

室内人工诱导大豆蚜产生有性世代的研究*

徐 蕾** 赵季秋 许国庆*** 钟 涛 赵彤华

(辽宁省农业科学院植物保护研究所, 沈阳 110161)

摘 要 【目的】大豆蚜 *Aphis glycines* (Matsumura) 是大豆上最重要的害虫之一, 短暂的有性阶段是蚜虫种群基因交流的关键环节。通过探索影响大豆蚜产生有性世代的室内人工诱导条件, 对研究种群遗传和生态适应机制具有重要意义。【方法】采用豆苗罩笼培养法, 在实验室条件下用一定的光温组合处理, 测定了处理 1 代和连续处理 3 代的大豆蚜各蚜型产生的比率, 并且分析了各相关因素的影响。【结果】本试验成功诱导大豆蚜产生无翅孤雌蚜、有翅孤雌蚜、有翅产雄性母和有翅雄性蚜。结果表明, 人工诱导雄性母产生的最适条件为 15℃, 10L: 14D 处理 3 代, 雄性蚜产生的最适条件为 12℃, 10L: 14D 处理 3 代, 而 15℃, 8L: 16D 条件下大豆蚜翅型分化率最高。对各相关因子进行方差分析结果表明, 温度与光周期互作对有性世代的产生影响最为显著, 其次是温度、诱导日龄的单独作用, 诱导世代只有和光温条件互作才有显著影响。【结论】在特定的光周期内, 温度是大豆蚜有性世代产生的重要因素, 同时光温条件组合对此有一定的累积效应, 表现为光、温、诱导世代三者交互对有性世代的产生影响显著。

关键词 大豆蚜, 人工诱导, 温度, 光周期, 交互作用

Artificial induction of sexuales in *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae)

XU Lei** ZHAO Ji-Qiu XU Guo-Qing*** ZHONG Tao ZHAO Tong-Hua

(Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract [Objectives] The soybean aphid is one of the most important pests of soybean crops. The ephemeral sexual stage of this aphid is vital to gene flow within populations. Exploring the conditions which induce the development of sexuales therefore is important for understanding population heredity and ecological adaptive mechanisms. [Methods] The percentages of various morphs in a captive aphid colony were measured under a range of fixed temperature and photoperiod combinations for three successive generations and the influence of related factors analyzed. [Results] Apterous parthenogenic aphids, alate parthenogenic aphids, winged male sexupara, and winged males, were induced successfully. The results show that the most optimal conditions for artificial induction of male sexupara and males were 15℃ combined with 10 hours of light per day, and 12℃ combined with 10 hours of light per day, for three successive generations. The highest ratio of wing dimorphism was induced by 15℃ combined with 8 hours of light per day for three successive generations. Analysis of variance indicates that the most significant influence on the development of sexuales was a temperature-photoperiod interaction, followed by temperature and time. Generation had a significant influence only under certain temperature and photoperiod conditions. [Conclusion] Temperature is the main factor responsible for the induction of sexuales under certain photoperiods, and has an accumulative effect on the proportion of sexuales in combination with photoperiod. The development of sexual individuals is influenced by a significant interaction between temperature, photoperiod and generation.

Key words *Aphis glycines*, artificial induction, temperature, photoperiod, interaction

* 资助项目 Supported projects: 国家公益性行业科研专项经费项目 (201103022)

**第一作者 First author, E-mail: syxlei81@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: XGQ66@126.com

收稿日期 Received: 2015-01-29, 接受日期 Accepted: 2015-09-11

大豆蚜 *Aphis glycines* (Matsumura) 是为害大豆的主要害虫之一,常造成大豆卷叶、黄叶,节间缩短,矮化和根系发育不良,严重时致植株死亡。性蚜是性母经孤雌生殖繁育的有性生殖型,是大豆蚜生活史中唯一的有性世代,在大豆蚜整个生活史中只有很短时间,但对于大豆蚜种群繁衍和种群间基因交流具有重要作用,性蚜的人工诱导对研究大豆蚜种群遗传有重要意义。

温度和光周期对于昆虫来说是非常重要的环境影响因子,温度的高低、光周期的长短直接或间接的影响着昆虫的生长发育和种群动态。蚜虫的有性生殖阶段可在室内通过调节温度和光周期来人工诱导产生。Marcovitch (1924) 首次用光周期诱导出了性蚜。性蚜诱导的研究在桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) (Emden et al., 1969; Mittler and Matsuka, 1985; 杨效文和张孝羲, 1999; Poupoulidou et al., 2006)、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) (Puterka and Peter, 1990)、豆蚜 *Aphis craccivora* (Koch) (Aulay, 1996) 等领域进行的细致而又深入,所用方法包括暗期、低温和光温互作诱导等。

