

## 黏虫生物防治研究进展

杨灿<sup>1,2</sup>, 母银林<sup>1,2</sup>, 王洁<sup>1,2</sup>, 陈祥盛<sup>1,2\*</sup>

(1. 贵州大学昆虫研究所, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学贵州省昆虫资源开发利用特色重点实验室, 贵州贵阳 550025)

**摘要** 综述了黏虫的生物防治研究进展, 介绍了黏虫主要天敌种类, 论述了植物源提取物、性信息素、昆虫不育技术、转基因技术在防治黏虫中的运用, 并讨论了生物防治现在存在的一些弊端和往后有效持续控制黏虫的发展趋势。**关键词** 黏虫; 生物防治; 天敌

中图分类号 S476 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)04-0010-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.04.004



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Research Progress on Biological Control of *Mythimna separata* (Walker)****YANG Can<sup>1,2</sup>, MU Yin-lin<sup>1,2</sup>, WANG Jie<sup>1,2</sup> et al** (1. Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Guizhou Provincial Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)**Abstract** The research progress of the biological control of *Mythimna separata* was summarized. The species of natural enemies which had the main prevention and control were exhibited. The application of plant-derived extracts, sex pheromone, insect sterility technology and transgenic technology in the control of *Mythimna separata* was discussed also in this paper. Finally some disadvantages of biological control and the development trend of effective and sustainable control of *Mythimna separata* in the future were discussed.**Key words** *Mythimna separata* (Walker); Biological control; Natural enemies

黏虫(*Mythimna separata*(Walker)), 隶属于鳞翅目(Lepidoptera)夜蛾科(Noctuidae), 又称剃枝虫、行军虫, 俗称五彩虫、麦蚕, 是一种主要危害小麦、玉米、高粱、水稻等粮食作物的杂食性、迁移性、间歇暴发性世界性害虫, 可危害 16 科 104 种以上的植物。在我国, 全国各地都均有分布。黏虫大暴发时, 会取食农作物的叶片, 对作物的生长造成严重阻碍和损伤<sup>[1-2]</sup>。据统计, 自从建国始, 黏虫多次暴发成灾, 2012 年尤为严重, 其 3 代黏虫仅在华北东北的发生面积就高达 397.4 万  $\text{hm}^2$ , 全国各地很多地区遭受了有史以来最严重的黏虫危害, 并且在此之后的每年都有 4~5 次大范围迁飞危害。而在亚洲和澳洲其他国家也常暴发黏虫危害<sup>[3-7]</sup>。黏虫由于食性杂、世代重叠严重, 其防治难度高。化学用药的使用导致了“3R”(抗性 resistance、再猖獗 resurgence、农药残留 residue)问题, 对于农作物生产质量安全问题也日益突出<sup>[8]</sup>, 而害虫的生物防治, 它可以通过生物或其代谢产物对害虫进行直接或间接的控制, 是害虫可持续治理中尤为重要的特色防治方法<sup>[9]</sup>。因此, 对黏虫进行生物防治是一个不错的选择方式。笔者从黏虫的自然天敌、植物源提取物、性信息素、不育技术以及转基因等方面综述了黏虫生物防治研究进展, 以期为无公害小麦和玉米等粮食作物生产上防治黏虫提供参考。

**1 黏虫自然天敌及其利用**

**1.1 黏虫捕食性天敌** 黏虫捕食性天敌种类繁多、数量较大, 对黏虫的危害起着一定的控制作用。徐嘉生等<sup>[10]</sup>统计了安吉、嘉善、新昌等地的麦田黏虫捕食性天敌, 如蜘蛛、青

蛙、麻雀、隐翅虫、步甲等, 其中蜘蛛捕食黏虫所占比例最大, 占捕食性天敌的 60%~80%, 其次是隐翅虫、青蛙。李和平等<sup>[11]</sup>在德州地区的采集与调查发现黏虫捕食性天敌有 2 科 10 种。杨光安<sup>[12]</sup>对吉林省黏虫天敌进行了初步调查, 发现黏虫捕食性天敌为步甲科 4 种, 毛增华等<sup>[13]</sup>补充调查发现吉林省黏虫的捕食性天敌为 14 科 61 种(表 1)。梁宏斌等<sup>[14]</sup>统计发现我国捕食黏虫的步甲一共具有 38 种(含亚种)。黏虫的主要天敌有青翅蚁形隐翅虫(*Paederus fuscipes* Curtis)、中国曲胫步甲(*Calosoma chinense* Kirby)、益蝽(*Picromerus lewisi* (Scott))、蠋蝽(*Arma chinensis* Fallou)、中华大蟾蜍(*bufo gargarizans*)等。黄葵等<sup>[15]</sup>通过试验发现青翅蚁形隐翅和中国曲胫步甲对黏虫具有较好的捕食作用, 青翅蚁形隐翅平均每头能取食黏虫卵 4.8 粒, 1~2 龄幼虫 3.83 头, 3 龄幼虫 1.67 头, 而 4 龄以后的老熟幼虫则几乎不取食; 中国曲胫步甲对于黏虫的 5~6 龄幼虫和蛹的捕食功能反应符合 Holling II 型, 并且其捕食量在黏虫密度达到一定值前, 会随着黏虫密度增大而相应的增加。唐艺婷等<sup>[16]</sup>在实验室可控条件下进行了益蝽对黏虫的捕食功能反应, 试验结果发现 3、4、5 龄益蝽若虫和成虫的每个龄期的捕食功能都符合 Holling II 型圆盘方程; 益蝽对于活的猎物更具有趋向性, 而在利用益蝽进行生物防治时, 选择 5 龄若虫最佳。李娇娇<sup>[17]</sup>利用黏虫幼虫作为蠋蝽代替猎物, 发现蠋蝽也能取食黏虫, 并且以黏虫幼虫为食能正常完成世代发育。

