

亚洲玉米螟的一个生活史特征—— 体重与温度呈正相关

何海敏¹, 肖亮², 陈前武³, 薛芳森^{1,*}

(1. 江西农业大学昆虫研究所, 南昌 330045; 2. 新建区松湖镇农业技术推广综合服务站, 江西新建 330107;

3. 江西永修县植保站, 江西永修 330300)

摘要:【目的】温度是变温动物最重要的环境因子,影响了所有的生活史特性。本研究旨在探明亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 生活史特性随温度变异的特点。【方法】在恒温 20, 22, 24, 26, 28, 30 和 32℃, 光周期 16L:8D 室内条件下,测定了亚洲玉米螟南昌种群从卵孵化到化蛹和化蛹到成虫羽化的时间,以及蛹和成虫的体重。【结果】亚洲玉米螟幼虫和蛹的历期及总发育历期随温度的升高显著缩短。雄性幼虫历期和总发育历期显著短于雌性,显示了雄性先熟现象。生长速率与温度呈正相关。雌性生长速率在较低温度下显著低于雄性,但在高温下显著高于雄性。体重和温度之间的相关性没有遵循温度-体型大小法则,雌雄个体在高温下体重更重,雌性个体显著大于雄性,显示了雌性偏向的性体型二型性(sex size dimorphism, SSD)。与任希法则相反,亚洲玉米螟的 SSD 指数和体重随温度升高趋于增大。雄蛹在变态中比雌蛹丢失了更多的重量,导致成虫期的 SSD 指数大于蛹期。【结论】高温不仅显著缩短了亚洲玉米螟发育历期,而且导致了其在成熟时体重更大。亚洲玉米螟雌雄间的生活史特性存在较大差异。

关键词: 亚洲玉米螟; 温度; 发育历期; 生长速率; 体重; 性体型二型性

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2018)03-0340-08

A life-history trait of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae) – positive correlation between body weight and temperature

HE Hai-Min¹, XIAO Liang², CHEN Qian-Wu³, XUE Fang-Sen^{1,*} (1. Institute of Entomology, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Agricultural Technology Extension Station of Songhu Town, Xinjian, Jiangxi 330107, China; 3. Plant Protection Station of Yongxiu County, Yongxiu, Jiangxi 330300, China)

Abstract: 【Aim】 Temperature is the most important environmental factor for ectotherms and affects all aspects of life-history traits. This study aims to understand how life-history traits vary with temperature in the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. 【Methods】 The developmental duration from egg hatching to pupation and from pupation to adult eclosion, and the pupal and adult weight were examined in the Nanchang population of *O. furnacalis* at 20, 22, 24, 26, 28, 30 and 32℃ under a photoperiod of 16L:8D in the laboratory. 【Results】 The larval and pupal duration and total developmental duration of *O. furnacalis* were significantly decreased with the increasing of rearing temperature. The larval duration and total developmental duration were significantly shorter in males than in females, showing the protandry phenomenon. The growth rate was positively correlated with temperature. The growth rates of females

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260430)

作者简介: 何海敏, 男, 1984 年 1 月生, 江西新余人, 硕士, 实验师, 研究方向为昆虫滞育生理生态, E-mail: hehaimin1984@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: xue_fangsen@hotmail.com

收稿日期 Received: 2017-07-25; 接受日期 Accepted: 2018-01-05

were significantly lower than those of males at low temperatures but significantly higher than those of males at high temperatures. The relationship between body weight and rearing temperature in *O. furnacalis* did not follow the temperature-size rule, and both males and females gained heavier body weight at high temperature. Females were significantly larger in size than males at all temperatures, showing a female biased sex size dimorphism (SSD). Contrary to Rensch's rule, the SSD index and body weight of *O. furnacalis* tended to increase with rising temperature. Male pupae lost significantly more weight at metamorphosis compared to females, resulting in higher SSD index in adults than in pupae. 【Conclusion】 High temperature not only significantly shortens developmental duration, but also results in heavier body weight at maturity in *O. furnacalis*. There are significant differences in life-history traits between females and males of *O. furnacalis*.

Key words: *Ostrinia furnacalis*; temperature; developmental duration; growth rate; body weight; sexual size dimorphism

