

诱集植物在害虫治理中的最新研究进展

梁 齐^{1,2}, 鲁艳辉², 何晓婵³, 郑许松², 徐红星², 杨亚军², 田俊策², 吕仲贤^{1,2*}

¹南京农业大学植物保护学院, 江苏 南京 210095; ²浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江 杭州 310021; ³金华市农业科学研究院, 浙江 金华 321017

摘要: 诱集植物作为一种传统的害虫治理工具,在农业生产中的应用越来越广泛,其重要性也随着时间推移日益凸显。本文结合国内外研究现状,从特点、应用、优势和发展前景等方面综述了诱集植物在害虫生态控制中的重要作用。同时以香根草为例具体说明了诱集植物的应用方法,为诱集植物的利用与开发提供参考。

关键词: 诱集植物; 生态系统; 生物防治; 研究进展; 香根草

Mini review of the significance of trap crop in insect pest management

Qi LIANG^{1,2}, Yan-hui LU², Xiao-chan HE³, Xu-song ZHENG², Hong-xing XU²,
Ya-jun YANG², Jun-ce TIAN², Zhong-xian LÜ^{1,2*}

¹College of Plant Protection of Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; ²Institute of Plant Protection and Microbiology of Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou, Zhejiang 310021, China;
³Jinhua Academy of Agricultural Science, Jinhua, Zhejiang 321017, China

Abstract: Trap crop, as a traditional tool of pest management, has considerably increased and has become more predominant in agricultural production than in the past. In this review, the significance of trap crops in ecological pest management is examined based on their inherent characteristics, applications, advantages and prospects for development. Moreover, we describe the application methods of trap crop, aimed to provide a reference for the application and development of trap crop using vetiver as an example.

Key words: trap crop; ecological system; biological control; research progress; vetiver

诱集植物(Trap crop)作为一种生物防治类植物,是在以引诱昆虫为前提条件下,保护主栽作物或果树,避免其遭受害虫危害的一种植物,其对害虫的引诱作用具有明显的优势(Boucher *et al.*, 2003; Hokkanen, 1991),因此往往作为田间辅助植物使用。利用诱集植物的方法很多,其防治途径简单易操作,并且对环境无污染,对常发性害虫的防治具有重要的生态学意义和经济利用价值。近年来,由于化学合成杀虫剂的大量使用,给农业生态系统带来严重危害,包括引发害虫抗药性的产生、加剧环境污染、造成农产品药物残留超标、破坏生态系统平衡、降低天敌数量等,这些不利影响都促使人们寻求与环境相容性更好的作物保护方式(慕卫等, 2003; 郑许松等, 2008; Kumar & Kumar, 2004;

Mathews *et al.*, 2003; Morales, 2001)。因此,诱集植物作为一种生态防治方法备受关注,由于其具有环保和可持续性等优点,在现代有害生物综合治理(IPM)中逐渐发挥重要作用(Charleston & Kfir, 2000; Hilje *et al.*, 2001; Horsfield *et al.*, 2002)。

研究表明,几乎所有的害虫都会对一些植物(包括作物品种或作物某一生长期)表现出明显的偏好(王政等, 2014)。在作物田种植小面积的、能够强烈吸引目标害虫的诱集植物,阻止害虫到达主栽作物,或使害虫集中到田间特定部位以达到方便防治的目的,从而使主栽作物得以保护(陆宴辉等, 2008)。利用诱集植物防治害虫可减少杀虫剂用量,在诱集效果很好的情况下甚至可以不施农药,既降低了施药成本、减少环境污染,又能有效保护

收稿日期(Received): 2015-01-10 接受日期(Accepted): 2015-02-07

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303017)

作者简介: 梁齐, 男, 硕士研究生。研究方向: 水稻害虫综合治理。E-mail: lq1109090603@163.com

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: luzxmh2004@aliyun.com

天敌(Mitchell *et al.*, 1997, 2000)。在有机农药出现以前, 诱集植物是一种重要的传统农业防治技术, 目前在现代害虫综合治理中亦具有重要作用(Charleston & Kfir, 2000; Hilje *et al.*, 2001)。

为了进一步研究诱集植物在有害生物综合治理中的作用, 提高农业生产水平, 实现农业的可持续发展, 本文综合国内外相关研究, 阐述了诱集植物的特点、发展历史、利用原理、应用以及注意事项, 并结合香根草这一成功实例来具体说明诱集植物的应用技术及方法, 为诱集植物的利用与开发提供一定的参考价值。

1 诱集植物的作用机制

诱集植物主要通过影响植食性昆虫的产卵和取食使主栽作物得以保护, 特别是植食性昆虫的产卵选择行为明显影响其幼虫的种群分布及取食为害情况(Asman, 2002)。Finch & Collier(2000)的“适合/不适合降落”理论指出, 害虫选择寄主的过程由3个相互连接的链节组成, 第一链节受来自植物挥发物调控, 第二链节由视觉刺激控制, 第三链节则由植物非挥发性物质控制。

诱集植物主要从物理和化学特性2个方面通过对害虫的视觉、嗅觉、味觉等感觉器官的影响, 形成比主栽作物更强的引诱力。在物理特性方面, 诱集植物的形状、大小、高低和颜色等对害虫行为具有较大的影响。例如, 利用高的三叶草与甘蓝间作, 可显著减少小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 在甘蓝上的着卵量(董文霞等, 2013)。在化学特性方面, 诱集植物释放的挥发物比主栽作物对害虫具有更强的引诱力, 调控处于搜索状态的害虫向其富集(Dogramaci *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2000)。如香根草挥发油含有大量的萜类化合物, 具有较强的化感作用, 雌性螟蛾对香根草有明显的产卵偏好, 但香根草又不利于螟蛾幼虫的生长, 将其作为诱集植物种在水稻等大田作物周边, 能够发挥极好的引诱效果(黎华寿等, 2006)。此外, 诱集植物与主栽作物植株所含的次生化合物(尤其是挥发性化合物)成分的差异也是造成它们对目标害虫具有不同引诱力的重要原因(Luther *et al.*, 1996; Mitchell *et al.*, 2000; Pickett *et al.*, 1997)。详细了解诱集植物和主栽作物挥发物的组分以及它们在引诱和刺激害虫产卵、取食等行为中的作用, 将有助于设计更为合理、有效地利用诱集植物治理大田害虫的策略和方法。

根据不同的特征可以将诱集植物分为以下几种类型:

1.1 传统的诱集植物

传统的诱集植物即在一种主栽作物旁种植另一种诱集植物, 使诱集植物成为害虫的食物源或产卵场所, 以此防止害虫为害主栽作物(Mensah & Khan, 1997)。这种种植模式已被传统农业国家以及具有大规模农业经营的工业化国家所采用; 美国加利福尼亚地区的种植户利用苜蓿作为诱集植物来诱集棉花田中的棉盲蝽 *Lygus lucorum* Meyer-Dur (Godfrey & Leigh, 1994; Stern, 1969); 7月下旬至8月上旬在山核桃园周围种植豌豆, 豌豆开花期正好与蜡象发生期吻合, 取得了良好的诱集效果(Hokkanen, 1991); 利用不同品种的南瓜来诱集葫芦科作物上的黄瓜甲虫 *Acalymma vittatum* (Fabricius) 等(Pair, 1997)。

1.2 致死的诱集植物

致死的诱集植物指的是该诱集植物对害虫极具吸引力, 害虫一旦取食或者在其上产卵, 害虫及其后代将无法生存(Shelton & Nault, 2004)。致死的诱集植物作为害虫的栖息场所, 有效防止了害虫后代在主栽作物上的为害(Badenes-Perez *et al.*, 2004)。在诱集植物上具有高产卵偏好的幼虫往往不能生存, 这点在鳞翅目昆虫上体现的尤为明显(Thompson, 1988; Thompson & Pellmyr, 1991)。如菽麻可作为致死诱集植物来诱集豇豆上的豆荚螟 *Maruca testulalis* Geyer(Jackai & Singh, 1983)。

1.3 基因工程诱集植物

基因工程诱集植物是一种新型的诱集植物, 也被称为转基因诱集植物, 它不同于传统的诱集植物, 转基因诱集植物所发挥的作用往往不在植物本身, 一般取决于所转的目的基因。由于该诱集植物的特殊性, 其重要性和应用价值将会逐渐显现出来。利用基因工程技术在马铃薯体内表达来自枯草芽孢蛋白的苏云金芽孢杆菌(*Bt*), 这种转 *Bt* 马铃薯已被用作诱集植物来吸引马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say)(Hoy, 1999)。转 *Cry1Ac* 羽衣甘蓝能够大量诱集鳞翅目昆虫(Cao *et al.*, 2005)。在未来, 转基因羽衣甘蓝还有可能被批准成为人类消费的农作物, 而不仅仅是作为一种诱集植物(Badenes-Perez *et al.*, 2005), 这种发展趋势将

扩展人们对诱集植物的传统观念。基于基因工程技术的诱集植物也能控制昆虫体内的病原体。例如,当 1 头携带病毒的昆虫探测到 1 株未感染病毒的转基因植物,病毒将迅速从昆虫体内转移至转基因植物中。因此这种基因工程诱集植物也可以作为一种有效的作物管理策略,在特定情况下发挥出巨大的功效(Fereres,2000)。

2 诱集植物的应用

2.1 诱集植物应用历史

人类利用不同的诱集植物来防治相应作物害虫的历史已超过百年(王运兵等,2000)。在生产中,通常是将诱集植物与主栽作物间作或套种,将害虫吸引到诱集植物上,避免其为害主栽作物。早在 1860 年,英国的植物学家 Curtis 就推荐种植欧洲防风来诱集胡萝卜上的伞形花织蛾 *Depressaria depressella*(Hokkanen,1991)。在芬兰南部,以中国大白菜、油菜或花茎甘蓝作为诱集作物可有效地吸引花椰菜上的油菜露尾甲 *Strongyllodes variegates* Fairmaire,极大程度减轻了其对花椰菜的为害(Hok-

kanen *et al.*,1986)。美国佛罗里达州,在甘蓝四周种植与其同属的羽衣甘蓝作为诱集植物,能够大量诱集小菜蛾在其上产卵,从而有效降低了主栽作物甘蓝上的幼虫发生量,减少了经济损失(Deidre *et al.*,2000; Mitchell *et al.*,1997)。Sanderson(2000)提倡在棉田四周种植玉米诱集带,以诱集棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner。Hannunen(2003)长期研究欧洲长毛草盲蝽 *Lygus rugulipennis* Poppius 的迁移与诱集植物布局之间的关系,认为种植小面积的诱集植物可显著降低主栽作物上的虫口密度。20 世纪 60 年代,广西桂林地区曾经利用金银花来诱集中华山茶象 *Curculio chinensis* Chevrolat 成虫(王宗楷等,1980)。至 70 年代,国外已基本形成了利用诱集植物来防治害虫的思想,并广泛开展实践,利用相应诱集植物在棉花、马铃薯、玉米、大豆、花椰菜等作物上开展的研究,都取得了很好的生态和经济效益(Bender *et al.*,1999; Bill,1999; Boucher *et al.*,2003; Hokkanen,1991)。

