

# 嫁接棉苗对黄萎病的抗性及相关生理指标的变化

张明菊 夏启中 吴冰

黄冈师范学院化学与生命科学学院, 黄州 438000

**摘要** 以海岛棉海 7124(R1)和 Pima 90(R2)为砧木,以冀棉 11(S1)和鄂棉 22(S2)为接穗,利用贴接法得到嫁接苗(S1/R1, S2/R1, S1/R2 和 S2/R2),成活率均在 60%以上, S2/R2 的则达 85%,表明选用的海岛棉品种与陆地棉品种具有良好的亲和性。抗性鉴定结果表明, S1/R1、S2/R1 对黄萎病表现为抗病; S1/R2、S2/R2 表现为高抗,说明利用合适的抗病砧木与感病的陆地棉嫁接,能有效地防治黄萎病。接种黄萎病菌 3 d 后,叶片中 SOD、POD 活性均有加强,MDA 含量均有提高。且砧木叶片中 SOD、POD 活性最高,接穗叶片中 SOD、POD 活性最低;4 种组合的嫁接苗介于二者之间。而叶片中 MDA 含量则相反,以接穗中最高,砧木中最低,嫁接苗介于二者之间。表明嫁接增强植株的抗病性可能是通过增强防御自由基和活性氧伤害的酶系统、降低叶片细胞膜的过氧化作用、使膜的损伤程度减小而实现的。棉苗感染病原菌后 PAL 活性明显升高并表现出规律性的变化,即在侵染的第 1 天,酶活性上升较缓,随后急剧上升,酶活高峰出现在侵染后第 3 天,之后迅速下降,到第 5 天后与初始水平接近。不同抗性品种的 PAL 活性变化有显著差异。鄂棉 22(S2)的 PAL 活性上升缓慢,峰值较小, Pima 90(R2)的 PAL 活性上升快,峰值最高。S2/R2 嫁接棉苗的 PAL 活性介于两者之间,且峰值与 Pima 90(R2)的接近。

**关键词** 棉花; 嫁接苗; 黄萎病抗性; 脂质过氧化; SOD; POD; MDA; PAL

**中图分类号** S 562 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)04-0414-05

棉花黄萎病是由大丽轮枝菌 (*Verticillium dahliae* Kleb.) 真菌感染引起的严重危害棉花生产的病害之一。我国在 1935 年引进美国棉花品种的同时,也将棉花黄萎病菌带入国内。此后在国内各产棉区逐渐传播,对棉花生产造成极大危害,常年造成棉花减产 20%左右,严重的高达 70%,已成为棉花生产可持续发展的主要障碍之一,被称为“棉花的癌症”<sup>[1]</sup>。陆地棉 *Gossypium hirsutum* L. 种质资源中缺乏抗黄萎病的基因,而海岛棉 *G. barbadense* 中抗黄萎病的基因又难以在育种上应用,导致抗病育种滞后,不能满足棉花生产的需要。番茄、黄瓜、葡萄等园艺作物的嫁接可以改善抗逆性、矿物质吸收、耐盐碱、耐低温和耐连作性能<sup>[2-4]</sup>。受此启发,纪龙邦等<sup>[5]</sup>、郝俊杰等<sup>[6]</sup>尝试利用抗病的海岛棉品种与感病但农艺性状优良的陆地棉嫁接,以改善陆地棉的抗病性,已取得了初步成功。本研究选用抗黄萎病的海岛棉材料海 7124 和 Pima 90 为砧木,以感病的陆地棉品种冀棉 11 和鄂棉 22 为接穗,研究嫁接

棉苗对棉花黄萎病的抗性反应及其相关生理生化指标变化,旨在为棉花黄萎病防治和抗性机制探讨提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 嫁接苗准备

