草地贪夜蛾在江西省南昌市的越冬与低温驯化

漆学伟[1] 程森弟[2] 洪 霖[1] 万 鹏[1] 谢金招[3] 钟秋瓒[4]
王 甦[5] 门兴元[6] 梁玉勇[1*]

（1. 江西省农业科学院植物保护研究所，南昌 330200；2. 江西生物科技职业学院，南昌 330200；3. 赣州市果业发展中心，江西 赣州 341000；4. 赣州市蔬菜花卉研究所，江西 赣州 341413；5. 北京市农林科学院植物保护研究所，北京 100097；6. 山东省农业科学院植物保护研究所，济南 250100）

摘要：为明确迁飞性害虫草地贪夜蛾*Spodoptera frugiperda*的越冬范围与潜在扩散区，通过调查野外越冬种群及模拟越冬试验分析草地贪夜蛾在江西省南昌市越冬的可能性及其相应的越冬虫态，并通过低温驯化探究草地贪夜蛾对低温的适应性进化能力。结果表明，在江西省南昌市，进入冬季后草地贪夜蛾蛹和3龄幼虫的存活时间较长，可能为草地贪夜蛾的越冬虫态；3龄幼虫可从12月初存活至第2年1月底至2月初，但无法越过完整冬天；前期的低温驯化会显著提高草地贪夜蛾3龄幼虫和6龄幼虫在极端低温（−8 ℃处理2 h）下的存活率，并显著缩短其在经历0 ℃处理12 h后的冷昏迷恢复时间，证明其具有低温驯化能力及扩散至较冷地区越冬的潜力，江西省南昌市及相近等温带可能会成为草地贪夜蛾的冬繁区。

关键词：草地贪夜蛾；冬繁区；越冬；低温驯化；江西省

Overwintering and cold acclimation of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Nanchang, Jiangxi Province

Qi Xuewei[1] Cheng Sendi[2] Hong Lin[1] Wan Peng[1] Xie Jinzhao[3] Zhong Qiuzan[4]
Wang Su[5] Men Xingyuan[6] Liang Yuyong[1*]

（1. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi Province, China; 2. Jiangxi Biotech Vocational College, Nanchang 330200, Jiangxi Province, China; 3. Ganzhou Fruit Industry Development Center, Ganzhou 341000, Jiangxi Province, China; 4. Ganzhou Vegetable and Flower Research Institute, Ganzhou 341413, Jiangxi Province, China; 5. Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 6. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China）

Abstract: To identify the overwintering and potential spreading area of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the overwintering population surveys and simulated overwintering experiments were conducted, which aimed to determine whether *S. frugiperda* could overwinter in Nanchang City, Jiangxi Province, and its corresponding life stages. In addition, a cold acclimation experiment was designed to predict the adaptive evolution ability of *S. frugiperda*. The results showed that pupae and 3rd-instar larvae of *S. frugiperda* survived longer in Nanchang, suggesting these as potential overwintering stages. Specifically, the 3rd-instar larvae survived from early December to late January or early February but couldn't pass the entire winter. Survival rates of *S. frugiperda* larvae treated by −8 ℃ for 2 h signifi-

基金项目：江西省重点研发计划（20212BBF63043），江西现代农业科研协同创新专项（JXXTCX2021003），江西省农业科学院基础研究与人才培养专项（JXSNKYJCRC202338）

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：lyuyiong@163.com

收稿日期：2023-09-07

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cantly improved, and the recovery time after chill coma (induced by 0 ℃ for 12 h) significantly shortened with cold acclimation, demonstrating the cold acclimation ability of *S. frugiperda* and its potential to spread to colder areas for overwintering. Therefore, caution is required to prevent Nanchang and its isotemperate zones from becoming winter breeding areas for *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; winter breeding area; overwintering; cold acclimation; Jiangxi Province

