

甘薯根腐病菌侵染对甘薯内源激素水平的影响

柴一秋^{1,2*}, 陈利锋², 王金生²

¹浙江省亚热带作物研究所, 温州 325005; ²南京农业大学植物病理学系, 农业部病虫监测与治理重点开放实验室, 南京 210095

摘要: 甘薯根腐病病原菌 [*Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *batatas* McClure, 简称 FSB] 侵染及其培养液滤液处理高敏感性甘薯品种 ‘胜利百号’ 后, 引起甘薯叶片、茎尖和根部组织内源 ABA 含量大幅升高。其中在根部出现最早, 但茎尖中积累浓度最高。侵染后甘薯叶片、茎尖和根部组织内源 $GA_{1/3}$ 含量显著低于对照。甘薯组培苗经 FSB 培养滤液处理 9 h 后, ABA 含量显著上升, 处理 15 h, ABA 含量呈下降趋势, 而 $GA_{1/3}$ 含量在 10^1 和 10^2 稀释液处理 15 h (10^3 稀释液处理 12 h) 时出现显著上升。这些结果有助于解释甘薯根腐病株矮小不产生藤蔓, 并在秋季大量现蕾开花的生理现象。

关键词: 甘薯根腐病病原菌; 脱落酸; 赤霉素; 组织培养; 开花; 甘薯

中图分类号: Q945

植物病原真菌会引起寄主植物的内源激素含量发生变化。早在 60 年代就有报告称小麦感染锈菌 (*Puccinia carthami*) 后吲哚乙酸 (IAA) 的含量升高 (Shaw 和 Hawkins 1958)。十字花科植物被芸薹根肿菌 (*Plasmodiophora brassicae*) 侵染后, 因为组织内源 IAA 增加而形成根瘤或发根 (高必达和陈捷 2006)。豌豆根腐病菌 (*Fusarium solani* f. sp. *pisi*) 在马铃薯蔗糖培养基 (PSA 液体培养基) 25 °C 静止培养 14 d 时在其培养液滤液中可以检测到新茄病镰刀菌烯醇 (neo-solaniol)、二醋酸麓草镰刀菌烯醇 (diacetoxy-scirpenol) 等毒素 (孙顺娣 1994)。灰霉葡萄孢 (*Botrytis cinerea*) 侵染采后葡萄后, 果实组织内源脱落酸 (ABA) 大幅升高, 乙烯释放量也显著提高 (周丽萍和张维一 1997)。内生真菌感染黑麦草 (*Lolium perenne*) 后, 菌丝在整株组织细胞间生长, 引起叶片内源 ABA 含量的升高 (陈世莘等 2001)。许多甘薯真菌病害的发生也会导致植物的内源激素含量增加。甘薯感染甘薯痂圆孢菌 (*Sphaceloma batatas* Sawada) 后, 抗、感病品种叶片中的 IAA 含量降低, ABA 含量增加 (艾育芳 2003)。番茄受黑白轮枝菌 (*Verticillium albo-atrum*) 感染后 ABA 含量显著升高, 而且感病品种顶叶中的 ABA 含量比抗病品种高 4 倍 (Pegg 和

Cronshaw 1976)。甘薯长喙壳 (*Ceratocystis fimbriata*) 使受侵染的甘薯组织乙烯产生速度提高, 离体和活体条件下均能合成乙烯 (Sakai 等 1970; Hiroshi 等 2003; 高必达和陈捷 2006)。

虽然已知植物病害可以引起植物内源激素的变化, 但能够代谢产生激素的植物病原菌却不多见。迄今发现的能够直接分泌赤霉素 (GA) 的植物病原菌仅局限于水稻恶苗病菌藤仓赤霉 (*Gibberella fujikuroi*) (无性态为串珠镰孢, *Fusarium moniliforme*), 该病原菌可以代谢产生 50 余种 GA 中的 13 种 (李宗霆和周燮 1996)。茄病镰孢甘薯专化型 [*Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *batatas* McClure, FSB] 侵染高敏感性甘薯 (*Ipomoea batatas*) 品种 ‘胜利百号’ 后, 在植株的根部产生黑色坏死斑, 地上部分生长受抑制, 不产生藤蔓, 叶片黄化、变脆、增厚, 近地表节间产生气生须根, 植株矮小, 直立生长, 并大量现蕾开花 (江苏省农业科学院和山东省农业科学院 1984)。早期的研究者认为: 甘薯根腐病这些症状的产生, 主要是因为 FSB 产生多种对植物有毒害作用的次生代谢产物, 如镰刀菌酸、茄病镰孢烯醇和二醋酸麓草镰刀菌烯醇等毒素 (孙顺娣 1994; Ishiki 1971)。但仅从毒素的角度很难解释甘薯根腐病为何能使本来不能自然开花的甘薯品种 ‘胜利百号’ 植株大量现蕾开花 (江苏省农业科学院和山东省农业科学院 1984)。本文用茄病镰孢甘薯专化型菌株感染甘薯品种 ‘胜利百号’, 检测寄主植物及病原物内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量的变化, 来阐明植株内源激素变化和甘薯根腐病症状产生的关系。

