

粘虫 (*Mythimna separata* Walker) 选择产卵 场所的意义及颜色在定位中的作用

尹 姣 ,薛银根 ,乔红波 ,李克斌 ,胡 毅 ,曹雅忠 *

(中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100094)

摘要 根据粘虫的产卵习性 ,在田间分别测定了置于活体寄主和干枯植物上的卵块被捕食的概率 ,结果表明 ,枯草上面的隐蔽卵块被捕食的概率最低 ,与雌蛾的产卵习性相符 ,说明粘虫产卵选择习性有其生物学意义 ,即有利于躲避天敌。同时 ,实验结果表明粘虫幼虫的抗饥饿能力要强于甜菜夜蛾 ,是其对成虫产卵场所长期适应的结果。室内成虫对不同植物的产卵选择与田间相一致 ,光谱测定结果也表明绿色植物与雌蛾喜欢产卵的植物秸秆的光谱特征和波峰存在显著差异。观测粘虫雌蛾对不同颜色纸张的产卵选择发现 ,其喜欢在黄褐色纸张上面产卵 ,产卵量和产卵次数明显高于绿色纸张 ,而三者的光谱特征存在显著差异。

关键词 粘虫 ,寄主选择 ,产卵场所 ,颜色 ,视觉 ,光谱

文章编号 :1000-0933 (2007)06-2483-07 中图分类号 :Q142 ,Q968.1 文献标识码 :A

The significance of oviposition site selection and effect of color in orientation by oriental armyworm , *Mythimna separata* Walker

YIN Jiao , XUE Yin-Gen , QIAO Hong-Bo , LI Ke-Bin , HU Yi , CAO Ya-Zhong *

State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect , Institute of Plant Protection , Chinese Academy of Agricultural Sciences , Beijing 10094 , China
Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2483 ~ 2489.

Abstract : The role of oviposition site selection by oriental armyworm *Mythimna separata* Walker in defence against natural enemies and the effect of color properties on the selection were investigated in laboratory and field. The predation and parasitism for eggs of *M. separata* were investigated in the habitats of wheat , corn and weed , by attaching the covered and exposed egg masses on the stems of green plant or on the stems of dead weed. The results showed that , in all types of habitats , the probability discovered by predator for exposed egg mass was significantly higher in comparison with the covered egg mass on the same type of plant , respectively. In wheat and weed habitats , the predation rate for exposed eggs was significantly higher than that for covered eggs on green plants. The predation rate for the exposed eggs on green plant , in the three types of habitats , was significantly higher than that covered eggs on dead weed respectively. However , no significant differences were found in the predation rate between the covered eggs and exposed eggs on dead weed stems in weed habitat and corn habitat. No parasitoid was found from the covered or exposed egg masses in the experiments. The results suggested that both covered site and dead plant were critical components for the successful defence against predators. The survival time of neonate larvae of *M. separata* without any food supply was significantly longer than that of beet armyworm ,

基金项目 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2006CB102007) ;国家科研院所社会公益研究专项资助项目 (2004DIB4J155)

收稿日期 2006-05-12 ;修订日期 2007-01-19

作者简介 尹姣 (1976 ~) ,女 ,河北人 ,博士生 ,主要从事昆虫化学生态学、行为学研究 ,E-mail :jyin@ippcaas.cn

* 通讯作者 Corresponding author , E-mail : yazhongcao@sina.com.cn

Foundation item The project was financially supported by National Basic Research Program , China (973 Program) and National Academic Institutional Commonweal Research Programs

Received date 2006-05-12 ; **Accepted date** 2007-01-19

Biography : YIN Jiao , Ph. D. candidate , mainly engaged in chemical ecology of insect. E-mail : jyin@ippcaas.cn

Spodoptera exigua , which lays eggs on the host plants suitable for offspring development. Our results support the refuge theory' for *M. separata* that females provide enemy-free space for the offspring. In the choice test for oviposition preference among millet straw , wheat straw , green wheat plant , corn plant and wax paper , 87.42% of the eggs were laid on the millet straw. The number of eggs on other substrates almost can be neglected. The oviposition preference on different colour paper revealed that 49.69% and 36.73% of the eggs was laid on the straw-yellow paper and yellow paper , respectively , which were significantly more than these on green paper. By comparing the spectrum properties of different substrates , it was found that millet straw , straw-yellow paper and yellow paper were similar in the reflecting rate at different wavelength. The results indicated that spectrum properties were the indicators for the oviposition site selection by *M. separata*.

