

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201612026

引文格式: 洗康华, 苏江, 付传明, 等. 芦竹的组培快繁技术研究 [J]. 广西植物, 2018, 38(1): 128-134

XIAN KH, SU J, FU CM, et al. Techniques for rapid propagation of *Arundo donax* [J]. *Guihaia*, 2018, 38(1): 128-134

## 芦竹的组培快繁技术研究

洗康华, 苏江, 付传明, 黄宁珍, 龚庆芳, 何金祥\*

(广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006)  
中国科学院

**摘要:** 该研究以从匈牙利引进的良种芦竹带腋芽茎段为外植体, 以 MS 为基本培养基, 通过设计不同的生长调节剂配比, 对芦竹腋芽诱导、继代增殖及生根培养基进行了研究。结果表明: 良种芦竹初代诱导最佳培养基为 MS + 6-BA 4.0 mg · L<sup>-1</sup> + 蔗糖 30.0 g · L<sup>-1</sup> + 琼脂 3.5 g · L<sup>-1</sup>, 萌发率为 90.0%; 继代增殖最佳培养基为 MS + 6-BA 8.0 mg · L<sup>-1</sup> + IBA 0.8 mg · L<sup>-1</sup> + 蔗糖 30.0 g · L<sup>-1</sup> + 琼脂 3.5 g · L<sup>-1</sup>, 芽健壮均匀, 增殖系数为 4.3/30 d, 基部保留 3~5 个芽作为继代培养物增殖效果最佳; 选择高度 5.0 cm 以上的植株进行生根, 最佳生根培养基为 1/2MS + NAA 0.2 mg · L<sup>-1</sup> + 蔗糖 20.0 g · L<sup>-1</sup> + 活性炭 1.0 g · L<sup>-1</sup>, 不添加琼脂, 培养 1 周生根率为 100.0%, 平均生根 4 条, 根长 2.0~4.0 cm; 将所得生根苗炼苗 1 周, 以河沙、黄泥或腐质土作为栽培基质, 移栽于荫蔽度 70 的大棚中, 1 个月后移栽成活率 ≥ 98.0%; 移栽于实验田中, 按常规方式进行管理, 当年亩产量约为 5 500.0 kg。该研究结果为良种芦竹的大规模产业化应用提供了技术支撑。

**关键词:** 芦竹, 腋芽, 组织培养, 增殖

中图分类号: Q943.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)01-0128-07

## Techniques for rapid propagation of *Arundo donax*

XIAN Kanghua, SU Jiang, FU Chuanming, HUANG Ningzhen,  
GONG Qingfang, HE Jinxiang\*

(Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany,  
Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China)

**Abstract:** In order to find out the most efficient way for rapid propagation of *Arundo donax*, replanted at Guangxi Institute of Botany from Hungary, by testing different concentrations of plant growth regulators, and stems with auxiliary buds were used as explants. The results showed that the most suitable medium for the sprouting of auxiliary buds was MS+ 6-BA 4.0 mg · L<sup>-1</sup>+sucrose 30 g · L<sup>-1</sup>+agar 3.5 g · L<sup>-1</sup>, the germination rate could get to 90.0%. MS+ 6-BA 8 mg · L<sup>-1</sup> + IBA 0.8 mg · L<sup>-1</sup> + sucrose 30 g · L<sup>-1</sup> + agar 3.5 g · L<sup>-1</sup> was the most efficient proliferation medium, and buds were robust. The average proliferation rate was 4.3/30 d. Three or five sprouts linked together was found to be a better basic

收稿日期: 2017-04-06

基金项目: 广西科技创新能力与条件建设计划项目(2015ED32065); 广西植物研究所基本业务费项目(桂植业 16010) [Supported by the Technological Innovation Ability and Conditions Construction Plan of Guangxi(2015ED32065); Fundamental Research Fund of Guangxi Institute of Botany(16010)].