1 材料与方法

1.1 菌株

V100-93-06 系 2000 年从中国甘薯研究中心徐州

2007-01-24 收到, 2007-05-28 接受。

浙江省自然科学基金项目 (No. J99004) 资助。

* 通讯作者 (E-mail: chai-yiqiu@yeah.net; Tel: 0577-88520251)。

港上镇甘薯根腐病病圃‘胜利百号’开花病株上分离鉴定的FSB菌株之一。该菌株在室内接种甘薯能够诱发病和开花,在PSA平板上生长快。

1.2 甘薯单芽组培苗体系

取对茄病镰孢高度敏感的甘薯(*Ipomoea batatas*)栽培品种的健壮顶芽或腋芽,常规消毒后在不加任何激素的MS培养基上繁殖成单芽体系。选择生长状况一致的壮苗移栽到基质为灭菌蛭石的塑料花盆(直径12 cm)中,置25℃,85% RH,40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光强,12 h光照和12 h黑暗的培养箱培养,1/2 MS培养液浇灌维持正常生长。挑选具4~5个节、5张叶片、8条根和株高15 cm的植株备用。

1.3 室内接种感染发病

菌株在Richard液体培养基(KNO_3 10.0 g, KH_2PO_4 5.0 g, $\text{MSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2.5 g, FeCl_3 0.02 g, 蔗糖 50.0 g, 蒸馏水 1 000 mL)上150 r/min振荡培养1周后,收集其分生孢子,用灭菌水配成 3.0×10^8 个孢子/mL悬浮液。采用针刺法接种,选择健壮一致的上述薯苗,每条根用针刺破4处,然后将根浸入上述孢子悬浮液(20 mL, 5 s),剩余的菌液拌蛭石装盆。对照为20 mL清水。用1/2 MS培养液浇灌维持正常生长。每处理14株,重复2次。

1.4 病株甘薯取样

在接种后3、8、13、18、23和28 d分别取完全展开叶下面的第1叶,立即称重编号,液氮冻后-70℃冰箱保存,用于测定内源ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 。

1.5 病株甘薯样品制备

将3 mL预冷的80%甲醇分3次(1 mL/次)加入样品,在冰上充分研磨匀浆,4℃,5 000×g离心15 min,取上清液过 C_{18} 柱,得样液备用。

1.6 病株甘薯内源ABA的含量测定

取200 μL 样液,冰浴预冷,加150 μL 的重氮甲烷(CH_2N_2)至样品呈黄色,反应10 min后,加50 μL 乙酸甲醇0.2 mol/L破坏过量的重氮甲烷(黄色消失),氮气吹干后用ABA ELISA试剂盒(由南京农业大学激素研究组制备提供)(Zheng和Zhou 1995)测定ABA含量。

1.7 病株甘薯内源 $\text{GA}_{1/3}$ 的含量测定

取出300 μL 样液氮气吹干,用 $\text{GA}_{1/3}$ ELISA试剂盒(由南京农业大学激素研究组制备提供)(周燮等1996)测定 $\text{GA}_{1/3}$ 含量。

1.8 FSB胞内胞外样品ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 含量测定

V100-93-06菌株接种 F_2 液体培养基(NH_4NO_3 10.0 g, KH_2PO_4 5.0 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2.5 g, 蒸馏水 1 000 mL, 高压湿热灭菌后,过滤法加入33 g葡萄糖),25℃,12 h/12 h光暗交替,120 r/min振荡培养14 d。将培养的菌丝体抽滤,经无菌水冲洗3次后抽滤,称取1.5 g滤渣,加6 mL预冷的80%甲醇匀浆,4℃,5 000×g离心15 min,取上清液过 C_{18} 柱,得胞内样液;取培养滤液20 mL,ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 的提取方法见图1,得胞外样液。胞内、胞外ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 的含量测定方法同1.6和1.7。

