福建省草地贪夜蛾种群的耐寒性与越冬能力研究*

邱良妙[1**] 刘其全[1] 田新湖[4] 陈益生[4] 黄晓燕[2] 林仁魁[5]
杨秀娟[1] 刘必炮[1] 王竹红[6] 何玉仙[1***] 占志雄[1, 3***]

（1. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 福州 350013；
2. 福建省植保植检总站, 福州 350003；3. 福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350018；4. 福建省大田县植保植检站, 大田 366100；5. 福建省仙游县植保植检站, 仙游 351200；6. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002）

摘 要 **【目的】** 明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的耐寒性与越冬能力，进而分析其在福建省的越冬区和周年发生区。**【方法】** 应用校正死亡率分析草地贪夜蛾在低温下的存活能力，利用机率值分析法计算草地贪夜蛾的 LT_{50}、LT_{90} 和 LT_{99} 并评价其耐寒性；采用模拟越冬、田间挖蛹、成虫性诱及受害率调查观测法，结合气象资料分析草地贪夜蛾的越冬能力和周年发生区。**【结果】** 低温对草地贪夜蛾具有明显的致死作用，在 0、4 和 8 ℃下，试虫的死亡率随着温度的降低和处理时间的延长而上升，其致死时间（LT_{50}、LT_{90} 和 LT_{99}）随之缩短。不同发育阶段的草地贪夜蛾在不同低温下的存活能力具有很大的差异。该虫的耐寒性以卵为最弱，蛹最强；1-3 龄幼虫的耐寒性大于 4-6 龄的；雌成虫比雄成虫的耐寒性强。草地贪夜蛾卵在福州闽侯和晋安 1-3 月期间不能存活；在福州闽侯、三明大田和南平建瓯无冬玉米种植区的草地贪夜蛾越冬蛹中，一部分能在越冬过程中陆续羽化，但冬季羽化的成虫由于低温或缺乏适宜寄主植物不能繁殖，另一部分则逐渐死亡；而在福州晋安，有 2.08%的蛹能存活越过 3 月 15 日从而完成越冬。在莆田仙游和漳州长泰 2 个冬玉米种植区，草地贪夜蛾低龄幼虫、蛹和成虫均可在全年最冷月的 1、2 月份发生。**【结论】** 在草地贪夜蛾各虫态中，卵的耐寒性最弱，蛹的最强，在无冬玉米种植区，蛹是最有可能的越冬虫态。1-3 月期间的环境温度决定草地贪夜蛾的越冬能力和周年发生区分布。在 1-3 月期间日均温≤12.6 ℃的地区，蛹不能完成整个越冬过程，其在≥14.2 ℃的地区可以完成越冬。草地贪夜蛾在 1-3 月期间日均温≥15.0 ℃的冬玉米种植区可以周年发生为害，低龄幼虫、蛹和成虫可能是其在冬玉米种植区的越冬虫态。

关键词 草地贪夜蛾；种群；耐寒性；越冬；周年发生；冬玉米

Cold hardiness and overwintering ability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* populations in Fujian province

QIU Liang-Miao[1**] LIU Qi-Quan[1] TIAN Xin-Hu[4] CHEN Yi-Sheng[4]
HUANG Xiao-Yan[2] LIN Ren-Kui[5] YANG Xiu-Juan[1] LIU Bi-Pao[1]
WANG Zhu-Hong[6] HE Yu-Xian[1***] ZHAN Zhi-Xiong[1, 3***]

(1. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou 350013, China; 2. Fujian Plant Protection and Quarantine Station, Fuzhou 350003, China; 3. Institute of Rice, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350018, China; 4. Datian County Plant Protection and Plant Quarantine Station, Datian 366100, China; 5. Xianyou County Plant Protection and Plant Quarantine Station, Xianyou 351200, China; 6. College of Plant Protection, Fujian Agricultrue and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2017YFD0100100，2018YFD0200706）；福建省属公益类科研院所基本科研专项项目（2020R1024007）；福建省农业科学院引导性科技创新项目（YDXM2019002）；福建省科技厅引导性项目（2020N0026）
**第一作者 First author，E-mail：bjndqlm@163.com
***共同通讯作者 Corresponding author，E-mail：295742868@qq.com；zzx64@sohu.com
收稿日期 Received：2020-07-27；接受日期 Accepted：2020-09-29

Abstract **[Objectives]** To clarify the cold hardiness and overwintering ability of *Spodoptera frugiperda* and thereby predict its overwintering and year-round ranges in Fujian. **[Methods]** The ability of *S. frugiperda* to survive low temperatures was analyzed using corrected mortality data and the species' cold hardiness evaluated using LT_{50}, LT_{90} and LT_{99} values calculated by probability value analysis. Overwintering ability and regions of year-round occurrence were analyzed based on simulated overwintering with meteorological data, data on the number of pupae in soil, sex attractant trap capture results and the crop damage rate in fields. **[Results]** Low temperature had significant lethal effects on various life stages of *S. frugiperda*. At temperatures of 0, 4 and 8 ℃, mortality increased with decreasing temperature and exposure time. The duration of survival to the LT_{50}, LT_{90} and LT_{99} treatments also decreased, regardless of the developmental stage. The ability of *S. frugiperda* to survive low temperatures varied greatly with temperature and developmental stage. Eggs and pupae had the lowest, and highest, cold hardiness, respectively. Among larval instars, the 1st to 3rd instars had greater cold hardiness than the 4th to 6th, and adult females had greater cold hardiness than adult males. Eggs should not survive between January and March in Minhou and Jin'an (Fuzhou). With respect to the winter viability of pupae in "no winter" maize regions, some pupae should successfully overwinter while others die gradually in Minhou (Fuzhou), Datian (Sanming) and Jian'ou (Nanping). However, adults that emerge in winter shouldn't be able to reproduce due to the low temperature and absence of prefered host plants. Only 2.08% of pupae survived beyond March 15th and completed overwintering in Jin'an (Fuzhou). Young larvae, pupae and adults occur in maize fields in January and February, the coldest months of the year, in Xianyou (Putian) and Changtai (Zhangzhou), the two winter maize planting regions in Fujian province. **[Conclusion]** Among the developmental stages of *S. frugiperda*, eggs and pupae have the lowest, and highest, cold hardiness, respectively. The pupa is therefore the most likely stage to overwinter in "no winter" maize regions. The regions where *S. frugiperda* is likely to overwinter and occur year-round are determined by the ambient temperature between January and March. Pupae can't complete the entire overwintering process in regions where the average daily temperature is ≤12.6 ℃ between January and March, but can do so in regions where the average daily temperature is ≥14.2 ℃. *S. frugiperda* can damage maize crops year round in winter maize planting regions where the average daily temperature is ≥15.0 ℃ between January and March, and can overwinter as young larvae, pupae and adults in these regions.

