

不同温度下南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫的 年龄-龄期两性生命表^{*}

高莉萍^{1,2**} 汪宏宇¹ 曹飞¹ 代咏横¹ 王香萍^{1***} 张金平^{2***}

(1. 长江大学, 农林病虫害预警与调控湖北省工程中心, 荆州 434025;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业农村部-CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193)

摘要 【目的】 温度是影响天敌昆虫生长发育和繁殖的重要因素。本研究测定不同温度下南亚大眼长蝽 *Geocoris ochropterus* 以小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫为食时的生长发育及繁殖情况, 以期筛选出最适于南亚大眼长蝽种群饲养的温度。【方法】 本文采用年龄-龄期两性生命表方法, 系统评估南亚大眼长蝽在 22、24、26、28 和 30 °C 下取食小菜蛾幼虫时的发育历期、存活率、繁殖力及种群增长等参数。【结果】 南亚大眼长蝽在各个试验温度下均能完成整个世代发育, 尤其当温度为 28 °C 时, 南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫具有发育历期短 (32.51 d)、存活率高 (61%)、总产卵前期短 (36.81 d)、雌性占比高 (32%) 以及单雌产卵量高 (277.19 粒) 等生物学特性; 同时拥有较高的净增殖率 R_0 (88.7)、内禀增长率 r (0.08/d) 和周限增长率 λ (1.09/d) 及较短的平均世代周期 T (53.88 d)。【结论】 南亚大眼长蝽在 28 °C 下取食小菜蛾幼虫生长发育及繁殖最适, 这一结果为今后利用小菜蛾大规模饲养南亚大眼长蝽和在田间开展小菜蛾的生物防治工作提供了理论依据。

关键词 南亚大眼长蝽; 小菜蛾; 不同温度; 年龄-龄期两性生命表; 生物防治

Age-stage two-sex life table of *Geocoris ochropterus* feeding on *Plutella xylostella* larvae at different temperatures

GAO Li-Ping^{1,2**} WANG Hong-Yu¹ CAO Fei¹ DAI Yong-Heng¹
WANG Xiang-Ping^{1***} ZHANG Jin-Ping^{2***}

(1. Hubei Engineering Technology Center for Forewarning and Management of Agricultural and Forestry Pests,

Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 2. MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-Safety, Institute of Plant Protection,

Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract [Aim] To determine the optimal temperature for raising *Geocoris ochropterus*, a natural enemy of *Plutella xylostella*. [Methods] Using an age-stage two-sex life table approach, we systematically evaluated the developmental period, survival rate, reproductive capacity, and population growth parameters of male and female *G. ochropterus* feeding on *P. xylostella* larvae at 22, 24, 26, 28, and 30 °C. [Results] *G. ochropterus* could complete development at all temperatures tested. However, 28 °C was the optimal temperature in terms of developmental period (32.51 days), survival rate (61%), pre-oviposition period (36.81 days), proportion of females produced (32%), and female fecundity (277.19 eggs/female). The net reproductive rate was also highest at 28 °C (88.7 offspring), as was the intrinsic rate of increase (0.08 per day) and the finite rate of increase (1.09 per day), whereas the mean generation time was the shortest (53.88 days). [Conclusion] 28 °C is the optimum temperature for the development and reproduction of *G. ochropterus* feeding on *P. xylostella* larvae. This result provides a theoretical basis for improving the captive rearing of *G. ochropterus* and consequently the biological control of *P. xylostella*.

Key words *Geocoris ochropterus*; *Plutella xylostella*; different temperature; age-stage two-sex life table; biological control

*资助项目 Supported project: 农业农村部捐赠 CABI 发展基金 (VM10051)

**第一作者 First author, E-mail: glpzzz@126.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: wang.xiang.ping@126.com; j.zhang@cabi.org

收稿日期 Received: 2026-01-09; 接受日期 Accepted: 2026-03-30

小菜蛾 *Plutella xylostella* 隶属鳞翅目, 菜蛾科, 是一类以十字花科植物为主要寄主的重要迁飞性害虫, 广泛分布于世界各地 (Ma *et al.*, 2021; Baibussenov *et al.*, 2023)。其幼虫具有极强的危害性, 可钻入植物叶片取食叶肉组织, 严重时可导致叶片仅剩表皮; 同时, 幼虫取食过程中产生的粪便及其他排泄物会进一步影响植株正常光合作用, 对十字花科植物生产构成严重威胁 (彭李亚等, 2024; 李康等, 2025; 孟凡欣, 2025)。目前对小菜蛾的防控仍然以化学防治为主, 但长期过度使用化学药剂会导致小菜蛾出现抗药性、造成环境污染以及威胁人类健康等弊端 (郭鑫楠等, 2024)。为了减少化学药剂的使用, 寻找小菜蛾的天敌对其进行生物防治尤为重要。

南亚大眼长蝽 *Geocoris ochropterus* 隶属半翅目, 大眼长蝽科, 广泛分布于棉花、玉米、向日葵、苜蓿、茶树、果树和花卉等多种经济作物上 (Varshney and Ballal, 2018; Varshney *et al.*, 2018)。作为一种捕食性天敌昆虫, 南亚大眼长蝽可捕食多种害虫, 包括蚜虫类、螨类、蓟马类以及鳞翅目的卵和幼虫等, 在农业害虫的生物防治中拥有巨大潜力 (李少卡等, 2022; Chau *et al.*, 2023; Nhu *et al.*, 2025)。以昆虫活体作为食物来源对南亚大眼长蝽进行饲养已有部分研究。最早的研究发现, 黄猷蚁 *Oecophylla smaragdina* 蛹能成功用于南亚大眼长蝽的饲养 (Mukhopadhyay and Sannigrahi, 1993)。后续其他研究显示, 麦蛾 *Sitotroga cerealella* 卵和草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 幼虫可有效用于南亚大眼长蝽的大规模繁殖 (Varshney and Ballal, 2017; Jayanth *et al.*, 2025)。此外, 棉蚜 *Aphis gossypii* 和家蚕 *Bombyx mori* 蛹也被证实是饲养南亚大眼长蝽的适宜食物来源 (Chau *et al.*, 2021)。这些食物来源为南亚大眼长蝽的大规模饲养提供了更多的选择。然而, 尚未有文献报道南亚大眼长蝽以小菜蛾幼虫作为食物时的发育表现。

昆虫属于变温动物, 其生长发育和繁殖受环境温度的影响, 如益蝽 *Picromerus lewisi* 在 18-32 °C 范围内发育速率与温度呈正相关, 28 °C 时种群净增殖率达到峰值 (王亚楠等, 2023); 条

蜂缘蝽 *Riptortus linearis* 的最佳生长发育和繁殖温度为 24 °C, 温度偏离该阈值会导致种群存活率和单雌产卵率下降 (崔玥等, 2025); 而黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* 在 15 和 35 °C 时无法完成整个生活史 (唐艺婷等, 2023)。温度调控昆虫个体的生命活动, 最终影响昆虫的种群动态 (John *et al.*, 2024)。因此, 确定南亚大眼长蝽生长发育和繁殖的最适温度对其应用具有重要意义。

