

王 涛,赵金玉,任艳玲,等. 温度对斜纹夜蛾生殖行为的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):124–130.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2022.11.017

温度对斜纹夜蛾生殖行为的影响

王 涛^{1,2}, 赵金玉¹, 任艳玲^{1,2}, 刘 瑶¹, 陈逍遙¹, 肖 纯¹, 邓六琼¹, 赵万玲¹, 王 娟¹

(1. 贵州轻工职业技术学院/贵州大数据生态食品农产品工程中心, 贵州贵阳 550025;

2. 贵州大学昆虫研究所/贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵州贵阳 550025)

摘要:斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)是全球性的重要农业害虫,具有寄主广、繁殖快、抗药性强等特点,常在短期内对农作物造成重大危害。为了探明温度对斜纹夜蛾求偶、交配、产卵等生殖行为的影响,为预测预报和精准防控提供科学指导,在光—暗周期、湿度分别为 14 h—10 h 和(70±5)%的人工气候箱中,设置了 19、22、25、28、31℃等 5 个温度处理,每个温度处理配对同一天羽化,发育良好的 2 日龄斜纹夜蛾成虫 20 对,在暗期(20:00 至次日 06:00)每隔 0.5 h 观察 1 次,详细记录其求偶时间、交配时间、交配姿势、产卵时间等生殖相关信息,利用 SPSS 23.0 对数据进行差异显著性检验,分析温度对斜纹夜蛾生殖行为的影响。结果表明,28℃时 4 个暗期斜纹夜蛾的平均求偶率、交配率和产卵率均为最高,分别为 90%、40%和 19%;求偶和交配行为与暗期呈抛物线关系,求偶高峰期多数集中在 21:00—23:00,交配高峰期多数集中在 01:00—03:30,在第 3 个暗期时,求偶率和交配率达到高峰;交配姿势为“一”字形和“V”字形,前者出现次数显著高于后者。综上,温度可影响斜纹夜蛾的生殖行为,在试验温度范围内,28℃为斜纹夜蛾的最适繁殖温度。

关键词:温度;斜纹夜蛾;生殖行为;影响

中图分类号: S433.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2022)11–0124–06

斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)隶属鳞翅目(Lepidoptera)夜蛾科(Noctuidae),全球均有分布,是迁飞性的重要农业害虫^[1],具有繁殖快、数量多,世代重叠严重,极易产生抗药性等特点^[2–4]。作为杂食性、暴食性害虫,斜纹夜蛾寄主植物近 400 种^[5],常在短期内对农作物造成重大危害。温度是制约昆虫分布的主要因素之一,对昆虫的生长发育、繁殖及存活均有显著影响^[6]。如近年的气候变暖影响了昆虫生物学特性^[7–9],研究表明温度升高不仅影响昆虫的地理分布,还影响其取食、繁殖和发育^[10–12]。温度对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的研究已有报道,李艳红等研究发现,短时间高、低温不利于斜纹夜蛾的生长发育及生存,但耐寒性提升^[13];

秦厚国等研究明确了斜纹夜蛾存活及生长发育与温度呈二次抛物线关系^[14]。但温度对斜纹夜蛾繁殖行为的影响未见报道,笔者所在团队于 2021 年 9 月起,在贵州大数据生态食品农产品工程中心生物实验室系统研究了不同温度下斜纹夜蛾的求偶、交配和产卵等繁殖行为,研究成果旨在为斜纹夜蛾的精准防控提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试昆虫:斜纹夜蛾幼虫由贵州生态食品农产品工程中心于贵阳市花溪区田间捕捉,在人工气候室内饲养。

饲喂植物:饲养植物为珍白玉 8 号玉米,将玉米种子在装有基质的塑料托盘中种植,待玉米苗长至 10 cm 左右开始作为食料饲喂。玉米种植在人工气候室中,环境条件设置为温度 26℃、相对湿度(70±5)%、光—暗周期 14 h—10 h。

基质与仪器:基质购自湖南省湘晖农业电子商务有限公司,为通用型育苗基质;人工气候箱购自江苏杰瑞尔电器有限公司;养虫笼购自郑州极硕科技有限公司。

收稿日期:2022–02–20

基金项目:国家质检总局科技项目(编号:2017IK257);中国烟草总公司贵州省公司科技项目(编号:201918);贵州省理论创新课题(编号:GZLCLH–2021–169);贵州省人文社会科学研究项目(编号:2022ZC016)。

