



谷星慧, 王杰, 曹莉, 崔永和, 方明, 孙洁, 李江舟, 徐成体, 韩日畴, 唐睿. 昆虫病原线虫防治烟草小地老虎技术优化研究 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (1): 277–284.

昆虫病原线虫防治烟草小地老虎技术优化研究

谷星慧^{1*}, 王杰^{2,3*}, 曹莉³, 崔永和¹, 方明⁴, 孙洁⁴,
李江舟^{1**}, 徐成体², 韩日畴³, 唐睿^{3**}

- (1. 云南省烟草公司玉溪市公司, 烟草行业病虫害生物防治工程研究中心, 云南玉溪 653100; 2. 青海大学畜牧兽医科学院, 西宁 810016;
3. 广东省科学院动物研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广州 510260;
4. 南开大学, 天津 300071)

摘要: 小地老虎 *Agrotis ipsilon* 是烟草 *Nicotiana tabacum* 移栽期主要的切根害虫, 严重危害烟草生产。为研判烟草生产中符合双减 (减肥、减药) 要求的生物和生态防控技术, 集成适合推广的虫害综合治理模式, 本研究在云南玉溪华宁县以昆虫病原线虫 (EPN) *Steinernema carpocapsae* All 粉剂和化学药剂敌杀死 (溴氰菊酯) 处理, 配合 2 种幼虫食诱方法 (传统引诱剂、人工引诱剂) 以及 2 种增效助剂 (激健 1、2) 组合, 调查移栽后烟草幼苗受小地老虎危害死亡率, 评价生物药剂、食诱剂和助剂对烟草幼苗的保护效果。结果表明, 无论是否存在食诱剂, 移栽 4 d 各施药处理均能显著降低烟草幼苗死亡率, 随着时间的推移, 所有处理的烟草幼苗死亡率均显著上升; 无食诱剂情况下, EPN + 激健 1 和敌杀死于移栽 7 d 仍具显著保苗效果; 传统的糖醋酒液食诱法本身具备一定保苗效果, 配合施药, 初期效果最好, 4 d 时, 烟草幼苗危害率最低达 $0.83\% \pm 0.008\%$ (传统食诱剂 + 昆虫病原线虫); 人工食诱剂持效性最好, 移栽 10 d 时配合 EPN、EPN + 激健 2 和敌杀死仍具明显保苗效果。施用化学药剂时, 食诱剂本身对保苗效果无显著贡献; 使用 EPN 时, 传统食诱法较空白具有显著保苗效果, 但与人工食诱法间差异不显著。移栽 4 d 时, EPN + 激健 1 较单独施放 EPN 具显著保苗效果, 之后调查中添加助剂小区与 EPN 小区无显著差异。综上所述, EPN 粉剂配合人工食诱剂和激健助剂, 可长期较好地抑制小地老虎对烟草幼苗危害, 为集成烟草全程绿色生态治理模式提供了有效参考。

关键词: 烟草; 小地老虎; 昆虫病原线虫; 昆虫行为调节剂; 农药助剂

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 01-0277-08

Optimisation of entomopathogenic nematode technology for the control of *Agrotis ipsilon* in tobacco

GU Xing-Hui^{1*}, WANG Jie^{2,3*}, CAO Li³, CUI Yong-He¹, FANG Ming⁴, SUN Jie⁴, LI Jiang-Zhou^{1**},
XU Cheng-Ti², HAN Ri-Chou³, TANG Rui^{3**} (1. Yuxi Branch of Yunnan Tobacco Company,
Engineering Center for Biological Control of Diseases and Pests in Tobacco Industry, Yuxi 653100,
Yunnan Province, China; 2. Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Qinghai University,
Xining 810016, China; 3. Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization,

基金项目: 中国烟草总公司 2020 年科技计划项目专项 (110202001034 (LS-03)); 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目 (2020530000241010); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020224002, 2020B1111580001)

* 共同第一作者: 谷星慧, 女, 1983 年生, 河北邢台人, 硕士, 高级农艺师, 研究方向为烟草害虫生物防治, E-mail: guxinghui@163.com; 王杰, 男, 1996 年生, 甘肃山丹人, 硕士研究生, 研究方向为草地保护, E-mail: 459288401@qq.com

** 共同通讯作者 Author for correspondence: 李江舟, 博士, 研究方向为烟草病虫害防治, E-mail: 25032719@qq.com; 唐睿, 博士, 助理研究员, 研究方向为昆虫神经行为学, E-mail: tangr@giz.gd.cn

