

果园功能植物的筛选、配置及应用*

肖云丽^{1**} 蔡志平^{2,3} 张兴瑞²

(1. 山东省植物保护总站, 济南 250100; 2. 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; 3. 石河子大学农学院, 石河子 832003)

摘 要 功能植物在农田景观中发挥着重要的生态服务功能, 可为果园提供蜜粉源、作为天敌避难所、作为栖境植物、驱避害虫、提高土壤肥力等多种服务。近年来, 功能植物种植已成为果园病虫害生态调控的手段之一, 并被国内外众多科学家所验证。但大多数都仅仅针对一两种植物进行研究, 而对于果园功能植物的应用、筛选及配置等分析较少。本文基于国内外果园功能植物研究进展, 结合作者 3 年来在胶东半岛果园内外功能植物的调查, 提出了果园功能植物的筛选及配置原则, 并以此用于指导烟台苹果园害虫生态调控的实践中, 由此进一步展望了未来果园功能植物的发展方向, 旨在为果园利用功能植物开展害虫生态调控提供参考。

关键词 功能植物; 生态服务; 筛选配置; 果园

Selection, configuration and application of functional plants in orchards

XIAO Yun-Li^{1**} CAI Zhi-Ping^{2,3} ZHANG Xing-Rui²

(1. The Plant Protection Station in Shandong Province, Jinan 250100, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract Functional plants have various ecological service functions in the agricultural landscape, such as providing pollen, habitat for predators and repelling pest insects. Planting functional plants has recently become a more common method of pest control and has already been scientifically proven. Since most published studies have focused on specific functional plants there is relative a lack of information on how to choose and allocate functional plants in orchards. This paper addresses this lack of information by integrating the results of a 3 year investigation on the use of functional plants in orchards in Jiaodong half island with those from published studies. Principles for the selection and deployment of functional plants, which have already been used to control apple orchard pests in Yantai, are provided and future prospects for using functional plants for pest control are discussed.

Key words functional plants; ecological service function; selection; configuration

功能植物作为害虫生态调控的一项重要手段, 可为天敌昆虫和传粉昆虫提供“衣、食、住、行”, 而又不利于害虫“食、住、行”(杨泉峰等, 2020)。经过种植功能植物的果园有利于增加对天敌和传粉昆虫的涵养作用, 有助于发挥其生态服务功能(Gurr *et al.*, 2017)。

事实上, 人们很早就认识到利用果园自然生

草所形成的生物多样性来控制害虫。但与此同时, 也发现果园自然生草与果树争肥争光, 还成为病原菌孳生地、害虫繁殖与越冬的场所, 因此后来发展成清除果园杂草, 并成为清洁果园的农业防治措施之一。近年来, 随着人们对绿色生产的迫切需求, 又逐渐重视果园生草或种植功能植物这一措施, 并已成为生态果园建设的一种

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划重点专项(2017YFD0200400)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: luckylily68@163.com

收稿日期 Received: 2019-12-20; 接受日期 Accepted: 2020-01-12

主流模式 (Grab *et al.*, 2019)。已有研究表明, 通过增加果园植被的多样性, 不仅能有效改善果园生态环境, 促进果树生长, 提高果实产量和品质, 而且还给果园天敌昆虫提供了充足的蜜源植物及良好的栖息生境, 有效增加了果园天敌发生种类和数量, 促进了天敌对害虫的抑制作用 (Gardiner *et al.*, 2010)。此外, 果树多为乔灌木, 属多年生植物, 是一种相对比较稳定的生态系统, 更适合通过加入功能植物等因素来调控其病虫害的发生。另一方面, 相对稳定的果园生态系统病虫害种类非常丰富。据魏永平 (2011) 报道, 苹果园拥有昆虫 219 种, 隶属于 12 目 85 科, 其中害虫 7 目 48 科 118 种, 天敌昆虫和蜘蛛类 9 目 27 科 72 种。在这么一个复杂的生态系统之中, 如果选择功能植物不当, 还会成为病虫害的孳生地, 病虫害发生的“桥梁田”。因此, 在果园种植功能植物时, 选择什么种类的功能植物? 如何进行合理配置? 怎样才能达到利用功能植物控制害虫的目的? 这是果园害虫生态调控的基础, 也是果园生产十分关注的问题。

本文以胶东果园为对象, 结合作者 3 年来对胶东半岛果园内外功能植物的调查, 基于国内外果园功能植物研究进展分析, 提出了果园功能植物的筛选及配置原则, 并用于指导烟台苹果园害虫生态调控的实践, 由此进一步指出了未来果园功能植物的发展方向, 为果园利用功能植物开展害虫生态调控提供参考。

1 国内外果园内主要功能植物的种类与功能

从表 1 可以看出, 国内外已经对果园内种植功能植物的种类与功能进行了一些研究。主要包括苹果园、梨园、葡萄园等果园; 使用了荞麦 *Fagopyrum esculentum*、钟穗花 *Phacelia campanularia*、香雪球 *Lobularia maritima* 等植物, 为天敌提供花粉或花蜜, 猎物或者替代宿主, 越冬或者越夏的场所, 而且取得了保护天敌控制害虫的效果。如 Campbell 等 (2017) 通过在苹果园中种植 14 种蜜源开花植物的组合形成的花