作者简介:王 涛(1981—),男,河南长垣人,博士,副教授,从事生态学、食品农产品及其有害生物研究。E-mail:745498931@qq.com。

通信作者:任艳玲,博士,教授,从事生态学、食品农产品有害生物及综合防控研究。E-mail:43182481@qq.com。

1.2 试验方法

1.2.1 昆虫饲养 在温度 27 ℃、湿度(70±5)% 的人工气候室内,将幼虫放于装有 4~6 cm 厚基质的塑料托盘中饲养,托盘置于养虫笼中,用新鲜玉米苗饲喂。幼虫入土后,每天给土层浇水或将湿润的棉花球放于土层表面保湿,待基本化蛹完成后,将蛹挑出。在显微镜下观察,将雌、雄蛹挑选分离,之后分别放入装有基质的塑料碗中,碗口用纱布和皮筋封住,将塑料碗置于温度为 28 ℃、湿度为(70±5)%、光—暗周期为 14 h—10 h 的人工气候箱内羽化,每天定时喷洒适量的水保湿。出虫后将雌、雄虫单独放入塑料杯中饲养,并用橡皮筋和纱布封口,杯底放置浸有 10% 蜂蜜水的脱脂棉球用于提供营养,棉球每日定时更换。待虫至 2 日龄时,将雌、雄虫 1:1 配对放入塑料杯。

1.2.2 统计方法 雌、雄虫 1:1 配对放入塑料杯,用 40 目纱布封口,并依次标号。人工气候箱调节至设定温度(19、22、25、28、31 ℃),湿度和光—暗周期均分别为(70±5%) 和 14 h—10 h。每个处理观察 20 对,连续观察 4 个暗期,每个暗期从 20:00 到次日 06:00。观察间隔时间为 30 min,详细记录求偶开始、求偶结束时间点,交配开始、交配结束时间点,交配姿势,产卵时间点。

数据收集后,统计求偶数量,求偶持续时间 = 求偶结束时间点 - 求偶开始时间点,交配持续时间 = 交配结束时间点 - 交配开始时间点,平均求偶开始时间 = 求偶开始时间总和/求偶数,求偶率 = 求偶数/总配对数,产卵率 = 产卵数/总配对数。

1.3 数据分析

采用 Excel 2016 进行数据统计、整理和作图,利用 SPSS 23.0 对数据进行 Duncan's 新复极差法差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对斜纹夜蛾求偶行为的影响

2.1.1 求偶节律 由图 1 可知,不同温度下斜纹夜蛾求偶节律与时间呈抛物线关系,在第 1 个暗期内,除 31 ℃ 求偶高峰期在 23:00 至次日 00:00 和次日 02:30—03:00 外,其余求偶高峰期均集中在 21:00—22:30,25 ℃ 时在 22:00—22:30 求偶率最高,达到 55% (图 1-A);在第 2 个暗期内,5 个温度下求偶高峰期均集中在 21:00—22:00,21:00 时 19 ℃ 和 22 ℃ 求偶率最高,达到 55% (图 1-B);在

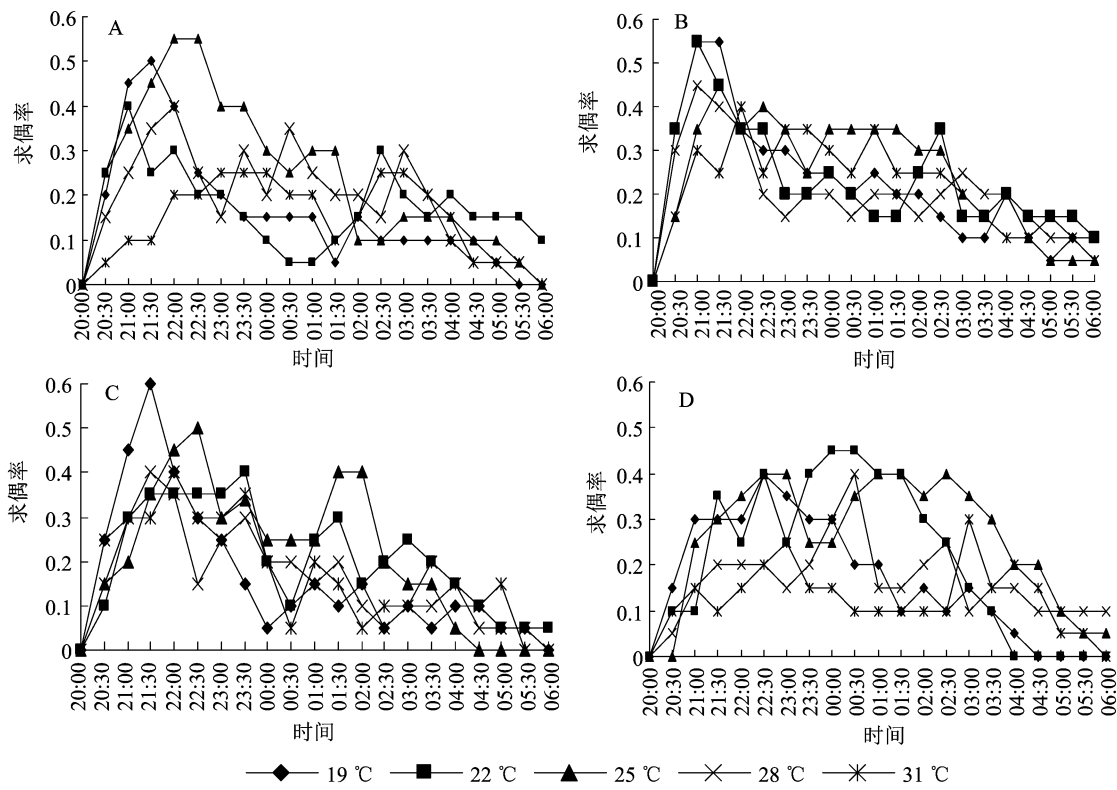
第 3 个暗期内,5 个温度下求偶高峰期均集中在 21:30—23:30,21:30 时,19 ℃ 求偶率最高,达到 60% (图 1-C);在第 4 个暗期内,求偶高峰期相对分散,其中 19 ℃ 时求偶率在 22:30 最高,达到 40%;22 ℃ 时在次日 00:00—00:30 求偶率最高,达到 45%;25 ℃ 时在 22:30—23:00 和次日 01:00—01:30 求偶率最高,均为 40%;28 ℃ 和 31 ℃ 求偶高峰期分别在次日 00:30 和 03:00,求偶率分别为 40% 和 30% (图 1-D)。

