

甘蔗宿根矮化病菌形态特征及其对甘蔗光合作用的影响

张小秋¹ 梁永检¹ 唐云仙¹ 邵敏¹ 杨丽涛¹ 李杨瑞²

1. 广西大学农学院/亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530004;

2. 广西农业科学院/中国农业科学院甘蔗研究中心/农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室/
广西甘蔗遗传改良重点实验室, 南宁 530007

摘要 甘蔗宿根矮化病(ratoon stunting disease, RSD)病原物为革兰氏阳性菌 *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*)。采用透射电镜和扫描电镜观察 *Lxx* 离体培养物形态和感病蔗茎维管超微结构,并用光合仪测定感病甘蔗+1叶光合作用相关指标。结果表明:改良的 MSC 培养基适于 *Lxx* 生长,培养的菌体形态多样,有隔膜和筒体;菌体内细胞质分布不均,有电子透明物、电子稠密物及隔膜;RSD 病原菌寄居在木质部导管的纹孔和导管壁上,其内粘附许多颗粒状物质;感染 RSD 蔗株的光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 和蒸腾速率均低于健康蔗株,RSD 可降低甘蔗的光合作用。

关键词 甘蔗;宿根矮化病;形态特性;光合作用

中图分类号 S 432.4; S 435.661 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)05-0042-06

甘蔗宿根矮化病(ratoon stunting disease, RSD)是世界甘蔗种植国家普遍发生的一种病害。甘蔗是广西重要的经济作物,广西和云南甘蔗主栽品种 RSD 发病率高,阳性检出率达 59.64%^[1]。RSD 是由 *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*) 引起,主要寄居在维管束木质部导管内,属革兰氏阳性菌^[2]。Davis 等^[2]首先实现了 *Lxx* 的体外分离培养,并命名为 *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* (*Cxx*)。Evtushenko 等^[3]根据 rRNA 和基因组内高 G+C 含量等特点,将其更名为 *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*)。适合 *Lxx* 体外培养的培养基有 SC、SCM、DM 和 S8 等^[4]。Brumbley 等^[5]对 SC 培养基进行改良获得 MSC 培养基,优化了单菌落生长条件。Monteiro-Vitorello 等^[6]以 *Lxx* 纯培养物或感染 RSD 甘蔗为材料,完成了宿根矮化病原菌的基因组测序,发现果胶酶基因、纤维素酶基因和 ABA 合成基因可能是 *Lxx* 的致病基因;Young 等^[7]分析了来自澳大利亚、印度尼西亚、日本、美国等 9 个国

家 *Lxx* 的 16S RNA 后,发现序列间没有差异;陈明辉等^[8-9]研究发现甘蔗感染 RSD 后体内赤霉素和生长素明显降低,脱落酸明显升高,株高、茎径、节间长度和单茎重也明显降低。

甘蔗的光合作用与产量有密切联系,而 RSD 可导致甘蔗产量下降 5%~30%,严重时可达 60%^[10],因此,研究 RSD 感染对甘蔗光合作用影响具有重要意义。但因 *Lxx* 很难进行体外分离培养,使得研究 RSD 病原菌的致病机制及其与甘蔗寄主间的互作机制受到限制,关于 *Lxx* 侵染对甘蔗光合作用的影响也未见报道。本试验以感染 RSD 的甘蔗品种 Badila 为材料,观察 *Lxx* 在蔗茎内的定殖情况,进行体外分离培养 *Lxx* 后,接种到甘蔗品种桂糖 11 号(GT11)和 Badila 健康甘蔗种茎上,并以不接菌为对照,分析不同时期甘蔗光合作用的变化,旨在研究 *Lxx* 的侵染特性和 RSD 胁迫对甘蔗光合作用的影响,为进一步探讨 *Lxx* 与寄主互作机制提供理论依据。

收稿日期:2014-11-04

基金项目:国家“863”计划项目(2013AA102604);国家自然科学基金项目(31360293);国家国际合作项目(2013DFA31600);广西八桂学者与特聘专家专项(2013);广西科技合作与交流计划项目(桂科合 1347004-2);广西自然科学基金创新团队项目(2011GXNSFF018002)

