

昆虫的趋光性及其应用研究

董婉君 朱 芬 雷朝亮

(华中农业大学植物科学技术学院/昆虫资源利用与
害虫可持续治理湖北省重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 趋光性是众多昆虫的主要行为特征之一, 本文简述了影响昆虫趋光性的4种因素, 并总结概述了近几年来昆虫的趋光性应用研究情况及今后的研究前景。

关键词: 昆虫; 趋光性; 应用; 进展

昆虫的趋光性是指昆虫通过其视觉器官(复眼和单眼)中的感光细胞对特定范围光谱产生感应而表现出定向活动的现象, 是昆虫在长期进化过程中形成的一种本能反应, 也是昆虫对环境条件的一种选择行为。多数种类的昆虫存在趋光行为, 不同昆虫对光的趋性有一定的选择和偏好, 这取决于昆虫的复眼结构和视网膜上的光敏色素的特征(Shimizu 和 Kato, 1978)。趋光性不仅是夜行性昆虫重要的生态学特征(吴福桢等, 1990; 张长禹等, 2015), 对白天活动的昆虫也具有重要的生态学意义(陆宴辉等, 2008), 如利用寄主的颜色定位栖境, 当前, 利用色板防治害虫就是利用了昆虫的趋光性。昆虫的趋光性对昆虫寻找食物、异性交配和搜寻产卵场所等活动起着重要作用。了解昆虫的趋光性有助于昆虫的研究和管理, 加以利用便可应用于标本采集、检查检疫、害虫治理、昆虫的监测和预报等。

1 影响昆虫趋光性的因素

昆虫具有趋光性的行为, 是受到多种因素协同影响的, 包括光属性、昆虫生理、植物、温度等因素。

1.1 光属性因素

昆虫的趋光行为受光的波长和强度的影响, 早在1983年, 就有结果表明, 在昆虫的饲养过程中, 如果缺乏自然光也能对其趋光性产生后天影响, 例如在紫外光下饲养的蜜蜂对波长较长的可见光敏感性较对照要低, 因为可选波长的缺失会导致其对绿光敏感的光感受器神经突触数量减少, 导致蜜蜂光谱敏感选择性降低(Hertel, 1983)。昆虫的趋光行为还受光强的影响, 例如, 张海强等(2009)的研究结果表明, 大草蛉成虫随光强增大, 其ERG值呈近线性增大, 弱光时无趋光行为, 趋光性反应率随光强增大而增大, 反应曲线近似“J”型。例如, 杨洪璋(2014)研究了9种常见农业害虫对不同光波组合光源的趋向性差异, 结果表明, 不同昆虫种类对不同光波光强组合光源的趋向率存在着显著差异。

1.2 昆虫生理因素

昆虫的视觉器官、虫龄、性别和取食情况决定昆虫的生理状态, 例如蚱蝉对不同光

源的趋性表现出雌性强于雄性，并且雌雄蝉在不同时刻的趋性差异很大（胡忠朗等，1993）；美国白蛾、舞毒蛾和三线褐卷蛾等昆虫也具有趋光的性别差异（程文杰等，2011）。果蝇的幼虫具有避光性，但是到化蛹阶段时则具备了趋光性（Gong 等，2010），并且果蝇的趋光性会随年龄的增大而呈现规律性变化，雌性降低，雄性增加，在中龄呈现顶峰（Le Bourg，1987；Le Bourg 和 Lints，1992；Le Bourg 和 Badia，1995）。饥饿的1龄棉铃虫幼虫对蓝光有很强的趋性，而饱食的幼虫对蓝光的趋性不明显（Perkins 等，2009）。而且，昆虫生理状态也会随着季节和环境的变化发生相应变化，所以，在不同的季节测定某些昆虫趋光性行为会有不同的结果（Andersen，2006）。

1.3 植物因素

昆虫对光的趋性并不都是由单波长的光波引发，多种可识别单一波长的色素细胞能够协同作用，扩大昆虫的光谱识别范围（Yokoyama，2000），即植物自身的生理性质能够影响昆虫的趋光性。例如 Hajong 和 Varman（2002）认为昆虫趋光性源于植物的柔嫩部位、花等具有趋光性，经长期进化产生以便于取食嫩枝条和花等营养部位，实验发现蚜虫成虫有翅型、无翅型以及各若虫形态都不影响其借助趋光性到达植物的顶端生长部位。1龄棉铃虫的向上运动主要是由于自然界中的蓝光吸引，而植物化学挥发物对趋光性的影响，间接地影响了幼虫对植物的定位和取食为害（Perkins 等，2009）。