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 是起源于美洲热带和亚热带的一种重大杂食性害虫(Harrison et al.,2019),现已扩散到非洲、亚洲的大多数国家,给入侵地造成了巨大的经济损失(Goergen et al.,2019;Li et al.,2020)。自2019年1月草地贪夜蛾在我国被监测到以来,现已入侵至27个省(自治区、直辖市)(姜玉英等,2019;Wu et al.,2019),并可在中国南方和东南亚国家部分地区越冬及周年繁殖,成为来年进一步迁飞扩散的虫源,其越冬区域与越冬能力决定了迁飞的起始数量和范围(卢辉等,2020),因此明确其越冬范围与潜在扩散区对草地贪夜蛾的综合防控具有重要意义。

温度是制约昆虫个体发育与活动的重要环境因子,进而影响种群的分布与扩散(罗丽林等,2022)。因此,昆虫越冬区域取决于地区的环境温度以及其自身的耐寒能力(冯宇倩等,2014)。在寒冷的冬天,许多昆虫以滞育形式越冬(Hagen,1962;Denlinger,1991;赵灿等,2023)。草地贪夜蛾虽然没有滞育特性,但依旧能在零度以下的低温条件下存活(张同强等,2021),其可能通过类似于滞育的生理调节行为来提高冬季生存能力(Sgrò et al.,2016)。昼夜交替、季节转换和栖息地改变伴随的温度降低也会引起昆虫适应性反应,进而提高昆虫在低温环境下的存活率和适合度,这种低温条件下的耐寒可塑反应称为低温驯化(Teets & Denlinger,2013)。然而,草地贪夜蛾能否进行低温驯化提高耐寒和越冬能力以进一步扩大其越冬范围有待深入研究。

姜玉英等(2019)推测草地贪夜蛾可在江西省南部(宜春市以南)越冬,但未得到证实。本研究拟对草地贪夜蛾在江西省南昌市的越冬可能性进行评估,对其低温驯化能力进行分析,以期为江西省草地贪夜蛾的预测预报以及长效治理措施制订提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:2020年6月在江西省南昌市南昌县银三角管委会涂家村玉米田(115°56′ E、28°33′ N)采集草地贪夜蛾幼虫,带回室内经分子生物学手段鉴定验证。采集到的幼虫使用人工饲料(主要成分为小麦胚芽、玉米、麸皮、豆粕和酵母粉)进行室内饲养,成虫用10%蜂蜜水补充水分和营养,饲养条件为温度(27±1) ℃、相对湿度(65±5)%、光周期16 L∶8 D,取初孵幼虫、3龄幼虫、6龄幼虫和蛹供试。

供试植物:室外大田与室内种植的玉米品种均为赣科甜8号,由江西省农业科学院作物研究所提供。室内玉米在温度(27±1) ℃、相对湿度(65±5)%、光周期16 L∶8 D的植物培养室中培养至小喇叭口期供试。

人工饲料和仪器:制备人工饲料所需成分均购自当地市场。Nikon D7200相机,日本尼康公司;RDN-300人工气候箱,宁波扬辉仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 草地贪夜蛾越冬数量与虫态调查

于2022年12月8日开始在涂家村约2 000 m^2玉米田调查草地贪夜蛾越冬情况,此时玉米处于成熟期,在整块玉米田中采用Z字型取样法随机选取6个点,每个点选择20株玉米进行调查,统计植株上和地表的草地贪夜蛾数量并记录其虫态,每14 d调查1次,直至除蛹以外未发现其他虫态活虫时停止调查,将蛹移入室内置于(27±1) ℃下,15 d后统计羽化数量。试验期间江西省南昌市南昌县的温度数据来源于网站2345天气王(https://tianqi.2345.com/wea_history/71105.htm)。温度记录开始时间为越冬调查开始时间2022年12月8日,结束时间为模拟越冬试验中幼虫全部死亡的时间2023年2月9日,该时间段内日最高气温为21 ℃,日最低气温为−3 ℃,平均日最高气温为10.31 ℃,平均日最低气温为3.59 ℃,整个试验期间平均温度为6.95 ℃。