1.9 甘薯单芽体系组培苗内源ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 的含量测定

将 F_2 液体培养的滤液煮沸15 min后抽滤,再经直径0.45 μm 微孔滤膜过滤。取5 mL上述滤液经透析袋(截留分子量1 kD)磁力振荡透析24 h,收集保留液,并浓缩至5 mL。将上述透析液15 mL稀释 10^0 , 10^1 , 10^2 , 10^3 倍。取健壮、高6 cm、有7张展开叶的同一单芽组培苗体系茎尖,转入装有10 mL各稀释浓度的透析液中,空白对照为 F_2 液体培养基,置恒温恒湿光照培养箱,分别处理0~21 h,剪取苗上部3 cm茎端,立即称重液氮冻后-70℃冰箱保存样品。样品内源ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 的提取、纯化与含量测定同1.5、1.6和1.7。

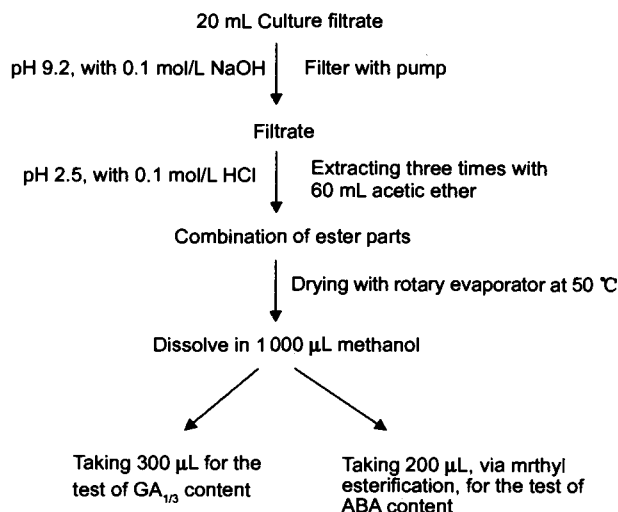


图1 FSB培养滤液中ABA和 $\text{GA}_{1/3}$ 的分离纯化

Fig.1 Extraction and purification of ABA and $\text{GA}_{1/3}$ from FSB culture filtrate

2 结果

2.1 FSB 浸染对甘薯叶片内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 的影响

V100-93-06 接种甘薯‘胜利百号’后,甘薯叶片 ABA 含量呈上升趋势,8 d 后 ABA 含量开始上升,13~28 d 有显著增加,从接种后 8 d 到接种后 13 d 急剧提高,之后继续保持缓慢上升,接种后 28 d 为最高值,对照组从接种当天到接种后 28 d 叶片 ABA 含量处于较低水平(图 2A)。而侵染后叶片 $GA_{1/3}$ 含量一直处于较低水平,对照组则从接种当天到接种后 28 d 呈上升趋势,28 d 达到最高值,13~28 d,对照组 $GA_{1/3}$ 含量显著高于处理组(图 2B)。

2.2 FSB 浸染对甘薯茎尖内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 的影响

V100-93-06 接种甘薯‘胜利百号’后,茎尖 ABA 含量呈上升趋势,接种后 8 d 高于对照,18~28 d 显著高于对照,与叶片的 ABA 含量变化相似,在接种后 28 d 达到最高值;对照组各时间段 ABA 含量皆处于较低水平(图 3A)。茎尖 ABA 急剧上升的时间稍迟于叶片。不管是否受侵染,茎尖 ABA 含量均比同时期的叶片高(图 2A、3A)。

接种后 $GA_{1/3}$ 变化不大,处于较低水平,但对对照组在整个试验过程中呈上升趋势,接种后 18~28 d 处理组的含量显著低于对照(图 3B)。

2.3 FSB 浸染对甘薯根部内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 的影响

根部 ABA 含量在接种 V100-93-06 后呈上升趋势,28 d 达到最高值,第 8 天高于对照,18~28 d 显著高于对照。对照组根部 ABA 含量一直处于较低水平(图 4A)。

