

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

向玉勇^{1,2} 刘同先¹ 张世泽^{1*}

(1. 西北农林科技大学旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 滁州学院生物与食品工程学院, 安徽 滁州 239000)

摘要: 为了解温度、光照周期、相对湿度及寄主植物对小地老虎求偶及交配的影响, 采用直接观察法研究这些因子对小地老虎求偶及交配的影响。结果表明, 温度为 25℃ 时, 小地老虎的求偶次数、交配次数最多, 求偶率、交配率最高, 求偶起始时间最短, 求偶持续时间、单次交配持续时间最长, 分别为 6.83 次、1.78 次、86.21%、82.32%、311.35 min、65.46 min、43.53 min, 高于或低于 25℃ 会抑制求偶及交配; 光照周期为 6 h: 18 h 时, 小地老虎的求偶次数、交配次数最多, 求偶率、交配率最高, 求偶起始时间、求偶持续时间、单次交配持续时间最长, 分别为 8.45 次、2.42 次、93.62%、90.63%、347.41 min、86.83 min、60.33 min, 光照周期延长会抑制求偶及交配; 湿度为 55% 时, 小地老虎的求偶次数、交配次数最少, 求偶率、交配率最低, 求偶起始时间最长, 求偶持续时间、单次交配持续时间最短, 分别为 4.41 次、1.34 次、72.65%、70.45%、325.78 min、53.45 min、31.34 min, 湿度升高会促进求偶及交配; 放玉米叶片时, 小地老虎的求偶次数、交配次数最多, 求偶率、交配率最高, 求偶起始时间最短, 求偶持续时间、单次交配持续时间最长, 分别为 8.87 次、2.73 次、95.32%、93.26%、262.42 min、85.52 min、64.67 min。

关键词: 小地老虎; 求偶行为; 交配行为; 环境因子

Effects of temperature, humidity, photoperiod and host plants on the calling and mating behavior of female moths of black cutworm *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel)

Xiang Yuyong^{1,2} Liu Tongxian¹ Zhang Shize^{1*}

(1. State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Northwest A&F University, Yangling 712100,

Shaanxi Province, China; 2. School of Biology and Food Engineering, Chuzhou University,

Chuzhou 239000, Anhui Province, China)

Abstract: To understand the effects of temperature, photoperiod, relative humidity and host plants on the calling and mating behavior of female moths of black cutworm *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel), the effects of these factors on the calling and mating behavior of female moths of *A. ipsilon* were studied in the laboratory with direct observation method. The results showed that, at 25℃, the moths had the most calling bouts, the most mating bouts, the highest calling percentage, the highest mating percentage, the shortest onset time of calling, the longest calling duration time, and the longest mating duration time per bouts, which were 6.83 bouts, 1.78 bouts, 86.21%, 82.32%, 311.35 min, 65.46 min and 43.53 min, respectively. At lower or higher temperatures than 25℃, it would prevent the calling and mating behavior of female moth of *A. ipsilon*. Under the photoperiod of 6 h: 18 h, the moth had the most calling bouts,

the most mating bouts, the highest calling percentage, the highest mating percentage, the longest onset time of calling, the longest calling duration time, and the longest mating duration time per bouts, which were 8.45 bouts, 2.42 bouts, 93.62%, 90.63%, 347.41 min, 86.83 min and 60.33 min, respectively. With the extending of photoperiods, it would prevent the calling and mating behavior of *A. ipsilon*. Under the relative humidity of 55%, the moths had the fewest calling bouts, the fewest mating bouts, the lowest calling percentage, the lowest mating percentage, the longest onset time of calling, the shortest calling duration time, and the shortest mating duration time per bouts, which were 4.41 bouts, 1.34 bouts, 72.65%, 70.45%, 325.78 min, 53.45 min and 31.34 min, respectively. With the increase of relative humidity, the calling and mating behaviors of *A. ipsilon* were promoted. With the existence of corn leaves, the moths had the most calling bouts, the most mating bouts, the highest calling percentage, the highest mating percentage, the shortest onset time of calling, the longest calling duration time, and the longest mating duration time per bouts, which were 8.87 bouts, 2.73 bouts, 95.32%, 93.26%, 262.42 min, 85.52 min and 64.67 min, respectively.

Key words: *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel); calling behavior; mating behavior; environmental factor

小地老虎 *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel) 属于鳞翅目夜蛾科, 别名土蚕、地蚕、黑土蚕、黑地蚕、地剪、切根虫等, 是一种世界性的农业害虫, 在非洲、亚洲、欧洲、北美洲和南美洲均有分布 (Rings et al., 1974; Clement et al., 1982)。该虫食性杂, 可取食棉花、瓜类、豆类、禾谷类、麻类、甜菜、烟草等 100 多种作物 (李永禧, 1964)。由于长期使用化学农药, 小地老虎已对许多化学农药产生了较高水平抗性 (杨建全等, 2000), 并且小地老虎又具有迁飞习性, 防治难度大。因此, 探索和开发新的有效防治小地老虎的方法已成为必然。

