

农业景观害虫控制生境管理及植物配置方法*

戴漂漂¹ 张旭珠¹ 肖晨子¹ 张鑫¹ 宇振荣^{1,2} 刘云慧^{1,2**}

(1. 中国农业大学资源与环境学院 北京 100193;

2. 北京市生物多样性与有机农业重点实验室 中国农业大学 北京 100193)

摘要 集约化农业生产过程中, 化学农药所带来的大量环境问题日益引起关注。为减少农药的投入及其所产生的环境负效应, 生物防治害虫的方法在国内外得到了更多的关注与发展。生境管理是一种有利于天敌群落发展, 而不利于害虫种群增长的保护性生物防治方法, 其实质是通过为自然天敌提供诸如花蜜、替代猎物或寄主、躲避不利干扰的庇护所等资源, 将农业景观中天敌的害虫控制服务和功能最大化, 或者通过构建不适宜害虫取食和繁殖的环境条件起到抑制或阻碍害虫发展的作用。本文在参阅国内外文献的基础上, 阐述了生境管理控制害虫的机理, 并总结国外生物防治的实践经验以及近些年国内外的相关研究, 概括提出田间尺度上害虫生物防治的非作物生境及作物生境的建设和植物配置方法, 为通过生境管理提升农业景观中害虫生物防治生态系统服务提供参考。

关键词 农业景观 生境管理 植物选择 种植方式 生物害虫控制

中图分类号: Q14; Q16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2015)01-0009-11

Habitat management and plant configuration for biological pest control in agricultural landscapes

DAI Piaopiao¹, ZHANG Xuzhu¹, XIAO Chenzi¹, ZHANG Xin¹, YU Zhenrong^{1,2}, LIU Yunhui^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Beijing Key Laboratory of Biodiversity and Organic Farming/China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract The negative environmental effect of massive applications of chemical pesticides in intensive agricultural production practices has been a significant global concern. Therefore the rapid development of biological pest control in recent years is directed towards alleviating the negative impacts of intensified modern agricultural practices on the environment. Habitat management is an important conservation biological control approach that creates habitat conditions favorable to natural enemies but unfavorable to agricultural pests. Essentially, habitat management aims to maximize the function of biological control by providing natural enemies with resources (such as additional foods like nectar, alternative preys/hosts, and shelter from adverse conditions), or to suppress pests by making their habitats unfavorable. The appropriate selection and sound configuration of plants in agricultural landscapes are critical to successful habitat management. In this manuscript, we reviewed the mechanisms of habitat management for pest control. It was concluded that elaborate establishment of non-crop habitats and design of cropping systems were important habitat management approaches for improving biological control. We further proposed potential plant configuration models for biological control of pests in agricultural landscapes in China.

Keywords Agricultural landscape; Habitat management; Plant selection; Planting pattern; Biological pest control

(Received Aug. 4, 2014; accepted Nov. 12, 2014)

现代集约化农业生产过程中, 化学农药的使用在杀死害虫的同时, 也危害到天敌昆虫等其他非靶标生物以及人类的健康。且随着农药剂量的增加,

害虫抗药性增强、虫害大规模的爆发、新药物的继续研发陷入了恶性循环, 造成了远远超出农药使用时间和范围的环境污染及生态问题^[1-4]。为缓解这些

* 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014JD067)、环保公益性行业科研专项项目(2013467036)和国家自然科学基金项目(41271198)资助

** 通讯作者: 刘云慧, 主要研究方向为景观生态与生物多样性保护和利用, 景观格局与生态服务关系。E-mail: liuyh@cau.edu.cn

戴漂漂, 主要研究方向为景观生态学与生物多样性保护和利用。E-mail: piaopiao0729@163.com

收稿日期: 2014-08-04 接受日期: 2014-11-12

问题,防止恶性循环、减少化学农药的投入,近年来生物防治害虫的方法在国内外得到了诸多重视和加速发展。害虫生物防治主要是利用天敌昆虫、昆虫病原微生物、昆虫信息素、生物农药和转基因技术实现对害虫的控制^[5],其中对天敌昆虫的利用方法又可分为保护和招引本地天敌昆虫、人工大量繁殖和放养以及引进外来种^[6]。

在自然条件下约有 99% 的潜在有害生物能够被天敌控制^[7]。生境管理的目的即是通过尽可能模拟自然生态系统,提升人工管理和系统设计的方式,增加系统的多样性,从而避免害虫的大规模爆发。与其他生物防治方法相比,生境管理控制害虫的方法,不但可以大大减少各类药剂向环境中的投放量、人为频繁干扰以及药品研制、施用等环节中产生的成本与消耗,还可以降低虫害所造成的损失、提高作物产量。且从长远来看,该措施能够促进景观结构优化与多功能化,维持生态平衡,提高农业生态系统的稳定性^[8-9],促进农业生态系统自身调节能力的恢复和害虫自然持续控制水平的提升^[10-11]。因此,管理生境促进害虫控制是保护性生物防治的重要研究方向,且其在促进环境保护和提升生态系统服务等方面的多功能性应该得到更多的关注^[11-13]。

本文将在阐述生境管理控制害虫机理的基础上,通过概括、回顾欧洲国家的实践经验以及近几年国内外的相关研究,提出我国农业景观生物防治害虫的非作物生境及作物生境的建设和植物配置方法,为通过生境管理提升我国农业景观中害虫防治生态服务提供参考。

1 生境管理控制害虫机理

生境管理主要是利用生物多样性来控制害虫,通过在农业景观中建设适宜的生境,营造合适的植物多样性,满足天敌对不同资源的需求,以保护和吸引天敌、增强对害虫的有效控制^[14];或直接作用于害虫,干扰害虫对作物的为害。

在田间尺度上,生境管理通过人工管理增加农田生态系统中非作物植物或农作物的多样性来促进害虫防治的主要机理可归纳为以下几个方面^[12,15-17]:一方面,随着农田中植物物种多样性的增加,通过给天敌提供更加有利于其生存的环境和除作物之外的食物来源,如提供小气候更适宜的栖息地、产卵地、庇护所、越冬地等,提供持续的营养源(花蜜、花粉和蜜露)、替代猎物或寄主等,种植诱集植物(通过虫害诱导产生或自然释放的挥发物吸引天敌),使得天敌种群比在种植单一作物的系统中能够更好地发展

壮大,躲避不利的人为干扰,增加寿命、繁殖力、寄生或捕食能力等,以实现天敌对害虫更为有效的控制。另一方面,通过生境管理在时间和空间上增加农业生态系统中植物的多样性,利用时间或空间的阻隔(将较高大的植物作为屏障或间断种植寄主植物)、视觉伪装(为寄主植物作掩饰)、嗅觉刺激(利用植物挥发物对害虫的诱集及驱避作用或掩盖寄主植物的气味),阻碍或干扰害虫对寄主植物的寻找与定位,影响害虫的取食、迁移、交配、产卵等行为,不利于其增殖,从而降低害虫对作物的为害。

此外,生境管理还可以提高遗传多样性,增加作物的种类或品种、选用具有抗虫性(固有的或转基因)品种,从而不仅使作物自身拥有了较强抗虫性,也提升了整个系统抵御害虫的能力。

2 生境管理控制害虫的方法及植物配置

根据生境管理控制害虫的机理,在田间尺度上可以通过建立非作物生境以及对作物实行间套作、轮作和其他特定的种植格局,并结合适当的植物选择与配置,为天敌提供食物来源和栖息地,干扰害虫对寄主植物的寻找与定位,以促进害虫的生物防治。选择恰当的植物物种是实现生境管理控制害虫的关键,一般植物的选择应该满足如下标准^[11]:1)植物对害虫的天敌具有吸引力或者能够直接驱避害虫;2)对于植物所提供的资源(花粉、花蜜)或营造的环境条件,害虫的天敌能够利用且受益更多,而害虫或天敌的天敌几乎无法从中获益;3)植物的物候期如开花时间能够迎合天敌不同生长发育阶段的需求;4)植物为本地种,种子易获得,可适应农作环境,最好能就地取材、借鉴成功的应用案例。