**1.2 黏虫寄生性天敌** 除捕食性天敌外, 寄生性天敌在控制黏虫的种群增长中也起着非常重要的作用。中华卵索线虫对黏虫能起很好的作用, 陈果等<sup>[18]</sup>在上蔡和新蔡县的田间多点调查, 发现 58% 的点黏虫的寄生率达 40% 以上, 最高超过 90%; 被寄生的黏虫食叶量平均减少 38%。黏虫常见寄生性天敌是寄生蜂与寄生蝇<sup>[10-12, 19-27]</sup>(表 2), 其中黏虫白星姬蜂、管侧沟茧蜂、红侧沟茧蜂、淡足侧沟茧蜂和伞裙追寄蝇

**基金项目** 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目(遵烟计[2018]11号); 中国烟草总公司贵州省公司重大科技专项(中烟黔科[2019]10号)。

**作者简介** 杨灿(1995—), 男, 贵州湄潭人, 硕士研究生, 研究方向: 资源利用与植物保护。\* 通信作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事昆虫系统学研究。

**收稿日期** 2020-07-23

对黏虫的控害能力较强。黄芊等<sup>[22]</sup>通过田间调查发现广西稻田的寄生蜂在田间的寄生率为 2.22%~18.53%,黏虫白星姬蜂寄生率最高,达 18.53%;寄生蝇寄生率相对较低,仅为 0.42%~2.22%。路子云等<sup>[23]</sup>研究发现管侧沟茧蜂对于黏虫的低龄幼虫寄生率较高,并且一旦被寄生,则会变得萎靡,失去活动迹象,黏虫 3 龄以上的幼虫则很少被寄生,中红侧沟茧蜂的寄生率则会随着寄主虫龄的增大而下降,当黏虫处于 5 龄后就不再寄生;此种情况也同样发生在淡足侧沟茧蜂中,

林珠凤<sup>[25]</sup>对其生物学进行了研究,结果表明淡足侧沟茧蜂最喜寄生 2 龄幼虫,而高龄幼虫寄生率很低或几乎不寄生。王建梅等<sup>[28]</sup>在室内进行伞裙追寄蝇对黏虫幼虫的寄生功能反应,结果显示符合 Holling 功能反应 II 型的负加速曲线;寄主幼虫相同龄期,伞裙追寄蝇对黏虫的寄生会随其密度的改变而变化;黏虫密度达到某一数值时,寄生量趋于稳定,伞裙追寄蝇寄生黏虫的数量会随着寄主密度增加,同时在 24 h 之内,1 头寄生蝇可以寄生 64.9 头黏虫。

表 1 黏虫捕食性天敌名录

Table 1 A list of predatory natural enemies of *Mythimna separata*

科名 Family name	种名 Species name	捕食虫态 Predatory insect state	
胡蜂科 Vespidae	柞蚕马蜂 <i>Polistes gallicus</i> (L.)	幼虫	
	斯马蜂 <i>Polistes snelleni</i> Saussure	幼虫	
	罗威长黄胡蜂 <i>Roliehovespula norwegica</i> (Fabricius)	幼虫	
	德国胡蜂 <i>Vespula germanica</i> (Fabricius)	幼虫	
	金环胡蜂 <i>Vespa mandarinia</i> Smith	幼虫	
	易胡蜂 <i>Vespula lewisii</i> (Cameron)	幼虫	
	常见胡蜂 <i>Vespula vulgaris</i> (Linnaeus)	幼虫	
	和马蜂 <i>Polistes (Megapostes) rotneyi iwatai vander Vecht</i>	幼虫	
	螺赢科 Eumenidae	北方螺赢 <i>Eumenes (Eumenes) coarctatus</i> Coarctatus (Linnaeus)	幼虫
		李螺赢 <i>Eumenes (Eumenes) fratereulus</i> Dalla Tarre	幼虫
中华唇螺赢 <i>Eumenes (Eumenes) ladiatus sinics</i> Giordani Soika		幼虫	
陆螺赢 <i>Eumenes (Eumenes) mediteraneus</i> Mediteraneus kriechnaumer		幼虫	
步甲科 Carabidae	四带佳盾螺赢 <i>Euodynerus (Pareuodynerus) quadrfasciatus</i> (Fabricius)	幼虫	
	斑步甲 <i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer)	幼虫	
	锥须步甲 <i>Bembidion</i> sp.	幼虫	
	赤胸步甲 <i>Calathus (Dolichus) halensis</i> Schall	幼虫	
	中华广肩步甲 <i>Calosoma maderae chinense</i> kirby	幼虫	
	苦步甲 <i>Carabus kruberi</i> F.v.	幼虫	
	粒步甲 <i>Carabus granulatus</i> Ad.	幼虫	
	暂无译名 <i>Carabus maender</i> Fisch	幼虫	
	谈足青步甲 <i>Chlaenius pallipes</i> Gebler	幼虫	
	步行甲 <i>Craspedonotus</i> sp.	幼虫	
	艳大步甲 <i>earabus (eoptolab, lus) lafasseicoelestis</i> Stew	幼虫	
	后斑青步甲 <i>Chlaenius posticalis</i> Motschulsky	幼虫	
	圆角婪步甲 <i>Harpalus corporosus</i> (Motschulsky)	幼虫	
	肖毛婪步甲 <i>Harpalus (Pseudoophonus) jurecki</i> (Jedlicka)	幼虫	
	多毛婪步甲 <i>Harpalus (Pseudoophonus) eous</i> Tschitscherine	幼虫	
	黄绿心步甲 <i>Nebria livida linnaeus</i>	幼虫	
	黄鞘婪步甲 <i>Harpalus pallidipennis</i> Morawit;	幼虫	
	紫鞘黑通缘步甲 <i>Pterostichus lacmostemomimims</i> Luts	幼虫	
	小头通缘步甲 <i>Pterostichus microcephalus</i> Mots	幼虫	
	虎甲科 Cicindelidae	双狭虎甲 <i>Cicindela (Cylindera) gracilis</i> Pallas	成虫、幼虫
多形虎甲红翅亚形 <i>Cicindela hybrida nitida</i> Lichtenstein		成虫、幼虫	
多形护甲铜翅亚形 <i>Cicindela hybrida transbaicalica</i> Motschulsky		成虫、幼虫	
散纹虎甲 <i>Cicindela</i> (Eugrapha) sp.		成虫、幼虫	
斜纹虎甲 <i>Cicindela germanics</i> Linnaeus		成虫、幼虫	
芽斑虎甲 <i>Cicindela gemmate</i> Faldermann		成虫、幼虫	
月斑虎甲 <i>Cicindela lunulate</i> Fabricius		成虫、幼虫	
黄足蚁形隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i> Curtis		幼虫	
华姬猎蝽 <i>Nabis sinoferus</i> Hsiao		幼虫	
蓝蝽 <i>Zierona caerulea</i> (Linnaeus)		幼虫	
蠨蛸科 Labiduridae	日本蠨蛸 <i>Labidura japonica</i> de Haan	幼虫	
	圆蛛科 Araneidae	角圆蛛 <i>Araneus cornutus</i> Clerck	成虫、幼虫
大腹圆蛛 <i>Araneus ventricosa</i> (L.koeh)		成虫、幼虫	
黄褐新圆蛛 <i>Neoscona adiantum</i> (Walckenaer)		成虫、幼虫	
灌木新圆蛛 <i>Neoseon doenitzi</i> (Bosenber et Strand)		成虫、幼虫	
黑斑亮腹蛛 <i>Singa hamata</i> (Clerck)		成虫、幼虫	
圆尾肖峭 <i>Tetragnatha shikokana</i> Yaginuma		幼虫	
草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicola</i> (Sundevall)		幼虫	
肖峭科 Tetragnathidae	齿鳌颇角蛛 <i>Gnathonarium dentatum</i> (wider)	幼虫	
	狼蛛科 Lycosidae	角熊蛛 <i>Arctosa cervina</i> Schenkel	幼虫
黑腹狼蛛 <i>Lycosa auribrachialis</i> Schenkel		幼虫	

