烟-药混合条带式种植的生态功能和经济效益*

王梦婷[1**] 金丽霞[1] 杨海林[2] 范吴蔚[2]
刘宁宁[2] 夏振远[3***] 高 峰[1***]

（1. 中国农业大学植物保护学院，北京 100193；2. 云南省烟草公司玉溪市公司，玉溪 653100；
3. 云南省烟草农业科学研究院，昆明 650021）

摘 要 **【目的】**烟草 *Nicotiana tabacum* 作为我国重要的经济作物之一，对我国经济的发展至关重要。烟草的集约化种植使病虫害发生日益加重，化学农药大量施用引发了严重的“3R”问题、环境污染甚至威胁人类健康，为找到更加环保高效的烟田病虫害防治方法。**【方法】**本研究选取药用植物与烟草复合种植，以单作烟田和自然植被烟田为对照，通过对害虫及天敌调查、对烟草进行农艺性状调查和产量分级测定，明晰药用植物对烟田害虫种群动态及群落多样性变化的影响，探究烟田复合种植模式对烟草产量和品质的影响。**【结果】**研究发现烟草与葫芦巴复合种植可显著降低烟草上烟蚜 *Myzus persicae* 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的种群密度，且显著（$P < 0.05$）增加寄生性天敌和捕食性天敌的种群密度；烟草与青蒿复合种植显著（$P < 0.05$）提高烟草寄生性天敌和捕食性天敌的种群密度；所有烟-药复合种植中益害比（天敌：蚜虫）均高于烟草单作处理，且烟草与葫芦巴、青蒿复合种植处理效果最佳。**【结论】**结果表明烟草与药用功能植物复合种植，尤其与益母草、青蒿和葫芦巴的复合种植，可以显著提高烟草的农艺性状和产量，进一步促进烟田可持续高质量发展，获得更高的经济价值和生态效益。烟草与药用植物的混合条带式种植能够显著改善生态功能和经济效益，在未来的农业发展过程中具有重要的推广价值。

关键词 烟草；药用功能植物；烟蚜；烟蚜茧蜂；瓢虫；食蚜蝇

The ecological function and economic benefits of mixed-strip planting of tobacco with medicinal plants

WANG Meng-Ting[1**] JIN Li-Xia[1] YANG Hai-Lin[2] FAN Wu-Wei[2]
LIU Ning-Ning[2] XIA Zhen-Yuan[3***] GAO Feng[1***]

(1. College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Yunnan Tobacco Company Yuxi City Company, Yuxi 653100, China; 3. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming 650021, China)

Abstract **[Aim]** Tobacco (*Nicotiana tabacum*), is an important economic crop in China and is crucial to the development of China’s agricultural economy. Intensive planting has, however, aggravated the occurrence of tobacco pests and diseases, the “3R” problem, environmental pollution, and even threats to human health caused by the application of many chemical pesticides. It is important, therefore, to develop more environmentally-friendly pest control methods. **[Methods]** Here, the benefits of planting of medicinal plants in conjunction with tobacco is evaluated, using tobacco monoculture fields and natural vegetation tobacco fields as controls. **[Results]** Planting fenugreek with tobacco significantly reduced the population density of *Myzus persicae* and *Bemisia tabaci* on tobacco plants, and significantly increased the population density of parasitic and predatory natural enemies of these pests. The population density of parasites and predators of tobacco pests was also

*资助项目 Supported projects：中国烟草总公司云南省公司科技计划重大项目（2022530000241021）；中国烟草总公司重大科技项目（110202101049[LS-09]）；中国烟草总公司云南省公司科技计划重大项目（2022530000241019）

**第一作者 First author，E-mail：w1297485470@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：zbxb2@cau.edu.cn；648778650@qq.com

收稿日期 Received：2025-06-18，接受日期 Accepted：2025-09-04

significantly increased by co-planting with *Artemisia annua*. Natural enemies of *Myzus persicae* were higher when tobacco was planted with other plant species than in tobacco monocultures, however, co-planting with fenugreek and *Artemisia annua* was most beneficial. **[Conclusion]** Mixed-strip planting of tobacco with medicinal plants such as fenugreek or *Artemisia annua* Linn., can significantly reduce the abundance of insect pests and increase the abundance of their natural enemies, thereby controlling tobacco pests in an environmentally-friendly and cost-effective fashion. This kind of mixed-strip planting has considerable potential in future agricultural development.

Key words tobacco; medicinal functional plants; *Myzus persicae*; *Aphidius gifuensis*; ladybug; hover fly

烟草 *Nicotiana tabacum* 作为我国重要的经济作物，在国民经济中占据关键地位。中国是全球烟叶生产量最多的国家，调查发现，烟草在我国的种植面积达 100 多万 hm^2，年产量达 200 多万吨，其产业规模对经济发展具有重要支撑作用（张东艳，2018）。但经济利益的驱动和耕地面积的限制，使烟草的集约化种植和连作成为一种普遍的耕作方式（张继光等，2011；Li *et al.*，2021）。烟草连作会加重病虫害发生，其连作效应带来级联效应，降低烟叶产量和品质（李晓红，2013；杨晋燕等，2021）。烟蚜 *Myzus persicae* 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* 是烟草主要害虫（黄智华等，2019；李丽珠，2019），连作有利于烟草害虫大量繁殖，同时，蚜虫和粉虱是多种病毒病的传播媒介，例如烟草普通花叶病毒病（Tobacco mosaic virus, TMV），烟草连作会加快害虫传播病毒，造成巨额经济损失（张鹏波等，2012；李朝霞等，2020；宋瑞芳等，2021）。烟草连作已导致我国产生了巨额的经济损失，严重制约我国烟草农业的高质量发展（张东艳，2018），长期连作导致烟草长势、亩产、上等烟比例、产值等都显著降低（王茂胜等，2010）。