利用昆虫性信息素诱杀害虫或干扰害虫的求偶和交配是一种新型无公害的防治技术, 已用于防治多种农林害虫 (Cook et al., 2007; 肖留斌等, 2010; Islam, 2012)。求偶和交配是两性生殖昆虫的重要生理活动, 对昆虫种群繁衍有重要意义。在长期的进化过程中, 不同种类昆虫形成了多样化的求偶及交配行为 (Miyatake, 1997)。已有研究表明, 昆虫的求偶及交配行为除受其内部生理因素影响外, 还受温度、光照、湿度、寄主植物等环境因子的影响 (Hanks, 1999)。掌握昆虫求偶和交配行为以及影响因素是性信息素应用的前提和基础 (Curkovic et al., 2006), 许多学者对此进行了研究, 涉及二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) (焦晓国等, 2006)、甘薯天蛾 *Agrius convolvuli* (Linnaeus) (蒋智林等, 2009)、豇豆荚螟 *Maruca vitrata* Fabricius (温衍生等, 2009)、大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly (匡先钜等, 2010)、葡萄十星瓢萤叶甲 *Oides decempunctata* (Billberg) (孙计拓等, 2012)、东亚飞蝗 *Locusta migratoria ma-*

nilensis (Meyen) (涂雄兵等, 2011)、小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus) (闫喜中等, 2014)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) (闫硕等, 2014)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) (王甦等, 2014) 等多种昆虫。这些研究表明, 昆虫种类不同, 环境因子变化引起的昆虫求偶及交配行为变化不尽一致, 广泛地开展各种环境因子对不同昆虫求偶及交配行为的影响对深入探讨环境因子的影响机制及昆虫性信息素防控技术具有重要意义。

目前关于环境因子对昆虫求偶及交配行为的影响已有较多研究, 但环境因子对小地老虎求偶及交配行为的影响还未见相关报道。向玉勇和杨茂发 (2008) 已对小地老虎的交配行为进行了观察, 本试验在前期观察的基础上研究温度、光照周期、湿度等气候因子和寄主植物对其求偶及交配行为的影响, 以期明确环境因子对小地老虎求偶及交配行为的影响机制及为性信息素防控技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫: 小地老虎幼虫采集于贵州省遵义市乐山烟叶种植基地, 在智能人工气候箱中饲养多代。人工气候箱的光照周期 L:D 为 14 h: 10 h、温度为 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(70 \pm 7)\%$ 。幼虫 3 龄前在玻璃缸内小量群养, 3 龄后转入玻璃瓶中单头饲养, 在瓶内装约 5 cm 的砂壤土, 用纱布封住瓶口。每日用新鲜的白菜叶片饲养幼虫, 化蛹后将纱布换成保鲜膜, 保持土壤湿度。逐日检查羽化情况, 把同日羽化的雌雄成虫分别放于 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 养虫笼

内,并喂 10% 的蔗糖水,待用。

供试植物:玉米品种为商都农禾 518,种子购于河南省新乡县富民种业有限公司;棉花品种为新陆中 33 号,种子购于新疆富全新科种业有限公司;花生品种为山花 1 号,种子购于山东圣丰种业科技有限公司;白菜品种为北京新三号,种子购于山东省临朐县天和种业有限公司;芹菜品种为国美西芹-加州王,种子购于山东寿光丽林种业有限公司;辣椒品种为真爱 2 号,种子购于北京捷丽亚种业有限公司。

仪器:RXZ-288A 型智能人工气候箱,宁波江南仪器制造厂。

1.2 方法

1.2.1 温度对小地老虎求偶及交配行为的影响

根据前期的研究,发现 25℃ 左右是小地老虎种群生长发育和繁殖的最适温度(向玉勇等,2009a),设置 16、19、22、25、28、31 和 34℃ 共 7 个温度处理,取当天羽化的小地老虎雌雄蛾 1 对,放入 1 000 mL 的烧杯中,用棉花蘸 10% 的蔗糖水补充营养,杯口用纱布封住,然后放入光照周期 L:D 为 14 h:10 h、相对湿度为(70±7)%的人工气候箱中。在整个暗期每隔 10 min 用红光手电筒观察雌蛾的求偶与交配情况,雌蛾求偶行为以雌虫不停振动翅膀,产卵器外伸为标准,明显的产卵行为不计为求偶,成功的交配行为是以雄蛾和雌蛾尾部交合,且成“一”字型为标准。详细记录雌蛾的求偶起始时间(暗期开始到第 1 次求偶开始的时间)、结束时间(暗期开始到求偶结束的时间)、求偶次数以及交配开始时间(暗期开始到交配开始的时间)和终止时间(暗期开始到交配结束的时间)。成虫自然死亡后,在解剖镜下检查受精囊中的精苞数,记录交配次数。每个温度下观察 20 对雌雄蛾在整个成虫期的求偶与交配行为,试验重复 4 次。按照公式计算求偶率、单次求偶持续时间、求偶持续时间、交配率、单次交配持续时间(Ming et al., 2007)。求偶率=求偶雌蛾数/雌蛾总数×100%;单次求偶持续时间=求偶结束时间-求偶开始时间;求偶持续时间=各单次求偶持续时间相加;交配率=交配雌蛾数/雌蛾总数×100%;单次交配持续时间=交配结束时间-交配开始时间。