Key Words : oriental armyworm ; host selection ; oviposition site ; color ; vision ; spectrum

植食性昆虫产卵场所的选择性对后代的生存至关重要^[1,2]。进化学理论认为 ,雌虫一般选择在最有利于后代生长发育的高品质寄主上产卵^[3,4]。该理论被称为“preference-performance”学说^[5]。然而 ,也有大量的事例表明 ,有些种类的雌虫似乎并不选择最有利于后代生长发育的场所产卵^[6~8]。因此 ,有学者提出了“庇护所理论 (refuge theory)”。该学说认为 ,受较高营养阶层的影响 ,雌虫会选择在后代不宜受到天敌攻击的场所产卵^[9~11]。

粘虫 *Mythimna separata* Walker 是我国及其它亚洲国家粮食作物的主要害虫之一 ,每年在我国南北地区往返迁飞为害 ,目前仍在局部地区暴发成灾 ,给农业生产造成严重损失。粘虫是一种典型的多食性害虫 ,为害寄主植物种类广泛 ,但是成虫一般只在寄主植物的干枯 (黄)部位或枯草上产卵 ,而在生长茂盛、叶片浓绿的寄主植物上很少见到粘虫产卵^[12,13]。昆虫对产卵寄主及产卵方式的选择性是其与寄主植物和适应环境长期协同进化的结果 ,对于其种群的生存繁衍具有重要的生物学意义。昆虫寻找适宜的产卵寄主植物首先要确定适宜的产卵生境 ,而植物形状和颜色等在植食性昆虫产卵场所定位中起重要作用^[1,14~16]。东方果蝇 (*Bactrocera dorsalis*)雌虫明显趋向于红色球吸附在黄板中央的、形状似橘子的诱捕器 ,这种诱捕器被用于监测柑橘园中的果蝇种群的发生^[17]。菜粉蝶在远距离寻找植物产卵时主要依靠视觉 ,特别对兰色和蓝绿色的反应强烈^[1]。在我国 ,粘虫发生、危害及防治等的研究已有较长历史 ,近年主要是与粘虫迁飞相关联的研究工作^[18~24] ,但是对于粘虫与产卵寄主关系的研究一直较少。粘虫在与寄主植物及环境的长期进化过程中形成了选择在干枯植物叶鞘或叶尖裂缝中产卵的行为特性 ,但是这种特殊的产卵方式在生活史中的作用、对其种群生存繁衍的意义以及在对产卵寄主 (场所)定位过程中依赖的信号种类等一系列问题均未进行深入研究 ,探讨这些问题对于解析某些植食性昆虫不选择鲜活寄主植物产卵的生物学作用、生存对策和进化机制等具有重要意义。因此 ,我们根据粘虫产卵的习性初步研究探讨了粘虫产卵选择对其种群生存、繁衍的生物学意义以及其对产卵生境的定位机理。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用虫 采自田间种群的粘虫蛾 ,经室内繁殖后的成虫用于本实验。粘虫幼虫的饲养采用玉米苗群体饲喂至化蛹 ,成虫羽化后用 10% 蜂蜜液群体饲养至产卵。幼虫和成虫的饲养环境条件均为 (25 ± 1)℃ ,60% ~70% RH。

光谱仪选用美国 ASD (Analytical Spectral Device)公司的 ASD FieldSpec HandHeld 便携式野外光谱仪。ASD FieldSpec HandHeld 波段值为 325 ~1050 nm ,光谱分辨率 3 nm ,采样间隔 (波段宽)为 1.41 nm ,视场角 25° ,并配有 3.5°前场镜头。

1.2 粘虫产卵方式对天敌的躲避作用的观测

将产于干谷草叶鞘内的粘虫卵及其着生处的茎秆 1 段 (4 ~5cm 长)用于本实验。分为暴露型 (将谷草叶鞘拨开露出卵块)和隐蔽型 (不拨开叶鞘)两种类型卵块分别放置于田间枯草把和活体寄主植物上。将 20 余

