

膜下滴灌施药对甘蔗脱毒原种苗繁育效率及地上害虫防效的影响

彭李顺^{1,2}, 谭贤教^{1,2}, 曹峥英^{1,2}, 甘仪梅^{1,2}, 蔡文伟^{1,2*}

1. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海南海口 571101; 2. 中国热带农业科学院三亚研究院, 海南三亚 572024

摘要: 为探讨膜下滴灌施药对甘蔗脱毒原种苗田间繁育主要虫害防治效果及综合效益的影响, 本研究通过 2 a 田间试验, 以未施药为空白对照 (CK), 设置 2 个滴灌施药处理 (T₁ 和 T₂: 分 3 次和 2 次滴灌施用 40% 氯虫·噻虫嗪 WG)、1 个无人机喷药处理 (T₃: 分 2 次喷施 40% 氯虫·噻虫嗪 WG) 和 1 个常规根施药处理 (T₄: 分 2 次施用 4% 吡虫啉·杀虫双 GR), 对甘蔗螟虫、蓟马和绵蚜的防治效果及脱毒种苗繁育效率、经济效益等指标进行综合比较分析, 旨在为科学指导甘蔗良繁基地利用现有膜下滴灌系统开展主要虫害高效防治提供理论依据。结果表明: 种苗繁育前期, 2 个滴灌施药处理对螟虫枯心苗率防效最好, 达到 76.00% 以上, 枯心苗率控制在 1.20% 以下, 显著低于其他施药处理。繁育中后期, T₃ 对螟害株率防效最高, 达到 72.00%; 其次是 2 个滴灌施药处理, 防效在 61.00%~66.00% 之间; 其中, 除 2023 年试验中 T₃ 处理的螟害株率显著低于 T₂ 外, T₃ 与 T₁、T₂ 间无显著差异; T₄ 防效最低, 螟害株率显著低于其他施药处理。在螟害节率和螟害芽率方面, T₁ 防效最高, 均达到 82.00% 以上, 螟害节率和螟害芽率分别控制在 0.73% 和 0.28% 以下, 并显著低于其他施药处理。对于蓟马和绵蚜 2 种叶面虫害, T₃ 防效优于其他处理, 防效达到 70.00% 以上, 但与 2 个滴灌施药处理差异不显著。在种苗繁育效率方面, 滴灌施药 T₁ 和 T₂ 处理的有效芽数最高, 分别达到 138.71×10^4 、 136.53×10^4 个/hm², 较 T₄ 提高 6.12% 以上, 但与 T₃ 间差异不显著。在繁育综合效益方面, 相对于 CK, 滴灌施药 T₁ 和 T₂ 处理的净收益增幅最高, 分别达到 31 300、30 400 元/hm², 投入产出比达 1:30 以上, 远高于 T₃ 和 T₄ 处理约 1:21 的投入产出比。综合而言, 采用滴灌方式分 3 次施用 40% 氯虫·噻虫嗪 WG, 可持续高效防控螟虫、蓟马和蚜虫, 兼顾繁育效率与效益, 且种茎螟害节率最低, 可作为甘蔗脱毒原种苗田间繁育地上虫害防治的优选方案。

关键词: 甘蔗脱毒原种苗; 膜下滴灌; 甘蔗螟虫; 防治效果; 繁育效率

中图分类号: S566.1

文献标志码: A

Effects of Pesticide Application via Under-mulch Drip Irrigation on Propagation Efficiency of Disease-free Sugarcane Original Seedlings and Control Efficacy Against Above Ground Pests

PENG Lishun^{1,2}, TAN Xianjiao^{1,2}, CAO Zhengying^{1,2}, GAN Yimei^{1,2}, CAI Wenwei^{1,2*}

1. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Sanya Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya, Hainan 572024, China

Abstract: The study conducted a two-year field experiment to explore the effects of pesticide application via under-mulch drip irrigation on the control efficacy of major pests and comprehensive benefits in the field propagation of disease-free sugarcane original seedlings. With no pesticide application as the control (CK), four treatments were simultaneously set up, two drip irrigation pesticide application treatments (T₁ and T₂: applying 40% chlorantraniliprole-thiametho-

收稿日期 2025-09-09; 接受日期 2025-11-01

基金项目 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2024XDNY150); 国家热带农业科学中心科技创新团队项目 (No. CATASCXTD-202402); 现代农业产业技术体系 (糖料) 建设专项资金项目 (No. CARS-170716)。

作者简介 彭李顺 (1980—), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 甘蔗高效栽培。*通信作者 (Corresponding author): 蔡文伟 (CAI Wenwei), E-mail: caiwenwei@itbb.org.cn。

xam WG via drip irrigation 3 times and 2 times, respectively), one unmanned aerial vehicle (UAV) spraying treatment (T_3 : spraying 40% chlorantraniliprole·thiamethoxam WG 2 times), and one conventional root application treatment (T_4 : applying 4% imidacloprid·bisultap GR 2 times). A comprehensive comparative analysis was performed on indicators such as the control efficacy against sugarcane borers, thrips, and aphids, as well as the propagation efficiency and economic benefits of disease-free sugarcane original seedlings, aiming to provide a theoretical basis for scientifically guiding sugarcane elite seed propagation bases to utilize existing under-mulch drip irrigation systems for efficient and economical control of major pests. In the early stage of seedling propagation, the two drip irrigation treatments (T_1 and T_2) exhibited the best control efficacy against the rate of borer-induced dead heart seedlings, reaching over 76.00%, with the dead heart seedling rate controlled below 1.20%, which was significantly lower than that of other pesticide treatments. In the middle and late stages of propagation, UAV spraying T_3 showed the highest control efficacy against the rate of borer-damaged plants, reaching 72.00%, followed by the two drip irrigation treatments T_1 and T_2 with control efficacy ranging from 61.00% to 66.00%. Specifically, except that the rate of borer-damaged plants of T_3 was significantly lower than that of T_2 in the 2023 experiment, there was no significant difference in the rate of borer-damaged plants between T_3 and T_1 , T_2 . Conventional root application T_4 had the lowest control efficacy, and the rate of borer-damaged plants was significantly lower than that of other pesticide treatments. In terms of the rates of borer-damaged internodes and borer-damaged buds, drip irrigation treatment T_1 (applied 3 times) showed the highest control efficacy, both reaching over 82.00%, with the rates of borer-damaged internodes and buds controlled below 0.73% and 0.28%, respectively, which were significantly lower than those of other pesticide treatments. For the two foliar pests (thrips and aphids), UAV spraying T_3 showed better control efficacy than other treatments, reaching over 70.00%, but there was no significant difference compared with the two drip irrigation treatments. In terms of seedling propagation efficiency, drip irrigation treatments T_1 and T_2 had the highest number of effective buds, reaching 138.71×10^4 , 136.53×10^4 buds per hectare, respectively, which was more than 6.12% higher than that of conventional root application T_4 , but there was no significant difference compared with UAV spraying T_3 . In terms of comprehensive propagation benefits, compared with CK, drip irrigation treatments T_1 and T_2 had the highest increase in net income, reaching 31 300, 30 400 yuan/hm², respectively, with an input-output ratio of above 1 : 30, which was much higher than the input-output ratio of approximately 1 : 21 for UAV spraying T_3 and conventional root application T_4 . Comprehensively, applying 40% chlorantraniliprole·thiamethoxam WG via drip irrigation 3 times can sustainably and efficiently control borers, thrips and aphids, balances propagation efficiency and benefits, and has the lowest rate of borer-damaged internodes in seed canes. Thus, it can be used as the optimal scheme for controlling above-ground pests in the field propagation of disease-free sugarcane original seedlings.

