

昆虫野花带在农业景观中的应用

吴学峰, 高亦珂, 谢哲城, 徐俊

引用本文:

吴学峰, 高亦珂, 谢哲城, 等. 昆虫野花带在农业景观中的应用[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10): 1481–1491.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190330>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

乡土野花组合在农业景观中的应用

Application of native wildflower mixtures in agricultural landscapes

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(12): 1846–1856 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190262>

农业景观害虫控制生境管理及植物配置方法

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

中国生态农业学报. 2015(1): 9–19 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.140898>

北京昌平农业景观传粉服务供给和需求评估研究

Evaluation of pollination service supply and demand of agricultural landscape in Changping District, Beijing

中国生态农业学报. 2018, 26(1): 16–26 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170566>

农业景观生物多样性功能和保护对策

Functions and countermeasures of biodiversity conservation in agricultural landscapes: A review

中国生态农业学报. 2017, 25(7): 993–1001 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160960>

北京昌平区农业景观野生蜂多样性的时空动态分布

Temporal–spatial dynamics of wild bee diversity in agricultural landscapes in Changping District, Beijing

中国生态农业学报. 2018, 26(3): 357–366 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170829>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190330

吴学峰, 高亦珂, 谢哲城, 徐俊. 昆虫野花带在农业景观中的应用[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10): 1481–1491

WU X F, GAO Y K, XIE Z C, XU J. Application of wildflower strips for agricultural landscaping[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(10): 1481–1491

昆虫野花带在农业景观中的应用*

吴学峰, 高亦珂**, 谢哲城, 徐俊

(北京林业大学园林学院 北京 100083)

摘要: 在农业景观中, 昆虫野花带是以混播等方式, 建植在农田、果园、菜地等农地边缘的条状或片状生态缓冲区。通过配置不同功能植物形成植物群落, 为自然天敌及传粉者提供蜜粉源和栖息地, 改善农地生境质量; 强化害虫天敌支持系统, 达到提高授粉率、减少农药使用、改良修复农地土壤、净化水源、抑制杂草等多样的生态系统服务功能。本文回顾了昆虫野花带的应用发展历程, 涵盖了中西欧发达国家及美国等地。不同国家昆虫野花带侧重不同, 瑞士、比利时等国家作为昆虫野花带的源头, 最早将生态保育的思想运用于农业生产, 并付诸生态补偿机制的实践; 英国昆虫野花带有政策的细化支持, 应用方式丰富; 美国以本土植物的开发、草原生境的修复及重要传粉者保护为研究与实践的重点。中国的农地周边由于外来物种入侵、人为干预严重等造成了景观异质性低、生境破碎化, 亟待引入昆虫野花带的技术手段, 进行生境管理与规划。中国的昆虫野花带研究仍处于发展初期, 缺少实际应用。未来, 中国昆虫野花带的发展, 首先要针对现有非作物生境植物群落以及各类昆虫群落开展动态监测与调查, 在大尺度上划定生态保护区域, 分析现有生境格局, 构建生态网络, 研究昆虫野花带的规划方案, 分清主次和功能需求, 并根据节肢动物功能团的时空动态变化, 确定最佳群落结构, 保持昆虫野花带生境与其他自然与半自然生境的功能连接度, 保留多样的景观因素。

关键词: 花卉混播; 传粉者; 生境管理; 昆虫野花带; 生态系统服务

中图分类号: S181; S731.7

文章编号: 2096-6237(2019)10-1481-11

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Application of wildflower strips for agricultural landscaping*

WU Xuefeng, GAO Yike**, XIE Zhecheng, XU Jun

(School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Wildflower strips in the agricultural landscape are constructed in strip or matrix forms as buffers on headlands, orchards, vegetable fields, etc. by means of mixture sowing. By combining different functional plants into communities, the wildflower strips provide nectar and pollen resources as well as habitats for natural enemies and pollinators. They also contribute in improving the quality of habitats; strengthen the support system for natural enemies; and provide different ecosystem services, such as improving pollination rates, reducing pesticide use, improving and restoring farmland soil, purifying water sources, and inhibiting weeds. The application and development of wildflower strips in Central and Western Europe and the United States were reviewed in this study. Wildflower strips originated in Switzerland but were first applied with the intention of ecological conservation in agricultural settings in Belgium. Over time, the ecological compensation mechanism improved in

* 国家自然科学基金面上项目(31770736)资助

** 通信作者: 高亦珂, 主要研究方向为园林植物应用与生态。E-mail: gaoyk@bjfu.edu.cn

吴学峰, 主要研究方向为园林植物应用与生态。E-mail: 2636203727@qq.com

收稿日期: 2019-05-04 接受日期: 2019-06-25

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (31770736).

** Corresponding author, E-mail: gaoyk@bjfu.edu.cn

Received May 4, 2019; accepted Jun. 25, 2019

these countries. In United Kingdom, wildflower strip application occurred with strong, detailed policy support involving the use of a variety of methods. However, in the United States, the promotion of native plants, grassland habitat restoration, and the conservation of key pollinators were emphasized. In China, the lack of landscape heterogeneity and habitat fragmentation was mainly caused by the invasion of exotic species and human intervention. The introduction of these methods of wildflower strip implementation as a means for habitat management and planning was crucial. The study on wildflower strip usage in China was still in the early stages of development and was not yet to be practically applied at larger scales. In the future, wildflower strip implementation would be initiated with simultaneous dynamic monitoring and investigation of plant community interactions along with various insect communities in existing non-crop habitats. These investigations will provide the data necessary to construct ecological networks after delimitation of ecological protection areas on a large scale. In addition, these studies will facilitate decision-making on suitable vegetation structures to combine natural and semi-natural habitats based on spatial and temporal dynamics of arthropod functional groups.

Keywords: Wildflower meadow; Pollinators; Habitat management; Wildflower strip; Ecosystem services

传粉昆虫为农作物提供了重要的传粉生态服务, 害虫自然天敌为农业生产提供了生物防治功能。如在美国, 传粉者和害虫天敌能提供每年 45 亿美元的生态系统服务价值^[1], 包括作物产量的提升、野生植物群落的维系等^[2]。二战后集约化的耕作方式、农药的使用、气候变化等导致农地节肢动物生境破碎甚至消失, 尤其是专一食性的特化传粉者、独居性传粉者等更易消失, 农地生境管理迫在眉睫, 这关系着地球生态环境和人类社会的健康发展。

传粉者和害虫天敌的生境管理主要针对其在景观尺度中的活动、觅食等需求, 进行其生境的保护、重建或修复及管理。重点在于调整其活动范围内的景观资源布局、各类生物间的竞争-合作关系等。这种对农业生态系统的结构性调整具体体现在: 1) 构建农田边界的非作物生境, 如树篱(hedgerows)、昆虫野花带(wildflower strips)、禾草带(grass margins)、甲虫堤(beetle banks)等, 提供丰富的蜜粉源、永久的庇护所等; 2) 多样化的农作物种植, 间作、轮作等避免作物种类单一化导致的传粉者等同质化; 3) 利用现有农田附近的景观资源(森林、河流、湖泊、田间原生野花群落等), 以保护为主, 设置生态焦点区域(ecological focus areas, EFA), 即农业景观中的一些面积较小具有生态价值的半自然栖息地或保护区, 在此实施休耕政策^[3-6]。

昆虫野花带是一种以混播方式建植于农田、果园、菜地等农地边缘, 呈条状或片状的生态缓冲区。通过配置不同功能植物形成植物群落, 为传粉者、害虫天敌提供蜜粉源和栖息地, 改善农地生境质量; 具有强化害虫天敌支持系统, 达到提高授粉率、减少农药使用、改良修复农地土壤、净化水源、抑制杂草等多样的生态系统服务功能。昆虫野花带通过增加花量、开花植物的多样性以及不同的植被结构吸引多样的传粉者, 改善传粉者生境。较之其他生

