

# 芒果叶疫病胁迫下水杨酸对芒果幼苗生理作用的影响

杨郑州<sup>1, 2, 3</sup>, 谢晓娜<sup>1, 2, 3</sup>, 李曦<sup>1, 2, 3</sup>, 欧阳秋飞<sup>1, 2, 3</sup>

(1.百色学院农业与食品工程学院, 广西百色 533000; 2.广西芒果生物学重点实验室, 广西百色 533000;

3.亚热带特色农业产业学院, 广西百色 533000)

**摘要:** 芒果属漆树科芒果属, 性喜温暖, 是世界五大热带水果之一, 我国是世界芒果生产大国, 近年来芒果种植面积逐步扩大, 由于疏于管理, 使得芒果病虫害种类和数量都在不断增多, 给芒果生产造成了严重损失。叶疫病是芒果生产中常见的一种真菌病害, 为研究叶疫病菌感染芒果后相关抗性指标的变化及水杨酸对芒果叶疫病的抗性诱导机制, 为芒果叶疫病的防治提供参考。试验将水杨酸溶液喷洒于台农1号芒果幼苗叶面, 然后将已纯化的叶疫病菌, 通过针刺法接种到健康种苗, 将感染叶疫病病菌的种苗进行胁迫处理。设不接种+喷无菌水、接种叶疫病菌+喷无菌水、接种叶疫病菌+0.5 mmol/L水杨酸3组, 分别在第1、3、5、7、9、11天采样测定生理指标。结果表明, 只接种叶疫病菌后芒果幼苗的叶绿素、丙二醛、可溶性糖含量降低, 脯氨酸含量增加, 经0.5 mmol/L水杨酸处理后提高了叶绿素、丙二醛、可溶性糖含量, 降低了脯氨酸含量。可见, 外施水杨酸可以减缓叶疫病菌对芒果幼苗的伤害, 提高芒果幼苗对叶疫病菌的抵抗力。

**关键词:** 水杨酸; 芒果叶疫病; 生理指标; 针刺法; 抗病性

中图分类号: S667.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)05-0130-06

## Effects of Salicylic Acid on the Physiological Function of Mango Seedlings under the Stress of Leaf Blight

YANG Zhengzhou<sup>1, 2, 3</sup>, XIE Xiaona<sup>1, 2, 3</sup>, LI Xi<sup>1, 2, 3</sup>, OUYANG Qiufei<sup>1, 2, 3</sup>

(1.College of Agriculture and Food Engineering, Baise University, Baise 533000, China; 2.Guangxi Key Laboratory of Biology for Mango, Baise 533000, China; 3.Industrial College of Subtropical Characteristic Agriculture, Baise 533000, China)

**Abstract:** Mango belongs to the family Anacardiaceae and the genus Mango. It prefers warmth and is one of the five tropical fruits in the world. China is a major producer of mangoes in the world, and in recent years, the planting area of mangoes has gradually expanded. Due to poor management, the number and variety of mango diseases and pests have been increasing, causing serious losses to mango production. Leaf blight is a common fungal disease in mango fruit production. In order to study the changes in relevant resistance indexes after the infection by *Alternaria tenuissima* and the resistance induction mechanism of salicylic acid on mango leaf blight, and to provide a reference for the prevention and control of mango leaf blight in mango fruit production. In this study, salicylic acid solution was sprayed on the leaves of mango seedlings, and purified *Alternaria tenuissima* was inoculated into healthy seedlings through the wound. The seedlings infected with leaf blight pathogens were subjected to stress treatment. Three groups were set as follows: non inoculation + spraying sterile water, inoculation with *Alternaria tenuissima* + spraying sterile water, inoculation with *Alternaria tenuissima* + 0.5 mmol/L salicylic acid, and samples were obtained to measure physiological indexes at 1, 3, 5, 7, 9, 11 d post inoculation, respectively. The results showed that after inoculation with *Alternaria tenuissima*, the content of chlorophyll, malondialdehyde, and soluble sugar in mango seedlings decreased, while the proline content increased. After treatment with 0.5 mmol/L of salicylic acid, the content of chlorophyll, malondialdehyde, and soluble sugar increased, while the content of proline decreased. Therefore, external application of salicylic acid could reduce the damage of leaf blight on mango seedlings and improve the resistance of mango seedlings to leaf blight.