带, 能显著增加捕食性天敌和寄生性天敌的数量。Santos 等 (2018) 发现在苹果园周边种植由 30 种野花形成蜜源植物带, 可促进苹果园蚜虫的生物防治作用。Emami (2016) 利用由 12 种功能植物混合形成的野花组合覆盖梨园地表, 显著增加了梨木虱的天敌数量。Kishinevsk 等 (2017) 沿石榴园四周种植芹菜 *Apium graveolens* 与奥勒冈 *Origanum syriacum* 组成的花带, 为天敌昆虫提供了庇护所。Begum 等 (2006) 在葡萄园中种植多种功能植物, 发现香雪球与其他功能植物相比更能提高赤眼蜂对褐卷蛾的寄生率, 从而提高生物防治的效果。

我国在功能植物的研究与应用上也取得了一些进展。如 Song 等 (2011) 通过在北京梨园间作芳香植物薄荷、藿香蓟和罗勒, 显著减少了梨园主要害虫如梨木虱、绣线菊蚜的数量, 增加了其主要天敌七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*、智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* 和中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 的种群密度。陈学森等 (2016) 利用苹果园中种植的长柔毛野豌豆结合自然生草, 提高了果园有机物质含量, 增加了土壤酶的活性, 全面提升土壤的综合肥力。丁瑞丰等 (2008) 发现种植功能植物油菜、芜菁和紫花苜蓿的杏-麦间作果园中, 捕食性天敌草蛉和瓢虫的数量与对照相比显著增加, 并且新增了大眼长蝽 *Geocoris pallidipennis*, 粉蛉 *Coniopterygidae* 和黑缘红瓢虫 *Chilocorus rubidus* Hope 3 种天敌, 一定程度抑制了害虫的发生。苹果园中种植紫花苜蓿提高了金纹细蛾 *Lithocolletis ringoniella* Mats. 寄生蜂的自然控制效果, 保护和增殖了天敌; 而种植紫花苜蓿和夏至草, 促进了天敌昆虫东亚小花蝽 *Orius sauteri* 的繁殖扩散能力, 且进入滞育状态的东亚小花蝽会在夏至草上越冬; 同时, 种植夏至草还提高了寄生蜂的数量 (于毅和孟宪水, 1997; 于毅和严毓骅, 1998)。张润杰和刘德广 (2000) 在广东对荔枝园与牧草复合系统的节肢动物群落调查表明: 在这种系统下, 节肢动物群落的数量, 物种的多样性增加, 物种丰富度和均匀性指数提高, 害虫发生密度下降。

表 1 国内外部分功能植物在果园中的应用目录
Table 1 The catalogue of parts of functional plants in orchard in the world

果园种类 Orchard	功能植物 Functional plants	主要防控对象 Target pest insect	作用 Function	来源/地区 Source/area
苹果、山楂	蓝草莓 <i>Vaccinium</i> spp. 山茱萸 <i>Cornus</i> spp. 美洲冬青 <i>Ilex cillata</i>	苹果实蝇 <i>Rhagoletis pomonella</i>	增加茧蜂对苹果实蝇的寄生率	Maier, 1981/美国
苹果	叶树	多种害虫	增加果园瓢虫数量	Hodek, 1973/荷兰
苹果	桤木 <i>Alnus</i> spp.	苹果红蜘蛛 <i>Panony chusulmi</i>	增加捕食性盲蝽 <i>Blepharidopterus angulatus</i>	Solomon, 1981/英国
苹果	柳树 <i>Salix caprea</i>	苹果蚜虫、木虱	吸引花蝽 <i>Anthocoris nemorum</i> 花蝽 <i>A.nemorali</i>	Solomon, 1981/英国
苹果	14 种功能植物的组合	蚜虫	天敌的数量增加, 蚜虫的种群密度没有提高。	Campbell <i>et al.</i> , 2017/英国
苹果	30 种功能植物的组合	蚜虫	抑制了果园内蚜虫种群的增长	Santos <i>et al.</i> , 2018/法国
苹果	花带	蚜虫 <i>Aphis pomi</i> ; <i>Dysaphis plantaginea</i>	增加天敌控制蚜虫	Wyss, 1995, 1998/瑞士
苹果	花带	蚜虫 <i>Dysaphis plantaginea</i>	抑制了蚜虫发生	Pfammater and Vuignier, 1998/瑞士
苹果	花带	蚜虫 <i>Dysaphis plantaginea</i>	抑制蚜虫	Vogt <i>et al.</i> , 1998/德国
苹果	低矮木本植物	黄褐天幕毛虫 <i>Malacosoma neustria</i> ; 苹果蠹蛾 <i>Cydia pomonella</i> (L.)	有效抑制害虫发生	Leius, 1967/美国
苹果	荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.	卷叶蛾	卷叶蛾发生量减少	Stephens <i>et al.</i> , 1998/新西兰
苹果	芥菜 <i>Brassica juncea</i> ; 香雪球 <i>Lobularia maritima</i>	蚜虫	提高了长绒茧蜂和卡氏赤眼蜂的寿命和寄生能力	Irvin <i>et al.</i> , 2006/新西兰
苹果	薄荷 <i>Satureja hortensis</i>	桃小食心虫 <i>Carposina niponensis</i> , 刺蛾	驱避害虫	王嘉祥和郭广兰, 2003/中国
苹果	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	金纹细蛾 <i>Lithocolletis ringoniella</i> Mats.	寄生蜂增多, 控制金纹细蛾	于毅和严毓骅, 1998/中国
苹果	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	绣线菊蚜 <i>Aphis citricola</i> Vander Goot	天敌数量增多	王淑会等, 2014/中国
苹果	黑麦草 <i>Lolium perenne</i> ; 白三叶 <i>Trifolium repens</i>	土壤水分	调蓄深层土壤水分	赵政阳和李会科, 2006/中国
苹果	长柔毛野豌豆 <i>Vicia villosa</i> Roth.	土壤肥力	增加土壤肥力	陈学森等, 2016/中国
苹果	黑麦 <i>Lolium perenne</i> L.+白三叶草 <i>Trifolium repens</i> +紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、夏至草 <i>Lagopsis supina</i> 、泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i> Bunge	绣线菊蚜 <i>Aphis citricola</i> Vander Goot、蚜类	诱集天敌: 小花蝽, 瓢虫, 草蛉, 黑食蚜盲蝽, 捕食螨等	卢增斌等, 2016/中国

