第43卷 第1期
2024年 1月

华 中 农 业 大 学 学 报
Journal of Huazhong Agricultural University

Vol.43 No.1
Jan. 2024,52～61

鲍涵,陈教云,李永佳,等.乙蒜素防控甘蔗白条病效果及其促生作用[J].华中农业大学学报,2024,43(1):52-61.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.01.006

# 乙蒜素防控甘蔗白条病效果及其促生作用

鲍涵[1],陈教云[1],李永佳[1],李文佳[1],黄灿阳[1],陈健文[1],胡水凤[2],沈万宽[1]

1.华南农业大学农学院/华南农业大学甘蔗研究室,广州 510642; 2.广西来宾东糖凤凰有限公司,来宾 546100

**摘要** 为了探索仿生类、内吸性化学药剂乙蒜素能否用于甘蔗病害防控及是否具有促生效果,通过室内抑菌试验、毒力测定、桶栽施药试验,评价乙蒜素对白条黄单胞菌(*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson)引起的甘蔗白条病的防控效果,同时通过桶栽施药试验对不同浓度乙蒜素处理的甘蔗进行农艺性状、生物量等表型测定,并结合光合、根系及抗逆等生理特性评价其促生作用。毒力测定结果显示,乙蒜素毒力回归方程为$y=26.29x-30.29$,相关系数$R^2$为0.948 9,有效中质量浓度$EC_{50}$为1 132.43 μg/mL。病害防控及促生试验结果显示:80%乙蒜素1 000倍稀释液防控促生效果最佳。该处理下,施药42 d未检测出甘蔗白条病阳性植株,而对照(CK)阳性检出率100%。相较于CK,该处理(施药42 d)的甘蔗叶片叶绿素含量增加24.93%、净光合速率增加64.97%,根系活力增加62.44%,促生效果明显;抗氧化酶SOD、POD、CAT活性分别提高21.32%、44.32%、54.32%;可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸等叶片渗透调节物质含量分别增加17.40%、17.39%、17.78%,而MDA含量减少22.74%,缓解膜脂过氧化、维持细胞膜的稳定性,增强甘蔗抗逆性。综上,80%乙蒜素1 000倍稀释液对甘蔗白条病具有较好的防控效果且对甘蔗具有促生作用。

**关键词** 乙蒜素; 甘蔗白条病; 化学防治; 促生作用

**中图分类号** S435.661 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)01-0052-10

甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)是重要的糖料作物和绿色可再生生物质能源作物[1-2]。我国是世界第三甘蔗糖生产大国,年产甘蔗糖达1 000万t,占全国食糖总产量的90%以上,蔗区主要分布在广西、广东、云南和海南等省(自治区),种植面积占全国甘蔗种植面积的95%[3-4]。我国甘蔗种植于高温高湿的南方,生长周期长,因此,甘蔗植株在生长过程中极易遭受病菌的侵染,发生多种病害,导致甘蔗产量和品质下降[5-6],制约我国蔗糖业的可持续发展。甘蔗白条病(sugarcane leaf scald)是由白条黄单胞菌(*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, *Xa*)引起的一种检疫性细菌病害。该病害的主要症状是叶部沿中脉方向出现1条或数条白色铅笔线状条纹,发病后纵剖蔗茎可见蔗肉变红。该病害是一种维管束病害,病原细菌主要寄居于木质部微管束,影响水分和矿质营养物质的运输,导致甘蔗生长不良[7]。甘蔗白条病发病潜伏期长,显症慢,早期症状不明显,不利于发现及防控。近年来,甘蔗白条病在我国局部蔗区(含果蔗)不断发生传播,且逐年加重,造成严重经济损失[8]。因此,开展我国甘蔗白条病防控技术研究刻不容缓。

化学防治是作物病害防控的重要途径。有研究表明,甘蔗白条病发病初期用2 000～3 500倍液的72%农用硫酸链霉素、500倍液的50%代森铵、4 000倍液的新植霉素或350倍液的14%络氨铜水剂等药剂进行喷施有一定的防治效果[9],但这些药剂毒性较高,且环境危害较大。因此,筛选高效低毒、环境友好型药剂,对甘蔗白条病的化学防治具有重要意义。

乙蒜素是一种仿生类内吸性化学药剂,可防治多种作物病害,兼具促生作用[10],但在甘蔗病害防控中尚未见报道。本研究拟通过室内抑菌试验、毒力测定、桶栽施药试验评价乙蒜素对甘蔗白条病的防控效果,同时基于农艺性状、生物量等表型,并结合光合、根系性状、抗逆等生理特性揭示其促生作用,旨在为乙蒜素防控甘蔗白条病提供技术支撑及理论基础。

收稿日期: 2023-02-01
基金项目:国家自然科学基金项目(32172063;31771861);广东省甘蔗剑麻产业技术体系创新团队项目(2023KJ104-07)
鲍涵, E-mail: 543151973@qq.com
通信作者: 沈万宽, E-mail: wkshen@scau.edu.cn

# 1　材料与方法

## 1.1　供试材料

供试甘蔗白条黄单胞菌菌株为*Xa*-HN1(华南农业大学甘蔗研究室分离鉴定)，80%乙蒜素($C_4H_{10}O_2S_2$)原液由河南比赛尔农业科技有限公司提供，供试甘蔗品种为甘蔗白条病易感品种桂糖46号。

XAS液体培养基(250 mL)：蔗糖5 g、细菌学蛋白胨1.25 g、磷酸二氢钾0.125 g、七水合硫酸镁0.062 5 g、亚硫酸钠0.012 5 g、溴化钾1.25 g，pH值调至7。

XAS固体培养基(250 mL)：琼脂3.75 g，其他成分同XAS液体培养基，pH值调至7。

## 1.2　乙蒜素毒力测定

采用牛津杯抑菌圈法，在无菌条件下，挑取*Xa*-HN1单菌落于XAS液体培养基中28 ℃培养24 h，用紫外分光光度计测定菌液浓度，加入适量灭菌$ddH_2O$将菌液稀释至$OD_{590}$≈0.8。用移液枪吸取100 μL菌液至XAS固体培养基上，用玻璃涂布器涂布均匀，用灭菌镊子将无菌牛津杯放置于培养基表面并轻压使牛津杯与培养基紧紧贴合，每个培养皿放置3个牛津杯。用$ddH_2O$将80%乙蒜素原液稀释成2 000、3 000、4 000、5 000、6 000倍及7 000倍稀释液，各选用1个培养皿，用移液枪吸取200 μL稀释液至牛津杯中。以牛津杯中加入等量灭菌$ddH_2O$作为CK。将培养皿用封口膜封好，放置于恒温培养箱28 ℃培养2 d，取出拍照并记录结果，测量所形成的抑菌圈直径以进行毒力回归方程的计算。