1.2.2 草地贪夜蛾越冬存活率测定

于2022年12月8日开始对草地贪夜蛾进行模拟越冬试验,分别挑选草地贪夜蛾室内种群的3龄幼虫、6龄幼虫和蛹放置于直径为9 cm的培养皿中,每个培养皿5头,另在培养皿中放入3片长度为6 cm

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

左右的小喇叭口期玉米叶段，每个虫龄重复6次。为避免6龄幼虫互食，整个操作过程在接近室外温度（15 ℃）条件下进行。按Z字型取样法在玉米田中挑选6个点，在每个点的土壤表层放3个培养皿，分别装有3龄、6龄幼虫和蛹，3个皿呈一字型布局，每个皿之间间隔3 cm，并用玉米植株残渣覆盖。每7 d调查统计1次幼虫存活数量，同时每7 d在培养皿中更换新鲜的玉米叶片，直至所有幼虫全部死亡，此时取回蛹放置于室温条件下，15 d后统计羽化数量，并计算各虫态的越冬存活率。同时，在涂家村选择距离上述模拟越冬试验地块约200 m的玉米田采集草地贪夜蛾3龄、6龄幼虫和蛹，并将其作为野外种群按上述步骤处理并统计越冬存活率。

1.2.3　草地贪夜蛾低温驯化与耐寒能力测定

将草地贪夜蛾室内种群初孵幼虫置于低温（17±1）℃、相对湿度（65±5）%、光周期12 L∶12 D的人工气候箱中分别饲养至3龄和6龄时进行低温存活率与冷昏迷恢复时间的测定，并以在正常温度（27±1）℃、相对湿度（65±5）%、光周期16 L∶8 D的人工气候箱中饲养的相应龄期草地贪夜蛾幼虫为对照。使用相机拍摄低温驯化和对照6龄幼虫的照片。

将10头草地贪夜蛾3龄或6龄幼虫放置于12孔塑料板中，中间2孔不放置幼虫，然后转移至−8 ℃冰箱中处理2 h（Sinclair et al.，2015），前期预试验结果表明3龄幼虫于−8 ℃处理2 h的存活率接近20%，此条件有利于测定低温驯化对草地贪夜蛾耐寒能力的提升效果。将低温处理后的幼虫移出并置于温度为（27±1）℃的人工气候箱中饲养24 h，统计存活幼虫数量，以不能正常活动判定为死亡，并计算低温存活率。每个处理重复4次。

将24头草地贪夜蛾3龄或6龄幼虫放置于12孔塑料板中，套上保鲜袋，放入0 ℃冰水混合物中处理12 h，取出后在27 ℃下进行恢复，统计冷处理后幼虫恢复正常并开始正常爬行所需要的时间，即为冷昏迷恢复时间。由于部分幼虫无法恢复爬行或恢复时间相对较长，所以取恢复最快的前16头进行数据统计，即每头幼虫为1个重复，每个处理16次重复。

1.3　数据分析

使用SPSS 22.0软件对试验数据进行统计分析，使用Levene’tests对数据进行同质性检验。低温驯化与对照草地贪夜蛾幼虫的存活率与冷昏迷恢复时间采用独立样本*t*检验法进行差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　草地贪夜蛾越冬种群数量及越冬虫态

2022年12月8日平均每20株玉米有3.5头草地贪夜蛾，随着越冬时间增加，草地贪夜蛾存活数量逐渐减少（图1-A）。调查开始时（12月8日）3龄、4龄、5龄、6龄幼虫和蛹的占比分别为14.29%、19.05%、19.05%、42.86% 和4.76%。从2022年12月8日到2023年1月5日，高龄幼虫（4龄、5龄、6龄）的数量逐渐减少，3龄幼虫和蛹的占比增加，而在2023年2月2日未发现存活幼虫，蛹占比为100.00%（图1-B）。将蛹带回室内置于常温条件下仍无法羽化，表明草地贪夜蛾幼虫和蛹在江西省南昌市均无法越过完整冬天。