选取抗棉花黄萎病的海岛棉品系海 7124(R1)和 Pima 90(R2)为砧木,陆地棉品种冀棉 11(S1)和鄂棉 22(S2)为接穗,共计 4 个嫁接组合,冀棉 11 为感病对照。冀棉 11、Pima 90、海 7124 种子由中国农业科学院棉花研究所提供,鄂棉 22(S2)由湖北省黄冈市农业科学院惠赠。按文献<sup>[7]</sup>取供试棉花品种完整饱满种子分批浸种催芽(60℃, 8 h)后,直接定植在有孔的塑料杯中。培养基质为沙土混合物,基质预先翻晒消毒装杯,保持湿润。待棉苗长出子叶后,每周喷洒 1 次叶面肥,日常浇水时溶入适量复合肥。拔除弱苗、病苗及畸形苗,保证棉苗健壮均一。在棉苗 2 叶 1 心采用贴接法嫁接。嫁接后单层

收稿日期: 2012-02-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD35B05)、湖北省自然科学基金项目(2008CDB091)和湖北省教育厅重点项目(D20082701, D20102903)

张明菊,副教授。研究方向:棉花遗传育种。E-mail: zmjf97@126.com

通讯作者: 夏启中,博士,教授。研究方向:棉花遗传育种。E-mail: swxqz@hgnu.edu.cn

遮阳网下遮阴,用市售保鲜袋(200 mm×300 mm)套在嫁接苗上,喷湿袋口,捏紧后自然密合。3~5 d后敞开口通气,5~6 d后去除套袋,后施营养液,并喷洒叶面肥,保证嫁接苗迅速恢复生长。嫁接后15 d左右解开保鲜膜条带,增加光照,促进嫁接苗健壮生长。

## 1.2 黄萎病菌接种及抗病调查

黄萎病菌 V<sub>991</sub> 由华中农业大学作物遗传改良重点实验室棉花课题组提供。病菌活化后挑取少量菌丝,移入 Czapek's 液体培养基中,25 ℃ 150 r/min 震荡,暗培养 7~10 d。用 4 层纱布过滤掉菌丝,获得孢子悬浮液。显微镜下用血球计数板统计孢子数目,将孢子悬浮液配成浓度为  $1.00 \times 10^7$  /mL 的孢子悬浮液,备接种使用。

用刀片切去定植棉苗的塑料杯底,参照无底钵钵菌液浇根法<sup>[8]</sup>对健壮的嫁接苗和实生苗黄萎病菌接种。20 d 后调查发病情况。调查采用 5 级分级法<sup>[9]</sup>。

根据调查结果计算发病率和病情指数,并对病情指数作方差分析,测验各鉴定材料间病情指数的差异。

病情指数 =  $[\sum \text{各级病株数} / (\text{总株数} \times \text{最高病级})] \times 100$ 。

相对抗病指数 =  $K \times \text{鉴定材料的实际病情指数}$ ,  $K = 50 / \text{感病对照实际病情指数}$ 。

## 1.3 POD 和 SOD 酶活性测定

每个处理各取叶片 1 g,冰浴研磨,分 3 次加入 10 mL 重蒸馏水,以 10 000 r/min 离心 20 min,取上清液测定活性。每组处理重复 3 次。POD 活性的测定用愈创木酚法<sup>[10]</sup>。SOD 活性的测定用 NBT 法<sup>[11]</sup>。

## 1.4 丙二醛(MDA)含量测定

取样品 3 g 加入 5 mL pH 7.8 的磷酸缓冲液研磨,10 000 r/min 离心 15 min,上清液为 MDA 提取液,3 mL 硫代巴比妥酸加 3 mL 上清液煮沸 10 min,6 000 r/min 离心 15 min,分别在 450、532、600 nm 用 751 分光光度计比色<sup>[10]</sup>。每组处理重复 3 次。

