安徽农业大学学报, 2020, 47(3): 448-454
Journal of Anhui Agricultural University
[DOI] 10.13610/j.cnki.1672-352x.20200706.008　网络出版时间：2020-7-8　14:46:38
[URL] https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1162.S.20200706.1732.016.html

茉莉酸合成抑制剂对棉花脱分化及茎尖培养的影响

陈　锐，曾雨瑶，朱宇晨，杨雯翔，陈金萍，程文翰*
(荆楚理工学院生物工程学院，荆门 448000)

摘　要：以棉花幼苗下胚轴和茎尖作为试验材料，通过添加不同浓度的外源茉莉酸合成抑制剂，观察棉花下胚轴生根及愈伤组织的形成率以及对茎尖分化的影响，探究茉莉酸合成抑制剂对棉花脱分化及茎尖培养的影响。结果表明，茉莉酸合成抑制剂可以显著地促进愈伤组织的生成，加快生根，但是会在一定程度上抑制愈伤组织 POD 及 SOD 的活性。当茉莉酸合成抑制剂浓度为 0.075 mg·L^{-1} 时，对生根及愈伤组织形成方面作用效果最显著。而在茎尖培养过程中，2.0 mg·L^{-1} 的茉莉酸合成抑制剂在棉花茎尖培养初期对分生组织分化起显著促进作用，棉花生长量最大，植株 SOD 酶和 POD 酶活性最大。

关键词：棉花；茉莉酸合成抑制剂；脱分化；愈伤组织；茎尖培养
中图分类号：S562　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1672−352X (2020)03−0448−07

Effects of jasmonic acid synthesis inhibitor on cotton dedifferentiation and shoot tip culture

CHEN Rui, ZENG Yuyao, ZHU Yuchen, YANG Wenxiang, CHEN Jinping, CHENG Wenhan
(School of Biological Engineering, Jingchu University of Technology, Jingmen 448000)

Abstract: The hypocotyls and shoot tips of cotton seedlings were used as experimental materials. By adding different concentrations of exogenous jasmonic acid synthesis inhibitors, the formation rate of cotton hypocotyl rooting and callus and the effect on shoot tip differentiation were observed. The results showed that the inhibitor of jasmonic acid synthesis can significantly promote the formation of callus and accelerate the rooting, but it will inhibit the activity of POD and SOD in callus. The effect on rooting and callus formation under concentration of 0.075 mg·L^{-1} was the most significant. In shoot tip culture, 2.0 mg·L^{-1} jasmonic acid synthesis inhibitor significantly promoted the differentiation of meristem in the early stage of cotton shoot tip culture and The growth was the largest, activity of SOD and POD was at the highest level.

Key words: cotton; jasmonate synthesis inhibitor; dedifferentiation; callus; shoot tip culture

棉花是我国主要的经济作物，在农业经济中占有重要地位，既是重要的纤维作物也是重要的油料作物。通过传统的育种方法，棉花在产量、品质上都有很大的提高，然而棉花种质资源的缺乏，使得棉花育种受到了限制，生产受到制约[1]。

随着基因工程和现代生物技术的发展，以常规育种方法为基础，以转基因技术为核心的现代育种技术能够将外源有益基因导入棉花细胞中，并通过组培技术获取无菌苗。棉花组培技术对于获得无毒苗，快速繁殖，新品种培育，种质资源保护乃至悬浮培养和相关药物生产等方面都具有较大的优势。棉花体细胞胚胎的发生通常包括非愈伤组织的诱导、胚性愈伤组织的分化、胚状体的形成等过程。目前棉花体细胞胚胎发生存在的缺点包括培养周期长，不正常胚产生率高等，导致棉花再生困难[2]。

研究表明，茉莉酸合成及信号转导通路的相关基因及蛋白在棉花体细胞胚胎发生的关键时期呈现出差异表达的规律，尤其在再分化产生胚性细胞的过程中，茉莉酸的合成通路关键基因呈现差异表达规律，同时外源添加的试验也证明，茉莉酸可以参

收稿日期：2019-09-09
基金项目：湖北省自然科学基金（2017CFB162），湖北省教育厅基金项目（Q20184304）和荆楚理工学院自然科学基金（QDB201703，QDB201704）共同资助。
作者简介：陈　锐，博士，讲师。E-mail：363581360@qq.com
* **通信作者：**程文翰，博士，讲师。E-mail：kaven_53@163.com