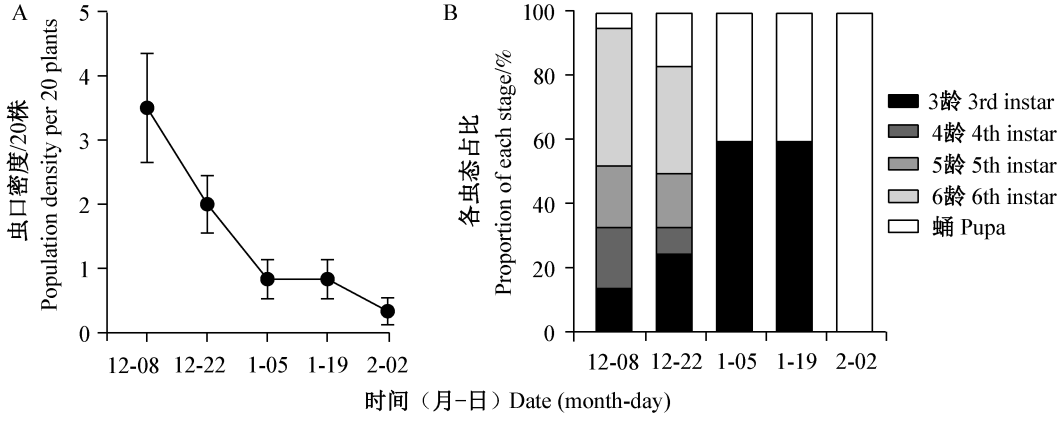

图1　不同时期草地贪夜蛾的越冬数量（A）和各虫态占比（B）

Fig. 1　Overwintering quantity (A) and stage proportion (B) of *Spodoptera frugiperda* across different periods

图中数据为平均数±标准误。Data in the figure are mean±SE.

2.2　草地贪夜蛾模拟越冬存活率

将草地贪夜蛾室内种群放于野外越冬，少量3龄幼虫可存活至第2年1月底，而6龄幼虫则在当年12月底全部死亡（图2-A）；野外种群的越冬存活

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

率与室内种群相似，3龄幼虫可存活至第2年2月初，而6龄幼虫则在当年12月底全部死亡（图2-B）。无论是室内种群还是野外种群，放置于地表的蛹在2月9日移入室内15 d后均无羽化行为，且颜色发黑，判定为死亡。

