不同光周期处理蛹对梨小食心虫羽化及交配繁殖的影响*

王 怡[1**] 孔维娜[2] 郭永福[1] 柴晓晗[1] 李 捷[3] 马瑞燕[1***]

（1. 山西农业大学农学院，太谷 030801；2. 山西省农业科学院植物保护研究所，农业有害生物综合治理山西省重点实验室，太原 030031；3. 山西省农业科学院园艺研究所，太原 030031）

摘 要 **【目的】** 梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck)是世界性的蛀果类害虫，发生期和危害范围的分布较广。在不同分布区和发生期内接受的光周期均不同。实验室前期研究结果显示，梨小食心虫具有明显的节律性，具体表现在其羽化和交配行为的发生时间随接受光照时长而波动。为了探究不同光周期刺激蛹对梨小食心虫羽化以及对随后交配繁殖的影响。**【方法】** 本实验分别设置 L∶D 为 0∶24、2∶22、4∶20、8∶16、12∶12、15∶9、16∶8、20∶4、22∶2、24∶0 共 10 种比例的光周期，对梨小食心虫的蛹进行处理，并将成功羽化的成虫置于自然环境下配对，观察并记录蛹历期、交尾日龄、交配持续时间、交配率、繁殖量和成虫寿命。**【结果】** 试验结果表明：对梨小食心虫蛹进行处理，除繁殖量无显著差异外，其他指标均有显著差异。在 8L∶16D 时蛹期最短，交配率和繁殖量在全暗时最低，交尾日龄在全光时最高。雌虫寿命在 12L∶12D 时最长，雄虫寿命在 2L∶22D 时最长。**【结论】** 蛹接受不同光周期刺激后，不仅对羽化产生显著影响，而且对其交配繁殖也产生显著影响。这种影响方式会带来不同分布区世代数、世代周期和发生量上的差异，并且与纬度关系密切。在自然环境中，光周期除带来温度变化间接影响梨小食心虫的发生外，同样可以对其发生进行直接调节，并且梨小食心虫对这种变化具有一定的预判性。

关键词 梨小食心虫；光周期；蛹

Effect of pupal exposure to different photoperiods on emergence, mating and reproduction of *Grapholita molesta* (Lepidoptera, Tortricidae)

WANG Yi[1**] KONG Wei-Na[2] GUO Yong-Fu[1] CHAI Xiao-Han[1] LI Jie[3] MA Rui-Yan[1***]

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China; 3. Gardening Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Science, Taigu 030031, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effect of pupal exposure to different photoperiods on the emergence, mating and reproduction of *Grapholita molesta* (Busck), a globally important fruit-boring pest. **[Methods]** Previous laboratory studies show that the behavioral rhythm of emergence and mating in this species vary with duration of light exposure. Pupae were exposed to 10 different photoperiods (L∶D = 0∶24, 2∶22, 4∶20, 8∶16, 12∶12, 15∶9, 16∶8, 20∶4, 22∶2, 24∶0) and the pupal period, mating age, mating duration, mating rate, the number of fertile eggs and adult longevity, were recorded and compared among treatments. **[Results]** The pupal period of the 8L∶16D treatment group was the shortest. The mating rate and number of fertile eggs of the 0L∶24D treatment group were the lowest, and the mating age of the 24L∶0D treatment

*资助项目 Supported projects：山西省研究生教育创新项目（2018BY065）；山西省科技成果转化引导专项（201604D132033）；新型生物农药创制与生物防治技术集成示范（201703D211001-01-04）；山西省面上自然基金项目（201701D121114）；山西（运城）果品交易出口平台专项（YCX2018304）

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

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：maruiyan2004@163.com

收稿日期 Received：2018-06-22；接受日期 Accepted：2019-01-17

group was the highest. Female and male longevity were highest at 12L∶12D or 2L∶22D. **[Conclusion]** Exposing pupae to different photoperiods significantly affected emergence, mating rate and fecundity. Because photoperiod is closely related to latitude, this sensitivity to photoperiod could cause differences in generation number, generation time and abundance over the species' range. In nature, both temperature and photoperiod can directly affect the occurrence of *G. molesta*, a species that also has the capacity to has anticipate photoperiod.

Key words *Grapholita molesta*; photoperiods; pupae

梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck) 属鳞翅目，卷蛾科，又名东方果蛀蛾，属世界性的蛀果害虫（黄可训等，1990；Myers *et al.*，2006），在我国分布广泛。就空间来看，梨小食心虫在我国的分布由最东端到最西端，跨经度达 53°37′24.11″，接受的光照时间具有先减少后增加的特点；由最南端到最北端，跨纬度达 19°24′7.18″，且接受的光照时间逐渐减少。就发生时间来看，5-9 月为梨小食心虫在我国各分布地的发生盛期，且在同一发生区接受的光照时间也具有先增加后减少的特点。综合以上两点可见，自然界中梨小食心虫接受的光周期差异较大。