棉蚜 *Aphis gossypii* (Glover) 和大豆蚜是近缘种(张广学和钟铁森, 1983)。国内最具有代表性的针对棉蚜的性蚜诱导结合了光温组合(9 水平)诱导日龄(4 水平)诱导世代(2 水平)等因素,实验室条件下成功诱导产生了雌性蚜和雄性蚜,并成功实现交配、产卵(龚鹏和张孝羲, 2001);对来自不同气候带的 4 个地理种群的棉蚜在恒温 18℃、2 个短光照周期内进行诱导,研究了棉蚜种群发育与环境光周期的关系(刘健, 2003);近些年对大豆蚜有性世代的人工诱导相继开展,先后在实验室条件下用一定的光温组合处理研究了对光温效应积累一代的单一地理种群(李长锁, 2008)和不同地理种群(杨帅, 2009)的大豆蚜进行有性世代的人工诱导;对来自不同地理种群的大豆蚜在低温、短光照条件下的诱导试验,则比较立体的模拟了大豆蚜面对不同生境的翅型分化等适应策略(王玲等, 2014)。

汲取前人的研究经验和方法,本试验采用豆

苗罩笼培养法,设置 5 个温度和 3 个光照时长共组合 15 个光温周期,分别处理 1 代和连续处理 3 代研究诱导大豆蚜有性世代产生的情况,初步探明了光温条件、诱导日龄以及世代累积对大豆蚜性蚜产生的影响和交互作用,本研究有助于深入理解大豆蚜的种群遗传结构的组成和动态变化,同时,对进一步探索蚜虫有性世代的分化所决定的这种适应环境而变化的细胞生物学机制有着现实和深远的研究意义(Blackman and Hales, 1986)。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2013 年 5 月从辽宁省农业科学研究院试验西地大豆田采集自然发生的大豆蚜,在实验室内(温度 (20 ± 1) ℃,相对湿度 75% RH,光照 L:D = 14:10)用大豆苗植株继代饲养作为试验种群。

供试虫源所用饲料采用实验室内室温(温度 (20 ± 1) ℃)培养的具有 3~5 片叶子的盆栽大豆苗植株。

1.2 试验器材

试验所用光温培养箱为哈尔滨东联电子技术开发有限公司生产的型号为 HPG-280HX 的多段可编程人工气候培养箱,温度误差为 ± 0.5 ℃,光照强度 $\geq 3\ 000$ lx,相对湿度 (75 ± 5) % RH。

试验所用显微观测仪器为 OLYMPUS SZX7 体式显微镜。

自制饲养罩笼为用 60 目纱网和铁丝做成长 30 cm、宽 30 cm,高 50 cm 的长方体式罩笼。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 光温培养箱内分别恒定设置 12、15、18、21、24℃ 共 5 个温度和 8、10、12 h 共 3 个光照时长,相互对应组成共计 15 个光温组合处理。每个处理设置 3 次重复,每次重复采用 10 头来自不同母本的大豆蚜作试材。

1.3.2 光温处理性蚜诱导试验流程 在预先设定好特定光温条件的人工气候培养箱内进行各处

理的重复。

每个重复的具体操作过程是:随机选取的用作起始试材的 10 头大豆蚜(均来自不同母本)产仔后,分别取用其 1 龄若蚜(G_0)接到饲料大豆苗(寄主)上,等 G_0 成熟并开始产仔,分别取用其 1 龄若蚜(G_1)继续饲养;等 G_1 成熟并开始产仔,再分别先后接取其第 2、7、12、17 天所产全部 1 龄若蚜(G_2),同时连同整株饲料大豆苗置于自制笼罩中单头封闭饲养至成蚜,根据 G_2 代成蚜其自身形态特征、是否产生后代及其后代(G_3)的形态特征来区分有翅孤雌蚜、无翅孤雌蚜、雄性母和雄性蚜,并分别统计各蚜型数量以及在诱导世代中所占的比率。

将 1 龄 G_1 代大豆蚜若蚜连续培养经世代交替 3 代后至 G_4 代成熟并开始产仔(G_5 代),以同上方方法判断诱导 3 代各蚜型数量以及在诱导世代中所占的比率,以此分析光温累积处理 3 代后对诱导大豆蚜有性世代产生的影响。