收稿日期 Received: 2021-08-09; 接受日期 Accepted: 2021-09-07

Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, China; 4. Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: *Agrotis ipsilon* is a major root-cutting pest of *Nicotiana tabacum* seedlings and is a serious threat to tobacco production. In order to identify biological/ecological control technologies that meet the requirements of pesticide reduction in tobacco production and to develop an IPM model suitable for dissemination, this study was conducted in Huanning County, Yuxi, Yunnan Province. Entomopathogenic nematode (EPN) *Steinernema carpocapsae* All powder and the chemical deltamethrin treatment, together with two larval feeding lure methods (traditional and artificial) and two pesticide adjuvants (Ji-Jian 1 and 2) were used to investigate the mortality of seedlings after transplanting in order to evaluate the protective effect of EPN agent, luring and adjuvant on seedlings. The results showed that all treatments significantly reduced seedling mortality at 4 d of transplanting, regardless of the presence or absence of food attractants, and that the mortality rate of all treatments increased significantly with increasing transplanting date. The traditional food lure with sweet-vinegar solution had certain effect and was most effective in the early stage of application, with a minimum damage rate of $0.83\% \pm 0.008$ (in combination with EPN). The artificial food attractant had the best persistence and was still effective at 10 d after transplanting when combined with EPN, EPN + Ji-Jian 2 and deltamethrin. When chemicals were applied, the food attractant itself did not contribute significantly to seedling retention. When EPN was used, the traditional food bait had a significant retention effect compared to the blank, but no difference was seen between it and the artificial food attractant. At 4 d of transplanting, EPN + Ji-Jian 1 was significantly more effective than EPN alone, and no significant differences thereafter. In conclusion, EPN powder, together with artificial food attractants and Ji-Jian adjuvants, could suppress the damage of cutworms to tobacco seedlings in the long term, providing an effective reference for the integration of a green ecological management model for tobacco.

Key words: Tobacco; *Agrotis ipsilon*; entomopathogenic nematodes; insect behavioural regulators; pesticide adjuvant

烟草 *Nicotiana tabacum* 是我国的重要经济作物, 生产中易受病虫害危害, 每年所造成的减产平均可占总产量的 10% ~ 15%, 造成巨大损失 (杨绍俊等, 2017)。西南植烟区 (云南) 属我国主要的烟草种植地区, 常年受蚜虫、烟青虫 *Helicoverpa assulta*、小地老虎 *Agrotis ipsilon* “三虫” 为害 (彭孟祥等, 2019)。其中, 小地老虎 (鳞翅目 Lepidoptera: 夜蛾科 Noctuidae) 因其活动范围广、食性杂、主食烟草幼苗嫩茎等特点, 一直是烟草害虫防治重点 (周孚美等, 2018)。近年来虽然烟草绿色防控技术正引起越来越多的关注, 但目前烟草地下害虫仍然以物理、化学和农艺措施防治为主, 生态和生物防治技术为辅 (魏彬等, 2021)。进一步加强新型生物防治技术的研发和评价, 可为烟田病虫害绿色综合防控模式提供支撑,

助力国家农业双减要求, 改善烟田环境和烟草品质。

目前有机烟叶的生产已成为烟草种植行业的发展方向, 这对烟草生物防治技术提出了新的要求 (黄聪光和李群岭, 2020)。新型生物农药昆虫病原线虫 (EPN, 主要包括斯氏属 *Steinernema* 和异小杆属 *Heterorhabditis*) 类因具有寄主广谱性、对土壤害虫特效、使用方便、环境友好和成本可控等优势, 被越来越广泛地应用于农林、牧草和卫生害虫的防治 (Labaude and Griffin, 2018; Yan *et al.*, 2020)。国际社会对 EPN 类生物农药的产业化发展较为成熟, 而我国也已将 EPN 制剂应用于蔬菜、设施农业和烟草等地下害虫防治领域 (杨秀芬等, 2004; Dolinski *et al.*, 2012; 李根等, 2017)。但 EPN 作为生物药剂, 单独使用时会有效

果不稳定等问题，因此以多种辅助方法配合 EPN 在移栽期持续有效防治小地老虎的集成方案亟待开发 (Ebssa and Koppenhöfer, 2012; Yan *et al.*, 2020; 谷星慧等, 2021)。

昆虫食诱剂是近年来兴起的昆虫行为调节剂产品，其配方通常由植物挥发物、聚集信息素等气味化合物组成，从而能够集中诱杀害虫，达到防治目的 (陆宴辉等, 2008)。与性诱剂相比，食诱剂诱虫谱广泛、价格低廉、使用简单，已经在包括鳞翅目、双翅目、鞘翅目和半翅目的多种害虫中实现了应用 (窦术英等, 2017; 蔡晓明等, 2018; 修春丽等, 2018)。我国农业生产中曾有过多种基于昆虫食诱剂理念的防治实践如杨树枝把、糖醋酒液等，但仍然需要可替代的低价持效产品用于绿色防控模式集成 (蔡晓明等, 2018)。随着昆虫化学生态研发技术的不断成熟，食诱剂的开发与应用工作已成为目前农业昆虫学相关研究的重点方向之一 (修春丽等, 2018)。

农药助剂是在农药加工和应用过程中使用的除有效成分外的辅助物质总称，最初的农药助剂以助溶类表面活性剂为主 (张宗俭, 2009)。据统计，可以用于农药助剂的物质约有 3 000 余种，我国常用的农药助剂也在 200 种左右，喷雾助剂市场发展空间巨大 (全国农技推广服务中心, 2019)。随着生物农药推广和减量增效的需要，对活体生物农药可行的助剂产品逐渐受到推广工作的重视 (刘振华和邢雪琨, 2016)。目前微生物农药助剂大多是沿用化学农药所用助剂，使用中很少关注喷施后活体生物农药在田间定殖和功效情况，因此亟待从生物药剂角度评估和筛选可用于集成的有效减量增效产品 (姜虹等, 2020)。

