

## 烟草病虫害绿色防控技术研究进展

石阳阳, 胡锦涛, 吕培军 (丹江口市烟草专卖局, 湖北丹江口 442700)

**摘要** 长期大量使用农药防治烟草病虫害导致烟叶农药残留增加, 害虫抗药性增强, 符合环保健康、可持续发展理念的绿色防控技术引起了关注。综述农业防控、理化诱控、生物防治、立体防治技术在烟草病虫害防控方面的研究进展, 认为根据当地生态环境以及病虫害的种类和发生规律, 集成并优化多重防控技术将成为我国烟区病虫害绿色防治的主要途径。

**关键词** 烟草; 病虫害; 绿色防控技术; 多重防控

中图分类号 S435.72 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)14-0009-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.003



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research Progress on Green Prevention and Control of Tobacco Diseases and Pests

SHI Yang-yang, HU Jin-wen, LÜ Pei-jun (Danjiangkou Municipal Tobacco Monopoly Bureau, Danjiangkou, Hubei 442700)

**Abstract** The long-term extensive use of pesticides to control tobacco diseases and pests has led to the increase of pesticide residues in tobacco leaves and the enhancement of pest resistance. The green prevention and control technology in line with the concept of pro-environment, health and sustainable development has attracted attention. In this paper we reviewed the research progress of agricultural control, physical and chemical control, biological control, and dimensional control in tobacco disease and insect pest control. It is concluded that integrating and optimizing multiple control measures based on the local ecological environment, the types and occurrence rules of diseases and pests will become the main way of green prevention for tobacco diseases and pests of China.

**Key words** Tobacco; Plant diseases and insect pests; Green prevention and control technology; Multiple control

烟草作为一种经济作物在我国已经有将近 400 年历史, 我国是烟叶生产和消费大国, 烟草行业更是我国不可或缺的财政支柱<sup>[1]</sup>。烟草病虫害是降低烟叶质量和产量的重要因素之一。当前我国已经确认的烟草侵染性病害有 68 种, 虫害有 200 种<sup>[2-3]</sup>。据统计<sup>[4]</sup>, 我国烟叶主产区由主要病虫害造成的年均经济损失超过 12 亿元, 占有损失的 80% 以上。目前烟草病虫害的防治以化学防治为主, 我国的主要烟叶种植省份采购的农药中有 96.7% 是化学农药<sup>[5]</sup>。长期大量使用农药会造成“3R”问题, 不利于烟草行业的可持续发展<sup>[6-7]</sup>。采用生态调控、理化诱控、生物防控措施以及提高用药精准性、科学性, 降低农药残留是烟叶绿色生产的发展趋势。

绿色防控是指在保护农产品质量和农业生态环境安全的情况下, 尽量减少使用化学农药, 以农业防控为基础, 优先采取生态调控、生物防治、物理防治和科学用药等绿色防控措施控制作物病虫害发展, 提高作物抗病虫害能力的技术。确保烟叶生产提质增效, 提高烟叶生产过程中的病虫害绿色防治效率势在必行。该研究概述了当前我国烟叶生产绿色防控技术的研究及应用状况, 以期为大面积推广烟叶绿色防控技术提供参考依据。

## 1 农业防控技术

农业防控措施是一种最基础的烟草病虫害防治措施, 包括选育种植抗病虫品种、翻耕整地、合理轮作、适时移栽、保健栽培、合理施肥、精准使用农药、田间管理等措施。

**1.1 选育抗虫抗病品种** 烟草对病虫害都有一定的天然抵抗力, 选育并种植具有抗病抗虫特性的品种能够减少农药的使用, 降低农药残留, 是一种经济安全的防控病虫害的措施。

自 20 世纪 60 年代, 我国筛选出净叶黄<sup>[8]</sup> 作为赤星病抗育种种的抗源亲本之后, 其他病虫害抗性烟草品种陆续被选育出来并应用于生产。如革新 3 号对 3 种致病型黑胫病的抗性均较好<sup>[9]</sup>, 烟草品种 G28 抗根结虫病性较强<sup>[10]</sup>。在烟草病虫害发生严重的产区种植的复合抗病虫品种田间农艺性状较优, 能在一定程度上减少经济损失<sup>[11-12]</sup>。研究表明, 烟叶背茸毛密度、可溶性蛋白质含量和叶绿素含量低的品种对烟蚜抗性<sup>[13]</sup>, 但是这些因素影响抗虫性的机制还有待研究。

**1.2 翻耕整地** 翻耕整地可以改善土壤结构, 切断真菌、细菌传播途径, 消除害虫繁殖场所<sup>[14-15]</sup>。同时深耕翻土能够将害虫虫卵及幼虫暴露在土壤表面或填埋于土壤深层, 通过天敌捕食、高温暴晒、填埋窒息等方式降低虫口数量<sup>[16]</sup>。翻耕深度也会显著影响作物发病率。深翻不利于抑制青枯病的发生, 随着翻耕深度增加反而会使青枯病的发病风险增大<sup>[15]</sup>。研究表明, 青枯病的发病率与土壤 pH 呈正相关, 与土壤有机质、速效氮、有效态铁锰以及交换性镁含量呈显著负相关。翻耕配合施用生物炭能显著降低青枯病发病率, 这可能与生物炭改良土壤透气性及理化性质有关<sup>[17]</sup>。

