应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2014, 51(1): 1–12. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2014.001

前沿与综述

害虫天敌的植物支持系统*

陈学新[1**] 刘银泉[1] 任顺祥[2] 张 帆[3] 张文庆[4] 戈 峰[5]

(1. 浙江大学昆虫科学研究所 水稻生物学国家重点实验室 农业部农业昆虫学重点实验室，杭州 310058；2. 华南农业大学昆虫学系，广州 510640；3. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所，北京 100097；4. 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室，广州 510275；5. 中国科学院动物研究所 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室，北京 100101)

摘 要 保护天敌，使天敌长期有效地控制害虫是保护性生物防治的核心内容。其中，植物在维持和促进天敌控制害虫中的重要性和作用越来越受到关注。本文概述了各种支持天敌发挥效能的植物类群，论述了蜜源植物、储蓄植物、栖境植物、诱集植物、指示植物、护卫植物等在支持天敌生存和繁殖方面的生物功能，评述了研究和应用这些植物时需注意的问题，提出了科学利用这些植物以维持和增强农业生态系统中天敌发挥控害作用的植物支持系统，并指出了由于对这些植物类别的界定和定义模糊所带来的不便，给出了相应的建议。

关键词 保护生物防治，支持植物系统，生防植物，蜜源植物，储蓄植物，栖境植物，诱集植物，指示植物，护卫植物

Plant-mediated support system for natural enemies of insect pests

CHEN Xue-Xin[1**] LIU Yin-Quan[1] REN Shun-Xiang[2] ZHANG Fan[3]
ZHANG Wen-Qing[4] GE Feng[5]

(1. State Key Laboratory of Rice Biology and Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Agricultural Entomology, Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 3. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 4. State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Ya-Sen University, Guangzhou 510275, China; 5. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Conservation biological control uses various means to protect and enhance populations of the natural enemies of pest insects with the goal of achieving long-term sustainable control of insect pests in agro-ecosystems. The importance of plants in enhancing the efficiency of natural enemies has been well recognized. These plants are normally classified as honey plants, banker plants, habitat plants, trap plants, indicator plants, guardian plants, etc. Here we review recent advances in research on these plants and their application in pest management, and then coin the term “plant-mediated support system for natural enemies”. This system is constituted by these plants based on a scenario of their proper selection, planting, and rational temporal and spatial distribution in a given agro-ecosystem to maintain and enhance populations of the natural enemies of pest insects. In addition, some suggestions on definitions and terminology regarding the various types of plants used in

* 资助项目：国家重点基础研究发展计划（973 计划）(2013CB127600)；国家自然科学基金项目（31071736）

**通讯作者，E-mail: xxchen@zju.edu.cn

收稿日期：2013-12-21，接受日期：2013-12-26

plant-mediated support systems are provided.

Key words conservation biological control, plant-mediated support system, bio-control plant, honey plant, banker plant, habitat plant, trap plant, indicator plant, guardian plant

害虫危害是引起农产品减产的重要因素。长期以来，由于化学农药施用的高效和便捷，一直依赖于化学防治方法开展害虫的治理。化学农药的不当和过度使用导致了害虫的抗药性增强、天敌被误伤、环境受污染、人类健康受威胁等严重后果。害虫的再猖獗和次要害虫的暴发所产生的恶性循环使得害虫治理的难度和成本不断增加。同时，人们对生态保护和食品安全的要求不断提高。因此，以生物防治为核心的害虫综合治理自 20 世纪 80 年代以来越来越受到重视（Kogan, 1998；刘树生，2000）。

害虫处于农业生态系统中的第二营养级（初级消费者），其种群增长导致了农作物生长受害和产量损失，但同时也受到天敌因子的自然制约。显然，基于生态学原理开展的害虫综合治理，非常强调自上而下（Top-down）源于天敌的控制作用以及自下而上（Bottom-up）源于作物自身的抗性两个方面。增强天敌的控制作用主要有两个途径：一是减少或削弱对天敌不利的因子，如应用行动阈值减少农药用量和使用高效低毒农药减轻对天敌的杀伤作用等（Liu *et al*., 2014）；二是增强对天敌有利的因素，如有意识提高植物多样性以增加天敌的食物（如花粉和花蜜）等（Landis *et al*., 2000）。而利用作物自身的抗性主要包括利用作物表皮的蜡质、叶毛等物理屏障和植物所产生的生物碱、萜烯类物质等次生代谢产物进行抗虫（Schoonhoven *et al*., 2005）。此外，植物的这些物理和化学屏障也会对天敌昆虫产生直接和间接的影响，如植物叶毛可影响天敌昆虫的搜索行为，而作物所释放的挥发性化学物质常能被天敌所识别和利用（Vet and Dicke，1992；Inbar and Gerling，2008；潘登等，2013）。因此，人们通常认为植物抗性与天敌联合作用比单一防治措施更有助于增强对害虫的控制效果。一些经验研究证实了这一观点，但也有一些案例表明天敌在抗性品系上的控害效果比敏感品系作物要差，这揭示了多营养级之间相互作用的复杂性。在对植物、害虫和天敌三营养级进化关系还没有充分认识和理解之前，植物与天敌的联合作用效果难以有效预测，用于生产实践还需要进一步的探索（Bottrell *et al*., 1998）。尽管如此，近十多年来，利用植物介导特别是非作物植物介导增强天敌的效能并提高生物防治效果的研究仍取得了一系列进展和成就（Landis *et al*., 2000；Huang *et al*., 2011；Khan *et al*., 2011）。本文综述这些研究进展并归纳各种支持天敌发挥效能的植物类群，提出了科学统筹利用这些植物以维持和增强天敌发挥控害效能的植物支持系统（Plant-mediated support system），以发展我国的生物防治理论与实践。

1 天敌昆虫植物支持系统的提出、形成与发展

农业的现代化导致单一作物大面积种植而使得植物的多样性急剧下降。早期的观察表明，相对于多作物混合种植区，在单一作物大量种植的区域害虫容易暴发成灾。例如，在单纯的十字花科蔬菜区，蚜虫、跳甲和鳞翅目害虫易达到暴发水平，因此人们提倡多作物混合种植以减少害虫种群暴发机率（Pimentel，1961）。此后，基

于物种多样性和稳定性等生态理论基础上的生态调控和依据生态学原理而提出的综合治理开始受到重视,其中天敌作用和资源集中假说受到较多关注(Emden and Williams, 1974; Andow, 1991)。在多作物混合种植区害虫种群密度较低的一个原因归功于植物的多样性增强了天敌的作用,这是因为单一作物大面积种植使得天敌昆虫的食物(花粉和花蜜)、替代寄主或猎物、越冬和繁育场所等资源严重不足,而植物多样性的增加可为天敌提供更适合的微观环境、更多的食物和替代寄主或猎物等资源(Landis *et al*., 2000; Heimpel and Jervis, 2005)。但是,正如 Landis 等(2000)所指出,提高天敌作用效果所需要的植物多样性的关键组分需要认真筛选,以提供"正确"的多样性和"正确"功能的植物,仅仅靠提高多样性本身并不能提高天敌的效能甚至会带来更严重的害虫增长和暴发。