续表 1 (Table 1 continued)

果园种类 Orchard	功能植物 Functional plants	主要防控对象 Target pest insect	作用 Function	来源/地区 Source/area
葡萄	野生黑莓 <i>Rubus</i> sp. 洋李树 <i>Prune</i>	葡萄叶星斑叶蝉 <i>Erythroneura elegantula</i>	涵养卵寄生蜂 <i>Anagrus epos</i>	Doutt and Nakata, 1973/美国
葡萄	芥菜 <i>Brassica juncea</i> / 琉璃苣 <i>Borage officinalis</i> / 三叶草 <i>Trifolium repens</i> 香雪球 <i>Lobularia maritima</i>	褐卷蛾 <i>Pandemis heparana</i>	赤眼蜂对褐卷蛾的寄生率增加	Begum <i>et al.</i> , 2006/澳大利亚
葡萄	酒神菊 <i>Baccharis halimifolia</i>	柑橘卷叶蛾 <i>Aethes mesomelana</i> Walker	涵养寄生蜂 <i>Exochus apanteles</i>	Kido <i>et al.</i> , 1981/美国
葡萄	香菜 <i>Coriandrum sativum</i> , 薄荷 <i>Satureja hortensis</i>	绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i> Meyer-Dür	诱集越冬代绿盲蝽	郑庆伟, 2016/中国
梨	12 种功能植物的组合	蚜虫	显著增加了天敌, 尤其是小花 蝽的数量	Emami, 2017/伊朗
梨	薄荷 <i>Satureja hortensis</i> ; 藿香蓟 <i>Ageratum houstonianum</i> 罗勒 <i>Ocimum basilicum</i>	多种害虫	抑制害虫, 增加天敌	Song <i>et al.</i> , 2011/中国
杏	油菜 <i>Brassica campestris</i> L.; 多种害虫 芜菁 <i>Brassica rapa</i> L.; 紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.		吸引天敌: 欧洲草蛉 <i>Chrysopa</i> <i>perla</i> , 宽大眼长蝽 <i>Geocoris</i> <i>varius</i> Uhler, 粉 蛉 <i>Coniopterygidae</i> , 黑缘红瓢虫 <i>Chilocorus rubidus</i> Hope	丁瑞丰等, 2008/中国
杏	油菜 <i>Brassica campestris</i> L.	白粉虱、蓟马	增加天敌种类和数量: 黑食蚜 盲蝽 <i>Deraeocoris punctulatus</i> Fall., 微小盲蝽, 瓢虫, 蜘蛛等	汪飞等, 2007/中国
石榴	芹菜 <i>Apium graveolens</i> / 奥勒冈 <i>Origanum syriacum</i>	多种害虫	增加了天敌庇护所, 涵养天敌	Kishinevsky <i>et al.</i> , 2017/以色列
柑桔	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	柑桔全爪螨 <i>Panoychus citri</i> Mc Grer	涵养江原钝绥螨, 尼氏钝绥螨	周程爱和黄绍东, 1994/中国
柑桔	苇状羊茅 <i>Festuca arundinacea</i>	叶螨	抑制了叶螨的种群	Aguilar-Fenollosa <i>et al.</i> , 2011/西班牙

2 山东果园潜在的功能植物种类

基于作者 2016-2018 年对胶东半岛果园及其周围常见的功能植物调查 (表 2), 对照功能植物特征, 共发现胶东半岛果园常见功能植物种类 29 科 68 个属 73 种。其中, 以菊科 18 种最多, 其它依次为蔷薇科 7 种, 十字花科 6 种, 豆科 4 种, 紫草科 3 种, 石竹科 3 种, 禾本科 3 种, 唇形科 2 种, 百合科 2 种, 锦葵科 2 种, 伞形科 2 种, 柳叶菜科 2 种, 茜草科 2 种, 桑科 2 种; 它们从 1-12 月全周年均有开花, 可作为果园涵养昆虫天敌、提供蜜粉源植物、驱避昆虫等的资源库。

3 果园功能植物的筛选及配置原则

作为果园的功能植物, 除了具备功能植物特征外, 还应该充分考虑以下功能植物的筛选及配置原则。

3.1 果园功能植物筛选原则

3.1.1 土著种优先原则 在长期协同进化过程中, 果树及其周边的植物已经形成了相对稳定的生态系统, 其周边的植物必然更适合当地的气候及生态环境。显然, 相比之下, 当地存在的植物更容易与果树形成稳定而互利的生态系统。通过

表 2 山东果园及周边潜在的功能植物种类 (2016-2018)
Table 2 Types of functional plants in orchard and surrounding in Shandong (2016-2018)

