

DOI:10.13432/j.cnki.jgsau.2024.02.019

温度对豌豆蚜体型、生长发育及繁殖的影响

张育霞, 史历, 袁月, 张廷伟

(甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室, 甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】明确不同温度对豌豆蚜体型、生长发育及繁殖的影响以及三者之间的关系。【方法】采用离体植物叶片饲养法, 观察并记录不同温度(15、20、25 °C)处理后豌豆蚜的体型、生长发育及繁殖指标。【结果】随着温度的升高, 豌豆蚜的体型逐渐减小, 单位体质量的表面积逐渐增大; 发育历期和寿命逐渐缩短, 平均每雌产蚜量先增后减。在低温(15 °C)处理下, 豌豆蚜体长(4.10 mm)和后足胫节长度(3.07 mm)最长, 表面积(4.74 mm²)最大, 体质量(3.11 mg)最大; 若蚜发育历期(12.44 d)和寿命(43 d)最长; 平均每雌产蚜量(75.45头)最少。【结论】温度对豌豆蚜体型、生长发育及繁殖有显著影响。

关键词: 豌豆蚜; 体型; 温度; 存活曲线; 繁殖

中图分类号: S435.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1003-4315(2024)02-0165-06



Effect of temperature on body size, growth and reproduction of *Acyrtosiphon pisum*

ZHANG Yuxia, SHI Li, YUAN Yue, ZHANG Tingwei

(Bio-control Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract:【Objective】The study aimed to clarify the effect of different temperature on the body size, growth and reproduction of *Acyrtosiphon pisum* and their relationships. 【Method】The indexes of body size, development and reproductive of *A. pisum*, which were raised in vitro leaves under different temperature conditions (i. e., 15, 20, 25 °C), were recorded and determined. 【Result】The results showed that with the increase of temperature, the body size of *A. pisum* gradually decreased, and the surface area per unit body weight increased gradually; The developmental duration and longevity were shortened gradually, and the average daily fecundity per female increased first and then decreased. Under low temperature (15 °C), the *A. pisum* were the longest both in the body length (4.10 mm) and in hind food tibia length (3.07 mm), the largest in the surface area (4.74 mm²), and the heaviest in the body weight (3.11 mg). The developmental duration (12.44 d) and adult longevity (43 d) of *A. pisum* were the longest, and the average fecundity of per female (75.45) was the least. 【Conclusion】It was suggested that the temperature had a significant effect on the body size, growth and reproduction of *A. pisum*.

第一作者: 张育霞, 硕士研究生。E-mail: 2115256508@qq.com

通信作者: 张廷伟, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为昆虫生态与害虫综合治理。E-mail: zhangtw@gsau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960227, 31960351); 甘肃农业大学学科建设基金项目(GAU-XKJS-2018-154)。

收稿日期: 2022-09-25; 修回日期: 2022-10-10

Key words: *Acyrtosiphon pisum*; body size; temperature; survival curves; reproduction

地球上从赤道到两极,随着纬度或海拔的增加,光热分布不均从而导致地球上的动物种类分布不均,动物个体大小也具有明显差异^[1]。德国学者贝格曼(C. Bergmann)认为恒温动物体型大小与气候和生存环境温度有密切关系,并于1847年提出了贝格曼法则(Bergmann's rule),该法则认为,同一物种甚至近缘的恒温动物,其体型随纬度(或海拔)升高而增大,处于温度较低或气候寒冷地区的动物体型较大,而处于温暖地区的则体型较小;体型较小的个体单位体质量的表面积较大,易于散热,而体型较大的个体单位体质量的表面积则较小,有利于防止体热的散失,这是恒温动物对环境温度的适应性表现^[2-4]。而逆贝格曼法则却认为,由于变温动物体温随环境而变,环境温度决定了代谢率与发育速度,因此变温动物体型大小与世代时间和生长季的相对长短密切相关,该法则认为变温动物体型随纬度(或海拔)升高,生长季节的缩短,发育时间相应减少,所以动物体型有变短变小的趋势,因此,变温动物,在温暖地区的体型较大,而寒冷地区的则较小^[5-6]。

