

炭疽病菌侵染对香蕉采后品质变化及抗病相关酶活性的影响

李丽^{1,2}, 何雪梅^{1,2}, 李昌宝^{1,2}, 孙健^{1,2}, 零东宁¹, 盛金凤¹, 饶川艳¹,
肖占仕¹, 李杰民¹, 郑凤锦¹, 刘国明¹, 唐雅园¹

(1. 广西农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007)

(2. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室培育基地, 广西南宁 530007)

摘要: 研究人工接种炭疽病菌对采后香蕉果实贮藏品质的影响。分析测定了接种炭疽病菌后“宝岛蕉”和“东莞大蕉”两个品种香蕉果实的硬度、叶绿素含量、可溶性固形物含量、还原糖含量、可滴定酸含量、呼吸强度、病情指数及抗病相关酶 POD、PPO 活性等指标的变化。结果显示, 接种炭疽病菌的香蕉果实的硬度迅速下降, 贮藏 4 d 后显著低于未接种炭疽病菌组, 香蕉果皮叶绿素含量的分解速率显著增加, 加速了香蕉褪青和转黄; 接种炭疽病菌促进了果实中淀粉等多糖物质不断地向可溶性糖的转化, 可溶性固形物、还原糖含量明显增加, 对“宝岛蕉”的影响更为明显。炭疽病菌侵染促进了香蕉果实中可滴定酸含量的升高, 同时加快果实的呼吸和感病速率; 接种炭疽病菌后, 抗病相关酶 POD、PPO 活性显著升高。结果表明炭疽病菌的侵染加速了两种香蕉的成熟、软化、衰老及腐烂。

关键词: 炭疽病; 香蕉; 采后; 品质; 酶活性

文章编号: 1673-9078(2017)9-83-90

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.9.012

Effects of *Colletotrichum musae* Infection on the Postharvest Quality and Related Enzymatic Activities of Banana Fruit

LI Li^{1,2}, HE Xue-mei^{1,2}, LI Chang-bao^{1,2}, SUN Jian^{1,2}, LING Dong-ning¹, SHENG Jin-feng¹, RAO Chuan-yan¹,
XIAO Zhan-shi¹, LI Jie-min¹, ZHENG Feng-jin¹, LIU Guo-ming¹, TANG Ya-yuan¹

(1. Agro-food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China) (2. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning 530007, China)

Abstract: The effects of artificial inoculation with *Colletotrichum musae* on the postharvest quality of banana fruit were determined. Two banana cultivars (*Musa acuminata* L. AAA Cavendish 'Formosana' and *Musa* spp. ABB) were inoculated with *C. musae*, and changes in the hardness, chlorophyll content, total soluble solid content, reducing sugar content, titratable acid content, respiration intensity, and activities of enzymes related to disease resistance (polyphenol oxidase and peroxidase) were analyzed. The results showed that fruit hardness decreased rapidly after inoculation with *C. musae*, and was significantly lower than that of the control after four days of storage. *C. musae* infection led to a significant increase in the rate of chlorophyll decomposition in banana pericarp and the rate of the green-brown color change in banana fruit. Furthermore, *C. musae* infection promoted the continuous transformation of polysaccharides (e.g., starch) in fruit into soluble sugars, resulting in a significant increase in soluble solid and reducing sugar content; these changes were more pronounced in the *Musa* spp. ABB cultivar. *C. musae* infection accelerated the increase in titratable acid content during storage, enhanced the respiration rate and the rate of infection, and significantly

收稿日期: 2017-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31160407、31560467、31660589); 国家公益性行业(农业)科研专项(201303073); “八桂学者”工程专项经费([2016]21); 国家中组部“万人计划”青年拔尖人才项目(组厅字[2015]48号); 广西自然科学基金项目(2014GXNSFAA118110、2014GXNSFDA118013、2015GXNSFBA139102); 广西农业重点科技计划项目(201527); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科合 15104001-23、桂科合 1347004-18、桂科 AD16380015); 留学人员科技活动项目择优资助项目(人社厅函[2015]192号); 南宁市科学研究与技术开发计划(20142305); 广西农业科学院基本科研业务费项目(桂农科 2015YT86、桂农科 2015JM14、桂农科 2014YQ05、桂农科 2014JQ04、桂农科 2015JZ75、农成转 2016018、2017NZ13)

作者简介: 李丽(1983-), 女, 硕士研究生, 副研究员, 研究方向: 农产品采后保鲜

通讯作者: 孙健(1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工

increased the activities of polyphenol oxidase and peroxidase in banana fruit. These results indicate that infection with *C. musae* can accelerate the maturation, softening, senescence, and decay of banana fruit.

