

白背三七的组织培养和高频再生

姚静雯¹, 李颖¹, 徐玮婷¹, 亢雅宸², 黄萱^{1,*}

¹西北大学生命科学学院, 西部资源与现代生物技术省部共建教育部重点实验室, 陕西省生物技术重点实验室, 西安710069;

²西安中学, 西安710021

摘要: 以白背三七不同生长时间的叶片及茎段作为实验材料, 利用含有多种不同植物生长调节剂及其浓度配比的MS培养基分别诱导愈伤组织、不定芽和根, 建立了组织培养和高频离体再生体系。结果表明: (1)最适外植体为生长15 d的叶片和茎段; (2)诱导愈伤组织的最适植物生长调节剂及其浓度配比为 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 2,4-D、 $0.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA和 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA, 茎段和叶愈伤组织的诱导率分别为95.6%和97.8%; (3)诱导不定芽的最适植物生长调节剂及其配比为 $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA、 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA和 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ TDZ, 诱导率可达87.4%; (4)以MS+ $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA作为生根培养基可获得100%的生根率。将生长良好的植株进行移栽, 存活率可达95%。

关键词: 白背三七; 组织培养; 高频再生; 植物生长调节剂

Tissue Culture and High-Frequency Regeneration of *Gynura divaricata* (L.) DC

YAO Jing-Wen¹, LI Ying¹, XU Wei-Ting¹, KANG Ya-Chen², HUANG Xuan^{1,*}

¹Shaanxi Provincial Key Laboratory of Biotechnology, Key Laboratory of Resource Biology and Biotechnology in Western China, Ministry of Education, College of Life Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China; ²Xi'an Middle School, Xi'an 710021, China

Abstract: Stem and leaf of different growth time were studied in plant tissue culture and high-frequency regeneration of *Gynura divaricata*. MS medium compounding proportions of different plant growth regulators were study on induce callus, adventitious bud, and regenerate root, thereafter an efficient plant-regeneration system was established by *in vitro* *G. divaricata* culture. On MS medium containing $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 2,4-D, $0.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA and $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA, 15-days-old stem and leaf segments could be induced to product calli, and callus induction ratio reach 95.6% and 97.8%, respectively. On MS medium containing $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA, $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA, and $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ TDZ, adventitious buds could be regenerated from calli, the differentiation ratio were 87.4%. Well-grown adventitious buds were inoculated on MS medium containing $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA, 100% rooting frequency was obtained. Plantlets grew well and appeared normal after being transplanted to soil. Moreover, the survival ratio of plantlets reached 95%.

Key words: *Gynura divaricata* (L.) DC; tissue culture; high-frequency regeneration; plant growth regulators

白背三七, 又名金鸡毛草、明月草、白子菜等, 系菊科(Asteraceae)三七草属的常绿直立草本植物, 高30~80 cm, 直立茎, 茎绿色, 基部稍偏紫, 单叶互生, 肉质椭圆形或卵形叶; 主要分布于中国南部、西南部地带及台湾等地区。白背三七的根、茎、叶均可入药, 其根味甘、凉, 具有清热凉血、散瘀消肿的功效, 主治支气管炎、肺结核、崩漏、痈肿、烫伤、跌打损伤、刀伤出血等(胡勇等2006)。近年来有关于白背三七的研究涉及黄酮类药用成分的测定(黄骥等2006)、总黄酮的提取工艺(林荣华等2009)、气象色谱-质谱连用法测定白背三七不同药用部位挥发油的含量(洗寒梅等2008b)、药材成分的薄层色谱鉴别(洗寒梅等

2008a)、根茎叶的相关营养及化学成分分析测定(王玉婵等2011)、白背三七化学成分(李丽梅等2008)和白背三七多糖(姜曼花等2008)的提取纯化及含量测定等研究, 已经发现白背三七含有极高的药用价值和使用价值。不仅如此, 白背三七一些药用成分的具体功能已经开展了实验研究, 发现白背三七的水提物可有效降低自发性高血压大鼠的血压(黄开珍等2009)、可有效改善HepG2细

