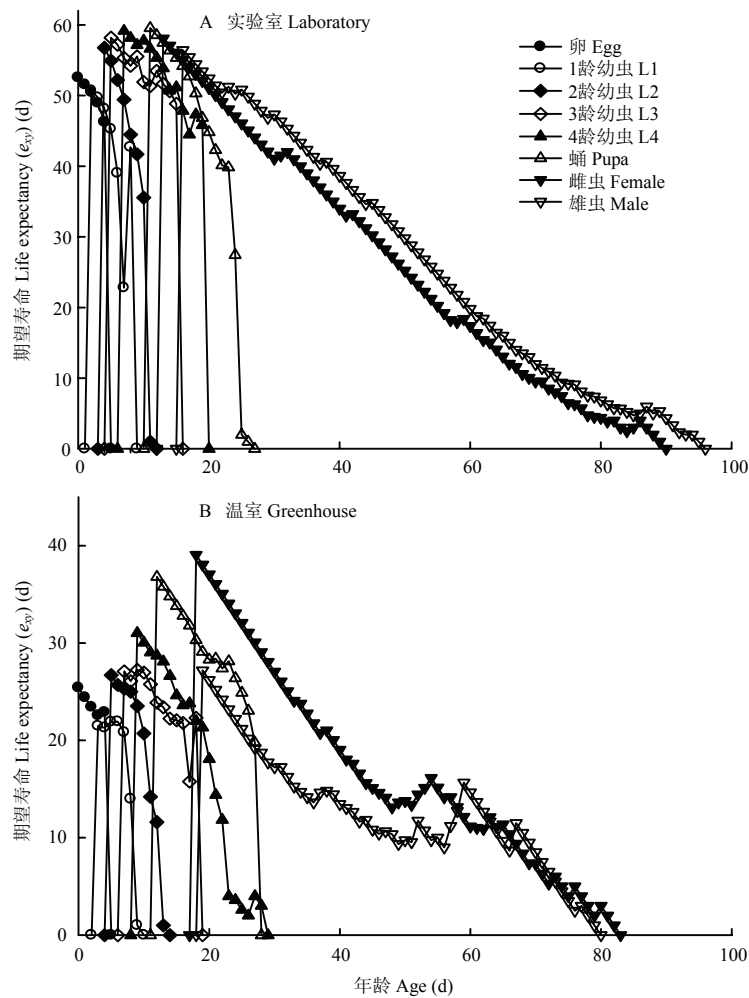


图 3 室内恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫年龄-阶段期望寿命 (e_{xy})

Fig. 3 Life expectancy (e_{xy}) of *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory and fluctuating temperatures in the greenhouse

色瓢虫一个新生卵的生殖价值分别为 1.150 和 1.062, 与种群参数周限增长率 (λ) 相同。随着年龄及龄期增长, 其生殖价值逐渐增提高, 当雌虫产卵时生殖价值达到最大, 两种温度条件下最大生殖价值分别出现在第 31 和 38 天, 为 223.9 和 40.3。由此可以看出温室波动温度下异色瓢虫的生殖价值要显著低于室内恒温下的。

2.3 不同温度条件对异色瓢虫生命表参数的影响

室内恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫的种群参数存在显著差异。与室内恒温下相比, 温室波动温度下异色瓢虫的内禀增长率 (r)、周限增长率 (λ)、净增殖率 (R_0) 均显著降低, 但是平均世代周期 (T) 显著延长 (表 2)。

表 2 室内恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫的种群参数

Table 2 Population parameters of *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory and fluctuating temperatures in the greenhouse

种群参数	室内恒温	温室波动温度	<i>P</i>
Population parameter	Constant temperature in the laboratory	Fluctuating temperatures in the greenhouse	
内禀增长率 The intrinsic rate of increase r (d ⁻¹)	0.1395±0.0055	0.0613±0.0060	<0.001
周限增长率 The finite rate of increase λ (d ⁻¹)	1.150±0.006	1.062±0.006	<0.001
净生殖率 The net reproduction rate R_0 (offspring / individual)	257.3±45.2	13.3±3.2	<0.001
平均世代周期 The mean generation time T (d)	39.7±0.8	42.7±1.4	<0.05