1.2.2 光照周期对小地老虎求偶及交配行为的影响

小地老虎的求偶及交配行为均发生在晚上,因此设置 L:D 为 6 h:18 h、10 h:14 h、14 h:10 h、18 h:6 h 和 22 h:2 h 共 5 个光照周期,取当天羽化的小地老虎雌雄蛾 1 对,放入 1 000 mL 的烧杯中,喂 10% 的蔗糖水,杯口用纱布封住,然后放入温度为 25±1℃、

相对湿度为(70±7)%的人工气候箱中,观察雌雄蛾的求偶与交配情况,每个光照周期下观察 20 对雌雄蛾,试验重复 4 次。观察方法和求偶率、单次求偶持续时间、求偶持续时间、交配率、单次交配持续时间等计算公式同 1.2.1。

1.2.3 湿度对小地老虎求偶及交配行为的影响

根据小地老虎喜欢生活在潮湿的环境中,设置 55%、70%、85% 共 3 个相对湿度,取当天羽化的小地老虎雌雄蛾 1 对,放入 1 000 mL 的烧杯中,喂 10% 的蔗糖水,杯口用纱布封住,然后放入光照周期 L:D 为 14 h:10 h、温度为 25±1℃的人工气候箱中,观察雌雄蛾的求偶与交配情况,每个湿度下各观察 20 对雌雄蛾,试验重复 4 次。观察方法和求偶率、单次求偶持续时间、求偶持续时间、交配率、单次交配持续时间等计算公式同 1.2.1。

1.2.4 寄主植物对小地老虎求偶及交配行为的影响

取玉米、棉花、花生、白菜、芹菜、辣椒 6 种寄主植物的叶片,用打孔器打取直径为 15 mm 的小叶碟,分别放在 1 000 mL 的烧杯中,铺满烧杯底部,每个烧杯中各放入当天羽化的小地老虎雌雄蛾 1 对,用 10% 的蔗糖水补充营养,杯口用纱布封住,然后放入光照周期 L:D 为 14 h:10 h、温度为 25±1℃、相对湿度为(70±7)%的人工气候箱中,观察雌雄蛾的求偶与交配情况。每天及时更换叶片,每种植物观察 20 对雌雄蛾,对照组不放任何植物叶片,试验重复 4 次。观察方法和求偶率、单次求偶持续时间、求偶持续时间、交配率、单次交配持续时间等计算公式同 1.2.1。

1.2.5 求偶及交配行为的回归分析和相关性分析

根据小地老虎求偶及交配行为随温度呈曲线变化的趋势,采用 Regression-Curve Estimation 进行回归分析,拟合求偶次数 y_1 、求偶率 y_2 、求偶起始时间 y_3 、求偶持续时间 y_4 、交配次数 y_5 、交配率 y_6 、单次交配持续时间 y_7 与温度 x 的回归方程,分别求出 R 值及最适温度;而求偶及交配行为与光照周期、湿度呈直线变化趋势,采用 Correlate Bivariate 进行相关性分析。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 11.5 统计软件进行处理,应用 One-Way ANOVA 进行方差分析,用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同温度下小地老虎求偶及交配行为

不同温度下小地老虎的求偶及交配行为差异显著(表 1)。温度为 25℃ 时,小地老虎的求偶次数最

多,求偶率最高,求偶起始时间最短,求偶持续时间最长,单次交配持续时间最长,交配次数最多,交配率最高,其值分别为 6.83 次、86.21%、311.35 min、65.46 min、43.53 min、1.78 次和 82.32%,且前 5 者与其它温度之间差异显著 ($P<0.05$)。高于或低于 25℃,求偶次数、求偶率、交配次数和交配率均下降,求偶起始时间延长,求偶持续时间和单次交配持续时间缩短(表 1)。对不同温度下小地老虎的求偶及交配行为的变化趋势进行回归分析,小地老虎的求偶次数、求偶率、求偶起始时间、求偶持续时间、交配次数、交配率、单次交配持续时间与温度的回归模型分别为 $y_1=0.0006x^3-0.0981x^2+3.5926x-32.679$ ($R=$

0.9647)、 $y_2=-0.0084x^3+0.132x^2+9.4142x-104.81$ ($R=0.9833$)、 $y_3=0.0302x^3-1.2637x^2+4.9826x+521.93$ ($R=0.9667$)、 $y_4=-0.002x^3-0.2725x^2+17.23x-171$ ($R=0.9669$)、 $y_5=-0.002x^3+0.0078x^2+0.0212x-0.366$ ($R=0.9689$)、 $y_6=-0.0017x^3-0.2505x^2+15.509x-127.69$ ($R=0.9786$)、 $y_7=-0.0013x^3-0.2438x^2+14.478x-151.9$ ($R=0.9669$)。利用模型得出小地老虎求偶次数最多、求偶率最高、求偶起始时间最短、求偶持续时间最长、交配次数最多、交配率最高、单次交配持续时间最长的温度为 23.29、25.26、23.13、24.83、23.59、24.73 和 24.78℃,与试验结果较吻合,表明 23~25℃适宜小地老虎求偶和交配,与其只在春天暴发相一致。

