

杨 眉,孙富余,李志强,等. 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫生理指标的响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):135-139.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.21.020

# 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫生理指标的响应

杨 眉<sup>1</sup>, 孙富余<sup>1</sup>, 李志强<sup>1</sup>, 刘欣宇<sup>2</sup>, 于凤泉<sup>1</sup>

[1. 辽宁省农业科学院植物保护研究所, 辽宁沈阳 110161; 2. 中国农业大学有机循环研究院(苏州), 江苏苏州 215100]

**摘要:**为明确二化螟各龄幼虫的生理指标对高温环境胁迫的响应,通过室内饲养获得 1~6 龄的二化螟幼虫,将其分别在 28、30、33、36、39、42 ℃ 的温度下进行 4 h 的处理,分别采用烘干法、索氏抽提法、蒽酮法以及分光光度法测定各龄幼虫的含水量、脂肪含量、总糖含量以及超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶的活性。试验结果表明,在相同温度下,低龄幼虫的含水量、脂肪含量和总糖含量高于高龄幼虫;随着温度上升,各龄幼虫的含水量均呈现显著下降趋势,脂肪和总糖含量均呈现先上升后下降的趋势。随着温度升高,各龄幼虫 3 种抗氧化酶的活性均呈现出先上升后下降的趋势,其中超氧化物歧化酶的活性最高,其次为过氧化物酶,过氧化氢酶的活性最低。36 ℃ 为温度临界点,低于 36 ℃ 时,二化螟幼虫体内的 3 种抗氧化酶活性随着温度上升而提高;高于 36 ℃ 时,3 种抗氧化酶活性随着温度上升而下降。二化螟幼虫可以通过降低含水量,调节脂肪、总糖的代谢以及 3 种抗氧化酶的活性来应对环境高温的胁迫。

**关键词:**高温胁迫;二化螟;不同龄期;生理指标

**中图分类号:**S435.112<sup>+</sup>.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)21-0135-05

温度是影响昆虫生长发育、繁殖及分布的重要环境因素之一,同时也会诱发昆虫体内的生理反应<sup>[1]</sup>。高于昆虫生存的最佳温度将引起生物体的热应激反应,在热应激反应下,昆虫体内会产生过量的活性氧(ROS),这将对昆虫造成氧化损伤<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2021-12-20

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0200208-A02);辽宁省农业科学院学科建设项目-农作物昆虫学(编号:2019DD082612)。

作者简介:杨 眉(1982—),女,辽宁沈阳人,硕士,助理研究员,主要从事水稻虫害研究。E-mail:yangmei6@163.com。

通信作者:于凤泉,研究员,主要从事水稻虫害综合防控技术研究。E-mail:yfq69@aliyun.com。

为应对 ROS 可能造成的损伤,生物体已经进化出了复杂的 ROS 清除保护机制,其中最关键组成部分即抗氧化酶<sup>[3]</sup>,主要的抗氧化酶包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)<sup>[4]</sup>。SOD 能够将 ROS 催化为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>,随后 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 将被 CAT 和 POD 转化为 H<sub>2</sub>O 和 O<sub>2</sub>,进而解除 ROS 对生物体可能产生的危害<sup>[5]</sup>。同时,当遭遇高温时,昆虫采用降低自身含水量的方式来降低体表及体内温度,从而降低高温的伤害<sup>[6]</sup>。昆虫体内的脂肪和糖原在遭遇高温时,也会起到保护体内细胞物质并调整代谢的作用。

二化螟 [*Chilo suppressalis* (Walker)] 属鳞翅目螟蛾科,是对我国水稻危害最为严重的常发性害虫

[24] 易润华,朱西儒,周而勋. 水稻纹枯病菌人工接种方法的研究[J]. 广州大学学报(自然科学版),2003,2(3):224-227.

[25] Nelson J C, Oard J H, Groth D, et al. Sheath-blight resistance QTLs in Japonica rice germplasm[J]. Euphytica, 2012, 184(1): 23-34.

[26] 郭 田,王刘庆,廖美德. PS04 菌株对水稻纹枯病的防效及对水稻 2 种防御性酶活性的诱导[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):98-102.

[27] Jia Y, Singh P, Eizenga G C, et al. In vitro identification of cultivar responses to rice sheath blight pathogen *Rhizoctonia solani* [M]// Norman R J, Meullenet J F. BR Wells Rice research Studies. Arkansas: Univ Arkansas Agric Exp Stn Ser, 2002, 504: 229-236.

