

· 热带作物 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.20240047



主持人: 张洪亮, 徐 冉

## 甘蔗开放式水培的抑菌剂筛选

杨宇莉<sup>1,2#</sup>, 武媛丽<sup>2</sup>, 管丽梅<sup>2</sup>, 陈艺萌<sup>2,3</sup>, 杨本鹏<sup>2\*</sup>

(1. 海南大学 热带农林学院, 海南海口 570228 中国; 2. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所, 海南海口 571101 中国; 3. 华中农业大学 植物科学技术学院, 湖北 武汉 430070 中国)

**摘要:** 以‘中糖1号’甘蔗(*Saccharum* spp.)的脱毒健康种苗为研究对象, 研究不同质量分数抑菌剂代森锌、多菌灵、次氯酸钠、多元醇和异噻唑啉酮在甘蔗开放式水培中的污染率、增殖系数和生根率。结果表明, 0.14% 异噻唑啉酮在甘蔗开放式增殖水培中的使用效果最好, 培养基污染率为 7.04%, 甘蔗植株增殖系数为 2.71; 0.11% 异噻唑啉酮在开放式生根水培中的使用效果最好, 培养基污染率为 6.58%, 甘蔗植株生根率为 94.44%。研究不同种类和质量分数的抑菌剂在开放式水培条件下对甘蔗增殖和生根的影响, 筛选出适合甘蔗开放式水培的抑菌剂及其质量分数, 可为今后甘蔗开放式水培体系的进一步优化提供技术支持。

**关键词:** 甘蔗; 开放式水培; 快繁技术; 抑菌剂

**中图分类号:** S337; S59 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2025)04-0512-07

杨宇莉, 武媛丽, 管丽梅, 等. 甘蔗开放式水培的抑菌剂筛选 [J]. 热带生物学报, 2025, 16(4): 512-518. doi: 10.15886/j.cnki.rdsxb.20240047

甘蔗(*Saccharum* spp.)为甘蔗属的多年生高大实心草本植物, 也是全球第五大宗农作物。全球 80% 的食糖和 40% 燃料乙醇的原材料都来自甘蔗, 甘蔗叶梢是优质的畜牧饲料, 还可作为轻工业原料<sup>[1]</sup>。巴西是世界产糖大国和食糖出口大国, 巴西糖产业的发展, 主要得益于甘蔗繁育良种技术的提高<sup>[2]</sup>。中国甘蔗产业发展已进入市场化发展阶段, 产业发展对甘蔗良种的需求日益增多。目前, 中国甘蔗主要种植在广西、云南、广东和海南, 因其经济效益偏低, 种植面积逐年减少, 甘蔗产业呈逐步萎缩的态势。分析其原因, 主要是资源条件差、品种研发滞后和甘蔗病毒病发生等的积累影响<sup>[3-4]</sup>。甘蔗产业发展的关键措施之一是良种繁育, 繁育的种苗必须达到不携带宿根矮化病、花叶病等行业标准规定检测的病原菌, 并在隔离条件下逐代繁育不带病原菌的原原种、原种和生产用种苗<sup>[5]</sup>。所以, 甘蔗的脱毒种苗组织培养显得尤为重要, 是良种繁育的源头。

常规的组织培养需要严格的无菌操作环境,

每一个阶段都需要无菌操作和严格管理, 这使得电力和人力成本高<sup>[6]</sup>。开放式水培<sup>[7]</sup>减少继代增殖次数是解决问题的最佳途径, 使得脱毒原种苗的获得更简单, 还可以降低生产成本, 提高经济效益。本研究在已建立的甘蔗健康种苗培育体系<sup>[8]</sup>基础上, 对不同种类不同质量分数的抑菌剂进行探究, 以期筛选出适合甘蔗开放式水培的抑菌剂, 为甘蔗开放式水培产业化生产奠定基础。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试材料: 中国热带农业科学院热带生物技术研究所的‘中糖1号’茎尖脱毒组培苗, 丛大小均匀、继代一致的增殖苗为试验用苗。