与调控植物体细胞胚胎发生[2]。前人研究表明，茉莉酸是由亚麻酸等物质经过一系列的酶促反应产生，作为植物内部各组织器官的信号分子调节植物的生长发育和对环境，如干旱、高温等不利环境的适应度[3]，茉莉酸可以抑制 Rubisco 生物合成，影响植物对氮、磷的吸收和葡萄糖等有机物的运输[4]。有研究指出，棉花在体细胞胚形成的前期，特别是在球形胚时期，茉莉酸能使球形胚产生大量的次生胚，能促进球形胚类表皮细胞发育成体细胞胚[5-6]。观察经茉莉酸处理的球形胚，发现次生胚是从球形胚的类表皮细胞发育而来的，主要发生位置在胚轴部位[7-8]。茉莉酸及其茉莉酸合成抑制剂在调控棉花脱分化及茎尖再生方面的作用鲜见报道。

本研究通过添加不同浓度的外源性茉莉酸合成抑制剂，观察棉花下胚轴生根及愈伤组织的形成率以及对茎尖分化的影响，探究不同浓度的茉莉酸合成抑制剂对棉花脱分化及茎尖培养的影响，研究茉莉酸合成抑制剂对棉花体细胞胚胎发生产生的影响可以为棉花组织培养以及转基因育种工作提供重要的理论基础和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

本次试验使用新彩 7 号棉花种子，石河子大学棉花研究所提供。

本次试验使用的茉莉酸合成抑制剂（CAS:20624-25-3，分子量 225.31）由 Sigma 公司生产。POD 测定试剂盒和 SOD 测定试剂盒购自南京建成生物科技公司。

1.2　材料处理

1.2.1　无菌苗培养　无菌苗培养基采用 1/2 MS 大量培养基，琼脂 8 g·L^{-1}，葡萄糖 15 g·L^{-1}，将培养基分装入培养瓶中，放入高压灭菌锅经灭菌处理后备用。挑选成熟的棉花种子，用剪刀剥去外壳，在超净工作台中用升汞浸泡 10 min 后，用无菌水清洗 3 次，接种于培养基中暗培养 7 d。

1.2.2　下胚轴培养　取无菌苗培养基长出棉花无菌苗，切苗（0.5～0.8 cm）获得下胚轴，放入添加了不同浓度的外源性茉莉酸合成抑制剂的激素培养基中 CK1（0 mg·L^{-1}）、G1（0.025 mg·L^{-1}）、G2（0.05 mg·L^{-1}）、G3（0.075 mg·L^{-1}）、G4（0.1 mg·L^{-1}），分为 3 s、3 d、5 d、15 d、30 d 取样，重复 3 次，用锡箔纸将样品包好，注明取样时间、激素浓度、取样人，放入–20℃冰箱冷冻保存。

1.2.3　茎尖培养　研究茉莉酸合成抑制剂对棉花茎尖培养的影响，以 CK2（0 mg·L^{-1}）、T1（0.5 mg·L^{-1}）、T2（1.0 mg·L^{-1}）、T3（1.5 mg·L^{-1}）、T4（2.0 mg·L^{-1}）为浓度梯度制作 MS 培养基，每个梯度设置 5 个平行对照，每瓶置 5 个茎尖切段，加入空白对照，温度 26～28℃，湿度 60%～80%，光照强度为 2 000 lx，每日光照 11～13 h，并于 D1（0 d）、D2（3 d）、D3（7 d）、D4（15 d）、D5（30 d）时，观察愈伤组织和植株的生长情况，设置 3 个生物学重复，测定鲜重，同时测定 SOD 酶和 POD 酶活性。

1.3　指标测定

通过称量下胚轴及茎尖的鲜重（设置 3 次生物学重复），参考程文翰的方法[2]。下胚轴鲜重、生根情况、愈伤组织诱导率的测定，每瓶为一次重复，设置 3 次重复，分别统计每瓶的鲜重、产生根系的下胚轴数、下胚轴形成愈伤组织的个数。用试剂盒法测定 POD 酶和 SOD 酶活性。同时观察下胚轴的生长及生根状况和茎尖分化情况。

2　结果与分析

2.1　茉莉酸合成抑制剂对下胚轴的影响

2.1.1　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴生长的影响

第 3 天取样，下胚轴两端均有黑化现象，无膨大。第 5 天取样，下胚轴主干有轻微褐化现象，下胚轴两端无膨大。第 7 天取样，少数下胚轴两端开始有轻微的膨大现象并且下胚轴颜色变绿。G3 处理组此时最早出现顶端膨大的现象，而且下胚轴的颜色相较于其他组更深。第 15 天取样，下胚轴膨大现象较为普遍，下胚轴绿色加深。G1 处理的下胚轴膨大现象和空白对照组差异不大，但是 G2 和 G3 的茉莉酸合成抑制剂出现膨大的数量远多于空白对照组。第 30 天取样，下胚轴膨大加大，下胚轴体干上也出现部分膨大现象，下胚轴开始变成不规则的团状植物组织，部分下胚轴褐化变黑，少数死亡。G3 的茉莉酸合成抑制剂处理下，几乎所有下胚轴两端均膨大。G4 处理后有少量下胚轴也表现出不同程度的膨大（图 1）。