[28] 曲海艳,袁正杰,潘龙玉,等. 水稻离体叶片纹枯病接种样品菌

量检测方法研究[J]. 浙江农业学报,2018,30(10):1686-1693.

[29] 杨晓贺,魏松红,顾 鑫,等. 东北地区水稻种质资源抗纹枯病研究初报[J]. 植物保护,2020,46(6):205-208,212.

[30] 马晨燕,袁正杰,杨海河,等. 水稻离体叶片纹枯病接种方法的研究[J]. 浙江农业学报,2016,28(10):1730-1737.

[31] 贺 闯,尹俊杰,冯志明,等. 水稻稻瘟病和纹枯病抗性鉴定方法[J]. 植物学报,2020,55(5):577-587.

[32] 王 妍,魏松红,王小哲,等. 水稻主栽品种对纹枯病的抗性鉴定及评价[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):125-128.

[33] 左思敏,张亚芳,殷跃军,等. 田间水稻纹枯病抗性鉴定体系的确立与完善[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2006,27(4):57-61,封3.

之一,在我国各稻作区均有分布,其中长江流域及以南的稻作区发生尤为严重<sup>[7]</sup>。二化螟幼虫对温度的适应性较强,其幼虫在 10~40℃ 的温度条件下均可在一定程度上进行发育,最适宜的发育温度在 27℃ 左右<sup>[8-9]</sup>。随着全球气候变暖,双季稻种植区的范围正在以每年 200 m 的速度逐步向北扩大<sup>[10]</sup>,而南方稻作区的极端温度也频频发生,夏季的最高气温常出现超过 40℃ 的现象<sup>[11]</sup>。当前,关于低温环境对二化螟幼虫生长发育的影响已经有较多报道<sup>[12-14]</sup>,针对高温环境对二化螟幼虫影响的报道大多关注于发生、生长繁殖、热应激蛋白及基因表达方向<sup>[15-17]</sup>,而关于高温胁迫对于二化螟幼虫体内相关生理指标的研究却未见专门的详细报道。

本研究测定了二化螟在高温胁迫下体内 SOD、CAT、POD 的活性变化以及水分、脂肪、总糖的含量变化,进而明确二化螟幼虫对极端高温环境的适应性,为研究该害虫的生态适应性评价及对其分布扩张趋势分析提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究于 2021 年在辽宁省农业科学院植物保护研究所进行。供试二化螟虫源于辽宁省东港市新兴区土房北村水稻田采集,置于恒温光照培养箱中用水稻植株继代饲养,温度设定为 28℃,每日光照时间 16 h、黑暗时间 8 h,保持所饲养的种群数不少于 2 000 头。待新一代二化螟卵孵化后,参照 GB/T 15792—2009《水稻二化螟测报调查规范》中

的规定将二化螟幼虫进行分龄<sup>[18]</sup>,每个龄期选取 200 头幼虫作为供试样本,并及时将当时龄期的幼虫分布于 27、30、33、36、39、42℃ 的条件下处理 4 h,每个处理进行 4 次重复,每个重复 50 头。根据幼虫可否协调运动作为判断活虫鉴别的标准,将活虫置于液氮速冻后保存于 -80℃ 备用。

### 1.2 测定项目与方法

采用烘干法(60℃,48 h)测定二化螟幼虫的含水量;采用索氏抽提法<sup>[19]</sup>测定二化螟幼虫的脂肪含量;采用蒽酮法<sup>[20]</sup>测定二化螟幼虫的总糖含量;采用分光光度法<sup>[21]</sup>测定二化螟幼虫 SOD、CAT 及 POD 的活性。

### 1.3 数据处理

利用 Excel 2019 软件对原始数据进行统计;利用 DPS 13.5 软件对试验数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的含水量

水分是昆虫体内各种生化反应与代谢的溶质,当温度上升时,昆虫会通过调节自身含水量来应对高温造成的损害<sup>[22]</sup>。由图 1 可知,在适宜二化螟幼虫生长发育的温度(28℃)下,低龄幼虫的含水量明显高于高龄幼虫。随着温度的提升,各龄幼虫的含水量呈明显下降趋势,在相同的温度下,低龄幼虫的含水量呈现出高于高龄幼虫的态势。当温度为 42℃ 时,1~6 龄幼虫的含水量相对于 28℃ 时分别下降了 14.13%、14.98%、14.23%、14.23%、13.70% 和 16.21%。