作者简介: 洗康华(1988-),男,广西钦州人,助理研究员,主要从事植物生物技术和珍稀濒危植物保育研究,(E-mail)294258305@qq.com。

\*通信作者: 何金祥,研究员,从事植物引种栽培及生物防治等研究,(E-mail)hejinxiang@gxib.cn。

material for subculture in that they demonstrated a higher multiplying capacity. The most suitable rooting medium was 1/2MS+ NAA 0.2 mg · L<sup>-1</sup> + sucrose 20 g · L<sup>-1</sup> + activated carbon 1 g · L<sup>-1</sup> with the five cm buds, in which the rate of rooting was 100% for 7 d, the average root number was four, and the length of the roots was 2–4 cm. The rooted seedlings, which with roots 2–3 cm, were transplanted from culturing seedlings to fine river sand, yellow soil or humus soil after one week-day's treatment, the survival percent reaches 98% after a month. The current annual yield was about 5 500 kg on one acre by regular management in the experimental field. The research provides technical support for industry application of the improved *Arundo donax* preliminarily.

**Key words:** *Arundo donax*, axillary bud, tissue culture, rapid propagation

芦竹(*Arundo donax*)为禾本科芦竹属多年生大型草本植物,丰产期高达 10 m,根状茎发达。芦竹适应环境能力强,生长速度快,常被作为造纸和景观用材。20 世纪以来,在能源紧张和环保意识日益受到关注的背景下,欧洲国家研究筛选了 20 种多年生草本植物,其中芦竹与芒草(*Miscanthus* spp.)、藨草(*Phalaris arundinacea*)、柳枝稷(*Panicum virgatum*)被认为是最具能源植物潜力的 4 种多年生牧草物种(余醉等,2009)。近年来,根据芦竹的生物学特性,其在恢复土壤退化、修复湿地重金属污染(韩志萍和胡正海,2005;韩志萍,2005,2006;韩志萍和王趁义,2007;谢龙和汪德燿,2009)以及作为新型生物质能源(王连锁等,2004;余醉等,2009;吴艳等,2016)的特性得到了研究,其利用价值和开发潜力也越来越受到人们的重视。

芦竹为无性繁殖,种子不育,常规繁殖方法为分蘖繁殖,平均繁殖系数为 2.9~3.1(冉隆贤等,1998),远不能满足产业应用需求。目前对于芦竹组培快繁的报道并不多见,已见报道中芦竹的繁殖系数(叶保君和李春玲,1994)相较于传统的分蘖繁殖并无太大突破。在新的产业需求下,以产量更高、更优质的芦竹品种作为产业化生产品种,是促进芦竹产业发展的有效途径。多功能良种芦竹为从匈牙利引进的优良品种,丰产期高可达 10 m,产量每年干重可达 50~100 t · hm<sup>-2</sup>,而普通的芦竹品种干物质产量通常为每年 30~40 t · hm<sup>-2</sup>(Eleni,2007),两相比较,引进的良种芦竹优势明显,是一个可以作为芦竹产业生产的优质品种。本研究拟在前人的研究基础上,开展良种芦竹的种苗组培快繁研究,为该良种芦竹的产业应用提

供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

本研究所用的材料为从匈牙利引种到广西植物研究所的多功能良种芦竹,产量每年干重可达 50~100 t · hm<sup>-2</sup>,每年 3—4 月剪取生长健壮的芦竹新生幼嫩带腋芽茎段为外植体材料。

### 1.2 方法

1.2.1 外植体消毒 取外植体置于质量浓度为 1%~3%的洗洁精水溶液中浸泡 10~20 min,取出后用流水冲洗干净,再置于超净工作台上用体积浓度为 70%~75%的乙醇浸泡 50~70 s,取出后再置于质量浓度为 0.1%~0.2%的 HgCl<sub>2</sub> 中浸泡 8~10 min,取出,无菌水清洗 3~5 次。