表型可塑性 (phenotypic plasticity) 这个术语是指同一基因型受环境的不同影响而产生的不同表型, 是生物对环境的一种适应。表型可塑性最普通的形式之一是体型和环境温度的相关性。昆虫是变温动物, 其体温随环境温度的变化而改变。因此, 在食物充足时, 热量是生长和发育速率的驱动力。在适宜温度范围内, 温度升高将导致昆虫新陈代谢速率的加快。因此升高温度常导致昆虫和其他变温动物的生长速率加快、发育时间缩短、在成熟时体型更小, 显示了体型和环境温度呈负相关 (Atkinson, 1994)。这种现象被称作“温度-体型大小法则” (temperature-size rule), 已在超过 80% 的已研究的变温物种中被证实, 包括动物、植物、原生物和细菌 (Atkinson, 1994)。然而与所有的生物法则一样, 这种法则也有例外, 包括被证实的反温度-体型大小法则 (reverse temperature-size rule), 即成熟期的体型在高温下更大 (Mousseau and Roff, 1989; Atkinson, 1995; Kingsolver *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2016)。有趣的是, 大多数这种法则的例外出现在昆虫中。在所调查的 67 种昆虫中, 有 18% 的种类显示了反温度-体型大小法则 (Atkinson, 1994)。例如, 红萝卜甲虫 *Entomoscelis americana* 在 10 ~ 32.5°C 的范围内, 雌成虫平均体重随着温度的升高而增加 (Lamb and Gerbe, 1985)。普通田间蚱蜢 *Chorthippus brunneus*, 普通绿色蚱蜢 *Omocestus viridulus*, 斑影蚱蜢 *Myrmeleotettix maculatus* 和带翅条纹蚱蜢 *Stenobothrus lineatus* 的成虫体重和体型随着温度的升高而增加 (Willott and Hassall, 1998)。二化螟 *Chilo suppressalis* 哈尔滨种群饲养在 22, 25, 28 和 31°C 温度下, 最大体重出现在 31°C (Fu *et al.*, 2016)。然而, 依然还有待解释为何大多数的变温

动物遵循温度-体型大小法则, 而只有少数显示了反温度-体型大小法则。

动物在雌雄体型间常常存在差异, 这种现象称为性体型二型性 (sexual size dimorphism, SSD)。在现有的文献记载中, 88% 的昆虫是雌性大于雄性, 只有 7% 的昆虫是雄性大于雌性。在鳞翅目昆虫种类中, 73% 的种类是雌性大于雄性, 6% 的种类是雄性大于雌性, 还有 21% 的种类的雌雄体型是相似的 (Stillwell *et al.*, 2010; 邹超等, 2017)。当雄性大于雌性时, SSD 指数随体型的增大而增大; 当雌性大于雄性时, SSD 指数随体型的增大而减小, 这种现象被称为任希法则 (Rensch's rule) (Fairbairn, 1997)。然而, 158 种昆虫的调查资料表明, SSD 指数是随体型的增大而增大, 没有遵循任希法则 (Teder and Tammaru, 2005)。最近的研究表明, 在许多节肢动物中 (包括双翅目、直翅目、鳞翅目和鞘翅目等), 雌雄体型对温度反应的可塑性是相似的, 也没有支持任希法则 (Hirst *et al.*, 2015)。因此, 产生性体型二型性模型的选择机制仍然存在争议。

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 是玉米上最重要的害虫之一, 广泛分布于中国玉米种植区, 各地均以老熟幼虫滞育越冬。目前国内对亚洲玉米螟的滞育生物学特性有较多的报道 (杜正文和蔡蔚琦, 1964; 弓惠芬等, 1984; 沈荣武等, 1988; 涂小云等, 2011a; Yang *et al.*, 2014)。研究表明, 该虫滞育的诱导主要由光周期决定, 温度的作用较小。不同地理种群杂交试验表明, 雄性在滞育诱导中的作用大于雌性 (Xia *et al.*, 2012; Xiao *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2015)。然而, 对亚洲玉米螟生活史特性仍缺乏系统研究, 仅涂小云等 (2011b) 报道了亚洲玉米螟体重和体型的地理变异。因为昆虫对环境的适应

性取决于其生长和发育的模式,特别是性成熟时的体型和发育历期。发育历期、生长速率和体型是对昆虫适应性非常重要的3个紧密相关联的参数(Nylin and Gotthard, 1998),研究它们之间的关系有助于了解昆虫对环境适应的对策。本研究在较大的温度范围内较系统研究了亚洲玉米螟幼虫和蛹发育历期、幼虫的生长速率、蛹和成虫体重及性体型二型性对温度的反应特点,试图了解全球变暖的环境可能对该虫产生的影响。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和饲养方法

用于实验的亚洲玉米螟 *O. furnacalis* 为江西南昌种群,采集地地理位置为 $28^{\circ} 68' N$, $115^{\circ} 89' E$ 。在田间,亚洲玉米螟越冬幼虫从4月中旬陆续化蛹,至5月下旬结束;4月下旬陆续羽化,至6月上旬结束。越冬代春季最早羽化的少数个体能繁殖5代,最迟羽化的少数个体仅繁殖3代,大多数个体能繁殖4代,全年能繁殖3~5代。根据1987, 2011和2012年田间调查,该种群8月下旬初孵化的幼虫在秋季高温下就有部分个体进入滞育,8月下旬末孵化的幼虫滞育率达到50%,9月3日及以后孵化的幼虫全部进入滞育(杨慧中等, 2014)。2014年7月初用扫虫网在南昌玉米地附近的杂草丛中网捕到45头雌性成虫。将网捕的雌性成虫放入带有10%糖水棉花球的保鲜袋中供其产卵,每天收集卵块。前3d所产卵用于实验。幼虫孵化后置于装有人工饲料的养虫盒(直径12 cm, 高15 cm)中饲养,每盒接幼虫80头左右,每种温度下接4~5盒幼虫。人工饲料配方参照乔利等(2008)。幼虫饲养到4龄后单个转入12孔塑料培养盒(孔的直径2.4 cm, 高2 cm)中化蛹和羽化,每天检查化蛹和羽化情况并记载化蛹日期和成虫羽化日期。实验在生物培养箱(LRH-250-G型)中进行,箱内光照强度为 $1.97 W/m^2$, 温度变化为 $\pm 1^{\circ}C$ 。实验温度为20, 22, 24, 26, 28, 30和 $32^{\circ}C$, 光周期为16L:8D, 相对湿度为75%。