**Key words:** salicylic acid; mango leaf blight; physiological index; the wound; disease resistance

芒果 (*Mangifera indica* L.) 属漆树科芒果属, 性喜温暖、不耐寒霜, 是世界五大热带水果之一。

收稿日期: 2023-04-20

基金项目: 教育部产学研合作协同育人项目(230806630181451); 广西自然科学基金青年项目(2021JJB130464); 广西一流学科建设项目(农业资源与环境)(桂教科研[2022]1号)

作者简介: 杨郑州(1982-), 男, 河南平顶山人, 讲师, 主要从事动植物生理生化研究工作。

通信作者: 谢晓娜(1981-), 女, 河南周口人, 高级实验师, 主要从事植物生理及分子研究工作。

我国是世界芒果生产大国,近年来芒果种植面积逐步扩大,产量稳步上升,每年达数百万吨,居世界第3位<sup>[1]</sup>。随着农业产业结构的调整,广西的芒果生产也在迅猛发展,种植面积也在逐年增加<sup>[2-3]</sup>。广西是全球盛产热带水果最大的基地,2019年芒果产量高达79.83万t<sup>[4]</sup>。芒果所带来的收入已成为当地农民的主要经济来源。

在芒果生产发展过程中,由于疏于管理,果园阴蔽度不断增加,使得芒果病虫害的种类和数量都在不断增多,给芒果生产造成了严重损失。韩冬银等<sup>[5]</sup>报道,国内外已发现危害芒果的病虫害种类达300多种,并且新的病虫害还在不断增加。近年来叶疫病为害芒果的程度也是越来越严重,其主要危害树冠下部老叶,严重时叶片大量枯死,影响植株生长,时常造成芒果大面积减产<sup>[6]</sup>。水杨酸(SA)在植物的生长、开花、种子及侧芽萌发、性别分化、衰老、光合作用等生长发育和生理生化进程中起重要的调节作用<sup>[7-8]</sup>。近年来,SA在调控植物对低温、重金属、干旱和盐害等非生物胁迫及生物胁迫的响应和获得性抗性中的作用引起学者们高度关注,SA作为抗逆反应的重要信号分子,参与植物系统获得抗性建立,能显著提高植物的抗逆及抗病性<sup>[9-10]</sup>。付佳等<sup>[11]</sup>以Hwayoung水稻幼苗为试验材料,研究SA对稻瘟病菌的体外抑制作用,结果表明,水稻幼苗在不同浓度的SA诱导后,组蛋白H3K9ac、H4K5ac的修饰水平呈现上升趋势,水稻对稻瘟病菌的抗性也有所增强。为了研究外源SA对谷子幼苗防御低温胁迫的效应,采用土培法,将培养至三叶一心的谷子幼苗分别喷施不同浓度外源SA溶液后进行低温处理,结果表明,外施SA后谷子幼苗根长、叶长及苗鲜质量及脯氨酸含量均提高,蒸腾速率、净光合速率、气孔导度均提高,抗氧化酶(SOD、POD)活性增强,可见喷施一定浓度的SA溶液对谷子幼苗低温冷害可以起到很好的缓解作用<sup>[12]</sup>。康书瑜等<sup>[13]</sup>为探明外源SA对干旱胁迫下藜麦生理效应及产量的影响,以陇藜1号为试验材料,采用盆栽方法,分别在正常供水、中度干旱和重度干旱3个水分梯度下喷施不同浓度SA,结果表明,喷施0.5 mmol/L SA显著提高了藜麦叶片相对含水量、叶绿素含量,促进了光合作用并改善了植物生长状态。

目前,化学诱导剂的使用以减轻芒果病害,特别是叶疫病研究少见报道。本研究以健康芒果幼苗为材料,在病菌侵染前叶面喷施0.5 mmol/L水

杨酸(SA),其浓度参照曾凯芳<sup>[14]</sup>的报道,然后测定相关生理指标,以期为该病害的防治提供一定的理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试芒果台农1号幼苗,购自广西百色市右江区四塘镇苗圃(植株健康无病斑)。将台农幼苗于2016年9月至2017年1月种植于混合土中,混合土按照土:栽培基质:有机肥为5:3:2配制,混匀后在水泥地均匀平摊,暴晒3 d;然后用0.5%福尔马林喷洒混合土,拌匀后用薄膜密封堆置7 d后装桶使用,每桶种植2株,露天培养,水肥按照常规管理。