态保育的途径, 最大优势在于易于建植与转化, 如可以根据作物类型、目标昆虫偏好、景观美学价值等灵活选择混播物种。

不同国家对农业景观中昆虫野花带的称谓不尽相同, 常见的称法有 wildflower strip/wildblumenstreifen(通用)、wildflower plantings(德国、美国)、blühstreifen/bande fleurie/flower strip(比利时、法国)、weed strip(瑞士、德国)等^[7-10]。本文以 wildflower strip(昆虫野花带)为这类保育型非农植物带的代表名称, 简称“昆虫野花带”。

1 昆虫野花带的功能

昆虫野花带是多种生境交替融合的生态缓冲区, 为传粉昆虫提供粉蜜源, 更提供了活动、繁殖、栖息的场所, 使其完成全部的生命周期。多年生的野花带以 0.08~0.8 hm² 的面积最能维持稳定的野生传粉者群落, 且与农田的距离应控制在 30 m 以内^[11-12], 如与其他生境管理方式如树篱、树林等区域形成完整的生态网络, 能发挥更多样的功能。

1.1 为昆虫提供蜜粉源和庇护场所, 改善农地生境质量

昆虫野花带支持的传粉者类群丰富, 包括传统上人工管理养殖的蜂种、蝶类、蛾类等。不同的昆虫野花带植物组成、结构、形式、数量等对不同访花者的移动、取食偏好、寄主选择等均有影响。此外, 昆虫野花带的群落组成在时间、空间上的变化会满足不同传粉者对生境及食源质量的需求。昆虫野花带中有花植物资源的丰富度、可用性对传粉者类群的觅食、庇护作用, 对农作物产量和质量影响最大; 昆虫野花带永久性的半自然或自然生境对传粉者的筑巢、迁徙等至关重要。譬如熊蜂属(*Bombus* spp.)是对传粉生态系统服务功能贡献最大的泛化传粉者, 其对生境的要求选择范围广、食性多样, 种类

丰富的野花带则恰恰投其所好; 而长喙天蛾属 (*Macroglossum* spp.) 等特化传粉者, 食源狭窄, 移动缓慢, 栖息地局限, 通常对特殊功能植物的依赖性更强, 譬如美国的黑脉金斑蝶 (*Danaus plexippus*) 野花带中的植物应含有其寄主——马利筋属 (*Asclepias* spp.)、其他蜜源植物、暖季型禾草等^[13-14]。

大尺度的昆虫野花带建设, 配置植物时强调生态缓冲区的完整性, 以弥补破碎的生境斑块; 植物种类丰富、宽度较大的昆虫野花带更能支持多样的传粉者类群; 特殊功能植物占比较大的昆虫野花带可以支持特殊的传粉者类群。一些研究证明, 昆虫野花带的景观背景、空间位置也会影响传粉者的种群数量、规模等。如大尺度条件下, 建植于森林边缘与农田交接地带的昆虫野花带比在裸地中对传粉者更有利, 在农田边缘比农田中间更合适; 小尺度条件下, 如家庭农场的草莓 (*Fragaria×ananassa*) 园, 建植在农地中心的昆虫野花带更能提升传粉的有效性^[15-17]。

1.2 强化害虫天敌支持系统, 减少农药使用

害虫天敌常分为两类: 一为捕食性天敌 (predator), 包括瓢虫 (Coccinellidae)、草蛉 (Chrysopidae)、花蝽 (Anthracoridae)、食蚜蝇 (Syrphidae)、蜘蛛 (Araneae) 以及步甲 (Carabidae) 等; 二为寄生性天敌 (parasitoids), 如寄生蜂 (parasitoid wasp) 等 (表 1)。害虫天敌在农业

生态系统中是关键类群。昆虫野花带能强化害虫天敌的支持系统, 植被高度及结构的复杂性会为不同的昆虫提供生境体系, 而生境结构又影响着昆虫群落的多样性和数量^[18]。例如 Tschumi 等^[9]比较了瑞士中部有无昆虫野花条带参与的冬小麦 (*Triticum aestivum*) 田, 通过对野花带植被特点如阔叶植物和禾草的覆盖比例、每种开花植物的花或花序的数量等进行多次评估以及不同区域小麦田调查后发现, 临近昆虫野花带的小麦田害虫卵数减少 44%, 而小麦产量也随着昆虫野花带中花密度和阔叶植物覆盖面积的增加而提高。自然天敌的聚集及寿命的延长、繁殖率的提高等也需要辅助食源的支持, 在作物收割后因为作物生境害虫的消失, 而使其向其他植被区域移动, 一是寻找相似的害虫食源或寄主 (如寄生蜂), 二是利用蜜粉源补充体力, 三是寻找植被作为栖息庇护场所或利用其枝干进行筑巢。另外, 还有一部分天敌昆虫偏好在植物的茎秆、叶片上产卵, 例如菜粉蝶 (*Pieris rapae*) 常在十字花科 (Brassicaceae) 植物茎、叶上产卵等; 低矮开阔的植被结构适合蝶类幼虫中喜好温暖生境的种类; 高大且密集的植被结构能满足步甲等昆虫越冬、渡过极端条件, 高大密集的植被能提供更多食物资源且更为隐蔽, 比低矮植被能容纳更多昆虫种类^[19-20]。

表 1 野花带群落中有益节肢动物功能团及与其相关的植物群落关键功能性状

Table 1 Beneficial arthropod functional groups and relative key functional traits in the wildflower strip community

主要自然天敌及传粉者功能团		相关植物群落关键功能性状
Main natural enemy & pollinator functional group		Key functional traits related to wildflower strip community
自然天敌 功能团 Natural enemy functional group	捕食性天敌 Predators	蜻科、蜓科、螳科、跳蛛科、蟹蛛科、狼蛛科、皿蛛科、冠层密度、冠层结构、冠幅、冠层高度、株高、茎干结构 管巢蛛科、猫蛛科、球腹蛛科、步甲科、虎甲科、隐翅虫 科、瓢甲亚科、姬蜂科、猎蝽科、跳蝽科、花蝽科、花萤 科、郭公甲科、草蛉科 Libellulidae, Aeshnidae, Coenagrionidae, Salticidae, Thomisi- dae, Lycosidae, Linyphiidae, Clubionidae, Oxyopidae, Theridii- dae, Carabidae, Cicindelidae, Staphylinidae, Coccinellinae, Nabidae, Reduviidae, Saldidae, Anthracoridae, Cantharidae, Cleridae, Chrysopidae
	寄生性天敌 Parasitoids	姬蜂总科、小蜂总科、广腹细蜂总科、细蜂总科、瘦蜂总 科、锤角细蜂总科、青蜂总科、寄蝇科 Ichneumonidae, Chalcidoidea, Platygastroidea, Proctotry- poidea, Cynipoidea, Diaprioidea, Chrysidoidea, Tachinidae
		初花期、冠层密度、冠层结构、单株花量、花序蜜量、 紫外光反射、花序类型、花色、冠幅、冠层高度、株高、 茎干结构、花期、花序高度、传粉者报酬 Initial blooming stage, canopy density, canopy structure, flower number per plant, inflorescence nectar volume, flower UV light reflectance, inflorescence type, flower color, canopy width, canopy height, plant height, stem structure, flowering duration, inflorescence height, flower pollinator and type of reward.
传粉者 功能团 Pollinator functional group	蝇类 Flies	丽蝇科、蝇科 Calliphoridae, Muscidae
	社会性蜂类 Social bees	蜜蜂科、熊蜂科 Apidae, Bombidae
	独居蜂类 Solitary bees	地蜂科、条蜂科、分舌蜂科、隧蜂科、切叶蜂科 Andrenidae, Anthophoridae, Colletidae, Halictidae, Mega- chilidae
	蝶类 Butterflies	灰蝶科、蛱蝶科、凤蝶科、粉蝶科、蛱蝶科 Lycaenidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Riodinidae
	蛾类 Moths	天蛾科、斑蛾科 Sphingidae, Zygaenidae
	弄蝶类 Hesperidae	
	蚁类 Formicidae	