Han 等（2001）在田间种群取样中发现，日落前的 2-3 h 内观察到梨小食心虫的性活性；在实验室种群取样中，关灯前 1-2 h 内观察到梨小食心虫的召唤和交尾行为，并且此行为在关灯后完全停止。我们的前期室内试验结果表明，梨小食心虫在 4:30-7:30 时间内发生羽化行为；在 18:30-20:30 时间内发生交配行为。田间试验的诱蛾量在 18:30-20:30 时间段显著高于其他时间段。而且室内饲养种群的交配高峰期较田间取样种群提前 30 min。可见，梨小食心虫的羽化和交尾行为的发生具有随着光照时间变化而变化的特点。

光周期作为一种环境因子，可以通过提供时间信号的方式对昆虫的行为节律产生影响（吴少会等，2006）。将前期试验梨小食心虫的行为节律，即羽化和交配行为，进一步比较分析，我们发现，梨小食心虫在接受不同光照时间时，羽化行为和交配行为开始发生的时间是不同的。具体表现为接受光照时间减少 11 min，成虫羽化提前 1 h，雄虫羽化提前约 2 h，雌虫羽化提前约 1 h；对交配行为而言，接受光照时间减少 1 h 17 min，开始交配的时间提前 2 h 10 min。

光周期作为一种环境因子，影响梨小食心虫的羽化和交配行为。但光周期直接刺激梨小食心虫羽化行为后对交配繁殖力的间接影响却少有报道。为此，本试验通过用不同的光周期刺激梨小食心虫蛹，并对其羽化行为以及随后的交配繁殖行为进行观察，以探究蛹期接受光周期刺激后其交配繁殖的变化特点。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

虫源采自山西太谷县桃园，并在实验室继代饲养 50 代以上，每年通过野外采集对室内种群进行复壮，成虫统一饲养于养虫罐，养虫罐底部放有稍大于下方口径的圆形硫酸纸，侧壁下方同样放有硫酸纸，用于收集虫卵。底座为直径为 22 cm 的圆形塑料盆，上方开口处绑有纱布，上部悬挂棉球（直径为 2.5 cm），每日补充 5%的蜂蜜水，保证棉球不滴水为宜。每罐内约饲养 200 头成虫。罐内底部放有小的青苹果，3-4 个为宜。将萼洼部朝上放置，果柄剪掉。梨小食心虫的整个生活史均在可调控的智能人工气候箱内（MGC-450HP）[温度为（26±0.8）℃，相对湿度为 70%-80%，光周期为 L∶D=15∶9]进行。试验所用蛹均来自室内继代饲养种群。

1.2 试验方法

每日 10:00 挑选刚进入蛹期的梨小食心虫，将雌雄蛹分别放入不同编号的培养皿中，每个培养皿中放入 15 个蛹为一组。将放有蛹的培养皿放入日本 NK 小动物饲养柜（LP-30CCFL-6AR）

中，分别设置 L∶D=0∶24、2∶22、4∶20、8∶16、12∶12、15∶9、16∶8、20∶4、22∶2、24∶0 共 10 个不同的光周期处理，设置 L∶D=15∶9 为对照组，每个处理设 6 个重复。温度为（26±0.8）℃, 相对湿度为 70%-80%，光照强度为 400 lx）。

每日 10:00 观察并记录梨小食心虫蛹的羽化情况，将相同光周期且同一天羽化的梨小食心虫配对，接入养虫罩（2.5 L 的可乐瓶自底部 20 cm 处切割，并用电烙铁在其底部开一小孔，用以悬挂棉球，底部侧面烫密度均匀的小孔用以透气，450 个左右。横切口罩纱布后向下放置）。每日补充 5%的蜂蜜水。观察记录其交配和繁殖情况，包括交配时长、繁殖量、交尾日龄及雌雄寿命。

1.3　数据处理

对不同处理间数据进行开平方（Sqrt）转换，将原始数据与转换后数据均进行正态性检验（Shapiro-Wilk test），若符合正态性则进行单因素参数检验（One-way ANOVA）分析显著性，并用 Turkey 进行多重比较；若不符合正态性则进行单因素非参数检验（K-Independent Samples）分析显著性，并用 Dunn-Bonferroni 分析两两处理间差异。数据处理软件为 IBM SPSS v.19.0，做图软件为 Sigma plot12.0。

2　结果与分析

2.1　光周期对梨小食心虫蛹期的直接影响

不同光周期对梨小食心虫蛹期的影响差异显著（雌虫：H=41.36，df=9，P<0.05；雄虫：H=99.22，df=9，P<0.05，图 1）。在短光照（光照时间<12 h）时，随着光照时间的增长，蛹期缓慢缩短，在 L∶D=8∶16 时突增，雌雄蛹期均出现最大值，雌虫为（6.07±0.17）d，雄虫为（6.87±0.20）d。在长光照（光照时间>12 h）随着光照时间的增加蛹期总体呈增加趋势。光周期为 L∶D=15∶9 时，雌虫最短为（4.60±0.45）d。光周期为 L∶D=12∶12 时，雄虫蛹期最短为（4.42±0.18）d。不同光周期处理下雌虫蛹期普遍较雄虫短。