鉴定正确的植物多样性组分是相对困难的事情,但依据天敌所需资源有意识的调控包括非作物在内的植物生境越来越受到人们的重视。这些为天敌昆虫提供食物、提供越冬和繁殖场所、提供逃避农药和耕作干扰等恶劣条件的庇护所以及适宜生长的微观环境的植物体系就构成了害虫天敌的植物支持系统(Plant-mediated support system)。当前对这些植物的称谓还并不统一,常见的种类包括蜜源植物(Honey plant, Nectar resource plant)、栖境植物(Habitat plant)、诱集植物(Trap plant, Trap crop)、储蓄植物(Banker plant)、指示植物(Indicator plant)和护卫植物(Guardian plant)等(Landis *et al*., 2000; Frank and Skinner, 2009; Parolin *et al*., 2012)。

2　害虫天敌植物支持系统中的植物类型

2.1　蜜源植物(Honey plant 或 Nectar resource plant)

蜜源植物是指那些能为天敌、特别是寄生性天敌提供花粉、花蜜或花外蜜源(Extra floral nectar)的植物种类。有人也称其为养虫植物(Insectary plant),主要是指花粉、花蜜等自然蜜源丰富且能被天敌获取的显花植物(Flowering plants)(Heimpel and Jervis,2005;Fiedler *et al*., 2008; Blaauw and Isaacs, 2012; Parolin *et al*., 2012; 朱平阳等, 2012; Sigsgaard *et al*., 2013)。

据估计,已知的显花植物种类接近 25 万种,尽管人们一直致力于测试和筛选合适的显花植物用作蜜源植物,但真正受试过的植物种类却仍然很少。Fielder 等(2008)综述了 1989—2008 年约 20 年间田间测试用于蜜源植物的种类只有 165 种,主要来源于 35 个科,其中受试植物分别超过 10 种以上的只有 4 个科,分别是伞形科 Apiaceae(或 Umbelliferae)、菊科 Asteraceae、蝶形花科 Fabaceae 和唇形科 Lamiaceae。现在已报道的蜜源植物基本都是草本植物,此外只有 8 种木本、8 种灌木和 2 种蔓生植物做过田间测试。在生境调控中最常用到的 4 种蜜源植物分别是钟穗花(*Phacelia campanularia* Gray)、荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench)、香雪球(*Lobularia maritima* (L.))和芜菁(*Brassica rapa* L. var. *rapa*)。尽管室内实验表明,这 4 种植物在不同天敌对各种显花植物的选择性和适合度研究中并不占最优,但是这几种植物在早期的显花植物对天敌影响研究中得到应用且取得成功,因而备受到关注(Fiedler *et al*., 2008)。

蜜源植物一般具有以下特征:花粉和花蜜资源丰富,能够对天敌特别是寄生蜂有明显的吸引作用,花期足够长,花蜜易被获取等(Heimpel and Jervis, 2005; Fiedler and Landis, 2007a)。近年来,不断积累的各种蜜源植物系统的试验结果表明田间花粉和花蜜能够明显增加天敌的多样性和适合度(Pineda and Marcos-Garcia, 2008b; Hogg *et al*., 2011b; Walton and Isaacs, 2011; Amaral *et al*., 2012; Bickerton and Hamilton, 2012; Blaauw and Isaacs, 2012; Balzan and Wäckers, 2013)。但是,由于天敌的种间捕食作用等因素影响,天敌的多样性和适合度提高并不必然意味着害虫种群降低和作物增产。而且,在蜜源植物效能的研究中有关其经济评价部分的工作相当少(Cullen *et al*., 2008; Jonsson *et al*., 2008; Straub *et al*., 2008)。近些年来,人们仍然不断探索蜜源植物应用技术的改进。如最近有学者把人工合成的虫害诱导植物挥发物(Herbivore-induced plant volatiles, HIPVs)与蜜源植物相结合,通过一种叫"吸引和奖赏"(Attract and reward)的测试方法,发现二者联合并没有起到增效作用,但是不同的天敌种类对这两种作用方式的反应效果不一致,说明二者结合运用还是有必要的,可以增强不同种类的天敌丰度以提高生物防治效果(Hatano *et al*., 2008; Simpson *et al*., 2011; Orre Gordon *et al*., 2012)。

需要注意的是,由于昆虫的食性比较专一,有些显花植物的花粉并不适合天敌的生长,甚至有些还可能由于次生化合物带来一定的毒副作用(郅军锐, 2006; 孙月华等, 2009; Goleva and Zebitz, 2013)。此外,有些需要控制的靶标害虫也可能因为蜜源植物而受益,如寿命延长、生殖力增强等。但总的来看,相比害虫的受益而言,天敌从蜜源植物受益的程度更高,因此需要同时加强天敌及害虫对不同种类植物花粉和花蜜获取利用程度的研究(郑许松等, 2003; 唐超等, 2006; Kehrli and Bacher, 2008; Winkler *et al*., 2009)。在不同的条件下,蜜源植物可能会对同一种杂食性昆虫天敌造成有利或不利的影响。例如,在果园种植蜜源植物荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench)会提高杂食性昆虫——塔斯马尼亚褐蛉 *Micromus tasmaniae* Walker 的寄生蜂——新西兰瘿蜂 *Anacharis zealandica* 数量增长而对褐蛉不利(Stephens *et al*., 1998)。然而,在苜蓿地里提供蜜源植物——荞麦可以增加褐蛉种群,使其持续控制蚜虫在较低的种群密度(Jacometti *et al*., 2010)。此外,应用蜜源植物应尽量避免使用外来物种以减少生物入侵的风险(Fiedler and Landis, 2007b),对于第 4 营养级(重寄生蜂)的干扰也要加以关注(Araj *et al*., 2008; 2009; 2011; Banks *et al*., 2008)。在应用蜜源植物系统的具体技术方面,蜜源植物的面积大小(Bennett and Gratton, 2012; Blaauw and Isaacs, 2012)、与目标作物的距离(Banks *et al*., 2008)、天敌的取食行为模式及传粉昆虫的竞争等都会对天敌的效能产生影响(Ambrosino *et al*., 2006; Scarratt *et al*., 2008; Gillespie *et al*., 2011; Hogg *et al*., 2011a)。

我国在蜜源植物的研究和利用上也取得了一些进展(朱平阳等, 2012)。如在浙江省金华市,水稻田边种植花期较长的芝麻可以提高稻飞虱和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee 寄生蜂的数量,有效控制害虫种群,减少农药使用,经济、生态效益明显。2009 年的田间调查表明,田埂种植芝麻的生态控制区的稻飞虱寄生蜂数量是农民自防田的 4~10 倍,稻