在生物防治中, 为获得理想的防控效果, 有必要对天敌昆虫的繁殖和控害潜能进行准确、全面地评估, 而生命表是评估这些参数的重要工具, 尤其是年龄-龄期两性生命表。年龄-龄期两性生命表的分析不仅考虑了天敌昆虫的龄期分化, 还考虑了雄性个体对种群增长的贡献, 更为准确地反映昆虫生长发育和繁殖规律 (Chi *et al.*, 2020)。目前, 年龄-龄期两性生命表已被用于南方小花蝽 *Orius similis*、麦蛾茧蜂 *Habrobracon hebetor*、蠋蝽 *Arma chinensis* 及侧刺蝽 *Andrallus spinidens* 等多种天敌昆虫的研究中 (胡昌雄等, 2021; 韦兰等, 2023; 刘琪等, 2025; 覃江梅等, 2025), 有利指导了这些天敌昆虫的种群扩繁等生物防治实践。

本研究基于年龄-龄期两性生命表方法, 对不同温度下南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫的生长发育和繁殖的相关参数进行研究, 不仅可以为南亚大眼长蝽的室内大规模扩繁提供理论支撑, 也可为田间小菜蛾的生物防治奠定科学基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

小菜蛾由吉林省浩康生物科技有限公司提供, 以新鲜白菜叶作为食源连续饲养 5 代以上。南亚大眼长蝽采集于湖北省荆州市 (31°26' N, 112°15' E) 棉花田中, 以小菜蛾 2-3 龄幼虫作为食源。

1.2 试验方法

试验设置 22、24、26、28 和 30 °C 共 5 个温度, 相对湿度均为 70%±10%, 光周期均为

16 L : 8 D。选取饱满的南亚大眼长蝽 24 h 内新产卵, 将其放入铺有湿润滤纸的培养皿 (直径 9 cm) 后转入培养箱 (宁波赛福实验仪器有限公司, PGX-250B 型), 每 24 h 在滤纸上补充水分。每个温度下确保有 100 粒卵成功孵化, 记录卵的发育历期。用毛笔轻轻将初孵若虫分别转移至 20 mL 塑料盒中单头饲养, 以 2-3 龄小菜蛾幼虫为食源, 并放入湿润的脱脂棉球, 每 24 h 补充食物和水分, 记录若虫的龄期及死亡情况。待羽化为成虫后, 将各温度下的成虫分别按雌雄 1 : 1 配对, 转移至贴有无纺布供雌虫产卵的 100 mL 塑料盒中, 重复 30 次, 饲养方式同若虫, 每 24 h 记录 1 次雌成虫产卵量, 至成虫死亡, 记录成虫寿命。

1.3 种群生命表的构建

根据年龄-龄期两性生命表方法 (Chi, 1988; Chi *et al.*, 2020, 2023), 统计不同温度下南亚大眼长蝽取食小菜蛾的生命表参数如发育历期、寿命、产卵量等, 且这些参数的标准误由 Bootstrap 技术估计。最后使用 Paired bootstrap test (TWOSEX-MSChart) 程序在 $P = 0.05$ 的条件下对各处理的差异进行显著性检验 (Ou *et al.*, 2021)。使用 SigmaPlot 14.0 软件进行作图。生命表主要参数的定义和计算公式参照 Ou 等 (2021) 的方法, 具体描述如下:

(1) 特定年龄-龄期存活率 (s_{xj}):

$$s_{xj} = \frac{n_{xj}}{n_1}$$

表示从卵存活到年龄 x 龄期 j 的概率。 n_{xj} 表示存活到年龄 x 龄期 j 的个体数, n_1 表示最初用于生命表研究的卵数;

(2) 特定年龄存活率 (l_x):

$$l_x = \sum_{j=1}^m s_{xj}$$

表示从卵期发育到年龄 x 的概率, 它是 s_{xj} 忽略龄期变化的方式;

(3) 种群特定年龄繁殖力 (m_x):

$$m_x = \sum_{j=1}^m s_{xj} f_{xj} / \sum_{j=1}^m s_{xj}$$

表示种群在年龄 x 的平均产卵量, f_{xj} 指雌成虫发育到年龄 x 龄期 j 的产卵量;

(4) 特定年龄-龄期期望寿命 (e_{xj}):

$$e_{xj} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^m s'_{iy}$$

表示个体在年龄 x 龄期 j 时预期仍可存活的时间;

(5) 特定年龄-龄期繁殖值 (v_{xj}):

$$v_{xj} = \frac{e^{r(x+1)}}{s_{xj}} \sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)} \sum_{y=j}^m s'_{iy} f_{iy}$$

表示个体在年龄 x 龄期 j 对未来种群的贡献;

(6) 内禀增长率 (r):

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$$

使用 Euler-Lotka 方程和二分迭代法计算, 年龄从 0 检索;

(7) 周限增长率 (λ):

$$\lambda = e^r$$

表示当时间趋于无穷大, 种群达到稳定的年龄-龄期分布时, 种群平均每天以 λ 的速率增长;

(8) 净增殖率 (R_0):

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$$

表示种群中平均个体一生中所产生的后代总数;

(9) 平均世代周期 (T):

$$T = \frac{\ln R_0}{r}$$

表示当时间趋近于无穷大, 种群达到稳定的年龄-龄期分布时, 种群增长到其种群规模 R_0 倍所需的时间。

2 结果与分析

2.1 不同温度对南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫生长发育及繁殖的影响

随着温度的升高, 南亚大眼长蝽各虫态的发育历期逐渐缩短, 22 °C 时卵期最长 [(15.68 ± 0.06) d], 30 °C 时卵期最短 [(7.98 ± 0.05) d]; 22 °C 成虫前期最长 [(59.29 ± 0.30) d], 30 °C 最短 [(28.98 ± 0.13) d]。成虫前期在 22、24、26

和 28 °C 下存活率均超过了 60%，且各温度间无显著差异 ($P > 0.05$)。成虫寿命随温度的升高而缩短，22 °C 雄成虫寿命为 (134.43±6.76) d、雌成虫为 (131.70±5.09) d，30 °C 时分别缩短至 (48.07±1.21) 和 (55.5±1.91) d。在繁殖指标中，28 °C 时单雌产卵量达峰值，为

(277.19±30.36) 粒，30 °C 时则显著减少，为 (176.03±18.59) 粒 ($P < 0.05$)；产卵天数也随温度的升高而递减，22 °C 为 (58.94±4.23) d，30 °C 仅 (22.66±1.78) d。此外，南亚大眼长蝽的雌雄虫占比不受温度条件的影响，不同温度间无显著差异 ($P > 0.05$) (表 1)。

表 1 不同温度下南亚大眼长蝽的生命表参数
Table 1 Life table parameters of *Geocoris ochropterus* at different temperatures

