

昆虫的生物光电效应与虫害治理应用

周 强 徐瑞清 程小桐

(中国农业大学工学院 42 信箱 北京 100083)

摘要: 农业虫害的治理需要依据为害昆虫的特性提出与环境适宜、生态兼容的技术体系和关键技术。为害昆虫表现了对敏感光源具有个体差异性和群体| 贯性的趋光性行为特征, 并通过视觉神经信号响应和生理光子能量需求的方式呈现出生物光电效应的作用本质。利用昆虫的这种趋性行为诱导增益特性, | 些光电诱导杀虫灯技术以及害虫诱导捕集技术广泛地应用于农业虫害的防治, 具有良好的应用前景。

关键词: 农业昆虫; 生物光电效应; 趋光性; 诱导增益; 虫害治理

Bio- photo- electro effect of insects and its application in pest control

ZHOU Qiang, XU Rui- qing, CHENG Xiao- tong

China Agricultural University, Beijing, 100083

ABSTRACT: The control of agricultural pests need to offer a key technology and technique system adapted to environment and ecology according to the harmful pests' habits. The photo- taxis behavior of agricultural pests presents the differences between individuals and the presentation to a population through reviewing previous investigations on the insect photo- taxi, and the nature of bio- photo- electro effect in the photo- taxis biophysical process was suggested by discussing some potential characters of physiology of insect retina cells. Utilizing the behavior and character of insects living, the frequency- vibration insect trapping lights are widely used in the control of agricultural and forestry pests, and the photo- electro- inducing locust trapping machine displays a good prospect in the trapping control of locust disaster as resources.

Key Words: Agricultural insects; Bio- photo- electro effect; Phototaxis; Induction boosting; Pest control

众多种类的农业昆虫形成了农业生产中复杂的生态系统。益生昆虫作为传粉媒介, 对农业生产有促进作用; 害虫的存在则成为影响农作物生产的重要因素之一。由于农业害虫种类繁多、数量大, 且具有突发性、易迁移性, 所以常常造成农作物的灾难性毁坏, 严重导致作物生产的产量降低、品质下降。农业害虫的治理, 在一定程度上控制了虫害的发生和危害, 但是除了生态农业区域和农业实验区外, 大多数农业生产的害虫防治仍以化学农药灭杀为主要手段。长期大量化学杀虫剂喷施进入农业生态系统, 不但污染土壤、水质和大气, 还残留粮棉和蔬果, 给人类的生存安全造成了威胁; 同时长期施药不但损害了农业害虫的天敌和益生昆虫的生存, 还导致了害虫抗药性的产生和害虫种质的变异, 引起部分害虫的再次猖獗发生。因此, 对农业害虫的防治, 需要一个与环境适应的、生态兼容的治理理念, 采用无毒化的灾害昆虫治理技术体系和关键技术, 从全面的生态系统工程的角度出发, 在实现害虫无害化治理的同时, 还要获得灾害昆虫种质的资源化利用。

对农业害虫趋光性行为以及物理波谱诱导捕集技术进行分析, 我们提出了农业害虫的生物光电效应的趋光聚集诱导行为本质以及其在虫害治理中的应用, 以期能够对灾害性昆虫的无害化治理和资源化利用提供理论基础和技术参考。

1 农业害虫的趋光性行为

在农业生态系统中, 作为农业害虫的昆虫种类繁多、危害各异, 其生活习性也各不相同, 这不但与昆虫特定的生理结构密不可分, 还与昆虫生长的环境条件密切相关。

作者简介: 周强, 男, (1958-), 博士, 教授, 主要从事生物光电技术研究。电子信箱: zq@cau.edu.cn

(收稿日期: 2006- 03- 16 接受日期: 2006- 04- 02)

趋光性是昆虫的复眼结构及其生境适应所反映出的重要的生理和生态的特征之一。“飞蛾扑火”正是人类长期以来对蛾类昆虫趋光行为的总结, 蛾类昆虫趋光行为的研究也在人们的不断探索中取得新的结果。陈宇生^[1]根据历年的研究, 对几种夜蛾的趋光行为进行了系统的描述, 指出在夜蛾趋光飞行的过程中, 至少包括两种不同的行为发生: 一是夜蛾为寻找光明环境而由暗环境朝向光源的趋向飞行。这是由于夜蛾近旁环境的明亮程度低于复眼生理状况适合的明亮程度时, 夜蛾产生的一种趋光行为。二是夜蛾的正常视觉受到光源刺激干扰后朝向光亮光源的扑向行为。这是由于夜蛾近旁环境的明亮程度低于复眼在灯光刺激下观察环境所需要的亮度时所发生的朝向近光源的致晕扑打反应。