由图 2 可知,斜纹夜蛾求偶主要从暗期开启后 86 min 左右开始,在第 1 个暗期,19 ℃ 平均开始求偶时间最早,其次为 25 ℃,最晚为 28 ℃;在第 2 个暗期中,平均开始求偶时间最早为 19 ℃,其次为 22 ℃ 和 25 ℃,最晚为 31 ℃;在第 3 个暗期中,平均开始求偶时间最早为 19 ℃,其次为 25 ℃,最晚的为 22 ℃;在第 4 个暗期内,除 22 ℃ 外,其他平均开始求偶时间均有所延长,最早开始求偶温度为 19 ℃ 和 22 ℃,28 ℃ 和 31 ℃ 开始求偶时间较晚。

由图 3 可知,不同温度下斜纹夜蛾在 4 个暗期内的求偶持续时间为 56~156 min。在第 1 个暗期内,平均求偶持续时间在 56~110 min,其中 22 ℃ 求偶持续时间最短,25 ℃ 求偶持续时间最长;在第 2 个暗期内,求偶持续时间在 79~104 min,其中 31 ℃ 求偶持续时间最短,25 ℃ 求偶持续时间最长;在第 3 个暗期内,求偶持续时间在 64~105 min,其中 28 ℃ 求偶持续时间最短,25 ℃ 求偶持续时间最长;在第 4 个暗期内,求偶持续时间在 75~156 min,其中 19 ℃ 和 28 ℃ 求偶持续时间最短,25 ℃ 求偶持续时间最长。

由图 4 可知,4 个暗期平均求偶率分析显示,从第 1 暗期到第 4 暗期斜纹夜蛾的求偶率与暗期呈抛物线关系,在第 2 个暗期 5 个温度平均求偶率均达到高峰期。在第 1 个暗期 28 ℃ 平均求偶率最高,为 0.85;第 2 个暗期 25、28、31 ℃ 平均求偶率相同,均高达 1.00;第 3 个暗期 31 ℃ 平均求偶率最高,为 0.95;第 4 个暗期 25 ℃ 与 28 ℃ 求偶率并列第 1,均为 0.85。

2.1.2 交配节律 由图 5 可知,不同温度下各个暗期斜纹夜蛾交配节律与时间呈抛物线关系。在第 1 个暗期内,20:30 之前不存在交配行为,22 ℃ 和 31 ℃ 整体交配率较低,峰值均为 10%;其余 3 个温度交配高峰在 23:30 至次日 02:30,在 02:30 时,28 ℃ 交配率达到最高,为 35% (图 5-A)。在第 2