1.3.3 数据分析方法 利用 SPSS 统计软件对各光温组合诱导的大豆蚜产生各蚜型的相关数据经反正弦平方根转换后进行单、多因素方差分析,采用 Duncan's 新复极差法对数据进行差异显著性比较;采用多因素方差分析法分析温度(5 水平)、光照时长(3 水平)、诱导日龄(4 水平)和诱导世代(2 水平)等四因素对试验大豆蚜产生各蚜型的独立及交互作用。

2 结果与分析

2.1 各光温组合诱导大豆蚜各蚜型数量和所占比率

在特定的光温组合处理下,实验室内培养的大豆植株上能够成功诱导产生无翅孤雌蚜、有翅孤雌蚜、有翅产雄性母和有翅雄性蚜(由于大豆蚜属于寄主专化型蚜虫,在大豆植株上性母无法产生雌性蚜,故此试验无法判断和统计产雌性母和雌性蚜)。表 1 是光温组合处理 1 代大豆蚜各蚜型数量和所占比率,由表 1 可见,试验温度在 21、24 时,诱导一代大豆蚜中没有出现产雄性母,其后代 G_3 代中也没有俘获到雄性蚜;而 G_2

代在 15、3 个光照周期内均诱导产生雄性母,在 10 h 光照时长下产生雄性母的数量和比率都达到最大,分别为 13 头和 12.87%,居其次雌性母数量和比率分别为 12 头和 12.12%,出现在 12、10 h 光周期内,二者差异不显著;而通过对 G_2 代的后代 G_3 代蚜型的观察发现,适宜雄性蚜产生的光温条件也出现在该组合范围(12、15 温度,10 h 光照)内,其中,12、10 h 光照条件诱导雄性母产生雄性蚜的数量和比率最大,分别为 11 头和 21.15%,但与相同光照时长、15 下的雄性蚜比率(20.83%)差异并不显著。

表 2 是光温组合连续处理 3 代大豆蚜各蚜型数量和所占比率,由表 2 可见,试验温度在 21、24 条件下,连续诱导 3 代大豆蚜中仍然没有出现产雄性母,后代中也没有出现雄性蚜,说明温度偏高并不利于大豆蚜有性世代的诱导; G_4 代大豆蚜在 12 的 3 个光照周期内均有雄性母产生,其后代 G_5 代中也都俘获到雄性蚜;最有利于雄性母产生的光温条件是 15、10 h 光照时长,雄性母数量和比率分别为 18 头、20.45%,而与居其次的雄性母比率(13.16%)(对应光温条件为 12、10 h 光照时长)差异显著,这与诱导一代得到的适宜光温条件相同,所不同的是经过世代的更迭累积,2 个光温组合对性蚜诱导的影响出现了较明显的加强,反映了温度、光周期和诱导世代三因素的交互作用对性蚜诱导的显著性影响;与诱导 1 代的情况相同的是 12、10 h 光照下产生雄性蚜数量和比率最大,分别为 15 头、26.79%,而与居其次的 15、10 h 光照下的雄性蚜比率(17.65%)差异显著;15 和 18 下的短光照(8 h)周期内均没有出现雄性母和雄性蚜。

2.2 诱导条件对大豆蚜有翅蚜产生的影响

产生有翅蚜是蚜虫进行迁飞的前提条件,蚜虫的翅型分化在种群扩散、基因交流等方面起着非常重要的作用。光温诱导条件对大豆蚜有翅蚜产生能力的影响由图 1 所示,结果可见,诱导 1 代和连续诱导 3 代后的大豆蚜都是在 15、8 h 光照的光温条件下有翅蚜的比率达到最大、翅型

分化的能力达到最强;同时,除了 18、12 h 和 21、10 h 光照这两个光温条件下有翅蚜产生比率在不同诱导世代间差异不显著之外(24、12 h 条件下诱导 1 代和 3 代均无有翅蚜产生),其余诱导世代间大豆蚜有翅蚜分化能力均表现为差异显著,这说明诱导世代的累积对大豆蚜的翅型分化有一定影响,且在低温诱导下随着诱导世代的增加,这种能力有增强的趋势。