丁岩钦^[2]探讨了利用黑光(350nm)与不同可见光谱(405、436、578、625、656nm)组合成的双色光对烟青虫成虫的光诱效果, 获得了350nm+405/436nm光谱的趋光诱集增效作用, 而350+578~656nm光谱的趋光干扰驱避作用。因此, 光源光谱不同, 对昆虫趋光聚集行为影响的效果大不相同。进一步地, 烟青虫成虫对不同的光源强度也表现出趋光率反应的不同, 随着光诱强度的持续增加, 趋光率呈现出“S型”的变化趋势。刘立春^[3]对昆虫趋光行为进行观察研究, 亦表明了昆虫扑灯与虫-灯距离不同引起的光适应有关, 并且进一步探讨了昆虫趋光与光源光谱的关系, 获得了双色光复合诱导昆虫趋光-扑灯的良好结果。因此, 在昆虫趋光行为的诱导过程中, 敏感的复合光源的作用将能有效的增加昆虫对光的趋性效果。杨桂华等^[4]以“能量相同”为准则, 探讨了从紫外到可见光的不同光波对亚洲玉米螟雌雄蛾的趋光诱导作用, 结果表明: 雌蛾对光的趋性范围较窄, 只对紫外和紫光区的某些波长有强的光趋性, 而雄蛾对光的趋性范围广, 不但对短光波的紫外、紫光区的某些波长有敏感作用, 对长光波的蓝光区乃至绿光

区的某些波长也有较强的趋性。这说明,昆虫个体性别差异将能产生不同的趋光诱导特性。

陈小波等^[5]对棉铃虫成虫趋光行为进行了研究,发现不同棉铃虫蛾个体在相同的灯诱条件下,趋光反应的活动并不相同;标记的同一虫蛾在不同组别中的上灯取向亦不同,并非一定对某种诱虫灯光具有特别的趋向,但在总体上趋向于某一或某几个灯种的概率较大,表现出相应的选择性。但是,仅当某种诱导敏感性较差的光源存在时,由于不可选择性的存在,棉铃虫蛾也会表现出一定的上灯概率。因此,昆虫趋光行为表现出群体性,甚至是见光就趋的群体一贯性。

趋光性在蝗虫的习性行为中一直是个疑问,对蝗虫个体的研究一直未能得出蝗虫趋光性的确定结论。然而,蝗虫群体的趋光性行为不容怀疑,草原蝗虫夜袭村镇和城区的现象历年来时有发生。蒋湘等^[6]对2002年夏亚洲小车蝗迁飞北京城区的现象进行了观察研究,发现亚洲小车蝗的暴发源于外地成虫的迁入,虫源基地为内蒙古东部和东北部,从沿途各地暴发时间上蝗虫群落的迁飞过程经历了赤峰、承德以及张家口等城市,在每晚20点至次日凌晨3点之间的迁飞过程中经过城市上空时,蝗虫群落从100–200m的高空或是向左旋转或是向右旋转地朝向城镇光源的地方降落和聚集。遗憾的是,蝗虫趋光行为中不同光波光强的影响研究还鲜见报道,可喜的是近红外光波对蝗虫趋光行为产生增效作用的结果已获得证实。

2 趋光行为的生物光电效应本质

研究认为,昆虫趋光行为是由其复眼的视觉生理反应而引起的,因此在不同光波或光强作用下,昆虫复眼发生明显的生理变异,产生对光波和光强作用的适应性反应。明适应下,昆虫复眼的主色素细胞颗粒离开晶锥而分布,感杆束膨大并且其远端部分向晶锥方向延伸;暗适应下则产生与此相反的结果。昆虫复眼中这种屏蔽色素的移动可以控制复眼的进光量,实现明暗的适应过程。复眼眼底的气管组织具有着对光的反射能力,在暗适应时,由于屏蔽色素的移动,反射光斑会逐渐变大,反射能力大大加强,这样有效增加了微光被感光色素吸收的机会,从而提高了夜行昆虫复眼对光的敏感度。