张小秋,博士研究生。研究方向:甘蔗与病害互作的生理生化。E-mail: zhangxiaoqiuxhd@163.com

通信作者:李杨瑞,博士,教授。研究方向:甘蔗育种和栽培。E-mail: liyr@gxaas.net

杨丽涛,博士,教授。研究方向:甘蔗生理生化和分子生物学。E-mail: liyr@gxu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 病原菌的分离与培养

选取疑似感病果蔗(Badila),采用PCR检测是否感染RSD^[11]。确认带病后砍取感病蔗茎基部,除掉杂质和蜡粉,自来水冲洗干净后用去离子水冲洗2遍并喷洒酒精,在酒精灯火焰上快速消毒后去皮,切成5 cm长的小段,放入灭菌的50 mL离心管内,于3 500 r/min室温下离心15 min。收集离心管底部蔗汁,用定量中速滤纸初步过滤,再过孔径0.45 μm滤膜,把过滤除菌的蔗汁接种在MSC培养基上。待菌液完全被吸收后用封口膜封好,倒置于28℃恒温培养箱中培养。培养基配方参照Brumbley等^[5],略加修改。培养基配方(1 L):高压灭菌组分包包括Corn meal agar 17 g, Bacto-agar 4 g, Bacto-peptone 8 g, Bovine hemin chloride (0.1% solution in 0.05 mol/L NaOH) 30 mL, MgSO₄ 0.2 g, K₂HPO₄ (0.1 mol/L) 13 mL, KH₂PO₄ (0.1 mol/L) 87 mL, 加去离子水至900 mL,并用10 mol/L NaOH调至pH 7.5;过滤除菌组分包包括Glucose 2 g, Cysteine, free base 0.5 g, Bovine serum albumin, fraction V 2 g, 加去离子水至100 mL,过孔径0.22 μm滤膜后加入高压灭菌成分中并轻摇混匀。

1.2 电镜样品的制备

扫描电镜样品制备:取PCR检测带菌蔗茎基部切成5 mm×5 mm小块,放入3%戊二醛中固定2 h以上,PBS缓冲液清洗3次,50%、70%、80%、90%、100%乙醇依次脱水,六甲基二硅胺烷洗3次后抽真空,粘座,IB3离子溅射仪喷镀后用Tescan Vega 3扫描电镜观察并拍照。

透射电镜超薄切片制备:将收集到的菌液8 000 r/min,离心5 min成菌团,弃掉PBS上清液,换用ddH₂O,同样的方法冲洗菌团2遍后,立即加入3%戊二醛固定过夜。固定后于0.1 mol/L磷酸缓冲液清洗3次,每次15 min,在1%锇酸中固定1~2 h,然后用乙醇-丙酮逐级脱水:50%、70%、80%、90%乙醇、1/1混合液(90%乙醇/90%丙酮)、90%丙酮、3次100%丙酮(各级每次15 min)。浸透:丙酮/包埋剂=1/1渗透1 h,(1/3)渗透1~3 h或过夜,最后纯包埋剂全浸透2 h。再用纯包埋剂(环氧树脂618)包埋,并按35℃/5 h、45℃/12 h、60℃/24 h聚合后修块,用徕卡UC7超薄切片机切片,经醋酸铀-柠檬酸铅双重染色后,用日立H-7650型电子显

微镜观察、拍照。

透射电镜负染样品制备:用0.01 mol/L的PBS把已培养15~20 d且长势良好的菌落从培养基表面冲洗下来,收集于灭菌的1.5 mL离心管中。取1滴*Lxx*菌悬液于铜网上,用1%磷钨酸染色2~5 min,晾干后置于透射电镜上观察。

1.3 接菌试验

选取种植在广西大学农学院温室大棚内的甘蔗品种桂糖11号(GT11)和果蔗(Badila)作为试验材料。用PCR检测生长长势良好、无病虫害的蔗株,确认不带病后砍成单芽段,经50℃温汤脱菌2 h,获得无病种茎。在单芽段两个切面上接种10⁸ cfu/mL的菌液300 μL,分接菌处理和接种0.1 mol/L PBS的对照处理,28℃催芽2 d。于2014年1月21日沙培育苗,待其长至3叶期时移栽营养桶(直径300 mm,高350 mm)内土培。每处理6桶,每桶3株。土壤经过阳光暴晒3 d,每桶土20 kg。土壤养分,N/P/K比例为86.67/31.00/129.33。待其长至6~7叶时,PCR再次检测,确定侵染蔗株感染上RSD。