收稿 2012-08-30 修定 2012-10-22

资助 陕西省自然科学基金(2012JQ3003)和陕西省教育厅科研计划(11JK0613)。

* 通讯作者(E-mail: xuanhuang@nwu.edu.cn; Tel: 029-88303484)。

胞胰岛素抵抗(韦乃球等2011)、提取物对高血压引起的主要器官损伤具有明显的保护作用(曾春辉等2011)、提取物可有效缓解小鼠的糖尿病症状(Deng等2011)。白背三七的组织培养和离体繁殖技术的报道很少,仅有潘梅丽等(2011)、黄余磊等(2011)采用带芽(腋芽)茎段为外植体直接进行丛生芽诱导的报道,但关于诱导愈伤组织和再生芽的研究,至今未见相关报道。本文以盆栽白背三七的幼嫩茎和叶为研究对象,用多种不同的植物生长调节剂配比对其进行组织培养,通过诱导产生愈伤组织和不定芽,建立离体再生体系,为白背三七进一步的遗传操作奠定了基础。

材料与方法

1 材料

材料来源于西北大学生科院植物园,经鉴定为白背三七[*Gynura divaricata* (L.) DC],盆栽生长条件为户外自然条件。

2 方法

2.1 材料处理

剪取盆栽的白背三七的顶端幼嫩茎叶,用自来水冲洗1~2 h,洗去浮尘;在75%的乙醇中浸润1 min,用0.1% HgCl₂表面消毒6~8 min,期间不停晃动液体,用无菌水反复冲洗4~5次,每次3~5 min。将灭好菌的叶片剪成约0.5 cm×0.5 cm的小段,将茎剪至0.5~0.8 cm的长度,所有外植体均匀接入到MS固体培养基内。

2.2 培养基

以MS作为基本培养基,根据实验诱导目的的不同,分别添加不同配比的6-BA、NAA、2,4-D和TDZ。

2.3 培养条件

材料接种于培养基后,以22℃±2℃为培养温度,采用LED光照系统提供40 μmol·m⁻²·s⁻¹的光照强度,每日光照时间为16 h(谷艾素等2011)。

2.4 愈伤组织的诱导

选取在MS培养基内生长正常健康无染菌的叶片及茎段,接种至含有不同植物生长调节剂配比的MS固体培养基上诱导愈伤组织。28 d后统计长出愈伤组织的数目及状态。

2.5 芽的分化与增值

选取生长态势良好的愈伤组织,移植到含不

同植物生长调节剂配比的MS培养基中诱导丛生芽,并统计分化率。

2.6 根的诱导

将长至2 cm左右并且长势健康的再生芽移植至含不同浓度NAA的MS培养基上诱导生根,并统计生根率。

2.7 计算方法

每种植物生长调节剂配比实验至少接种3瓶材料,每瓶接种6~8块,重复3次,所得数据均用Origin 8.0和Statist 6.0进行统计学分析。

实验结果

1 外植体发育时间及种类对诱导愈伤组织的影响

从盆栽中同时选取从芽萌发开始生长5~25 d的茎叶,剪成0.5 cm×0.5 cm的外植体,分别接种至MS培养基中,3周后观察愈伤组织的诱导情况,并统计相应的数据。实验结果如表1所示,外植体的不同种类和发育时间均对愈伤组织的诱导有影响:发育适中的外植体(15 d左右),愈伤组织诱导率较高,较为嫩幼的植株其外植体愈伤组织成活率较低,而发育时间长的外植体因为发育较为成熟,分化程度也更高,较为不利于后期愈伤组织的分化,产生愈伤组织时也相对其他组褐化现象更为严重;另外,外植体的种类也对愈伤组织的诱导有一定影响,由叶诱导而成的愈伤组织情况略微优于由茎诱导而成的愈伤组织,并且相对于茎,叶的愈伤组织更加疏松更加大(图1-A)。

