

茄子嫁接后愈合过程中组织结构和生理特性变化研究

孙茂^{1,2} 胡雨莹^{1,2} 汪骞² 黎志彬² 鲍锐² 吴丽艳² 杜光辉¹

(¹ 云南大学农学院, 650500, 云南昆明; ² 云南省农业科学院园艺作物研究所, 650205, 云南昆明)

摘要 以野生茄水茄为砧木、栽培茄云茄9号为接穗, 采用劈接的方法进行嫁接, 取嫁接后0、2、4、6、8、10和12 d的嫁接结合部位进行横切面组织结构观察, 并对其苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和可溶性蛋白(SP)等生理指标进行测定分析, 研究茄子嫁接愈合过程中的组织结构和生理特性变化。结果表明: 水茄与云茄9号嫁接愈合过程的组织结构变化可分为4个主要时期, 即隔离层与愈伤组织形成期(0~4 d)、愈伤组织分裂与增殖连接期(5~7 d)、形成层连接期(8~9 d)和维管组织分化形成期(10~12 d)。嫁接后12 d内的生理指标测定结果发现, 嫁接苗和自体嫁接苗生理特性的变化趋势基本一致。其中, PAL活性整体呈下降趋势, SOD活性呈现先下降后上升的“V”形变化, POD活性和SP含量则呈现“M”形变化。此外, 嫁接后4 d大部分生理指标出现转折性变化; 而6 d之后, 所有组合的SOD活性整体呈现上升趋势, 且嫁接苗活性上升趋势更加明显, 最高值与最低值相差19倍; 6~8 d时, 嫁接苗SP含量急速上升, 于8 d时达到最高值, 是最低值的5.6倍。综上所述, 水茄与云茄9号嫁接后12 d可基本完成愈合过程, 其关键的愈合时间点可能为嫁接后4、6和8 d。

关键词 水茄; 茄子; 云茄9号; 嫁接; 组织结构; 生理特性

茄子(*Solanum melongena* L.)是茄科中十分重要的蔬菜, 具有较高的营养价值和药用价值。随着我国茄果类蔬菜集约式生产和保护地栽培面积的日益扩大, 茄子土传病害呈逐渐加重的趋势^[1]。研究^[2]表明, 嫁接可以增强植物抗性, 对大部分病害有很好的防治作用。而嫁接砧木的缺乏影响了茄果类嫁接技术效益的发挥, 所以优良砧木的选择变得至关重要。蔡鹏等^[3]以野茄托鲁巴姆为砧木, 发现嫁接后植株在生长势、坐果能力以及果实商品性等方面都得到了明显的改善。潜宗伟等^[4]用番茄作为砧木进行嫁接, 发现其嫁接亲和力相对较低, 表现为嫁接植株生长势降低及叶片数减少。因此, 嫁接之后茄子植株性状能否得到提升与嫁接砧木的选择以及嫁接砧木和接穗之间的亲和性息息相关。多个研究^[5-7]表明, 水茄(*Solanum torvum* Swartz.)是一种重要的野生茄资源, 对青枯病表现为免疫, 对根结线虫病表现为中抗, 对黄萎病有较好的抗性, 可作为优良砧木使用, 但其与栽培茄嫁接愈合机理研究较少。

目前, 有关茄子嫁接方面的研究^[8-11]多集中在嫁接方法、嫁接工具、嫁接果实品质、不同砧木接

穗嫁接成活率以及抗病性等方面, 对于嫁接体发育过程中砧穗之间的愈合过程, 特别是以野生茄为砧木的嫁接愈合过程中组织结构以及相关生理变化尚不清楚。因此, 本研究选取水茄为砧木、云茄9号为接穗开展嫁接, 并设置水茄自体嫁接苗和云茄9号自体嫁接苗为对照, 对其嫁接部位的横切面进行观察, 以期全面了解野生茄与栽培茄嫁接愈合过程中的内部组织结构变化, 并结合嫁接愈合过程中的生理特性变化, 判断嫁接愈合的关键时期, 从而解析野生茄与栽培茄的嫁接机理, 为茄果类作物嫁接栽培研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为水茄(StS)和云茄9号(Sm), 其中水茄为云南省农业科学院园艺作物研究所茄子育种课题组收集、保存的云南野生茄资源, 云茄9号则为课题组自育的茄子品种。

1.2 试验设计

1.2.1 砧木与接穗种子处理及嫁接苗培养 将水茄(由于水茄发芽相对困难, 所以需要提前15~

作者简介: 孙茂, 主要从事茄子嫁接栽培研究, E-mail: 358589451@qq.com

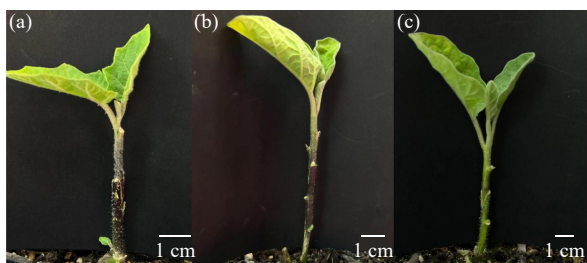
杜光辉为通信作者, 主要从事作物栽培研究, E-mail: dgh2012@ynu.edu.cn; 吴丽艳为共同通信作者, 主要从事茄子抗病育种研究, E-mail: wly@yaas.org