参数 Parameters	处理 Treatments				
	22 °C	24 °C	26 °C	28 °C	30 °C
卵 (d) Egg (d)	15.68±0.06 a	13.46±0.06 b	11.03±0.07 c	9.20±0.05 d	7.98±0.05 e
1 龄若虫 (d) 1st instar nymph (d)	10.17±0.12 a	8.28±0.10 b	6.64±0.11 c	5.07±0.08 d	4.52±0.06 e
2 龄若虫 (d) 2nd instar nymph (d)	7.66±0.11 a	5.76±0.07 b	5.19±0.09 c	3.93±0.07 d	3.40±0.07 e
3 龄若虫 (d) 3rd instar nymph (d)	7.47±0.10 a	5.36±0.07 b	5.26±0.11 b	3.92±0.08 c	3.36±0.07 d
4 龄若虫 (d) 4th instar nymph (d)	7.31±0.11 a	5.90±0.07 b	5.58±0.11 c	4.20±0.06 d	3.85±0.05 e
5 龄若虫 (d) 5th instar nymph (d)	11.25±0.10 a	9.26±0.07 b	7.92±0.10 c	6.52±0.07 d	5.90±0.07 e
成虫前期 (d) Pre-adult (d)	59.29±0.30 a	47.68±0.19 b	41.30±0.27 c	32.51±0.18 d	28.98±0.13 e
成虫前期存活率 Pre-adult survival rate	0.63±0.05 ab	0.73±0.04 a	0.71±0.05 ab	0.61±0.05 ab	0.59±0.05 b
总产卵前期 (TPOP) (d) Total pre-oviposition period (d)	68.69±0.61 a	55.00±0.39 b	47.89±0.49 c	36.81±0.27 d	33.17±0.20 e
雄成虫总寿命 (d) Total male longevity (d)	134.43±6.76 a	94.31±4.81 b	81.57±4.14 c	67.97±5.48 d	48.07±1.21 e
雌成虫总寿命 (d) Total female longevity (d)	131.70±5.09 a	102.44±2.68 b	94.28±4.28 b	78.47±3.61 c	55.50±1.91 d
单雌产卵量 (粒) Eggs laid per female (grain)	239.15±23.66 a	240.85±24.02 a	237.03±28.41 ab	277.19±30.36 a	176.03±18.59 b
产卵天数 (d) Oviposition days (d)	58.94±4.23 a	43.02±2.87 b	40.00±4.03 b	39.19±3.36 b	22.66±1.78 c
雌虫比例 Proportion of female	0.33±0.05 a	0.41±0.05 a	0.36±0.05 a	0.32±0.05 a	0.30±0.05 a
雄虫比例 Proportion of male	0.30±0.05 a	0.32±0.05 a	0.35±0.05 a	0.29±0.05 a	0.29±0.05 a

表中数值为平均值±标准误，同行数据后标有不同字母表示显著差异 ($P < 0.05$ ，配对自助法检验)。下表同。

Data in the table are presented as mean±SE, and followed by the different letters within a row indicate significant difference ($P < 0.05$, paired bootstrap test). The same below.

2.2 不同温度下南亚大眼长蟠取食小菜蛾幼虫的特定年龄-龄期存活率

南亚大眼长蟠各虫态的存活时间和存活率均受温度影响。22 °C时, 南亚大眼长蟠种群的存活时间最长, 接近 200 d, 雌、雄成虫期的存活率分别在第 64 天和第 63 天时达到峰值, 分别为 33%和 30%, 并且成虫期存活率下降趋势最为平缓; 随着温度升高, 南亚大眼长蟠的种群存活

时间缩短, 成虫期存活率达到峰值的时间缩短, 28 °C时种群存活时间约 150 d, 雌、雄成虫期的存活率分别在第 34 天和第 36 天时达到峰值, 分别为 32%和 27%; 当温度升至 30 °C时, 南亚大眼长蟠种群存活时间达到最短, 低于 100 d, 雌、雄成虫期的存活率分别在第 30 天和第 32 天时就达到峰值, 分别为 30%和 29%, 并且成虫期存活率快速下降 (图 1: A-E)。

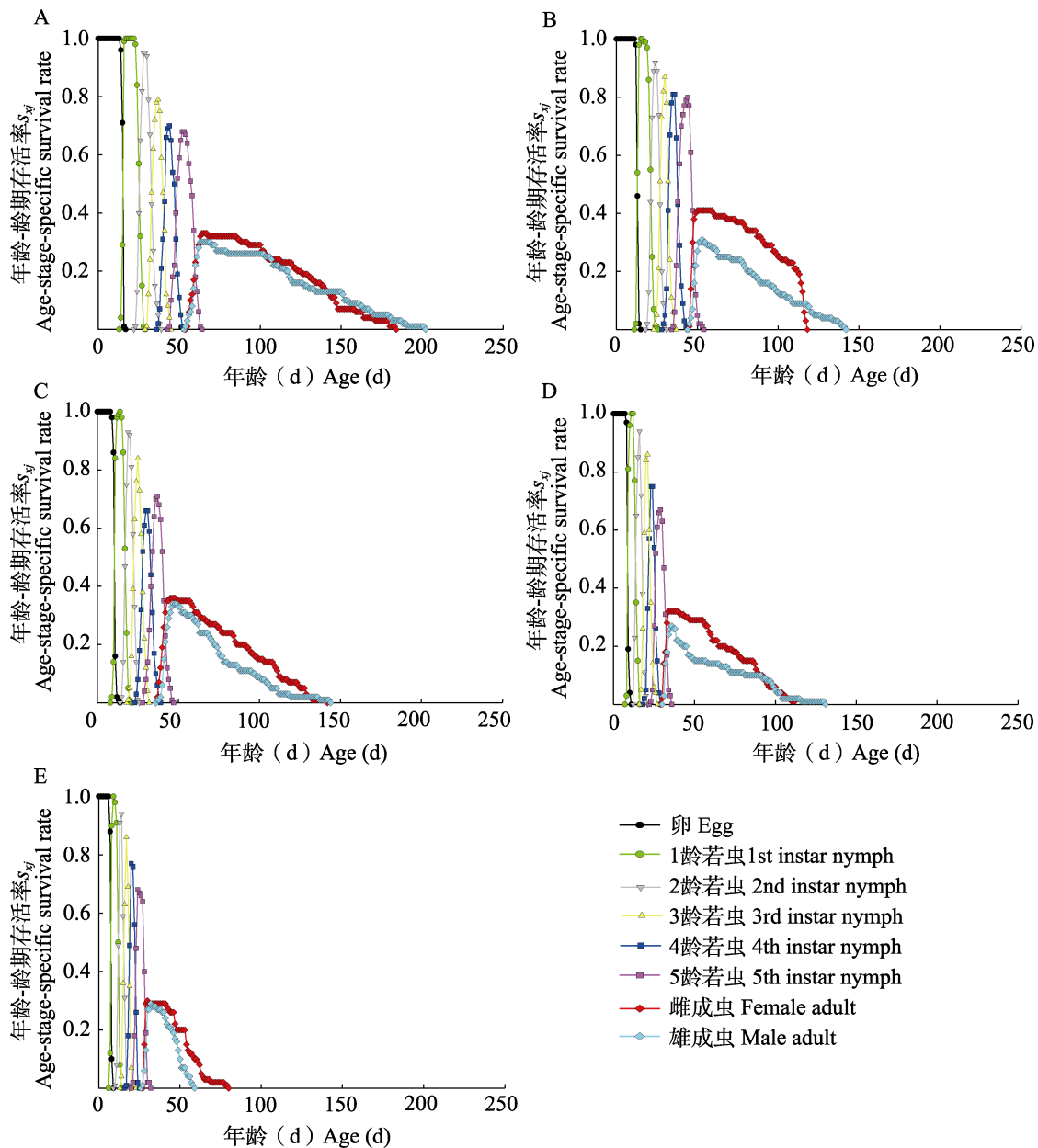


图 1 不同温度下南亚大眼长蟠的特定年龄-龄期存活率 (s_{ij})