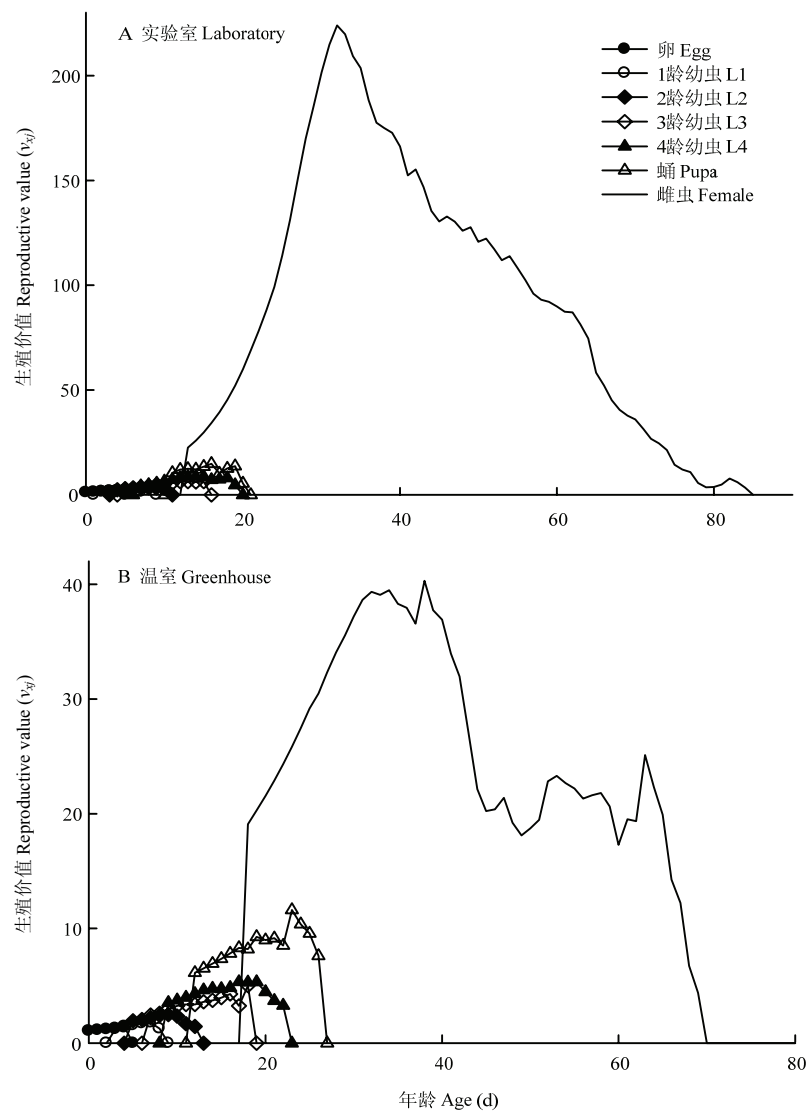


图 4 室内恒温 and 温室波动温度下异色瓢虫的年龄-阶段生殖价值 (v_{xj})

Fig. 4 Reproductive value (v_{xj}) of *H. axyridis* at constant temperature in the laboratory and fluctuating temperatures in the greenhouse

3 讨论

自然界中，昆虫经历的是昼夜波动的温度，而大量昆虫生物学特性研究都是在恒温下进行的。本研究构建了异色瓢虫在室内恒温 and 温室波动温度下的种群生命表，通过利用年龄-龄期两性生命表比较分析异色瓢虫发育历期、繁殖和存活等生活史特性和生命表参数，结果表明两种条件下异色瓢虫的种群参数数据存在显著差异。

由存活曲线 (s_{xj}) 分析，室内恒温下的异色瓢虫从卵孵化至 2 龄幼虫期，存活率有明显下降，其

他发育阶段死亡率降低较平稳（图 1-A），这可能是由于初孵幼虫的活动能力有限，面临着很大的食物选择压力，如何能降低这一阶段的死亡率，对异色瓢虫的规模化扩繁有着重要意义。与室内恒温下相比，温室波动温度下异色瓢虫 3—4 龄幼虫、蛹期和成虫存活率则显著降低（图 1-B），因此明确影响异色瓢虫存活的关键因素是非常重要的。此外，存活曲线 (s_{xj})（图 1）可以看出两种条件下异色瓢虫不同龄期的存活率存在重叠，这是由于个体间发育速率不一致导致的，而传统生命表则忽略了这一点。本研究期望寿命 (e_{xy})（图 3）是以年龄-阶

段存活率 (s_{xj}) 为基础计算的, 同样能够说明不同龄期或不同性别的同一年龄个体间发育速率的差异, 用于推断种群在此条件下的存活率^[31]。由 3 条生殖力曲线 (l_x 、 f_x 、 m_x) (图 2) 可知温室波动温度下异色瓢虫繁殖力降低, 两种温度条件下其最大生殖价值 (v_{xj}) (图 4) 分别出现在第 31 和 38 天, 为 223.9 和 40.3。