Keywords: disease-free sugarcane original seedlings; under-mulch drip irrigation; sugarcane borer; control efficacy; propagation efficiency

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2026.01.012

甘蔗作为我国最主要的糖料作物（甘蔗糖占我国食糖总量的 85%以上），常年种植面积在 120 万 hm² 以上，主要种植在广西、云南、广东和海南 4 省（区），是当地区域经济发展和蔗农的主要收入来源^[1-2]。然而，作为依赖蔗茎腋芽无性繁殖的作物，长期自留种或采用常规繁育种苗种植，易导致种苗携带并传播宿根矮化病、花叶病等多种病原物，进而反复侵染蔗株，造成产量与蔗糖分下降、宿根年限缩短及种性退化^[3-4]。通过恒温热处理结合腋芽分生组织培养技术培育的甘蔗脱毒健康种苗，可有效抑制这些病害^[5-6]，且相较于常规繁育种苗，具有分蘖能力强、产量高、宿根性好、用种量少等优势^[7-9]。因此，大面积繁育和推广种植甘蔗脱毒健康种苗，是控制种苗带病传播、防止品种退化、促进产业提质增效最为经济

有效的途径。

高效经济的种苗大田繁育与脱毒种茎质量控制，是实现甘蔗脱毒健康种苗规模化繁育和推广种植的核心环节^[10]。在甘蔗脱毒原种苗的田间繁育过程中，合理的水肥管理对提升繁育效率、保障种苗质量至关重要^[11]，并且对主要害虫防控同样关键且不可或缺。甘蔗螟虫、蓟马、绵蚜等地上害虫不仅会直接抑制种苗生长并降低繁育效率，还可作为多种病原物的传播载体侵染种苗，进一步降低繁育种苗质量。其中，螟虫危害尤为突出：苗期蛀食生长点会导致枯心苗形成，直接减少有效茎数量；中后期蛀食种茎甚至种芽，若采收时未剔除此类受损种茎，则会显著降低脱毒种茎的发芽率，并增加多种病原物的侵染风险^[12-13]，最终影响繁育的脱毒种茎质量。

目前,甘蔗脱毒种苗田间繁育过程中针对主要虫害的防治仍以化学防治为主,但其施用技术存在明显局限:传统根施用药量大、利用率低;人工喷施则工作强度高、成本高,且在甘蔗生长中后期封行后施药困难;植保无人机喷施需额外增加作业成本,且易受风雨天气影响。膜下滴灌施药技术通过滴灌系统将内吸性防虫药液输送至作物根部,经根系吸收后可转运至地上部叶片及生长点,具有作业高效、操作简便、安全性高、不受作物生长阶段限制(如封行后)、大风及小雨天气下仍可施药等优势,已在棉花、玉米、香蕉等作物中逐步推广应用^[14-18]。

当前,甘蔗脱毒种苗繁育基地已普遍配备滴灌系统,水肥膜下滴灌施用技术亦获得广泛应用^[11, 19-20],但其在甘蔗主要虫害防治中的应用研究却鲜有报道。为此,本研究在前期明确甘蔗脱毒种苗繁育主要虫害发生规律的基础上,以不施药处理为对照,设置 2 个滴灌施药处理,并与无人机喷药、常规根施药处理进行比较,旨在系统探讨膜下滴灌施药对甘蔗主要地上虫害的防治效果,为甘蔗脱毒种苗田间规模化繁育过程中主要虫害的高效防控、种苗繁育效率提升及脱毒种茎质量控制提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试甘蔗品种为中糖 3 号及其脱毒原种苗,由中国热带农业科学院甘蔗研究中心提供。供试药剂中,用于滴灌施用及飞防喷施的均为 40%氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪 WG(先正达南通作物保护有限公司生产,有效成分为 20%氯虫苯甲酰胺·20%噻虫嗪水分散粒剂);常规根施药剂为 4%吡虫啉·杀虫双 GR(山东大农药业有限公司生产,有效成分为 0.4%吡虫啉·3.6%杀虫双颗粒剂)。主要防治对象为甘蔗 3 种地上害虫:甘蔗螟虫、蓟马

和绵蚜。

试验分别于 2022 年和 2023 年在位于广西壮族自治区崇左市扶绥县昌平乡八联村的国家甘蔗脱毒健康种苗繁育基地(22°42'34.934"N, 107°54'28.422"E)进行。试验地块土壤类型为当地具有代表性的中等肥力赤红壤。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 第 1 年田间试验于 2022 年 6 月 10 日将在温室大棚炼苗后的中糖 3 号甘蔗脱毒原种苗移栽至苗圃地进行穴盘假植,待 80%以上种苗生长至 1 心 6~8 叶时(2022 年 7 月 5 日),移栽至大田,于 2023 年 1 月 10 日收获。第 2 年田间试验于 2023 年 6 月 15 日开展甘蔗脱毒原种苗的穴盘假植,7 月 10 日移栽至大田,2024 年 1 月 15 日进行脱毒种茎采收。

设置 2 个膜下滴灌施药处理、1 个无人机喷药处理、1 个常规根施农药处理及 1 个不施药的空白对照(表 1)。滴灌和飞防施药时期主要根据前期对该良繁基地甘蔗螟虫发生规律,提前 1 周进行施药防控。其中,T₁处理为在甘蔗脱毒种苗移栽完成 10 d 后滴施 450 g/hm² 40%氯虫·噻虫嗪 WG,以及在甘蔗拔节初期(1~3 节)和中期(7~9 节)再分别滴施 450、300 g/hm² 40%氯虫·噻虫嗪 WG;T₂处理分别在甘蔗脱毒种苗移栽完成后 10 d 和拔节初期(1~3 节)各滴施 600 g/hm² 氯虫·噻虫嗪 WG;T₃处理分别在甘蔗脱毒种苗移栽完成后 10 d 和拔节初期(1~3 节)使用大疆 T40 无人机喷施 600 g/hm² 氯虫·噻虫嗪 WG,作业飞行高度苗期为 2 m、拔节期为 3 m,飞行速度为 3 m/s;T₄处理结合移栽前机械开沟覆膜铺管和机械中耕培土,分别根施 60 kg/hm² 4%吡虫·杀虫双 GR;CK 为不施药的空白对照,全程不施药。其中,40%氯虫·噻虫嗪 WG 成本为 0.8 元/g,4%吡虫·杀虫双 GR 成本为 8 元/kg,因此,各施药处理药剂成本保持一致,均为 960 元/hm²。