表 1 不同温度下小地老虎求偶及交配行为

Table 1 The calling and mating behaviors of female moth of *Agrotis ipsilon* under different temperatures

温度 (℃) Temperature	求偶次数 Calling bout	求偶率 (%) Calling percentage	求偶起始时间 (min) Onset time of calling	求偶持续时间 (min) Calling duration time	交配次数 Mating bout	交配率 (%) Mating percentage	单次交配持续时间 (min) Mating duration time per bout
16	2.52±0.18 e	46.73±1.66 d	397.63±4.67 ab	28.79±1.98 d	1.12±0.08 bc	50.73±2.59 de	13.68±1.82 d
19	4.24±0.25 c	60.47±0.94 c	375.24±6.04 bc	40.68±3.08 c	1.31±0.21 abc	62.39±1.31 bc	23.45±1.51 c
22	5.47±0.20 b	75.65±1.35 b	345.78±3.60 d	54.12±3.91 b	1.54±0.19 ab	73.47±1.93 ab	34.23±0.85 b
25	6.83±0.24 a	86.21±1.19 a	311.35±5.28 e	65.46±2.97 a	1.78±0.18 a	82.32±2.81 a	43.53±1.92 a
28	4.89±0.32 bc	77.43±1.26 b	336.51±8.82 d	53.63±1.86 b	1.62±0.12 ab	71.55±3.59 abc	33.34±3.41 b
31	3.34±0.19 d	58.64±1.92 c	369.38±7.07 c	39.14±2.58 c	1.25±0.17 abc	60.46±8.71 cd	22.47±1.29 c
34	1.67±0.32 f	38.49±0.94 e	411.82±4.66 a	24.86±1.44 d	0.93±0.13 c	45.25±1.56 e	10.59±1.76 d

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。光照周期 L:D = 14 h:10 h,相对湿度为 (70±7)%。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. Photoperiod L:D is 14 h:10 h; relative humidity is (70±7)%.

2.2 不同光照周期下小地老虎求偶及交配行为

不同光照周期下小地老虎的求偶及交配行为差异显著(表 2)。在光照周期为 6 h:18 h 时,小地老虎的求偶次数最多,求偶率最高,求偶起始时间最长,求偶持续时间最长,交配次数最多,交配率最高,单次交配持续时间最长,其值分别为 8.45 次、93.62%、347.41 min、86.83 min、2.42 次、90.63%、60.33 min,与 14 h:10 h、18 h:6 h、22 h:2 h 光照周期差异显著 ($P<0.05$)。随着光照周期的延长,小地老虎的求偶次数、求偶率、交配次数和交配率均下降,求偶起始时间、求偶持续时间和单次交配持续时间均缩短。在 22 h:2 h 的光照周期下,求偶次数、求偶率、求偶起始时间、求偶持续时间、交配次数、交配率、单次交配持续时间分别为 1.73 次、36.51%、50.38 min、34.17 min、0.87 次、37.53%、16.57 min,分别比 6 h:18 h 时显著下降了 79.53%、57.11%、85.50%、60.65%、64.05%、53.10%、72.53%(表 2)。

相关性分析表明,小地老虎的求偶次数、求偶率、求偶起始时间、求偶持续时间、交配次数、交配率及单次交配持续时间与光照周期呈显著负相关,相关系数 R 分别为 -0.9643、-0.9216、-0.9298、-0.9949、-0.9953、-0.9160 和 -0.9919。

2.3 不同湿度下小地老虎求偶及交配行为

不同湿度下小地老虎的求偶及交配行为差异显著(表 3)。在 55% 湿度下,小地老虎的求偶次数最低、求偶率最低、求偶起始时间最长、求偶持续时间最短、交配次数最低、交配率最低、单次交配持续时间最短,其值分别为 4.41 次、72.65%、325.78 min、53.45 min、1.34 次、70.45%、31.34 min。随着湿度的增加,小地老虎的求偶次数、求偶率、交配次数和交配率均增加,求偶起始时间缩短,求偶持续时间和单次交配持续时间均延长。在 85% 的湿度下,求偶次数、求偶率、交配次数、交配率,分别为 9.31 次、96.32%、2.36 次、93.63%,分别比 55% 湿度时增加了

111.11%、23.67%、76.12%、23.18%；求偶起始时间为286.43 min,缩短了12.08%；求偶持续时间和单次交配持续时间分别为80.67 min和54.71 min,分别延长了50.93%和74.57%(表3)。

相关性分析表明,小地老虎的求偶次数、求偶

率、求偶持续时间、交配次数、交配率及单次交配持续时间与湿度呈显著正相关性,相关系数 R 分别为0.9996、0.9959、0.9967、0.9839、0.9985、0.9999,求偶起始时间与湿度呈显著负相关性,相关系数 R 为-0.9878。