2.3 各光温组合条件下大豆蚜在不同诱导日龄的雄性蚜的产生情况

试验温度在 12、15、18 的各光照周期内

诱导 1 代和连续诱导 3 代的大豆蚜在不同起始诱导日龄(即诱导蚜产出时间)所产生雄性蚜数量和占有翅蚜蚜型的比率如表 3 所示。结果表明,诱导 1 代和 3 代的大豆蚜在第 2 天的诱导日龄内均无法产生雄性蚜;诱导 1 代和 3 代的大豆蚜在第 12 天的诱导日龄内产生雄性蚜的概率最大,该诱导日龄中仅在 5 个光温周期内没有产生雄性蚜;但产生雄性蚜比率最大的却出现在第 7 天日龄中,对应诱导条件为 15、10 h 光周期内诱导 1 代;诱导第 17 天的大豆蚜出现雄性蚜的概率不大,该诱导日龄中成功得到雄性蚜所需要的诱导条件是 18、10 h 光照,处理 1 代或 3

表 1 光温组合处理 1 代后 G₂ 代及其后代 G₃ 代大豆蚜各蚜型数量(头)和所占比率(%)
Table 1 Number and percentages of various morphs of *Aphis glycines* in G₂ and G₃ generations under different temperatures and photoperiods

温度() 光周期(h) Temperature Photoperiod	G ₂ 代中各蚜型数量(头)和比率(%) Number and percentages of various morphs in G ₂			G ₂ 代后代 G ₃ 代中各蚜型数量(头)和比率(%) Number and percentages of various morphs in G ₃ from G ₂	
	无翅孤雌蚜 Apterous parthenogenesis aphids	有翅孤雌蚜 Alate parthenogenesis aphids	雄性母 Male sexupara	孤雌蚜 Virginoparae	雄性蚜 Male
12	8	(37)57.81±18.13f	(27)42.19±13.45b	(0)0±0c	(59)100±0a
	10	(70)70.7±19.43e	(17)17.17±4.86e	(12)12.12±8.54a	(41)78.85±24.52e
	12	(80)82.47±25.19c	(15)15.46±10.31e	(2)2.06±2.25c	(52)94.55±40.88b
15	8	(56)50.45±14.29g	(54)48.65±23.42a	(1)0.9±0.43c	(61)91.04±31.76c
	10	(72)71.29±19.43e	(16)15.84±4.86e	(13)12.87±4.96a	(38)79.17±22.81e
	12	(101)87.82±14.85b	(4)3.48±2.21g	(10)8.7±4.58b	(56)88.89±20.14d
18	8	(114)80.85±26.04c	(27)19.15±6.55d	(0)0±0c	(89)100±0a
	10	(97)78.23±25.47d	(18)14.52±9.97e	(9)7.26±3.96b	(72)87.8±28.93d
	12	(79)77.45±17.65d	(23)22.55±14.17c	(0)0±0c	(103)100±0a
21	8	(121)99.18±30.18a	(1)0.82±0.31h	(0)0±0c	(44)100±0a
	10	(117)96.69±25.61a	(4)3.31±1.29g	(0)0±0c	(73)100±0a
	12	(155)99.36±32.45a	(1)0.64±0.26h	(0)0±0c	(102)100±0a
24	8	(108)87.1±27.94b	(16)12.9±7.43f	(0)0±0c	(37)100±0a
	10	(147)100±0a	(0)0±0h	(0)0±0c	(88)100±0a
	12	(159)100±0a	(0)0±0h	(0)0±0c	(49)100±0a

表中数据为平均值±标准误,括号内为雄性蚜数量;数据后标注不同小写字母表示不同光温条件下蚜型比率差异显著。表 2 同。

The data in the table are mean±SE, number of male are given in brackets; data with different lowercase letters indicates significant difference among different temperatures and photoperiods. The same with Table 2.

表 2 光温组合处理 3 代后 G₄ 代及其后代 G₅ 代大豆蚜各蚜型数量 (头) 和所占比率 (%)
Table 2 Number and percentages of various morphs of *Aphis glycines* in G₄ and G₅ generations under different temperatures and photoperiods