生命表是研究昆虫种群动态变化的一种重要工具, 而内禀增长率 r 和净生殖率 R_0 是表征昆虫种群动态的重要参数, 其中内禀增长率综合考虑了种群的出生率和死亡率、种群的性比和繁殖力等诸多因素, 因此能敏感地反映出各种因素对种群的综合影响^[32-33]。周限增长率 $\lambda > 1$ 时, 种群处于增长状态, $\lambda = 1$ 时种群处于稳定状态, $0 < \lambda < 1$ 时种群下降^[34]。虽然温室波动温度下异色瓢虫生命表参数显著降低 (表 2), 但是两种条件下 λ 均大于 1, 说明两种条件下异色瓢虫种群是呈增长趋势的, 只是温室波动温度下种群增长较缓慢。

本研究利用年龄-龄期两性生命表分析得到的结果包括基础数据和导出数据, 发育历期、寿命、繁殖力、存活率等生活史特性 (表 1) 属于基础数据, 种群参数属于导出数据, 综合运用生命表得到的所有数据才能更好的服务于害虫综合治理^[26]。本研究中两种条件下异色瓢虫生活史特性和生命表参数存在显著差异, 这主要是由于异色瓢虫在温室条件下经历的是变化波动的环境条件 (温度、光照、湿度)。此外, 寄主植物、营养水平等也是造成差异的重要因素。环境条件变化和资源匮乏对昆虫生长发育存在限制作用^[2]。利用一种天敌昆虫进行生物防治, 除了明确种群发生动态外, 其捕食能力同样是非常重要的, 因此利用年龄-龄期两性生命表分析异色瓢虫的捕食能力也是将要进行的工作。

4 结论

利用年龄-龄期两性生命表分析比较室内恒温和温室波动温度下异色瓢虫生长发育、繁殖和存活等生物学特性和生命表参数。结果表明, 这两种条件下异色瓢虫生活史特性和种群参数存在显著差异, 与自然的波动温度相比, 恒温可能过高或过低的估计许多生命表参数, 依据恒温下得到的生命表数据进行田间释放应用是有一定误差的, 因此影响其防控效果。

References

- [1] 王甦, 张润志, 张帆. 异色瓢虫生物生态学研究进展. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2117-2126.
Wang S, Zhang R Z, Zhang F. Research progress on biology and ecology of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2117-2126. (in Chinese)
- [2] 王海鸿, 薛瑶, 雷仲仁. 恒温和波动温度下西花蓟马的实验种群生命表. 中国农业科学, 2014, 47(1): 61-68.
Wang H H, Xue Y, Lei Z R. Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) under constant and fluctuating temperature. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(1): 61-68. (in Chinese)
- [3] Chi H, Su H Y. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental Entomology*, 2006, 35(1): 10-21.
- [4] 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.
- [5] Yasuda H, Takagi T, Kogi K. Effect of conspecific and heterospecific larval tracks on the oviposition behaviour of the predatory ladybird, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 2000, 97: 551-553.
- [6] Yasuda H, Kikuchi T, Kindlmann P, Sato S. Relationships between attack and escape rates, cannibalism, and intraguild predation in larvae of two predatory ladybirds. *Journal of Insect Behavior*, 2001, 14(3): 373-384.
- [7] 王甦, 刘爽, 张帆, 张润志. 环境颜色对异色瓢虫生长发育及繁殖能力的影响. 昆虫学报, 2008, 51(12): 1320-1326.
Wang S, Liu S, Zhang F, Zhang R Z. Effects of environment color on developmental characteristics and reproduction capability of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(12): 1320-1326. (in Chinese)
- [8] 王甦, 谭晓玲, 张帆. 不同温度条件下异色瓢虫四龄幼虫亲缘关系对自残行为的影响. 生态学报, 2010, 30(19): 5396-5403.
Wang S, Tan X L, Zhang F. Influence of kin relationship on cannibalism behavior of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) fourth instar larvae in different temperature conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5396-5403. (in Chinese)
- [9] 王甦, 谭晓玲, 徐红星, 张帆. 三种捕食性瓢虫的种间竞争作用. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3980-3987.