表2 不同光照周期下小地老虎求偶及交配行为
Table 2 The calling and mating behaviors of female moth of *Agrotis ipsilon* under different photoperiods

光照周期 Photoperiod	求偶次数 Calling bout	求偶率 (%) Calling percentage	求偶起始时间 (min) Onset time of calling	求偶持续时间 (min) Calling duration time	交配次数 Mating bout	交配率 (%) Mating percentage	单次交配持续时间 (min) Mating duration time per bout
6 h:18 h	8.45±0.13 a	93.62±0.80 a	347.41±12.73 a	86.83±3.18 a	2.42±0.12 a	90.63±2.94 a	60.33±3.15 a
10 h:14 h	7.21±0.09 b	90.45±1.56 a	325.12±13.72 ab	75.20±2.10 b	2.11±0.16 ab	87.41±1.84 ab	51.45±1.86 b
14 h:10 h	6.79±0.24 b	86.52±1.19 b	311.55±5.28 b	65.71±2.97 c	1.82±0.18 bc	82.47±2.81 b	43.72±1.92 c
18 h:6 h	4.15±0.16 c	65.43±1.22 c	175.64±7.18 c	50.23±3.21 d	1.35±0.12 c	67.59±1.25 c	30.89±1.99 d
22 h:2 h	1.73±0.14 d	36.51±0.63 d	50.38±5.81 d	34.17±0.99 e	0.87±0.13 d	37.53±4.15 d	16.57±1.29 e

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。温度为25℃,相对湿度为(70±7)%。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. Temperature is 25℃; relative humidity is (70±7)%.

表3 不同相对湿度下小地老虎求偶及交配行为
Table 3 The calling and mating behaviors of female moth of *Agrotis ipsilon* under different relative humidities

相对湿度 Relative humidity (%)	求偶次数 Calling bout	求偶率 (%) Calling percentage	求偶起始时间 (min) Onset time of calling	求偶持续时间 (min) Calling duration time	交配次数 Mating bout	交配率 (%) Mating percentage	单次交配持续时间 (min) Mating duration time per bout
55	4.41±0.15 c	72.65±2.48 c	325.78±6.48 a	53.45±1.81 b	1.34±0.18 b	70.45±2.64 c	31.34±1.81 c
70	6.73±0.24 b	86.33±1.19 b	311.47±5.28 a	65.14±2.97 b	1.69±0.18 b	83.13±2.81 b	42.87±1.92 b
85	9.31±0.38 a	96.32±3.54 a	286.43±3.3 b	80.67±5.98 a	2.36±0.11 a	93.63±1.91 a	54.71±2.47 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。温度为25℃,光照周期L:D=14 h:10 h。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. Temperature is 25℃; photoperiod L:D is 14 h:10 h.

2.4 不同寄主植物下小地老虎求偶及交配行为

寄主植物对小地老虎的求偶及交配行为具有促进作用(表4)。与对照相比,放玉米、棉花、花生、白菜、芹菜、辣椒叶片后,小地老虎的求偶次数、求偶率、交配次数和交配率均增加,求偶起始时间缩短,求偶持续时间和单次交配持续时间延长。当寄主植物存在时,求偶次数($F=31.753$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.001$)、求偶起始时间($F=10.538$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.001$)以及单次交配持续时间($F=8.566$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.001$)与对照差异显著,交配率($F=1.425$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P=0.273$)与对照差异不显著。除白菜、芹菜和辣椒外,其它植物下的求偶率($F=2.750$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P=0.056$)与对照差异显著。除白菜外,其它植物下的求偶持续时间($F=6.015$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P=0.003$)和交配次数($F=8.758$, $df_1=6$, $df_2=14$, $P<0.001$)

与对照差异显著。其中,放玉米叶片后,小地老虎求偶次数和交配次数最多,求偶率和交配率最高,求偶起始时间最短,求偶持续时间和单次交配持续时间最长,其值分别为8.87次、2.73次、95.32%、93.26%、262.42 min、85.52 min和64.67 min,除交配率外均与对照差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

求偶和交配是昆虫完成生殖行为的必要环节,其表现方式和程度受多种生态因子的影响,温度是主要影响因子之一。本研究表明,小地老虎求偶和交配的适宜温度是25℃,高于或者低于25℃,小地老虎的求偶及交配会具有抑制,这与小地老虎在春季暴发的环境温度相适应。其它昆虫也存在类似情况,如二化螟在28~31℃时的交配率最高,高于31℃

则交配率随温度升高而降低,交配起始时间随温度升高而延迟,交配持续时间随温度升高而缩短(Kanno & Sato, 1979);温衍生等(2009)研究表明,豇豆荚螟雌雄蛾交配的适宜温度为22℃,高于或低于22℃,其交配率均下降;孙计拓等(2012)研究表明,当温度为25℃时,葡萄十星瓢萤叶甲每日耗费在交配中的总时间达到最大,过高或过低的温度均会抑制交配;当温度为22℃时,交配持续时间最长,当温