真正能做到控制虫害、减少农药使用的昆虫野花带, 不仅能提供天敌的生境条件, 还能满足一定量植食性昆虫(害虫)的需求。具有转移农作物虫害和维持植物群落中完整的食物链, 为天敌提供作物害虫以外的补充食源的功能, 但需控制害虫种群密

度。因此昆虫野花带中需要配置一定的寄主植物、诱集植物(表 2)。天敌靶向的昆虫野花带在设计时需考虑受保护作物的常见害虫及其天敌的取食偏好、寄主选择等, 如不同植物的花型、花色、蜜粉含量等均能影响天敌的活动能力、范围等。

表 2 昆虫野花带中常见诱集植物、寄主植物及其吸引的主要害虫种类
Table2 Common trap crops & host plants along with the main pests in the wildflower strip

诱集及寄主植物种类 Trap crop & host plant	已知吸引的主要害虫种类 Attracted pest
蓍属 <i>Achillea</i>	长管蚜属、小长管蚜属、斜纹夜蛾属幼虫
霍香蓟属 <i>Ageratum</i>	<i>Macrosiphum</i> , <i>Macrosiphoniella</i> , <i>Prodenia</i> larva
葱属 <i>Allium</i>	瘤蚜属、葱蚜属、蓟马属、地种蝇属、潢尺蛾属幼虫、条跳甲属
庭荠属 <i>Alyssum</i>	<i>Myzus</i> , <i>Neotoxoptera</i> , <i>Thrips</i> , <i>Delia</i> , <i>Xanthorhoe</i> larva, <i>Phyllotreta</i>
茴香属 <i>Anethum</i>	二尾蚜属、西圆尾蚜属、凤蝶属幼虫
当归属 <i>Angelica</i>	<i>Cavariella</i> , <i>Dysaphis</i> , <i>Papilio</i> larva
春黄菊属 <i>Anthemis</i>	黑潜蝇属、植潜蝇属幼虫、蚜属、凤蝶属幼虫 <i>Melanagromyza</i> , <i>Phytomyza</i> larva, <i>Aphis</i> , <i>Papilio</i> larva
紫菀属 <i>Aster</i>	异盲蝽属、粉蚧属、同斑螟属幼虫 <i>Polymerus</i> , <i>Pseudococcus</i> , <i>Homoeosoma</i> larva
鹄蚌属 <i>Baptisia</i>	冬夜蛾属、球果尺蛾属、花象属、草盲蝽属 <i>Cucullia</i> , <i>Eupithecia</i> , <i>Anthonomus</i> , <i>Lygus</i>
芸薹属 <i>Brassica</i>	豆粉蝶属、小食心虫属幼虫、新绢蓟马属 <i>Colias</i> , <i>Grapholita</i> larva, <i>Neohydatothrips</i>
青葙属 <i>Celosia</i>	粉蝶属幼虫、斑潜蝇属、苜蓿盲蝽属、野螟属 <i>Pieris</i> larva, <i>Liriomyza</i> , <i>Adelphocoris</i> , <i>Hellula</i>
胡萝卜属 <i>Daucus</i>	斜纹夜蛾属幼虫、小长管蚜属 <i>Prodenia</i> larva, <i>Nysius</i>
翠雀属 <i>Delphinium</i>	双尾蚜属、斑潜蝇属、凤蝶属幼虫 <i>Cavariella</i> , <i>Liriomyza</i> , <i>Papilio</i> larva
石竹属 <i>Dianthus</i>	短尾蚜属、实夜蛾属、指管蚜属、植潜蝇属幼虫 <i>Brachycaudus</i> , <i>Heliothis</i> , <i>Uroleucon</i> , <i>Phytomyza</i> larva
松果菊属 <i>Echinacea</i>	蚜属、瘤蚜属、盗夜蛾属、斜纹夜蛾属幼虫 <i>Aphis</i> , <i>Myzus</i> , <i>Hadena</i> , <i>Prodenia</i> larva
蓝蓟属 <i>Echium</i>	同斑螟属、球果尺蛾属幼虫、指管蚜属 <i>Homoeosoma</i> larva, <i>Eupithecia</i> larva, <i>Uroleucon</i>
飞蓬属 <i>Erigeron</i>	斜唇盲蝽属、短尾蚜属 <i>Plagiognathus</i> , <i>Brachycaudu</i>
泽兰属 <i>Eupatorium</i>	姬花蚤属、异盲蝽属、冬夜蛾属幼虫、蚜属 <i>Mordellistena</i> , <i>Polymerus</i> , <i>Cucullia</i> larva, <i>Aphis</i>
拉拉藤属 <i>Galium</i>	长跗跳甲属、秆野螟属、疆夜蛾属、球果尺蛾属、缢管蚜属、瘤蚜属
山桃草属 <i>Gaura</i>	<i>Longitarsus</i> , <i>Ostrinia</i> , <i>Peridroma</i> , <i>Eupithecia</i> , <i>Rhopalosiphum</i> , <i>Myzus</i>
向日葵属 <i>Helianthus</i>	跳甲属、波翅天蛾属、长管蚜属 <i>Altica</i> , <i>Proserpinus</i> , <i>Macrosiphum</i>
蛇鞭菊属 <i>Liatris</i>	顶灯蛾属、大蓟马属、白灯蛾属、同斑螟属、粉蝶属幼虫、蚜属
锦葵属 <i>Malva</i>	<i>Estigmene</i> , <i>Megalurothrips</i> , <i>Spilosoma</i> , <i>Homoeosoma</i> , <i>Pieris</i> larva, <i>Aphis</i>
苜蓿属 <i>Medicago</i>	无网长管蚜属、桥夜蛾属、绵粉蚧属、蚜属 <i>Acyrtosiphon</i> , <i>Anomis</i> , <i>Phenacoccus</i> , <i>Aphis</i>
月见草属 <i>Oenothera</i>	无网长管蚜属、潜蝇属、根瘤象属 <i>Acyrtosiphon</i> , <i>Agromyza</i> , <i>Sitona</i>
罂粟属 <i>Papaver</i>	跳甲属、蚜属、长管蚜属、波翅天蛾属 <i>Altica</i> , <i>Aphis</i> , <i>Macrosiphum</i> , <i>Proserpinus</i>
蓼属 <i>Persicaria</i>	蚜属、长管蚜属、无网长管蚜属 <i>Aphis</i> , <i>Macrosiphum</i> , <i>Acyrtosiphon</i>
毛茛属 <i>Ranunculus</i>	剑纹夜蛾属、肖叶甲属、小卵象属、短尾蚜属 <i>Acronicta</i> , <i>Colaspis</i> , <i>Homoeosoma</i> , <i>Brachycaudus</i>
蔊菜属 <i>Rorippa</i>	长须卷蛾属幼虫、狭叶甲属、短角叶蜂属 <i>Sparganothis</i> larva, <i>Prasocuris</i> , <i>Monophadnus</i>
金光菊属 <i>Rudbeckia</i>	粉蝶属、蚜属、铃夜蛾属、疆夜蛾属 <i>Pieris</i> , <i>Aphis</i> , <i>Helicoverpa</i> , <i>Peridroma</i>
酸模属 <i>Rumex</i>	同斑螟属幼虫、萼潜蝇属、指管蚜属 <i>Homoeosoma</i> larva, <i>Calycomyza</i> , <i>Uroleucon</i>
鼠尾草属 <i>Salvia</i>	肖叶甲属、苜蓿盲蝽属、蚜属、长管蚜属、粉蚧属 <i>Colaspis</i> , <i>Adelphocoris</i> , <i>Aphis</i> , <i>Macrosiphum</i> , <i>Pseudococcus</i>
千里光属 <i>Senecio</i>	红节天蛾属、绵粉蚧属 <i>Sphinx</i> , <i>Phenacoccus</i>
菊蒿属 <i>Tanacetum</i>	萼潜蝇属、短尾蚜属、指管蚜属 <i>Calycomyza</i> , <i>Brachycaudus</i> , <i>Uroleucon</i>
车轴草属 <i>Trifolium</i>	短尾蚜属、小长管蚜属 <i>Brachycaudus</i> , <i>Macrosiphoniella</i>
旱金莲属 <i>Tropaeolum</i>	球果尺蛾属、豆粉蝶属幼虫、根瘤象属、潜蝇属、叶瘿蚊属、跳盲蝽属、无网长管蚜属、苜蓿盲蝽属、草盲蝽属、蓟马属
毛蕊花属 <i>Verbascum</i>	<i>Eupithecia</i> , <i>Colias</i> larva, <i>Sitona</i> , <i>Agromyza</i> , <i>Dasineura</i> , <i>Halticus</i> , <i>Acyrtosiphon</i> , <i>Adelphocoris</i> , <i>Lygus</i> , <i>Thrips</i>
马鞭草属 <i>Verbena</i>	粉蝶属幼虫、斑潜蝇属 <i>Pieris</i> larva, <i>Liriomyza</i>
婆婆纳属 <i>Veronica</i>	乌夜蛾属、黑小卷蛾属、微刺盲蝽属幼虫 <i>Melanchra</i> , <i>Endothenia</i> , <i>Campylomma</i> larva
野豌豆属 <i>Vicia</i>	微刺盲蝽属、黑小卷蛾属幼虫、长管蚜属、白灯蛾属
	<i>Campylomma</i> , <i>Endothenia</i> larva, <i>Macrosiphum</i> , <i>Spilosoma</i>
	蚜属、瘤蚜属 <i>Aphis</i> , <i>Myzus</i>
	豆粉蝶属、云卷蛾属幼虫、无网长管蚜属、蚜属、小绿叶蝉属
	<i>Colias</i> , <i>Cnephasia</i> larva, <i>Acyrtosiphon</i> , <i>Aphis</i> , <i>Empoasca</i>