序号 No.	科 Family	中文名称 Chinese name	拉丁学名 Latin name	开花期 Florescence
1		杜梨	<i>Pyrus betulifolia</i> Bunge	4 月
2		月季	<i>Rosa chinensis</i> Jacq.	8 月-次年 4 月
3		郁李	<i>Cerasus japonica</i> (Thunb.) Lois	5 月
4	蔷薇科	粉团蔷薇	<i>Rosa multiflora</i> Thunb. var. <i>cathayensis</i> Rehd	4 月
5		朝天委陵菜	<i>Potentilla supina</i> L	3-10 月
6		野蔷薇	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	5-7 月
7		翻白草	<i>Potentilla discolor</i> Bge.	5-9 月
8		钝萼附地菜	<i>Trigonotis amblyosepala</i>	3-6 月
9	紫草科	蓝蓟	<i>Echium vulgare</i>	6-9 月
10		田紫草	<i>Lithospermum arvense</i> L.	4-8 月
11	唇形科	宝盖草	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	3-5 月
12		夏至草	<i>Lagopsis supina</i> (Stephan ex Willd.) Ikonn.-Gal.	3-4 月
13		大花野豌豆	<i>Vicia megalotropis</i> Ledeb.	5-7 月
14	豆科	少花米口袋	<i>Gueldenstaedtia verna</i>	5 月
15		紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i> Linn.	5-10 月
16		苜蓿	<i>Medicago sativa</i> Linn	4-10 月
17	胡颓子科	牛奶子	<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb	4-5 月
18		刺儿菜	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) MB.	5-9 月
19		蓟	<i>Cirsium japonicum</i>	6-8 月
20		百日菊	<i>Zinnia elegans</i> Jacq.	6-9 月
21		两色金鸡菊	<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt.	5-9 月
22		波斯菊	<i>Cosmos bipinnata</i> Cav.	6-8 月
23		万寿菊	<i>Tagetes erecta</i> L	7-9 月
24		鸦葱	<i>Scorzonera albicaulis</i> Bunge	4-5 月
25		泥胡菜	<i>Hemistepta lyrata</i> (Bunge) Bunge	3-8 月
26	菊科	苦蕒菜	<i>Ixeris denticulata</i>	1-11 月
27		婆罗门参	<i>Tragopogon pratensis</i> L	5-9 月
28		一年蓬	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	6-9 月
29		青蒿	<i>Artemisia carvifolia</i>	6-9 月
30		艾草	<i>Artemisia argyi</i> H. Lév. & Vaniot	9-10 月
31		苍耳	<i>Xanthium sibiricum</i> Patrín ex Widder	7-8 月
32		小蓬草	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	5-10 月
33		桃叶鸦葱	<i>Scorzonera sinensis</i> Lipsch. et Krasch. ex Lipsch	4-9 月
34		金盏菊	Potmarigold	12-6 月
35		蓝花矢车菊	<i>Centaurea cyanus</i> 'blue'	2-8 月
36		女娄菜	<i>Silene aprica</i> Turcz. ex Fisch. et Mey.	5-6 月
37	石竹科	石竹	<i>Dianthus chinensis</i> L.	5-6 月
38		长蕊石头花	<i>Gypsophila oldhamiana</i> Miq.	6-9 月
39	鸭跖草科	鸭跖草	<i>Commelina communis</i> Linn.	9 月

续表 2 (Table 2 continued)

序号 No.	科 Family	中文名称 Chinese name	拉丁学名 Latin name	开花期 Florescence
40	百合科	韭	<i>Allium tuberosum</i>	7-9 月
41		知母	<i>Anemarrhena asphodeloides</i>	6-9 月
42	桔梗科	桔梗	<i>Platycodon grandiflorus</i> (Jacq.) A. DC.	7-9 月
43	锦葵科	木槿	<i>Hibiscus syriacus</i> Linn.	7-10 月
44		蜀葵	<i>Althaea rosea</i> (Linn.) Cavan.	6-8 月
45	十字花科	葶苈	<i>Draba nemorosa</i>	3-4 月
46		北美独行菜	<i>Lepidium virginicum</i>	4-5 月
47		荠	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (Linn.) Medic.	4-6 月
48		播娘蒿	<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb. ex Prantl	4-5 月
49		小花糖芥	<i>Erysimum cheiranthoides</i> Linn.	5 月
50		诸葛菜	<i>Orychophragmus violaceus</i>	4-5 月
51	牻牛儿苗科	鼠掌老鹳草	<i>Geranium sibiricum</i> L.	7 月
52	千屈菜科	紫薇	<i>Lagerstroemia indica</i> L.	6-9 月
53	瑞香科	芫花	<i>Daphne genkwa</i> Sieb. et Zucc.	3-5 月
54	玄参科	阿拉伯婆婆纳	<i>Veronica persica</i> Poir.	3-5 月
55	伞形科	芫荽	<i>Coriandrum sativum</i>	4-11 月
56		蛇床	<i>Cnidium monnieri</i> (Linn.) Cuss.	4-7 月
57	商陆科	美洲商陆	<i>Phytolacca americana</i> L.	5-8 月
58	蓼科	红蓼	<i>Polygonum orientale</i> Linn.	6-9 月
59	柳叶菜科	小花山桃草	<i>Gaura parviflora</i> Douglas	7-8 月
60		山桃草	<i>Gaura lindheimeri</i> Engelm. et Gray	5-8 月
61	旋花科	打碗花	<i>Calystegia hederacea</i> Wall.	5-7 月
62	葫芦科	栝楼	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.	7-11 月
63	茜草科	猪殃殃	<i>Galium aparine</i> Linn. var. <i>tenerum</i> (Gren. et Godr.)	
64		山东茜草	<i>Rubia truppeliana</i> Loes.	7-8 月
65	白花丹科	海芙蓉	<i>Limonium wrightii</i> (Hance) Kuntze	8-9 月
66	禾本科	狗尾草	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	5-10 月
67		白茅	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv.	4-6 月
68		牛筋草	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	6-10 月
69	鼠李科	鼠李	<i>Rhamnus davurica</i> Pall.	5-6 月
70	榆科	大果榆	<i>Ulmus macrocarpa</i> Hance	4-5 月
71	桑科	柘树	<i>Cudrania tricuspidata</i> (Carr.) Bur. ex Lavallee	5-6 月
72		葎草	<i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.	7-8 月
73	胡麻科	芝麻	<i>Sesamum indicum</i> Linn.	夏末秋初