2.2　蛹接受不同光周期处理后对成虫交配的间接影响

交尾日龄：蛹接受不同光周期处理后对梨小食心虫成虫交尾日龄的影响差异显著（雌虫：H=24.37，df=9，P=0.004；雄虫：H=19.23，df=9，P=0.023，图 2）。在短光照时随着光照时间的增长交尾日龄逐渐降低，雌虫在 L∶D=8∶16 时突增。在长光照 L∶D=16∶8 时，雌虫交尾日龄出现最小值为（2.04±0.20）d，L∶D=15∶9 时，雄

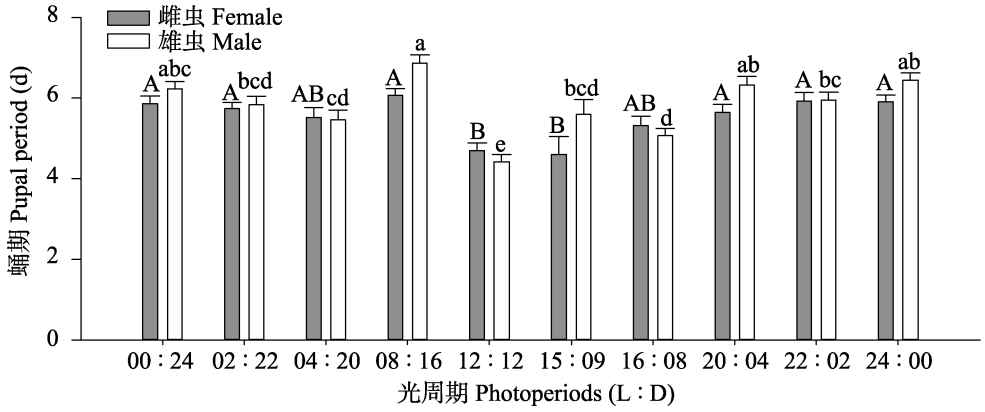

图 1　不同光周期对梨小食心虫蛹期的影响

Fig. 1　The effect of different photoperiods on the pupal period in *Grapholita molesta*

柱上标有不同大写字母表示对雌虫影响差异显著，标有不同小写字母表示对雄虫影响差异显著（P<0.05）。图 2，图 6 同。

Histograms with different capital letters indicate significant difference of females, and histograms with different small letters indicate significant difference of males (P<0.05). The same as Fig. 2 and Fig. 6.

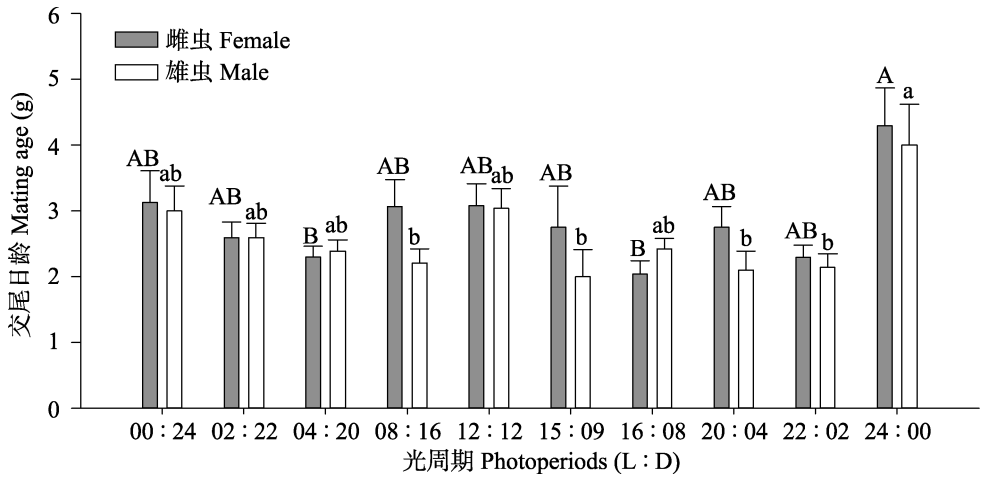

图 2 不同光周期处理蛹对梨小食心虫成虫交尾日龄的影响

Fig. 2 The mating age of *Grapholita molesta* adults after pupal exposure to different photoperiods

虫交尾日龄最小为（2.00±0.41）d。L：D=24：0 时，雌虫交尾日龄出现最大值为（4.29±0.58）d，雄虫交尾日龄出现最大值为（4.00±0.62）d。雌雄成虫交尾日龄随光照时间增长波动均较大，但主要都集中在 2-3 日龄，且雌虫交尾日龄普遍较雄虫大。

交配时长：蛹接受不同光周期处理后，对交配时长的影响差异显著（H=21.95，df=9，P=0.009，图 3）。在短光照 L：D=4：20 时，成虫交配时长最短为（24.48±1.55） min。在长光照 L：D=16：8 时，交配时长出现最大值为（32.92±2.08）min。光周期在 L：D=12：12、15：9、16：8、20：4 时交配时长均较长。