供试芒果叶疫病菌菌株为细极链格孢(*Alternaria tenuissima*(Fr.) Wiltsh),由百色学院农业与食品工程学院化生楼610微生物培养室提供。

### 1.2 试验方法

1.2.1 病原菌活化与孢子悬浮液制备 将保存的芒果叶疫病菌接种于PDA培养基上于28℃倒置培养5 d,挑取菌丝至PDB培养液中,25℃、150 r/min条件下振荡培养3 d后,使用孔径为0.025 mm的灭菌筛网过滤,获得孢子悬浮液,在显微镜下使用血球计数板计数,用无菌水配制成 $1.0 \times 10^6$ 个/mL孢子悬浮液备用。

1.2.2 芒果叶疫病菌接种方法 待台农幼苗长至8~10片叶时,分别以0.5 mmol/L的SA和无菌水喷洒于叶面,以不滴水为宜;待叶面干后,用已分离纯化的叶疫病菌,采用针刺法感染上述健康种苗,取不同植株同一位置的芒果叶,用无菌针头划破芒果叶,滴入菌液( $1.0 \times 10^6$ 个/mL孢子悬浮液),对照组滴入无菌水,接种0、1、3、5、7、9、11 d后分别取芒果叶片作为样品保存于-20℃冰箱,用于测定各个生理指标。

1.2.3 叶绿素含量测定 参照徐敏等<sup>[15]</sup>的方法进行。采用95%乙醇和80%丙酮混合液浸泡的方法,称取0.2 g的芒果叶片,放入带塞子试管,加入25 mL的混合溶液,黑暗环境浸泡18 h,直到组织变白,然后将混合液作为空白对照,分别在665、649 nm处测定吸光值,并进行计算。

1.2.4 丙二醛(MDA)含量测定 参照王学奎等<sup>[16]</sup>的方法进行。使用硫代巴比妥酸(TBA)方法,称取0.5 g芒果叶片,加入5%三氯乙酸(TCA)2 mL和少量石英砂,研磨,再加入3 mL进一步研磨,在3 000 r/min下离心10 min,此提取液为丙二醛

(MDA)提取液。吸取 2 mL MDA 提取液放到新的试管,加入 2 mL 0.5% 硫代巴比妥酸(TBA)的 5% TCA 溶液,混合均匀,在沸水中加热 15 min,在 1 800 r/min 迅速冷却离心 10 min,分别在 532、600 nm 测定上清液的吸光值,蒸馏水调零,重复 3 次,并计算其含量。

$$\text{丙二醛含量}(\text{nmol/g}) = (\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) \times A \times V/a / (1.55 \times 0.1 \times W) \quad (1)$$

式中,  $A$  为反应液总量;  $V$  为提取液总量;  $a$  为测定提取液用量;  $W$  为材料质量。

1.2.5 脯氨酸含量测定 参照职明星等<sup>[17]</sup>的方法进行。采用酸性茚三酮显色法,称取 0.2 g 芒果叶片,加入 5 mL 的 3% 茚基水杨酸溶液,并在沸水中加热 10 min。取出试管,冷却至室温后,吸取 2 mL 上清液,加入 2 mL 冰醋酸和 3 mL 的 3% 茚基水杨酸溶液,在沸水中加热 30 min,冷却,加入 5 mL 甲苯摇动 30 s 静置一会后,将上清液在 3 000 r/min 下离心 5 min,在 520 nm 比色测定,并计算含量。

1.2.6 可溶性糖含量测定 参照郝建军等<sup>[18]</sup>的方法进行。采用蒽酮硫酸法,将 0.3 g 切碎并混合的芒果叶放入 50 mL 锥形瓶中,然后加入 10 mL 蒸馏水,放入沸水浴中煮 20 min,过滤到 50 mL 容量瓶,并用热水冲洗几次,定容至刻度。在试管中吸取 0.5 mL 液体提取液,0.5 mL 蒸馏水,5 mL 0.1% 的