建立当地果园的初级功能植物库, 密切观察当地功能植物的节肢动物及其运动轨迹, 优选考虑本地种作为功能植物。

3.1.2 功能种优先原则 并不是所有当地种都

可以做功能植物, 而是需要深入分析其在果园生态系统中的生态功能, 才确定其是否可以作为功能植物; 此外, 对外地引进的植物, 则需要分析其对果园所在地气候的可能适应度并进行验证,

从而进一步筛选出适合本果园的功能植物种类。

3.1.3 关键种优先原则 也不是果园内功能植物种类种植的越多越好,而是要从功能植物的作用对象、时空作用特征,选择对果园主要病虫害起关键作用的功能植物群,一般以 1-3 种植物比较合适。

3.2 果园功能植物配置原则

利用不同功能植物的特点,在果园配置不同时空与功能特征的功能植物或组合,创造一个不利于病虫而有利于天敌的环境,从而实现有效而经济的全程生态调控。在果园配置功能植物前,应提前了解果树的生长发育周期,掌握各个周期内主要病虫害种类及发生规律,建立果园周年病虫害谱,从以下作用功能、时间、空间和经济 4 个方面进行功能植物配置。

3.2.1 功能互补原则 首先考虑植物的功能性。针对果树的不同害虫种类,明确功能植物在不同时期的功能。如根据果园实际情况,需土壤补肥的,可种植补充肥力的功能植物如长柔毛野豌豆、紫花苜蓿、油菜等;如需改善土壤结构,可种植油菜等;如需增加天敌栖息场所,可种植长柔毛野豌豆、蛇床草、向日葵、二月兰等;如需驱避害虫,可种植猫薄荷、艾草等驱避功能的植物等。

3.2.2 时间互补原则 对应果园病虫害发生谱,选择不同功能植物以对应不同的病虫,使果园中一直生长着对应果树不同生长期发生病虫的功能植物,即保证果园整个生长季都有功能植物针对性地对病虫害起到全程调控作用。如苹果园前期(4-7月)主要害虫为绣线菊蚜,中期(7-9月)为金纹细蛾,后期(8-10月)为卷叶蛾类,则可在分别前期针对蚜虫、中期针对金纹细蛾、后期针对卷叶蛾类的植物进行配置,形成植物组合,对这些害虫进行诱杀或驱避,从而起到从时间上全程调控的作用。如在苹果园配置二月兰+蛇床草+金盏菊等组合即是遵循这一原则。

3.2.3 空间互补原则 首先要从景观生态学的角度,在果园区域内设置“生态岛”,种植菊花、向日葵及一些灌木等。“生态岛”大概种植面积为果园面积的 5%-10%。其次,可在果园周围种植

紫藤、金银花等藤类植物以及海棠等,既可以帮助传粉、涵养天敌,也可吸引害虫。最后就果园内部来看,由于果树在果园的空间中占据主要空间,果园内功能植物的配置应充分考虑到果园的空间布局,使立体空间达到最大化利用。如在果树行间种植低矮的灌木或草本植物如二月兰、长柔毛野豌豆、紫花苜蓿等;果园周边种植高秆植物如蛇床草、向日葵及一些灌木等,这样,不同的空间生态位即可保护天敌控制害虫,也有利于果园农事作业。

3.3 经济简便原则

果园经济价值高,人工投入高,属高投入高产出的产业。但是近年来,由于农村劳动力的短缺,人工费越来越高,使得一些轻简技术的应用迫在眉睫。因此,利用功能植物来调控果园生态系统从而达到调控病虫的目的,其技术必须简便易行,经济性好,方能有广阔发展空间。如在果园周边种植多年生紫藤,蛇床草、金银花等,一次种植,不需精细管理。不仅有利于建立新的果园相对稳定的有利于天敌不利于病虫的生态系统,而且蛇床草、金银花本身就是中草药,可以产生额外经济效益。

4 功能植物在山东苹果园的应用

基于烟台果园的功能植物库,根据上述果园功能植物的筛选及配置原则,于 2018 年在烟台苹果园筛选了如图 1 所示 13 种功能植物,主要包括芝麻、蛇床花、波斯菊、泥胡菜、芦蒿、金盏菊、二月兰、菜心、长毛豌豆、藿香菊、百日菊、多头向日葵。2019 年在 2018 年基础上对示范区种植的功能植物进行了调整,采用行间种植油菜+长毛豌豆+波斯菊和二月兰+苜蓿+百日菊等两种植物组合,并在果园外种植向日葵、蛇床草、金盏菊等功能植物(图 2)。

综合考虑功能植物开花的时间、生长的高度和涵养天敌的类群及其在苹果园的时空配置,作者认为在烟台果园比较理想的组合是二月兰+油菜+金盏菊功能植物群。其中,二月兰 *Orychophragmus violaceus* L. 为十字花科诸葛菜属的一年或二年生草本植物,3-5 月开花,可作

