

段煌,李雅明,闵勇,等.基于全生活史可视化的烟草甲虫生物学特征及环境影响因子研究[J].华中农业大学学报,2025,44(5):179-188.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.05.018

基于全生活史可视化的烟草甲虫生物学特征 及环境影响因子研究

段煌^{1,2},李雅明²,闵勇¹,张志刚¹,柯少勇¹

1. 农业农村部微生物农药创制重点实验室/国家生物农药工程技术研究中心/湖北省生物农药工程研究中心/
湖北省农业科学院,武汉 430064; 2. 武汉达汇新科技有限公司,武汉 430040

摘要 为提高对仓储害虫的智能识别及虫情监测的准确度,指导烟草仓储环节害虫的有效防控,以烟草甲虫(*Lasioderma serricorne* F.)全生活史可视化为切入点,对其卵期、幼虫期、蛹期及成虫期的生物学特征进行系统调查及量化;并针对烟草甲虫成虫习性、活动节律、环境因子与成虫的互动进行测试。结果显示,全生活史可视化提高了观测的可操作性,未干扰烟草甲虫活动的同时获得了不同虫态的量化数据。烟草甲虫成虫活动的峰值是凌晨01:00左右;成虫期的产卵量峰值是羽化后第6天;成虫产卵对不同颜色的色卡和光源均存在趋向性,对不同颜色的趋向性有显著差异;诱捕器增加绿色光源后诱捕效果稳定提升,捕获率是对照组的2.03倍。构建的烟草甲虫全生活史量化及应用模型可用于虫情测报、防控时机确定,以及根据害虫的动态变化选择防控方式、药剂种类及用药量等。结果表明,全生活史可视化方法可实现对烟草甲虫的精准识别,显著提高虫情测报的准确率,能更好地指导仓储害虫的防控。

关键词 烟草甲虫;全生活史可视化;活动节律;数字化;趋向性

中图分类号 S435.72 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)05-0179-10

烟草甲虫是一种世界性的储藏物害虫,其食性广泛,主要危害各种动植物干制品等^[1],对烟草的危害涉及了其干制品的整个加工和流通过程^[2-3]。该虫对醇化过程中烟叶、烟丝和烟草制品有更强的偏好,严重影响卷烟质量^[4]。烟草甲虫同其他小型仓储害虫一样,具有较强的隐蔽性,仅在成虫飞行活动时期才容易被发现。在正常生长状况下,因幼虫虫体较小,饲料颗粒和饲料层会对虫体形成遮挡,导致观察烟草甲虫幼虫的活动非常困难。从饲料中分选出虫体进行观察,不仅操作困难,而且干扰昆虫正常发育^[5]。对于烟草甲虫成虫的观测也存在同样问题,单个成虫个体较小且善飞行,难于定位和追踪^[6]。以全生活史量化数据和形态为基础,通过图像识别等技术进行虫情精准测报可以摆脱对大量人工的依赖,实现实时反应^[7]。基于量化的全生活史建立的个体和种群数量的动态分布和防控模型,可及时调整防控策略,实施主动干预^[8],从被动的固定消杀模式升

级为以实时虫情为基础的主动防控模式^[9]。

因此,如何通过无干扰的方式实现对烟草甲虫幼虫及成虫的观察测报是当前仓储害虫防控的关键。本研究针对烟草甲虫的卵、幼虫、蛹、成虫等不同发育期,开发可视化及量化方法,获得针对烟草甲虫成虫习性、活动节律、环境因子与成虫的互动等关键数据,进而构建烟草甲虫全生活史量化及应用模型,旨在为制定更加科学的仓储害虫防控措施提供可靠依据^[10]。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器和设备

1)供试甲虫。烟草甲虫(*Lasioderma serricorne* F.)为湖北省生物农药工程研究中心微生物资源研究室提供。

2)主要仪器和设备。粉碎机、血球细胞计数板、不同细度分级筛、显微镜、载玻片、塑料培养盒、毛

收稿日期:2024-07-16

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFD1700700);湖北中烟工业有限责任公司科技项目(2023JSYL4ES2C063)

段煌, E-mail: dhuang@163.com

通信作者:张志刚, E-mail: zhigang.zhang@nberc.com

笔、烟草甲虫诱捕器(武汉东昌仓贮技术有限公司)、不同大小的昆虫饲养笼(边长30、70和100 cm)、光照培养箱、光照培养室、游标卡尺、监控器(小米云台3)、不同颜色的色卡和LED灯珠(带电池)。

1.2 昆虫饲料及可视化饲养板的制作

以熟化2 a左右的烟叶作为基础饲料成分进行处理。烟草叶片经过切丝、粉碎后过筛,得到如下不同细度的烟草叶粉: >0.85 、 $0.85\sim 0.425$ 、 $0.425\sim 0.25$ 、 $0.25\sim 0.18$ 、 $0.18\sim 0.15$ 、 <0.15 mm。可视化饲养板以载玻片为载体,使用不同细度的烟草叶粉,分别铺成不同厚度烟草叶粉的饲养板备用。

1.3 烟草甲虫卵的收集

将以载玻片为载体制成的不同规格的饲养板放入 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 方形塑料培养盒中,再移入20头烟草甲虫成虫,加盖,置于培养室中培养。24 h后,移出成虫,镜检饲养板上及周边烟草叶粉中虫卵,比较不同规格培养板中虫卵的可视化效果。

1.4 烟草甲虫幼虫的可视化及量化

1)烟草甲虫的可视化观察。由于烟草甲虫幼虫喜在烟草叶片皱褶中活动取食,在幼虫习性观测中难于捕获。按前述饲养板规格制作成标准饲养板,按本文“1.3”的方法收集虫卵,在饲养过程中可直接观察到卵及幼虫的活动。每天观察虫体变化并测量幼虫头壳宽度,同步记录幼虫集体蜕皮的时间。

2)幼虫头壳宽度测量。以血球细胞计数板的计数室底面方格边长(实际宽度为1 mm)为参照物,对幼虫进行拍照,同步测量照片中幼虫头壳宽度(M ,照片中宽度)和细胞计数板底面小方格边长(L ,照片中宽度),然后计算出幼虫头壳的真实宽度(X)。计算公式为 $X=M/L\times 1(\text{mm})$ 。每组同步选择3头幼虫进行测试。