## 1.5 PAL 酶活性测定

PAL 酶活性测定参照文献 [12] 进行,每组处理设 3 次重复。

# 2 结果与分析

## 2.1 棉花嫁接成活率和移栽成活率

利用贴接法<sup>[10]</sup>完成 4 个嫁接组合,每个组合嫁接 180 株,在嫁接后 15 d 调查的成活率均在 60% 以

上,其中,S2/R2 达 85%(表 1)。每个嫁接组合有 100 株移栽在田间,移栽后 15 d 调查成活率,均在 90% 以上。

表 1 棉花嫁接成活率和移栽成活率

Table 1 Survival ratio of grafted and transplanting of grafting cotton

嫁接棉株 <sup>1)</sup> (接穗/砧木) Grafted cotton (Scion/Rootstock)	嫁接株数 Number of grafted plants	嫁接成活株数 Number of grafted survival plants	嫁接成 活率/% Grafted survival rate
S1/R1	160	102	63.8
S1/R2	160	121	75.7
S2/R1	160	127	79.4
S2/R2	160	136	85.0

1) S1:冀棉 11 Jimian 11; S2:鄂棉 22 Emian 22; R1:海 7124 Hai 7124; R2:Pima 90; 下同 The same as below.

## 2.2 嫁接棉苗对黄萎病的抗性

接种后棉花嫁接苗抗病性鉴定结果见表 2。接穗冀棉 11 和鄂棉 22 的棉花黄萎病发病率均在 85% 以上,病情指数均在 65 以上,均表现为感病;砧木海 7124 和 Pima 90 均表现免疫。4 个组合的嫁接苗中,冀棉 11/Pima 90 和鄂棉 22/Pima 90 为高抗,冀棉 11/海 7124 和鄂棉 22/海 7124 为抗病,嫁接棉花的病情指数均显著低于各自的接穗对照,说明嫁接棉苗可以显著提高对黄萎病的抗性;尽管 2 个海岛棉材料海 7124 和 Pima 90 均对棉花黄萎病表现免疫,但 Pima 90 作砧木防治黄萎病的效果更佳。这与郝俊杰等<sup>[6]</sup>的研究结果不一致。

表 2 不同棉苗类型黄萎病发病率、病情指数和反应型<sup>1)</sup>

Table 2 Disease incidence,disease index and disease reaction to cotton *Verticillium* wilt of different types of cotton

棉苗类型 Cotton type	发病率/% Disease incidence	病情指数 Disease index	相对病情指数 Relative disease index	反应型 Disease reaction
S1/R1	46.26 bC	26.81 dB	16.1	抗病 Resistance
S2/R1	38.95 bC	20.59 dB	12.3	抗病 Resistance
S1/R2	21.06 cB	9.05 bCB	5.4	高抗 High resistance
S2/R2	18.05 cB	7.56 bCB	4.5	高抗 High resistance
S1(CK)	88.17 aA	67.02 aA	40.2	感病 Susceptibility
S2	89.53 aA	69.27 aA	41.6	感病 Susceptibility
R1	0.00 cB	0.00 bB	0.0	免疫 Immunity
R2	0.00 cB	0.00 bB	0.0	免疫 Immunity

1) 不同小写字母表示在 0.05 水平上存在差异,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著,下同。Test of significant difference at 0.05 level (lowercase) and at 0.01 level (capital letter). The same as below.

## 2.3 黄萎病对嫁接棉苗叶片 SOD、POD 活性和 MDA 含量的影响

将整齐一致的砧木实生苗、接穗实生苗和嫁接苗各 40 株均分为 2 组,一组采用伤根法接种黄萎病

菌;另一组为对照,同样进行伤根处理但未接种,3 d 后分别对砧木实生苗、接穗实生苗和 4 个组合的嫁接苗主茎第 5 叶的 SOD、POD 和 MDA 进行测定,结果(表 3)表明:无论在对照组还是接种处理组中,R1 与 R2、S1 与 S2 以及 4 个组合嫁接苗之间的 SOD、POD 和 MDA 均无显著差异,SOD 和 POD 活性均表现为 R1、R2>组合嫁接苗>S1、S2;而 MDA 含量则相反,表现为 R1、R2<组合嫁接苗<S1、S2。接种黄萎病菌后,SOD、POD 活性和 MDA 含量均