化学防治是防治烟草害虫的有效方法，长期使用化学农药会引起“3R”问题，而且会杀伤天敌、造成环境污染（吴天星，2014）。害虫综合管理中，生态调控逐步成为重要手段，生态调控利用生态系统中不同作物之间的关系，例如通过干扰昆虫行为，影响害虫对寄主的搜索（Kühnle and Müller，2011；Wynde and Port，2012；Li *et al.*，2021）。很多功能植物会释放出驱避性挥发物，以防御攻击（War *et al.*，2012）。复合种植芳香植物还可以通过提供食物资源或者提供栖息场所来吸引天敌进而进行生物防治（Song *et al.*，2010；Tang *et al.*，2013；Togni *et al.*，2016）。功能植物与作物邻作能够影响害虫及其天敌的种群数量，改变目标作物害虫和天敌组成和群落结构，提高天敌的生物控害作用（Bianchi *et al.*，2006；Thies *et al.*，2008；赵紫华等，2013）。例如，春小麦与毛叶苕子或箭筈豌豆复合种植以及蛇床与小麦或玉米复合种植均可涵养田间天敌、降低害虫种群数量（杨泉峰等，2018；张旭明等，2022）。功能植物与烟草合理复合种植也可以减少烟草病虫害发生，促进烟草的生长发育，增加烟叶产量。例如，烟草与玉米复合种植可显著降低烟蚜的种群数量，进而促进烟草的生长发育（潘磊等，2017），烟草与半夏复合种植不仅显著减少了赤星病的发生，而且提高了烟叶的产量和品质（周文等，2022）。

药用功能植物因其具有特殊用途，所以被认为是一类重要的功能植物（董静洲等，2005）。但将药用植物作为功能植物与烟草进行复合种植，探寻其对烟草生态经济功能和效益的研究甚少，因此本研究选取益母草、艾草、青蒿和葫芦巴这几种药用功能植物与烟草进行复合种植，以烟草单作和烟草复合种植自然植被为对照调查分析烟田上的害虫、天敌种类和种群数量及消长动态。筛选适于烟田生态调控的药用功能植物，探索害虫-天敌-药用功能植物的复合功能和高值利用，初步建立烟田生态调控技术，为我国云南生态保护区烟田的高质量绿色发展提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验小区设计

供试烟草为云南省玉溪市易门县六街烟叶

站提供的 K326 品种，供试药材植物选取葫芦巴、益母草、艾草和青蒿。本试验于 2022 年 4-7 月在云南省玉溪市易门县六街迤栖村试验田（24°82′66″N，102°23′65″E）进行，试验田水肥条件基本一致。试验共分为烟草-益母草（烟-益 T-M）、烟草-艾草（烟-艾 T-W）、烟草-自然植被（烟-自 T-N）、烟草-青蒿（烟-青 T-S）、烟草-葫芦巴（烟-葫 T-F）复合种植及烟草单作（烟-烟 T-T）6 个处理，每个处理 5 次重复，共 30 个小区，每个小区 16 m × 22 m，各小区间设置宽度为 1 m 的隔离带，试验田总面积约为 1.27 hm^2。烟草移栽时间为 4 月 18 日，行距 120 cm，株距 25 cm，烟叶采收结束时间为 8 月 19 日，烟草栽培管理措施按照易门县六街烟叶站的烟草种植方案，除不打杀虫剂外，其余栽培管理条件与当地一致。同时于 4 月上旬将 4 种药用功能植物按照条播的方法播种在每块小区中央 5 m × 22 m 的区域，播种后及时喷水灌溉，保持土壤湿润。出苗后，保持土壤湿润，土壤不宜过干，视土壤具体情况适当浇水 1-2 次，当药用功能植物幼苗生长到 6-10 cm 高时，按 3-6 cm 的株距定苗，每穴留 2-3 株壮苗，缺苗时及时补苗。定苗后，及时除草。

1.2 试验调查方法

于 2022 年 6 月 10 日-7 月 20 日进行烟草害虫及天敌调查。在每小区中选择生长均匀一致的烟草，用 5 点取样法对样地进行系统调查，每点固定 4 株，每块样地共调查 20 株。采用目测计数调查烟蚜、僵蚜及烟粉虱的数量，每 10 d 调查 1 次。将黄板（25 cm × 20 cm）固定于竖直竹棍 1.5 m 左右的位置上，每个小区放置 2 个，每 10 d 收集 1 次，记录每块黄板上烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis*、瓢虫和食蚜蝇的数量。

于烟株封顶后 7 d 调查主要农艺性状，进行烟草产量的分级测定，从每个小区中随机选取 5 株烟株，测量其株高、茎围、有效叶片数、最大叶长和最大叶宽；烟叶于 7 月中旬开始采收，每隔 10 d 采收 1 次，烘烤 10 d，烘烤结束后进行称重测产（夏鸾金玥等，2023）。再根据不同的烟叶品质、外观和制作工艺等因素进行烟叶分级，主要分为上、中、下 3 个等级，上等烟质量优良，外观完整，制作工艺精湛，往往用于高等烟叶制作；中等烟质量一般，外观不够完美，制作工艺较简单，主要用于普通烟叶制作；下等烟叶质量较差，外观不佳，制作工艺简单，通常用于低等烟叶制作，根据该分级标准对不同处理烟田中的烟叶进行分级，不同等级的烟叶在烟草市场具有不同的价格，计算出每个处理烟田的烟草均价后根据公式：烟田产值=烟田产量×均价计算产值。

1.3 数据分析

本试验所有数据均使用 Excel 2021 和 SPSS 26.0 进行处理，首先使用 Excel 处理原始数据，以获得所需的平均值和标准差，并利用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计学分析，采用单因素方差分析进行差异显著性分析，经 Duncan 氏新复极差法进行多重比较，检验差异显著，比较不同处理对烟田害虫及天敌种群、烟草产量和农艺性状的影响，使用 Origin 软件进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 复合种植对害虫的影响

烟草单作和烟草与益母草、艾草、自然植被、青蒿、葫芦巴复合种植的烟蚜平均每株虫量分别为 30.72、51.41、34.64、49.34、29.77 和 19.07 头，其中烟草与葫芦巴复合种植显著降低了烟蚜的种群数量（P<0.05），降低程度达到了 37.92%；烟草与益母草、自然植被复合种植的烟蚜数量显著高于烟草单作，可能会促进烟蚜的发生（图 1：A）。不同处理间烟粉虱的数量均存在显著差异。其中，烟草与青蒿复合种植的烟粉虱数量最多，为 5.66 头/株，烟草与艾草复合种植的烟粉虱数量最少，为 3.79 头/株；与烟草单作相比，烟草与艾草复合种植的烟粉虱数量降低了 25.54%，烟草与葫芦巴复合种植的烟粉虱数量降低了 19.25%（图 1：B）。