1.2 生物学特征观察

对亚洲玉米螟不同温度下的每个个体,测定了卵孵化到化蛹的时间、化蛹至成虫羽化的时间,蛹和成虫的重量、生长速率,以及蛹发育到成虫丢失的重量比率。蛹于第2天置于电子天平(AUY120日本岛津公司生产)称量蛹重,成虫于排出蛹便后称重。

在本实验中,饲养到成虫的样本数总共为2534头,每种温度下的存活率均在80%以上。每种温度下观察的样本数:雌虫为106~231头,雄虫为121~245头。每种温度下称量的成虫样本数:雌虫为40~58头,雄虫为50~71头。

1.3 数据分析

生长速率的计算方法:生长速率 = \ln 蛹重/幼虫期(Gotthard *et al.*, 1994)。蛹和成虫间的失重比计算方法:失重比 = $1 - (\text{成虫重}/\text{蛹重})$ (Gotthard *et al.*, 1994)。性体型二型性指数的计算方法:SSD指数 = $(\text{性体型大的个体体重}/\text{性体型小的个体体重}) - 1$ (Lovich and Gibbons, 1992)。

实验数据采用SPSS 17.0 (IBM, www.ibm.com)软件进行分析。运用一般线性模型分析温度和性别对生活史特性的影响。温度间生活史特性差异比较采用one-way ANOVA和Duncan氏多重比较检验,雌雄间生活史特性差异比较采用独立样本 *T* 检验。幼虫和蛹的发育历期、蛹和成虫体重和失重比与温度的线性关系采用Linear-regression分析。

2 结果

2.1 不同温度下亚洲玉米螟雌雄发育历期的差异

温度和性别及它们的互作显著影响了亚洲玉米螟的幼虫和幼虫期+蛹期的发育历期,但蛹期没有受到温度×性别互作的显著影响(表1)。从图1可以看出,亚洲玉米螟雌虫和雄虫的幼虫发育历期、蛹发育历期和幼虫期+蛹期均随温度的升高显著缩短(雌幼虫: $F_{6,1206} = 402.885$, $P < 0.05$; 雄幼虫: $F_{6,1314} = 452.827$, $P < 0.05$; 雌蛹: $F_{6,1206} = 2570.295$, $P < 0.05$; 雄蛹: $F_{6,1314} = 2957.916$, $P < 0.05$; 总发育历期:雌虫, $F_{6,1206} = 618.853$, $P < 0.05$; 雄虫: $F_{6,1314} = 772.312$, $P < 0.05$),显示了发育时间与温度呈负相关(雌幼虫: $y = 94.490 - 2.467x$, $R^2 = 0.656$, $P < 0.05$; 雄幼虫: $y = 81.131 - 2.071x$, $R^2 = 0.662$, $P < 0.05$; 雌蛹: $y = 26.874 - 0.697x$, $R^2 = 0.845$, $P < 0.05$; 雄蛹: $y = 27.403 - 0.706x$, $R^2 = 0.845$, $P < 0.05$; 总发育历期:雌虫: $y = 121.367 - 3.164x$, $R^2 = 0.738$; $P < 0.05$; 雄虫: $y = 108.534 - 2.777x$, $R^2 = 0.756$, $P < 0.05$)。雄虫在各种温度下的幼虫发育历期显著短于雌虫,这种差异在低温下更明显($20^{\circ}C$: $t = 3.856$, $df = 402.599$, $P < 0.05$; $22^{\circ}C$: $t = 5.367$, $df = 286.802$, $P < 0.05$; $24^{\circ}C$: $t = 6.058$, $df = 186.208$, $P < 0.05$;

26℃: $t = 4.774$, $df = 255.962$, $P < 0.05$; 28℃: $t = 5.984$, $df = 436.195$, $P < 0.05$; 30℃: $t = 3.099$, $df = 440$, $P < 0.05$; 32℃: $t = 6.519$, $df = 368$, $P < 0.05$ 。雌雄蛹期除了在 22℃ 没有显著差异外 ($t = 1.754$, $df = 315$, $P > 0.05$), 其他温度下雌性蛹期显著短于雄性蛹期 (20℃: $t = 4.397$, $df = 409$, $P < 0.05$; 24℃: $t = 2.037$, $df = 225$, $P < 0.05$; 26℃: $t = 4.913$, $df = 300$, $P < 0.05$; 28℃: $t = 5.254$, $df = 461.564$, $P < 0.05$; 30℃: $t = 3.475$, $df =$

419.912, $P < 0.05$; 32℃: $t = 634$, $df = 365.615$, $P < 0.05$)。雌性幼虫期 + 蛹期的发育历期在所有的温度下均显著长于雄性 (20℃: $t = 3.292$, $df = 401.858$, $P < 0.05$; 22℃: $t = 4.941$, $df = 288.242$, $P < 0.05$; 24℃: $t = 5.626$, $df = 183.082$, $P < 0.05$; 26℃: $t = 4.081$, $df = 252.044$, $P < 0.05$; 28℃: $t = 5.019$, $df = 437.166$, $P < 0.05$; 30℃: $t = 2.184$, $df = 440$, $P < 0.05$; 32℃: $t = 5.266$, $df = 368$, $P < 0.05$)。