2.1 非作物生境的建设及植物配置

农业景观中的非作物生境具有保护农田生物多样性及野生动植物、庇护和吸引天敌、增加传粉者、维持景观多样性、保持和净化水土等重要生态功能^[10]。在欧洲,保护和建设非作物生境已成为提升农业景观生物多样性保护和害虫生物防治等多种生态系统服务的重要措施,得到了较大范围的推广,常见的类型有树篱、多花带和甲虫堤。由于国内这方面的研究很少,这里主要介绍欧洲的经验。

2.1.1 树篱及其植物配置

树篱主要是由乔木和灌木构成的条带状景观要素,需人为进行管理^[18],一般宽约 3 m,长至少 20 m,木本植物种植的行距约为 0.5 m,株距 5~9 m,树篱两侧常具有缓冲草带。结构良好的树篱能够为重要害虫天敌持续且稳定地提供所需的资源与环境条件^[19],同时作为廊道也有助于益虫迁移以及向周边农作地

区扩散^[20-21]。树篱的植物配置主要针对所需保护的重要天敌和有待控制的害虫,因地制宜(根据气候条件、土壤性质、海拔、坡向等)地选择适应性较强的本地物种。新银合欢(*Leucaena leucocephala*)、黄荆(*Vitex negundo*)、马桑(*Coriaria nepalensis*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、山毛豆(*Tephrosia candida*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、山蚂蝗(*Desmodium racemosum*)、木蓝(*Indigofera tinctoria*)、合欢(*Albizia julibrissin*)、田菁(*Sesbania cannabina*)、柑橘(*Citrus reticulata*)、杏树(*Armeniaca vulgaris*)、海棠(*Malus spectabilis*)、槐(*Sophora japonica*)、榆(*Ulmus pumila*)、石榴(*Punica granatum*)等是国内常用的树篱物种^[22]。

2.1.2 多花带及其植物配置

多花带主要是由开花的草本植物混播而形成的

条带状景观要素^[23],富产花蜜和花粉,可为天敌提供充足的营养和替代食物,也可作为天敌的生境和庇护所。为取得较好的控害效果,多花带在农业景观中所占比例应至少有 5%~10%^[24]。在简单的景观(农田所占比例较大)中,多花带可显著增加天敌的密度和丰度,在保护天敌、提升害虫控制方面发挥的作用很大^[25]。多花带常含有豆科的三叶草(*Trifolium pratense*)、苜蓿(*Medicago* sp.)、野豌豆(*Vicia* sp.)、百脉根(*Lotus corniculatus*)、菊科的矢车菊(*Centaurea cyanus*)、蓼科的荞麦(*Fagopyrum esculentum*)等植物,可以选择多种本土常见物种均匀混合搭配(表 1),也可以针对不同的天敌昆虫有所偏重,例如种植金盏花(*Calendula officinalis*)、萝卜(*Raphanus sativus*)、白芥(*Sinapis alba*)等植物可以吸引较多的食蚜蝇^[23]。

表 1 部分欧洲国家“乡村发展项目(2007—2013)”框架下多花带植物配置方法^[23]

Table 1 Species constitution of flower strips of 'Rural Development Programme, 2007–2013' of some European countries^[23]

国家 Country	多花带混播植物种子的组成 Seed mixtures
奥地利 Austria	至少有两种开花植物,例如,钟穗花属植物、三叶草或向日葵,还可以含有禾本科草类 At least two flowering species, such as <i>Phacelia</i> sp., clover, sunflower, grasses
芬兰 Finland	含有钟穗花属植物、矢车菊、罂粟花等 <i>Phacelia</i> sp., cornflowers, poppies, etc
德国 Germany	有 30 种推荐的植物,其中必需须含有几种豆科植物,但含量不宜超过 10% 30 species were recommended, in which legumes species were essential, though rate of legumes was less than 10%
英国 United Kingdom	野花与禾本科或富产花粉和花蜜的显花植物(豆科)混合 Mixtures of wildflowers and grasses, or of phanerogam (legumes) rich in pollen/nectar
瑞士 Switzerland	通常含有 24~37 种野花,不含禾本科草类 Usually containing 24–37 wildflower species but grasses
瑞典 Sweden	推荐的植物包括三叶草、草木樨、天蓝苜蓿、百脉根、野豌豆以及菊苣 Recommended species include clover, melilot, black medic, bird's-foot-trefoil, vetch and chicory

2.1.3 甲虫堤及其植物配置

甲虫堤是建在大田中央的土堤,一般高约 0.4 m,宽 1~5 m,长有丰富的丛生草,可为天敌提供越冬地,扩大天敌春天到农田中捕食害虫的范围^[26]。甲虫堤通常适宜于面积超过 16 hm²、宽大于 400 m 的田块,当田块大于 30 hm² 时,应适当多建立两个。甲虫堤一般采用丛生草与豆科植物混播,丛生草占 60% 以上,常见的丛生草有鸭茅(*Dactylis glomerata*)、绒毛草(*Holcus lanatus*)、梯牧草(*Phleum pratense*)、牛尾草(*Festuca elatior*)等^[27-28]。如若希望再增加一些飞行的天敌昆虫,如食蚜蝇(syrphids)、寄生蜂(parasitoids)等,可以考虑增添播种一些高大的野花。在建设初期,甲虫堤上物种多样性或许较低,但随着时间的推移,超过 10 年后,即可与含有覆地草本和蜜源植物的农田边界相当,不仅增加了植物的多样性,也成为了捕食性天敌的长久庇护生境^[29]。

由于不同植物的性状存在差异,一些植物会令天敌受益,也有一些植物可能会促进害虫繁殖,要实现非作物生境的害虫防治效果最大化,在考虑植物区域适应性的同时,需要对植物种类进行比较研

究和谨慎选择。表 2 列举了可供选择的用于上述 3 种类型生境建设的植物种类,这些植物均具有吸引常见天敌昆虫、促进主要害虫控制的作用,而且大多数在我国分布较广或者有较大范围的栽培和引种,其中欧洲的黄花柳(*Salix caprea*)和欧榛(*Corylus avellana*)在我国有近似种黄花柳(*Salix sinica*)和榛(*Corylus heterophylla*),但窃衣属植物(*Torilis arvensis*)在我国没有分布。

2.2 作物生境多样化种植方式及植物配置

2.2.1 间套作及主要植物配置模式

间套作是在同一块土地上按照一定行、株距和占地宽窄比例种植多种作物,其中作物同时期播种称为间作,不同时期播种称为套种^[42]。间套作种植模式在我国的历史悠久,应用广泛,可提升诸多生态系统服务^[43],对几种主要种植作物的研究也显示采用特定的间套作模式能够实现虫害的控制(表 3)。

为提升害虫控制的效果、保证作物的产量,在设计间套作模式、配置作物时,需要注意遵循以下原则^[44-46]: 1)因地制宜,根据当地的气候、土壤、肥水等环境条件选择相适宜的作物; 2)互补配置,按照

表 2 非作物生境中用于控制害虫的植物种类选择
Table 2 Plant species selection for pest control in non-crop habitats