1.2.2 芽的诱导 将经上述消毒步骤处理的外植体取出,置于无菌滤纸上吸干水分,剪成 2~3 cm 的小段,轻轻剥去腋芽外的叶鞘,每个茎段至少带 1 个腋芽,接种至培养基 MS+6-BA 3~5 mg · L<sup>-1</sup>+蔗糖 30 g · L<sup>-1</sup>+琼脂 3.5 g · L<sup>-1</sup>(pH 5.8)中进行初代诱导培养,其中,6-BA 取 3.0、4.0、5.0 mg · L<sup>-1</sup>三个水平,共设计三种培养基,每种培养基 30 瓶。接种后材料置于温度(25±3)℃、光照时间 10~12 h · d<sup>-1</sup>、光照强度 20 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>的条件下培养,定期观测外植体及芽的生长情况并记录。

1.2.3 芽的继代培养 将初代培养所得的嫩芽转移至培养基 MS+6-BA 7~9 mg · L<sup>-1</sup>+IBA 0.7~0.9 mg · L<sup>-1</sup>+蔗糖 30 g · L<sup>-1</sup>+琼脂 3.5 g · L<sup>-1</sup>(pH 5.8)中进行继代增殖培养,其中 6-BA 取 7.0、8.0、9.0 mg · L<sup>-1</sup>,IBA 取 0.7、0.8、0.9 mg · L<sup>-1</sup>,共组合成九

表 1 不同浓度的 6-BA 对腋芽萌发的影响

Table 1 Effects of different 6-BA concentrations on the sprouting of auxiliary buds

6-BA 浓度 Concentration of 6-BA (mg · L <sup>-1</sup> )	接种数 Number of vaccine stem	萌发数 Number of germination	萌发率 Budding rate (%)	生长情况 Growth condition
3.0	30	20	66.7	芽壮,颜色浅绿,生长一般 Shoots were thick, light green and grewed generally
4.0	30	27	90.0	芽粗壮,颜色绿,生长旺盛 Shoots were thick and green with vigorous growth
5.0	30	28	93.3	芽细弱,颜色浅黄绿色 Shoots were weak and light yellow green

表 2 不同浓度的生长调节剂对芦竹继代增殖的影响

Table 2 Effects of different growth regulator concentrations on subculture multiplication

数量 Number	6-BA Concentration of 6-BA (mg · L <sup>-1</sup> )	IBA Concentration of IBA (mg · L <sup>-1</sup> )	接种点数 Number of vaccine point	新增芽数 Number of new shoot	增殖系数 Multiplication coefficient	芽粗壮度* Growth condition of bud	生长情况 Growth condition
1	7.0	0.7	6	30	1.67	2.7	芽中等粗壮,颜色鲜绿 Shoots were medium thick and green
2	7.0	0.8	6	36	2.00	3.0	芽中等粗壮,颜色鲜绿 Shoots were medium thick and green
3	7.0	0.9	6	48	2.67	3.5	芽壮,颜色鲜绿 Shoots were thick and green
4	8.0	0.7	6	54	3.00	3.8	芽较壮,颜色鲜绿 Shoots were thick and green
5	8.0	0.8	6	78	4.33	4.5	芽壮,颜色鲜绿,长势整齐 Shoots were thick and green with tidy growth
6	8.0	0.9	6	70	3.89	4.0	芽壮,颜色鲜绿,长势较整齐 Shoots were thick and green with tidy growth
7	9.0	0.7	6	90	5.11	1.8	芽细弱,部分叶片卷曲 Shoots were weak and part of leaves were curl
8	9.0	0.8	6	88	4.89	2.5	芽较细,部分叶片卷曲 Shoots were weak and part of leaves were curl
9	9.0	0.9	6	84	4.67	2.2	芽较细,部分叶片卷曲 Shoots were weak and part of leaves were curl

注: \* 数字 1.0~5.0 分别表示群体中粗壮植株的比例为 0~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%。

Note: \* Number 1.0~5.0 means thepercentage of the thick plants was 0~20%, 20%~40%, 40%~60%, 60%~80%, 80%~100% respectively.