昆虫作为一种变温动物,外界温度的变化不仅影响昆虫的新陈代谢、生长发育以及生存繁殖等生命活动,也影响着昆虫的个体大小^[7]。由于地球上温度总是随纬度协变的,不同纬度昆虫体型与该种类昆虫活动时期的环境温度存在明显的相关性^[8]。但是贝格曼法则最初是针对鸟类和哺乳类等恒温动物提出的,对变温动物体型大小并未做出预测^[9]。迄今研究发现,一般体型较大、发育时间较长的昆虫,更可能符合逆贝格曼法则,而体型较小、发育时间较短的昆虫,则更可能符合贝格曼法则^[6,10]。由于昆虫种类繁多,不同种类间个体大小差异较大,加之昆虫可以通过调控自身大小、繁殖适合度方式来适应不同的环境,从而表现出不同的适应性机制^[11]。例如王玮^[12]研究发现,在不同温度处理30 d后,随着温度的升高,美国白蛾(*Hyphantria cunea* Drury)滞育蛹的蛹质量、体长和体宽均呈减小趋势。仇兰芬等^[13]对花绒寄甲(*Dastarcus helophoroides* Fairmaire)研究发现,体型相同的个体随着环境温度升高死亡率增加,温度相同时,体型小的个体死亡率高,体型大的

雌虫产卵量高。杨帅等^[14]和陈晓慧等^[15]对大豆蚜(*Aphis glycines* Matsumura)研究发现,随着温度的降低,大豆蚜的体型逐渐增大。武德功等^[16]对高粱蚜(*Melanaphis sacchari* Zehntner)的研究发现,随着温度的升高,高粱蚜的发育历期逐渐缩短,体质量逐渐减轻,死亡率逐渐增加。

豌豆蚜属半翅目(Hemiptera)蚜科(Aphididae)刺吸类害虫,主要危害苜蓿(*Medicago sativa*)、蚕豆(*Vicia faba*)、豌豆(*Pisum sativum*)等豆科经济作物。引起植物叶片变黄、卷缩,严重时导致植物死亡,造成作物产量和品质的降低^[17-18];据统计,在我国豌豆蚜对牧草每年造成的产量损失高达10%~30%,是苜蓿生产中最具威胁的害虫之一^[19]。宫亚军等^[20]和杜军利等^[21]研究表明,温度对豌豆蚜生长发育与繁殖有显著的影响,指出其最适发育温度为19~23℃,且高温不利于豌豆蚜的生长发育。因此,本试验拟设置15、20、25℃3个温度条件下,以豌豆蚜为研究对象,研究不同温度处理后豌豆蚜的体型变化、体型大小与存活率和繁殖力之间的关系,为进一步明确温度与豌豆蚜体型变化以及为蚕豆田间蚜虫种群预测预报提供丰富的理论数据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用豌豆蚜(绿色型)(*Acyrtosiphon pisum*)采自甘肃农业大学苜蓿试验基地(兰州),在室内温度(20±1)℃、光周期16 L:8 D、相对湿度(RH)60%的条件下于盆栽蚕豆(*Vicia fabae*)植株上饲养多代后备用。

1.2 试验方法

1.2.1 温度对豌豆蚜生长发育及体型的影响 试验在光周期16 L:8 D、温度15、20、25℃3个梯度条件下,相对湿度60%的人工气候箱内进行。蚜虫饲养方法参照叶超^[22]的离体叶片植物饲养法进行。将1.5 mL离心管底部开口并加入蒸馏水,剪取具有1 cm长叶柄的新鲜蚕豆叶片,叶柄部插入离心管底部开口中,用石蜡膜封口后叶片正面朝上平置于直径12 cm的培养皿内备用。将2 h内新产的1龄若蚜

每10头用十万分之一电子天平称质量后计算每一头若蚜体质量(W_1)后接入培养皿内叶片上,每皿1头,每12h观察1次,连续观察至成蚜自然死亡,期间适时更换叶片。每天离心管中及时补充蒸馏水保证叶柄浸于其中,观察记录蚜虫的蜕皮时间、蜕皮次数并记录生长发育情况。每个温度处理下,观察重复数不少于120头蚜虫。待发育至成蚜后,选取60头成蚜测量体质量(W_2),后放于冰袋低温处理,待其滞育后,在ZEISS体视显微镜下测量蚜虫体长(a)、体宽(b)和后足胫节长度,并参照杜军利等^[21]的方法计算其相对日均体质量增长率(Mean relative growth rate,简称MRGR),参照陈晓慧等^[15]的方法将豌豆蚜体背看作规则的椭圆形,以椭圆面积公式计算蚜虫表面积(Surface area,简称SA)大小,参考Nwaogu等^[4]的方法用体质量代替体积、以成蚜单位体质量的表面积表示为相对体表面积(Relative surface area,简称RSA),具体计算公式如下:

$$MRGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{DD} \quad (DD \text{ 为发育历期})$$

$$SA = \pi \times a \times b / 4$$

$$\pi \approx 3.14, a \text{ 为体长值}, b \text{ 为体宽值。}$$

$$RSA = SA / W_2$$

1.2.2 温度对豌豆蚜繁殖的影响 产蚜开始后,记录每天产蚜数并移除所产若蚜。统计存活率(Lx)和平均产蚜数(Mx)并制作3个温度下豌豆蚜的存活曲线和生殖曲线。

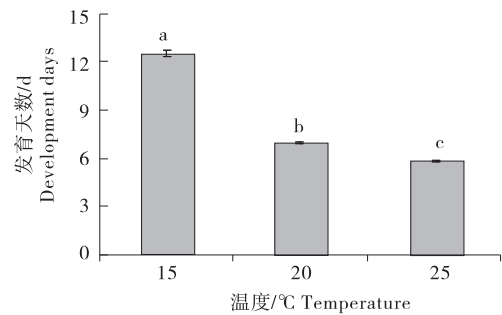
1.3 数据处理

试验所得的所有数据使用Microsoft Excel 2010和SPSS 23.0软件进行统计分析。表、图中所出现的误差处理方式均为平均值±标准误(mean±SE)。方差分析采用SPSS 23.0软件单因素ANOVA检验进行,多重比较采用Duncan法进行。

2 结果与分析

2.1 温度对豌豆蚜发育历期的影响

由图1可知,不同温度处理后豌豆蚜若蚜期具有显著差异($F_{2,217} = 2748.007, P < 0.001$)。随着温度的升高,豌豆蚜的发育历期逐渐缩短。在15℃处理下,豌豆蚜若蚜期最长为12.44 d,在20℃处理下,若蚜期为7.02 d,而在25℃处理下最短,若蚜期仅5.90 d。



图中不同小写字母表示不同温度处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Different lowercase letters indicate significant difference among different temperature at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

图1 温度对豌豆蚜发育历期的影响

Figure 1 Effect of temperature on the developmental duration of *Acyrthosiphon pisum*

2.2 温度对豌豆蚜新羽化成蚜体质量的影响

由表1可知,豌豆蚜在不同温度下的体质量和相对日均体质量增长率均有显著差异(体质量: $F_{2,176} = 137.618, P < 0.001$;相对日均体质量增长率: $F_{2,173} = 47.632, P < 0.001$)。豌豆蚜在25℃处理下,体质量最小,为2.11 mg;相对日均体质量增长率最大,为0.33;而在15℃处理下,豌豆蚜的体质量最大为3.11 mg,相对日均体质量增长率最小,为0.24。表明随着温度的升高,豌豆蚜的个体缩小,但相对日均体质量增长率逐渐增大。

2.3 温度对豌豆蚜虫体型大小的影响

由表2可知,在15~25℃范围内,不同温度间豌豆蚜的体长、体宽、后足胫节和表面积均有显著差异(体长: $F_{2,184} = 117.899, P < 0.001$;体宽: $F_{2,184} = 36.046, P < 0.001$ 后足胫节: $F_{2,185} = 126.968, P < 0.001$;表面积: $F_{2,185} = 46.203, P < 0.001$),随着温度的升高,豌豆蚜的体长、体宽、后足胫节和表面积逐渐缩短或减小;在15℃处理下,豌豆蚜的体长、体宽、后足胫节长度和表面积最大,分别为4.10 mm、1.65 mm、3.07 mm、4.74 mm²,表明随着温度的升高,豌豆蚜的个体逐渐缩小;在25℃处理下,豌豆蚜体长、体宽、后足胫节长度和表面积最短或最小,分别为3.63 mm、1.41 mm、2.68 mm、3.34 mm²,均显著低于20℃和15℃($P < 0.05$)。且

表1 温度对豌豆蚜新羽化成蚜体质量的影响

Table 1 Effects of temperature on body weight of newly emerged adult of *Acyrtosiphon pisum*

温度/℃ Temperature	体质量/mg Weight	相对日均体质量增长率/% Mean relative growth rate
15	3.11±0.058 a	0.24±0.051 b
20	2.57±0.052 b	0.32±0.008 a
25	2.11±0.027 c	0.33±0.008 a