**1.3 合理轮作、套作** 长时间种植单一作物会带来土壤养分失衡、病虫害盛行、烟叶产质量下降等问题。合理的轮作、套作模式不仅可以高效利用自然资源, 提高田间生物多样性和复种指数, 还能够一定程度上提高土壤养分含量, 改善作物品质<sup>[18]</sup>。“年中间作, 年间就地轮作”模式能显著降低青枯病发病率, 烤烟产量、产值也得到显著提高<sup>[19]</sup>。部分间作植物的分泌物还具有杀菌抑虫、诱导植物产生防卫反应的作用, 如大蒜<sup>[20-21]</sup>、玫瑰花<sup>[22]</sup> 在生长代谢过程中能够通过根系分泌一些具有杀菌效果的有机代谢产物, 如二烯丙基二硫醚、烯丙基甲基二硫醚和苯并噻唑能抑制黑胫病菌菌丝生长或者释放醇类和酯类等有机物质诱导烟草叶片产生防卫反

**作者简介** 石阳阳(1995—), 女, 河南安阳人, 助理农艺师, 硕士, 从事环境污染化学与生物修复研究。

**收稿日期** 2022-03-01

应蛋白来增强抗病性。菽麻<sup>[23]</sup>分泌的杀线虫活性物质和高蒿<sup>[24-25]</sup>分泌的高蒿素对害虫具有毒杀、拒食作用。间套作模式不仅可以发挥“物理屏障”的作用阻碍或延缓昆虫介体和病菌传播<sup>[26-30]</sup>,还能够通过改善田间昆虫种群结构,丰富田间生物多样性,保护天敌昆虫<sup>[31]</sup>。

**1.4 保健栽培** 适时移栽无病壮苗是防止病虫害发生和传播的重要举措之一<sup>[32]</sup>,有利于降低烟株根茎类病害发生率<sup>[33-34]</sup>。控施氮肥、增施磷钾肥及中微量元素肥料,能提高作物的抗病抗虫性。研究表明,烟株抗病抗虫性的提高可能是烟叶吸收的钾元素增多使细胞壁增厚所致<sup>[35-36]</sup>。郑世燕等<sup>[37]</sup>研究表明,增施 Mo 提高烟草抗青枯病能力效果最好,其次为 Ca。这可能是因为 Mo 在氮素代谢中发挥了重要作用,使植物体内的 POD、CAT、PPO 和抗坏血酸酶活性提高,提高了抗病性;而 Ca 可能是通过提高植物细胞壁稳定性,降低多聚半乳糖醛酸酶活性增强抗病性。研究表明,增施硫酸锌提高烤烟对花叶病毒病的抗性机理可能是硫酸锌激活烟株产生了应激反应,降低了过氧化物同工酶活性<sup>[38-39]</sup>。有机肥提供的养分更加协调稳定,合理施用有机肥和绿肥能够改善烟叶化学成分协调性,提高抗病性,提升感官评吸质量和烟叶的产质量<sup>[40-43]</sup>。

除此之外,良好的栽培及田间管理措施也是绿色生产必需的。于会泳等<sup>[44]</sup>研究发现,烟草团棵期发病率与起垄高度和种植深度有关,垄高 40 cm、深度为 6 cm 时发病率最低。保持田间通风透光状况良好,及时清理田间杂草、烟秆残体等废弃物也有助于预防病虫害的发生。

**1.5 精准使用农药** 近年来,由于科学用药理念和技术宣传不到位导致烟农盲目使用剧毒和高残留的农药。据统计<sup>[45]</sup>,由于滥用农药和施药器械选择、操作不到位等原因造成农药利用效率只有 30%,剩余农药分布在土壤、空气和水体中,造成环境污染。而精准施药技术可以在减少 30%~50%农药用量的情况下使农药利用率提高至 80%,减少环境污染。针对不同的病虫害和烟株不同生育期的特性精准施药是烟叶绿色生产的一大重要举措。

## 2 理化诱控技术

效率高、环保无毒、无残留、操作简单是物理诱控的特点,其中应用较为广泛的有杀虫灯诱杀、色板诱控、食诱、地膜和防虫网防控措施。化学诱控中使用比较广泛的是昆虫信息素诱控,目前这些理化防控措施在国内已经大面积推广应用<sup>[8]</sup>。

**2.1 杀虫灯** 杀虫灯诱杀害虫是使用较多的绿色防控措施之一,其原理是利用昆虫的趋光性和趋波性。在使用太阳能杀虫灯的 42 d 内,每台杀虫灯日均诱杀害虫可达 109 头,其中以鳞翅目和鞘翅目昆虫为主,对有益天敌影响较小<sup>[46]</sup>。杀虫灯可以减少成虫数量,使落卵量降低 30%~40%,抑制幼虫对烟叶的危害<sup>[32]</sup>。

**2.2 色板诱控** 利用不同害虫对不同颜色诱板的趋性诱杀是色板诱杀的原理。应用比较广泛的有黄色和蓝色诱板,黄色诱板用于诱杀烟蚜和烟粉虱等害虫,应用范围最广,而蓝

板用来诱杀蓟马<sup>[5]</sup>。由于色板使用量逐年增加,为了避免对环境造成二次污染,国内已经开发出利用玉米淀粉等可降解材料制作的黄板,但是由于其成本较高,目前还没有推广使用<sup>[7]</sup>。

**2.3 地膜及防虫网防控** 育苗全程使用防虫网能有效隔离害虫,防止害虫和病害的传播<sup>[47]</sup>。李淑君等<sup>[48]</sup>通过研究苗床期不同措施对蚜虫及病虫害防治效果发现,40 目防虫网效果最好。地膜栽培防止蚜虫和病害的效果优于裸地栽培,其防效为 50%左右。