1.3 改良、修复农地土壤, 净化农地水源

长期农药的使用导致农地土壤板结、肥力下降, 不仅限制了原生植物根系生长, 也不利于土栖昆虫的地下筑巢。瑞士研究者对建植 5~6 年的昆虫野花带土壤菌群研究发现, 绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*, 一种昆虫病原真菌)的菌落数量显著高于无昆虫野花带的谷物种植田, 而农地的土壤结构也得到了自上及下的改良^[21]。另外昆虫野花带还可以提供较长期的土壤覆盖, 减轻土壤侵蚀, 含有豆类植物昆虫野花带植物还田后可以有效提高土壤肥力; 在邻近水域的区域, 一些超积累及富集植物的组合还可以有效控制土壤污染物, 消解氮、磷污染, 如可消减浅层地下水中 90% 的硝酸盐, 控制源头污染; 同时一些高大的禾草如柳枝稷(*Panicum virgatum*)为主的混播组合还可以避免农地土壤有机物的流失^[22-24]。英国在其环境管理计划中以豆类-花卉植生草皮、6~12 m 宽的禾草带等来控制玉米(*Zea mays*)和冬小麦农田的土壤侵蚀控制, 净化水源^[25]。

1.4 抑制农地杂草

相对于自然更新的一、二年生昆虫野花带组合而言, 植物种类丰富、覆盖能力迅速的多年生野花带更能控制当地优势杂草的入侵。欧洲的昆虫野花带组合中常用本土寄生草本如鼻花属(*Rhinanthus* spp.)、山罗花属(*Melampyrum* spp.)等列当科(Orobanchaceae)植物来抑制当地竞争型禾草的生长^[26-27], 提高昆虫野花带的物种多样性。相比早期自然更新的田间非作物种植区, 农民更青睐于花卉植物丰富、恶性杂草较少的野花带及丛生禾草带^[28]。另外, 覆盖作物组合可以保持稳定的土壤温度、降低地表透光率, 抑制其余草种生长, 故常用于轮作、间作系统中杂草的防治^[29]; 使用一定量细叶型禾草参与昆虫野花带建植也可起到相似作用, 还可保持良好视觉效果, 例如, 使用洋狗尾草(*Cynosurus cristatus*)、细弱剪股颖(*Agrostis capillaris*)等细叶型禾草与夏枯草(*Prunella vulgaris*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、蓍(*Achillea millefolium*)等本土野花组合, 较之鸭茅(*Dactylis glomerata*)、狐尾草(*Alopecurus pratensis*)等丛生禾草与野花的组合更稳定^[25]。多数国家昆虫野花带宽度在 2~4 m 以上, 基本符合杂草种子传播距离, 即一般性种子传播距离为 1 m, 有特殊结构(如冠毛等)可以扩散至 7~12 m, 秋冬季清除野花带刈割后残茬, 可有效控制杂草种子向农田生境扩散^[30]。

以上昆虫野花带的综合功能不仅针对农业生产和农业生态, 而且还具有一定的文化及美学功能。

农田中昆虫野花带以其鲜明的色彩和视觉冲击成为画面的主题, 例如 19 世纪的印象派作品《田间采花》(*Picking flowers in a field*, Mary Cassatt, 1875)、《热维耶的黄色田野》(*The Yellow Fields at Gennevilliers*, Gustave Caillebotte, 1884)、《遍开虞美人的田野》(*Field with Poppies*, Vincent Van Gogh, 1889)等。第一次世界大战期间, 比利时等地田间常见的虞美人(*Papaver rhoeas*)花带因《在佛兰德斯战场》(*In Flanders Fields*, John McCrae, 1915)一诗对战死兵士的追思而成为此后怀旧、向往和平的象征。昆虫野花带的存在寄托了人们对荒野自然的联想、向往, 也营造了良好的视觉景观效果。

综上所述, 昆虫野花带改善了农地生境质量, 改善了农业生态中的土壤、水质以及害虫支持系统, 有效抑制杂草, 优化视觉效果, 降低集约农业的景观同质化、破碎生境等负面影响, 促进生物多样性提升, 是农地边界重要的生境管理工具。20 世纪中后期昆虫野花带被人们重新发掘, 兼顾其生态功能和文化价值, 并在欧美各国农业景观中不断发展, 延续非作物种植传统, 发挥重要的生态系统服务功能。

2 国外昆虫野花带的发展、政策制定及应用现状

欧洲各国为了应对传粉者生境破坏、生物多样性下降以及作物产量减少等问题, 从 20 世纪 70 年代开始制定并实行了农业环境管理计划(agri-environmental schemes, AES)^[13], 而建植昆虫野花带是其中的重要内容, 80 年代后期开始了一段长时间的探索。1986 年, 瑞士康斯坦斯湖区(Lake Constance region)最早在果园中出现了农民自发播种建植的蜜源植物种植带^[8], 紧随其后的是以瑞士为主的各国生态学家对果园、农田覆盖植物的形式、功能方面的研究、试点^[31-32]。最早在农田应用的是混播禾草带(甲虫堤), 目的是有利于农田无脊椎动物的越冬保护^[33]。一段时间的试点后, 禾草带的功能不再能满足生态保育的综合需求, 德国“绿岛项目”(Grüninsel programm)等生态保育工程开始向推广新混播组合(Saatgutmischung)(80%禾草, 20%花卉)^[34], 与单一功能的禾草带并行发展, 开花植物参与的昆虫野花带开始大面积农田试点, 并在中西欧国家中扩散。此后, 各国相继出台了类似国家传粉者策略(national pollinator strategy)等重要政策法规^[35], 相应政策下产生的 The B-Lines Programme、Get Britain Buzzing 等计划、方案, 都将昆虫野花带作为绿色基础设施的