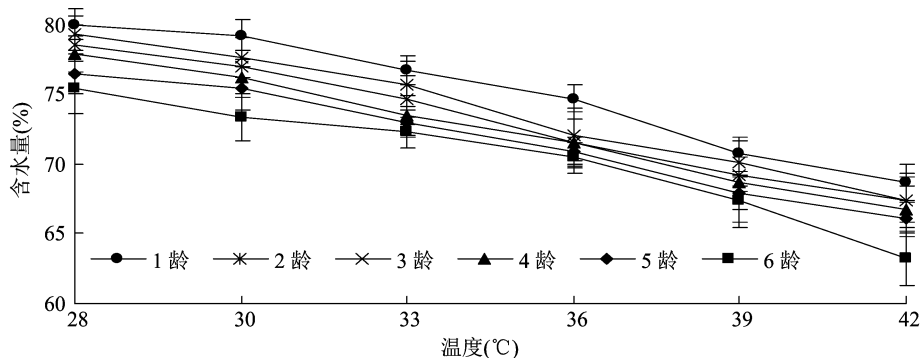


图1 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫含水量的变化

### 2.2 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的脂肪含量

温度升高导致的热应激反应将会影响昆虫体内的脂肪含量<sup>[23]</sup>。由图 2 可知,在适宜二化螟幼虫生长发育的温度(28℃)下,低龄幼虫的脂肪含量明显低于高龄幼虫。随着温度的提升,各龄幼虫的脂

肪含量呈先上升后下降的趋势。当温度≤33℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的脂肪含量呈明显上升趋势;当温度高于 33℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的脂肪含量呈明显下降趋势。温度为 33℃ 时,各龄期幼虫的脂肪含量均达到最高水平,相对

于 28 ℃ 时分别提升了 10.94%、9.34%、7.32%、11.60%、10.50% 和 11.91%；当温度为 42 ℃ 时，各

龄期幼虫的脂肪含量分别下降了 33.75%、33.46%、28.98%、30.51%、25.74% 和 27.06%。

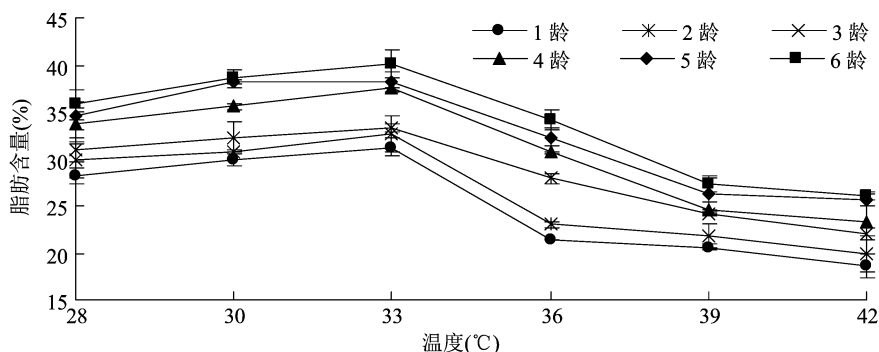


图2 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫脂肪含量的变化

### 2.3 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的总糖含量

糖分能够在恶劣的环境条件下保护昆虫体内的蛋白质分子,维持昆虫的生命过程<sup>[23]</sup>。由图 3 可知,在适宜二化螟幼虫生长发育的温度(28 ℃)下,低龄幼虫的总糖含量明显高于高龄幼虫。随着温度的升高,各龄幼虫的总糖含量呈先上升后下降趋势。当温度 ≤ 36 ℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的总糖含量呈明显上升趋势;当温度 > 36 ℃ 时,

随着温度的上升,各龄期幼虫的总糖含量呈明显下降趋势。温度为 36 ℃ 时,各龄期幼虫的总糖含量均达到最高水平,相对于 28 ℃ 时分别提升了 22.24%、15.05%、25.93%、39.93%、63.62% 和 79.21%；当温度为 42 ℃ 时,各龄期幼虫的总糖含量分别下降了 30.17%、31.49%、27.45%、41.07%、45.51% 和 40.28%。

