



王杰, 邸宁, 蒋瑞鑫, 王甦, 李姝, 张帆. 以豆蚜为食物的大草蛉生命表及饥饿对其食物利用率的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (5): 1257–1264.

以豆蚜为食物的大草蛉生命表及饥饿对其食物利用率的影响

王 杰, 邸 宁*, 蒋瑞鑫, 王 甦, 李 姝, 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: 在温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、RH $55\% \pm 5\%$ 、光周期 16 L:8 D 条件下, 构建了以豆蚜 *Aphis craccivora* 为食物的大草蛉 *Chrysopa pallens* 实验种群生命表, 明确其种群发育情况, 并研究了饥饿对大草蛉食物利用率的影响。结果表明, 大草蛉卵、1 龄、2 龄、3 龄幼虫和蛹的发育历期分别为 3.03、3.10、3.39、4.43 和 12.52 d, 雌成虫平均寿命为 29.38 d, 个体繁殖力为 325.76 ± 16.06 粒。内禀增长率 (r)、周限增长率 (λ)、净增殖率 (R_0) 和世代平均周期 (T) 分别为 0.1197 d^{-1} 、 1.1076 d^{-1} 、68.41 粒/个体和 41.36 d。在饥饿胁迫下, 大草蛉 3 龄幼虫的食物利用率显著高于 2 龄幼虫, 且随着饥饿程度的增加, 2 龄、3 龄幼虫的食物利用率也逐渐增大。说明在 25°C 时, 以豆蚜为食物的大草蛉个体发育和种群增长情况较好, 为以豆蚜作为替代食物饲养大草蛉以及大草蛉作为天敌昆虫防控豆蚜提供了理论基础; 饥饿对大草蛉的食物利用率的研究为明确天敌昆虫在田间应用时面临食物短缺问题时的取食状况提供了基础数据。

关键词: 大草蛉; 生命表; 生物防治; 饥饿; 食物利用率

中图分类号: Q965.9; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 05-1257-08

Life table of *Chrysopa pallens* feeding on *Aphis craccivora* and impact of starvation on its food utilization

WANG Jie, DI Ning*, JIANG Rui-Xin, WANG Su, LI Shu, ZHANG Fan (Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: In order to clarify the population development of *Chrysopa pallens* feeding on *Aphis craccivora*, the life table was constructed under the conditions of $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, RH $55\% \pm 5\%$, 16 L:8 D, and the impact of starvation on the food utilization rate was also studied. Results showed that the development duration of the egg, 1st, 2nd, 3rd instar larva and pupa were 3.03, 3.10, 3.39, 4.43 and 12.52 d, respectively. The average longevity of female adults was 29.38 d, and the individual fecundity of female was 325.76 eggs. Intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), net reproduction rate (R_0) and mean generation period (T) of *C. pallens* were 0.1197 d^{-1} , 1.1076 d^{-1} , 68.41 eggs/individual and 41.36 d, respectively. At the same level of starvation, the food utilization rate of the 3rd instar larvae was significantly higher than that of the 2nd instar, and with the increased duration of starvation, the food utilization rate of the 2nd instar larvae and 3rd instar larvae also gradually increased. The results showed that

基金项目: 北京市农林科学院青年基金 (QNJJ201917); 北京市优秀人才计划 (2018000020060G181); 国家自然科学基金青年项目 (1901945)

作者简介: 王杰, 男, 本科, 研究方向为天敌保护利用, E-mail: wj_insect@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 邸宁, 女, 博士, 助理研究员, 研究方向为天敌保护利用, E-mail: dining@ipepbaafs.cn

收稿日期 Received: 2020-06-09; 接受日期 Accepted: 2020-08-25

C. pallens could grow and develop normally feeding on *A. craccivora* at 25°C, which provided theoretical support that *A. craccivora* could be a suitable prey for *C. pallens*, and also provided basic data for the feeding situation of *C. pallens* when faced with the problem of food shortage when used for biological control in the field.

Key words: *Chrysopa pallens*; life table; biological control; starvation; food utilization rate

大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur), 属脉翅目 Neuroptera 草蛉科 Chrysopidae, 其成虫和幼虫均可取食多种害虫, 具有捕食量大、适应性强、年发生世代数多、成虫寿命长且产卵量大等特点, 是农林害虫生物防治中极具研究和应用价值的天敌昆虫 (赵敬钊, 1988; 李姝等, 2019)。近年来, 有关大草蛉的研究工作主要集中于解剖学及组织学 (陶淑霞, 2004; 张海强, 2009)、人工饲养及人工饲料 (张帆等, 2004; 林美珍, 2007) 以及光周期与滞育关系 (时爱菊等, 2008) 等方面。为明确大草蛉对害虫的控制作用及寻找适合的人工规模化饲养食物, 不少学者以幼虫发育历期、幼期存活率、雌成虫繁殖力及种群的内在增长率作为衡量指标, 研究了棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、豆蚜 *Aphis craccivora* Koch、豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* (Bagnall)、烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 等作为大草蛉的猎物的适合度 (El-Serafi *et al.*, 2000; 刘爽等, 2011; 唐良德等, 2017)。其中, 豆蚜由于耐高温能力较强 (宫亚军等, 2006), 可作为夏季高温季节多种天敌昆虫的补充食料而受到了较为广泛的关注 (Yu *et al.*, 2013)。