一部分,上升为一项国家指导、公众广泛参与的生态保育运动。在昆虫野花带研究上,多数国家已有 20 余年的历史,主要为集群研究和大规模实践,以英国、瑞士、比利时、法国、德国等为主,在农业环境计划指导下,农民自发建立昆虫野花带为主的缓冲区域构成了欧洲连贯的农地栖息地网络^[36]。对农民而言,在国家政策指引下,昆虫野花带的低维护成本及 3~5 年后显著的生产效益极具吸引力,近

年来对农民或农场主的调查发现,多数人听取了政府的针对性意见,身体力行,并积极反馈,认同生境管理后带来的生态系统服务价值;实施 3~5 年以上的昆虫野花带,大部分欧洲国家在昆虫(包括稀有物种)种群密度等方面较传统农业环境管理方式显著提升^[31]。欧洲各国的决策者更注意其适应性设计与民意调查的结合,同时不断满足高水平的生物多样性^[37-38](表 3)。

表 3 各国农地野花带植物构成、宽度及管理方式对比

Table3 Comparison among various countries in plant composition, width & management of wildflower strips

国家 Country	植物构成 Plants component	野花带宽度 Width of wildflower strip	管理方式 Management
英国 United Kingdom	本土野花和少量外来草地植物为主体,有时与禾草、豆科植物混播 Mainly include native wildflowers and little exotic grassland plants, sometimes mix with grasses and legumes	2~6 m, 传粉靶向型条带最好在 6 m Generally 2~6 m for pollinators, 6 m is the best width	播种第 1 年后每年 9 月中旬后修剪 1 次,传粉型条带可于冬季刈割 After first-year sowing, better to mow after mid-September; for pollinator strips, mowing can be delayed in winter
瑞士 Switzerland	24~37 种花卉植物,本土野花为主,一般无禾草 24~37 flora species, mainly are native, generally without grasses	常为 3~4 m Generally 3~4 m	官方建议一年刈割 1 次,实际未执行 Relevant departments advise to mow once a year, but fail on practice
比利时 Belgium	禾草-花卉混播(禾草 85%,豆类 4%,多年生 11%) Mixture of grasses and flowers (85% grasses, 4% legumes, 11% perennials)	/	整体花期前后可刈割 Mowing after or before overall blooming time
德国 Germany	一般多达 30 种植物,混播组合中必有少于 10% 的豆科植物 More than 30 species, at least 10% legumes	常为 3~24 m Generally 3~24 m	整体花期前后可刈割 Mowing after or before overall blooming time
法国 France	早期(1997 年左右)以一、二年生花卉组合为多,后期优选为 4~6 种或更多覆盖力强的多年生植物组合 Annual and biennial mixtures prevailed in the early stage (around 1997), till now, perennial mixtures including 4~6 species occupy the priority	/	整体花期前后可刈割 Mowing after or before overall blooming time
美国 The United States	多年生植物以北美草原物种为主,一、二年生以美国南部、南美及欧亚大陆原产植物为主 Most perennial species native to Prairies, annuals and biennials mainly from Southern United States, South America and Eurasia	/	粗放管理 Extensive management

美国建立了国家性传粉者计划以及农田缓冲带保护建设计划。亚洲国家以日本为主,处于初步发展阶段,但在农田生态保育方面主要重视弃耕田植被更新与田间野生植物群落的保护等。在欧美各国,市场上已经出现了与研究者合作开发的适应多种生境条件(干旱、中生、湿生等),或针对多种传粉者保育以及不同景观效果的野花带组合,为大规模、快速建植应用做出巨大贡献。

国外目前对野花带研究结果主要集中在提供蜜粉源、寄主植物等的生境管理功能以及景观效果方面,进行了蜜粉源植物、诱集植物、寄主植物等功能植物的筛选与配比。比较欧美不同国家,使用频率最高的植物有野胡萝卜、艾菊叶钟穗花(*Phacelia*

tanacetifolia)、西洋滨菊(*Leucanthemum vulgare*)、矢车菊(*Centaurea cyanus*)、蓍、蓝蓟(*Echium vulgare*)、香雪球(*Lobularia maritima*)、虞美人等。共涉及 30 余科、80 多属,以豆科(Fabaceae)、菊科(Asteraceae)、十字花科、伞形科(Apiaceae)为主,这些科的植物是访花昆虫的主要蜜粉源。不同国家昆虫野花带的植物种配比不同,大都为蜜源植物和寄主植物,利用昆虫野花带在农田系统中增加天敌、传粉者和分解者等的种类与种群数量,促进生境管理功能的发挥。二大类植物参与昆虫野花带的构建、功能实现的要点在于选择花期长且花期连续的植物。

2.1 英国

英国的传统牧场自 19 世纪以来形成了独特的

植物景观, 乡村田间的树篱维持农业生产秩序, 在障隔土地的同时为野生动物提供居所。树篱附近则常为自然更新的野花地, 遍布草甸毛茛(*Ranunculus acris*)、柔毛猪殃殃(*Galium mollugo*)等野花。英国的农业用地约占国土面积的 76%, 以冬季播种的农作物(冬小麦等)为主^[39]。其昆虫野花带的政策制定和应用从 20 世纪 90 年代中后期开始。在早期欧盟一般性农业政策(Common Agricultural Policy, CAP)影响下, 于 1987 年左右将保护野生传粉者的一揽子计划作为农业环境计划的重要部分, 从法律层面上一度推行环境管理办法(Environmental Stewardship, ES), 其中包含了两项内容: 一般管理条例(entry level stewardship, ELS)和高级管理条例(higher level stewardship, HLS)。ELS 至 2013 年已在英国 64.6% 的农业用地中实施, 其中针对蝶类、蜂类等昆虫的生境保护, 推行了豆科为主的蜜源植物野花带、禾草野花带等; HLS 包含了多样的本土蜜粉源植物资源, 涉及了原生草甸的修复与重建, 整体以可用蜜量最大化作为筛选标准^[40]。两种管理条例均由政府提供资金支持, 根据农民意愿灵活实施, 至少 10% 的农田区域有野生动物生境, 其中 4% 建设为高质量的蜜粉源野花带^[40]。2014 年, 为期 10 年的国家传粉者策略正式公布, 重点鼓励昆虫野花带为主的环境管理办法的推行^[41-43], 到 2015 年, 环境管理办法正式更新为乡村管理计划(countryside stewardship scheme, CSS), 在未来 5 年中将向农民分发 9.25 亿英镑, 鼓励采用包括野花带在内的增强生物多样性、改善环境的农业生态工程措施。该计划由两部分构成: 对应之前 HLS 的高级计划(Higher Tier), 以保育型野花带介入, 针对重点保护地带的生态修复、生境管理; 中级计划(Middle Tier)则以大面积农田传粉者和鸟类栖息地改善为目标, 截至 2018 年, 已推出了 18 种诸如 AB1 Nectar flower mix(蜜源组合)、AB3 Beetle banks(甲虫堤组合)等野花带组合, 农民可根据需求而选择^[44]。这次的调整实际上是空间优化、功能细分的过程, 综合考虑了景观水平的生物多样性、作物生产目标、环境背景、保育对象等。至此, 英国的农地昆虫野花带整体形成了全面的决策机制, 在近 10 年中, 诸多生态学家陆续实施了野花带、禾草带的长期监测、追踪、评估与反馈^[45-47]。

2.2 瑞士、比利时

在瑞士, 占国土面积 40% 的草地已开垦耕种, 自 1993 年开始在部分地区实施了生态补偿机制(ecological compensation), 在农田等小尺度生境保护中

实施, 约 10 万 hm^2 的草甸、草原及农田被规划为生态补偿区(ecological compensation area, ECA), 除大面积草甸斑块的修复、管理外, 主要利用 7% 的农业用地建植树篱及含有 30 多种本土草本植物的野花带^[48-49]。至今瑞士的生态保育型野花带已有近 25 年的发展历史, 给农民带来了可观的收入。同时自 1993 年起, 农民需遵守生态交叉遵守制度(ecological cross compliance), 以利于昆虫野花带建设的真正落实^[50-51]。自 2010 年起, 政府每年对每公顷农地拨发约 2 800 瑞士法郎(CHF)的补贴用于昆虫野花带等生态补偿机制的落实, 2014 年开始, 国家政策的重心为鼓励更多农场主、农民建设昆虫野花带, 研究更多的配方组合, 进行商业推广。

