

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201510032

陆玉建, 张韩杰, 韩文瑜, 等. 紫茉莉不定芽诱导和植株再生 [J]. 广西植物, 2016, 36(12):1439-1444

LU YJ, ZHANG HJ, HAN WY, et al. Adventitious shoot induction and plant regeneration of *Mirabilis jalapa* [J]. Guihaia, 2016, 36(12):1439-1444

## 紫茉莉不定芽诱导和植株再生

陆玉建<sup>1,2,3</sup>, 张韩杰<sup>1</sup>, 韩文瑜<sup>3</sup>, 沈志强<sup>2\*</sup>

( 1. 滨州学院 生命科学系, 山东省黄河三角洲野生植物资源开发利用工程技术研究中心, 山东 滨州 256603; 2. 山东省 滨州畜牧兽医研究院 博士后科研工作站, 山东 滨州 256600; 3. 吉林大学 博士后科研流动站, 长春 130062 )

**摘要:** 紫茉莉 (*Mirabilis jalapa*) 观赏价值较高, 是一种重要的污染修复植物。组织培养技术为植物品种改良和选育的重要途径, 但紫茉莉离体快繁方面的研究尚未见有相关报道。该研究以紫茉莉叶片和茎段为外植体, 通过观察和统计外植体愈伤组织和不定芽的诱导情况, 分析不同植物生长物质对紫茉莉植株再生的影响。结果表明: 紫茉莉带芽茎段比较适合丛生芽的诱导, 当带芽茎段在  $MS+1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}6\text{-BA}+1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{KT}+1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{NAA}+0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{TDZ}$  培养基中培养时, 不定芽的增殖系数较高。无论是 MS 或 1/2MS 培养基, 都可诱导不定根的产生, 其中生根效果较好的培养基为 1/2 MS + 0.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  NAA。该研究结果探索了紫茉莉组织培养的最适条件, 根据愈伤组织诱导率和不定芽的增殖系数筛选出了适宜不定芽诱导的培养基类型, 根据不定芽生根情况确定了最佳的生根诱导培养基, 为建立紫茉莉高效稳定的再生和遗传转化体系奠定了基础。

**关键词:** 紫茉莉, 茎段, 不定芽, 诱导, 再生

**中图分类号:** Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)12-1439-06

## Adventitious shoot induction and plant regeneration of *Mirabilis jalapa*

LU Yu-Jian<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Han-Jie<sup>1</sup>, HAN Wen-Yu<sup>3</sup>, SHEN Zhi-Qiang<sup>2\*</sup>

( 1. Shandong Provincial Engineering and Technology Research Center for Wild Plant Resources Development and Application of Yellow River Delta, Department of Life Sciences, Binzhou University, Binzhou 256603, Shandong, China; 2. Postdoctoral Programme, Shandong Binzhou Animal Science & Veterinary Medicine Academy, Binzhou 256600, Shandong, China; 3. Postdoctoral Programme, Jilin University, Changchun 130062, China )

**Abstract:** *Mirabilis jalapa* is a perennial herb of Nyctaginaceae, native to South America. It grows faster and can reproduce itself. Not only is it a high-value ornamental flowering and greening plant, but also can be used as medicine. In addition, the recent studies show that *Mirabilis jalapa* has good bioremediation function. Plant tissue culture technology provides an important way to improve and breed new varieties for horticultural plants. However, the research related to *M. jalapa* is still relatively little, and there are no reports on plant regeneration of *M. jalapa* at present. In this study, the achenes of *M. jalapa* were sterilized and inoculated into basal MS medium containing 0.1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  NAA for the sterile seedlings obtained. Then the leaves and stems of the sterile seedlings were as explants to study the effects of different plant regulators on the buds induction and plant regeneration. According to frequency of callus induction, average number of buds and roots, the optimal media for inducing adventitious buds and rooting were screened respectively. The results showed that most of leaf explants

收稿日期: 2015-10-25 修回日期: 2016-03-23

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2012CL14); 滨州学院博士基金 (2010Y08) [Supported by the Natural Science Foundation of Shandong (ZR2012CL14); the Doctoral Fund of Binzhou University (2010Y08)].