续表 1

科名 Family name	种名 Species name	捕食虫态 Predatory insect state
蟹蛛科 Thomisidae	星豹蛛 <i>Pardosa astrigera</i> L.Koch	幼虫
	田野豹蛛 <i>Pardosa agrestis</i> Westring	幼虫
	赫定豹蛛 <i>Pardosa hedini</i> Schenkel	幼虫
	丁纹豹蛛 <i>Pardosa T-insignita</i> (Bosenber et Strand)	幼虫
	草地逍遥蛛 <i>Philodromus cespitus</i> (walckenaer)	幼虫
	刺附逍遥蛛 <i>Philodromus spinitarsis</i> Simon	幼虫
	鞍形花蟹蛛 <i>Xysticus ephippiatus</i> Simom	幼虫
跳蛛科 Salticidae	波纹花蟹蛛 <i>Xysticus' Croceus</i> Fox	幼虫
	白斑猎蛛 <i>Evarcha albaria</i> (L.Koch)	幼虫

表 2 黏虫寄生性天敌名录

Table 2 A list of parasitcal natural enemies of *Mythimna separata*

序号 No.	寄生蜂 Parasitic wasp	序号 No.	寄生蝇 Parasitic fly
1	黏虫绒茧蜂 <i>Apanreles kariyai</i> Watanabe	1	黏虫缺须寄蝇 <i>Cuphocera varia</i> Fabricius
2	螟蛉绒茧蜂 <i>Apanteles ruficrus</i> (Haliday)	2	饰额短须寄蝇 <i>Linnaemyia compta</i> Fallen
3	螟蛉瘤姬蜂 <i>Itopectis naranyae</i> (Ashmead)	3	查禾短须寄蝇 <i>Linnaemyia zachvatkini</i> Zimin
4	螟蛉悬茧蜂 <i>Meteorus narangae</i>	4	扁肛茸毛寄蝇 <i>Servillia planiforceps</i> Chao
5	黏虫悬茧蜂 <i>Meteorus gyator</i>	5	冠毛长喙寄蝇 <i>Siphona cristata</i> Fabricius
6	稻苞虫金小蜂 <i>Eupteromalus parnaeae</i> Gahan	6	黄色毛脉寄蝇 <i>Ceromyia silacea</i> Meigen
7	东方拟瘦姬蜂 <i>Netegia orientalis</i>	7	日本追逐寄蝇 <i>Exorista japonica</i> Tyler-Townsend
8	褐斑内茧蜂 <i>Rogas</i> sp.	8	黑角阿克寄蝇 <i>Actia crassionis</i> Meigen
9	黏虫弧脊姬蜂 <i>Trichionotus japonicus</i> Uchida	9	选择盆地寄蝇 <i>Bessa selecta fugax</i> Rondani
10	黏虫广肩小蜂 <i>Eurytoma verticillata</i> (Fabricius)	10	隔离狭颊寄蝇 <i>Carcelia excisa</i> Fallen
11	黏虫白星姬蜂 <i>Vulgichneumon leucaniae</i> Uchida	11	中华得利寄蝇 <i>Drino discreta sinen-sis</i> Mesn.
12	黏虫赤眼蜂 <i>Trichogramma leucaniae</i> Pang et chen	12	蓝黑栉寄蝇 <i>Pales pavidia</i> Meigen
13	黏虫细颚姬蜂 <i>Enicospilus stenophleps</i>	13	灰色等腿寄蝇 <i>Isomera cinera scens</i> Rondani
14	小腹茧蜂 <i>Microplitis</i> sp.	14	红尾追寄蝇 <i>Exroista xanthaspis</i> Wiedemann
15	褐斑内茧蜂 <i>Rogas fuscumacuiatus</i> Ashead	15	弥寄蝇 <i>Tachina micado</i> Kirby
16	黏虫斯茧蜂 <i>Zilonomorpha</i> sp.	16	隔离狭颊寄蝇 <i>Carcelia excise</i> Fallen
17	黏虫侧沟茧蜂 <i>Microplitis</i> sp.	17	黑须卷蛾寄蝇 <i>Blondelia nigripes</i> Fallen
18	裹尸姬小蜂 <i>Euplectrus</i> sp.	18	厩腐蝇 <i>Muscina stabulans</i>
19	盘背菱室姬蜂 <i>Mesochorus discit</i>	19	夜蛾土蓝寄蝇 <i>Turanogonia chinensis</i> Wiedemann
20	惊螭姬蜂 <i>Phobocamp</i> sp.	20	灿烂温寄蝇 <i>Winthemia Venusfa</i> Meigen
21	螟甲腹茧蜂 <i>Chelonus munakatae</i> Munakata	21	红尾追寄蝇 <i>Exorista fallax</i> Meigen
22	桑夜蛾盾脸姬蜂 <i>Metopius (ceratopius) dissectorius dissectorius</i> (Panzer)	22	常怯寄蝇 <i>Phryxe vulyaris</i> Fallen
23	金小蜂 <i>Eupteromalus</i> sp.	23	茸毛寄蝇 <i>Servillia Planiforceps</i> Chao
24	侧沟茧蜂 <i>Microplitis</i> sp.	24	黏虫侧须寄蝇 <i>Peletieria varia</i> Fabricius
25	甘蓝夜蛾拟瘦姬蜂 <i>Netelia (Netetia) ocellaris</i> (Thomson)	25	北方长喙寄蝇 <i>Siphona boreata</i> Mesnil
26	夜蛾瘦姬蜂 <i>Ophion luteus</i> (Linnaeus)	26	黏虫长芒寄蝇 <i>Dolichocolon paradoxum</i> B.B
27	黏虫姬小蜂 <i>Euplectrus kicalora</i> Walker	27	黏虫三叉寄蝇 <i>Trifaxys brauer</i> De Miefere
28	螟蛉姬小蜂 <i>Euplectrus</i> sp.	28	伞裙追寄蝇 <i>Exorista civilis</i> Rondani
29	黏虫黑卵蜂 <i>Telenomus cirphivorus</i> Liu		
30	淡足侧沟茧蜂 <i>Microplitis pallidipes</i>		
31	螟蛉盘绒茧蜂 <i>Charops bicolor</i> (Szepligeti)		
32	螟蛉悬茧姬蜂 <i>Charops bicolor</i> (Szepligeri)		
33	黏虫广肩小蜂 <i>Eurytoma verticillata</i> (Fabricius)		
34	黏虫棘领姬蜂 <i>Therion circumflexum</i> Linnaeus		
35	小室姬蜂 <i>Scenocharops</i> sp.		
36	并区姬蜂 <i>Pterocormus</i> sp.		
37	惊烛姬蜂 <i>Phocampe</i> sp.		
38	弯尾姬蜂 <i>Diadegma</i> sp.		
39	螟蛉折唇姬蜂 <i>Lysibia</i> sp.		
40	姬蜂 <i>Ichneumon</i> sp.		
41	格姬蜂 <i>Gravenhorstiini</i> sp.		
42	钝唇姬蜂 <i>Eriborus</i> sp.		
43	两色长距姬小蜂 <i>Euplectrus bicolor slat</i>		
44	毒蛾赤眼蜂 <i>Trichogramma ivelea</i> Pang et chen		
45	拟澳洲赤眼蜂 <i>Trichogramma confusum</i> Viggiani		