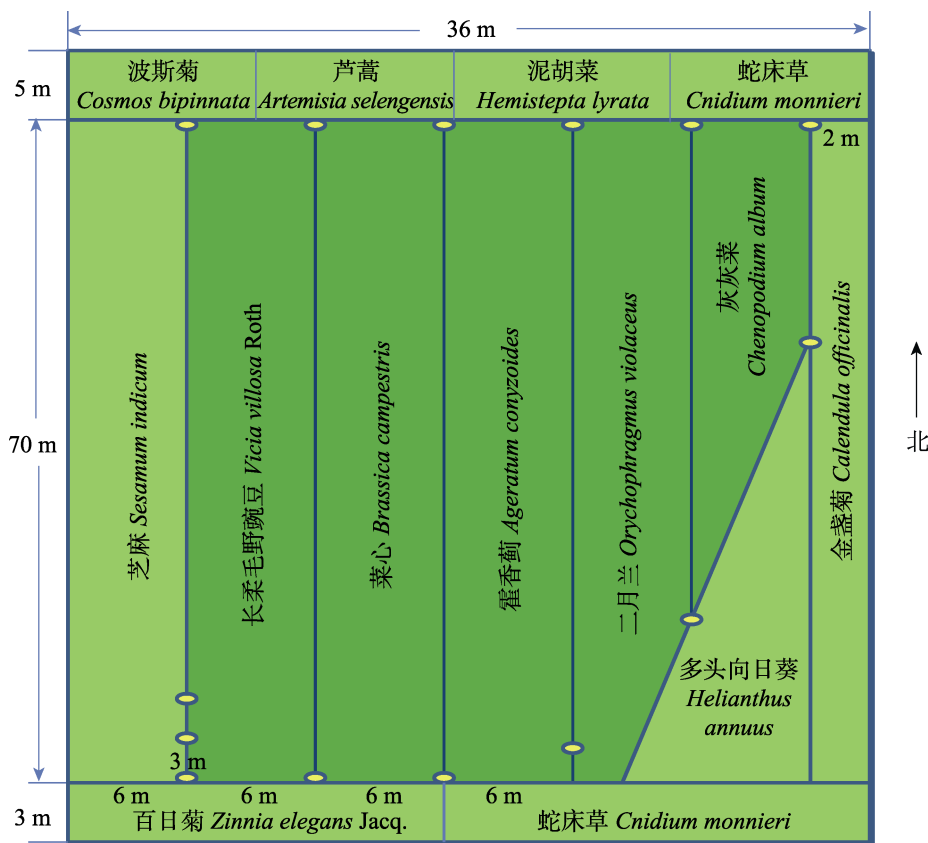


图 1 2018 年烟台苹果园 13 种功能植物布局图

Fig. 1 Layout of 13 kinds of functional plants in apple orchard in 2018 in Yantai

- 二月兰 *Orychophragmus violaceus*+蒔萝 *Anethum graveolens*+百日菊 *Zinnia elegans*
- 油菜 *Brassica napus*+长柔毛野豌豆 *Vicia villosa*+波斯菊 *Cosmos bipinnata*
- 多头向日葵 *Helianthus annuus*
- 蛇床草 *Cnidium monnieri*
- 金盏菊 *Calendula officinalis*

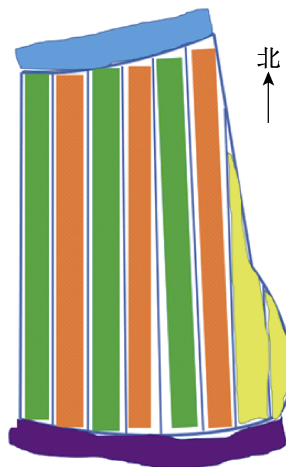


图 2 2019 年烟台苹果园功能植物布局图

Fig. 2 Layout of functional plants group in apple orchard in 2019 in Yantai

为前期果园内涵养瓢虫、食蚜蝇、小花蝽、寄生蜂的功能植物；油菜 *Brassica napus* L. 为十字花科芸薹属植物一年生草本植物，4-6 月开花，可作为前中期果园内涵养瓢虫、食蚜蝇、小花蝽、寄生蜂和传粉昆虫的功能植物，金盏菊 *Calendula officinalis* L. 为菊科金盏花属的两年生草本植物，5-9 月均可以开花，可作为中后期果园内涵养瓢虫（包括食螨瓢虫）、捕食螨、小花蝽、寄生蜂的功能植物。此外，还在果园周围种植紫藤、金银花、海棠等，在果园区域内设置“生态岛”，种植菊花、向日葵及一些灌木等，由此从果园区域内利用功能植物“组合拳”开展害虫生态调控实践。

5 展望

定向种植功能植物被认为是增加生物多样性、提升生态服务功能的一个重要途径。通过在苹果树下种植功能植物而形成多样化的、相对比

较稳定的果园生态系统,可以维持和增加天敌昆虫、传粉昆虫种群数量及其服务功能,是开展果园害虫生态调控的一个重要措施。

未来的研究,需要从理论上阐明种植功能植物之后,多样化果园地上害虫、天敌的种类与数量的变化,明确功能植物涵养天敌种群密度动态及与果树之间的转移扩散规律以及对果树害虫的控制作用能力;分析种植功能植物之后对果树的水、肥、光及土壤生物的影响,揭示多样化果园内天敌多样性的维持机制及其生态功能,为果园利用功能植物控害提供理论支撑。

从技术上,需要深入研究不同的功能植物及其组合在时间上、空间上的优化配置,特别是需要筛选果园后期对鳞翅目害虫(如桃小食心虫 *Carposina niponensis*、梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (Busck)、金纹细蛾 *Lithocolletis ringoniella* Mats.) 作用的功能植物,保证不同的功能植物及其组合在果树全生育期均有开花花期,在空间上不影响果树生长的同时还要有一定的覆盖度,不裸露空间。