成虫交配率：蛹接受不同光周期处理后对成虫交尾比例的影响差异显著（F=3.81，df=9，P=0.001，图 4）。在短光照时随着光照时间的增长，成虫交尾比例逐渐减小，在光周期 L：D=0：24 时比例出现最低值为 13%±4%，L：D=2：22 时，比例出现最高值为 48%±4%。在长光照时随着光照时间的增长，比例逐渐减小。而蛹接受光照时间 8、22、24 h 处理之后，成虫交尾比例均偏低，L：D=8：16 时为 23%±4%，L：D=22：2 时为 23%±4%，L：D=0：24 时成虫交尾比例为 23%±4%。

繁殖量：蛹接受不同光周期处理后对繁殖量影响差异不显著（H=5.089，df=9，P=0.827，图 5）。

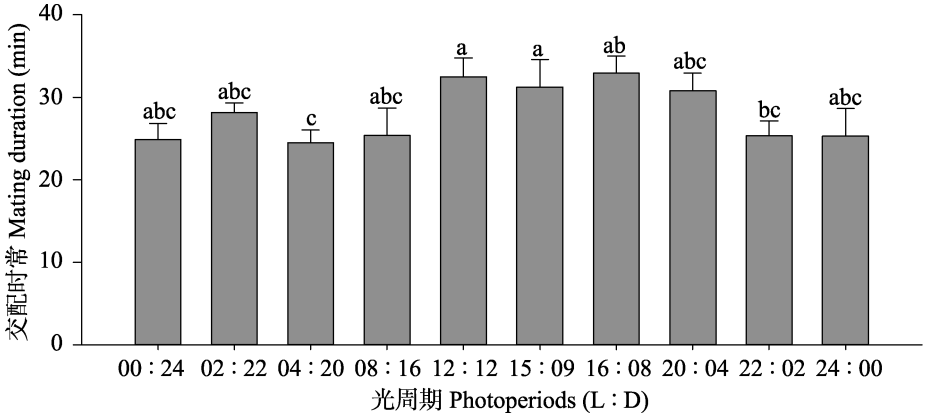

图 3 不同光周期处理蛹对梨小食心虫成虫交配时长的影响

Fig. 3 The mating duration of *Grapholita molesta* adults after pupal exposure to different photoperiods

柱上标有不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。图 4 同。

Histograms with different small letters indicate significant difference (P<0.05). The same as Fig. 4.

在全暗时，繁殖量出现最小值（14.63±4.20）粒。在短光照 L∶D=8∶16 时，繁殖量出现最大值为（31.64±8.24）粒。

成虫寿命：蛹接受不同光周期处理后对成虫寿命的影响差异显著（雌虫：H=60.69，df=9，P<0.05；雄虫：H=29.38，df=9，P=0.001，图 6）。

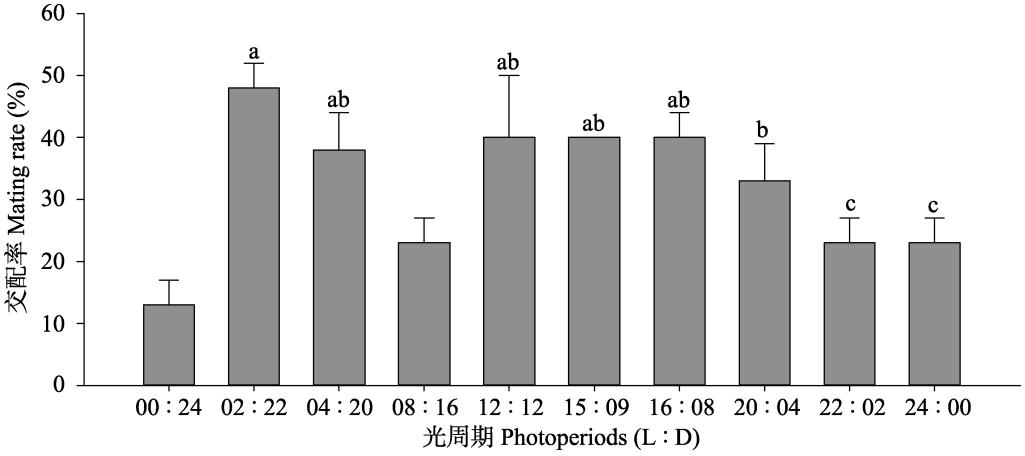

图 4　不同光周期处理蛹对梨小食心虫成虫交配率的影响

Fig. 4　The mating rate of *Grapholita molesta* adults after pupal exposure to different photoperiods