作者简介: 陆玉建 (1979-), 男, 河南南阳市人, 博士, 讲师, 主要从事细胞工程及分子生物学研究, (E-mail) luyujian79@163.com。

\*通讯作者: 沈志强, 博士, 研究员, 研究方向为预防兽医学, (E-mail) bzshenzq@163.com。

did not produce calli, none of which formed adventitious buds. Moreover, with the prolongation of culture time, leaves began to produce adventitious roots, and gradually became more and more. The nodal stem segments of vegetative branches of sterile seedlings were more suitable for the induction of buds. Micropropagated shoots were quickly induced from axillary buds of nodes on an induction medium consisting of basal MS medium supplemented with different concentrations of 2,4-D, NAA, KT, 6-BA, and TDZ. Among them, the optimal medium for the explant culture *in vitro* of *M. jalapa* was MS + 1.0 mg · L<sup>-1</sup> 6-BA + 1.5 mg · L<sup>-1</sup> KT + 1.0 mg · L<sup>-1</sup> NAA + 0.05 mg · L<sup>-1</sup> TDZ, the number of adventitious shoots were more and growth robust. For rooting induction, either MS or 1/2MS medium could induce the adventitious buds to produce roots, and the optimal medium was 1/2MS + 0.5 mg · L<sup>-1</sup> NAA. This study was designed to explore the optimal conditions for tissue culture of *M. jalapa*, which provides the information for the future establishment of an efficient regeneration system of *M. jalapa* tissue culture and genetic transformation system.

**Key words:** *Mirabilis jalapa*, stem, bud, induction, regeneration

紫茉莉(*Mirabilis jalapa*)又名草茉莉、胭脂花、地雷花、粉豆花等,为紫茉莉科紫茉莉属多年生草本植物,原产南美热带地区,在我国广为分布和种植(陈军,2012)。紫茉莉花色丰富,观赏价值较高,可作为植物色素的重要来源;胚乳白色,细腻,是天然的理想化妆品(蒋丽芳等,2007;张西西等,2016)。紫茉莉具有清热解毒、利湿消肿、活血散瘀、调经利尿等功效,还可用于抗菌、解痉和镇痛(李光喜和杨培全,1994;Harrison,1998)。紫茉莉还富含抗病毒蛋白活性的化合物,抗病毒效果显著(Vani et al,1997;Zachariah,2011)。紫茉莉是一种高生物量的重金属富集植物,对镉、铅等重金属具有较强的积累和转运能力(叶晟,2009;陆成云等,2015;张杏丽,2015);而且还对低浓度的非金属元素砷表现出一定的耐受性(徐玲玲等,2015)。紫茉莉生长对根际土壤微生物群落结构及石油烃降解速率均具有较大影响,能明显降低污染土壤中石油浓度及多环芳烃的含量,是一种重要的污染修复植物(刘家女等,2007;Peng et al,2009;焦海华等,2015)。此外,紫茉莉具有适应长期干旱等不良环境的能力,因此对于土地沙漠化和盐碱化的治理具有重要意义(罗南书,2011)。目前国内外关于紫茉莉的研究主要集中在生物修复方面,而有关紫茉莉再生体系建立方面的研究尚未见相关报道。本研究旨在探索紫茉莉离体快繁的最适条件,以期建立高效稳定的再生体系,为进一步通过遗传转化技术改良紫茉莉的生物性状奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 植物材料

紫茉莉(*Mirabilis jalapa*) 瘦果 2014 年 9 月采集

于山东省滨州市滨城区新滨公园,由滨州学院生命科学系基因工程实验室保存。

### 1.2 方法

1.2.1 培养基的配制 通过正交试验设计生长调节剂组合,根据预试验的结果初步筛选出具有一定效果的培养基类型(表 1)。其中,MG0 为种子萌发培养基,MC1~MC8 为愈伤组织诱导培养基,ML1~ML8 为不定芽诱导和增殖培养基,MR1~MR4 为生根诱导培养基。所有培养基中均添加 3% 的蔗糖和 0.8% 的琼脂,pH5.8~6.0。

1.2.2 瘦果的消毒和培养 取成熟饱满的紫茉莉瘦果,用自来水彻底冲洗干净,4℃低温浸泡 2 d。经 50℃水浴 30 min,70%酒精消毒 10 min,0.1%升汞处理 30 min 后,无菌水清洗 5 次,除去果皮和种皮,剥离成熟胚,接种于 MG0 培养基中进行培养。紫茉莉生长条件为 16 h 光照、8 h 黑暗,湿度保持在 60%~70%,温度控制在 25℃左右,光照强度为 2 200 lx。