有增加,且砧木实生苗、接穗实生苗和组合嫁接苗之间仍维持接种前的趋势,就 SOD、POD 活性而言,仍表现为 R1、R2>组合嫁接苗>S1、S2,就 MDA 含量而言,仍表现为 R1、R2<组合嫁接苗<S1、S2。其中,R2 的 SOD 和 POD 活性最高,分别达 68.51 和 661.26 U/(mg·min),增幅分别为 31.5%和 27.7%;S1 的 SOD 最低,为 40.80 U/(mg·min),S2 的 POD 最低,为 424.48 U/(mg·min),增幅分别只有 15.5%和 5.2%。

表 3 黄萎病对棉株主茎叶超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性和丙二醛含量的影响

Table 3 Effects of *Verticillium wilt* on the activities of SOD,POD and contents of MDA in cotton leaves

棉苗类型 Cotton type	SOD/(U/(mg·min))			POD/(U/(mg·min))			MDA/(μmol/g)		
	未接种	接种	增量/%	未接种	接种	增量/%	未接种	接种	增量/%
	No-inoculation	Inoculation	Increment	No-inoculation	Inoculation	Increment	No-inoculation	Inoculation	Increment
S1/R1	47.53 bB	56.25 cC	18.3	451.80 cC	518.20 cC	14.7	4.05 cC	5.28 cC	30.3
S2/R1	48.22 bB	57.46 cC	19.2	457.77 cC	526.45 cC	15.0	4.38 cC	5.53 cC	26.3
S1/R2	47.12 bB	56.68 cC	20.3	453.14 cC	517.33 cC	14.2	4.13 cC	5.46 cC	32.2
S2/R2	46.56 bB	56.75 cC	21.2	462.05 cC	532.70 cC	15.8	4.07 cC	5.31 cC	30.5
S1	35.32 aA	40.80 aA	15.5	417.33 aA	439.58 aA	5.3	5.85 aA	8.94 aA	52.3
S2	36.74 aA	42.57 aA	15.9	403.56 aA	424.48 aA	5.2	5.67 aA	8.80 aA	55.2
R1	52.07 bB	66.38 bB	27.5	516.82 bB	655.73 bB	20.9	3.26 bB	4.19 bB	28.5
R2	52.10 bB	68.51 bB	31.5	517.52 bB	661.26 bB	27.7	3.32 bB	4.18 bB	25.9

## 2.4 嫁接棉苗苯丙氨酸解氨酶活性

接种黄萎病菌后,在不同时间分别对鄂棉 22 (S2)、Pima 90(R2)和 S2/R2 嫁接棉苗叶片的 PAL 活性进行测定,结果(图 1)表明,棉苗感染病原菌后 PAL 活性明显升高并表现出规律性的变化,即在侵染的第 1 天,酶活性上升较缓,随后急剧上升,酶活高峰出现在侵染后第 3 天,之后迅速下降,到第 5 天后与初始水平接近。受病原菌侵染后,不同抗性品种的 PAL 活性有显著的差异。感病品种鄂棉 22(S2)的 PAL 活性上升缓慢,峰值较小(32.41 U/(g·min)),抗病品种 Pima 90(R2)的 PAL 活性