表中同列不同小写字母表示不同温度处理间在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different temperature at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

表2 温度对豌豆蚜体型大小的影响

Table 2 Effect of temperature on body size of *Acyrtosiphon pisum*

温度/℃ Temperature	体长/mm Body length	体宽/mm Body width	后足胫节/mm Hind food tibia length	表面积/mm ² Surface area
15	4.10±0.020 a	1.65±0.027 a	3.07±0.018 a	4.74±0.131 a
20	3.77±0.024 b	1.50±0.020 b	2.74±0.018 b	3.98±0.091 b
25	3.63±0.021 c	1.41±0.015 c	2.68±0.020 c	3.34±0.071 c

表中同列不同小写字母表示不同温度处理间在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different temperature at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

相关分析表明,温度与豌豆蚜的相对体表面积呈正相关。相关方程为 $y=0.0059x+1.4343$,相关系数为 $R^2=0.9909$ (图2)。

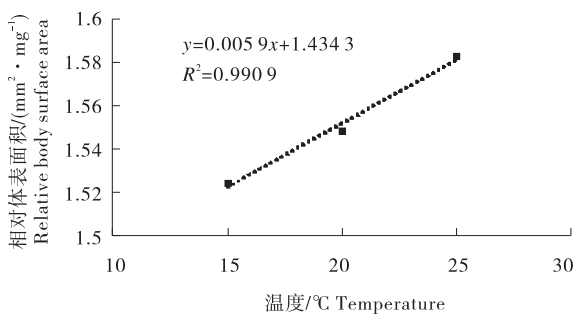


图2 温度与相对体表面积的关系

Figure 2 Relationship between temperature and relative body surface area

2.4 温度对豌豆蚜存活率和繁殖的影响

由图3-A可以看出,随着温度的升高,豌豆蚜存活时间逐渐缩短,个体最长存活时间由15℃下的41d缩短至25℃时的25d。试验种群50%个体死亡率在15℃下出现时间为第27天,20℃下为第18天,而25℃下为第14天,表明随温度升高,成蚜寿命明显缩短,试验种群死亡率增加。

由图3-B可以看出,豌豆蚜的产蚜期、日均产蚜量以及总产蚜量等繁殖参数也具有明显差异。随着温度的升高,成蚜寿命缩短,产蚜期逐渐缩短,初次产蚜日和产蚜高峰期提前。在15℃处理下,豌豆蚜在第14~26天为产蚜高峰期,每日最高产蚜量为4.57头/雌,总产蚜量达到75.45头/雌;在20℃处理下,豌豆蚜在第8~18天为产蚜高峰期,每日最高产蚜量达到7.95头/雌,总产蚜量为102.83头/雌;而25℃处理下,豌豆蚜在第7~13天为产蚜高峰期,每日最高产蚜量为7.5头/雌,总产蚜量达到87.11头/雌。表明随着温度的升高,豌豆蚜若蚜发育历期和寿命逐渐缩短,存活率逐渐降低,而繁殖力先增后降。

3 讨论

温度作为地球上重要的环境因子,对变温动物昆虫的生长发育、存活、繁殖等生命活动具有重要的影响^[23]。因此,环境温度变化或人工调节环境温度有利于控制昆虫的生长发育速率和世代发育数目,进而减轻害虫对农作物的为害程度^[24]。

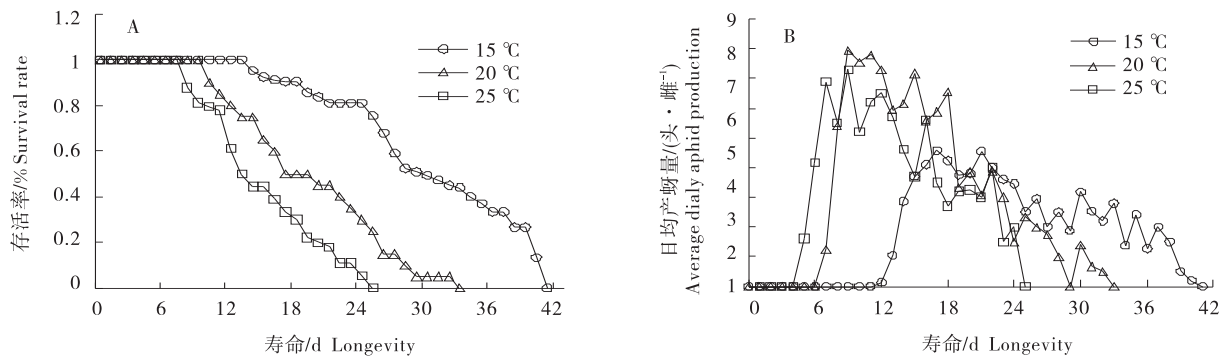


图3 温度对豌豆蚜存活率(A)和繁殖力(B)的影响

Figure 3 Effects of temperature on survival rate(A) and reproduction(B) of *Acyrthosiphon pisum*