飞虱数量显著降低 12 倍（朱平阳等，2012）。在新疆的杏-麦间作果园分别套种油菜、芜菁和紫花苜蓿 3 种蜜源植物后，发现天敌亚群落的物种多样性指数和均匀度指数均高于对照果园，捕食性天敌—草蛉和瓢虫类的数量大大增加，并且新增了 3 种天敌——大眼长蝽 *Geocoris pallidipennis*（Costa）、黑缘红瓢虫 *Chilocorus rubidus* Hope 和一种粉蛉，在一定程度上抑制了害虫的发生（丁瑞丰等, 2008）。

2.2　储蓄植物（Banker plant）

储蓄植物，也称载体植物、银行植物，是构成储蓄植物系统（Banker plant system）的三个基本要素之一。储蓄植物系统是一个天敌饲养和释放系统，是在作物中有意添加或建立的用于温室或大田害虫防治的系统（Huang *et al*., 2011，李先伟等，2013）。除了植物要素外，一个储蓄植物系统还包括替代食物和有益生物两个要素（Pratt and Croft，2000；Frank，2010）。替代食物一般是猎物或寄主，也就是储蓄植物的害虫，也可以是储蓄植物所产生的或人为添加的其他食物。有益生物指捕食性或寄生性天敌或释放在储蓄植物上的病原微生物。培育储蓄植物系统需要预先在储蓄植物上饲养一定量的寄主或猎物，之后把天敌引入到储蓄植物，天敌利用储蓄植物提供的寄主或猎物繁殖后代建立种群。这样，当把携带天敌的储蓄植物添加到目标作物时，天敌就会不断地从储蓄植物扩散到作物上而长期控制作物上靶标害虫，这样储蓄植物事实上就成了一个小型的天敌饲养场所，所以有时也称之为开放式天敌饲养系统（Open rearing system）。储蓄植物系统的目标是在作物中长时间维持天敌种群以有效控制靶标害虫（Frank, 2010）。为了达到这样的目标，一个成功的储蓄植物系统必需具有“预存”和“增殖”两个特征，即预先准备和储存备选天敌，而且天敌能在储蓄植物上维持连续增殖以有效控制靶标害虫。

储蓄植物系统源于保护和助增型生物防治的应用。出于更加有效控制害虫的目的，天敌释放应在害虫发生的早期就开始进行，但此时天敌常常因害虫数量稀少难以定殖，而多次释放天敌则会导致成本成倍增加。为了解决这一难题，人们尝试有意引入少量害虫用以协助天敌建立种群，即害虫先入（Pest-in-first）策略。这种策略虽然有一些成功的例子且被少数种植户所采用，但没有在生产中被广泛推广，因为经营者一般不愿意把害虫引进作物中增加受害风险（Huang *et al*., 2011）。随后的生产实践中人们考虑使用非作物和替代寄主或猎物来增加天敌定殖的机会，以降低目标作物受污染的概率，这样就逐渐推动了储蓄植物系统的形成和发展。

Frank（2010）和 Huang 等（2011）两篇综述详细介绍了当前研究和应用储蓄植物系统的情况并列举了各种不同的储蓄植物系统清单。早在 20 世纪 70 年代，Stacey（1977）就描述和应用储蓄植物系统来控制番茄上的温室白粉室 *Trialeurodes vaporariorum* Westwood，作者使用与目标作物和靶标害虫相同的体系以及天敌——丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan 组建储蓄植物系统，丽蚜小蜂可以在储蓄植物上持续 8 个星期并且每株储蓄植物能繁育出大约 8 000 头蜂，但是后来温室白粉室最终扩散到了目标蔬菜番茄上。随后的系统一般选用与目标作物不同的作物或非作物展开，其显著的特点是储蓄植物和作物的害虫种类不同但拥有共同的天敌（Starý, 1993; Jacobson and Croft, 1998；Yano, 2006）。代表性的储蓄植物系统有大麦或小麦携带禾谷缢管

蚜 *Rhopolosiphum padi* （L.）等麦蚜及其寄生蜂——粗脊蚜茧蜂 *Aphidius colemani* Viereck 或短距蚜小蜂 *Aphelinus abdominalis*（Dalman）等，用于控制温室蔬菜中常见的害虫——棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 和桃蚜 *Myzus persicae*（Sulzer）。近年来新开发的储蓄植物系统还有番木瓜 *Carica papaya* Linn-木瓜粉虱 *Trialeurodes variabilis*（Quaintance）-浅黄恩蚜小蜂 *E. sophia*（Girault and Dodd）系统用来控制温室番茄上的烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Xiao *et al*., 2011a）；玉米-草地小爪螨 *Oligonychus pratensis*（Banks）-食螨瘿蚊 *Feltiella acarisuga*（Vallot）储蓄植物系统防治豆类蔬菜上的二斑叶螨 *Tetranychus urticae*（Koch）（Xiao *et al*., 2011b）和观赏辣椒“黑珍珠”——狡小花蝽 *Orius insidiosus*（Say）系统用于防治观赏草本植物上的蓟马（Wong and Frank, 2012；2013）。此外，国外还开发出芜菁、烟草、蚕豆、蓖麻、高粱、毛蕊花、哈密瓜和马铃薯等多种储蓄植物（Frank, 2010；Huang *et al*., 2011）。

储蓄植物系统目前主要应用于温室，且有一些储蓄植物系统已经商业化生产（Huang *et al*., 2011）。然而，也有少量在大田中应用储蓄植物系统的案例。例如，一些品种的哈蜜瓜-烟粉虱-桨角蚜小蜂 *Eretmocerus* sp.储蓄植物系统结合农药吡虫啉用于瓜类植物烟粉虱的防治中并取得一定成效（Goolsby and Ciomperlik, 1999；Pickett *et al*., 2004）。储蓄植物系统用于防治蚜虫的研究最多，可能是由于蚜虫的替代寄主容易寻找等原因所致，其次是粉虱、蓟马、害螨及潜叶蝇等有害生物（Frank, 2010；Huang *et al*., 2011），这些都是体型较小、温室条件下容易滋生暴发的主要类群。