种不同的培养基,每种培养基 30 瓶。材料置于温度(25±3)℃、光照时间 10~12 h · d<sup>-1</sup>、光照强度 30 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>的条件下培养,定期观测记录丛生芽的诱发及生长情况。

1.2.4 根的诱导 将所得丛生苗分株,选择高度 5.0 cm 以上的植株转移至 1/2MS+NAA 0.1~0.3 mg · L<sup>-1</sup>+蔗糖 20 g · L<sup>-1</sup>+活性炭 1 g · L<sup>-1</sup>(pH 5.8)的液体培养基中进行生根培养,其中 NAA 取 0.1、0.2、0.3 mg · L<sup>-1</sup>三个水平,共设计三个处理,每个

处理 10 瓶。材料置于温度(25±3)℃、光照时间 10~12 h · d<sup>-1</sup>、光照强度 40 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>的条件下培养。定期观测并记录生根情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 芽的诱导

诱导芦竹腋芽时,剥除叶鞘可以极大地提高腋芽的萌发率,接种 1 周左右,可以看到部分茎段

有腋芽萌发的迹象,培养 30 d 后芦竹腋芽的生长情况见表 1。从表 1 可以看出,随着 6-BA 浓度的增加,芦竹腋芽的萌发率逐渐提高。当 6-BA 浓度为  $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,腋芽萌发率最高,达 93.3%,但芽细弱,叶片较小,整体长势偏弱;而当 6-BA 浓度为  $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,萌发率虽稍微有所降低,但长出的腋芽更粗壮,整体长势最好(图 1),说明高浓度的 6-BA 浓度虽可以提高腋芽的萌发率,但是对芽的生长不利,影响后期的继代增殖。因此,芦竹初代诱导时选择 6-BA 浓度为  $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,诱导培养基为  $\text{MS} + 6\text{-BA } 4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} + \text{蔗糖 } 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} + \text{琼脂 } 3.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , pH 5.8。

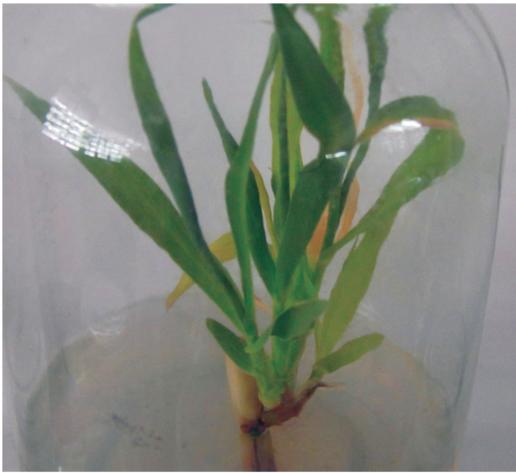


图 1 诱导培养 30 d 后的腋芽

Fig. 1 Auxiliary buds after thirty-days induction culture

## 2.2 继代增殖

将经过初代诱导获得的嫩芽从基部剪下,剪除上部茎叶,保留距基部 1.5~2.0 cm 部分,按 3~5 芽一丛,转移至添加 3 种不同浓度的 6-BA 和 IBA 的继代增殖培养基中,每瓶 6 个接种点(每个点含 3 个芽),30 d 后观测记录,结果如表 2 所示。增殖系数和芽粗壮度是芦竹继代增殖过程较关键的两项参数,是影响后续继代或生根培养中种苗的数量和质量的关键参数。对芦竹增殖系数与芽粗壮度进行方差分析(表 3,表 4),结果发现:6-BA 对芦竹增殖系数和芽粗壮度的影响差异极显著,极差分别为 2.78、1.93;而 IBA 对增殖系数和芽粗壮度的影响差异不影响,极差分别为 0.48、0.56,说

表 3 6-BA、IBA 对芦竹继代增殖系数影响的显著性参数

Table 3 Significant parameter of 6-BA and IBA to multiplication coefficient

生长参数 Growth parameter	P	
	6-BA	IBA
增殖系数 Multiplication coefficient	<0.01	0.898
芽粗壮度 Growth condition of buds	<0.01	0.766

注:  $P < 0.01$  差异极显著。

Note:  $P < 0.01$  means very significant correlation.