A、B、C、D 分别表示第 1、第 2、第 3、第 4 个暗期。图 5 同

图1 不同温度下斜纹夜蛾的求偶节律

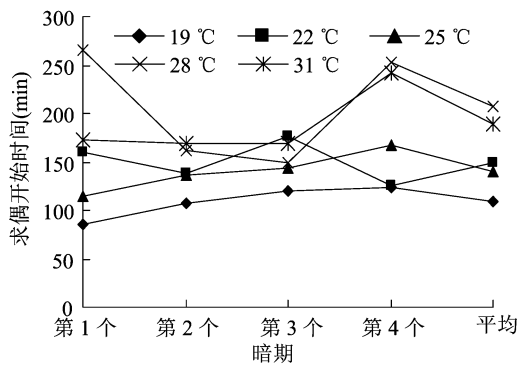


图2 不同温度下 4 个暗期内平均开始求偶时间

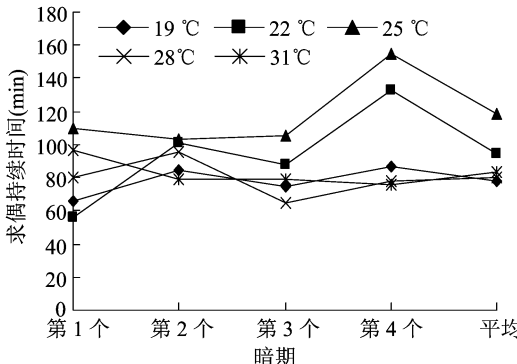


图3 不同温度下 4 个暗期内平均求偶持续时间

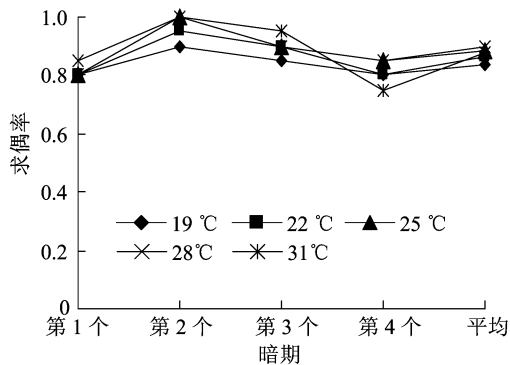


图4 不同温度下 4 个暗期内平均求偶率

在第 3 个暗期内, 交配高峰期集中在 01:00—03:00, 在 02:30 时, 25℃ 交配率最高, 达 40% (图 5 - C)。在第 4 个暗期内, 整体交配率较低, 求偶高峰期相对分散, 在 03:00 时, 19℃ 交配率最高, 仅为 25% (图 5 - D)。

由图 6 可知, 斜纹夜蛾平均开始交配时间在暗期开始后 188 ~ 384 min。第 1 个暗期内, 平均开始时间在 258 ~ 384 min, 除 22℃ 外, 其余平均开始时间集中在 275 min 前后; 第 2 个暗期内, 平均开始时间在 196 ~ 297 min, 其中 19℃ 平均开始时间最短, 其次为 31℃, 其余 3 个温度平均开始时间较为接