随机选取接菌处理中确认感染RSD的蔗株和对照处理蔗株各6株,分别在接菌后120、150、180、210 d,用LI-6400XT光合仪在晴朗的上午9:00~11:00测定+1叶净光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、胞间CO₂(C_i)和蒸腾速率(Tr),温度和湿度均为环境水平,人工光源,光量子通量密度为1 500 μmol/(m²·s)。

1.4 数据分析

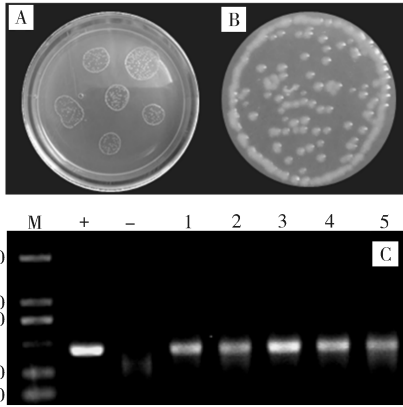
使用SPSS 15.0软件和Excel 2007对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 病原菌的菌落与鉴定

28℃恒温培养15~20 d后,培养基表面有细小的菌落长出。菌落圆形、无色透明、边缘整齐且中间隆起,直径0.1~0.3 mm。再生长2周后,菌落颜色略显乳白色,菌落直径也稍增大,可达0.5 mm。用数码相机对菌落进行拍照(图1-A,B)。随机挑取5个菌落进行PCR^[19]检测,待测菌落均能扩增出与正对照一致的目的条带(图1-C)。对目的条带进行胶回收,连接到pM18-T载体后转入大肠杆菌中表达,经双向测序测得片段大小为438 bp,与Genbank数据库中*Lxx*的相应区段序列(AE016822、

AF034641、DQ232616.2) 比对, 同源性均为 100%, 故可确认为 RSD 病原菌。



M: DNA marker; +: 正对照 Positive; -: 负对照 Negative; 1~5: 待测菌落 Measured colonies.

图 1 *Lxx* 菌落和 PCR 检测结果

Fig.1 Colonies and PCR detection results of *Lxx*

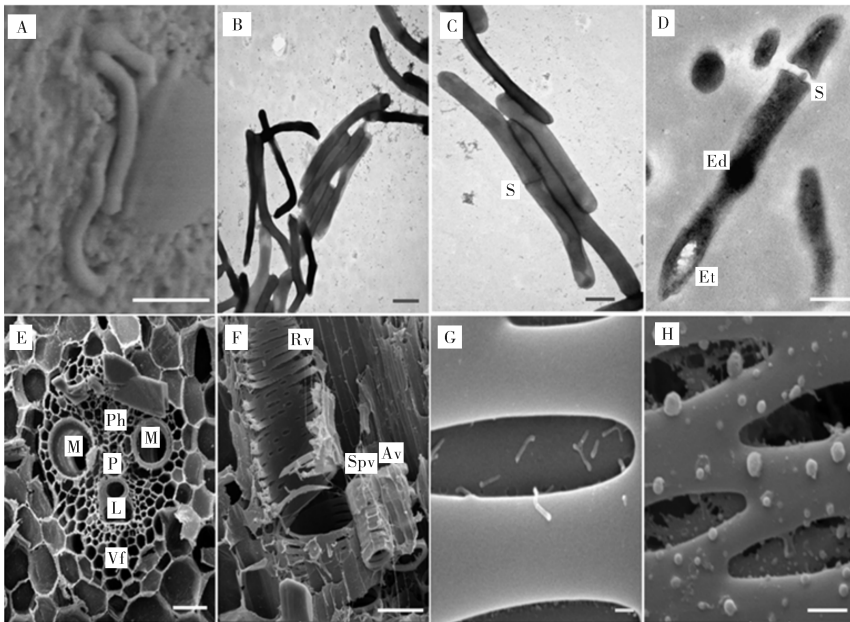
2.2 病原菌的形态特征

从扫描电镜和透射电镜观察的结果可知, *Lxx*

菌体表面光滑, 无鞭毛, 菌体有多种形态, 多数呈棒形, 有的具不同程度弯曲, 有的一端或中部略微膨大, 少数呈“V”形, 大小为 $(0.16 \sim 0.32) \mu\text{m} \times (1.1 \sim 3.2) \mu\text{m}$, 并可见部分细胞内有筒体与隔膜存在 (图 2-A, B, C)。 *Lxx* 的超薄切片显示其细胞壁光滑, 细胞质分布不均, 内有电子透明物、电子稠密物, 可观察到隔膜将细胞分隔 (图 2-D)。