本研究结果表明,不同温度处理对豌豆蚜的体型、发育历期和存活率均有显著影响($P < 0.05$)。在15~25℃范围内,随着温度的升高,豌豆蚜体质量逐渐减轻,表面积逐渐缩小,相对体表面积逐渐增大,表明蚜虫体型与环境温度变化之间的关系符合伯格曼法则,这可能是因为低温下,蚜虫的活动迟缓,能量消耗减少,从而导致蚜虫取食吸收的营养物质大于消耗,有利于营养物质的积累。而较高温度下,蚜虫的发育速率快,加速了蜕皮,加之蚜虫母体与体内胚胎同步发育,随着母体发育成熟,体内胚胎成熟越多,呼吸消耗越多,不利于能量物质积累,导致体型缩小^[25-26]。本研究结果与高粱蚜和大豆蚜的研究结果相似^[14,16]。覃武等^[27]研究发现,取食马铃薯后,扶桑绵粉蚧(*Phenacoccus solenopsis* Tinsley)的体型最大,体质量最大,体内脂肪含量最多,可溶性蛋白质和可溶性糖含量适中。赵静等^[28]对异色瓢虫研究发现,体型大的成虫其体内脂肪含量也高,在18℃下饲养的成虫体内脂肪含量显著高于25℃下。因此,蚜虫体质量的变化可能与不同温度下体内营养物质含量变化相关。

此外,本研究发现随着温度的升高,豌豆蚜若蚜发育历期和成蚜寿命逐渐缩短,且初次产蚜日和产蚜高峰期提前,繁殖力先增后降,在20℃下产蚜量最多。此结果与宫亚军等^[20]的研究结果一致。这可能是因为蚜虫一个个体实际代表3代,从若虫发育至成蚜时,随着温度的升高,体内胚胎发育加快,从而导致产蚜速率加快,初次产蚜日和产蚜高峰期提前,加之生殖消耗能量过多,导致成蚜寿命明显缩短,产蚜期也缩短^[29-30]。由于温度高低影响昆虫呼吸代谢速率,而且前人对东方粘虫(*Mythimna separata*

Walker)、亚洲小车蝗(*Oedaleus asiaticus* Bey-bienko)、龟纹瓢虫(*Propylaea japonica* Thunberg)研究表明,在一定温度范围内,随着温度的升高,昆虫呼吸代谢速率增强,与体内糖类、脂类以及蛋白质等营养物质含量变化密切相关^[31-33]。因此,在不同温度处理下,豌豆蚜体型变化与体内营养物质含量变化、呼吸代谢速率变化之间的关系,还有待进一步研究。

4 结论

综上,不同温度处理,对豌豆蚜的体型、发育历期和存活率均有显著影响,且蚜虫体型与环境温度变化之间的关系符合伯格曼法则。

参考文献

- [1] 涂小云,夏勤雯,陈超,等. 亚洲玉米螟体重和体型的地理变异[J]. 昆虫学报,2011,54(2):143-148.
- [2] 张强,王德华. 伯格曼(Bergmann)法则的历史演变和发展[C]//野生动物生态与资源保护第四届全国学术研讨会论文摘要集,2007:109-110.
- [3] 郭程. 中国两栖类和鱼鳞类的伯格曼规律研究[D]. 武汉:武汉大学,2016.
- [4] Nwaogu C J, Tieleman B I, Bitrus K, et al. Temperature and aridity determine body size conformity to Bergmann's rule independent of latitudinal differences in a tropical environment [J]. Journal of Ornithology, 2018, 159: 1053-1062.
- [5] 匡先钜,戈峰,薛芳森. 昆虫体型及性体型二型性的地理变异[J]. 昆虫学报,2015,58(3):351-360.
- [6] 毕孟杰,沈梦伟,周可新,等. 中国瓢虫体型的地理分异及其与环境因子的关系[J]. 生物多样性,2015,23