2.1.2　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴鲜重的影响

在棉花下胚轴脱分化的过程中自身会有轻微的质量增加情况，加入茉莉酸合成抑制剂可以促进鲜重增加，并且图 2 显示，鲜重的增加量随着茉莉酸合成抑制剂浓度的加大而增大，在第 15 天～第 30 天时，下胚轴鲜重陡增，推测为此时是下胚轴形成愈伤组织的高峰期，鲜重也会随之增加。但是各处理组鲜重均低于空白对照组，表明茉莉酸合成抑制剂会轻微抑制下胚轴体重增加。

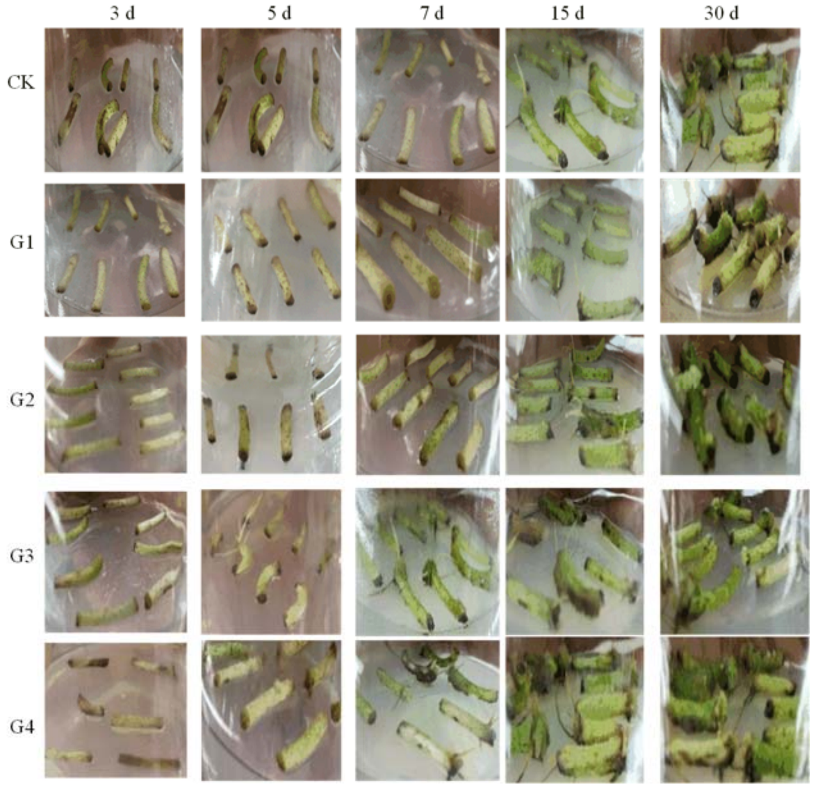


图 1　不同浓度茉莉酸抑制剂处理后棉花下胚轴生长状态

Figure 1　Cotton hypocotyl growth status under ifferent concentrations of jasmonic acid inhibitors

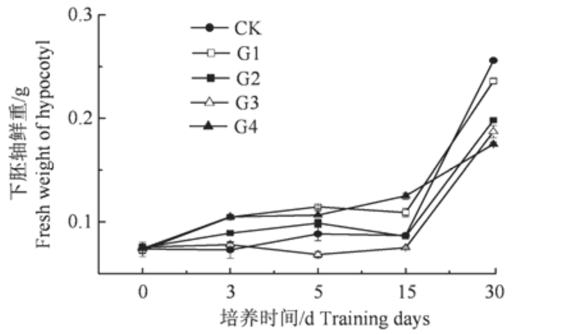


图 2　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴鲜重的影响

Figure 2　Effect of jasmonic acid synthesis inhibitor on fresh weight of cotton hypocotyl

2.1.3　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴生根的影响

与空白对照组相比，G1 处理的生根量变化较平缓，3～7 d 的生根速率最大，且基本保持不变，平均 4 根·d^{-1}。G2 处理的生根量和空白对照组组较为近似，5～7 d 生根迅速，平均为 10 根·d^{-1}。G3 处理的生根量在同一取样点中最大，激素处理效果显著，3～5 d 的生根速率最大，平均 8.5 根·d^{-1}。G4 处理的生根速率也较为平缓，在 3～5 d 的平均生根速率最大，为 6.5 根·d^{-1}。