昆虫复眼的这种视觉生理反应无不与光波光强引起的昆虫复眼内的生物光电效应有关。在趋光行为过程中,光作用于昆虫复眼的光感受器或者光感受器受到光波光强的作用,将会引起光感细胞对光子能量的接受或反应,从而引起光感细胞信息信号的产生和变化,与凝聚态物质的光电效应过程一样,生物体内的这种信息信号的产生和传导变化也将以生理电信号的形式反映出来,进而控制复眼的生理结构调节和对光的适应及趋向。昆虫复眼内的生物光电效应可用视网膜电图(electroretinogram, ERG)以及超极化后电位(hyperpolarizing after-potential, HAP)来表征。往往ERG表征的是昆虫复眼电生理的综合反应结果,并不能代表单个网膜细胞对光刺激的真实反映;而HAP则是光刺激复眼的小网膜细胞而产生的感受器的去极化电位后出现的一种电生理反应。

在昆虫趋光行为中,不同暗适应会导致复眼的电感灵敏度的差异,这种功能差异产生了昆虫趋光行为上的不同。陈元光等^[7]研究了粘虫成虫复眼暗适应的电生理特性,证实了

这种差异的存在。对棉铃虫和烟青虫不同暗适应的电感测量比较,亦获得了类似的结果。吴卫国等^[8]研究了飞蝗(*Locusta migratoria*)复眼生理特性与结构节律的变化,以电生理测量表征了飞蝗小网膜细胞角敏感度以及生理上的节律变化与结构上的节律变化的关系。

魏国树等^[9]深入研究了棉铃虫蛾复眼光反应特性的视网膜电位(ERG)响应。对棉铃虫蛾复眼光反应-视网膜电位研究认为,电生理学的ERG胞外电位是昆虫复眼受内外界刺激后光学能量转化为神经冲动电位的起点,并认同了感受器电位的产生与神经末梢钠导的增加有关的理论假说(Bauman F. etc. 1971),紫外和大部分可见光区的单色光刺激均能引发棉铃虫蛾复眼产生ERG反应,棉铃虫蛾复眼的ERG反应随单色光和白光刺激光强度的增强而增大,并且呈现出对光强度的自调节和适应机制。棉铃虫蛾复眼的ERG成份包括开光反应、正相反应、持续负电位和闭光反应4个组成部分,反映了趋光行为中复眼内生物光电效应的整个过程。

杨智勇等^[10]进一步采用单电极胞内记录法研究了雄性棉铃虫小网膜细胞对光刺激的反应特征。在细胞视场内变换刺激光点的位置以引起插入电极的电位值的变化,获得棉铃虫复眼小网膜细胞的最佳敏感光谱为562nm,其次为483、400nm并且两者的位次随着暗适应时间的变长而发生互变;在弱光强作用下细胞对光刺激反应产生的HAP很小,超极化成份似乎与去极化成份作近乎同等幅度的变化;在强光刺激下并延长闪光刺激时间,超极化电位成份明显提高,即棉铃虫复眼感受器去极化后的超极化后电位HAP随闪光强度、闪光时间的增加以及对刺激光敏感程度的增加而逐渐增大。这由“生电性钠泵”假说(Bauman F. etc. 1971)可以解释为:当刺激光强度超出使去极化的感受器反应达到饱和程度时, Na^+ 的内流产生重要意义,即生电性钠泵发挥作用使得泵出的钠量超过泵入的钠量,引起大的超极化后电位(HAP)。这样的电生理过程——生物光电效应,实现了昆虫复眼中光波光强与生理电位的相互转化与作用,导致了复眼内色斑的移动和感束的变化,产生了昆虫趋光的行为特性。

采用单电极胞内记录法(HAP)进行的蝇类、蝗虫小网膜细胞光刺激反应的研究,并未发现其复眼明显的HAP存在(Horridge, G. A. etc. 1983; Matic, T. 1983)。但是,蝗虫复眼光接受器网膜在昼间快速调节的实验表明,生电性 K^+ 泵、 Na^+ 泵是由光的作用而引起的,夜间只能引起去活 K^+ 流、 Na^+ 流的产生(Weckstrom, M. etc., 1995)。可见,蝗虫复眼的生物光电效应并非主要由HAP的作用,而有着复杂的表现特征。对于变温性蝗虫,趋光行为的近红外光波增效作用表明,红外光子的孤立子能量对蛋白分子的生物效应(Pang X. F., 1998)是其主要原因。因此,昆虫的生物光电效应不仅表现为视觉神经的信号反应,还涉及到昆虫生理需求的能量响应,这才是实现昆虫生物光电效应诱导增益的全面考虑。