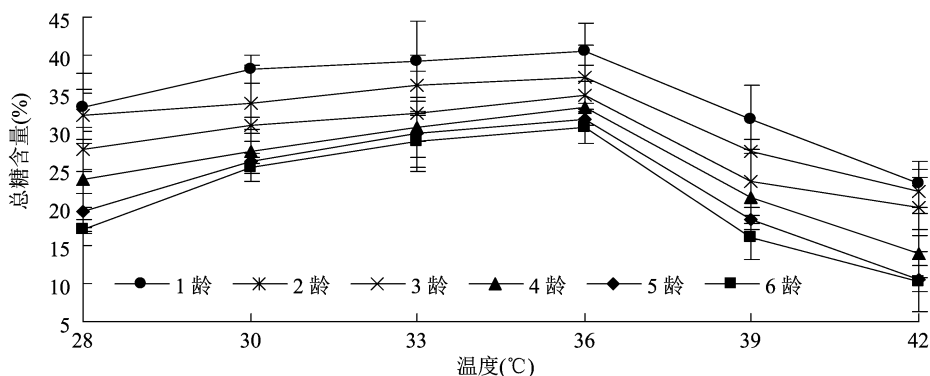


图3 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫总糖含量的变化

### 2.4 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的 SOD 活性

由图 4 可知,在适宜二化螟幼虫生长发育的温度(28 ℃)下,低龄幼虫的 SOD 活性明显低于高龄幼虫。随着温度的提升,各龄幼虫的 SOD 活性呈先上升后下降趋势。当温度 ≤ 36 ℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的 SOD 活性呈明显上升趋势;当温度 > 36 ℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的 SOD 活性呈明显下降趋势。温度为 36 ℃ 时,各龄期幼虫的 SOD 活性均达到最高水平,相对于 28 ℃ 时分别提升了 121.40%、46.97%、61.16%、33.22%、65.49% 和 54.62%；当温度为 42 ℃ 时,各龄期幼虫的 SOD 活性分别下降了 38.01%、15.00%、5.69%、

36.34%、10.26% 和 18.05%。

### 2.5 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的 CAT 活性

由图 5 可知,在适宜二化螟幼虫生长发育的温度(28 ℃)下,低龄幼虫的 CAT 活性明显低于高龄幼虫。随着温度的提升,各龄幼虫的 CAT 活性呈先上升后下降趋势。当温度 ≤ 36 ℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的 CAT 活性呈明显上升趋势;当温度 > 36 ℃ 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的 CAT 活性呈明显下降趋势。温度为 36 ℃ 时,各龄期幼虫的 CAT 活性均达到最高水平,相对于 28 ℃ 时分别提升了 82.09%、84.76%、84.19%、93.29%、79.70% 和 88.39%；当温度为 42 ℃ 时,各龄期幼虫

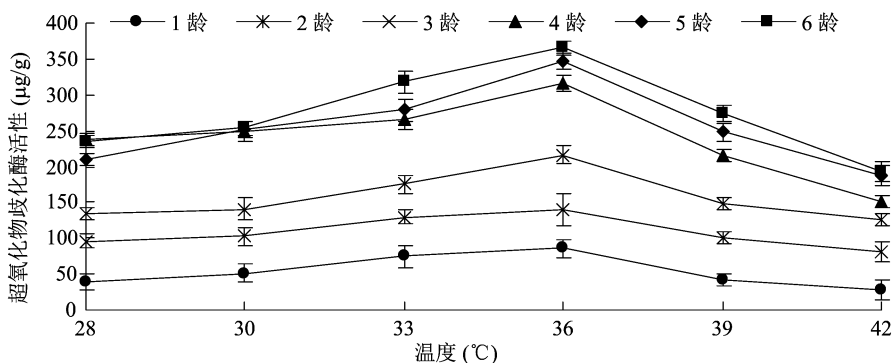


图4 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的 SOD 活性

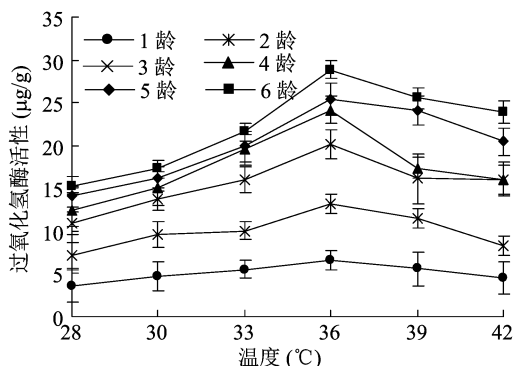


图5 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的 CAT 活性

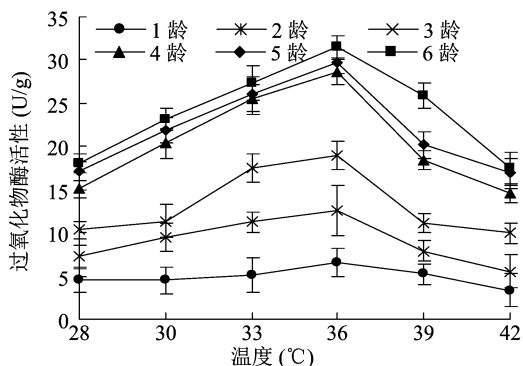


图6 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的 POD 活性

的 CAT 活性相对于 36 °C 时有所下降,但仍高于 28 °C 时的 CAT 活性,分别升高了 23.69%、15.38%、46.07%、28.30%、45.28% 和 55.77%。