基金项目: 云南省农业基础研究联合专项面上项目(202301BD070001-052); 云南省重大科技计划专项(202302AE090006); 云南大学研究生实践创新基金项目(ZC-23234029); 云南省可持续发展议程创新示范区专项(202204AC100001-A06)

收稿日期: 2024-09-13; 修回日期: 2024-11-18; 网络出版日期: 2025-02-10

20 d 完成播种)与云茄 9 号种子分别置于 40 目的尼龙种子袋,在 55 °C 的水浴锅中消毒 15 min,之后用无菌水清洗 2~3 次,在 25 °C 温水下浸种 6~8 h。再用浓度为 400 mg/L 的赤霉素(GA₃)溶液浸泡 24 h,浸泡后置于 28~30 °C 恒温培养箱中,每天用清水淘洗 2 次,待 85% 左右的种子露白后即可播种。用穴盘(长 54 cm、宽 28 cm, 5×10 排列)进行育苗,每穴挑选 3 粒发芽程度一致的种子进行播种。播种后,温度控制在 28~30 °C,湿度保持在 60%~70%。

1.2.2 砧木与接穗苗的嫁接 选取生长健康、粗度相近的植株进行嫁接,如图 1 所示。待砧木粗度达 3~4 mm,长有 5~7 片真叶,接穗达 4~6 片真叶时进行劈接。嫁接前将刀片和嫁接夹用 75% 酒精浸泡消毒。用刀片从砧木根部往上 5 cm 处将其上部茎叶削去,再沿切面中心向下纵切 1 cm 左右;在接穗顶部 2~3 片真叶下方 1.5 cm 处水平切断,在其基部沿切口处削成长约 1 cm 左右的楔形,迅速插入砧木切口中,立即用嫁接夹固定好接口处。



(a) 水茄自体嫁接苗 (StS/StS); (b) 云茄 9 号自体嫁接苗 (Sm/Sm); (c) 以水茄为砧木、云茄 9 号为接穗的嫁接苗 (Sm/StS)。
(a) self grafting seedlings of *S. torvum* Swartz. (StS/StS); (b) self grafting seedlings of *S. melongena* Yunqie 9 (Sm/Sm); (c) grafting seedlings using *S. torvum* Swartz. as rootstock and *S. melongena* 'Yunqie 9' as scion (Sm/StS).

图 1 水茄和云茄 9 号嫁接苗

Fig.1 The grafting of *S. torvum* Swartz. and *S. melongena* Yunqie 9

1.2.3 嫁接苗管理 嫁接后早晚盖塑料薄膜保湿,前 3 d 置于阴凉处,中午通风,白天温度控制在 25~28 °C,夜晚控制在 15~18 °C,保持空气湿度为 95%,5~7 d 后正常管理。

1.2.4 组织切片材料取样 设 3 个处理:水茄自体嫁接苗 (StS/StS)、云茄 9 号自体嫁接苗 (Sm/Sm),以及以水茄为砧木、云茄 9 号为接穗的嫁接苗 (Sm/StS),分别于嫁接后 12 d 内每 2 d 取样 1 次,共取样 7 次(即嫁接后 0、2、4、6、8、10 和 12 d)。每次分别随机选取长势相近的健壮苗处理组 (Sm/StS) 与对照组 (StS/StS、Sm/Sm) 各 5 株,

切取砧穗结合部茎段(1~1.5 cm)以及从上往下的第 3~4 片真叶,茎段用于制作石蜡切片,叶片用于生理测定。

1.3 试验方法

1.3.1 材料的软化与固定 将 1.2.4 中所取茎段用封口膜固定好,放入由 95% FAA 固定液和 5% 甘油组成的混合液中常温固定 3~5 d,将固定好的样品放入植物组织软化液中软化 15 d。

1.3.2 石蜡切片的制作 (1)脱水:75%乙醇 40 min→85%乙醇 40 min→90%乙醇 40 min→95%乙醇 40 min→无水乙醇 I 40 min→无水乙醇 II 40 min。

(2)透明:50%乙醇+50%二甲苯 25 min→二甲苯 I 30 min→二甲苯 II 25 min。

(3)浸蜡:将透明好的组织块置入已熔化的 58~60 °C 石蜡内,共 3 杯蜡,第 1 杯蜡 40 min,第 2 杯蜡 60 min,第 3 杯 90 min,使之逐步排出组织中的透明剂二甲苯,让石蜡易于渗入。

(4)包埋:将过滤好的新蜡倾入 HistoCore ArCadia H 包埋器(徕卡,德国)中,尽快将浸透蜡的组织块放到里面。将组织块的切面朝下,组织与蜡之间不能留有空隙,力求摆正摆平,尽量与包埋器底板接触,最后放上标纸。