Fig. 1 Age-stage specific survival rates (s_{ij}) of *Geocoris ochropterus* at different temperatures

A. 22 °C; B. 24 °C; C. 26 °C; D. 28 °C; E. 30 °C.

2.3 不同温度下南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫的特定年龄存活率及种群繁殖力

随着温度的升高, l_x 曲线下降低速率增大, 表明南亚大眼长蝽种群的存活率随着温度的升高而快速降低。南亚大眼长蝽种群繁殖力曲线 (f_x , m_x , $l_x m_x$) 显示, 随着温度的升高, 产卵前期逐渐缩短, 雌成虫分别从第 63、51、44、34 和 31 天开始产卵; 并且 3 种群繁殖力曲线均成现波浪

形, 在 22、24 和 26 °C 时波动幅度较为稳定, 在 28 °C 时波动差异逐渐明显, 在 30 °C 时波动幅度最大, 差异最为明显; 温度从低到高, 雌成虫特定年龄繁殖力 (f_x) 峰值分别为 4.87、6.21、7.88、10.00、10.50, 种群特定年龄繁殖力 (m_x) 峰值分别为 2.61、3.59、5.73、5.33、10.50, 种群特定年龄净繁殖力 ($l_x m_x$) 峰值分别为 1.46、2.30、1.64、2.17、2.88 (图 2: A-E)。

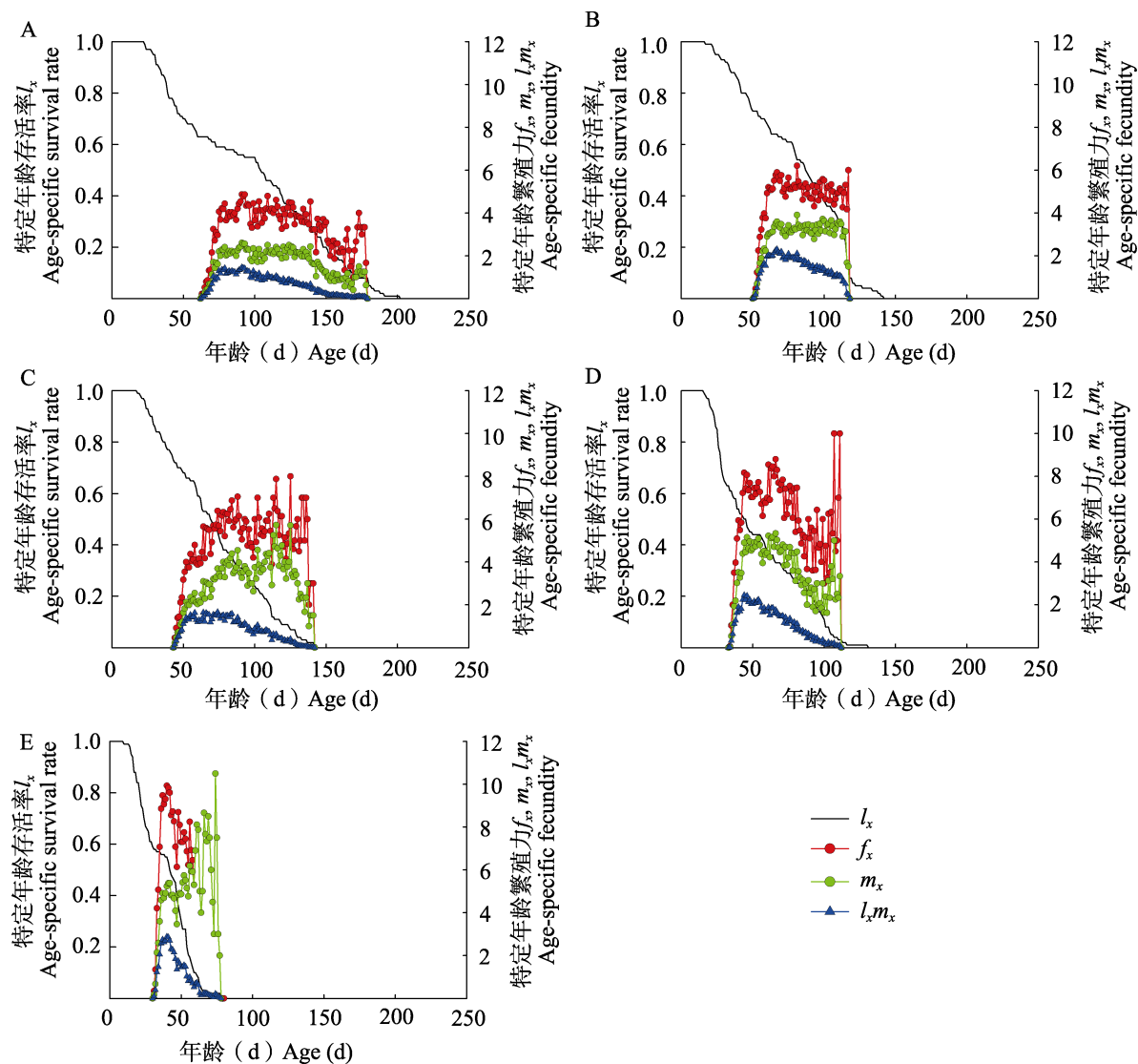


图 2 不同温度下南亚大眼长蝽的特定年龄存活率 (l_x)、雌成虫特定年龄繁殖力 (f_x)、种群特定年龄繁殖力 (m_x) 与种群特定年龄净繁殖力 ($l_x m_x$)

Fig. 2 Age-specific survival rates (l_x), female age-specific fecundity (f_x), age-specific fecundity of the population (m_x), and age-specific net reproductive rates of the population ($l_x m_x$) of *Geocoris ochropterus* at different temperatures

A. 22 °C; B. 24 °C; C. 26 °C; D. 28 °C; E. 30 °C.

2.4 不同温度下南亚大眼长蟠取食小菜蛾幼虫的寿命期望

随着温度的升高, 南亚大眼长蟠的特定年龄-龄期期望寿命逐渐缩短。初产卵的寿命期望值均为最高, 温度从低到高, 初产卵的寿命期望

值分别为 98.83、82.16、71.75、54.87 和 39.35 d。各温度条件下不同虫态的 e_{xj} 曲线均随年龄的增大呈单调递减趋势。特别地, 当温度为 30 °C 时, 雌虫的平均寿命均高于雄虫, 而在其它温度下的雌雄虫平均寿命几乎与之相反 (图 3: A-E)。