**2.4 食诱** 食诱优点在于材料易得、成本低、环保,通常用于预测虫害发生状况和防治害虫<sup>[49]</sup>,食诱材料中应用最多的是糖醋液,其诱杀对象包括烟青虫、斜纹夜蛾、小地老虎、棉铃虫等。研究发现,糖、醋、酒、水的比例为 6:3:1:10 时对田间害虫诱杀效果最好<sup>[50]</sup>,发酵后糖醋液的诱捕作用会增强<sup>[49]</sup>。此外,基于害虫对食物或者其挥发物的偏好,通过调配天然提取或人工合成的挥发物研发得到的多种植物源引诱剂在田间害虫防治中也发挥了重要作用<sup>[51]</sup>,如“烟叶宝”是一种烟叶蛾虫食诱剂,对田间鳞翅目害虫有较好的防治效果<sup>[52]</sup>,是目前唯一推广使用的食诱剂。

**2.5 昆虫性信息素诱控** 性信息素也称为性外激素,其化学结构复杂、具有特异性。近年来,性诱剂在昆虫诱杀、迷向、干扰昆虫行为、监测种群动态分析以及区域性调查方面取得了良好的应用效果<sup>[53-54]</sup>。据统计<sup>[55]</sup>,全球利用性诱剂防治有害昆虫的作物面积已经突破 6 400 万  $\text{hm}^2$ 。广安市前锋区在推广水稻、玉米生产绿色防控措施中发现二化螟性诱剂对水稻二化螟平均防控效果可达 81.79%,与常规使用化学药剂防效相当,生态效益突出<sup>[56]</sup>。

## 3 生物防治技术

生物防治是指利用自然界的生物或其代谢产物防治病虫害,目前生物防治技术包括天敌昆虫防治、微生物菌剂防治、使用植源性农药以及采用基因工程技术抗病抗虫。

**3.1 天敌昆虫防治** 利用天敌昆虫防治病虫害是一种常见的生物防治措施,保护本地天敌昆虫或者田间释放人工饲养的天敌昆虫都能够有效防治病虫害的发生和蔓延。烟蚜茧蜂、丽蚜小蜂、赤眼蜂、瓢虫、草蛉、蠋蝽是典型的天敌昆虫,其中烟蚜茧蜂和赤眼蜂应用最为广泛<sup>[5,47]</sup>。赤眼蜂防治鳞翅目害虫效果显著,如烟青虫和斜纹夜蛾,释放赤眼蜂 30 万头/ $\text{hm}^2$ 可使虫口减退率达到 25.6%<sup>[57]</sup>。烟蚜茧蜂防治技术目前已经形成了成熟完善的技术体系在全国推广。李晓宇等<sup>[58]</sup>对汉中烟区烟蚜茧蜂防控效果评估发现,释放烟蚜茧蜂的处理使烟蚜数量得到了有效控制。但是当烟蚜茧蜂在室内扩繁至第七代时,其僵蚜量明显下降,种群出现明显的退化现象,因此在生产应用中要注意适时采取必要的复壮措施恢复烟蚜茧蜂扩繁效率和质量<sup>[59]</sup>。

**3.2 微生物防治** 拮抗细菌、真菌、放线菌以及部分昆虫病原菌是微生物防治措施中普遍用到的菌种。芽孢杆菌、多黏类芽孢杆菌、假单胞菌、木霉菌和链霉菌菌属通过产生一些挥发物或分泌物抑制病原菌菌丝生长和孢子萌发,从而对赤

星病、黑胫病等真菌病害产生拮抗作用<sup>[60-63]</sup>。目前生防菌研究较多的是木霉菌,海洋木霉的多个属种表现出了抗菌性和潜在的除草活性,其提取物对烟草赤星病、黑胫病和青枯病病原菌具有较强的抑制作用<sup>[64]</sup>。假单胞杆菌 PA2101 和 PG3402 对烟草根黑腐病和黑胫病的防效优于甲基硫菌灵,其防病机理以及与菌株的共生互作的机制还需进一步研究<sup>[65]</sup>。淡紫拟青霉能显著降低烟草根结线虫病发病率且防效高于阿维菌素、阿维·丁硫<sup>[66]</sup>。此外,部分昆虫病原微生物如苏云金杆菌、绿僵菌、白僵菌等对烟青虫、烟蚜及地下虫等都具有良好的防控效果<sup>[8,67]</sup>。冯玉元<sup>[67]</sup>利用白僵菌防治小地老虎,结果表明,白僵菌对小地老虎的校正死亡率为 98.2%。