Key words: *Colletotrichum musae*; banana; postharvest; quality; enzymatic activity

香蕉 (*Musa acuminata*) 为热带和亚热带“四大果品” (荔枝、菠萝、椰子和香蕉) 之一, 是倍受人们喜爱的水果, 在 120 多个国家和地区均有种植^[1-3]。由于其营养价值丰富, 栽培简单, 产量高, 成为热带、亚热带发展中国家最重要的作物之一, 被誉为世界第四大粮食作物^[4,5]。香蕉属于典型的呼吸跃变型果实, 即采后成熟过程中有明显的呼吸跃变, 果实达到完熟的时候呼吸强度最大, 然后随着果实组织衰老而逐渐降低。香蕉在贮藏运输中果实易后熟而变软、变黄, 低温贮藏中极易受到冷害, 导致果皮快速褐变, 催熟后出现斑点; 温度较高时又易发生病害, 从而降低香蕉的商品价值, 制约香蕉产业的发展^[6]。

炭疽病 (*Colletotrichum musae*) 又称黑腐病、熟果腐烂病, 在香蕉田间生长期就潜伏在果皮内, 在香蕉采后贮运期间随着果实成熟逐渐显现症状, 造成蕉果严重腐烂, 是香蕉采后贮藏、运输过程中发生的主要病害之一, 广泛分布于世界各蕉区^[7]。炭疽病菌的侵染可诱导香蕉采后产生系列生理生化反应, 但目前对于炭疽病菌对香蕉采后中品质影响缺乏系统研究。因此, 本文系统分析测定了炭疽病菌侵染对“宝岛蕉”和“东莞大蕉”两个品种香蕉果实的硬度、叶绿素含量、可溶性固形物含量、还原糖含量、可滴定酸含量、呼吸强度、病情指数以及抗病相关酶 POD、PPO 活性等指标的影响, 以期对香蕉采后炭疽病控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 原料

供试香蕉品种宝岛蕉 (*Musa acuminata* L. AAA Cavendish ‘Formosana’) 由广西农业良种海南南繁育种基地提供, 东莞大蕉 (*Musa* spp. ABB) 由广西农业科学院园艺研究所提供, 采收成熟度为 7~8 成熟, 挑选果形端正、无机械伤和病虫害的蕉指作试材。2016 年 7 月采后立即装箱运回实验室。香蕉去轴落梳, 再分切成蕉指, 挑选出完好、无病虫害、无机械损伤、大小均匀一致的果实, 先用 0.1% 次氯酸钠溶液浸泡清洗 10 min, 取出晾干后备用。

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、蒽酮、乙酸乙酯、浓硫酸、3,5-二硝基水杨酸和 NaOH 均为分析纯。

1.2 主要仪器设备

UV-3200 PCS 型紫外可见分光光度计, 上海美普达仪器有限公司; GY-4 果实硬度计, 艾德堡仪器有限公司; BIC-300 人工气候箱, 上海博讯实业有限公司; JY6002 电子天平, 上海良平仪器仪表有限公司; Hitachi Himac CR-22G 高速低温离心机, 日本日立公司; Hitachi G3900 气相色谱仪, 日本日立公司。

1.3 实验方法

1.3.1 病菌培养与样品处理

供试病菌从表现典型炭疽病症状的香蕉果实上按组织分离方法分离得到。将病果果皮用自来水冲洗干净, 用无菌吸水纸吸干表面的水珠, 将病果皮剪成长宽各 5 mm 的小块, 先在 70% 的酒精溶液中浸泡 3~5 s, 然后放入浓度为 0.1% 的升汞溶液中处理 30~60 s, 接着用灭菌水清洗 3~4 次, 再将其置于 PDA 平板上, 每个平板放置 5 块病组织, 然后置于 25 °C 和 RH 95% 条件下培养, 待培养病组织块周围长出特征菌落, 其直径达 20~30 mm 时, 切取菌落边缘的菌丝块移植于马铃薯琼脂培养基 (PDA) 平板上进行纯化培养, 并验证其致病性。测试前移入 PDA 培养基平板上培养 6 d (28 °C)。采后果实人工喷雾接种香蕉炭疽病菌分生孢子悬浮液 (10^6 个孢子/mL), 以喷雾自来水作对照。处理后用处理后用 0.03 mm 厚聚乙烯薄膜袋包装, 置于 28 °C 下贮藏, 观察炭疽病发生情况, 定时测定果实呼吸速率。接种前取一次果实用于测定生理指标变化, 接种后每 2 d 取样一次。每次从 6 个果实上取样, 3 次重复。

1.3.2 硬度测定

采用 GY-4 型果实硬度计, 硬度计针头为圆筒型, 直径为 5 mm, 长度为 10 mm。每次随机取 3 个果实, 先将香蕉去皮后果实从中部横切, 每个切面测定 2 个点, 4 个值的平均值为该果实的硬度, 硬度单位用 N/cm^2 表示^[8]。

1.3.3 叶绿素测定

参照邹林有^[9]的方法, 用丙酮提取法测定果皮总叶绿素含量。

1.3.4 可溶性固形物测定

可溶性固形物 (TSS) 含量测定采用手持式折光仪测定^[10]。

1.3.5 还原糖测定

称取 10 g 香蕉果肉, 研磨成浆后转入 250 mL 烧杯中, 加入 20 mL 蒸馏水, 沸水浴提取 10 min, 取出过滤至 50 mL 容量瓶中; 重复沸水浴提取一次, 取出过滤至 50 mL 容量瓶中并加蒸馏水定容至刻度。用 3,5-二硝基水杨酸法测定, 重复 3 次。

1.3.6 可滴定酸测定

可滴定酸 (TA) 含量测定参照龙淑珍和何永群^[11]的方法, 称取 10 g 果肉, 研磨成浆后转入 100 mL 容量瓶中, 再用蒸馏水冲洗研钵, 定容。静置 30 min 后过滤。取 10 mL 样液, 加入酚酞指示剂两滴, 用 NaOH 标准溶液滴定, 重复 3 次。