由图 3 可见：各浓度外源激素处理下，生根量均呈上升趋势。生根速率最大的时间段在 3～7 d，并且 G2 处理的茉莉酸合成抑制剂促进生根的速率最大，G3 处理的茉莉酸合成抑制剂促进生根效果最显著，生根量最多。

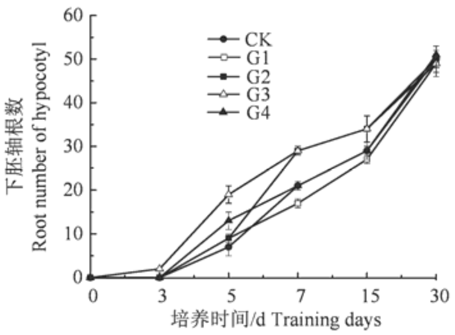


图 3　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴生根的影响

Figure 3　Effect of jasmonic acid synthesis inhibitor on hypocotyl rooting of cotton

2.1.4　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴愈伤组织形成的影响　相较于空白对照组，G1 处理会加快愈伤组织形成的速率，对形成愈伤组织的形成量促进作用不明显，愈伤组织的最终生长量最低，生成愈伤组织率为 15.6%，与空白对照组（16.4%）接近。G2 处理对愈伤组织的形成有显著的促进作用，生成愈伤组织率为 26%。G3 处理对愈伤组织形成的促进效果最显著，且促进下胚轴形成愈伤组织的量最多，愈伤组织形成率为 28.8%。G4 处理促进愈伤组织效果的显著性下降，愈伤组织形成率为 20.8%。

由图 4 可见：低浓度茉莉酸合成抑制剂（G1）对棉花下胚轴形成愈伤组织的促进作用不明显，当 G2 和 G3 处理时，对下胚轴形成愈伤组织有明显的促进效果，其中 G3 处理的促进效果最显著。高浓度的茉莉酸合成抑制剂（G4）依然可以促进愈伤组织的形成，但促进效果下降。

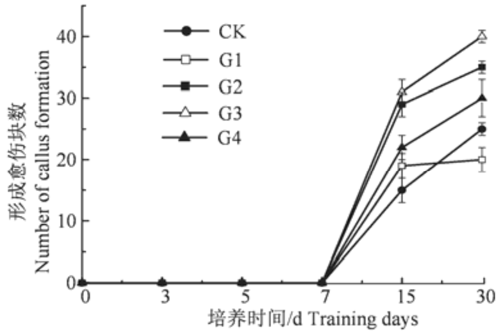


图 4　茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴愈伤组织形成影响

Figure 4　Effect of jasmonic acid synthesis inhibitors on callus formation of cotton hypocotyl

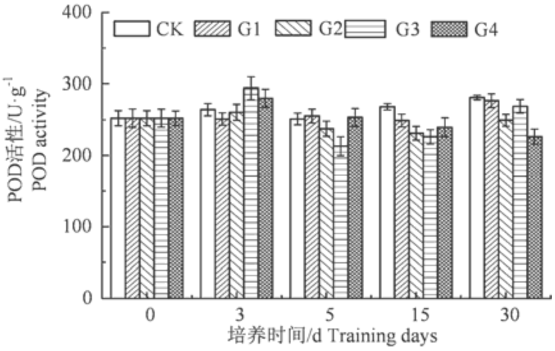


图 5　茉莉酸合成抑制剂对 POD 酶活性的影响

Figure 5　Effects of jasmonic acid synthesis inhibitors on POD enzyme activity

2.1.5　茉莉酸合成抑制剂对 POD 酶活的影响　G1 处理对 POD 酶活有明显的抑制作用。G2 处理除了在第 3 天略微促进 POD 值的活性外，几乎也是抑制 POD 的活性，并且在第 15 天时对 POD 酶活的抑制作用最明显。G3 处理除了在第 3 天略微促进 POD 值的活性外，几乎也是抑制 POD 的活性，并且在第 3 天时对 POD 酶活的抑制作用最明显。G4 处理除了在第 3 天略微促进 POD 值的活性外，几乎也是抑制 POD 的活性，但是相较于其他浓度的茉莉酸合成抑制剂，POD 酶活的抑制作用稍弱。由图 5 可见：茉莉酸合成抑制剂普遍抑制 POD 酶活性，并且 G3 处理时其抑制作用最显著。