Key words *Spodoptera frugiperda*; population; cold hardiness; overwintering; year-round occurrence; winter maize

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 又名秋粘虫，是一种繁殖力强、适应性广、食性杂的重大迁飞性害虫（Todd and Poole，1980；Johnson，1987；Westbrook *et al.*，2016；江幸福等，2019）。2016 年草地贪夜蛾侵入非洲后造成了重大经济损失（Goergen *et al.*，2016；Toepfer *et al.*，2019），2018 年侵入亚洲并迅速完成定殖、扩散蔓延、暴发为害（Early *et al.*，2018；Ma *et al.*，2019）。草地贪夜蛾于 2019 年 1 月首次侵入中国云南省普洱市江城县，随后迅速东扩北进，在全国蔓延为害（郭井菲等，2019；吴秋琳等，2019）。草地贪夜蛾在中国的适生区很广（秦誉嘉等，2019；Wu *et al.*，2019），2019 年全国共有 26 个省（自治区、直辖市）发生草地贪夜蛾（姜玉英等，2019），对中国粮食生产安全构成了长期性威胁（吴孔明，2020）。

草地贪夜蛾已在中国南方及周边国家的热带和亚热带地区完成定殖，并形成了迁飞扩散虫源地（卢辉等，2020），境内外迁飞虫源地的种群数量直接影响草地贪夜蛾的北迁时间、数量及其对其它作物为害的风险（姜玉英等，2019）。因此，控制中国南方周年发生区的繁衍种群和国外迁入种群是全国草地贪夜蛾防控工作的关键着力点，要通过春季成虫迁飞的源头管控，最大限度地减少其向长江流域及以北地区的迁飞数量（吴孔明，2020），中国农业农村部针对草地贪夜蛾侵入为害，提出了以虫源地种群控制为关键措施的分区治理对策（杨普云等，2019）。摸清我国草地贪夜蛾的越冬区域已成为当务之急，也是进行趋势预测和综合治理的基础（姜玉英等，2019）。

草地贪夜蛾无滞育现象（Sparks，1979），温度是影响其发育历期、存活率、繁殖力及种群分布的重要环境因素（Hogg *et al.*，1982；Foster

and Cherry，1987；何莉梅等，2019；鲁智慧等，2019；张红梅等，2020），其冬季分布决定于环境温度的高低（姜玉英等，2019）。在我国，有关草地贪夜蛾能否越冬、越冬场所、越冬虫态和越冬界限等的研究鲜有报道（谢明惠等，2020）。国内一些学者从过冷却点和结冰点角度分析了我国草地贪夜蛾的抗寒性（张智等，2019；张悦等，2020），为研究我国草地贪夜蛾的越冬区划分和潜在分布提供了重要参考。然而，昆虫的抗寒性强弱最终还是取决于低温条件下的存活率（景晓红和康乐，2004）。目前，有关低温条件对草地贪夜蛾存活率的影响在国内尚缺乏研究。

福建省是草地贪夜蛾周年繁殖区和越冬区（姜玉英等，2019；杨普云等，2019；吴孔明，2020），地处东南沿海，纬度介于 23°30′36″-28°22′12″N 之间，横跨中亚热带和南亚热带，地形特征以丘陵山地为主，环境气候尤其是温度的区域差异和垂直变化十分明显，冬玉米种植情况也复杂多样。目前，草地贪夜蛾在福建地区的越冬能力和冬季发生情况尚不明晰。本文研究草地贪夜蛾在低温下的存活能力、田间越冬能力，并对其在冬玉米上的发生与为害进行了田间调查观测，分析该虫的耐寒性、越冬能力及越冬区和周年发生区，旨在为我国草地贪夜蛾的虫源地治理及其预测预报和综合防控提供参考。

1　材料与方法

1.1　供试虫源与饲养方法

草地贪夜蛾虫源为 2019 年 9 月采自福建省闽侯县大湖乡新塘村（26°20′54″N，119°05′42″E）玉米上的高龄幼虫，用新鲜幼嫩玉米叶在人工气候室内饲养 1 代，建立实验种群。新鲜玉米叶采自室外自然光照下笼罩培育的玉米苗，玉米品种为泰鲜甜 1 号，与虫源采集地种植的玉米品种一致。收集 F_2 代的试虫样品测定其在低温下存活能力；收集 F_3 代的卵、蛹，进行模拟越冬试验。人工气候室环境条件为：温度（25±1）℃，相对湿度 70%±5%，光周期 16L∶8D。

1.2　草地贪夜蛾的低温存活能力测定试验

用 MIR-154 三洋恒温培养箱（温度波动范围±1 ℃，相对湿度 70%±5%、光照周期 16 L∶8 D）分别设置 0、4 和 8 ℃ 3 种低温条件。收集草地贪夜蛾 24 h 内产的卵块、1-6 龄的各个龄期幼虫，分别置于预先装有新鲜玉米叶的 6 孔（孔径 3.5 cm，深度 1.7 cm）培养板内，每孔 1 个卵块或 1 头幼虫，6 个卵块为一组，15 头幼虫为一组；收集 3 日龄蛹埋入预先装有无菌土的透明圆形塑料杯（底径 2.5 cm，口径 3 cm，深度 3 cm）内，杯盖用 0#昆虫针均匀扎 3 个透气孔，每杯 1 个蛹，15 个蛹为一组；收集 1 日龄的雌、雄成虫各分别置于玻璃试管（内径 2.5 cm，长度 9 cm）内，每个试管 1 头成虫，以 10%的蜂蜜水饲喂，用脱脂棉花球塞住试管口，8 头成虫（雌或雄）为一组，每 3 d 更换一次蜂蜜水。不同发育阶段的试虫样品均各分别编号分组。

将收集的试虫样品置于设定的 3 种低温环境，经不同时间处理后分批次取出。每批次取出卵块一组（6 个卵块），作为 6 次重复；不同龄期的幼虫各分别取 3 组（45 头）、蛹 3 组（45 个）、雌成虫 3 组（24 头）、雄成虫 3 组（24 头），各分别作为 3 次重复。低温处理后的试虫样品立即转移至人工气候室内（环境条件同 1.1），恢复正常饲养条件，24 h 后检查一次幼虫和成虫的存活数和死亡数，以毛笔轻触不能活动作为幼虫和成虫死亡的判定标准；逐日分别观察记录卵的孵化数量、蛹的羽化数量，持续观察 21 d，未孵化的卵、不能羽化的蛹视为死亡；统计草地贪夜蛾卵、各龄期幼虫、蛹和雌、雄成虫的死亡率，以人工气候室（环境条件同 1.1）内正常饲养的自然死亡率作为对照，计算校正死亡率。

采用机率值分析法分析草地贪夜蛾在低温条件下的存活能力，即昆虫在低温条件下生存时间的对数值与死亡率的机率值呈线性关系（吴孔明等，1997；江幸福等，2001），利用统计软件分别计算卵、各龄期幼虫、蛹和雌、雄成虫在不同低温条件下的 50%致死时间（LT_{50}）、90%致死时间（LT_{90}）和 99%致死时间（LT_{99}）。

1.3 草地贪夜蛾卵、蛹的越冬能力试验与观测

1.3.1 草地贪夜蛾实验种群卵、蛹的模拟越冬试验 在福州市晋安区新店镇埔党村（26°07′58″N，119°20′02″E，海拔 37 m）和闽侯县大湖乡新塘村（26°20′54″N，119°05′42″E，海拔 756 m），于 2019 年 12 月 31 日，进行人工接虫，模拟越冬试验。选取室内实验种群 24 h 内产的卵块置于圆形透明塑料杯（底径 4 cm，口径 6 cm，深度 4 cm）内，用 120 目尼龙纱网盖紧，置于田间，每个处理 12 个卵块为一重复，3 次重复；挑取 3 日龄蛹带到田间埋入土中 8-10 cm，用装有 120 目尼龙纱网透气窗的塑料筒（直径 8 cm，高度 15 cm）将蛹单个笼罩，每个处理 32 个蛹为一重复，3 次重复。田间放置试虫的区域用塑料薄膜作遮雨处理。定期调查记录卵的孵化率、蛹的羽化率，每 15 d 调查一次。2020 年 3 月 15 日最后一次调查，将未孵化的卵和未羽化的蛹带回室内，置于人工气候室（环境条件同 1.1），持续观察 21 d，统计草地贪夜蛾实验种群模拟越冬的卵孵化率、蛹的羽化率。