储蓄植物系统与直接释放天敌的助增型生物防治相比具有很多优势。比如，高效的预防性治理、控制效果持久、人力和经济成本低、与其它防治方法特别是化学防治易兼容、备选天敌不局限于商品化种类甚至可以在田间招募自然天敌等（Frank, 2010；Huang *et al*., 2011；肖英方等, 2012）。这些优点使得储蓄植物系统极具发展前景。但是，也应当看到，储蓄植物系统模式虽然提出已有 40 余年之久，但真正进入快速度发展成为研究的新增长点却只是最近十多年的事情（Huang *et al*., 2011）。要想更好的发挥储蓄植物系统的服务功能，除了考虑系统本身多级营养关系之外还要把目标作物及靶标害虫甚至近缘种都包括在内，使其成为一个复杂的庞大系统。目前相应的知识积累还处在一个充实阶段，还有很多问题没有现成的答案可寻（Pineda and Marcos-Garcia, 2008a；Nagasaka *et al*., 2010；Parolin *et al*., 2013）。比如，很多储蓄植物的选用并没有经过认真的筛选，即便是现在已经在应用的案例中也没有明确的证据表明当前的组合就是最适合的（Frank, 2010）。如果系统中包括多种天敌，则种间捕食作用尤需关注。例如，研究表明温室内 3 种捕食性天敌——黄瓜新绥螨 *Neoseiulus cucumeris*、下盾螨 *Stratiolaelaps miles* 和隐翅虫 *Atheta coriaria* 共存时，蓟马的种群水平反而显著高于一种天敌或其中两种共存时水平（Pochubay and Grieshop, 2012）。当前，我国有关储蓄植物系统的研究才刚刚起步，除了最近两篇综述对国外研究现状与进展进行介绍性评述之外（肖英方等，2012；李先伟等，2013），只有中国农业科学院植物保护研究所针对棉花上的烟粉虱和蚜虫，以中国黄麻和大豆为储蓄植物，开展了有关储蓄植物对天敌昆虫—丽蚜小蜂和中华草蛉 *Chrysoperla sinica* 扩繁的影响研究

（Khuhro，2012）。

2.3 栖境植物 （Habitat plant）

栖境是昆虫生长繁育的必需场所。此处所说栖境植物，也称库源植物，特指目标作物之外的其他作物及非作物植物的统称，是生境调控的重要内容（Landis *et al*., 2000；尤民生等, 2004）。栖境植物生长在田头、地埂、路边、沟渠、灌木丛、篱笆栅栏及防护林带等靠近作物边缘，或者作物中间的路堤或与作物间作，即构成所谓的花带（Flowering strip）或甲虫储蓄库（Beetle bank）等，也包括果园内树行间的生草，为有益生物提供了食物、繁殖场所、越冬或夏眠场所等，改善了天敌生存的微气候，在作物收获或施药等农事操作干扰时为天敌提供了庇护所，有利于天敌种群的增长、维护农业生态系统的平衡，是保护型生物防治的重要组成部分（于毅和严毓骅, 1998；Landis *et al*., 2000；MacLeod *et al*., 2004；Griffiths *et al*., 2008；董兆克等，2009）。如有研究表明，甲虫储蓄库中的捕食性天敌——步甲、隐翅甲、皿蛛和狼蛛对小麦麦蚜有较好的控制作用（Collins *et al*., 2002）。当前已有大量的研究表明包括天敌庇护所在内的栖境调控措施会影响天敌的多样性、丰度及其分布（Landis *et al*., 2000；Griffiths *et al*., 2008）。但是，有关栖境植物 对天敌的影响机制还不清晰，还无法对调控措施所产生的结果进行很好的预测（Landis *et al*., 2000；Griffiths *et al*., 2008）。这可能是因为多级营养关系及生态系统功能的复杂性所致。例如，在美国马里兰，不同的本地植物对天敌的吸引作用随时间变化而不同，对于土栖性天敌、捕食性及寄生性种类的总丰度因植物种类不同而变化，但步甲和蜘蛛丰度却基本没有变化（Frank *et al*., 2008）。此外，有关栖境调控对害虫的控制效果、对作物产量的影响方面的研究还比较少，再加上一般研究项目由于受时间及规模限制所涉及的区域大都比较小，这对于研究结果的可信度产生了不利影响（Griffiths *et al*., 2008）。

2.4 诱集植物（Trap plant 或 Trap crop）

诱集植物一般比目标作物对靶标害虫有更强的吸引作用，害虫被吸引后转向诱集植物并在其上停留，从而减少对目标作物的损害（Lu and Liu, 2004；Shelton and Badenes-Perez, 2006；吕建华和刘树生，2008）。一些诱集植物能吸引害虫产卵，但害虫后代不能完成发育而死亡，这一类诱集作物起到了诱杀作用，可称之为诱杀作物（Dead-end trap plant）（Shelton and Nault, 2004；吕建华和刘树生，2008）。例如，欧洲山芥（*Barbarea vulgaris*）诱杀小菜蛾（Shelton and Nault, 2004）、苏丹草（*Sorghum sudanense*）和香根草（*Vetieria zizanioides*）诱杀二化螟 *Chilo suppressalis*（郑许松等, 2009）。多数诱集植物适宜害虫生长，它们在一开始会成为害虫相对集中的聚集点，此时诱集作物又可作为早期检测点而起到指示和预警作用；而在后期当虫量增加时，诱集植物又会成为害虫的发生源，这就需要及时采取措施在害虫迁出之前予以集中治理，从而减少了化学防治等措施对天敌的影响，保护了天敌（Parolin *et al*., 2012）。诱集作物使害虫趋于集中，也有助于吸引田间天敌觅食或者便于天敌的集中释放，对于增强天敌作用效果很有帮助。诱集作物如果结合天敌释放开展生物防治，则又起到栖境植物或储蓄植物的作用（Zhou *et al*., 2011）。

近年来，诱集植物与驱避植物（Repellent plant）或其他化学驱避物质结合形成的“推-拉”

（Push-pull）防治措施也有不少报道，相关实践对害虫治理起到一定的推动作用（Khan *et al*., 2008a；2008b；Belay and Foster, 2010）。

2.5 指示植物（Indicator plant）

指示植物是指那些能够在害虫发生初期就容易检测害虫危害并可有效指导防治以减小防治成本的植物（Parolin *et al*., 2012）。指示植物对靶标害虫有很强的吸引作用，同时害虫在植物上的危害症状也容易被发现。例如，牵牛花（*Pharbitis* sp.）对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*（Pergande）有非常强的吸引力，而且感染蓟马 2~3 d 后症状就能显现，是很好的西花蓟马的指示植物（Hedergá, 1991）。豆类植物是温室番茄中叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 的指示植物。叶螨在两种作物上的产卵量和发育速率没有显著差别，但由于叶螨在豆类植物上的发育起点温度低，叶螨在豆类植物上发生时间比其在番茄上早 5 个星期，这对于害螨的生物防治提供了足够的准备时间（Berlinger *et al*., 1996）。还有报道显示茄子对烟粉虱的吸引作用比一品红高，能更早更多地诱集到烟粉虱因而可以用茄子作为一品红的指示植物（Frank and Skinner, 2007）。

2.6 护卫植物（Guardian plant）

护卫植物是那些集中了指示植物、诱集植物、储蓄植物、栖境植物等功能于一体的植物。例如，茄子可作为一品红的护卫植物，万寿菊是许多蔬菜控制蓟马的护卫植物（Frank and Skinner, 2007；Glenister, 2010）。