作为研究食物对昆虫的生长发育影响的重要方法之一, 生命表技术能够全面描述种群的发展、存活和繁殖。Chi 和 Liu (1985) 和 Chi (1988) 将昆虫种群的年龄分化和雄性种群充分考虑在内制作了年龄-龄期两性生命表, 可以较为准确的用于生态学研究及生物防治。程丽媛等 (2014) 采用年龄-龄期两性生命表方法, 评价豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* (Matsumura) 作为大草蛉人工繁殖猎物的适合度。而 Yu 等 (2013) 也采取相同的年龄-龄期两性生命表的方法研究了在 22°C 时以豆蚜为食的大草蛉的生命表, 为豆蚜作为大草蛉适合食物提供了理论支持, 但尚未有人在常温下 (25°C) 下评价以豆蚜为食的大草蛉的生长发育情况。

大草蛉作为天敌昆虫被越来越多地应用于田间害虫的生物防治, 并取得了良好的效果 (李映萍, 1982), 然而食物匮乏导致饥饿成为昆虫在自

然界经常面临的一种普遍现象 (Rion and Kawecki, 2007)。蚜虫在高繁殖速率和天敌丰富的共同影响下, 其集群分布具有高度的时空异质性特征 (李丹等, 2010), 当将大草蛉用于防治田间蚜虫时, 使扩散能力有限的大草蛉幼虫面临多种形式的食物短缺问题。在缺乏猎物时, 天敌昆虫的生存受到影响, 种群数量的发展受到限制, 并且捕食性天敌的捕食活动和食性也会受到影响 (田仲等, 2007)。有关饥饿对天敌昆虫影响的研究多集中在捕食性瓢虫 (田仲等, 2007; 李阳等, 2016), 且多从饥饿程度对天敌的生长发育、捕食功能反应的影响等方面进行研究, 仅有邹运鼎等 (2000) 研究了不同饥饿程度对大草蛉雄成虫捕食作用的影响, 研究饥饿对其幼虫捕食的影响有利于明确饥饿对不同天敌的捕食作用影响是否存在差异性 or 同质性, 也为进一步了解天敌昆虫在田间的捕食及生存策略奠定基础, 而关于不同饥饿程度对大草蛉幼虫捕食的影响尚未报道。

因此, 本研究构建了常温 (25°C) 下以豆蚜为食的大草蛉年龄-龄期两性生命表; 同时以食物利用率为指标, 研究分析了不同饥饿程度对大草蛉 2 龄和 3 龄幼虫的捕食作用的影响, 为大草蛉的人工饲养及田间应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

豆蚜: 采集于北京市诺亚农业发展有限公司温室内豇豆 *Vigna unguiculata* (Linnaeus) 上, 室内采用蚕豆 *Vicia faba* Linnaeus 作为寄主植物扩繁并建立稳定种群。蚕豆种子用清水冲洗一次后, 置于白色塑料盆 (长 35 cm × 宽 20 cm × 高 8 cm) 内浸泡两日, 然后以蛭石为基质种植于相同规格的塑料盆内, 蚕豆出苗 5~6 cm 后接种豆蚜, 饲养多代。

大草蛉: 成虫采集于北京市农林科学院玉米 *Zea mays* Linnaeus, 室内以豆蚜为食物、蚕豆苗为产卵基质饲养多代。所有试虫均在温度 25°C ±

1℃、相对湿度 55% ± 5%、光周期 16 L:8 D 的人工气候室内饲养。

1.2 以豆蚜为食的大草蛉种群生命表构建

大草蛉产卵后用剪刀剪断卵柄,把足量的卵收集放入塑料培养皿(直径 90 mm,高 15 mm),置于温度 25℃ ± 1℃、相对湿度 55% ± 5%、光周期 16 L:8 D 的人工智能气候箱(型号:RXZ,宁波江南仪器厂)中。24 h 后,用毛笔随机挑取灰绿色的卵 100 粒,单粒置于塑料培养皿(直径 90 mm,高 15 mm)中,继续存放于人工智能气候箱中培养。每隔 12 h 观察并记录每粒卵孵化的时间。孵化后,在培养皿中放入新鲜的带有足量豆蚜的蚕豆叶片。每隔 12 h 观察 1 次龄期变化,每天更换新鲜带有豆蚜的蚕豆叶片,直至幼虫化蛹结茧,记录各龄期幼虫的发育历期、茧(蛹)期。

成虫羽化(< 6 h)后,按 1:1 性比进行配对放于圆柱形玻璃筒(直径 108 mm,高 118 mm)中,每日放入足量新鲜带有豆蚜的蚕豆叶片作为食物,玻璃筒用单层透气棉布和橡皮筋封口。当雌成虫产卵后,每 24 h 收集一次卵,直至雌成虫死亡。记录雌成虫的产卵前期、产卵期及逐日产卵量。