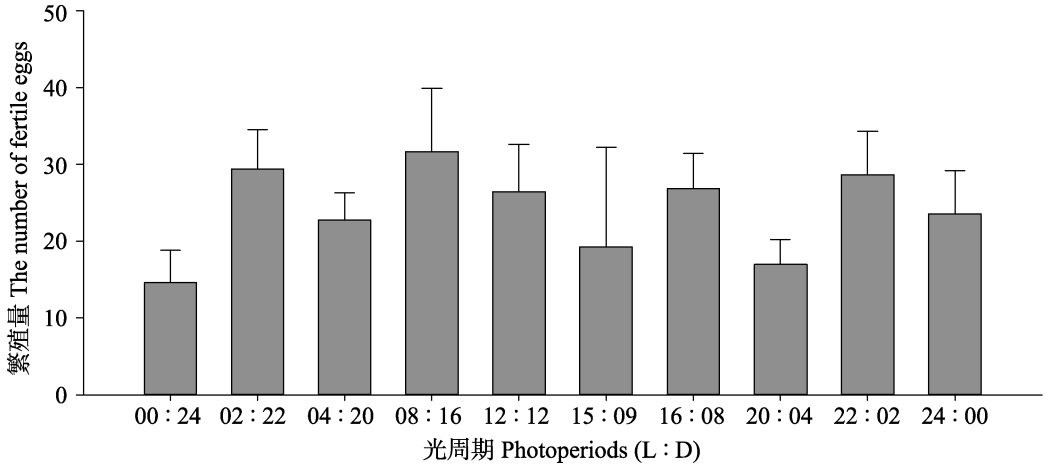

图 5　不同光周期处理蛹对梨小食心虫繁殖量的影响

Fig. 5　The number of fertile eggs of *Grapholita molesta* adults after pupal exposure to different photoperiods

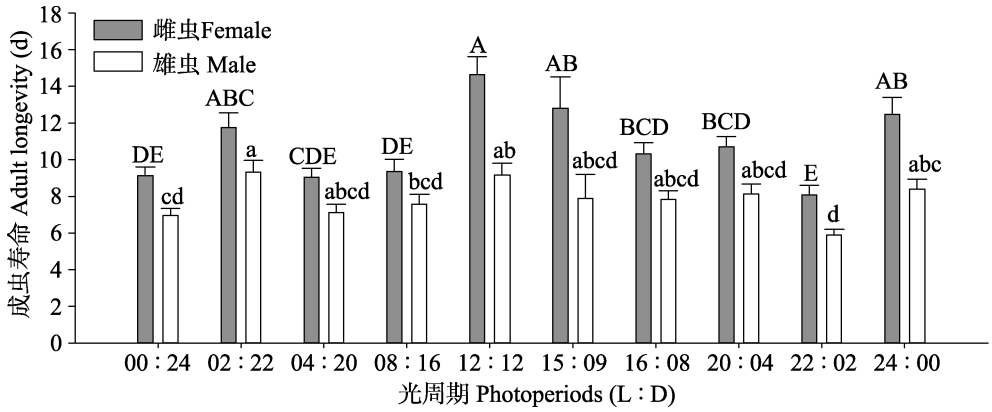

图 6　不同光周期处理蛹对梨小食心虫成虫寿命的影响

Fig. 6　Adult longevity in *Grapholita molesta* after pupal exposure to different photoperiods

在短光照 L∶D=2∶22 时，成虫寿命均突增，且雄虫寿命达到最大值为（9.32±0.63）d。在长光照 L∶D=22∶2 时，成虫寿命均突减至最小，雌虫寿命出现最小值为（8.07±0.54）d，雄虫寿命出现最小值为（5.90±0.30）d。光周期为 L∶D=12∶12 时，雌虫寿命最长为（14.63±0.98）d。雌虫寿命普遍高于雄虫寿命。

3 讨论

试验结果表明，在蛹期对梨小食心虫进行光周期处理，影响了梨小食心虫的羽化和随后的交配繁殖，且同一光周期处理对梨小食心虫不同生命参数的影响作用不同。

梨小食心虫蛹受不同光周期刺激后，雌雄蛹期长度变化趋势相同，雄虫波动较雌虫大。且长光照条件下蛹期缩短，羽化提前。推测可能光期决定梨小食心虫的羽化，梨小食心虫的雄蛹对光照的刺激更敏感。Saunders（1970）证实光周期是调节羽化节律的主导因素。余国志等（2013）也猜测清晨的环境适合昆虫羽化后展翅的要求。Bertossa 等（2010）证明某些昆虫为了满足生理生态方面的要求，会在光期的开始进行羽化行为。

梨小食心虫的交尾日龄普遍集中在 2-3 日龄之间，对蛹期进行不同光周期处理后，在全光 24L∶0D 时交尾日龄出现了最高值，在全暗 0L∶24D 时交配率和繁殖量均最低。试验表明全光和全暗的光照环境都不利于梨小食心虫的交配繁殖。总体而言，交配率和繁殖量在长光照较高。张国辉和仵均祥（2012）报道，在进入暗期前的几个小时，是梨小食心虫成虫与环境进行信息交流的关键时期，不仅雌雄成虫完成交配所需的性信息素的交流，而且雌虫也与寄主植物进行信息间的交流以寻找适宜的产卵场所。可见，梨小食心虫的交配繁殖需要光期和暗期的协调参与。