供试培养基: 传统增殖培养基和传统生根培养基均为甘蔗组培 MS 培养基(MS)<sup>[9]</sup>, 开放式增殖水培培养基为不含琼脂的 MS+1.0 mg·L<sup>-1</sup> 6BA + 0.5 mg·L<sup>-1</sup> KT + 30 g·L<sup>-1</sup> 蔗糖培养基, 开放式生根水培培养基为不含琼脂的 MS+1 mg·L<sup>-1</sup> NAA + 20 g·L<sup>-1</sup> 蔗糖培养基。将两种传统培养基经高温

收稿日期: 2024-03-22

修回日期: 2024-04-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2301100); 海南省自然科学基金项目(322MS129)

\*第一作者: 杨宇莉(1999—), 女, 海南大学热带农林学院 2021 级硕士研究生。E-mail: 1164289126@qq.com

\*通信作者: 杨本鹏(1964—), 男, 研究员。研究方向: 甘蔗生物技术及耕作栽培。E-mail: y-bp@163.com

高压灭菌后作为对照的培养基, 未灭菌直接加入抑菌剂的作为处理培养基。

供试抑菌剂: 抑菌剂种类、质量分数、剂型和生产商见表1。

表1 抑菌剂种类及规格

Tab. 1 Types and specifications of bacteriostatic agents

名称 Designation	质量分数/% Content/%	剂型 Reagent type	生产商 Producers
代森锌 Diclofenac zinc	65	可湿性粉剂 Wettable powder	东莞市瑞德丰生物科技有限公司 Dongguan Ruide Feng Biotechnology Co.,Ltd.
多菌灵 Carbendazim	50	可湿性粉剂 Wettable powder	苏农生物科技有限公司 Sunon Biotechnology Co.,Ltd.
次氯酸钠 Sodium hypochlorite	99	原药 Pharmacist	广东翁龙化学试剂有限公司 Guangdong Wenglong Chemical Reagent Co.,Ltd.
多元醇 Polyol	99	原药 Pharmacist	广州佰宇生物科技有限公司 Guangzhou Baiyu Biotechnology Co.,Ltd.
异噻唑啉酮 Isothiazolinone	99	原药 Pharmacist	北京桑普生物化学技术有限公司 Beijing Sampo Biochemical Technology Co.,Ltd.

## 1.2 试验方法

**1.2.1 开放式接种方法** 在干净整洁的接种室, 先喷洒体积分数为75%的乙醇, 再紫外灯照射35 min进行消杀。开放式接种器具用体积分数为0.8%的次氯酸钠浸泡15 min灭菌, 传统组培器具及培养基采用高压灭菌。在甘蔗组培苗的增殖培养与生根培养试验中, 以开放式水培法作为供试处理方法, 以高温高压灭菌法作为对照处理(CK)。

**1.2.2 开放式水培培养基的自然落菌试验** 自然落菌试验是指在培养基没有经过常规高压灭菌的情况下, 将配置好的培养基分装入培养皿, 加入各

体积浓度的抑菌剂混合均匀。每种抑菌剂设为1组, 9个处理, 分别为0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%和0.8%(V/V), 每个处理30个培养皿, 3个重复。每天在空气中暴露3~5 h, 进行封口培养, 25 d后观察培养基污染情况, 记录污染率。

**1.2.3 不同质量分数抑菌剂培养基的配置** 在抑菌剂质量分数初筛的基础上, 将一定质量分数的5种抑菌剂母液分别加入1 000 mL的开放式增殖水培培养基和开放式生根水培培养基中, 配制成如表2中的含终质量分数抑菌剂培养基, 其中, 质量分数(%)= $m_{\text{溶质}}/m_{\text{溶液}} \times 100$ 。

表2 5种抑菌剂的不同处理质量分数

Tab. 2 Different treatment concentrations of 5 bacteriostatic agents

处理 Treatment	处理质量分数/% Treatment mass concentration/%					
	1	2	3	4	5	6
代森锌 Diclofenac zinc	0	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
多菌灵 Carbendazim	0	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
次氯酸钠 Sodium hypochlorite	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
多元醇 Polyol	0	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36
异噻唑啉酮 Isothiazolinone	0	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17