蒽酮试剂,在 620 nm 下比色,并计算含量。

1.2.7 细胞膜透性测定 称取 0.2 g 芒果叶片(避开叶片主脉),将 20 mL 蒸馏水放入一个小烧杯中,将该小烧杯放入 35 °C 水浴中,静置 25 min。用电导率仪测定溶液的电导率( $S_1$ );后将其置于 100 °C 沸水浴中 10 min 杀死植物组织,取出烧杯,然后将其置于自来水中冷却,测定沸腾电导率( $S_2$ )和蒸馏水电导率( $S_0$ )。

$$\text{相对电导率} = (S_1 - S_0) / (S_2 - S_0) \times 100\% \quad (2)$$

### 1.3 数据分析

使用 Microsoft Excle 2016 和 SPSS 17.0 进行数据统计处理;采用邓肯检验差异显著性(0.05 显著性差异水平)。

## 2 结果与分析

### 2.1 芒果叶片感染叶疫病后的症状

图 1-A 是芒果叶片用无菌针划伤后喷洒无菌水的对照,芒果叶片只是在划伤处可见有一道伤痕,其并未向外延伸;图 1-B 是芒果叶片用无菌针划伤后直接接种的叶疫病菌,可见在划伤处叶片出现干枯,并且干枯症状已经开始沿着划伤处向四周蔓延;图 1-C 是芒果叶片先喷洒 SA 后再用无菌针划伤后接种的叶疫病菌,划伤处芒果叶片出现轻微干枯,干枯的症状较图 A 症状严重,但较图 B 症状轻。



A. 对照; B. 芒果叶片接种芒果叶疫病菌; C. 喷施水杨酸后芒果叶片接种芒果叶疫病菌  
A. Control; B. Mango leaves were inoculated with *Alternaria tenuissima*; C. Mango leaves were inoculated with *Alternaria tenuissima* after spraying salicylic acid

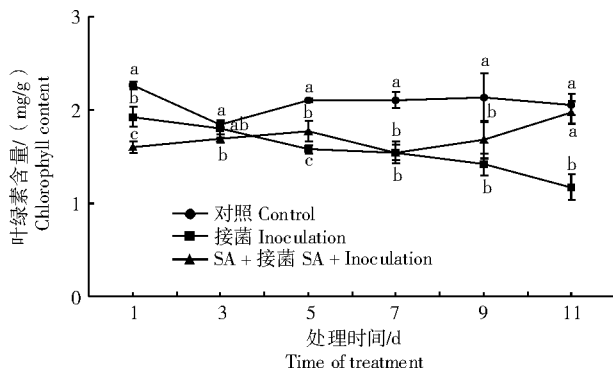
图 1 接种芒果叶疫病菌后芒果叶片的症状

Fig.1 Symptoms of mango leaves after inoculation with *Alternaria tenuissima*

### 2.2 水杨酸对芒果叶疫病菌侵染下芒果叶绿素含量的影响

从图 2 可以看出,随着处理时间的延长,接种叶疫病菌的叶绿素含量呈现逐渐下降的趋势;经 SA 处理再接种病菌的芒果幼苗叶绿素含量呈现先上升后下降再上升的趋势。接种叶疫病菌的芒果叶片叶绿素含量一直低于对照,与对照比,除在第

3 天叶绿素含量差异不显著外,其余时间叶绿素含量都显著低于对照( $P < 0.05$ )。喷施 SA 再接种叶疫病菌的芒果叶片叶绿素含量整体比对照低,与对照相比,随着处理时间的延长叶绿素含量差异越来越小,在第 11 天,差异不再显著;与只接菌组相比,除第 1、3 天降低外,其余时间都升高,在第 5、11 天差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。



不同小写字母表示在同一接种时间下不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下图同

Different lowercase letters indicated significant difference between treatments at the same inoculation time ( $P < 0.05$ ). The same as below

图2 水杨酸处理对芒果叶疫病菌感染下芒果叶片叶绿素含量的影响

Fig.2 Effect of salicylic acid treatment on chlorophyll content in mango leaves infected with *Alternaria tenuissima*