本研究旨在测定 EPN *S. carpocapsae* All 品系在烟草幼苗移栽后对小地老虎幼虫的控制作用，并辅助以具有针对性的人工食诱剂和助剂产品，评估 EPN 生物农药和辅助防治方法对烟草幼苗的保护效果，优化可替代化学药剂的土壤害虫防控技术，为集成烟草生产全程绿色病虫害综合管理模式提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验处理设置

大田试验于云南省玉溪市华宁县董家山鸡枞

脑片区开展 (24. 17°N, 102. 94°E)，供试烤烟品种为 MSK326，移栽密度 16 500 株/ha，行株距 120 cm × 50 cm，试验用地共计 0. 17 ha。试验大田处理前 20 d 不施用任何化学农药，试验处理时采用人工施放小地老虎幼虫的方法于移栽烟草幼苗周围以保证准确性。采用 3 因素 (传统食诱剂、人工食诱剂、无食诱剂) 5 水平 (EPN 粉剂、EPN 粉剂 + 助剂 1、EPN 粉剂 + 助剂 2、化学药剂、空白对照) 的正交试验设计，3 次重复，共 45 个小区，每小区种植 50 株烟草幼苗。

1.2 供试昆虫及材料

小地老虎：试验所用 4 龄小地老虎幼虫来自 25℃，相对湿度 75%，光照：黑暗为 14 h: 10 h 下人工饲养的实验室品系 (沧州育康农业科技有限公司)，幼虫以人工饲料 (河南省济源白云实业有限公司) 饲养至适龄用于试验。每株烟草幼苗周围释放 2 头小地老虎幼虫。

EPN 粉剂：试验使用 EPN *S. carpocapsae* All 粉剂以固体培养基培养 (谷星慧等, 2021)，以蛭石粉 (潍坊宏润农业科技有限公司) 贮存于 4℃ 冰箱中，试验处理前检查线虫存活率 ≥ 98%，每株烟草幼苗施用 2×10^5 条感染期线虫。

化学药剂：敌杀死有效成分 25 g/L 溴氰聚酯乳油剂 (德国拜耳公司)，以 60 mL/ha 的用量兑水 15 kg 进行稀释，在烟草幼苗的茎部位使用背负式喷雾器进行喷施，每株用量约为 14 g。

食诱剂：传统食诱剂的配制以每 0. 07 ha 使用 0. 15 kg 白糖、0. 05 kg 白酒和 0. 05 kg 米醋配制方法形成混合液，再与切碎的大白菜 *Brassica pekinensis* 10 kg、麦麸 1 kg 混合搅拌均匀，堆闷 1 h 后，以每株烟草幼苗 10 g 量均匀环绕在植株周围 8 cm。人工食诱剂使用烟草幼苗叶、大白菜、上海青 *B. chinensis* 和雍菜 *Ipomoea aquatica* 等量混合切碎，以正己烷按 1: 1 (w/w) 抽提 1 h 后，以无水 CaCl_2 柱将样品脱水，再以高纯氮吹仪 (DN-48A, 上海碧云天生物技术有限公司) 浓缩样品至 1/10 体积，将 10 μL 样品滴加入反式橡皮头 (北京中捷四方生物科技股份有限公司) 中，待溶剂挥发后获得人工食诱剂诱芯。试验中每株烟草幼苗使用 1 枚诱芯，在距中心 8 cm 环形上随机放置，下部埋入土中。为考察持效性，食诱剂在试验调查期间不予补充更换。

助剂：试验所用助剂为“激健”产品（成都激健生物科技有限公司）。其中助剂 1 为“激健”抗病减施助剂，使用自来水对助剂 1 原液进行 2 000 倍稀释，用量约 225 mL/ha，稀释液和 ENP 粉剂以 1 : 1 (v/v) 混合后喷施（即农药减量 50%）；助剂 2 为“激健”农药减施土壤修复剂，使用自来水对助剂 2 原液进行 500 倍稀释，用量约 900 mL/ha，施用方法与助剂 1 相同。

1.3 田间处理与调查

试验选择条件一致的烤烟田，试验小区采取随机设置，处理前以性诱捕器（北京中捷四方生物科技股份有限公司）监测小地老虎发生情况。试验处理选择下午和黄昏进行，首先挖好宽 45 cm、深 15 cm 的烟塘，浇入定根水 2.5 L，明水深栽烟草幼苗 1 株，每个处理完毕后以距植株 12 cm 对角加入 2 头适龄小地老虎，用细干土（温度不超过 25℃）盖塘 0.5 cm。其他农事操作各处理均保持一致。移栽处理后 4 d、7 d 和 10 d 分别调查烟草幼苗危害情况，死亡率 (%) = 小地老虎危害烟草幼苗数/处理总烟草幼苗数 × 100。

1.4 数据分析

死亡率等百分比数据以反正弦转换后用于均值比较，以 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 进行 GLM 均值比较和 Tukey HSD 多重比较或 Student's *t* test；作图使用 Prism 9 和 Adobe Illustrator CC 2019 (Adobe Inc., San Jose, CA, USA)。