1.2.3 愈伤组织诱导 以生长 3 周的紫茉莉无菌苗为材料,切取叶片和茎段,接种于愈伤组织诱导培养基 MC1~MC8 中,进行愈伤组织的诱导。15 d 后统计愈伤组织诱导率:愈伤组织诱导率=(产生愈伤组织的外植体数/接种的外植体数)×100%。

1.2.4 不定芽诱导和增殖 取无菌苗带芽茎段,接种于不定芽诱导培养基 ML1~ML8 中进行不定芽诱导,15 d 后统计外植体上产生不定芽的数量,计算生殖系数。用相同的培养基进行不定芽的增殖培养。

1.2.5 不定芽生根 当不定芽长度为 3~4 cm 时,切取不定芽,接种于生根培养基 MR1~MR4 中进行生根诱导,分别于 21 d 和 30 d 进行生根数量统计。

1.2.6 数据分析 采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件对所得数据进行统计分析,通过 Duncan 多重比较进

表 1 紫茉莉再生不同培养基的组成

Table 1 Composition of different culture media used for plant regeneration of *Mirabilis jalapa*

培养基类型 Medium type	培养基组成 Medium component (mg · L <sup>-1</sup> )
MG0	MS + NAA 0.1
MC1	MS + 2,4-D 1.0 + KT 1.5 + NAA 1.0
MC2	MS + 2,4-D 2.0 + KT 1.5 + NAA 1.0
MC3	MS + 2,4-D 2.0 + KT 1.5
MC4	MS + 2,4-D 1.0 + KT 1.5
MC5	MS + 2,4-D 1.0
MC6	MS + 2,4-D 2.0
MC7	MS + 2,4-D 3.0
MC8	MS + 2,4-D 4.0
ML1	MS + 2,4-D 1.0 + NAA 1.0 + KT 1.5
ML2	MS + 2,4-D 1.0 + NAA 1.0 + 6-BA 1.0 + KT 1.5
ML3	MS + 2,4-D 1.0 + NAA 1.0
ML4	MS + 2,4-D 1.0 + KT 1.5
ML5	MS + 2,4-D 1.0 + NAA 1.0 + 6-BA 1.0
ML6	MS + 2,4-D 1.0 + 6-BA 1.0 + KT 1.5
ML7	MS + NAA 1.0 + 6-BA 1.0 + KT 1.5 + TDZ 0.05
ML8	MS + KT 1.5 + TDZ 0.05
MR1	MS + NAA 0.1
MR2	1/2MS + NAA 0.1
MR3	MS + NAA 0.5
MR4	1/2MS + NAA 0.5

行显著性测验。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫茉莉成熟胚的培养

紫茉莉瘦果(图 1:A)黑色,坚硬,革质,表面褶皱,消毒困难,极易污染。直接用瘦果进行培养,种子萌发十分缓慢,大约需要 3 周(图 1:B);如果剥去果皮,培养成熟胚(图 1:C),种子萌发迅速,大约 1 周即可获得幼苗(图 1:D)。可见,致密坚韧的果皮是抑制紫茉莉种子萌发的关键因素。

### 2.2 植物生长物质对外植体愈伤组织诱导的影响

以叶片为外植体,在诱导培养的第 7 天,可观察到叶片的边缘处有少量乳白色的愈伤组织产生。继续培养至第 15 天,叶片表面产生大量的不定根,而愈伤组织生长停滞,几乎难以分辨(图 1:E)。以茎段为外植体,接种后第 15 天,茎段膨胀,两端开始有愈伤组织产生(图 1:F)。在不同培养基中,茎段愈

伤组织诱导率存在明显差异(图 2)。MC1~MC4 诱导愈伤组织的效果均好于 MC5~MC8,其中 MC2 愈伤组织诱导率在 90%以上,与其他培养基的诱导效果之间差异非常显著( $P<0.01$ )。可见,在培养基中仅添加 2,4-D,并不适合愈伤组织的诱导,而需要 2,4-D、KT 和 NAA 等多种植物生长物质的共同作用,其中  $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  2,4-D 诱导紫茉莉细胞脱分化的能力更强。虽然茎段产生愈伤组织的效果优于叶片,但愈伤组织的量少而差,增殖困难;分化培养时仍然出现大量不定根,而未见不定芽的产生。