**1.3 黏虫病原微生物** 昆虫病原微生物是调控昆虫种群数量动态的重要因子,其作为生物防治害虫的重要手段被广泛应用,许多学者在病原微生物对黏虫的防治中做了大量试验。黏虫用添词法接种痘病毒 15~20 d 后,感病虫体分别在变态中死亡<sup>[29-30]</sup>。在室内对黏虫接种黏虫核型多角体病毒,当浓度为  $1 \times 10^7$  PIB 时,黏虫 1、2、3、4 龄死亡率分别为 95.91%、88.48%、41.42%、1.69%;而田间进行防试,在用量为  $1.5 \times 10^{12}$ 、 $3.0 \times 10^{12}$ 、 $4.5 \times 10^{12}$ 、 $6.0 \times 10^{12}$  和  $7.5 \times 10^{12}$  PIB/hm<sup>2</sup> 时,防治效果分别为 67.06%、79.89%、86.40%、87.82%、90.63%<sup>[31]</sup>。有研究发现,苜蓿丫纹夜蛾核型多角体病毒 (*Autographa californica* multicapsid nucleopolyhedrovirus, AcMNPV) 能够增强黏虫痘病毒 (*Pseudaletia separata* entomopoxvirus, PsEPV) 的侵染力,单独用痘病毒处理时,黏虫的死亡率为 46.33%,而幼虫接入痘病毒和苜蓿丫纹夜蛾核型多角体病毒的混合液时,幼虫的死亡率为 95.00%<sup>[32]</sup>;研究还发现昆虫痘病毒、黏虫颗粒体病毒及其增效因子 SF 以及一种增强因子 EF 这 3 种病毒能增强黏虫核型多角体病毒对黏虫的感染率<sup>[33-35]</sup>,而添加苏云金芽孢杆菌制成生物复合制剂时,对黏虫的防治效果也较好<sup>[36]</sup>;黏虫接种白僵菌 Bb170428 时,其校正死亡率最大为 54.76%,黏虫 2 龄幼虫与 5 龄幼虫第 15 天的 LC<sub>50</sub> 分别为  $7.75 \times 10^{11}$ 、 $2.63 \times 10^9$  孢子/mL<sup>[37]</sup>;而病原真菌中除了白僵菌,另外棒束孢属 (*Isaria* spp.) 和绿僵菌 (*Metarhizium* spp.) 对黏虫也具有致病性和不同程度的毒力,其中棒束孢属的真菌对黏虫的毒力最高,并且要远高于白僵菌和绿僵菌<sup>[38]</sup>。

## 2 植物源提取物在黏虫生物防治中的作用

植物源提取物是指以植物为原料,定向获取或浓集植物中某一种或多种有效成分,不改变有效成分结构而形成的产品,其具有高效、低毒、低残留、高选择性以及对高等动物和自然天敌安全等优点。研究发现许多植物对黏虫具有生物活性,主要表现为拒食、触杀、胃毒、抑制等。