2 不同植物生长调节剂对比对诱导愈伤组织的影响

选取生长15 d的幼苗茎段和叶片切块在MS基本培养基上进行3 d的无菌预培养,此时外植体并没有产生愈伤组织,之后将外植体接种至加有2,4-D、6-BA和NAA的共计16种浓度配比的培养基中(表2),每个培养皿中含茎/叶4~8个/块,每种浓度配比接3皿,至少重复3次。15 d开始出现愈伤组织,所观察到的结果与记录的数据如表2所示,在0.5 mg·L⁻¹ 2,4-D、0.8 mg·L⁻¹ 6-BA和0.1 mg·L⁻¹ NAA的8号培养基中,愈伤组织诱导率最高(图1-B),其中茎段的诱导率达到95.6%,叶片达到97.8%,且长势良好。但随着2,4-D浓度的增加,愈伤组织变得透明,且玻璃化现象愈来愈严重,当2,4-D浓度达到1.5 mg·L⁻¹时,外植体基本无法诱导出愈伤组织;当

表1 外植体发育时间及种类对诱导白背三七愈伤组织的影响

Table 1 Influences of development days and type of explants on callus induction of *G. divaricata*

时间/d	外植体数/个		愈伤组织诱导率/%		愈伤组织大小/mm ³		描述	
	茎	叶	茎	叶	茎	叶	茎	叶
5	21	25	15.1±2.1 ^c	20.3±1.2 ^c	2.1±1.0 ^c	4.3±0.6 ^c	愈伤组织诱导率低, 外植体易死亡	愈伤组织诱导率低, 外植体易死亡
10	28	30	35.7±1.4 ^{bc}	46.7±1.1 ^b	5.8±0.4 ^b	7.9±0.7 ^b	有愈伤组织被诱导, 仅在茎段两侧, 不能覆盖外植体	愈伤组织诱导率较高
15	29	34	89.3±1.6 ^a	97.2±1.7 ^a	9.1±0.5 ^a	12.3±0.4 ^a	愈伤组织诱导率较高, 极少出现褐化现象	愈伤组织诱导率高, 且结构疏松呈颗粒状
20	20	22	53.2±1.1 ^b	52.2±1.6 ^b	6.2±0.7 ^b	9.7±0.8 ^a	愈伤组织诱导率较低, 并易出现褐化现象	愈伤组织诱导率较低, 并易出现褐化现象
25	23	26	32.2±1.2 ^{bc}	20.1±1.4 ^c	4.7±0.7 ^{bc}	5.6±0.3 ^c	愈伤组织诱导率较低, 多数出现褐化现象	愈伤组织诱导率较低, 多数出现褐化现象

表中数据为3次重复平均值±标准误。同列数值后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。表2~4同此。

表2 不同外植体与植物生长调节剂对白背三七愈伤组织诱导的影响

Table 2 Effects of different explants and plant growth regulators on callus induction of *G. divaricata*