### 2.3 植物生长物质对紫茉莉不定芽诱导的影响

以叶片和茎段为外植体,经多次正交试验,发现无论是否经过愈伤组织阶段,均难以诱导不定芽的再生。以带芽茎段为外植体(图 1:G),接种 1 周后,可观察到在茎段的叶腋部位,开始有芽抽出。到了第 15 天,茎段上芽的数量明显增多。接种后的第 30 天,芽伸长显著,生长旺盛(图 1:H)。将产生的芽进行切割,接种到培养基中进行增殖培养,培养 30 d 后,不定芽生长迅速,数量极多,成簇分布,形成丛生芽(图 1:I)。分别对 ML1~ML8 培养基中茎段产生芽的数量进行统计分析(图 3)。图 3 结果表明,虽然这 8 种培养基均可诱导芽的形成,但产生的数量和速度存在差异。其中,ML7 效果最好,生芽速度快而多,增殖系数最高,达到 17.09;而 ML6 效果最差,增殖系数只有 3.67。通过对数据进行显著性分析可以看出,ML7 和其他培养基的诱导效果之间差异极其显著( $P<0.01$ ),并且用 ML7 对获得的芽进行增殖培养可诱导产生大量的丛生芽。

### 2.4 生根诱导

切取长 3~4 cm 不定芽,接种到 MR 培养基中进行生根诱导(图 1:J)。3 周后,不定芽的基部已产生明显的不定根(图 1:K)。通过对不定芽生根情况进行统计分析发现,在选用的 4 种生根培养基中,不定芽均可生根,但效果存在一定的差异(图 4)。其中,MR4 培养基中,不定根生长迅速,数量较多,尤其在生根诱导 30 d 后表现的更为明显,增殖系数达到 38.3,而 MR1 只有 8.9。显著性分析表明,MR4 和其他生根培养基的诱导效果间差异非常显著( $P<0.01$ )。由此可见,紫茉莉比较容易生根,其中 1/2MS 培养基效果要好于 MS,附加  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  NAA 对于不定芽的生根有明显的促进作用。