表 1 不同处理施药方式及用量
Tab. 1 Application methods and dosages in different treatment groups

处理 Treatment	施用方法 Application method	施用农药 Apply pesticide	用量 Dosage/(g·hm ⁻²)
T ₁	滴灌施药	40%氯虫·噻虫嗪 WG	1200(分 3 次施用)
T ₂	滴灌施药	40%氯虫·噻虫嗪 WG	1200(分 2 次施用)
T ₃	无人机喷施	40%氯虫·噻虫嗪 WG	1200(分 2 次施用)
T ₄	常规根施	4%吡虫·杀虫双 GR	120×10 ³ (分 2 次施用)
CK	不施药		

2 a 田间试验所有施药处理和不施药对照均配备膜下滴灌设施，采用大小行移栽种植，大行距为 1.4 m，小行距为 0.4 m，株距为 0.5 m，每公顷移栽种植甘蔗脱毒原种苗 22 222 株。各处理均在同地块（行长 80 m）开展，每个处理设置 3 个重复小区。其中，滴灌施药处理（T₁ 和 T₂）和无人机喷药处理（T₃）每个小区长 80 m，宽 36 m，每个小区面积为 2880 m²，包含 1.4 m 大行和 0.4 m 小行各 20 行，共 40 行甘蔗。常规根施（T₄）和不施药对照（CK）每个小区长 80 m，宽 9 m，每个小区面积为 720 m²，包含 1.4 m 大行和 0.4 m 小行各 5 行，共 10 行甘蔗。各处理均采用相同方式进行膜下滴灌水分和养分管理，使用滴孔间距为 0.2 m 的贴片式滴灌带，铺设在相距 0.4 m 的小行中间，同时使用厚度为 0.01 mm、宽度为 0.8 m 的透明地膜完全覆盖相距 0.4 m 的 2 个小行甘蔗，每条滴灌带负责 2 小行甘蔗种苗的水肥药供给，各处理和对照的其余田间常规管理均同步进行，保持一致。

1.2.2 主要地上害虫防治效果和种苗繁育效率调查 甘蔗螟虫防治效果调查：在甘蔗脱毒原种苗大田移栽 40 d 后调查各处理小区中间 3 行（包含大行和小行各 3 行，下同）中部 40 m 区域的总苗数和螟害枯心苗数，计算枯心苗率和防治效率。在次年 1 月采收时砍收各处理小区中间 3 行中部 40 m 区域所有蔗苗，调查总有效茎数、单株芽数、螟害株数、螟害节数、螟害芽数，计算单位面积有效茎数、有效芽数，以及螟害株率、螟害节率、螟害芽率及其防治效率。

甘蔗蓟马防治效果调查：在拔节期蓟马明显发生时，每个处理小区在中间 3 行各调查 10 株甘蔗的蓟马量，计算单株蓟马数及防治效率。

甘蔗绵蚜防治效果调查：在拔节期绵蚜明显发生时，调查绵蚜防治情况，每个处理取中间 3 行分别按顺序调查 100 株甘蔗的蚜虫为害株，计算蚜虫为害率及防治效率。

计算公式：螟害株率=螟害总株数/调查总株数×100%；螟害节率=螟害总节数/调查总节数×100%；螟害芽率=螟害总芽数/调查总芽数×100%；甘蔗单株蓟马数=调查总头数/调查总株数；绵蚜为害率=绵蚜为害株数/调查总株数×100%；防治效率=(对照区为害率-处理区为害率)/对照区为害率×100%；单位面积有效芽数=单位面积总芽数-单位面积螟害芽数。

1.3 数据处理

利用 Excel 2019 软件整理试验数据，采用 DPS V15.10 软件进行方差齐性检验、单因素方差分析，采用 Duncan 新复极差法进行组间多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施药处理对甘蔗脱毒原种苗田间繁育前期螟虫的防治效果的影响

由表 2 可知，在 2 a 的甘蔗脱毒原种苗田间繁育试验中，对于苗期螟虫的防治，与 CK 的枯心苗率（2022 年 4.33%、2023 年 5.17%）相比，所有施药处理均表现出良好的防治效果，枯心苗率均控制在 2.00%以下，防治效果均超过 50.00%。其中，T₂ 处理的防治效果最佳，2 a 防效均达 80.00%以上，枯心苗率均低于 1.00%。其次是 T₁ 处理，2 a 防效分别为 77.69%和 76.77%。尽管 T₁ 的枯心苗率略高于 T₂，但二者差异不显著。相比之下，T₃ 和 T₄ 的防效相对较低，2 a 防效为 54.62%~64.52%，枯心苗率较 T₂ 高出 1 倍以上，且 T₃ 与 T₄ 的枯心苗率差异不显著。

表 2 不同施药处理对甘蔗脱毒原种苗田间繁育前期螟虫的防治效果
Tab. 2 Control efficacy of different pesticide application treatments against sugarcane borers in disease-free sugarcane original seedlings during early-stage field propagation

处理 Treatment	2022		2023	
	枯心苗率 Rate of dead heart seedling/%	防治效果 Control efficacy/%	枯心苗率 Rate of dead heart seedling/%	防治效果 Control efficacy/%
T ₁	0.97±0.32 ^c	77.69	1.20±0.26 ^{bc}	76.77
T ₂	0.70±0.26 ^c	83.85	0.87±0.21 ^c	83.23
T ₃	1.80±0.36 ^b	58.46	1.90±0.46 ^b	63.23
T ₄	1.97±0.55 ^b	54.62	1.83±0.25 ^b	64.52
CK	4.33±0.57 ^a		5.17±0.93 ^a	

注：同列不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).