(5)连续切片:用 HistoCore BloCu7 石蜡切片机(徕卡,德国)将石蜡块切成 4 μm 厚的切片。

(6)贴片:切好的石蜡组织片先放入冷水中进行第 1 次展片,再转入 45 °C 的温水中进行第 2 次展片,最后再用经过多聚赖氨酸包被处理的载玻片将组织切片捞起并贴附于载玻片上。

(7)烤片:将贴有石蜡切片的载玻片放置于载玻片架上,在 60 °C 烤箱烘烤 1~2 h。

1.3.3 番红固绿染色与观察 (1)将石蜡切片进行常规脱蜡、水化:60 °C 烘片 30 min→二甲苯 I 10 min→二甲苯 II 10 min→二甲苯 III 10 min→无水乙醇 I 5 min→无水乙醇 II 5 min→95%乙醇 5 min→90%乙醇 5 min→80%乙醇 5 min→70%乙醇 5 min→蒸馏水 I 5 min→蒸馏水 II 5 min。(2)番红染液染 5 min。(3)50%酒精分化 5~30 s,75%酒精分化 5~30 s。(4)固绿染液染色 30~60 s。(5)无水脱水 5~30 s,二甲苯透明 5~30 s。(6)中性树脂封片。(7)用数字切片扫描仪进行全息扫描(3DHISTECH, Panoramic MIDI)。

1.4 测定项目与方法

将 1.2.4 中所取叶片剪碎混匀后,按 0.2 g/管分

装于试管中, 每个样品设置3个生物学重复, 并按过氧化物酶(POD, A084-3-1)、苯丙氨酸解氨酶(PAL, A137-1-1)、超氧化物歧化酶(SOD, A001-1)以及可溶性蛋白(SP, A045-2)试剂盒进行测定, 所有试剂盒均购自南京建成生物科技有限公司, 具体酶活性测定与计算方法按对应说明书进行。

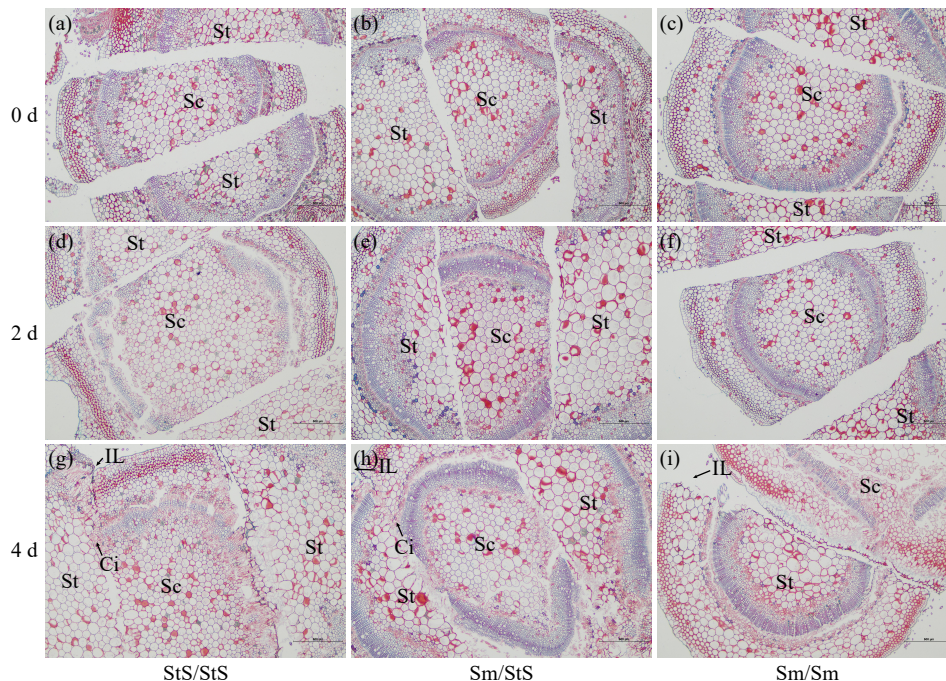
1.5 数据处理

利用软件Excel 2021处理数据, 利用软件SPSS 26.0进行显著性分析, 采用Duncan法进行多重比较, 利用软件Origin 2021进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 愈伤组织石蜡切片的观察

2.1.1 隔离层与愈伤组织形成期 由图2可知, 所有嫁接组合在嫁接后2 d相较于0 d的组织结构基本没有什么变化, 4 d时嫁接结合部位边缘产生一层由坏死细胞组成的深色薄层, 即隔离层(IL)。Sm/StS(图2h)与StS/StS(图2g)、Sm/Sm(图2i)相比, 虽然三者均在4 d形成了对伤口有保护作用的隔离层, 但在愈伤组织的形成上有所差异,



St: 砧木; Sc: 接穗; IL: 隔离层; Ci: 愈伤组织, 刻度标尺为500 μm , 下同。
St: rootstock; Sc: scion; IL: isolation layer; Ci: callus tissue, the scale is 500 μm , the same below.