株禾本科枯草捆为 1 把,用细竹竿分别固定在冬小麦田、春玉米田(株高约 100cm)和杂草地(以狗尾草为主,高约 70 cm)中。捆 5~8 株小麦,形似枯草把,杂草捆成草把样;玉米以单株为 1 样本。每把枯草和鲜寄主植物(把)上均接上暴露型和隐蔽型卵块各 1 块,用透明胶带固定,卵块离地面高度 30 cm。各处理观测 10 余个卵块(每卵块有 50 左右粒卵),重复 3 次,枯草把和寄主植物在田间随机排列,接卵 24h 后调查被捕食数量,剩余的卵带回室内孵化饲养,调查寄生率。

1.3 粘虫和甜菜夜蛾幼虫耐饥饿能力的测定

粘虫将卵产在枯萎植物上,则其初孵幼虫在寻找到适宜的植物取食之前须忍受一定时间的饥饿。因此,比较了粘虫和将卵产于鲜活寄主上的甜菜夜蛾两种初孵幼虫的耐饥饿能力。

取产在蜡纸上的粘虫卵块和甜菜夜蛾卵块各 10 块,每块 60~70 粒卵,当卵块中绝大多数幼虫孵化后,每块卵取 50 头初孵幼虫于长 8cm、内径为 2cm 的玻璃管中,置于前述条件下的光照培养箱中,24h 后及以后每隔 2h 检查一次死亡数,用小毛笔轻轻触动无反应者为死亡。

1.4 粘虫对产卵寄主植物和介质的选择性

在室内将已开始产卵的粘虫成虫(10 头)放入五面均为纱网的木箱(70cm×35cm×70cm)中,木箱中放置玉米植株、小麦植株、枯草秸秆、小麦秸秆和蜡纸 5 种产卵寄主和介质,同时内置 5% 的蜂蜜水,每日更换一次。共设 3 组重复,每个处理内,小麦植株约 20 株,处于抽穗期;玉米 4 叶期 6 株,枯草秆 18 根;小麦秸秆 18 根,蜡纸 18 张(将蜡张按同一方向折成若干皱褶成条状,后用皮筋固定两端)。接成虫 3d 后检查不同寄主和介质上的落卵量和卵块数。

1.5 粘虫对产卵介质颜色的选择

将同一品牌、同一规格的黄色、绿色和土褐色 3 种颜色的毛面纸作为粘虫产卵介质放入五面均为纱网的木箱(70cm×35cm×70cm)中,纸张的处理方法同蜡纸。然后再将已开始产卵的粘虫雌蛾(30 头)放入木箱中,同时内置 5% 的蜂蜜水。每箱为一处理,共设 6 个处理,其中每种颜色纸设 3 个重复。处理后第 2 天检查粘虫雌蛾在不同颜色纸张上面的产卵块数。

1.6 不同产卵寄主和介质的光谱测定

用 ASD FieldSpec HandHeld 便携式野外光谱仪作为产卵寄主的光谱测量仪器,选择晴朗无风天气于 10:00~11:00 之间对小麦、玉米、枯草秸秆和小麦秸秆进行光谱反射测定,测定时探头垂直向下距冠层顶约 1.3 m,以形成直径约 50 cm 的视场,测量前均同步测量参考板反射和太阳辐射光谱用于标定,测定过程中用 Ba-SO₄ 白板进行校正,每处理重复测定 10 次。

针对粘虫产卵对不同颜色纸张的选择性,测定了不同颜色纸张介质的光谱特征,测定方法同上。
上述实验数据的统计分析,主要采用 SPSS 程序进行方差分析和 *t*-测验确定期差异显著性,再用 LSD 多重比较法测定其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 产卵习性与躲避天敌的关系

模拟粘虫产卵对不同生境和介质的选择性的田间试验可以看出,不同作物、杂草田和卵块不同处理方式时粘虫卵粒(或卵块)减少率存在明显差异(表 1)。观测和分析卵粒丢失(减少)的原因主要是被天敌捕食(由卵块着生处卵壳残体可知)所致,对试验后带回室内卵的饲养观察,试验阶段卵的寄生率很低。

比较不同田块粘虫卵块被取食百分率发现(表 1),暴露的卵块比隐蔽的卵块更易于被天敌搜寻和捕食,两者存在显著的差异,在作物田中,这种差异更是明显。其中,在小麦田中,暴露在小麦上的卵被捕食率达到 80% 以上,在枯草上的被捕食率也达到 50% 以上,与隐蔽的卵块之间存在极显著差异。同时,还可以发现在田间绿色寄主植物上卵块的被捕食率要显著高于同一田块中枯草把上的被捕食率。