2.2 不同施药处理对甘蔗原种苗田间繁育中后期螟虫防治效果的影响

由表 3 可知,在为期 2 a 的试验中,CK 的甘蔗螟害株率均高达 20.00%以上。与 CK 相比,各施药处理均能有效降低螟害株率,其中,T₃处理的防效最佳,2 a 试验防效均达 72.00%以上,相应的螟害株率仅为 6.33%和 5.57%;其次是 T₁和 T₂处理,其防效均在 70.00%以下,螟害株率在 7.23%~8.10%之间;除 2023 年 T₂的螟害株率显著高于 T₃外,T₃与 T₁、T₂处理间的螟害株率无显著差异。相比之下,T₄处理的螟害株率则显著高于上述 2 种施药方式,2 a 试验螟害株率均超过 10.00%,防效仅为 47.00%和 43.62%。

在甘蔗螟害节率的防治效果方面,各施药处理中 T₁处理的防治效果最佳,2 a 试验的防效均超过 80.00%,螟害节率均有效控制 在 0.80%以下,防治效果显著优于 T₂处理,2022 年和 2023 年 T₂处理的螟害节率分别为 1.38%和 1.34%;相较于 T₂,T₁处理的螟害茎节数量大幅减少,2 a 的减少幅度分别达到 47.10%和 48.51%;其次是 T₃处理,2 a 试验的防效分别为 75.10%和 76.52%,螟害节率分别为 1.17%和 1.12%。T₃的螟害节率略低于 T₂,但二者差异不显著;T₄的防效最低,2 a 试验的螟害节率均在 2.00%以上,与 CK(螟害节率超过 4.00%)相比,T₄的总体防效不足 50.00%。

在甘蔗脱毒原种苗繁育过程中,蔗芽是螟虫

直接为害的主要部位之一。2 a 试验结果显示,各施药处理的螟害芽率与螟害节率表现趋势基本一致。具体来看,T₁处理的防效最佳,螟害芽率分别仅为 0.28%和 0.26%,防效均达到 80.00%以上,其螟害芽率显著低于 T₂和 T₃处理,减少被蛀蔗芽 35.00%以上。T₂与 T₃处理的螟害芽率较为接近,二者间无显著差异,但均显著低于 T₄处理。此外,通过对比相同处理下的螟害节率与螟害芽率发现,甘蔗脱毒原种苗繁育过程中,受螟害茎节中直接为害蔗芽的比例普遍较高,均在 29.85%以上,其中最高处理组达 43.59%。

2.3 不同施药处理对甘蔗原种苗田间繁育过程中主要叶面害虫防治效果的影响

各施药处理对叶面害虫蓟马的防治效果见表 4,2 a 试验中均为 T₃处理的防效最高,分别达到 75.35%和 73.37%,对应单株蓟马数为 6.50 头和 4.37 头,显著低于 T₄处理,但与滴灌施药 T₁、T₂处理间无显著差异。滴灌施药与常规根施处理间,仅 2022 年 T₂处理的单株蓟马数显著低于 T₄;2022 年 T₁与 T₄、2023 年 T₁与 T₂、T₄间均无显著差异。

对于叶面害虫绵蚜的防治效果,与 CK 相比,2 a 试验中各施药处理防效均在 65.00%以上,其中以 T₃防效最高,2 a 试验分别达到 72.50%和 77.46%,对应的绵蚜为害株率仅为 3.67%和 2.67%,低于其他施药处理,但 4 个施药处理间差异均未达显著水平。

表 3 不同施药处理甘蔗脱毒原种苗田间繁育中后期螟虫的防治效果
Tab. 3 Control efficacy of different pesticide application treatments against sugarcane borers in disease-free sugarcane original seedlings during mid-late field propagation

年份 Year	处理 Treatment	螟害株 Borer-damaged plant		螟害节 Borer-damaged internode		螟害芽 Borer-damaged bud	
		螟害株率	防治效果	螟害节率	防治效果	螟害芽率	防治效果
		Borer-damaged plant rate/%	Control efficacy/%	Borer-damaged internode rate/%	Control efficacy/%	Borer-damaged bud rate/%	Control efficacy/%
2022	T ₁	7.57±0.31 ^c	66.76	0.73±0.02 ^d	84.49	0.28±0.02 ^d	82.78
	T ₂	8.10±0.46 ^c	64.42	1.38±0.13 ^c	70.58	0.46±0.02 ^c	71.18
	T ₃	6.33±0.51 ^c	72.18	1.17±0.07 ^c	75.10	0.51±0.07 ^c	67.89
	T ₄	12.07±1.47 ^b	47.00	2.52±0.09 ^b	46.34	0.84±0.07 ^b	47.77
	CK	22.77±1.36 ^a		4.70±0.11 ^a		1.60±0.09 ^a	
2023	T ₁	7.23±0.81 ^{cd}	64.01	0.69±0.04 ^d	85.41	0.26±0.04 ^d	84.01
	T ₂	7.80±1.08 ^c	61.19	1.34±0.10 ^c	71.89	0.40±0.03 ^c	75.79
	T ₃	5.57±0.32 ^d	72.31	1.12±0.05 ^c	76.52	0.40±0.02 ^c	75.56
	T ₄	11.33±0.57 ^b	43.62	2.39±0.18 ^b	49.80	0.81±0.02 ^b	50.75
	CK	20.10±1.57 ^a		4.76±0.31 ^a		1.22±0.08 ^a	

注:同列不同小写字母表示同一年差异显著(P<0.05)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same year (P<0.05).

表 4 不同施药处理甘蔗脱毒原种苗田间繁育过程中主要叶面害虫的防治效果
Tab. 4 Control efficacy of different pesticide application treatments against sugarcane borers in disease-free sugarcane original seedlings during field propagation

年份 Year	处理 Treatment	蓟马 Thrip		绵蚜 Aphid	
		单株蓟马数 Number of thrips per plant	防治效果 Control efficacy/%	为害株率 Infested plant rate/%	防治效果 Control efficacy/%
2022	T ₁	9.43±1.07 ^{bc}	64.22	4.67±0.15 ^b	65.00
	T ₂	7.73±1.33 ^c	70.67	4.50±0.26 ^b	66.25
	T ₃	6.50±2.74 ^c	75.35	3.67±0.21 ^b	72.50
	T ₄	13.07±2.06 ^b	50.44	4.33±0.35 ^b	67.50
	CK	26.37±4.20 ^a		13.33±0.40 ^a	
2023	T ₁	7.23±0.81 ^{bc}	55.89	3.83±0.64 ^b	67.61
	T ₂	7.13±0.84 ^{bc}	56.50	3.00±0.61 ^b	74.65
	T ₃	4.37±1.89 ^c	73.37	2.67±0.29 ^b	77.46
	T ₄	9.03±3.03 ^b	44.92	3.33±0.38 ^b	71.83
	CK	16.40±1.85 ^a		11.83±0.32 ^a	

注：同列不同小写字母表示同一年差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same year ($P<0.05$).