**2.1 拒食作用** 张兴等<sup>[39]</sup> 研究发现在西北地区,对黏虫生物活性高于 80% 且全部都表现为拒食的植物有 18 种,分别为柃蒿、紫穗槐、鸡屎藤、竹叶柴胡、迷果芹、小果博落回、扁蓄、芦苇、冬葵、砂地柏、狼毒、垂盆草、黄连木、木姜子、野亚麻、问荆、金丝桃、花椒。李雪娇等<sup>[40]</sup> 采用小叶碟添加法,对黏虫 3 龄幼虫进行测定其拒食及毒杀活性,结果表明在处理 24 h 后,黏虫对植物拒食率高达 95% 以上的有 10 种,其中短毛独活、天名精、牡丹、细柱五加、黑沙蒿和甘草高达 100%; 72 h 后,牡丹和细柱五加 2 种植物校正死亡率达到 100%。张兴等<sup>[41]</sup> 测试了 5 种楝科物质对白脉黏虫的拒食试验,结果发现,印楝油作用效果最强,仅 2% 浓度对黏虫的拒食率就高达 97.9%,其次是 2% 浓度的川楝种核粉石油醚提取物拒食率为 76.1%,2% 浓度的川楝种核粉乙醇提取物拒食率为 58.5%,3% 浓度的苦楝种核粉乙醇提取物拒食率为 68.3%,2% 苦楝种核粉石油醚提取物拒食率最低,仅为 36.3%,但经过 *t* 检验后仍具有显著性。

**2.2 触杀作用** 王云梅等<sup>[42]</sup> 采用虫体浸渍法利用紫茎兰提

取物对黏虫幼虫进行触杀活性的测定,24 h 后紫茎兰叶丙酮、乙酸乙酯提取物、紫茎兰茎丙酮、石油醚提取物对黏虫的触杀效果较好,达 71%~90%,并且这几种提取物的触杀死亡率和校正死亡率还会随着时间的增大而增大,且均高于对照组。赵峰等<sup>[43]</sup> 同样采取虫体浸渍法利用马铃薯茎叶和果实粗提取物对黏虫进行触杀试验,结果发现,在马铃薯盛花期和收获期茎叶的提取物对黏虫 5 龄幼虫的触杀效果很弱或无触杀能力,而马铃薯青果乙酸乙酯粗提取物与马铃薯青果丙酮粗提取物对黏虫 5 龄幼虫则具有较强的触杀作用,校正死亡率分别为 59.5% 和 10.0%。张新瑞<sup>[44]</sup> 利用红蓼提取物测试其对黏虫的触杀作用,结果发现,红蓼的种子和秋季的茎秆对黏虫具有触杀作用,种子乙醇粗提取物和种子乙酸乙酯萃取物的 5 倍稀释液对黏虫 5 龄幼虫的触杀率分别为 41.97% 和 88.89%;而秋季茎秆的提取物甲醇(蒸馏)、乙酸乙酯萃取物、氯仿萃取物对黏虫的触杀死亡率分别为 20.29%、59.20% 和 29.00%。孙洋等<sup>[45]</sup> 认为蓖麻花序提取物对黏虫具有一定的触杀作用,其中乙醇提取物触杀效果最强,校正死亡率为 16.9%。

**2.3 胃毒作用** 斑蝥素的衍生物对黏虫幼虫具有较强的胃毒效果,其中以开环衍生物 I-7#、IV-13# 和闭环衍生物 IV-13# 的胃毒活性较高,48 h 后黏虫死亡率分别为 100%、80%~100%、82.76%<sup>[46]</sup>;蓖麻花序乙酸乙酯和石油醚提取物对黏虫也具有一定的胃毒效果,供试幼虫死亡率分别为 42.5% 和 41.5%<sup>[45]</sup>;灰绿黄堇甲醇粗提物也对黏虫具有很高的胃毒作用,其氯仿萃取物对黏虫的触杀和胃毒校正死亡率分别达 87.50% 和 91.38%<sup>[47]</sup>。

**2.4 抑制作用** 蓖麻花序石油醚提取物对黏虫生长发育具有抑制作用,在第 4 天生长抑制率能达到 66.98%,而后几天则会逐步降低<sup>[45]</sup>;灰绿黄堇甲醇粗提物不仅对黏虫具有触杀、胃毒作用,还具有很强的抑制作用,其氯仿萃取物对黏虫 3 龄幼虫的生长发育抑制率为 88.66%<sup>[47]</sup>;杠柳新苷 E 能够影响黏虫中肠类胰蛋白酶且产生抑制作用<sup>[48]</sup>;而植物次生产物鞣酮则能直接抑制黏虫胚胎的发育<sup>[49]</sup>。

## 3 黏虫性信息素及其运用

昆虫性信息素一般产生于昆虫特殊的组织——性信息素分泌腺,是昆虫种间的特异性求偶通讯物质,能大面积诱集并且控制防治黏虫的危害,具有高效无毒、选择性强、不杀伤天敌等优点,可为无公害小麦和玉米等粮食作物生产上提供參考。

有研究表明,黏虫雌蛾对性信息素以及类似物反应较小,对气味的反应相比雄蛾较迟钝;而雄蛾主要靠触角来识别雌蛾释放的信息素组分,其触角对主要性信息素组分顺-11-十六碳烯醛反应较敏感<sup>[50-51]</sup>。植物气味化合物与害虫信息素具有协同作用,黏虫蛾性信息素中添加苯甲酸乙酯、苯甲醇、苯乙醛都对其雄蛾具有引诱效果,而苯甲酸乙酯作为诱集增效剂效果最好<sup>[52]</sup>。除了对性信息素成分的研究,也有学者尝试在组分上进行黏虫的生物防控,当 3 种组分顺-11-十六碳烯醛、十六碳醛和顺-11-十六碳烯醇配比

组合在 0.1 mg 时,对黏虫雄蛾的引诱效果与对照差异极显著,且活性也最高<sup>[53]</sup>。性信息素与植物挥发物混合物也具有协同作用,当性诱剂中添加苯乙醛、 $\beta$ -石竹烯、Z-3-己烯基乙酸酯时,对黏虫雄蛾的诱捕效果提高 1.8 倍<sup>[54]</sup>。