1.3.7 呼吸强度测定

参照李欣允等^[12]的方法, 随机取香蕉果实 3 个, 置于 4000 mL 密封罐中, 在贮藏温度下密闭 3 h 后取气 1 mL, 用 Hitachi G3900 气相色谱仪测定 CO₂ 浓度。气相色谱工作条件为: 热导池检测器 (TCD)、柱温 60 °C、进样器温度 40 °C、载气为 He、流速 20 mL/min。每个处理 3 次重复, 每重复测 3 个值。

1.3.8 病情指数测定

参照郑永华^[13]的方法并加以改进: 根据果实表面腐烂面积大小分为 0~4 级。分级标准: 0 级果 (无病斑)、1 级果 (<1/10 病斑)、2 级果 (1/10~1/4 病斑)、3 级果 (1/4~1/2 病斑) 和 4 级果 (>1/2 病斑)。取样后每天测量病斑大小^[17], 病情指数(%)= $\frac{\sum(\text{腐烂级别} \times \text{该级别样品数量})}{(\text{最高级别} \times \text{样品总数量})} \times 100\%$ 。

1.3.9 酶活性测定

多酚氧化酶 (PPO): 取 2 g 香蕉果皮, 用 10 mL、0.05 mol/L pH 6.8 磷酸缓冲液 (含 5 mmol/L 巯基乙醇, 0.2 g 不溶性聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)) 浆匀, 13000 r/min (4 °C) 离心 20 min, 上清液为 PPO 粗酶提取液。反应系统: 2 mL、0.05 mol/L pH 6.8 磷酸缓冲液, 1 mL 1.25% 邻苯二酚, 0.05 mL 酶液, 测定 1 min 内 450 nm 处吸光值变化, 以吸光值变化 0.001 为一个酶活力单位 U, 酶活力表示为 U/g^[14]。

过氧化物酶 (POD): 取 2 g 香蕉果皮, 用 10 mL、0.05 mol/L pH 7.8 磷酸缓冲液 (含 5 mmol/L 巯基乙醇, 0.2 g 不溶性 PVP) 浆匀, 13000 r/min (4 °C) 离心 20 min, 上清液为 POD 粗酶提取液。反应系统: 2.75 mL、0.05 mol/L pH 7.8 磷酸缓冲液, 0.1 mL 愈创木酚, 0.1 mL H₂O₂, 0.05 mL 酶液, 测定 1 min 内 470 nm 处吸光值变化, 以吸光值变化 0.001 为一个酶活力单位 U, 酶活力表示为 U/g^[15]。

1.3.10 统计分析

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析。各项生理生化指标结果均以平均值±标准误差表示, 利用邓肯氏新复极差法比较因素水平间的显著性方差分析。利用 Origin 8.01 软件进行数据处理及绘图。

2 结果与讨论

2.1 炭疽病菌侵染对香蕉硬度的影响

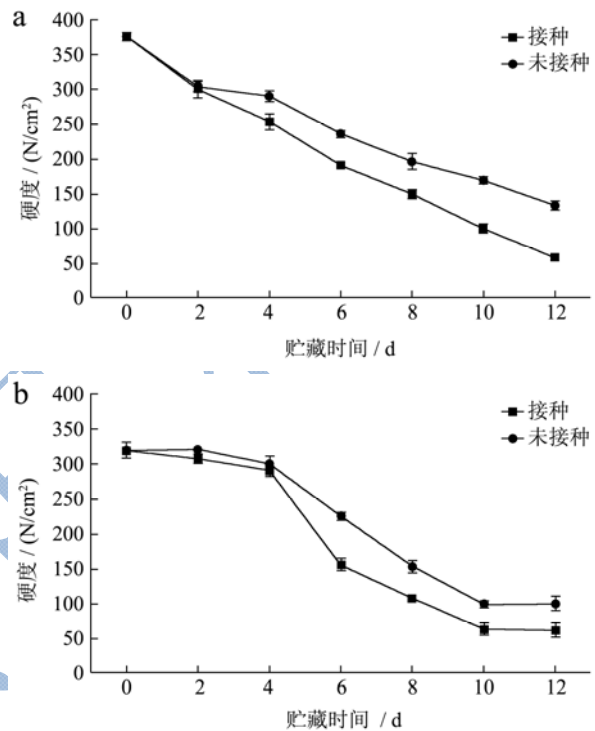


图 1 接种炭疽病菌对香蕉硬度的影响

Fig.1 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the hardness of banana

注: a 表示宝岛蕉; b 表示东莞大蕉。

果实硬度是香蕉采后耐贮性的重要品质指标之一。由图 1a 可知, 宝岛蕉采后随着贮藏时间的延长逐渐成熟, 硬度迅速下降, 从第 4 d 开始, 接种炭疽病菌的宝岛蕉的硬度显著低于未接种炭疽病菌组 ($p < 0.05$)。由图 1b 可知, 东莞大蕉的硬度在采后前 4 d 变化不大, 此后随着贮藏时间的延长硬度迅速降低, 且接种炭疽病菌的果实硬度显著低于对照组 ($p < 0.05$)。说明炭疽病菌的侵染引起香蕉果实的成熟软化。