- Wang S, Tan X L, Xu H X, Zhang F. Interspecific competition among three predacious ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(19): 3980-3987. (in Chinese)
- [10] Wang S, Michaud J P, Zhang R Z, Zhang F, Liu S. Seasonal cycles of assortative mating and reproductive behavior in polymorphic populations of *Harmonia axyridis* in China. *Ecological Entomology*, 2009, 34(4): 483-494.
- [11] Michie L J, Mallard F, Majerus M E, Jiggins F M. Melanic through nature or nurture: genetic polymorphism and phenotypic plasticity in *Harmonia axyridis*. *Journal of Evolutionary Biology*, 2010, 23(8): 1699-1707.
- [12] 唐斌, 诸佶, 郭红双, 方丹, 沈祺达, 郑笑笑, 王世贵, 张帆, 王甦. 异色瓢虫鞘翅色斑变异多样性研究进展. 杭州师范大学学报, 2012, 11(2): 132-136.
- Tang B, Zhu J, Guo H S, Fang D, Chen Q D, Zheng X X, Wang S G, Zhang F, Wang S. Studies of the diversity of multiple elytral color morphs of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Journal of Hangzhou Normal University*, 2012, 11(2): 132-136. (in Chinese)
- [13] 陈洁. 异色瓢虫对温度的适应性及其卵黄发生的初步研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
- Chen J. Study on adaptation to different temperature and vitellogenesis of *Harmonia axyridis* Pallas[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2008. (in Chinese)
- [14] 赵静. 异色瓢虫低温胁迫耐受性及其越冬策略的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- Zhao J. Response to cold stress and overwintering strategy of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) adults[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [15] 王小艺, 沈佐锐. 异色瓢虫的应用研究概况. 昆虫知识, 2002, 39(4): 255-261.
- Wang X Y, Shen Z R. Progress of applied research on multicolored Asian ladybird beetle. *Entomological Knowledge*, 2002, 39(4): 255-261. (in Chinese)
- [16] 曾斌. 异色瓢虫人工大量繁殖与田间释放技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- Zeng B. Studies on mass rearing and field release technology of *Harmonia axyridis*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [17] 张岩, 秦秋菊, 陈洁, 刘顺, 何运转. 五种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响. 植物保护学报, 2008, 35(5): 394-398.
- Zhang Y, Qin Q J, Chen J, Liu S, He Y Z. Effects of five species aphids on development and fecundity of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Acta Phytophylacica Sinica*, 2008, 35(5): 394-398. (in Chinese)
- [18] Abdel-Salam A H, Abdel-Baky N F. Life table and biological studies of *Harmonia axyridis* Pallas (Col., Coccinellidae) reared on the grain moth eggs of *Sitotroga cerealella* Olivier (Lep., Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 2001, 125: 455-462.
- [19] Osawa N. Population field studies of the aphidophagous ladybird beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): life table and key factor analysis. *Researches on Population Ecology*, 1993, 35: 335-348.
- [20] 陈洁, 秦秋菊, 孙文琰, 何运转. 温度对异色瓢虫实验种群的影响. 植物保护学报, 2008, 35(5): 405-409.
- Chen J, Qin Q J, Sun W Y, He Y Z. Influence of temperature on experimental populations of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Acta Phytophylacica Sinica*, 2008, 35(5): 405-409. (in Chinese)
- [21] 王秀梅, 陈鹏, 张锡珍, 阮长春. 使用生命表评价蚜蛭虫胺对异色瓢虫的影响. 生态学报, 2014, 34(13): 3629-3634.
- Wang X M, Chen P, Zhang X Z, Ruan C C. Evaluation of the effect of nitenpyram on *Harmonia axyridis* (Pallas) using life table technique. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(13): 3629-3634. (in Chinese)
- [22] Lanzoni A, Accinelli G, Bazzocchi G G, Burgio G. Biological traits and life table of the exotic *Harmonia axyridis* compared with *Hippodamia variegata*, and *Adalia bipunctata* (Col., Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 2004, 128(4): 298-306.
- [23] Huang Y B, Chi H. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. *Insect Science*, 2012, 19: 263-273.
- [24] Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 1985, 24(2): 225-240.
- [25] Kavousi A, Chi H, Talebi K, Bandan A, Ashouri A, Naveh V H. Demographic traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on leaf discs and whole leaves. *Journal of Economic Entomology*, 2009, 102(2): 595-601.
- [26] Farhadi R, Allahyari H, Chi H. Life table and predation capacity of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control*, 2011, 59: 83-89.
- [27] 王登杰, 臧连生, 张烨, 王海鸿, 雷仲仁. 球孢白僵菌对烟粉虱后代生命表参数的亚致死影响. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3588-3595.
- Wang D J, Zang L S, Zhang Y, Wang H H, Lei Z R. Sublethal effects

- of *Beauveria bassiana* Balsamo on life table parameters of subsequent generations of *Bemisia tabaci* Gennadius. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(18): 3588-3595. (in Chinese)
- [28] Chi H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 1988, 17(1): 26-34.
- [29] Chi H. TWSEX-MSChart: computer program for age stage, two-sex life table analysis. 2013, <http://140.120.197.173/ecology/>.
- [30] Obrycki J J, Kring T J. Predaceous Coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology*, 1998, 43: 295-321.
- [31] Yang T C, Chi H. Life tables and development of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) at different temperatures. *Journal of Economic Entomology*, 2006, 99(3): 691-698.
- [32] Richards O W. The theoretical and practical study of natural insect populations. *Annual Review of Entomology*, 1961, 6(1): 147-162.
- [33] Varley G C, Gradwell G R. Recent advances in insect population dynamics. *Annual Review of Entomology*, 1970, 15(1): 1-24.
- [34] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- Zhang X X. *Insect Ecology and Forecast*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2002. (in Chinese)
- (责任编辑 岳梅)