1.4 环境因素

温度和暗适应时间是影响趋光行为的重要因素，温度在一定范围内越高，趋性行为越强，当温度低于20℃，光对蚱蝉丧失诱集作用（胡忠朗等，1993），原因是温度能够对昆虫小眼的瞳孔变化产生影响。环境温度对异色瓢虫的趋光行为有极显著的影响，室内温度为26℃时异色瓢虫的趋光率最高（徐练等，2016）。暗适应达到一定时间，棉铃虫蛾易受干扰导致趋光率低（靖湘峰等，2005）。

2 昆虫趋光性的应用

昆虫趋光性由于受多种因素影响，应用条件复杂多变，干扰因素（气候、植物、种间关系、种内关系、人为因素等）繁多，田间实验更能够真实反映出自然条件下昆虫的趋光行为。人们利用昆虫趋光性对害虫进行防治的历史由来已久，利用害虫趋光性是虫害防治监测的一个重要研究领域，其主要途径有杀虫灯和色板。

2.1 诱虫灯

诱虫灯主要是利用夜行性昆虫具有趋光性，因此，可通过发光器械对昆虫进行预测或诱杀。然而，由于诱虫灯广谱的杀虫作用具有很大的负面作用，能够同时减少天敌与害虫的数量，从而可破坏生态平衡，所以，我们应该针对性地合理使用诱虫灯，使其高效地诱杀害虫，保护天敌昆虫。

自从诱虫灯投入田间使用以来，使用比较普遍的类型有单波灯（LED灯）、黑光灯、高压汞灯、双波灯和频振灯等，近几年研究最多的是单波灯。例如，刘晓英等（2009）利用可调式LED诱虫灯对果蝇进行了趋光性实验，结果表明果蝇趋性最强的波长为560nm，光强较弱的黄绿光诱捕效果最好。郑月等（2010）应用六角体装置研究了螺旋粉虱成虫对6种波长LED的趋性反应：紫（405nm）、蓝（461nm）、绿

(519nm)、黄(570nm)、红(650nm)和红外(850nm)，结果表明紫光LED(405nm)对螺旋粉虱的吸引率显著高于其他波长的LED，雌雄间没有显著的差异。王彬和程雪(2010)基于LED温室环保杀虫灯，进行了不同颜色LED灯杀虫效果的对比试验，结果表明白色LED灯杀虫效果最好，绿色、蓝色杀虫效果较好，黄色次之，红色最差。Masatoshi Hori等(2014)的研究结果显示可见光对昆虫的高毒性波长是种特异性的，并且更短波长并不都是具有更高毒性的。对于一些动物，例如昆虫，蓝光比紫外线更加有害。

近年来，研究表明频振灯使用也较为普遍，诱虫效果也较为明显。频振灯在水稻上、蔬菜上、果园中、苎麻田等均有应用(王明亮等，2009；刘超华等，2013)。例如，毕庆文等(2007)的研究结果表明在神农架生态烟叶产区，频振杀虫灯对烟草害虫具有较好的诱杀效果，同时对天敌昆虫种群的破坏较小。还有，高燕等(2013)筛选出了对花生田主要天敌昆虫杀伤力最小的频振灯光源。

此外，黑光灯在田间也有所应用，侯蕾蕾等(2015)利用黑光灯监测了蔬菜地中黑盲蝽和绿盲蝽的数量和种群动态，取得理想效果。

2.2 有色材料

昆虫趋色的本质是趋光，因此，防治日间活动的昆虫可以采用有色材料，不同波长的光及其组合体现出不同的颜色，因此，不同种类、甚至相同种类不同阶段的昆虫对不同颜色的趋性程度存在差异。有色材料可诱集和趋避具有趋光性的害虫，但有色材料也有负面影响，其负面影响类似于诱虫灯。

近年来有色材料的研究也比较多，首先，利用昆虫对有色材料的忌避性进行防控。例如，利用蚜虫对银灰等光色的负趋向性，采用银灰色塑料薄膜、黑色塑料薄膜包裹覆盖或向农田和森林喷洒大白粉乳液等避蚜，以减少蚜虫为害(杨菁，2003)。