模拟试验结果表明,作物田中卵粒被天敌捕食的机率要比杂草地的为高,同一田块中绿色植物比枯萎植物高。

在实验过程中采用目测和随机调查的方法,对小麦、玉米、杂草和干枯秸秆(草)进行了植食性、捕食性等昆虫的观测,发现绿色植物比干枯(或萎蔫)的植物(叶片、秸秆)上面昆虫种类和数量要多的多,而枯萎的植物上面很少发现植食性昆虫,相应天敌的数量也少。因此,可以表明粘虫将卵产在枯萎植物的较隐蔽部位有利于其对天敌的躲避。

表 1 在不同处理方式的粘虫卵被天敌捕食百分率比较

Table 1 Comparison of predatory rate of eggs in diferent disposition				
作物田 Crop field	植株暴露型 (%) Exposed egg masses on green plant	植株隐蔽型 (%) Covered egg masses on green plant	枯草暴露型 (%) Exposed egg masses on dead weed	枯草隐蔽型 (%) Covered egg masses on dead weed
麦田 Wheat field	83.48 ± 10.96 a **	12.09 ± 6.1 c	52.96 ± 19.53 b **	5.25 ± 3.71 c
荒草地 Weed field	40.70 ± 13.47 a *	16.53 ± 9.59 b	42.63 ± 13.75 ab	21.43 ± 7.77 b
玉米田 Corn Field	44.49 ± 12.43 a *	16.90 ± 9.57 ab	32.40 ± 12.44 ab *	7.57 ± 4.3 b

表中数据是平均值 ± 标准误,横排不同字母表示不同植物田处理间的差异 ($P < 0.05$) ; * , * * 表示暴露与隐蔽型之间的显著差异 ($P < 0.05$, $P < 0.01$) ; * * * 表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$) ,下同 The data in the table are mean ± SE ;The different letters in the figure represents significant difference by Duncan 's multiple range test ($P < 0.05$) ; “ * ” indicates significant difference ($P < 0.05$) between covered and exposed by t test ; “ * * ” and “ * * * ” indicate significant differences at $P < 0.01$ level and $P < 0.001$ level ; respectively. The same for Table 2 , 3 and 4

2.2 幼虫耐饥饿能力测定

测定两种多食性害虫的初孵幼虫对饥饿忍耐能力结果表明(表 2),粘虫的幼虫对饥饿的平均忍受时间要显著长于甜菜夜蛾 ($P < 0.05$) ,从而确保其有比较充足的时间找到适宜的寄主植物。同时可以看出,两种害虫尽管在 24 h 内存活率均较高,饥蛾 36 h 后粘虫存活率要极显著高于甜菜夜蛾,甚至在饥饿 48 h 后粘虫仍能有少部分存活,说明粘虫初孵幼虫具有较强的抗逆能力,这可能是与成虫产卵方式相适应的一种生存对策。

表 2 粘虫和甜菜夜蛾幼虫对饥饿忍耐时间的测定

Table 2 The survival time of neonate larvae of the oriental armyworm and beet armyworm				
项目 Item	平均存活时间 The average survival time (h)	饥饿 24h 存活率 Survival rate after 24 hours (%)	饥饿 36h 后存活率 Survival rate after 36 hours (%)	饥饿 48h 后存活率 Survival rate after 48 hours (%)
粘虫 Oriental armyworm	31.48 ± 1.65 *	93.56 ± 5.55	22.65 ± 15.67 ***	2
甜菜夜蛾 Beet armyworm	28.95 ± 2.96	92.89 ± 7.15	0.9 ± 2.07	0

2.3 粘虫产卵选择性

2.3.1 粘虫产卵对不同寄主植物的选择性

根据室内观测粘虫对不同寄主植物的产卵选择(表 3)发现,雌蛾产卵首先选择枯草秆,显著高于其它植物上的产卵次数和产卵量,虽然小麦秆和活体小麦上面也有少量的卵块,但是占总产卵量的比例很低,与枯草

表 3 粘虫对不同寄主植物的产卵选择性

Table 3 The oviposition selection on different host plants						
项目 Item		枯草秆 Millet straw	小麦秆 Wheat straw	小麦 Wheat	玉米 Corn	蜡纸 Wax paper
卵块数 Number of egg masses	平均值 (块) Mean (masses)	19.33 ± 10.41 a	3.4 ± 3.0 b	0.67 ± 0.58 b	0 c	0 c
	比例 (%) Percent	85.03 ± 3.67 a	10.56 ± 3.98 b	4.42 ± 2.29 b	0 c	0 c
卵粒数 Number of eggs	平均值 (粒) Mean (masses)	747.3 ± 185.86 a	8.0 ± 4.24 b	24.67 ± 22.48 b	0 b	0 b
	比例 (%) Percent	87.42 ± 6.03 a	9.01 ± 7.82 b	3.57 ± 1.84 b	0 c	0 c