**3.3 植源性农药防治** 植源性农药是指从植物某些部位提取的活性物质或有效成分,包括按照其结构进行人工合成的化合物及衍生物。研究表明,苦参碱、烟碱、藜芦、苦皮藤素、大蒜油、洋葱油、鱼藤酮等植物的提取物对烟蚜具有较好的毒杀或防控作用<sup>[68-69]</sup>。0.5%苦参碱水剂连续施用 2 次后对烟青虫防效可超过 99%<sup>[70-71]</sup>,1.5%除虫菊酯可使烟青虫危害株率降低 12%<sup>[72]</sup>。赵欢欢等<sup>[73]</sup>研究发现,泰国变种印楝和泰国香柠处理对斜纹夜蛾卵巢细胞系 SL-1 细胞增殖具有明显的抑制作用。李晓东等<sup>[74-75]</sup>研究表明,印楝素通过抑制 PITH 和蜕皮甾类的合成、分泌及转运过程抑制幼虫生长,而闹羊花素-III 则通过降低表皮水溶性蛋白质合成来抑制生长。山苍子油中的柠檬醛和黄皮种子提取物中的黄皮新肉桂酰胺 B 具有毒性,能促进 SL 细胞凋亡<sup>[76-77]</sup>,麻楝果实提取物没食子酸乙酯等对烟草青枯病菌具有中等程度的拮抗活性<sup>[78]</sup>,苦豆子和苦地胆提取物对 TMV 增殖抑制率可达 62.76% 和 83.92%<sup>[79]</sup>,作为新型植物源农药具有较好的开发前景。此外,喷施部分植物提取液也能起到抗病效果,如喷施苦参提取液稀释液对赤星病防治效果可达 81%。喷施商陆鲜汁稀释液使烟草 TMV 病株率和病情指数均明显下降<sup>[70]</sup>。

**3.4 基因工程技术** 1986 年 Powell 等将烟草普通花叶病毒外壳蛋白(CP)基因转入烟草植株,获得了能稳定遗传的抗 TMV 烟株,之后病毒的 CP 基因、卫星 RNA、反义 RNA 以及复制酶基因等相继被利用并培育出 TMV、PVY、CMV 等转基因烟草新品种<sup>[8,80]</sup>。基因工程技术也被用于培育其他病害的抗性烟草并取得了一定的成效。王月琳等<sup>[81]</sup>利用海岛棉 *GbNPR1* 基因获得的转 CUT1-GbNPR1 载体的转基因烟草对赤星病、炭疽病和低头黑病病菌具有较高抗性。罗小英等<sup>[82]</sup>将 *AFP-CHI* 双价基因转入烟草,获得了一种对黑胫病菌和赤星病菌抗性较强的转基因烟草。张丽芳等<sup>[83]</sup>将烟草丛顶病毒、烟草脉扭病毒、烟草脉扭病毒伴随 RNA 和烟草丛顶卫星 RNA 的目的基因导入烟叶,采用组培技术培育出了抗烟草丛顶病转基因烟草,但是其抗病性和遗传稳定性还需进一步研究。刘志静等<sup>[84]</sup>将具有猝灭植物青枯病菌群体感应信号分子功能的 *aac* 基因转入烟草,获得具有较强青枯菌抗性的品种。

抗虫转基因烟草培育中使用最多的外源抗虫基因是苏

云金杆菌杀虫晶体蛋白基因和豇豆中的蛋白酶抑制基因。田颖川等<sup>[85]</sup>将苏云金杆菌定点突变后的  $\delta$ -内毒素基因整合到烟草染色体中,毒蛋白基因在烟草体内成功表达,赋予了转基因烟草抗烟青虫特性。刘春明等<sup>[86]</sup>将豇豆胰蛋白酶基因转入烟草发现,其叶片上棉铃虫死亡率较高,转基因烟草具有抗虫性。李芳等<sup>[87]</sup>将新疆野生樱桃李中分离克隆出的抗病基因 *psorPM1*,导入烟草后,烟草 W38 对南方根结线虫抗性显著提高。

#### 4 立体防治技术

烟草病虫害的绿色立体防治技术是基于当地生态环境,根据病虫害发生状况与环境之间的关系采用多种防控措施,充分发挥自然因素的调控作用,将不同生物种群组合在一起,丰富物种多样性,形成以天敌防治为主,农业防治、物理防治和生物防治为辅的全方位、多角度的病虫害安全防治体系,从而达到提高烟叶病虫害防治效率、降低农药用量的目的。目前关于烟草病虫害的立体防治措施的研究较少,蒋水萍等<sup>[88]</sup>采用释放天敌、喷施生物农药、布置诱捕器和杀虫灯等防治方法结合在一起的立体防控技术防治烟青虫、烟蚜和斜纹夜蛾,结果表明立体防控技术对三大害虫具有较好的防治效果。王夸平等<sup>[89]</sup>研究表明,将不同种类天敌、高效低毒的生物农药以及高效的预测预报体系等集成整合在一起对烟草虫害进行立体防控可以提高防控效果。

#### 5 展望

当前烟草病虫害的防治措施中农药防治发挥着重要作用,但是长期使用农药容易造成环境污染、降低烟叶品质、产生抗药性、烟叶农药残留严重等问题。推广烟草病虫害的绿色防控技术是可持续发展绿色农业的要求。但是目前绿色防控技术单一,推广面积小,未能得到政府和社会的足够重视。因此,根据当地生态环境以及病虫害的种类和发生规律集成并优化多重防控措施,降低绿色防控成本是未来我国烟区病虫害绿色防治的主要途径。