温度(°C) Temperature	光周期(h) Photoperiod	G ₄ 代中各蚜型数量 (头) 和比率 (%) Number and percentages of various morphs in G ₄			G ₄ 代后代 G ₅ 代中各蚜型数量 (头) 和比率 (%) Number and percentages of various morphs in G ₅ from G ₄	
		无翅孤雌蚜 Apterous parthenogenesis aphids	有翅孤雌蚜 Alate parthenogenesis aphids	雄性母 Male sexupara	孤雌蚜 Virginoparae	雄性蚜 Male
12	8	(23)45.1±16.73g	(27)52.94±27.64b	(1)1.96±1.45d	(25)89.29±41.08c	(3)10.71±7.25d
	10	(19)50.0±14.19f	(14)36.84±11.29c	(5)13.16±12.64b	(41)73.21±23.96f	(15)26.79±18.43a
	12	(43)68.25±17.86d	(19)30.16±16.85d	(1)1.59±1.22d	(59)85.51±30.43d	(10)14.49±8.64c
15	8	(17)19.32±9.41h	(71)80.68±33.27a	(0)0±0d	(73)100±0a	(0)0±0f
	10	(37)42.05±10.1f	(33)37.5±20.11c	(18)20.45±9.96a	(56)82.35±35.49e	(12)17.65±7.52b
	12	(98)89.91±15.27b	(7)6.42±1.25g	(4)3.67±1.99d	(72)88.89±31.92c	(9)11.11±8.1d
18	8	(153)80.95±17.11c	(36)19.05±10.56f	(0)0±0d	(102)100±0a	(0)0±0f
	10	(50)64.1±15.79e	(20)25.64±16.73e	(8)10.26±5.86c	(85)86.73±29.66d	(13)13.27±11.31c
	12	(73)68.22±13.6d	(29)27.1±9.76e	(5)4.67±3.21d	(72)92.31±38.85b	(6)7.69±5.86e
21	8	(360)98.36±49.87a	(6)1.64±0.84h	(0)0±0d	(112)100±0a	(0)0±0f
	10	(382)97.7±37.94a	(9)2.3±1.69h	(0)0±0d	(69)100±0a	(0)0±0f
	12	(277)100±0a	(0)0±0h	(0)0±0d	(73)100±0a	(0)0±0f
24	8	(245)99.19±43.96a	(2)0.81±0.77h	(0)0±0d	(58)100±0a	(0)0±0f
	10	(320)99.07±32.41a	(3)0.93±0.62h	(0)0±0d	(72)100±0a	(0)0±0f
	12	(198)100±0a	(0)0±0h	(0)0±0d	(60)100±0a	(0)0±0f

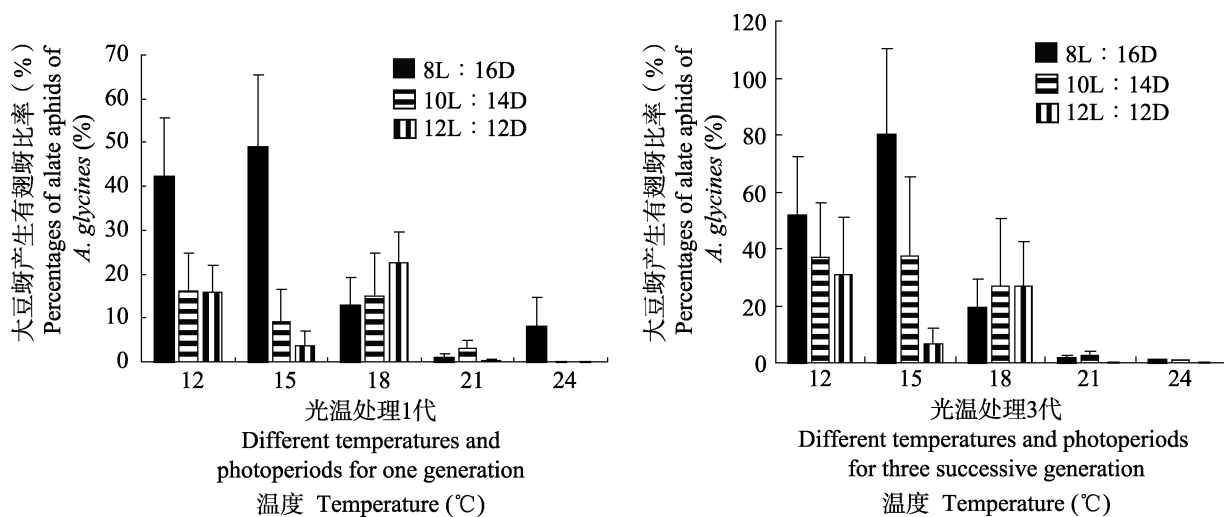


图 1 各光温组合处理条件下诱导 1 代和连续诱导 3 代大豆蚜产生有翅蚜比率
Fig. 1 Percentages of alate aphids of *Aphis glycines* under different temperatures and photoperiods for one and three successive generations