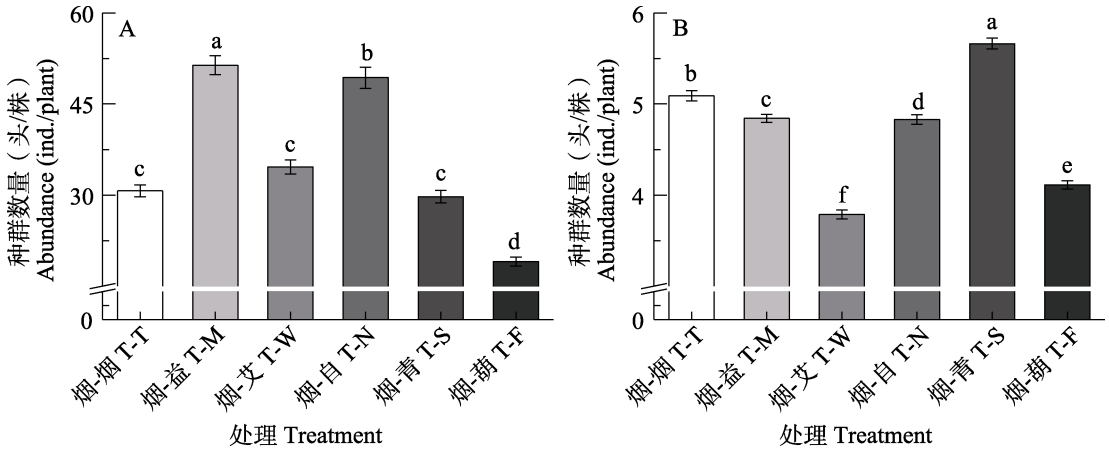

图 1　云南省烟田与药用功能植物不同复合种植处理对烟蚜种群数量（A）和烟粉虱种群数量（B）的影响

Fig. 1　Effects of different intercropping treatments with medicinal functional plants on the abundance of *Myzus persicae* (A) and *Bemisia tabaci* (B) in tobacco fields in Yunnan Province

图中数据为平均值±标准误，柱上不同小写字母表示不同处理经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（P<0.05）。图中烟-烟代表烟草单作、烟-益代表烟草和益母草复合种植、烟-艾代表烟草和艾草复合种植、烟-自代表烟草和自然植被复合种植、烟-青代表烟草和青蒿复合种植、烟-葫代表烟草和葫芦巴复合种植。下表及下图同。

Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters above bars indicate significant difference under different treatments by Duncan's new multiple range test (P<0.05). T-T represents tobacco monoculture, T-M represents tobacco and motherwort compound planting, T-W represents tobacco and wormwood compound planting, T-N represents tobacco and natural vegetation compound planting, T-S represents tobacco and sweet wormwood compound planting, T-F represents tobacco and fenugreek compound planting. The same below.

2.2　烟田复合种植药用功能植物对天敌的影响

所有复合种植处理的僵蚜数量与烟草单作相比均得到提高。烟草与益母草、自然植被复合种植的僵蚜数量无显著差异（P>0.05），但显著高于烟草与艾草、青蒿和葫芦巴复合种植（图 2：A）。烟草与益母草、葫芦巴、青蒿复合种植的烟蚜茧蜂数量分别为 1.32、1.29 和 1.22 头/板，其中，烟草与益母草复合种植的烟蚜茧蜂数量最高，但烟草与益母草、青蒿复合种植的烟蚜茧蜂数量有显著性差异（P>0.05）。烟草单作的烟蚜茧蜂数量最低，为 0.83 头/板，与自然植被复合种植的烟蚜茧蜂数量无显著性差异（P>0.05）（图 2：B）。

烟草与葫芦巴复合种植的瓢虫数量显著（P<0.05）高于其他处理，平均每黄板瓢虫数量为 0.99 头。烟草与自然植被、青蒿和葫芦巴复合种植的瓢虫数量显著（P<0.05）高于烟草单作，且 3 种复合种植处理之间的瓢虫数量也具有显著差异性。烟草单作的瓢虫数量最少，平均每黄板瓢虫数量仅为 0.48 头，与益母草、艾草复合种植处理的瓢虫数量无显著差异（P>0.05）（图 2：C）。

烟草与艾草、自然植被、青蒿和葫芦巴复合种植的食蚜蝇数量显著高于烟草单作和烟草与益母草复合种植，其中，烟草与青蒿复合种植的食蚜蝇数量最多，平均每黄板食蚜蝇数量为 1.48 头，显著高于其他处理；而烟草与益母草复合种植的食蚜蝇数量最少，平均每黄板食蚜蝇数量为 0.39 头；烟草与艾草、葫芦巴复合种植的食蚜蝇数量无显著差异（图 2：D）。

2.3　烟田复合种植药用功能植物对益害比（天敌：蚜虫）的影响

复合种植处理的益害比均显著高于烟草单作处理。其中，烟草与葫芦巴复合种植的益害比最高，为 0.3，显著高于其他处理（P<0.05）；烟草与青蒿复合种植的益害比次之，为 0.2；烟草单作处理的益害比最低，仅为 0.11（图 3）。