图2 嫁接后0、2和4 d 砧穗结合部横切面显微结构

Fig.2 The cross sectional microstructure of graft union at 0, 2 and 4 days after grafting

此时 Sm/StS 和 StS/StS 均形成了愈伤组织, 而 Sm/Sm 并未形成。

2.1.2 愈伤组织分裂与增殖连接期 由图3可知, 水茄与云茄9号嫁接后6 d, 嫁接部位愈伤组织开始大量分裂增殖并逐步连接在一起。虽然此时三者

均形成了愈伤组织桥, 但在愈伤组织分裂增殖能力上有所差别, 可以明显看出 StS/StS(图3a)分裂增殖能力最强, 创伤部位伤口几乎被填满, 大部分愈伤组织紧密连接在一起, 其次是 Sm/Sm(图3c), 而 Sm/StS(图3b)分裂增殖能力最弱。

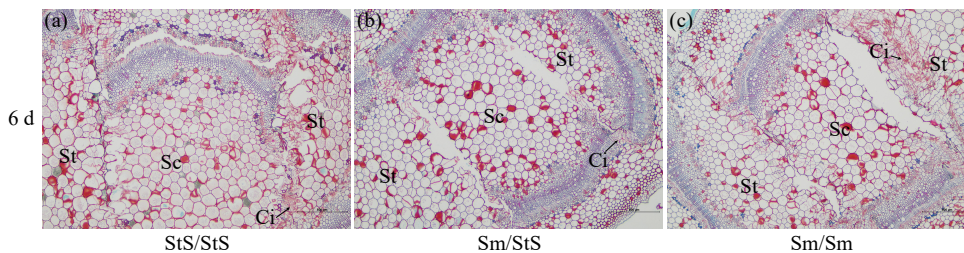
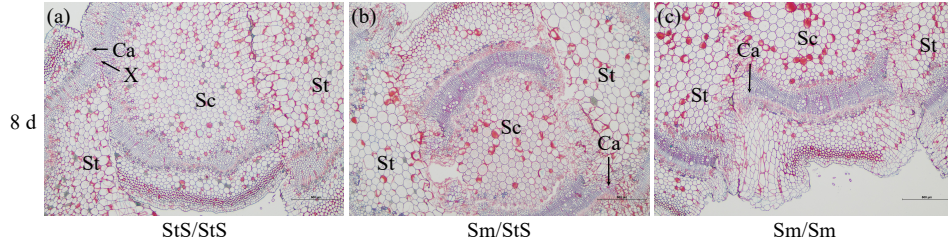


图3 嫁接后6 d 砧穗结合部横切面显微结构

Fig.3 The cross sectional microstructure of graft union at 6 days after grafting

2.1.3 形成层连接期 由图 4 可看出,水茄与云茄 9 号嫁接后 8 d,嫁接部位伤口处几乎被愈伤组织填满,并且砧穗之间形成层细胞开始连接在一起。此时 Sm/StS (图 4b) 砧穗位置不仅形成层连接在一

起,而且形成层处已经开始有向内分化出木质部、向外分化出韧皮部的趋势。StS/StS (图 4a) 形成层连接处已经开始分化出木质部,而 Sm/Sm (图 4c) 此时只是形成层初步连接。



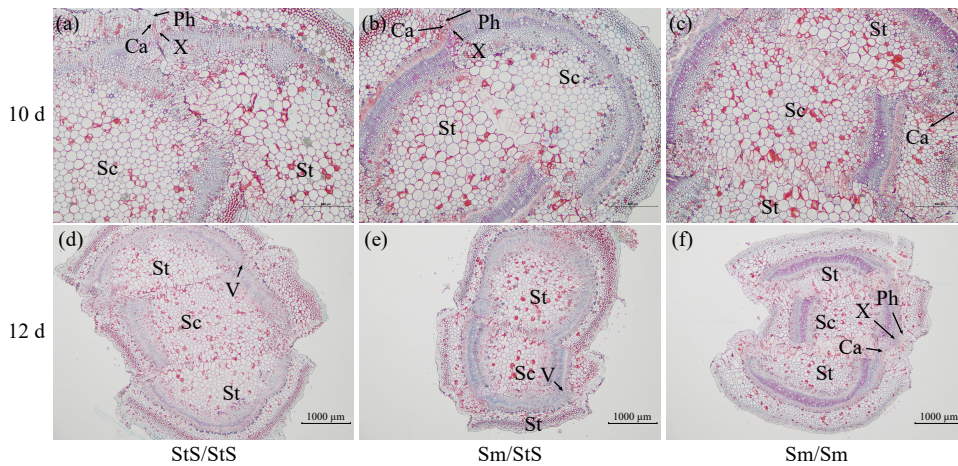
Ca: 形成层,下同。
Ca: cambium, the same below.