#### 4 昆虫不育技术在黏虫生物防治中的应用

昆虫不育技术是通过释放经特殊技术进行绝育了的雌性昆虫,再让它们与雌性交配,让雌性不能产生后代使其失去繁衍后代的能力,达到防治害虫的目的,其包括辐射不育、化学不育和遗传不育等。赵万源<sup>[55]</sup>利用  $\gamma$  射线照射黏虫雌蛹中,后期使其雄蛾不育,当照射剂量达到 2.58 C/kg 时,处理的雄虫有 53.45% 能交配,而正常交配受精为 0。张宗炳等<sup>[56]</sup>用 0.1% 浓度的 Thio-TEPA [三(乙亚胺基)硫化磷] 加入糖浆内喂养黏虫雌雄成虫,结果发现不孕药剂可以引起不育;雌虫产卵数减少,卵全不孵化;用此药剂只处理雌成虫,让其与正常雄虫交配时,得到了完全的不育效果;用此药剂只处理雄成虫,让其与正常雌成虫交配时,产卵正常,但孵化率大为降低。赵文臣等<sup>[57-58]</sup>开展了 TH-6040 和灭幼脲一号对黏虫不育的试验,用 5.50 mol/L 的 TH-6040 处理羽化后 1~3 d 的雌雄蛾,不育率高达 98.4%~99.6%,处理雌蛾与正常雄蛾交配则为 65% 不育,而处理雄蛾与正常雌蛾交配则不影响;灭幼脲一号结果与 TH-6040 效果大同小异,在同样浓度处理雌雄蛾后,其不育率高达 99.0%~99.8%,其余与 TH-6040 结果一样。

#### 5 转基因技术在黏虫生物防治中的应用

转基因技术是将预期基因经过人工分离、重组后,导入目标植物中从而培育出转基因抗虫作物,达到防治害虫的目的。对于我国的转基因抗虫玉米的培育主要是将昆虫蛋白酶抑制基因(豆胰蛋白酶抑制剂基因 Cp)、苏云金芽孢杆菌杀虫结晶蛋白基因(Bt 基因)、植物凝集素基因这 3 种基因导入玉米基因中从而达到抗虫的效果。研究表明,转基因玉米 IE09S034(含 *Cry1Ie* 基因)、双抗 12-5(含 *Cry1Ab/Cry2Aj* 和 *G10evo-epsps* 基因)和 C0030.3.5(含 *Cry1Ab* 和 *epsps* 基因)对低龄黏虫都具有很好的抗性,其中转基因玉米双抗 12-5 对黏虫幼虫抗性较突出,3 龄前幼虫死亡率近 100%<sup>[59]</sup>;转基因 *Cry2Ah- $\nu$ p* 基因玉米 VP1-5 对黏虫也有极高的抗性,其黏虫幼虫取食 3 d 后全部死亡<sup>[60]</sup>;除此之外,还有很多转基因抗黏虫作物品种对黏虫的抗性效果较好,如转基因 GH5112E-117C、转 BT 基因玉米、转基因 VP1-5、转基因玉米杂交种瑞丰 1 号-双抗 12-5(RF1-12-5)等<sup>[61-65]</sup>。

#### 6 展望

黏虫生物防治方法较多,对黏虫种群都有一定的控制作用,然而各种方法对黏虫的防治也存在不足且依旧达不到理想效果,因此化学防治仍然是防治黏虫的主要方法。预测工作不到位,不能及时将田间虫害发生情况与生物防治相结合,加上天敌饲养技术不够成熟,货架期保存技术难以攻破,且利用天敌进行生物防治受气候因子以及环境因子的影响较大。病原微生物在运用中具有专一性、慢致死性。植物源提取物活性成分复杂,需要多种物质综合来防治黏虫,而在

活性成分的获取手段如分离、纯化、提取、鉴定等都还需要相关学者继续研究。性信息素的获取会因为目标昆虫资源稀少等问题,诱捕器同样也受环境因子以及放置方式的限制。利用辐射不育技术来防治黏虫如今国内还是处于落后状态,至今还没有出现辐射供试虫的管理饲养技术。转基因玉米对黏虫的抗性表现出很好的功效,然而国内外对转基因食物安全存在较大争议,我国则是对转基因持着保守态度。

黏虫生物防治最大的优点是对环境友好,要做好黏虫的生物防治工作,笔者总结以下几点建议:

(1) 从作物种子入手,选用综合性状优良、对黏虫抗性强的玉米、水稻品种进行种植,可在一定程度上减轻黏虫危害。

(2) 作物成熟过程中,加强黏虫的预测预报,根据黏虫的发生程度和天气状态选择适宜的生物防治方法,在黏虫达到 3 龄以前进行生物防治效果最佳。

(3) 在生物防治黏虫时,单一的生物农药很难达到理想的预期效果,而多种生物农药混合使用有时能达到更好的防治效果,单独用痘病毒处理时,黏虫的死亡率为 46.33%,而幼虫接入痘病毒和苜蓿丫纹夜蛾核型多角体病毒的混合液时,幼虫的死亡率则达到 95.00%<sup>[32]</sup>;灭幼脲类杀虫剂对黏虫高龄的幼虫防治效果不够理想,而病毒制剂灭杀黏虫会需要很长时间,当灭幼脲与黏虫核多角体病毒联合使用时,其对黏虫幼虫表现出不同程度的增效作用,其中在混配比 1:9 时,对黏虫 4 龄共毒数达 353,杀虫效果和速度都明显提高<sup>[66]</sup>。而某些生物农药对温度较为敏感,如苦参碱是正温度效应的植物源杀虫剂而印楝素是负温度效应的植物源杀虫剂,当混合使用时,就需要注意温度对毒力的影响<sup>[67]</sup>。因此,生物农药混合后的使用技术和方法则是目前需要探讨和解决的一个问题。