#### 参考文献

- [1] 王恒东.我国烟叶生产现状及问题分析[J].科技创新与应用,2015(29):118.
- [2] 陈瑞泰,朱贤朝,王智发,等.全国 16 个主产烟省(区)烟草侵染性病害调研报告[J].中国烟草科学,1997,18(4):1-7.
- [3] 彭曙光,单雪华,姚强,等.烟草虫害绿色防控技术研究进展[J].中国农业信息,2015(21):55-56.
- [4] 周鹏,覃春华,陈明,等.烟草病虫害生物防治的研究进展[J].农技服务,2012,29(11):1224-1226.
- [5] 黄凯,周波,刘岱松,等.秦巴生态区(十堰)烟草病虫害绿色防控探索与实践[J].安徽农业科学,2020,48(13):130-134.
- [6] 夏长剑,李方友,李明,等.海南雪茄烟病虫害种类调查及发生动态初报[J].中国植保导刊,2020,40(11):35-39,51.
- [7] 高俊涛,张天柱.我国绿色防控技术应用状况及发展对策[J].现代农业科技,2019(9):115-117.
- [8] 邱睿,王海涛,李成军,等.烟草病虫害绿色防控技术研究进展[J].河南农业科学,2016,45(11):8-13.
- [9] 黎妍妍,王文静,王林,等.恩施烟区烤烟黑胫病菌致病力测定及抗性品种差异鉴定[J].中国烟草科学,2018,39(5):94-98.
- [10] 邢光辉.烟草抗根结线虫病品种筛选及抗性机理研究[D].长沙:湖南农业大学,2016.
- [11] 张学杰,徐小洪,谢华东,等.不同烤烟品种关键病害发生情况及农艺性状比较[J].重庆与世界(学术版),2012,29(11):63-66.
- [12] 何晓冰,王明鑫,马文辉,等.浓香型烟叶产区烟草病虫害绿色防控技术集成:以平顶山烟区为例[J].贵州农业科学,2018,46(7):48-52.