2.2 炭疽病菌侵染对香蕉果皮叶绿素含量的影响

叶绿素含量是香蕉果实成熟度的重要指标之一, 随着果实逐渐成熟, 叶绿素不断分解, 合成减少。由

图 2a 可知, 宝岛蕉采后果皮中叶绿素含量不断下降, 接种炭疽病菌果皮前 4 d 叶绿素含量下降速率较快, 此后下降速度有所减缓, 并且在第 4 d 和第 6 d 显著低于对照组 ($p < 0.05$)。从图 2b 可以看出, 东莞大蕉叶绿素含量在采后前 2 d 急速下降, 之后缓慢减少, 接种炭疽病菌的叶绿素含量一直低于对照组。炭疽病菌侵染加速了香蕉果皮中叶绿素的分解。

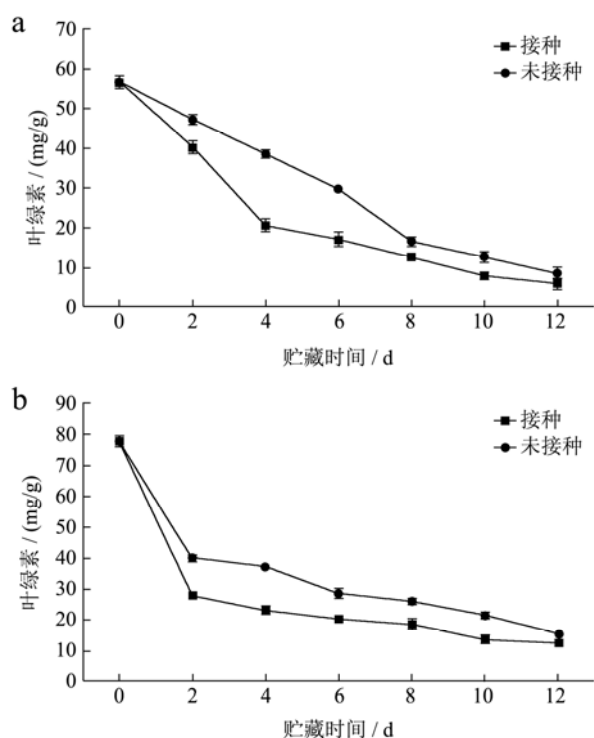


图 2 接种炭疽病菌对香蕉叶绿素的影响

Fig.2 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the chlorophyll content of banana

注: a 表示宝岛蕉; b 表示东莞大蕉。

2.3 炭疽病菌侵染对香蕉可溶性固形物含量的影响

香蕉果实甜味是可溶性固形物中糖类化合物的反映, 其中葡萄糖、蔗糖和果糖等是香蕉主要甜味源之一, 也是香蕉采后贮藏品质指标之一。由图 3a 可知, 宝岛蕉中的可溶性固形物含量随着贮藏时间的延长而不断升高, 接种炭疽病菌宝岛蕉的可溶性固形物含量在采后第 4 d、第 12 d 显著高于对照组 ($p < 0.05$)。由图 3b 可知, 随着贮藏时间的延长, 东莞大蕉可溶性固形物的含量不断升高, 接种炭疽病菌宝岛蕉的可溶性固形物含量采后第 4 d、第 6 d 和第 8 d 显著高于对照组 ($p < 0.05$), 并在采后第 8 d 达到峰值 25.2%, 之后随着时间的延长, 可溶性固形物含量基本不变。炭疽

病菌侵染后加速了香蕉果实中的淀粉等多糖物质不断地向可溶性糖的转化, 进而提高了可溶性固形物含量。

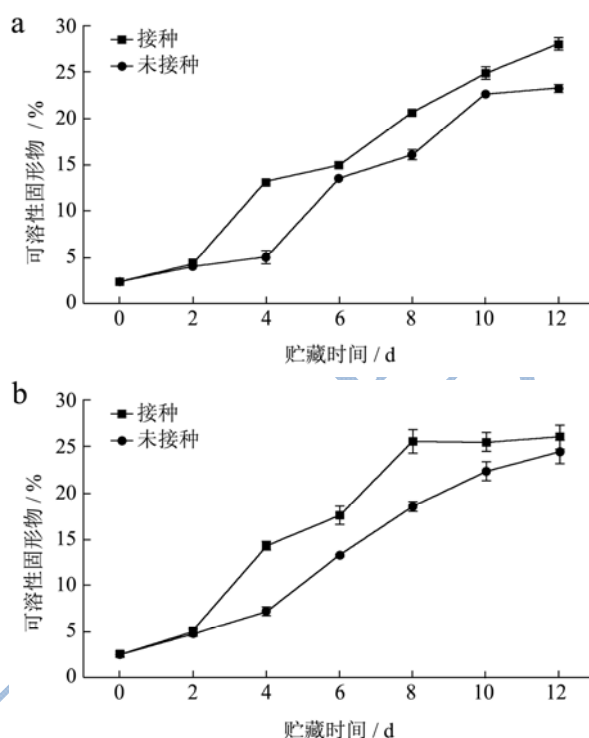


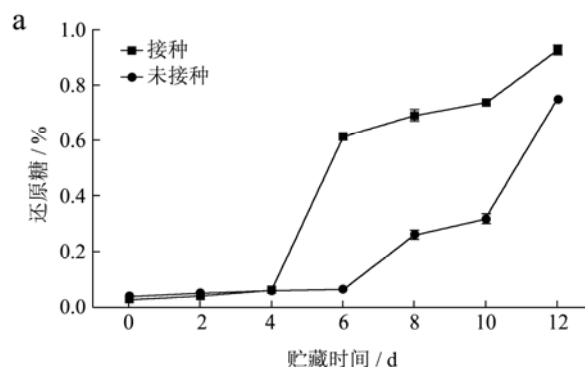
图 3 接种炭疽病菌对香蕉可溶性固形物的影响

Fig.3 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the total soluble solid content of banana