比利时于 20 世纪 80 年代末开始昆虫野花带植物的筛选工作^[31], 而农业环境计划的研究重点在于本土干草草原及其生物多样性保护, 而生境保护、管理的方案多由当地非营利组织如 Natagriwal 等研讨并公布^[52]。2005 年, 瓦隆政府推出了 11 组关于“人工野花带”(‘managed-strips’)的农业环境计划方案, 至 2013 年已建成 1 275 km 长的野花带^[53]。未来, 比利时的昆虫野花带研究重点放在混播组合的优化、生物防控型野花带的开发等^[54]; 而 Amy 等^[55]通过最近几年对农作物间作系统中野花带功能的研究, 对其不同应用形式(大面积单播或混播等)与农民利益、农村经济及生态补偿的关系进行了深入探讨。

2.3 美国

大草原(prairie)作为美国重要的自然生态系统, 全国及各州均有相应的大草原保护方针政策, 其中以传粉者生境管理与保护为重点。例如 2018 年种子遗产计划(Seed A Legacy)是由美国蜂蝶生境基金(The Bee & Butterfly Habitat Fund, BBHF)支持的一项传粉者生境保护计划, 旨在为美国中西部和太平洋的 11 个州的很多项目提供免费的传粉者混播组合。其中, 美国密歇根州立大学、俄勒冈州立大学、加州大学等的研究者^[56-57]经过数年研究, 筛选了美国北部及中西部 23~46 种多年生植物, 并强调本土植物对本土野生生物生境管理的重要性, 根据开花期、生境适应性, 与大型种业公司如 Roundstone Seeds 等开发出如传粉者保育组合、河岸缓冲带传粉者组合、帝王蝶保育组合等, 包含 6~27 种本土植物种类, 旨在延续其乡土农地景观, 增加本土农作物的授粉和害虫控制等。美国的高丛蓝莓(*Vaccinium corymbosum*)种植园、扁桃(*Amygdalus communis*)种植园中, 20 世纪 90 年代中后期即有一些研究者和农

户开始运用昆虫野花带吸引更多传粉者帮助果树完成传粉,尤其注重对本土蜂种如壁蜂属(*Osmia* spp.)等的吸引能力^[58]。而美国农业部林务局则认为多年生的野花带给农业生产带来的效益在 7 年左右可以真正实现。而对传粉者生境的保护,农业部从生物迁徙路线展开了全国性的野花带适应性规划并制定了相关设计指南^[59]。

2.4 总结

昆虫野花带以瑞士、比利时等德语国家为发源中心,着力推行生态补偿机制,农民均有义务利用耕地的 2%~7% 土地建植野花带;而有着同样种植传统的英国则在政策与形式上不断细化与丰富;在美国则以本土植物的开发、草原生境的修复及重要传粉者保护为研究与实践的重点。不同国家在野花带管理方式、植物构成上既有共识,也因生产力水平、气候环境条件、保育目标等不同而存在差异,但各国开展了多种野花带模式的实验、推广,理论及营造经验业已成熟,政府也以不同的农业环境计划予以政策支持,对实践野花带的农民施行了生态补偿机制,在野花带植物构成的研究也做了相应本土化、功能指向性的优化配置,这些都对发展昆虫野花带初期的中国有所借鉴。

3 中国昆虫野花带未来的发展

中国的农业结构现状仍以精耕细作的小农经营模式为主。南方经营作物多样,以水田作物为主,如水稻(*Oryza sativa*)、油菜(*Brassica campestris*)、甘蔗(*Saccharum officinarum*)等;而在北方旱田作物以小麦、玉米、花生(*Arachis hypogaea*)等为主,生产规模较大,集约化程度较高。这意味着南北方在农田野花带的应用时,规模、种类、建植方式、景观背景等皆有差异。

中国的农地周边多数以防风林、农民自发间作的作物、个别覆盖作物种植等为主。据调查,有近 30% 的田间空地、田边道路裸露严重^[60]。马守臣等^[61]研究表明,果园边际植被均匀度指数最低,受人类干扰的作物边界多样性指数和生态优势度又显著小于其他农田边际。鲜有多样化草本植物的大规模种植研究、实践等,且与周边生境的物种相似性也更高。如今,更多的田间土地则面临着空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)、大狼把草(*Bidens frondosa*)等入侵植物的控制中,本土蜂种受到西方蜜蜂等携带的病菌感染、食源减少而濒临消失。

近年来,在中国台湾花莲农改场,研究者以仙草(*Mesona chinensis*)、鸭舌癭(*Phylla nodiflora*)、黄花蜜菜(*Wedelia chinensis*)等十来种本土物种以野花植生毯的形式改良果园的土壤有机质、抑制杂草等,并调查到 27 种寄生蜂,尤其有一种依赖于马兰(*Kalimeris indica*)蜜源的东方果实蝇(*Bactrocera dorsalis*)的天敌——格氏突阔小蜂(*Dirhinus giffardii*),有效抑制了果园中的害虫密度^[62]。在中国大陆地区,南方的水稻田早有田埂间种植蜜量丰富的芝麻(*Sesamum indicum*)等其他作物的传统,可以有效控制稻飞虱(*Delphacidae*)、稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)等稻田害虫^[63]。目前,国内非作物生境种植普遍以单一植物为主,如 2017 年,北京市顺义、密云等十多处农田附近建成了以柳叶马鞭草(*Verbena bonariensis*)、白车轴草(*Trifolium repens*)等单一植物种植为主的野花带^[64]。但单一植物很难长久维持生境管理功能。真正把昆虫野花带引入实践还是在近两三年间,先正达种业公司的“传粉者行动”(operation pollinator)本土化“运动”,在 10 391 hm² 的耕地上建设蜜粉源植物为主的昆虫野花带^[65]。另外,北京市农业技术推广站于 2016 年开始在顺义大孙各庄、延庆野鸭湖湿地等地展开了昆虫野花带示范工程,并初具规模^[66-67]。

未来中国昆虫野花带的发展,首先要针对现有非作物生境植物群落及各类昆虫群落展开动态监测与调查,在大尺度上划定生态保护区域,分析现有生境格局,构建生态网络^[68];研究昆虫野花带的规划方案,分清主次和功能需求,并根据节肢动物功能团的时空动态变化,确定最佳群落结构;保持昆虫野花带生境与其他自然与半自然生境的功能连接度,保留多样的景观因素(包括裸地等);以不同形式、功能的昆虫野花带,建立合理、多样的生境,例如结合木槿(*Hibiscus syriacus*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、华北木香薷(*Elsholtzia stauntoni*)、绣线菊(*Spiraea* spp.)、蕁(*Caryopteris nepetaefolia*)、檫木(*Sassafras tsumu*)、油茶(*Camellia oleifera*)、山楂(*Crataegus pinnatifida*)等蜜粉源、动物食源灌木、小乔木等,形成多功能、多物种、多样化的农地景观。另外,研究者和种业公司还需借鉴国际经验,筛选和开发昆虫野花带功能植物,尤其是影响着越冬天敌存活时间和控害能力的早春和晚秋的蜜粉源野花,真正实现本土化生产、设计与落地的完整流程。