**1.2.4 开放式增殖水培抑菌剂的筛选** 采用开放式接种方法接种, 将增殖苗分别接种于不同抑菌剂的开放式增殖水培培养基中, 以传统增殖培养接种方法为对照(表2)。每处理接种30瓶, 重复3次。在30℃、光照度1 000 lx, 12 h·d<sup>-1</sup>的照射条

件下培养25 d后, 观察5种抑菌剂在不同质量分数培养基中的培养基污染与植株增殖情况, 并计算培养基污染率和植株增殖系数。

**1.2.5 开放式生根水培抑菌剂的筛选** 采用开放式接种方法接种, 将增殖苗分别接种于含不同种

类、不同质量分数抑菌剂的开放式生根水培培养基中,以传统生根培养接种方法为对照。每处理接种 30 瓶,重复 3 次(表 2)。在 30 ℃、光照度 1 000 lx, 12 h·d<sup>-1</sup> 的照射条件下培养 30 d 后,观察 5 种抑菌剂不同质量分数培养基中的培养基污染与植株生根情况,并计算培养基污染率和植株生根率。

**1.3 试验数据统计分析** 试验数据使用 Excel2021 软件进行汇总处理,使用 SPSS Statistics 26 进行方差分析。

培养基污染率(%) = (污染瓶数/总接种瓶数)×100;

植株增殖系数 = 增殖芽数/总接种芽数植株;

生根率(%) = (生根苗数/接种苗数)×100。

## 2 结果与分析

**2.1 培养基室内自然落菌试验** 在培养基中添加不同种类的不同质量分数抑菌剂,25 d 后各处理的自然落菌情况见表 3。污染率随着抑菌剂质量分数的升高而逐步降低,不添加抑菌剂的情况下,25 d 后培养基 100% 污染;多菌灵的抑菌效果不如代森锌、次氯酸钠、多元醇和异噻唑啉酮。异噻唑啉酮的抑菌效果优于代森锌、多菌灵、次氯酸钠和多元醇,并在 0.5% 时将其污染率控制在 0%。而次氯酸钠抑菌效果仅次于异噻唑啉酮,在 0.6% 时污染率控制在 0%。培养基室内自然落菌试验,对抑制培养基染菌的质量分数进行了初试验,为甘蔗开放式水培抑菌剂的筛选奠定了基础。进一步的试验质量分数不仅需要考虑培养基染菌情况,还需要考虑甘蔗苗的生长状况。

表 3 不同种类抑菌剂处理的污染率

Tab. 3 Contamination rate of treatments with different types of antibacterial agents

抑菌剂质量分数/% Concentration/%	抑菌剂种类 Types of bacteriostatic agents				
	代森锌 Diclofenac zinc	多菌灵 Carbendazim	次氯酸钠 Sodium hypochlorite	多元醇 Polyol	异噻唑啉酮 Isothiazolinone
0%	97.95±2.05 <sup>a</sup>	96.88±3.12 <sup>a</sup>	98.11±1.89 <sup>a</sup>	94.89±5.11 <sup>a</sup>	95.67±4.33 <sup>a</sup>
0.1%	33.33±3.33 <sup>b</sup>	34.44±3.44 <sup>b</sup>	21.11±1.11 <sup>b</sup>	25.56±2.06 <sup>b</sup>	16.67±2.12 <sup>b</sup>
0.2%	26.67±3.21 <sup>c</sup>	28.89±3.26 <sup>c</sup>	17.78±2.11 <sup>c</sup>	24.44±3.21 <sup>b</sup>	13.33±1.22 <sup>c</sup>
0.3%	18.89±2.11 <sup>d</sup>	23.33±2.33 <sup>d</sup>	13.33±0.66 <sup>d</sup>	16.67±1.04 <sup>c</sup>	8.89±1.23 <sup>d</sup>
0.4%	13.33±0.33 <sup>e</sup>	18.89±0.89 <sup>e</sup>	10±0.44 <sup>e</sup>	12.22±1.22 <sup>d</sup>	4.44±0.44 <sup>e</sup>
0.5%	6.67±0.20 <sup>f</sup>	13.33±1.02 <sup>f</sup>	4.44±0.33 <sup>f</sup>	6.67±0.27 <sup>e</sup>	0 <sup>f</sup>
0.6%	0 <sup>e</sup>	10±1.45 <sup>f</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>
0.7%	0 <sup>e</sup>	5.56±0.21 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>
0.8%	0 <sup>e</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>
F值	956.87	613.36	1 148.29**	657.04	1 257.88**

注: \*\*表示该因素达到显著水平;表中同列数据后不同小写字母分别表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: \*\*indicates that the factor reaches a significant level; different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ), similarly hereinafter.