V100-93-06 接种后根部内源 $GA_{1/3}$ 的含量与对照相比,13~28 d 的含量显著低于对照。对照组 $GA_{1/3}$ 则呈上升趋势,接种后 28 d 达到最高(图 4B)。

2.4 FSB 的菌丝体、培养滤液 ABA 和 $GA_{1/3}$ 的含量

V100-93-06 经 F_2 培养液培养的菌丝体(胞内)、培养滤液(胞外)都没测到 $GA_{1/3}$;菌丝体内和培养滤液都能检测到 ABA 的存在,检测到的含量分别为 1.5366×10^{-4} nmol/g FW 和 26.75 mg/L。

2.5 FSB 培养滤液处理对甘薯单芽体系组培苗内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量的影响

培养滤液原液处理甘薯组培苗,内源 $GA_{1/3}$ 的含量与对照相比无显著差异。与对照相比, 10^1 和

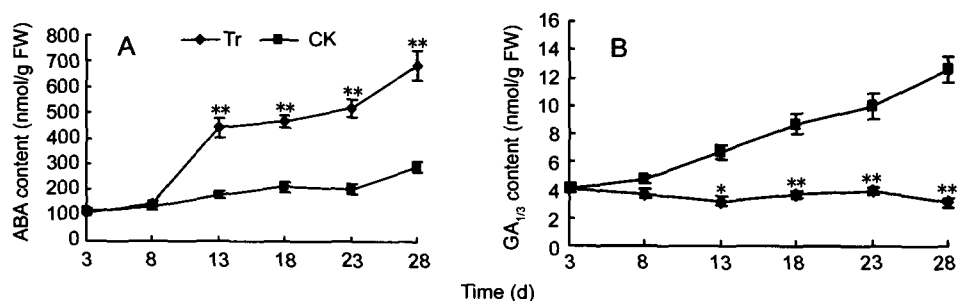


图 2 FSB 侵染对甘薯叶片内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量的影响

Fig.2 Effects of FSB infection on endogenous ABA and $GA_{1/3}$ content of sweet potato leaves

*: Significant difference at $P < 0.05$ level; **: Significant difference at $P < 0.01$ level. Tr: Treat. The same as below.

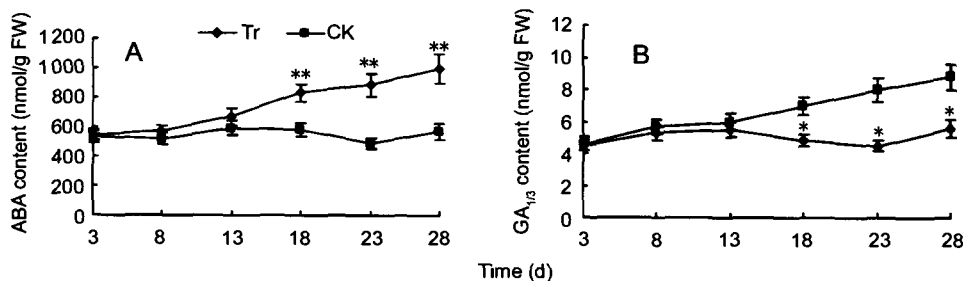


图 3 FSB 侵染对甘薯茎尖内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量的影响

Fig.3 Effects of FSB infection on endogenous ABA and $GA_{1/3}$ content in sweet potato shoots

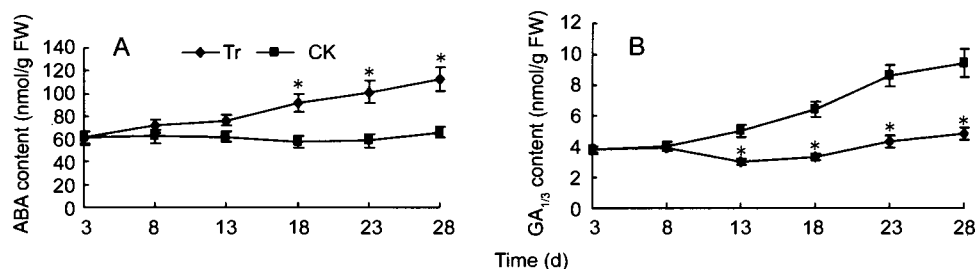


图4 FSB 侵染对甘薯根内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量的影响

Fig.4 Effects of FSB infection on endogenous ABA and $GA_{1/3}$ content in sweet potato roots