1.5 烟草甲虫蛹的可视化及量化

随着虫龄的增长,幼虫个体增大,活动能力加强,幼虫向培养板外扩散,培养20 d后向培养皿中增加2 g饲料粉(小于0.15 mm),持续培养。烟草甲虫幼虫在化蛹前有筑蛹室的习性,当老熟幼虫建蛹室率达80%左右时开始作为计时起点,尚未筑蛹室的幼虫随多余的饲料一起移出培养盒,记录蛹室数量。继续培养,观察,并记录不同时间节点幼虫化蛹率及羽化率。

1.6 烟草甲虫成虫的可视化及量化

1)烟草甲虫成虫的活动节律观察。测试场景为 30 m^2 实验室,南面有窗,北面有门,自然光照。选择

羽化3 d的烟草甲虫成虫移入边长为1 m的正方体昆虫饲养笼,养虫笼内放置一张烟草甲虫诱捕器和两台摄像机^[11],其中一台摄像机用于拍摄诱捕器胶面,另一台摄像机用于拍摄昆虫饲养笼内环境。2台摄像机都为远程控制,自动摄像和自动存储。操作人员通过远程访问及回放,可以在试验需要的任意时间节点统计诱捕器上粘虫板上烟草甲虫数量。

2)烟草甲虫成虫的产卵习性调查。按本文材料与“1.2”的处理方式准备可视化饲养板,先将以载玻片为载体制成的饲养板(有0.6 mm饲料层)放入 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 方形塑料培养盒中,再移入20头烟草甲虫成虫(同一批,且羽化3 d),加盖,置于培养室中培养。24 h后,把成虫移到另一个放置了饲养板(带0.6 mm饲料层)的方形塑料培养盒中,继续培养。镜检并记录原饲养盒中的虫卵量,包括饲养板上及饲养板周边散落的饲料中的虫卵。24 h后,重复上述操作,并记录产卵量,持续统计14 d。

3)烟草甲虫成虫对色卡的趋向性观察。在不同颜色标准色卡中央分别放置0.05 g烟草叶粉(小于0.15 mm),烟草叶粉铺展面积约为 0.5 cm^2 ,厚度约1 mm,然后盖上一块与色卡同颜色的小卡片,制成产卵卡。先将以标准色卡为载体制成的不同颜色的产卵卡放入边长为70 cm的正方体昆虫饲养笼内,色卡位置随机设置。测试板之间的间距20~30 cm。然后往昆虫饲养笼中投入30只羽化3 d的烟草甲虫成虫。置于培养室中,4 d后镜检各产卵卡上饲料中的虫卵,记录卵量,重复3次。

4)烟草甲虫成虫对光源的趋向性观察。在边长为100 mm的方木板中央放置一个小支架和0.15 g烟草叶粉(小于0.15 mm),将不同颜色的LED灯珠(自带纽扣电池)分别放置在方木板支架上,组成光源测试板。先将带有不同颜色光源的测试板放置在边长为70 cm的正方体昆虫饲养笼内,光源测试板随机放置,测试板之间的间距20~30 cm;然后往昆虫饲养笼中投入30只羽化3 d的烟草甲虫成虫。置于培养室中,4 d后镜检各光源测试板饲料中的虫卵,记录卵量,重复3次。

5)成虫捕获率变化。成虫诱捕测试笼为边长70 cm的正方体昆虫饲养笼,笼内挂一块诱捕板(单块粘板和性诱剂)。使用同一批烟草甲虫蛹,每40只蛹为1组,分别移入培养盒中。准备15组蛹,编号备用。盒内同时放置一块饲养板,成虫开始产卵后每天更换新饲养板。待成虫羽化开始2 d后,每天随机选择

1 组培养盒,从中随机挑选 30 只成虫移入诱捕测试笼中,24 h 后记录粘虫板上成虫数量,并计算捕获率,最后清空测试笼中的成虫。重复以上操作,连续测试 12 d(每天 1 组),得到羽化日龄 3~14 d 成虫的捕获率(羽化 1~2 d 后,大部分成虫才离开蛹室,开始正常活动),重复测试 3 批。测试过程中测试场景内避免人员进入。

数据分析:采用 Excel 软件录入、整理数据。烟草甲虫成虫活动规律采用 R4.3.1 软件进行分析和绘图。成虫趋性数据采用单因素方差分析和 LSD 法比较不同颜色间的差异^[12]。

1.7 烟草甲虫全生活史可视化的应用

1) 虫情测报。幼虫个体长度和体形不仅与虫龄相关,而且和进食量以及蜕皮等生理活动有关,但幼虫头壳宽度却是相对稳定的。因此,通过幼虫头壳宽度来确定其龄期更精准。在实际的烟草仓储管理环节中,掌握精准的虫龄就可以准确地反向追踪虫源和害虫侵染时间、场所等,也能对下一代发生时间做出更精准的预测,以便及时进行防控。

2) 诱捕率测试。以烟草甲虫诱捕器为基础,在同一个边长为 1 m 的正方体昆虫饲养笼中设置 3 个测试单元:(1)烟草甲虫诱捕器加绿色光源;(2)单片粘板(用于实时监控测试进程);(3)烟草甲虫诱捕器

(对照)。3 个测试单元分别按等边三角形的 3 个顶点位置放置在昆虫饲养笼紧贴墙壁的一侧。重复测试中,3 个测试单元互换位置。使用同一批烟草甲虫,待羽化 2 d 后,选择正常出蛹室的成虫 120 只,在 09:00 时左右投放到昆虫饲养笼中,24 h 后统计 3 个测试单元上捕获烟草甲虫数量,计算各个测试单元上捕获虫量占总捕获量的百分比。重复测试 6 次,测试场景中避免人员进入。

3) 烟草甲虫全生活史量化及应用模型构建。根据烟草甲虫全生活史的量化数据结合害虫防控的应用,构建相应的模型。该模型由 5 个同心环组成,由内向外依次为环Ⅰ、环Ⅱ、环Ⅲ、环Ⅳ、环Ⅴ。每一环包含不同虫态及历期的基本信息,同时不同环侧重于应用中的不同环节^[13-14]。

2 结果与分析

2.1 卵的可视化、产卵量的量化及卵的孵化

进行烟草甲虫卵计数的第一个障碍是烟草叶片的遮挡,通过镜检,可以直观地看到不同细度的烟草叶粉对虫卵的遮挡效果。试验结果如表 1 所示,随着烟草叶粉粒度变小,对虫卵的遮挡效果越差,当烟草叶粉粒度小于 0.15 mm,便不再出现对虫卵的遮挡。