需要指出的是,种植功能植物只是果园害虫生态调控的一个重要手段,还需要与其它措施综合使用。为此,作者自 2018 年以来从景观生态系统中环境-土壤-果树-病虫-天敌的互作关系出发,通过生态设计(生态岛、廊道)、功能植物种植二月兰(3-4 月花)+蛇床草(5-6 月花)+金盏菊(7-9 月花)、土壤生态维持等措施,构建了稳定的、多样化的果园生态系统。在该系统中,基于生物间相生相克的原理,充分利用凹唇壁蜂 *Osmia excavata* Alfken 传粉,增加其生态服务功能;利用性引诱剂诱杀桃小食心虫、梨小食心虫、桃蛀螟等,应用昆虫病毒防治棉铃虫、金纹细蛾等,通过释放巴式钝绥螨、智利小植绥螨等捕食螨防治叶螨等对生态系统中病虫害进行调控,打造源头控制、自然生产、原始加工的全生产链的“第四个苹果”,实现了从农田到餐桌的可追踪、可溯源、可持续的态控 I 号健康生态产品生产。

致谢: 该研究得到了中国科学院动物研究所博士生闫卓、山东农业大学硕士王丽娜、硕士研究生刘程林以及山东省植物保护总站唐文颖、烟台农

技服务中心吕常厚、于凯、绿云公司张晓静、孙志强等的帮助,在此一并表示感谢!

参考文献 (References)

- Aguilar-Fenollosa E, Ibáñez-Gual MV, Pascual-Ruiz S, Hurtado M, Jacas JA, 2011. Effect of ground-cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in clementine mandarin orchards (I): Bottom-up regulation mechanisms. *Biological Control*, 59(2): 158–170.
- Begum M, Gurr GM, Wratten SD, Hedberg PR, Nicol HI, 2006. Using selective food plants to maximize biological control of vineyard pests. *Journal of Applied Ecology*, 43(3): 547–554.
- Campbell A, Wilby A, Sutto, P, Wäckers F, 2017. Getting more power from your flowers: Multi-functional flower strips enhance pollinators and pest control agents in apple orchards. *Insects*, 8(3): 101.
- Chen XS, Zhang RJ, Wang TY, Wang N, Jiang SH, Xu HF, Jiang YM, 2016. Effects of growing hairy vetch (*Vicia villosa*) on the soil nutrient, enzyme activities and microorganisms in apple orchard. *Acta Horticulturae Sinica*, 43(3): 2325–2334. [陈学森, 张瑞洁, 王艳廷, 王楠, 姜生辉, 许海峰, 姜远茂, 2016. 苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响. 园艺学报, 43(12): 2325–2334.]
- Ding RF, Wang XL, Xu Y, Li HB, Wang Fei, Wang D, Sun SL, 2008. The effect of honey plants on arthropod community in apricot and wheat intercropping orchard. *Xinjiang Agricultural Science*, 45(5): 960–963. [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.]
- Doutt RL, Nakata J, 1973. The *Rubus* leafhopper and its egg parasitoid: An endemic biotic system useful in grape-pest management. *Environmental Entomology*, 2(3): 381–386.
- Emami MS, 2017. The effects of plant cover on population of pear psylla (*Cacopsylla pyricola*) and its predators. *Acta Ariculturae Slovenica*, 109(1): 71–78.
- Gardiner MM, Landis DA, Gratton C, Schmidt N, O'Neal M, Mueller E, Chacon J, Heimpel GE, 2010. Landscape composition influences the activity density of Carabidae and Arachnida in soybean fields. *Biological Control*, 55(1) 11–19.
- Grab H, Branstetter MG, Amon N, Urban-Mead KR, Park MG, Gibbs J, Blitzer EJ, Poveda K, Loeb G, Danforth BN, 2019. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science*, 363(6424): 282–284.
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, You M, 2017. Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62: 91–109.
- Hodek I, 1973. Biology of Coccinellidae. The Netherlands: Junk N. V. Publishers. 107–151.
- Irvin NA, Scarratt SL, Wratten SD, Frampton CM, Chapman RB, Tylianakis JM, 2006. The effects of floral understoreys on parasitism of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) on apples in