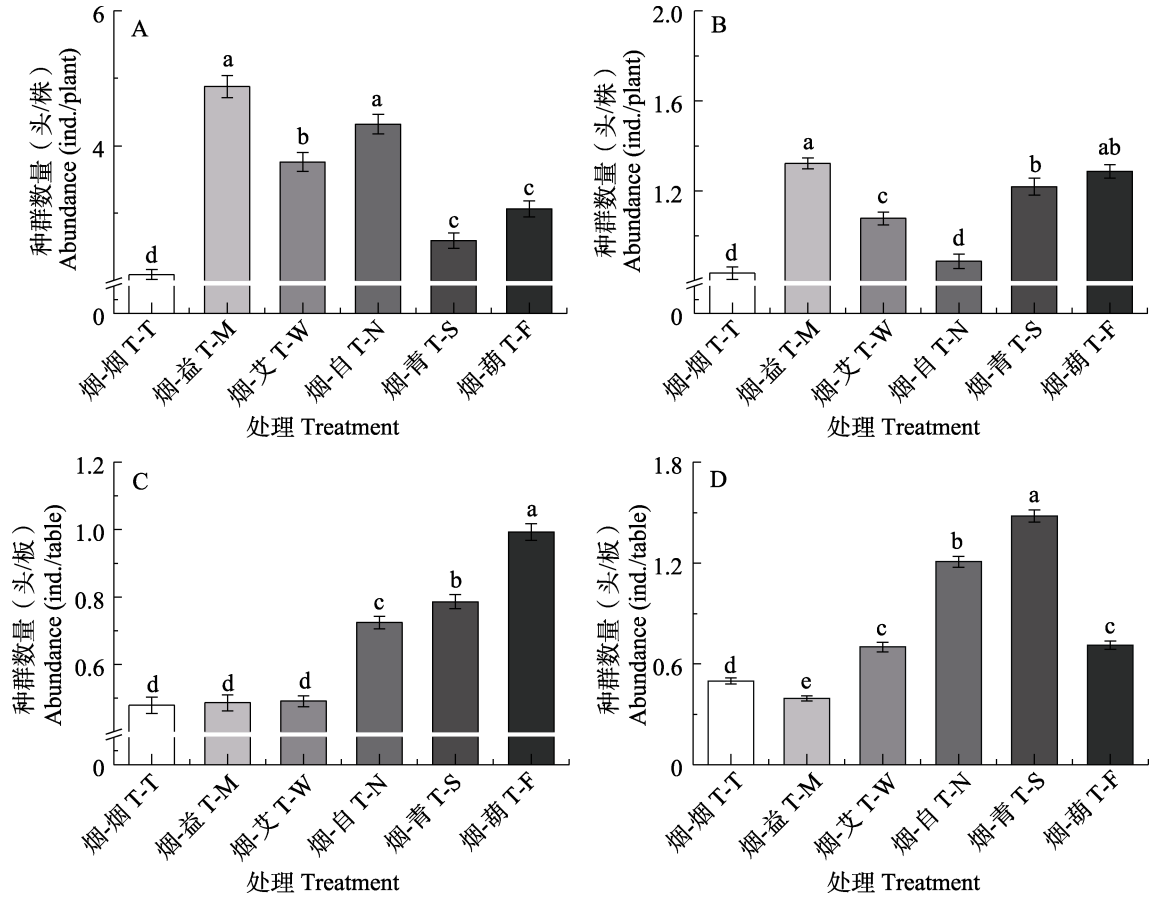

图 2　云南省烟田与药用功能植物不同复合种植处理对僵蚜（A）、烟蚜茧蜂（B）、瓢虫（C）和食蚜蝇（D）种群数量的影响

Fig. 2　Effects of different intercropping treatments with medicinal functional plants on the abundance of mummified aphids (A), *Aphidius gifuensis* (B), ladybug (C) and hover fly (D) in tobacco fields in Yunnan Province

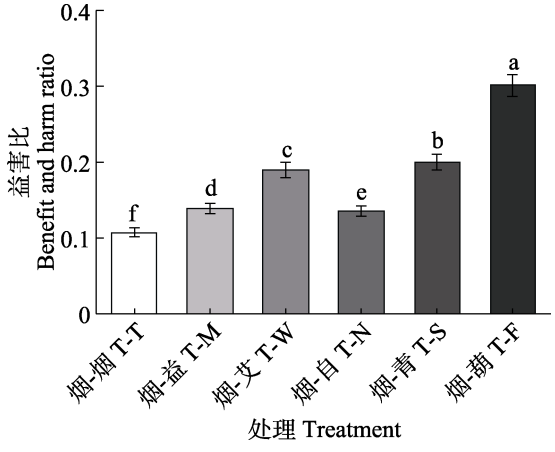

图 3　云南省烟田与药用功能植物不同复合种植处理对益害比的影响

Fig. 3　Effects of different intercropping treatments with medicinal functional plants on benefit and harm ratio in tobacco fields in Yunnan Province

2.4　烟田复合种植药用功能植物对烟草产量和质量的影响

不同复合种植处理烟田与烟草单作相比，均可促进烟草生长。其中，烟草与益母草复合种植的烟株株高最高，为 102.50 cm，与其他处理相比差异显著（P<0.05）；烟草单作的烟株株高最低，为 90.30 cm，显著低于其他复合种植处理（图 4：A）。烟草与药用功能植物复合种植的烟草茎围均显著高于烟草单作。烟草与益母草和艾草复合种植的茎围较大，分别为 10.81 和 10.82 cm；烟草单作的茎围最小，仅为 10.04 cm（图 4：B）。烟草与青蒿复合种植的最大叶长最长，为 71.46 cm，显著高于其他处理（P<0.05）。烟草单作和烟草与自然植被、葫芦巴复合种植的