从图 2-E 可见蔗茎维管束横切面上 2 个大而圆的后生木质部导管 (M), 初生木质部导管 (P) 在后生木质部导管中间, 气腔 (L) 靠近初生木质部导管, 另外还可见韧皮部 (Ph) 和纤维细胞 (Vf) 存在于导管周围。

从图 2-F 可见蔗茎 3 种导管, 分别为网纹导管 (Rv)、环纹导管 (Av) 和螺旋导管 (Scv)。从图 2-G 可见蔗茎螺旋导管纵切面的纹孔中观察到 *Lxx* 菌体, 与用电镜观察纯菌体时所得形态相一致, 其大小相近。在导管内的纹孔及导管壁上可见许多圆形颗粒状物质粘附 (图 2-H), 但在健康蔗茎导管内未见 *Lxx* 菌体及颗粒状物质。



A: *Lxx* 扫描电镜形态 ($\times 20\,000$); B, C: *Lxx* 透射电镜形态 ($\times 30\,000$); D: *Lxx* 超薄切片图 ($\times 40\,000$); E: 维管束横切面 ($\times 200$); F: 导管纵切面 ($\times 750$); G: 纹孔中的 *Lxx* ($\times 20\,000$); H: 网纹导管壁及纹孔粘附着圆形颗粒状物质 ($\times 20\,000$)。A: Morphology of *Lxx* under SEM; B, C: Morphology of *Lxx* under TEM; D: Internal form of *Lxx* showed ultrastructure; E: Cross section of vascular bundle; F: Vertical section of scalariform vessel; G: *Lxx* in pit; H: Many small particles existed in pits and wall in the vertical section of reticulate vessel. S: 隔膜 Septum; Ed: 电子稠密物 Electron dense substance; Et: 电子透明物 Electron transparency; M: 后生木质部导管 Metaxylem vessels; P: 初生木质部导管 Protoxylem vessels; L: 气腔 Lacuna; Av: 环纹导管 Annular vessel; Spv: 螺旋导管 Spiral vessel; Rv: 网纹导管 Reticulate vessel; Ph: 韧皮部 Phelom; Vf: 纤维细胞 Vascular fibroblast.