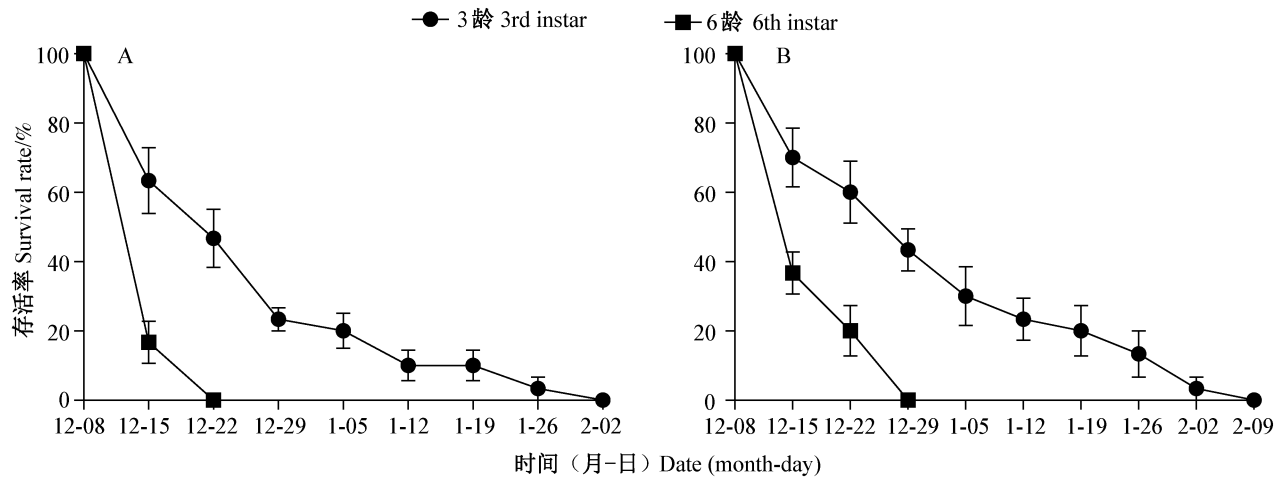

图2 草地贪夜蛾室内种群（A）和野外种群（B）幼虫的越冬存活率

Fig. 2 Overwintering survival rate of *Spodoptera frugiperda* laboratory population (A) and wild population (B)

图中数据为平均数±标准误。Data in the figure are mean±SE.

2.3 草地贪夜蛾低温驯化潜力

相较于对照（27 ℃），低温驯化的草地贪夜蛾3龄幼虫在−8 ℃处理2 h的存活率由25.00%显著提高到47.50%（*df*=6，*F*=1.818，*P*=0.013；图3-A），同时经历0 ℃处理12 h后的冷昏迷恢复时间也极显著缩短（*df*=30，*F*=1.057，*P*<0.001；图3-B），说明低温驯化可显著提高草地贪夜蛾3龄幼虫的耐寒能力。

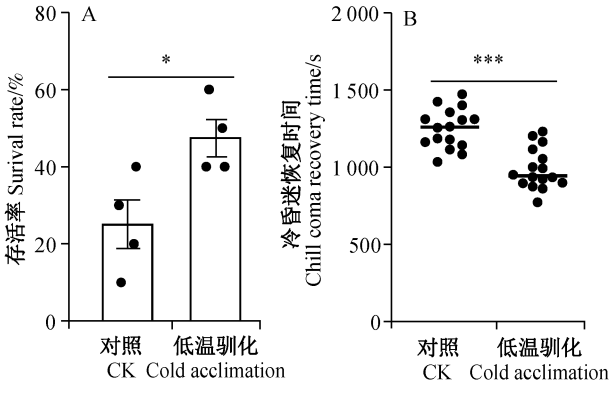

图3 草地贪夜蛾3龄幼虫低温驯化后的存活率（A）和冷昏迷恢复时间（B）

Fig. 3 Survival rate (A) and cold coma recovery time (B) of cold-acclimated 3rd-instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

黑色圆点所示为每个重复数据值。图中数据为平均数±标准误。*和***分别表示对照与处理之间经独立样本*t*检验法检验差异显著（*P*<0.05和*P*<0.001）。The black dot is shown for value of each replication. Data in the figure are mean±SE. * or *** indicates significant difference between the control and treatment groups by independent sample *t* test (*P*<0.05 or *P*<0.001).

对照条件（27 ℃）下饲养的草地贪夜蛾6龄幼虫体色底色为黄褐色，而低温驯化后幼虫的体色则变为黑褐色（图4-A）。相较于对照，低温驯化的6龄幼虫在−8 ℃处理2 h的存活率由7.50%极显著提高到47.50%（*df*=6，*F*=1.000，*P*=0.001；图4-B），同时经历0 ℃处理12 h后的冷昏迷恢复时间也极显著缩短（*df*=30，*F*=1.176，*P*<0.001；图4-C），说明低温驯化可显著提高草地贪夜蛾6龄幼虫的耐寒能力。