上升快,峰值高(53.65 U/(g·min))。S2/R2 嫁接棉苗的 PAL 活性介于两者之间,且峰值(46.13 U/(g·min))与 R2 接近。

## 3 讨论

嫁接已成功应用于提高番茄、黄瓜、葡萄等园艺作物的抗逆性、矿物质吸收、耐盐碱、耐低温和耐连作性能<sup>[2-4]</sup>。可以通过嫁接提高棉花组织培养再生苗的成活率<sup>[13]</sup>,也可以通过嫁接有效地防治棉花的黄萎病和提高连作棉田的棉花产量,而不影响棉花的纤维品质<sup>[6,9]</sup>。嫁接植物在接穗和砧木之间存在亲和性,嫁接亲和与与否受砧木、接穗的遗传特性、生理机能、生化反应及内部组织结构等的相似性和相互适应能力的影响,嫁接亲和力的大小直接影响嫁接成活、嫁接体的长势、抗性和寿命,以及产量和品质等<sup>[6,14-15]</sup>。本试验中,分别以海岛棉海 7124(R1)和 Pima 90(R2)为砧木,以冀棉 11(S1)和鄂棉 22(S2)为接穗,得到的嫁接苗 S1/R1、S2/R1、S1/R2 及 S2/R2 成活率均在 60%以上,且 S1/R2 接近 80%,S2/R2 达到 85%(表 1),表明选用的海岛棉品种与陆地棉品种具有良好的亲和性。

棉花黄萎病菌是一种土传性真菌,它从寄主植物根部侵染后,通过维管束系统扩展到植株各部位,并导致植株叶片产生黄斑或萎焉症状。棉花的抗病

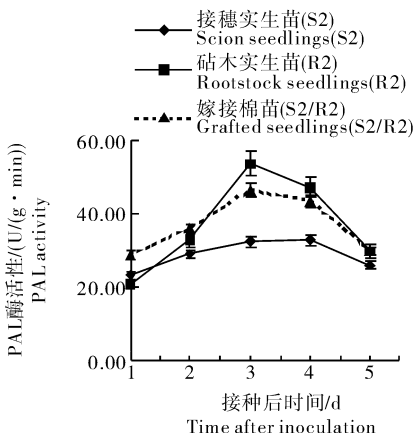


图 1 接种黄萎病菌后嫁接棉苗叶片 PAL 活性变化

Fig. 1 Changes of PAL activity in the leaves of grafted seedlings of *G. barbadense*/*G. hirsutum*

机制主要是抗扩展和抗侵染,这种能力可能是由于棉花的物理阻碍或化学抑制所导致,或者二者共同作用的结果<sup>[15-16]</sup>。海7124和Pima 90是具有抗棉花黄萎病的海岛棉品种,鉴定结果为免疫,且在遗传、育种、抗病基因克隆和分子标记等方面有广泛的研究和应用<sup>[6,16-17]</sup>;冀棉11为黄萎病感病对照,鄂棉22为湖北省大面积种植的常规品种,产量高、品质优良,但不抗黄萎病。本试验分别以海岛棉海7124(R1)和Pima 90(R2)为砧木,以冀棉11(S1)和鄂棉22(S2)为接穗,得到的嫁接苗表现出不同程度的抗病性,其中,S1/R1、S2/R1相对病情指数为16.1和12.3,反应型为抗病;S1/R2、S2/R2的相对病情指数为5.4和4.5,反应型为高抗。进一步证实利用免疫的海岛棉做砧木与感病的陆地棉嫁接,能起到有效地防治黄萎病的作用。

自由基是导致脂质过氧化的直接原因,如果植物体内清除自由基的酶系统功能较强,足以控制氧自由基(如超氧阴离子自由基 $\cdot O_2^-$ ,羟自由基 $OH\cdot$ 等)及过氧化氢 $H_2O_2$ 的累积,则生物膜的损伤也能得到相应的控制。过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)是细胞抵御活性氧伤害的重要成员,在清除超氧自由基、 $H_2O_2$ 和过氧化物,阻止或减少羟自由基形成等方面起着重要作用,可作为鉴定寄主抗病性的指标<sup>[18]</sup>。丙二醛(MDA)已被证实是细胞膜脂中不饱和脂肪酸发生过氧化作用的终产物之一,其含量的多少代表了膜损伤程度的大小和植物对逆境条件反应的强弱<sup>[18]</sup>。本研究接种黄萎病菌后第3天的测定结果表明,砧木、接穗和嫁接苗叶片中SOD、POD活性均有加强,MDA含量均有提高,4种组合的嫁接苗介于二者之间。而MDA含量则相反,以接穗最高,砧木最低,嫁接苗介于二者之间(表3)。这说明嫁接可能是通过增强防御自由基和活性氧伤害的酶系统,降低叶片细胞膜的过氧化作用,使膜的损伤程度减小,从而增强植株的抗病性的。