图 4 嫁接后 8 d 砧穗结合部显微结构

Fig.4 The cross sectional microstructure of graft union at 8 days after grafting

2.1.4 维管组织分化形成期 由图 5 可以看出,水茄与云茄 9 号嫁接后 10 d,嫁接结合部形成层连接处能明显看到已经分化出了象征嫁接成活的维管组织。此时形成层细胞已经开始向内分化出木

质部,向外分化出韧皮部(图 5b)。此时 StS/StS (图 5a) 也分化出了木质部和韧皮部,而 Sm/Sm (图 5c) 此时还处于形成层连接期。由图 5 可知,Sm/StS (图 5e) 和 StS/StS (图 5d) 在 12 d 时于嫁



Ph: 韧皮部; X: 木质部; V: 导管。
Ph: phloem; X: xylem; V: vessel.

图 5 嫁接后 10 和 12 d 砧穗结合部横切面显微结构

Fig.5 The cross sectional microstructure of graft union at 10 and 12 days after grafting

接结合部位形成了新的导管且木质部和韧皮部分化更加明显,整体已基本愈合,而此时 Sm/Sm (图 5f) 才开始出现木质部和韧皮部。

2.2 嫁接愈合过程中的生理变化

2.2.1 苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性变化 由图 6 可知,在嫁接愈合过程中,嫁接苗 Sm/StS、StS/StS 和 Sm/Sm 在嫁接后 0~2 d 的 PAL 活性变化趋势一致, PAL 活性极速下降,此时 Sm/StS 的 PAL 活性介于 StS/StS 和 Sm/Sm 之间。而嫁接后 2~4 d 时, StS/StS、Sm/Sm 和 Sm/StS 嫁接苗嫁接部位出现差异,自体嫁接苗 PAL 活性逐渐上升,而 Sm/StS 的

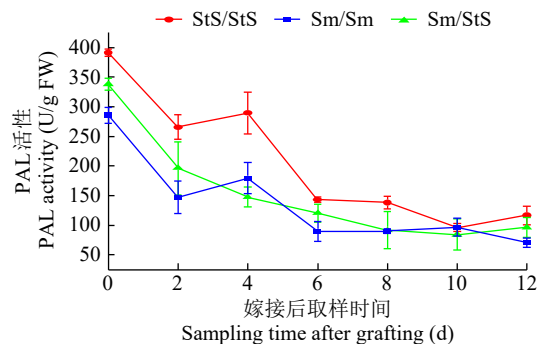


图 6 水茄和云茄 9 号嫁接愈合过程中 PAL 活性变化
Fig.6 Changes in PAL activity during the healing process of *S. torvum* Swartz. and *S. melongena* Yuncie 9 grafting

PAL 活性仍处于下降趋势,持续到 10 d 时开始上升。Sm/StS 的 PAL 活性在前 10 d 总体处于下降趋势,在 10 d 时出现拐点,同时也是其最低值,为 84.05 U/g,而 StS/StS 和 Sm/StS 在 6 d 之后变化趋势一致,与 Sm/Sm 变化趋势相反。

2.2.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性变化 由图 7 可知,Sm/StS 与 StS/StS 和 Sm/Sm 的 SOD 活性总体变化趋势均呈现“V”形,除嫁接后 2~4 d 外,三者整体变化趋势一致,均在 6 d 时出现最低值。Sm/StS 在 0~6 d 过程中 SOD 活性明显下降,于 6 d 时达到最低值(43.55 U/g),后又于 6~12 d 时显著上升达到最高值(858.72 U/g),最高值与最低值相差 19 倍,与 StS/StS 和 Sm/Sm 相比,Sm/StS 在 2~4 d 下降趋势更明显。

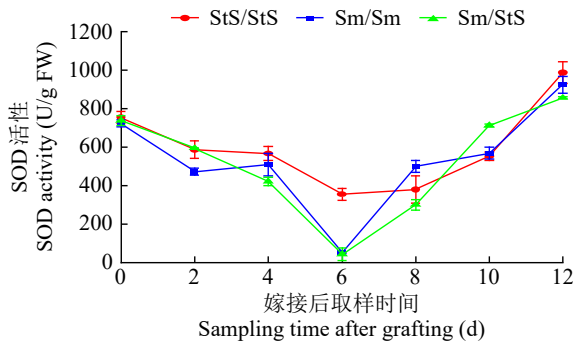


图 7 水茄和云茄 9 号嫁接愈合过程中 SOD 活性变化
Fig.7 Changes in SOD activity during the healing process of *S. torvum* Swartz. and *S. melongena* Yunqie 9 grafting

2.2.3 过氧化物酶(POD)活性变化 如图 8 所示,Sm/StS 与 StS/StS、Sm/Sm 前 0~10 d 整体变化趋势一致,在 10~12 d 时,StS/StS 的 POD 活性大幅度上升,而 Sm/StS 和 Sm/Sm 处于下降趋势。相对于自体嫁接苗,Sm/StS 的 POD 活性总体变化趋势比较平稳。出现变化的主要时间节点为 2、6 和 10 d。