杆上面的卵量相比几乎可以忽略不计,玉米和蜡纸上面则未产卵,表明粘虫雌蛾对枯草杆的产卵选择性占绝对的优势。

2.3.2 不同寄主植物的光谱差异

通过对不同寄主植物的光谱测定可以看出,不同植物具有不同的光谱特征(图1),而绿色寄主植物与干枯的秸秆在不同波长条件下的反射波具有显著差异,玉米和小麦的反射波的波峰在540~560nm之间,而枯草秆和小麦秸秆的波峰则在560~580nm之间。结合粘虫的产卵选择性的结果,可以推测植物的光谱特征可能是粘虫对产卵寄主植物选择定位的指示物。

2.4 粘虫产卵场所的定位

2.4.1 粘虫对不同颜色的产卵场所的选择定位

室内观测粘虫对不同颜色纸张的产卵选择结果显示,粘虫雌蛾对产卵场所的颜色有明显的选择性(表4)。3种颜色处理纸张上面产卵块数具有显著差异,其显著的偏向于黄色系列,80%以上卵块均产在上面。其中,尤其喜爱将卵产在接近于枯草秆颜色的土褐色产卵介质上面,所占比例几乎达到50%。

2.4.2 不同颜色纸张的光谱差异

利用光谱仪测定不同颜色纸张的光谱特征可以看出,不同的颜色其在不同波段的反射率是不同的(图2),在相同的波段下绿色纸与黄色和土褐色纸张的反射率相差较大,而黄色和土褐色之间较为相似,这与粘虫选择不同颜色纸张产卵的结果是一致的。

3 讨论

昆虫与寄主植物已经协同进化了上亿年的时间,它们之间存在最复杂的相互作用和相互依赖的关系^[25-26],两者的相互作用对各自的种群盛衰和种类分化均可产生一定的影响^[27-28]。植物除了作为昆虫的食物外,还是昆虫的产卵和栖息场所。从粘虫卵块在田间不同处理方式的实验可以看出,粘虫产卵主要选择在干枯(黄)的寄主植物及其包裹紧密的叶鞘,而很少在生长茂盛、叶片浓绿的寄主植物上产卵的特殊行为,主要是因为卵块在田间绿色寄主植物上的被捕食率要显著高于同一田中枯草把上的被捕食率。表明在干枯植物上的天敌数量要远少于茂盛生长的植株上的天敌数量,粘虫选择在干枯植物及其叶鞘等场所产卵,可以躲避天敌的攻击。同时,其幼虫也相应地进化了较强的耐饥饿能力,可确保幼虫有足够的时间去寻找适宜的取食寄主。这就保障了粘虫卵和幼虫较高的存活率,有利于其种群的生存、繁衍。因此,可以看出粘虫雌蛾选择在干枯植株或叶片产卵应该是其对于不利的环境因素采取的一种生态对策。

植食性昆虫对寄主植物的定向选择反应,可分为在一定距离外的远距离寻找和到达植物上识别是否能作为寄主的近距离反应2个步骤^[29],包括昆虫对远距离植物或者生境的定向、到达植物或生境后对取食或产卵部位的识别和选择、选定植物后对取食或产卵等活动的调节控制等过程,在这些过程中,植食性昆虫利用了多

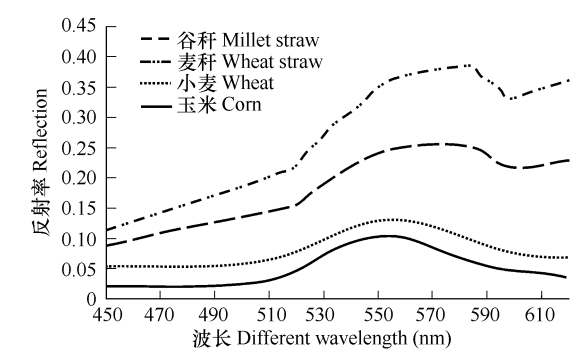


图1 不同植物在不同波长下的反射率
Fig.1 The reflecting rate of diferent plants at diferent wavelength