2 结果与分析

2.1 整体保苗效果比较

无食诱剂处理时，移栽 4 d 后对照小区烟草幼苗死亡率 52.5% ± 2.9%，显著高于 EPN、EPN 加助剂和化学药剂 ($F_{4,10} = 38.82$, $P < 0.0001$)，其中化学药剂小区烟草幼苗死亡率 10.0% ± 2.5%，显著低于 EPN 处理小区 ($P = 0.0063$)，但和 EPN + 助剂的二组无差异 ($P = 0.335$; $P = 0.335$) (图 1)。移栽 7 d 和 10 d 后所有小区烟草幼苗死亡率显著高于 4 d ($P = 0.0001 \sim 0.0095$)。移栽 7 d 后对照小区烟草幼苗死亡率 78.3% ± 5.1%，显著高于 EPN + 助剂 1 和化学处理小区 ($F_{4,10} = 4.62$, $P = 0.0226$)，但与 EPN 和 EPN + 助剂 2 相比无差异 ($P = 0.518$; $P = 0.086$)，其中 EPN + 助剂 1 小区

烟草幼苗死亡率最低，为 49.1% ± 5.8% (图 1)。移栽 10 d 后烟草幼苗死亡率最高为对照组 84.2% ± 6.5%，最低为化学药剂组 55.0% ± 10.0%，但所有处理间差异不显著 ($F_{4,10} = 2.17$, $P = 0.146$) (图 1)。

传统食诱剂处理时，移栽 4 d 后 EPN 小区烟草幼苗死亡率 0.8% ± 0.8%，显著低于对照小区 15.0% ± 3.8% ($F_{4,10} = 4.713$, $P = 0.021$)，其余处理与对照小区未见差异 (图 2)。移栽 7 d 和 10 d 后所有小区烟草幼苗死亡率显著高于 4 d ($P = 0.0007 \sim 0.0093$)。移栽 7 d 后对照小区烟草幼苗死亡率 52.5% ± 8.0%，但与其他处理小区差异不显著 ($F_{4,10} = 1.27$, $P = 0.343$) (图 2)。移栽 10 d 后烟草幼苗死亡率对照组为 59.2% ± 8.4%，但与其他处理小区差异不显著 ($F_{4,10} = 0.99$, $P = 0.456$) (图 2)。

人工食诱剂处理时，移栽 4 d 后对照小区烟草幼苗死亡率 52.5% ± 4.3%，显著高于其余 4 个处理小区 ($F_{4,10} = 10.62$, $P = 0.0013$) (图 3)。移栽 7 d 和 10 d 后所有小区烟草幼苗死亡率显著高于 4 d ($P = 0.0002 \sim 0.0297$)。移栽 7 d 后对照小区烟草幼苗死亡率 85.8% ± 2.2%，显著高于其余 4 个处理小区 ($F_{4,10} = 8.33$, $P = 0.0032$) (图 3)。移栽 10 d 后烟草幼苗死亡率最高为对照组 89.2% ± 3.6%，显著高于 EPN、EPN + 助剂 2 和化学处理小区 ($F_{4,10} = 6.78$, $P = 0.0066$) (图 3)。

2.2 辅助方法对保苗效果贡献

试验期间不同食诱剂保苗效果比较发现，未施药情况下，传统食诱剂处理田烟草死亡率 42.2% ± 6.1%，比无食诱剂和人工食诱剂显著降低 ($F_{2,24} = 7.92$, $P = 0.0023$)；与化学药剂共同使用时，两种食诱剂对烟草幼苗死亡率影响不显著 ($F_{2,24} = 0.12$, $P = 0.884$)；与 EPN 共同使用时，传统食诱剂田烟草幼苗死亡率 24.4% ± 7.6%，显著低于无食诱剂田 54.2% ± 6.8% ($F_{2,24} = 3.934$, $P = 0.033$)，但与人工食诱剂田未见差异显著 (图 4-A)。由此可见，在未施放化学药剂的情况下，传统食诱剂的应用延缓了小地老虎对烟草幼苗的危害，在 EPN 配合施用的情况下，具备更好保苗效果。人工食诱剂保苗效果和传统食诱剂相当，但其应用方便，能够显著降低大面积示范时的人力物力成本。