1.3.2 草地贪夜蛾田间自然种群蛹的越冬能力观测 在大田县桃源镇桃源村（25°46′59″N，117°34′18″E，海拔 530 m）、福建省闽侯县大湖乡新塘村（26°20′54″N，119°05′42″E，海拔 756 m）和建瓯市水源乡水源村（27°09′25″N，118°44′21″E，海拔 145 m）3 个无冬玉米种植地区，分别选择具代表性的秋玉米地作为监测点，于 2019 年 10 月 21 日，以三角形排列方式设置 3 个桶形诱捕器，诱捕器底部与地面垂直间距 80 cm，监测成虫羽化情况，每 15 d 记录一次诱捕的成虫数量，每 30 d 更换一次诱芯，其中，草地贪夜蛾性引诱剂诱芯由宁波纽康生物技术有限公司生产，桶形诱捕器由北京中捷四方生物科技股份有限公司生产。于 11 月 20 日开始，在秋玉米采收后以挖土深度 20 cm 的方法调查田间自然种群越冬蛹的数量，采用“W”字形五点取样，每个样点 8 m^2，每 30 d 调查一次，同时调查监测点周围其它作物上的草地贪夜蛾发生与为害情况。结合诱捕监测、挖土查蛹和其它作物发生为害的调查观测结果，分析草地贪夜蛾田间自然种群在无冬玉米种植区的越冬及种群繁衍情况。

1.4 冬玉米种植区草地贪夜蛾的发生与为害调查

在漳州市长泰县陈巷镇古仓村（24°41′54″N，117°45′53″E，海拔 22 m）和莆田市仙游县大济镇溪口村（25°22′34″N，118°34′25″E，海拔 91 m）冬玉米种植区，选择具代表性的冬玉米种植田块作为草地贪夜蛾冬季发生与为害观测点。成虫调查方法：以三角形排列方式设置 3 个桶形诱捕器，诱捕器底部距地面 80 cm 或高出玉米顶部 20 cm，诱捕器直线间距 50 m，每 7 d 收集鉴定并记录一次诱捕的成虫数量，每 28 d 更换一次诱芯，监测所用的诱芯和诱捕器同 1.3.2。玉米受害率调查方法：采用“W”字形五点取样法，每个样点连续调查 40 株玉米，记录受害株数和草地贪夜蛾幼虫的龄期，每 28 d 调查一次；每个地区各调查 3 个田块，作为 3 次重复，统计玉米株受害率。

1.5 数据统计与分析

利用 Excel 2010 和 SPSS20.0 软件对试验数据进行分析处理。采用单因素方差分析法（One-way ANOVA，LSD 多重比较法）对不同处理间的差异显著性进行方差分析。所有百分率数据首先进行反正弦平方根转换后再进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾实验种群的低温存活能力

在 0、4 和 8 ℃ 3 种低温条件对草地贪夜蛾卵、幼虫、蛹和成虫均具有明显的致死作用，同一个虫态或龄期的试虫在低温下的死亡率均随着温度降低和处理持续时间的延长而上升，但草地贪夜蛾在低温条件下的存活能力随着其发育阶段的不同而有较大差异（图 1）。

草地贪夜蛾在低温下的致死时间，如表 1 所示，对于同一个虫态或龄期，50%致死时间（LT_{50}）、90%致死时间（LT_{90}）和 99%致死时间（LT_{99}）均随着温度的降低而逐渐缩短，从 LT_{50}、

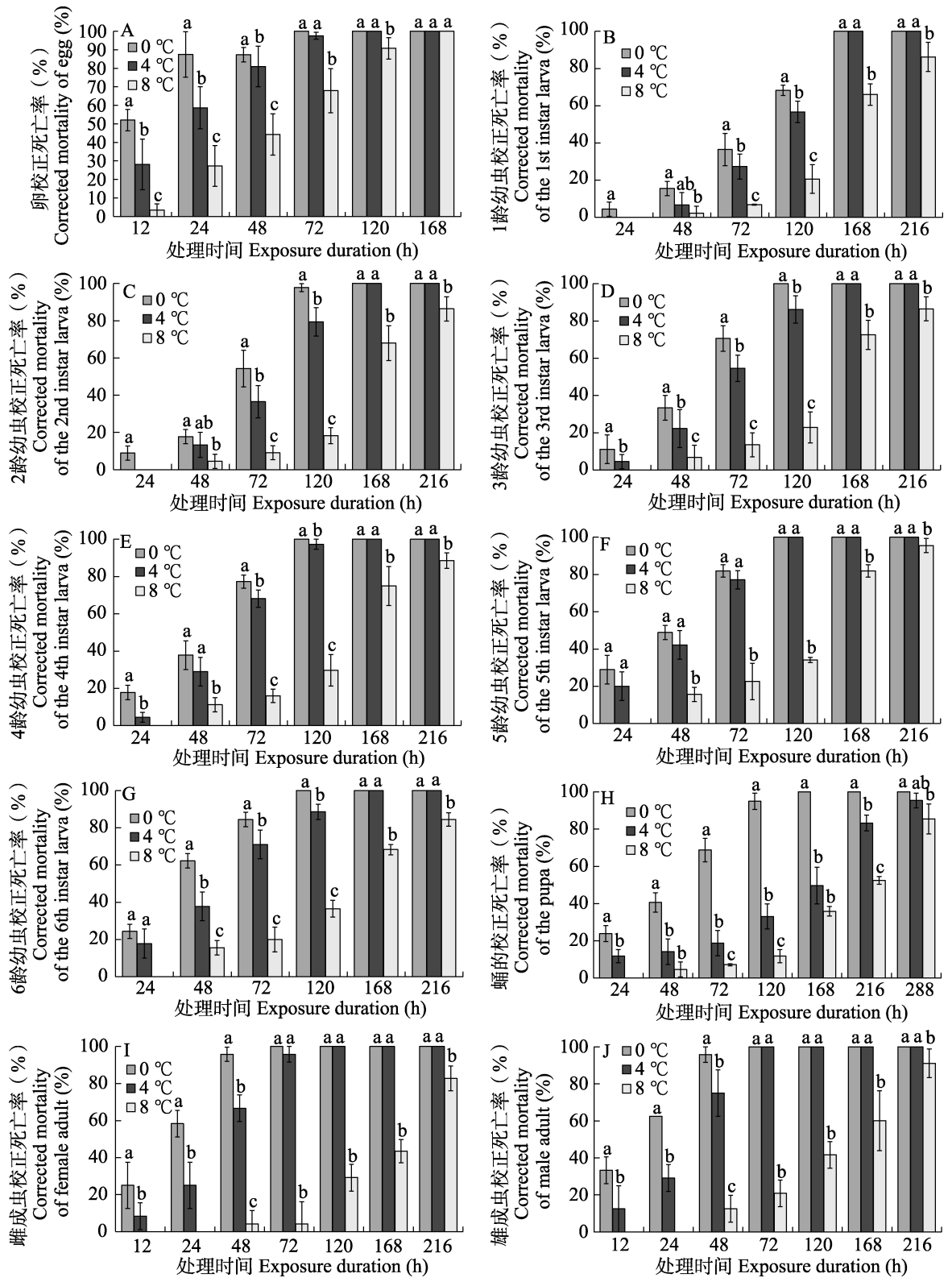

图 1　草地贪夜蛾各虫态在 0、4 和 8 ℃下处理不同时间后的死亡率

Fig. 1　Mortality of *Spodoptera frugiperda* after exposed to 0, 4 and 8 ℃ for different durations at various stages

A. 卵死亡率；B-G. 分别为 1-6 龄幼虫死亡率；H. 蛹的死亡率; I-J. 分别为雌、雄成虫死亡率。

A. Mortality of eggs; B-G. Larval mortality of the 1st instar, 2nd instar, 3rd instar, 4th instar, 5th instar and 6th instar, respectively. H. Mortality of pupae; I-J. Adult mortality of female and male, respectively.