表 1 不同类型烟草叶粉对烟草甲虫虫卵的遮挡效率

Table 1 The shielding efficiency of different types of tobacco leaf powder on tobacco beetle eggs		
烟草叶粉细度/mm Fineness of tobacco leaf powder	烟草叶粉对单个虫卵的遮挡率/% Occlusion rate of tobacco leaf powder on individual insect eggs	烟粉颗粒与卵径的比较 Comparison of tobacco leaf powder particles and egg diameter
>0.85	100	烟草叶粉颗粒直径远大于虫卵长度 The diameter of tobacco leaf powder particles is much larger than the length of the insect eggs
0.85~0.425	100	烟草叶粉颗粒直径远大于虫卵长度 The diameter of tobacco leaf powder particles is much larger than the length of the insect eggs
0.425~0.25	100	烟草叶粉颗粒直径大于虫卵长度 The diameter of tobacco leaf powder particles is greater than the length of the insect eggs
0.25~0.18	20~100	部分烟草叶粉颗粒直径大于虫卵长度 Some tobacco leaf powder particles have a diameter greater than the length of the insect eggs
0.18~0.15	0~20	烟草叶粉颗粒直径与虫卵长度相近 The diameter of tobacco leaf powder particles is similar to the length of the insect eggs
<0.15	0	烟草叶粉颗粒直径小于虫卵长度 The diameter of tobacco leaf powder particles is smaller than the length of the insect eggs

如图 1 所示,烟草甲虫虫卵无论是颜色还是外形在烟草叶粉(粒度小于 0.15 mm)中都极易被分辨。通过进一步系统比较后确定,只要烟草叶粉厚度不大于 0.6 mm,不会对虫卵形成有效遮挡。

2.2 幼虫生长可视化及生长特征

由于在同一饲养板上的烟草甲虫幼虫源于同一

天所产虫卵,所以同一块饲养板上的幼虫蜕皮进度基本同步。如图 2 所示,在孵化后 7、11、14、和 22 d,均可明显观察到饲养板上幼虫集体蜕皮。同时,同一龄期幼虫的体长和体宽与进食量和日龄等有关,存在个体差异,但头壳宽度相对稳定。图 3 结果显示,幼虫头壳宽度随着天数的增加发生明显的持续

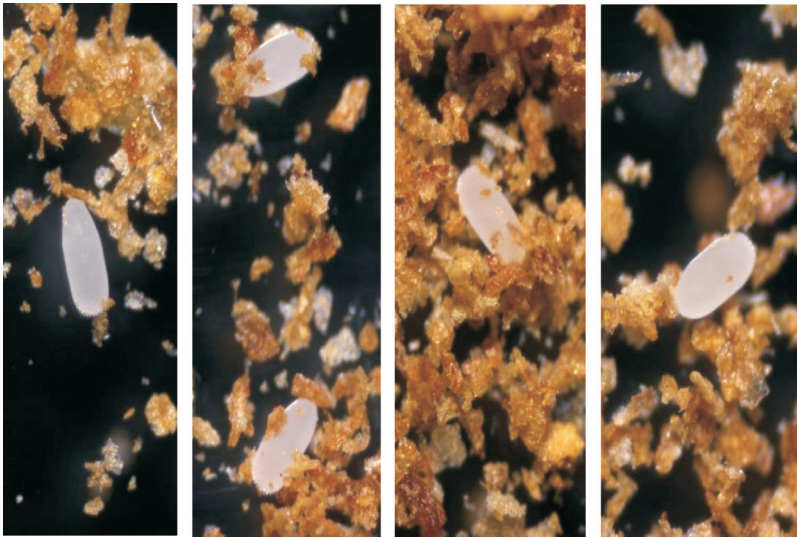


图1 烟草叶粉中的虫卵(放大倍数为 12.5×4.5)
Fig. 1 Eggs in tobacco leaf powder(magnification of 12.5×4.5)

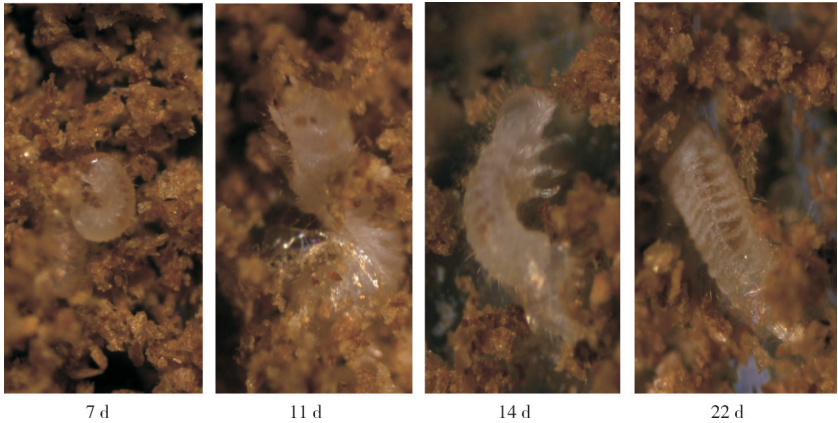


图2 不同培养时间的幼虫蜕皮观察
Fig. 2 Observation of larvae molting at different cultivation times

变化(变宽),随后保持稳定,直至下一次蜕皮。头壳宽度变化时间与饲养板上幼虫集体蜕皮现象的时间节点吻合。

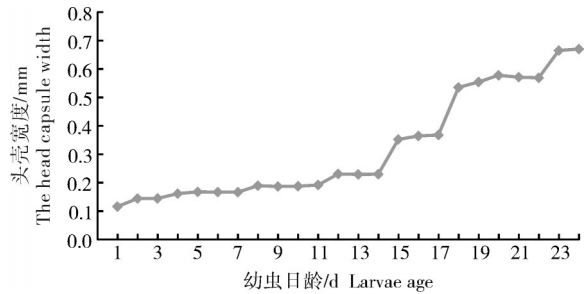


图3 不同培养时间幼虫的头壳宽度
Fig. 3 Head capsule width of larvae at different cultivation times