药剂毒力回归方程$Y=aX+b$，其中$X$为药剂质量浓度(mg/L)的对数，$Y$为抑菌率(抑菌率=抑菌圈直径/培养皿直径×100%)。有效中质量浓度$EC_{50}$的值为当$Y$=50%时$X$的值[11]。

## 1.3　室内桶栽防效及促生试验

在无菌条件下，挑取*Xa*-HN1单菌落于XAS液体培养基28 ℃培养36 h，将菌液稀释至$OD_{590}$≈0.6，将桂糖46新鲜单芽在上述菌液中浸泡45 min，将其转移至塑料方形盆中28 ℃孵育侵染12 h后加土覆盖育苗，待蔗苗长至3～4片真叶时采样进行甘蔗白条病菌PCR检测，选取阳性且大小一致的蔗苗移入桶中进行桶栽试验。每处理种植3桶，每桶定植5个阳性蔗苗，共12桶，放置于温室中。用灭菌$ddH_2O$将80%乙蒜素原液稀释成8 000倍液(A1)、5 000倍液(A2)、1 000倍液(A3)。桶栽第7天喷施药剂，每处理喷施1 000 mL，以喷施等量$ddH_2O$作对照(CK)。施药后14、28、42 d进行农艺性状调查、样品采集及叶片光合参数测定等。

## 1.4　甘蔗白条病菌检测

采用CTAB法提取病样总DNA，白条黄单胞菌特异性引物XAF1：CCTGGTGATGACGCTGGGTT和XAR1：CGATCAGCGATGCACGCAGT[12]，目的片段为608 bp，用PCR仪(Bio-Rad 580BR)扩增。

## 1.5　农艺性状测定

株高、叶长、叶宽、茎径测量方法参考刘红坚等[13]的方法；植株鲜质量、干质量测量参考孙波等[14]的方法。

## 1.6　光合参数测定

应用LI-6400便携式光合仪(Li-COR Biosciences, Lincoln, NENE, USA)测量叶片光合参数。

## 1.7　叶片叶绿素含量测定

采用分光光度计法，参考Lichtenthaler等[15]的方法。

## 1.8　抗逆相关生理指标测定

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、脂氧合酶(LOX)、多酚氧化酶(PPO)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)等酶活性及超氧阴离子产生速率、总酚含量、类黄酮含量测定参考曹建康等[16]的方法，可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝染色法，可溶性糖含量测定采用蒽酮试剂法，脯氨酸含量测定采用乙醇提取比色法，丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸比色法[17]。

## 1.9　根系活力及性状测定

根系活力测定采用TTC法，参考Liu等[18]的方法。根系性状测定参考赵丽萍等[19]的方法，用植物图像分析仪(MRS-9600TFU2L Scan Maker，中晶科技有限公司，上海)扫描根系，用根系扫描分析软件RhizoVision Explorer (version 2.0.2)分析根系性状参数。

## 1.10　数据处理

分别对不同处理的样本进行单因素方差分析，样本均数间的多重比较用LSD-*t*检验以及Dunnet-*t*检验(显著性水平为0.05)，数据分析用IBM® SPSS® Statistics 23软件。

# 2　结果与分析

## 2.1　乙蒜素对甘蔗白条病防控效果

1)乙蒜素毒力回归方程及有效中质量浓度。检

测结果显示，80%乙蒜素2 000、3 000、4 000、5 000、6 000及7 000倍稀释液的抑菌圈直径依次为3.87、3.17、2.90、2.73、2.53、2.20 cm，抑菌率依次为48.33%、39.58%、36.25%、34.17%、31.67%、27.50%。毒力回归方程为$y=26.29x-30.29$，相关系数$R^2$为0.948 9，有效中质量浓度$EC_{50}$为1 132.43 μg/mL。

2)室内桶栽防治效果。带菌蔗苗移栽后早期并未观测到甘蔗白条病症状，在施药后34 d甘蔗叶片才开始陆续出现较为明显的疑似甘蔗白条病症状(图1A)，由于受环境影响或与其他叶部病害症状易混淆仅从症状上不能准确诊断，为了提高诊断结果的可靠性，本研究采用甘蔗植株叶片的白条病菌阳性检出率来评价乙蒜素对甘蔗白条病的防控效果。

通过对施药后14、28、42 d甘蔗叶片白条病菌检测，上述3个时期CK的甘蔗白条病阳性检出率均为100%，而施药处理甘蔗白条病阳性检出率均呈不同程度的降低。施药后14 d，处理A1、A2、A3阳性检出率分别为66.67%、60.00%、33.33%，较CK依次下降33.33、40.00、66.67百分点；施药后28 d及42 d，A1、A2、A3阳性检出率分别为26.67%、13.33%、13.33%和6.67%、0%、0%(图1B)。

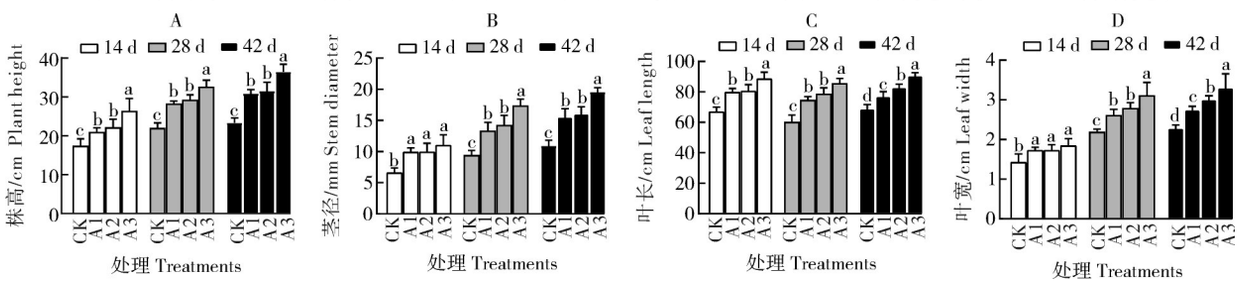
相同时期柱形图上不同小写字母代表差异达显著水平($P<0.05$)，下同。On the column chart of the same period, different lowercase letters represent a difference at the 0.05 level, the same as below.