表 1 草地贪夜蛾各虫态在低温下的 50%致死时间(LT_{50})、90%致死时间（LT_{90}）和 99%致死时间（LT_{99}）

Table 1 The LT_{50}, LT_{90} and LT_{99} of *Spodoptera frugiperda* exposed to low temperatures at various stages

发育阶段 Developmental stage	致死时间 (h) Lethal time	温度 Temperature		
		0 ℃	4 ℃	8 ℃
卵 Egg	LT_{50}	12.60	20.94	36.27
	LT_{90}	23.00	34.70	62.91
	LT_{99}	37.58	57.99	113.67
1 龄幼虫 1st instar larva	LT_{50}	57.71	75.40	140.73
	LT_{90}	85.58	100.04	232.73
	LT_{99}	118.01	125.99	350.86
2 龄幼虫 2nd instar larva	LT_{50}	50.88	71.85	138.24
	LT_{90}	75.54	95.40	231.14
	LT_{99}	104.24	120.20	351.44
3 龄幼虫 3rd instar	LT_{50}	42.75	53.93	131.55
	LT_{90}	62.29	79.98	219.89
	LT_{99}	84.67	110.26	334.26
4 龄幼虫 4th instar larva	LT_{50}	40.23	50.11	124.73
	LT_{90}	59.57	75.08	207.93
	LT_{99}	82.03	104.38	313.40
5 龄幼虫 5th instar larva	LT_{50}	36.77	39.38	112.32
	LT_{90}	55.78	58.67	181.84
	LT_{99}	79.56	81.18	269.32
6 龄幼虫 6th instar larva	LT_{50}	36.06	45.91	125.80
	LT_{90}	54.78	71.63	215.08
	LT_{99}	77.05	102.93	333.05
蛹 Pupa	LT_{50}	43.54	113.51	201.62
	LT_{90}	69.23	359.71	610.63
	LT_{99}	101.08	921.18	1 506.98
雌成虫 Female adult	LT_{50}	16.71	27.22	154.76
	LT_{90}	29.42	46.29	282.28
	LT_{99}	46.65	71.36	460.77
雄成虫 Male adult	LT_{50}	15.58	21.03	126.55
	LT_{90}	27.98	36.67	223.94
	LT_{99}	45.09	57.65	356.62

LT_{90} 和 LT_{99} 的值的大小可以反映出草地贪夜蛾各虫态的耐寒性强弱。在 0 ℃下的存活能力由强到弱的排列顺序依次为 1 龄幼虫>2 龄幼虫>蛹>3 龄幼虫>4 龄幼虫>5 龄幼虫>6 龄幼虫>雌成虫>雄成虫>卵；在 4 ℃下的依次为蛹>1 龄幼虫>2 龄幼虫>3 龄幼虫>4 龄幼虫>6 龄幼虫>5 龄幼虫>雌成虫>雄成虫>卵；在 8 ℃下的依次为蛹>雌成虫>1 龄幼虫>2 龄幼虫>3 龄幼虫>雄成虫>6 龄幼虫>4 龄幼虫>5 龄幼虫>卵。结果表明，在 3 种低温条件下，草地贪夜蛾卵的耐寒性最弱。在 0 ℃下，1 龄幼虫的低温存活能力最强，但其 99%致死时间（LT_{99}）仅为 118.01 h（约合 5 d），与 2 龄幼虫 LT_{99} 的 104.24 h（约合 4 d）、蛹 LT_{99} 的 101.08 h（约合 4 d）的差异很小；在 4 ℃和 8 ℃下，蛹的耐寒性最强，其 LT_{99} 分别 921.18 h 和 1 506.98 h，约合 38 d 和 63 d，分别是 1 龄幼虫在 4 ℃和 8 ℃下 LT_{99} 的 7.31 倍和 4.30 倍。虽然，在 0 ℃下蛹的 LT_{50}、LT_{90} 和 LT_{99} 均小于 1 龄幼虫，但差别很小，而在 4 ℃和 8 ℃下蛹的 LT_{90} 和 LT_{99} 均明显大于 1 龄幼虫，从而也表明蛹的耐寒性更强。

综上，在草地贪夜蛾各虫态中，卵的耐寒性最弱，蛹最强，蛹是最有可能的越冬虫态。从理论上讲，草地贪夜蛾在冬季温度 4 ℃的持续时间超过 38 d 或 8 ℃超过 63 d 的地区不能越冬。

2.2 草地贪夜蛾卵、蛹的越冬能力

2.2.1 草地贪夜蛾实验种群卵、蛹的模拟越冬能力 草地贪夜蛾在福州晋安和闽侯模拟越冬试验结果表明，卵在冬季期间的 75 d（2019 年 12 月 31 日至 2020 年 3 月 15 日）内未孵化，置于 25 ℃下持续观察 21 d 也不能孵化，表明卵在上述两地自然环境条件下不能越冬。蛹的模拟越冬试验结果如图 2 所示，埋蛹 15 d 内，无成虫羽化；在埋蛹 15-30 d 和 30-45 d 期间，低海拔的晋安观测点的羽化率分别为 45.83%和 10.42%，显著高于高海拔的闽侯观测点的 28.13%和 0（$F_{(15\text{-}30d)}$=29.161, P=0.006, df=1,4; $F_{(30\text{-}45\ d)}$=384.278, P=0.000, df=1,4）；在埋蛹 45-60 d 和 60-75 d 期间，晋安观测点的羽化率分别为 4.17%和 2.08%，而闽侯观测点均无成虫羽化，其中，45-60 d 期间两个观测点的羽化率差异显著（$F_{1,4}$=65.793, P=0.001），但 60-75 d 两地的成虫羽化率差异不显著（$F_{1,4}$=4.000, P=0.116）。由于同一纬度不同海拔高度的气温存在较大差异，在低温期间的蛹的存活率和越冬能力也有显著差异，如在福州晋安和闽侯两地，蛹的总羽化率分别为 62.50%和 28.13%，差异显著（$F_{1,\ 4}$=166.107, P=0.000）；在闽侯观测点的蛹不能完成越冬，而在晋安观测点，蛹能在越冬过程中陆续

羽化，另有 2.08%的蛹能存活越过 3 月 15 日从而完成越冬。

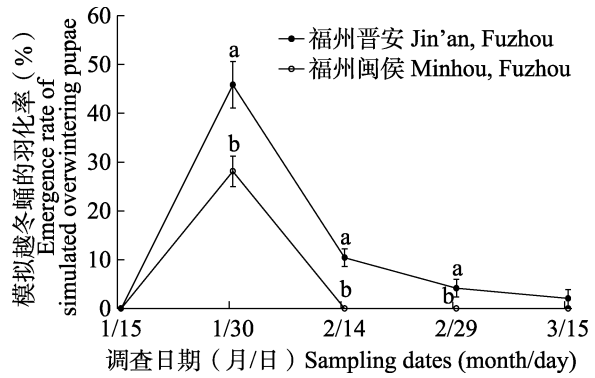

图 2　草地贪夜蛾模拟越冬蛹的羽化率

Fig. 2　Emergence rate of the simulated overwintering pupae of *Spodoptera frugiperda*

图中数据为 3 次重复的平均值±标准差；不同字母表示同一调查日期不同试验观测点的羽化率差异显著（P<0.05，单因素方差分析，LSD 多重比较法）。

Data in the figure are mean±SD of three replications. Different letters above the data label indicate significant difference in emergence rate of the two location on the same investigation date (P<0.05, one-way ANOVA, LSD multiple comparison).