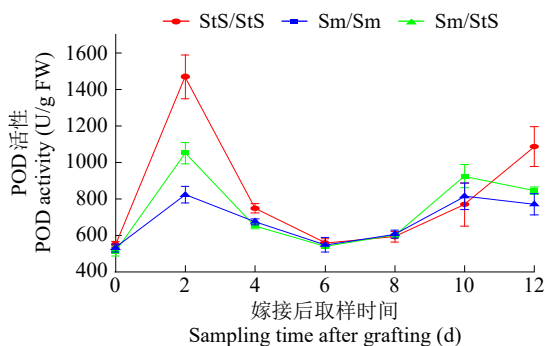


图 8 水茄和云茄 9 号嫁接愈合过程中 POD 活性变化
Fig.8 Changes in POD activity during the healing process of *S. torvum* Swartz. and *S. melongena* Yunqie 9 grafting

2.2.4 可溶性蛋白(SP)含量变化 如图 9 所示,Sm/StS 与 StS/StS、Sm/Sm 可溶性蛋白含量变化趋势整体呈现“M”形,且 Sm/StS 变化比较剧烈,主要拐点出现在 2、4、6 和 8 d,其中最低点为 6 d (0.30 g/L),最高点为 8 d (1.73 g/L),两者相差 5.6 倍。Sm/StS 的 SP 含量在 0~6 d 时位于 StS/StS 和 Sm/Sm 之间,而 6~8 d 时急剧上升,明显高于自体嫁接苗。与 StS/StS 和 Sm/Sm 相比,嫁接苗 Sm/StS 在 8 d 时的 SP 含量变化明显,是两者的 2.7 倍,说明 SP 的含量受嫁接的影响作用比较明显。

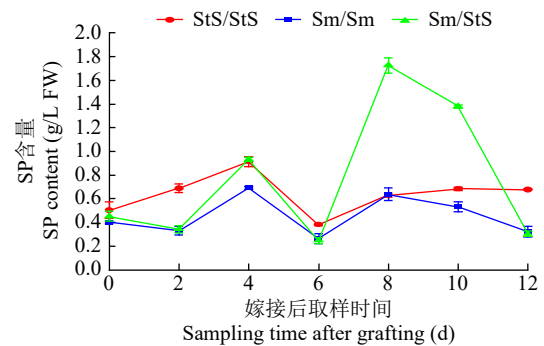


图 9 水茄和云茄 9 号嫁接愈合过程中 SP 含量变化
Fig.9 Changes in SP content during the healing process of *S. torvum* Swartz. and *S. melongena* Yunqie 9 grafting

3 讨论

嫁接可以结合砧木和接穗的优良特性,增强植物的抗病抗虫能力,是一种极为重要的无性繁殖方法^[12]。而嫁接植物能否按照人们的预期行使正常的生物功能,愈合过程十分关键,圆齿野鸦椿^[13]嫁接愈合过程可分为 3 个时期,山苍子^[14]的嫁接愈合过程可分为 4 个时期,千年桐^[15]嫁接愈合过程可分为 5 个时期。虽然不同物种嫁接愈合进程存在差异,但基本的愈合过程大致相似,本研究发现水茄与云茄 9 号嫁接愈合过程可分为 4 个主要时期:隔离层与愈伤组织形成期(0~4 d)、愈伤组织分裂与增殖连接期(5~7 d)、形成层连接期(8~9 d)和维管组织分化形成期(10~12 d)。由此可见,嫁接愈合时期的确定主要是根据砧穗间的愈合情况而定,而砧穗间的快速愈合会受到许多因素的影响。

隔离层的形成可以减少外界不利因素对嫁接部位带来的伤害,本研究与祁利潘等^[16]在马铃薯与枸杞嫁接愈合过程的研究不同,嫁接苗在 4 d 就形成了对伤口有保护作用的隔离层,产生这种差异的原因可能是不同物种间亲和性不同所导致。愈伤组

织桥的形成构建了接穗与砧木之间的水分及养料交流的通道,是嫁接愈合的关键一环。水茄与云茄 9 号嫁接后 6 d,嫁接部位愈伤组织开始大量分裂增殖并逐步连接在一起形成了愈伤组织桥,这与解华云等^[17]在薄皮甜瓜嫁接砧穗愈合过程组织学观察的研究结果相似。形成层恢复是嫁接成功的标志性事件之一,水茄与云茄 9 号嫁接后 8 d 时嫁接苗砧穗位置不仅形成层连接在一起,而且形成层处已经开始有向内分化出木质部、向外分化出韧皮部的趋势。而维管束重新连接标志着嫁接成功^[18],嫁接后 10 d,嫁接结合部形成层连接处能明显看到分化出了象征嫁接成活的维管组织并且形成层处已开始向内分化出木质部,向外分化出韧皮部,当嫁接苗于 12 d 时在嫁接结合部位形成了新的导管且木质部和韧皮部分化更加明显,此时嫁接苗已经完全愈合为一个新的个体。