2.1.6　茉莉酸合成抑制剂对 SOD 酶活的影响　G1 处理在前期对 SOD 酶活有抑制作用，但随着下胚轴脱分化程度加深，茉莉酸合成抑制剂逐渐开始促进 SOD 的酶活。G2 处理对 SOD 酶活的影响不稳定，总体来说对 SOD 酶活有促进作用，但是在第 5 天，该浓度下的茉莉酸合成抑制剂明显抑制 SOD 的酶活。G3 处理对 SOD 酶活的作用效果不明显，酶活值几乎都在空白对照值附近。G4 处理对 SOD 酶活几乎都呈抑制作用，并且在第 15 天的抑制效果最显著。

由图 6 可见：茉莉酸合成抑制剂对 SOD 酶活作用不稳定，会随浓度和脱分化程度产生波动。G1 处理茉莉酸合成抑制剂对 SOD 酶活的抑制作用逐渐减少，促进作用依次增加。G4 处理中某一时间节点会显著抑制 SOD 酶活性。

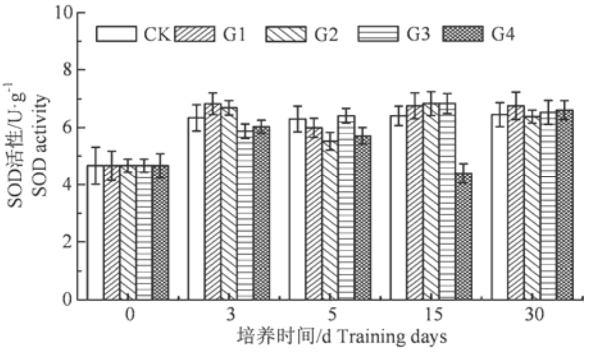


图 6　茉莉酸合成抑制剂对 SOD 酶活性的影响

Figure 6　Effects of jasmonic acid synthesis inhibitors on SOD enzyme activity

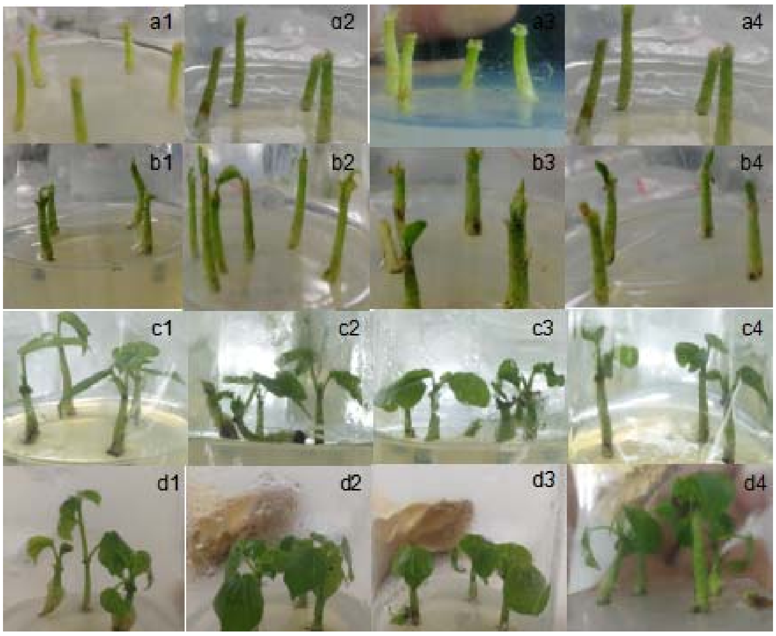
2.2　茉莉酸合成抑制剂对棉花茎尖的影响

2.2.1　茉莉酸合成抑制剂对棉花茎尖分化的影响

茎尖切口均出现淡黄色愈伤组织，但经过试验处理的茎尖分生组织已经有分化迹象，尤其是 a5 的茎尖，已可见叶尖，而对照组则仍见愈伤组织无分化迹象。如图 7-b 所示，对照组与试验组均开始分化，对照组仅仅可以看见叶刚刚分化，且出叶数量远小于试验组；试验组茎尖已经大量出叶，占比 90%；在试验组中，以 b2 茎尖分化情况最好，其叶片已经较伸展，叶片也较大，其次以 b3、b4 生长情况最好。如图 7-c 所示，植株生长情况良好，且叶片都已伸展；同对照组相比，试验组植株叶片颜色深且叶片面积大，其中以 c5 植株生长最为好，但此时对照组部分茎尖下半段出现愈伤组织。如图 7-d 所示，对照组茎尖下出现呈淡黄色愈伤组织占比 95%，试验组茎尖仅有个别出现少量愈伤组织，占比 5%；所有茎尖中，以 d3 处理的植株生长最好。