度28℃时,交配持续时间最短,且随着温度的升高而缩短;闫喜中等(2014)报道,小菜蛾交配的最适温度为25℃,高温和低温均会抑制其成虫的交配率,延迟其交配高峰,这可能是高温或低温抑制了雌虫性信息素的正常产生与释放(向玉勇等,2009b),也可能是高温或低温抑制了雄虫精子及生殖附腺的发育(王荫长等,1996),从而引起雌雄虫求偶及交配能力下降。

表4 不同寄主植物下小地老虎求偶及交配行为

Table 4 The calling and mating behaviors of female moth of *Agrotis ipsilon* with different host plants

寄主植物 Host plant	求偶次数 Calling bout	求偶率(%) Calling percentage	求偶起始时间(min) Onset time of calling	求偶持续时间(min) Calling duration time	交配次数 Mating bout	交配率(%) Mating percentage	单次交配持续时间(min) Mating duration time per bout
玉米 Corn	8.87±0.08 a	95.32±1.22 a	262.42±6.97 e	85.52±2.99 a	2.73±0.07 a	93.26±2.01 a	64.67±1.92 a
棉花 Cotton	8.13±0.06 bc	93.53±1.79 a	275.62±4.21 cde	82.36±1.86 ab	2.51±0.09 abc	91.35±1.55 a	59.98±2.16 ab
花生 Peanut	8.46±0.13 b	94.65±1.28 a	268.31±4.66 de	84.74±2.53 ab	2.62±0.06 ab	92.67±2.95 a	62.23±1.55 ab
白菜 Cabbage	7.27±0.07 e	89.43±1.84 ab	295.15±5.65 b	70.56±1.86 cd	2.04±0.09 de	86.79±3.61 a	52.47±1.82 c
芹菜 Celery	7.48±0.16 de	91.57±1.29 ab	289.63±5.38 bc	75.67±3.03 bc	2.25±0.09 cd	87.83±4.21 a	55.53±2.98 bc
辣椒 Chili	7.85±0.28 cd	92.35±1.22 ab	280.45±5.47 bcd	79.76±5.38 abc	2.35±0.14 bcd	89.54±3.07 a	57.76±4.17 abc
CK	6.45±0.08 f	86.57±3.34 b	312.21±3.78 a	65.89±1.99 d	1.85±0.17 e	82.68±3.59 a	42.95±1.56 d

表中数据为平均数±标准误差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。温度为25℃,光照周期 L:D 为 14 h:10 h, 相对湿度为(70±7)%。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. Temperature is 25℃; photoperiods L:D is 14 h:10 h, and relative humidity is (70±7)%.

不同光照周期下,小地老虎的求偶及交配行为存在差异,其求偶次数、求偶率、交配次数、交配率、求偶起始时间、求偶持续时间和单次交配持续时间均与光照周期呈显著负相关。其它夜行性昆虫也存在类似情况,如烟夜蛾 *Helicoverpa assulta* (Guenée) (Kamimura & Tatsuki, 1994)、棉铃虫 (Dong et al., 2005)、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Ka-wazu et al., 2011) 等。这可能是因为光照周期的延长抑制了性信息素的合成,从而对其产生抑制作用。

湿度对小地老虎求偶及交配行为同样有重要影响,高湿条件对小地老虎的求偶及交配行为有促进作用,这与其喜欢温暖潮湿的生活习性相适应。李爱华等(2006)研究也表明,在50%的相对湿度时,桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham 成虫平均交配率为43.8%,而在70%~100%的相对湿度时,其交配率会显著提高。Kanno & Sato(1980)报道,高于25℃时,随着相对湿度的升高,二化螟成虫的交配率显著增加,交配持续时间也相应延长。

寄主植物作为昆虫重要的食物来源和栖息场所,对昆虫的求偶及交配行为有重要影响。如豇豆花挥发物对豇豆荚螟雌雄蛾的求偶交配行为具有显著的促进作用(温衍生等,2009);当寄主植物存在时,翠纹金刚钻 *Earias vittella* (Fabricius)、暗巨脊盲蝽 *Macrolophus caliginosus* (Wagner) 的交配成功率更高 (Tamhanker, 1994; Moayeri et al., 2006);水稻和茭白是二化螟的主要寄主植物,水稻田的二化螟种群要早于茭白田的种群开始交配(孙丽娟等,2002)。本研究结果表明,玉米、棉花、花生、白菜、芹菜、辣椒等寄主植物能增加小地老虎的求偶次数、求偶率、交配次数和交配率,缩短求偶起始时间,延长求偶持续时间和单次交配持续时间。这可能是寄主植物产生的挥发性次生物质刺激昆虫性信息素的生物合成,从而影响求偶及交配行为 (Dickens et al., 1990; Landolt et al., 1992)。

总之,温度、光照周期、湿度、寄主植物等环境因子均对小地老虎的求偶及交配行为产生影响。本研究仅观察了这些因子单独作用,还需深入研究这些

因子的综合作用,以更好地阐明环境因子对小地老虎雌雄蛾求偶及交配行为的影响机制,为进一步的行为调控技术提供理论基础。

参 考 文 献 (References)