类型 Type	选择的植物 Selected plant	害虫 Pest	吸引的天敌 Natural enemy	参考文献 Reference
树篱 Hedges	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	禾谷缢管蚜, 麦长管蚜 <i>Rhopalosiphum padi</i> , <i>Sitobion avenae</i>	寄生蜂, 瓢虫 Parasitoids, ladybirds	[30]
	国槐, 白扞 <i>Sophora japonica</i> , <i>Picea meyeri</i>	蚱虫, 蚜虫 Coccoidea, <i>Aphids</i> sp.	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	[31]
多花带 Flower strips	黄花柳, 欧榛, 灰毛柳, 异株荨麻 <i>Salix caprea</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Salix cinerea</i> , <i>Urtica dioica</i>	梨木虱 <i>Psylla chinensis</i>	捕食性的花蝽 Predatory Anthocoridae	[32]
	黑麦草, 白三叶, 紫花苜蓿 <i>Lolium perenne</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Medicago sativa</i>	苹果绵蚜, 山楂叶螨, 小绿叶蝉 <i>Eriosoma lanigerum</i> , <i>Tetranychus viennensis</i> , <i>Empoasca flavescens</i>	瓢虫, 草蛉, 花蝽, 食蚜蝇, 姬蜂等 Ladybirds, lacewings, <i>Orius</i> sp., syrphids, species of <i>Lehneumonidae</i> , etc.	[33]
野胡萝卜, 苜蓿, 峨参, 葛缕子, 荞麦 <i>Daucus carota</i> , <i>Anethum graveolens</i> , <i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Carum carvi</i> , <i>Fagopyrum esculentum</i>	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	玉米螟, 黏虫, 麦蚜 Corn borers, armyworms, wheat aphids	捕食性步甲 Predatory carabids	[34]
	阿尔泰紫菀, 双色补血草 <i>Heteropappus altaicus</i> , <i>Limonium bicolor</i>	东亚飞蝗 <i>Locusta migratoria manilensis</i>	中国雏蜂虻 <i>Anastoechus chinensis</i>	[35]
荞麦, 矢车菊, 箭筈豌豆 <i>F. esculentum</i> , <i>Centaurea cyanus</i> , <i>Vicia sativa</i>	野胡萝卜, 苜蓿, 峨参, 葛缕子, 荞麦 <i>Daucus carota</i> , <i>Anethum graveolens</i> , <i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Carum carvi</i> , <i>Fagopyrum esculentum</i>	甘蓝夜蛾 <i>Mamestra brassicae</i>	中右侧沟茧蜂, 广寄生性姬蜂 <i>Microplitis mediator</i> , <i>Diadegma fenestratale</i>	[36]
	羊角芹, 牛至 <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Origanum vulgare</i>	菜粉蝶, 小菜蛾 <i>Pieris rapae</i> , <i>Plutella xylostella</i>	粉蝶盘绒茧蜂, 弯尾姬蜂 <i>Cotesia glomerata</i> , <i>Diadegma semiclausum</i>	[37]
匍匐委陵菜, 蓍草, 白三叶, 窃衣属植物 <i>Potentilla reptans</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Torilis</i> sp.	菜粉蝶幼虫, 豆象科幼虫, 鳞翅类 Larvae of <i>Pieris</i> sp. and various species of <i>Bruchidae</i> , <i>Lepidopteran</i> species	粉蝶盘绒茧蜂, 茧蜂, 黄痣黑瘤姬蜂 <i>Cotesia glomerata</i> , <i>Heterospilus prosopidis</i> , <i>Pimpla turionellae</i>	[38]	
	苹果小卷蛾 <i>Cydia pomonella</i>	茧蜂, 缨小蜂, 金小蜂 Species of <i>Braconidae</i> , <i>Mymaridae</i> and <i>Pteromalidae</i>	[39]	
甲虫堤 Beetle banks	鸭茅, 绒毛草 <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Holcus lanatus</i>	麦蚜 Wheat aphids	步甲, 隐翅虫, 蜘蛛 Predatory carabids, Staphylinid beetles, Spiders	[40]
	燕麦草, 梯牧草, 鸭茅 <i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Phleum pretense</i> , <i>Dactylis glomerata</i>	麦蚜 Wheat aphids	步甲, 隐翅虫 Species of <i>Carabidae</i> and <i>Staphylinidae</i>	[41]

株型高矮、枝型胖瘦、叶形尖圆、根系深浅、喜光耐阴、喜湿耐旱、生育期早晚、密度大小、行幅宽窄进行搭配, 减少作物之间的竞争并将资源利用效率最大化; 3) 趋利避害, 选择互利相生、少相克的作物或品种, 有助于根系对养分的吸收与利用及虫害的减轻和作物的茁壮生长; 4) 避免同科作物一同种植, 以免加重虫害的传播, 可适当地选择抗虫品种。

2.2.2 轮作及主要植物配置模式

轮作是在同一田地上有顺序地轮换种植不同作物或采用不同复种形式的种植方式^[68]。通过前后茬作物的搭配协调、紧密衔接, 不仅可以充分利用水分、养分等资源, 还可防止连作障碍、减轻虫害^[69]。轮作虽然较多地用来减少病害传播, 但也可有效减少专食性或寡食性、移动能力差的土壤害虫数量, 不过对其他虫害的防治具有局限性。国内关于轮作作物种类搭配、轮换顺序等控制虫害的试验研究(表 4)较少, 大多是根据害虫的食性选择轮换作物(不同科或非寄主作物), 然后再结合多项田间管理措施和化学农药进行综合防治, 关于定量化控制及增强防治效果的研究需要进一步展开。

2.2.3 其他种植格局与植物配置

除了传统的间套作和轮作, 还可以根据不同害

虫和天敌的习性以及植物本身的特征, 在作物生境中设计特殊的作物种植格局, 实现对害虫的有效控制, 例如条带式(在大田的中央、两侧或单侧)、四周环绕式和单株棋盘式等。在新疆靠近防护林的棉田边缘种植苜蓿带可以控制棉蚜^[78]。在河北省衡水市枣强县, 农民安金磊则环绕棉田四周套种了玉米来吸引鳞翅目的幼虫, 又种植了一圈芝麻用来驱避蚜虫, 在田中央则种了一小块小米(*Setaria italica*)供鸟类取食, 以促进鸟类对棉田害虫的控制(如图 1); 另外加之多年不施用化肥、除草剂和杀虫剂, 农田的多样性增加了, 使得棉田鲜有虫害爆发^[79]。对于专门吸引害虫的诱集植物, 如用于诱集烟粉虱的苘麻(*Abutilon theophrasti*), 则更适合单株棋盘式种植在大豆、棉花、甘蓝(*Brassica oleracea*)田里^[80-81]。在大豆地四周环绕或两侧条带式同期播种黄瓜(*Cucumis sativus*)作为诱集植物吸引迁入的烟粉虱, 再根据害虫烟粉虱的密度释放日本刀角瓢虫(*Serangium japonicum*), 则可以减少 60% 以上的害虫, 降低农药的使用^[82]。

3 讨论与展望

在农田生境中, 由于食物资源的高度集中提供,

表 3 国内主要作物可防治虫害的间套作模式
Table 3 Intercropping modes of main crops for pest control in China