注: a 表示宝岛蕉; b 表示东莞大蕉。

2.4 炭疽病菌侵染对香蕉还原糖含量的影响

由图 4a 可知, 接种炭疽病菌宝岛蕉前 4 d 内果实中还原糖含量基本保持不变, 之后迅猛上升, 显著高于对照组 ($p < 0.05$)。由图 4b 可以看出, 接种炭疽病菌东莞大蕉果实中还原糖含量前 2 d 内基本保持不变, 此后逐渐上升, 显著高于对照组 ($p < 0.05$)。在香蕉贮藏期内, 其还原糖变化规律与果实可溶性固形物变化规律一致, 在成熟过程中, 果实中的淀粉转化为可溶性还原糖, 使还原糖含量不断升高, 接种炭疽病菌加速了淀粉的转化。



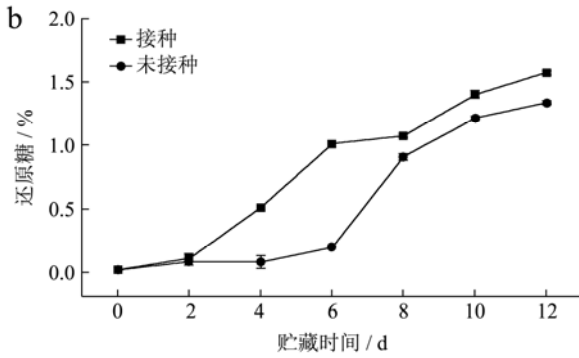


图4 接种炭疽病菌对香蕉还原糖的变化

Fig.4 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the reducing sugar content of banana

注: a 表示宝岛蕉; b 是东莞大蕉。

2.5 炭疽病菌侵染对香蕉可滴定酸含量的影响

影响

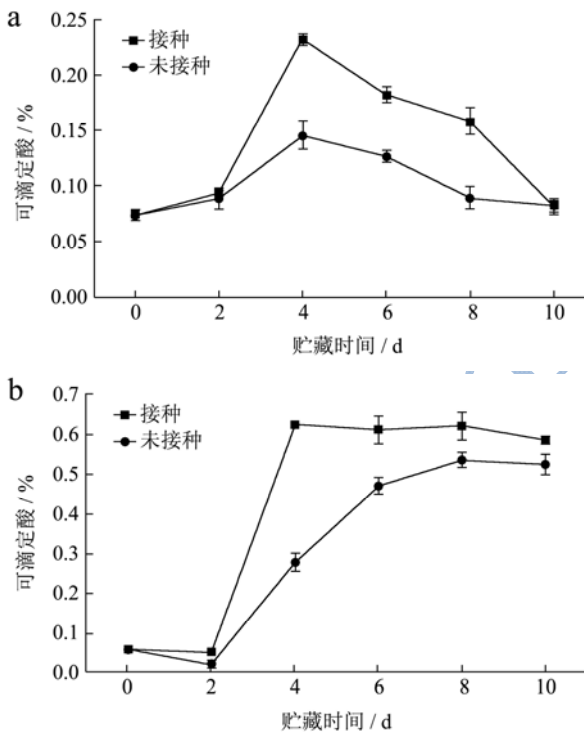


图5 接种炭疽病菌对香蕉可滴定酸含量的影响

Fig.5 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the titratable acidity content of banana

注: a 表示宝岛蕉; b 表示东莞大蕉。

香蕉中有机酸的种类很多, 它们的含量对香蕉的风味、贮藏性都有影响。由图 5a 可以看出, 采后宝岛蕉的可滴定酸含量先升高后下降, 在第 4 d 时都达到最大值, 而接种了炭疽病菌的果实在采后第 4 d、第 6 d 和第 8 d 显著高于对照组 ($p < 0.05$)。由图 5b 可知, 东莞大蕉果实可滴定酸在采后 2 d 后呈现上升趋势,

并且接种了炭疽病菌的果实可滴定酸含量显著高于对照组 ($p < 0.05$)。说明炭疽病菌侵染后促进了香蕉果实中可滴定酸含量的升高, 加速了香蕉成熟。

2.6 炭疽病菌侵染对香蕉呼吸速率的影响

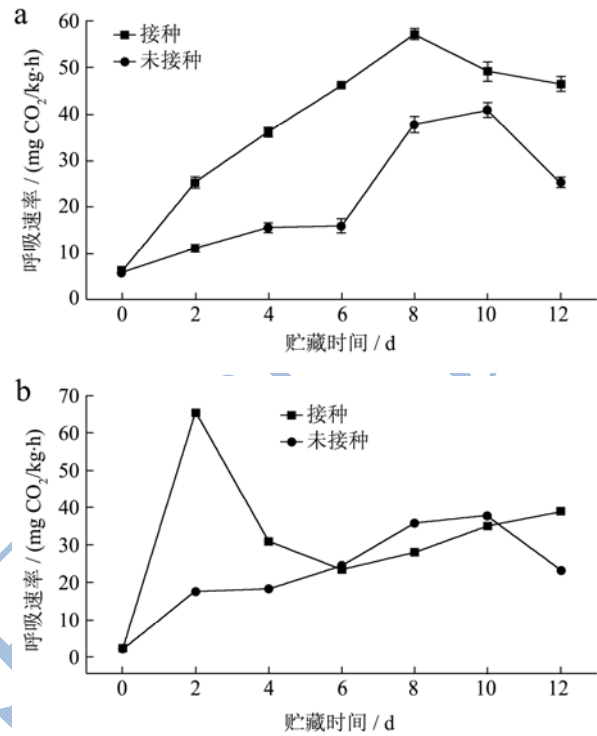


图6 接种炭疽病菌对香蕉呼吸速率的影响

Fig.6 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the respiration rate of banana