2.7 其它植物

除了以上描述的对天敌昆虫起支持作用的植物类群外，与天敌作用相关的其它植物类型还包括覆盖植物（Cover plant，Cover crop）等。覆盖植物，也称肥田植物，主要作用是用于改善农业生态系统的土壤肥力、质量和水分，同时可以控制杂草生长，为天敌昆虫提供食物、繁殖或越冬或夏眠场所等，从而有助于害虫和病害的自然控制（Clark, 2007；Wang, 2012）。

此外，与生物防治相关的植物类别中，不同学者从不同角度和不同侧重点提出了一些其它名称，如伴生植物（Companion plant）（Parolin *et al*., 2012）、养虫植物（Insectary plant）（Parolin *et al*., 2012；肖英方等, 2013）、屏障植物（Barrier plant）（Fereres, 2000；Hooks and Fereres, 2006；Daugherty *et al*., 2012；Parolin *et al*., 2012）、抗虫植物（Host-resistant plant）和杀虫植物（Insecticidal plant）（肖英方等, 2013）、相生植物（Mutual plant）（张润志和张广学, 1998）等。我们从维持和增强天敌作用的角度对蜜源植物、储蓄植物、栖境植物、诱集植物、指示植物等不同种类植物的特征、作用及其应用情况进行了分析，但并不排除其它类型植物对天敌的影响作用及其利用。事实上，上述各类植物有不少类型之间存在重合之处。

3 害虫天敌植物支持系统的构建及展望

到目前为止，生物防治在害虫综合治理中的重要地位还没有很好体现出来。这主要是由于生物的多样性、多级营养关系及生态系统服务功能的复杂性，生态调控的内在机制还没有被深入揭示，调控的结果还不能有效预测所致（Landis *et al*., 2000；Griffiths *et al*., 2008）。但是，近十多年的研究进展在加强天敌保护、增强天敌作用

等方面还是给我们带来一些启示。一是在条件相对可控的小范围的温室内,以储蓄植物系统为代表的生物防治模式展示了很强的生命力,现在正处于快速发展时期(Frank, 2010;Huang *et al*., 2011),而中国目前这方面工作才刚刚起步,有很广阔的发展前景。二是在国内土地流转的大形势下,认真借鉴国外对生境调控的经验,从宏观角度,以代表性农业生态系统为关注对象,以蜜源植物、栖境植物和诱集植物的布局为出发点,对主要害虫和天敌开展食物网层面的定量研究以揭示其互作机制,为定量调控及可预测性结果的产生提供基础知识。

保护天敌,发挥天敌的长期有效控制作用是生物防治研究中一个始终不渝的努力方向。近年来,植物在维持和促进天敌控害效果中的重要作用越来越受到关注。它们或为天敌昆虫提供食物、补充寄主和补充营养,或者改善天敌生存的小环境,提供适宜生长的栖境、越冬场所、休息地或产卵场所,提供逃避农药施用、耕作干扰等恶劣条件的庇护所等,为天敌在不同植物/作物间转移、存储和增殖创造了有利条件,有利于天敌的生存和繁衍,发挥其控害效能。以天敌的支持植物作为落脚点展开相关研究,可以把基于生态学原理开展的生态调控、栖境管理和生物多样性调控赋予更加具体、更有可操作性的内容。例如,可以根据一年四季作物周期性的变化针对天敌昆虫生存和繁殖的需要布局相应的植物或者作物(Landis *et al*., 2000)。因此,本文从发挥天敌作用这一核心价值角度提出害虫天敌的植物支持系统(Plant-mediated support system)。这些凡是能为天敌昆虫提供食物、提供越冬和繁殖场所、提供逃避农药干扰等恶劣条件的庇护所以及适宜生长的微观环境的植物体系就构成了害虫天敌的植物支持系统。针对特定的农业生态系统及其主要害虫,通过筛选相应的功能植物,进行科学合理的搭配和时空布局,构建相应的天敌植物支持系统,使得在这个支持系统中不同的植物或作物能有效地维持和促进天敌控害功能的充分发挥,使天敌长期有效地控制害虫。

由于研究的相对分散,对相同或相似作用的植物所采用的称谓各不相同,有些目前还没有明确的定义和界定。例如,能为天敌提供花粉或花蜜的植物可以分别归类到蜜源植物、显花植物、养虫植物、诱集植物、储蓄植物、伴生植物、栖境植物中,这增加了不同研究人员之间沟通交流的障碍。目前有学者从植物角度尝试对这些植物类别进行定义和归类,如 Parolin 等(2012)把这一类植物称为次生植物(Secondary plant),肖英方等(2013)把这些植物统称为生防植物(Bio-control plant)。从便于沟通交流的角度,建议从事生物防治研究的工作者立足长远,共同探讨,统一定名。比如,国外统一的“Banker plant”这一术语似乎还没有一个统一的中文名称与之对应(肖英方等, 2012,李先伟等,2013)。我们认为,“储蓄植物”及“储蓄植物系统”更准确和贴切表达出了这一系统中天敌的“预存”和“增殖”这两个重要特征,即预置天敌以满足后期天敌的增殖并发挥其持续不断的控害作用。这里的“预存”和“增殖”刚好对应于储蓄行为的“存款”和计息后的“增值”,同时储户在储蓄事件中与种植户培育“储蓄植物系统”事件中都扮演主体角色。再考虑到储蓄及其含义又为广大农业种植户和经营者所熟知,因此这一对应名称对今后推广及普及这一技术必将起到推动作用。

参考文献 **(References)**

Amaral DS, Venzon M, Duarte MV, Sousa FF, Pallini A, Harwood

JD, 2012. Non-crop vegetation associated with chili pepper agroecosystems promote the abundance and survival of aphid predators. *Biological Control*, 60: 338–346.

Ambrosino MD, Luna JM, Jepson PC, Wratten SD, 2006. Relative frequencies of visits to selected insectary plants by predatory hoverflies (Diptera : Syrphidae), other beneficial insects, and herbivores. *Environmental Entomology*, 35: 394–400.

Andow DA, 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*, 36: 561–586.

Araj SE, Wratten S, Lister A, Buckley H, 2008. Floral diversity, parasitoids and hyperparasitoids–A laboratory approach. *Basic and Applied Ecology*, 9: 588–597.

Araj SE, Wratten S, Lister A, Buckley H, 2009. Adding floral nectar resources to improve biological control: Potential pitfalls of the fourth trophic level. *Basic and Applied Ecology*, 10: 554–562.

Araj SE, Wratten S, Lister A, Buckley H, Ghabeish I, 2011. Searching behavior of an aphid parasitoid and its hyperparasitoid with and without floral nectar. *Biological Control*, 57: 79–84.