3 生物光电效应诱导的虫害治理应用

昆虫趋光行为过程中的生物光电效应作用本质,导致了光波光强对昆虫的趋性导向控制和刺激致晕扑灯,实现了趋光昆虫的捕集和灭杀。利用这一原理,人们已经提出并且实践了许多种农业害虫的趋光诱杀方法。

其中最佳代表性的就是河南汤阴佳多科工贸公司物理治虫研究所研发的佳多频振式杀虫灯^[11]。它采用 320—400nm 波段范围内的多个光波复合的高效荧光灯管引诱害虫,不但提高了诱虫效果达到最佳状态,而且减少了对天敌的诱杀危害,并配合有安全保护装置的频振电网杀虫技术以及网下的集中收集装置,将诱虫、杀虫和集虫有机地结合在一起。同时,佳多频振式杀虫灯外壳设计为黄色,充分利用了昼光下或灯管发光后反射的黄光成份对喜黄光昆虫的诱导捕杀作用,提高了捕虫效果;进一步,佳多频振式杀虫灯诱集到集虫袋内的昆虫,不断散发性信息素,并与光诱导作用一起引诱和促使着异性昆虫扑向灯源,实现捕杀效果的进一步提高。

佳多频振式杀虫灯自 1991 年研制开发和推广应用以来,已经进行了几代的产品技术更新,不但应用于棉田虫害的灭杀治理,还广泛应用于蔬菜园艺、公园果园、风景林区、茶园桑田等害虫的治理,在全国获得了数百万公顷的控害应用,甚至还应用于烟草、酒曲等生产原料的储备期间的虫害灭杀。

利用蝗虫趋光行为过程中的生物光电诱导效应,一种光电诱导蝗虫捕集技术^[12]也被提了出来。它基于变温性昆虫对红外光子辐射能量的趋性需求,设置了可见光源作为蝗虫趋光导向的控制因素,同时设置了红外光源作为蝗虫生物辐射能量需求的供应源,促使蝗虫趋性聚集活动行为的提高,达到了无害化有效捕集蝗虫生物资源的目的。另外,蝗虫的诱导捕集过程中,明显呈现出近灯区蝗虫的活动性提高、粪便量增加,这样来自于蝗虫粪便中的聚集信息素以及集蝗袋中蝗虫体散发的信息素有效地发挥了作用,促进着光电诱导捕集效率的进一步提高。光电诱导蝗虫捕集技术可以以移动的机械化方式捕集蝗虫,也可以以土木建筑的方式构筑而实施静态捕蝗,实现农田、草原、滩涂、丘陵、山林等地区蝗虫灾害的控制治理以及资源化捕集利用,是一项颇具发展潜力的农业害虫治理技术。

4 结语

农业虫害的治理需要依据为害昆虫的特性提出与环境适

宜、生态兼容的技术体系和关键技术。研究为害昆虫的趋光性行为,探讨昆虫趋光过程中的光谱光强敏感性,以及个体之间的差异性和群体行为的一贯性特征,并且揭示昆虫复眼趋光行为的生物光电效应作用本质,就能为农业虫害的无害化捕集治理提供可靠的理论基础和有效的技术手段,从而导致频振式杀虫灯等诱导捕集技术的成功。因此,我们需要深入探讨昆虫光温趋性行为的诱导特性及其生物光电效应作用本质,提出昆虫生物光电效应的诱导增益方法和实现技术原理,为农业虫害的无害化治理和资源化利用提供更为可行高效的方法,促进绿色生态型农业的可持续发展。