个暗期内, 交配高峰期集中在 02:00—03:30, 在 03:00 时, 25℃ 交配率最高, 达到 45% (图 5 - B)。

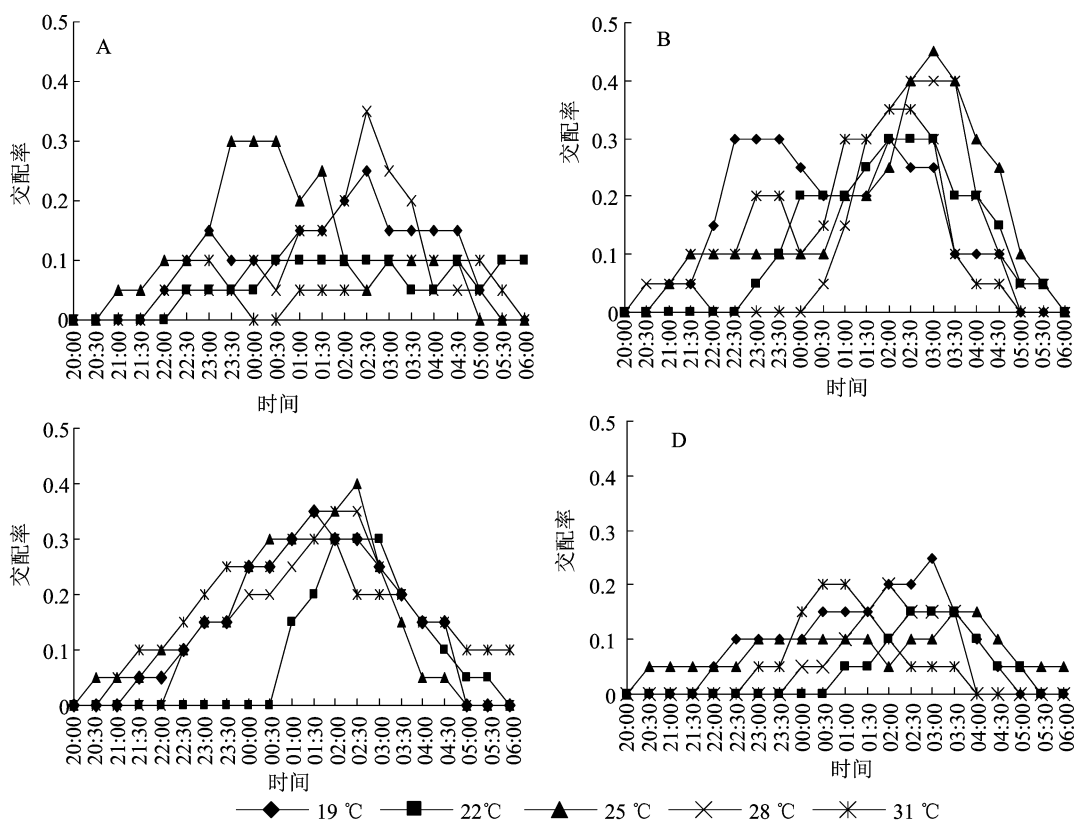


图5 不同温度下斜纹夜蛾的交配节律

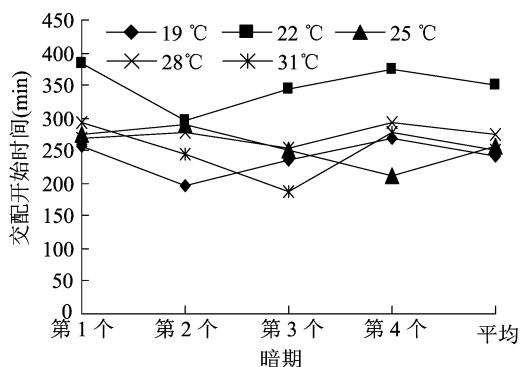


图6 不同温度下斜纹夜蛾 4 个暗期的平均开始交配时间

近;第3个暗期内,平均开始时间为188~345 min,其中31 °C平均开始时间最短,22 °C平均开始时间最长,其余3个温度较接近;第4个暗期内,平均开始时间在210~375 min,其中22 °C开始时间最晚,其余4个温度较为接近。

由图7可知,斜纹夜蛾平均交配时长在82~210 min。第1个暗期内,平均交配时长在82~156 min,其中31 °C平均时长最短,19 °C平均时长最长,其余3个温度较为接近;第2个暗期,平均交配时长在123~210 min,其中31 °C平均时长最短,25 °C平均时长最长,其余3个温度较为接近;第3个暗期,平均交配时长在108~206 min,其中22 °C平均

时长最短,31 °C平均时长最长,其余3个温度较为接近;第4个暗期,平均交配时长在105~180 min,其中28 °C平均时长最短,25 °C平均时长最长。

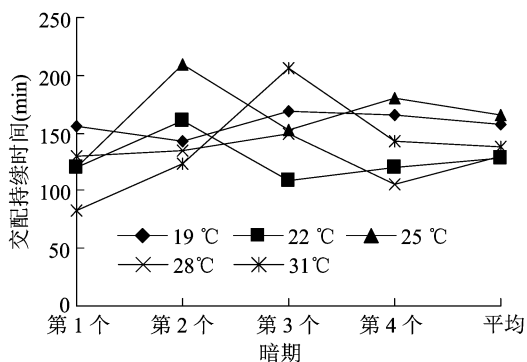


图7 不同温度下斜纹夜蛾 4 个暗期的平均持续交配时间

由图8可知,4个暗期平均交配率分析显示,从第1暗期到第4暗期斜纹夜蛾的交配率与暗期呈抛物线关系,除31 °C在第2个暗期内达到高峰期外,其余4个温度均第3个暗期内达到高峰期,在前3个暗期,28 °C交配率均明显高于其他温度,且平均交配率也最高。

2.1.3 交配姿势 由图9可知,斜纹夜蛾交配姿势为“一”字形或“V”字形,4个暗期2种交配姿势出现次数各不相同,第1、第4个暗期交配次数明显少

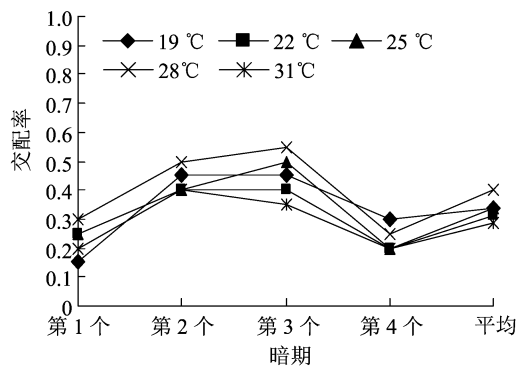


图8 不同温度下斜纹夜蛾 4 个暗期的交配率

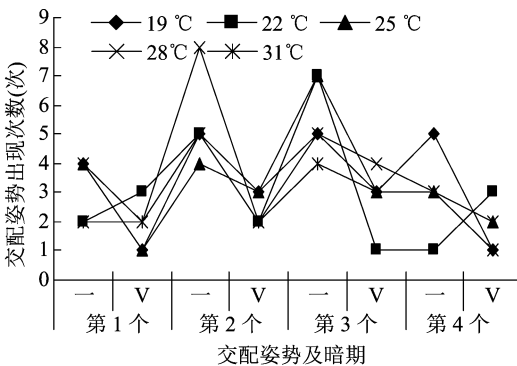


图9 各暗期内不同温度处理斜纹夜蛾交配姿势分布

于第2、第3个暗期。在第2个暗期中,28 °C 处理下“一”字形交配姿势出现最多,达8次;在第3个暗期中,28 °C 处理下“V”字形交配姿势出现次数最高,为4次。