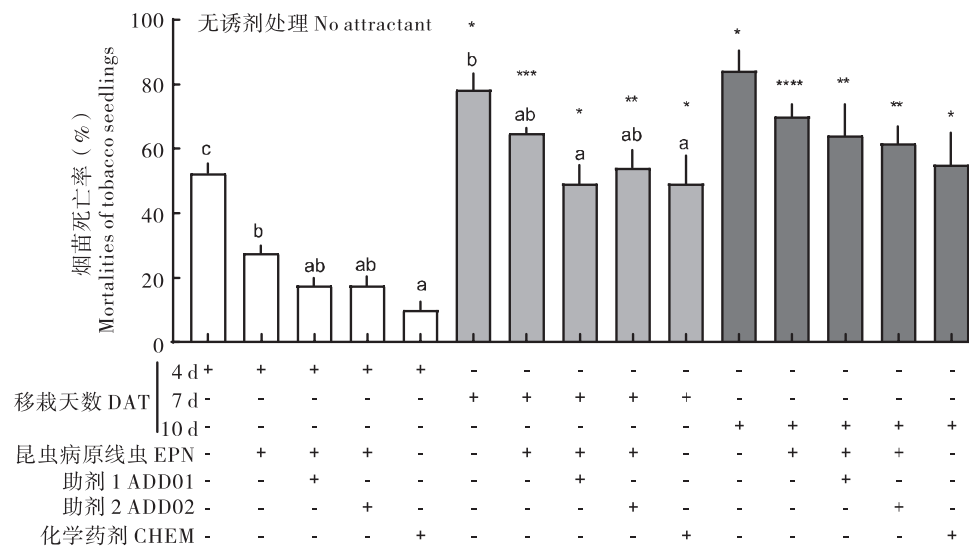


图1 无诱剂处理田块各小区烟草幼苗死亡率调查结果

Fig. 1 Results of the survey on the mortality of tobacco seedlings in the attractant-free treatment plots

注：昆虫病原线虫 EPN 为 *S. carpocapsae* All 粉剂；助剂 1（ADD01）为“激健”抗病减施助剂；助剂 2（ADD02）为“激健”农药减施土壤修复剂；化学药剂（CHEM）为敌杀死。不同小写字母表示同一移栽天数（DAT：Day after transplant）下各处理间烟草幼苗死亡率具有显著差异（GLM 和 Tukey HSD），* 表示同一处理下不同移栽日期间烟草幼苗死亡率具有显著差异（GLM 和 Tukey HSD），其中*， $P < 0.05$ ；**， $P < 0.01$ ；***， $P < 0.001$ ；****， $P < 0.0001$ 。误差线表示 + 标准误（+ SE）。下同。Note: Entomopathogenic nematode (EPN) was *S. carpocapsae* All powder. Adjuvant 1 (ADD01) was “Ji-Jian” disease-resistant and reducing agent. Adjuvant 2 (ADD02) was “Ji-Jian” pesticide reduced application soil remediation agent. Chemical agent (CHEM) was 25 g/L deltamethrin oil. Different lowercase letters indicated significant differences in tobacco seedling mortality (GLM and Tukey HSD) among treatments under the same transplanting days (DAT: Day after transplant). * indicated that there was a significant difference in the mortality of tobacco seedlings during different transplanting days under the same treatment (GLM and Tukey HSD), *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$; ****, $P < 0.0001$. Error bars indicated + standard error of means (+ SE). Same below.

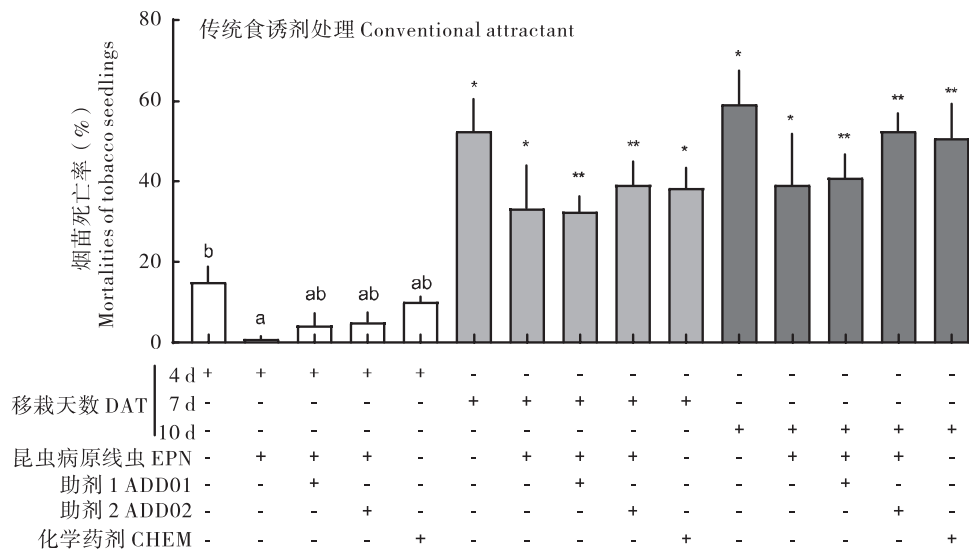


图2 传统食诱剂处理田块各小区烟草幼苗死亡率调查结果

Fig. 2 Results of the survey on the mortality of tobacco seedlings in the conventional attractant trapping plots