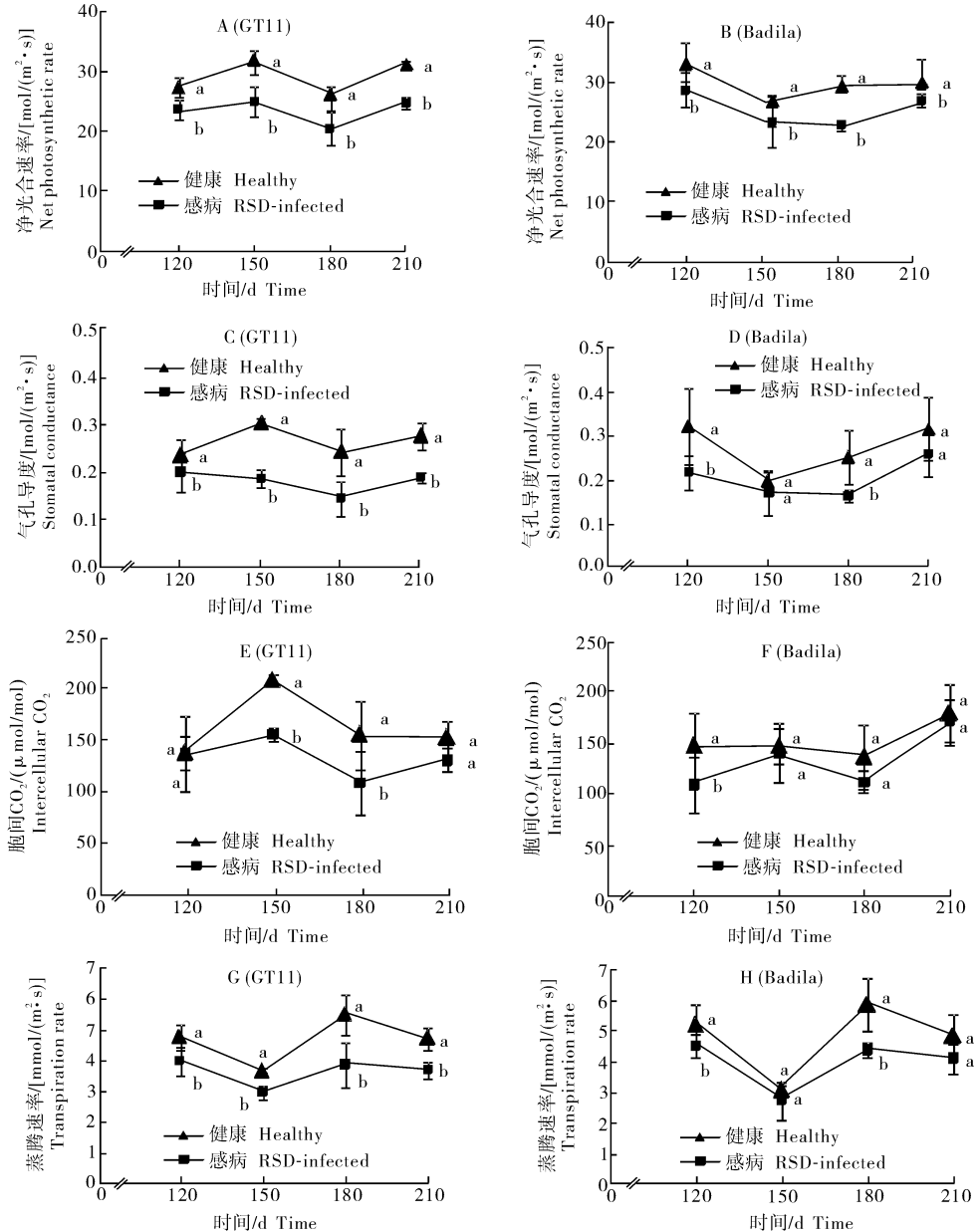
图 2 *Lxx* 菌体形态

Fig.2 The morphology of *Lxx*

2.3 病原菌感染对甘蔗光合作用的影响

由图 3 可知,GT11 和 Badila 感染 RSD 蔗株的净光合速率均低于对照。GT11 接菌处理 120、150、180、210 d 后分别比对照降低了 13.13%、21.66%、21.87%、20.64%,且差异均极显著。Badila 接菌处理 120、150、180、210 d 后分别比对照降低了 13.49%、13.19%、22.23%、9.88%,且接菌处理 120 d 和 180 d 的差异极显著,接菌处理 150 d 和 210 d 的差异显著。

RSD 对甘蔗气孔导度的影响,在 GT11 和 Badila 上均表现为接菌处理低于对照处理的。GT11 接菌处理在 120、150、180、210 d 分别比对照降低了 15.21%、38.72%、40.58%、31.99%,在 120 d 时差异显著,且后 3 个时期差异均极显著。Badila 接菌处理在各时期均低于对照,在 120 d 和 180 d 时分别降低 32.72%和 35.24%,且差异极显著;在 150 d 和 210 d 时降低虽不显著,但也分别降低了 13.41%和 18.21%。



不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 The different small letters mean significant difference ($P \leq 0.05$).

图 3 Lxx 感染对甘蔗光合作用的影响

Fig.3 Effects of Lxx infection on photosynthesis of sugarcane

GT11 接菌处理的胞间 CO₂ 除 120 d 外,其余各时期均低于对照,在 150 d 和 180 d 时差异极显著,到 210 d 时差异不显著,但低于对照 13.53%。Badila 接菌处理在各时期均低于对照,但只在 120 d 时差异极显著,其余各时期差异均不显著。

在蒸腾速率方面,GT11 接菌处理各时期均低于对照,且差异均极显著。Badila 接菌处理在各时期也都低于对照,除在 150 d 时差异不显著外,其余时期均达显著水平。这表明 GT11 和 Badila 接菌处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率在各时期均低于对照处理。

3 讨论

RSD 病原菌体外培养不容易成功,是因为其自身缺失编码 L-半胱氨酸和甲硫氨酸等关键基因^[12],而且生长期需要极其丰富的营养成分,这与其基因组内含有大量的假基因有关。Lxx 基因组内有 310 个假基因,占全部基因的 11.6%^[6],且该菌生长十分缓慢,生长周期长,一般需 4 周左右^[2],因此,与其他菌竞争力很弱,一旦分离培养成功即可得到纯菌落。本试验在培养 15~20 d 后有菌落长出,可能是因为改良后的培养基更适于 Lxx 的生长,或因寄主甘蔗来自于不同品种且生长环境不同。来源于同品种不同植株的原蔗汁接种时,有时菌落数很少,可能与蔗株本身带菌量很少有关。