研究^[19]表明,嫁接植物的营养状况与砧木的活力控制能力有关,砧木可以通过强大的根系促进接穗对矿质营养的吸收,同时砧木会影响内源激素的代谢水平,从而影响嫁接植物的生长发育过程^[20]。本研究嫁接愈合过程中,无论是愈伤组织的形成,还是形成层以及维管组织的形成,均为水茄自体嫁接苗最先完成,其次是水茄为砧木、云茄 9 号为接穗的嫁接苗,最后是云茄 9 号自体嫁接苗。一方面可能是由于水茄强大的根系提升了接穗对水分和养分的吸收能力,另一方面是砧木通过影响嫁接体内源激素的代谢水平从而促进愈合进程,其中的机制需要进一步研究。

PAL 是嫁接愈合过程中新个体功能重建及组织发育的重要因子,具有促进细胞分化及木质化的功能^[21]。在本研究中,自体嫁接苗和嫁接苗在嫁接初期变化趋势一致,而 6 d 之后水茄自体嫁接苗与水茄为砧木、云茄 9 号为接穗的嫁接苗和云茄 9 号自体嫁接苗变化趋势相反,说明嫁接愈合过程中嫁接苗受水茄的影响较大,而前期嫁接苗 PAL 变化一直呈下降趋势,表明了嫁接愈合速度的快慢与嫁接亲和性息息相关,自体嫁接苗的愈合速度显著高于嫁接苗愈合速度,出现这种差异的原因可能是创伤口与嫁接口的木质化程度不同所致。到 10 d 时嫁接苗 PAL 活性开始上升,此时细胞分化和木质化速度加快,与切片维管组织分化形成期组织结构变化相吻合。

SOD 和 POD 是植物体内清除活性氧自由基的重要酶类,其活性水平能够反映植物在逆境下受损的程度与植物抵抗逆境的能力^[22]。本研究中的嫁接初期也就是隔离层与愈伤组织形成时期,POD 活性逐渐上升,而 6 d 之后,SOD 活性整体开始上升且嫁接苗上升趋势更加明显,SOD 和 POD 活性的上升,可以清除嫁接接口产生的过量活性氧,从而保护植物细胞不受伤害。同时,POD 在嫁接愈合过程中可以促进嫁接接口新分化木质部的木质化进程^[23]。而本研究中嫁接后 6~10 d POD 活性的上升正处于形成层连接期和维管组织分化形成期。这一研究结果与王习政等^[14]在山苍子嫁接中的研究结果一致。

砧木和接穗之间的相容性很大程度上取决于愈合处愈伤组织细胞的形成,而愈伤组织又受特定蛋白质的控制,SP 在维持嫁接苗的生长和代谢中起到了重要的作用^[24]。本次嫁接过程中,嫁接苗 SP 含量在 2~4 d 时上升,在细胞学上对应隔离层与愈伤组织形成期,可以有效减少细胞失水并保护细胞生物膜,而 8~12 d 时急速下降,此时处于形成层连接期和维管组织分化形成期,是嫁接体愈合的关键阶段,需要消耗大量蛋白质用于合成细胞结构和提供能量,从而推进机体分裂和分化快速进行。

4 结论

通过石蜡切片技术对水茄与云茄 9 号嫁接结合部不同时间点的组织结构观察发现,其愈合过程可分为 4 个主要时期。根据生理结果可知,PAL 活性变化的主要时间点为嫁接后 2、4、8 和 10 d,SOD 活性变化的主要时间点为嫁接后 4 和 6 d,POD 活性变化的主要时间点为嫁接后 2、6、8 和 10 d,SP 含量变化的主要时间点为嫁接后 2、4、6 和 8 d。综上所述,水茄与云茄 9 号嫁接后 4、6 和 8 d 很可能是其关键愈合时间点。

参考文献

- [1] 蔡鹏,蒋馨,李跃建,等.不同理化处理对托鲁巴姆种子萌发的影响.西南农业学报,2015,28(2):728-732.
- [2] Feng M, Augstein F, Kareem A, et al. Plant grafting: molecular mechanisms and applications. *Molecular Plant*, 2023, 17(1): 75-91.
- [3] 蔡鹏,李跃建,刘独臣,等.砧木托鲁巴姆嫁接对夏秋茄子生长特性、产量与品质的影响.西南农业学报,2015,28(3):1201-1204.
- [4] 潜宗伟,陈海丽,崔彦玲.异属砧木嫁接对茄子和番茄生长、产量及品质的影响.湖北农业科学,2017,56(4):697-701.
- [5] 吴丽艳,郭志祥,曾莉,等.云南野生茄资源黄萎病苗期人工接种抗性鉴定分析.植物遗传资源学报,2017,18(6):1046-1054.