Balzan MV, Wäckers FL, 2013. Flowers to selectively enhance the fitness of a host-feeding parasitoid: Adult feeding by *Tuta absoluta* and its parasitoid *Necremnus artynes*. *Biological Control*, 67: 21–31.

Banks JE, Bommarco R, Ekbom B, 2008. Population response to resource separation in conservation biological control. *Biological Control*, 47: 141–146.

Belay D, Foster JE, 2010. Efficacies of habitat management techniques in managing maize stem borers in Ethiopia. *Crop Protection*, 29: 422–428.

Bennett A, Gratton C, 2012. Measuring natural pest suppression at different spatial scales affects the importance of local variables. *Environmental Entomology*, 41: 1077–1085.

Berlinger M, Lok-van Dijk B, Dahan R, Lebiush-Mordechai S, Taylor R, 1996. Indicator plants for monitoring pest population growth. *Annals of the Entomological Society of America*, 89: 611–622.

Bickerton M, Hamilton G, 2012. Effects of intercropping with flowering plants on predation of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs by generalist predators in bell peppers. *Environmental Entomology*, 41: 612–620.

Blaauw BR, Isaacs R, 2012. Larger wildflower plantings increase natural enemy density, diversity, and biological control of sentinel prey, without increasing herbivore density. *Ecological Entomology*, 37: 386–394.

Bottrell DG, Barbosa P, Gould F, 1998. Manipulating natural enemies by plant variety selection and modification: a realistic strategy? *Annual Review of Entomology*, 43: 347–367.

Clark A, 2007. Managing Cover Crops Profitably. Handbook Series Book 9. Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD.

Collins KL, Boatman ND, Wilcox A, Holland JM, Chaney K, 2002. Influence of beetle banks on cereal, aphid predation in winter wheat. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 93: 337–350.

Cullen R, Warner KD, Jonsson M, Wratten SD, 2008. Economics and adoption of conservation biological control. *Biological Control*, 45: 272–280.

Daugherty MP, Gruber BR, Almeida RPP, Anderson MM, Cooper ML, Rasmussen YD, Weber EA, 2012. Testing the efficacy of barrier plantings for limiting sharpshooter spread. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63: 139–143.

Emden Hv, Williams G, 1974. Insect stability and diversity in agro-ecosystems. *Annual Review of Entomology*, 19: 455–475.

Fereres A, 2000. Barrier crops as a cultural control measure of non-persistently transmitted aphid-borne viruses. *Virus Research*, 71: 221–231.

Fiedler AK, Landis D, 2007a. Plant characteristics associated with natural enemy abundance at Michigan native plants. *Environmental Entomology*, 36: 878–886.

Fiedler AK, Landis DA, 2007b. Attractiveness of Michigan native plants to arthropod natural enemies and herbivores. *Environmental Entomology*, 36: 751–765.

Fiedler AK, Landis DA, Wratten SD, 2008. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: The role of habitat management. *Biological Control*, 45: 254–271.

Frank CE, Skinner M, 2007. Guardian plant systems for greenhouse integrated pest management. Interim Report of Research Results at the University of Vermont Entomology Research Laboratory. https://lmprs.net/linkedFiles/NARR694EPPSummaryUVM07.pdf.

Frank CE, Skinner M, 2009. What are novel plant-mediated IPM tools. http://www.uvm.edu/~entlab/Greenhouse%20IPM/Scouting/PlantMediatedIPMTools.pdf.

Frank SD, 2010. Biological control of arthropod pests using banker plant systems: Past progress and future directions. *Biological Control*, 52: 8–16.

Frank SD, Shrewsbury PM, Esiekpe O, 2008. Spatial and temporal variation in natural enemy assemblages on Maryland native plant species. *Environmental Entomology*, 37: 478–486.

Gillespie M, Wratten S, Sedcole R, Colfer R, 2011. Manipulating floral resources dispersion for hoverflies (Diptera: Syrphidae) in a California lettuce agro-ecosystem. *Biological Control*, 59: 215–220.

Glenister CS, 2010. The Guardian AERGC annual meeting. http://www.aergc. org/news/AM2010_Presentations/Glenister_ GuardianPlants.ppt.

Goleva I, Zebitz CP, 2013. Suitability of different pollen as alternative food for the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari, Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 61(3): 259–283.

Goolsby JA, Ciomperlik MA, 1999. Development of parasitoid inoculated seedling transplants for augmentative biological control of silverleaf whitefly (Homoptera : Aleyrodidae). *Florida Entomologist*, 82: 532–545.

Griffiths GJ, Holland JM, Bailey A, Thomas MB, 2008. Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control. *Biological Control*, 45: 200–209.

Hatano E, Kunert G, Michaud J, Weisser WW, 2008. Chemical cues mediating aphid location by natural enemies. *Eur. J. Entomol.*, 105: 797–806.

Hederá L, 1991. Petunia as an indicator plant for use by growers to monitor for thrips carrying the tomato spotted wilt virus in greenhouses. *Plant Disease*, 75: 78–82.

Heimpel GE, Jervis MA, 2005. Does floral nectar improve biological control by parasitoids. Plant-provided food for carnivorous insects: a protective mutualism and its applications. New York: Cambridge University Press, Cambridge. 267–304.

Hogg BN, Bugg RL, Daane KM, 2011a. Attractiveness of common insectary and harvestable floral resources to beneficial insects. *Biological Control*, 56: 76–84.

Hogg BN, Nelson EH, Mills NJ, Daane KM, 2011b. Floral resources enhance aphid suppression by a hoverfly. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 141: 138–144.

Hooks CRR, Fereres A, 2006. Protecting crops from non-persistently aphid-transmitted viruses: A review on the use of barrier plants as a management tool. *Virus Research*, 120: 1–16.

Huang NX, Enkegaard A, Osborne LS, Ramakers PMJ, Messelink GJ, Pijnakker J, Murphy G, 2011. The banker plant method in biological control. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30: 259–278.

Inbar M, Gerling D, 2008. Plant-mediated interactions between whiteflies, herbivores, and natural enemies. *Annual Review of Entomology*, 53: 431–448.

Jacobson RJ, Croft P, 1998. Strategies for the control of *Aphis gossypii* Glover (Hom.: Aphididae) with *Aphidius colemani* Viereck (Hym.: Braconidae) in protected cucumbers. *Biocontrol Science and Technology*, 8: 377–387.

Jacometti M, Jørgensen N, Wratten S, 2010. Enhancing biological control by an omnivorous lacewing: Floral resources reduce aphid numbers at low aphid densities. *Biological Control*, 55: 159–165.

Jonsson M, Wratten SD, Landis DA, Gurr GM, 2008. Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biological Control*, 45: 172–175.

Kehrli P, Bacher S, 2008. Differential effects of flower feeding in an insect host–parasitoid system. *Basic and Applied Ecology*, 9: 709–717.