注: a 表示宝岛蕉; b 表示东莞大蕉。

呼吸速率指在一定温度下, 单位重量的组织在单位时间内吸收氧或释放二氧化碳的量, 可以反映香蕉果实采摘后代谢活动的强弱。由图 6a 可以看出, 宝岛蕉采摘后呼吸速率呈现先上升后下降的趋势, 接种炭疽病菌的宝岛蕉果实呼吸速率在第 8 d 达到的最大呼吸峰, 比未接种组提前了 2 d。由图 6b 可知, 接种炭疽病菌的东莞大蕉果实呼吸速率在第 2 d 达到最大呼吸峰, 在采后第 2 d 和第 4 d 显著高于对照组 ($p < 0.05$)。主要是由于炭疽病菌侵染诱导香蕉果实产生的生理反应促进了香蕉果实呼吸速率增高。

2.7 炭疽病菌侵染对香蕉病情指数的影响

病情指数是反映果蔬贮藏期间病害发生程度的一个重要指标。由图 7a 可以看出, 随着贮藏时间的延长, 宝岛蕉的病情指数均呈逐渐上升的趋势, 而且接种了炭疽病菌的果实病情指数在贮藏 4 d 后显著高于未接种组 ($p < 0.05$)。由图 7b 可知, 接种炭疽病菌的东莞大蕉病情指数在 6 d 后显著高于未接种组 ($p < 0.05$),

说明随着贮藏时间的延长, 病菌对果实的浸染也逐渐加深, 果实成熟加快, 使果实的病斑扩大和增加, 病情指数呈现上升趋势。

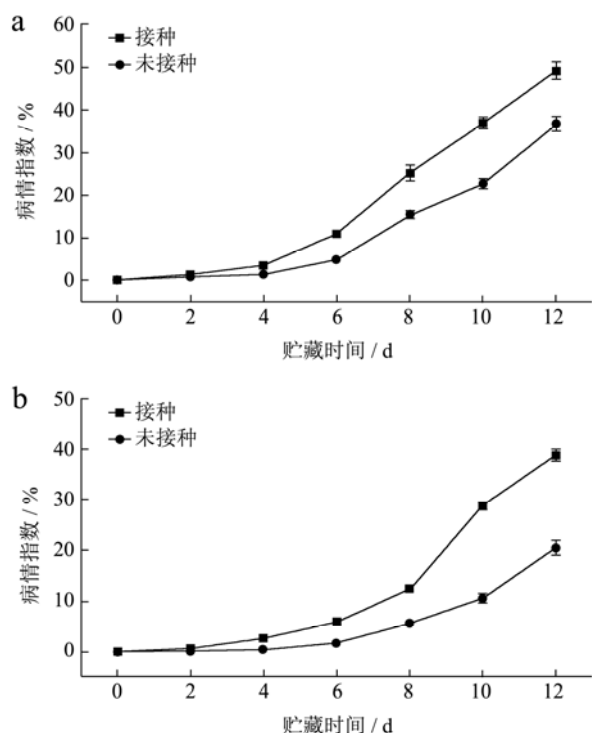


图7 接种炭疽病菌对香蕉病情指数的影响

Fig.7 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the disease index of banana

注: a表示宝岛蕉; b表示东莞大蕉。

2.8 炭疽病菌侵染对香蕉抗病相关酶活的影响

POD 可催化酚类物质的前体聚合为木质素, 加固植物细胞壁, 从而进一步抵抗病原物侵袭的作用^[16]。图 8 反映的是接种炭疽病菌后香蕉 POD 酶活性的变化。

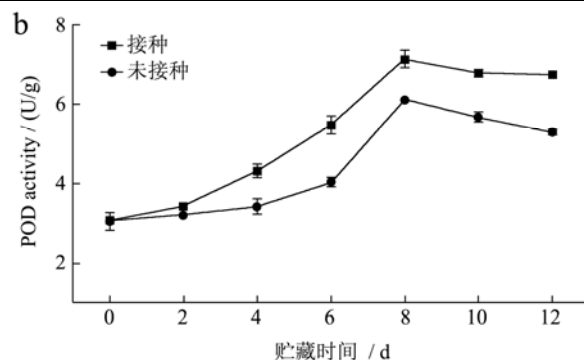
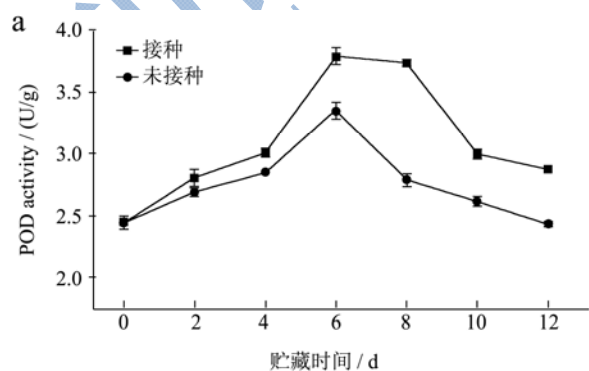