主栽作物 Main crops	间套作植物 Intercropping plants	地区 Areas	控制的害虫 Target pests	参考文献 Reference
小麦 Wheat	油菜 <i>Brassica napus</i>	山东省泰安市 Tai'an City, Shandong Province	麦长管蚜 <i>Sitobion avenae</i>	[47]
	油菜或大蒜 <i>Brassica napus</i> or <i>Allium sativum</i>	山东省泰安市 Tai'an City, Shandong Province	麦长管蚜 <i>Sitobion avenae</i>	[48]
	蚕豆 <i>Vicia faba</i>	云南省玉溪市 Yuxi City, Yunnan Province	蚕豆蚜虫, 麦蚜, 蚕豆斑潜蝇 <i>Aphis craccivora</i> , wheat aphids, and <i>Liremyza huidobrensis</i>	[49]
	豌豆 <i>Pisum sativum</i>	河北省廊坊市 Langfang City, Hebei Province	麦长管蚜 <i>Sitobion avenae</i>	[50]
	荷兰豆 Tonka bean	河南省郑州市 Zhengzhou City, Henan Province	麦蚜 Wheat aphids	[51]
	小麦品种('北京 837'和'中四无芒') Wheat varieties ('Beijing 837' and 'Zhongsiwumang')	河北省廊坊市 Langfang City, Hebei Province	麦长管蚜 <i>Sitobion avenae</i>	[50]
(甜)玉米 Sweet corn or maize	绿豆 <i>Vigna radiata</i>	广西壮族自治区增城市 Zengcheng City, Guangxi Zhuang Autonomous Region	玉米螟, 玉米蚜虫, 斜纹夜蛾 <i>Ostrinia furnacalis</i> , <i>Rhopalosiphum maidis</i> , <i>Spodoptera litura</i>	[52]
	大豆或绿豆 <i>Glycine max</i> or <i>Vigna radiata</i>	江西省南昌市 Nanchang City, Jiangxi Province	玉米螟, 黄足蠹蛾 <i>Pyrausta nubilalis</i> , <i>Euborellia pallipes</i>	[53]
	马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i>	云南省 Yunnan Province	玉米螟, 马铃薯块茎蛾 <i>Pyrausta nubilalis</i> , <i>Phthorimaea operculella</i>	朱有勇* Zhu Y Y*
	红薯 <i>Ipomoea batatas</i>	江西省南昌市 Nanchang City, Jiangxi Province	玉米螟 <i>Pyrausta nubilalis</i>	[54]
	玉米品种('登海 1 号'和'豫玉 21 号') Maize varieties ('Denghai No.1' and 'Yuyu No.21')	河南省长葛市 Change City, Henan Province	玉米蚜虫 <i>Rhopalosiphum maidis</i>	[55]
棉花 Cotton	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	新疆维吾尔自治区莎车县 Shache County, Xinjiang Uygur Autonomous Region	蚜虫, 牧草盲蝽, 蓟马类 <i>Aphis</i> sp., <i>Lygus pratensis</i> , thrips	[56]
	小麦品种'Lovrin 10' Wheat variety of 'Lovrin10'	河北省邯郸市 Handan City, Hebei Province	棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	[57]
	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	甘肃省敦煌市 Dunhuang City, Gansu Province	棉蚜, 棉叶蝉, 烟粉虱, 棉蓟马 <i>Aphis gossypii</i> , <i>Empoasca biguttula</i> , <i>Bemisia tabaci</i> , <i>Thrips</i> sp.	[58]
	甘蓝型冬油菜 Winter rapeseed	山东省聊城市 Liaocheng City, Shandong Province	棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	[59]
	杏树(东西向) <i>Prunus armeniaca</i> (east-west direction tree line)	新疆维吾尔自治区莎车县 Shache, Xinjiang Uygur Autonomous Region	牧草盲蝽, 棉叶螨 <i>Lygus pratensis</i> , <i>Tetranychus urticae</i>	[60]
水稻 <i>Oryzasativa</i>	玉米 <i>Zea mays</i>	福建省武夷山市 Wuyishan City, Fujian Province	褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i>	[61]
苹果树 Apple trees	紫花苜蓿 + 黑麦草(2 : 1) <i>Medicago sativa</i> mixed with <i>Lolium multiflorum</i> (2 : 1)	北京市门头沟区 Mentougou District, Beijing City	蚜虫类, 红蜘蛛类, 鳞翅目幼虫等 Aphids, red spider mites, Lepidoptera larvae and so on	[62]
	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	山东省青岛市 Qingdao City, Shandong Province	苹果叶螨等 <i>Panonychus ulmi</i> and so on	[63]
	毛叶苕子 <i>Vicia villosa</i>	河南省郑州市 Zhengzhou City, Henan Province	叶螨 Mites	[64]
茶树 Tea trees	板栗 <i>Castanea mollissima</i>	安徽省合肥市 Hefei City, Anhui Province	叶蝉类, 蛾类 Leafhoppers, moths	[65]
	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	广西壮族自治区桂林市 Guilin City, Guangxi Autonomous Region	假眼小绿叶蝉 <i>Empoasca vitis</i>	[66]
	柠檬桉/薰衣草 <i>Eucalyptus citriodora</i> / <i>Lavandula pedunculata</i>	浙江省杭州市 Hangzhou City, Zhejiang Province	假眼小绿叶蝉 <i>Empoasca vitis</i>	[67]

引自朱有勇在中国农业大学生物多样性与有机农业北京市重点实验室第一次学术会议(2014年1月13日,北京)题为“作物多样性调控病虫害技术体系构建及应用”的报告内容。Cited from the report titled with “Establishment and application of the technical system for crop diversity to regulate diseases and insect pests” on the 1st Workshop of Beijing Key Laboratory of Biodiversity and Organic Farming (13th Jan, 2014, Beijing, China) by Zhu Youyong.

害虫容易爆发, 这客观上为天敌提供了丰富的食物来源。但是集约化农业生产中, 作物生境由于农事活动的频繁干扰, 天敌死亡风险增大、持续存在的可能性降低^[83]。相较之下, 非作物生境具有更稳定

和多样化的环境, 可以满足天敌的多项需求(例如越冬地、庇护所、替代食物与猎物等), 降低天敌死亡率, 有利于其在农业景观中的持续存在^[10-11]。因此, 合理地设计非作物生境和作物生境的空间配置, 可

表 4 国内可防治虫害的轮作模式研究
Table 4 Rotation modes for pest control in China

轮作模式 Rotation mode	控制的害虫 Target pest	地区 Area	参考文献 Reference
百合-晚/中稻-百合 Lily-late/mid rice-lily	蛴螬 Grubs	湖南省龙山县 Longshan County, Hubei Province	[70]
黑麦草-早稻-晚稻 Ryegrass-early rice-late rice	早稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	江西省南昌市 Nanchang City, Jiangxi Province	[71]
小麦/油菜-茶用菊花 Wheat/oilseed rape-tea chrysanthemum	蚜虫 <i>Aphids</i> sp.	湖北省武汉市 Wuhan City, Hubei Province	[72]
小麦-胡麻-甜脆豆 Wheat-flax-sweet broad pea	斑潜蝇, 蓟马 <i>Liriomyza</i> sp., <i>Thrips</i> sp.	甘肃省兰州市 Lanzhou City, Gansu Province	[73]
苏子-高粱-玉米 Perilla-sorghum-maize	根土蜂 <i>Stibaropus formosanus</i>	辽宁省凌海市 Linghai City, Liaoning Province	[74]
大蒜-烤烟 Garlic-flue cured tobacco	地老虎等 <i>Agrotis ypsilon</i> and so on	贵州省铜仁市 Tongren City, Guizhou Province	[75]
大豆-禾本科 Soyabean-grass	大豆根绒粉蚧 <i>Eriococcus</i> sp.	黑龙江省北安市 Bei'an City, Heilongjiang Province	[76]
水芹-夏甘蓝 Cress-cabbage	小菜蛾, 菜青虫 <i>Plutella xylostella</i> and <i>Pieris rapae</i>	江苏省南京市 Nanjing City, Jiangsu Province	[77]

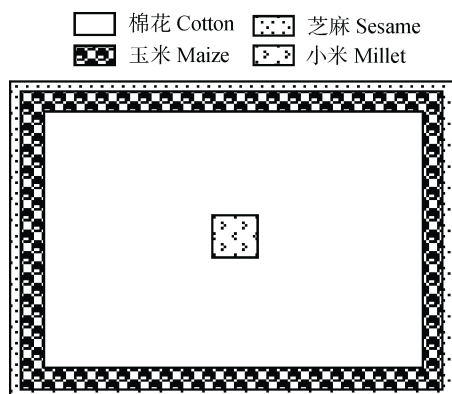


图 1 河北省衡水市枣强县农民安金磊的棉田种植格局示意图

Fig. 1 Planting pattern of AN Jinlei's cotton fields in Zaoqiang County, Hengshui City, Hebei Province

充分利用这两种生境在资源上的互补性, 令天敌能够在生境间来回迁移, 有利于促进农业景观天敌的保护和利用。然而, 在为天敌提供食物和栖息场所的同时, 非作物生境的这些资源也可能被害虫利用, 而助长了害虫的数量、活动及其危害性^[84-86], 且不同植物的选择与配置在保护天敌和控制害虫过程中所产生的效果不同^[11-12], 因此提供合适的植物多样性和恰当的功能植物显得尤为重要^[12,87]。而数目庞大的植物资源, 人类目前已经进行研究和测试的只是其中微不足道的部分, 植物资源的开发利用仍然是一项长期的任务。

在选择非作物生境的植物时, 除了之前提到的标准外, 还需要考虑植物的形态特征(株高、叶表面是否被毛、花冠筒的深和宽等)以及产生的挥发性物质, 这些皆会影响植物对天敌的吸引力、天敌对蜜源的可利用性^[38,88-89]以及植物对害虫的驱避或诱集效果。像食蚜蝇和寄生蜂喜欢花冠筒短、花粉和花蜜显露的植物, 若将不同性状的显花植物混种, 虽然植物种类增多、功能性状多样化, 但也会引来偏