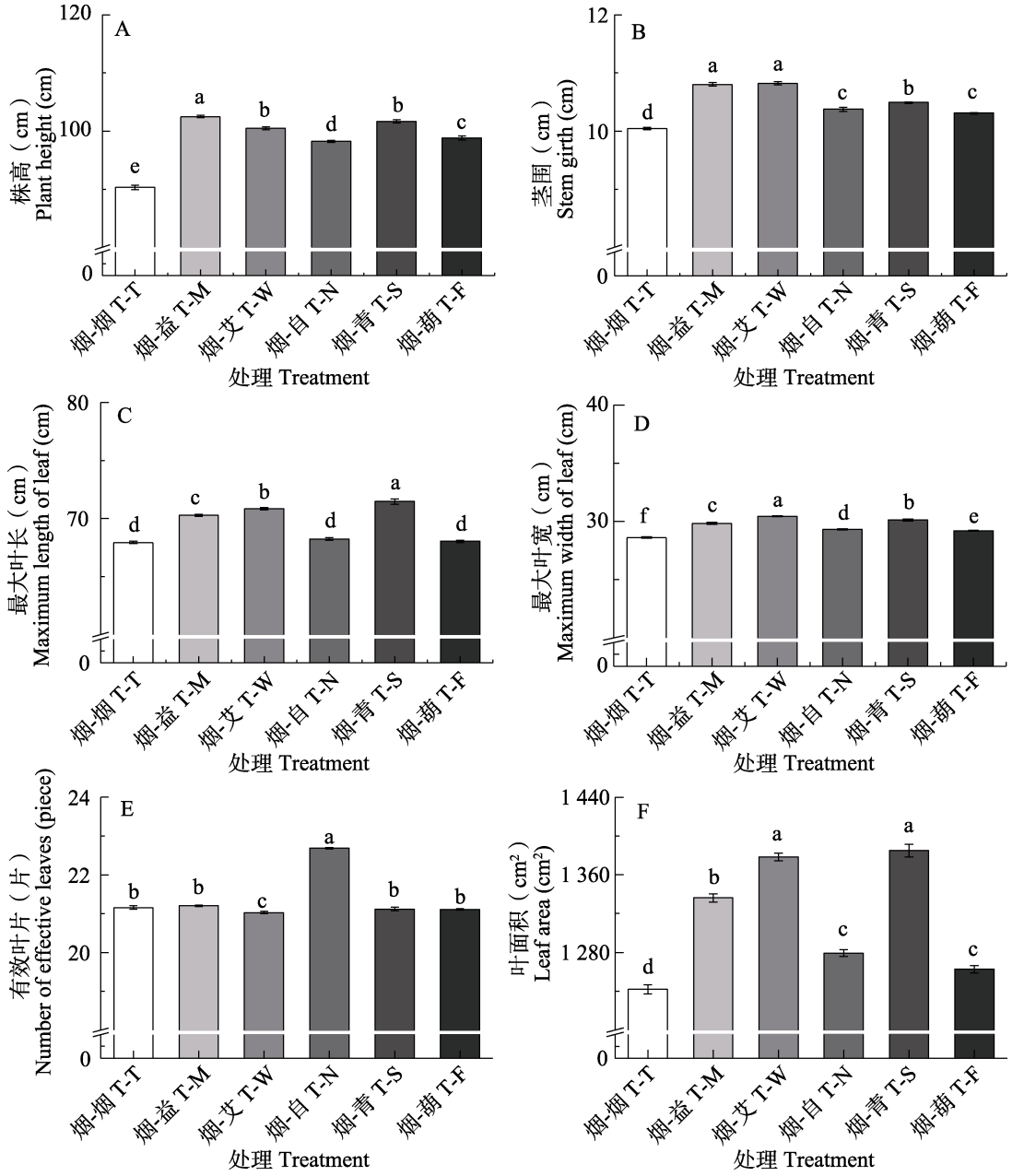

图 4　云南省烟田与药用功能植物不同复合种植处理对烟草农艺性状的影响

Fig. 4　Effects of different intercropping treatments with medicinal functional plants on agronomic trait in tobacco fields in Yunnan Province

A. 云南省烟田与药用功能植物不同间作处理对烟草株高的影响；B. 云南省烟田与药用功能植物不同间作处理对烟草茎围的影响；C. 云南省烟田与药用功能植物不同间作处理对烟草最大叶长的影响；D. 云南省烟田与药用功能植物不同间作处理对烟草最大叶宽的影响；E. 云南省烟田与药用功能植物不同间作处理对烟草有效叶片数的影响；F. 云南省烟田与药用功能植物不同间作处理对烟草有效叶面积的影响。

A. Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on tobacco plant height in tobacco fields in Yunnan Province; B. Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on tobacco stem girth in tobacco fields in Yunnan Province; C. Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on maximum length of tobacco in Yunnan Province; D. Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on maximum width of tobacco in Yunnan Province; E. Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on effective leaves in tobacco fields in Yunnan Province; F. Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on leaf area of tobacco in Yunnan Province.

最大叶长没有显著差异（P>0.05），最大叶长分别为 67.92、68.24 和 68.03 cm（图 4：C）。烟草单作的最大叶宽最小，仅为 28.61 cm，显著低于其他处理。烟草与艾草复合种植的最大叶宽最大，达到 30.44 cm（图 4：D）。烟草与自然植被复合种植的有效叶片数最多，为 22.68 片，显著高于其他处理（P<0.05）。烟草单作和烟草与益母草、青蒿、葫芦巴复合种植的烟草有效叶片数没有显著差异（P>0.05），分别为 21.16、21.20、21.12 和 21.10 片。烟草与艾草复合种植的烟草有效叶片数最少，为 21.03 片，显著低于其他处理（图 4：E）。烟草与药用功能植物复合种植对烟叶的有效叶面积有显著提高作用（P<0.05），其中，烟草与青蒿复合种植的有效叶面积最大，为 1 385.10 cm^2，显著高于烟草单作和烟草与益母草、自然植被、葫芦巴复合种植（P<0.05）；烟草单作的有效叶面积最小，仅为 1 241.88 cm^2，显著低于复合种植处理（图 4：F）。

从表 1 可以看出，烟草与药用功能植物复合种植的烟草产量均有不同程度的提高。其中，烟草与青蒿复合种植的烟草产量最高，显著高于其他处理，达到 2 158.07 kg/hm^2（P<0.05），与烟草单作相比提高了 27.12%。烟草与艾草、自然植被复合种植的烟草产量无显著差异（P>0.05），分别为 2 040.15 和 2 059.56 kg/ hm^2。烟草与葫芦巴复合种植的烟草产量为 1 770.76 kg/hm^2，显著高于烟草单作烟田（P<0.05）。烟草单作烟田的烟草产量最低，仅为 1 697.6 kg/hm^2。烟草与益母草、艾草、青蒿和自然植被复合种植处理的总产值分别为 77 107.43、73 668.39、75 251.11、74 165.64 元/hm^2，均可显著提高烟草总产值（P<0.05）。其中，烟草与益母草复合种植的总产值最高，与烟草单作相比提高了 31.12%。烟草与葫芦巴复合种植的烟草总产值与烟草单作相比无显著差异（P>0.05），为 58 502.89 元/hm^2。烟草与益母草、艾草、自然植被复合种植的均价与烟草单作相比也有显著提高（P<0.05），其中，烟草与益母草复合种植提高了 8.07%、烟草与艾草复合种植提高了 7.98%、烟草与自然植被复合种植提高了 8.72%；烟草与青蒿复合种植和烟草单作相比无显著差异（P>0.05），烟草与葫芦巴复合种植的均价有一定下降，下降了 3.77%。

表 1　云南省烟田与药用功能植物不同复合种植处理对烟草产量、产值和均价的影响

Table 1　Effects of different intercropping treatments between tobacco fields and medicinal functional plants on tobacco yield, value of output and average price in Yunnan Province

处理 Treatment	产量（kg/hm^2） Output (kg/hm^2)	产值（元/hm^2） Output value (yuan/hm^2)	均价（元/kg） Average price (yuan/kg)
烟-烟 T-T	1 697.60±12.73 e	58 807.97±572.28 d	33.94±0.11 c
烟-益 T-M	2 102.40±3.16 b	77 107.43±159.11 a	36.68±0.03 ab
烟-艾 T-W	2 040.15±19.43 c	73 668.39±870.23 c	36.65±0.14 b
烟-自 T-N	2 059.56±17.81 c	75 251.11±664.50 ab	36.90±0.03 a
烟-青 T-S	2 158.07±16.69 a	74 165.64±571.23 bc	34.32±0.11 c
烟-葫 T-F	1 770.76±11.04 d	58 502.89±432.40 d	32.66±0.11 d

表中数据为平均值±标准误，同一列数据后不同字母表示不同处理下经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著（P<0.05）。
Data in the table are mean±SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant difference under different treatments by Duncan's new multiple range test (P<0.05).