### 2.5 驯化与移栽

当试管苗的根系布满瓶底、幼苗高 8~10 cm 时

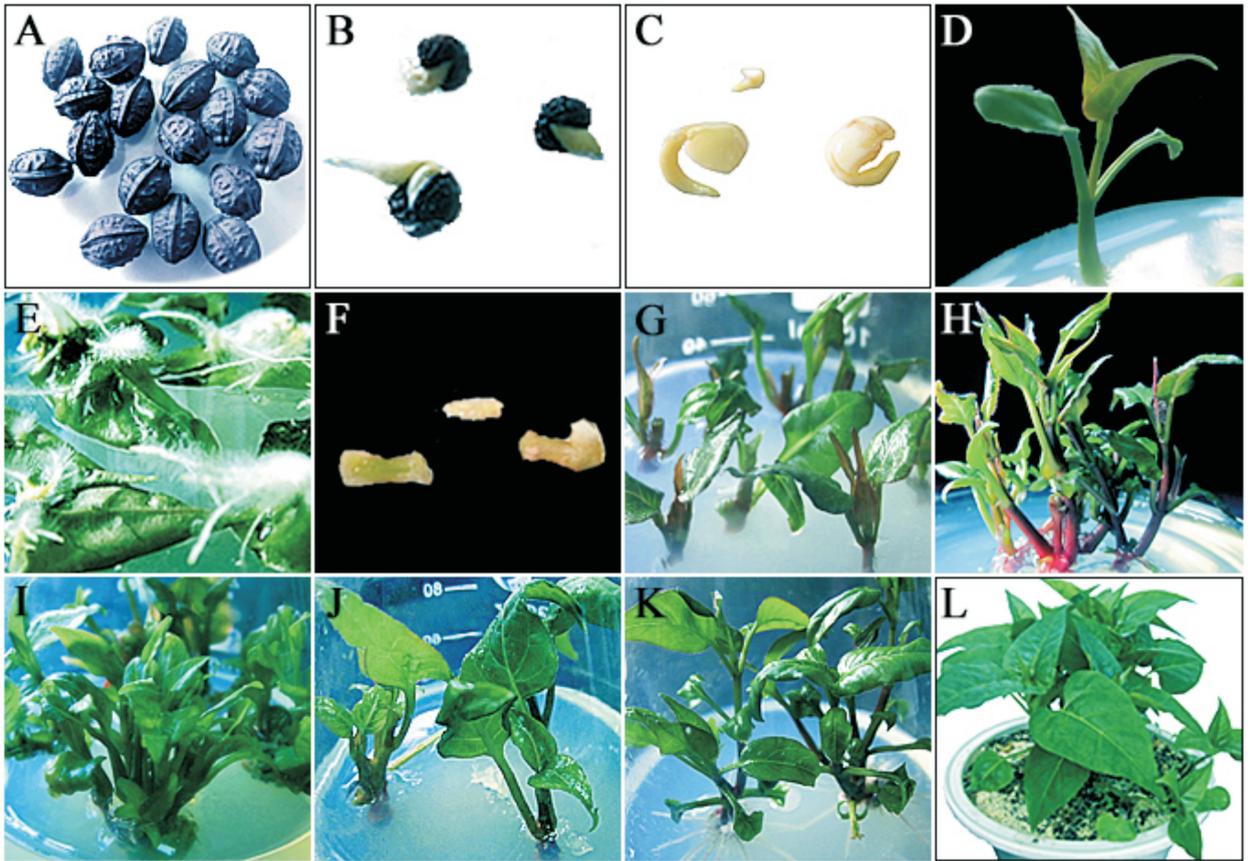


图1 紫茉莉的不定芽诱导和植株再生 A. 紫茉莉的瘦果; B. 培养3周后萌发的紫茉莉; C. 紫茉莉的成熟胚; D. 生长1周的幼苗; E. 接种到MC2培养基中15 d的叶片; F. 接种到MC2培养基中15 d的茎段; G. 接种到ML7培养基中的带芽茎段; H. 接种后第30天的茎段; I. 不定芽的增殖培养; J. 生根诱导; K. 大量不定根的形成; L. 试管苗移栽30 d后的生长情况。

Fig. 1 Adventitious shoots induction and plant regeneration of *Mirabilis jalapa* A. Achenes of *M. jalapa*; B. Achenes in culture for 3 weeks; C. Mature embryos; D. Mature embryos cultured for 1 week have developed into seedlings; E. Callus induction of leaves after 15 d of culture; F. Callus induction of stem segments after 15 d; G. Nodal stem segments of *M. jalapa* as explants; H. Nodal stem segments producing adventitious shoots on the induction medium after 30 d of culture; I. Proliferation of cultured adventitious shoots; J. Shoots transferred to rooting medium; K. Plantlet with well developed adventitious roots after 21 d of culture; L. Regenerated plants growing in pot soil for 30 d.

便可进行移栽。通过驯化,可使试管苗逐步适应温室环境。将试管苗从瓶内小心取出,洗去根上附着的培养基,移栽到合适的基质中。紫茉莉的移栽基质由泥炭土和珍珠岩组成,比例约为1:1。移栽的初期,花盆覆盖一层保鲜膜。随着紫茉莉对培养条件的适应,逐步打开至最终完全去掉保鲜膜。在适宜的生长条件下(见方法1.2.2),紫茉莉的幼苗生长迅速(图1:L)。本研究结果表明,紫茉莉试管苗极易成活,移栽成活率在90%以上。

### 3 讨论与结论

在植物组织培养过程中,不同外植体往往再生能力不同。本研究结果表明,以紫茉莉叶片为外植

体,产生的愈伤组织的量极少,以至于难以进行不定芽的诱导,而且叶片上极易产生不定根,培养时间越长,不定根的数量越多。这与白玉等(2012)和赵倩等(2013)的结果并不一致。植物生长物质是植物细胞生长最适宜的调节物质。生长素类常用来诱导愈伤组织形成和根的分化;细胞分裂素类的生理作用主要是促进细胞分裂,诱导芽的形成,促进芽生长(王慧英,2010)。2,4-D对启动植物细胞脱分化十分重要,一般随着2,4-D浓度的提高,植物细胞脱分化能力逐渐增强,但超过一定浓度时,反而对愈伤组织的诱导起抑制作用。本研究结果显示,茎段愈伤组织诱导最适的2,4-D浓度为 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,这时细胞脱分化的能力较强,细胞分裂较为旺盛。KT是细胞分裂素的一种,能促进脱分化的细胞保持旺盛的

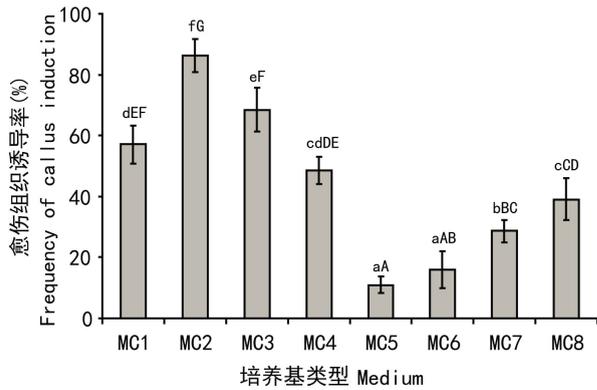


图 2 不同培养基中紫茉莉茎段愈伤组织诱导率不同大写字母表示在  $P < 0.01$  水平上差异显著;不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。下同。

Fig. 2 Callus induction frequency of stem segments was determined in different media after 15 d in culture. Different capital letters indicate significant differences at  $P < 0.01$  level; Different lowercase letters indicate significant differences at  $P < 0.05$  level. The same below.