表 1 常见诱集植物汇总
Table 1 List of common trap crops

农田系统 Farmland system	诱集植物 Trap crop	主栽作物 Main Crop	靶标害虫 Target insects	参考资料 References
蔬菜 Vegetables	南瓜 <i>Cucurbita pepo</i>	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	瓜条叶甲 <i>Acalymma vittatum</i>	Radin & Drummond,1994
	玉米 <i>Zea mays</i>	番薯 <i>Ipomoea batatas</i>	叩头虫 <i>Pleonomus canaliculatus</i>	Seal <i>et al.</i> ,1992
	马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i>	番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i>	马铃薯甲虫 <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Hunt & Whitfield,1996
	黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i>	烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	Al-Musa,1982
	白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i>	油菜露尾甲 <i>Meligethes aeneus</i>	Hokkanen,1989
	芥菜 <i>Brassica juncea</i>	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i>	美洲螞 <i>Murgantia histrionica</i>	Ludwig & Kok,1998
	芥菜 <i>Brassica juncea</i>	花椰菜 <i>Brassica oleracea</i>	小绿叶蝉 <i>Empoasca fabae</i>	Kloen & Altieri,1990
	芥菜 <i>Brassica juncea</i>	十字花科植物 Crucifer	十字花菜跳甲 <i>Phyllotreta cruciferae</i>	Root & Tahvanainen,1969
	芜菁 <i>Brassica rapa</i>	十字花科植物 Crucifer	甘蓝地种蝇 <i>Delia radicum</i>	Rousse <i>et al.</i> ,2003
	野芥菜 <i>Raphanus rapha</i>	羽衣甘蓝 <i>Brassica oleracea</i>	菁淡足跳甲 <i>Phyllotreta nemorum</i>	Kloen & Altieri,1990
	玉米 <i>Zea mays</i>	葫芦 <i>Lagenaria siceraria</i>	瓜实蝇 <i>Bactrocera cucurbitae</i>	Ebeling <i>et al.</i> ,1953
	葫芦 <i>Lagenaria siceraria</i>	葫芦 <i>Lagenaria siceraria</i>	金花科甲虫 <i>Acalymma vittatum</i>	Hoffmann <i>et al.</i> ,1996
	三叶草 <i>Trifolium repens</i>	莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	长毛草盲蝽 <i>Lygus rugulipennis</i>	Ramert <i>et al.</i> ,2001
	莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	二叉叶蝉 <i>Macrosteles quadrilineatus</i>	Zhou <i>et al.</i> ,2002
	豇豆 <i>Vigna unguiculata</i>	大豆 <i>Glycine max</i>	壁蝽 <i>Piezodorus rubrofasciatus</i>	IITA,1981
	大豆 <i>Glycine max</i>	大豆 <i>Glycine max</i>	稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i>	Corrêa-Ferreira & Moscardi,1996
	茄子 <i>Solanum melongena</i>	菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i>	银叶粉虱 <i>Bemisia argentifolii</i>	Smith <i>et al.</i> ,2000
	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i>	豌豆蚜 <i>Acyrtosiphon pisum</i>	Difonzo <i>et al.</i> ,1996
	马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i>	马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i>	马铃薯甲虫 <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Hoy <i>et al.</i> ,2000
	茄子 <i>Solanum melongena</i>	辣椒 <i>Capsicum annuum</i>	棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	Hussein & Samad,1993
	羽扇豆 <i>Lupinus micranthus</i>	辣椒 <i>Capsicum annuum</i>	棉铃虫 <i>Heliothis armigera</i>	Abate,1988
	萝卜 <i>Raphanus sativus</i>	卷心菜 <i>Brassica oleracea</i>	菜心螟 <i>Hellula undalis</i>	Silva-Krott <i>et al.</i> ,1995
	芥菜 <i>Brassica juncea</i>	卷心菜 <i>Brassica oleracea</i>	小菜蛾 <i>Plutella xylostella</i>	Asman,2002
	大白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	卷心菜 <i>Brassica oleracea</i>	甘蓝薄翅螟 <i>Crocidolomia pavonana</i>	Smyth <i>et al.</i> ,2003

续表 1

农田系统 Farmland system	诱集植物 Trap crop	主栽作物 Main Crop	靶标害虫 Target insects	参考资料 References
果园 Orchard	油菜 <i>Brassica campestris</i>	油菜 <i>Brassica campestris</i>	白菜籽龟象 <i>Ceutorhynchus assimilis</i>	Buntin, 1998
	菽麻 <i>Crotalaria juncea</i>	豇豆 <i>Vigna unguiculata</i>	豆野螟 <i>Maruca testalis</i>	Jackai, 1981
	韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	葱邻菜蛾 <i>Acrolepiopsi assectella</i>	Asman, 2002
	欧洲防风 <i>Pastinaca sativa</i>	胡萝卜 <i>Daucus carota</i>	伞形花织蛾 <i>Depressaria depressella</i>	Hokkanen, 1991
	香梗芋 <i>Colocasia esculenta</i>	大白菜 <i>Brassica pekinensis</i>	斜纹夜蛾 <i>Prodenia litura</i>	吴才君等, 2004
	油菜 <i>Brassica campestris</i>	桃 <i>Amygdalus persica</i>	牧草盲蝽 <i>Lygus lineolaris</i>	Foshee <i>et al.</i> , 2003
	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	草莓 <i>Fragaria ananassa</i>	黯金针虫 <i>Agriotes obscurus</i>	Vernon <i>et al.</i> , 2000
	洋甘菊 <i>Matricaria recutita</i>	草莓 <i>Fragaria ananassa</i>	牧草盲椿 <i>Lygus lineolaris</i>	Easterbrook & Tooley, 1999
	狐尾草 <i>Alopecurus pratensis</i>	蔓越橘 <i>Vaccinium macrocarpon</i>	金草螟 <i>Chrysoteuchia topiaria</i>	Roland, 1990
	灌木蒿 <i>Artemisia</i>	油桃 <i>Prunus persica</i>	西花蓟马 <i>Frankliniella occidentalis</i>	Pearsall, 2000
大田作物 Field crops	木瓜 <i>Chaenomeles sinensis</i>	木瓜 <i>Chaenomeles sinensis</i>	木瓜馥实蝇 <i>Toxotrypana curvicauda</i>	Aluja & Birke, 1993
	苏丹草 <i>Sorghum sudanense</i>	玉米 <i>Zea mays</i>	玉米茎蛀褐夜蛾 <i>Busseola fusca</i>	Haile & Hofsvang, 2002
	狼尾草 <i>Pennisetum alopecu-roides</i>	玉米 <i>Zea mays</i>	钻心虫 <i>Ostrinia nubilalis</i>	Van den Berg <i>et al.</i> , 2001
	玉米 <i>Zea mays</i>	烟草 <i>Nicotiana tabacum</i>	谷实夜蛾 <i>Helicoverpa zea</i>	Purcell <i>et al.</i> , 1992
	着生杜鹃 <i>Rhododendron kawakamii</i>	烟草 <i>Nicotiana tabacum</i>	烟蚜夜蛾 <i>Heliothis virescens</i>	Jackson & Sisson, 1998
	烟草 <i>Nicotiana tabacum</i>	烟草 <i>Nicotiana tabacum</i>	烟蚜夜蛾 <i>Heliothis virescens</i>	Tillman, 1999
	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	棉花 <i>Gossypium</i> spp.	棉铃虫 <i>Heliothis armigera</i>	Tillman & Mullinix, 2004
	油葵 <i>Helianthus annuus</i>	棉花 <i>Gossypium</i> spp.	棉盲蝽 <i>Lygus lucorum</i>	岳忠兴, 1997
	棉花 <i>Gossypium</i> spp.	棉花 <i>Gossypium</i> spp.	棉子象鼻虫 <i>Anthonomus grandis</i>	Kennedy <i>et al.</i> , 1991
	苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	棉花 <i>Gossypium</i> spp.	草盲蝽 <i>Lygus pratensis</i>	Godfrey & Leigh, 1994
	飞蓬 <i>Erigeron speciosus</i>	棉花 <i>Gossypium</i> spp.	牧草盲椿 <i>Lygus lineolaris</i>	Fleischer & Gaylor, 1987
	油菜 <i>Brassica campestris</i>	油菜 <i>Brassica campestris</i>	白菜籽龟象 <i>Ceutorhynchus assimilis</i>	Buntin, 1998
	向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	花生 <i>Arachis hypogaea</i>	斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	Wightman <i>et al.</i> , 1990
	香根草 <i>Andropogon muricatus</i>	水稻 <i>Oryza sativa</i>	二化螟 <i>Chilo suppressalis</i>	郑许松等, 2009
	粟 <i>Setaria italica</i>	粟 <i>Arachis hypogaea</i>	玉米螟 <i>Ostrinia nubilalis</i>	Anderson <i>et al.</i> , 2003
	三裂叶葛藤 <i>Pueraria phaseoloides</i>	橡胶 <i>Hevea brasiliensis</i>	黑角胃蝇 <i>Valanga nigricornis</i>	Atim <i>et al.</i> , 1987
	金银花 <i>Lonicera japonica</i>	山茶 <i>Camellia japonical</i>	中华山茶象 <i>Curculio chinensis</i>	王宗楷等, 1980
	白香草木樨 <i>Melilotus albus</i>	桑树 <i>Morus alba</i>	东方绢金龟 <i>Serica orientalis</i>	韩德元等, 1998