不同等级烟叶所占比例的情况见图 5，调查发现烟草与艾草复合种植的上等烟叶占比最大，为 86%。烟草与自然植被复合种植的上等烟叶占比最小，为 71%。烟草与青蒿、葫芦巴复合种植和烟草单作的上等烟叶占比分别为 73%、78%和 81%。

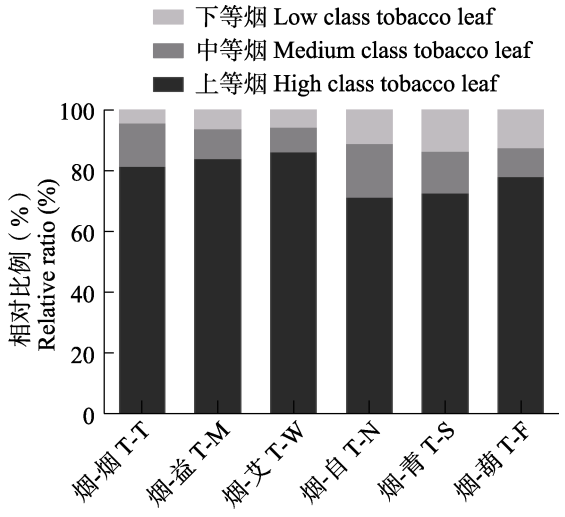

图 5　云南省烟田与药用功能植物不同复合种植处理对烟草各级烟叶比例的影响

Fig. 5　Effect of different intercropping treatments with medicinal functional plants on the proportion of tobacco leaves at all levels in tobacco fields in Yunnan Province

3　讨论

复合种植模式因其具有不同物种之间的资源互补性，所以常用作为提高作物产量的一种先进生产方式（Lithourgidis *et al.*，2011）。但近年来有研究发现在田间复合种植一些其他植物时，不仅可以降低该田块中的害虫发生量和提高天敌数量，还可以提高目标产物的品质和产量，让复合种植在防治病虫害方面具有新的应用前景。例如，张媛媛等（2024）研究发现与单独种植苍术相比，与大蒜复合种植可以使蚜虫的发生期推迟，有效减轻虫害。在田间复合种植一些开花植物，可以为天敌提供食物来提高天敌的繁殖能力或吸引天敌，使复合种植成为生物防治害虫的一种新思路（董文霞等，2016）。因此，本研究将烟草与药用功能植物进行复合种植，不仅可以筛选出具有生物防治烟田害虫的功能植物，还可以为科学合理种植烟草、提高烟草品质和产量提供新的方式策略。

烟草复合种植功能植物可以减少害虫的发生量、增加天敌昆虫的数量和提高作物产量（潘磊等，2017；刘金燕等，2018；周文等，2022）。本研究发现烟草与葫芦巴复合种植可以显著降低烟蚜的发生量，这与白玉灵和周贺廷（1982）的研究结果相似，发现棉花与葫芦巴复合种植可以使棉蚜 *Aphis gossypii* 忌避葫芦巴释放的香豆素气味，抑制棉蚜的发生。此外，本研究结果表明，烟草与艾草、葫芦巴复合种植对烟粉虱也有较好的抑制效果，这可能是由于艾草所含的化合物具有较强的接触毒性，因而对害虫起到驱避、触杀和熏蒸作用（Zhang *et al.*，2014），葫芦巴释放的芳香气味中含有的挥发性物质具有驱虫的作用（史永贵，2002）。烟草与药用功能植物复合种植均可提高益害比，且烟草与葫芦巴复合种植的益害比最高，说明烟草与葫芦巴复合种植的农田中，食物网之间的相互制约能力和农田生态系统的稳定性均得到显著加强。

复合种植不仅可以改变田间生态系统中昆虫的多样性，还可以改善作物农艺性状和品质。研究表明，禾本科和豆科复合种植组合是一个优选系统，通过二者的生态位互补和豆科植物的固氮作用可以提高作物中的营养元素含量、改善作物品质（王新宇和高英志，2020；赵建华等，2020；柴继宽等，2023），而烟草复合种植处理与单作相比在时间和空间上有很大差异，形成互补，提高了对光、热资源的利用效率，在一定程度上促进了烟草的生长发育（刘剑等，2007）。本研究发现，与烟草单作相比，烟草与益母草、青蒿和葫芦巴复合种植可以提高烟草的农艺性状，更好的促进烟草的生长发育。这与周广苗（2020）研究结果类似，发现复合种植显著降低同种作物间的竞争，充分利用土壤肥力资源和提高土壤肥力资源利用率的同时，可以提高烟叶的品质；张宗锦等（2019）通过烟草复合种植菽麻发现，二者复合种植可以显著提高烟叶的产量和产值，且 11 复合种植的方式效果最佳。

基于以上研究结果，可以发现烟草与青蒿、葫芦巴复合种植能够大大提升烟草的生态效益和经济产量。复合种植处理不仅可以通过增加烟草产量获得经济收入，复合种植药用功能植物的产物还可以获得额外的经济收益。另外，复合种

植增加了天敌数量，还可以减少杀虫剂等化学农药的开支。因此，为更好的适应农业生产活动、增加收益，烟草和青蒿、葫芦巴复合种植的方式更佳，后续可以考虑投入实际生产。本研究选取药用植物与烟草进行复合种植，以单作烟田和自然植被烟田为对照，分析不同处理下烟田昆虫多样性的变化，探究烟田复合种植模式对烟草产量和质量的影响，获取了部分真实且具有科学价值的实验数据结果，但探究复合种植模式对烟田的长期生态效益和经济效益需要长时间的持续调查，深入分析不同功能植物与烟草复合种植之后的生态效益，还有待进一步研究。

参考文献 (References)

Bai YL, Zhou HT, 1982. The effect of suppressing cotton aphid population by interplanting *Trigonella foenum-graecum* L.. *Acta Entomologica Sinica*, 25(3): 350. [白玉灵, 周贺廷, 1982. 棉花胡卢巴间作防蚜效果显著. 昆虫学报, 25(3): 350.]

Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharntke T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 273(1595): 1715–1727.

Chai JK, Zhao GQ, Zhang LR, Zeng L, Zhang JG, 2023. Effects of nitrogen application and intercropping on dry matter accumulation, distribution and nitrogen absorption and utilization of oat. *Chinese Journal of Grassland*, 45(1): 88–98. [柴继宽, 赵桂琴, 张丽睿, 曾亮, 张建贵, 2023. 施氮及间作对燕麦干物质积累、分配和氮素吸收利用的影响. 中国草地学报, 45(1): 88–98.]