参考文献 References

- [1] LOSEY J E, VAUGHAN M. The economic value of ecologi-

- cal services provided by insects[J]. *BioScience*, 2006, 56(4): 311–323
- [2] OLLERTON J. Pollinator diversity: Distribution, ecological function, and conservation[J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2017, 48: 353–376
- [3] 张鑫, 王艳辉, 刘云慧, 等. 害虫生物防治的景观调节途径: 原理与方法[J]. *生态与农村环境学报*, 2015, 31(5): 617–624
- ZHANG X, WANG Y H, LIU Y H, et al. Approaches biological control of pests of through landscape regulation: Theory and practice[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2015, 31(5): 617–624
- [4] SUTTER L, ALBRECHT M, JEANNERET P. Landscape greening and local creation of wildflower strips and hedgerows promote multiple ecosystem services[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2018, 55(2): 612–620
- [5] HATT S M M. Spatial diversification of agroecosystems towards biological control of insect pests: A focus on intercropping and wildflower strips[D]. Liège, Belgium: University of Liège, 2017
- [6] PE'ER G, ZINNGREBE Y, HAUCK J, et al. Adding some green to the greening: Improving the EU's Ecological Focus Areas for biodiversity and farmers[J]. *Conservation Letters*, 2017, 10(5): 517–530
- [7] TSCHUMI M, ALBRECHT M, BÄRTSCHI C, et al. Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 220: 97–103
- [8] BLAAUW B R, ISAACS R. Larger wildflower plantings increase natural enemy density, diversity, and biological control of sentinel prey, without increasing herbivore density[J]. *Ecological Entomology*, 2012, 37(5): 386–394
- [9] TSCHUMI M, ALBRECHT M, ENTLING M H, et al. High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015, 282(1814): 1–8
- [10] KIENZLE J, FOELL M, KARRER E, et al. Establishment of permanent weed strips with autochthonous nectar plants and their effect on the occurrence of aphid predators[C]//*Proceedings of the 16th International Conference on Organic-Fruit Growing*. Hohenheim, Germany: Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2014: 31–39
- [11] MAY E, ISAACS R, ULLMANN K, et al. Establishing wildflower habitat to support pollinators of Michigan fruit crops. Guidelines for Establishing Pollinator Habitat on Michigan Farms[R]. East Lansing, MI: Michigan State University and The Xerces Society for Invertebrate Conservation, 2017
- [12] 赵紫华, 欧阳芳, 贺达汉. 农业景观中不同生境界面麦蚜天敌的边缘效应与溢出效应[J]. *中国科学: 生命科学*, 2012, 42(10): 825–840
- ZHAO Z H, OUYANG F, HE D H. Edge effects and spillover effects of natural enemies on different habitat interfaces of agricultural landscape[J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2012, 42(10): 825–840
- [13] KLEIJN D, BAQUERO R A, CLOUGH Y, et al. Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries[J]. *Ecology Letters*, 2006, 9(3): 243–254
- [14] THOGMARTIN W E, LÓPEZ-HOFFMAN L, ROHWEDER J, et al. Restoring monarch butterfly habitat in the Midwestern US: 'All hands on deck'[J]. *Environmental Research Letters*, 2017, 12(7): 074005
- [15] WARZECHA D, DIEKÖTTER T, WOLTERS V, et al. Attractiveness of wildflower mixtures for wild bees and hoverflies depends on some key plant species[J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2018, 11(1): 32–41
- [16] KUUSSAARI M, HELIÖLÄ J, PÖYRY J, et al. Contrasting trends of butterfly species preferring semi-natural grasslands, field margins and forest edges in northern Europe[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2007, 11(4): 351–366
- [17] GANSER D, MAYR B, ALBRECHT M, et al. Wildflower strips enhance pollination in adjacent strawberry crops at the small scale[J]. *Ecology and Evolution*, 2018, 8(23): 11775–11784
- [18] CRIST T O, PRADHAN-DEVARE S V, SUMMERVILLE K S. Spatial variation in insect community and species responses to habitat loss and plant community composition[J]. *Oecologia*, 2006, 147(3): 510–521
- [19] DI PASQUALE G, SALIGNON M, LE CONTE Y, et al. Influence of pollen nutrition on honey bee health: Do pollen quality and diversity matter?[J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e72016
- [20] ROY D B, THOMAS J A. Seasonal variation in the niche, habitat availability and population fluctuations of a bivoltine thermophilous insect near its range margin[J]. *Oecologia*, 2003, 134(3): 439–444
- [21] EGGENSCHWILER L, ISELI R, JACOT K. Soil structure and abundance of the entomopathogenic soil fungus *Metarhizium anisopliae* in wildflower strips[J]. *Bulletin OILB/SROP*, 2006, 29(6): 37–40
- [22] BLANCO-CANQUI H, GANTZER C J, ANDERSON S H, et al. Grass barrier and vegetative filter strip effectiveness in reducing runoff, sediment, nitrogen, and phosphorus loss[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(5): 1670–1678
- [23] OSBORNE L L, KOVACIC D A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management[J]. *Freshwater Biology*, 1993, 29(2): 243–258
- [24] SMILEY P C JR, KING K W, FAUSEY N R. Influence of herbaceous riparian buffers on physical habitat, water chemistry, and stream communities within channelized agricultural headwater streams[J]. *Ecological Engineering*, 2011, 37(9): 1314–1323
- [25] Natural England. Entry Level Stewardship: Environmental Stewardship Handbook[M]. 4th ed. London: Natural England, 2013
- [26] BOKENSTRAND A, LAGERLÖF J, TORSTENSSON P R. Establishment of vegetation in broadened field boundaries in agricultural landscapes[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 101(1): 21–29
- [27] WALKER K J, STEVENS P A, STEVENS D P, et al. The