序号	植物生长调节剂浓度/mg·L ⁻¹			外植体接种数/个		愈伤组织诱导率/%		描述
	2,4-D	6-BA	NAA	茎	叶	茎	叶	
1	0.5	0	0	36	45	23.4±0.9 ^e	30.3±0.3 ^e	愈伤组织结构较为紧密, 仅在伤口边缘, 呈白色或淡黄色
2	0.5	0	0.1	74	64	56.3±1.2 ^c	60.3±0.4 ^c	愈伤组织结构较为松散, 颜色浅黄色, 近乎透明
3	0.5	0.1	0	63	75	25.6±1.3 ^e	34.2±0.2 ^e	愈伤组织结构较为紧密, 仅在伤口边缘, 呈白色或淡黄色
1	0.5	0.2	0	51	60	45.7±0.4 ^d	60.7±1.3 ^c	愈伤组织结构较为紧密, 呈白色或淡黄色
5	0.5	0.2	1.5	63	69	3.4±1.0 ^g	5.4±0.1 ^f	几乎不产生愈伤组织, 易褐化死亡
6	0.5	0.4	0	48	57	56.4±1.2 ^c	75.6±0.5 ^b	愈伤组织结构较为紧密, 呈淡黄色
7	0.5	0.8	0	66	69	76.4±1.2 ^b	80.3±0.9 ^b	愈伤组织结构较为松散, 颜色呈浅黄色, 近乎透明
8	0.5	0.8	0.1	75	74	95.6±0.7 ^a	97.8±1.3 ^a	愈伤组织结构松散, 颜色透亮, 呈淡黄或淡绿色, 质地松软, 易于分开
9	0.5	1.0	0.1	72	63	45.0±0.8 ^d	50.6±1.6 ^c	外植体边缘产生少部分愈伤组织, 结构致密, 易褐化
10	0.5	1.5	0.1	60	72	13.4±0.5 ^f	9.8±0.7 ^f	几乎不产生愈伤组织, 易褐化死亡
11	1.0	0	0.1	66	71	34.3±0.7 ^d	40.9±0.3 ^d	愈伤组织呈玻璃化, 透明或白色
12	1.0	0.2	0	69	81	43.5±1.4 ^d	53.9±1.7 ^c	愈伤组织呈玻璃化, 透明或白色
13	1.0	0.2	0.1	75	63	45.6±0.6 ^d	51.3±0.5 ^c	愈伤组织呈玻璃化, 透明或白色
14	1.0	0.2	0.2	63	69	45.3±1.1 ^d	47.4±0.5 ^c	愈伤组织呈玻璃化, 透明或白色
15	1.0	0.2	0.4	70	75	35.7±0.8 ^d	47.8±1.9 ^c	愈伤组织结构较为紧密, 呈黄或深黄色, 易褐化
16	1.5	0.2	0.1	66	72	3.4±0.2 ^g	2.4±0.4 ^f	几乎不产生愈伤组织

6-BA浓度为1.0 mg·L⁻¹时, 仅在叶边缘产生少量的致密的褐色的愈伤组织, 当6-BA浓度达到1.5 mg·L⁻¹时, 基本上已不产生愈伤组织; 高浓度的