### 2.3 水杨酸对芒果叶疫病菌感染下芒果丙二醛(MDA)含量的影响

作为膜脂质过氧化的最终产物,丙二醛(MDA)含量是膜脂质过氧化的重要指标。水杨酸处理对叶疫病菌感染下芒果叶片MDA含量的影响结果如图3所示。

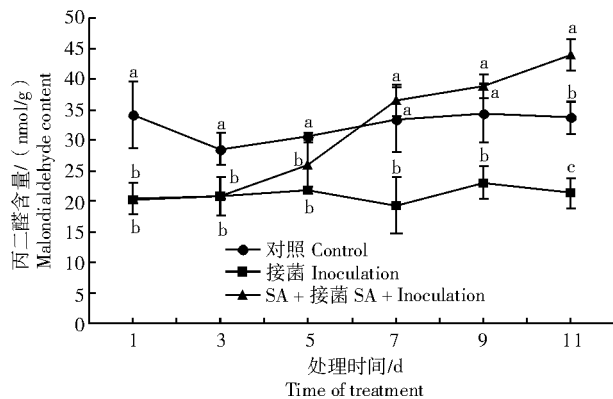


图3 水杨酸处理对叶疫病菌感染下芒果叶片丙二醛含量的影响

Fig.3 Effect of salicylic acid treatment on malondialdehyde content in mango leaves infected with *Alternaria tenuissima*

由图3可知,接种病菌组MDA含量始终低于对照,差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ );经SA处理后MDA含量逐渐上升,第11天与对照相比差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ );接种病菌1d后,与对照相比MDA含量下降40.65%,且差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ );随着感染时间的延长,只接种病菌组MDA含量持续降低,第7天下降至最低点,之后又有所回升。

### 2.4 水杨酸对芒果叶疫病菌感染下芒果脯氨酸含量的影响

由图4所知,随着病菌感染时间的延长,接种

叶疫病菌与SA+接种叶疫病菌游离脯氨酸含量都不断增加,整体大小表现为接种叶疫病菌>SA+接种叶疫病菌>对照。整个感染时间过程,对照无明显变化;与对照相比,接种叶疫病菌组第1天就上升了45%,第5天达到峰值,比对照增加44.35  $\mu\text{g/g}$ ,从第7天开始缓慢下降,但均显著高于对照与SA+接种叶疫病菌组 ( $P < 0.05$ )。SA+接种叶疫病菌组的脯氨酸含量也处于上升趋势,同对照相比,1、3、5 d分别增加37.2%、42.3%、47.0%,但都显著低于只接种组 ( $P < 0.05$ );随着感染时间的增加,脯氨酸含量开始缓慢下降,第7天下降到最低点之后保持平稳,但都显著高于对照 ( $P < 0.05$ )。

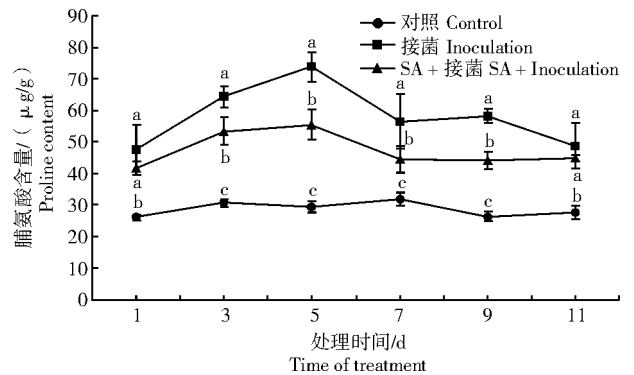


图4 水杨酸处理对芒果叶疫病菌感染下芒果叶片脯氨酸含量的影响

Fig.4 Effect of salicylic acid treatment on proline content in mango leaves infected with *Alternaria tenuissima*

### 2.5 水杨酸对芒果叶疫病菌感染下芒果可溶性糖含量的影响

水杨酸处理对芒果叶疫病菌感染下芒果可溶性糖含量的影响如图5所示。

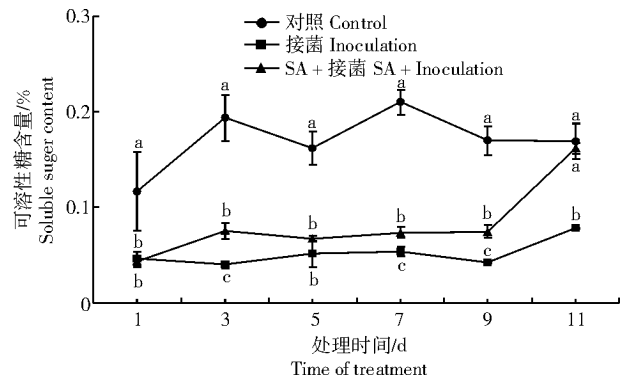


图5 水杨酸处理对芒果叶疫病菌感染下芒果可溶性糖含量的影响

Fig.5 Effect of salicylic acid treatment on soluble sugar content in mango leaves infected with *Alternaria tenuissima*