- Clement SL, Show ED, Way MO. 1982. Black cutworm pheromone trapping in strawberries. *California Agriculture*, 36(7): 20-21
- Cook SM, Khan ZR, Pickett JA. 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 52: 375-400
- Curkovic T, Brunner JF, Landolt PJ. 2006. Courtship behavior in *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis pyrusana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 99(3): 617-624
- Dickens JC, Jang EB, Light DM, Alford AR. 1990. Enhancement of insect pheromone responses by green leaf volatiles. *Narumissenschaften*, 77(1): 29-31
- Dong WX, Han BY, Du JW. 2005. Inhibiting the sexual behavior of female cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. *Journal of Insect Behavior*, 18(4): 453-463
- Hanks LM. 1999. Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annual Review of Entomology*, 44(1): 483-505
- Islam MA. 2012. Pheromone use for insect control: present status and prospect in Bangladesh. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 2(1): 47-55
- Jiang ZL, Wen LZ, Li YZ, Li ZY. 2009. Mating behavior and its affecting factors of *Agrius convolvuli* (Lepidoptera: Sphingidae). *Chinese Journal of Ecology*, 28(4): 688-691 (in Chinese) [蒋智林, 文礼章, 李有志, 李正跃. 2009. 甘薯天蛾的交配行为及其影响因素. *生态学杂志*, 28(4): 688-691]
- Jiao XG, Xuan WJ, Sheng CF. 2006. Mating behaviour of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*, 26(4): 1110-1115 (in Chinese) [焦晓国, 宣维健, 盛承发. 2006. 水稻二化螟的交配行为. *生态学报*, 26(4): 1110-1115]
- Kamimura M, Tatsuki S. 1994. Effects of photoperiodic changes on calling behavior and pheromone production in the oriental tobacco budworm moth, *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Physiology*, 40(8): 731-734
- Kanno H, Sato A. 1979. Mating behaviour of the rice stem borer moth, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) II: effects of temperature and relative humidity on mating activity. *Applied Entomology and Zoology*, 14(4): 419-427
- Kanno H, Sato A. 1980. Mating behaviour of the rice stem borer moth, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) III: joint action of temperature and relative humidity on mating activity. *Applied Entomology and Zoology*, 15(1): 111-112
- Kawazu K, Adati T, Tatsuki S. 2011. The effect of photoregime on the calling behavior of the rice leaf folder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45(2): 197-202
- Kuang XJ, Xu J, Sun XH, Huang F, Xue FS. 2010. Effect of temperature on mating behavior of the *Colaphellus bowringi* Baly. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 307-311 (in Chinese) [匡先钜, 徐婧, 孙兴华, 黄芳, 薛芳森. 2010. 温度对大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly 交配行为的影响. *环境昆虫学报*, 32(3): 307-311]
- Landolt PJ, Heath RR, Chambers DL. 1992. Oriented flight responses of female Mediterranean fruit flies to calling males, odor of calling males, and a synthetic pheromone blend. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 65(3): 259-263
- Li AH, Sun RH, Zhang Y, Liu XF. 2006. Influence of temperature and humidity on fecundity of peach fruit borer, *Carposina niponensis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(6): 867-869 (in Chinese) [李爱华, 孙瑞红, 张勇, 刘秀芳. 2006. 温湿度对桃小食心虫成虫生殖力的影响. *昆虫知识*, 43(6): 867-869]
- Li YX. 1964. The living habit and control of the black cutworm. *Entomological Knowledge*, (1): 1-5 (in Chinese) [李永禧. 1964. 小地老虎生活习性及其防治. *昆虫知识*, (1): 1-5]
- Ming QL, Yan YH, Wang CZ. 2007. Mechanisms of premating isolation between *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Helicoverpa assulta* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Physiology*, 53(2): 170-178
- Miyatake T. 1997. Correlated responses to selection for developmental period in *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): time of mating and daily activity rhythms. *Behavior Genetics*, 27(5): 489-498
- Moayeri HRS, Ashouri A, Brødsgaard HF, Enkegaard A. 2006. Odour-mediated responses of a predatory mirid bug and its prey, the two-spotted spider mite. *Experimental and Applied Acarology*, 40: 27-36
- Rings RW, Arnold FJ, Keaster AJ, Musick GJ. 1974. A worldwide, annotated bibliography of the black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel). Wooster, Ohio: Ohio Agricultural Research and Development Center
- Sun JT, Deng L, Zhou KN, Zhang JL, Liu XP. 2012. Effects of temperatures on mating behaviors of grape leaf beetles, *Oides decempunctata* Billberg (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biological Disaster Science*, 35(1): 50-54 (in Chinese) [孙计拓, 邓礼, 周康念, 张爵龙, 刘兴平. 2012. 温度对葡萄十星瓢萤叶甲交配行为的影响. *生物灾害科学*, 35(1): 50-54]
- Sun LJ, Dai HG, Yi WX, Lu YQ. 2002. The adult emergence rhythm and mating rhythm of rice host population and water-oats host population of the rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *Entomological Knowledge*, 39(6): 421-423 (in Chinese) [孙丽娟, 戴华国, 衣维贤, 陆永钦. 2002. 二化螟水稻类群与茭白类群成虫羽化节律和交配节律研究. *昆虫知识*, 39(6): 421-423]
- Tamhankar AJ. 1994. Influence of host presence, age and mating on the calling behaviour of female *Earias vitella* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Science and Its Application*, 15(3): 275-280
- Tu XB, Wang GJ, Nong XQ, Gao S, Zhang ZH. 2011. Mating and ovipositing behaviors of *Locusta migratoria manilensis* at different