表 3 光温组合诱导 1 代和诱导 3 代后大豆蚜在不同诱导日龄产生雄性蚜数量和占有翅蚜型的比率
Table 3 Number and percentages of male in alate of *Aphis glycines* from different days in reproductive period under different temperatures and photoperiods for one and three successive generations

温度 Temperature	光周期 Photoperiod	诱导日龄 Days in reproductive period				
		处理代数 Generations of treatment	第 2 天 The second day	第 7 天 The seventh day	第 12 天 The twelfth day	第 17 天 The seventeenth day
12	8	1 代	(0)0±0aA	(0)0±0bA	(0)0±0bA	(0)0±0aA
		3 代	(0)0±0aC	(2)23.26±6.41aA	(1)18.54±3.29aB	(0)0±0aC
	10	1 代	(0)0±0aB	(5)26.55±7.22bA	(6)28.18±10.48aA	(0)0±0aB
		3 代	(0)0±0aC	(9)37.46±13.26aA	(6)20.52±10.87bB	(0)0±0aC
	12	1 代	(0)0±0aB	(0)0±0aB	(3)22.5±4.18aA	(0)0±0aB
		3 代	(0)0±0aB	(0)0±0aB	(10)18.56±7.39bA	(0)0±0aB
	8	1 代	(0)0±0aB	(0)0±0aB	(6)24.29±14.51aA	(0)0±0aB
		3 代	(0)0±0aA	(0)0±0aA	(0)0±0bA	(0)0±0aA
	10	1 代	(0)0±0aC	(6)42.38±11.76aA	(4)29.94±3.54aB	(0)0±0aC
		3 代	(0)0±0aB	(0)0±0bB	(12)26.55±8.82aA	(0)0±0aB
	12	1 代	(0)0±0aB	(0)0±0bB	(7)37.14±14.28aA	(0)0±0aB
		3 代	(0)0±0aC	(4)17.44±3.66aB	(5)20.18±8.92bA	(0)0±0aC
15	8	1 代	(0)0±0aA	(0)0±0aA	(0)0±0aA	(0)0±0aA
		3 代	(0)0±0aA	(0)0±0aA	(0)0±0aA	(0)0±0aA
	10	1 代	(0)0±0aC	(0)0±0aC	(6)18.64±7.46aA	(4)12.53±7.69aB
		3 代	(0)0±0aC	(0)0±0aC	(8)16.68±4.87abA	(5)10.29±4.38abB
	12	1 代	(0)0±0aA	(0)0±0bA	(0)0±0bA	(0)0±0bA
		3 代	(0)0±0aC	(1)8.94±2.39aB	(3)12.38±9.09aA	(2)11.29±4.77aA

表中数据为平均值±标准误,括号内为雄性蚜数量;数据后标注不同小写字母表示相同光温条件和诱导日龄不同诱导世代间差异显著;标注不同大写字母表示相同诱导世代、同一光温条件下不同诱导日龄间差异显著。

The data in the table are mean±SE, number of male are given in brackets; date with different lowercase letters indicate significant difference among different generations, and different capital letters indicate significant difference among different days in reproductive period.

代,而 18℃ 长光照(12 h)条件下需要连续诱导 3 代后诱导蚜才能产生雄性蚜。

2.4 各影响因子对大豆蚜产生有性世代的交互作用

对温度、光周期、诱导日龄、诱导世代 4 个影响因子进行多因素方差分析结果表明(表 4),温度和光周期的组合对大豆蚜雌性母的产生有着极显著影响($P_{A \times B}=0.002$),其中温度独立作用有极显著影响($P_A=0.006$),光周期独立作用有显著影响($P_B=0.037$);方差分析结果体现在本试验中表现为当温度设置在梯度的高水平

(21、24℃)内,各光周期和诱导世代下均无法俘获到有性世代,而在温度 $\leq 18^\circ\text{C}$ (12、15、18℃)时,同一温度的不同光周期内产生的有性世代表现出显著差异;诱导日龄对有性世代的产生有极显著影响($P_C=0.008$),体现在本试验中表现为第 2 天产出的诱导蚜无法生成有性世代;此外,温度和诱导世代间有显著交互作用($P_{A \times D}=0.048$),光周期和诱导世代间无显著交互作用($P_{B \times D}=0.101$),而温度、光周期和诱导世代三因素结合则表现出显著交互作用($P_{A \times B \times D}=0.039$)。