蛹经过 L∶D=12∶12、15∶9、16∶8、20∶4 光周期处理后，成虫交尾持续时间延长，且随着光照时间的增加，成虫寿命降低。陆鹏飞等（2013）在试验中发现豆野螟 *Maruca vitrata* 交尾持续时间的延长让两性昆虫消耗更多的体力，进而缩短了寿命。虽然交尾持续时间延长后，成虫寿命越来越短，但是较其他处理成虫寿命较长，猜测可能是试验昆虫在一定的光周期范围里随着交尾持续时间的延长寿命缩短，在感受到适宜光周期时，会接受光周期这种信号并协调自身，以减少交尾过程中体力的消耗，延长寿命。

就光照长度而言，梨小食心虫在经过长光照处理后，交尾持续时间较长，交尾率较高。虽然各个处理间繁殖量差异不显著，但长光照处理后繁殖量也较高。繁殖量直接影响后代的种群数量。所以综合来看，蛹经过长光照处理后，成虫的交配繁殖情况更好。

梨小食心虫蛹接受不同光周期处理，对雌雄成虫的寿命影响不同。梨小食心虫雌虫只交尾一次，雌虫决定产卵行为，蛹接受长光照处理后，雌虫寿命较长，有利于增加产卵机会；雄虫可多次交配，雄虫决定交配行为，蛹接受短光照处理后，雄虫寿命较长，雄虫寿命长有利于多次交配。作者认为这种差异很可能与梨小食心虫的交配策略有关。

褚艳娜等（2014）认为长光照对某些昆虫的影响程度要远大于短光照，与这类昆虫长期处于低光强的环境有关。梨小食心虫生活史中的大部分阶段接受光照有限，而且梨小食心虫的蛹属于围蛹，茧对强光照有一定的阻挡作用。可以说长期处于低光强的环境，使得梨小食心虫更敏锐的捕获到环境中长光照的信息。长光照对梨小食心虫的生存更有利，这与梨小食心虫的高发季节（6-9 月）的长光照环境条件相符合。

从全国梨小食心虫时空分布范围来看（表 1），发生期分布于 3-9 月。在同一分布时间段，接受的光照时长从南至北逐渐减少。对比本试验结果，在蛹接受长光照刺激后羽化时间提前，交尾时间推迟，繁殖量较大。在南方梨小食心虫羽化时间较北方提前，成虫高峰期出现较早，交尾时间在南方较北方推迟，幼虫高峰期出现较晚。综合成虫与幼虫发生时间，在南方世代周期较短，北方较长。各世代周期的差异造成了分布区

表 1　中国四个地区梨小食心虫的世代数和当地的光照长度

Table 1　Generations of *Grapholita molesta* and the light length in four regions in China

地理位置 Geographic location	地区 Regions	省 Province	地市/县 City/Count	GPS 信息 GPS information	代数 Generations	发生时间 Occurrence time	光照长度 Light length	文献 Literature
最西端	西北地区	新疆	喀什地区	39°28′23.62″N 76°00′15.90″E	越冬代	3 月下旬至 5 月下旬	13 h 28 min-16 h 49 min	王振辉，2013；岳朝阳等，2011
					1	5 月上旬至 6 月中旬	15 h 52 min-17 h 22 min	
					2	6 月上旬至 7 月下旬	17 h 11 min-16 h 32min	
					3	7 月上旬至 8 月下旬	17 h 14 min-14 h 53 min	
					4	8 月上旬至 9 月下旬	16 h-13 h 4 min	
					5	9 月上旬-下旬	14 h 14 min-13 h 4min	
最南端	西南地区	云南	禄丰县	25°09′07.78″N 102°04′46.02″E	越冬代	3 月中旬至 4 月下旬	12 h 45 min-13 h 46 min	杨本立和邓有金，1998
					1	4 月上旬至 5 月下旬	13 h 16 min-14 h 21 min	
					2	5 月上旬至 6 月下旬	13 h 59 min-14 h 34 min	
					3	6 月上旬至 7 月下旬	14 h 29 min-14 h 15 min	
					4	7 月上旬至 8 月下旬	14 h 31 min-13 h 35 min	
					5	8 月上旬至 9 月下旬	14 h 2 min-12 h 50 min	
					6	9 月上旬-下旬	13 h 19 min-12 h 50 min	
最东/北端	东北地区	黑龙江	牡丹江	44°33′14.96″N 129°37′40.01″E	越冬代	5 月中旬至 6 月下旬	15 h 55 min-16 h 47 min	刘海荣等，2011；韩继龙和高庆玉，2014
					1	6 月上旬至 7 月下旬	16 h 36 min-16 h 5 min	
					2	7 月中旬至 8 月下旬	16 h 26 min-14 h 39 min	
					3	8 月中旬至 9 月下旬	15 h 9 min-13 h 2 min	
试验地区	华北地区	山西	太谷	37°25′15.31″N 112°33′06.06″E	越冬代	3 月上旬-4 月下旬	12 h 22 min-14 h 26 min	Kong *et al.*，2014；实地调查
					1	4 月上旬-6 月中旬	13 h 38 min-15 h 46 min	
					2	5 月中旬-7 月下旬	15 h 8 min-15 h 16 min	
					3	6 月下旬-9 月中旬	15 h 47 min-13 h 20 min	
					4	8 月上旬-9 月下旬	14 h 55 min-12 h 56 min	