2.2 农田生态系统成功应用案例

2.2.1 蔬菜田 除了诱集害虫这一主要作用外,诱集植物也给天敌提供了避难和繁殖场所。例如,将羽衣甘蓝种植在甘蓝田四周,小菜蛾幼虫大量聚集在羽衣甘蓝上,大约 72%的幼虫被其天敌岛弯尾姬蜂 *Diadegma insulare* Hellén 寄生 (Mitchell *et al.*, 1997、2000)。在胡椒园四周种植对胡椒带实蝇 *Zonosemata electa* (Say) 引诱力强的另一品种胡椒作为诱集植物,该胡椒园胡椒受害率仅为 1.7%,而化学防治田受害率达 15.4% (Boucher, 2003)。因此,诱集植物能使寄主相对集中,有利于天敌的寄生和繁殖,进而增强其对害虫的控制作用

2.2.2 果园 利用诱集植物对目标害虫具较强引诱作用这一特点,有些诱集植物被用来监测害虫发生。如:蔓越橘草螟 *Chrysoteuchiato piaria* 是一种重要的蔓越橘地下害虫,该虫大量发生时,使用一般

方法很难监测,防治困难大。狐尾草对蔓越橘草螟幼虫有极强的引诱力,作为诱集植物可以在蔓越橘受到较轻危害时就可以监测到蔓越橘草螟幼虫 (Roland, 1990)。

2.2.3 棉田 利用害虫对某些特定物种或作物生长阶段所具有的视觉、嗅觉或味觉喜好,引诱和防治害虫,以达到保护作物的目的。如在棉田种植其他作物来分别诱捕棉铃虫 (Godfrey & Leigh, 1994)、美洲棉铃虫 *H. zea* (Tillman & Mullinix, 2004) 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 等 (林克剑等, 2006)。此外,棉田种植诱集植物高粱,能为棉花上稻绿蝽 *Nezara viridula* L. 的天敌提供庇护 (宋新泽等, 2002), 在稻绿蝽发生第一高峰期, 寄蝇 *Trichopoda pennipes* Fabricius 对稻绿蝽若虫的寄生率达 69%, 第二高峰期寄生率最高可达 98%; 沟卵蜂 *Trissolcus basalis* (Wollaston)、花蝽 *Orius insidiosus*

(Say) 和大眼长蝽 *Geocoris punctipes* (Say) 在稻绿蝽发生第二高峰期对稻绿蝽的卵致死率平均达 57% (Glynn & Ben, 2003)。在棉田每间隔 30 m 种植 2~3 行早熟春玉米诱集带, 是防治棉铃虫的有效措施之一(任雨霖和沈抱生, 1994)。而在棉田条带间作春播油菜, 能有效控制棉盲蝽和二代棉铃虫危害(岳忠兴, 1997)。

3 诱集植物的优势与前景

诱集植物作为害虫综合治理的有机组成部分, 不但能提高农田和果园生物多样性, 而且能促进天敌的自然控制作用, 从而大幅度减少杀虫剂的使用, 节约成本, 增加效益(许向利等, 2005)。

3.1 环境安全

利用诱集植物防治害虫, 主栽作物和果树上很少甚至不施用化学药剂, 对环境 and 天敌安全, 使害虫的生物控制作用得到充分发挥, 获得了潜在的生态效益。Tara(1999)指出, 在白菜田周围种植芥兰菜, 小菜蛾的种群数量能保持在经济阈值以下, 白菜的产量与化学防治田相当, 节约杀虫剂 75%~100%, 显示出良好的生态效益。

3.2 增加生物多样性

自然界的生物相互依存、相互制约, 构成了农业生态系统。生态系统中物种丰富度越高, 结构越复杂, 生态系统就越稳定。农业可持续发展的核心问题之一就是保持生物多样性。不同植物间作被认为是增加农田生物多样性的常规方法, 是可持续农田生态系统重要的组成部分和害虫治理的有效工具(Powell, 2002)。崔金杰等(2001)和王林霞等(2004)在棉田种植玉米诱集带, 棉田的物种数量明显增加, 昆虫群落和害虫亚群落的多样性指数和稳定性也增加, 降低了害虫大发生的频率。

3.3 作为天敌培育圃

诱集植物能够吸引害虫天敌, 提高田间天敌的种群数量, 增强天敌的生物控制作用(Hokkanen, 1991)。Anon(1990)的研究表明, 混合种植田比单一种植田的虫口数量低。由于诱集植物本身的害虫不需要进行防治, 而害虫、诱集植物花蜜和花粉又为天敌提供了丰富的食料和营养, 从而成为天敌的培育圃, 繁殖大量天敌, 提高自然生物防治效果(Andow, 1991)。同时, 诱集植物的气味也可能对天敌具有招引作用。周大荣等(1997)报道, 匍匐型

绿豆显著提高了玉米上亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 卵的寄生率。王振营等(2000)认为绿豆叶片的挥发性物质强烈刺激了玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen 的定向行为。此外, 诱集植物能够为天敌昆虫提供庇护场所, 尤其是在炎热的夏季。如, 棉田种植诱集植物高粱, 为棉花上稻绿蝽的天敌提供庇护(Glynn & Ben, 2003)。