2020 年的 1-3 月期间，福州晋安和闽侯两地的日均温分别为 11.4 ℃和 14.2 ℃。分析表明，在 1-3 月的日均温低于 14.2 ℃的地区，草地贪夜蛾卵不能孵化，不能完成越冬；在 1-3 月的日均温低于 11.1 ℃的地区，蛹不能完成越冬；在 1-3 月的日均温达 14.2 ℃地区，蛹能完成越冬，但能完成越冬的蛹的比率较低。因此，温度决定着草地贪夜蛾蛹的越冬能力。

2.2.2　草地贪夜蛾田间自然种群蛹的越冬能力　如图 3 所示，在三明大田、福州闽侯和南平建瓯 3 个无冬玉米种植区，草地贪夜蛾田间自然种群存活的越冬蛹的数量呈不断下降趋势直至为 0。在 2019 年 11 月 20 日，入冬前的田间存活越冬蛹的虫口密度为 0.18-0.33 个/m^2，入冬后快速下降，2020 年 1 月 19 日存活越冬蛹的虫口密度仅为 0.03-0.05 个/m^2，2 月 18 日田间未发现存活的越冬蛹，表明草地贪夜蛾的蛹不能完成越冬。从田间诱捕的成虫数量动态分析，也可以说明草地贪夜蛾的蛹不能在上述三地完成越冬，如福州闽侯在 2020 年 1 月 4 日之后未诱捕到成虫直至 5 月 5 日为止，而三明大田和南平建瓯均在 1 月 19 日之后未诱捕到成虫直至分别于 5 月 8 日和 5 月 6 日再次诱捕到成虫。在整个试验观测期间，上述 3 个观测地区均未发现草地贪夜蛾幼虫在其它作物上发生为害。由此可见，在草地贪夜蛾的越冬蛹中，一部分能在越冬过程中羽化，但羽化的成虫或因低温环境条件且缺乏适宜寄主条件而不能进行种群繁衍，另一部分则因低温条件逐渐死亡不能完成越冬。

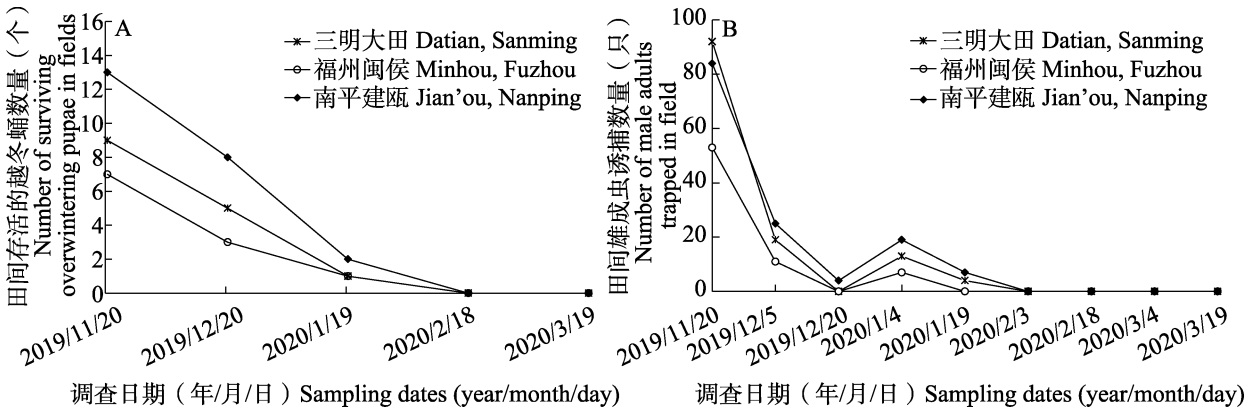

图 3　福建省无冬玉米种植区田间草地贪夜蛾越冬蛹数量（A）和诱捕的成虫数量（B）

Fig. 3　Number of overwintering pupae (A) and adults (B) trapped of *Spodoptera frugiperda* in no winter maize fields in Fujian province

2020 年的 1-3 月期间，三明大田、福州闽侯和南平建瓯 3 地的日均温分别为 11.3、11.1 和 12.6 ℃。分析表明，在 1-3 月期间的日均温低于 12.6 ℃的地区，草地贪夜蛾蛹不能完成越冬。

2.3 冬玉米种植区草地贪夜蛾的发生与为害动态

在冬玉米种植区，草地贪夜蛾成虫种群动态监测结果如图 4 所示，在 2019 年 12 月-2020 年 4 月期间可持续诱捕到草地贪夜蛾雄成虫，并在 1 月 10 日、31 日和 3 月 6 日出现 3 个明显的成虫发生高峰期，说明在莆田仙游、漳州长泰两地的冬季低温期间，草地贪夜蛾蛹可以存活并羽化，但 2-3 月期间诱捕的成虫数量较少，4 月 17 日之后，外来虫源开始陆续迁飞侵入，诱捕的成虫数量呈逐步上升趋势。

草地贪夜蛾幼虫在冬、春玉米上的发生为害情况如图 5（A）和图 5（B）所示，在 1-4 月期间，莆田仙游、漳州长泰两地均有草地贪夜蛾幼虫在玉米上发生为害。在气温较低的 1、2 月份，全部是 3 龄以下龄期的幼虫在冬玉米上为害，但田间虫口数量少、为害率低，1、2 月份的冬玉米受害率无显著性变化（$F_{仙游}$=0.937, P=0.388, df=1,4; $F_{长泰}$=4.444, P=0.103, df=1,4）。随着 2 月下旬气温逐渐开始回升，草地贪夜蛾生长发育速度加快速，成虫开始产卵繁殖，不同龄期的幼虫陆续在田间发生为害，冬玉米受害率呈持续加重趋势，3 月份的冬玉米受害率较 2 月份显著增加（$F_{仙游}$=65.875, P=0.001, df=1,4; $F_{长泰}$=36.604, P=0.005, df=1,4），同时随着春玉米的移栽种植，草地贪夜蛾也开始在春玉米上发生为害，4 月份春玉米的受害率较 3 月份显著增加（$F_{仙游}$=11.231, P=0.029, df=1,4; $F_{长泰}$=79.293, P=0.001, df=1,4）。

结果表明，在莆田仙游和漳州长泰 2 个冬玉米种植区 1-3 月的冬季低温期间，草地贪夜蛾幼虫、蛹和成虫均可以在冬玉米上发生，表明其在上述两地可以周年发生为害。1-3 龄幼虫、蛹和成虫可能是草地贪夜蛾在冬玉米种植区的越冬虫态。

3 结论与讨论

昆虫属变温动物，气候变化是其种群季节消长的基本原因之一，尤其在不良的低温环境中，昆虫耐寒力的高低是其种群存在与发展的重要前提（Renault *et al.*, 2002；景晓红和康乐, 2002）。草地贪夜蛾是原产于美洲热带和亚热带地区的迁飞性害虫（Sparks，1979；Todd and Poole，1980），其生长发育的适宜温度为 20-32 ℃（张红梅等，2020）。低温对草地贪夜蛾的生长发育、存活率和繁殖力等都有显著影响，如草地贪夜蛾卵在 11 ℃和 13 ℃恒温条件下不能孵化（张红梅等，2020），其在低温条件下的生长速率下降而死亡率升高、世代周期延长（鲁智慧等, 2019），其幼虫在日均温度低于 10 ℃并持续 8-10 d 时死亡率达 100%（谢明惠等，2020），在 15 ℃下蛹的羽化率低，成虫未产卵就死亡（何莉梅等，