2.3 蛹的可视化及羽化习性

在自然生态环境中,烟草甲虫的蛹室完全被烟

草叶片包裹,与烟草叶及碎屑混合在一起难于分辨。按前述方法培养幼虫,由于同一培养盒中幼虫来源于同一天所产虫卵,卵龄相差在 24 h 以内,所以幼虫化蛹时间也基本一致。受饲料厚度限制,老熟幼虫几乎全部贴壁筑蛹室,透过培养盒底面,蛹室及内部虫体清晰可见。如表 2 所示,以相同时间节点(每天为一个时间段)统计的化蛹率和羽化率结果显示,建蛹室 48 h 之后,化蛹率平均为 83.26%;建蛹室 168 h 之后,羽化率平均值为 87.29%;化蛹后的成虫有继续滞留蛹室的习性,95% 以上的成虫在蛹室的滞留时间不超过 96 h。

2.4 成虫习性可视化

1)成虫活动节律性。通过监控设备的实时监控,可以远程记录不同时间诱捕器粘虫板上的烟草甲虫数量;且使用录像回放功能,还可以确定每只烟

表2 从老熟幼虫到成虫的发育进程				
Table 2 The developmental process from mature larvae to adults				
%				
培养盒编号 Incubator number	化蛹率 (48 h) Pupation rate (48 h)	羽化率 (168 h) Emergence rate (168 h)	成虫出蛹室率 (216 h) Adult pupal emergence rate (216 h)	成虫出蛹室率 (264 h) Adult pupal emergence rate (264 h)
A21	82.68	81.89	54.33	96.06
A23	82.56	87.21	59.30	95.35
A24	84.54	92.78	67.01	98.97
均值 Mean value	83.26	87.29	60.21	96.79

草甲虫被粘上诱捕器的时间。为了明确烟草甲虫的活动节律,以诱捕器上捕获虫量多少来间接反映其活跃程度。图4结果显示,烟草甲虫成虫被捕获的时间集中在20:00到次日04:00,峰值在01:00左右。测试日期的昼夜长度的变化节律为19:00左右天色开始变暗,次日04:00左右天色转亮。由此推断烟草甲虫活动时间集中在晚上,并且在凌晨01:00左右最为活跃。

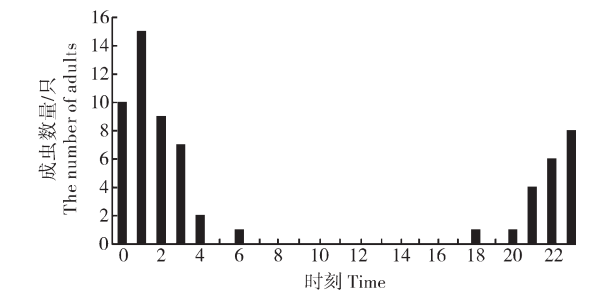


图4 一天中(24 h)烟草甲虫成虫的整点捕捉量分布
Fig. 4 Distribution of hourly catch of tobacco beetle adults in a day (24 hours)



成虫产卵的趋向性测试
Trend testing of adult oviposition

2)成虫产卵量分布。烟草甲虫成虫对储烟没有直接危害,但是成虫可以自由飞行,通过产卵将虫害扩散。本研究以产卵能力来量化成虫阶段的危害性。成虫群体的产卵总量与成虫羽化时间(日龄)的关系如图5所示,成虫羽化4 d开始产卵,随后产卵量快速提升,于第6天达到峰值,然后产卵量持续下降。

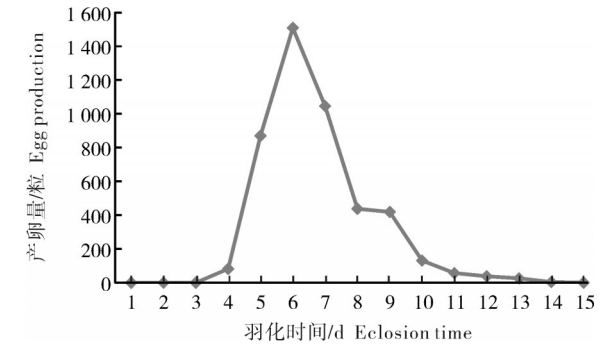
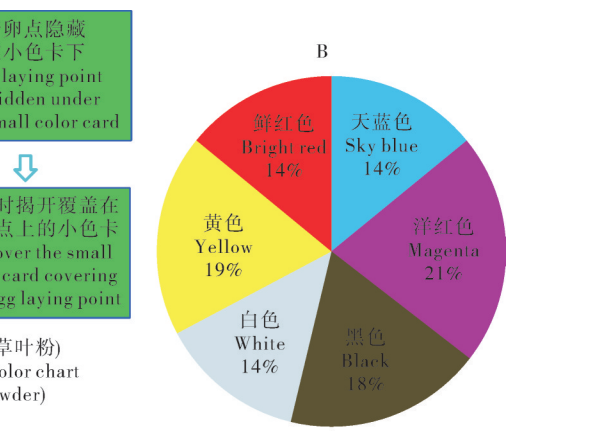


图5 烟草甲虫成虫产卵量变化
Fig. 5 Changes of egg production of tobacco beetle adults

3)成虫产卵对不同颜色色卡的趋向性。为了调查颜色对成虫产卵的影响,设置了如图6A所示的测试场景。试验结果显示,不同颜色的色卡上产卵量分布有明显不同(图6B),其中占比最大的是洋红色,为21%。白色所占比例最少,为13.62%。引起成虫在不同色卡上产卵量差异的原因暂且不明,为了比较产卵量差异程度,对数据进行了统计分析。结果显示,不同颜色色卡上产卵量存在显著差异($P<0.05$)。