发生世代的不同，除大的地形的起伏破坏气候分布的地带性外（如西藏高原），世代的发生具有明显的纬度划分。由于经度上的气候变化较小，梨小食心虫的发生情况在经度上的变化不大。因此，从光周期的变化上推断，在我国从南至北发生世代呈现减少的趋势。在我国东北地区、华北大部分地区、西北地区 1 年发生 3-4 代；在河北中南部、山西南部、山东、河南、陕西关中地区 1 年发生 4-5 代；在我国长江以南 1 年发生 6-7 代，有 5 代完全世代，第 6-7 代为不完全世代（陈凤英等，1998；范仁俊等，2013）。符合世代随光周期的变化规律。在同一分布区，不同世代接受的光照时长变化呈现先增加后减少的趋势，世代周期先缩短后延长（李晓军，2013；朱更瑞，2014）。Dickson（1949）在对梨小食心虫的滞育现象的研究中也证明，12 h 的光照时长为发生滞育的关键光周期，当白天的时间缩短，滞育的预蛹比例较高，直至每日光照时长为 12 h 时，进入滞育期的预蛹比例最高，达到 98.7%。因此，在接受光照时长短于 12 h 后，越冬代世代周期最长，发生滞育现象，梨小食心虫不再发生，直至第二年接受光照时长长于 12 h 后，打破梨小食心虫的滞育现象，开始发生。并且从同一分布区不同发生世代的发生量上来看，由于较长的光照时长刺激蛹后会带来较大的繁殖量。因此，发生量和危害情况呈现先增高后降低的趋势。例如：山东泰安地区包括越冬代一年发生 5 代，羽化高峰期成虫发生量在各年份随不同世代的变化呈现先升高后降低的趋势。成虫羽化进度的高峰期在第 2、3 代较其他世代集中（朱更瑞，2014）。在河南郑州地区包括越冬代一年发生 6 代，第 2、3 代发生数量明显高于其他世代，第 3、4 代持续时间明显短于其他世代（李晓军，2013）。在山西省太谷县包括越冬代一年发生 4 代，第 2、3 代的发生量高于第一代和越冬代，并且出现成虫盛发期的时间间隔较短（Kong *et al.*，2014）。

梨小食心虫各地区，各世代发生的差异性由多种因子共同决定。光周期作为一种环境因子，除通过改变环境温度间接作用于梨小食心虫外，还可以直接对羽化和繁殖进行调节。并且，还可对环境中出现的不利光周期进行预判，在一代的发生中，遇到短光照的不利条件时，延长雄虫寿命，提前交尾日龄。在全年发生期中，梨小食心虫可以感知光周期变化，使光周期信息和内部的的节律共同调节自身来适应环境，光周期的变化可能刺激了梨小食心虫的内分泌系统，使梨小食心虫的自身出现相应变化。光周期如何影响梨小食心虫的内分泌系统，需要进行下一步的试验讨论。

参考文献 (References)

Bertossa RC, van Dijk J, Beersma DG, Beukeboom W, 2010. Circadian rhythms of adult emergence and activity but not eclosion in males of the parasitic wasp *Nasonia vitripennis*. *Journal of Insect Physiology*, 56(7): 805–812.

Chen FY, Wang RZ, Cao HG, 1998. A preliminary report on the occurrence and control of *Grapholitha molesta*. *Biological Disaster Science*, 21(1): 15–16.[陈凤英, 汪荣灶, 曹华国, 1998. 梨小食心虫的发生与防治研究初报. 生物灾害科学, 21(1): 15–16.]

Chu YN, Wang Q, Li JW, Zhang QW, Liu XX, 2014. Effects of photoperiod on the development and reproduction of *Agrotis ypsilon*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1268–1273. [褚艳娜, 王琼, 李静雯, 张青文, 刘小侠, 2014. 光周期对小地老虎生长发育及繁殖的影响. 应用昆虫学报, 51(5): 1268–1273.]

Dickson RC, 1949. Factors governing the induction of diapause in the oriental fruit moth. *Annals of the Entomological Society of America*, 42(4): 511–537.

Fan RJ, Liu ZF, Lu JJ, Feng YT, Yu Q, Gao Y, Zhang RX, 2013. Progress in the application of IPM to control the oriental fruit moth (*Grapholitha molesta*) in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 50(6): 1509–1513. [范仁俊, 刘中芳, 陆俊姣, 封云涛, 庾琴, 高越, 张润祥, 2013. 我国梨小食心虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 50(6): 1509–1513.]

Han KS, Jung JK, Choi KH, Sun WL, Boo KS, 2001. Sex pheromone composition and male trapping of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 4(1): 31–35.