其次，利用昆虫对有色材料的趋性进行防控。例如，对西花蓟马对天蓝、黄、褐、紫4种颜色色板的趋性的研究结果表明田间可以用蓝色单一颜色色板或是蓝：黄=5:1搭配色对西花蓟马进行诱集；可用黄色单一颜色色板对西花蓟马的暴发做预测预报(李江涛等，2008)。采用将植物源挥发物融合在色板黏着胶内的方式，利用以羧甲基纤维素钠和甘油为主要原料配制的水溶性胶黏着剂制作黄、蓝、绿3种粘板，以不加糖醋蒜液诱虫剂的粘板为对照，发现水溶性胶黏着剂色板对蔬菜地蚜总科害虫、葱蓟马、韭蛆成虫等有很好的诱杀作用，添加葱蒜提取物后对葱蓟马的诱杀效果更好(任向辉和王运兵，2008)。此外，色板在茶园种也有应用，万利等(2013)采用10种不同颜色的色板，对茶园中主要害虫进行了诱集试验，发现黄色色板对柑橘粉虱、黑刺粉虱、假眼小绿叶蝉诱集效果显著高于其他色板，黄色色板和蓝色色板对蓟马的诱集效果显著高于其他色板。

3 展望

目前，利用昆虫趋光性的灯光诱杀作为一种害虫物理防治技术具有不使害虫产生抗性、绿色无污染等特点(毛永凯等，2014)。并且灯光诱杀技术已经取得了突破性进展，该项技术在推广应用的各个地区得到高度认可，在综合防治中的地位得到显著提升

(雷朝亮, 2014; 张凯雄等, 2014)。

昆虫趋光性的影响因素与应用技术具有广阔的研究前景, 未来除了在农业生产上, 甚至在医学上、军事上都有非常重要的意义, 特别是当前生态环境和人类健康问题日益突出, 趋光性研究和应用无论对于农业生产的良性发展, 还是对于生态环境的保护, 都会发挥越来越重要的作用。

参考文献

- 毕庆文, 王豹祥, 雷朝亮. 2007. 神农架生态烟叶产区频振杀虫灯诱虫效果分析 [J]. 湖北植保 (6): 27–28.
- 程文杰, 郑霞林, 王攀, 等. 2011. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素 [J]. 应用生态学报 (12): 3 351–3 357.
- 高燕, 雷朝亮, 李克斌, 等. 2013. 不同频振灯光源对花生田天敌昆虫的诱集作用比较 [J]. 环境昆虫学报 (2): 133–139.
- 侯蕾蕾, 石萍丽, 彭传华, 等. 2015. 黑光灯对蔬菜地中黑盲蝽和绿盲蝽种群动态的监测 [J]. 湖北农业科学 (7): 1 600–1 602.
- 胡忠朗, 韩崇选, 同金侠, 等. 1993. 蚱蝉趋光性初步研究 [J]. 陕西林业科技 (3): 32–34.
- 靖湘峰, 罗峰, 朱芬, 等. 2005. 不同光源和暗适应时间对棉铃虫蛾趋光行为的影响 [J]. 应用生态学报 (3): 586–588.
- 雷朝亮. 2014. 昆虫趋光机理及灯光诱杀关键技术研究取得突破性进展 [C]//原国辉, 王高平, 郭线茹, 等. 华中昆虫研究: 第 10 卷. 北京: 中国农业科学技术出版社: 142–143.
- 李江涛, 邓建华, 刘忠善, 等. 2008. 不同颜色色板对西花蓟马的诱集效果比较 [J]. 植物检疫, 22 (6): 360–363.
- 刘超华, 汪红武, 陈利珍, 等. 2013. 芒麻田灯下主要害虫及天敌成分分析 [J]. 环境昆虫学报 (4): 422–427.
- 刘晓英, 焦学磊, 郭世荣, 等. 2009. 基于 LED 诱虫灯的果蝇趋光性实验 [J]. 农业机械学报, 40 (10): 178–180.
- 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 2008. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略 [J]. 生态学报 (10): 5 113–5 122.
- 毛永凯, 黄求应, 朱芬, 等. 2015. 灯光对黏虫诱杀效果的初步研究 [C]//王满园, 朱芬帅, 移海, 等. 华中昆虫研究: 第 11 卷. 北京: 中国农业科学技术出版社: 175–180.
- 任向辉, 王运兵. 2008. 水溶黏着剂色板的田间诱虫试验 [J]. 安徽农业科学, 36 (14): 6 065–6 067.
- 万利, 刘华林, 黄求应, 等. 2013. 茶园害虫对不同颜色的趋性选择 [C]//文礼章, 李有志, 刘自力, 等. 华中昆虫研究: 第 9 卷. 北京: 中国农业科学技术出版社: 123–128.
- 王彬, 程雪. 2010. 单色光谱 LED 灯在温室害虫诱杀中的应用 [J]. 安徽农业科学, 38 (15): 8 216–8 217, 8 250.
- 王明亮, 张玥, 雷朝亮, 等. 2009. 频振式杀虫灯在农业害虫防治上的应用 [J]. 湖北植保 (S1): 59–61.
- 吴福桢. 1990. 中国农业百科全书: 昆虫卷 [M]. 北京: 农业出版社: 47.
- 徐练, 文礼章, 易倩, 等. 2016. 不同光波、光源距离及环境温度对异色瓢虫成虫趋光行为的影响 [J]. 中国农学通报, 32 (10): 106–113.