由图 10 可知,4 个暗期交配姿势总出现次数分析显示,交配姿势“一”字形在 5 个温度处理中均明

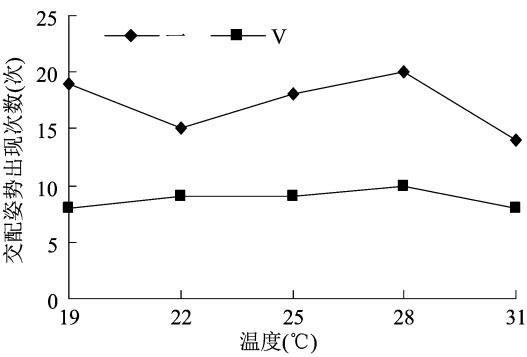


图10 不同温度下 2 种交配姿势出现的总次数

显高于交配姿势“V”字形。
2.1.4 求偶及交配行为 由表 1 可知,4 个暗期后,所有配对的斜纹夜蛾均发生求偶行为,19 °C 时斜纹夜蛾开始求偶时间最早,为暗期开始后的 109.16 min,显著早于 28 °C 和 31 °C ($P < 0.05$); 28 °C 时开始求偶时间最晚,为暗期开始后的 207.56 min,显著晚于 19、22、25 °C ($P < 0.05$),与 31 °C 较为接近。25 °C 下斜纹夜蛾平均求偶持续时间最长,显著长于 19、28、31 °C ($P < 0.05$),与 22 °C 较为接近。4 个暗期后,交配率最高的是 19 °C,为配对数的 90%,交配率最低的是 22 °C 和 31 °C,为配对数的 80%;22 °C 时平均开始交配时间最晚,为暗期开始后的 350.06min,显著晚于其余 4 个温度;在 22 °C 下,平均交配持续时间最短,为 127.50 min; 25 °C 时,平均交配持续时间最长,为暗期开始后的 165.75 min。

表 1 不同温度下斜纹夜蛾成虫求偶和交配时间及数量

温度 (°C)	求偶			交配		
	数量(对)	开始时间(min)	持续时间(min)	数量(对)	开始时间(min)	持续时间(min)
19	20	109.16 ± 16.96c	77.75 ± 9.74c	18	240.23 ± 16.11b	158.77 ± 6.04a
22	20	149.80 ± 22.70bc	94.69 ± 31.81ab	16	350.06 ± 19.78a	127.50 ± 11.55a
25	20	140.46 ± 21.93bc	118.29 ± 24.79a	17	256.68 ± 17.33b	165.75 ± 19.18a
28	20	207.56 ± 60.02a	79.84 ± 12.82c	17	273.79 ± 8.15b	130.00 ± 19.19a
31	20	188.42 ± 35.59ab	82.99 ± 9.54c	16	250.58 ± 23.05b	138.62 ± 19.20a

注:表中数据为“平均数 ± 标准误”;同列数据后不同小写字母表示经邓肯法检验在 0.05 水平差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 温度对斜纹夜蛾产卵节律的影响

由图 11 可知,4 个暗期内产卵率与暗期呈抛物线关系。第 1 个暗期内,仅 19 °C 和 28 °C 下存在产卵行为,产卵数均占总配对的 5%;第 2 个暗期内,有产卵行为的成虫数量大幅提高,25 °C 和 28 °C 产卵率最高,均占配对数的 25%,其他 3 个温度均为 20%;第 3 个暗期内,配对成虫产卵率达到 4 个暗期最高峰,其中 28 °C 产卵率最高,占总配对的 35%,

其次为 25 °C,占总配对的 30%;第 4 个暗期内,所有温度的产卵率均明显下降。

3 讨论与结论

温度是影响昆虫繁殖的重要因素,每种昆虫的生存都有最适温度,偏离最适温度过多,会对生长和繁殖产生不利影响^[15]。本研究表明,温度对斜纹夜蛾成虫的平均求偶和交配时间均有影响,但对求

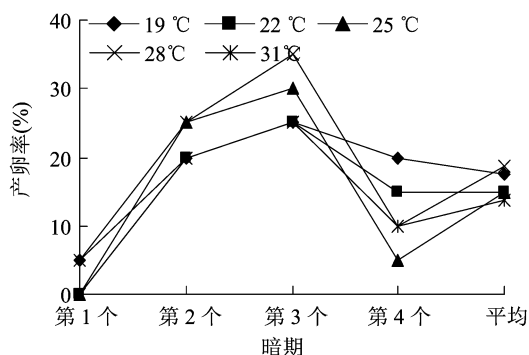


图11 不同温度下斜纹夜蛾4个暗期的产卵率

偶行为的影响大于交配行为。在 19 °C 下斜纹夜蛾平均开始求偶时间显著早于 28 °C 和 31 °C ($P < 0.05$); 28 °C 平均开始求偶时间最晚, 显著晚于 19、22、25 °C ($P < 0.05$)。求偶时间差异可能是斜纹夜蛾为应对低温等外界不利条件因素, 尽早开始繁殖行为。28 °C 时, 斜纹夜蛾平均交配率和产卵率最高, 繁殖能力最强, 因而开始求偶相对较晚。斜纹夜蛾与荔枝异形小卷蛾^[16]、番茄潜叶蛾^[17]、栎黄枯叶蛾^[18]最适繁育温度较为接近, 与小地老虎^[19]、枣镰翅小卷蛾^[20]和枣镰翅小卷蛾^[21]的最适繁殖温度差别较大。