Dong JZ, Yi ZL, Jiang JX, 2005. Current situation of the research on the germ plasm resources of medicinal plant in China. *Journal of West China Forestry Science*, 34(2): 95–101. [董静洲, 易自立, 蒋建雄, 2005. 我国药用植物种质资源研究现状. 西部林业科学, 34(2): 95–101.]

Dong WX, Xiao C, Li CY, 2016. Effect of diversified cropping on insect pests and natural enemies in agroecosystems. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 24(4): 435–442. [董文霞, 肖春, 李成云, 2016. 作物多样性种植对农田害虫及天敌的影响. 中国生态农业学报 24(4): 435–442.]

Huang ZH, Zhao JL, Cui YH, Yang HL, Zhou WB, Ji SG. Zhang LM, 2019. Investigation of pests and natural enemies in tabacco-planting field in Yuxi City, Yunnan Province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 32(5): 1067–1073. [黄智华, 赵进龙, 崔永和, 杨海林, 周文兵, 计思贵, 张立猛, 2019. 云南玉溪烟田害虫及天敌资源调查分析研究. 西南农业学报, 32(5): 1067–1073.]

Kühnle A, Müller C, 2011. Relevance of visual and olfactory cues for host location in the mustard leaf beetle *Phaedon cochleariae*. *Physiological Entomology*, 36(1): 68–76.

Li LZ, 2019. Classification and control techniques of main tobacco diseases and insect pests in Yunnan. *Tropical Agricultural Engineering*, 43(2): 14–16. [李丽珠, 2019. 云南烟草主要病虫害分类及防治技术. 热带农业工程, 43(2): 14–16.]

Li XH, 2013. Discussion on hazards and control measures of cropping tobacco. *Horticulture and Seed*, 33(12): 55–58. [李晓红, 2013. 烟草连作危害及防治措施探讨. 园艺与种苗, 33(12): 55–58.]

Li XW, Lu XX, Zhang ZJ, Huang J, Zhang JM, Wang LK, Hafeez M, Fernández-Grandon GM, Lu YB, 2021. Intercropping rosemary (*Rosmarinus officinalis*) with sweet pepper (*Capsicum annum*) reduces major pest population densities without impacting natural enemy populations. *Insects*, 12(1): 74.

Li ZX, Sun S, Fu ZQ, 2020. Occurrence characteristics and green prevention and control measures of main virus diseases of flue-cured tobacco in Weifang area. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(22): 101–102. [李朝霞, 孙松, 付在秋, 2020. 潍坊地区烤烟主要病毒病发生特点及绿色防控措施. 现代农业科技, 2020(22): 101–102.]

Lithourgidis AS, Dordas CA, Damalas CA, Vlachostergios DN, 2011. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4): 396–410.

Liu J, Hou YL, Wang LS, Liu QY, Bai HJ, Liu ZQ, Guo QW, 2007. On the intercrop mode for flue-cured tobacco and sweet potato. *Chinese Tobacco Science*, 28(1): 40–42. [刘剑, 侯跃亮, 王乐三, 刘起业, 白化军, 刘中庆, 郭全伟. 2007. 烤烟地瓜间作模式研究. 中国烟草科学, 28(1): 40–42.]

Liu JY, Tang ZQ, Dong YH, Li W, Zhu QF, Pei ZY, 2018. Selection behavior of *Myzus persicae* to different plant species. *Tobacco Science and Technology*, 51(7): 36–39. [刘金燕, 汤朝起, 董勇浩, 李炜, 朱启法, 裴洲洋, 2018. 烟蚜对不同寄主植物间的选择性分析. 烟草科技, 51(7): 36–39.]

Pan L, Chen YS, Yang XD, Ma WG, 2017. Effects of tobacco-*Artemisia carvifolia* intercropping on controlling tobacco diseases and evaluation of field interaction. *Guangdong*

Agricultural Sciences, 44(11): 116–121. [潘磊, 陈云松, 杨晓东, 马文广, 2017. 青蒿间作防控多种烟草病害效果及田间互作影响. 广东农业科学, 44(11): 116–121.]

Shi YG, 2002. Bedroom fragrance cleanser-vanilla. *Science and Technology of Sichuan agriculture*, 2002(8): 25. [史永贵, 2002. 居室清香剂: 香草. 四川农业科技, 2002(8): 25.]

Song BZ, Wu HY, Kong Y, Zhang J, Du YL, Hu JH, Yao YC, 2010. Effects of intercropping with aromatic plants on the diversity and structure of an arthropod community in a pear orchard. *BioControl*, 55(6): 741–751.

Song RF, Xu GH, Chang D, Ma WH, 2021. Occurrence and comprehensive prevention and control of tobacco virus disease in Henan tobacco area. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2021(23): 88–90. [宋瑞芳, 徐光辉, 常栋, 马文辉, 2021. 河南烟区烟草病毒病的发生与综合防控. 现代农业科技, 2021(23): 88–90.]

Tang GB, Song BZ, Zhao LL, Sang XS, Wan HH, Zhang J, Yao YC, 2013. Repellent and attractive effects of herbs on insects in pear orchards intercropped with aromatic plants. *Agroforestry Systems*, 87(2): 273–285.

Thies C, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T, 2008. Interannual landscape changes influence plant-herbivore-parasitoid interactions. *Agriculture*, *Ecosystems and Environment*, 125(1/4): 266–268.

Togni PHB, Venzon M, Muniz CA, Martins EF, Pallini A, Sujii ER, 2016. Mechanisms underlying the innate attraction of an aphidophagous coccinellid to coriander plants: Implications for conservation biological control. *Biological Control*, 92: 77–84.

Wang MS, Chen Y, Xue XP, Pan WJ, Cao Y, Lei B, 2010. Effects of long-term continuous cropping on yield and quality of flue-cured tobacco. *Tillage and Cultivation*, 2010(1): 8–9, 43. [王茂胜, 陈懿, 薛小平, 潘文杰, 曹毅, 雷波, 2010. 长期连作对烤烟产量和质量的影响. 耕作与栽培, 2010(1): 8–9, 43.]

Wang XY, Gao YZ, 2020. Advances in the mechanism of cereal/legume intercropping promotion of symbiotic nitrogen fixation. *Chinese Science Bulletin*, 65(2): 142–149. [王新宇, 高英志, 2020. 禾本科/豆科间作促进豆科共生固氮机理研究进展. 科学通报, 65(2): 142–149.]