表 1 固定因子(温度和性别)对亚洲玉米螟幼虫期、蛹期、幼虫期 + 蛹期、蛹重和生长速率影响的一般线性模型分析
Table 1 Linear model analysis of fixed factors (temperature and sex) on larval duration, pupal duration, larval plus pupal duration, pupal weight and growth rate in *Ostrinia furnacalis* in relation to temperature and sex

生活史特性 Life-history traits	固定因子 Fixed factors	自由度 <i>d.f.</i>	F 值 F value	P 值 P value
幼虫期 Larval duration	温度 Temperature	6	849.571	< 0.001
	性别 Sex	1	142.028	< 0.001
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	8.215	< 0.001
蛹期 Pupal duration	温度 Temperature	6	5 512.642	< 0.001
	性别 Sex	1	76.942	< 0.001
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	1.655	0.128
幼虫期 + 蛹期 Larval plus pupal duration	温度 Temperature	6	1 369.509	< 0.001
	性别 Sex	1	109.008	< 0.001
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	7.438	< 0.001
蛹重 Pupal weight	温度 Temperature	6	72.902	< 0.001
	性别 Sex	1	2 057.252	< 0.001
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	20.298	< 0.001
生长速率 Growth rate	温度 Temperature	6	1 503.186	< 0.001
	性别 Sex	1	2.247	0.134
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	5.471	< 0.001

2.2 不同温度下亚洲玉米螟的雌雄蛹重和生长速率

温度和性别及它们的互作显著影响了亚洲玉米螟的蛹重, 温度和温度 × 性别显著影响了生长速率, 但生长速率没有受到性别的显著影响(表 1)。从图 2 可以看出, 雌雄的蛹重随温度升高趋于增大, 达到显著差异(雌蛹: $F_{6, 1206} = 50.595$, $P < 0.05$; 雄蛹: $F_{6, 1314} = 24.246$, $P < 0.05$), 显示了蛹重与温度呈正相关(雌蛹: $y = 46.078 + 1.957x$, $R^2 = 0.167$, $P < 0.05$; 雄虫: $y = 55.873 + 0.545x$, $R^2 = 0.045$, $P < 0.05$)。例如, 在 20℃ 时, 雌蛹重为 89.33 ± 1.17 mg, 雄蛹重为 67.84 ± 0.71 mg; 在 32℃ 时, 雌蛹重增到 107.15 ± 1.12 mg, 雄蛹重增到 71.49 ± 0.71 mg。生长速率随温度升高显著增大(雌性: $F_{6, 1206} = 702.004$, $P < 0.05$; 雄性: $F_{6, 1314} = 807.142$, $P < 0.05$), 显示了发育速率与温度呈正相关(雌虫: $y = 0.014x - 0.190$, $R^2 = 0.756$, $P < 0.05$; 雄虫: $y =$

$0.013x - 0.158$, $R^2 = 0.775$, $P < 0.05$)。例如, 雌虫生长速率从 20℃ 下的 0.10 上升到 30℃ 下的 0.27; 雄虫从 20℃ 下的 0.11 上升到 30℃ 下的 0.26。雌性蛹重在各种温度下显著高于雄性蛹重 (20℃: $t = 5.768$, $df = 334.601$, $P < 0.05$; 22℃: $t = 10.996$, $df = 221.354$, $P < 0.05$; 24℃: $t = 9.305$, $df = 150.918$, $P < 0.05$; 26℃: $t = 14.091$, $df = 202.988$, $P < 0.05$; 28℃: $t = 22.001$, $df = 350.365$, $P < 0.05$; 30℃: $t = 24.541$, $df = 314.423$, $P < 0.05$; 32℃: $t = 26.956$, $df = 305.873$, $P < 0.05$)。雌性生长速率在 22 和 24℃ 时显著低于雄性 (22℃: $t = 2.734$, $df = 290.025$, $P < 0.05$; 24℃: $t = 3.180$, $df = 190.785$, $P < 0.05$), 但在 30 和 32℃ 时显著高于雄性 (30℃: $t = 2.752$, $df = 440$, $P < 0.05$; 32℃: $t = 2.118$, $df = 368$, $P < 0.05$)。