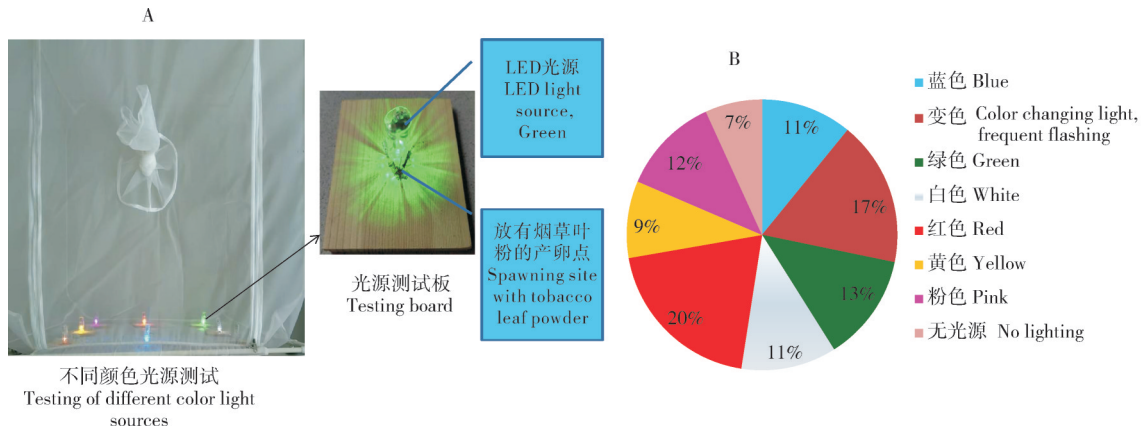


A. 测试场景; B. 不同色卡上的卵量。A. Test scenarios; B. Egg production on different color cards.

图6 成虫产卵对颜色的趋向性测试
Fig. 6 Testing the tendency of adult egg production to colors

4)成虫产卵对不同颜色光源的趋向性。上面结果显示,成虫产卵对不同色卡有趋向性。为验证烟草甲虫是否对不同颜色的光也有趋向性,设置如图7A所示的光源趋向测试板及测试场景。图7B结果显示,在同一个测试笼中,不同颜色的光源测试板收

集到的卵量占比(%)不同,而且没有打开光源的测试板收集的卵量最小,占比为7%,红色光源对应的卵量占比最大,达到20%。随后,对不同颜色光源所对应的卵量进行了统计分析,结果表明不同颜色光源对应的卵量之间有显著差异($P<0.05$)。



A. 测试场景;B. 不同颜色测试版上的卵量。A. Test scenarios; B. Egg count on test boards with different colored light sources.

图7 成虫产卵对光源的趋向性测试

Fig. 7 Testing the tendency of adult egg production to light sources

5)成虫羽化日龄与诱捕率关系。不同日龄的烟草甲虫的活跃性不同,导致在诱捕过程中也有变化。图8结果显示,成虫离开蛹室后,随着烟草甲虫成虫的羽化日龄增加,诱捕率持续下降,符合其正常生长习性。

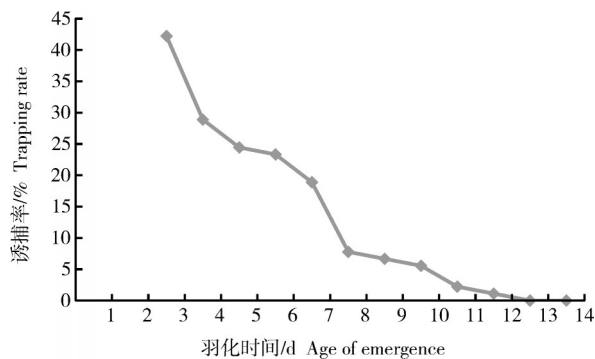


图8 成虫羽化时间与诱捕率的关系

Fig. 8 The relationship between adult emergence time and trapping rate

2.5 成虫趋性特征对诱捕率的影响

如图9所示为诱捕测试的场景设置及实时监控画面。统计结果显示,加光源的诱捕器的诱捕量占比为44.07%,是对照诱捕器(21.66%)诱捕量占比的2.03倍;加光源的诱捕器的诱捕率明显高于对照诱捕器的诱捕率,且呈现显著性差异($P<0.05$)。

2.6 模型的构建及应用

根据烟草甲虫全生活史的量化数据结合害虫防控的应用,构建模型如图10所示。其中,图10中环I不同色带代表着烟草甲虫全生活史中不同虫态及历期。

上述应用模型中烟草甲虫全生活史中不同虫态(编号)所对应的特征及历期详见表3。如表3所示,卵、幼虫和蛹历期总共为38 d,处于该历期时自主移动能力很弱且自主移动范围很小(幼虫爬行),因此虫害扩散以被动转移为主,虫口基数无增大。成虫期共20 d,由于成虫基本不取食,对贮物不形成直接危害,但是自主活动范围大(飞行),是虫害主动扩散的主要阶段,而且在此期间虫口基数快速增大(产卵)。

环II表示不同虫态的活动范围和侵入方式。各虫态除了随着物料的被动迁移,在成虫A1、A2和A3期还可以通过飞行进行种群扩张,但A3期活动能力很弱,也几乎没有产卵能力。

环III表示幼虫和成虫最佳防控时期。成虫危害潜力(产卵量)最大的是A1期和A2前期,活动能力强,同时也是成虫诱捕率最高的时期;幼虫的L1期虫体最弱小,对温度、干燥、药物和低氧的耐受能力最差,随着虫龄增大,抵抗力也增强。在这两个关键节点选择适当的方式进行防控,可以降低防控成本,提高防控效率。