图8 接种炭疽病菌对香蕉 POD 活性影响

Fig.8 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the peroxidase (POD) activity of banana

注: a表示宝岛蕉; b表示东莞大蕉。

由图 8a 可以看出, 宝岛蕉贮藏初期, 酶活性显著上升, 但在贮藏 6 d 后, 酶活不断下降, 并且炭疽病菌侵染组的酶活性都显著高于对照 ($p < 0.05$)。由图 8b 可知, 接种炭疽病菌的东莞大蕉 POD 酶活性在 4d 后显著高于未接种组 ($p < 0.05$), 说明随着贮藏时间的延长, 病菌对果实的浸染使 POD 酶活性减小, 进一步降低了果实的抗病性。

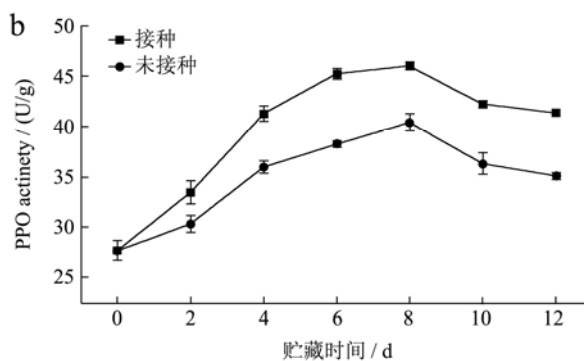
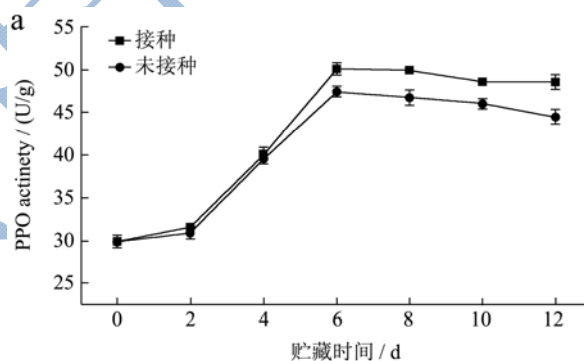


图9 接种炭疽病菌对香蕉 PPO 活性影响

Fig.9 Effect of inoculation with *Colletotrichum musae* on the polyphenol oxidase (PPO) activity of banana

注: a表示宝岛蕉; b表示东莞大蕉。

图 9 反映接种炭疽病菌后香蕉 PPO 酶活性的变化,两个品种的香蕉在贮藏初期 PPO 酶活性不断上升,宝岛蕉在第 6 d、东莞大蕉在第 8 d 达到最大值,随贮藏时间的延长 PPO 酶活性有所下降。

由图 9a 可以看出,宝岛蕉在贮藏 6 d 后,炭疽病菌侵染组的酶活性都显著高于对照 ($p < 0.05$)。由图 9b 可知,接种炭疽病菌的东莞大蕉 POD 酶活性在 4 d 后显著高于未接种组 ($p < 0.05$)。PPO 酶活性与植物的抗病性密切相关,高活性的 PPO 与清除自由基和形成抑菌的醌类物质有关,而在有些植物中,低活性 PPO 则有利于活性氧的积累,这对病原菌有直接的杀伤作用,并且通过促进细胞壁的木质化和结构蛋白的聚合形成最初的防卫屏障^[17]。

3 结论

本研究测定了接种炭疽病菌后“宝岛蕉”和“东莞大蕉”两个品种香蕉果实的硬度、叶绿素含量、可溶性固形物含量、还原糖含量、可滴定酸含量、呼吸强度、病情指数及抗病相关酶 POD、PPO 活性等指标的变化。结果表明,接种炭疽病菌的香蕉果实呼吸速率、病情指数、可溶性固形物含量、还原糖含量和可滴定酸含量与对照组相比显著增高,果实硬度和果皮叶绿素含量显著下降。炭疽病菌的侵染亦引起香蕉酚类物质代谢的变化,受到炭疽病菌侵染的香蕉 POD 和 PPO 活性显著增高。李欣允等^[12]研究了炭疽病菌侵染对荔枝果实生理生化变化的影响,结果表明炭疽病菌的侵染可以致使荔枝果实呼吸速率和乙烯释放量显著的增高,加速了荔枝果皮氧化和过氧化进程,同时能够诱导荔枝果皮 PPO、POD、PAL 活性增高,是加速采收后荔枝果实衰老、劣变的一个重要原因。植物受到病原菌侵染时,为了抵御病原菌而合成大量酚类物质,这些酚类物质及其氧化产物醌类对病原菌具有很高的毒性,一方面可以钝化病原菌产生的毒素,另一方面可能是植保素合成的前体,参与植物对病原菌生化和物理防御^[18]。本研究结果可为香蕉采后炭疽病控制提供理论依据。