2.4 不同施药处理对甘蔗脱毒原种苗繁育效率和效益的影响

2.4.1 繁育效率 在采收期，各处理的平均株高为 1.78~1.84 m，茎径为 20.65~20.99 mm，各处理间差异不显著（表 5）。在有效茎数方面，2022 年试验结果显示，T₁ 和 T₂ 处理的有效茎数均达到 94.00×10³条/hm² 以上，显著高于 T₄ 处理，但与 T₃ 处理差异不显著；2023 年试验中，T₁、T₂ 的有效茎数虽略高于 T₃ 和 T₄，但各处理间的差异均未达到显著水平。综合 2 a 试验结果，T₁、T₂ 处理

的有效茎数均表现出高于 T₄ 和 T₃ 处理的趋势，其中仅在 2022 年的优势达到显著水平。在单株平均芽数方面，各处理间差异均不显著，均维持在 14~15 芽/株的水平，在此阶段进行脱毒种茎采收，既能保证较高繁育效率，又可维持基部芽眼饱满新鲜及较强萌发能力。

为保证繁育脱毒种茎质量，通常要求在种苗整株采收后人工砍段过程中去除全部螟蛀茎节，因此螟害节率会直接影响最终有效芽数。2 a 繁育试验结果显示，T₁ 处理的螟害节率最低，对应有

表 5 不同施药处理对甘蔗脱毒原种苗田间扩繁的主要农艺性状的影响
Tab. 5 Effect of different pesticide application treatments on main agronomic traits of disease-free sugarcane original seedlings in field propagation

年份 Year	处理 Treatment	株高 Plant height/m	茎径 Stalk diameter/mm	有效茎数 Number of millable stalks/(10 ³ ·hm ⁻²)	单株芽数 Number of buds per plant	有效芽数 Number of millable buds/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	相对 CK 增加比例 Increase ratio relative to CK/%
2022	T ₁	1.78±0.03 ^a	20.65±0.72 ^a	94.72±2.78 ^a	14.75±0.09 ^a	138.71±3.32 ^a	26.56
	T ₂	1.84±0.07 ^a	20.62±0.97 ^a	94.63±4.59 ^a	14.78±0.06 ^a	137.98±7.25 ^a	25.89
	T ₃	1.81±0.04 ^a	20.76±0.80 ^a	91.85±2.52 ^{ab}	14.83±0.14 ^a	134.62±4.97 ^{ab}	22.82
	T ₄	1.75±0.06 ^a	20.70±0.46 ^a	88.40±5.26 ^b	14.74±0.17 ^a	127.08±8.64 ^b	16.24
	CK	1.77±0.10 ^a	20.66±0.21 ^a	77.95±4.08 ^c	14.68±0.27 ^a	108.98±3.70 ^c	
2023	T ₁	1.79±0.02 ^a	20.82±0.34 ^a	92.79±1.45 ^a	14.82±0.14 ^a	136.53±0.89 ^a	27.03
	T ₂	1.81±0.04 ^a	20.69±0.20 ^a	92.84±0.94 ^a	14.80±0.07 ^a	135.60±2.03 ^a	26.17
	T ₃	1.78±0.08 ^a	20.82±0.38 ^a	90.35±2.77 ^a	15.01±0.23 ^a	134.06±3.67 ^{ab}	24.74
	T ₄	1.81±0.05 ^a	20.99±0.75 ^a	88.80±2.73 ^a	14.85±0.11 ^a	128.72±4.59 ^b	20.05
	CK	1.84±0.04 ^a	20.72±0.23 ^a	75.11±2.15 ^b	14.92±0.10 ^a	106.71±3.59 ^c	

注：同列不同小写字母表示同一年差异显著（ $P<0.05$ ）。有效芽数为总芽数去除包含螟蛀茎节种芽后的种芽数量。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same year ($P<0.05$). The number of effective buds refers to the number of seed buds obtained by excluding the seed buds containing stem borer-infested stem nodes from the total number of buds.

效芽数最高, 2 a 分别达 138.71×10^4 、 136.53×10^4 芽/hm², 分别较 CK 提升 26.56%和 27.03%; T₂ 与 T₃ 处理的有效芽数次之(均超 130×10^4 芽/hm²), 但与 T₁ 差异不显著; T₄ 处理因螟害节率相对较高, 有效芽数在 2 a 试验中均显著低于 T₁、T₂, 且较 CK 仅分别提升 16.24%和 20.05%, 提升效果显著低于 T₁、T₂。

2.4.2 经济效益 由表 6 可以看出, 扣除脱毒种茎采收、砍段包装等成本后, 滴灌施药 T₁ 和 T₂ 处理的种茎收益最高, 均超 15 万元/hm², 显著高于 T₄ 处理, 与 T₃ 处理差异不显著。由于所有处理均配备膜下滴灌系统, 所以 T₁ 和 T₂ 处理可以和水肥

滴灌施用同步开展, T₄ 处理结合移栽前开沟覆膜铺管机械及中耕时培土机械同步完成施药, 均无需增加额外施用成本, 施药成本仅为药剂成本(960 元/hm²)。T₃ 处理的施药成本除药剂成本(960 元/hm²)外, 还需增加 2 次飞防作业成本(单次 150 元/hm²), 共需 1260 元/hm²。就种茎收益扣除施药成本后的净收益而言, 与 CK 相比, 各施药处理的净收益均显著增加, 其中, T₁ 处理的收益增幅最大, 达 3.13 万元/hm²; T₂ 处理略低, 为 3.04 万元/hm²; 其次为 T₃ 和 T₄ 处理, 分别为 2.74 万元/hm² 和 2.05 万元/hm²。在投入产出比方面, T₁ 处理最高, 达到了 1 : 32.65, T₄ 处理最低, 仅为 1 : 21.41。

表 6 不同施药处理甘蔗脱毒原种苗田间扩繁的效益
Tab. 6 Benefits from field propagation of disease-free sugarcane original seedlings with different pesticide application treatments

处理 Treatment	种茎收益 Seedcane income/(10 ⁴ yuan·hm ⁻²)		施药成本 Pesticide application cost/(yuan·hm ⁻²)		相对 CK 增加净收益 Increased net benefit compared with CK /(10 ⁴ yuan·hm ⁻²)	施药投入产出比 Input-output ratio of pesticide application
	2022	2023	2022	2023		
T ₁	15.41±0.37 ^a	15.17±0.10 ^a	960.00	960.00	3.13	1 : 32.65
T ₂	15.33±0.81 ^a	15.07±0.23 ^a	960.00	960.00	3.04	1 : 31.69
T ₃	14.96±0.55 ^{ab}	14.89±0.41 ^{ab}	1260.00	1260.00	2.74	1 : 21.75
T ₄	14.12±0.96 ^b	14.30±0.51 ^b	960.00	960.00	2.05	1 : 21.41
CK	12.11±0.41 ^c	11.86±0.40 ^c				

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。种茎收益=种茎产值-采收成本, 其中种茎产值按照蔗芽数量计算, 后续甘蔗脱毒种茎种植按照 67 500 芽/hm², 种茎价格为 9000 元/hm², 即单芽产值 1333.3 元/万芽, 采收成本(田间采收后砍成单芽段或双芽段)约为 222.2 元/万芽, 蔗种收益约为 1111.1 元/万芽。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). Seedcane income = Seedcane output value + Harvesting cost. The output value of seedcane is calculated based on the number of buds. The subsequent planting of disease-free seed cane is done at a rate of 67 500 buds/hm², with the seedcane price of 9000 yuan/hm², which translates to a single bud output value of 1333.3 yuan per 10 000 buds. The harvesting cost (cutting into single or double bud segments after harvesting in the field) is approximately 222.2 yuan per 10 000 buds, resulting in the seed cane income of approximately 1111.1 yuan per 10 000 buds.