PAL是苯丙烷类代谢的关键酶和限速酶,参与了木质素、植保素和酚类物质的合成。木质素是沉积于植物木质化组织细胞壁中的芳香类化合物,可构成保护圈而阻止病菌对寄主的入侵,且木质素降解产物对病菌菌丝有毒害作用<sup>[19]</sup>。研究表明,在转基因烟草中PAL基因的表达沉默,会抑制花叶病毒感染后水杨酸的产生和系统抗性的获得;在转基因烟草中PAL基因过量表达,会导致大量绿原酸的生

成和对真菌烟草尾孢感染敏感性的明显下降<sup>[19]</sup>。棉苗感染黄萎病菌后PAL活性明显升高并表现出规律性的变化,酶活高峰出现在侵染后第3天。且不同抗性的品种间PAL活性存在明显差异(图1)。因此,PAL活性可作为衡量植物抗病性的生化指标之一。

## 参 考 文 献

- [1] 顾本康. 中国棉花抗病育种[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1996.
- [2] 马玉坤,贾永芳,马静芳. 砧木对红地葡萄生长和果实品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(1): 101-103.
- [3] VENEMA J H, DIJK B E, BAX J M, et al. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63: 359-367.
- [4] 朱进,别之龙. 嫁接对盐胁迫下黄瓜苗离子含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(7): 1642-1646.
- [5] 纪龙邦,蔡干香,郭长生,等. 海岛棉与陆地棉嫁接初试成功[J]. 中国种业, 2008(1): 38.
- [6] 郝俊杰,马奇祥,刘焕民,等. 嫁接棉花对棉花黄萎病抗性、产量和纤维品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3974-3980.
- [7] 张浩,李锐,刘亮,等. 棉花高效嫁接技术的研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(24): 5060-5062.
- [8] 简桂良,孙文姬,马存. 棉花黄萎病抗性鉴定新方法——无底塑钵菌液浇根法[J]. 棉花学报, 2001, 13(2): 67-69.
- [9] 石磊岩,孙文姬. 棉花抗黄萎病苗期鉴定方法[J]. 植物保护, 1987, 13(1): 42.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 1.
- [11] 沈文飏,徐郎莱,叶茂炳,等. 氮蓝四唑光化还原法测定超氧化物歧化酶活性的适宜条件[J]. 南京农业大学学报, 1996, 19(2): 101-102.
- [12] 汪红,刘辉,袁红霞,等. 棉花黄萎病不同抗性品种接菌前后体内酶活性及酚类物质含量的变化[J]. 华北农学报, 2001, 16(3): 46-51.
- [13] 王伟,陈宛新,朱祯,等. 转基因棉花高效定植方法的研究[J]. 植物学报, 1999, 41(10): 1072-1075.
- [14] FERNANDEZ-GARCIA N, CARVAJAL M, OLMOS E. Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement[J]. Annals of Botany, 2004, 93: 53-60.
- [15] ESPEN L, COCUEEL M, SACCHI G A. Differentiation and functional connection of vascular elements in compatible and incompatible pear/quince internode micrografts[J]. Tree Physiology, 2005, 25: 1419-1425.
- [16] 马崎英,王省芬,张桂寅,等. 不同来源海岛棉品种黄萎病抗性

遗传研究[J]. 作物学报, 2000, 26(3): 315-321.