- [13] 周婷婷, 林华峰, 王艳秋, 等. 烟草对烟蚜的抗性品种筛选及抗性机制研究[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(2): 198-206.
- [14] 李艳玲, 宋阿琳, 卢玉秋, 等. 不同土壤玉米根际挥发性有机物组成和微生物群落特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10): 1633-1645.
- [15] 万川, 蒋珍茂, 赵秀兰, 等. 深翻和施用土壤改良剂对烟草青枯病发生的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(2): 11-15, 26.
- [16] 夏治军. 果树病虫害冬季防治技术[J]. 河南林业, 2001(6): 17.
- [17] 蒲境, 史东梅, 姜义宝, 等. 不同耕作深度对红壤坡耕地耕层土壤特性的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(5): 8-14.
- [18] 王兴才, 杨文钰. 基于间套作弱光胁迫下作物源库协调与产量研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(2): 292-299.
- [19] 时安东, 李建伟, 袁玲. 轮间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 411-418.
- [20] 薛超群, 牟文君, 奚家勤, 等. 烤烟不同间作对烟草黑胫病防控效果的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(3): 77-79.
- [21] 刘有聪, 张立猛, 焦永鸽, 等. 大蒜与烤烟轮作对烟草黑胫病的防治效果及作用机理初探[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 55-62.
- [22] 徐洁, 余萍, 董超, 等. 玫瑰与烟草间作对烟叶蛋白质影响的生物信息学分析[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 104-110.
- [23] 张宗锦, 闫芳芳, 孔垂旭, 等. 烤烟蒜麻间作对烟草根结线虫防效及烟叶产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(2): 52-56.
- [24] 张得智. 轮作和间作对烤烟 KRK26 生长状况及产质量的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [25] 徐汉虹, 张志祥, 程东美, 等. 高藜素类似物对斜纹夜蛾的生物活性研究[J]. 华中农业大学学报, 2000, 19(6): 543-546.
- [26] 周德海, 高峰, 王在军, 等. 间作桔梗对烤烟主要农艺性状及效益的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(9): 60-62.
- [27] 郭增鹏, 董坤, 朱锦惠, 等. 施氮和间作对蚕豆锈病发生及田间微气候的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2294-2302.
- [28] FERNÁNDEZ-APARICIO M, SHTAYA M J Y, EMERAN A A, et al. Effects of crop mixtures on chocolate spot development on faba bean grown in mediterranean climates [J]. Crop protection, 2011, 30(8): 1015-1023.
- [29] 刘金燕, 汤朝起, 董勇浩, 等. 烟蚜对不同寄主植物间的选择性分析[J]. 烟草科技, 2018, 51(7): 36-39.
- [30] ZHANG X M, LÓVEI G L, FERRANTE M, et al. The potential of trap and barrier cropping to decrease densities of the whitefly *Bemisia tabaci* MED on cotton in China [J]. Pest management science, 2020, 76(1): 366-374.
- [31] SNYDER W E. Give predators a complement; Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol [J]. Biological control, 2019, 135: 73-82.
- [32] 宋瑞芳, 夏阳, 韦凤杰, 等. 绿色防控技术在我国烟叶生产中的应用[J]. 江西农业学报, 2017, 29(5): 66-71.
- [33] 孙延国, 刘好宝, 高华军, 等. 移栽期对海南雪茄外包皮烟叶生长发育及产量品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(3): 91-98.
- [34] 李文卿, 陈顺辉, 柯玉琴, 等. 不同移栽期对烤烟生长发育及质量风格的影响[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 48-54.
- [35] 吴凯, 陈国军, 闫慧峰, 等. 籽粒苋与烟草间作后还田对烟草钾吸收和土壤钾有效性的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(6): 45-55.
- [36] 李廷轩, 马国瑞. 籽粒苋-烟草间作对烟叶部分矿物质元素含量及品质的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 138-140, 143.
- [37] 郑世燕, 丁伟, 杜根平, 等. 增施矿质营养对烟草青枯病的控病效果及其作用机理[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1099-1110.
- [38] 张拯研, 晋艳, 黄成江, 等. 磷钾营养对烤烟抗花叶病毒病的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34(3): 298-302.
- [39] 周本国, 高正良, 马国胜, 等. 烟草病毒病(CMV、PVY)药剂防治及挽回损失研究初报[J]. 烟草科技, 1998, 31(3): 44-45.
- [40] 窦玉青, 屈建康, 陈刚, 等. 生物有机肥在四川烟区应用效果初报[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(3): 68-71.
- [41] 李宏图, 何俊龙, 熊镇贵, 等. 绿色生态烟叶生产 4 个关键环节研究进展[J]. 农学报, 2017, 7(10): 34-38.
- [42] HOFFINK H A J, STONE A G, HAN D Y. Suppression of plant diseases by composts [J]. HortScience, 1997, 32(2): 184-187.
- [43] SERRA-WITTLING C, HOUOT S, ALABOUVETTE C. Increased soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of flax after addition of municipal solid waste compost [J]. Soil biology & biochemistry, 1996, 28(9): 1207-1214.