Khan Z, Midega C, Pittchar J, Pickett J, Bruce T, 2011. Push-pull technology: a conservation agriculture approach for integrated management of insect pests, weeds and soil health in Africa UK government's Foresight Food and Farming Futures project. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9: 162–170.

Khan ZR, James DG, Midega CA, Pickett JA, 2008a. Chemical ecology and conservation biological control. *Biological Control*, 45: 210–224.

Khan ZR, Midega CAO, Amudavi DM, Hassanali A, Pickett JA, 2008b. On-farm evaluation of the 'push-pull' technology for the control of stemborers and striga weed on maize in western Kenya. *Field Crops Research*, 106: 224–233.

Khuhro NH, 2012. 载体植物在 Bt 棉花刺吸式害虫防控中对天敌昆虫规模扩繁的影响研究. 博士论文.北京：中国农业科学院. [Khuhro NH, 2012. The effect of banker plants on mass-rearing of natural enemies in field cages for suppression of sucking pests of Bt cotton. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese academy of agricultural sciences.]

Kogan M, 1998. Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43:243–70

Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.

Liu YQ, Shi ZH, Zalucki MP, Liu SS, 2014. Conservation biological control and IPM practices in Brassica vegetable crops in Chin. *Biological Control*, 68: 37–46.

Lu JH, Liu SS, Shelton AM, 2004. Laboratory evaluations of a wild crucifer Barbarea vulgaris as a management tool for the diamondback moth. *Bulletin of Entomological Research*, 94(6): 509–516.

MacLeod A, Wratten SD, Sotherton NW, Thomas MB, 2004. 'Beetle banks' as refuges for beneficial arthropods in farmland:

long-term changes in predator communities and habitat. *Agricultural and Forest Entomology*, 6: 147–154.

Nagasaka K, Takahasi N, Okabayashi T, 2010. Impact of secondary parasitism on *Aphidius colemani* in the banker plant system on aphid control in commercial greenhouses in Kochi, Japan. *Applied Entomology and Zoology*, 45: 541–550.

Orre Gordon S, Wratten S, Jonsson M, Simpson M, Hale R, 2012. 'Attract and reward': Combining a herbivore-induced plant volatile with floral resource supplementation–multi-trophic level effects. *Biological Control*, 64: 106–115.

Parolin P, Bresch C, Desneux N, Brun R, Bout A, Boll R, Poncet C, 2012. Secondary plants used in biological control: A review. *International Journal of Pest Management*, 58: 91–100.

Parolin P, Bresch C, Ruiz G, Desneux N, Poncet C, 2013. Testing banker plants for biological control of mites on roses. *Phytoparasitica*, 41: 249–262.

Pickett CH, Simmons GS, Lozano E, Goolsby JA, 2004. Augmentative biological control of whiteflies using transplants. *Biocontrol*, 49: 665–688.

Pimentel D, 1961. Species diversity and insect population outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America*, 54: 76–86.

Pineda A, Marcos-Garcia MA, 2008a. Introducing barley as aphid reservoir in sweet-pepper greenhouses: Effects on native and released hoverflies (Diptera: Syrphidae). *European Journal of Entomology*, 105: 531–535.

Pineda A, Marcos-Garcia MA, 2008b. Use of selected flowering plants in greenhouses to enhance aphidophagous hoverfly populations (Diptera: Syrphidae). *Annales De La Societe Entomologique De France*, 44: 487–492.

Pochubay EA, Grieshop MJ, 2012. Intraguild predation of *Neoseiulus cucumeris* by *Stratiolaelaps miles* and *Atheta coriaria* in greenhouse open rearing systems. *Biological Control*, 63: 195–200.

Pratt P, Croft B, 2000. Banker plants: evaluation of release strategies for predatory mites. *Journal of Environmental Horticulture*, 18: 211–217.

Scarratt SL, Wratten SD, Shishehbor P, 2008. Measuring parasitoid movement from floral resources in a vineyard. *Biological Control*, 46: 107–113.

Schoonhoven LM, van Loon JJA, Dicke M, 2005. Insect-Plant Biology. Oxford :Oxford University Press. 1–421.

Shelton A, Badenes-Perez F, 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 51: 285–308.

Shelton A, Nault B, 2004. Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 23: 497–503.

Sigsgaard L, Betzer C, Naulin C, Eilenberg J, Enkegaard A, Kristensen K, 2013. The effect of floral resources on parasitoid and host longevity: Prospects for conservation biological control in strawberries. *Journal of Insect Sciecne*, 13: 104.

Simpson M, Gurr GM, Simmons AT, Wratten SD, James DG, Leeson G, Nicol HI, Orre-Gordon GUS, 2011. Attract and reward: combining chemical ecology and habitat manipulation to enhance biological control in field crops. *Journal of Applied Ecology*, 48: 580–590.

Stacey DL, 1977. Banker plant production of *Encarsia formosa* Gahan and its use in control of glasshouse whitefly on tomatoes. *Plant Pathology*, 26: 63–66.

Starý P, 1993. Alternative host and parasitoid in first method in aphid pest management in glasshouses. *Journal of Applied Entomology*, 116: 187–191.

Stephens M, France C, Wratten S, Frampton C, 1998. Enhancing biological control of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) by sowing buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) in an orchard. *Biocontrol Science and Technology*, 8: 547–558.

Straub CS, Finke DL, Snyder WE, 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control*, 45: 225–237.

Vet LE, Dicke M, 1992. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annual Review of Entomology*, 37: 141–172.

Walton NJ, Isaacs R, 2011. Survival of three commercially available natural enemies exposed to Michigan wildflowers. *Environmental Entomology*, 40: 1177–1182.

Wang KH, 2012. Cover crops as insectary plants to enhance above and below ground beneficial organisms. http://www.ctahr.hawaii.edu/ustainag/news/articles/V11-Wang-insectary-covercrops.pdf.

Winkler K, Wäckers FL, Kaufman LV, Larraz V, van Lenteren JC, 2009. Nectar exploitation by herbivores and their parasitoids is a function of flower species and relative humidity. *Biological Control*, 50: 299–306.

Wong SK, Frank SD, 2012. Influence of banker plants and spiders on biological control by *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Biological Control*, 63: 181–187.

Wong SK, Frank SD, 2013. Pollen increases fitness and abundance of *Orius insidiosus* Say (Heteroptera: Anthocoridae) on banker plants. *Biological Control*, 64: 45–50.

Xiao YF, Chen JJ, Cantliffe D, McKenzie C, Houben K, Osborne LS, 2011a. Establishment of papaya banker plant system for

parasitoid, *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphilidae) against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in greenhouse tomato production. *Biological Control*, 58: 239–247.