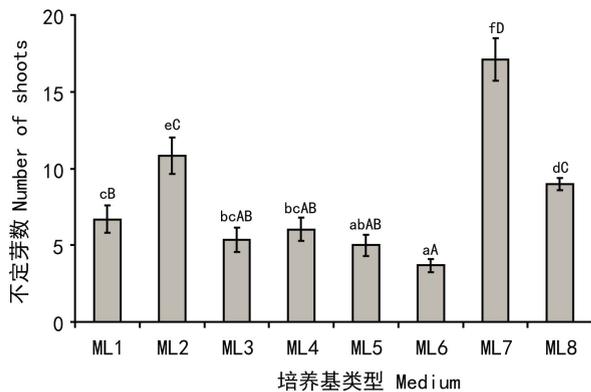


图 3 不同培养基中紫茉莉带芽茎段产生的不定芽数  
Fig. 3 Number of shoots formed in different media after 15 d in culture

分裂能力,因此在培养基中添加低浓度的 KT,有助于愈伤组织的生长和增殖,但 KT 的浓度不宜过高,否则会对细胞分裂起抑制作用。此外,培养基中添加一定浓度的 NAA 有利于愈伤组织的产生。虽然茎段产生愈伤组织的效果优于叶片,但产生愈伤组织的数量与质量并不十分理想,分化培养时未见不定芽的产生;随着培养时间的延长,发现茎段的两端依然会有大量不定根产生。因此,通过诱导叶片或茎段产生质量较高的愈伤组织,利用愈伤组织分化产生不定芽的条件还有待于进一步探索。以叶片或茎段为外植体直接进行不定芽的诱导,虽然尝试了

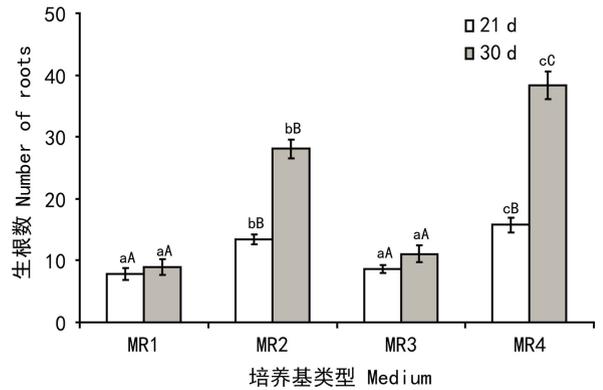


图 4 不同培养基中紫茉莉不定芽生根数  
Fig. 4 Number of roots formed in different media after 21 and 30 d in culture

多次正交试验,均难以诱导不定芽的产生。以带芽茎段为外植体,则较容易诱导丛生芽的形成,通过增殖培养,不定芽的数量可以急剧增加。对照各培养基的成分发现,在 6-BA 和 KT 存在的情况下,TDZ 含量的变化对不定芽的诱导率影响较大。TDZ 是具有很强细胞分裂素活性的苯基衍生物,对植物芽的增殖和再生具有重要作用,在附加 TDZ 的培养基中加入适量的细胞分裂素或生长素时,能增加芽的增殖率 (Murthy et al, 1995)。培养基中添加合适浓度的 TDZ 时,紫茉莉不定芽产生的效果较好,表明 TDZ 在此过程中是起关键作用的生长调节物质,但仍需和其他植物生长物质协同作用。对于生根诱导,发现紫茉莉的生根能力极强,多种类型的培养基均可诱导不定芽生根,甚至叶片和茎段也能诱导根的形成,但不同培养基生根效果不同,其中在 1/2MS 培养基中添加一定量的 NAA 更适宜根的形成。