采用 Chi 和 Liu (1985) 和 Chi (1988) 的年龄-龄期两性生命表方法,生命表原始数据采用 TWOSEX-MSChart 软件(Chi, 2016)进行计算和分析。参考程丽媛等(2014)中的计算方法,统计大草蛉每个发育阶段的发育历期、产卵前期(APOP)、总产卵前期(TPOP)、单雌产卵量、雌虫寿命及种群参数净生殖率(R_0)、内禀增长率(r)、平均世代周期(T)和周限增长率(λ)。其中,对特定年龄-龄期存活率(s_{xj} ,为 1 粒大草蛉的新生卵存活到年龄 x 龄期 j 的几率)、特定年龄存活率(l_x ,为年龄 x 个体的存活率)、特定年龄-龄期繁殖力(f_{xj} ,表示雌成虫在年龄 x 龄期 j 的平均产卵量)、种群特定年龄繁殖力(m_x ,为种群中年龄 x 的所有个体的平均繁殖力)进行作图分析。使用 Bootstrap 方法(100 000 次)计算参数的平均值和标准误(Huang and Chi, 2013)。

1.3 不同饥饿程度下大草蛉 2 龄和 3 龄幼虫对食物的利用率

设置大草蛉 2 龄与 3 龄幼虫两个虫期,以及饥饿 0、12 h 和 24 h 三个不同程度的饥饿处理。每处理 5 次重复。幼虫饥饿处理后置于电子天平(型号:METTLER AB135-S,瑞士梅特勒-托利多)上称重(重量记为 W_1),并将试验所用大培

养皿进行称重(重量记为 M_1)后,接入 3 日龄的新鲜豆蚜继续称重(重量记为 M_2),然后每皿接入 1 头大草蛉幼虫和不同数量的豆蚜(2 龄幼虫处理 60 头/皿,3 龄幼虫处理 150 头/皿),置于与上述相同条件培养箱中进行培养,24 h 后取出,用毛笔轻轻挑出大草蛉幼虫进行称重(重量记为 W_2),然后再把培养皿中的蚜虫和蚜虫残骸进行称重(重量记为 M_3)。大草蛉对食物利用率的计算公式: $U = (W_2 - W_1) / (M_2 - M_1 - M_3) \times 100\%$,其中 U : 食物利用率(%), W_1 : 大草蛉幼虫饥饿后体重(g), W_2 : 大草蛉幼虫取食后体重(g), M_1 : 培养皿的重量(g), M_2 : 试验开始前的蚜虫和培养皿的重量(g), M_3 : 实验结束时的蚜虫残骸和蚜虫的重量(g), $W_2 - W_1$: 幼虫取食蚜虫后的体重增量(g), $M_2 - M_1 - M_3$: 幼虫所取食的蚜虫重量(g)。

1.4 数据分析

不同饥饿程度下大草蛉 2、3 龄幼虫对食物的利用率采用 SPSS 25.0 软件进行相关性分析。对相同龄期不同饥饿时间幼虫的食物利用率进行单因素方差分析 one-way ANOVA,并采用最小显著法(LSD)进行差异显著性检验($P=0.01$);相同饥饿时间处理的幼虫的食物利用率采用 T 检验(t -test),进行差异性分析($P=0.01$)。

2 结果与分析

2.1 以豆蚜为食的大草蛉的发育历期、雌成虫寿命和繁殖力

在本研究条件下,大草蛉卵期为 3.03 d,幼虫中 3 龄幼虫的发育历期最长,为 4.43 d,蛹期(包含预蛹期)为 12.52 d,雌成虫平均寿命为 29.38 d。忽略成虫之前发育历期的不同,大草蛉的产卵前期(APOP)为 7.10 d,总产卵前期(TPOP)为 33.00 d,雌成虫的个体繁殖力为 325.76 粒(表 1)。

2.2 以豆蚜为食的大草蛉特定年龄-龄期存活率

在本研究条件下,大草蛉卵的孵化率为 88.00%,发育至蛹的存活率为 44.00%,发育至雌虫的存活率为 21.00%。从第 29~49 天,雌成虫的存活率稳定,从第 50 天开始出现死亡的个体,至第 59 天时雌成虫全部死亡(图 1)。大草蛉特定年龄-龄期存活率曲线存在重叠现象,可能是由于个体间发育速率不一致。

表 1 以豆蚜为食的大草蛉发育历期、雌成虫寿命和繁殖力

Table 1 Developmental time, female longevity, and fecundity of *Chrysopa pallens* fed on *Aphis craccivora*

参数 Parameters	发育阶段 Development stage	个体数 n	数值 Mean ± SE
发育历期 (d) Developmental time	卵 Egg	100	3.03 ± 0.02
	1 龄幼虫 1 st instar larvae	88	3.10 ± 0.05
	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	60	3.39 ± 0.13
	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	57	4.43 ± 0.23
	蛹 Pupa	44	12.52 ± 0.38
成虫寿命 (d) Longevity	雌成虫 Female	21	29.38 ± 0.21
产卵前期 (d) APOP	雌成虫 Female	21	7.10 ± 0.12
总产卵前期 (d) TPOP	雌成虫 Female	21	33.00 ± 0.44
生殖力 (卵/雌) Fecundity	雌成虫 Female	21	325.76 ± 16.06