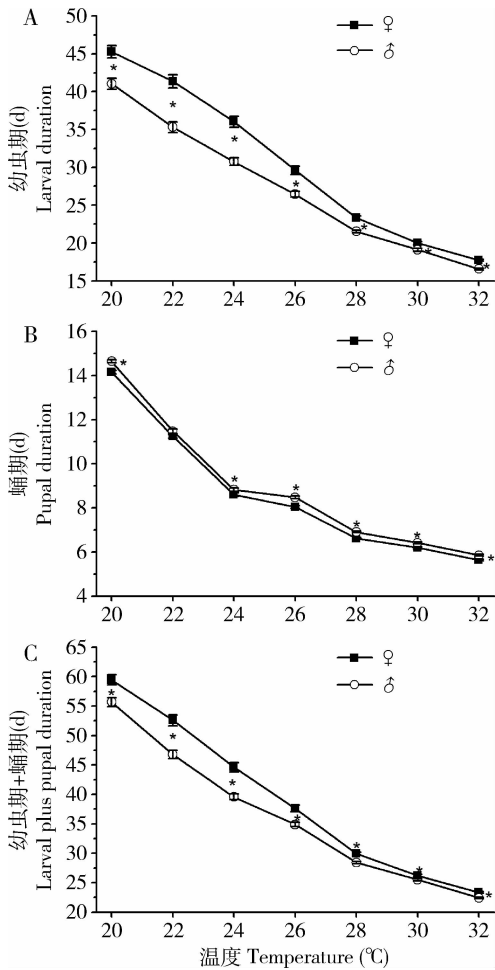
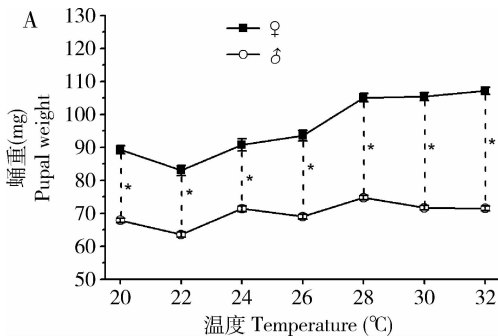


图1 温度对亚洲玉米螟幼虫(A)、蛹(B)和总发育历期(C)的影响

Fig. 1 Effect of temperature on larval (A) and pupal (B) duration and larval plus pupal duration (C) in *Ostrinia furnacalis*

每种温度观察的样本数:雌虫为106~231头,雄虫为121~245头。误差线表示SE;星号表示雌雄之间存在显著差异(独立T检验, $P < 0.05$)。n=106~231 for females and 121~245 for males at each temperature. Error bars indicate SE. The asterisk means significant difference between sexes (T test, $P < 0.05$).



2.3 不同温度下亚洲玉米螟雌雄成虫体重和失重比

温度和性别及它们的交互显著影响了亚洲玉米螟的成虫体重和失重比(表2)。从图3可以看出,雌成虫体重随温度升高显著增大($F_{6,359} = 11.704$, $P < 0.05$),显示了雌性体重与温度呈正相关($y = 38.983 + 0.988x$, $R^2 = 0.111$, $P < 0.05$)。然而,雄成虫体重在各种温度下相似,没有达到显著水平($F_{6,407} = 1.701$, $P > 0.05$),显示了雄性体重与温度没有相关性($y = 38.718 - 0.109x$, $R^2 = 0.008$, $P > 0.05$)。从图3还可以看出,雄性从蛹发育到成虫丢失的体重比随温度升高趋于增大(从20°C下的47.9%失重比上升52.4%),达到显著水平($F_{6,407} = 14.170$, $P < 0.05$),显示了雄性失重比与温度呈正相关($y = 39.397 + 0.414x$, $R^2 = 0.160$, $P < 0.05$)。然而,与雄性的结果不一样,雌性的失重比与温度没有相关性($y = 44.211 - 0.214x$, $R^2 = 0.039$, $P > 0.05$)。在所有温度下,雄虫的失重比显著大于雌虫(20°C: $t = 11.062$, $df = 188$, $P < 0.05$; 22°C: $t = 13.231$, $df = 126$, $P < 0.05$; 24°C: $t = 11.771$, $df = 97$, $P < 0.05$; 26°C: $t = 18.928$, $df = 103$, $P < 0.05$; 28°C: $t = 16.303$, $df = 118$, $P < 0.05$; 30°C: $t = 17.255$, $df = 104$, $P < 0.05$; 32°C: $t = 20.192$, $df = 80.088$, $P < 0.05$)。

2.4 温度对性体型二型性的影响

图4显示了亚洲玉米螟蛹和成虫在不同温度下的SSD指数的变化。结果表明,蛹和成虫的SSD指数随温度升高趋于增大,如:蛹的SSD指数在20°C时为0.32,28°C时增大到0.50;成虫的SSD指数在20°C时为0.61,32°C时增大到0.92。从图4也可看出,蛹的SSD指数明显低于成虫,这种差异是由于雄蛹在变态中比雌蛹丢失了更多体重所致。

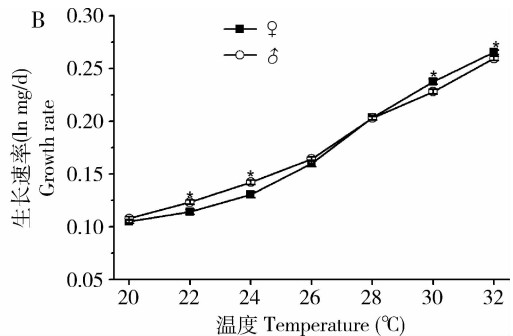


图2 温度对亚洲玉米螟蛹重(A)和幼虫生长速率(B)的影响

Fig. 2 Effect of temperature on pupal weight (A) and larval growth rate (B) in *Ostrinia furnacalis*

误差线表示SE;星号表示雌雄之间存在显著差异(独立T检验, $P < 0.05$)。每种温度观察的样本数:雌虫为106~231头,雄虫为121~245头。Error bars indicate SE. The asterisk means significant difference between sexes (T test, $P < 0.05$). n=106~231 for females, and 121~245 for males at each temperature.