NAA也容易造成外植体不易被诱导成愈伤组织。另外, 在愈伤组织的继代培养中, 存在褐化现象, 其中茎段诱导而成的愈伤组织的褐化现象更为严

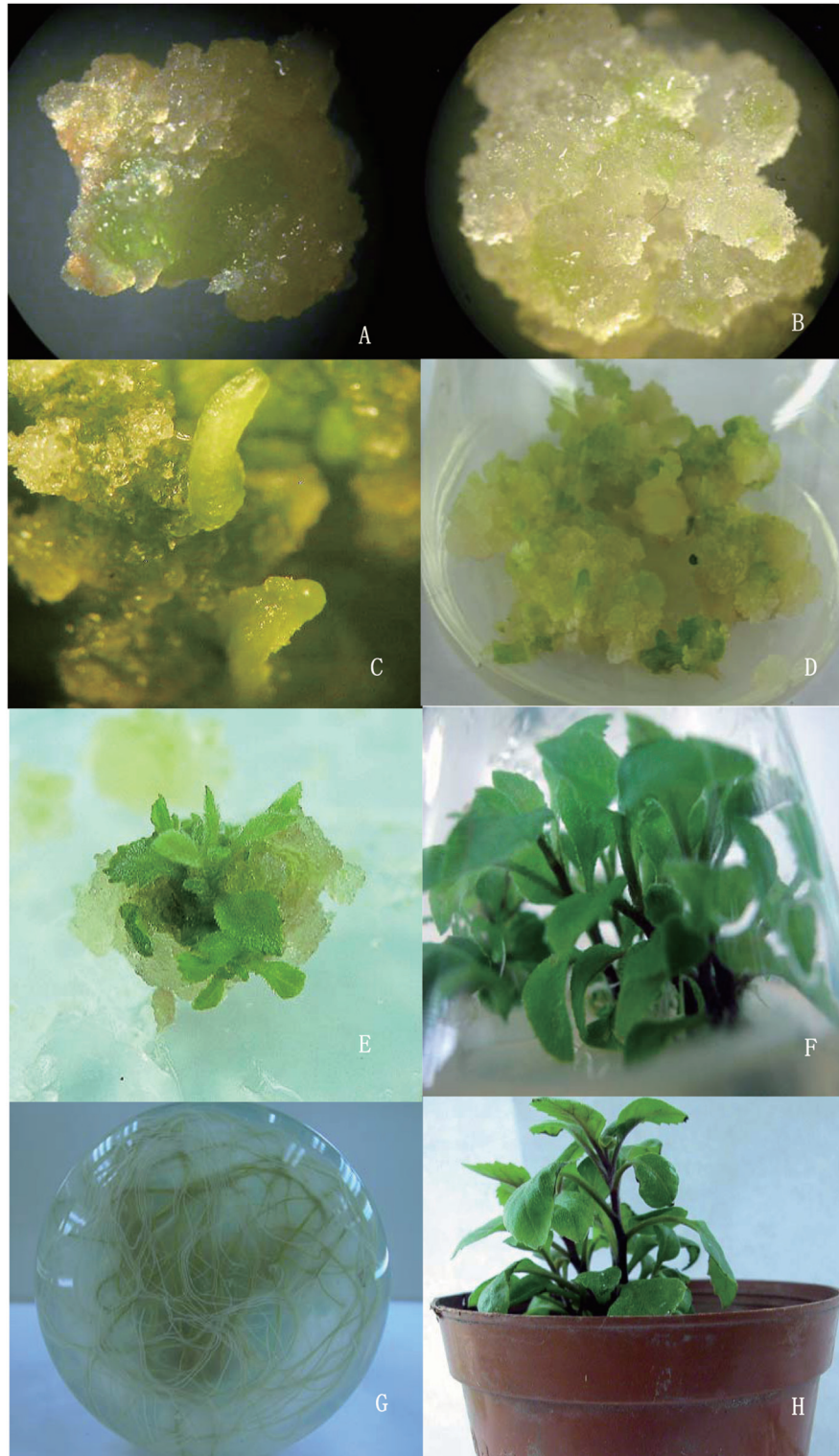


图1 白背三七的组织培养和离体再生

Fig.1 Callus induction and *in vitro* regeneration of *G. divaricata*

A: 由叶片为外植体诱导产生愈伤组织, 10 d后基本覆盖外植体; B: 在 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 2,4-D、 $0.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA和 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA的MS培养基上, 15 d后产生黄色或淡绿色的疏松愈伤组织; C、D: 在 $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA、 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA和 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ TDZ的MS培养基上, 21 d后形成的绿色不定芽; E、F: 不定芽继续诱导分化形成的丛生芽; G: 在 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA的MS培养基上形成的不定根; H: 移入盆土7 d的白背三七再生苗。

重, 加入维生素作为抗氧化剂和0.5%活性炭作为吸附剂后, 发现褐化情况有所缓解。

3 不同植物生长调节剂配比诱导愈伤组织分化的影响

将结构松散, 颜色透亮且长势良好的愈伤组织, 进行简单分割后转移到含不同植物生长调节剂及其配比的分化培养基上, 30 d后统计数据(表3)。根据潘梅丽等(2011)诱导白背三七生芽时选取6-BA、KT和2,4-D作为诱导植物生长调节剂, 同时参照了王洪霞和郭尚敬(2012)研究中噻重氮苯基

脲(TDZ)能很好地提高植物的分化效率, 最后选取6-BA、NAA和TDZ为诱导植物生长调节剂, 在多种植物生长调节剂浓度配比中, 6号培养基($1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-BA、 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA和 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ TDZ)取得了最好的分化效果, 14 d时愈伤组织表面开始出现大量的绿色芽点(图1-C、D), 并且迅速诱导出丛生芽(图1-E、F), 且生长状态良好, 无明显变异, 分化率达87.4%, 比未添加TDZ的4号培养基分化率要高1倍左右, 且颜色更为浓绿(表3), 证明适量浓度的TDZ对植物的分化效率有提高作用。

表3 不同植物生长调节剂对比对白背三七愈伤组织分化的影响

Table 3 Effects of different plant growth regulators on differentiation of callus of *G. divaricata*