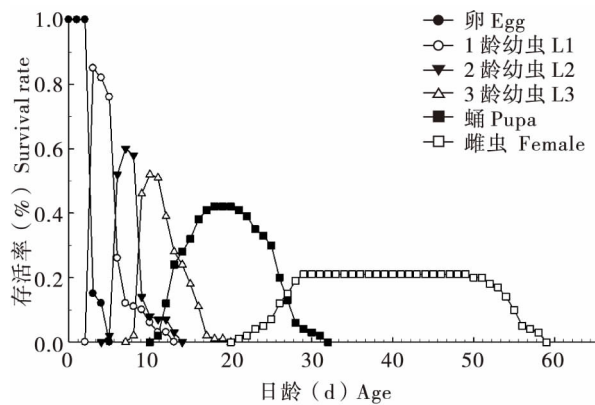


图 1 大草蛉特定年龄—龄期存活率 (s_{xj})

Fig. 1 Age-stage specific survival rate of *Chrysopa pallens* at 25°C and 55% ± 5% RH

2.3 以豆蚜为食的大草蛉特定年龄—龄期繁殖力

由大草蛉的特定年龄存活率 (l_x) 曲线可以看出, 在 3 ~ 5 d 时, 存活率由 100% 下降至 78%, 随后缓慢下降, 在第 16 天时, 大草蛉发育至蛹期, 进入成虫期后, 成虫存活率较为稳定。随着时间的增长, 雌虫特定年龄—龄期繁殖力 (f_{x6}) 和种群净增殖力 ($l_x m_x$) 均是先增加后波动降低, 在第 42 天均达到最大值 (图 2)。单雌产卵总量最高为 457 粒, 最低为 228 粒, 单日产卵量最高达 68 粒。

2.4 以豆蚜为食的大草蛉各龄期寿命期望 (e_{xj}) 及年龄—龄期再生产价值 (v_{xj})

本研究条件下大草蛉 1 粒新生卵的期望寿命为 22.73 d, 新孵化的 1 龄幼虫的期望寿命为

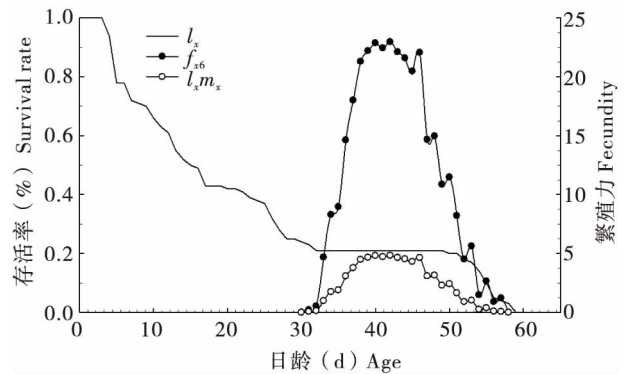


图 2 大草蛉特定年龄存活率 (l_x)、雌虫特定年龄—龄期繁殖力 (f_{x6}) 和种群净增殖力 ($l_x m_x$)

Fig. 2 The age-specific survival rate (l_x), age-stage specific fecundity of the female stage (f_{x6}) and age-specific maternity ($l_x m_x$) of *Chrysopa pallens* at 25°C and 55% ± 5% RH

22.09 d, 日龄为 21 d 的雌虫的期望寿命为 34.29 d。大草蛉在卵期的期望寿命最低, 随着年龄延长, 期望寿命有所增加 (图 3)。本研究条件下大草蛉 1 个新生卵的生产价值 (v_{01}) 为 1.11, 随着年龄及龄期增长, 生产价值逐渐增高; 同其它龄期相比, 雌成虫生产价值最大, 峰值出现在第 36 天, 为 161.85 (图 4)。

2.5 以豆蚜为食的大草蛉种群生命表参数

综合考虑个体的存活率和寿命, 大草蛉种群的内在增长率 r 为 0.1197 d^{-1} , 周限增长率 λ 为 1.1076 d^{-1} , 净生殖率 R_0 为 68.41 粒/个体, 种群世代平均周期 T 为 41.36 d, 粗繁殖力 GRR 为 329.64 粒 (表 2)。

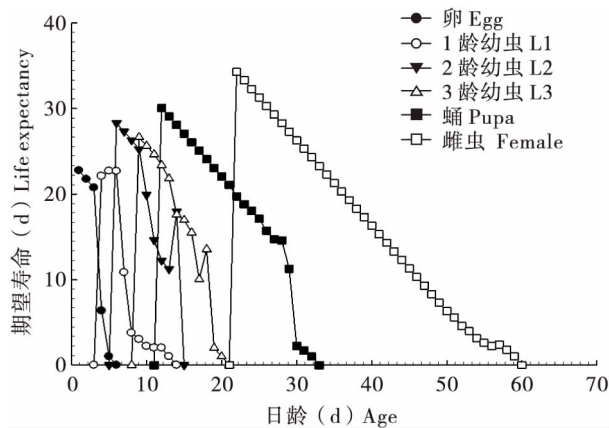


图3 大草蛉的各年龄-龄期寿命期望 (e_{ij})