3 讨论

在原料蔗生产上, 苗期根施或定向喷施结合茎伸长期无人机喷施是当前主要虫害防治策略^[21-22], 而甘蔗脱毒原种苗繁育因普遍配备滴灌系统, 滴灌施药成为潜在新途径。已有研究证实, 滴灌施用内吸性药剂(如氯虫苯甲酰胺、噻虫嗪等)对钻蛀性螟虫、刺吸性蓟马及蚜虫防效良好^[23-25], 但在甘蔗生产中的应用尚未见报道。本研究 2 a 田间试验表明, 膜下滴灌施用 40%氯虫·噻虫嗪 WG 对甘蔗螟虫、蓟马和绵蚜防效显著, 且不同生育期呈现差异化优势。苗期, 滴灌施药对螟虫枯心率的防效显著优于无人机喷施和常规根施, 这可能主要得益于移栽脱毒原种苗根系完整, 经 10 d 适应期后具备较强吸收能力, 配合膜下滴灌

精准输送药液至根区提升吸收利用率; 而无人机喷施药液易漂移或滞留地膜表面, 常规根施颗粒药剂释放及根系吸收速率慢, 均降低防效。这与孟华岳^[26]在柑橘上的研究结论基本一致, 该研究发现, 与喷施相比, 滴灌施药可减少药液漂移损失, 同时通过根区药液富集促进根系吸收, 进而显著增加内吸性药剂在地上部的积累, 进而增强防效。本研究中, 进入拔节期, 在螟害株率防控上, 无人机喷施的防效达 70.00%以上, 因蔗株封行后繁茂蔗叶可快速高效吸收叶面喷施绝大部分药液, 使其防效甚至优于通过根系吸收药液的滴灌施药处理(如 2023 年 T₃ 螟害株率显著低于 T₂); 在螟害节率防控上, 分 3 次滴灌的防控效果更优, 显著低于分 2 次滴灌和无人机喷施处理, 表明总

药量一致时增加茎伸长期施药次数可延长内吸药剂持效期,此规律同样适用于无人机喷施,北海蔗区试验证实茎伸长期增加 1~2 次飞防可显著减少螟害茎节^[27]。针对蓟马和绵蚜等叶面害虫,无人机喷施的防效突出(均达 70.00%以上),尤其对蓟马防效显著,单株蓟马数量下降 50.00%以上,防效提升 25.00%以上,这可能与无人机叶面喷施直接作用于叶面害虫,起效更快更直接有关。艾尼瓦尔·吉力力^[28]在棉花棉蚜的防治研究中发现,叶片喷施 70%噻虫嗪相对于滴灌施用起效更迅速,喷施 3 d 虫口即降至零,而滴灌施用需 10 d 才能达到药效高峰。甘蔗蓟马的防治试验中亦证实无人机喷施防效优于常规根施^[29]。综上,甘蔗脱毒原种苗田间繁育需结合生育期特性与害虫类型优化施药策略,即苗期依托膜下滴灌提升根系对螟虫防治药剂的吸收利用,显著降低枯心率;拔节期采用无人机喷施可高效防控螟害株率及蓟马、绵蚜等叶面害虫,而增加茎伸长期施药频次能有效延长内吸药剂持效期,更好控制螟害节率,从而实现精准高效的虫害综合防控。

在繁育种苗生长方面,各施药处理对株高、茎径及单株芽数等个体生长指标无显著影响,表明基础水肥管理主导着种苗的营养生长进程,施药处理未对这一进程产生明显干扰。然而,群体生长层面呈现出差异,核心体现在有效茎数上,这一差异主要与种苗生长前期的螟害枯心苗率相关。本研究 2 a 试验结果显示,枯心苗率较低的滴灌施药处理(T_1 和 T_2)有效茎数均最高,其中 2022 年 T_1 、 T_2 处理的有效茎数显著高于根施处理(T_4)。在原料蔗研究中,同样发现有效茎数会随苗期螟害程度加重呈现递减的趋势^[12],进而影响甘蔗群体生长。此外,单位面积有效芽数直接反映繁育效率,其与有效茎数呈高度正相关,同时还受螟害节率的影响。例如 2023 年试验中,尽管 T_4 处理的有效茎数与 T_1 、 T_2 无显著差异,但因其螟害节较多,人工采收砍段时需去除虫蛀茎节,最终有效芽数显著低于 T_1 和 T_2 。值得注意的是,随着人工成本增加,未来脱毒种茎加工将以切种机为主,而现有切种机无法有效识别和去除虫蛀茎节,因此降低螟害节率成为保障种茎质量的关键环节。具体而言,一方面,幼嫩种芽是螟虫的主要为害位点,本研究中 30.00%~44.00%的螟蛀茎节由螟虫直接为害蔗芽导致的,造成这部分种茎功能丧失;另一方面,受螟害的种茎(有蛀孔

蔗芽完整的双芽段)萌发率会下降 20.00%~30.00%^[30],同时还易通过蛀孔传播多种病原物对后期甘蔗生长产生不利影响。因此,在机械采收加工作业逐渐取代人工的趋势下,控制和降低种苗繁育过程中的螟害节率,对保证采收后脱毒种茎的质量至关重要。

脱毒原种苗田间繁育的施药处理效益取决于种茎收益与施药成本的平衡。种茎收益方面,因脱毒种茎侧芽萌发及分蘖能力强,种植用种量显著降低,且其生产成本较高(含原种苗培育及后期移栽管理成本),生产中已普遍以种芽数量计价替代传统种茎重量计价,故收益直接取决于单位面积有效芽数^[11]。施药成本方面,各处理选用等量或等价值内吸性药剂,成本差异源于施药方法。膜下滴灌借助良繁基地普遍配备的水肥一体化系统、常规根施结合移栽前机械开沟覆膜铺管及中耕培土完成施药,均无需额外成本,而无人机喷施需增加 2 次作业成本(共计 300 元/hm²)。综合来看,与未施药对照相比,分 3 次滴灌和分 2 次滴灌的收益增幅最高,分别达 3.13 万元/hm²和 3.04 万元/hm²;无人机喷施虽收益较常规根施高 0.69 万元/hm²,但二者投入产出比接近(约 1:21),远低于滴灌处理(1:30 以上)。故综合施用成本与繁育效益,脱毒原种苗田间繁育过程中采用滴灌施药为最优选择。