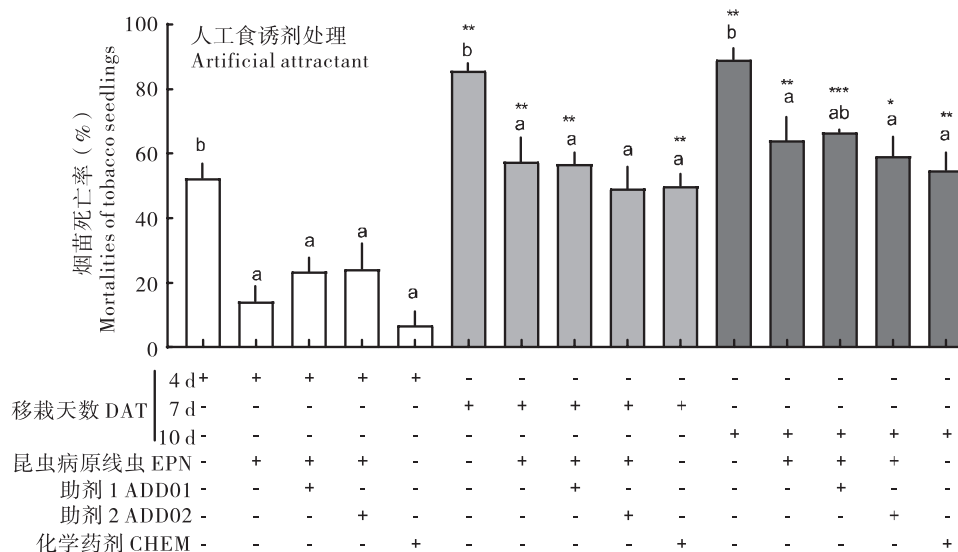


图3 人工食诱剂处理田块各小区烟草幼苗死亡率调查结果

Fig. 3 Results of the survey on the mortality of tobacco seedlings in the artificial attractant trapping plots

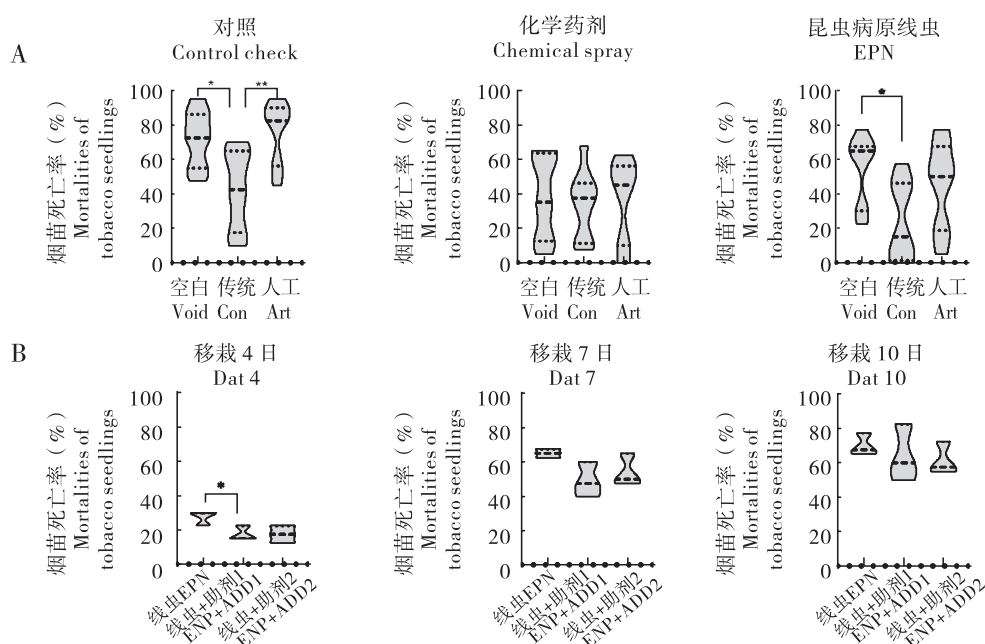


图4 食诱剂和助剂保苗效果评价

Fig. 4 Assessment of the effectiveness of food attractants and auxiliaries in preserving seedling

注: (A) 不同食诱剂在整个试验期平均保苗效果比较。小提琴图中线为中位数, 两侧虚线为四分位数, 柱宽代表数据分布。星号表示烟草幼苗死亡率在食诱剂处理间具有显著差异 (*GLM* 和 *Tukey HSD*)。 (B) 助剂配合生物农药的保苗效果评价。* 表示相同移栽日期下烟草幼苗死亡率在 EPN 加助剂时较 EPN 单独施放具有显著差异 (*Student's t test*)。 Note: (A) Comparison of the average seedling preservation effects of different food attractants during the entire test period. The middle line in the violin chart indicated the median. The dotted lines on both sides indicated the quartiles. The column width represented the data distribution. The asterisk indicated that the mortality of tobacco seedlings had a significant difference between food attractant treatments (*GLM* and *Tukey HSD*). (B) Evaluation of the influence of adjuvants combined with biological pesticides on seedling preservation effects. * indicating that the mortality of tobacco seedlings under the same transplanting date was significantly different when EPN was added with adjuvants compared with EPN alone (*Student's t test*).