10^2 稀释液处理 15 h 时, 组培苗内源 $GA_{1/3}$ 的含量显著增加(图 5A), 而 10^3 稀释液处理在 12 h 时 $GA_{1/3}$ 含量就显著高于对照。原液处理组培苗 9 h 时, 其内源 ABA 含量显著高于对照, 原液以及各稀释液处理组培苗 12~21 h 都显著高于对照, 各浓度在 15 h 时达到最高值, 之后, 内源 ABA 含量呈下降趋势, 而对照没有这样的变化(图 5B)。

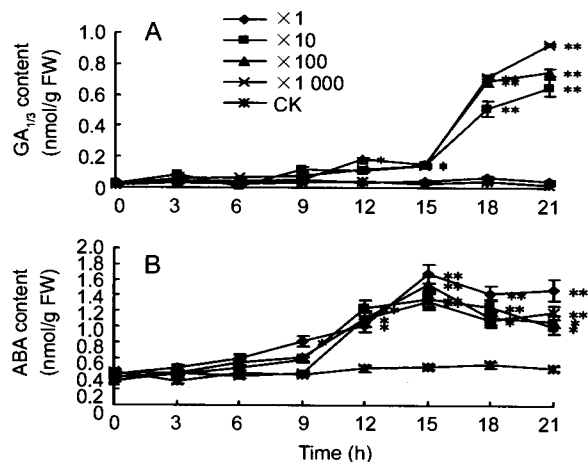


图5 FSB 培养滤液处理对组培苗内源 $GA_{1/3}$ 和 ABA 含量的影响

Fig.5 Effects of FSB filtrate on the endogenous $GA_{1/3}$ and ABA content of tissue-cultured sweet potato shoots

3 讨论

3.1 FSB 能够合成 ABA

Marumo 等(1982)发现植物病原真菌灰葡萄孢霉 (*Botrytis cinerea*) 产生 ABA, 后来确证尾孢菌属、长喙壳属、镰胞属、丝核菌属和灰孢霉属的 7 个属的真菌均能产生 ABA。但镰胞属的 *F. solani* 产生 ABA 未见报道。V100-93-06 菌株能够高效产生 ABA, 其

培养滤液 ABA 含量很高, ABA 在农业生产中应用重要而价格昂贵, 所以对该菌的发酵工艺进一步完善后, 具有潜在的生产开发意义。

3.2 FSB 侵染后甘薯发病机理

植株在干旱、冻害和高盐胁迫下, 以及病原菌侵染下, 内源 ABA 含量显著升高, 所以 ABA 又被称做“逆境激素”(Moons 等 1995; Ishiki 1971; Larkindale 和 Knight 2002)。本研究表明, FSB 侵染甘薯可诱导甘薯内源 ABA 含量显著升高。

本试验中, 与对照相比, FSB 侵染甘薯引起植株的叶片、茎尖和根部组织内源 ABA 含量显著升高, 而 $GA_{1/3}$ 的含量显著下降(图 2~4), 这使得感病植株没有藤蔓、矮小直立生长、出现黄叶、开花等现象。

ABA 含量升高有利于贮存蛋白和淀粉合成, 从而促进植物趋于成熟, 有利于开花。ABA 能够诱导各种果树以及棉花等开花, 而 $GA_{1/3}$ 含量降低也有利于果树开花。例如干旱胁迫诱导芒果成花(陈杰忠等 2000), 可能是因为干旱胁迫下植物内源 ABA 含量升高, 而 $GA_{1/3}$ 含量降低引起; 控水可降低柑橘枝条 $GA_{1/3}$ 的含量, 促进花芽分化; 银杏花芽分化过程中 ABA 含量出现高峰(史继孔等 1999); 紫苏花 [*Perilla frutescens* (L.) Britte] 进入花芽诱导期, ABA 含量大幅上扬, 表现 ABA 促花效应(梅虎和谈锋 2002)。春兰 × 大花蕙兰杂种原球茎无性株系在 ABA 0.5 mg/L+PP333 0.5 mg/L 培养基上预处理 35 d 后, 转入 BA 1.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L 培养基培养 60 d, 总花芽形成率为 20.4% (郑立明和庞基良 2006)。