**图1 甘蔗白条病症状(A)及喷施乙蒜素后甘蔗叶片白条病菌检出率(B)**

Fig.1 Symptoms of sugarcane leaf scald (A) and the detection rate of sugarcane leaf scald pathogen after spraying ethylicin (B)

## 2.2 乙蒜素对甘蔗生长的影响

1)对主要农艺性状的影响。施药后14、28、42 d各处理株高均显著高于CK，A3显著高于A1、A2，A1和A2无显著差异；施药后42 d A1、A2、A3株高依次较CK增加36.49%、40.82%、53.41%(图2A)。施药后14 d各处理的茎径均显著大于CK，但处理间差异不显著；在28 d各处理的茎径均显著大于CK，A1、A2、A3分别比CK增大20.18%、23.45%、42.12%，A3茎径显著大于A1、A2，A1和A2差异不显著；在施药后42 d各处理的茎径均显著大于CK，A1、A2、A3分别比CK增大34.61%、39.25%、61.27%，A1与A2差异不显著，A3与A1、A2达差异显著(图2B)。施药后14 d各处理叶长较CK呈显著的增长，增长幅度为9.19%～13.35%；在施药后28 d 3个处理A1、A2、A3的叶长均显著长于CK，分别增长6.29%、8.98%、16.87%，A1、A2间差异不显著，A3显著长于A1、A2；在施药后42 d 3个处理A1、A2、A3的叶长均显著长于CK，分别增长7.60%、11.81%、20.08%，A1、A2、A3差异显著(图2C)。施药后14 d各处理均较CK呈显著增宽，增加幅度为7.04%～9.86%，处理间差异不显著；在施药后28 d 3个处理的叶宽均较CK显著增宽，A3显




A:株高 Plant height; B:茎径 Stem diameter; C:叶长 Leaf length; D:叶宽 Leaf width.

**图2 喷施乙蒜素后甘蔗植株农艺性状的变化**

Fig.2 Changes of agronomic characters of sugarcane plants after spraying ethylicin

著宽于A1、A2，A1和A2差异不显著；在施药后42 d A1、A2、A3 3个理均较CK显著增宽，分别增宽15.53%、18.18%、23.14%，3个处理间差异显著(图2D)。

2)对植株鲜质量、干质量的影响。喷施乙蒜素后42 d甘蔗苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量的3个处理均有不同程度的增加。3个处理中，A3效果最显著，苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量均显著高于CK，而A1效果最差，与对照比增加量均未达显著水平(图3)。

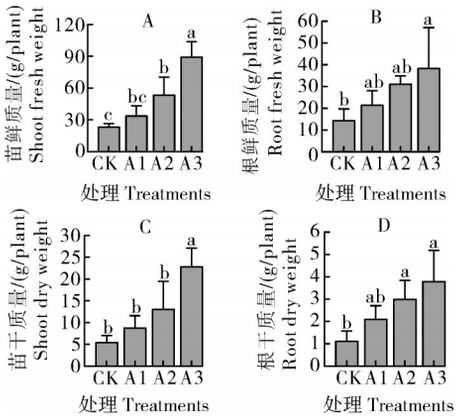


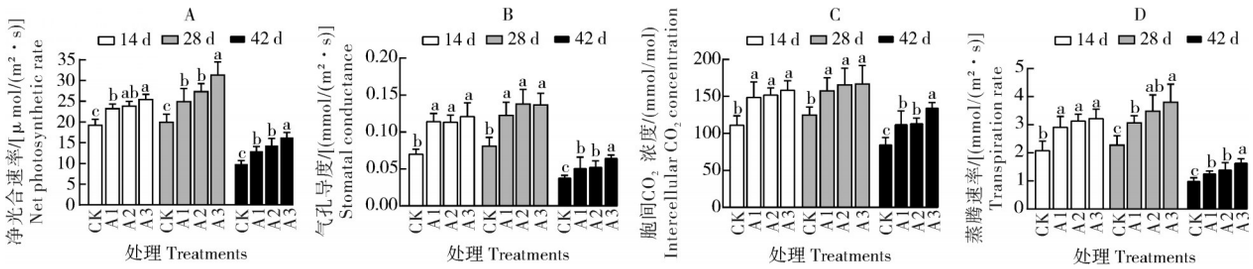

图3　喷施乙蒜素甘蔗幼苗及根系鲜(A、B)、干质量(C、D)变化

Fig.3　Changes of fresh(A，B) and dry weight(C，D) of sugarcane shoots and root plants after spraying ethylicin

## 2.3　对叶片光合参数及叶绿素含量的影响

1)对光合参数的影响。施药后14、28、42 d，A1、A2、A3 3个处理的甘蔗叶片光合参数均较CK显著提高(图4)。净光合速率(net photosynthetic rate，$P_n$)在3个时期A3显著高于A1、A2(除14 d的A3与A2差异不显著外)，A1和A2差异不显著，42 d A3处理较CK增加64.97%(图4A)。气孔导度(stomatal conductance，$G_s$)在14和28 d时3个处理间差异不显著，42 d时A3显著高于A1、A2，A1、A2差异不显著(图4B)。胞间$CO_2$浓度(intercellular $CO_2$ concentration，$C_i$)在14和28 d 3个处理间差异不显著，42 d时A3显著高于A1、A2，A1和A2间差异不显著(图4C)。蒸腾速率(transpiration rate，$T_r$)在14 d时3个处理间差异不显著，28 d时A2、A3显著高于A1，A2、A3间差异不显著，42 d时A3显著高于A1、A2，A1、A2间差异不显著(图4D)。