- [6] 胡永军, 李明光, 陈永智, 等. 茄子嫁接栽培防治根结线虫砧木的筛选. 长江蔬菜, 2004(6): 32-33.
- [7] 苏婉玉, 王艳芳, 曹绍玉, 等. 野生茄属资源——水茄的开发利用. 长江蔬菜, 2017(22): 32-34.
- [8] 陈银根, 吕文君, 章文斌, 等. 嫁接方法对番茄嫁接工效及嫁接苗生长的影响. 中国园艺文摘, 2018, 34(4): 18-20.
- [9] 梁明珠, 陈永杰, 贾强生, 等. 嫁接方法对茄子嫁接工效、嫁接苗生长发育的影响. 山西农业科学, 2015, 43(9): 1127-1129.
- [10] 石瑶, 王利英, 于海龙, 等. 嫁接对茄子栽培及田间抗逆性影响的研究. 天津农业科学, 2011, 17(3): 101-103.
- [11] 李显仁, 林雄武. 茄子与野生水茄嫁接及其嫁接苗的栽培技术. 广西园艺, 2008(1): 54-55.
- [12] 杨慧萍, 汪端华, 欧阳娴, 等. 植物嫁接互作的调控机理研究进展. 湖南农业科学, 2020(9): 104-108.
- [13] 黄航, 刘聪, 万瑞琪, 等. 圆齿野鸦椿嫁接愈合过程的显微观察及嫁接体酶活性的变化分析. 经济林研究, 2022, 40(3): 55-64.
- [14] 王习政, 陈霞, 苏文娟, 等. 山苍子嫁接愈合过程的组织解剖和生理特性. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(3): 56-64.
- [15] 蓝金宣, 梁文汇, 黄晓露, 等. 千年桐嫁接愈合过程解剖结构与内源激素的变化. 广西林业科学, 2021, 50(2): 144-149.
- [16] 祁利潘, 李越, 王磊, 等. 马铃薯与枸杞嫁接愈合过程的解剖学观察. 园艺学报, 2022, 49(4): 868-874.
- [17] 解华云, 艾辉建, 洪日新, 等. 薄皮甜瓜嫁接砧穗愈合过程组织学观察. 福建农业科技, 2021, 52(9): 59-63.
- [18] Melnyk C W, Meyerowitz E M. Plant grafting. *Current Biology*, 2015, 25(5): 183-188.
- [19] Hayat F, Iqbal S, Coulibaly D, et al. An insight into dwarfing mechanism: contribution of scion-rootstock interactions toward fruit crop improvement. *Fruit Research*, 2021, 1: 3.
- [20] 邹薛, 徐艳, 郑炳松, 等. 植物嫁接融合过程中砧木对接穗的影响研究进展. 安徽农业科学, 2022, 50(24): 14-16, 44.
- [21] 刘婧冉, 杜长霞, 樊怀福. 植物嫁接砧穗愈合机制研究进展. 浙江农林大学学报, 2018, 35(3): 552-561.
- [22] 张红梅, 黄丹枫, 丁明, 等. 不同苗龄接穗的西瓜嫁接体愈合过程中的3种酶活性变化. 植物生理学通讯, 2005(3): 302-304.
- [23] Fernandez-Garcia N, Martínez V, Carvajal M. Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2004, 167(5): 616-622.
- [24] 郑妍纯, 李安生, 郑鹏, 等. 植物嫁接亲和力和影响因子研究进展. 南方林业科学, 2024, 52(1): 67-73, 8.

Changes in Tissue Structure and Physiological Characteristics during Healing Process after Eggplant Grafting

Sun Mao^{1,2}, Hu Yuying^{1,2}, Wang Qian², Li Zhibin², Bao Rui², Wu Liyan², Du Guanghui¹

⁽¹⁾College of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650500, Yunnan, China;

⁽²⁾Horticultural Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China)

Abstract This study used wild *Solanum torvum* Swartz. as rootstock and cultivated eggplant *Solanum melongena* L. Yunqie 9 as scion. The grafting method was cleft grafting. The structure of graft union at 0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 days after grafting was observed, and physiological indicators such as phenylalanine ammonia lyase (PAL), peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), and soluble protein (SP) were measured to study the tissue structure and physiological characteristics during healing process after eggplant grafting. The results showed that the healing process of grafting between *S. torvum* Swartz. and Yunqie 9 could be divided into four stages, including isolation layer and callus formation stage (0-4 d), callus division and proliferation connection stage (5-7 d), cambium connection stage (8-9 d), vascular tissue differentiation and formation stage (10-12 d). The physiological indicators measured within 12 days after grafting showed that the changes in physiological characteristics of grafted seedlings and self-grafted seedlings were basically consistent. Among them, PAL activity showed an overall downward trend, SOD activity showed a “V” shaped change of first decreasing and then increasing, while POD activity and SP content showed an “M” shaped change. In addition, there were significant changes in most physiological indicators at four days after grafting; After six days, the SOD activity of all treatments showed an overall increase, and the increasing trend of SOD activity in grafted seedlings was more pronounced, with a difference of 19 times between the highest and lowest values; During the 6th to 8th days, the SP content of grafted seedlings rapidly increased and reached its highest value on the 8th day, which was 5.6 times the lowest value. In summary, the healing process between *S. torvum* Swartz. and Yunqie 9 could be basically completed 12 days after grafting, and the key healing time points might be 4, 6, and 8 days after grafting.

Key words *Solanum torvum* Swartz.; *Solanum melongena* L.; Yunqie 9; Grafting; Organization structure; Physiological characteristics