爱长花冠筒的传粉者, 增加了益虫类群间的竞争, 使得竞争性弱的寄生蜂数量明显减少^[90]。因此, 需要尽可能地为特定的天敌类群提供特定的植物, 从而提升害虫控制的效益。另一方面, 在实践推广应用, 介于我国的粮食安全仍是长期保障的重点而土地资源有限的情况, 占用部分耕地的非作物生境的建设会受到一定的限制。但是, 面对不断突出的农村生态环境问题, 用于控制害虫的非作物生境建设应当与防风固沙、污染物吸附、空气净化、乡村环境美化、休闲旅游等多功能需求相结合, 提高有限土地的利用价值, 这也对植物的选择提出了进一步的要求。此外, 非作物生境的面积大小、间隔距离^[91]、生境结构(尤其是地表碎屑物的多样性)^[92]、生境的位置(例如树篱是否与林地相连^[93])、维持或管理的时间^[94]等因素, 也会影响天敌对害虫的控制, 需要更进一步深入研究以指导和满足更精准化的非作物生境建设及植物配置的需求。

对于作物生境而言, 不同作物的种植比例^[95]、农事措施(提前播种、品种选择、杂草管理、土壤管理、种植覆地植物、翻耕浇水等)^[96]、作物的种植格局等皆会对目标害虫和主要天敌的行为和迁移造成影响, 从而产生不同的害虫防治效果, 这些均需要精细化的研究和了解。同时需要综合考虑植物防治害虫效果的百分比、驱避或诱集害虫的作用距离、针对目标害虫时可能引发的次要害虫、植物物候期的配合及限时性、种植的面积和比例、方便采收、联合防治等问题^[42], 有助于建立合理且有效的间套作模式并满足现代规模化生产的需求。虽然传统的间套作往往停留在小面积的地块上, 但在云南大面积小麦/蚕豆间作控制病虫害的实践显示, 田间尺度作物的种植方式和配置在空间上扩大后实现害虫生物控制是可行的^[49]。对我国而言, 由于地域广阔, 气

候、种植作物等的多样化, 研究适宜不同地区、不同气候条件下可大面积推广的作物多样化配置和管理方式是重点。

无论是对于非作物生境的建设, 还是作物生境多样化种植模式的发展, 其核心都需要对植物、天敌、害虫及植物-害虫-天敌三者间相互作用的深入认识。以往的研究多以害虫为对象^[97], 对于天敌的生活习性、对资源与环境的需求以及行为特征的研究相对不足。虽然近些年植物-害虫-天敌之间的互作关系成为研究的热点^[98], 但多偏重进化生态学和化学生态学领域, 对于三者有较大尺度的时空动态分布、反馈调节机制等研究较少。未来应该在深入认识植物-害虫-天敌相互作用的基础上, 充分使用土地利用变化和种群分布等数据进行模拟和预测研究, 为大景观尺度上借助植物配置促进害虫防治的规划、预测和管理提供指导^[99-101]。此外, 生境管理本质上是一种生态系统管理促进害虫防治生态服务的方法。在目前农业景观已经受到集约化的深刻影响乃至破坏, 而在对不同尺度上植物-天敌-害虫相互作用及关系认识不足的情况下, 恢复和实现生态系统的平衡与和谐发展是一个漫长的过程。因此, 在通过生境管理实现害虫生物控制、修复化学农药带来的各种负环境效应的同时, 还需要完善配套的害虫监测、预警体系, 研究低毒高效的生物农药以及采取其他的物理防治等多种措施, 最大程度地降低虫害爆发的风险和带来的经济损失。

值得一提的是, 随着经济和城市化的快速发展, 当前一家一户的小规模、低效益的农业生产模式在不久的将来可能通过土地流转等方式向大规模的现代农业过渡, 未来我国农业可能进一步向规模化、机械化、专业化、设施化农业方向发展^[102]。欧洲农业在向规模化、现代化发展的过程中由于过度强调集约化和单一化种植, 造成景观和生物多样性降低、生态系统服务与功能减退等问题突出, 后又通过一系列农业环境计划, 鼓励景观和生境多样化保护和建设、鼓励作物多样化种植等, 来重建农业景观生态服务功能、促进农业的可持续发展^[103-104]。因此, 我国农业现代化的发展应当积极学习西方农业发展经验, 重视生境管理、作物多样化种植等对害虫控制等生态服务的维持和利用^[105]。事实上, 农业的规模化经营在另一方面也为通过生境管理恢复生态系统服务提供了机遇, 即: 规模化管理使得生态规划^[106]成为可能, 可以留出适合比例的非作物生境作为生态用地, 也能有足够的技术研究和支

持来指导通过合理的植物配置、景观规划更好地实现农田的害虫控制功能。当然这一切的实现, 同时也需要研究开发精准、智能、灵巧的农机设备以保证多样化的种植方式与格局以及生境建设可以规模化和机械化应用, 需要更多专家的指导以及农户、责任人等相关人员的配合、支持与落实, 需要制定相应的政策与措施对土地占用、产量减少、农药禁用等所产生的影响进行补偿, 并鼓励不同类型生境的建设与维护、多项生态服务的协同与融合, 从而最终推动农业景观的多功能化及可持续发展。

参考文献

- [1] 陈苏敏, 胡启山, 郭鹏程, 等. 农药污染及其危害的有效防控[J]. 现代农业科技, 2008(4): 94-95
Chen S M, Hu Q S, Guo P C, et al. Efficient prevention and control of pesticide pollution and hazards[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2008(4): 94-95
- [2] 张无敌, 张无畏. 农药的危害与有害生物综合防治[J]. 农业与技术, 1998, 18(4): 19-22
Zhang W D, Zhang W W. Pesticide, environment and development[J]. Agriculture and Technology, 1998, 18(4): 19-22
- [3] 王荫长, 韩召军. 我国农业害虫抗药性发生概况[J]. 昆虫知识, 1991, 28(2): 120-121
Wang M Z, Han Z J. General situation of agricultural pest insect resistance to insecticides in China[J]. Entomological Knowledge, 1991, 28(2): 120-121
- [4] 张广学. 从人类与自然协调共存谈害虫的自然控制[C]//农业部全国农业技术推广服务中心, 中国昆虫学会. 中国有害生物综合治理论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1996: 10-15
Zhang G X. Discussion on pest natural control in terms of harmonious co-existence between human and nature[C]//China Agricultural Technology Extension Service Centre and the Entomological Society of China. China Integrated Pest Management Conference Proceedings. Beijing: China's Agricultural Science and Technology Press, 1996: 10-15
- [5] 陈学新. 21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望[J]. 昆虫知识, 2010, 47(4): 615-625
Chen X X. Recent progress, existing problems and prospects in biological control of insect pests in China[J]. Entomological Knowledge, 2010, 47(4): 615-625
- [6] 林绍光. 天敌昆虫在生态农业中的应用[J]. 广西农学报, 2005(1): 41-44
Lin S G. The utilization of natural enemy-insect in organic agriculture[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2005(1): 41-44
- [7] DeBach P, Rosen D. Biological Control by Natural Enemies[M]. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 1991: 360
- [8] Naylor R L, Ehrlich P R. Natural pest control services and agriculture[M]//Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997: 151-174
- [9] Zhang W, Ricketts T H, Kremen C, et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture[J]. Ecological Economics, 2007, 64(2): 253-260