- temperatures. *Plant Protection*, 37(4): 124–125 (in Chinese) [涂雄兵, 王广君, 农向群, 高松, 张泽华. 2011. 不同温度下东亚飞蝗交配及产卵行为. *植物保护*, 37(4): 124–125]
- Wang S, Guo XJ, Zhang JM, Zhang F. 2014. Copulatory behavior of predacious ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) under different illuminative conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 34(24): 7428–7435 (in Chinese) [王甦, 郭晓军, 张君明, 张帆. 2014. 异色瓢虫不同光环境下的交配行为. *生态学报*, 34(24): 7428–7435]
- Wang YC, Chen CK, Lu ZJ, Li GQ, You ZP. 1996. The effects of risen temperature on spermatogenesis and spermiogenesis in *Agrotis ypsilon* and *Mythimna separata*. *Acta Entomologica Sinica*, 39(3): 253–259 (in Chinese) [王荫长, 陈长琨, 卢中建, 李国清, 尤子平. 1996. 高温对小地老虎和东方粘虫精子发生和形成的影响. *昆虫学报*, 39(3): 253–259]
- Wen YS, Luo DQ, Zhao DX. 2009. Courtship and mating of the female and male moths of *Maruca vitrata* (Fabricius) and their influence factors. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 30(12): 1870–1875 (in Chinese) [温衍生, 罗大全, 赵冬香. 2009. 豇豆荚螟雌雄蛾求偶交配行为及其影响因子研究. *热带作物学报*, 30(12): 1870–1875]
- Xiang YY, Yang MF. 2008. The mating behavior and ability of the black cutworm moth, *Agrotis ypsilon*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 50–53 (in Chinese) [向玉勇, 杨茂发. 2008. 小地老虎的交配行为和能能力. *昆虫知识*, 45(1): 50–53]
- Xiang YY, Yang MF, Li ZZ. 2009b. Effect of mating experience and temperature on sex pheromone production in female black cutworm moths. *Sichuan Journal of Zoology*, 28(5): 658–660, 669 (in Chinese) [向玉勇, 杨茂发, 李子忠. 2009b. 交配和温度对小地老虎雌性信息素产生的影响. *四川动物*, 28(5): 658–660, 669]
- Xiang YY, Yang KL, Liao QR, Yang MF, Li ZZ. 2009a. Effects of temperature on the development and reproduction of the black cutworm. *Journal of Anhui Agricultural University*, 36(3): 365–368 (in Chinese) [向玉勇, 杨康林, 廖启荣, 杨茂发, 李子忠. 2009a. 温度对小地老虎发育和繁殖的影响. *安徽农业大学学报*, 36(3): 365–368]
- Xiao LB, Bai LX, Liu YQ, Shi XJ, Tan YA. 2010. Effects of different factors on traps with sex pheromone of *Spodoptera litura*. *Journal of Plant Protection*, 37(4): 365–369 (in Chinese) [肖留斌, 柏立新, 刘艳青, 石学娟, 谭永安. 2010. 几种因素对斜纹夜蛾性信息素诱捕效果的影响. *植物保护学报*, 37(4): 365–369]
- Yan S, Li HT, Zhu WL, Zhu JL, Zhang QW, Liu XX. 2014. Effects of light intensity on the sexual behavior of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(9): 1045–1050 (in Chinese) [闫硕, 李慧婷, 朱威龙, 朱家林, 张青文, 刘小侠. 2014. 光强度对棉铃虫交配行为的影响. *昆虫学报*, 57(9): 1045–1050]
- Yan XZ, Sun XJ, Deng CP, Hao C. 2014. Effects of age and temperature on the mating behaviors of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 42(8): 829–831 (in Chinese) [闫喜中, 孙学俊, 邓彩萍, 郝赤. 2014. 日龄和温度对小菜蛾交配行为的影响. *山西农业科学*, 42(8): 829–831]
- Yang JQ, Chen QJ, Chen JH, Zhang YZ, Lin GB. 2000. Toxicity of insecticides for the black cutworm *Artois ypsilon* (Rottemberg). *Entomological Journal of East China*, 9(1): 53–56 (in Chinese) [杨建全, 陈乾锦, 陈家骅, 张玉珍, 林国宝. 2000. 几种杀虫剂对小地老虎的毒力测定. *华东昆虫学报*, 9(1): 53–56]

(责任编辑:张俊芳)