Fig. 3 Life expectancy of each age-stage group of *Chrysopa pallens* at 25℃ and 55% ± 5% RH

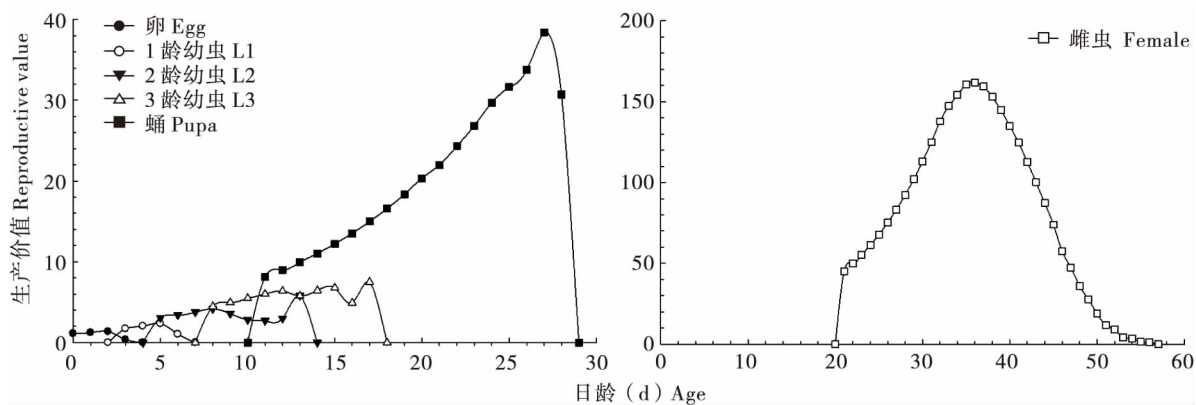


图4 大草蛉各龄期的生产价值 (v_{ij})

Fig. 4 Reproductive value of each age-stage group of *Chrysopa pallens* at 25℃ and 55% ± 5% RH

表 2 大草蛉种群生命表参数

Table 2 Population parameters of *Chrysopa pallens* fed on *Aphis craccivora*

种群参数 Population parameter	内禀增长率 r (d^{-1}) Intrinsic rate of increase	周限增长率 λ (d^{-1}) Finite rate of increase	净生殖率 R_0 (offspring/individual) Net reproduction rate	世代平均周期 T (d) Mean generation time	粗繁殖力 GRR (offspring) Gross reproduction rate
数值 Bootstrap 100000	0. 1197 ± 0. 0052	1. 1076 ± 0. 0058	68. 41 ± 13. 65	41. 36 ± 0. 43	329. 64 ± 16. 34

注：表中数据为平均数 ± 标准误。Note: Data in the table were means ± SE.

2.6 饥饿对大草蛉食物利用率的影响

在相同饥饿的程度下，大草蛉 3 龄幼虫的食物利用率显著高于 2 龄幼虫 ($t_{0h} = -8.877$, $P < 0.01$; $t_{12h} = 9.894$, $P < 0.01$; $t_{24h} = 9.953$, $P < 0.01$)。随着饥饿程度的增加，大草蛉 2 龄幼虫和 3 龄幼虫的食物利用率均逐渐增大，在不同程度的

饥饿处理间存在极显著差异 (2 龄幼虫利用率: $F(2, 12) = 329.212$, $P < 0.01$; 3 龄幼虫利用率: $F(2, 12) = 330.472$, $P < 0.01$)，其中，未饥饿的 2 龄幼虫的食物利用率最低，为 4.46%；饥饿 24 h 的 3 龄幼虫的食物利用率最高，为 20.76% (表 3)。

表3 饥饿对大草蛉幼虫食物利用率的影响 (%)
Table 3 Impact of starvation on food utilization rate of *Chrysopa pallens* larvae

饥饿处理 (h)	2 龄幼虫	3 龄幼虫
Starvation treatment	2 nd instar larva	3 rd instar larva
0	4.46 ± 0.50 A	7.75 ± 0.65 A*
12	7.40 ± 0.85 B	12.32 ± 0.72 B*
24	15.48 ± 0.71 C	20.76 ± 1.01 C*

注: 表中数据为平均数 ± 标准误, 同列不同大写字母表示同一龄期的不同饥饿时间的幼虫食物利用率极显著差异 ($P=0.01$), * 表示相同饥饿时间处理的幼虫的食物利用率存在极显著差异性 ($P=0.01$)。Note: Data in the table were means ± SE. The same column with different uppercase letters in column indicated significant difference among food utilization rates of larvae at different starvation times ($P=0.01$), * indicated significant difference between different larvae stages treated at the same starvation time ($P=0.01$).