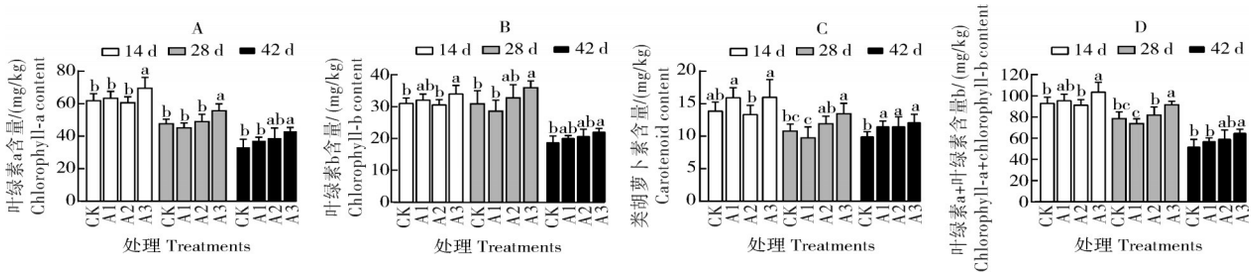
2)对叶绿素含量的影响。由图5A可见，施药后14、28、42 d，叶绿素a含量A3处理均显著高于CK，A1、A2与CK差异不显著，A3显著高于A1、A2(除42 d时A3和A2间差异不显著外)。施药后14、28、42 d，叶绿素b含量A3处理均显著高于CK，A1、A2与CK差异不显著，A1、A2间差异不显著(图5B)。对于类胡萝卜素含量，14 d时3个处理与CK差异不显著，28 d时A3显著高于CK，其余两处理与CK差异不显著，42 d时3个处理均显著高于CK，3个处理




A：$P_n$；B：$G_s$；C：$C_i$；D：$T_r$.

图4　喷施乙蒜素甘蔗叶片光合参数变化

Fig.4　Changes of photosynthetic parameters of sugarcane leaves after spraying ethylicin




A：叶绿素a Chlorophyll-a；B：叶绿素b Chlorophyll-b；C：类胡萝卜素 Carotenoid；D：叶绿素a+叶绿素b Chlorophyll-a+chlorophyll-b.

图5　喷施乙蒜素甘蔗叶片色素含量变化

Fig.5　Changes of chlorophyll content in sugarcane leaves sprayed with ethylicin

间差异不显著(图5C)。而叶绿素a+叶绿素b总含量,施药后14、28、42 d A3均显著高于CK,42 d A3处理较CK增加24.93%,3个时期的A1、A2与CK差异均不显著(图5D)。

### 2.4 乙蒜素对叶片生理特性的影响

1)对抗氧化指标的影响。A1、A2、A3 3个处理的叶片SOD活性在3个时期均较CK有不同程度的提高,其中,14 d时,3个处理均与CK差异不显著;28 d时,A3显著高于CK,其余两处理与CK差异不显著;42 d时,各处理与CK间的差异类似于28 d,其中,A3较CK提高21.32%(图6A)。对于CAT活性而言,14 d时,3个处理叶片CAT活性与CK差异不显著;28 d和42 d时,A1较CK提高未达显著水平,其余两处理显著高于CK,其中,42 d A3较CK提高54.32%(图6B)。A1、A2、A3 3个处理的叶片POD活性在3个时期均较CK有不同程度的提高,其中,14 d时,3个处理均与CK差异不显著;28 d时,A1与CK差异不显著,其余两处理均显著高于CK;42 d时,各处理与CK间的差异类似于28 d,其中,42 d A3较CK提高44.32%(图6C)。对于超氧阴离子($O_2^{-}$·)产生速率,14 d时,3个处理与CK无显著差异;28 d、42 d时,A1与CK差异不显著,其余两处理均较CK显著降低(图6D)。

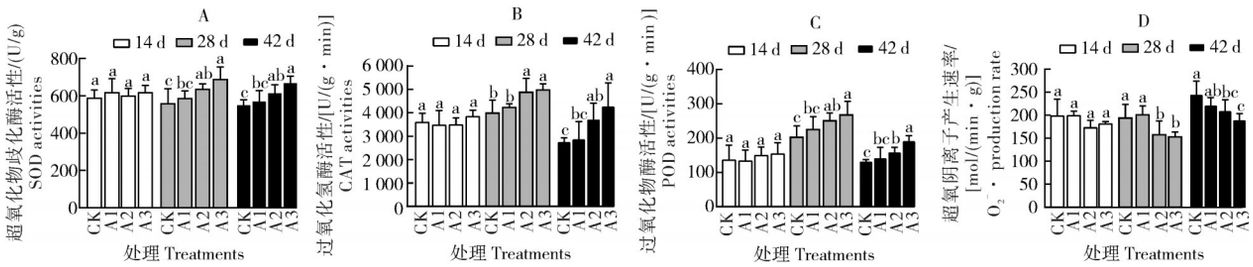



图6 喷施乙蒜素甘蔗叶片抗氧化酶活性(A、B、C)及$O_2^{-}$·产生速率变化(D)

Fig.6 Changes of antioxidant enzyme activity(A,B,C) and $O_2^{-}$· production rate(D) in sugarcane leaves sprayed with ethylicin

2)对脂氧代谢指标的影响。对于LOX活性(图7A),施药后14 d 3个处理的LOX活性差异不显著,28 d时A3显著高于CK,A1、A2与CK差异不显著,42 d时A3、A2显著高于CK,A1与CK差异不显著。对于MDA含量(图7B),14 d时3个处理与CK差异不显著,28 d时A3显著低于CK,A1、A2与CK差异不显著,42 d时A2、A3显著低于CK(A3比CK减少22.74%),A1与CK差异不显著。

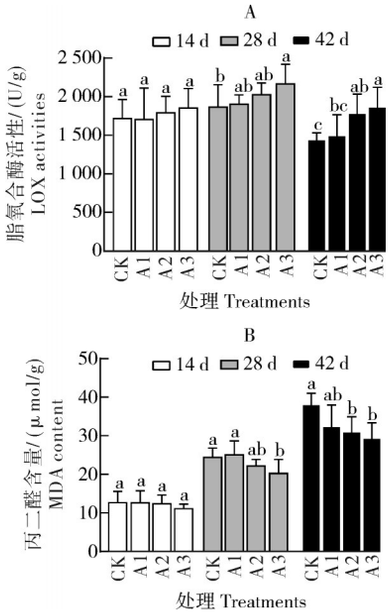



图7 喷施乙蒜素甘蔗叶片脂氧合酶(LOX)活性(A)及丙二醛(MDA)含量(B)变化

Fig.7 Changes of LOX activities(A) and MDA content (B) in sugarcane leaves sprayed with ethylicin