War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma HC, 2012. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling and Behavior*, 7(10): 1306–1320.

Wu TX, 2014. Research progress in integrated management strategies of *Myzus persicae* (Sulzer). *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 20(20): 59–60, 65. [吴天星, 2014. 烟蚜综合防治策略研究进展. 安徽农学通报, 20(20): 59–60, 65.]

Wynde FJH, Port GR, 2012. The use of olfactory and visual cues in host choice by the capsid bugs *Lygus rugulipennis* Poppius and *Liocoris tripustulatus* Fabricius. *PLoS ONE*, 7(12): e46448.

Xia LJY, Wang SB, Shen YH, Huang CX, Zeng WQ, Yue ZQ, 2023. Study on soil environmental effect of biodegradable mulch film as Yuxi City. *Modern Agricultral Research*, 29(10): 1–7. [夏鸾金玥, 王帅兵, 申雨禾, 黄彩霞, 曾维庆, 岳志强, 2023. 全生物可降解地膜的土壤环境效应研究——以玉溪市为例. 现代农业研究, 29(10): 1–7.]

Yang JY, Zhao YW, Dong NY, Li JY, Liu XY, Li HC, Chang JB, Chen YC, Yang JJ, 2021. Causes and prevention methods of tobacco continuous cropping obstacles. *Modern Agricultural Science and Technology*, 786(4): 101–103. [杨晋燕, 赵永伟, 董宁禹, 李佳颖, 刘新源, 李洪臣, 常剑波, 陈彦春, 杨军杰, 2021. 烟草连作障碍产生的原因及防治方法. 现代农业科技, 786(4): 101–103.]

Yang QF, 2018. 4th instar larvae of *Coccinella septempunctata* on the functional plant-*Cnidium monnieri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 816. [杨泉峰, 2018. 功能植物蛇床上的七星瓢虫 4 龄幼虫. 应用昆虫学报, 55(5): 816.]

Zhang DY, 2018. Effects of rotation (intercropping) between flue-cured tobacco and Chinese herbal medicine on soil microbe and yield and quality of flue-cured tobacco. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [张东艳, 2018. 药烟轮间作对土壤微生物及烤烟产质量的影响. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]

Zhang JG, Shen GM, Zhang JQ, Zhang ZF, Shi Y, Li SB, Liu HW, Shi P, 2011. Advance in continuous cropping problems of tobacco. *Chinese Tobacco Science*, 32(3): 95–99. [张继光, 申国明, 张久权, 张忠锋, 石屹, 李世博, 刘海伟, 时鹏, 2011. 烟草连作障碍研究进展. 中国烟草科学, 32(3): 95–99.]

Zhang PB, Zhang JB, Qu F, Cui SJ, Sun ZX, 2012. Occurrence characteristics and control measures of main tobacco virus diseases in Laiwu area. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2012(3): 218–219. [张鹏波, 张建波, 屈峰, 崔树军, 孙兆学, 2012. 莱芜烟区主要病毒病发生特点及防治对策. 现代农业科技, 2012(3): 218–219.]

Zhang WJ, You CX, Yang K, Chen R, Wang Y, Wu Y, Geng ZF, Chen HP, Jiang HY, Su Y, Lei N, Ma P, Du SS, Deng ZW, 2014. Bioactivity of essential oil of *Artemisia argyi* Lévl. et Van. and its main compounds against *Lasioderma serricorne*. *Journal of*

Oleo Science, 63(8): 829–837.

Zhang XM, Guo JG, Xie XL, Zhao FF, Xue YY, Jin SL, 2022. Effects of intercropping spring wheat with green manure legumes on population dynamics of *Sitobion avenae* and its natural enemies. *China Plant Protection,* 42(11): 28–32. [张旭明, 郭建国, 谢晓丽, 赵发福, 薛应钰, 金社林, 2022. 春小麦间作豆科绿肥对麦长管蚜及其天敌种群发生动态的影响. 中国植保导刊, 42(11): 28–32.]

Zhang YY, Zhao P, Wang YQ, 2024. Study on the ecological planting mode of *Atractylodes chinensis* based on "intercropping, decapitation and covering dregs". *Special Economic Animal and Plant*, 27(5): 25–29. [张媛媛, 赵鹏, 王永强, 2024. 基于"间作、去顶、覆盖药渣"的北苍术生态种植模式研究. 特种经济动植物, 27(5): 25–29.]

Zhang ZJ, Yan FF, Kong CX, Zhang YJ, Yang P, Ni RQ, Wang R, Zhang HH, 2019. Effects of intercropping flue-cured tobacco with *Crotalaria junce* L. on the control of root-knot nematodes, yield and output of tobacco. *Chinese Tobacco Science*, 40(2): 52–56. [张宗锦, 闫芳芳, 孔垂旭, 张映杰, 杨鹏, 倪荣清, 王蓉, 张海华, 2019. 烤烟菽麻间作对烟草根结线虫防效及烟叶产质量的影响. 中国烟草科学, 40(2): 52–56.]

Zhao JH, Sun JH, Chen LZ, 2020. Productivity and interspecific competition of maize intercropped with faba bean, soybean or pea. *Acta Prataculturae Sinica*, 29(1): 86–94. [赵建华, 孙建好, 陈亮之, 2020. 三种豆科作物与玉米间作对玉米生产力和种间竞争的影响. 草业学报, 29(1): 86–94.]

Zhao ZH, Ou YF, Men XY, Liu JH, He DH, Ge F, 2013. Habitat management in biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 879–889. [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 刘军和, 贺达汉, 戈峰, 2013. 生境管理——保护性生物防治的发展方向. 应用昆虫学报, 50(4): 879–889.]

Zhou GM, 2020. Effects of rotation (intercropping) between flue-cured tobacco and *Salvia miltiorrhiza* on soil biological properties and tobacco leaf quality. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [周广苗, 2020. 烤烟和丹参轮间作对土壤生物学性状及烟叶品质的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]

Zhou W, Guo XH, Xu R, Wang XL, Niu HW, Han D, Shao HF, 2022. Effects of intercropping *Pinellia ternata* on growth, yield and quality of flue-cured tobacco. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(7): 161–169. [周文, 郭笑恒, 徐锐, 王晓丽, 牛慧伟, 韩丹, 邵惠芳, 2023. 烤烟间作半夏对烤烟生长及产量和品质的影响. 中国农业科技导报, 25(7): 161–169.]