鳞翅目昆虫求偶和交配行为通常具有明显的时间节律, 本研究初步明确了斜纹夜蛾的求偶和交配节律。斜纹夜蛾求偶高峰期多集中在 21:00—23:00, 求偶高峰期与蓂裳夜蛾^[22]、杨小舟蛾^[23]差距较大, 与草地贪夜蛾^[24]接近。斜纹夜蛾交配高峰期多数集中在 01:00—03:30, 与栎黄枯叶蛾^[25]交配高峰期较接近, 晚于桐花树毛颚小卷蛾^[26]和榆木蠹蛾^[27]。

本研究发现斜纹夜蛾交配和产卵高峰期为 3 ~ 4 日龄, 在 3 日龄时斜纹夜蛾求偶行为和交配行为均达到高峰, 这可能与雌蛾性激素的合成有关。其他鳞翅目昆虫有类似特性, 但具体高峰期存在差异。同样是 3 日龄达到高峰期的巢螟、杨小舟蛾和舞毒蛾, 发展历程也不尽相同。何月秋等研究表明, 樟巢螟成虫交配从 2 日龄开始剧增, 在 3 日龄时达到顶峰^[28]; 陈琳等研究表明, 杨小舟蛾交配率在 1 ~ 3 日龄逐渐递增, 到 3 日龄达到高峰期^[23]。Tang 等研究表明, 舞毒蛾雌蛾性激素合成量在 1 ~ 3 日龄时逐日增加, 3 日龄后又逐日降低^[29]; 刘芸等研究发现, 小菜蛾的产卵高峰期为产卵后的第 3 日 (即 4 日龄)^[30]。

本研究在室内限定条件下, 初步研究了温度对斜纹夜蛾求偶、交配、产卵等繁殖行为的影响, 将研

究成果与常见蛾类害虫进行比较, 结果表明不同蛾类害虫繁殖行为存在一定差异, 在斜纹夜蛾防控中不能盲目照搬其他类群已有经验。该研究成果将有助于预测斜纹夜蛾田间繁殖动态, 为制定防控措施提供科学指导。

参考文献:

- [1] Mallikarjuna N, Kranthi K R, Jadhav D R, et al. Influence of foliar chemical compounds on the development of *Spodoptera litura* (Fab.) in interspecific derivatives of groundnut [J]. Journal of Applied Entomology, 2004, 128 (5): 321–328.
- [2] 武承旭, 杨茂发, 姚苗苗, 等. 斜纹夜蛾雌雄配后成虫活动行为节律及时间分配[J]. 植物保护学报, 2016, 43 (6): 979–985.
- [3] 罗成, 应盛华, 冯明光. 球孢白僵菌对斜纹夜蛾高毒菌株筛选与制剂的研发[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (2): 188–196.
- [4] 桑松, 王政, 齐江卫, 等. 斜纹夜蛾抗药性研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (6): 808–814.
- [5] 秦厚国, 汪笃栋, 丁建, 等. 斜纹夜蛾寄主植物名录[J]. 江西农业学报, 2006, 18 (5): 51–58.
- [6] 涂小云, 夏勤雯, 陈超, 等. 中国亚洲玉米螟发育历期的地理变异[J]. 生态学报, 2015, 35 (2): 324–332.
- [7] 陈瑜, 马春森. 气候变暖对昆虫影响研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30 (8): 2159–2172.
- [8] Raza M M, Khan M A, Arshad M, et al. Impact of global warming on insects[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2015, 48 (1): 84–94.
- [9] 张鹤, 林进添. 昆虫对全球气候变暖的响应[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (6): 1280–1286.
- [10] Deutsch C A, Tewksbury J J, Huey R B, et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105 (18): 6668–6672.
- [11] Hódar J, Zamora R. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species[J]. Biodiversity & Conservation, 2004, 13 (3): 493–500.
- [12] 徐川峰, 骆丹, 殷立新, 等. 温度对樟叶蜂生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60 (10): 1216–1225.
- [13] 李艳红, 成巨龙, 张南, 等. 高、低温处理对斜纹夜蛾生长发育、存活及耐寒性的影响[J]. 植物保护学报, 2014, 41 (4): 501–508.
- [14] 秦厚国, 叶正襄, 丁建, 等. 温度对斜纹夜蛾发育、存活及繁殖的影响[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10 (3): 76–79.
- [15] 王蕾, 张怡婷, 张圣新, 等. 环境条件对伸展摇蚊实验种群繁育的影响[J]. 生态学报, 2017, 37 (21): 7152–7160.
- [16] 赵志刚, 王晨彬, 王欢, 等. 温度对荔枝异形小卷蛾发育和繁殖的影响[J]. 生态学报, 2019, 39 (7): 2626–2633.
- [17] 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.
- [18] 刘永华, 阎雄飞, 温冬梅, 等. 温度对栎黄枯叶蛾生长发育及繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2016, 59 (3): 309–315.