表 2 固定因子(温度和性别)对亚洲玉米螟成虫重和失重比影响的一般线性模型分析

Table 2 Results from a linear model analysis of fixed factors (temperature and sex) on adult weight and weight loss rate in *Ostrinia furnacalis* in relation to temperature and sex

生活史特性 Life-history traits	固定因子 Fixed factors	自由度 d.f.	F 值 F value	P 值 P value
成虫重 Adult weight	温度 Temperature	6	11.217	<0.001
	性别 Sex	1	2 440.993	<0.001
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	13.193	<0.001
失重比 Proportionate weight loss	温度 Temperature	6	2.398	<0.001
	性别 Sex	1	1 596.214	<0.001
	温度 × 性别 Temperature × Sex	6	13.756	<0.001

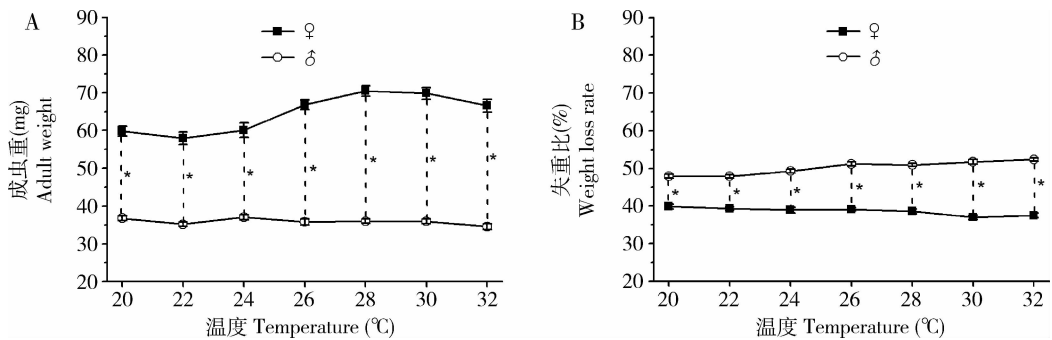


图 3 温度对亚洲玉米螟成虫体重(A)和失重比(B)的影响

Fig. 3 Effect of temperature on adult weight (A) and weight loss rate (B) in *Ostrinia furnacalis*

误差线表示 SE; 星号表示雌雄之间存在显著差异(独立 T 检验, $P < 0.05$)。每种温度观察的样本数: 雌虫为 40 ~ 58 头, 雄虫为 50 ~ 71 头。
Error bars indicate SE. The asterisk means significant difference between sexes (T test, $P < 0.05$). n = 40 - 58 for females and 50 - 71 for males at each temperature.

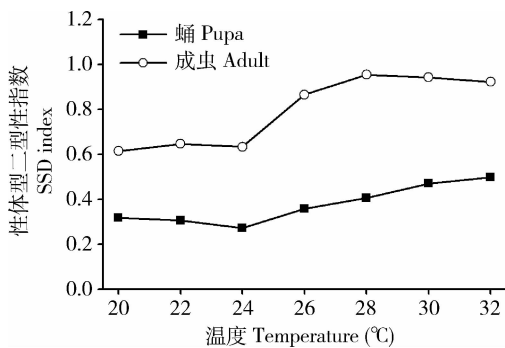


图 4 温度对亚洲玉米螟性体型二型性的影响

Fig. 4 Effect of temperature on sexual size dimorphism in *Ostrinia furnacalis*

3 讨论

本研究发现了亚洲玉米螟体重和温度之间的关系显示了正相关, 即高温不仅显著缩短了亚洲玉米螟的发育历期, 并提高了其蛹和成虫的体重, 由此证明在某些昆虫中存在的温度与体重呈负相关的关系在亚洲玉米螟中并不成立。高温导致体重增加表明

了幼虫生长发育期间生物量的积累率对温度的敏感性大于发育速率(Angilletta and Dunham, 2003; Zuo *et al.*, 2012), 即增加温度对生长速率的影响明显大于对发育速率的影响(van Der Have and De Jong, 1996)。这样一个温度调节体重的机制是该虫的一种进化适应, 有重要的生态意义。在自然条件下, 这种温度-体重反应模式提高了亚洲玉米螟在夏季和秋初高温下的繁殖能力, 扩大了种群数量, 因为在昆虫中雌性的繁殖力与成虫的体型常显示强烈的正相关(Honek, 1993; Blanckenhorn, 2000)。如前所述, 亚洲玉米螟幼虫越冬的滞育是在秋季较高温度下诱导的(Yang *et al.*, 2014)。在自然条件下, 这种反应模式使得在 8 月下旬和 9 月上旬高温下孵化的幼虫进入滞育。因此大多数越冬幼虫在较高的温度(不低于 25°C)下生长并在冬眼前获得更高的体重。大的幼虫在冬季可能有更高的存活率, 并且在冬眠后表现出较强的繁殖力(Chown *et al.*, 1995)。亚洲玉米螟体重和温度之间呈正相关的特性和在秋季高温下进入滞育的特性暗示了全球气候变暖, 特别是秋季气候变暖可能有利于亚洲玉米螟的繁殖。高温导