- [10] Marshall E J P, Moonen A C. Field margins in northern Europe: Their functions and interactions with agriculture[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 89(1/2): 5–21
- [11] Fiedler A K, Landis D A, Wratten S D. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: The role of habitat management[J]. *Biological Control*, 2008, 45(2): 254–271
- [12] Landis D A, Wratten S D, Gurr G M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture[J]. *Annual Review of Entomology*, 2000, 45: 175–201
- [13] 赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 等. 生境管理——保护性生物防治的发展方向[J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50(4): 879–889
Zhao Z H, Ouyang F, Men X Y, et al. Habitat management in biological control[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50(4): 879–889
- [14] Pickett C H, Bugg R L. *Enhancing Biological Control: Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests*[M]. London: University of California Press, 1998: 1–2
- [15] 朱有勇. 农业生物多样性控制作物病虫害的效应原理与方法[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2012: 215–239
Zhu Y Y. Principle and Application of Agrobiodiversity for Pest Management[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2012: 215–239
- [16] 王晶晶, 李正跃, 陈斌. 作物间作套种多样性控虫增产机制的研究概述[C]//云南省昆虫学会 2009 年年会论文集. 北京: 科学出版社, 2009: 305–314
Wang J J, Li Z Y, Chen B. Research overview of the mechanism of promoting intercropping diversity to control pest and increase yield[C]//2009 Annual Conference Proceedings of Entomological Society of Yunnan Province. Beijing: Science Press, 2009: 305–314
- [17] 董文霞, 徐宁, 肖春. 作物多样性种植对植食性昆虫行为的影响[J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50(4): 1133–1140
Dong W X, Xu N, Xiao C. The effect of diversified cropping on phytophagous insect behavior[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50(4): 1133–1140
- [18] Baudry J, Bunce R G H, Burel F. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2000, 60(1): 7–22
- [19] Boller E F, Häni F, Poehling H M. *Ecological Infrastructures: Ideabook on Functional Biodiversity at the Farm Level*[M]. Lindau, Switzerland: Swiss Centre for Agricultural Extension and Rural Development (LBL), 2004: 30–31
- [20] Debras J F, Senoussi R, Rieux R, et al. Spatial distribution of an arthropod community in a pear orchard (southern France) — Identification of a hedge effect[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 127(3/4): 166–176
- [21] Lavandero B, Figueroa C C, Franck P, et al. Estimating gene flow between refuges and crops: A case study of the biological control of *Eriosoma lanigerum* by *Aphelinus mali* in apple orchards[J]. *PLoS One*, 2011, 6(11): e26694
- [22] 李良涛, 刘文平, 肖禾, 等. 农业景观中植物篱的建设与管理[J]. *中国水土保持*, 2012(6): 26–29
Li L T, Liu W P, Xiao H, et al. Establishment and management of hedgerows in agricultural landscapes[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2012(6): 26–29
- [23] Haaland C, Naisbit R E, Bersier L F. Sown wildflower strips for insect conservation: A review[J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2011, 4(1): 60–80
- [24] Abivardi C. Flower strips as ecological compensation areas for pest management[M]//Capinera J L. *Encyclopedia of Entomology*. 2nd ed. Netherlands: Springer, 2008: 1489–1494
- [25] Haenke S, Scheid B, Schaefer M, et al. Increasing syrphid fly diversity and density in sown flower strips within simple vs. complex landscapes[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46(5): 1106–1114
- [26] Thomas M B, Wratten S D, Sotherton N W. Creation of ‘island’ habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and emigration[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1991, 28(3): 906–917
- [27] Holland J, Ellis S. Beneficials on farmland: Identification and management guidelines[M/OL]. HGCA, 2008[2014-05-01]. <http://www.hgca.com/media/185367/g42-beneficials-on-farmland-identification-and-management-guidelines.pdf>
- [28] RSPB. Farming for wildlife-beetle banks[M/OL]. University of Hertfordshire, 2011[2014–01-03]. <http://adlib.eversite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000IL3890W.16NTC0VRD TO2Q6>
- [29] Thomas S R, Noordhuis R, Holland J M, et al. Botanical diversity of beetle banks effects of age and comparison with conventional arable field margins in southern UK[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 93(1/3): 403–412
- [30] 石国庆, 林超文, 刘章勇, 等. 植物篱对小麦蚜虫及其天敌种群的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(12): 3265–3271
Shi G Q, Lin C W, Liu Z Y, et al. Effects of plant hedgerow on population dynamics of wheat aphid and its natural enemies[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(12): 3265–3271
- [31] 薛皎亮, 贺珺, 谢映平. 植物挥发物对天敌昆虫异色瓢虫的引诱效应[J]. *应用与环境生物学报*, 2008, 14(4): 494–498
Xue J L, He J, Xie Y P. Attractive effect of plant volatiles on *Harmonia axyridis* (Pallas)[J]. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 2008, 14 (4): 494–498
- [32] Cross J, Nagy C, Bakti M, et al. Conservation biocontrol of pear psyllids[J]. *Mitteilungen Klosterneuburg*, 2010, 60(4): 403–412
- [33] 赵雪晴, 谌爱东, 李向永, 等. 生草对苹果主要害虫与天敌种群发生的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2011, 27(4): 470–478
Zhao X Q, Chen A D, Li X Y, et al. Effect of cover crops on populations of insect pests and natural enemies in apple orchards[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27(4): 470–478
- [34] 董兆克, 杨龙, 张润志, 等. 捕食性步甲在玉米与牧草之间的迁移[J]. *中国生物防治学报*, 2009, 25(2): 102–106
Dong Z K, Yang L, Zhang R Z, et al. Dispersal patterns of carabids between maize field and pastures[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2009, 25(2): 102–106
- [35] 田方文, 孙福来, 张秀安. 蜜源植物与中国雏蜂虻发生关系的研究[J]. *农药*, 2003, 42(10): 45–46
Tian F W, Sun F L, Zhang X A. Research on the relationship of nectar plants and *Anastoechus chinensis*[J]. *Pesticides*, 2003, 42(10): 45–46
- [36] Géneau C E, Wäckers F L, Luka H, et al. Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2012, 13(1): 85–93
- [37] Winkler K, Wäckers F L, Kaufman L V, et al. Nectar exploitation by herbivores and their parasitoids is a function of flower species and relative humidity[J]. *Biological Control*,