当前,我国土壤盐渍化和石油、重金属等污染严重,对农业生产产生极大的威胁。紫茉莉生长迅速,生物量大,适应性强,已成为污染土壤修复的常用植物。但野生紫茉莉生物修复能力仍需进一步提高,将具有修复功能的外源基因引入紫茉莉,则是增强紫茉莉生物修复功能的有效手段。稳定高效再生体系的建立是植物遗传转化的基础,本研究通过优化紫茉莉再生条件,首次建立起紫茉莉再生体系,试验结果对于今后通过基因工程技术对紫茉莉进行遗传转化和性状改良具有一定的参考价值。

#### 参考文献:

BAI Y, GAO Y, ZHAO Q, et al, 2012. Study on optimization of hor-

- mone level in callus induction of *Mirabilis jalapa* L. [J]. Horticulture & Seed, 7: 52-54. [白玉, 高月, 赵倩, 等, 2012. 紫茉莉愈伤组织诱导的激素优化研究 [J]. 园艺与种苗, 7: 52-54.]
- CHEN J, 2012. Cultivation and management of *Mirabilis jalapa* L. [J]. Chin Flower Gard, 24(18): 1-2. [陈军, 2012. 紫茉莉栽培管理 [J]. 中国花卉园艺, 24(18): 1-2.]
- HARRISON P, 1998. Herbal medicine takes root in Germany [J]. CAN Med Assoc J, 158 (5): 637-639.
- JIANG LF, LIU HH, HUANG SY, et al, 2007. The extraction of common four-o'clock pigment and the study of its stability [J]. Food Res Devel, 28(2): 51-53. [蒋丽芳, 刘海花, 黄锁义, 等, 2007. 紫茉莉红色素的提取及其稳定性研究 [J]. 食品研究与开发, 28(2): 51-53.]
- JIAO HH, CUI BJ, WU SH, et al, 2015. Influence of *Mirabilis jalapa* Linn. growth on the microbial community and petroleum hydrocarbon degradation in petroleum contaminated saline-alkali soil [J]. Environ Sci, 36(9): 3471-3478. [焦海华, 崔丙健, 吴尚华, 等, 2015. 紫茉莉对石油污染盐碱土壤微生物群落与石油降解的影响 [J]. 环境科学, 36(9): 3471-3478.]
- LI GX, YANG PQ, 2012. Research progress in medicinal plants of *Mirabilis jalapa* L. [J]. Academic J Guangdong Coll Pharm, 10(4): 251-253. [李光喜, 杨培全, 2012. 紫茉莉药用植物研究进展 [J]. 广东医药学院学报, 10(4): 251-253.]
- LIU JN, ZHOU QX, SUN T, et al, 2007. Feasibility of applying ornamental plants in contaminated soil remediation [J]. Chin J Appl Ecol, 18(7): 1617-1623. [刘家女, 周启星, 孙挺, 等, 2007. 花卉植物应用于污染土壤修复的可行性研究 [J]. 应用生态学报, 18(7): 1617-1623.]
- LU CY, LI X, WANG DW, et al, 2015. Research status and developmental potential of flower remediation technology for polluted environment [J]. Acta Agric Jiangxi, 27(2): 49-53. [陆成云, 黎霞, 王代旺, 等, 2015. 花卉修复污染环境的研究现状及发展潜力 [J]. 江西农业学报, 27(2): 49-53.]
- LUO NS, 2011. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Mirabilis jalapa* L. [J]. Hunan Agric Sci, 3: 114-116, 123. [罗南书, 2011. 干旱胁迫对紫茉莉种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 湖南农业科学, 3: 114-116, 123.]
- MURTHY BNS, MURCH SJ, SAXENA PK, 1995. Thidiazuron induced somatic embryogenesis in intact seedlings of peanut (*Arachis hypogaea*): endogenous growth regulator levels and significance of cotyledons [J]. Physiol Plant, 94: 268-276.
- PENG SW, ZHOU QX, CAI Z, et al, 2009. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis jalapa* L. in a field plot experiment [J]. J Hazard Mat, 168(2-3): 1490-1496.
- VANI T, RAJANI M, SARKAR S, et al, 1997. Antioxidant properties of the ayurvedic formulation triphala and its constituents [J]. Inter J Pharmac, 35: 313-317.
- WANG HY, 2010. Influencing factor research of callus formation [J]. J Liaocheng Univ, 23(2): 51-53. [王慧英, 2010. 影响植物愈伤组织形成的因素研究 [J]. 聊城大学学报, 23(2): 51-53.]
- XU LL, LI YD, FENG XD, et al, 2015. Effects of cadmium stress on physiological and biochemical characteristics of *Mirabilis jalapa* L. [J]. J Mountain Agric Biol, 34(4): 13-17. [徐玲玲, 李娅迪, 冯旭东, 等, 2015. 砷胁迫对紫茉莉生理生化特性的影响 [J]. 山地农业生物学报, 34(4): 13-17.]
- YE S, 2009. Study on the response to Pb stress and tolerance of *Mirabilis Jalapa* L. [D]. Changsha: Central South University. [叶晟, 2009. 紫茉莉对铅胁迫的响应及耐性研究 [D]. 长沙: 中南大学.]
- ZACHARIAH SM, ALEYKUTTY NA, VISWANAD V, et al, 2011. In-vitro antioxidant potential of methanolic extracts of *Mirabilis jalapa* L. [J]. Free Rad Antiox, 1(4): 82-86.
- ZHANG XL, ZOU W, ZHOU QX, 2015. Competence of Cd phytoremediation in Cd-OCDF co-contaminated soil using *Mirabilis jalapa* L. [J]. Environ Sci, 36(8): 3045-3055. [张杏丽, 邹威, 周启星, 2015. 镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力 [J]. 环境科学, 36(8): 3045-3055.]
- ZHANG XX, LI J, ZHAO ZN, 2016. Ornamental characters and genetic diversity analysis of four o'clock flower strains with AFLP markers [J]. J Beijing Univ Agric, 31(1): 1-5. [张西西, 李俊, 赵正楠, 2016. 紫茉莉品种观赏性状与遗传多样性的 AFLP 分析 [J]. 北京农学院学报, 31(1): 1-5.]
- ZHAO Q, LIN JW, FENG YP, et al, 2007. Studies on establishment of suspension cell system for *Mirabilis jalapa* L. [J]. J Trop & Subtrop Bot, 21(5): 453-458. [赵倩, 林景卫, 冯雅萍, 等, 2007. 紫茉莉悬浮细胞培养体系的建立 [J]. 热带亚热带植物学报, 21(5): 453-458.]