(4) 生物防治黏虫时不一定只单一运用一种或几种生物防治手段,可多种生物防治技术协同防治黏虫。病原线虫嗜菌异小杆属线虫 *Heterorhabditis* sp. (LF) 和 *Heterorhabditis bacteriophora* (Hb) 在与 Bt 菌株 G03 联合使用后对黏虫的防治都具有一定的协同作用,在联合使用后都高于相对比的单线处理,而田间试验结果显示也是如此,在 LF 或者 Hb 联合 Bt (G03) 后,黏虫死亡率至少提高 35.5%<sup>[68]</sup>。同时还可以通过间作或者邻作一些诱集植物合理布局作物时空分布,黏虫对产卵场所的定位趋向于枯黄色的植物,并且将卵产于干枯紧密包裹的叶鞘内<sup>[69]</sup>。同时再配合释放天敌,放置黏虫性诱捕器等其他生物防治手段,将有可能实现生物防治控制黏虫的种群。田间种植作物时应当注意诱集植物的分布,同时与黏虫产卵时节相对应,诱捕器和天敌协同作用时对天敌没有诱捕效果。

#### 参考文献

- [1] 李光博.黏虫发生规律和防治策略[M]//中国农业科学院.中国植物保护科学.北京:科学出版社,1961:446-466.
- [2] 李光博.我国黏虫研究概况及主要进展[J].植物保护,1993,19(4):2-4.
- [3] 姜玉英,李春广,曾娟,等.我国黏虫发生概况:60 年回顾[J].应用昆虫学报,2014,51(4):890-898.
- [4] 曾娟,姜玉英,刘杰.2012 年黏虫暴发特点分析与监测预警建议[J].植物保护,2013,39(2):117-121.