- New Zealand. *Agr. Forest Entomol.*, 8(1): 25–34.
- Kido H, Flaherty DL, Kennet CE, McCalley NF, Bosch DE, 1981. Seeking the reasons for differences in orange tortrix infestations. *California Agriculture*, 35(7): 27–28.
- Kishinevsky M, Keasar T, Harari AR, Chiel E, 2017. A comparison of naturally growing vegetation vs. border-planted companion plants for sustaining parasitoids in pomegranate orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246: 117–123.
- Leius K, 1967. Influence of wild flowers on parasitism of tent caterpillar and codling moth. *Can. Entomol.*, 99: 444–446.
- Lu ZB, Yu Y, Men XY, Li LL, Zhuang QY, Zhang S, Yan YH, 2016. Impacts of combination of cover plants on pests and natural enemies in apple orchards. *Shandong Agricultural Sciences*, 48(8): 102–108. [卢增斌, 于毅, 门兴元, 李丽莉, 庄乾营, 张思聪, 严毓骅, 2016. 苹果园地面植被优化组合对害虫和天敌群落的影响. *山东农业科学*, 48(8):102–108.]
- Maier CT, 1981. Parasitoids emerging from puparia of *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) infesting hawthorn and apple in Connecticut. *Canadian Entomologist*, 113(9): 867.
- Pfammatter W, Vuignier R, 1998. Amélioration de la lutte biologique dans les cultures fruitières au moyen de bandes de plantessauvages. 1er Colloque transnational sur les luttessbiologique, intégrée et raisonnée. Lille: 71–72.
- Santos, LAO, Costa MB, Lavigne C, Fernandes OA, Bischoff A, Franck P, 2018. Influence of the margin vegetation on the conservation of aphid biological control in apple orchards. *Journal of Insect Conservation*, 22(3/4): 465–474.
- Solomon MG, 1981. Windbreaks as a source of orchard pests and predators//Thresh JM (ed.). *Pests, Pathogens and Vegetation: The Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases*. London: Pitman Books Ltd. 273–283.
- Song BZ, Zhang J, Hu Jinghui, Wu HY, Kong Y, Yao YC, 2011. Temporal dynamics of the arthropod community in pear orchards intercropped with aromatic plants. *Pest Management Science*, 67(9): 1107–1114.
- Stephens MJ, France CM, Wratten SD, Frampton C, 1998. Enhancing biological control of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) by sowing buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) in an orchard. *Biocontrol Science Technology*, 8(4): 547–558.
- Vogt H, Weigel A, 1999. Is it possible to enhance the biological control of aphids in an apple orchard with flowering strips? *Wprs Srop Bulletin*, 22: 39–46.
- Wang F, Wang H, Xu Y, Ding RF, Li HB, Guo WC, Wang D, 2007. Preliminary discussion on influence of interplanting rape on arthropod community in apricot and wheat intercropping orchard. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 44(4): 453–456. [汪飞, 王虹, 徐遥, 丁瑞丰, 李号宾, 郭文超, 王东, 2007. 套作油菜对杏-麦间作果园节肢动物群落影响初探. *新疆农业科学*, 44(4): 453–456.]
- Wang JX, Guo GL, 2003. Apple orchard interplanting mint test. *Chinese Fruit*, (6): 9–10. [王嘉祥, 郭广兰, 2003. 苹果园间作薄荷试验. *中国果树*, (6): 9–10.]
- Wang SH, Yang Q, Zhang WH, Mao XL, Hou LX, Yang TT, Liu YJ, 2014. The occurrence regularity of *Aphis citricola* and its natural enemies in grass apple orchard. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 42(10), 2945–2948. [王淑会, 杨琼, 张文慧, 毛旭连, 侯海霞, 杨田堂, 刘永杰, 2014. 生草苹果园绣线菊蚜及其天敌发生规律研究. *安徽农业科学*, 42(10): 2945–2948.]
- Wei YP, Zhang YL, Wei XG, 2011. Diversity and impact assessment of weeds on natural enemies in apple orchards. *Acta Phytophylacica Sinica*, 38(2): 189–190. [魏永平, 张雅林, 汪晓光, 2011. 苹果园杂草多样性及其对天敌昆虫的影响. *植物保护学报*, 38(2): 189–190.]
- Wyss E, 1998. Aspects of indirect plant protection strategies in orchards: Are flowering strips an adequate measure to control apple aphids? //Brunnhof V, Soldan T (eds.). *Proc. 6th European Congress of Entomology (Book of Abstracts)*, České Budejovice, Institute of Entomology, Academy of the Czech republic and University of South Bohemia. 625–626.
- Wyss E, 1995. The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomol. Exp. Appl.*, 75(1): 43–49.
- Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F, 2020. The working principles, methods and future researches of the functional plant. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 41–48. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2020. 功能植物的作用原理、方式及研究展望. *应用昆虫学报*, 57(1): 41–48.]
- Yu Y, Meng XS, 1997. Effects of diversity of apple orchard vegetation on natural control of parasitic bees *Lithocolletis ringoniella*. *Journal of Shandong Agricultural Science*, (4): 23–25. [于毅, 孟宪水, 1997. 苹果园植被多样化对金纹细蛾寄生蜂自然控制作用的影响. *山东农业科学*, (4): 23–25.]
- Yu Y, Yan YH, 1998. A study on the plants diversity in apple orchards toward sustainable pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 41(Suppl.): 82–90. [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.]
- Zhang RJ, Liu DG, 2000. Experiment on control of litchi pests by planting grass in litchi garden. National Symposium on Biological Control and Pesticide Microbiology. Beijing. 59. [张润杰, 刘德广, 2000. 荔枝园种植牧草调控荔枝害虫的试验. 全国生物防治暨杀虫微生物学术研讨会. 北京. 59.]
- Zhao ZY, Li HK, 2006. The effects of interplant different herbage on soil water in apple orchards in the area of Weibei plateau. *Acta Horticulturae Sinica*, 33(3): 24–27. [赵政阳, 李会科, 2006. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分的影响. *园艺学报*, 33(3): 24–27.]
- Zheng QW, 2016. *Coriandrum sativum* and *Nepeta catariaas* insectary plants can trap *Apolygus lucorum*. *Pesticide Market Information*, (29): 51–52. [郑庆伟, 2016. 猫薄荷和香菜可以成为绿盲蝽成虫的诱集植物. *农药市场信息*, (29): 51–52.]
- Zhou CA, Huang SD, 1994. The effects of ageratum interplantation in hilly citrus orchard in hunan province on citrus mite and insect populations. *Journal of Plant Protection*, 21(1): 57–61. [周程爱, 黄绍东, 1994. 湖南丘陵桔园间种藿香蓟对桔树螨类和昆虫的影响. *植物保护学报*, 21(1): 57–61.]