(上接第 1421 页 Continue from page 1421)

- 甘志勇, 2009. 金花茶花朵中微量元素的研究 [J]. 分析科学学报, 25(4): 484-486.]
- PENG L, ZHAO P, LI B, et al, 2011. Toxicological safety research of fresh leaves of *Camellia chrysantha* [J]. J Toxicol, 25(1): 72-74. [彭亮, 赵鹏, 李彬, 等, 2011. 金花茶鲜叶的毒理学安全性研究 [J]. 毒理学杂志, 25(1): 72-74.]
- PENG X, YU DY, FENG BM, et al, 2011. Chemical constituents from the flowers of *Camellia chrysantha* [J]. Guihaia, 31(4): 550-553. [彭晓, 于大永, 冯宝民, 等, 2011. 金花茶花化学成分的研究 [J]. 广西植物, 31(4): 550-553.]
- QIN XL, SHI YC, WEI X, et al, 2012. Comparative analysis and identification of chemical constituents in leaves of three species of *Camellia*. sect. *chrysantha* by FTIR [J]. Chin J Spectr Lab, 29(3): 1303-1307. [覃小玲, 史艳财, 韦霄, 等, 2012. FTIR 比较分析与鉴定 3 种金花茶叶片中的化学成分 [J]. 光谱实验室, 29(3): 1303-1307.]
- TANG Q, LUO YY, HUANG LD, et al, 2009. Determination of chemical constituents in section *Chrysantha* Chang [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 20(4): 769-771. [唐前, 罗燕英, 黄连冬, 等, 2009. 金花茶组植物化学成分的定量分析 [J]. 时珍国医国药, 20(4): 769-771.]
- WEI JQ, QI XX, JIANG YS, et al, 2008. Analysis on nutritional components of sympatric *Camellia nitidissima* and *Camellia euphlebia* leaves [J]. Acta Nutr Sin, 30(4): 420-42. [韦记青, 漆小雪, 蒋运生, 等, 2008. 同群落金花茶与显脉金花茶叶片营养成分分析 [J]. 营养学报, 30(4): 420-42.]
- WEI X, JIANG SY, JIANG YS, et al, 2006. Research progress of *Camellia nitidissima*, a rare and endangered plant [J]. J Fujian For Sci Technol, 33(3): 169-174. [韦霄, 蒋水元, 蒋运生, 等, 2006. 珍稀濒危植物金花茶研究进展 [J]. 福建林业科技, 33(3): 169-174.]