3 结论与讨论

以豆蚜为食物时, 本研究条件下 (25℃, RH 55% ± 5%, 16 L:8 D) 的大草蛉卵、1 龄、2 龄、3 龄幼虫和蛹期的发育历期分别为 3.03、3.10、3.39、4.43 和 12.52 d, 略短于赵敬钊 (1988) 报道的大草蛉在 25℃ 时的各发育历期 (卵 3.4 d、1 龄幼虫 3.2 d、2 龄幼虫 3.4 d、3 龄幼虫 4.5 d 及蛹期 13.3 d), 但幼虫期和蛹期均略长于张帆等 (2004) 的研究结果 (幼虫期 6.41 d、蛹期 10.86 d), 这可能与供试的大草蛉种群差异、试验环境温度湿度控制精度有关。Yu 等 (2013) 研究了 22℃ 时大草蛉以豆蚜为食物的两性生命表, 其卵、幼虫和蛹的发育历期分别为 4.3 d、10.9 d 及 12.6 d, 均稍长于本研究条件下的各龄期发育历期 (表 1), 这与陈泽坦等 (2017) 研究发现丽草蛉 *Chrysopa formosa* 各虫态的发育历期随着温度的升高而缩短的趋势一致, 均表明温度是调节昆虫发育速率的关键因素之一。

大草蛉以豌豆修尾蚜为猎物时 (程丽媛等, 2014), 除 2 龄幼虫外, 其它发育阶段历期均长于本研究结果, 说明大草蛉以豆蚜为食的适合度高于豌豆修尾蚜。本研究大草蛉雌成虫寿命为 29.38 d, 低于 28℃ 时以棉蚜 (39.67 d)、麦长管

蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) (34.60 d)、玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (36.95 d) 和夹竹桃蚜 *Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe (83.33 d) 为食的大草蛉雌成虫寿命 (El-Serafi *et al.*, 2000)。此外, 本研究大草蛉实验种群的粗繁殖力 (329.64 粒)、周限增长率 (1.1076 d^{-1}) 及内禀增长率 (0.1197 d^{-1}) 均略低于 Yu 等 (2013) 报道的 22℃ 时以豆蚜为食物的。食物来源 (El-Serafi *et al.*, 2000; 孙丽娟等, 2013)、光照 (Nakahira and Arakawa, 2005) 及温度 (牟吉元等, 1984) 等都能影响大草蛉发育历期、寿命及繁殖力等生命表参数, 这可能是造成上述差异的原因。因此, 综合生长发育及繁殖力等参数来看, 豆蚜是大草蛉较为合适的室内人工饲养替代猎物。

年龄-龄期生命表是研究昆虫种群动态变化的一种重要工具。正如 Yu 等 (2013) 在 22℃ 时以豆蚜为食物构建的大草蛉的两性生命表一样, 本研究在 25℃ 构建的大草蛉特定年龄-龄期存活率曲线也存在重叠现象 (图 1), 这是由于个体间发育速率不一致导致的。本实验中生命期望 (e_{xj}) 是以年龄龄期存活率 (s_{xj}) 为基础计算的, 并没有假设种群发育是一致的, 能够说明不同龄期或性别的同一年龄个体间发育速率存在差异性, 因此可以被用于推断种群在此条件下的存活率 (Yang and Chi, 2006), 本研究条件下的大草蛉最大生产价值出现在雌虫阶段, 即第 36 天, 与 Yu 等 (2013) 的研究结果相近, 说明雌虫由于其具有繁殖能力而使其最具生产价值。

当人工饲养的天敌昆虫应用于田间时, 缺乏猎物的现象时常发生, 而饥饿会影响捕食者的捕食活动和食性, 进而影响天敌昆虫生存和控害效果 (苏建伟和盛承发, 2000; 田仲等, 2007)。有研究表明, 饥饿对七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 成虫、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 3~4 龄幼虫和成虫的捕食功能反应类型及捕食量没有显著影响 (邹运鼎等, 1999; 田仲等, 2007)。而本研究中, 饥饿对大草蛉 2 龄、3 龄幼虫的食物利用率存在显著影响, 和邹运鼎等 (2000) 发现饥饿对大草蛉雄成虫捕食量没有显著影响的结果不同, 这可能是与大草蛉的龄期及食物不同有关。

目前, 有关饥饿对天敌昆虫的影响多从饥饿

程度对天敌的生长发育、捕食功能反应、捕食行为的影响等方面进行研究 (田仲等, 2007; 李阳等, 2016; 陈俊谕等, 2016), 而食物利用率是昆虫对食物利用的重要指标 (李恺等, 2007)。本研究评价了不同饥饿程度对大草蛉 2 龄、3 龄幼虫的食物利用率的影响。大草蛉 3 龄幼虫在相同饥饿的程度下显著高于 2 龄幼虫, 说明大草蛉 3 龄幼虫取食时, 能比 2 龄幼虫更好地对食物进行消化, 同时也表明随着龄期的增长, 大草蛉体内的各个系统也逐渐发育完全, 尤其是消化系统 (Lee and Lee, 2005)。随着饥饿程度的增加, 大草蛉 2 龄、3 龄幼虫对食物的利用率也逐渐增大, 说明在一定条件下, 饥饿能促进大草蛉幼虫对食物的利用, 这与张海平等 (2017) 发现饥饿处理后蠋蝽 *Arma chinensis* Fallou 成虫取食量同对照相比有显著提高的结果一致。这也说明在特殊情况下, 适当的饥饿能够提升天敌的捕食能力, 进而提高其对害虫的控制效果 (Jeschke and Tollrian, 2005), 这对于田间应用时提高对害虫的生物防治效果是非常重要的。