## 2.2 甘蔗开放式增殖水培最佳抑菌剂质量分数

**2.2.1 抑菌剂对培养基污染的影响** 甘蔗开放式增殖培养水培 25 d 后,5 种抑菌剂随着处理质量分数的增加,培养基污染率逐渐降低。而不添加任何抑菌剂的处理培养基污染率为 100%,与添加抑菌剂的所有处理和开放式增殖水培对照处理,均存在差异显著,表明抑菌剂的添加可有效降低开放式增殖水培的培养基污染率。在供试抑菌剂

的质量分数中,异噻唑啉酮抑菌效果优于代森锌、多菌灵、次氯酸钠和多元醇的抑菌效果,在异噻唑啉酮的有效质量分数为 0.08%~0.17% 时,其污染率为 6.3%~17.04%,污染率显著低于其他抑菌剂的各项质量分数处理,其中 0.14% 和 0.17% 异噻唑啉酮的培养基污染率分别为 7.04% 和 6.3%,显著低于其他各质量分数处理。与开放式增殖水培对照的培养基污染率 7.04% 无显著差异(表 4)。

表 4 抑菌剂在甘蔗开放式增殖水培中的抑菌效果

Tab. 4 Bacteriostatic effects of bacteriostatic agents in open enrichment hydroponics of sugarcane

抑菌剂 Bacteriostatic agent	抑菌质量分数/% Concentration/%	污染率/% Contamination rate/%	增殖系数 Multiplication factor
开放式增殖水培对照(无抑菌剂) Open proliferation hydroponic control	0	7.04±0.64 <sup>f</sup>	2.72±0.01 <sup>a</sup>
代森锌Diclofenac zinc	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>
	0.16	29.6±0.69 <sup>b</sup>	2.19±0.01 <sup>c</sup>
	0.18	27.7±1.1 <sup>b</sup>	2.16±0.01 <sup>cd</sup>
	0.2	25.5±1.1 <sup>bc</sup>	2.13±0.02 <sup>cd</sup>
	0.22	23.3±1.1 <sup>c</sup>	2.02±0.02 <sup>d</sup>
	0.24	21.1±1.1 <sup>cd</sup>	1.98±0.01 <sup>de</sup>
多菌灵Carbendazim	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>
	0.15	28.43±0.64 <sup>b</sup>	2.36±0.04 <sup>bc</sup>
	0.2	26.97±0.64 <sup>b</sup>	2.26±0.01 <sup>c</sup>
	0.25	24.77±0.64 <sup>bc</sup>	2.16±0.04 <sup>cd</sup>
	0.3	22.93±0.64 <sup>c</sup>	2.1±0.02 <sup>d</sup>
	0.35	21.1±1.1 <sup>cd</sup>	2.02±0.06 <sup>d</sup>
次氯酸钠Sodium hypochlorite	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>
	0.01	21.1±1.1 <sup>cd</sup>	2.51±0.02 <sup>b</sup>
	0.02	22.60±5.57 <sup>c</sup>	2.48±0.04 <sup>b</sup>
	0.03	18.07±0.64 <sup>d</sup>	2.41±0.02 <sup>b</sup>
	0.04	16.23±0.64 <sup>de</sup>	2.35±0.02 <sup>bc</sup>
	0.05	13.67±1.68 <sup>c</sup>	2.24±0.08 <sup>c</sup>
多元醇Polyol	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>
	0.12	24.03±0.64 <sup>bc</sup>	2.42±0.02 <sup>b</sup>
	0.18	21.47±0.64 <sup>c</sup>	2.36±0.03 <sup>bc</sup>
	0.24	20.73±0.64 <sup>cd</sup>	2.29±0.02 <sup>bc</sup>
	0.30	19.60±0.69 <sup>cd</sup>	2.15±0.13 <sup>cd</sup>
	0.36	17.7±1.1 <sup>d</sup>	2.12±0.10 <sup>cd</sup>
异噻唑啉酮Isothiazolinone	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>e</sup>
	0.05	17.04±0.64 <sup>d</sup>	2.59±0.01 <sup>ab</sup>
	0.08	14.81±0.65 <sup>de</sup>	2.63±0.01 <sup>ab</sup>
	0.11	11.85±0.69 <sup>e</sup>	2.67±0.01 <sup>ab</sup>
	0.14	7.04±0.64 <sup>f</sup>	2.71±0.01 <sup>a</sup>
	0.17	6.30±0.64 <sup>f</sup>	2.65±0.01 <sup>ab</sup>
<i>F</i> 值		477.064**	440.781**