- [44] 于会泳, 高林, 王毅, 等. 烟草种植起垄高度与移栽深度的交互效应研究[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(2): 82-85.
- [45] 郭辉, 韩长杰. 精准施药技术的研究与应用现状[J]. 农业科技与装备, 2009(4): 42-43, 46.
- [46] 董宁禹, 刘占卿, 赵世民, 等. 太阳能杀虫灯和诱虫黄板绿色防控技术在烟草生产上的应用效果[J]. 河南农业科学, 2015, 44(8): 83-86.
- [47] 杜传印, 夏磊, 王德权, 等. 潍坊烟草病虫害绿色防控体系建设实践与思考[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(4): 92-98.
- [48] 李淑君, 陈玉国, 王海涛, 等. 针对烟草蚜传病毒病的避蚜与防病关系研究初报[J]. 中国烟草科学, 2002, 23(4): 45-47.
- [49] 李建一, 曹雅忠, 张帅, 等. 小地老虎食诱剂糖醋液液配方筛选及发酵增效作用[J]. 昆虫学报, 2019, 62(3): 358-369.
- [50] 商胜华, 田太安, 赵丽, 等. 不同配方糖醋液诱源对贵州遵义烟田害虫的诱杀作用[J]. 烟草科技, 2020, 53(7): 26-32.
- [51] 蔡晓明, 李兆群, 潘洪生, 等. 植食性害虫食诱剂的研究与应用[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 8-35.
- [52] 马学芳, 姚高翔, 李晶晶. 烟叶蛾食诱剂对鳞翅目害虫的防治效果[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(15): 6697-6698, 6709.
- [53] 陈海滨, 胡武新, 杜永均. 烟草甲性信息素及其异构体的简易合成法[J]. 农药学报, 2015, 17(2): 225-229.
- [54] 王安佳, 张开心, 梅向东, 等. 昆虫性信息素及其类似物干扰昆虫行为的机理和应用研究进展[J]. 农药学报, 2018, 20(4): 425-438.
- [55] 蔺忠龙, 郭怡卿, 浦勇, 等. 病虫害生物防治技术最新研究进展[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(2): 90-94.
- [56] 李果, 苏明勇. 农作物病虫害绿色防控技术应用推广及成效[J]. 农村经济与科技, 2016, 27(7): 59-60.
- [57] 李晓婷, 罗华元, 陈月舞, 等. 不同生物防治技术对烟草烟蚜和烟青虫及斜纹夜蛾的防治效果[J]. 作物研究, 2011, 25(4): 361-365.
- [58] 李晓宇, 成巨龙, 张家韬, 等. 汉中烟区烟蚜发生动态及烟蚜茧蜂防控效果分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 19-23.
- [59] 谢应强, 张洪志, 李玉艳, 等. 烟蚜茧蜂的种群退化规律[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(2): 163-168.
- [60] 王进, 黄艳飞, 汪汉成, 等. 烟草疫霉拮抗菌枯草芽孢杆菌 21b 菌株的分离鉴定及其生物学特性研究[J]. 微生物学通报, 2014, 41(12): 2481-2487.
- [61] 常栋, 顾建国, 贾方方, 等. 烟草黑胫病不同植物源生防菌的筛选及防效测定[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(3): 84-90.
- [62] 李小杰, 李成军, 姚晨熨, 等. 拮抗烟草疫霉菌的木霉菌株筛选鉴定及防病促生产作用研究[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(3): 65-70.
- [63] 陈奇园, 丁朝琪, 赵世民, 等. 洛阳烟区烟株根围抗烟草疫霉菌放线菌的筛选与鉴定[J]. 烟草科技, 2019, 52(1): 22-28.
- [64] 黄瑞环, 苟剑渝, 韩小斌, 等. 烟草主要病害拮抗菌的筛选鉴定及除草活性分析[J]. 烟草科技, 2019, 52(12): 17-22.
- [65] 千慧敏, 文艺, 赵辉, 等. 烟草黑胫病和根黑腐病生防假单胞杆菌的筛选与鉴定[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(6): 940-948.
- [66] 黄阔, 江其鹏, 姚晓远, 等. 微生物菌剂对烟草根结线虫及根际微生物群落多样性的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(5): 36-43.
- [67] 冯玉元. 白僵菌防治烟田小地老虎试验[J]. 烟草科技, 2006, 39(10): 62-64.
- [68] 赵荣艳, 杨清华, 蒋士君. 烟草病害生物防治研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(22): 5918-5919, 5968.
- [69] 陈杰, 付继刚, 杨天沛, 等. 我国烟蚜防治研究进展[J]. 作物杂志, 2015(6): 21-26.
- [70] 章新军, 杨峰钢, 高致明, 等. 植物源农药防治烟草病虫害[J]. 烟草科技, 2006, 39(6): 58-60.
- [71] 郭海燕, 陈玉国, 王雪芬, 等. 生物农药在烟田烟青虫/棉铃虫防治中的应用效果[J]. 烟草科技, 2020, 53(7): 19-25.
- [72] 罗玉英, 彭晓忠, 王玉科, 等. 凤冈县有机烟叶生产中生物农药的筛选与应用[J]. 作物研究, 2014, 28(7): 823-826.
- [73] 赵欢欢, WANTANA S, 黄继光, 等. 乙醇提取物对斜纹夜蛾细胞 SI-1 的细胞毒性比较[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(4): 36-41.
- [74] 李晓东, 陈文奎, 胡美英. 印楝素、闹羊花素-III 对斜纹夜蛾的生物活性及作用机理的研究[J]. 华南农业大学学报, 1995, 16(2): 80-85.
- [75] 钟国华, 刘金香, 官珊, 等. 闹羊花素类化合物对斜纹夜蛾幼虫表皮成分的影响及构效关系[J]. 昆虫学报, 2004, 47(6): 705-714.
- [76] 李湘洲, 王力群, 黄露, 等. 山苍子油对斜纹夜蛾细胞增殖和凋亡的影响[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2020, 47(12): 137-143.
- [77] 郭成林, 覃柳燕, 万树青, 等. 黄皮种子提取物对斜纹夜蛾幼虫的杀虫活性及有效成分鉴定[J]. 昆虫学报, 2016, 59(8): 839-845.
- [78] 刘慧, 刘寿柏, 王昊, 等. 麻楝果实化学成分及其抗烟草青枯病菌活性的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(6): 1023-1029, 974.
- [79] 郭文慧, 刘斌, 闫合, 等. 114 种植物提取物诱导烟草抗烟草花叶病毒活性鉴定[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(4): 604-610.