序号	植物生长调节剂浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			愈伤组织数/块	诱导分化率/%	再生芽生长情况
	6-BA	NAA	TDZ			
1	0	0	0	43	0 ^g	无再生芽产生
2	0.5	0.2	0.1	47	4.5±1.0 ^f	仅出现少部分芽点, 长势缓慢
3	1.0	0	0.1	47	34.3±1.0 ^c	再生芽较为细瘦, 黄绿色, 长势一般
4	1.0	0.1	0	46	12.4±1.3 ^e	再生芽较为细瘦, 色偏黄, 长势不好
5	1.0	0.2	0	51	43.4±0.8 ^b	再生芽较为粗壮, 浅绿色, 长势较为良好
6	1.0	0.2	0.1	40	87.4±0.9 ^a	再生芽粗壮, 绿色, 丛生生长
7	1.0	0.2	0.2	49	57.3±0.6 ^b	再生芽较为粗壮, 绿色, 长势一般
8	1.0	0.2	0.5	56	12.3±0.6 ^e	再生芽细瘦, 发黄, 长势不好
9	1.0	0.5	0	47	30.8±1.3 ^c	再生芽较为细瘦, 淡黄色, 长势不好
10	1.0	0.5	0.1	48	44.6±0.6 ^b	再生芽较为粗壮, 绿色, 长势一般
11	2.0	0.1	0.1	46	22.6±0.5 ^d	再生芽较为细瘦, 黄绿色, 长势一般
12	2.0	0.2	0.2	44	14.3±0.7 ^e	再生芽瘦小, 黄绿色, 生长缓慢
13	2.0	0.5	0.5	43	9.6±0.3 ^{ef}	仅出现少部分芽点, 长势缓慢

4 不同植物生长调节剂对比对生根的影响

待不定芽长至2~3 cm, 从基部剪切接种至6组生根培养基中, 每组5瓶, 每个瓶中放2~3个不定芽。根据此前陈利红和徐子勤(2006)所做的生根实验结果, 我们仅选取NAA作为诱导生根的植物生长调节剂进行梯度试验, 实验结果证明, 仅NAA诱导生根已经足够(图1-G), 不用再添加其他物质,

21 d后实验观察记录和数据如表4所示, 可明显看出NAA浓度为 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时获得最好生根效果, 生出根数最多, 为12条, 生根率为100%且根粗壮, 主侧根分化明显无异常, 长势良好。但随着NAA浓度的增加, 渐渐对生根产生抑制作用, 4、5、6号培养基生根数逐渐减小, 其中4、5号差别非常明显, 能很明显地看出过量NAA对生根的抑制作用。

表4 白背三七不定芽的生根

Table 4 Rooting of *G. divaricata* adventitious shoots

序号	NAA/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	不定芽数/个	根数/条	平均根长/cm	生根时间/d	根生长情况
1	0	7	0	0 ^e	0	无根产生
2	0.1	9	7	3.4±0.3 ^c	12	根较为粗壮, 主侧根较为明显
3	0.2	12	12	7.8±0.9 ^a	7	根粗壮, 主侧根明显
4	0.5	11	9	5.6±0.4 ^b	5	根较细, 主侧根不太明显
5	0.8	9	4	2.1±0.4 ^d	4	根细, 几乎无法区分主侧根
6	1.0	5	2	1.2±0.5 ^d	4	根细且短, 无法区分主侧根

5 炼苗与移栽

当植株在锥形瓶中长至4 cm左右高、根系生长发达时, 打开锥形瓶盖, 在培养室中进行敞口放置1 d左右, 使再生植株适应外部环境。用自来水小心冲洗再生株系根部的培养基, 注意此时尽量不要伤及根, 随后将植株移植到装有腐质土的花盆中(图1-H), 放置于温室, 25 °C, 覆盖塑料膜保湿3~7 d。14 d后, 植株移栽成活率达95%, 且长势良好并无异常。