- (6):775-783.
- [7] 刘晓丽, 窦莉, 孙涛, 等. CO₂浓度和气候变暖对昆虫的影响[J]. 淮北师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(4):49-53.
- [8] 胡玉伟. 昆虫体型变异及其机制——以中华真地鳖为例[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(3):433-440.
- [9] Blackburn T M, Gaston K J, Loder N. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's rule [J]. Diversity and Distributions, 1999, 5 (4) : 165-174.
- [10] Blanckenhorn W U, Demont M. Bergmann and converse Bergmann latitudinal clines in arthropods: two ends of a continuum [J]. Integrative and Comparative Biology, 2004, 44(6):413-424.
- [11] 易小龙, 王小云, 郑霞林, 等. 昆虫繁殖适度研究进展 [J]. 广东农业科学, 2021, 48(4):84-92.
- [12] 王玮. 美国白蛾滞育蛹越冬前的能量贮备与越冬期温度变化对其能量消耗的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2020.
- [13] 仇兰芬, 仲丽, 邵金丽, 等. 环境温度和体型大小对花绒寄甲及产卵量的影响[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(4):959-965.
- [14] 杨帅, 刘健, 戴长春, 等. 不同地理种群大豆蚜生长发育的形态指标[J]. 昆虫知识, 2010, 47(1):67-71.
- [15] 陈晓慧, 范艳杰, 田镇齐, 等. 温度及四种植物对大豆蚜形态发育的影响[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(2): 250-257.
- [16] 武德功, 陈青, 詹秋文, 等. 不同温度对高粱蚜的生长发育的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(6):1548-1555.
- [17] 郭耀霞, 刘长仲, 张廷伟, 等. 吡虫啉对豌豆蚜抗感品系两种解毒酶活性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2021, 56(3):60-65.
- [18] 张祥, 刘长仲, 宋维虎. 不同CO₂浓度条件下两种色型豌豆蚜的种群密度效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(3):78-83.
- [19] 林春燕, 张祥, 郝亚楠, 等. CO₂浓度和种群密度对两种色型豌豆蚜生长发育和繁殖的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(6):46-51.
- [20] 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.
- [21] 杜军利, 武德功, 张廷伟, 等. 紫外线(UV-B)辐射对不同色型豌豆蚜生物学特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(12):1626-1630.
- [22] 叶超. 豌豆蚜点滴与注射法递送 dsRNA 介导的 RNAi 效率及其摄取机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [23] 潘飞, 陈绵才, 肖彤斌, 等. 变温对昆虫生长发育和繁殖影响的研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(2): 240-246.
- [24] 李栋, 李晓维, 马琳, 等. 温度对番茄潜叶蛾生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2019, 62(12):1417-1426.
- [25] 李献辉, 李保平. 温度对黑豆蚜体内共生菌胞数量及宿主体型大小的影响[J]. 昆虫学报, 2006, 49(3): 428-432.
- [26] 邱莹, 王玮, 赵吕权. 美国白蛾在我国由北向南扩散过程中体型与繁殖能力的地理变异[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(11):65-72.
- [27] 覃武, 胡雍, 桂富荣, 等. 寄主植物对扶桑绵粉蚧体型及体内能源物质含量的影响[J]. 生物安全学报, 2021, 30(3):189-194.
- [28] 赵静, 崔宁宁, 张帆, 等. 异色瓢虫成虫体型及体内脂肪含量对其耐寒能力的影响[J]. 昆虫学报, 2010, 53(11):1213-1219.
- [29] 吴一民. 蚜虫性别的决定[J]. 昆虫知识, 1982(1): 28-30.
- [30] 陈菊红, 崔娟, 唐佳威, 等. 温度对点蜂缘蝽生长发育和繁殖的影响[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(4): 579-584.
- [31] 高峰, 苏建伟, 戈峰, 等. 温度对龟纹瓢虫呼吸代谢的影响[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(4):562-564.
- [32] 郭娜, 高书晶, 王宁, 等. 温度对亚洲小车蝗成虫体内呼吸代谢相关酶和抗氧化酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2020, 63(11):1358-1365.
- [33] 张南, 解幸承, 成卫宁, 等. 高、低温处理时间对东方粘虫成虫能源物质及飞行能力的影响[J]. 植物保护学报, 2018, 45(2):243-250.

(责任编辑 赵晓倩)