## 2.6 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫的 POD 活性

由图 6 可知,在适宜二化螟幼虫生长发育的温度(28 °C)下,低龄幼虫的 POD 活性明显低于高龄幼虫。随着温度的提升,各龄幼虫的 POD 活性呈先上升后下降的趋势。当温度 ≤ 36 °C 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的 POD 活性呈明显上升趋势;当温度 > 36 °C 时,随着温度的上升,各龄期幼虫的 POD 活性呈明显下降趋势。温度为 36 °C 时,各龄期幼虫的 POD 活性均达到最高水平,相对于 28 °C 时分别提升了 45.13%、72.78%、83.53%、89.86%、73.59% 和 74.18%;温度为 42 °C 时,各龄期幼虫的 POD 活性相对于 28 °C 时有所下降,分别降低了 25.44%、24.62%、3.59%、3.18%、1.52% 和 3.70%。

## 3 讨论与结论

二化螟是我国稻作区危害最为严重的农业害虫之一,随着全球气候变暖的日益加剧,二化螟的分布、发生及生长发育等都将发生一系列变化。当前关于温度对二化螟影响的研究大多集中在低温

对其生长的影响,强承魁等的研究表明,在低温胁迫下,二化螟体内的水分、脂肪及总糖含量等生理指标均显现出了明显的变化以应对低温对自身造成的损害<sup>[12]</sup>。关于高温胁迫对昆虫生理的影响,崔娟等证明了筛豆龟蜡成虫通过提升体内抗氧化酶的活性、总抗氧化能力以应对高温环境<sup>[24]</sup>。目前关于二化螟幼虫在高温胁迫环境下的响应机制研究报道尚缺少。本研究发现,在幼虫含水量方面,二化螟幼虫的含水量同样随着温度的上升而下降,且在同等高温环境下,高龄幼虫的含水量普遍高于低龄幼虫,这表明二化螟幼虫会采取降低自身含水量的方式来应对出现的高温环境。本研究同时发现,二化螟幼虫的脂肪和总糖含量在高温环境下均呈现先上升后下降的趋势,这是因为温度变化引发了昆虫体内脂肪与糖分的合成与消耗。与本研究结果有所不同的是,陈红松研究发现,广聚萤叶甲经 40 ~ 44 °C 的持续高温胁迫后,体内脂肪和糖的含量随温度的升高呈先降低后升高趋势<sup>[25]</sup>,这可能是与选择的试验温度有关。

高温胁迫通常会引起昆虫幼虫体内 ROS 过量产生,SOD、CAT 及 POD 在清除幼虫体内过量 ROS 的过程中有着不可或缺的作用。本研究发现,随着温度的上升,二化螟幼虫体内的 3 种抗氧化酶的活

性均呈现先上升后下降的趋势,其中的关键温度为 36 ℃,当温度高于 36 ℃时,3 种抗氧化酶活性均开始呈现下降趋势,这说明二化螟幼虫对高温环境胁迫的耐受性有一定的范围,在一定的范围内,3 种抗氧化酶的活性将提高以清除 ROS 造成的危害,但超过这一范围后,3 种抗氧化酶的活性将受到抑制。李志明等研究发现,椰心叶甲啮小蜂体内 CAT、POD 活性与温度呈现先上升后下降的趋势<sup>[26]</sup>,本研究结果与之一致。SOD、CAT 及 POD 在生物抵抗外界胁迫时通常表现为协同作用,正如本研究的结果表明,同一龄期幼虫处于同一高温胁迫时,SOD 的活性表现为最高,其次为 POD,CAT 的活性最低,说明在抵抗环境高温所造成的氧化胁迫时,3 种抗氧化酶的贡献率为 SOD > POD > CAT。

本研究中,二化螟幼虫通过调节自身含水量、脂肪含量、总糖含量以及 3 种抗氧化酶的活性来应对热胁迫所产生的危害,进而对环境高温产生一定的适应性。从研究结果来看,高温对二化螟低龄幼虫会产生一定的不利影响,但对中高龄幼虫的不利影响有限。