3.4 节约成本, 增加效益

利用诱集植物防治害虫, 能大幅度减少杀虫剂的使用, 节约成本, 增加效益。相关研究表明, 种植诱集植物的净收益平均可增长 10%~30% (Hokkanen, 1991)。Preston(2001)在棉田种植羽扇豆后, 瓢虫和火蚁的数量上升, 节约杀虫剂投入成本的 60%, 而且羽扇豆基本能够满足棉花生长所需的氮肥, 相当于 100 m² 节约 35 美元。Jude(2004)在南瓜田四周种植不同品种的南瓜, 诱集南瓜上的瓜条叶甲 *Acalymma vittata* (Fabricius), 诱集率高达 94%, 主栽品种南瓜受害率仅为 1%, 节约杀虫剂投入成本, 显著提高南瓜产量, 净收益 100 m² 最高可达 1100 美元。

由于诱集植物速效性较杀虫剂差, 并且农民对诱集植物的认识有限, 因此, 诱集植物在大田中所占比例一般较低。在这种植物布局中, 害虫接触主栽作物机会多, 而接触诱集作物的机会少, 如果植食性害虫对这 2 类植物的相对嗜好性随着接触频率发生相应的改变, 即出现所谓的“诱导嗜好性”, 将会增加对农作物的嗜好性而降低对诱集作物的相对嗜好性(Cunningham *et al.*, 1999, 2001), 使得诱集植物难以充分发挥诱集作用。为了增强诱集植物的控害能力, 可采用同时在诱集植物上施用害虫性引诱剂、聚集信息素、滞留剂等和在主栽作物上施用驱避剂的措施, 即采用“引诱—排斥”相结合的策略和方法, 克服诱集作物在应用中存在的“低比例, 低引诱力”的困境。在诱集植物带中配合使用性信息素诱捕器是常用的增强诱集植物对害虫引诱力的办法, 同时可配合施用选择性杀虫剂(Aluja *et al.*, 1997; Khan *et al.*, 1992)。Aluja *et al.* (1997)发现, 若在对害虫较敏感的番木瓜诱集作物带中悬挂性信息素诱捕器诱捕美洲木瓜实蝇 *Toxotrypana curvicauda* Gerstaecker, 可避免或大大减少农药施用量, 取得更好的防治效果。

4 诱集植物的研究现状——以“香根草”为例

4.1 利用香根草诱杀玉米螟

香根草与害虫的相互作用最早发现于 19 世纪,美国的香根草种植者把它用作绿篱,并将根挖出来装在香袋里作驱虫剂。此外,将叶子和根碾碎作草墓护根物,可有效控制白蝇的发生。津巴布韦的农民发现香根草对蛀食玉米茎秆的蛀眼虫具有“陷阱”作用,对咖啡和豌豆地里啃食叶片的害虫天敌具诱引作用。南非大学研究小组对蛀食玉米茎秆害虫——玉米禾螟 *Chilo Partellus* (Swinhoe) 的相关研究表明:香根草是玉米禾螟产卵的首选场所。实验室和温室大棚的种植试验中发现,选择在玉米上的产卵数分别只占产卵总数的 18% 和 13.4%,其余则产在香根草上。但玉米禾螟幼虫在香根草上的成活率却极低,其在玉米上却有着最适宜的生长环境条件,幼虫在香根草、象草和玉米 3 种植物上的成活率分别为 0%、2.8% 和 63.0%。因此,香根草可作为引诱害虫的陷阱植物,雌蛾对香根草有产卵偏好性,但香根草又不利于害虫的生长 (Van den Berg *et al.*, 2003)。

4.2 利用香根草诱杀水稻螟虫

水稻螟虫 [二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 等] 有明显偏爱在香根草上产卵的特性 (郑许松等, 2009), 根据这一特性,可在水稻田块中种植一定比例的香根草来诱集水稻螟虫产卵并集中消灭。利用香根草诱杀水稻螟虫,其诱杀效果不但与香根草在稻田的种植时期有关,而且与香根草在稻田的布局及种植密度密切相关。研究结果表明:香根草在稻田的最佳种植时期为 3 月底至 4 月初,种植面积以占稻田总面积的 6%~10% 为宜。种植方法可采用育苗分茼移栽,每茼栽 3~4 蘖并每公顷施 750 kg 的钙镁磷肥作底肥,3 d 内未下雨时应浇水封茼;水稻移栽后,其水肥管理可同水稻一致,早稻收获后香根草可留于稻田,二晚及次年不需重新种植。利用香根草诱杀水稻螟虫,关键在于注意调查香根草上的卵块数及蚁螟孵化期,并抓住有利时期在香根草上集中杀卵、杀螟 (蚁螟),以减轻螟虫对水稻的危害 (陈先茂等, 2007)。大田螟虫危害未达防治指标时则不必施药 (郑许松等, 2008)。

5 展望

诱集植物作为害虫综合治理的有机组成部分,

具有生态、环保、可持续等优点,不但能提高农田生物多样性,促进天敌的自然控制作用,而且能大幅度减少杀虫剂的使用,节约成本,增加效益。昆虫行为学、生理生化技术及信息素等领域的快速发展,为诱集植物的研究提供了新的机遇。为了更好地利用诱集植物控制虫害,尚需在以下几个方面开展深入研究:

首先,寻找适合的诱集植物。田间调查常发性害虫的敏感寄主植物,筛选出对目标害虫引诱效果好、易于种植和管理的诱集植物,对提高诱集植物防治害虫的效果具有重要意义。其次,深入调查诱集植物种植时间。诱集植物合适的物候期与害虫的产卵危害期吻合,可以明显提高害虫在诱集植物上的着卵量,而诱集植物的物候期在很大程度上又取决于播种期,因此确定诱集植物适宜的种植时间是提高诱集效果的关键。最后,加强目标害虫行为学研究。设计一种有效的昆虫—作物—诱集植物集合体,其涉及因素较多,如诱集植物空间布局、种植时间和面积等都与目标害虫的行为学密切相关。

研究和发展非化学防治方法,因地制宜地组装高效的生态控制技术体系,被公认为是持续控制大田害虫危害的正确途径。寻找和利用对大田害虫有诱杀效应的植物,是实现害虫生态防治的一种理想方式。同时在诱集植物上施用适当的选择性杀虫剂是增强诱集植物控害潜能的一条可行途径。目前,在害虫综合治理研究中,诱集植物的应用也逐渐受到关注。但大范围推广诱集植物,仍需科研工作者及相关部门共同努力。

参考文献

陈先茂, 彭春瑞, 姚锋先, 关贤交, 王华伶, 邓国强. 2007. 利用香根草诱杀水稻螟虫的技术及效果研究. 江西农业学报, 19(12): 51-52, 56.