综上所述,2 a 的田间繁育试验结果表明,采用滴灌方式分 3 次施用 40%氯虫·噻虫嗪 WG,对螟虫、蓟马和蚜虫均能持续保持较高的防治效果,兼顾了最佳繁育效率与效益,并显著降低了收获脱毒种茎螟害节率。因此,该方案可作为甘蔗脱毒原种苗田间繁育地上虫害防治的优选方案之一。为进一步推广应用,未来研究需考虑不同生态蔗区的气候及土壤类型(如砂壤土、黏土)差异,因其可能影响药剂的土壤移动性与作物吸收效率,故应开展多点试验以明确其适用范围。同时,建议结合虫害预测预报,优化施药剂量、频次及时机,提升防治精准度,最终构建完善的滴灌施药技术体系。这将有助于推动滴灌施药技术在甘蔗良繁基地的规模化应用,为保障种苗繁育效率和质量,助力我国甘蔗种业高质量发展提供技术支撑。

参考文献

- [1] 刘晓雪,田冰,白晨.我国糖料产业发展特点、问题与趋

- 势[J]. 中国糖料, 2019, 41(2): 47-51, 2.
- LIU X X, TIAN B, BAI C. Characteristics, problems and development trends of sugar crop industry in China[J]. Sugar Crops of China, 2019, 41(2): 47-51, 2. (in Chinese)
- [2] 张跃彬, 邓军, 胡朝晖. “十三五”我国蔗糖产业现状及“十四五”发展趋势[J]. 中国糖料, 2022, 44(1): 71-76.
- ZHANG Y B, DENG J, HU Z H. The 13th Five-Year Plan of cane sugar industry in China and development trend of the 14th Five-Year Plan[J]. Sugar Crops of China, 2022, 44(1): 71-76. (in Chinese)
- [3] VISWANATHAN R. Varietal degeneration in sugarcane and its management in India[J]. Sugar Tech, 2016, 18(1): 1-7.
- [4] BAGYALAKSHMI K, VISWANATHAN R, RAVICHANDRAN V. Impact of the viruses associated with mosaic and yellow leaf disease on varietal degeneration in sugarcane[J]. Phytoparasitica, 2019, 47: 591-604.
- [5] 杨本鹏, 张树珍, 杨学, 王业桥, 顾丽红, 冯翠莲, 蔡文伟, 张显勇. 甘蔗健康种苗培育体系的建立[J]. 热带作物学报, 2006, 27(4): 74-77.
- YANG B P, ZHANG S Z, YANG X, WANG Y Q, GU L H, FENG C L, CAI W W, ZHANG X Y. Establishment of a Disease-free seed canes propagation system for sugarcane[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2006, 27(4): 74-77. (in Chinese)
- [6] 唐红琴, 方锋学, 韦金菊, 李松, 淡明, 谭芳, 刘惜辉. 甘蔗茎尖脱毒组织培养技术研究进展[J]. 南方农业学报, 2011, 42(8): 860-865.
- TANG H Q, FANG F X, WEI J J, LI S, DAN M, TAN F, LIU X H. Advances in research on virus-free meristem tip tissue culture technology for sugarcane[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(8): 860-865. (in Chinese)
- [7] 沈万宽, 郑学文, 陈仲华, 龙超文, 黄国庆, 邓海华. 甘蔗健康种苗田间评价试验结果分析[J]. 西南农业学报, 2009, 22(4): 913-915.
- SHEN W K, ZHENG X W, CHEN Z H, LONG C W, HUANG G Q, DENG H H. Analysis of results from sugarcane healthy seedcane trial in field[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(4): 913-915. (in Chinese)
- [8] 杨本鹏, 张树珍, 蔡文伟, 张洪溢, 龚康达, 王永壮, 冯翠莲, 王俊刚, 杨学. 甘蔗健康种苗田间栽培主要农艺性状比较[J]. 热带作物学报, 2010, 31(2): 171-175.
- YANG B P, ZHANG S Z, CAI W W, ZHANG H Y, GONG K D, WANG Y Z, FENG C L, WANG J G, YANG X. Comparison of main agronomic characters of sugarcane healthy seedlings cultivated in field[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2010, 31(2): 171-175. (in Chinese)
- [9] 何为中, 范业赓, 刘红坚, 翁梦苓, 许树宁. 甘蔗健康组培苗后代主要农艺性状的田间表现研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(14): 30-32.
- HE W Z, FAN Y G, LIU H J, WENG M L, XU S N. Study on agronomic performance of offspring derived from regenerated sugarcane virus-free plantlets in field[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(14): 30-32. (in Chinese)
- [10] 梁永检, 张小秋, 杨柳, 杨丽涛, 李杨瑞. 甘蔗健康种苗繁育技术研究进展[J]. 生物技术通报, 2014(11): 91-96.
- LIANG Y J, ZHANG X Q, YANG L, YANG L T, LI Y R. Research progress in breeding technique of sugarcane healthy seedlings or seedcanes[J]. Biotechnology Bulletin, 2014(11): 91-96. (in Chinese)
- [11] 彭李顺, 曹峥英, 蔡文伟, 杨本鹏, 杨学. 膜下滴灌减量施肥对甘蔗脱毒原种苗田间繁育效率和养分利用率的影响[J]. 热带作物学报, 2025, 46(1): 115-122.
- PENG L S, CAO Z Y, CAI W W, YANG B P, YANG X. Effects of reduced fertilization on field propagation efficiency and fertilizer utilization rate of disease-free sugarcane original seedlings under mulched drip fertigation system[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2025, 46(1): 115-122. (in Chinese)
- [12] 熊焰, 王辉, 王军, 王露露, 周霞, 王健华, 伍苏然. 螟虫为害甘蔗苗期对其生长和产量的影响[J]. 甘蔗糖业, 2022, 51(5): 26-31.
- XIONG Y, WANG H, WANG J, WANG L L, ZHOU X, WANG J H, WU S R. The effect of borer damage at seedling stage of sugarcane on its growth and yield[J]. Sugarcane and Canesugar, 2022, 51(5): 26-31. (in Chinese)
- [13] 黄慧文, 李德伟, 李涛, 梁菊菊, 覃振强, 罗亚伟. 甘蔗种植时间对螟虫为害及防治效益的影响[J]. 广东农业科学, 2025, 52(3): 89-99.
- HUANG H W, LI D W, LI T, LIANG J J, QIN Z Q, LUO Y W. Effects of planting time of sugarcane on borers damage and control benefits[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2025, 52(3): 89-99. (in Chinese)
- [14] 张亚林, 周吉辉, 王兰, 王喆, 冯宏祖, 黄群. 无人机和滴灌施药对棉蚜及其天敌的影响[J]. 中国棉花, 2018, 45(9): 26-29.
- ZHANG Y L, ZHOU J H, WANG L, WANG Z, FENG H Z, HUANG Q. Effect of insecticides on *Aphis gossypii* and its natural enemies with different ways of unmanned aerial vehicle and drip irrigation[J]. China Cotton, 2018, 45(9): 26-29. (in Chinese)
- [15] 李强, 付步礼, 邱海燕, 夏西亚, 唐良德, 刘奎, 曾东强. 滴灌施药技术防治香蕉黄胸蓟马应用展望[J]. 农学学报, 2018, 8(4): 14-18.
- LI Q, FU B L, QIU H Y, XIA X Y, TANG L D, LIU K, ZENG D Q. Controlling thrips hawaiiensis of banana: application prospect of pesticides through drip irrigation[J]. Jour-