对比试验期间两种助剂效果发现,无其余辅助措施情况下,移栽4 d后EPN+助剂1总体烟草幼苗死亡率 $14.5\% \pm 2.5\%$,较单独施放EPN的 $27.5\% \pm 2.5\%$ 显著降低($t_4 = 2.83$, $P = 0.047$)。随移栽日期增加为7 d和10 d,助剂处理与单独使用EPN间未见显著差异($F_{2,6} = 2.979$, $P = 0.126$; $F_{2,6} = 0.401$, $P = 0.686$)(图4-B)。因此,通过1:1添加助剂使用EPN(见方法部分),具备单独施放时的保苗效果,从而节约了50%的生物农药使用量,具备较好的推广潜力。

3 结论与讨论

随着双减政策要求和烟草市场需求的提高,烟草种植行业亟待研发和推广全程绿色病虫害防控模式。烟草作为重要经济作物,其全球害虫种类多达820种,中国烟草害虫达300种,西南烟区常见害虫有30多种,包括小地老虎在内的4~5种害虫为主要害虫,危害程度较大(陈静等,2016)。在前期工作中发现EPN制剂对移栽烟草幼苗具有明显保护作用,可有效控制烟田小地老虎为害(谷星慧等,2021),但EPN作为一种生物药剂,其需要更长时间(~72 h)来达到最佳防效(李根等,2017)。本研究进一步发现EPN制剂可搭配多种辅助措施如食诱剂、助剂等形成更加有效的综合防治体系,达到减施增效和对烟草幼苗的长期保护作用。

糖醋酒液是基于害虫食诱理念的传统农艺措施,其价格低廉,应用广泛,多年来已发展出多种针对特定害虫的国家标准(Tang *et al.*, 2020)。试验中配制而成的糖醋酒液食诱剂可将害虫吸引至特定区域,实现集中灭杀,因可供害虫取食,故本身较人工食诱剂具有一定保苗效果,但该措施在大面积推广中存在消耗较大、稳定性和持效性差等缺点。人工食诱剂产品的出现弥补了这些不足,以模拟植物气味来替代植物诱集等方法,少量使用、集中灭杀,可标准化生产、使用简单、效果稳定(修春丽等,2020)。试验中所用基于天然产物的人工食诱剂可配合多种药剂使用,尤其对于EPN等需要定向诱集和侵染后起效产品具备与传统食诱剂相当的辅助效果,并且在烟草幼苗移栽10 d后仍然起到明显保苗作用,具有推广潜力。未来将进一步研究和简化该配方,实现小地老虎人工食诱剂的简便高效、持续稳定利用。

农药助剂激健产品已在多种作物上证实具有减量增效功能(康国强,2020;马强等,2020),本研究选用了该助剂的两款产品,结果发现激健1在短期内显著提高了EPN的保苗效果,证明新一代农药助剂已可有效配合活体生物农药。随着移栽时间增加,混用助剂的处理与单独使用EPN田块保苗效果虽未见差异,但实现了约50%的生物农药减量,依然具有一定的实践意义。

综上所述,本研究证明了通过添加引诱剂(传统、人工)可以降低小地老虎对烟草幼苗的危害,另一方面证实了昆虫病原线虫的应用使得危害率有所降低,同时避免了农药使用对环境带来的危害。使用多种防治、辅助方法的综合防治模式可以显著抑制移栽烟草幼苗被小地老虎为害,以线虫EPN制剂为主,搭配食诱剂和减量增效助剂的组合具有卓越推广潜力,下一步工作将优化该模式下各防治因子的效果,集成烤烟种植全程绿色生产模式。

参考文献 (References)

- Cai XM, Li ZQ, Pan HS, *et al.* Research and application of food-based attractants of herbivorous insect pests [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34: 8–35. [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: 8–35]
- Chen J, Xu Y, Ouyang J, *et al.* Study on occurrence and dynamics of main tobacco pests in Kunming city [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 29: 1347–1352. [陈静, 徐云, 欧阳进, 等. 昆明市烟草主要虫害发生危害和消长动态研究 [J]. 西南农业学报, 2016, 29: 1347–1352]
- China National Agricultural Technology Extension Service Center. Spray additives blowout development, the future market will reach 500 000 tons [EB/OL]. (2019–05–09) [2021–08–09]. https://www.sohu.com/a/313080525_740796. [全国农技推广服务中心. 喷雾助剂井喷发展, 未来市场将达50万吨 [EB/OL]. (2019–05–09) [2021–08–09]. https://www.sohu.com/a/313080525_740796]
- Dolinski C, Choo, HY, Duncan LW. Grower acceptance of entomopathogenic nematodes; Case studies on three continents [J]. *Journal of Nematology*, 2012, 44: 226.
- Dou SY, Xiu CL, Zhang JP, *et al.* The trapping efficiency of plant-derived attractant on mirid bugs under field conditions [J]. *Plant Protection*, 2017, 43: 239–242. [窦术英, 修春丽, 张建萍, 等. 盲蝽成虫食诱剂的田间诱捕效果 [J]. 植物保护, 2017, 43: 239–242]
- Ebssa L, Koppenhöfer AM. Entomopathogenic nematodes for the management of *Agrotis ipsilon*; Effect of instar, nematode species and nematode production method [J]. *Pest Management Science*,