2.2.2　茉莉酸合成抑制剂对棉花茎尖培养苗鲜重的影响　随着培养时间的增长，植株鲜重也在持续增加。在第 3 天，通过测量鲜重，发现在对照组中植株鲜重并没有显著变化，而添加外源茉莉酸合成抑制剂的植株鲜重随着茉莉酸合成抑制剂浓度增大植株鲜重增大，与对照组相比增加 13.53%～66.21%。

在培养第 7 天，CK2 组鲜重虽有增加，但鲜重小于试验组的植株；在各处理植株中，其中 T1 的植株鲜重增加量最大，达到 0.123 7 g，高于 T2-T4 组 15.98%～26.03%。



a1-a4：第 3 天 T1-T4 处理，b1-14：第 7 天 T1-T4 处理，c1-c4：第 15 天 T1-T4 处理，d1-d4：第 30 天 T1-T4 处理

图 7　不同浓度茉莉酸抑制剂处理后棉花茎尖生长状态

Figure 7　Cotton shoot apical growth status under different concentrations of jasmonic acid inhibitors

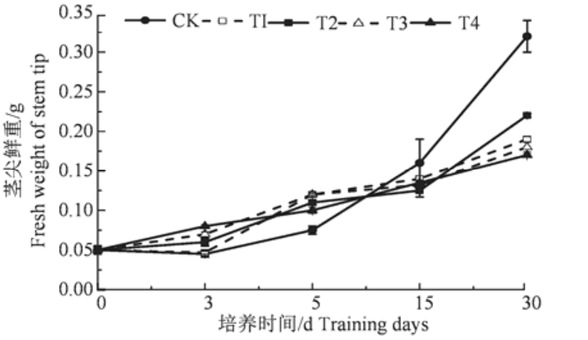


图 8　不同时期不同处理植株鲜重

Figure 8　Plant fresh weight was treated differently in different stages

培养 15 d 后，对照组所测鲜重最大，达到 0.160 2 g；其他处理植株间不显著。培养 30 d 后，对照组植株鲜重显著增加，达到 0.339 7 g，远远高于试验处理的植株，分别高于 T1 鲜重 68.48%，高于 T2 鲜重 43.69%，高于 T4 鲜重 58.90%，高于 T4 鲜重 60.83%（图 8）。

2.2.3　茉莉酸合成抑制剂对棉花茎尖 SOD 活性的影响　随着棉花茎尖培养时间加长，SOD 酶活性慢慢降低，在 30 d 时 CK2 最低。在 3 d 时期，CK2 组 SOD 酶活性无显著降低，T1、T2、T3 组 SOD 酶活性降低，SOD 酶活性随着茉莉酸合成抑制剂浓度的增大而增大。在植株培养 7 d 后，CK2 组 SOD 酶活性降低，各试验组对比，SOD 酶活性随着茉莉酸合成抑制剂浓度的增大而减小，T1 组 SOD 活性最高达（图 9）。

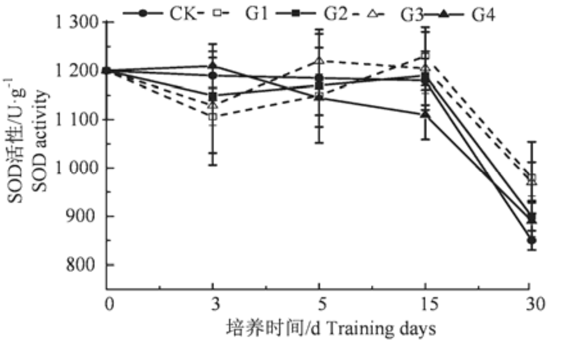


图 9　不同时期不同处理植株 SOD 酶活性

Figure 9　SOD enzyme activity of plants treated differently in different periods

2.2.4　茉莉酸合成抑制剂对棉花茎尖 **POD** 活性的影响　经过 7 d 培养，与对照组相比，试验组 POD 酶活性显著增大，且随着茉莉酸合成抑制剂浓度增大而增大，T4 组 POD 酶活性最大 1 161 U·mg^{-1}prot。

在 7 d 之后，与对照组相比，试验组 POD 酶活性显著高于对照组，T1 组 POD 酶活性最大，高于 T2-T4 处理 7.63%～12.94%，不同处理间比较发现随着茉莉酸合成抑制剂浓度的增大而 POD 活性减小（表 1）。