环IV表示不同虫态的危害程度。直接危害储烟

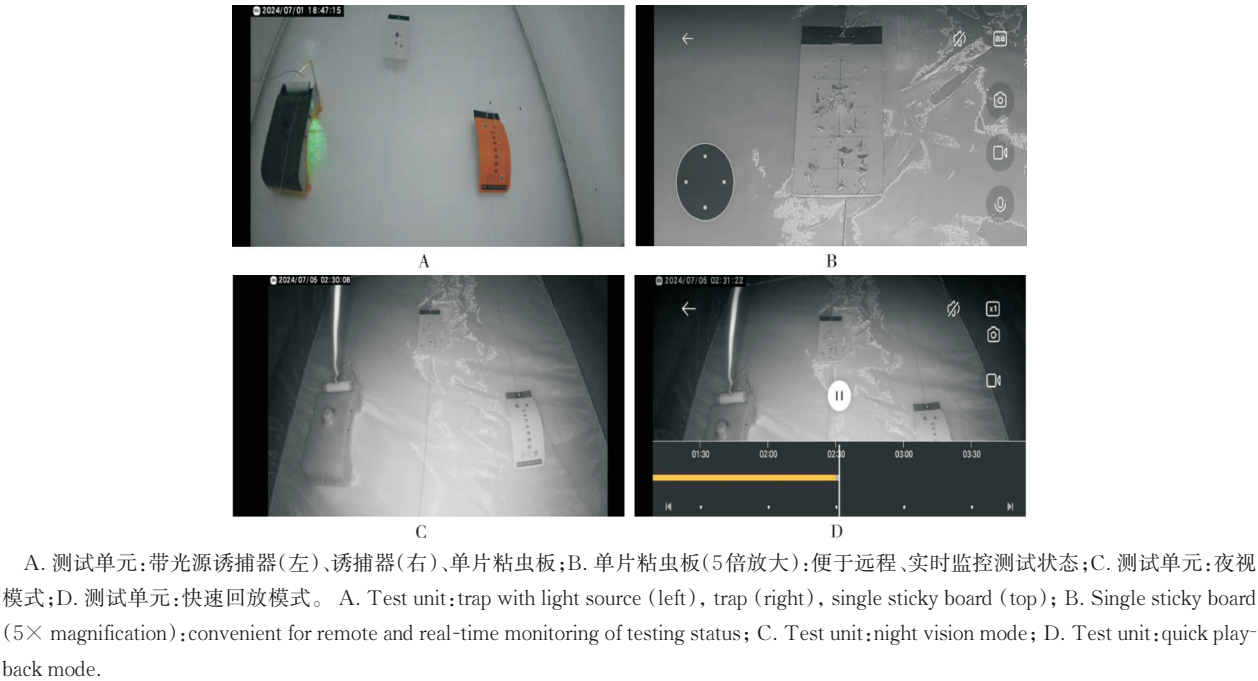


图 9 烟草甲虫成虫趋向性在诱捕中的应用测试结果

Fig. 9 Application testing result of tobacco beetle adult tendency in trapping

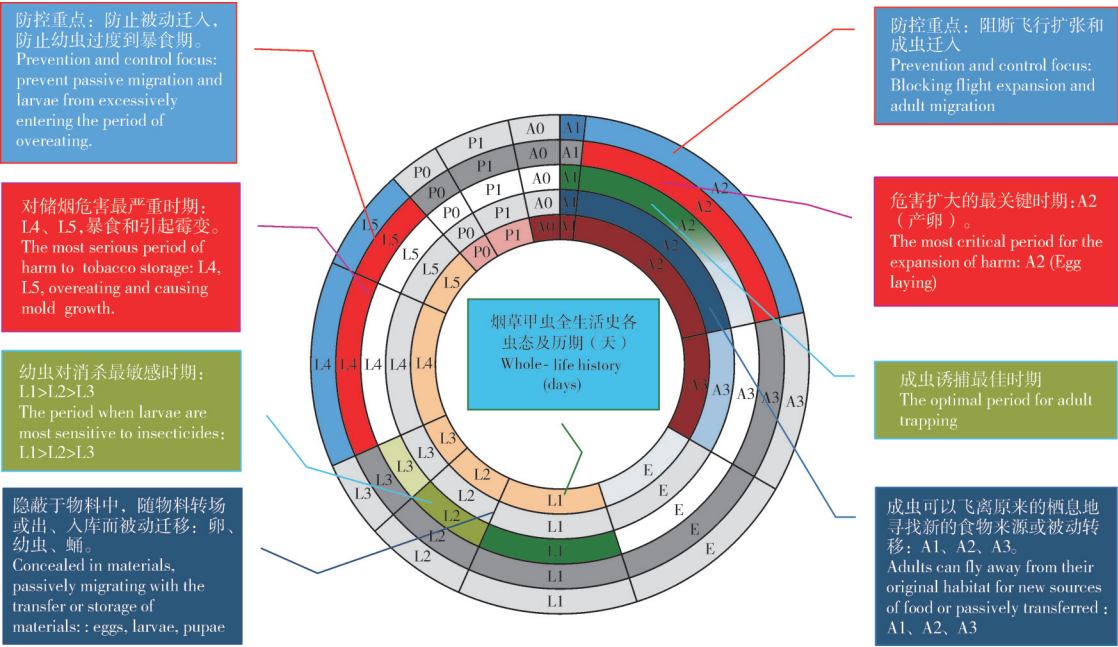


图 10 烟草甲虫全生活史量化及应用模型

Fig. 10 Quantification and application model of the whole-life history of tobacco beetles

常见的是幼虫啃食和幼虫粪便污染,引起储烟破损、物料发热、潮湿和霉变。危害最严重的是虫体较大的L4(8 d)和L5(4 d)期,占整个生活史总历期的1/5。

环V表示不同虫态的防控重点。烟草甲虫的侵入、发展和形成危害和生活史密切相关,成虫期的防控重点是防扩张和主动侵入,幼虫期防控重点则是尽早消杀,降低储烟物料中的虫口基数,阻隔转场和出入库的被动侵入。合理利用不同虫态的特点,及时进行主动干预,是降低虫口基数、减少损失最经济的策略。

该模型以越冬后的第一代成虫为起点在恒定的温度、光照和充足的食物源等稳定的条件下测得的数据为依据而建立。在实际应用中,由于代差、温度和食物源差异引起的虫态的历期会有波动,但其变化规

表 3 烟草甲虫不同虫态、特征及历期
Table 3 Different stages, characteristics, and duration of tobacco beetles

虫态 Insect stage	时期 Periods	虫体特征 Insect characteristics	编号 Number	历期/d Calendar period
成虫 Adult	产卵前期 Pre oviposition stage	不产卵 Not laying eggs	A1	1
	产卵期 Oviposition period	产卵 Spawning	A2	12
	产卵后期 Late stage of egg laying	不产卵 Not laying eggs	A3	7
卵 Egg	卵 Egg	卵 Egg	E	7
幼虫 Larva	1 龄 First instar	虫体小 Small insect body	L1	7
	2 龄 Second instar	虫体小 Small insect body	L2	4
	3 龄 Third instar	虫体小 Small insect body	L3	3
	4 龄 Fourth instar	暴食期,幼虫快速生长 During the period of overeating, larvae grow rapidly	L4	8
	5 龄 Fifth instar	暴食期,幼虫快速生长 During the period of overeating, larvae grow rapidly	L5	4
	预蛹 Prepupal	停止取食,筑蛹室 Stop feeding and build a pupal chamber	P0	2
蛹 Pupa	蛹 Pupa	隐蔽于蛹室 Concealed in the pupa chamber	P1	3
成虫 Adult	羽化初期 Early eclosion stage	羽化后滞留蛹室 Staying in the pupal chamber after eclosion	A0	2