**2.2.2 抑菌剂对植株增殖的影响** 增殖系数反映的是在一定时间内,通过植物组织培养或其他繁殖方法获得的植物新个体数量相对于原始投入数量的增加数。甘蔗在开放式增殖培养基中水培 25 d 后,代森锌、多菌灵、次氯酸钠和多元醇 4 种抑菌剂处理质量分数的升高,植株增殖系数逐渐降低,且同一抑菌剂的不同质量分数间的植株增殖系数达显著差异,而不同质量分数的异噻唑啉酮处理的植株增殖系数与开放式增殖水培对照的植株增殖系数 2.72,无显著差异。0.14% 异噻唑啉酮处理

的植株增殖系数为最高,达到 2.71,其次为 0.11% 和 0.14%,分别达到 2.67 和 2.65。

**2.2.3 抑菌剂对培养基污染与植株增殖的综合影响** 供试的 5 种抑菌剂不同质量分数处理均能不同程度地降低培养基污染率,同时对植株增殖也有不同程度的抑制作用。经综合分析,异噻唑啉酮显著降低甘蔗开放式增殖水培的培养基污染率,而对植株增殖无明显的抑制作用,在异噻唑啉酮各供试质量分数中,0.14% 和 0.17% 的培养基污染率显著低于其他处理,且植株增殖系数无显著抑制作用。

## 2.3 甘蔗开放式生根水培最佳抑菌剂质量分数

**2.3.1 抑菌剂对培养基污染的影响** 甘蔗在开放式生根培养基水培 30 d 后, 5 种抑菌剂各处理间随着抑菌剂质量分数的升高, 污染率逐渐降低。而不添加抑菌剂的培养基污染率为 100%, 与添加抑菌剂的所有处理、和开放式生根水培对照处理, 均存在显著差异, 表明抑菌剂的添加可有效降低开放式生根水培培养基的污染率。在供试抑菌剂

的质量分数中, 异噻唑啉酮与代森锌、多菌灵、次氯酸钠、多元醇处理相比, 污染率显著降低。在异噻唑啉酮的有效质量分数为 0.08% ~ 0.17% 时, 培养基污染率为 4.81% ~ 12.96%, 污染率显著低于其他各抑菌剂的各质量分数处理。其中 0.11%、0.14% 和 0.17% 异噻唑啉酮的培养基污染率分别为 6.58%、5.54% 和 4.81%, 显著低于其他各质量分数处理和开放式生根水培对照处理(表 5)。

表 5 抑菌剂在甘蔗开放式生根水培中的应用效果

Tab. 5 The application effect of bacteriostatic agents in sugarcane open rooting hydroponics