3)对次生代谢指标的影响。对于PPO活性(图8A),施药后14 d 3个处理与CK差异不显著,28 d、42 d时A3显著高于CK,A1、A2与CK差异不显著,A1、A2、A3间差异不显著。对于PAL活性(图8B),施药后14 d 3个处理与CK差异不显著,28 d、42 d时A3显著高于CK,A1、A2与CK差异不显著。对于总酚含量(图8C),施药后14 d 3个处理与CK差异不显著,28 d、42 d时A3显著高于CK,A1、A2与CK差异不显著。对于类黄酮含量(图8D),各处理与CK间的差异与总酚含量类似。

4)对渗透调节物质含量的影响。A1、A2、A3处理的叶片可溶性糖含量在3个时期均较CK有不同程度的提高。其中,14 d时3个处理与CK差异不显著;28 d时3个处理均显著高于CK,增加幅度为12.74%~18.18%;42 d时,仅A3显著高于CK(增加17.40%),其余两处理与CK差异不显著(图9A)。

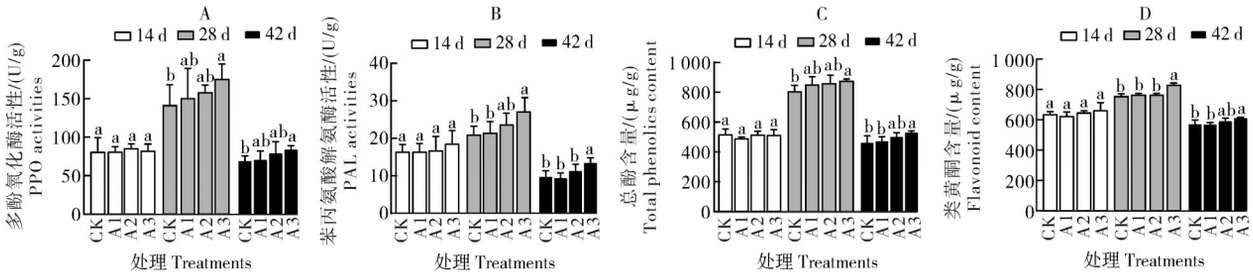



图8　喷施乙蒜素甘蔗叶片多酚氧化酶(PPO)活性(A)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性(B)及总酚含量(C)、类黄酮含量(D)变化

Fig.8　Changes of PPO activities (A), PAL activities (B), total phenol content (C) and flavonoid content (D) in sugarcane leaves sprayed with ethylicin

A1、A2、A3处理的叶片可溶性蛋白含量在3个时期均较CK有不同程度提高。其中，14 d时，除A3显著提高外(10.98%)，其余两处理与CK差异不显著；28 d时，A1与CK差异不显著，A2、A3较CK显著提高，分别提高10.16%和12.45%；42 d时，各处理与CK间的差异情况类似于28 d，A3较CK提高17.39%(图9B)。A1、A2、A3处理的叶片脯氨酸含量在3个时期均较CK不同程度提高。其中，14 d时，3个处理均与CK差异不显著；28 d时，A3较CK显著增加(22.80%)，其余两处理与CK差异不显著；42 d时，除A1差异不显著外，其余两处理均显著高于CK，A3较CK提高17.78%(图9C)。

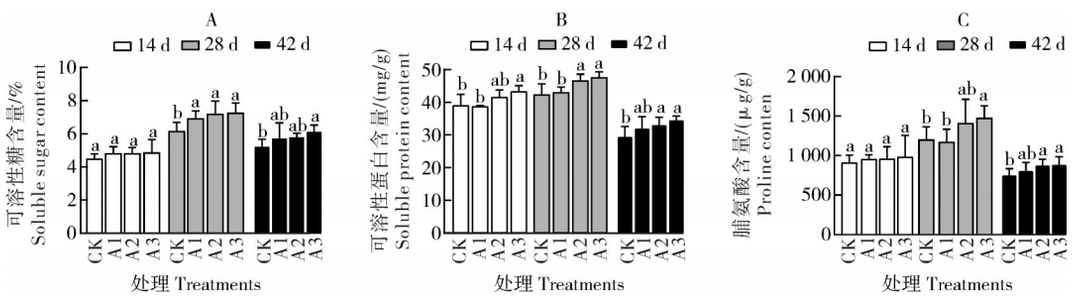



图9　喷施乙蒜素甘蔗叶片渗透调节物质可溶性糖(A)、可溶性蛋白(B)及脯氨酸(C)含量变化

Fig.9　Changes of osmoregulation substance content of soluble sugar(A), soluble protein(B) and proline(C) in sugarcane leaves sprayed with ethylicin

### 2.5　乙蒜素对甘蔗根系活力及根系性状的影响

1)对甘蔗根系活力的影响。施药42 d 3个处理A1、A2、A3的根系活力均显著高于CK，提高幅度为35.93%～62.44%，A3显著高于A1、A2，A1和A2差异不显著，A3处理较CK增加62.44%(图10)。