崔金杰, 夏敬源, 马艳. 2001. 种植玉米诱集带对棉田昆虫群落的影响. 中国棉花, 28(11): 9-11.

董文霞, 徐宁, 肖春. 2013. 作物多样性种植对植食性昆虫行为的影响. 应用昆虫学报, 50(4): 1133-1140.

韩德元, 李咏伟, 张芝利. 1998. 白香草木樨等植物对黑绒金龟甲诱集作用的研究. 华北农学报, 13(1): 95-100.

黎华寿, 洪浩, 钱久李. 2006. 香根草: 诱集植物与绿色生物农药. 中国草业发展论坛论文集, 518-521.

林克剑, 吴孔明, 张永军. 2006. 利用诱集寄主苘麻防治 B 型烟粉虱的研究. 中国农业科学, 39(7): 1379-1386.

- 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. *生态学报*, 28(10): 5113–5122.
- 慕卫, 吴孔明, 郭予元. 2003. 甜菜夜蛾对菊酯类杀虫剂敏感基线的建立. *植物保护学报*, 30(2): 221–222.
- 任雨霖, 沈抱生. 1994. 利用早熟玉米诱杀棉铃虫. *中国棉花*, 21(5): 26–28.
- 宋新泽, 张娟, 张文涛. 2002. 棉田综合防治技术对天敌昆虫消长的影响. *中国棉花*, 29(9): 16–17.
- 王林霞, 田长彦, 马英杰, 胡敏芳. 2004. 玉米诱集带对棉田天敌种群动态的影响. *干旱地区农业研究*, 22(3): 86–89.
- 王运兵, 张焱, 石明旺, 岳金来, 王家云, 张中印. 2000. 农业害虫防治历史的研究. *河南职技师院学报*, 28(3): 10–13.
- 王政, 孟倩倩, 钟国华. 2014. 植食性昆虫取食行为过程及机制研究. *环境昆虫学报*, 36(4): 612–619.
- 王振营, 周大荣, Hassan S A. 2000. 绿豆叶片提取液对玉米螟赤眼蜂寄生率的影响. *植物保护学报*, 27(1): 190–192.
- 王宗楷, 丘凤波, 尤其傲. 1980. 山茶象的植物诱集. *植物保护*, 6(2): 11–13.
- 吴才君, 范淑英, 蒋育华, 姚海华, 张安波. 2004. 芋对斜纹夜蛾的诱集作用. *生态学杂志*, 23(4): 172–174.
- 许向利, 花保祯, 张世泽. 2005. 诱集植物在农业害虫综合治理中的应用. *植物保护*, 31(6): 7–10.
- 岳忠兴. 1997. 春播油菜对棉盲蝽、棉铃虫诱集效果的观测. *植保技术与推广*, 17(3): 25–26.
- 郑许松, 徐红星, 陈桂华, 吴降星, 吕仲贤. 2008. 诱虫植物在农业害虫生态控制中应用的研究进展. *植物保护与农产品质量安全论文集*, 380–385.
- 郑许松, 徐红星, 陈桂华, 吴降星, 吕仲贤. 2009. 苏丹草和香根草作为诱虫植物对稻田二化螟种群的抑制作用评估. *中国生物防治*, 25(4): 299–303.
- 周大荣, 宋彦英, 王振营, 何康来, 郑礼, 张广义. 1997. 玉米螟赤眼蜂适宜生境的研究与利用 II. 夏玉米间作匍匐型绿豆对玉米螟赤眼蜂寄生率的影响. *中国生物防治*, 13(2): 49–52.
- Abate T. 1988. Experiments with trap crops against African bollworm *Heliothis armigera* in Ethiopia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 48: 135–140.
- Al-Musa A. 1982. Incidence, economic importance, and control of tomato yellow leaf curl in Jordan. *Plant Disease*, 66: 561–563.
- Aluja M and Birke A. 1993. Habitat use by adults of *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) in a mixed mango and tropical plum orchard. *Annals of the Entomological Society of America*, 86: 799–812.
- Aluja M, Jimenez A, Camino M, Pinero J, Aldana L, Castrejón V and Valdes M E. 1997. Habitat manipulation to reduce papaya fruit fly (Diptera: Tephritidae) damage: orchard design, use of trap crops and border trapping. *Journal of Economic Entomology*, 90: 1567–1576.
- Anderson P L, Weiss M J, Hellmich R L, Hoffmann M P and Wright M G. 2003. Millet preference, effects of planting date on infestation, and adult and larval use of proso millet by *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology*, 96: 361–369.
- Andow D A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*. 36: 561–586.
- Anon. 1990. Strip intercropping offers low-input way to boost yields. *Sensible Agriculture*, 5: 7–8.
- Asman K. 2002. Trap cropping effect on oviposition behaviour of the leek moth *Acrololepsis assectella* and the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 105: 153–164.
- Atim A B, Gopalan S and Yusof M A. 1987. The biology and ecology of *Valanga nigricornis* and its control in the cover plants under *Hevea brasiliensis* in Malaysia. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2: 191–199.
- Badenes-Perez F R, Shelton A M and Nault B A. 2004. Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97: 1365–1372.
- Badenes-Perez F R, Shelton A M and Nault B A. 2005. Using yellow rocket as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 98: 884–890.
- Bender D A, Morrison W P and Frisbie R E. 1999. Intercropping cabbage and Indian mustard for potential control of Lepidopterous and other insects. *Hortscience*, 34: 275–279.
- Bill R. 1999. Texas pecan pest management new sletter. *Texas Agricultural Extension Service*, 99: 1–5.
- Boucher T J. 2003. Why perimeter trap cropping works. *A Proceedings of the New York: State Vegetable Conference*, 25: 131–132.
- Boucher T J, Ashley R and Durgy R. 2003. Managing the pepper maggot (Diptera: Tephritidae) using perimeter trap cropping. *Journal of Economic Entomology*, 96: 420–432.
- Buntin G D. 1998. Cabbage seedpod weevil (*Ceutorhynchus assimilis* Paykull) management by trap cropping and its effect on parasitism by *Trichomalus perfectus* (Walker) in oilseed rape. *Crop Protection*, 17: 299–305.
- Cao J, Shelton A M and Earle E D. 2005. Development of transgenic collards (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) expressing a *cry1Ac* or *cry1C* *Bt* gene for control of the dia-