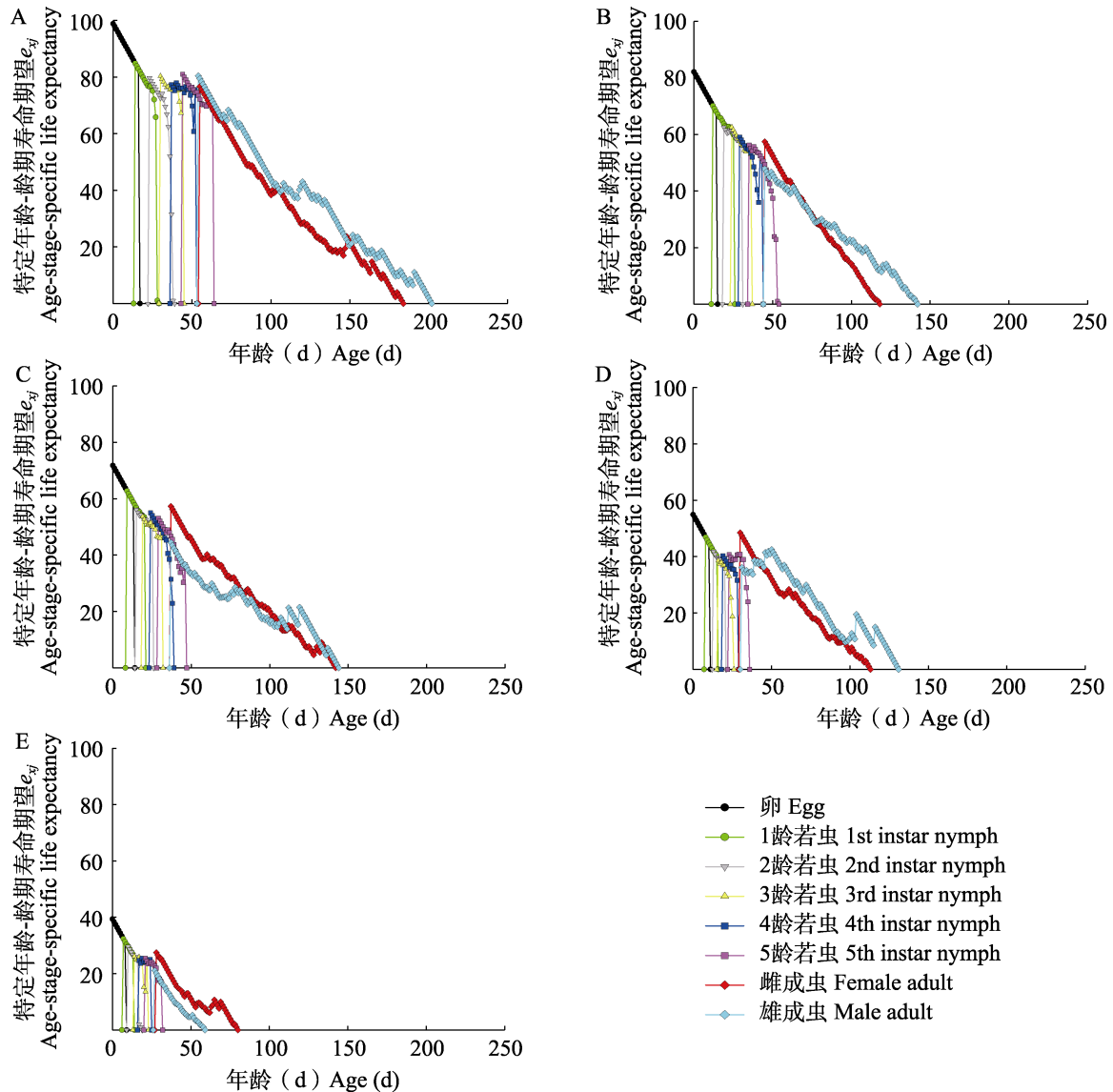


图 3 不同温度下南亚大眼长蟠的特定年龄-龄期寿命期望 (e_{xj})

Fig. 3 Age-stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Geocoris ochropterus* at different temperatures

A. 22 °C; B. 24 °C; C. 26 °C; D. 28 °C; E. 30 °C.

2.5 不同温度下南亚大眼长蟠取食小菜蛾幼虫的繁殖值

各温度下不同发育阶段的繁殖值随着年龄的增加而增加, 当南亚大眼长蟠发育进入成虫产

卵期, 繁殖值升高。22 °C 时第 55 天进入产卵期, 第 75 天达到繁殖值峰值, 为 78.41, 24 °C 第 45 天进入产卵期, 第 61 天达到繁殖值峰值, 为 79.18; 26 °C 第 37 天进入产卵期, 第 70 天达到繁殖值峰值, 为 75.63; 28 °C 第 30 天进入产卵

期, 第 44 天达到繁殖值峰值, 为 81.31, 为 5 个温度条件下最大繁殖值; 30 °C 第 28 天进入产卵

期, 第 35 天达到繁殖值峰值, 为 78.97 (图 4: A-E)。

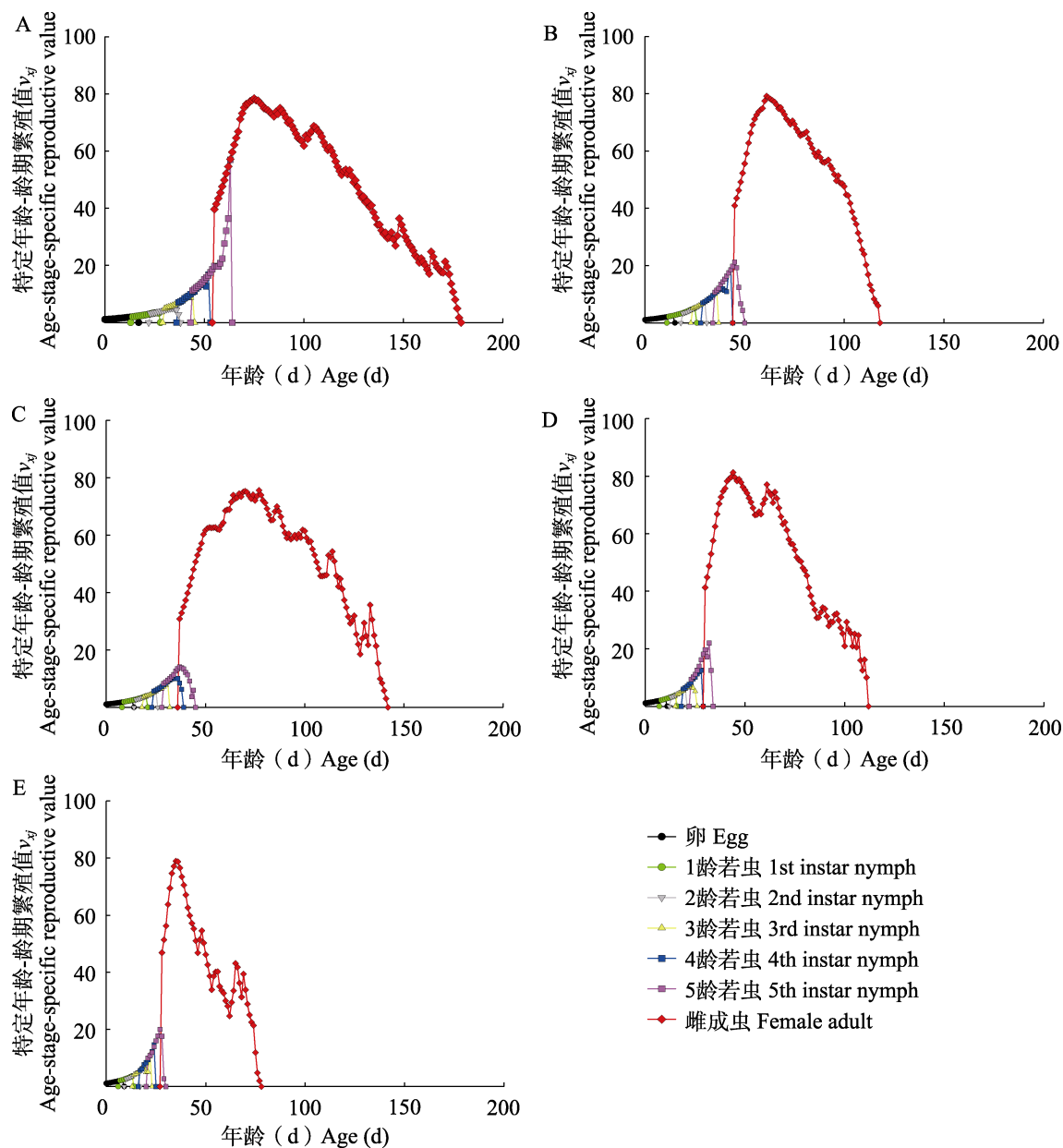


图 4 不同温度下南亚大眼长蟥的特定年龄-龄期繁殖值 (v_{xj})