3 讨论

草地贪夜蛾为重大迁飞性害虫，掌握其越冬区域范围是做好该害虫监控与治理的基础（姜玉英等，2021）。本研究通过调查江西省南昌市草地贪夜蛾的种群动态，发现蛹和3龄幼虫在冬季的存活时间相对较长，可能为草地贪夜蛾的越冬虫态；结合模拟越冬试验，明确了3龄幼虫可从12月初存活至第2年1月底至2月初，但无法越过完整冬天；前期的低温驯化（17 ℃条件下饲养）会显著提高草地贪夜蛾在极端低温条件（−8 ℃处理2 h）下的存活率，并显著缩短其在经历0 ℃处理12 h后的冷昏迷恢复时间，证明其具有低温驯化潜能。

昆虫种类不同，其越冬虫态也不同（冯宇倩等，2014）。本研究调查发现江西省南昌市的草地贪夜蛾在12月和1月主要以3龄及以上龄期幼虫和蛹的形式存在，然而1月19日之后只调查发现了3龄幼虫和蛹，未见高龄幼虫，模拟越冬试验也表明草地贪

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

夜蛾3龄幼虫能在冬季存活超过40 d，但6龄幼虫只能存活20 d左右。推测草地贪夜蛾越冬虫态可能是3龄幼虫或者蛹，但依旧无法越过完整冬天，这与姜玉英等（2021）调查发现2月下旬在江西省可找到草地贪夜蛾4~6龄幼虫和蛹的结论存在差异，可能是不同年份的冬季温度有差异，当冬季温度相对较高时，3龄幼虫能在1月的低温中存活，2月下旬温度上升时发育为4~6龄幼虫。草地贪夜蛾在冬季可取食小麦及甘蔗等作物，且取食不同寄主也会对其耐寒性产生不同影响（张悦等，2020），然而本研究只调查了玉米田，存在一定的局限性，下一步可进行多地点和多寄主的调查。

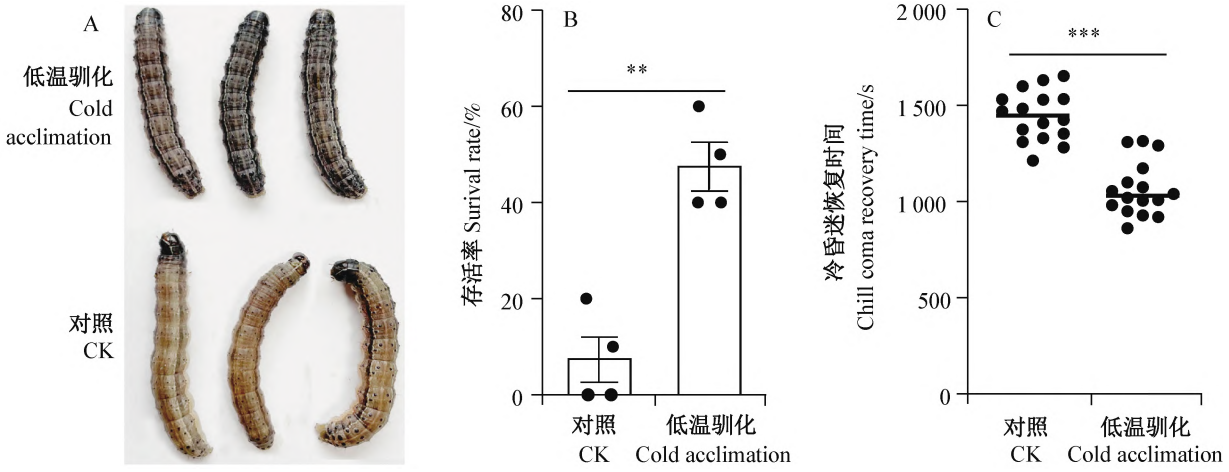

图4　草地贪夜蛾6龄幼虫低温驯化的体色变化（A）、存活率（B）和冷昏迷恢复时间（C）

Fig. 4　Body color (A), survival rate (B) and cold coma recovery time (C) of cold-acclimated 6th-instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

黑色圆点所示为每个重复数据值。图中数据为平均数±标准误。**和***分别表示对照与处理之间经独立样本*t*检验法检验差异显著（$P<0.01$和$P<0.001$）。The black dot is shown for value of each replication. Data in the figure are mean±SE. ** or *** indicates significant difference between the control and treatment groups by independent sample *t* test ($P<0.01$ or $P<0.001$).