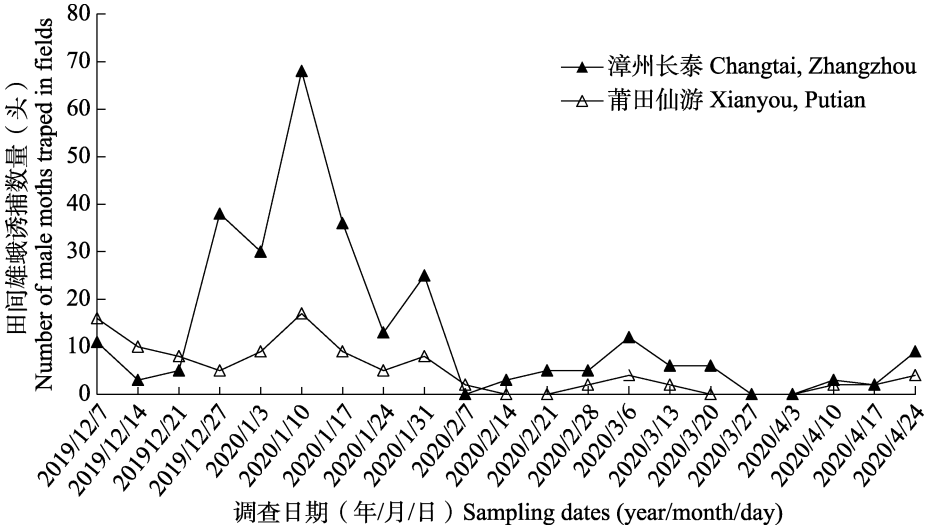

图 4 福建省冬玉米种植区草地贪夜蛾雄成虫种群数量动态

Fig. 4 Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* male adults in winter maize fields of Fujian province

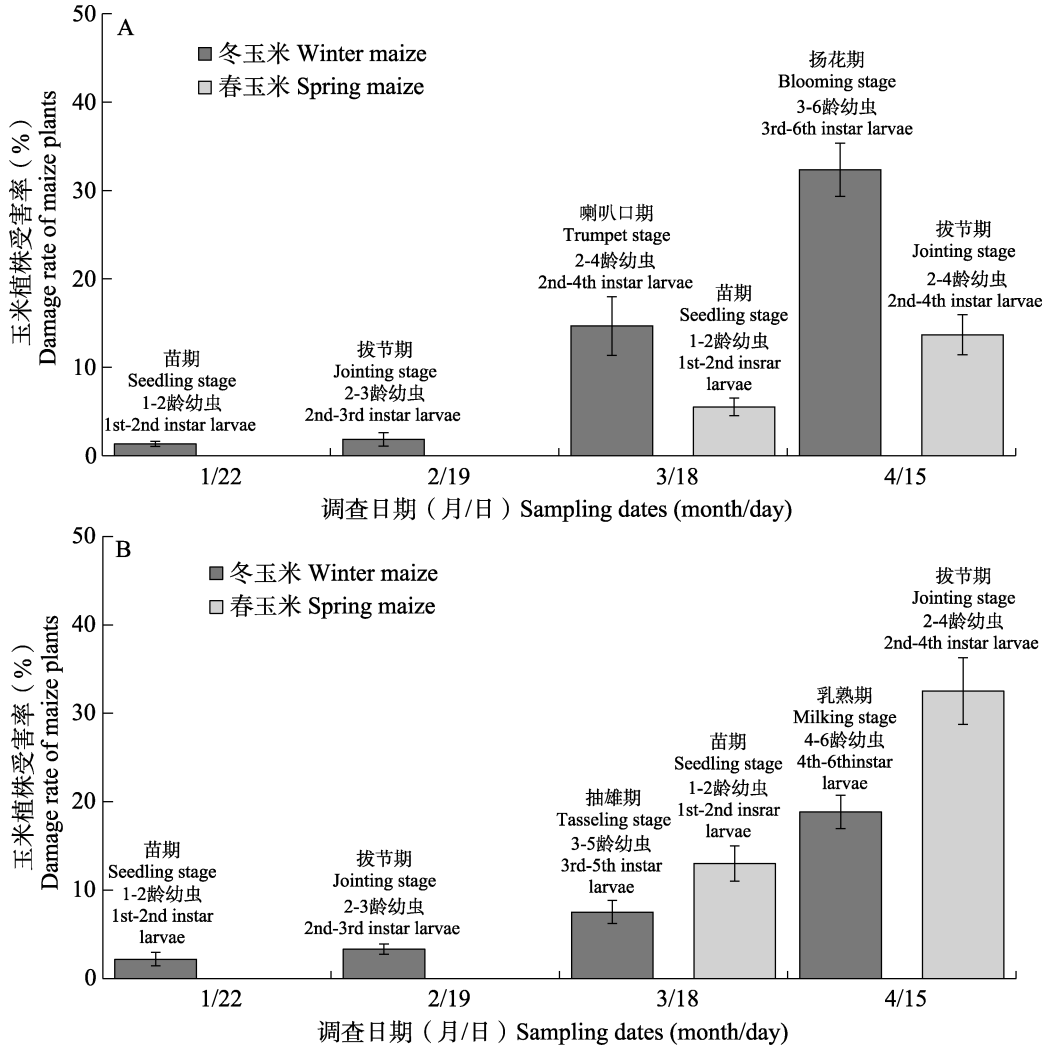

图 5　福建省冬玉米种植区草地贪夜蛾幼虫发生与为害动态（2020 年）

Fig. 5　Occurrence and damage dynamics of *Spodoptera frugiperda* larvae in winter maize fields in Fujian province

A. 调查地点为莆田仙游；B. 调查地点为漳州长泰。图中数据为 3 次重的平均值±标准差；柱上的标注为每次试验调查时间对应的玉米生育期和草地贪夜蛾幼虫龄期。

A. The location of investigation is Xianyou, Putian; B. The location of investigation is Changtai, Zhangzhou. Data in the figure are mean ± SD of three replications. Indications above the histograms are the maize growth period and larval stage of *Spodoptera frugiperda* corresponding to each trial investigation time.

2019）。度过冬季是草地贪夜蛾整生活史中最薄弱的环节，其冬季分布主要决定于温度的高低（姜玉英等，2019）。

草地贪夜蛾属 2019 年新侵入我国的重大迁飞性害虫，明确其在低温条件下的存活能力对于分析它在我国的越冬区、周年繁殖与发生区具有重要意义。目前，这方面的研究甚少，尤其是 10 ℃以下的不同低温条件对草地贪夜蛾存活能力的影响方面仍是空白。国内一些学者通过测定草地贪夜蛾的过冷却点和结冰点，对其抗寒能力进行了分析评价（谢殿杰等，2019；张悦等，2019；张智等，2019），但并未测定其在不同低温条件下的存活率或死亡率，而昆虫的耐寒性强弱最终还是取决于低温条件下的存活率（景晓红和康乐，2004）。本研究通过测定草地贪夜蛾在不同低温条件下的存活率和死亡率，明确了其耐寒性，结果表明，0、4 和 8 ℃ 3 种低温环境对草地贪夜蛾各虫态均具有明显的致死作用，同一个虫态或龄期的死亡率随温度降低和低温持续时间的延长而上升，但草地贪夜蛾在低温条件下的