表4 粘虫产卵对不同颜色的选择性			
Table 4 The oviposition preference on different colour paper			
纸张颜色 Paper color	绿色 Green	黄色 Yellow	土褐色 Straw-yellow
卵块数(块) Number of eggs (masses)	5.29 ± 1.09a	13.59 ± 1.64b	16.41 ± 0.99b
比例(%) Percent	13.29 ± 2.04 a	36.73 ± 3.41b	49.69 ± 4.06 c

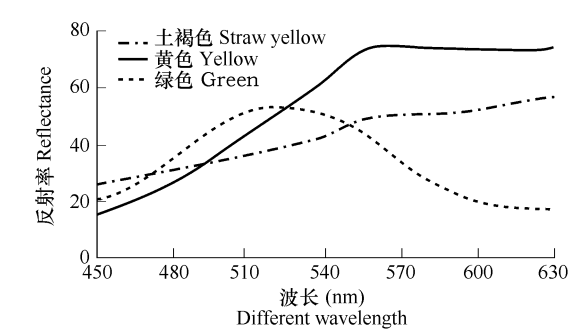


图2 不同颜色纸张在不同光谱下的反射率
Fig.2 The reflecting rate of diferent color papers at diferent wavelength

重感觉道的作用,有嗅觉、视觉、味觉和触觉等多种行为模式^[30,31]。尽管 Paré 等认为,在植食性昆虫对寄主植物的定位过程中,植物挥发性化合物起着非常重要的作用,植食性昆虫对绿叶气味的趋向性反应比较普遍^[32]。但是,Todd 研究发现,只有化学气味刺激时,玉米黄翅叶蝉 (*Dulbulus maidis* Delong)不离开试验观察室地面,不表现逆风定向反应,而在有视觉刺激存在时才表现出对气味的反应,表明这类昆虫在寄主寻找过程中利用了视觉和嗅觉刺激的相互作用,而且,视觉刺激似乎更重要^[33]。Finch 等认为植食性昆虫发现寄主的中心环节是视觉作用,而先前认为的化学物质作为中心环节证据不足^[29]。东方果蝇雌虫明显趋向于红色球吸附在黄板中央的、形状似橘子的诱捕器^[17]。菜粉蝶在远距离寻找植物产卵时对兰色和蓝绿色的反应强烈^[1]。在我国“黄板诱蚜”已成为控制作物蚜害的一种有效措施。例如,陈凤金等采用黄板诱蚜对温室蚜虫进行防治比对照减少蚜虫 2.0 ~ 3.3 头/cm²,效果明显,同时节省了使用农药和用工费用^[34]。这些实例说明,某些植食性昆虫对寄主植物或者生境的定向、识别等过程中,主要利用了视觉的作用。在本研究中,粘虫对鲜活的寄主植株和干枯草杆的产卵选择差异显著,利用光谱仪测定两类植物的光谱特征明显不同。虽然在鲜活的寄主植株和干枯的植物中会存在挥发性化合物的差异,但是粘虫对于仅在颜色上有差异(光谱特征不同)的纸张具有明显的产卵选择性,即喜欢将卵产在枯黄色的纸上,而且其颜色与田间产卵寄主植物的颜色是非常相近的。这充分说明粘虫在对其产卵寄主或部位的定位过程中主要是视觉在起作用(对颜色的反应为主),且与 Finch 等的结论是一致的。

另外,粘虫对产卵场所的定位不仅趋向枯黄色的植物,而且主要将卵产在干枯且包裹较紧密的叶鞘内。可见,粘虫在对产卵场所的定位与产卵过程中可能利用了视觉和触觉刺激的相互作用,或可能存在先利用视觉后利用触觉的不同行为模式,这有待开展进一步系统研究。

References :

[1] Qin J D. The evolution and reciprocity of insect and plant. In :Qin J D ed. The relation of insect and plant. Beijing :Science Press ,1987. 58 — 136.

[2] Mayhew P J. Adaptive patterns of host-plant selection by phytophagous insects. *Oikos* ,1997 ,79 ,417 — 428.

[3] Jaenike J. On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. *Theoretical Population Biology* ,1978 ,14 ,350 — 356.

[4] Awmack C S , Leather S R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* ,2002 ,47 ,817 — 844.