- 杨洪璋, 文礼章, 易倩, 等. 2014. 光波和光强对几种重要农业害虫趋光性的影响 [J]. 中国农业通报, 30 (25): 279–285.
- 杨菁. 2003. 旱地油菜蚜虫负趋性特性利用研究 [J]. 干旱地区农业研究, 21 (2): 30–32.
- 张长禹, 王小平, 雷朝亮. 2015. 灯光诱杀技术在我国的研究进展与发展趋势 [C]//陈万权. 中国植物保护学会 2015 年学术年会论文集, 北京: 中国农业科学技术出版社; 6.
- 张海强, 吕海霞, 刘顺, 等. 2009. 光强度对大草蛉成虫感光性和趋光性行为的影响 [J]. 昆虫学报, 52 (4): 461–464.
- 张凯雄, 王小平, 雷朝亮, 等. 2014. 灯光诱杀技术在农作物综合防治中的作用 [J]. 湖北植保 (5): 23–25.
- 郑月, 吴伟坚, 符悦冠. 2010. 螺旋粉虱对不同波长发光二极管的趋光反应 [J]. 环境昆虫学报, 32 (3): 423–426.
- Andersen J. 2006. Mechanisms in the Shift of a Riparian Ground Beetle (Carabidae) Between Reproduction and Hibernation Habitat [J]. Journal of Insect Behavior, 19 (5): 545–558.
- Bourg E L, Badia J. 1995. Decline in photopositive tendencies with age in *Drosophila melanogaster*, (Diptera: Drosophilidae) [J]. Journal of Insect Behavior, 8 (8): 835–845.
- Bourg E L. 1987. The rate of living theory. Spontaneous locomotor activity, aging and longevity in *Drosophila melanogaster* [J]. Experimental Gerontology, 22 (5): 359–369.
- Gong Z, Liu J, Guo C, et al. 2010. Two Pairs of Neurons in the Central Brain Control *Drosophila* innate Light Preference [J]. Science, 330 (6003): 499–502.
- Hajong S R, Varman A R. 2002. A report on positive phototaxis exhibited by polymorphic forms of an aphid [J]. Journal of Insect Behavior, 15 (2): 295–298.
- Hertel H. 1983. Change of synapse frequency in certain photoreceptors of the honeybee after chromatic deprivation [J]. Journal of Comparative Physiology A Sensory Neural & Behavioral Physiology/ B Biochemical Systemic & Environmental Physiology, 151 (4): 477–482.
- Hori M, Shibuya K, Sato M, et al. 2014. Lethal effects of short-wavelength visible light on insects [J]. Scientific Reports, 4 (4): 7 383–7 383.
- Le B E, Lints F A. 1992. Hypergravity and aging in *Drosophila melanogaster*. 4. Climbing activity. [J]. Gerontology, 38 (1–2): 59–64.
- Perkins L E, Cribb B W, Hanan J, et al. The role of two plant-derived volatiles in the foraging movement of 1st instar *Helicoverpa armigera* (Hübner): time to stop and smell the flowers [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2009, 3 (3): 173–179.
- Shimizu I, Kato M. 1978. Loss of phototaxis in silkworm larvae after smelling mulberry leaves and recovery after electroconvulsive shock [J]. Nature, 272 (5650): 248–249.
- Yokoyama S. 2000. Molecular evolution of vertebrate visual pigments. [J]. Progress in Retinal & Eye Research, 19 (4): 385–419.