Han JL, Gao QY, 2014. Occurrence law and control technology of *Guapholitha molesta* Busck in Harbin pear orchard. *Northern Horticulture*, 22: 111–112. [韩继龙, 高庆玉, 2014. 哈尔滨梨园梨小食心虫的发生规律及其防治技术. 北方园艺, 22:

111–112.]

Huang KX, Liu XQ, Huang BK, 1990. Fruit Tree Entomology. Beijing: Agricultural Press. 212–216. [黄可训, 刘秀琼, 黄邦侃, 1990. 果树昆虫学. 北京: 农业出版社. 212–216.]

Kong WN, Hu RS, Zhao ZG, Li J, Zhang ZW, Li SC, Ma RY, 2014. Effects of trap height, location, and spacing on pheromone-baited trap catch efficacy for oriental fruit moths (Lepidoptera: Tortricidae) in a peach orchard. *Canadian Entomologist*, 146(6): 684–692.

Li XJ, Zhai H, Wang T, Li H, Wang CJ, 2013. Study on the occurrence dynamics and prediction mathematical model of *Grapholitha molesta* in peach orchard in Feicheng region of Shandong. *Journal of Fruit Science*, 30(5): 841–847. [李晓军, 翟浩, 王涛, 李红, 王长君, 2013. 山东泰安肥城桃产区梨小食心虫发生规律及预测预报模型研究. 果树学报, 30(5): 841–847.]

Liu HR, Lin FC, Yang XH, Guo JL, 2011. Occurrence and control of *Grapholitha molesta* in Heilongjiang province. *Forest by-Product and Speciality in China*, 112(3): 25–27. [刘海荣, 林发成, 杨晓华, 郭金玲, 2011. 黑龙江省梨小食心虫发生与防治. 中国林副特产, 112(3): 25–27.]

Lu PF, Qiao HL, Zong SX, Lei CL, 2013. Effect of delayed and multiple mating on the reproduction of *Maruca vitrata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1564–1572. [陆鹏飞, 乔海莉, 宗世祥, 雷朝亮, 2013. 豆野螟延迟交尾和多次交尾对生殖的影响. 应用昆虫学报, 50(6): 1564–1572.]

Myers CT, Hull LA, Krawczyk G, 2006. Effects of orchard host plants on the oviposition preference of the oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(4): 1176–1183.

Saunders DS, 1970. Circadian clock in insect photoperiodism. *Science*, 168(3931): 601–603.

Wang ZH, 2013. Use sex pheromone to forecast *Grapholita molesta* occurrence period and prevention. *Xinjiang Farmland Reclamation Science & Technology*, (8): 18–19. [王振辉, 2013. 性诱剂测报梨小食心虫发生期与防治试验. 新疆农垦科技, (8): 18–19.]

Wu SH, Xiang Q, Xue FS, 2007. Circadian behavioral rhythms in insects. *Jiangxi Plant Protection*, 29(4): 147–157. [吴少会, 向群, 薛芳森, 2007. 昆虫的行为节律. 江西植保, 29(4): 147–157.]

Yang BL, Deng YJ, 1998. Life history and early control of *Grapholitha molesta*. *South China Fruits*, 27(1): 36. [杨本立, 邓有金, 1998. 梨小食心虫的生活史及早期防治. 中国南方果树, 27(1): 36.]

Yu GZ, Chen C, Liu W, Fu XG, Wei HY, 2013. Effects of temperature and photoperiod on the eclosion rhythm of *Ostrinia furnacalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 180–185. [余国志, 陈超, 刘伟, 付小刚, 魏洪义, 2013. 温度和光周期对亚洲玉米螟羽化节律的影响. 应用昆虫学报, 50(1): 180–185.]

Yue ZY, Zhang XP, Yang S, Liu AH, Zhang JW, Xu BQ, 2011. Primary discussion on growth and decline dynamics of *Grapholitha molesta* Busck and prevention and control of *Trichogramma* in apricot orchard in Kashi region. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 47(12): 2376–2380. [岳朝阳, 张新平, 杨森, 刘爱华, 张静文, 徐兵强, 2011. 喀什地区杏园内食心虫消长动态及赤眼蜂防治初探. 新疆农业科学, 47(12): 2376–2380.]

Zhang GH, Wu JX, 2012. Behavioral rhythms of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Northwest A & F University* (*Natural Science Edition*), 40(12): 131–135. [张国辉, 仵均祥, 2012. 梨小食心虫成虫行为节律研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 40(12): 131–135.]

Zhu GR, Wang XW, Fang WC, Feng YB, Wang XL, Chen LY, Hu XJ, 2014. Occurrence regularity of oriental fruit moth and its taxis to different catchers' applied in peach orchard. *Journal of Fruit Science*, 31(2): 282–287. [朱更瑞, 王新卫, 方伟超, 冯义彬, 王小丽, 陈领豫, 胡晓晶, 2014. 桃园梨小食心虫发生规律及成虫对不同诱捕器的趋性研究. 果树学报, 31(2): 282–287.]