Fig. 4 Age-stage specific reproductive values (v_{xj}) of *Geocoris ochropterus* at different temperatures

A. 22 °C; B. 24 °C; C. 26 °C; D. 28 °C; E. 30 °C.

2.6 不同温度下南亚大眼长蟥取食小菜蛾幼虫的种群参数

当温度为 28 °C 时, 南亚大眼长蟥捕食小菜蛾的种群参数较优, 在该温度条件下, 南亚大眼

长蟥的净增殖率 R_0 、内禀增长率 r 和周限增长率 λ 均较高, 分别为 88.70、0.08 和 1.09; 平均世代周期 T 随着温度的升高而显著缩短 ($P < 0.05$), 在 30 °C 时最短, 其次是 28 °C, 分别为 43.51 和 53.88 d (表 2)。

表 2 不同温度下南亚大眼长蝽的种群参数
Table 2 Population parameters of *Geocoris ochropterus* at different temperatures

种群参数 Population parameters	处理 Treatments				
	22 °C	24 °C	26 °C	28 °C	30 °C
净增殖率 R_0 Net reproductive rate	78.92±13.59 ab	98.75±15.41 a	85.33±15.26 ab	88.7±16.12 ab	52.81±9.76 b
内禀增长率 r (d^{-1}) Intrinsic rate of increase (d^{-1})	0.05±0.00 c	0.06±0.00 b	0.06±0.00 b	0.08±0.00 a	0.09±0.00 a
周限增长率 λ (d^{-1}) Finite rate of increase (d^{-1})	1.05±0.00 c	1.06±0.00 b	1.07±0.00 b	1.09±0.00 a	1.10±0.00 a
平均世代周期 T (d) Mean generation time (d)	95.17±1.39 a	74.90±0.81 b	70.20±1.28 c	53.88±0.98 d	43.51±0.55 e

2.7 不同温度下南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫的种群预测

不同温度下南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫未来 60 d 种群增长速度均随时间的增加呈现出先平稳增长而后加速增长的趋势。当温度为 22 °C 时，南亚大眼长蝽的种群增长速度较慢，

且增长趋势相对稳定，未出现明显波动；在其余各温度下，种群增长均经历一个平稳期后进入加速期，且该转变拐点随温度升高而明显提早；尤其在 28 °C 下，南亚大眼长蝽的种群第 35 天就进入指数增长期，其种群增长峰值为 2.66，为各温度组中最高（图 5：A-E）。

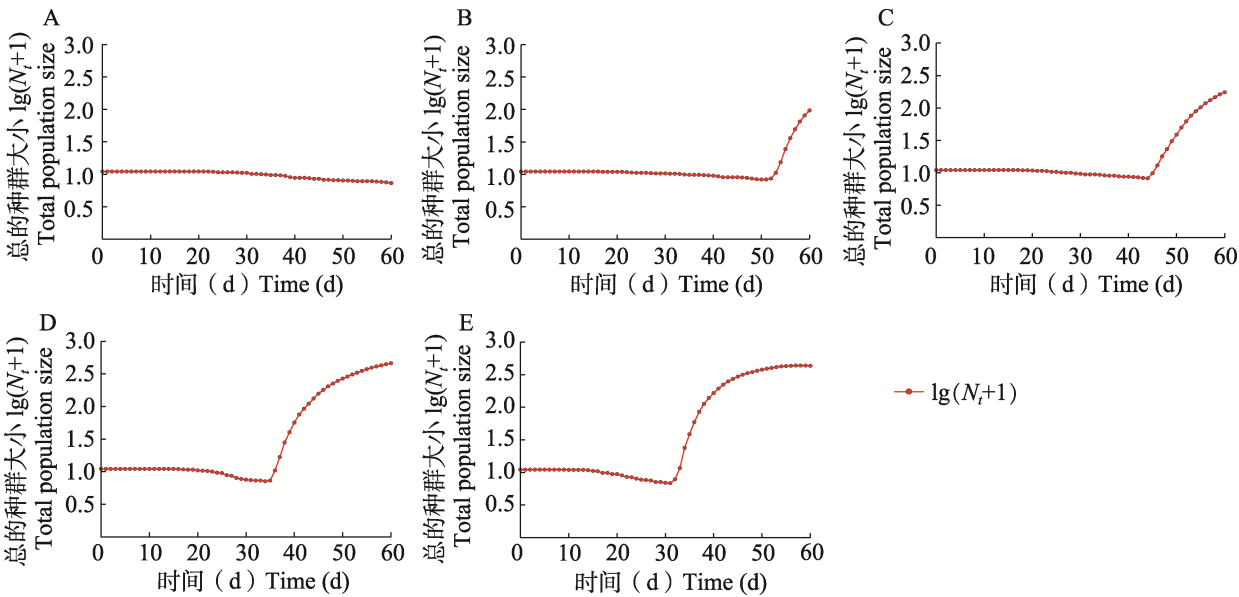


图 5 不同温度下南亚大眼长蝽的种群预测
Fig. 5 Population projection of *Geocoris ochropterus* at different temperatures
A. 22 °C; B. 24 °C; C. 26 °C; D. 28 °C; E. 30 °C.

3 结论与讨论

利用年龄-龄期两性生命表方法研究不同温度对天敌昆虫生长发育和繁殖的影响，可筛选出

天敌昆虫种群扩繁的最优温度条件，以此用于生物防治（杨晓东, 2024）。本研究利用生命表方法探究了不同温度下（22、24、26、28 和 30 °C）南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫的生长发育和繁

殖情况, 结果表明南亚大眼长蝽在 5 种温度下均能完成世代发育, 但其发育速率、存活水平及繁殖表现在不同温度间存在显著差异。

温度是调控昆虫生命活动的重要环境因子, 昆虫种群生活在适温区才能维持正常生长发育与繁殖 (Petros and Matilda, 2012)。在适温范围内, 温度升高可提升昆虫体内酶系活性, 加速其呼吸、物质合成与能量代谢等生理过程, 提高营养吸收转化效率; 同时可促进昆虫体内激素分泌及细胞增殖分化, 加快蜕皮及变态等发育进程 (Abram *et al.*, 2017; Gonzalez-Tokman *et al.*, 2020)。当环境温度偏离昆虫的适温范围时, 将对其产生不同程度的胁迫效应: 高温可能导致昆虫死亡, 而低温可能诱导其进入滞育状态 (Buckley, 2022; Zhou *et al.*, 2024)。在 22-30 °C 范围内, 南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫的生长发育速率与环境温度呈正相关, 随温度的升高各虫态发育历期逐渐缩短, 成虫前期及总产卵前期也相应缩短, 并且能够维持良好的生长发育状态。因此, 可以明确 22-30 °C 这一温度区间属于南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫生长发育和繁殖的适温范围。