$GA_{1/3}$ 有助于细胞伸长生长, 所以 $GA_{1/3}$ 的降低不利于叶芽分化和营养生长, 甘薯根腐病植株表现为没有蔓生只有直立生长也可能与 $GA_{1/3}$ 降低有关。而抑制营养生长往往表现为促进开花。所以, 甘薯

根腐病株矮小直立生长并大量现蕾开花可能与内源 ABA 含量升高, $GA_{1/3}$ 降低有关。

但是, 在小麦、苹果和梨的花芽分化过程中, 低水平的 ABA 和 GA 有利于花芽分化。另外, GA 能够促进拟南芥和菊花等许多花卉的花芽分化(李秉真等 2000)。所以, ABA 和 GA 对植物开花诱导作用因不同植物品种而有所不同。

虽然目前已经克隆到一系列与开花相关的基因, 但开花机理依然不是很清楚(Simpson 等 1999), 本文从病理生理的特殊角度来探讨甘薯病株开花的机理, 为开花机理研究提供特殊的证据。

3.3 FSB 侵染改变甘薯内源激素水平的原因

甘薯根腐病株内源 ABA 含量积累是由于植株与 FSB 互作后植株本身产生的, 还是 FSB 产生的, 或是 2 种可能共同引起的?

检测 FSB 的菌丝体以及培养滤液, 都含有 ABA 而不含 $GA_{1/3}$, 而且培养滤液 ABA 含量非常高, 这说明 FSB 能够代谢产生 ABA, 并且可以分泌到胞外。所以, FSB 侵染‘胜利百号’根系时, 使根系细胞内 ABA 含量增加。

培养滤液透析去除 ABA 后, 各浓度处理‘胜利百号’单芽组培苗, 组培苗出现黄叶与培养滤液的浓度成正相关(另文发表)。含 ABA 的滤液处理 9 h 后组培苗内源 ABA 含量显著升高, 不同浓度稀释液处理 12 或 15 h 后, 内源 $GA_{1/3}$ 含量也出现显著升高(图 5)。

研究文献表明, 植物细胞内的萜类化合物的骨架化合物 IPP (3-异戊烯基焦磷酸, 是合成 ABA 和 $GA_{1/3}$ 等的骨架化合物)的合成途径除了甲瓦龙酸途径(mevalonate pathway)外, 还有非甲瓦龙酸途径(non-mevalonate pathway), 或脱氢木酮糖途径(deoxyxylulose phosphate pathway), 而且后者为植物细胞合成 IPP 的主要途径。非甲瓦龙酸途径常常被病原菌等逆境因素诱导启动, 最后合成 ABA 和 $GA_{1/3}$ 等多种萜类化合物(Juan 等 2001; Eisenreich 等 2001)。病原菌等逆境因素通过诱导该途径的 5-磷酸脱氧木酮糖合成酶基因(*dxs*)、5-5-磷酸脱氧木酮糖还原酶基因(*dxr*)、2-甲基赤鲜糖醇 4-胞苷二磷酸激酶基因(*cmk*)等基因, 合成 ABA 和 $GA_{1/3}$ 等多种萜类化合物, 这些基因已被克隆(Walter 等 2002; Shunji 等 1998)。另外, 研究表明(Clark 1980; 卫杨斗 1986) FSB 能够诱发甘薯块根通过甲瓦龙酸途径(mevalonic

acid pathway)形成呋喃萜类化合物(如甘薯酮、甘薯醇)起植保素的作用。

在本试验中, 培养滤液处理组培苗后连续 21 h 激素动态检测表明 ABA 显著升高, 后来 $GA_{1/3}$ 也表现升高(图 5), 这可能是 FSB 代谢产生的某种物质激发植株细胞内的非甲瓦龙酸途径启动, 使 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量都有增加。这一点可以用来解释为何感病植株最终没有死亡, 而且开了花。

综上所述, 感染 FSB 的‘胜利百号’内源 ABA 和 $GA_{1/3}$ 含量的改变可能是 FSB 代谢产生 ABA, 以及植株被病原菌诱导合成激素共同引起的。