- 2012, 68: 947–957.
- Gu XH, Cui YH, Ruan WB, *et al.* Protection efficacy of tobacco seedlings by entomopathogenic nematodes [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021. [谷星慧, 崔永和, 阮维斌, 等. 昆虫病原线虫对烟苗的保护效果 [J]. 环境昆虫学报, 2021]
- Huang CG, Li QL. Application of biological control technology in organic tobacco production [J]. *Jiangxi Agriculture* 2020, 6: 44, 46. [黄聪光, 李群岭. 生物防治技术在有机烟叶生产中的应用 [J]. 江西农业, 2020, 6: 44, 46]
- Jiang H, Yan FC, Yu WQ. Research progress of microbial pesticide auxiliaries [J]. *Modernizing Agriculture*, 2020, 1: 2–6. [姜虹, 闫凤超, 于文清. 微生物农药助剂研究进展 [J]. 现代化农业, 2020, 1: 2–6]
- Kang GQ. Demonstration of the field efficacy of combining Ji–Jian and insecticide to reduce the amount of soybean pests by 50% [J]. *Modern Agriculture*, 2020, 533: 52–53. [康国强. 激健助剂与杀虫剂混用减量 50% 防治大豆虫害大田药效试验示范 [J]. 现代农业, 2020, 533: 52–53]
- Labaude S, Griffin CT. Transmission success of entomopathogenic nematodes used in pest control [J]. *Insects*, 2018, 9: 72.
- Li G, Xu WJ, Wang XZ, *et al.* Evaluation of different strains entomopathogenic nematodes against *Agrotis ypsilon* Rottemberg (Lepidoptera, Noctuidae) in tobacco [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (5): 1025–1031. [李根, 许文君, 王新中, 等. 不同品系昆虫病原线虫对烟草小地老虎的致病力 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (5): 1025–1031]
- Liu ZH, Xing XK. Research progress of microbial pesticide additives [J]. *Genomics and Applied Biology*, 2016, 35 (8): 2109–2113. [刘振华, 邢雪琨. 微生物农药助剂研究进展 [J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35 (8): 2109–2113]
- Lu YH, Zhang YJ, Wu KM. Host–plant selection mechanisms and behavioural manipulation strategies of phytophagous insects [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 10: 5113–5122. [陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略 [J]. 生态学报, 2008, 10: 5113–5122]
- Ma Q, Cui ZJ, Liu Y, *et al.* Control effect of pesticide synergist Ji–Jian on oriental tobacco budworm of tobacco [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020, 1: 96, 98. [马强, 崔志军, 刘洋, 等. 激健农药减量助剂对烟草烟青虫的防效研究 [J]. 现代农业科技, 2020, 1: 96, 98]
- Peng MX, Wang JW, Li JY, *et al.* Research progress on control measures of main pest in tobacco [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019, 9: 112–114. [彭孟祥, 王建文, 李建勇, 等. 烟草主要虫害防治措施研究进展 [J]. 现代农业科技, 2019, 9: 112–114]
- Tang R, Jiang NJ, Ning C, *et al.* The olfactory reception of acetic acid and ionotropic receptors in the oriental armyworm, *Mythimna separata* Walker [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2020, 118: 103312.
- Wei B, Lin BR, Sun DY, *et al.* Current status and development countermeasures of major tobacco pest control agents in China [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2021, 48 (3): 105–114. [魏彬, 林壁润, 孙大元, 等. 我国烟草主要病虫害防治药剂登记现状与发展对策 [J]. 广东农业科学, 2021, 48 (3): 105–114]
- Xiu CL, Li AL, Lu W. The effectiveness of using food attractant to lure cotton bollworm moths into traps under field conditions [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (1): 44–48. [修春丽, 栗爱丽, 路伟, 等. 棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (1): 44–48]
- Xiu CL, Li GP, Gao Y, *et al.* Trapping efficacy of combined application of food attractants and different traps on *Helicoverpa armigera* moths [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 229–233, 253. [修春丽, 李国平, 高宇, 等. 食诱剂与不同诱捕器结合使用对棉铃虫成虫诱捕效果的影响 [J]. 植物保护, 2020, 46 (2): 229–233, 253]
- Yan X, Shahid AM, Lin Y, *et al.* Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113: 64–72.
- Yang SJ, Peng JQ, Xiao ZX, *et al.* Survey of dynamic occurrence of “three insects, three diseases” in tobacco producing areas of Baoshan, Yunnan [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2017, 37 (3): 47–51. [杨绍俊, 彭坚强, 肖志新, 等. 保山植烟区“三虫三病”发生规律动态调查 [J]. 热带农业科学, 2017, 37 (3): 47–51]
- Yang XF, Jian H, Yang HW, *et al.* Control of *Bradysia odoriphaga* with entomopathogenic nematodes [J]. *Journal of Plant Protection*, 2004, 1: 33–37. [杨秀芬, 简恒, 杨怀文, 等. 用昆虫病原线虫防治韭菜蛆 [J]. 植物保护学报, 2004, 1: 33–37]
- Zhang ZJ. Application and research progress of pesticide adjuvant in China [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2009, 30 (1): 42–47. [张宗俭. 农药助剂的应用与研究进展 [J]. 农药科学与管理, 2009, 30 (1): 42–47]
- Zhou FM, Gu YS, Shan XH, *et al.* Prevention and control technology research of Lepidoptera pest in tobacco fields [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2018, 9: 73–77. [周孚美, 谷云松, 单雪华, 等. 烟田鳞翅目害虫绿色防控技术研究 [J]. 湖南农业科学, 2018, 9: 73–77]