表 1　不同处理不同时期植株 POD 活性

Table 1　POD enzyme activity of plants in different treatment stages　　U·mg^{-1}

处理 Treatment	D1	D2	D3	D4	D5
CK	174.32±1.7	265.84±4.2	338.51±2.4	219.78±0.8	241.14±1.0
T1	174.32±1.7	287.64±3.1	337.89±3.3	288.56±3.1	319.93±4.8
T2	174.32±1.7	297.8±1.4	342.96±3.5	268.25±1.3	294.02±1.3
T3	174.32±1.7	298.43±5.1	324.68±1.9	261.67±2.2	308.29±1.7
T4	174.32±1.7	309.02±1.1	350.03±2.1	262.12±2.1	213.63±2.6

3　讨论与结论

近年来，国内外在转基因研究中利用离体茎尖分生组织为转化受体的越来越多，并取得了很多进展。普遍认为茎尖培养采用的完整的分生组织，转化周期大大缩短，外源基因遗传稳定性较好，且无基因依赖性，有着良好的应用前景，因此建立一个高效的棉花再生体系非常重要[9]。本研究用过茉莉酸合成抑制剂抑制茉莉酸的生成，来研究茉莉酸合成抑制剂对于棉花茎尖分化的影响。

在棉花茎尖培养中主要是茎尖分生组织分化，本研究表明，在植物茎尖培养中，初期的培养中高浓度的茉莉酸合成抑制剂对于植株分化具有重要的积极的影响，直接加速了茎尖分生组织的分化，但是虽然在前期高浓度的茉莉酸合成抑制剂对于加速分生组织发育更快，但是在后期发育没有 1.0 mg·L^{-1}的植株显著。大量研究表明[10-12]，在植物受到伤害时，对 JA 的生成有十分迅速的促进作用。吴洁[13]在对茉莉酸在棉花球形胚发育的研究中发现低浓度茉莉酸促进球形胚胎的发育，高浓度茉莉酸抑制球形胚胎的发育，吴文华等[14]也指出低浓度茉莉酸促进水稻苗生长。这些研究结果与本研究结果一致，高浓度的茉莉酸合成抑制剂抑制了茉莉酸的形成从而直接促进茎尖分化，在后期的培养中，低浓度的茉莉酸的生成也促进了植株的生长发育。

棉花植株鲜重是判断棉花生长程度的一个重要指标。在植物鲜重方面，高浓度 2.0 mg·L^{-1}的茎尖在前期 3 d 培养中植株鲜重增加迅速，但低浓度植株在 3 d 之后的发育中，1.0 mg·L^{-1}植株鲜重最大；但是从鲜重看，CK2 组植株鲜重最大，而茉莉酸合成抑制剂对棉花下胚轴鲜重影响却不显著，G2 组和 G3 组会有轻微的抑制效果。研究表明[15]，在植物收到外界刺激时，会产生大量茉莉酸。高浓度茉莉酸合成抑制剂植株茉莉酸浓度低，促进了茎尖的发育，这与汪宝卿等[16]茉莉酸对玉米种子萌发的影响，和韩锦锋等[17]茉莉酸在烟草种子萌发和初生芽生长的结果一致，低浓度促进生长，高浓度抑制生长。CK2 组培养 30 d 后鲜重最大，是由于茎尖切口形成导致茉莉酸对伤反应做出生理反应，从而茎尖下部产生愈伤组织，从而使植株鲜重增加，而添加茉莉酸合成抑制剂的植株因产生茉莉酸较少而形成少量愈伤组织。

茉莉酸合成抑制剂对于下胚轴的生根有很大影响，其中 G1 组和 G4 组对生根产生一定的抑制作用，但是在 0.075 mg·L^{-1}的作用下，促进生根效果十分明显。不同酸合成抑制剂对愈伤组织的形成均有促进作用，但是较低浓度（G1）和较高浓度（G4）的促进效果不及适当浓度（G2 组和 G3 组）处理下的生根作用显著，其中 0.075 mg·L^{-1}的茉莉酸合成抑制剂处理后的下胚轴，不管是生根速率还是生根量，均比其他浓度效果明显。

SOD 酶可抵抗和阻断氧自由基对细胞造成的损害。本研究表明，茎尖在试验前期与 CK2 组相比，试验组 SOD 酶活性低于对照组，但随着茉莉酸合成抑制剂的增高而增高，在培养后期，SOD 酶活性随着茉莉酸合成抑制剂浓度增大而减小。茉莉酸合成抑制剂对下胚轴的 SOD 酶活的抑制作用则差异较大，不同取样时间节点以及不同激素浓度的作用效果各异，其中 G1 对 SOD 酶活的抑制作用逐渐减少，促进作用依次增加，对于 G4 组，某一时间节点会显著抑制 SOD 酶活性。李小玲等[18]在外源茉莉酸对盐胁迫下黄芩种子萌发影响的研究中表明，经过外源茉莉酸处理会增加 SOD 酶活性，这与前期试验组 SOD 酶低于对照组相似，但不同的时，高浓度的茉莉酸合成抑制剂也会导致 SOD 活性增加，这表明，SOD 的活性影响是多方面的。