律是一致的,因此可以依据现场实测的数据来合理调整防控时机和方法。

3 讨 论

仓储害虫的防控技术在日益丰富也更加高效和安全,如高氮、低氧、生物农药^[15-16]、天敌^[17-18]、物理屏障^[19]等。有效的干预需要有可靠的测报体系和快速反应机制,而图像和行为的数据化是智能化监测的基础。仓储害虫种类繁多,隐蔽性是其主要的共性之一,本研究证明了实现烟草甲虫全生活史可视化的可行性和实用性。通过烟草甲虫全生活史的可视化,特别是通过烟草甲虫生活习性以及与环境互动行为的量化,可为害虫的精准防控提供有效的理论数据支撑。

同时,研究也证明了成虫捕获率和产卵的峰值出现有 3~4 d 的时间差。新羽化的成虫最活跃,产卵尚未开始,捕获率却最高。在这个时间节点投入的诱捕资源,效果最为明显。而在成虫中后期,由于错过了产卵高峰,成虫的活动能力降低,成虫诱捕对控制下一代幼虫基数的作用不大。另外,幼虫的不同龄期对环境因素,如低湿^[20-21]、高温^[22-23]、低温^[24-25]、高二氧化碳^[26-27]或高氮等低氧环境以及农药^[28-29]等的敏感性有差异。如在低龄幼虫较为集中的时期进行消杀,可减少用药量或缩短消杀时间,在保证防治效果的同时降低运行成本和减少对

烟叶品质的影响,达到事半功倍的效果。害虫全生活史的可视化及量化研究,不仅可以为新型绿色防控药物的开发提供可靠的测试标准和精准虫龄的靶标,也可为仓储害虫的智能识别及虫情监测提供基础数据。

然而,正如前文所述,本研究的目的是为仓储害虫监测及预警提供更加准确的数据支持,进而指导开展烟草工业环节有效的害虫防控及治理,所以试验场景是模拟仓储实际环境,按照自然环境变化来开展的调查,鉴于所有仓库基本不会打开光源和控制湿度,所以暂未考虑这 2 个环境因子对烟草甲虫活动的影响,后续可通过进一步研究完善模型数据。

参考文献 References

[1] 马继盛,司胜利,安世恒,等. 中国烟草昆虫[M]. 北京:科学出版社,2007,34. MA J S, SI S L, AN S H, et al. Chinese tobacco insect [M]. Beijing: Science Press, 2007: 34 (in Chinese).

[2] 李通,王云明,刘珏廷,等. 烟草甲在我国的潜在地理分布[J]. 应用昆虫学报, 2024, 61(1): 162-168. LI T, WANG Y M, LIU J T, et al, Potential geographical distribution of *Lasioderma serricorne* (Fabricius) in China, Chinese journal of applied entomology [J]. 2024, 61(1): 162-168 (in Chinese with English abstract).

[3] 侯沁文,于成龙,周旭. 基于 Maxent 模型对党参害虫烟草甲在中国的适生区预测分析[J]. 长治学院学报, 2020, 37(2):

- 6-9.HOU Q W, YU C L, ZHOU X. Prediction and analysis of the suitable growth area of *Codonopsis pilosula* pest *Nicotiana tabacum* in China based on Maxent model [J]. Journal of Changzhi University, 2020, 37(2): 6-9 (in Chinese).
- [4] KIM Y I, LEE S W, KIM Y Jet al. Effect of the establishment of cigarette beetle population on the quality of stored *Cnidium rhizome* and *Angelica radix* at room temperature [J]. Korean journal of medicinal crop science, 2017, 25(4): 224-230.
- [5] 罗云, 陈斌, 郭绍坤, 等. 烟叶仓储害虫综合治理研究进展 [J]. 昆明学院学报, 2021, 43(6): 19-23. LUO Y, CHEN B, GUO S K, et al. The progress of control technology on tobacco storage pests [J]. Journal of Kunming University, 2021, 43(6): 19-23 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王方晓, 魏重生, 冯小明. 烟草甲的研究 [J]. 中国烟草科学, 1998, 19(2): 45-47. WANG F X, WEI C S, FENG X M. Studies on *Nicotiana tabacum* [J]. Chinese tobacco science, 1998, 19(2): 45-47 (in Chinese).
- [7] 郭旺, 杨雨森, 吴华瑞, 等. 农业大模型: 关键技术、应用分析与发展方向 [J]. 智慧农业 (中英文), 2024, 6(2): 1-13. GUO W, YANG Y S, WU H R, et al. Big models in agriculture: key technologies, application and future directions [J]. Smart agriculture, 2024, 6(2): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- [8] 赵紫华, 吴品珊, 许益鏊, 等. 外来入侵物种精准防控的主动性策略 [J]. 植物保护学报, 2023, 50(6): 1379-1387. ZHAO Z H, WU P S, XU Y J, et al. Proactive prevention and management for controlling invasive alien species [J]. Journal of plant protection, 2023, 50(6): 1379-1387 (in Chinese with English abstract).
- [9] 赵紫华, 马建华, 高峰, 等. 害虫种群区域性生态调控的系统策略 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 855-862. ZHAO Z H, MA J H, GAO F, et al. Systematic strategy of ecologically based pest management of insect pest population at landscape scales [J]. Chinese journal of biological control, 2021, 37(5): 855-862 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李朝晖, 许侨, 蔡京伟, 等. 烟草甲的防治研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(7): 33-43. LI Z H, XU Q, CAI J W, et al. Research progress of prevention and control of *Lasioderma serricorne* (Fabricius) [J]. Jiangsu agricultural sciences, 2021, 49(7): 33-43 (in Chinese).
- [11] PAPADOPOULOU S C, BUCHELOS C T. Comparison of trapping efficacy for *Lasioderma serricorne* (F.) adults with electric, pheromone, food attractant and control-adhesive traps [J]. Journal of stored products research, 2002, 38(4): 375-383.
- [12] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用 [J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 365-372. WANG Y S, XIE B Y, WAN F H, et al. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models [J]. Biodiversity science, 2007, 15(4): 365-372 (in Chinese with English abstract).
- [13] BLANC M P, LUGON-MOULIN N, PANIGHINI C, et al. Structure of worldwide populations of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) as revealed by amplified fragment length polymorphism profiles [J]. Bulletin of entomological research, 2006, 96(2): 111-116.
- [14] NAVARRO S, FINKELMALL S, DONAHAYE E, et al. Integrated storage pest control methods using vacuum or CO₂ in transportable systems [J]. IOBC/WPRS Bulletin, 2002, 25(3): 207-214.
- [15] EBERHARDT H J. Alternative forms of storage protection: biological insecticides for the control of the cigarette beetle (*Lasioderma serricorne*) and the tobacco moth (*Ephestia elutella*) [J]. Beiträge zur tabakforschung international, 1997, 17(2): 31-47.
- [16] BLANC M, KAELEN P, GADANI F. *Bacillus thuringiensis* (bt) for the control of insect pests in stored tobacco: a review [J]. Beiträge zur tabakforschung international, 2002, 20(1): 15-22.
- [17] PAPADOPOULOU S C, ATHANASSIOU C G. *Lariophagus distinguendus* (F.) (Hymenoptera: Pteromalidae), an ectoparasitoid of *Lasioderma Serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae), found for the first time in tobacco stores in Greece [J]. Journal of pest science, 2004, 77(3): 183-184.
- [18] BELDA C, RIUDAVETS J. Attraction of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Howard) (Hymenoptera: Pteromalidae) to odors from grain and stored product pests in a Y-tube olfactometer [J]. Biological control, 2010, 54(1): 29-34.
- [19] MATSUDA Y, NONOMURA T, KAKUTANI K, et al. A newly devised electric field screen for avoidance and capture of cigarette beetles and vinegar flies [J]. Crop protection, 2011, 30(2): 155-162.
- [20] 王秀芳, 任广伟, 周显升, 等. 低温对不同虫态烟草甲的影响 [J]. 华北农学报, 2010, 25(S1): 287-289. WANG X F, REN G W, ZHOU X S, et al. The effect of low temperature on *Lasioderma serricorne* (Fabricius) [J]. Acta agriculturae boreali-sinica, 2010, 25(S1): 287-289 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李静, 刘晓光, 时向东, 等. 亚致死低温对烟草甲后代种群两性生活表参数的影响 [J]. 昆虫学报, 2024, 67(6): 788-796. LI J, LIU X G, SHI X D, et al. Effects of sublethal exposure at low temperature on the two-sex life table parameters of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) offspring [J]. Acta entomologica sinica, 2024, 67(6): 788-796 (in Chinese with English abstract).
- [22] YU C, SUBRAMANYAM B, FLINN P W, et al. Susceptibility of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) life stages to elevated temperatures used during structural heat treatments [J]. Journal of economic entomology, 2011, 104(1): 317-324.
- [23] LI M, LI X J, LÜ J H, et al. The effect of acclimation on heat tolerance of *Lasioderma serricorne* (Fabricius) (Coleoptera: Anobiidae) [J]. Journal of thermal biology, 2018, 71: 153-157.
- [24] CHAUDHRY M Q, BELL H A, SAVVIDOU N, et al. Effect