天敌昆虫耐饥能力的强弱是影响其能否在低猎物密度下存活并且建立种群的重要因素, 也是决定其能否实现商品化进行远距离运输的一个重要因子 (张海平等, 2017)。本研究仅评估了不同饥饿程度对大草蛉 2 龄、3 龄幼虫的食物利用率的影响, 而饥饿对大草蛉的捕食行为、生长发育及繁殖力等的影响尚未明确。此外, 食物利用率是否与饥饿程度线性相关, 幼虫对食物的利用是否存在极限值, 以及饥饿程度影响食物利用率的虫体生理生化机制也有待更进一步研究。

参考文献 (References)

- Chen ZT, Yan Z, Chen XY, *et al.* Life table for experimental populations of *Chrysopa formosa* Brauer at different temperatures [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38 (2): 349 – 352. [陈泽坦, 严珍, 陈希用, 等. 不同温度下丽草蛉实验种群生命表研究 [J]. 热带作物学报, 2017, 38 (2): 349 – 352]
- Cheng LY, Liao XJ, Xu LX, *et al.* Two sex life table and predation of *Chrysopa pallens* (Rambur) feeding on *Megoura japonica* (Matsumura) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2014, 41 (6): 680 – 686. [程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 等. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率 [J]. 植物保护学报, 2014, 41 (6): 680 – 686]
- Chen JY, Ma HB, Zhang FP, *et al.* Changes in the movement patterns of adult *Stethorus parapauperculus* in response to starvation [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (1): 140 – 147. [陈俊谕, 马华博, 张方平, 等. 不同饥饿程度的拟小食螨瓢虫成虫摄食朱砂叶螨前后的运动格局变化 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (1): 140 – 147]
- Chi H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. *Environmental Entomology*, 1988, 17 (1): 26 – 34.
- Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. *Bulletin of the Institute of Zoology Academia Sinica*, 1985, 24 (2): 225 – 240.
- Chi H. Computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [CP]. 2016. Taichung: National Chung Hsing University. <http://40.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChartrar/>.
- El-Serafi HAK, Abdel-Salam AH, Abdel-Baky NF. Effect of four aphid species on certain biological characteristics and life table parameters of *Chrysoperla carnea* Stephen and *Chrysopa septempunctata* Wesmael (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions [J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2000, 3 (2): 239 – 245.
- Gong YJ, Shi BC, Lu H, *et al.* Effects of temperatures on the development and fecundity of three species of aphids [J]. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 2006, 21 (5): 96 – 98. [宫亚军, 石宝才, 路虹, 等. 温度对 3 种蚜虫生长发育及繁殖的影响 [J]. 华北农学报, 2006, 21 (5): 96 – 98]
- Huang YB, Chi H. Life tables of *Bactrocera cucubita* (Diptera: Tephritidae): With an invalidation of the jackknife technique [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2013, 137: 327 – 339.
- Jeschke JM, Tollrian R. Effects of predator confusion on functional responses [J]. *Oikos*, 2005, 111 (3): 547 – 555.
- Lee KS, Lee JH. Rearing of *Chrysopa septempunctata* Wesmael (Neuroptera: Chrysopidae) on artificial diet [J]. *Entomological Research*, 2005, 35 (5): 183 – 188.
- Li D, Zhao HY, Hu SX. A model to describe the spatio-temporal distribution dynamics of aphid populations [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (18): 4986 – 4992. [李丹, 赵惠燕, 胡想顺. 蚜虫种群时空分布动态模型 [J]. 生态学报, 2010, 30 (18): 4986 – 4992]
- Li K, Zhang TS, Zhang LL, *et al.* Effects of artificial diets on female *Propylea japonica*'s feeding and body composition [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2007, 6: 97 – 105. [李恺, 张天澍, 张丽莉, 等. 不同人工饲料对龟纹瓢虫取食效应和虫体成分的影响 [J]. 华东师范大学学报 (自然科学版), 2007, 6: 97 – 105]
- Li S, Wang J, Tian RB, *et al.* Research progress and prospects of *Chrysopa pallens* (Rambur) (Hemiptera: Chrysopidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (2): 16 – 27. [李姝, 王杰, 郭晓军, 田仁斌, 等. 天敌昆虫大草蛉的研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 16 – 27]
- Li Y, Meng L, Li BP. Effects of starvation stress on larval developmental performances of *Harmonia axyridis* [J]. *Chinese Journal of*