POD 酶过氧化物酶是由微生物或植物所产生的一类氧化还原酶，具有消除过氧化氢和酚类、胺类、醛类、苯类毒性的双重作用。本试验研究表明，在茎尖培养前期，与 CK 组相比，试验组 POD 酶活性显著增高，且随着茉莉酸合成抑制剂浓度的增加，POD 酶活性增大；在茎尖培养后期，T1 组酶活性最大，试验组随着茉莉酸合成抑制剂浓度增大而减小。下胚轴培养，茉莉酸合成抑制剂对 POD 酶活有

一定的抑制作用，其中 G3 组抑制作用最明显。对于茉莉酸合成抑制剂鲜有研究，但杨世勇等[19]用外源茉莉酸处理棉花的相关研究指出，茉莉酸处理棉叶的 POD 活性显著高于对照组。

综合以上结果，得出结论，2.0 mg·L^{-1} 茉莉酸合成抑制剂在茎尖培养前期对植物分生组织分化成长具有显著的积极促进作用，但是 1.0 mg·L^{-1} 试验处理的植株虽然在前期对于分生组织分化并没有显著的促进作用，但是在中后期对于分生组织分化和植株茎尖成长更显著。而对于下胚轴培养，茉莉酸合成抑制剂没有显著地提高棉花保护酶 POD 和 SOD 酶活性，甚至较高浓度还会有一定的抑制作用。

参考文献：

[1] 赵福永. 棉花茎尖培养及高效植株再生体系的建立[J]. 长江大学学报（自然科学版）农学卷, 2008 (4): 22.

[2] 程文翰. 棉花(*Gossypium hirsutum* L.)体细胞胚胎发生的生理及分子机制研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.

[3] 单长卷, 徐新娟. 茉莉酸合成抑制剂IBU对氯化镧调控玉米幼苗叶片抗盐性的影响[J]. 西北农业学报，2017, 26(1): 87-93.

[4] 李娘辉, 陈汝民, 潘瑞炽, 等. 茉莉酸甲酯对杂交水稻同化物运输的调节[J]. 中国水稻科学, 1993, 7(1): 25-29.

[5] 吴洁. 茉莉酸促进棉花球形胚表皮细胞发育成体细胞胚的机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

[6] 石武良. 茉莉酸甲酯对水分胁迫下棉花生理作用的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2001.

[7] 杨艺, 常丹, 王艳, 等. 茉莉酸与茉莉酸甲酯预处理对干旱胁迫下棉花种子萌发和种苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 302-308.

[8] 刘义. 棉花细胞质雄性不育系茉莉酸代谢途径关键酶基因的克隆与表达研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2016: 1-85.

[9] 奚元龄，魏振承，王月芳. 棉花茎尖培养批量成苗[J]. 江苏农业学报, 1987, 3(4): 1-6.

[10] 蔡昆争，董桃杏，徐涛. 茉莉酸类物质(JAs)的生理特性及其在逆境胁迫中的抗性作用[J]. 生态环境，2006, 15(2): 397-404.

[11] 徐伟，严善春. 茉莉酸在植物诱导防御中的作用[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2074-2082.

[12] 刘新，张蜀秋. 在伤信号传导中茉莉酸与水杨酸的关系[J]. 植物学通报, 2000, 35(2): 133-136.

[13] 吴洁. 茉莉酸促进棉花球形胚表皮细胞发育成体细胞胚的机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

[14] 吴文华，潘瑞炽. 茉莉酸甲酯对水稻幼苗生长的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33: 21-24.

[15] 张争，杨云，魏建和，等. 白木香茎中内源茉莉酸类和倍半萜类物质对机械伤害的响应[J]. 园艺学报，2013, 40(1): 163-168.

[16] 汪宝卿，李召虎，段留生，等. 冠菌素和茉莉酸甲酯对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 现代农业科技，2008(12): 163-164.

[17] 韩锦峰，刘华山，陈平华，等. 茉莉酸对烟草种子萌发和初生芽生长的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯，1999, 35(3): 193-195.

[18] 李小玲，华智锐. 外源茉莉酸甲酯对盐胁迫下黄芩种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(11): 1603-1607.

[19] 杨世勇，王蒙蒙，谢建春. 茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应[J]. 生态学报，2013, 33(5): 1615-1625.