由图5可知,接种后1~9 d处理组芒果叶片可溶性糖含量始终显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。接种芒果叶疫病菌组可溶性糖含量在处理第1天下降

明显,与对照相比差异达到显著水平( $P<0.05$ ),之后可溶性糖含量出现先降低后逐渐增加,第7天之后逐渐下降后又逐渐上升。喷施SA+接菌组,可溶性糖含量出现先上升后下降又上升的趋势,且接种后3、7、9、11 d显著高于只接菌组( $P<0.05$ ),第11天达到峰值,是只接菌组的2.21倍,且差异达显著水平( $P<0.05$ )。

## 2.6 水杨酸对芒果叶疫病菌侵染下芒果叶片细胞膜透性的影响

细胞膜透性可以利用相对电导率来表示。由图6可知,不接菌的对照相对电导率基本保持平稳,无明显变化;喷施SA+接菌与只接种病菌组的相对电导率只在接种后第3天显著低于对照( $P<0.05$ ),其余时间与对照相比差异都不显著;喷施SA+接菌组与只接菌组,相对电导率变化趋势都出现了先降低后增加的趋势,且2个处理之间差异未达显著水平。

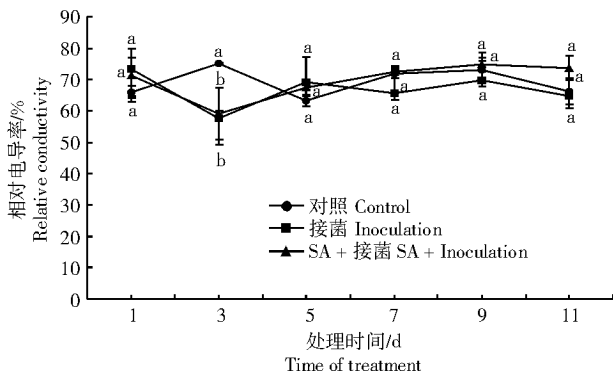


图6 水杨酸对芒果叶疫病菌侵染下芒果叶片细胞膜透性的影响

Fig.6 Effect of salicylic acid on the cell membrane permeability in mango leaves infected with *Alternaria tenuissima*

## 3 结论与讨论

芒果叶疫病也是叶斑病的一种,芒果幼树叶片和实生苗易发病,染病初期发生灰褐色至黑褐色圆形至不规则的病斑,后发展为叶尖枯或叶缘枯,严重时叶片大量枯死。杨郑州等<sup>[6]</sup>为明确叶疫病病菌侵染芒果后细胞壁降解酶活性的变化,将芒果叶疫病菌接种于离体的芒果幼叶,结果表明,在细胞壁降解酶中, $\beta$ -葡萄糖苷酶活性最高,聚甲基半乳糖醛酸酶(PMG)活性最低;纤维素酶在病原菌侵染初期最早分泌并起作用,并且纤维素酶比果胶酶对芒果叶片的致病作用明显。为研究枯萎病对光合特性的影响,在马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)幼苗期接种尖孢镰刀菌,叶绿素含量显著降低<sup>[19]</sup>。张兴桃