与 28 °C 相比, 南亚大眼长蝽在 22-26 °C 下虽寿命较长, 但发育速度较慢, 单雌产卵量未达峰值; 在 30 °C 下虽发育速度最快, 但成虫寿命和单雌产卵量均为最低。28 °C 时, 南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫具有较短的发育历期 (32.51 d)、较高的成虫前期存活率 (61%)、较短的总产卵前期 (36.81 d)、较高的雌性占比 (32%) 以及最高的单雌产卵量 (277.19 粒) 等生物学特性。净增殖率 R_0 、内禀增长率 r 和周限增长率 λ 是反映发育历期、存活率、繁殖率和雌雄性比等生物学特性的重要种群参数 (Ou *et al.*, 2021)。当 $R_0 > 1$, $r > 0$ 且 $\lambda > 1$ 时, 种群表现为增长趋势。本研究发现, 南亚大眼长蝽在各温度下的种群参数均符合上述关系式, 尤其当温度为 28 °C 时表现最优。当温度为 28 °C 时, 南亚大眼长蝽的净增殖率 R_0 、内禀增长率 r 及周限增长率 λ 均较高, 且平均世代周期 T 较短。综合 28 °C 下南亚大眼长蝽取食小菜蛾幼虫拥有较快的发

育速率和较高的存活水平, 以及最优的繁殖表现, 确定 28 °C 为南亚大眼长蝽种群取食小菜蛾幼虫生长发育及繁殖的最佳温度。

此外, 用小菜蛾幼虫作为南亚大眼长蝽的活体饲料, 显著提高了南亚大眼长蝽的单雌产卵量。据相关研究报道, 在室温下, 南亚大眼长蝽以麦蛾卵饲养, 其单雌产卵量约为 176 粒; 以草地贪夜蛾幼虫饲养, 单雌产卵量约为 129 粒; 以黄猢蚁蛹饲养, 单雌产卵量约为 105 粒; 以家蚕蛹饲养, 单雌产卵量降至约 78 粒; 以棉蚜饲养, 单雌产卵量仅约为 53 粒 (Varshney and Ballal, 2017; Chau *et al.*, 2021; Jayanth *et al.*, 2025)。而在本研究中, 用小菜蛾幼虫饲养南亚大眼长蝽, 其单雌产卵量达到了 200 粒以上, 尤其是在 28 °C 下单雌产卵量达到最高, 约为 277 粒, 具有极其可观的繁殖潜力。因此, 小菜蛾幼虫所含营养成分能更好地满足南亚大眼长蝽生殖发育的营养需求, 可作为该天敌昆虫的优质活体饲料, 这为今后利用小菜蛾大规模饲养南亚大眼长蝽提供了理论依据。

参考文献 (References)

- Abram PK, Boivin G, Moiroux J, Brodeur J, 2017. Behavioural effects of temperature on ectothermic animals: Unifying thermal physiology and behavioural plasticity. *Biological Reviews*, 92(4): 1859–1876.
- Baibussenov K, Ismailova A, Usmanov A, Topayev S, 2023. Environmental factors' influence on the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) population dynamics on cruciferous crops. *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, 55(6): 2077–2091.
- Buckley LB, 2022. Temperature-sensitive development shapes insect phenological responses to climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 52: 100897.
- Chau NNB, Anh NQP, Nhu LTT, Kieu NTP, Quoc NB, 2021. Ant and silkworm pupae as convenient diets for the development and reproduction of big-eyed bug *Geocoris ochropterus* (Hemiptera: Geocoridae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(2): 131–134.
- Chau NNB, Nhu LTT, Quoc NB, 2023. Comparative effect of various powder diets on growth of big-eyed bug *Geocoris ochropterus* (Fieber) (Hemiptera: Geocoridae). *Entomological Research*, 53(6): 238–244.
- Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and

- variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26–34.
- Chi H, You MS, Atlihan R, Smith CL, Kavousi A, Özgökçe MS, Güncan A, Tuan SJ, Fu JW, Xu YY, Zheng FQ, Ye BH, Chu D, Yu Y, Gharekhani G, Saska P, Gotoh T, Schneider MI, Bussaman P, Gökçe A, Liu TX, 2020. Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40(2): 103–124.
- Chi H, Kavousi A, Gharekhani G, Atlihan R, Özgökçe MS, Güncan A, Gökçe A, Smith CL, Benelli G, Guedes RNC, Amir-Maafi M, Shirazi J, Taghizadeh R, Maroufpoor M, Xu YY, Zheng FQ, Ye BH, Chen ZZ, You MS, Fu JW, Li JY, Shi MZ, Hu ZQ, Zheng CY, Luo L, Yuan ZL, Zang LS, Chen YM, Tuan SJ, Lin YY, Wang HH, Gotoh T, Ullah MS, Botto-Mahan C, de Bona S, Bussaman P, Gabre RM, Saska P, Schneider MI, Ullah F, Desneux N, 2023. Advances in theory, data analysis, and application of the age-stage, two-sex life table for demographic research, biological control, and pest management. *Entomologia Generalis*, 43(4): 705–732.
- Cui Y, Tang JW, Gao J, Yuan M, Gao Y, Bi R, Shi SS, 2025. Effects of temperature on the growth and development of *Riptortus linearis* Fabricius. *Journal of Environmental Entomology*, 48(1): 196–205. [崔玥, 唐佳威, 高杰, 袁明, 高宇, 毕锐, 史树森, 2025. 温度对条蜂缘蝽 *Riptortus linearis* 生长发育的影响. 环境昆虫学报, 48(1): 196–205.]
- Gonzalez-Tokman D, Cordoba-Aguilar A, Dattilo W, Lira-Noriega A, Sanchez-Guillen RA, Villalobos F, 2020. Insect responses to heat: Physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biological Reviews*, 95(3): 802–821.
- Guo XN, Tang XQ, Wang WF, Sun ZX, 2024. Research progress on resistance and biological control of cress moth. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 46(3): 74–81. [郭鑫楠, 唐晓琴, 王文峰, 孙兆旭, 2024. 小菜蛾抗药性及其生物防治研究进展. 西藏农业科技, 46(3): 74–81.]
- Hu CX, Fan W, Zhang Q, Chen GH, Yin HH, Xu TY, Yang JB, Yang H, Wu DH, Zhang XM, 2021. Control effect of *Orius similis* on *Frankliniella occidentalis* based on the two-sex life table and the age-stage-specific predation rate. *Scientia Agricultura Sinica*, 54(13): 2769–2780. [胡昌雄, 范苇, 张倩, 陈国华, 殷红慧, 徐天养, 杨进波, 杨航, 吴道慧, 张晓明, 2021. 基于两性生命表和年龄-阶段捕食率的南方小花蝽对西花蓟马的控制作用. 中国农业科学, 54(13): 2769–2780.]
- Jayanth BV, Shashikala M, Lakshmi KSI, Rajareddy G, Udaykumar E, Paul B, 2025. Life history traits and feeding efficiency of generalist predator, *Geocoris ochropterus* Fieber against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) with stage-specific estimates of its population and predation rates. *Phytoparasitica*, 53(3): 42.
- John A, Riat AK, Bhat KA, Ganie SA, Endarto O, Nugroho C, Handoko H, Wani AK, 2024. Adapting to climate extremes: Implications for insect populations and sustainable solutions. *Journal for Nature Conservation*, 79: 126602.
- Li K, Li HY, Ma Y, Yang QW, Ma HJ, Yang M, Li HL, 2025. Analysis of binding mode with ryanodine receptor of *Plutella xylostella* between chlorantraniliprole and flubendiamide. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1–6. [李康, 李宏玉, 马艳, 杨庆文, 马海娇, 杨敏, 李惠霖, 2025. 小菜蛾 RyR 与氯虫苯甲酰胺和氟苯虫酰胺的结合模式分析. 安徽农业科学, 1–6.]
- Li SK, Wu MY, Lin JX, Li QS, Fu ZS, Lin MZ, Kong XY, Zhang YJ, Xie W, 2022. Predatory function of *Geocoris ochropterus* and *Geocoris xishaensis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(2): 318–325. [李少卡, 吴明月, 林俊旭, 李启珊, 符振实, 林明智, 孔祥义, 张友军, 谢文, 2022. 南亚大眼长蝽和西沙大眼长蝽的捕食功能研究. 应用昆虫学报, 59(2): 318–325.]
- Liu Q, Wang LL, Zhu XR, Lin CJ, Huang HJ, Kuang YF, Jin R, Zhou ZQ, Chen LL, 2025. Evaluation of the growth and development of predatory stink bug *Arma custos* (Fabricius) fed on Chinese tussar moth *Antheraea pernyi* (Guérin-Méneville) pupae and geometer *Ectropis grisea* Warren pupae based on two-sex life table. *Journal of Plant Protection*, 52(1): 60–69. [刘琪, 王琳琳, 朱笑睿, 林昌进, 黄泓晶, 匡扬帆, 金燦, 周子钦, 陈李林, 2025. 基于两性生命表评价取食柞蚕蛹和灰茶尺蠖蛹对蠨蛸生长发育的影响. 植物保护学报, 52(1): 60–69.]
- Ma CS, Zhang W, Peng Y, Zhao F, Chang XQ, Xing K, Zhu L, Ma G, Yang HP, Rudolf VHW, 2021. Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest. *Nature Communications*, 12(1): 1–10.
- Meng FX, 2025. Research on the function of glucuronosyl transferase *PxUGT34A5* in silk secretion of *Plutella xylostella*. Master dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [孟凡欣, 2025. 葡萄糖醛基转移酶 *PxUGT34A5* 在小菜蛾泌丝中的功能研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Mukhopadhyay A, Sannigrahi S, 1993. Rearing success of a polyphagous predator *Geocoris ochropterus* (Hem.: Lygaeidae) on preserved ant pupae of *Oecophylla smaragdina*. *Entomophaga*, 38(2): 219–224.
- Nhu TTL, Quoc BN, Chau BNN, 2025. Effect of the combination floral and diet resources on development of big-eyed bug