[5] Heisswolf A , Obermaier E and Poethke H J. Selection of large host plants for viposition by a monophagous leaf beetle :nutritional quality or enemy-free space ?*Ecological Entomology* ,2005 ,30 ,299 — 306.

[6] Courtney S P , Kibota T T. Mother doesn't know best :selection of hosts by vipsiting insects. In :E. A. Bernays ed. *Insect Plant Interactions*. 1990 ,161-188. CRC Press , Boca Raton , Florida.

[7] Valladares G , Lawton J H. Host-plant selection in the holly leaf-miner : Does mother know best ?*Journal of Animal Ecology* ,1991 ,60 ,227 — 240.

[8] Singer M S ,Stireman J O. Does anti-parasitoid defense explain host-plant selection by a polyphagous caterpillar ?*Oikos* ,2003 ,100 ,554 — 562.

[9] Hawkins B A ,Thomas M B ,Hochberg M E. Refuge theory and biological control. *Science* ,1993 ,262 ,1429 — 1432.

[10] Bjorkman C , Larsson S , Bommarco R. Oviposition preference in pine sawflies : a trade-off between larval growth and defence against natural enemies. *Oikos* ,1997 ,79 ,45 — 52.

[11] Ballabeni P , Wlodarczyk M , Rahier M. Does enemy free space for eggs contribute to a leaf beetle's oviposition preference for a nutritionally inferior host plant ?*Functional Ecology* ,2001 ,15 ,318 — 324.

[12] Niu C P. The discussion of oviposition behavior of the oriental armyworm *Leucania separata* Walker in the wheat field. *Entomological Knowledge*. 1965 ,(6) 381 — 383.

[13] Li G B ,Zeng S M ,Li Z Q. The integrated management of wheat pests. Beijing :Chinese Agricultural Technological Press ,1990. 292 — 295.

[14] Prokopy R J , Owens E D. Visual detection of plants by hebivorous insects. *Annu. Rev. Entomol* ,1983 ,28 337 — 364.

[15] Ge F. *Modern ecology*. Beijing :Science Press. 2002 ,126 — 154.

[16] Zhao D X ,Gao J L ,Chen Z M. Research Progress of Behavioral Orientation of Phytophagous Insects to Their Host Plants. *Chinese Journal of Tropical Agriculture* ,2004 ,24 (2) 62 — 68.

[17] Cornelius M L , Duan J J , Messing R H. *Visual stimuli* and the response of female oriental fruit flies (Diptera : Tephritidae) to fruit-mimicking

traps. J. Econ. Entomol. ,1999 ,92 (1) :121 — 129.

[18] Li G B ,Wang H X ,Hu W X. Route of the seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern part of China as indicated by a three-year result of releasing and recapturing of marked moths. Acta Phytophylacica Sinica ,1964 ,3 (2) :101 — 109.

[19] Cao Y Z ,Huang k ,Li G B. The effect of relative humdity on flight activity of adult oriental armyworm. Acta Phytophylacica Sinica ,1995 ,22 (2) :134 — 138.

[20] Yin J ,Feng H Q ,Cheng D F ,et al. Studies on flight behavior of the oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker) moth in airflow. Acta Entomologica Sinica ,2003 ,46 (6) :732 — 738.

[21] Li S D ,Tang C ,Dong Z L. Observation and Evaluation of Lawn *Mythimna Separata* in Chengdu. Sichuan Caoyuan ,2005 ,118 (9) :738 — 743.

[22] Jiang X F ,Luo L Z. Comparison of behavioral and physiological characteristics between the emigrant and immigrant populations of the oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). Acta Entomologica Sinica ,2005 ,48 (1) :61 — 67.

[23] Li K B ,Cao Y Z ,Luo L Z ,et al. Influences of flight on energetic reserves and juvenile hormone synthesis by corpora allata of the oriental armyworm ,*Mythimna separata* (Walker). Acta Entomologica Sinica ,2005a ,48 (2) :155 — 160.

[24] Li K B ,Gao X W ,Luo L Z ,et al. Changes in activities of four energy metabolism related enzymes during flight of *Mythimna separata* (Walker). Acta Entomologica Sinica ,2005b ,48 (4) :643 — 647.

[25] Qin J D. The physiological bases of host-plant specificity of phytophagous insects. Acta Entomologica Sinica ,1980 ,23 (1) :106 — 122.

[26] Xu R M. The relation of insect herbivores and plant. Insect population ecology. Beijing :Beijing Normal University Publishing Company. 1990 ,262 — 288.