[17] ZHU L, ZHANG X, TU L, et al. Identification and characterization of two novel dirigent-like genes highly expressed in cotton (*G. barbadense*) during inoculation of *Verticillium dahliae* [J]. Journal of Plant Pathology, 2007, 89(1): 25-29.

[18] 郭海军, 董志强, 林永增, 等. 黄萎病对棉花叶片 SOD、POD 酶

活性和光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 1995, 28(6): 40-46.

[19] SHADLE G L, WESLEY S V, KORTH K L, et al. Phenylpropanoid compounds and disease resistance in transgenic tobacco with altered expression of *L*-phenylalanine ammonia-lyase[J]. Phytochemistry, 2003, 64: 153-161.

## Resistance and physiological changes of grafted cotton to *Verticillium dahliae* Kleb.

ZHANG Ming-ju XIA Qi-zhong WU Bing

Chemistry and Bio-Science College, Huanggang Normal University, Huangzhou 438000, China

**Abstract** Using sea-island cotton 7124 (R1) and Pima 90 (R2) as rootstocks, grafted seedlings S1/R1, S2/R1, S1/R2 and S2/R2 were obtained by the close-joining method with Jimian 11 (S1) and Emian 22 (S2) as the scion. All the grafting survival rates are above 60%, and the survival ratio of S2/R2 reached 85%. Results confirmed that there was favorable affinity among the selected sea-island cotton and upland cotton varieties. The resistance test showed that the grafted seedlings of S1/R1, S2/R1, S1/R2, and S2/R2 were resistant to *Verticillium* wilt with the relative disease indexes of resistance at 16.1, 12.3, 5.4 and 4.5, respectively. The results indicated that susceptible upland cotton cultivars grafting on appropriate disease-resistant rootstocks can effectively control the *Verticillium* wilt. The physiological indexes of rootstocks, scion and grafted seedlings were determined on the third day after inoculation of *Verticillium dahliae* Kleb. . It was found that the activities of SOD and POD in all leaves were enhanced with MDA content increased. The SOD and POD activities in rootstocks leaves were the highest (the SOD and POD activities in R2 leaves are 68.51 and 661.26 U/(mg · min), respectively), and the increased amplitudes are 31.5% and 27.7%, respectively; the SOD and POD activities in scion leaves were the lowest (the SOD activity in S1 leaves and POD activity in S2 leaves are 40.80 and 424.48 U/(mg · min), respectively), and the increased amplitudes are 15.5% and 5.2%, respectively; the SOD and POD activities in four grafted seedlings leaves were between them. While the MDA contents in leaves were in the contrast; the MDA contents in scion leaves being the highest, and those in rootstock leaves being the lowest, the MDA contents in grafted seedlings leaves being mediate. The enhancement of disease-resistance in plant by grafting can be contributed to the enhancement of the enzyme system which defends the damage from free radicals and reactive oxygen through reducing the lipid peroxidation in the leaf cell membrane. PAL activity in the leaves of cotton seedling infected by pathogen was significantly elevated and showed regular changes. PAL activity increased slowly in primarily infected the first day followed by a sharp rise, and the activity peak arose at the 3rd day after infection followed by a rapid decline, then the enzyme activity were close to the initial levels at the 5th day PAL activities in different resistant varieties are significantly different. PAL activity in Emian 22 (S2) increases slowly with small peak (32.41 U/(mg · min)); PAL activity in Pima 90 (R2) increases quickly with high peak value (53.65 U/(mg · min)); PAL activity in grafted cotton seedlings S2/R2 is mediate, and the peak value (46.13 U/(mg · min)) is more close to that of R2.

**Key words** cotton; grafted seedling; resistance to *Verticillium* wilt; lipid peroxidation; SOD; POD; MDA; PAL

(责任编辑: 张志钰)