致体重增加的反应模式也提示了那些在高温下被秋季短日照诱导滞育的种类可能显示反温度-体型大小法则。如水稻二化螟的滞育也是在高温下被短日照诱导的,该虫也显示反温度-体型大小法则(Fu *et al.*, 2016)。

本研究发现了亚洲玉米螟的发育历期和体重间存在显著差异。主要表现在如下方面:(1)雄虫比雌虫显示了显著短的幼虫发育历期和总发育历期,导致了雄性比雌性先羽化的雄性先熟(protandry)现象,这种现象在低温下更明显。雄性先熟现象在蝴蝶和蛾类中较为普遍,其意义在于:避免亲近交配;使那些活的更长的强健雄虫能与雌虫交配;使雌虫羽化后能马上找到雄虫交配;使雄虫能与多个雌虫交配(Wiklund and Fagerström, 1977; Zonneveld, 1992)。(2)亚洲玉米螟的雌性个体显著大于雄性个体,在高温下雌雄个体差异更明显。例如,20℃低温下雌虫成虫 1.6 倍重于雄虫,32℃高温下雌虫成虫则 1.9 倍重于雄虫,表明雌性体重对温度的敏感性大于雄虫。(3)雌性生长速率在 22 和 24℃时显著低于雄性,但在 30 和 32℃时显著高于雄性,表明该虫生长速率对温度的敏感性在两性别间也存在差异。(4)雄蛹发育到成虫丢失的体重比显著高于雌蛹,且雄蛹丢失的体重比随温度升高逐渐增大(从 20℃下的 47.9% 上升到 52.4%),而雌蛹丢失的体重比在低温下更大。

本研究还发现亚洲玉米螟雌雄体重对饲养温度反应的表型可塑性是不同的,雌性表现了更大的可塑性,在高温下比雄性增重更大,因此导致了温度诱导的性二型性的变异。与任希法则相反,雌性偏向的亚洲玉米螟的 SSD 指数随温度升高逐渐增大,而其体重随温度升高趋于增大。这一研究结果与 Teder 和 Tammaru (2005) 的报道一致。因为在所有温度下雄蛹在变态过程中比雌蛹丢失更多的重量,导致了蛹和成虫间 SSD 的差异。因此,SSD 指数在成虫期大于蛹期。这一结果表明,体重丢失在调节 SSD 中发挥了重要作用。

参考文献 (References)

Angilletta MJ, Dunham AE, 2003. The temperature-size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general. *Am. Nat.*, 162(3): 333–342.

Atkinson D, 1994. Temperature and organism size – a biological law for ectotherms? *Adv. Ecol. Res.*, 25: 1–58.

Atkinson D, 1995. Effects of temperature on the size of aquatic ectotherms: exceptions to the general rule. *J. Therm. Biol.*, 20

(1–2): 61–74.

Blanckenhorn WU, 2000. The evolution of body size: what keeps organisms small? *Q. Rev. Biol.*, 75(4): 385–407.

Chown SL, Scholtz CH, Klok CJ, Joubert FJ, Coles KS, 1995. Ecophysiology, range contraction and survival of a geographically restricted African dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae). *Funct. Ecol.*, 9(1): 30–39.

Du ZW, Cai WQ, 1964. A preliminary report on photoperiodic response of corn borer in Jiangsu. *Acta Entomol. Sin.*, 13(1): 129–132. [杜正文, 蔡蔚琦, 1964. 玉米螟在江苏光周期的反应初报. 昆虫学报, 13(1): 129–132]

Fairbairn DJ, 1997. Allometry for sexual size dimorphism: pattern and process in the coevolution of body size in males and females. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 28(1): 659–687.

Fu S, Chen C, Xiao L, He H, Xue F, 2015. Inheritance of diapause in crosses between the northernmost and the southernmost strains of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*. *PLoS ONE*, 10(2): e0118186.

Fu DM, He HM, Zhou C, Xiao HJ, Xue FS, 2016. Life-history responses of the rice stem borer *Chilo suppressalis* to temperature change: breaking the temperature-size rule. *J. Therm. Biol.*, 61: 115–118.

Gong HF, Chen P, Wang R, Lian ML, Xia ZH, Yan Y, 1984. The influence of photoperiod and temperature on the diapause of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Acta Entomol. Sin.*, 27(1): 280–286. [弓惠芬, 陈霏, 王瑞, 连梅力, 夏志红, 阎毅, 1984. 光周期和温度对亚洲玉米螟滞育形成的影响. 昆虫学报, 27(1): 280–286]

Gotthard K, Nylin S, Wiklund C, 1994. Adaptive variation in growth rate: life history costs and consequences in the speckled wood butterfly, *Pararge aegeria*. *Oecologia*, 99(3): 281–289.

Hirst AG, Horne CR, Atkinson D, 2015. Equal temperature-size responses of the sexes are widespread within arthropod species. *Proc. R. Soc. B*, 282(1820): 20152475.

Honek A, 1993. Intraspecific variation in body size and fecundity in insects – a general relationship. *Oikos*, 66(3): 483–492.