表 5 是影响雄性蚜产生比率的相关因子的方差分析,结果可以看出,与雌性母产生情况相

表 4 4 个相关因素影响大豆蚜产生雄性母比率的方差分析

Table 4 ANOVA for the percentages of male sexupara of *Aphis glycines* influenced by four relative factors

影响因素 Relative factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	F 值 F-value	显著概率 P-value
A 温度 Temperature	12 964.07	1	20.83	0.006
B 光周期 Photoperiod	5 678.42	2	15.77	0.037
C 诱导日龄 Days in reproductive period	1 996.03	1	20.11	0.008
D 诱导世代 Generation for inducement	18 254.01	4	0.239	0.695
A×B	18.99	2	21.45	0.002
A×C	756.46	5	17.72	0.029
A×D	582.32	2	15.26	0.048
B×C	1 218.65	9	0.21	0.992
B×D	420.88	16	6.74	0.101
C×D	2 568.37	2	0.32	0.248
A×B×C	329.01	10	7.65	0.055
A×B×D	59.49	9	10.08	0.039
B×C×D	149.26	11	0.50	0.624
误差 Error	11 315.87	150	-	-

表 5 4 个相关因素影响大豆蚜产生雄性蚜比率的方差分析

Table 5 ANOVA for the percentages of male of *Aphis glycines* influenced by four relative factors

影响因素 Relative factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	F 值 F-value	显著概率 P-value
A 温度 Temperature	893.24	1	21.03	0.006
B 光周期 Photoperiod	1 209.69	2	10.33	0.045
C 诱导日龄 Days in reproductive period	10 394.12	1	24.29	0.002
D 诱导世代 Generation for inducement	752.24	4	0.19	0.583
A×B	44.49	2	34.11	0.001
A×C	179.41	5	10.05	0.034
A×D	324.62	2	12.81	0.039
B×C	70.25	9	1.59	0.211
B×D	288.10	16	9.37	0.047
C×D	336.13	2	0.77	0.168
A×B×C	1 376.08	10	7.97	0.049
A×B×D	496.18	9	17.88	0.027
B×C×D	169.51	11	0.44	0.331
误差 Error	3 286.91	150	-	-

同的是, 温度、诱导日龄单独作用以及温度、光周期组合作用对雄性蚜产生比率均有极显著影响; 诱导世代只有分别与温度、光周期共同作用

才能表现出显著影响 ($P_{A \times D}=0.039$, $P_{B \times D}=0.047$); 此外, 温度和光周期组合分别与诱导日龄、诱导世代表现出显著的交互作用 ($P_{A \times B \times C}=$

0.049, $P_{A \times B \times D} = 0.027$)

3 讨论

本研究表明,在实验室通过调节温度和光周期,大豆植株上能够成功诱导产生无翅孤雌蚜、有翅孤雌蚜、有翅产雄性母蚜和有翅雄性蚜。通过分析温度(5水平)、光周期(3水平)、诱导日龄(4水平)和诱导世代(2水平)等因素之间独立以及交互作用对大豆蚜有性世代产生的影响,发现温度、光照条件是有着极显著影响的重要因素,当试验温度高于18(21、24)时各光周期内均无性蚜产生,此温度水平对比室外正值春季至秋初,大豆蚜从越冬寄主鼠李迁移至夏寄主大豆植株上为害,此阶段大豆蚜是以有翅型和无翅型的孤雌蚜进行孤雌生殖来扩大种群,试验温度调低至小于18时,特定光周期内开始成功诱导产生有性世代,与此生境对应的自然界的大豆蚜在日照变短、气温下降,植株老化的秋末冬初大都营有性生殖,产生有翅性母蚜和有翅雄性蚜,准备迁飞到越冬寄主上,有翅性母蚜孤雌胎生产生无翅型产卵雌蚜,在鼠李上与有翅雄蚜交配产卵越冬。因此,本研究结果与大豆蚜在田间的生活史相符合。试验同时表明,随着大豆蚜世代的更迭,光温组合对有性世代表现出一定的累积促进效应,经分析,温度、光周期、诱导世代三者交互对有性世代的产生影响显著,考虑出现这种增强效应可能是由于大豆蚜继代之间某种感应信息的基因传递,有待于从其体内的分子遗传机制方面加以研究。

本研究为实现室内大豆蚜性蚜的诱导做了较为全面的光温组合设计,以此希望得到更贴近田间实际的人工诱导条件,但室内环境均为恒定条件,无法实现自然界温度、光照的逐渐波动,也无法估计风、雨等其他气象因素以及田间大豆植株老化、消亡等带来的影响。基于室内模拟生境的数据基础,今后的延展工作可同时以冬寄主和夏寄主为载体,通过田间调查,明确大豆蚜在不同寄主上有性世代的产生和卵孵情况,作为必要补充,并且结合相关气象因子对营全周期异寄主生活史的大豆蚜性蚜的产生进行回归分析,进