致谢: 南京农业大学夏凯博士对本研究给予了指导和帮助, 同事厉晓腊在论文格式整理中做了大量工作。

参考文献

- Ai Y-F(艾育芳)(2003). Studies on the Change of Nitrogen Compounds and Plant Hormone of Sweet Potato under the Stress of Sweet Potato Scab. Master Degree Dissertation of Fujian Agr For Univ (福建农林大学硕士学位论文) (in Chinese)
- Chen J-Z(陈杰忠), Zhao H-Y(赵红业), Ye Z-X(叶自行)(2000). Effect of soil water stress on floral initiation and changes of endogenous hormones in mango (*Mangifera indica* L.). *Chin J Trop Crops* (热带作物学报) **21**(2): 74-79 (in Chinese)
- Chen S-P(陈世苹), Gao Y-B(高玉葆), Liang Y(梁宇), Ren A-Z(任安芝)(2001). Effect of endophyte infection on the concentrations of free proline and ABA of leaves of *Lolium perenne* L. under water stress. *Acta Ecol Sin* (生态学报) **21**(12): 1964-1972 (in Chinese)
- Clark CA (1980). End rot, surface rot and stem lesions caused on sweet potato by *Fusarium solani*. *Phytopathology* **70**: 109-112
- Eisenreich W, Rohdich F, Bacher A (2001). Deoxyxylulose phosphate pathway to terpenoids. *Trends Plant Sci* **6**(2): 78-84
- Gao B-D(高必达), Chen J(陈捷)(2006). *Physiological Plant Pathology* (生理植物病理学). Beijing: Science Press 99-112
- Hiroshi H, Seiji Y, Yoshifumi I, Hiroko N, Fumie N (2003). Ethylene biosynthesis in sweet-potato root tissue induced by infection with black rot fungus (*Ceratocystis fimbriata*). *Bot Bull Acad Sin* **44**: 179-186
- Ishiki (1971). Solaniol a toxic metabolite of *Fusarium solani*. *Appl Microbio* **122**(4): 718-720
- Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Shandong Academy