Kingsolver JG, Massie KR, Ragland GJ, Smith, MH, 2007. Rapid population divergence in thermal reaction norms for an invading species: breaking the temperature-size rule. *J. Evol. Biol.*, 20(3): 892–900.

Lamb RJ, Gerber GH, 1985. Effects of temperature on the development, growth, and survival of larvae and pupae of a north-temperate chrysomelid beetle. *Oecologia*, 67(1): 8–18.

Lovich JE, Gibbons JW, 1992. A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. *Growth Develop. Aging*, 56(4): 269–281.

Mousseau TA, Roff DA, 1989. Adaptation to seasonality in a cricket: patterns of phenotypic and genotypic variation in body size and diapause expression along a cline in season length. *Evolution*, 43(7): 1483–1496.

Nylin S, Gotthard K, 1998. Plasticity in life-history traits. *Annu. Rev. Entomol.*, 43(1): 63–83.

- Qiao L, Zheng JW, Cheng WN, Li YP, 2008. Impact of 4 different artificial fodders on life span of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *J. Northwest A&F Univ. (Nat. Sci. Ed.)*, 36(5): 109–112. [乔利, 郑坚武, 成卫宁, 李怡萍, 2008. 不同饲料配方对亚洲玉米螟生长发育和繁殖的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 36(5): 109–112]
- Shen RW, Xue FS, Zhu XF, 1988. Studies on voltinism and the date of diapause incidence in the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* in the field. *Jiangxi Plant Prot.*, (1): 18–19. [沈荣武, 薛芳森, 朱杏芬, 1988. 玉米螟化性及田间滞育发生的研究. 江西植保, (1): 18–19]
- Stillwell RC, Blanckenhorn WU, Teder T, Davidowitz G, Fox CW, 2010. Sex differences in phenotypic plasticity affect variation in sexual size dimorphism in insects: from physiology to evolution. *Annu. Rev. Entomol.*, 55(1): 227–245.
- Teder T, Tammaru T, 2005. Sexual size dimorphism within species increases with body size in insects. *Oiko*, 108(2): 321–334.
- Tu XY, Chen YS, Xia QW, Chen C, Kuang XJ, Xue FS, 2011a. Diapause response to night-interruption in two different geographic populations of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomol. Sin.*, 54(8): 943–948. [涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 陈超, 匡先钜, 薛芳森, 2011a. 亚洲玉米螟两个不同地理种群对暗期干扰的滞育反应. 昆虫学报, 54(8): 943–948]
- Tu XY, Xia QW, Chen C, Chen YS, Kuang XJ, Xue FS, 2011b. Geographic variation in body weight and size of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomol. Sin.*, 54(2): 143–148. [涂小云, 夏勤雯, 陈超, 陈元生, 匡先钜, 薛芳森, 2011b. 亚洲玉米螟体重和体型的地理变异. 昆虫学报, 54(2): 143–148]
- van der Have TM, De Jong G, 1996. Adult size in ectotherms: temperature effects on growth and differentiation. *J. Theor. Biol.*, 183(3): 329–340.
- Wiklund C, Fagerström T, 1977. Why does males emerge before females? A hypothesis to explain the incidence of protandry in butterflies. *Oecologia*, 31(2): 153–158.
- Willott J, Hassall M, 1998. Life-history responses of British grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) to temperature change. *Funct. Ecol.*, 12(2): 232–241.
- Xia QW, Chen C, Tu XY, Yang HZ, Xue FS, 2012. Inheritance of photoperiodic induction of larval diapause in the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*. *Physiol. Entomol.*, 37(2): 185–191.
- Xiao L, He HM, Huang LL, Geng T, Fu S, Xue FS, 2016. Variation of life-history traits of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* in relation to temperature and geographical latitude. *Ecol. Evol.*, 6(15): 5129–5143.
- Xiao L, He HM, Zhong PS, Fu S, Chen C, Xue FS, 2015. Inheritance of photoperiodic control of larval diapause in the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Bull. Entomol. Res.*, 105(3): 326–334.
- Yang HZ, Tu XY, Xia QW, He HM, Chen C, Xue FS, 2014. Photoperiodism of diapause induction and diapause termination in *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Entomol. Exp. Appl.*, 153(2): 34–46.
- Yang HZ, Tu XY, Xia QW, Xue FS, 2014. Biology of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*. *Acta Agric. Univ. Jiangxi.*, 36(1): 91–96. [杨慧中, 涂小云, 夏勤雯, 薛芳森, 2014. 亚洲玉米螟生物学特性的研究. 江西农业大学学报, 36(1): 91–96]
- Zonneveld C, 1992. Polyandry and protandry in butterflies. *Bull. Math. Biol.*, 54(6): 957–976.
- Zou C, Xiao L, He HM, Zeng Y, Xue FS, 2017. Geographical variation of life-history traits in the cabbage beetle, *Colophellus bowringi* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomol. Sin.*, 60(1): 60–66. [邹超, 肖亮, 何海敏, 曾奕, 薛芳森, 2017. 大猿叶虫生活史特性的地理变异. 昆虫学报, 60(1): 60–66]
- Zuo W, Moses ME, West GB, Hou C, Brown JH, 2012. A general model for effects of temperature on ectotherm ontogenetic growth and development. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 279(1734): 1840–1846.

(责任编辑: 赵利辉)