- mondback moth. *Crop Protection*, 24: 804–813.
- Charleston D S and Kfir R. 2000. The possibility of using Indian mustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa. *Crop Protection*, 19: 455–460.
- Corrêa-Ferreira B S and Moscardi F. 1996. Biological control of soybean stink bugs by inoculative releases of *Trissolcus basalis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 79: 1–7.
- Cunningham J P, West S A and Zalucki M P. 2001. Host selection in phytophagous insects: a new explanation for learning in adults. *Oikos*, 95: 537–543.
- Cunningham J P, Zalucki M P and West S A. 1999. Learning in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): a new look at the behaviour and control of a polyphagous pest. *Bulletin of Entomological Research*, 89: 201–207.
- Deidre S, Charleston D S and Rami K. 2000. The possibility of using Indianmustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondbackmoth, *Plutella xylostella*, in South Africa. *Crop Protection*, 19: 455–460.
- Difonzo C D, Ragsdale D W, Radcliffe E B, Gudmestad N C and Secor G A. 1996. Crop borders reduce potato virus Y incidence in seed potato. *Annals of Applied Biology*, 129: 289–302.
- Dogramaci M, Shrefler J W, Roberts B W, Pair S D and Edelson J V. 2004. Evaluation of management strategies for squash bugs (Hemiptera: Coreidae) in watermelon. *Journal of Economic Entomology*, 97: 1999–2005.
- Easterbrook M A and Tooley J A. 1999. Assessment of trap plants to regulate numbers of the European tarnished plant bug, *Lygus rugulipennis*, on late-season strawberries. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 92: 119–125.
- Ebeling W T, Nishida T and Bess H A. 1953. Field experiments on the control of the melon fly, *Dacus cucurbitae*. *Hilgardia*, 21: 563–591.
- Fereres A. 2000. Barrier crops as a cultural control measure of non-persistently transmitted aphid-borne viruses. *Virus Research*, 71: 221–231.
- Finch S and Collier R H. 2000. Host-plant selection by insects — A theory based on ‘appropriate/inappropriate landings’ by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96: 91–102.
- Fleischer S J and Gaylor M J. 1987. Seasonal abundance of *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae) and selected predators in early season uncultivated hosts: implications for managing movement in cotton. *Environmental Entomology*, 16: 379–389.
- Foshee W, Boozer R and Horton D. 2003. New insecticides and trap crop techniques for peach pest management. *Hort Science*, 38: 1291–1292.
- Glynn T and Ben M. 2003. Grain sorghum as a trap crop for southern green stink bug in cotton. *Proceedings of the Belt Wide Cotton Confereneces*, 1–4.
- Godfrey L D and Leigh T F. 1994. Alfalfa harvest strategy effect on *Lygus* bug (Hemiptera: Miridae) and insect predator population density: implications for use as trap crop in cotton. *Environmental Entomology*, 23: 1106–1118.
- Haile A and Hofsvang T. 2002. Host plant preference of the stem borer *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 21: 227–233.
- Hannunen S. 2003. Trivial movements and redistribution of polyphagous insect herbivores in heterogeneous vegetation. *University of Helsinki*, 11: 1–28.
- Hilje L, Costa H S and Stansly P A. 2001. Cultural practices for managing *Bemisia tabaci* and associated viral diseases. *Crop Protection*, 20: 801–812.
- Hoffmann M P, Robinson R W, Kyle M M and Kirkwyland J J. 1996. Defoliation and infestation of *Cucurbita pepo* genotypes by diabroticite beetles. *Hort Science*, 31: 439–442.
- Hokkanen H. 1989. Biological and agrotechnical control of the rape blossom beetle *Meligethes aeneus* (Coleoptera: Nitidulidae). *Acta Entomologica Fennica*, 53: 25–30.
- Hokkanen H, Granlund H, Husberg G B and Markkula M. 1986. Trap crops used successfully to control *Meligethes aeneus* (Col., Nitidulidae), the rape blossom beetle. *Annales Entomologica Fennica*, 52: 115–120.
- Hokkanen H M T. 1991. Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 36: 119–138.
- Horsfield A, Logan D P, Kettle C G and Hogarth D M. 2002. Trap crops for the management of greyback canegrub in the Burdekin. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 24: 213–218.
- Hoy C W. 1999. Colorado potato beetle resistance management strategies for transgenic transgenic potatoes. *American Journal of Potato Research*, 76: 215–219.
- Hoy C W, Vaughn T T and East D A. 2000. Increasing the effectiveness of spring trap crops for *Leptinotarsa decemlineata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96: 193–204.
- Hunt D W A and Whitfield G. 1996. Potato trap crops for control of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in tomatoes. *Canadian Entomologist*, 128: 407–412.
- Hussein M Y and Samad N A. 1993. Intercropping chilli with maize or brinjal to suppress populations of *Aphis gossypii* Glov., and transmission of chilli viruses. *International Journal of Pest Management*, 39: 216–222.