- [5] 江幸福,张蕾,程云霞,等.我国黏虫研究现状及发展趋势[J].应用昆虫学报,2014,51(4):881-889.
- [6] LEE J H, UHM K B. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. II. Korea [M] // DRAKE V A, GATEHOUSE A G. Insect migration. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 105-116.
- [7] SHARMA H C, DAVIES J C. The oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker.) distribution, biology and control: A literature review [R]. Center for Oversea Pest Research, ODA Miscellaneous Report 59. London, Center for Oversea Pest Research, 1983.
- [8] 吴士华. 浅谈农业害虫抗药性及综合治理[J]. 民营科技, 2017(3): 196.
- [9] BATRA S W T. Biological control in agroecosystems [J]. Science, 1982, 215(4529): 134-139.
- [10] 徐嘉生,邵宝,臧传汤. 麦田黏虫天敌种类及其控制作用[J]. 杭州师院学报(社会科学版), 1983, 5(4): 136-138.
- [11] 李和平,胡振国,高月亭,等. 德州地区黏虫寄生性天敌控制作用的调查研究初报[J]. 山东农业科学, 1984, 16(4): 41-42.
- [12] 杨光安. 吉林省黏虫的天敌昆虫资源调查初报[J]. 吉林农业大学学报, 1986, 8(1): 2-7.
- [13] 毛增华,于凤兰. 吉林省黏虫天敌名录[J]. 吉林农业科学, 1986, 11(2): 29-38.
- [14] 梁宏斌,虞佩玉. 中国捕食黏虫的步甲种类似检索[J]. 昆虫天敌, 2000, 22(4): 160-167.
- [15] 黄葵,倪汉祥,郭予元,等. 麦田主要天敌对一代黏虫捕食功能的研究[C] // 北京昆虫学会. 北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文集汇编. 北京: 中国植物保护学会生物入侵分会, 1990: 109.
- [16] 唐芝婷,郭义,何国玮,等. 不同龄期的益蝽对黏虫的捕食功能反应[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(6): 825-830.
- [17] 李娇娇. 取食不同猎物对螞蟥的发育影响及其代谢组学差异研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [18] 陈果,简恒,任惠芳,等. 中华卵索线虫对黏虫自然控制作用的研究[J]. 生物防治通报, 1991, 7(4): 145-150.
- [19] 赵建铭. 中国黏虫寄蝇的研究[J]. 昆虫学报, 1962, 5(S1): 32-44.
- [20] 李金芬. 黏虫寄生性天敌昆虫调查初报[J]. 内蒙古农业科技, 1981, 9(5): 33-35.
- [21] 韦修平. 桂西右江盆地黏虫生活史与寄生性天敌观察初报[J]. 昆虫知识, 1982, 19(3): 15-17.
- [22] 黄芊,蒋昱斌,凌炎,等. 广西稻田黏虫及其寄生性天敌昆虫发生种类调查初报[J]. 西南农业学报, 2018, 31(1): 78-83.
- [23] 路子云,冉红凡,刘文旭,等. 黏虫及其寄生性天敌——管侧沟茧蜂饲养方法[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(5): 683-687.
- [24] 相红燕. 伞裙追寄蝇生物学特性及寄主选择性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [25] 林珠凤. 淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* 生物学及其利用的初步研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2006.
- [26] 刘洪娟. 黑龙江省黏虫生物防治的重要性及主要生防类群[J]. 农村实用科技信息, 2013(12): 20.
- [27] 骆仁健,张陞,金祖荫. 甘肃省黏虫第二代幼虫的寄生蝇[J]. 甘肃农业科技, 1984(6): 17-19.
- [28] 王建梅,刘长仲,刘爱萍,等. 伞裙追寄蝇对黏虫幼虫的寄生功能反应[J]. 植物保护, 2015, 41(1): 45-48, 58.
- [29] 柳连元,付仓生,李振兰. 黏虫痘病毒研究初报[J]. 植物保护, 1984, 10(6): 17.
- [30] 李振兰,付仓生,柳连元. 黏虫痘病毒——长春株的分离及其形态结构[J]. 电子显微学报, 1988, 7(3): 61.
- [31] 杨发泽,彭涛,刘玉琢,等. 试用核型多角体病毒防治黏虫[J]. 植物保护, 1984, 10(6): 29-30.
- [32] 郭浩,郭巍,李长友,等. 苜蓿丫纹夜蛾核型多角体病毒对东方黏虫痘病毒的增效作用[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(3): 365-368.
- [33] XU J H, HUKUHARA T. Enhanced infection of a nuclear polyhedrosis virus in larvae of the armyworm, *Pseudaletia separata*, by a factor in the spheroids of an entomopoxvirus [J]. Journal of invertebrate pathology, 1992, 60(3): 259-264.
- [34] 刘强,丁翠. 黏虫颗粒体病毒及其增效因子对黏虫核型多角体病毒的增效作用[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(3): 300-304.
- [35] HAYAKAWA T, XU J, HUKUHARA T. Cloning and sequencing of the gene for an enhancing factor from *Pseudaletia separata* entomopoxvirus [J]. Gene, 1996, 177(1/2): 269-270.
- [36] 刘洪娟. 黑龙江省黏虫生物防治的重要性及主要生防类群[J]. 农村实用科技信息, 2013(12): 20.
- [37] 赵薇. 一株白僵菌菌株的分离鉴定培养及致病力研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [38] MANDIRA KATUWAL BHATTARAI. 白僵菌、绿僵菌和棒束孢对两种昆虫的毒力与病理学[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [39] 张兴,杨崇珍,王兴林. 西北地区杀虫植物的筛选[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(2): 21-27.
- [40] 李雪娇,何军,冯俊涛,等. 西北地区 106 种植物杀虫活性的筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(11): 112-118.
- [41] 张兴,赵善欢. 桉科植物对几种害虫的拒食和忌避作用[J]. 华南农学院学报, 1983, 4(3): 1-7.
- [42] 王云梅,付立会,黄修芬,等. 紫茎泽兰提取物对黏虫触杀作用研究初探[J]. 中国农学通报, 2016, 32(2): 61-67.
- [43] 赵峰,刘敏艳,余海涛,等. 马铃薯茎叶和果实粗提物对黏虫触杀作用研究[J]. 甘肃农业科技, 2013(9): 13-15.
- [44] 张新瑞. 红萝卜提取物的杀虫作用和作用机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [45] 孙洋,胡冠芳,刘敏艳,等. 蓖麻花序提取物对黏虫的杀虫活性及其作用机理研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(5): 100-105.
- [46] 席娜,孙红,孙文博,等. 斑蝥素类衍生物对黏虫胃毒活性及解毒酶系的影响[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(3): 464-473.
- [47] 付艳红. 灰绿黄蒿提取物的杀虫谱、对黏虫的作用方式和作用机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [48] 陈翠翠. 红柳萜类化合物对东方黏虫和小地老虎幼虫中肠蛋白酶活性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [49] 陈素英. 糖甙抑制黏虫胚胎发育的作用机理初步研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [50] 汪新文,刘孟英,吴才宏. 黏虫雄蛾触角对其性信息素的电生理反应[J]. 昆虫学报, 1998, 40(1): 1-7.
- [51] 汪新文,刘孟英. 黏虫雌蛾求偶周期和性信息素含量变化规律[J]. 昆虫学报, 1997, 40(4): 428-431.
- [52] 杨巧,郭培,王高平. 植物源气味化合物与黏虫雌性信息素的协同作用[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(16): 82-84.
- [53] 宋亚茹,张蕾,程云霞,等. 黏虫雌蛾性信息素特征成分鉴定及其不同配比的室内引诱效果[J]. 植物保护学报, 2017, 44(3): 393-399.
- [54] 蒋世雄,张蕾,程云霞,等. 植物挥发物对黏虫性诱剂引诱效果的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 138-144.
- [55] 赵万源.  $\gamma$  射线对黏虫 (*Leucania separata* Walker) 的不育效应[J]. 动物学研究, 1980, 1(2): 269-273.
- [56] 张宗炳,姜永嘉. 昆虫不育性药剂的研究——II. Thio-TEPA 造成黏虫不育试验的初步结果[J]. 昆虫学报, 1963, 6(Z1): 538-542.
- [57] 赵文臣,焦惠生,张淑芬. TH-6040 致黏虫成虫产卵不育的研究初报[J]. 河北农学报, 1981, 6(1): 36-38, 28.
- [58] 赵文臣,焦惠生,张淑芬. 灭幼腺一号致黏虫成虫产卵不育的研究——室内不育研究部分[J]. 华北农学报, 1986, 1(2): 111-114.
- [59] 姜韬. 三种转基因玉米对害虫天敌种群动态及生长发育的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [60] 李梦桃,李圣彦,汪海,等. 转 *cry2Ab-tp* 基因玉米的抗性鉴定[J]. 植物保护学报, 2020, 47(1): 74-83.
- [61] 李葱葱,谢苹,董立明,等. 抗虫耐除草剂玉米 GH5112E-117C 定性 PCR 检测方法[J]. 生物技术通报, 2020, 36(5): 64-67.
- [62] 谢宇,杨巍,任雪娇,等. 转 *Bt* 基因玉米的抗性鉴定及产量杂种优势[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(4): 25-32.
- [63] 宋苗,汪海,张杰,等. 转 *Bt cry1Ab* 基因抗虫玉米对亚洲玉米螟、棉铃虫和黏虫的抗性评价[J]. 生物技术通报, 2016, 32(6): 69-75.
- [64] 李梦桃. 转 *Bt cry2Ab-tp* 和 *bar* 基因抗虫耐除草剂玉米的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [65] 孙红炜,徐晓辉,李凡,等. 抗虫耐除草剂玉米杂种瑞丰 1 号-双抗 12-5 对 3 种主要鳞翅目害虫的抗性[J]. 山东农业科学, 2018, 50(5): 109-114.
- [66] 田晓丽,卢文涛. 灭幼腺对黏虫围食膜的影响及其与病毒的联合毒力作用[J]. 西南农业学报, 2018, 31(1): 89-93.
- [67] 徐建陶,高聪芬,孙定峰,等. 几种植物源农药对蚜虫的生物活性测定[J]. 上海农业学报, 2008, 21(1): 91-94.
- [68] 李而涛,曹雅忠,张帅,等. 昆虫病原线虫与 *Bt* 联用对黏虫的防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 295-302.
- [69] 尹姣,薛银根,乔红波,等. 黏虫 (*Mythimna separata* Walker) 选择产卵场所的意义及颜色在定位中的作用[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2483-2489.