[27] Emden H F ,Way M J. Host plant in the population dynamics of insects. In :H. F. van Emden ed. Inseet / Plant Relationships ,1973. 181 — 199.

[28] Harris P. Insects in the population dynamics of plants. In :H. F. van Emden ed. Inseet / Plant Relationships. 1973 ,128 — 156.

[29] Finch S ,Collier R H. Host-plant selection by insects — a theory based on appropriate/ inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. Ent. Exp. & Appl. ,2000 ,96 91 — 102.

[30] Miller J R ,Stricker K L. Finding and accepting host plants. In :Bell W J ,Card R. T. eds. The Chemical Ecology of Insects. London :Campman and Hall ,1984. 125 — 157.

[31] Ko t l V. Physical and chemical factors influncing landing and oviposition by the cabbage root fly on host-plant models. Ent. Exp. & Appl. ,1993 ,66 :109 — 118 .

[32] Par P W ,Lewis W J and Tumlinson J H. Induced plant volatiles :Biochemistry and effects on parasitoids. In :Agrawal A A ,Tuzur S ,Bent E eds. Induced Plant Defenses Against Pathogens and Herbivores Biochemistry ,Ecology and Agricultural. HPS Press ,2000 ,167 — 180.

[33] Todd J L ,Phelan P L ,Nault L R. Interaction between visual and olfactory stimuli during host-finding by leafhopper ,*Dalbulus maidis* (Homoptera : Cicadellidae). J Chem Ecol ,1990 ,16 (7) :2121 — 2133.

[34] Chen F J ,Ma C L ,Shi D L. Research into some anti-pollution methods for greenhouse cucumber. Chinese Agricultural Science Bulletin ,2006 ,22 (1) :204 — 207. .

参考文献：

[1] 钦俊德. 昆虫与植物的关系——论昆虫与植物的相互作用及其演化. 北京 科学出版社 ,1987. 58 ~ 1365.

[12] 牛传卜. 粘虫 *Leucania separata* Walker 越冬代成虫在麦田产卵习性的商榷. 昆虫知识 ,1965 (6) 381 ~ 383.

[13] 李光博,曾士迈 李振岐. 小麦病虫草鼠害综合治理. 北京 :中国农业科技出版社 ,1990. 292 ~ 295.

[15] 戈峰. 现代生态学. 北京 科学出版社 2002. 126 ~ 154.

[16] 赵冬香 ,高景林 ,陈宗懋. 植食性昆虫对寄主植物的定向行为研究进展. 热带农业科学 2004 24 (2) :62 ~ 68.

[18] 李光博 ,王恒祥 胡文绣. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报 ,1964 3 (2) :110 ~ 109.

[19] 曹雅忠 ,黄葵 ,李光博. 空气相对湿度对粘虫飞翔活动的影响. 植物保护学报 ,1995 22 (2) :134 ~ 138.

[20] 尹姣 ,封洪强 ,程登发 ,曹雅忠. 粘虫成虫在气流场中飞行行为的观察研究. 昆虫学报 2003 46 (6) :732 ~ 738.

[21] 李世丹 ,汤承 ,董昭林. 成都地区草坪粘虫发生规律与测报. 四川草原 2005 118 (9) :738 ~ 743.

[22] 江幸福 ,罗礼智 . 粘虫迁出与迁入种群的行为和生理特性比较. 昆虫学报 2005 ,48 (1) :61 ~ 67.

[23] 李克斌 ,曹雅忠 ,罗礼智 ,高希武 ,尹姣 ,胡毅. 飞行对粘虫体内甘油酯积累与咽侧体活性的影响. 昆虫学报 2005 ,48 (2) :155 ~ 160.

[24] 李克斌 ,高希武 ,罗礼智 ,尹姣 ,曹雅忠. 粘虫飞行过程中四种相关酶的活性变化. 昆虫学报 ,2005 ,48 (4) :643 ~ 647.

[25] 钦俊德. 植食性昆虫食性的生理基础. 昆虫学报 ,1980 23 (1) :106 ~ 122.

[26] 徐汝梅. 植食性昆虫与宿主植物之间的关系. 昆虫种群生态学. 北京 北京师范大学出版社 ,1990. 262 ~ 288.

[34] 陈凤金 ,麻翠丽 ,是栋梁. 温室黄瓜若干防污染方法研究初报. 中国农学通报 2006 22 (1) :204 ~ 207.