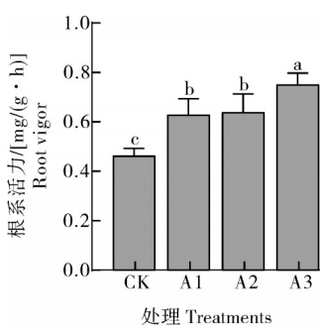


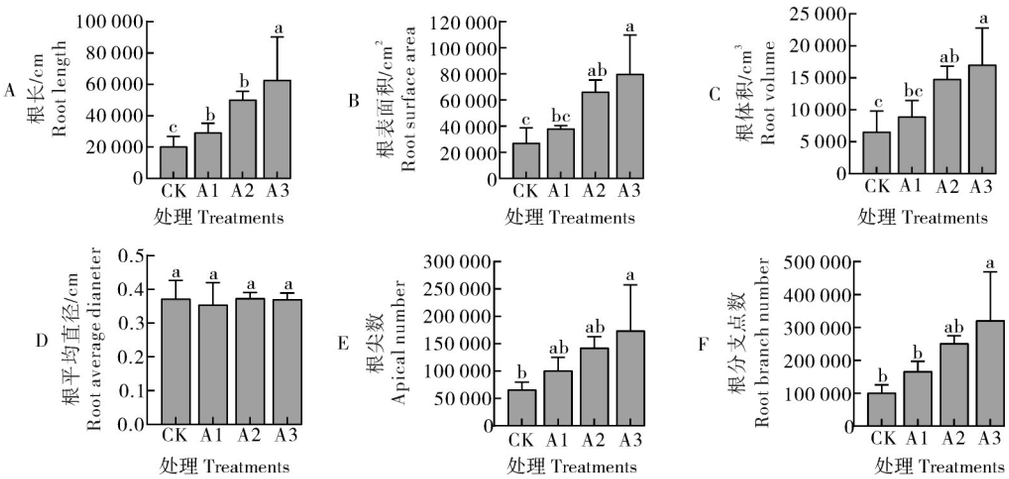

图10　喷施乙蒜素42 d甘蔗植株根系活力

Fig.10　Root vigor of 42 days sugarcane after spraying ethylicin

2)对甘蔗根系性状的影响。本研究所测量的根系性状包括根长、根表面积、根平均直径及根体积、根尖数及根分支点数等6个指标。由图11可见，3个处理的6项根系指标均优于CK，其中，A1与CK间差异不显著(根长除外)，A3与CK间差异显著(根平均直径除外)，A2的根长、根表面积、根体积等3个指标与CK相比达显著水平，其余3个指标差异不显著。

## 3　讨　论

乙蒜素是一类硫代磺酰酯衍生物，具有活性稳定、杀菌谱广、易被作物吸收、易降解等特点，前人研究发现施用量在1.18 kg/hm$^2$以下时对人类和动物无害[10]，因此广泛应用于作物病害防治，如水稻恶苗病[20]、烟草青枯病[21]、白菜霜霉病[22]、番茄病毒病[23]和马铃薯晚疫病[24]等。本研究结果表明乙蒜素对甘蔗白条病菌具有一定的毒力及良好的抑菌效果，可




A:根长 Root length;B:根表面积 Root surface area;C:根体积 Root volume;D:根平均直径 Root average diameter;E:根尖数 Apical number;F:根分支点数 Root branch number.

**图11 喷施乙蒜素42 d甘蔗植株根系性状**

Fig.11 Root traits of 42 d sugarcane plants after spraying ethylicin

有效防控甘蔗白条病,尤其以80%乙蒜素1 000~2 000倍稀释液的防控效果为佳(施药后42 d未检出甘蔗白条病阳性植株,而对照阳性检出率达100%)。乙蒜素之所以能有效防控甘蔗白条病,关键在于乙蒜素对甘蔗白条病菌有一定的毒力、能有效抑制该病菌生长繁殖。这与乙蒜素能有效防控烟草青枯病基于其对烟草青枯病菌具有良好的抑菌效果是类似的[21]。至于乙蒜素是如何抑制甘蔗白条病菌生长繁殖的有待进一步深入研究。

适宜浓度的乙蒜素可促进种子萌发,提高水稻种子萌芽率[25-26],并对作物具有促生作用[27-28]。本研究表明乙蒜素对甘蔗也具有促生作用,尤其以80%乙蒜素1 000倍稀释液的效果为佳,这与余佳荣[27]研究中乙蒜素适宜质量浓度(100 mg/L)能明显改善黄瓜光合作用、促进生长以及董华芳等[28]喷施20%乙蒜素2 500倍稀释液能通过提高草莓的叶绿素含量和过氧化氢酶的活性从而促进草莓生长的作用类似。

光合作用是植物生长发育的基础,光合参数反映植物光合作用的能力[29],植物根系活力、根系性状反映植物的生长状况。研究发现施用乙蒜素后甘蔗植株的光合参数、根系活力、根系性状有明显改良,这与朱友理等[26]研究表明适量乙蒜素能促进水稻根系生长的发现基本一致。Buchenauer等[30]研究也表明乙蒜素在杀灭病菌的同时能够提高叶片叶绿素含量,对植物生长起调节和促进作用。另外,植物CAT、POD、SOD等抗氧化酶活性及活性氧代谢能反映植物对病菌胁迫的抗性水平[31-32]。本研究结果表明施用乙蒜素显著提高甘蔗植株抗氧化酶活性,而董华芳等[28]在草莓上施用乙蒜素以及韦学平等[21]在烟草上施用含有乙蒜素的复合药剂也有类似的发现。

PAL、PPO在植物抗病方面起重要作用[33],这2种酶关系到植物木质素的合成,PAL还参与黄酮类、酚类物质的合成,黄酮及酚类物质的含量与植物的抗病性有关[34]。可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸的含量在一定程度上也能体现出植株对病害的拮抗作用[35]。本研究发现喷施乙蒜素对甘蔗叶片次生代谢、渗透调节等有较为显著的改善作用,有利于促进甘蔗生长,增强甘蔗对白条病的抗性。

乙蒜素为乳油状液体,喷施后可短时间内覆盖在叶片表面导致气孔堵塞而影响叶片光合作用[27,36]。本研究中,3个时期各处理的光合参数均较对照显著提高,可能由于乙蒜素易降解,测量时已降解并未对叶片气孔造成堵塞。此外,第3个时期(42 d)叶片光合参数较28 d时呈显著下降,可能跟11月份天气转寒有关。

有报道认为过量施用乙蒜素或施用乙蒜素浓度过高可能会抑制植物生长[27],本研究中,乙蒜素最高浓度处理(80%乙蒜素1 000倍稀释液)并未发现对甘蔗植株生长产生药害或抑制生长等负面效应,且该浓度乙蒜素对甘蔗白条病的防控效果及对甘蔗的促生作用最佳。今后有必要进一步提高施用浓度或施用量以评价乙蒜素对甘蔗是否会造成药害或产生

抑制生长等负面影响。

综上，乙蒜素对甘蔗白条病菌具有毒力和抑菌效果，喷施适宜浓度的乙蒜素能显著降低甘蔗植株白条病菌检出率，有效防控甘蔗白条病，且能促进甘蔗生长，尤其以80%乙蒜素1 000倍稀释液防病促生效果为佳。喷施乙蒜素能明显提高甘蔗叶片光合能力、根系活力及改善根系性状，促进甘蔗生长。而且，喷施乙蒜素能显著提高甘蔗叶片内源防御酶的活性，增加次生代谢物（总酚和类黄酮）和渗透调节物质（可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸）的含量，降低膜脂过氧化损伤程度，提高甘蔗抗逆性，有利于甘蔗生长。

## 参考文献 References


[1] ALI A, JAVED T, ZAHEER U, et al. Genome-wide identification and expression profiling of the bHLH transcription factor gene family in *Saccharum spontaneum* under bacterial pathogen stimuli [J]. Tropical plant biology, 2021, 14 (3): 283-294.