- of low temperatures on the rate of respiration and uptake of phosphine in different life stages of the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (F.) [J]. Journal of stored products research, 2004, 40(2): 125-134.
- [25] COLLINS D A, CONYERS S T. The effect of sub-zero temperatures on different lifestages of *Lasioderma serricorne* (F.) and *Ephestia elutella* (Hübner) [J]. Journal of stored products research, 2010, 46(4): 234-241.
- [26] GUNASEKARAN N, RAJENDRAN S. Toxicity of carbon dioxide to drugstore beetle *Stegobium paniceum* and cigarette beetle *Lasioderma serricorne* [J]. Journal of stored products research, 2005, 41(3): 283-294.
- [27] CHILDS D P, OVERBY J E. Mortality of the cigarette beetle in high-carbon dioxide atmospheres [J]. Journal of economic entomology, 1983, 76(3): 544-546.
- [28] HARADAH H, ORUI Y, IMAI T, et al. Effective phosphine fumigation against phosphine susceptible or resistant cigarette beetles (*Lasioderma serricorne*) [C]// Abstracts of the meeting of the coresta agro & phyto study groups. Romania: CORESTA Meeting group, 2003: 57.
- [29] PARK C, KIM S I, AHN Y J. Insecticidal activity of asarones identified in *Acorus gramineus* rhizome against three coleopteran stored-product insects [J]. Journal of stored products research, 2003, 39(3): 333-342.

Study on biological characteristics and environmental factors of tobacco beetles based on full life-cycle visualization

DUAN Huang^{1,2}, LI Yaming², MIN Yong¹, ZHANG Zhigang¹, KE Shaoyong¹

1. Key Lab of Microbial Pesticides, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/
National Biopesticide Engineering Research Center/ Hubei Biopesticide Engineering Research Center/
Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;
2. Wuhan DOHI New Technology Co., Ltd., Wuhan 430040, China

Abstract To improve the accuracy of intelligent identification and pest monitoring of storage pests, and to guide the effective prevention and control measures for pests in tobacco storage, a whole-life history visualization is proposed for the real-time observation and behavioral quantification of the tobacco beetle. The biological characteristics of the egg, larval, pupal, and adult stages of the tobacco beetle (*Lasioderma serricorne* F.) were quantified through the visualization of its entire life cycle. The objective of the study was to examine the habits, activity rhythms, and environmental influences on adult behaviors. The experimental process demonstrated that visualizing the entire life history of tobacco beetles enhanced the ability to observe these insects, and the quantitative data of different insect stages were obtained without disrupting the activity of the tobacco beetles. The results indicate that peak activity for adult tobacco beetles occurs at approximately 1 a.m., while peak egg production is observed on the 6th day after eclosion. The adults exhibited a tendency to lay eggs on cards and light sources of various colors, showing significant differences in their preferences. The effectiveness of the trap equipped with a green light source has been significantly enhanced, with the capture rate increasing by a factor of 2.03 compared with the reference trap. The quantification of the entire life history and application model can be used for several purposes, including pest forecasting, determining the optimal timing of control measures, and selecting the most suitable control methods, pesticide types, and dosages based on the dynamic changes of the pest populations. The results indicate that the full life history visualization method can accurately identify tobacco beetles, significantly improve the accuracy of pest detection, and provide better guidance for the prevention and control of storage pests.

Keywords tobacco beetles; visualization of the whole-life history; activity rhythm; digitization; tendencies

(责任编辑:边书京)