昆虫经历4亿年的进化，对气候条件具有很强的适应性（Denlinger & Lee，2010）。谢殿杰等（2020）研究结果表明，在一定温度范围内，低温饲养可降低草地贪夜蛾的过冷却点和体液冰点，提高其耐寒能力。然而大多数情况下江西省的气温达不到草地贪夜蛾的过冷却点，因此本研究选择了更适宜于冷敏感型昆虫的耐寒能力测定方式，即通过测定低温存活率和冷昏迷恢复时间对其耐寒能力进行评估（Koštál et al.，2004；Overgaard et al.，2005）。本研究结果显示，低温驯化显著提高了草地贪夜蛾3龄和6龄幼虫的低温存活率并显著缩短了冷昏迷恢复时间，这与Enriquez et al.（2018）研究发现低温驯化增加了斑翅果蝇*Drosophila suzukii*在−5 ℃下的存活率的结论类似。这说明经历季节或者昼夜低温驯化的草地贪夜蛾在遭遇极端寒流时的存活率会提高，遭遇之后能更快恢复活动能力，在低于适宜温度时也能拥有更强的取食能力。该适应性改变现象已在多种昆虫中被观察到（Sørensen et al.，2013），因此草地贪夜蛾具有逐渐适应低温并扩散至更寒冷地区的能力，需要做好江西省南昌市及相近等温带成为草地贪夜蛾冬繁区的准备。

参 考 文 献（References）

Denlinger DL. 1991. Relationship between cold hardiness and diapause.//Lee RE Jr., Denlinger DL. Insects at low temperature. Boston: Springer US, pp. 174−198

Denlinger DL, Lee RE. 2010. Low temperature biology of insects. Cambridge: Cambridge University Press

Enriquez T, Renault D, Charrier M, Colinet H. 2018. Cold acclimation favors metabolic stability in *Drosophila suzukii*. Frontiers in Physiology, 9: 1506

Feng YQ, Wang JL, Zong SX. 2014. Review of insects overwintering stages and cold-resistance strategies. Chinese Agricultural Science Bulletin, 30(9): 22−25 (in Chinese) [冯宇倩, 王锦林, 宗世祥. 2014. 昆虫越冬虫态及耐寒策略概述. 中国农学通报, 30(9): 22−25]

Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. PLoS ONE, 11(10): e0165632

Hagen KS. 1962. Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. Annual Review of Entomology, 7: 289−326

Harrison RD, Thierfelder C, Baudron F, Chinwada P, Midega C, Schaff-

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ner U, van den Berg J. 2019. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. Journal of Environmental Management, 243: 318−330

Jiang YY, Liu J, Wu QL, Cirenzhuoga, Zeng J. 2021. Investigation on winter breeding and overwintering areas of *Spodoptera frugiperda* in China. Plant Protection, 47(1): 212−217 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 吴秋琳, 次仁卓嘎, 曾娟. 2021. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查. 植物保护, 47(1): 212−217]

Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K. 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. Plant Protection, 45(6): 10−19 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤. 2019. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. 植物保护, 45(6): 10−19]

Koštál V, Vambera J, Bastl J. 2004. On the nature of pre-freeze mortality in insects: water balance, ion homeostasis and energy charge in the adults of *Pyrrhocoris apterus*. Journal of Experimental Biology, 207(Pt9): 1509−1521

Li XJ, Wu MF, Ma J, Gao BY, Wu QL, Chen AD, Liu J, Jiang YY, Zhai BP, Early R, et al. 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. Pest Management Science, 76(2): 454−463