讨 论

选择外植体的类型对其后的诱导培养有很大的影响, 不同的取材部位, 取材时间等均会影响实验结果。郭兆武等(2010)做黄花石蒜不同外植体的组织培养研究时发现植物外植体在形成愈伤组织时并无差别, 与我们的结果不符, 这可能是由于植物不同种之间的自身差别造成的。通过实验对比, 我们选择发育时间适中(15 d)的茎叶来诱导愈伤组织, 处于这个发育阶段的茎叶, 分化程度适中, 自身生理状态较好, 大大提高了最后植株的成活率; 同时, 叶片的诱导率高于茎段, 更适宜用作外植体, 这是由于外植体自身的生理结构、分化状态以及脱分化能力存在的差异造成的(胡选萍等2012)。根据魏星等(2008)的研究结果, 我们在前期培养时用LED光源系统作为光照的光源, 在一定程度上促进了植物的生长。在植物组织培养过程中, 外源植物生长调节剂起着重要的影响, 不同的植物生长调节剂种类、水平及植物生长调节剂之间的相互组合都会影响实验结果。参考黄余磊等(2011)做白背三七组织培养的植物生长调节剂配比, 在诱导愈伤组织时, 我们选取6-BA及NAA为主要植物生长调节剂, 由于2,4-D在一定程度上类似于植物分裂素, 有促进细胞分裂的作用, 所以, 在本次实验中也采用2,4-D进行愈伤组织的诱导。但是, 根据李文静等(2012)的研究, 2,4-D浓度不宜过高, 否则会产生很大的抑制效果, 并且会降低植株的再生能力。徐涌等(2011)研究不同生长调节物质对吴茱萸组培的影响时就发现6-BA能有效促进不定芽的增值, 但过多时会导致玻璃化, 参照此经验, 我们设计不同浓度的植物生长调节剂组合与梯度实验, 最后发现0.5 mg·L⁻¹ 2,4-D、0.8 mg·L⁻¹

6-BA和0.1 mg·L⁻¹ NAA的诱导效果最好, 茎段和叶愈伤组织的诱导率分别高达95.6%和97.8% (表2); 诱导丛生芽时, 在6-BA及NAA中, 加适量浓度的TDZ, 有效地提高了诱导率与存活率。康大力等(2012)发现适量浓度的TDZ对细胞色素积累有明显影响。在我们的试验中也出现这个结果, 如生芽培养基中4号与6号在生出的芽的颜色有一定区别, 6号绿色浓于4号, 比较后, 三种植物生长调节剂的最适配比为1.0 mg·L⁻¹ 6-BA、0.2 mg·L⁻¹ NAA、0.1 mg·L⁻¹ TDZ, 诱导率可达87.4% (表3), 并且丛生芽生长粗壮, 颜色浓绿且长势健康良好。以MS+0.2 mg·L⁻¹ NAA作为生根培养基, 生根率为100% (表4), 且根系粗壮, 有利于后面的炼苗与移植。本实验虽然获得较好的诱导率, 但依然有一些未能完全解决的小问题存在, 如在诱导愈伤组织时随时间延长出现褐化现象并逐渐加深。造成愈伤组织褐化的主要原因可能是由于伤口处细胞受损, 细胞区隔作用被破坏, 造成毒性酚类或其氧化物醌类物质毒害细胞。根据王苑和谢凝子(2007)以及刘玲玲(2011)的研究, 我们选择加入一定的抗氧化剂及吸附剂, 但材料褐化情况只是稍有缓解而并未完全解决, 还有待进一步研究。