里程辉,王 杰,王 宏,等. 淹水胁迫下不同中间砧对岳华苹果叶片和根系抗氧化酶、非酶类抗氧化物活性的影响[J]. 江苏农业科学,2022, 50(11):130-135.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.018

淹水胁迫下不同中间砧对岳华苹果叶片和根系 抗氧化酶、非酶类抗氧化物活性的影响

里程辉,王 杰,王 宏,于年文,宋 哲,张秀美,李宏建,韩丽红

(辽宁省果树科学研究所,辽宁营口 115009)

摘要:以一年生盆栽岳华/辽砧 2 号/山荆子、岳华/GM256/山荆子、岳华/77-34/山荆子和岳华/山荆子为试验材料,研究在持续淹水胁迫下,不同中间砧对岳华叶片和根系抗氧化酶、非酶类抗氧化物活性的影响。结果表明:在整个淹水过程中,各砧穗组合叶片和根系中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性和游离脯氨酸含量先上升后下降,说明树体通过提高保护酶活性和非酶类抗氧化物含量来抵抗氧化胁迫和增加渗透调节;各组合的保护酶活性和游离脯氨酸含量在淹水后 7~14 d 出现差异,且淹水后 7 d 岳华/GM256/山荆子显著高于其他组合,辽砧 2 号组合最低。在淹水后 7~14 d,GM256 作为中间砧抗淹水能力最强,建议在降水量较多的辽宁丹东、大连等地优先考虑该组合。

关键词:岳华苹果;中间砧;淹水;抗逆性酶;抗氧化物

中图分类号:S661.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)11-0130-06

涝害是苹果在生长发育过程中受到的非生物胁迫之一。植物根系长期浸泡在水中,会产生乙醇等有害物质,并且 O_2 亏缺, CO_2 和乙烯等过剩会使

植物缺氧受害^[1-5]。近几年,苹果的矮化密植栽培方式因其产量高、品质优、早果早产、生产管理方便等优点,已成为我国苹果产业的发展方向和趋势^[6]。岳华(寒富×岳帅)是由辽宁省果树科学研究所杂交选育的苹果新品种,该品种在冷凉地区发展比寒富苹果更有优势^[7],并且近几年发展迅速;辽砧 2 号(助列涅特×M9,引自辽宁省果树科学研究所)、GM256(红海棠×M9,引自吉林省农业科学院果树研究所)、77-34(M9×小黄海棠,引自辽宁省果树科学研究所)是 3 种适合在冷凉地区栽培的矮化、半矮化砧木,以山定子为基础,这 3 种砧木为

收稿日期:2019-08-07

基金项目:科技特派行动专项(编号:2021JH5/10400029);民生科技计划(编号:2021JH2/10200025);国家苹果产业技术体系熊岳综合试验站项目(编号:CARS-27)。

作者简介:里程辉(1984—),男,辽宁海城人,硕士,副研究员,从事苹果栽培与生理研究工作。E-mail:lnlichenghui@163.com。

通信作者:王 杰,助理研究员,从事果树栽培与生理研究工作。E-mail:ln_wangjie@163.com。

[19]向玉勇,刘同先,张世泽. 温湿度、光照周期和寄主植物对小地老虎求偶及交配行为的影响[J]. 植物保护学报,2018,45(2): 235-242.

[20]韩桂彪,杜家纬,胡 萃,等. 环境温度和光周期对枣镰翅小卷蛾求偶活动及性信息素释放的影响[J]. 林业科学,1999,35(2):75-81.

[21]张 锋,洪 波,景仰平,等. 无公害粘虫胶在枣镰翅小卷蛾防治中的应用[J]. 西北园艺(综合),2021(5):61-63.

[22]郑海霞,阎 毅,张金桐,等. 蓑蛾夜蛾成虫生物学与性趋向[J]. 林业科学,2014,50(12):87-93.

[23]陈 琳,王广利,魏洪义. 杨小舟蛾的羽化和生殖行为节律[J]. 应用生态学报,2014,25(8):2425-2430.

[24]田太安,刘健锋,于晓飞,等. 不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响[J]. 植物保护学报,2020,47(4):822-830.

[25]刘永华,阎雄飞,章一巧,等. 栎黄枯叶蛾羽化及生殖行为研究[J]. 应用昆虫学报,2013,50(5):1253-1259.

[26]常明山,文 娟,蒋学建,等. 桐花树毛颚小卷蛾成虫求偶及交配行为观测[J]. 林业科技开发,2015,29(5):143-145.

[27]杨美红,张金桐,刘金龙,等. 榆木蠹蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律[J]. 昆虫学报,2010,53(11):1273-1280.

[28]何月秋,秦元霞,王志龙. 樟巢螟成虫的交配和产卵行为[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(4):167-170.

[29]Tang J D, Charlton R E, Cardé R T, et al. Diel periodicity and influence of age and mating on sex pheromone titer in gypsy moth, *Lymantria dispar* (L.)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1992, 18(5):749-760.

[30]刘 芸,阮传清,刘 波,等. 温度对小菜蛾成虫繁殖和寿命的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(12):190-193.