本试验获得的菌落与 Davis 等^[2]和陈健文等^[13]描述的一致,但在菌体形态上略有不同。Davis 等^[2]、Kao 等^[14-15]和 Liao 等^[12]在观察 RSD 病原菌形态时,发现其有分支细丝存在,但本试验中无论是菌体纯培养物观察还是蔗茎超微结构观察时,均未发现 Lxx 有分支细丝。这可能是试验甘蔗品种不同及其所生长的环境不同所致,或可能是不同的生理小种所致。*Leifsonia xyli* subsp. *cynodontis* (Lxc) 是一种引起狗牙根草丛枝、矮化症状的病原菌,Lxx 与其在形态学和超微结构上不能区分,但可根据菌落差异进行区分。Lxc 菌落黄色,直径可达 0.5~1.0 mm,比 Lxx 菌落大许多,也是圆形、边缘整齐,也能在 SC 培养基上生长,且比 Lxx 容易培养,生长速度更快^[2,16-17]。本试验得到的菌落是从甘蔗体内分离且是无色的,故可断定不是 Lxc。本试验还观察到 RSD 病原菌寄居在甘蔗木质部导管中,菌体填充着纹孔,感病蔗茎木质部导管纹孔中及壁上都粘附着许多圆形颗粒状物质。随着甘蔗的不

断生长,菌体及圆形颗粒状物质不断增多,势必会因大量的菌体或菌体分泌物填充在导管内,而使甘蔗对水分和无机盐的运输能力降低,阻碍甘蔗的生长,导致其出现矮化症状。

陈明辉等^[8]观察 RSD 病原菌侵染甘蔗后发现株高下降,茎径变小、节间变短,感病叶片的叶绿体变形、基粒结构消失,叶绿体外膜和内膜剥离,推测其叶片的光合作用下降。本试验中 GT11 和 Badila 感染 RSD 后,Pn、Gs、Ci 和 Tr 均低于健康蔗株,证实了陈明辉等^[9]的推测,并可推断感病甘蔗光合能力下降主要是由非气孔因素引起的。于力等^[17]在研究黄花曲叶病毒对番茄叶片光合特性的影响时也发现光合作用光反应场所受到破坏,净光合速率下降。Zhao 等^[18]观察甘蔗锈病侵染甘蔗后也发现叶片 Pn、Gs 和 Tr 均有所下降,其原因由非气孔因素引起。本试验中发现感病蔗茎受病原菌和圆形颗粒状物质堵塞,说明蔗株的生长不良也有可能影响气孔的发育,进而使光合作用降低。改良的 MSC 培养基适用于 RSD 病原菌的分离培养,感染 RSD 蔗茎木质部导管被病原菌和圆形颗粒状物质堵塞,且 RSD 可降低甘蔗的光合作用。

参 考 文 献

- [1] 张荣跃,黄应昆,李文凤,等.甘蔗主栽品种宿根矮化病调查及病原检测[J].中国糖料,2014(2):26-27.
- [2] DAVIS M J, GILLASPIA A G, HARRIS R W, et al. Ratoon stunting disease of sugarcane: isolation of the causal bacterium [J]. Science, 1980, 210: 1365-1367.
- [3] EVTUSHENKO L, DOROFEEVA L, SUBBOTIN J, et al. *Leifsonia poae*, gen. nov., sp. nov., isolated from nematode galls on *Poa annua*, and reclassification of *Corynebacterium aquaticum* Leifson 1962 as *Leifsonia aquaticum* (ex Leifson 1962) gen. nov., nom. rev., comb. nov. and *Clavibacter xyli* Davis et al. 1984 with two subspecies as *Leifsonia xyli* (Davis et al. 1984) gen. nov., comb. nov. [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2000, 50: 371-380.
- [4] 陈明辉,杨丽涛,谢晓娜,等.甘蔗宿根矮化病研究进展[J].南方农业学报,2011,42(3):280-283.
- [5] BRUMBLEY S M, PETRASOVITS L A, BIRCH R G, et al. Transformation and transposon mutagenesis of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, causal organism of ratoon stunting disease of sugarcane [J]. Mol Plant-Microbe Interact, 2002, 15(3): 262-268.
- [6] MONTERO-VITORELLO C B, CAMARGO L E A, VAN SLUYS M A, et al. The genome sequence of the Gram-positive sugarcane pathogen *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* [J]. Molecular Plant-Microbe Interactions, 2004, 17: 827-836.
- [7] YOUNG A J, PETRASOVITS L A, CROFT B J, et al. Genetic