存活能力随着其发育阶段的不同而有较大差别，这与张智等（2019）报道的草地贪夜蛾不同虫态的抗寒能力存在极显著差异的结果一致。昆虫在低温下的致死时间（LT_{50}、LT_{90} 和 LT_{99}）可以反映其耐低温能力（吴孔明等，1997；陈非洲和刘树生，2004；欧阳芳和戈峰，2014）。本研究以低温对草地贪夜蛾的 LT_{50}、LT_{90} 和 LT_{99} 作为死亡参数评价其耐寒性，结果表明，在草地贪夜蛾各虫态中，卵的耐寒性最弱，蛹的最强，蛹是其最有可能的越冬虫态，这与 Foster 和 Cherry（1987）报道的卵的耐寒性最强、成虫最弱的结果不同，与张智等（2019）报道的卵的抗寒能力最强、6 龄幼虫最弱的结果也不一致。耐寒性研究结果的差异与所采用的分析方法不同有关，可能还与地理种群、个体发育阶段及食物营养与饲养条件等因素的不同有关，上述各因素对昆虫的过冷却点和抗寒能力测定结果均具有显著影响（景晓红和康乐，2002；韩兰芝等，2005），此外，这种差异更可能是由于草地贪夜蛾的耐寒性与其过冷却点并不完全相关或相关性不显著，已有研究表明，许多昆虫在暴露于其体内还未结冰的低温时即已大量死亡（Knight *et al.*，1986；景晓红和康乐，2002；李浩等，2014），一些昆虫的耐寒性和在低温下的死亡率与其过冷却点不相关（Bale，1996；Carrillo *et al.*，2005；Hiiesaar *et al.*，2011），如甜菜夜蛾不同发育阶段的过冷却点与其耐寒性不完全相关，其卵的过冷却点最低，但其低温下的存活能力却不如其它虫态（江幸福等，2001）。本文的模拟越冬试验结果也表明，草地贪夜蛾卵在 1-3 月期间日均温 14.2 ℃的室外环境条件下不能孵化即不能越冬，但蛹能存活达 75 d 并完成越冬，从而也进一步说明蛹的耐寒性强于卵，但草地贪夜蛾各虫态的耐寒性与其过冷却点相关性问题值得进一步研究予以明确。低温驯化可以提高昆虫的耐低温和抗寒能力（孔璐等，2012；华瑞香等，2014），本研究室内测定草地贪夜蛾耐低温能力时未进行低温驯化，这可能会影响其在低温下的存活率测定结果，但并未影响草地贪夜蛾各虫态抗寒能力的强弱关系，低温驯化对于草地贪夜蛾的抗寒能力及其越冬适应策略的影响值得进一步深入研究。

草地贪夜蛾在美国的越冬范围为南佛罗里达州约 28°N 以南（Foster and Cherry，1987），据此，姜玉英等（2019）结合冬季玉米及其它可能的寄主作物种植情况推测草地贪夜蛾在我国的越冬区和周年繁殖区，并指出有效越冬区与范围还取决于玉米等寄主作物的冬季种植情况。本研究结果表明，环境温度决定草地贪夜蛾的越冬能力和周年发生区的分布，其在福建省的越冬区和周年发生区与冬季温度条件及冬季玉米的种植情况密切相关，这与姜玉英等（2019）的分析结果一致。草地贪夜蛾在我国的周年发生区主要在 1 月份日均温度 10 ℃等温线以南的热带和南亚热带地区（吴孔明，2020）。本研究结果表明，在 1-3 月期间日均温为 11.3、11.1 和 12.6 ℃的三明大田、福州闽侯和南平建瓯 3 个无冬玉米种植地区，一部分草地贪夜蛾蛹能在 1 月 19 日之前羽化，但羽化的成虫不能进行种群繁衍，另一部分则因低温条件逐渐死亡不能完成越冬，我们后续在上述三地的春玉米上跟踪调查，未发现草地贪夜蛾成虫或幼虫发生，直至 2020 年 5 月 5-8 日再次诱捕到成虫，从而也可说明该虫在三明大田、福州闽侯和南平建瓯 3 地不能完成越冬；在 1-3 月期间日均温为 14.2 ℃的福州晋安地区，草地贪夜蛾卵不能存活和越冬，蛹能以 2.08%存活率完成越冬，我们后续在 3-4 月期间的春玉米上持续诱捕到少量的草地贪夜蛾成虫，这也可说明蛹能在福州晋安完成越冬，但完成越冬的比率低，越冬代虫源对春玉米的危害风险较小，2020 年 4 月 26 日才在福州晋安地区的春玉米上发现草地贪夜蛾初孵幼虫发生为害。冬玉米种植区调查观测结果表明，在 1-3 月期间日均温为 15.0 ℃、16.1 ℃的莆田仙游和漳州长泰 2 个冬玉米种植区，草地贪夜蛾幼虫、蛹和成虫均可以在冬玉米上发生，表明其可在该区域周年发生；由于 1、2 月份低温期间，在冬玉米上发生为害的全部是 3 龄以下龄期的幼虫，该期间的冬玉米受害率也无显著性变化，因此，低龄幼虫、蛹和成虫很可能是其在冬玉米种植区的越冬虫态，这有待进一步的观测和验证。本研究结果预示，在 1-3

月期间日均温低于 12.6 ℃的地区，草地贪夜蛾的蛹不能完成越冬，而在 14.2 ℃及以上地区可以完成越冬；1-3 月期间日均温在 15.0 ℃及以上的冬玉米种植地区可以周年发生。

本研究通过室内测定草地贪夜蛾的耐寒性、模拟越冬和田间调查观测，结合气象资料，明确了其在福建地区的越冬区和周年发生区，室内与田间试验结果相一致。研究结果为草地贪夜蛾在我国越冬区和周年发生区的划分及其预测预报与综合防控提供了重要参考，但也存在寄主和种群单一、观测时间较短、取样范围和监测地点较少等局限性，因此，还需根据不同生态区域的气候特点、寄主作物范围与种植情况和田间实际发生情况，进一步研究草地贪夜蛾的越冬能力及其在冬季低温季节的发生规律，为该虫的监测预警和综合防控提供更加全面的科学依据。

参考文献 (References)

Bale JS, 1996. Insect cold hardiness: A matter of life and death. *European Journal of Entomology*, 93 (3): 369–382.

Carrillo MA, Heimpel GE, Moon RD, Cannon CA, Hutchison WD, 2005. Cold hardiness of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of pyralid moths. *Journal* of *Insect Physiology*, 51 (7): 759–768.

Chen FZ, Liu SS, 2004. Effects of low and subzero temperature on a *Plutella xylostella* laboratory population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(1): 99–102. [陈非洲, 刘树生, 2004. 低温对小菜蛾实验种群的影响. 应用生态学报, 15(1): 99–102.]

Early R, González-Moreno P, Murphy ST, Day R, 2018. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. *NeoBiota*, 40: 25–50.

Foster RE, Cherry RH, 1987. Survival of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidad) exposed to cold temperature. *Flordia Entomologist*, 70(4): 419–422.

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.

Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]

Han LZ, Zhai BP, Zhang XX, 2005. Cold hardiness of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Phytophylacica Sinica*, 32(2): 169–173. [韩兰芝, 翟保平, 张孝羲, 2005. 甜菜夜蛾的抗寒性研究. 植物保护学报, 32(2): 169–173.]

He LM, Ge SS, Chen YC, Wu QL, Jiang YY, Wu KM, 2019. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(5): 18–26. [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型. 植物保护, 45(5): 18–26.]

Hiiseaar K, Williams IH, Mänka M, Luik A, Jõgar K, Metspalu L, Švilpois E, Ploomi A, Kivimägi I, 2011. Supercooling ability and cold hardiness of the pollen beetle *Meligethes aeneus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 138(2): 117–127.