等<sup>[20]</sup>研究表明,对辣椒幼苗进行TMA侵染后叶绿素含量降低、丙二醛含量升高、脯氨酸含量下降,而经100  $\mu\text{mol/L}$  SA处理后,叶绿素含量升高、丙二醛含量降低、脯氨酸含量升高。本试验研究表明,只接种叶疫病菌的芒果幼苗,由于受到微生物的胁迫,叶绿素含量一直处于下降状态。而经SA处理的芒果幼苗叶片叶绿素含量第1天较低,而后随着染菌时间的增加而缓慢增加。极大可能是因为SA的逐渐积累缓解了叶绿素含量降低的速率。侵染叶疫病菌后脯氨酸含量处于上升阶段,在第5天达到高峰,经SA处理的芒果幼苗含量也在上升,但比接种组含量低,说明在遭遇病原菌含量上升的同时,与接种组对比在一定程度上降低了脯氨酸含量,SA的喷施降低了病菌对芒果的伤害。植物器官在衰老或逆境下会发生一种反应,即膜脂过氧化反应,丙二醛的积累可以反映其受伤程度。石亚莉等<sup>[21]</sup>研究结果表明,SA处理可有效降低接种后苹果灰霉病的发病率,减少MDA的生成。本试验发现,在接种叶疫病菌后,MDA含量下降,经SA处理提高了MDA的含量,可能是由于膜脂质的过氧化在一定程度上损害了细胞膜系统,造成新陈代谢功能紊乱,从而使新陈代谢下降。在水分胁迫下,荔枝叶片还原糖含量上升,蔗糖含量下降,原因可能是由于转化酶活性上升导致还原糖含量增加<sup>[22]</sup>。刘素莎等<sup>[23]</sup>为了探讨不结球白菜侵染霜霉病后的生理生化变化,以不结球白菜高抗材料和易感材料为试材进行研究,结果表明,MDA和可溶性糖含量都出现了先升高再降低的趋势。本试验研究结果发现,与对照相比,只接种病菌组的可溶性糖含量降低,而经SA处理后又接菌组的芒果幼苗在第5天以后逐渐上升。可能是因为外源SA的喷施提高了芒果可溶性糖含量,糖类的逐渐积累以抵抗环境对自身的伤害,SA的喷施减少了外界微生物对芒果幼苗的伤害。

本研究以台农1号芒果幼苗为试验对象,采用叶面喷施SA并接种叶疫病菌,测定芒果幼苗叶片叶绿素、丙二醛、可溶性糖含量及脯氨酸含量,结果表明,接种叶疫病菌后芒果幼苗细胞膜透性变化不明显,叶绿素、丙二醛、可溶性糖含量降低,脯氨酸含量增加;经0.5 mmol/L SA处理后提高了叶绿素、丙二醛、可溶性糖含量,降低了脯氨酸含量。可见,外施SA可以减缓叶疫病菌对芒果幼苗的伤害,提高芒果幼苗对叶疫病菌的抗病性。