Lu H, Tang JH, Lü BQ, He X, Chen Q, Su H. 2020. Investigation on the occurrence of *Spodoptera frugiperda* in the north of Vietnam. Plant Protection, 46(2): 222−225 (in Chinese) [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 何杏, 陈琪, 苏豪. 2020. 越南北部草地贪夜蛾发生情况调查. 植物保护, 46(2): 222−225]

Luo LL, Yang GM, Long LY, Wang XH, Huang ZX, Yi TC, Luo XD, Liu M. 2022. Effects of temperature on the development and reproduction of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. Journal of Plant Protection, 49(2): 644−653 (in Chinese) [罗丽林, 杨广明, 龙立炎, 王兴红, 黄振兴, 乙天慈, 罗雪丹, 刘曼. 2022. 温度对大蜡螟生长发育和繁殖的影响. 植物保护学报, 49(2): 644−653]

Overgaard J, Sørensen JG, Petersen SO, Loeschcke V, Holmstrup M. 2005. Changes in membrane lipid composition following rapid cold hardening in *Drosophila melanogaster*. Journal of Insect Physiology, 51(11): 1173−1182

Sgrò CM, Terblanche JS, Hoffmann AA. 2016. What can plasticity contribute to insect responses to climate change? Annual Review of Entomology, 61: 433−451

Sinclair BJ, Coello Alvarado LE, Ferguson LV. 2015. An invitation to measure insect cold tolerance: methods, approaches, and workflow. Journal of Thermal Biology, 53: 180−197

Sørensen CH, Toft S, Kristensen TN. 2013. Cold-acclimation increases the predatory efficiency of the aphidophagous coccinellid *Adalia bipunctata*. Biological Control, 65(1): 87−94

Teets NM, Denlinger DL. 2013. Physiological mechanisms of seasonal and rapid cold-hardening in insects. Physiological Entomology, 38(2): 105−116

Wu QL, He LM, Shen XJ, Jiang YY, Liu J, Hu G, Wu KM. 2019. Estimation of the potential infestation area of newly-invaded fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in the Yangtze River valley of China. Insects, 10(9): 298

Xie DJ, Zhang L, Cheng YX, Jiang XF. 2020. Effects of different feeding temperature on the supercooling points and freezing points of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 46 (2): 62−71 (in Chinese) [谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 江幸福. 2020. 不同饲养温度对草地贪夜蛾过冷却点和体液冰点的影响. 植物保护, 46(2): 62−71]

Zhang TQ, Zhang L, Cheng YX, Jiang XF. 2021. Study on the cold resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 47(1): 176−181 (in Chinese) [张同强, 张蕾, 程云霞, 江幸福. 2021. 草地贪夜蛾耐低温能力研究. 植物保护, 47(1): 176−181]

Zhang Y, Deng XY, Zhang XY, Jiang CX, Huang C, Chen HN, Li Q, Feng CH, Ma L. 2020. Supercooling and freezing points of *Spodoptera frugiperda* feeding on different foods. Plant Protection, 46(2): 72−77 (in Chinese) [张悦, 邓晓悦, 张雪艳, 蒋春先, 黄川, 陈昊楠, 李庆, 封传红, 马利. 2020. 取食不同食物的草地贪夜蛾的过冷却点和结冰点. 植物保护, 46(2): 72−77]

Zhao C, Xia Y, Zhang BX, Li DS. 2023. Diapause termination of parasitoid wasp *Anastatus japonicus* Ashmead and its overwintering in the field in Guangzhou. Journal of Plant Protection, 50(5): 1130−1136 (in Chinese) [赵灿, 夏玥, 张宝鑫, 李敦松. 2023. 日本平腹小蜂滞育解除条件及其在广州市田间的越冬情况. 植物保护学报, 50(5): 1130−1136]

(责任编辑:李美娟)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net