- nal of Agriculture, 2018, 8(4): 14-18. (in Chinese)
- [16] JIANG H, WU H X, CHEN J J, TIAN Y Q, ZHANG Z X, XU H H. Sulfoxaflor applied via drip irrigation effectively controls cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover)[J]. Insects, 2019, 10(10): 345-361.
- [17] ZHENG F, JIANG H, JIA J L, WANG R F, ZHANG Z X, XU H H. Effect of dimethoate in controlling *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) and its distribution in maize by drip irrigation[J]. Pest Management Science, 2020, 76(4): 1523-1530.
- [18] YAN W J, ZHENG Q, YANG L P, ZHU S Q, ZHANG Z X, XU H H. Efficacy of drip irrigation with thiamethoxam on control of *Monolepta hieroglyphica*, and uptake, translocation and dietary risk of thiamethoxam in maize[J]. Pest Management Science, 2023, 79(12): 4931-4941.
- [19] 邢颖, 谭裕模, 梁潘霞, 廖青, 潘丽萍, 黄太庆, 江泽普, 杨绍镔, 陈桂芬, 谢如林. 不同滴灌用肥配方对甘蔗苗期生长及养分积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 97-99.
- XING Y, TAN Y M, LIANG P X, LIAO Q, PAN L P, HUANG T Q, JIANG Z P, YANG S E, CHEN G F, XIE R L. Influences of different drip irrigation fertilization formula on seedling growth and nutrient accumulation of sugarcane[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(15): 97-99. (in Chinese)
- [20] SINGH K, BRAR A S, MISHRA S K. Improvement in productivity and profitability of sugarcane through drip fertigation in north Indian conditions[J]. Sugar Tech, 2020(23): 536-545.
- [21] 吴建明, 李燕娇, 邓宇驰, 范业赓, 李智敏, 李傲梅. 中国甘蔗栽培的研究进展[J]. 广西科学, 2022, 29(4): 613-626.
- WU J M, LI Y J, DENG Y C, FAN Y G, LI Z M, LI A M. Research progress in sugarcane cultivation in China[J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(4): 613-626. (in Chinese)
- [22] 罗亚伟, 覃振强, 李德伟, 梁阔, 李涛, 黄杏, 高铁静. 不同施药方法对宿根蔗螟虫的田间防治效果[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(20): 60-64.
- LUO Y W, QIN Z Q, LI D W, LIANG T, LI T, HUANG X, GAO Y J. Field control effects of different insecticide application methods on the borers of ratoon sugarcane[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(20): 60-64. (in Chinese)
- [23] PALUMBO J C. Systemic efficacy of coragen applied through drip irrigation on romaine lettuce, fall 2007[J]. Arthropod Management Tests, 2008, 33: E24.
- [24] GHIDIU G M, WARD D L, ROGERS G S. Control of European corn borer in bell peppers with chlorantraniliprole applied through a drip irrigation system[J]. International Journal of Vegetable Science, 2009, 15(2): 193-201.
- [25] GHIDIU G, KUHAR T, PALUMBO J, SCHUSTER D. Drip chemigation of insecticides as a pest management tool in vegetable production[J]. Journal of Integrated Pest Management, 2012, 3(3): 1-5.
- [26] 孟华岳. 滴灌施药对柑橘木虱的防治效果及药剂分布[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- MENG H Y. Effects of insecticides on the Asian citrus psyllid and distribution of insecticides through drip irrigation systems[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [27] 李永健, 李德伟, 覃振强, 梁菊菊, 李继虎, 罗亚伟, 黄慧文. 北海蔗区无人机大面积防控螟虫效果分析[J]. 甘蔗糖业, 2025, 54(1): 13-19.
- LI Y J, LI D W, QIN Z Q, LIANG J J, LI J H, LUO Y W, HUANG H W. Analysis of the effect of large-scale prevention and control of stem borers in the Beihai sugarcane area by unmanned aerial vehicle[J]. Sugarcane and Canesugar, 2025, 54(1): 13-19. (in Chinese)
- [28] 艾尼瓦尔·吉力力. 70%噻虫嗪内吸性种子处理杀虫剂滴灌施药防治棉蚜药效研究[J]. 现代农业科技, 2017(10): 105, 109.
- AINIWAER J L L. Study on efficacy of imidacloprid seed treatment at 70% concentration for cotton aphid control by drip irrigation[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(10): 105, 109. (in Chinese)
- [29] 蔺乔仙, 杨世常, 夏银果, 张念滇, 何珂, 孟霞, 万瑞红, 张云生, 陈绍品, 康宁, 小依, 姜吉娟, 张永港. 植保无人机在甘蔗害虫防治上的应用效果[J]. 甘蔗糖业, 2020(1): 23-27.
- LIN Q X, YANG S C, XIA Y G, ZHANG N D, HE K, MENG X, WAN R H, ZHANG Y S, CHEN S P, KANG N, XIAO Y, JIANG J J, ZHANG Y G. Application effects of unmanned aerial vehicle on Sugarcane pest control in sugarcane field[J]. Sugarcane and Canesugar, 2020(1): 23-27. (in Chinese)
- [30] 罗亚伟, 覃振强, 梁阔, 王维赞, 李德伟. 不同种茎处理对甘蔗萌芽和幼苗生长的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(3): 455-459.
- LUO Y W, QIN Z Q, LIANG T, WANG W Z, LI D W. Effects of different seed stems on germination and emergence of sugarcane[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(3): 455-459. (in Chinese)