抑菌剂 Antibacterial agent	抑菌质量分数/% Antibacterial concentration/%	污染率/% Contamination rate/%	生根率/% Rooting rate/%	
无抑菌剂	0	7.04±0.64 <sup>fg</sup>	93.92±0.06 <sup>a</sup>	
	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	
	0.16	27.41±0.64 <sup>b</sup>	63.3±0.05 <sup>c</sup>	
	0.18	26.30±0.64 <sup>b</sup>	64.93±0.05 <sup>de</sup>	
	代森锌Diclofenac zinc	0.20	25.19±0.65 <sup>bc</sup>	66.24±0.01 <sup>de</sup>
		0.22	22.92±0.61 <sup>cd</sup>	65.16±0.05 <sup>de</sup>
0.24		21.85±0.64 <sup>cd</sup>	63.53±0.05 <sup>de</sup>	
0		100 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	
多菌灵Carbendazim	0.15	26.3±0.64 <sup>b</sup>	68.14±0.03 <sup>d</sup>	
	0.20	25.19±0.65 <sup>bc</sup>	69.12±0.03 <sup>d</sup>	
	0.25	24.81±0.65 <sup>c</sup>	70.51±0.06 <sup>d</sup>	
	0.3	21.85±0.64 <sup>cd</sup>	69.53±0.04 <sup>d</sup>	
	0.35	20.74±0.64 <sup>d</sup>	68.23±0.02 <sup>d</sup>	
	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	
次氯酸钠Sodium hypochlorite	0.01	18.52±0.64 <sup>d</sup>	81.32±0.17 <sup>bc</sup>	
	0.02	16.30±0.64 <sup>de</sup>	82.65±0.05 <sup>b</sup>	
	0.03	14.07±0.64 <sup>e</sup>	83.23±0.02 <sup>b</sup>	
	0.04	12.59±0.64 <sup>ef</sup>	82.06±0.03 <sup>b</sup>	
	0.05	10.37±0.64 <sup>ef</sup>	81.56±0.01 <sup>bc</sup>	
	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	
多元醇Polyol	0.12	21.85±0.64 <sup>cd</sup>	75.55±0.06 <sup>cd</sup>	
	0.18	19.63±0.64 <sup>d</sup>	76.91±0.07 <sup>c</sup>	
	0.24	18.52±0.64 <sup>d</sup>	78.27±0.03 <sup>c</sup>	
	0.30	17.41±0.64 <sup>de</sup>	76.98±0.01 <sup>c</sup>	
	0.36	16.30±0.64 <sup>de</sup>	75.66±0.03 <sup>cd</sup>	
	0	100 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>	
异噻唑啉酮Isothiazolinone	0.05	12.96±0.64 <sup>f</sup>	88.78±0.01 <sup>b</sup>	
	0.08	9.85±0.64 <sup>f</sup>	91.07±0.02 <sup>ab</sup>	
	0.11	6.58±0.64 <sup>fg</sup>	94.44±0.03 <sup>a</sup>	
	0.14	5.54±0.64 <sup>gh</sup>	90.03±0.02 <sup>ab</sup>	
	0.17	4.81±0.65 <sup>h</sup>	88.87±0.02 <sup>b</sup>	
	<i>F</i> 值		2 245. 125**	946.217**

**2.3.2 抑菌剂对植株生根的影响** 生根率是衡量植物组培苗生根情况的 1 个重要指标, 反映了一定条件下植物根系发育的能力。甘蔗在开放式生

根培养基中水培 30 d 后, 代森锌、多菌灵、次氯酸钠、多元醇和异噻唑啉酮 5 种抑菌剂随处理质量分数的增加, 植株生根率呈现先逐渐增加后降低

的趋势,可能原因是根系敏感,抑菌剂质量分数高时会影响植株的根系生长。同一抑菌剂的不同质量分数间植株生根率差异不显著,而代森锌、多菌灵、次氯酸钠、多元醇和无添加抑菌剂开放式生根水培处理与开放式生根水培对照,差异显著。而0.08%、0.11%和0.14%异噻唑啉酮处理植株的生根率与开放式生根水培对照的植株生根率(93.92%)相比,之间无显著差异。0.11%异噻唑啉酮处理的生根率最高,达94.44%,其次为0.08%和0.14%异噻唑啉酮处理的,分别达到91.07%和90.03%(表5)。

### 2.3.3 抑菌剂对培养基污染与植株生根的综合影响

供试的5种抑菌剂不同质量分数处理均能不同程度地降低培养基污染率,同时对植株生根也有不同程度的抑制作用。经综合分析,异噻唑啉酮可显著降低甘蔗开放式生根水培培养基的污染率,而对植株生根无明显抑制作用,在异噻唑啉酮各供试质量分数中,0.11%、0.14%和0.17%的培养基污染率显著低于其他处理,0.11%的植株生根率高于开放式生根水培对照。