- Geocoris ochropterus* (Fieber) (Hemiptera: Geocoridae) at different temperature. *Journal of Applied Entomology*, 149(7): 1121–1128.
- Ou HD, Atlihan R, Wang XQ, Li HX, Yu XF, Jin X, Yang MF, 2021. Host deprivation effects on population performance and paralysis rates of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Pest Management Science*, 77(4): 1851–1863.
- Peng LY, Lu Y, Gong MJ, Zhang C, Sun D, Zhan YJ, 2024. Occurrence patterns and control suggestions of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) in southern cities. *World Tropical Agriculture Information*, 46(12): 76–79. [彭李亚, 鲁勇, 龚茂健, 张琛, 孙丹, 詹仰进, 2024. 小菜蛾在南方城市发生规律与防治建议. 世界热带农业信息, 46(12): 76–79.]
- Petros D, Matilda SS, 2012. Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012(1): 1–13.
- Qin JM, Qin W, Luo YX, Zhong CQ, Qin XY, Chen HS, Yu YH, He Z, Long XZ, Gao YY, 2025. Evaluation of effects of two Lepidopteran larvae on the development and reproduction of *Andrallus spinidens* based on age-stage, two-sex life table. *Journal of Southern Agriculture*, 56(7): 2145–2153. [覃江梅, 覃武, 罗友浠, 钟彩全, 覃欣怡, 陈红松, 于永浩, 何瞻, 龙秀珍, 高圆圆, 2025. 基于两性生命表评价 2 种鳞翅目幼虫对侧刺蛾发育和繁殖的影响. 南方农业学报, 56(7): 2145–2153.]
- Tang YT, Wang MQ, Zhang LS, 2023. Development and population parameters of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) at different temperatures. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(5): 1076–1082. [唐艺婷, 王孟卿, 张礼生, 2023. 温度对益蝽的生长发育和种群生命参数的影响. 中国生物防治学报, 39(5): 1076–1082.]
- Varshney R, Ballal CR, 2017. Biological, morphological and life table parameters of the predator, *Geocoris ochropterus* Fieber (Hemiptera: Geocoridae), fed on *Sitotroga cerealella* (Olivier) eggs. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 27(2): 189–194.
- Varshney R, Ballal CR, 2018. Intraguild predation on *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae) by the generalist predator *Geocoris ochropterus* Fieber (Hemiptera: Geocoridae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1): 5.
- Varshney R, Budhlakoti N, Ballal CR, 2018. Functional response of *Geocoris ochropterus* Fieber (Hemiptera: Geocoridae) to different egg densities of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Phytoparasitica*, 46(4): 451–458.
- Wang YN, Zhao SY, He YZ, Wang GS, Huang JR, Tian CH, Li GP, Feng HQ, 2023. The predatory capacity of *Sycanus croceovittatus* on *Spodoptera frugiperda* at different temperatures. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(4): 1207–1214. [王亚楠, 赵胜园, 何运转, 王根松, 黄建荣, 田彩红, 李国平, 封洪强, 2023. 不同温度下黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾的捕食能力. 应用昆虫学报, 60(4): 1207–1214.]
- Wei L, Ou HD, Wang XQ, Wang B, Yu XF, Yang MF, 2023. Effects of cold storage of the tobacco moth *Ephesia elutella* on the fitness of ectoparasitoid wasp *Habrobracon hebetor*. *Journal of Plant Protection*, 50(1): 119–128. [韦兰, 欧后丁, 王秀琴, 王博, 于晓飞, 杨茂发, 2023. 寄主烟草粉螟冷藏对麦蛾茧蜂适合度的影响. 植物保护学报, 50(1): 119–128.]
- Yang XD, 2024. Effects of temperature and photoperiod on the growth and reproduction of *Oenopia conglobata* (Linnaeus). Master dissertation. Alar: Tarim University. [杨晓东, 2024. 温度和光周期对菱斑巧瓢虫生长发育及繁殖的影响. 硕士学位论文. 阿拉尔: 塔里木大学.]
- Zhou JH, Luo WF, Song SQ, Wang ZH, Zhu XF, Gao SJ, He W, Xu JJ, 2024. The impact of high-temperature stress on the growth and development of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Insects*, 15(6): 528.