- 2009, 50(3): 299–306
- [38] Wäckers F L. Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: Flower attractiveness and nectar accessibility[J]. *Biological Control*, 2004, 29(3): 307–314
- [39] Dib H, Libourel G, Warlop F. Entomological and functional role of floral strips in an organic apple orchard: Hymenopteran parasitoids as a case study[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2012, 16(2): 315–318
- [40] MacLeod A, Wratten S D, Sotherton N W, et al. Beetle banks as refuges for beneficial arthropods in farmland: Long-term changes in predator communities and habitat[J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2004, 6(2): 147–154
- [41] Collins K L, Boatman N D, Wilcox A, et al. Effects of different grass treatments used to create overwintering habitat for predatory arthropods on arable farmland[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 96(1/3): 59–67
- [42] 王英慧, 李为争, 刘珂, 等. 间作套种防治害虫的生态学机理[C]//中国昆虫学会. 华中三省(湖北、湖南、河南)昆虫学会 2008 年学术年会论文集. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2008: 38–48
- Wang Y H, Li W Z, Liu K, et al. Ecological mechanism of insect pest control by inter and relay cropping[C]//The Entomological Society of China. 2008 Academic Annual Conference Proceedings of Entomological Society of Three Provinces (Hubei, Hunan, Henan) in Central China. Wuhan: Hubei Science and Technology Publishing House, 2008: 38–48
- [43] 苏本营, 陈圣宾, 李永庚, 等. 间套作种植提升农田生态系统服务功能[J]. *生态学报*, 2013, 33(14): 4505–4514
- Su B Y, Chen S B, Li Y G, et al. Intercropping enhances the farmland ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4505–4514
- [44] 陈合, 卢兰香. 间作套种效益高注意事项要牢记[J]. *现代农村科技*, 2011(9): 17–18
- Chen H, Lu L X. Remember and pay attention to the matters about promoting efficiency of intercropping[J]. *Modern Rural Science and Technology*, 2011(9): 17–18
- [45] 李涛波, 李翠萍, 陈俊姣. 农作物间作套种的几点建议[J]. *农业开发与装备*, 2013(11): 110
- Li T B, Li C P, Chen J J. Suggestion about inter and relay cropping[J]. *Agricultural Development and Equipment*, 2013(11): 110
- [46] 徐庆良. 论农作物的间作套种[J]. *中国农资*, 2013(40): 149
- Xu Q L. Discussion on intercropping systems[J]. *China Agricultural Means of Production*, 2013(40): 149
- [47] 李盼, 王建国, 刘勇, 等. 小麦间作油菜对麦长管蚜天敌功能团的影响[J]. *江西植保*, 2010, 33(2): 64–68
- Li P, Wang J G, Liu Y, et al. Effects of wheat-oilseed rape intercropping on functional groups of main natural enemies of *Sitobion avenae*[J]. *Jiangxi Plant Protection*, 2010, 33(2): 64–68
- [48] 王万磊, 刘勇, 纪祥龙, 等. 小麦间作大蒜或油菜对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1331–1336
- Wang W L, Liu Y, Ji X L, et al. Effects of wheat-oilseed rape or wheat-garlic intercropping on the population dynamics of *Sitobion avenae* and its main natural enemies[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1331–1336
- [49] 杨进成, 刘坚坚, 安正云, 等. 小麦蚕豆间作控制病虫害与增产效应分析[J]. *云南农业大学学报*, 2009, 24(3): 340–348
- Yang J C, Liu J J, An Z Y, et al. Analyses on effect of interplanting on diseases and pests control and yield increase of wheat and faba bean[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2009, 24(3): 340–348
- [50] 周海波. 小麦间作豌豆及品种多样性对麦长管蚜的生态调控作用与机制探讨[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 21–23, 32–34
- Zhou H B. Effects of wheat-pea intercropping and genetic diversity of wheat varieties for ecological regulation on *Sitobion avenae*[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2009: 21–23, 32–34
- [51] 李素娟, 刘爱芝, 茹桃勤, 等. 小麦与不同作物间作模式对麦蚜及主要捕食性天敌群落的影响[J]. *华北农学报*, 2007, 22(1): 141–144
- Li S J, Liu A Z, Ru T Q, et al. Effects of different intercropping models on wheat aphids and their predator communities[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(1): 141–144
- [52] 田耀加, 梁广文, 曾玲, 等. 间作对甜玉米田主要害虫与天敌动态的影响[J]. *植物保护学报*, 2012, 39(1): 1–6
- Tian Y J, Liang G W, Zeng L, et al. Influence of intercropping on dynamics of insect pests, natural enemies and the damage of *Ostrinia furnacalis* in sweet corn field[J]. *Acta Phytolacica Sinica*, 2012, 39(1): 1–6
- [53] 黄国勤, 王小鸿, 曹开蔚, 等. 红壤旱地玉米不同间作方式研究[J]. *江西农业大学学报*, 2000, 22(1): 24–27
- Huang G Q, Wang X H, Cao K W, et al. Studies on maize intercropping systems under upland red soil[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2000, 22(1): 24–27
- [54] 蒋佩兰, 刘隆旺, 章志英, 等. 不同种植方式玉米田玉米害虫及其天敌与产量关系的研究[J]. *江西农业大学学报*, 1995, 17(1): 25–27
- Jiang P L, Liu L W, Zhang Z Y, et al. A study on the relationship between corn production and corn pests and their natural enemies under the condition of intercropping[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1995, 17(1): 25–27
- [55] 苏新宏. 不同基因型玉米间作效应研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2001: 37–39
- Su X H. Studies on intercropping effects of different genotypes maize[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2001: 37–39
- [56] 王伟, 姚举, 李号宾, 等. 新疆麦棉间作布局及麦棉比例与棉田捕食性天敌发生的关系[J]. *植物保护*, 2009, 35(5): 43–47
- Wang W, Yao J, Li H B, et al. Occurrence of predators in different cotton fields in south Xinjiang[J]. *Plant Protection*, 2009, 35(5): 43–47
- [57] Ma X M, Liu X X, Zhang Q W, et al. Assessment of cotton aphids, *Aphis gossypii*, and their natural enemies on aphid-resistant and aphid-susceptible wheat varieties in a wheat-cotton relay intercropping system[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2006, 121(3): 235–241
- [58] 陈明, 周昭旭, 罗进仓. 间作苜蓿棉田节肢动物群落生态位及时间格局[J]. *草业学报*, 2008, 17(4): 132–140
- Chen M, Zhou Z X, Luo J C. Niche and temporal pattern of arthropod community in cotton-alfalfa intercrop fields[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(4): 132–140
- [59] 曲仕绅, 王庆江. 利用油菜诱集天敌带防治棉蚜的初步研

- 究[J]. 山东农业科学, 1981(4): 32-35
 Qu S S, Wang Q J. Initial study on winter rapeseed strips used to attract natural enemies to control cotton aphids[J]. Shandong Agricultural Science, 1981(4): 32-35
- [60] 王伟, 姚举, 李号宾, 等. 杏棉间作对棉花害虫与捕食性天敌的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(S1): 1897-1901
 Wang W, Yao J, Li H B, et al. Effects of interplant of cotton and apricot on cotton pests and predators natural enemies[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(S1): 1897-1901
- [61] Yao F L, You M S, Vasseur L, et al. Polycultural manipulation for better regulation of planthopper populations in irrigated rice-based ecosystems[J]. Crop Protection, 2012, 34: 104-111
- [62] 迟全元, 王晓梅, 吴晓云, 等. 果树行间套种地被植物对天敌及害虫的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(7): 155-161
 Chi Q Y, Wang X M, Wu X Y, et al. Impact of orchard intercropped with different groundcovers on natural enemies and pests[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2011, 20(7): 155-161
- [63] 姜玉兰, 赵清春, 田淑彦, 等. 种草果园内的天敌调查及天敌对果树害虫的控制[J]. 山西果树, 2005(2): 7-9
 Jiang Y L, Zhao Q C, Tian S Y, et al. Investigation of natural enemies in the grass covered orchard and pest control[J]. Shanxi Fruits, 2005(2): 7-9
- [64] 陈汉杰, 张金勇, 陈冬亚, 等. 果园间作不同绿肥春季增殖害虫天敌的调查[J]. 果树学报, 2005, 22(4): 419-421
 Chen H J, Zhang J Y, Chen D Y, et al. Investigation on effects of growing green manure crops in an apple orchard on the population of natural enemies in spring[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(4): 419-421
- [65] 胡家春. 间作增进丘陵茶园昆虫多样性与制约蛾类害虫效应的研究[J]. 农技服务, 2009, 26(5): 76-78
 Hu J C. Study on the effect of intercropping on promoting insect diversity and controlling moths in a hilly tea plantation[J]. Agricultural Technology Services, 2009, 26(5): 76-78
- [66] 刘双弟. 不同间作模式对台刈茶园小绿叶蝉及其天敌种群数量的影响[J]. 中国园艺文摘, 2012, 28(6): 32-36
 Liu S D. Effects of different interplanting modes on population dynamics of *Empoasca pirusuga* and its natural enemies in collar pruning tea garden[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2012, 28(6): 32-36
- [67] 张正群. 非生境植物挥发物对茶树害虫的行为调控功能[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013: 57-58
 Zhang Z Q. Behavioral manipulating functions of non-host plant volatiles to main tea pests[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013: 57-58
- [68] 黄国勤, 熊云明, 钱海燕, 等. 稻田轮作系统的生态学分析[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 69-78
 Huang G Q, Xiong Y M, Qian H Y, et al. Ecological analysis on crop rotation systems in paddy field[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(1): 69-78
- [69] 尤民生, 刘雨芳, 侯有明. 农田生物多样性与害虫综合治理[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 117-122
 You M S, Liu Y F, Hou Y M. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 117-122
- [70] 李泽森, 何卫蓉, 彭建波, 等. 水旱轮作对龙山百合病虫害的控制效应[J]. 现代园艺, 2013(18): 9-10
 Li Z S, He W R, Peng J B, et al. Effect of rice-upland crop rotation on controlling lily diseases, insect pests and weeds in Longshan County[J]. Modern Horticulture, 2013(18): 9-10
- [71] 黄国勤, 黄禄星. 稻田轮作系统的减灾效应研究[J]. 气象与减灾研究, 2006, 29(3): 25-29
 Huang G Q, Huang L X. Research on the effects of crop rotation systems of paddy field on disaster reduction[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2006, 29(3): 25-29
- [72] 蒋细旺. 茶用菊花主要虫害危害特征及防治措施[J]. 江汉大学学报: 自然科学版, 2005, 33(2): 74-76
 Jiang X W. Major pests damage characteristics and control measures in tea chrysanthemum[J]. Journal of Jiangnan University: Natural Sciences, 2005, 33(2): 74-76
- [73] 李亚莉, 杨永岗, 张化生. 轮作与连作对高原夏季甜脆豆病虫害发生及产量的影响[J]. 北方园艺, 2012(2): 17-20
 Li Y L, Yang Y G, Zhang H S. Effect of rotation and continuous cropping on disease and insect pest epidemics and yield of plateau summer sweet broad pea[J]. Northern Horticulture, 2012(2): 17-20
- [74] 李晶忠, 陈宏图, 齐洪生. 苏子轮作防治根土蟥[J]. 新农业, 2012(4): 20
 Li J Z, Chen H T, Qi H S. Perilla rotation for root bug control[J]. New Agriculture, 2012(4): 20
- [75] 黄光荣. 不同轮作方式对烤烟病虫害及产量品质的影响[J]. 河南农业科学, 2009(5): 40-42
 Huang G R. The influence concerning different crop rotation models to pests and diseases of flue-cured tobacco, yield and quality of products[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009(5): 40-42
- [76] 王朝晖. 新害虫大豆根绒粉蚧的发生与防治对策[J]. 中国农村小康科技, 2009(3): 53-54
 Wang Z H. Development and controlling countermeasures of new soybean pest *Eriococcus* sp.[J]. Chinese Countryside Well-Off Technology, 2009(3): 53-54
- [77] 姜小龙, 于利, 王红, 等. 水芹与夏甘蓝轮作高效栽培技术[J]. 蔬菜, 2013(10): 34-37
 Jiang X L, Yu L, Wang H, et al. Highly efficient cultivation technology of cress-cabbage rotation[J]. Vegetables, 2013(10): 34-37
- [78] 张润志, 梁宏斌, 田长彦, 等. 利用棉田边缘苜蓿带控制棉蚜的生物学机理[J]. 科学通报, 1999, 44(20): 2175-2178
 Zhang R Z, Liang H B, Tian C Y, et al. Biological mechanism of using alfalfa strips nearby cotton fields to control cotton aphids[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(20): 2175-2178
- [79] 徐楠, 黄彬. 40 个世纪的农民奥秘[J]. 中华遗产, 2008, 32(6): 49-62
 Xu N, Huang B. Mystery of famers of forty centuries[J]. Chinese Heritage, 2008, 32(6): 49-62
- [80] 林克剑, 吴孔明, 张永军, 等. 利用诱集寄主苘麻防治 B 型烟粉虱的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1379-1386
 Lin K J, Wu K M, Zhang Y J, et al. Evaluation of piemarker *Abutilon theophrasti* (Medic) as a trap plant in the integrated management of *Bemisia tabaci* (biotype B) in cotton and soybean crops[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1379-1386
- [81] 谭永安, 柏立新, 肖留斌, 等. 苘麻对甘蓝田烟粉虱诱集效果及药剂防治评价[J]. 环境昆虫学报, 2011, 33(1): 46-51
 Tan Y A, Bai L X, Xiao L B, et al. The trapping effect of piemarker in cabbage fields for *Bemisia tabaci* and the