## 3 讨论

本研究选取了代森锌、多菌灵、次氯酸钠、多元醇和异噻唑啉酮5种抑菌剂。异噻唑啉酮,化学式为 $C_8H_9ClN_2O_2S_2$ ,是一种广谱抑菌剂,对常见细菌、真菌、藻类等具有很强的杀灭和抑制作用。陈华保等<sup>[9]</sup>研究表明异噻唑啉酮对菌葡萄座腔菌(*Botryosphaeria dothidea*)、可可毛色二孢菌(*Lasiodiplodia*)、小新壳梭孢菌(*neofusicoccum parvum*)均具有较好的抑制作用。王向辉等<sup>[10]</sup>研究表明异噻唑啉酮可快速降解,不易形成生物积累,较温和对植物的低毒性。本试验结果表明,异噻唑啉酮综合效果最好,能显著降低污染率,而对增殖系数和生根率的影响不显著,这表明在控制污染的同时对甘蔗组培苗的增殖效率和生根率影响较小。

污染率和增殖系数是考察抑菌剂在开放式水培中的重要指标。白一苇等<sup>[11]</sup>对甘薯(*Ipomoea batatas*)、烟草(*Nicotiana tabacum* L.)和拟南芥(*Arabidopsis thaliana*(L.)Heynh.)3种组培材料进行研究,利用药液包衣法,配制含有25 mg·L<sup>-1</sup>头孢霉素+30 mg·L<sup>-1</sup>的代森锰锌与百菌清1:1混

合液的水培养基,并在外植体插入水培养基前利用100 mg·L<sup>-1</sup>多菌灵药液或100 mg·L<sup>-1</sup>代森锰锌与百菌清1:1混合液进行浸润包衣,显著降低被污染风险。此方法繁琐且需要3种抑菌剂搭配使用,增加了应用成本。扁红英等<sup>[12]</sup>对白刺(*Nitraria tangutorum* Bobrov)开放式组培研究时认为15~20 mg·L<sup>-1</sup>次氯酸钠可作为开放式组培抑菌剂。徐程等<sup>[13]</sup>在对铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura & Migo)组培的研究中,添加异噻唑啉酮50 mg·L<sup>-1</sup>于水培养基中,有效控制培养基染菌且能提高增殖系数。本研究结果表明,异噻唑啉酮能够有效控制甘蔗水培培养基染菌的同时,增殖系数与对照CK差异不显著。

增殖苗生根率的高低是考察抑菌剂选用的重要因素。本研究探讨了不同抑菌剂不同质量分数对甘蔗开放式生根水培的影响,特别关注抑菌剂质量分数对污染率和生根率的影响。结果表明,添加异噻唑啉酮显著降低了培养基的污染率,并且在一定质量分数下提高了生根率。其中,0.11%的异噻唑啉酮处理显示出最佳的抑菌效果和生根促进作用,其污染率和生根率与开放式生根水培对照,差异不显著,甚至略有优势。

异噻唑啉酮作为一种有效的抑菌剂,在甘蔗开放式水培应用中展示了其控制污染的潜力,特别是在寻求降低成本和大规模快速繁殖的情况下,这一发现不仅强调了异噻唑啉酮在甘蔗开放式水培中的应用价值,也为其他植物组培中抑菌剂的选择和应用提供了参考。通过对抑菌剂的精确选择和应用,可以显著提高组培植物的生产效率和质量。今后的研究应该考虑探索异噻唑啉酮对甘蔗组培苗生长发育的长期影响,以及这种抑菌剂在不同植物种类中的普适性。本研究不仅通过使用异噻唑啉酮抑菌剂显著降低了甘蔗组培苗在开放式水培中的污染率,同时也不影响植株的增殖系数和生根率。这一结果为甘蔗开放式水培体系的进一步建立和优化提供了坚实的基础。