参考文献

- [1] 赖长鸿,王忠合,王军,等.香蕉成熟度对香蕉粉中营养成分及功能特性的影响[J].食品科技,2016,41(7):92-96
LAI Chang-hong, WANG Zhong-he, WANG Jun, et al. Effect of maturities on nutritional components and functional properties of banana powder [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7): 92-96
- [2] 刘伟鑫,张建平,金志强,等.不同温度处理对宝岛蕉果皮色泽的影响[J].热带作物学报,2014,35(3):471-475
LIU Wei-xin, ZHANG Jian-ping, JIN Zhi-qiang, et al. Change of peel colour of banana (*Musa acuminata* L.AAA Cavendish. cv. 'Formosana') fruit during ripening at different temperatures [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(3): 471-475
- [3] Mendoza R, Castellanos D A, García J C, et al. Ethylene production, respiration and gas exchange modelling in modified atmosphere packaging for banana fruits [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(3): 777-788
- [4] Hailu M, Workneh T S, Belew D. Review on postharvest technology of banana fruit [J]. African Journal of Biotechnology, 2013, 12: 635-647
- [5] 李哲,黄霞,李筱菊,等.大蕉 (*Musa paradisiaca* ABB Linn.) 花序愈伤组织的诱导及其体细胞胚发生[J].植物生理学通讯,2005,41(5):616-618
LI Zhe, HUANG Xia, LI Xiao-Ju, et al. Callus induction and somatic embryogenesis from inflorescences of *Musa paradisiaca* ABB Linn. [J]. Plant Physiology Communications, 2005, 41(5): 616-618
- [6] 李昌宝,李丽,孙健,等.CIO₂ 结合 1-MCP 处理对香蕉采后贮藏品质的影响[J].南方农业学报,2012,43(5):679-682
LI Chang-bao, LI Li, SUN Jian, et al. Effects of ClO₂ and 1-MCP treatments on post-harvest storage quality of banana [J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(5): 679-682
- [7] 杜婵娟,付岗,潘连富,等.香蕉炭疽病拮抗菌 Bs6602 的诱变选育及防病作用研究[J].植物保护,2016,42(5):69-74
DU Chan-juan, FU Gang, PAN Lian-fu, et al. Mutation breeding and control effect of banana *Anthraco*se antagonistic strain Bs6602 [J]. Plant Protection, 2016, 42(5): 69-74
- [8] 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 Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Fruits and vegetables postharvest physiological and biochemical experiment guidance [M]. Beijing: China light Industry Press, 2007
- [9] 邹林有.宽叶荨麻叶绿素提取工艺的研究[J].安徽农业科学,2012,40(24):12235-12236
ZOU Lin-you. Extraction technology of chlorophyll from *urtica laetevirens* maxim leaves [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(24): 12235-12236
- [10] Arti B, Rakesh M, Pushpa L, et al. Role of secondary metabolites and brassinosteroids in plant defense against

- environmental stresses [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2013, 32(1): 216-232
- [11] 龙淑珍,何永群.荔枝可滴定酸与维生素C的测定及其相关性[J].*广西农业科学*,2002,4:188-189
LONG Shu-zhen, HE Yong-qun. Litchi titratable acid and the determination of vitamin C and its correlation [J]. *Guangxi Agricultural Science*, 2002, 4: 188-189
- [12] 李欣允,陈维信,刘爱媛.炭疽病菌感染对荔枝果实生理生化变化的影响[J].*亚热带植物科学*,2006,35(1):1-4
LI Xin-yun, CHEN Wei-xin, LIU Ai-yuan. Effects of *colletotrichum gloeosporioides* infection on physiological and biochemical changes of litchi fruit [J]. *Subtropical Plant Science*, 2006, 35(1): 1-4
- [13] 郑永华,苏新国,毛杭云.纯氧处理草莓的保鲜效果初探[J].*南京农业大学学报*,2001,24(3):85-88
ZHENG Yong-hua, SU Xin-guo, MAO Hang-yun. A preliminary study on the effects of pure oxygen on strawberry fruit storage [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2001, 24(3): 85-88
- [14] Sun J, Li C, Prasad K N, et al. Membrane deterioration, enzymatic browning and oxidative stress in fresh fruits of three litchi cultivars during six-day storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 148: 97-103
- [15] Sun J, You X, Li L, et al. Effects of a phospholipase D inhibitor on postharvest enzymatic browning and oxidative stress of litchi fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 62(3): 288-294
- [16] 庞学群,黄雪梅,李军,等.热水处理诱导香蕉采后抗病性及其对相关酶活性的影响[J].*农业工程学报*,2008,24(2):221-225
PANG Xue-qun, HUANG Xue-mei, LI Jun, et al. Hot water dipping induced resistance to disease *Colletotrichum musae* on banana fruits and its effect on related enzymes [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(2): 221-225
- [17] 潘汝谦,黄旭明,古希昕.活性氧清除酶类在黄瓜感染霜霉病过程中的活性变化[J].*植物病理学报*,1999,29(3):287-288
PAN Ru-qian, HUANG Xu-ming, GU Xi-xin. Activity change in active-oxygen scavenging enzymes in cucumber infected by downymildew [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1999, 29(3): 287-288
- [18] Oracz K, El-Maarouf-Bouteau H, Kranner I, et al. The mechanisms involved in seed dormancy alleviation by hydrogen cyanide unravel the role of reactive oxygen species as key factors of cellular signaling during germination [J]. *Plant Physiology*, 2009, 150: 494-505