- evaluation of chemical control[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33(1): 46–51
- [82] 何玉仙, 赵建伟, 郑宇, 等. 利用日本刀角瓢虫结合诱集植物防治毛豆烟粉虱的方法: 中国, CN201110342480.6[P]. 2012-6-20 [2014-04-14]. http://d.g.wanfangdata.com.cn/Patent_CN201110342480.6.aspx
He Y X, Zhao J W, Zheng Y, et al. Method of *Serangium japonicum* combined with trap plants to control *Bemisia tabaci* in green soybeans: China, CN201110342480.6[P]. 2012-6-20 [2014-04-14]. http://d.g.wanfangdata.com.cn/Patent_CN201110342480.6.aspx
- [83] Tscharrntke T, Bommarco R, Clough Y, et al. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale[J]. *Biological Control*, 2007, 43(3): 294–309
- [84] 尤民生, 侯有明, 刘雨芳, 等. 农田非作物生境调控与害虫综合治理[J]. *昆虫学报*, 2004, 47(2): 260–268
You M S, Hou Y M, Liu Y F, et al. Non-crop habitat manipulation and integrated pest management in agroecosystems[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47(2): 260–268
- [85] Pfiffner L, Luka H, Schlatter C, et al. Impact of wildflower strips on biological control of cabbage lepidopterans[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 129(1/3): 310–314
- [86] Eilers E J, Klein A M. Landscape context and management effects on an important insect pest and its natural enemies in almond[J]. *Biological Control*, 2009, 51(3): 388–394
- [87] 陈学新, 刘银泉, 任顺祥, 等. 害虫天敌的植物支持系统[J]. *应用昆虫学报*, 2014, 51(1): 1–12
Chen X X, Liu Y Q, Ren S X, et al. Plant-mediated support system for natural enemies of insect pests[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51(1): 1–12
- [88] Patt J M, Hamilton G C, Lashomb J H. Foraging success of parasitoid wasps on flowers: Interplay of insect morphology, floral architecture and searching behavior[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1997, 83(1): 21–30
- [89] Sivinski J, Wahl D, Holler T, et al. Conserving natural enemies with flowering plants: Estimating floral attractiveness to parasitic Hymenoptera and attraction's relationship to flower and plant morphology[J]. *Biological Control*, 2011, 58(3): 208–214
- [90] Campbell A J, Biesmeijer J C, Varma V, et al. Realising multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2012, 13(4): 363–370
- [91] Kruess A, Tscharrntke T. Species richness and parasitism in a fragmented landscape: Experiments and field studies with insects on *Vicia sepium*[J]. *Oecologia*, 2000, 122(1): 129–137
- [92] Langellotto G A, Denno R F. Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: A meta-analytical synthesis[J]. *Oecologia*, 2004, 139(1): 1–10
- [93] Haenke S, Kovács-Hostyánszki A, Frund J, et al. Landscape configuration of crops and hedgerows drives local syrphid fly abundance[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 51(2): 505–513
- [94] Thies C, Tscharrntke T. Landscape structure and biological control in agroecosystems[J]. *Science*, 1999, 285(5429): 893–895
- [95] Shelton A M, Badenes-Perez F R. Concepts and applications of trap cropping in pest management[J]. *Annual Review of Entomology*, 2006, 51: 285–308
- [96] Médiène S, Valantin-Morison M, Sarthou J P, et al. Agroecosystem management and biotic interactions: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31(3): 491–514
- [97] 丁岩钦, 戈峰. 中国昆虫生态学五十年(1949—1999)[J]. *昆虫知识*, 2000, 37(1): 18–23
Ding Y Q, Ge F. Research of insect ecology for fifty years (1949—1999) in China[J]. *Entomological Knowledge*, 2000, 37(1): 18–23
- [98] 戈峰, 吴孔明, 陈学新. 植物-害虫-天敌互作机制研究前沿[J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48(1): 1–6
Ge F, Wu K M, Chen X X. Major advance on the interaction mechanism among plants, pest insects and natural enemies in China[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48(1): 1–6
- [99] Hunter M D. Landscape structure, habitat fragmentation, and the ecology of insects[J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2002, 4(3): 159–166
- [100] Simon S, Bouvier J C, Debras J F, et al. Biodiversity and pest management in orchard systems: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30(1): 139–152
- [101] Chaplin-Kramer R, O'Rourke M E, Blitzer E J, et al. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity[J]. *Ecology Letters*, 2011, 14(9): 922–932
- [102] 马守义, 沈国清. 我国农业未来发展趋势[J]. *农业图书情报学刊*, 2007, 19(1): 122–125
Ma S Y, Shen G Q. Future developing trend of agriculture in China[J]. *Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*, 2007, 19(1): 122–125
- [103] 李文秀, 李丽丽, 栾胜基. 欧盟现代农业转型对中国农业环境保护的启示[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(10): 3003–3005
Li W X, Li L L, Luan S J. Implications of transformation of EU modern agriculture for China's agro-environmental protection[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(10): 3003–3005
- [104] Ovenden G N, Swash A R H, Smallshire D. Agri-environment schemes and their contribution to the conservation of biodiversity in England[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35(6): 955–960
- [105] 刘彦随, 吴传钧. 国内外可持续农业发展的典型模式与途径[J]. *南京师大学报: 自然科学版*, 2001, 24(2): 119–124
Liu Y S, Wu C J. Typical models and approach of sustainable agricultural development in foreign and home[J]. *Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition*, 2001, 24(2): 119–124
- [106] 苗泽伟. 我国现代农业发展趋势与生态农业建设[J]. *农业现代化研究*, 2000, 21(3): 171–174
Miao Z W. Implication of modern agriculture and Chinese eco-agriculture construction[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2000, 21(3): 171–174