Xiao YF, Osborne LS, Chen JJ, McKenzie C, Houben K, Irizarry F, 2011b. Evaluation of corn plant as potential banker plant for supporting predatory gall midge, *Feltiella acarisuga* (Diptera: Cecidomyiidae) against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in greenhouse vegetable production. *Crop Protection*, 30: 1635–1642.

Yano E, 2006. Ecological considerations for biological control of aphids in protected culture. *Population Ecology*, 48: 333–339.

Zhou ZS, Xu ZF, Chen ZP, 2011. Co-efficacy of a trap crop, *Colocasia esculenta* (L.) Schott and a biological agent, *Spodoptera litura* Nuclear Polyhedral Virus on the tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* (Fabricius) in the tobacco field. *Pakistan Journal of Zoology*, 43: 689–699.

丁瑞丰, 王小丽, 徐遥, 李号宾, 汪飞, 王东, 孙世龙, 2008. 套种蜜源植物对杏-麦间作果园节肢动物群落的影响. 新疆农业科学, 45(5): 960–963. [DING RF, WANG XL, XU Y, LI HB, WANG F, WANG D, SUN SL, 2008. The effect of honey plants on arthropod community in apricot and wheat intercropping orchard. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 45(5): 960–963.]

董兆克, 高风娟, 张润志, 2009. 华北地区小麦-棉花-玉米害虫一体化综合防治. 粮食安全与植保科技创新:858–861 (会议论文). [DONG ZK, GAO FJ, ZHANG RZ, 2009. IPM of wheat–cotton–corn complex in northern China. In: *Proceeding of 2009 Annual Conference of China Society of Plant Protection*, 858–861.]

李先伟, 潘明真, 刘同先, 2013. BANKER PLANT 携带天敌防治害虫的理论基础与应用. 应用昆虫学报, 50(4): 890–896. [LI XW, PAN MZ, LIU TX, 2013. The theory and practice of using banker plant system for biological control of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 890–896.]

刘树生, 2000. 害虫综合治理面临的机遇、挑战和对策. 植物保护, 26(4): 35–38. [LIU SS, 2000. Opportunity, challenge and strategy of IPM. *Plant Protection*, 26(4): 35–38.]

吕建华 ,刘树生. 2008. 诱虫作物在害虫治理中的应用. 植物保护, 34(2): 1–6. [LÜ JH, LIU SS, 2008. Advances in application of trap cropping to IPM. *Plant Protection*, 34(2): 1–6.]

潘登，王岚岚，刘树生，李元喜，刘银泉，2013. 番茄感染双生病毒对叶毛密度和海氏桨角蚜小蜂搜寻行为及适合性的影响. 昆虫学报, 56(6): 644–651. [PAN D, WANG LL, LIU SS, LI YX, LIU YQ, 2013. Effects of begomovirus infection of tomato plants on leaf trichome density and foraging performance and fitness of *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of the whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(6): 644–651.]

孙月华, 邹军锐, 李景柱, 袁成明, 2009. 花粉在胡瓜钝绥螨控制西花蓟马中的作用. 山地农业生物学报, 28(3): 260–263. [SUN YH, ZHI JR, LI JZ, YUAN CM, 2009. The role of pollen in the effect of *Amblyseius cucumeris* (Acari:Phytoseiidae) on the control of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera:Thripidae). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 28(3): 260–263.]

唐超, 彭正强, 李洪, 吕宝乾, 金启安, 符悦冠, 万方浩, 2006. 不同营养源对椰甲截脉姬小蜂寿命, 寄生能力及子代的影响. 中国生物防治, 22(4): 313–315. [TANG C, PENG ZQ, LI H, Lü BQ, JIN QA, FU YG, WAN FH, 2006. Effect of different nutritional resources on the longevity, parasitic ability and quality of offspring of *Asecodes hispinarum*. *Chinese Journal of Biological Control*, 22(4): 313–315.]

肖英方, 毛润乾, 沈国清, Osborne LS, 2012. 害虫生物防治新技术—载体植物系统. 中国生物防治学报, 28(2): 1–8. [XIAO YF, MAO RQ, SHEN GQ, Osborne LS, 2012. Banker plant system: a new approach for biological control of arthropod pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(2): 1–8.]

肖英方, 毛润乾, 万方浩, 2013. 害虫生物防治新概念—生物防治植物及创新研究. 中国生物防治学报, 29(1): 1–10. [XIAO YF, MAO RQ, WAN FH, 2013. New concept of biological control: bio-control plants used for management of arthropod pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(1): 1–10.]

尤民生, 侯有明, 刘雨芳, 杨广, 李志胜, 蔡鸿娇, 2004. 农田非作物生境调控与害虫综合治理. 昆虫学报, 47(2): 260–268. [YOU MS, HOU YM, LIU YF, YANG G, LI ZS, CAI HJ, 2004. Non-crop habitat manipulation and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Entomologica Sinica* , 47(2): 260-268.]

于毅, 严毓骅, 1998. 苹果园植被多样化在果树害虫持续治理中的作用. 昆虫学报, 41(增刊): 82–90. [YU Y, YAN YH, 1998. A study on the plant diversity in apple orchards toward sustainable pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 41(Suppl): 82–90.]

张润志, 张广学, 1998. 相生植物在生物防治中的作用. 中国生物防治, 14(4): 176–180. [ZHANG RZ, ZHANG GX, 1998. The importance of mutual plants in biological control of pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 14(4): 176–180.]

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. [ZHENG XS, XU HX, CHEN GH, WU

JX, LÜ ZX, 2009. Potential function of Sudan grass and Vetiver grass as trap crops for suppressing population of stripped stem borer, *Chilo suppressalis* in rice. *Chinese Journal of Biological Control*, 25(4): 299–303.]

郑许松, 俞晓平, 吕仲贤, 陈建明, 徐红星, 2003. 不同营养源对稻虱缨小蜂寿命及寄生能力的影响. 应用生态学报,14(10): 1751–1755. [ZHENG XS, YU XP, LÜ ZX, CHEN JM, XU HX, 2003. Effects of different nutritional resources on the longevity and parasitic ability of egg parasitoid *Anagrus nilaparvatae*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(10): 1751–1755.]

邵军锐, 2006. 混合花粉对胡瓜钝绥螨生长发育和繁殖的影响. 湖北农业科学, 45(2): 200–202. [ZHI JR, 2006. Effect of pollens on *Amblyseius cucumeris*. *Hubei Agricultural Sciences*, 45(2): 200–202.]

朱平阳, 吕仲贤, Gurr G, 郑许松, Read D, 杨亚军, 徐红星, 2012. 显花植物在提高节肢动物天敌控制害虫中的生态功能. 中国生物防治学报 28(4): 583–588. [ZHU PY, LÜ ZX, Gurr G, ZHENG XS, Read D, YANG YJ, XU HX, 2012. Ecological functions of flowering plants on conservation of the arthropod natural enemies of insect pests in agroecosystem. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(4): 583–588.]