- of Agricultural Sciences (江苏省农业科学院和山东省农业科学院) (1984). *China Sweet Potato Cultivation*. Beijing: Science Press 1-378 (in Chinese)
- Juan ME, Araceli C, Andreas R, Stuart R, Patricia L (2001). 1-Deoxy-D-xylulose-5-phosphate synthase, a limiting enzyme for plastidic isoprenoid biosynthesis in plants. *J Biol Chem* **276**(25): 22901-22909
- Larkindale J, Knight MR (2002). Protection against heat stress-induced oxidative damage in *Arabidopsis* involves calcium, abscisic acid, ethylene, and salicylic acid. *Plant Physiol* **128**: 682-695
- Li B-Z (李秉真), Sun Q-L (孙庆林), Zhang J-H (张建华), Ma Q-Z (马青枝) (2000). The changes of endogenous hormones in apple-pear during flower bud formation. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯) **36**(1): 27-29 (in Chinese)
- Li Z-T (李宗霆), Zhou X (周燮) (1996). *Plant Hormones and Its Immunology Technology* (植物激素及其免疫技术). Nanjing: Jiangsu Science Technology Press 89-100 (in Chinese)
- Marumo S, Katayama M, Komori E, Ozaki Y, Natsume M, Kondo S (1982). Microbial production of abscisic acid by *Botrytis cinerea*. *Agr Biol Chem* **46**: 1967-1968
- Mei H (梅虎), Tan F (谈锋) (2002). Endogenous hormones metabolism in leaves during the physiological flower bud differentiation phase of *Perilla frutescens* (L.) Britte. *J Southwest China Normal Univ (Nat Sci)* **27**(2): 206-209 (in Chinese)
- Moons A, Bauw G, Prinsen E, van Montagu M, van der Straeten D (1995). Molecular and physiological responses to abscisic acid and salts in roots of salt-sensitive and salt-tolerant abscisic acid indica rice varieties. *Plant Physiol* **107**: 177-186
- Pegg GF, Cronshaw DK (1976). Ethylene production in tomato plants infected with *Verticillium albo-atrum*. *Physiol Plant Pathol* **8**(3): 279-295
- Sakai S, Imaseki H, Uritani I (1970). Biosynthesis of ethylene in sweet potato root tissue. *Plant Cell Physiol* **11**: 737-745
- Shaw M, Hawkins AR (1958). The physiology of host-parasite relations. V. A preliminary examination of the level of free endogenous indoleacetic acid in rusted & mildewed cereal leaves & their ability to decarboxylate exogenously supplied radioactive indole-acetic acid. *Can J Bot* **36**: 1-16
- Shi J-K (史继孔), Zhang W-P (张万萍), Fan W-G (樊卫国), Wen X-P (文晓鹏) (1999). Changes in endogenous hormones during the differentiation of female flower bud of ginkgo (*G. biloba* L.). *Acta Horti Sin* (园艺学报) **26**(3): 194-195 (in Chinese)
- Shunji T, Tomohisa K, Hiroyuki W, Haruo S (1998). A 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate reductoisomerase catalyzing the formation of 2-C-methyl-D-erythritol 4-phosphate in an alternative nonmevalonate pathway for terpenoid biosynthesis. *Proc Natl Acad Sci USA* **95**(3): 9879-9884
- Simpson GG, Gendall AR, Dean C (1999). When to switch to flowering. *Annu Rev Cell Dev Biol* **99**: 519-550
- Sun S-D (孙顺娣) (1994). Studies on the toxins of *Fusarium solani*. I. Isolation, assay and bioassay. *J Gansu Agr Univ* (甘肃农业大学学报) **29**(2): 140-144 (in Chinese)
- Walter MH, Hans J, Strack D (2002). Two distantly related genes encoding 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase: differential regulation in shoots and apocarotenoid-accumulating mycorrhizal roots. *Plant J* **31**(3): 243-254
- Wei Y-D (卫杨斗) (1986). *Fusarium solani* f. sp. *batatas* Induces the Phytoalexin of Sweet Potato (甘薯根腐病菌诱导甘薯植保素). Master Degree Dissertation of Huazhong Agr Univ (in Chinese)
- Zheng L-M (郑立明), Pang J-L (庞基良) (2006). *In vitro* flowering of cultures from a hybrid of *Cymbidium goeringii* and *C. hybridum*. *J Plant Physiol Mol Biol* (植物生理与分子生物学学报) **32**(3): 320-324 (in Chinese)
- Zhou L-P (周丽萍), Zhang W-Y (张维一) (1997). The effect of exogenous hormones and fungi infection on the respiration rate and endogenous hormones of postharvest grape fruit. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报) **23**(4): 353-356 (in Chinese)
- Zhou X (周燮), Zheng Z-F (郑志富), Chen F-Y (陈溥言) (1996). Preparation and application of monoclonal antibodies specific for abscisic acid methyl ester. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报) **22**(3): 284-290 (in Chinese)
- Zheng ZF, Zhou X (1995). A monoclonal antibody recognizing nonderivative 1,3-hydroxy gibberellin and their glucosides. *Acta Bot Sin* **37**(10): 761-776

The Effect of Infection by *Fusarium solani* f. sp. *batatas* on Endogenous Hormone Levels in Sweet Potato Seedling

CHAI Yi-Qiu^{1,2*}, CHEN Li-Feng², WANG Jin-Sheng²

¹Zhejiang Institute of Subtropical Crops, Wenzhou 325005, China; ²Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Ministry of Agriculture, Department of Plant Pathology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: The endogenous hormone ABA concentrations increased in the leaves, shoots and roots of sweet potato plants infected with *Fusarium solani* f. sp. *batatas* (FSB) or treated by its culture filtrate. The accumulation of ABA occurred firstly in the roots (Fig.4A), but the highest concentration was in the shoots (Fig.3A). The endogenous GA_{1/3} concentration of leaves, shoots and roots of infected sweet potato kept at markedly low levels during the period of experiments (Figs.2B, 3B and 4B). The ABA concentration of sweet potato seedlings increased observably after 9 h treatment with FSB culture filtrate, but decreased significantly after 15 h, and the GA_{1/3} concentration increased markedly after 15 h treatment with 10¹, 10² dilu-

tion of FSB culture filtrate (after 12 h treatment with 10³ dilution) (Fig.5). The disease symptoms may be induced by the changes in concentration of ABA and GA_{1/3} in the plants. The root rot-infected sweet potatoes grew upright without tailing, having aerial roots in knots near the ground, and were in full bloom in autumn.

Key words: *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *batatas* McClure; ABA; GA_{1/3}; tissue culture; flowering; sweet potato

This work was supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. J99004).

*Corresponding author (E-mail: chai-yiqiu@yeah.net; Tel: 86-577-88520251).