Hogg DB, Pitre HN, Anderson RE, 1982. Assessment of early-season phenololgy of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Mississippi. *Environmental Entomology*, 11(3): 705–710.

Hua RX, Hou YM, Shi ZH, 2014. Changes in the contents of physiologically active substances in *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae) after low temperature acclimation. *Acta Entomologica Sinica*, 57(3): 265–273. [华瑞香, 侯有明, 石章红, 2014. 低温驯化后水椰八角铁甲生理活性物质含量的变化. 昆虫学报, 57(3): 265–273.]

Jiang XF, Luo LZ, Li KB, Zhao TC, Hu Y, 2001. A study on the cold hardiness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Ecologica Sinica*, 21(10): 1575–1582. [江幸福, 罗礼智, 李克斌, 赵廷昌, 胡毅, 2001. 甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究. 生态学报, 21(10): 1575–1582.]

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Song LL, 2019. Advances in migration and monitoring techniques of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Plant Protection*, 45(1): 12–18. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 宋琳琳, 2019. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展. 植物保护, 45(1): 12–18.]

Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JL, Zhang ML, Qiu K, 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19. [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.]

Jing XH, Kang L, 2002. Regress progress in insect cold hardiness. *Acta Ecologica Sinica*, 22(12): 2202–2207. [景晓红, 康乐, 2002. 昆虫耐寒性研究. 生态学报, 22(12): 2202–2207.]

Jing XH, Kang L, 2004. Overview and evaluation of research methodology for insect cold hardiness. *Entomological Knowledge*, 40(1): 7–10. [景晓红, 康乐, 2004. 昆虫耐寒性的测定与评价方法. 昆虫知识, 40(1): 7–10.]

Johnson SJ, 1987. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere. *International Journal of Tropical Insect Science*, 8 (4/5/6): 543–549.

Knight JD, Bale JS, Franks F, Mathias SF, Baust JG, 1986. Insect cold hardiness: Supercooling points and pre-freeze mortality. *Cryoletters*, 7: 194–203.

Kong L, Guo JY, Zhou ZS, Wan FH, 2012. Progress in research on

cold hardening in insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1664–1669. [孔璐, 郭建英, 周忠实, 万方浩, 2012. 昆虫冷驯化机制研究进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1664–1669.]

Li H, Zhou XR, Pang BP, Chang J, 2014. Supercooling capacity and cold hardiness of *Galeruca daurica* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(2): 212–217. [李浩, 周晓榕, 庞保平, 常静, 2014. 沙葱萤叶甲的过冷却能力与抗寒性. 昆虫学报, 57(2): 212–217.]

Lu H, Tang JH, Lu 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. [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.]

Lu ZH, He SQ, Yan NS, Zhao WJ, Yao WF, Chen YP, Yang T, Jiang YY, Gui FR, 2019. Effects of temperatures on the development and reproduction of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith). *Plant Protection*, 45(5): 27–31.[鲁智慧, 和淑琪, 严乃胜, 赵文杰, 姚万福, 陈亚平, 杨通, 姜玉英, 桂富荣, 2019. 温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响. 植物保护, 45(5): 27–31.]

Ma J, Wang YP, Wu MF, Gao BY, 2019. High risk of the fall armyworm invading Japan and the Korean Peninsula via overseas migration. *Journal of Applied Entomology*, (143): 911–920.

Ouyang F, Ge F, 2014. Methodology of measuring and analyzing insect cold hardiness. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1646–1652. [欧阳芳, 戈峰, 2014. 昆虫抗冻耐寒能力的测定与分析方法. 应用昆虫学报, 51(6): 1646–1652.]

Qin YJ, Lan S, Zhao ZH, Sun HY, Zhu XM, Yang PY, Li ZH, 2019. Potential geographical distribution of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 45(4): 43–47. [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 孙宏禹, 朱晓明, 杨普云, 李志红, 2019. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布. 植物保护, 45(4): 43–47.]

Renault D, Salin C, Vanier G, Vernon P, 2002. Survival at low temperatures in insects: What is the ecological significance of the supercooling point? *Cryoletters*, 23(4): 217–228.

Sparks AN, 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist*, 62(2): 82–87.

Todd EL, Poole RW, 1980. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the Western Hemisphere. *Annals of Entomological Society of America*, 73(6): 722–738.

Toepfer S, Kuhlmann U, Kansiime M, Onyango DO, Davis T, Cameron K, Day R, 2019. Communication, information sharing, and advisory services to raise awareness for fall armyworm detection and area-wide management by farmers. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 126(2): 103–106.

Westbrook JK, Nagoshi RN, Meagher RL, Fleischer SJ, Jairam S, 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60(2): 255–267.

Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2):1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5.]

Wu KM, Guo YY, Wei JF, Sun FZ, 1997. On the cold hardiness of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Ecologica Sinica*, 17(3): 298–302. [吴孔明, 郭予元, 韦建福, 孙福在, 1997. 棉铃虫抗寒能力的研究. 生态学报, 17(3): 298–302.]

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.

Wu QL, Jiang YY, Hu G, Wu KM, 2019. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* from tropical and southern subtropical zones of China. *Plant Protection*, 45(3): 1–9. [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 吴孔明, 2019. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析. 植物保护, 45(3): 1–9.]

Xie DJ, Zhang L, Cheng YX, Jiang XF, 2019. Age-stage two-sex life table for laboratory populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* at different temperatures. *Plant Protection*, 45(6): 20–27. [谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 江幸福, 2019. 不同温度下草地贪夜蛾年龄—阶段实验种群两性生命表的构建. 植物保护, 45(6): 20–27.]

Xie MH, Zhong YZ, Chen HL, Lin LL, Zhang GL, Xu LN, Wang ZY, Zhang JP, Zhang F, Su WH, 2020. Potential overwintering ability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Anhui province. *Plant Protection*, 46(3): 236–241. [谢明惠, 钟志永, 陈浩梁, 林璐璐, 张光玲, 徐丽娜, 王振营, 张金平, 张峰, 苏卫华, 2020. 草地贪夜蛾在安徽地区越冬能力初探. 植物保护, 46(3): 236–241.]

Yang PY, Zhu XM, Guo JF, Wang ZY, 2019. Strategy and advice for managing the fall armyworm in China. *Plant Protection*, 45(4): 1–6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营, 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. 植物保护, 45(4): 1–6.]

Zhang HM, Yin YQ, Zhao XQ, Li XY, Wang Y, Liu Y, Chen FS, Chen AD, 2020. The growth and development characteristics of *Spodoptera frugiperda* under different temperature conditions. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 52–59. [张红梅, 尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 王燕, 刘莹, 陈福寿, 谌爱东, 2020. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性. 环境昆虫学报, 42(1): 52–59.]

Zhang Y, Deng XY, Zhang XY, Jiang CX, Huang C, Chen HN, Li Q, Feng CH, Ma L, 2020. Supercooling and freezing poins of *Spodoptera frugiperda* on different foods. *Plant Protection*, 46(2): 72–77. [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.]

Zhang Z, Zheng Q, Zhang YH, Liu J, Yin XT, Tang QB, Li J, Yuan Y, Li XR, Zhu X, 2019. Cold hardiness of laboratory populations of *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(6): 43–49. [张智, 郑乔, 张云慧, 刘杰, 殷新田, 汤清波, 李静, 袁源, 李祥瑞, 朱勋, 2019. 草地贪夜蛾室内种群抗寒能力测定. 植物保护, 45(6): 43–49.]