[2] CHEN R F, FAN Y G, ZHOU H W, et al. Global transcriptome changes of elongating internode of sugarcane in response to mepiquat chloride [J/OL]. BMC genomics, 2021, 22 (1): 79 [2023-02-01]. https://doi.org/10.1186/s12864-020-07352-w.

[3] 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. 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 (in Chinese with English abstract).

[4] LI Y R, YANG L T. Sugarcane agriculture and sugar industry in China[J]. Sugar tech, 2015, 17(1): 1-8.

[5] MENENDEZ R, FERNANDEZ S I, DEL RIO A, et al. Policosanol inhibits cholesterol biosynthesis and enhances low density lipoprotein processing in cultured human fibroblasts[J]. Biological research, 1994, 27(3/4): 199-203.

[6] BARNABAS L, RAMADASS A, AMALRAJ R S, et al. Sugarcane proteomics: an update on current status, challenges, and future prospects[J]. Proteomics, 2015, 15(10): 1658-1670.

[7] DAVIS M J, ROTT P, BAUDIN P, et al. Evaluation of selective media and immunoassays for detection of *Xanthomonas albilineans*, causal agent of sugarcane leaf scald disease [J]. Plant disease, 1994, 78(1): 78-82.

[8] 孟建玉，张慧丽，林岭虹，等. 甘蔗白条病及其致病菌 *Xanthomonas albilineans* 研究进展[J]. 植物保护学报，2019，46(2)：257-265. MENG J Y, ZHANG H L, LIN L H, et al. Research advances in sugarcane leaf scald disease and its causal agent *Xanthomonas albilineans*[J]. Journal of plant protection, 2019, 46(2): 257-265 (in Chinese with English abstract).

[9] 李瑞美. 果蔗白条病的发生规律与防治措施[J]. 福建农业科技，2016(6)：18-19. LI R M. Occurrence regulity and control of *Xanthomonas albilineans* in chewing cane[J]. Fujian agricultural science and technology, 2016 (6): 18-19 (in Chinese with English abstract).

[10] CHEN Z L, ZHANG H, DING R Y, et al. Determination and dynamics of ethylicin residues in cotton-field ecosystem [J]. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 2012, 89(4): 853-856.

[11] 毕采利，吕文霞，刘广晶，等. 马铃薯气生茎腐病菌的室内毒力测定及药剂安全性试验[J]. 北方农业学报，2020，48(3)：123-128. BI C L, LÜ W X, LIU G J, et al. Toxicity determination and safety test of pesticides for aerial stalk rot fungi of potato[J]. Journal of northern agriculture, 2020, 48(3): 123-128 (in Chinese with English abstract).

[12] ROTT P, SOUPA D, BRUNET Y, et al. Leaf scald (*Xanthomonas albilineans*) incidence and its effect on yield in seven sugarcane cultivars in Guadeloupe[J]. Plant pathology, 1995, 44(6): 1075-1084.

[13] 刘红坚，梁文燊，何为中，等. 桂果蔗1号不同级数健康种苗生长特征及性状变异[J]. 南方农业学报，2021，52(2)：288-296. LIU H J, LIANG W S, HE W Z, et al. Growth characters and properties variation of different generations of chewing cane Guiguozhe 1 seedlings [J]. Journal of southern agriculture, 2021, 52 (2): 288-296 (in Chinese with English abstract).

[14] 孙波，刘光玲，杨丽涛，等. 甘蔗幼苗根系形态结构及保护系统对低温胁迫的响应[J]. 中国农业大学学报，2014，19(6)：71-80. SUN B, LIU G L, YANG L T, et al. Response of chilling stress on root morphology and protection systems of sugarcane seedlings [J]. Journal of China Agricultural University, 2014, 19(6): 71-80 (in Chinese with English abstract).

[15] LICHTENTHALER H K, WELLBURN A R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents [J]. Biochemical society transactions, 1983, 11(5): 591-592.

[16] 曹建康，姜微波，赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京：中国轻工业出版社，2007. CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance on postharvest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007 (in Chinese).

[17] ABDEL L A A, TRAN L S P. Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress [J/OL]. Frontiers in plant science, 2016, 7: 243[2023-02-01]. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00243.

[18] LIU J J, WEI Z, LI J H. Effects of copper on leaf membrane structure and root activity of maize seedling[J/OL]. Botanical studies, 2014, 55(1): 47[2023-02-01]. http://www.as-botan-

icalstudies.com/content/55/1/47.

[19] 赵丽萍,刘家勇,赵培方,等.甘蔗家系苗期根系性状与地上部性状研究[J].西南农业学报,2015,28(3):1009-1013. ZHAO L P,LIU J Y,ZHAO P F,et al.Characteristics of root and aerial part of sugarcane seedlings[J]. Southwest China journal of agricultural sciences,2015,28(3):1009-1013 (in Chinese with English abstract).

[20] 曹梦娇,钟雪明,王晔青,等.4种药剂对水稻恶苗病的防治效果[J].浙江农业科学,2018,59(8):1425-1426.CAO M J, ZHONG X M, WANG Y Q,et al.Control effect of four fungicides on rice bakanae disease[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences,2018,59(8):1425-1426 (in Chinese).

[21] 韦学平,苏江华,罗刚,等.植物免疫诱抗剂对烤烟青枯病的诱导抗性及防控效果[J].贵州农业科学,2022,50(5):8-14. WEI X P,SU J H,LUO G,et al.Inductive resistance and control effect of various plant immune inducers against tobacco bacterial wilt[J].Guizhou agricultural sciences,2022,50(5):8-14 (in Chinese with English abstract).

[22] 岳智臣,岳文俊,陶鹏,等.浙江省小白菜周年安全生产关键技术[J].长江蔬菜,2021(10):29-31.YUE Z C,YUE W J, TAO P,et al.Key techniques of annual safety production of Chinese cabbage in Zhejiang Province[J].Journal of Changjiang vegetables,2021(10):29-31 (in Chinese).