参考文献

- [1] 陈宁生. 夜蛾趋光行为的本质、规律和导航原理[J]. 昆虫知识, 1979, 16(5): 193–199
- [2] 丁岩钦. 夜蛾趋光特性的研究: 烟青虫成虫对双色光与光强度的反应[J]. 昆虫学报, 1978, 21(1): 1–6
- [3] 刘立春. 昆虫趋光行为的初步观察[J]. 南京农学院学报, 1980, (2): 52–58
- [4] 杨桂华, 王蕴生. 亚洲玉米螟雌雄蛾对不同光波的趋性[J]. 玉米科学, 1995, (s): 70–71
- [5] 陈小波, 顾国华, 葛红, 等. 棉铃虫成虫趋光行为的初步研究[J]. 南京农专学报, 2003, 19(3): 39–41
- [6] 蒋湘, 买买提明, 张龙. 夜间迁飞的亚洲小车蝗[J]. 草地学报, 2003, 11(1): 75–77
- [7] 陈元光, 钦俊德. 粘虫成虫复眼暗适应的电生理研究. 昆虫学报, 1963, 12(1): 1–9
- [8] 吴卫国, Horridge G. A. 飞蝗复眼生理和结构上的节律变化[J]. 昆虫学报, 1988, 31(4): 342–344
- [9] 魏国树, 张青文, 周明祥, 等. 棉铃虫蛾复眼视网膜电位研究[J]. 生物物理学报, 1999, 15(4): 682–688
- [10] 扬智勇, 吴卫国, 冯汉平, 等. 棉铃虫成虫复眼的光谱敏感性及其超极化后电位的研究[J]. 生物物理学报, 1998, 14(1): 85–90
- [11] 赵树英, 李福印, 蒋福平, 等. 频振式杀虫灯[P]. 中国专利: CN2190405Y, 1995–03–01
- [12] 周强. 光电诱导蝗虫捕集机[P]. 中国专利: CN 1543783A, 2004–11–10
- [4] 金元昌, 李景鹏, 张龙, 等. 禽流感病毒分子生物学研究进展[J]. 动物医学进展, 2003, 24(1): 12–15
- [5] 陈全姣, 金梅林, 陈焕春. 禽流感病毒 HA 部分基因的克隆及其表达[J]. 中国病毒学, 2005, 20(1): 87–88
- [6] 王传彬, 赵铁柱, 孙明, 等. 禽流感病毒 H7N2 血凝素 HA1 基因在大肠杆菌中的表达[J]. 中国试验动物学报, 2005, 13(1): 7–10
- [7] 郑其升, 张晓勇, 刘华雷, 等. H5N1 亚型禽流感病毒血凝素基因的原核表达及间接 ELISA 方法的初步建立[J]. 2005, 45(1): 58–61
- [8] 毕英佐. 禽流感病毒 HA 基因序列分析及在 T4 噬菌体的展示[M]. 博士论文, 华南农业大学, 2002
- [9] 李永强, 孟庆文, 冉多良, 等. 表达带 His-tag 的禽流感病毒 HA 基因杆状病毒转移载体的构建及重组病毒的鉴定[J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28(4): 53–55
- [10] 张强哲, 秦曦明, 梁荣, 等. 禽流感病毒 HA 基因真核表达质粒的构建与表达[J]. 生物化学与生物物理进展, 2003, 30(3): 483–487
- [11] Swayne D E, Garcia M, Beck J R, et al. Protection against diverse highly pathogenic H5 avian influenza virus in chickens immunized with a recombinant fowlpox vaccine containing an H5 avian influenza hemagglutinin gene insert[J]. Vaccine, 2000, 18: 1088–1095
- [12] 贾立军, 彭大新, 张艳梅, 等. H5 亚型禽流感重组鸡痘病毒活载体疫苗的构建及其遗传稳定性与免疫效力[J]. 微生物学报, 2003, 42(6): 722–727
- [13] 姜永萍, 陈化兰, 于康震, 等. 表达 H5N1 亚型高致病性禽流感病毒 HA 基因的 DNA 疫苗可保护 SPF 鸡抵抗同型病毒的致死性攻击[J]. 中国预防兽医学报, 2000, 22(suppl)
- [14] 彭金美, 童光志, 王云峰, 等. 抗禽流感病毒多表位 DNA 疫苗的构建及其免疫效力研究[J]. 生物工程学报, 2003, 19(5): 623–627
- [15] 陈化兰, 马文军, 于康震, 等. 表达禽流感病毒血凝素基因的重组禽痘病毒的构建[J]. 中国农业科学, 2000, 39(5): 86–90