- Biological Control*, 2016, 32 (2): 149–154. [李阳, 孟玲, 李保平. 饥饿胁迫对异色瓢虫幼虫发育的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32 (2): 149–154]
- Li YP. Preliminary study on the occurrence and utilization of two species of lacewings [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 1982, 4 (1): 32–36. [李映萍. 两种草蛉的发生和利用初步研究 [J]. 环境昆虫学报, 1982, 4 (1): 32–36]
- Lin MZ, Chen HY, Wang SY, *et al.* Development of artificial diet for *Chrysopa pallens* larva [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23 (4): 316–321. [林美珍, 陈红印, 王树英, 等. 大草蛉幼虫人工饲料的研究 [J]. 中国生物防治学报, 2007, 23 (4): 316–321]
- Liu S, Wang S, Liu BM, *et al.* The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (6): 1136–1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 等. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1136–1145]
- Mou JY, Xu HF, Li Q. Developmental zero and effective accumulated temperature of three lacewings [J] *Shandong Agricultural Sciences*, 1984, 2: 22–25. [牟吉元, 徐洪富, 李强. 三种草蛉发育始点和有效积温的测定及发生检验 [J]. 山东农业科学, 1984, 2: 22–25]
- Nakahira K, Arakawa R. Effect of photoperiod on the development and diapause of the green lacewing *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Entomological Science*, 2005, 8 (2): 133–135.
- Rion S, Kawecki TJ. Evolutionary biology of starvation resistance: What we have learned from *Drosophila* [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2007, 20 (5): 1655–1664.
- Shi AJ, Xu HF, Liu ZD, *et al.* Effect of photoperiod on induction of prepupal diapause and larval development in *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Acta Ecological Sinica*, 2008, 28 (8): 3854–3859. [时爱菊, 徐洪富, 刘忠德, 等. 光周期对大草蛉 *Chrysopa pallens* 滞育及发育的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28 (8): 3854–3859]
- Su JW, Sheng CF. The study of *Chrysopa phylochroma* larvae: starvation endurance ability [J]. *Acta Ecological Sinica*, 2000, 20 (2): 353–355. [苏建伟, 盛承发. 叶色草蛉幼虫的饥饿耐受性研究 [J]. 生态学报, 2000, 20 (2): 353–355]
- Sun LJ, Yi WX, Zhao CD, *et al.* Predatory capacity of *Chrysopa pallens* (Rambur) to three species of aphids [J]. *Plant Protection*, 2013, 39 (5): 153–157 [孙丽娟, 衣维贤, 赵川德, 等. 大草蛉对 3 种蚜虫的捕食能力研究 [J]. 植物保护, 2013, 39 (5): 153–157]
- Tang LD, Wang XS, Zhao HY, *et al.* The predation function response and development of *Chrysopa pallens* larva on *Megalurothrips usitatus* and *Aphis craccivora* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (1): 49–55. [唐良德, 王晓双, 赵海燕, 等. 大草蛉幼虫捕食豆大蓟马和豆蚜的功能反应及生长发育 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (1): 49–55]
- Tao SX, Zhang F, Li CD. Dynamic analysis on the vitellogenesis of *Chrysopa septempunctata* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2004, 26 (3): 260–262. [陶淑霞, 张帆, 李成德. 大草蛉卵黄发生的动态分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26 (3): 260–262]
- Tian Z, Guan DY, Liu J. Starvation tolerance of *Harmonia axyridis* and influence of starvation on its predation on *Aphis sophoricola* [J]. *Plant Protection*, 2007, 33 (4): 80–83. [田仲, 管德义, 刘剑. 异色瓢虫耐饥能力及饥饿对其捕食槐蚜功能的影响 [J]. 植物保护, 2007, 33 (4): 80–83]
- Yang TC, Chi H. Life tables and development of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) at different temperatures [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2006, 99 (3): 691–698.
- Yu LY, Chen ZZ, Zheng FQ, *et al.* Demographic analysis, a comparison of the jackknife and bootstrap methods, and predation projection: A case study of *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106 (1): 1–9.
- Zhang HQ, Yan HX, Liu S, *et al.* Effect of light intensity on the photosensitivity and phototaxis behavior of *Chrysopa pallens* Rambur (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (4): 461–464. [张海强, 闫海霞, 刘顺, 等. 光强度对大草蛉成虫感光性和趋光性行为的影响 [J]. 昆虫学报, 2009, 52 (4): 461–464]
- Zhao JZ. Studies on the bionomics of *Chrysopa septempunctata* Wesmoer [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1988, 15 (2): 123–127. [赵敬钊. 大草蛉生物学特性研究 [J]. 植物保护学报, 1988, 15 (2): 123–127]
- Zhang F, Wang SQ, Luo C, *et al.* Effects of the artificial diets and breeding means on growth and development of *Chrysopa septempunctata* Wesmael [J]. *Plant Protection*, 2004, 30 (5): 36–40. [张帆, 王素琴, 罗晨, 等. 几种人工饲料及繁殖技术对大草蛉生长发育的影响 [J]. 植物保护, 2004, 30 (5): 36–40]
- Zou YD, Chen GC, Meng QL, *et al.* A study on predation of *Coccinella septempunctata* on different ranges of starvation [J]. *Acta Ecological Sinica*, 1999, 19 (1): 113–117. [邹运鼎, 陈高潮, 孟庆雷, 等. 饥饿对七星瓢虫捕食作用的影响 [J]. 生态学报, 1999, 19 (1): 113–117]
- Zou YD, Li GT, Zhou XZ, *et al.* Impact of starvation on predation by male adult *Chrysopa septempunctata* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (6): 848–850. [邹运鼎, 李桂亭, 周夏芝, 等. 饥饿对大草蛉雄成虫捕食作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (6): 848–850]