[23] 刘子记,杜公福,牛玉,等.番茄主要病害的发生与防治技术[J].长江蔬菜,2019(19):59-62.LIU Z J,DU G F,NIU Y,et al.Occurrence and control techniques of main tomato diseases [J].Journal of Changjiang vegetables,2019(19):59-62 (in Chinese).

[24] ZHANG S M,ZHANG M Q,KHALID A R,et al.Ethylicin prevents potato late blight by disrupting protein biosynthesis of *Phytophthora infestans*[J/OL].Pathogens,2020,9(4):299 [2023-02-01].https://doi.org/10.3390/pathogens9040299.

[25] 朱友理,王银.药剂浸种对水稻发芽率及安全性影响[J].湖北植保,2021(2):31-34.ZHU Y L,WANG Y.Influence of different medicaments seed soaking on rice seed germination rate and security[J].Hubei plant protection,2021(2):31-34 (in Chinese).

[26] 朱友理,何东兵,曹书培,等.不同浸种剂和浓度对5个水稻品种发芽率和幼苗生长的安全性研究[J].江苏农业科学,2019,47(7):79-83.ZHU Y L, HE D B, CAO S P,et al. Study on safety of germination rate and seedling growth of five rice cultivars with different seed soaking agents and concentration[J].Jiangsu agricultural sciences,2019,47(7):79-83 (in Chinese).

[27] 余佳荣.乙蒜素在黄瓜、土壤中的残留及其生态毒性研究[D].长沙:湖南农业大学,2009.SHE J R.Dissipation and ecotoxicological effects of pesticide ethylicin in cucumber and soil [D].Changsha:Hunan Agricultural University,2009 (in Chinese with English abstract).

[28] 董华芳,姚智,许延波,等.十种药剂对草莓白粉病的田间防效[J].北方园艺,2020(5):28-33.DONG H F,YAO Z,XU Y B,et al.Control effect of ten medicines on strawberry powdery mildew[J].Northern horticulture,2020(5):28-33 (in Chinese with English abstract).

[29] VERMA K K,ANAS M,CHEN Z L,et al.Silicon supply improves leaf gas exchange, antioxidant defense system and growth in *Saccharum officinarum* responsive to water limitation[J/OL].Plants (Basel, Switzerland),2020,9(8):1032 [2023-02-01]. https://doi.org/10.3390/plants9081032.

[30] BUCHENAUER H, RÖHNER E. Effect of triadimefon and triadimenol on growth of various plant species as well as on gibberellin content and sterol metabolism in shoots of barley seedlings[J].Pesticide biochemistry and physiology,1981,15 (1):58-70.

[31] RASU T, DURAISAMY S, NACHIMUTHU R, et al. A combination of biocontrol agents improves the management of dry root rot(*Macrophomina phaseolina*)in greengram[J].Phytopathologia mediterranea,2007,46(2):157-167.

[32] TAHERI P,TARIGHI S.Riboflavin induces resistance in rice against *Rhizoctonia solani* via jasmonate-mediated priming of phenylpropanoid pathway [J]. Journal of plant physiology, 2010,167(3):201-208.

[33] MATOSTRUJILLO M, DÍAZSOLARES M, SAMANIEGOFERNÁNDEZ L M, et al. Expression of the peroxidase enzyme in hybrid *Saccharum* sp. plants inoculated with *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson[J]. Pastos forrajes, 2017, 40: 181-186.

[34] PODILE A R,LAXMI V D V.Seed bacterization with *Bacillus subtilis* AF 1 increases phenylalanine ammonia-lyase and reduces the incidence of fusarial wilt in pigeonpea[J].Journal of phytopathology,1998,146(5/6):255-259.

[35] DENG Q Q,WU J,CHEN J W,et al.Physiological mechanisms of improved smut resistance in sugarcane through application of silicon[J/OL].Frontiers in plant science,2020,11:568130[2023-02-01]. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.568130.

[36] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual review of plant physiology, 1982,33:317-345.

# Effect of ethylicin on prevention and control of sugarcane leaf scald and its promoting effect on growth

BAO Han[1], CHEN Jiaoyun[1], LI Yongjia[1], LI Wenjia[1], HUANG Canyang[1], CHEN Jianwen[1], HU Shuifeng[2], SHEN Wankuan[1]

1. *College of Agriculture, South China Agricultural University/Sugarcane Research Laboratory of South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*;
2. *Guangxi Laibin Dongtang Phoenix Company Limited, Laibin 546100, China*

**Abstract**　In order to explore whether the biomimetic and endogenous chemical agent ethylicin can be used to prevent and control sugarcane disease and whether it can promote the growth of sugarcane, the indoor antibacterial tests, toxicity tests, and barrel planting application tests were carried out to evaluate the prevention and control effect of ethylicin on sugarcane leaf scald caused by *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dawson. At the same time, the agronomic traits, biomass, and other phenotypes of sugarcane treated with different concentrations of ethylicin were determined by pot planting experiments, and the growth promoting effects were evaluated by combining the physiological characteristics such as photosynthesis, root system, and stress resistance. The results of toxicity test showed that the toxicity regression equation of ethylicin was $y=26.29x-30.29$, the correlation coefficient $R^2$ was 0.948 9, and the effective middle mass concentration $EC_{50}$ was 1 132.43 μg/mL. The results of disease prevention and control and growth promotion experiments showed that the 1 000-fold dilution of 80% ethylicin was the best. Under this treatment, no sugarcane leaf scald positive plant was detected after 42 days of application, while the positive rate of the control (CK) was 100%. Moreover, compared with CK, the chlorophyll content in sugarcane leaves increased by 24.93%, the net photosynthetic rate increased by 64.97%, and the root activity increased by 62.44%, indicating a significant growth promoting effect. In addition, compared with CK, the antioxidant enzyme activities such as SOD, POD, and CAT under this treatment increased by 21.32%, 44.32%, and 54.32% respectively. The content of soluble sugar, soluble protein, proline and other osmotic regulating substances in leaves increased by 17.40%, 17.39%, and 17.78%, respectively, while the content of MDA decreased by 22.74%, alleviating membrane lipid peroxidation, maintaining cell membrane stability and enhancing the stress resistance of sugarcane. In summary, the 1 000-fold dilution of 80% ethylicin has a good control effect on sugarcane leaf scald and has a promoting effect on sugarcane growth.

**Keywords**　ethylicin; sugarcane leaf scald; chemical control; promoting growth effect

（责任编辑：边书京）