- IITA. 1981. Trap cropping for control of stink bugs//*Annual Reports in Medicinal Chemistry*, 1980. IITA, Ibadan, Nigeria.
- Jackai L E N. 1981. Relationship between cowpea crop phenology and field infestation by the legume pod borer, *Maruca testalis*. *Annals of the Entomological Society of America*, 74: 402–408.
- Jackai L E N and Singh S R. 1983. Suitability of selected leguminous plants for development of *Maruca testalis* larvae. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 34: 174–178.
- Jackson D M and Sisson V A. 1998. Potential of *Nicotiana kawakamii* (Solanaceae) as a trap crop for protecting flue-cured tobacco from damage *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Journal of Economic Entomology*, 91: 759–766.
- Jude B T. 2004. Demonstrating a perimeter trap crop approach to pest management on summer squash in New England. *Journal of Extension*, 42: 1–6.
- Kennedy C W, Smith W C J and Jones J E. 1991. Chemical efficacy of early square removal and subsequent productivity of super-okra-leaf cotton. *Crop Science*, 31: 791–796.
- Khan L, Inayatullah C and Manzoor U. 1992. Control of melon fly, *Dacus cucurbitae* (Diptera: Trypetidae) on melon in Pakistan. *Tropical Pest Management*, 38: 261–264.
- Khan Z R, Pickett J A, Wadhams L J, Woodcock C M and Van den Berg J. 2000. Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Management Science*, 56: 957–962.
- Kloen H and Altieri M A. 1990. Effect of mustard (*Brassica hirta*) as a non-crop plant on competition and insect pests in broccoli (*Brassica oleracea*). *Crop Protection*, 9: 90–96.
- Kumar H and Kumar V. 2004. Tomato expressing Cry1A (b) insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis* protected against tomato fruit borer, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) damage in the laboratory, greenhouse and field. *Crop Protection*, 23: 135–139.
- Ludwig S W and Kok L T. 1998. Evaluation of trap crops to manage harlequin bugs, *Murgantia histrionica* (Hahn) (Hemiptera: Pentatomidae) on broccoli. *Crop Protection*, 17: 123–128.
- Luther G C, Valenzuela H R and Defrank J. 1996. Impact of cruciferous trap crops on Lepidopteran pests of cabbage in Hawaii. *Environmental Entomology*, 25: 39–47.
- Mathews G, Wiles T and Baleguel P. 2003. A survey of pesticide application in Cameroon. *Crop Protection*, 22: 707–714.
- Mensah R K and Khan M. 1997. Use of *Medicago sativa* (L.) interplantings/trap crops in the management of the green mirid, *Creontiades dilutus* (Stal) in commercial cotton in Australia. *International Journal of Pest Management*, 43: 197–202.
- Mitchell E R, Hu G Y and Johanowicz D. 2000. Management of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage using collard as a trap crop. *Hort Science*, 35: 875–879.
- Mitchell E R, Hu G Y and Okine J S. 1997. Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) infestation and parasitism by *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) in collards and adjacent cabbage fields. *Florida Entomologist*, 80: 54–71.
- Morales F J. 2001. Conventional breeding for resistance to *Bemisia tabaci*-transmitted Geminiviruses. *Crop Protection*, 20: 825–834.
- Pair S D. 1997. Evaluation of systemically treated squash trap plants and attracticidal baits for early-season control of striped and spotted cucumber beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) and squash bug (Hemiptera: Coreidae) in cucurbit crops. *Journal of Economic Entomology*, 90: 1307–1314.
- Pearsall I A. 2000. Flower preference behaviour of western flower thrips in the Similkameen Valley, British Columbia, Canada. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95: 303–313.
- Pickett J A, Wadhams L J and Woodcock C M. 1997. Developing sustainable pest control from chemical ecology. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 64: 149–156.
- Powell M J. 2002. The use of mixed species cropping to manage pests and diseases-theory and practice. *UK Organic Research 2002 Proceedings of the COR Conference*, 207–210.
- Preston S. 2001. Intercropping principles and production practices. *Attra*, 3: 1–16.
- Purcell M, Johnson M W, Lebeck L M and Hara A H. 1992. Biological control of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) with *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) in corn used as a trap crop. *Environmental Entomology*, 21: 1441–1447.
- Radin A M and Drummond F A. 1994. An evaluation of the potential for the use of trap cropping for control of the striped cucumber beetle, *Acalymma vittata* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal Agriculture Entomology*, 11: 95–113.
- Ramert B, Hellqvist S, Ekbohm B and Banks J E. 2001. Assessment of trap crops for *Lygus* spp. in lettuce. *International Journal of Pest Management*, 47: 273–276.
- Roland J. 1990. Use of alternative plant species as a monitoring tool for the cranberry girdler Lepidoptera Pyralidae. *Environmental Entomology*, 19: 721–724.
- Root R B and Tahvanainen J O. 1969. Role of winter cress,

- Barbarea vulgaris*, as a temporal host in the seasonal development of the crucifer fauna. *Annals of the Entomological Society of America*, 62: 852–855.
- Rousse P, Fournet S, Porteneuve C and Brunel E. 2003. Trap cropping to control *Delia radicum* populations in cruciferous crops: first results and future applications. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 109: 133–138.
- Sanderson B F. 2000. Patterns of plant species richness in pasture lands of the northeast United States. *Plant Ecology*, 149: 169–180.
- Seal D R, Chalfant R B and Hall M R. 1992. Effects of cultural practices and rotational crops on abundance of wireworms (Coleoptera: Elateridae) affecting sweet potato in Georgia. *Environmental Entomology*, 21: 969–974.
- Shelton A M and Nault B A. 2004. Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 23: 497–503.
- Silva-Krott I U, Singh P, Lali T S and Muniappan R. 1995. Development of a trap cropping system for cabbage in Guam. *Pest Management Science*, 1: 27–35.
- Smith H A, Koenig R L, McAuslane H J and McSorley R. 2000. Effect of silver reflective mulch and a summer squash trap crop on densities of immature *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on organic bean. *Journal of Economic Entomology*, 93: 726–731.
- Smyth R R, Hoffmann M P and Shelton A M. 2003. Effects of host plant phenology on oviposition preference of *Crocidolomia pavonana* (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology*, 32: 756–764.
- Stern V M. 1969. Inter planting alfalfa in cotton to control *Lygus* bugs and other pests. *Pest Management Science*, 5: 67–75.
- Tara W. 1999. Trap crops prove irresistible to diamondbacks. *Agricultural Research*, 47: 26–28.
- Thompson J N. 1988. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47: 3–14.
- Thompson J N and Pellmyr O. 1991. Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 36: 65–89.
- Tillman P G. 1999. Tobacco as a trap crop for tobacco budworm. *Proceeding of the Belt Wide cotton conference*.
- Tillman P G and Mullinix B J. 2004. Grain sorghum as a trap crop for the corn earworm, *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton. *Environmental Entomology*, 33: 1371–1380.
- Van den Berg J, Midega C and Wadhams L J. 2003. Can vetiver grass be used to manage insect pests on crops. *Vetiver and Waterd*, 15: 262–273.
- Van den Berg J, Rebe M, De Bruyn J and Van Hamburg H. 2001. Developing habitat management systems for gramineous stemborers in South Africa. *Insect Science Application*, 21: 381–388.
- Vernon R S, Kabaluk J T and Behringer A M. 2000. Movement of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) in strawberry (Rosaceae) plantings with wheat (Gramineae) as a trap crop. *Canadian Entomologist*, 132: 231–241.
- Wightman J A, Dick K M, Rao R G V, Shanower T G and Gold C G. 1990. Pests of groundnut in the semi-arid tropics //Sigh. *Insect Pests of Tropical Food Legumes*. England: Insect pests of tropical food legumes, 243–322.
- Zhou X, Hoy C W, Miller S A and Nault L R. 2002. Spatially explicit simulation of aster yellows epidemics and control on lettuce. *Ecological Modelling*, 151: 293–307.

(责任编辑:郭莹)