## 4 结论

本研究围绕甘蔗开放式水培开展抑菌剂的筛选探索,通过对5种抑菌剂的筛选试验,结果发现抑菌剂异噻唑啉酮的综合效果最佳。这个结果不仅填补了‘中糖1号’甘蔗开放式水培研究上的空

缺,也为类似品种提供了参考依据。然而,由于样本量的限制,研究结果的普遍性需要进一步验证。未来的研究可以通过扩大样本量和考察不同品种的变量关系来克服这一局限性。总体而言,本研究为甘蔗开放式水培研究提供了新的方向,并在理论和实践上具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 吴建明,李燕娇,邓宇驰,等. 中国甘蔗栽培的研究进展[J]. *广西科学*, 2022, 29(4): 613–626.
- [2] AUTREY L J C, JOLLY L, PÉRINDORGE P L D. Competitiveness of different sugarcane industries in an era of low sugar prices[J]. *Sugar Industry/Zuckerindustrie*, 2020, 145(2): 94–103.
- [3] 梁学优. 糖料蔗生产形势及发展趋势探讨[J]. *南方农业*, 2021, 15(27): 44–45.
- [4] 辛术贞,林熊,杨建,等. 我国甘蔗品种及产品加工研究现状[J]. *农产品加工*, 2020(12): 73–76.
- [5] 唐利球,黄家荣,唐君海,等. SWOT分析法探讨广西甘蔗健康种苗产业的发展[J]. *中国热带农业*, 2015(2): 28–30.
- [6] MURTHY H N, JOSEPH K S, PAEK K Y, et al. Bioreactor systems for micropropagation of plants: present scenario and future prospects[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1159588.
- [7] LU J J, ALI A, HE E Q, et al. Establishment of an open, sugar-free tissue culture system for sugarcane micropropagation[J]. *Sugar Tech*, 2020, 22(1): 8–14.
- [8] 杨本鹏,张树珍,杨学,等. 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.
- [9] 陈华保,甘松灵,张国利,等. 3种药剂对猕猴桃软腐病菌的抑菌活性及其复配效果研究[J]. *植物医学*, 2022, 1(2): 17–23.
- [10] 王向辉,杨建新,游诚航,等. 苯并异噻唑啉酮类化合物的合成与活性研究[J]. *化学研究与应用*, 2011, 23(10): 1290–1294.
- [11] 白一苇,张世壮,王雁楠,等. 植物组织培养中抗污染培养基新配方的探索[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(6): 89–96.
- [12] 扁红英,苏世平,李毅,等. 次氯酸钠对白刺开放式组培苗生理特性的影响[J]. *草业科学*, 2022, 39(2): 213–221.
- [13] 徐程,詹忠根,罗紫娟,等. 异噻唑啉酮对铁皮石斛组培生产中细菌污染的防治作用[J]. *植物保护学报*, 2004, 31(1): 107–108.

## Screening of bacteriostatic agents for sugarcane open hydroponics

YANG Yuli<sup>1,2#</sup>, WU Yuanli<sup>2</sup>, ZAN Limei<sup>2</sup>, CHEN Yimeng<sup>2,3</sup>, YANG Benpeng<sup>2\*</sup>

(1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Institute of Tropical Science and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 3. School of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

**Abstract:** In order to screen out bacteriostatic agents and their concentrations suitable for sugarcane open hydroponics, virus-free healthy seedlings of sugarcane cultivar Zhongtang No. 1 were treated with bacteriostatic agents including Diclofenac zinc, carbendazim, sodium hypochlorite, polyols and isothiazolinone at different concentrations and cultured in open hydroponics to observe their contamination rate, proliferation coefficient and rooting rate. The results showed that treatment with 0.14% isothiazolinone had the best effect on proliferation in open hydroponics of sugarcane, with a medium contamination rate of 7.04% and a plant proliferation coefficient of 2.71, whereas the treatment with 0.11% isothiazolinone had maximum effect on rooting in open hydroponics, with the medium contamination rate of 6.58%, and the rooting rate of 94.44%.

**Keywords:** sugarcane; open hydroponics; rapid propagation; bacteriostatic agents

(责任编辑:钟云芳)