- restoration and re-creation of species-rich lowland grassland on land formerly managed for intensive agriculture in the UK[J]. *Biological Conservation*, 2004, 119(1): 1–18
- [28] MEEK B, LOXTON D, SPARKS T, et al. The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity[J]. *Biological Conservation*, 2002, 106(2): 259–271
- [29] BÀRBERI P, MAZZONCINI M. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn[J]. *Weed Science*, 2001, 49(4): 491–499
- [30] DE CAUWER B, REHEUL D, NIJS I, et al. Management of newly established field margins on nutrient-rich soil to reduce weed spread and seed rain into adjacent crops[J]. *Weed Research*, 2008, 48(2): 102–112
- [31] WYSS E. The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1995, 75(1): 43–49
- [32] VOGT H, WEIGEL A. Is it possible to enhance the biological control of aphids in an apple orchard with flowering strips?[J]. *Bulletin OILB/SROP*, 1999, 22(7): 39–46
- [33] DELATTRE T, PICHANCOURT J B, BUREL F, et al. Grassy field margins as potential corridors for butterflies in agricultural landscapes: A simulation study[J]. *Ecological Modelling*, 2010, 221(2): 370–377
- [34] BUND. Überflieger im Schmetterlingsland-BUND Baden-Württemberg[M]. Stuttgart: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), 2013
- [35] POTTS S G. European Pollinator Initiative: Assessing the risks of pollinator loss[C]//International Workshop on Solitary Bees and Their Role in Pollination. Fortaleza, Brazil, 2004: 732–740
- [36] DELATTRE T, VERNON P, BUREL F. An agri-environmental scheme enhances butterfly dispersal in European agricultural landscapes[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 166: 102–109
- [37] WHITTINGHAM M J. The future of agri-environment schemes: Biodiversity gains and ecosystem service delivery?[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(3): 509–513
- [38] GABEL V M, HOME R, STOLZE M, et al. The influence of on-farm advice on beliefs and motivations for Swiss lowland farmers to implement ecological compensation areas on their farms[J]. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 2018, 24(3): 233–248
- [39] DAVY A, GARDNER M, JOHNSON I, et al. Understanding the Impact of Farming on Aquatic Ecosystems[R]. Swindon: Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), 2008: 1–42
- [40] HARDMAN C J, NORRIS K, NEVARD T D, et al. Delivery of floral resources and pollination services on farmland under three different wildlife-friendly schemes[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 220: 142–151
- [41] DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). The national pollinator strategy: For bees and other pollinators in England[EB/OL]. York: DEFRA. [2014-11-04]. <https://www.gov.uk/government/publications/national-pollinator-strategy-for-bees-and-other-pollinators-in-england>
- [42] DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). Guidance, Countryside stewardship: An overview[EB/OL]. Surrey: DEFRA. [2019-02-18]. <https://www.gov.uk/government/publications/countryside-stewardship-an-overview>
- [43] DICKS L V, BAUDE M, ROBERTS S P M, et al. How much flower-rich habitat is enough for wild pollinators? Answering a key policy question with incomplete knowledge[J]. *Ecological Entomology*, 2015, 40(S1): 22–35
- [44] Rural Payments Agency, Natural England. Countryside Stewardship grants[EB/OL]. London: Natural England. [2015-04-02]. <https://www.gov.uk/countryside-stewardship-grants>
- [45] FIELD R G, GARDINER T, MASON C F, et al. Countryside stewardship scheme and butterflies: A study of plant and butterfly species richness[J]. *Biodiversity & Conservation*, 2006, 15(1): 443–452
- [46] CARVELL C, OSBORNE J L, BOURKE A F G, et al. Bumble bee species' responses to a targeted conservation measure depend on landscape context and habitat quality[J]. *Ecological Applications*, 2011, 21(5): 1760–1771
- [47] HOLLAND J M, SMITH B M, STORKEY J, et al. Managing habitats on English farmland for insect pollinator conservation[J]. *Biological Conservation*, 2015, 182: 215–222
- [48] BOHREN C. Exotic weed contamination in Swiss agriculture and the non-agriculture environment[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31(2): 319–327
- [49] HEITZMANN A. Die Vegetationsdynamik in angesäten Ackerkrautstreifen in Abhängigkeit verschiedener Saatmischungen[J]. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft*, 1994, 14: 75–83
- [50] AVIRON S, NITSCH H, JEANNERET P, et al. Ecological cross compliance promotes farmland biodiversity in Switzerland[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(5): 247–252
- [51] WALTER T, HERZOG F, BIRRER S, et al. Effects of ecological compensation areas on species diversity in the Swiss grassland—an overview[C]//Land Use Systems in Grassland Dominated Regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation. Zürich: Swiss Grassland Society, 2004: 171–173
- [52] PIQUERAY J, ROUXHET S, HENDRICKX S, et al. Changes in the vegetation of hay meadows under an agri-environment scheme in South Belgium[J]. *Conservation Evidence*, 2016, 13: 47–50
- [53] OUVARD P, TRANSON J, JACQUEMART A L. Flower-strip agri-environment schemes provide diverse and valuable summer flower resources for pollinating insects[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2018, 27(9): 2193–2216
- [54] ARTRU S, HATT S, BOERAEVE F, et al. Nature-based agricultural practices for healthier food and environment — The example of agroforestry and wildflower strips[C]//Nature-Based Solutions to Societal Challenges. Liège: University of Liège, 2015
- [55] AMY C, NOËL G, HATT S, et al. Flower strips in wheat intercropping system: Effect on pollinator abundance and diversity in Belgium[J]. *Insects*, 2018, 9(3): 114
- [56] FIEDLER A K, LANDIS D A. Attractiveness of Michigan

- native plants to arthropod natural enemies and herbivores[J]. *Environmental Entomology*, 2007, 36(4): 751–765
- [57] ANDERSON A, COSTNER L, LANGELOTTO G. Screening native PNW wildflowers for attractiveness to pollinators and natural enemies[C]//Urban Ecosystem Research Consortium (UERC). 2018 UERC Annual Symposium. Portland: Portland State University, 2018
- [58] BLAAUW B R, ISAACS R. Flower plantings increase wild bee abundance and the pollination services provided to a pollination-dependent crop[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 51(4): 890–898
- [59] BENTRUP G. Conservation Buffers — Design Guidelines for Buffers, Corridors, and Greenways[R]. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2008
- [60] 宇振荣, 苗利梅. 土地整治应注重生态景观服务功能[J]. *南方国土资源*, 2013, (4): 19–21
YU Z R, MIAO L M. We should pay attention to the ecosystem service in land reclamation[J]. *Land and Resources of Southern China*, 2013, (4): 19–21
- [61] 马守臣, 原东方, 杨慎骄, 等. 豫北低山丘陵区农田边界系统植物多样性的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 815–819
MA S C, YUAN D F, YANG S J, et al. Plant diversity in field margin systems in the hilly regions of northern Henan[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(4): 815–819
- [62] 曾峥萌, 林立, 徐仲禹, 等. 在果园铺上原生野花草毯, 结果让农人好意外[EB/OL]. 花莲: 台湾花莲农改场. [2017-10-05]. <http://www.yogeev.com/article/76722.html>
TSENG C M, LIN L, HSU C Y, et al. Establishing native wildflower mats on the orchards surprised the farmers[EB/OL]. Hualien: Hualien District Agricultural Research and Extension Station. [2017-10-05]. <http://www.yogeev.com/article/76722.html>
- [63] 朱平阳. 显花植物对稻飞虱卵期主要天敌的生态功能[D]. 金华: 浙江师范大学, 2012
ZHU P Y. Ecological functions of flowering plants in enhancing biological control of key natural enemies on rice planthopper[D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2012
- [64] 李瑶. 十万亩农田花海环绕京城[N]. *北京日报*, 2018-04-19
LI Y. One hundred thousand mu wildflower fields meander around Beijing[N]. *Beijing Daily*, 2018-04-19
- [65] 汪洋. 先正达与中国农科院蜜蜂所签署合作框架协议[J]. *中国农资*, 2016, (13): 24
WANG Y. Syngenta signed a cooperation framework agreement with the Bee Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences[J]. *China Agricultural Means of Production*, 2016, (13): 24
- [66] 北京市农业农村局. 顺义农田边界缓冲带景观效果良好[EB/OL]. 北京: 北京市农业农村局. [2017-05-27]. <http://news.wugu.com.cn/article/1026645.html>
Beijing Municipal Bureau of Agriculture. The buffer strips established close to the farmland in Shunyi District have achieved good effect[EB/OL]. Beijing: Beijing Municipal Bureau of Agriculture. [2017-05-27]. <http://news.wugu.com.cn/article/1026645.html>
- [67] 北京市农业农村局. 野鸭湖湿地农业生态景观科普示范园效果初现[EB/OL]. 北京: 北京市农业农村局. [2016-06-23]. <http://www.bjny.gov.cn/nyj/231595/5768378/index.html>
Beijing Municipal Bureau of Agriculture. The demonstration garden of agro-ecosystem landscape in Yeyahu Wetland Has achieved initial success[EB/OL]. Beijing: Beijing Municipal Bureau of Agriculture. [2016-06-23]. <http://www.bjny.gov.cn/nyj/231595/5768378/index.html>
- [68] 宇振荣, 张茜, 肖禾, 等. 我国农业/农村生态景观管护对策探讨[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(7): 813–818
YU Z R, ZHANG Q, XIAO H, et al. Countermeasures of landscape and ecological stewardship in agricultural/rural area of China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(7): 813–818

欢迎订阅 2020 年《中国稻米》杂志

《中国稻米》是由农业农村部主管, 中国水稻研究所主办, 全国农业技术推广服务中心等单位协办的全国性水稻科技期刊, 兼具学术性、技术性、知识性、信息性等特点。2014 年被国家新闻出版广电总局认定为首批学术类期刊, 为中国科技核心期刊, 荣获全国农业期刊金犁奖技术类一等奖、浙江省优秀科技期刊一等奖等奖项。双月刊, 标准大 16 开, 单月 20 日出版。每期定价 10.00 元, 全年 60.00 元, 全国公开发行, 邮发代码: 32-31, 国内刊号: CN33-1201/S, 国际统一刊号: ISSN 1006-8082。欢迎新老读者到当地邮局订阅, 也可直接汇款到本刊编辑部订阅。E-mail: zgdm@163.com, 网址: www.zgdm.net, 地址: 浙江省杭州市富阳区水稻所路 28 号; 邮政编码: 311400; 电话(传真): 0571-63370271, 63370368。



微信搜一搜

中国稻米