- 口·资源与环境,2011,21(S2):335-338.
- [31] CHENG J Y,ZHOU K,CHEN D, et al.Evaluation and analysis of provincial differences in resources and environment carrying capacity in China [J].Chinese geographical science,2016,26(4):539-549.
- [32] ZHANG M,LIU Y M,WU J, et al.Index system of urban resource and environment carrying capacity based on ecological civilization [J].Environmental impact assessment review,2018,68:90-97.
- [33] 叶赛,蹇雪莹.基于P-S-R模型的湖北省生态安全评价研究[J].湖北农业科学,2020,59(23):203-207.
- [34] 兰利花,田毅.资源环境承载力理论方法研究综述[J].资源与产业,2020,22(4):87-96.
- [35] 牛方曲,封志明,刘慧.资源环境承载力评价方法回顾与展望[J].资源科学,2018,40(4):655-663.
- [36] KUSPILIC M,VUKOVIC Z,HALKIJEVIC I.Overview of water resource based human carrying capacity assessment models [C]//RIHA J, JUILINEK T, ADAM K.14th International Symposium-Water Management and Hydraulic Engineering.Brno,Czech Republic:[s.n.],2015:357-364.
- [37] LIU H Q,LIU H D. PGESH model research on sustainable carrying capacity of regional water resources[R].2010.
- [38] 李华姣,安海忠.国内外资源环境承载力模型和评价方法综述:基于内容分析法[J].中国国土资源经济,2013,26(8):65-68.
- [39] 闫旭睿,徐俊艳.矿区资源环境承载力评价方法研究[J].金属矿山,2005(6):56-59.
- [40] 闵庆文,余卫东,张建新.区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J].水土保持研究,2004,11(3):14-16,129.
- [41] 田宏岭,乔建平,朱波,等.基于GIS技术的成都市市区资源环境承载力快速评价[J].四川大学学报(工程科学版),2009,41(S1):45-48,52.
- [42] 刘寅,黄志勤,辜寄蓉,等.土地利用规划中资源环境承载力的内涵与评价方法研究:以四川省泸州市为例[J].国土资源科技管理,2016,33(5):94-104.
- [43] 韩韦笑.基于GIS与生态足迹法的土地生态安全评价研究:以禄丰县为例[D].昆明:昆明理工大学,2018.
- [44] 徐静.基于ArcGIS的资源环境承载力评价:以阜阳市空间规划(2017—2030)为例[C]//赖志国,毛蒋兴,肖旭.规划西南·新意象:2019年西南地区规划院论坛论文集.南宁:广西科学技术出版社,2019:34-42.
- [45] 朱明仓,辜寄蓉,江润光艳,等.四川省国土空间开发适宜性评价[J].中国国土资源经济,2018,31(12):51-56.
- [46] 徐雯雯,宁晓刚,王浩,等.基于GIS的城镇、农业、生态空间分区与国土开发风险识别:以陕西省南泥湾景区为例[J].地域研究与开发,2021,40(3):127-132,139.
- [47] 樊杰,周侃,陈东.生态文明建设中优化国土空间开发格局的经济地理学研究创新与应用实践[J].经济地理,2013,33(1):1-8.
- [48] 刘小波,王玉宽,李明.国土空间开发适宜性评价的理论、方法与技术应用[J].地球信息科学学报,2021,23(12):2097-2110.
- [49] 叶文,罗黎.云南山间盆地城镇建设适宜性评价[J].云南地理环境研究,1994,6(2):76-86.
- [50] 岑湘荣.基于GIS的城镇建设用地生态适宜性评价研究[D].长沙:中南大学,2008.
- [51] ZHANG X R,CHEN G.Application of improved GIS-based model to evaluate urban construction land suitability [M]//TAN H H.Piageng 2010: Photonics and Imaging for Agricultural Engineering.Qingdao,China:[s.n.],2010.
- [52] 李帅,董霖欣,奎丽雪,等.基于GIS的建设用地适宜性评价:以四川省南充市为例[J].科技创新与应用,2021,11(17):37-40.
- [53] 刘胤汉,刘彦随.农业土地资源适宜性评价的理论和方法:以陕西省农业土地资源适宜性评价为例[J].地域研究与开发,1995,14(3):11-16.
- [54] 孙玲,张妙玲.利用AEZ和ARC/INFO软件系统进行农用的土地适宜性评价[J].计算机农业应用,1996(1):18-22.
- [55] 张成刚.基于GIS/RS的冀北地区农用地适宜性评价[D].石家庄:河北师范大学,2005.
- [56] 储卫东.苏北地区土地利用适宜性评价研究:以淮安市为例[J].国土资源情报,2013(3):56-60.
- [57] 彭瑶.基于GIS的农村土地适宜性评价及其在规划中的应用研究:以义乌市岩南村为例[D].南京:南京农业大学,2013.
- [58] LI L Y,ZHAO J Y,YUAN T. Study on approaches of land suitability evaluation for crop production using GIS [M]//LI D L,LIU Y D,CHEN Y Y.Computer and Computing Technologies in Agriculture IV.Nanchang,China:[s.n.],2011:587-596.
- [59] 周望.基于GIS的未利用地宜耕适宜性评价研究:以鄱阳区为例[D].武汉:湖北大学,2015.
- [60] 曲衍波,张凤荣,姜广辉,等.基于生态位的农村居民点用地适宜性评价与分区调控[J].农业工程学报,2010,26(11):290-296.
- [61] 姜华,唐晓华,杨利亚,等.基于土地资源的市县级多要素国土空间开发适宜性评价研究:以湖北省宜昌市为例[J].中国地质,2020,47(6):1776-1792.
- [62] 新华社.中办国办印发《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》[N].人民日报,2017-02-08(001).
- [63] 张立生.区域国土规划中的生态环境规划[J].地理学与国土研究,1991,7(1):31-34.
- [64] 陶思明.世纪之交的农村生态环境保护[J].中国环境管理,1993(6):4-7.
- [65] 刘明华,高国良,赵玉华.秦皇岛市农村生态环境现状评价与保护对策[J].农业环境与发展,1997,14(1):35-39.
- [66] 徐卫华,欧阳志云,王学志,等.汶川地震重灾区生态保护重要性评价与对策[J].生态学报,2008,28(12):5820-5825.
- [67] 葛石冰,从明珠,张峰松.中国东北山区生态保护重要性评价:以本溪市为例[J].安徽农业科学,2015,43(26):291-294,318.
- [68] 方一舒,祖健,艾东,等.面向国土空间规划的昆明市生态保护重要性评价[J].中国农业大学学报,2021,26(3):152-163.
- [69] 岳文泽,吴桐,王田雨,等.面向国土空间规划的“双评价”:挑战与应对[J].自然资源学报,2020,35(10):2299-2310.
- [70] 新华社.中办国办印发《省级空间规划试点方案》[N].人民日报,2017-01-10(001).
- [71] 刘明华,高国良,赵玉华.秦皇岛市农村生态环境现状评价与保护对策[J].农业生物技术学报,2008,16(6):1019-1024.
- [72] 田颖川,秦晓峰,许丙寅,等.表达苏云金杆菌 $\delta$ -内毒素基因的转基因烟草的抗虫性[J].生物工程学报,1991,7(1):1-10.
- [73] 刘春明,朱祯,周兆澜,等.豇豆胰蛋白酶抑制剂抗虫转基因烟草的获得[J].科学通报,1992,37(18):1694-1697.
- [74] 李芳,朱翔,乔峰,等.转新疆野生櫻桃李 *psorPM1* 基因烟草抵抗南方根结线虫[J].中国园艺文摘,2016,32(1):235-236.
- [75] 蒋水萍,潘悦,孙永华,等.立体防控技术对烤烟主要虫害的防治效果[J].贵州农业科学,2014,42(5):128-131.
- [76] 王夸平,詹俄国,潘悦,等.烟蚜茧蜂和异色瓢虫综合防治烟蚜的效果评价[J].湖北农业科学,2013,52(7):1567-1570.

(上接第12页)

- [80] ABEL P P,NELSON R S,DE B, et al.Delay of disease development in transgenic plants that express the tobacco mosaic virus coat protein gene [J].Science,1986,232(4751):738-743.
- [81] 王月琳,林春晶,韦正乙,等.转 *GbNPR1* 基因提高烟草抗病性[J].分子植物育种,2015,13(6):1369-1375.
- [82] 罗小英,曾雪嘉,肖月华,等.抗菌肽和几丁质酶基因提高烟草对黑胫病菌和赤星病菌的抗性研究[J].植物病理学报,2005,35(3):249-255.
- [83] 张丽芳,赵兴能,马美,等.抗烟草从顶病转基因烟草的培育[J].分子植物育种,2020,18(5):1605-1610.
- [84] 刘志静,张争,徐进,等.抗青枯病转群体感应猝灭基因烟草的培育