#### 参考文献:

- [1] Zhang W, Chang X Q, Hoffmann A, et al. Impact of hot events at different developmental stages of a moth: the closer to adult stage, the less reproductive output [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 10436.
- [2] Zhang S Z, Fu W Y, Li N, et al. Antioxidant responses of *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) exposed to high temperature stress [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2015, 73: 47–52.
- [3] 尹晓斐,姜艳丽,杨艳兵,等. 冷胁迫对棉苗抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响 [J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 32(6): 502–506.
- [4] 杨艳兵,姜艳丽,尹晓斐,等. NaCl 胁迫对棉花幼苗生理特性的影响 [J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 33(4): 290–294.
- [5] 刘欣宇. 长期连作对花生生长发育影响及不同品种花生对网斑病与褐斑病的抗性研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 37–46.
- [6] Wei D, Jia F X, Tian C B, et al. Comparative proteomic analysis of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in response to thermal stress [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2015, 74: 16–24.
- [7] Fu D M, He H M, Zou C, et al. Life-history responses of the rice stem borer *Chilo suppressalis* to temperature change: breaking the temperature-size rule [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2016, 61: 115–118.
- [8] Jiang W H, Li H D, Cheng X F, et al. Study on host plants for reproduction of *Chilo suppressalis* [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2015, 18(3): 591–595.
- [9] Cui Y D, Du Y Z, Lu M X, et al. Antioxidant responses of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae exposed to thermal stress [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2011, 36(5): 292–297.
- [10] 张美玲,周莉,周广胜. 气候变暖和降水分配变化导致盘锦地区水稻早熟增产 [J]. *中国稻米*, 2021, 27(3): 51–56, 60.
- [11] 袁媛,丁婷,高辉,等. 我国南方盛夏气温主模态特征及其与海温异常的联系 [J]. *大气科学*, 2018, 42(6): 1245–1262.
- [12] 强承魁,杜予州,于玲雅,等. 水稻二化螟越冬幼虫耐寒性物质的动态变化 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 599–605.
- [13] 黄晓勤,蒋宏华. 二化螟滞育及抗寒性的初步研究 [J]. *湖南农业科学*, 2005(5): 49–51.
- [14] 强承魁,杜予州,于玲雅,等. 水稻二化螟耐寒性研究进展 [J]. *植物保护*, 2008, 34(2): 6–10.
- [15] 朱宇,刘洋. 二化螟幼虫热胁迫响应的转录组分析 [J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(5): 849–857.
- [16] 崔亚东,杜予州,陆明星,等. 热胁迫对二化螟幼虫血淋巴细胞内活性氧、HSP90 及细胞凋亡的影响 [J]. *昆虫学报*, 2010, 53(7): 721–726.
- [17] 罗举,张孝羲,翟保平,等. 高温对二化螟实验种群生长、存活和繁殖的影响 [J]. *生态学报*, 2005, 25(4): 931–936.
- [18] 农业部. 水稻二化螟测报调查规范: GB/T 15792—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] 国家质量监督检验检疫总局. 食品接触材料 高分子材料 橄榄油模拟物中总迁移量的试验方法 橄榄油不完全抽提时的改进方法: SN/T 3182—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [20] 温文娟,刘珊,黄远丽. 苯酚硫酸法与蒽酮硫酸法测定香菇多糖含量比较 [J]. *现代食品*, 2020(21): 177–179.
- [21] 刘欣宇,林英,郭永康,等. 花生网斑病菌对白沙 1016 植株活性氧化和防御酶活性的影响 [J]. *陕西理工大学学报(自然科学版)*, 2019, 35(1): 69–73.
- [22] 张威,张守科,滕莹,等. 水分失衡对黄脊竹蝗趋湿行为的影响 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38(10): 3129–3135.
- [23] 程媛,韩岚岚,赵奎军,等. 寄主植物与温度对大豆食心虫滞育期间糖类和脂质含量的影响 [J]. *应用昆虫学报*, 2016, 53(4): 716–722.
- [24] 崔娟,乔方,胡英露,等. 高温胁迫对筛豆龟蜡成虫抗氧化能力的影响 [J]. *环境昆虫学报*, 2021, 43(5): 1244–1249.
- [25] 陈红松. 广聚萤叶甲对异常高温的生殖与生理代谢响应 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 55–67.
- [26] 李志明,陈青,金启安,等. 高温对椰心叶甲啮小蜂保护酶系活性的影响 [J]. *热带作物学报*, 2010, 31(6): 994–998.