参考文献

- 陈利红, 徐子勤(2006). 荞麦组织培养及高频植株再生体系的建立. 分子生物学报, 39 (5): 445~452
- 谷艾素, 张欢, 崔瑾(2011). 光调控在植物组织培养中的应用研究进展. 西北植物学报, 31 (11): 2341~2346
- 郭兆武, 郭旭春, 高建芳, 裴丽丽(2010). 黄花石蒜不同外植体的组织培养研究. 西北植物学报, 30 (8): 1695~1700
- 胡选萍, 曾小勇, 秦公伟, 陈雪燕, 晋海军, 陈德经(2012). 西洋参不同外植体诱导愈伤组织研究. 江苏农业科学, 40 (3): 48~50
- 胡勇, 李维林, 林厚文, 卓敏(2006). 白背三七地上部分的化学成分. 中国天然药物, 4 (2): 156
- 黄开珍, 郝永靖, 曾春晖, 邓家刚, 冼寒梅, 韦乃球, 杨柯(2009). 白子菜水提物对自发性高血压大鼠降压作用的实验研究. 中成药, 31 (10): 1505~1508
- 黄骥, 林荣华, 郑钊, 叶冰莹, 陈如凯, 陈由强(2006). 白子菜总黄酮含量的测定. 福建师范大学学报, 22 (2): 118~120
- 黄余磊, 蒋明, 金含丽, 高丽娜(2011). 白背三七草组培快繁技术研究. 浙江农业科学, (1): 49~52
- 姜曼花, 邱细敏, 刘胜姿, 彭胜, 黎强(2008). 白背三七多糖的提取纯化及含量测定. 时珍国医国药, 19 (9): 1247~1249
- 康大力, 张洪利, 莫小路, 杨得坡(2012). TDZ对喜树愈伤组织生长及色素积累的影响. 生物技术, 22 (1): 83~85
- 李丽梅, 李维林, 郭巧生, 任冰如, 张涵庆(2008). 白背三七化学成分研究. 时珍国医国药, 19 (1): 118~119

- 李文静, 李学强, 贾毛毛, 唐洪梅, 宋乾江, 连少英(2012). 6-BA、NAA和2,4-D不同对比对芥菜愈伤组织诱导、生长及植株再生的影响. 植物生理学报, 48 (2): 141~146
- 林荣华, 代容春, 陈由强(2009). 白子菜总黄酮提取工艺研究. 福建轻纺, 23 (6): 28~30
- 刘玲玲(2011). 植物组织培养中外植体发生褐变的原因及防治措施. 喀什师范学院学报, 32 (3): 44~46
- 潘梅丽, 马小军, 莫长明, 凌征柱(2012). 白背三七组织培养技术. 南方农业学报, 42 (12): 1458~1461
- 王洪霞, 郭尚敬 (2012). TDZ对甜椒不定芽分化的影响. 北方园艺, (3): 104~106
- 王玉婵, 黄丽莉, 舒萌, 徐行, 梅珊, 蔡璇, 王彩云(2011). 白子菜不同器官营养与药用成分的测定与分析. 长江蔬菜(学术版), (24): 14~17
- 王苑, 谢凝子(2007). 植物组织培养中的褐变现象及抗褐变研究进展. 黔西南民族师范高等专科学校校报, (3): 109~113
- 韦乃球, 洗寒梅, 杨柯, 郝永靖(2011). 白子菜对HepG2细胞胰岛素抵抗改善作用的实验研究. 时珍国医国药, 22 (6): 1395~1396
- 魏星, 顾清, 戴艳娇, 徐志刚(2008). 不同光质对菊花组培苗生长的影响. 中国农学通报, 24 (12): 344~349
- 洗寒梅, 陈勇, 唐林(2008a). 白子菜药材薄层色谱鉴别的实验研究. 辽宁中医杂志, 35 (2): 259~260
- 洗寒梅, 周蓉, 刘雯, 覃洁萍(2008b). 白子菜不同药用部位挥发油的含量测定及气象色谱-质谱联用分析. 时珍国医国药, 19 (4): 858~859
- 徐涌, 孙俊威, 陈珍(2011). 不同植物生长调节物质处理对吴茱萸组织培养的影响. 浙江农林大学学报, 28 (3): 500~504
- 曾春辉, 郝永靖, 黄开珍, 洗寒梅, 杨柯, 韦乃球(2011). 白子菜提取物对SHR大鼠靶器官损伤的保护作用研究. 中成药, 33 (8): 1303~1307
- Deng Y, Chen Y, Zhang W, Chen B, Qiu X, He L, Mu L, Yang C, Chen R (2011). Polysaccharide from *Gynura divaricata* modulates the activities of intestinal disaccharidases in streptozotocin-induced diabetic rats. Brit J Nutr, 106 (9): 1323~1329