而探索生态因素调控下大豆蚜的有性繁殖机制。

参考文献 (Referencers)

- Aulay M, 1996. A trade-off for host plant utilization in the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Evolution*, 50(1): 155–162.
- Blackman RL, Hales DF, 1986. Behaviour of the X chromosomes during growth and maturation of parthenogenetic eggs of *Amphorophora tuberculata* (Homoptera: Aphididae), in relation to sex determination. *Chromosoma (Berl.)*, 94(1): 59–64.
- Emden HF, Eastop VF, Hughes RD, Way M, 1969. The ecology of *Myzus persicae*. *Annual Review of Entomology*, 14: 197–270.
- Gong P, Zhang XX, 2001. The inducement of temperature and photoperiod to produce sexuales of *Aphis gossypii* Glover. *ACTA Phytophylacica Sinica*, 28(4): 318–324. [龚鹏, 张孝羲, 2001. 温度和光周期对棉蚜性蚜产生的诱导. 植物保护学报, 28(4): 318–324.]
- Li CS, 2008. Study of soybean aphids migration dispersion and overwintering habits in harbin. Master's Dissertation. Heilongjiang: Northeast Agricultural University. [李长锁, 2008. 哈尔滨地区大豆蚜越冬和迁飞扩散习性的研究. 硕士学位论文. 黑龙江: 东北农业大学.]
- Liu J, 2003. Evolution of the ecological adaptability to temperature and photoperiod in *Aphis gossypii*. Master's dissertation. Heilongjiang: Northeast Agricultural University. [刘健, 2003. 棉蚜(*Aphis gossypii*)对温度和光周期适应对策的进化. 硕士学位论文. 黑龙江: 东北农业大学.]
- Marcovitch S, 1924. The migration of the Aphididae and the appearance of sexual forms as affected by the relative length of daily light exposure. *Journal of Agricultural Research*, 27: 513–522.
- Mittler TE, Matsuka M, 1985. Male production by apterous viviparae of the aphid *Myzus persicae* temporarily exposed to different scotoperiods. *Journal of Insect Physiology*, 31(2): 171–177.
- Puterka GJ, Peters DC, 1990. Sexual reproduction and inheritance of virulenc in the greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani). Campbell RK, Eikenbary RD (eds.). *Aphid-Plant Genotype Interactions*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 289–318.
- Poupoulidou D, Margaritopoulos JT, Kephalogianni TE, Zarpas KD, Tsitsipis JA, 2006. Effect of temperature and photoperiod on the life cycle in lineages of *Myzus persicae nicotianae* and *Myzus persicae* s.str. (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology*, 103(2): 337–346.
- Wang L, Yang S, Zhao KJ, Liu J, Dai CC, Han LL, Zhang LQ, 2014. Effect of low temperature and photoperiod on soybean aphid

- forms from different geographical populations. *Soybean Science*. 33(2): 228–231. [王玲, 杨帅, 赵奎军, 刘健, 戴长春, 韩岚岚, 张立秋等, 2014. 低温和光周期对不同地理种群大豆蚜蚜型的影响. 大豆科学, 33(2): 228–231.]
- Yang S, 2009. Study of the ecological adaptability in the different geographical populations of soybean aphid. Master's dissertation. Heilongjiang: Northeast Agricultural University. [杨帅, 2009. 大豆蚜(*Aphis glycines matsumura*)不同地理种群生态适应性研究, 硕士学位论文. 黑龙江: 东北农业大学.]
- Yang XW, Zhang XX, 1999. Production of sexual morph of *Myzus persicae* (Sulzer) in relation to photoperiod and temperature. *Entomological Knowledge*, 36(5): 272–274. [杨效文, 张孝羲, 1999. 温度和光周期对烟蚜性蚜的诱导. 昆虫知识, 36(5): 272–274.]
- Zhang GX, Zhong TS, 1983. Economic Insect Fauna Of China. Fasc.25: Homoptera: Aphidinea, Part I: 159. Beijing: Science Press. 159. [张广学, 钟铁森, 1983. 中国经济昆虫学二十五册, 同翅目, 蚜虫类(一): 159. 北京: 科学出版社. 159.]