- uniformity of international isolates of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, causal agent of ratoon stunting disease of sugarcane [J]. Aust Plant Pathol, 2006, 35:503-511.
- [8] 陈明辉, 黄杏, 谢晓娜, 等. 宿根矮化病菌对甘蔗生长和内源激素的影响[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(3):57-61.
- [9] 陈明辉, 谢晓娜, 王盛, 等. 宿根矮化病菌对甘蔗品质及茎、叶超微结构的影响[J]. 植物病理学报, 2014, 44(4):379-386.
- [10] COMSTOCK J C. Sugarcane yield loss due to ratoon stunt [J]. Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists, 2008, 28:22-31.
- [11] PAN Y B, GRISHAM M P, BURNER D M, et al. A polymerase chain reaction protocol for the detection of *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*, the causal bacterium of ratoon stunting disease [J]. Plant Disease, 1998, 82:258-290.
- [12] LIAO C H, CHEN T A. Isolation, culture and pathogenicity to Sudan grass of a corynebacterium associated with ratoon stunting of sugarcane and with Bermuda grass [J]. Phytopathol. 1981, 71:1303-1306.
- [13] 陈健文, 刘睿, 沈万宽, 等. 广东甘蔗宿根矮化病菌的分离培养及鉴定[J]. 广东农业科学, 2008(8):68-70.
- [14] KAO J, DAMANN K E J. Microcolonies of the bacterium associated with ratoon stunting disease found in sugarcane xylem matrix [J]. Phytopathology, 1978, 68:545-551.
- [15] KAO J, DAMANN K E J. In situ localization and morphology of the bacterium associated with ratoon stunting disease of sugarcane [J]. Canadian Journal of Botany, 1980, 58:310-315.
- [16] MONTEIRO-VITORELLO C B, ZERILLO M M, SLUYS M A. Complete genome sequence of *Leifsonia xyli* subsp. *cynodontis* strain DSM46306, a gram-positive bacterial pathogen of grasses [J]. Genome Announcements, 2013, 1(6):1-2.
- [17] 于力, 郭世荣, 朱为民, 等. 番茄黄化曲叶病毒对番茄叶片光合特性和叶绿体超微结构的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(7):1355-1359.
- [18] ZHAO D L, GLYNN N C, GLAZ B, et al. Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane [J]. Plant Disease, 2011, 95:640-647.

Morphological characteristic of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* and its effects on photosynthesis of sugarcane

ZHANG Xiao-qiu¹ LIANG Yong-jian¹ TANG Yun-xian¹ SHAO Min¹ YANG Li-tao¹ LI Yang-rui²

1. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-Bioresources, College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture/Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning 530007, China

Abstract Ratoon stunting disease (RSD) of sugarcane is caused by *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*), a kind of gram-positive bacterium. The present study was conducted to observe the pathogenic morphology of RSD and the ultrastructure of RSD-infected stalk, and investigate its effect on photosynthesis of sugarcane under the pathogen stress. Transmission electron microscope (TEM) and scanning electron microscope (SEM) were used to observe the pathogenic morphology and ultrastructure of RSD-infected stalk. Net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), intercellular CO₂ (Ci) and transpiration rate (Tr) of RSD-infected sugarcane were determined by portable photosynthesis system. The results showed that the modified MSC medium was efficient for *Lxx* culture. The cell bodies showed various shapes and some had septum and mesosome. They showed uneven cytoplasm with electron transparency, electron dense and septum in the cell bodies. The pathogen and many small granular substances were observed in pits and on surface of the secondary wall of the xylem vessel in RSD-infected sugarcane stalk. The Pn, Gs, Ci and Tr were lower in RSD-infected sugarcane plants than the healthy ones.

Key words sugarcane; ratoon stunting disease (RSD); morphological characteristic; photosynthesis

(责任编辑:陈红叶)