## 参考文献:

[1] 莫宇. 广西百色市右江区芒果产业发展研究[D]. 南宁: 广西大

- 学,2015.
- MO Y. Study on mango industry development in Youjiang district, Baise city, Guangxi[D]. Nanning:Guangxi University,2015.
- [2] 林明光,刘福秀,李伟东,等.海南省芒果作物病害调查与鉴定[J].广西农业科学,2009,40(11):1440-1442.
- LIN M G, LIU F X, LI W D, et al. Investigation and identification of mango diseases in Hainan Province[J]. Journal of Southern Agriculture, 2009, 40(11): 1440-1442.
- [3] 李日旺,黄国弟,苏美花,等.我国芒果产业现状与发展策略[J].南方农业学报,2013,44(5):875-878.
- LI R W, HUANG G D, SU M H, et al. Status and developmental strategies of mango industry in China[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(5): 875-878.
- [4] 卢琨,张慧慧.国内外芒果科技发展现状与趋势[J].热带农业工程,2015,39(3):40-44.
- LU K, ZHANG H J. Research progress on mango science and technology at home and abroad[J]. Tropical Agricultural Engineering, 2015, 39(3): 40-44.
- [5] 韩冬银,邢楚明,李磊,等.广西芒果病虫害发生情况和防治现状调查与分析[J].热带作物学报,2020,41(5):994-1000.
- HAN D Y, XING C M, LI L, et al. Investigation and analysis on the occurrence and current control status of mango diseases and insect pests in Guangxi[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(5): 994-1000.
- [6] 杨郑州,黄柳芳,谢晓娜,等.叶疫病菌感染芒果后叶片细胞壁降解酶活性测定[J].江苏农业科学,2019,47(10):138-141.
- YANG Z Z, HUANG L F, XIE X N, et al. Determination of cell wall degrading enzyme activity in mango leaves infected by *Phytophthora infestans*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(10): 138-141.
- [7] RIVAS-SAN VICENTE M, PLASENCIA J. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(10): 3321-3338.
- [8] 卫颖,杨波,李敏,等.水杨酸对葡萄果实酚类物质积累的影响[J].山西农业科学,2021,49(5):554-559.
- WEI Y, YANG B, LI M, et al. Effect of salicylic acid on phenolic compounds accumulation in grape berries[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 554-559.
- [9] DURNER J, SHAH J, KLESSIG D F. Salicylic acid and disease resistance in plants[J]. Trends Plant Sciences, 1997(2):266-274.
- [10] CATINOT J, BUCHALA A, MANSOUR E A, et al. Salicylic acid production in response to biotic and abiotic stress depends on isochlorogenic acid in *Nicotiana benthamiana*[J]. Febs Letters, 2008, 582:473-478.
- [11] 付佳,刘婷婷,张辉,等.水杨酸诱导水稻抗稻瘟病的机制研究[J].北方农业学报,2022,50(4):47-54.
- FU J, LIU T T, ZHANG H, et al. Study on the mechanism of salicylic acid inducing rice blast resistance[J]. Journal of Northern Agriculture, 2022, 50(4): 47-54.
- [12] 闫锋.外源水杨酸对低温胁迫下谷子幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2023,51(7):86-91.
- YAN F. Effects of exogenous salicylic acid on growth of millet seedlings under low temperature stress[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(7): 86-91.
- [13] 康书瑜,庞春花,张永清,等.干旱胁迫下外源水杨酸对藜麦生理效应及产量的影响[J].干旱区资源与环境,2022,36(12):151-157.
- KANG S Y, PANG C H, ZHANG Y Q, et al. Effects of spraying salicylic acid on drought-resistance and yield of quinoa[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(12): 151-157.
- [14] 曾凯芳.套袋、SA和INA对芒果(*Mangifera indica* L.)果实采后抗病性和品质的影响[D].北京:中国农业大学,2005.
- ZENG K F. Effects of bagging, SA and IAA ON postharvest disease resistance and quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [15] 徐敏,刘君,阿衣古力·阿布都瓦依提.植物生理实验教学中叶绿素提取方法比较[J].实验科学与技术,2018,16(4):129-133.
- XU M, LIU J, AYIGULI A. Comparative methods on chlorophyll extraction in plant physiology experiment teaching[J]. Experiment Science and Technology, 2018, 16(4): 129-133.
- [16] 王学奎,黄见良.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2015.
- WANG X K, HUANG J L. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2015.
- [17] 职明星,李秀菊.脯氨酸测定方法的改进[J].河南科技学院学报(自然科学版),2005(4):10-12.
- ZHI M X, LI X J. Improvement of the method for measuring proline content[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology(Natural Science Edition), 2005(4): 10-12.
- [18] 郝建军,康宗利,于洋.植物生理学实验技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- HAO J J, KANG Z L, YU Y. Experiment technology of plant physiology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [19] 谢奎忠,邱慧珍,岳云,等.尖孢镰刀菌感染对马铃薯光合效率和叶绿素荧光参数影响[J].植物保护学报,2022,49(3):927-937.
- XIE K Z, QIU H Z, YUE Y, et al. Effects of *Fusarium oxysporum* infection on photosynthetic efficiency and chlorophyll fluorescence parameters of potato plants[J]. Journal of Plant Protection, 2022, 49(3): 927-937.
- [20] 张兴桃,高贵珍,赵亮,等.外源水杨酸对TMV感染后辣椒幼苗生理特性的影响[J].光谱实验室,2013,30(6):2906-2911.
- ZHANG X T, GAO G Z, ZHAO L, et al. Exogenous salicylic acid impact on physiological characteristics of chili seedlings infected with TMV[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2013, 30(6): 2906-2911.
- [21] 石亚莉,周会玲,唐永萍,等.水杨酸诱导苹果采后灰霉病抗性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(2):84-91,103.
- SHI Y L, ZHOU H L, TANG Y P, et al. Induced resistance of postharvest apples to *Botrytis cinerea* induced by salicylic acid treatment[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2018, 46(2): 84-91, 103.
- [22] 喻方圆,徐锡增.植物逆境生理研究进展[J].世界林业研究,2003,16(5):6-11.
- YU F Y, XU X Z. A review on plant stress physiology[J]. World Forestry Research, 2003, 16(5): 6-11.
- [23] 刘素莎,丁小涛,李晓锋,等.不结球白菜感染霜霉病后的生理生化响应[J].分子植物育种,2024,22(8):2693-2698.
- LIU S S, DING X T, LI X F, et al. The physiological and biochemical responses of non-heading Chinese cabbage after infected by downy mildew[J]. Molecular Plant Breeding, 2024, 22(8): 2693-2698.