表 4 平均增殖系数和芽粗壮度的极差分析及多重比较

Table 4 Range analysis and multiple comparisons of propagation coefficients and degrees of bud haleness

水平 Level	平均增殖系数 Mean multiplication coefficient		芽粗壮度 Growth condition of buds	
	6-BA	IBA	6-BA	IBA
1	2.11a	3.26a	3.07b	2.77a
2	3.74b	3.74a	4.10c	3.33a
3	4.89c	3.74a	2.17a	3.23a
极差 R	2.78	0.48	1.93	0.56

注: 同一列不同字母表示方差分析达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters after the data means significant correlation ( $P < 0.05$ ).

明在继代增殖中,6-BA 是决定芦竹增殖系数大小与芽粗壮度的关键因素。具体表现为在本研究实验范围内随着 6-BA 浓度的增加,新增芽数量逐渐增多。当 6-BA 浓度为  $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,新增芽数最多为 48,增殖系数为 2.67(图 2: A);当 6-BA 浓度为  $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,新增芽数最多为 78,芽整体长势均匀整齐、健壮,增殖系数为 4.33(图 2: B);当 6-BA 浓度为  $9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,新增芽数最高达到 90,但茎段细弱,相当部分芽叶片卷曲,植株生长杂乱(图 2: C),表明较高的 6-BA 浓度虽能促进芽的萌发,但



注: A, B, C 分别为编号 3, 5, 7 组合的培养基处理。

Note: A, B, C was cultivated in media No.3, No.5 and No.7 respectively.

图 2 不同浓度的生长调节剂对芦竹继代增殖的影响

Fig. 2 Effects of different growth regulator concentrations on subculture multiplication



图 3 培养 12 d 的芦竹生根苗

Fig. 3 Seedlings of *Arundo donax* after twelve-day rooting culture



图 4 移栽 20 d 的芦竹种苗

Fig. 4 Seedlings of *Arundo donax* after transplanted twenty-day



图 5 实验田种植 6 个月的芦竹种苗

Fig. 5 Seedlings of *Arundo donax* after transplanted to experimental field for six months

对芽的生长会起到负面作用。

结合生长情况分析,虽然 IBA 对芦竹增殖系数和芽粗壮度的影响不显著,但随着 IBA 浓度升高,芽的粗壮度增加,长势也有所转好,特别是在 6-BA 浓度较高时,在一定程度上缓解了芽的玻璃化程度,说明 IBA 对芦竹芽的粗壮度、长势有促进作用。在本研究中当 IBA 浓度为  $0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,芽整体长势均匀整齐、健壮,长势最好。综上所述,芦竹芽继代增殖的最佳培养基配方为  $\text{MS}+6\text{-BA } 8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} + \text{IBA } 0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} + \text{蔗糖 } 30.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} + \text{琼脂 } 3.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

### 2.3 生根培养

芦竹组培快繁过程中发现,芦竹生根容易,在

继代培养基中培养一段时间亦能生根。为了提高芦竹的生根及洗苗效率,本研究以 1/2MS 为生根基本培养基,添加 NAA 浓度为  $0.1 \sim 0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,蔗糖  $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,活性炭  $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,不添加琼脂,即为液体培养基。将所得丛生苗分株,选择高度在 5.0 cm 以上的植株转移至生根培养基中培养 1 周后发现,芦竹苗开始生根,生根率均在 90% 以上,其中当 NAA 浓度为  $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,生根率为 100%,每株长根 3~5 条,根长 2~4 cm,培养 10~12 d,生根情况如图 3,根系多、发达,易洗涤。因此,芦竹种苗的最佳生根培养基为 1/2MS+ NAA  $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 蔗糖  $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ + 活性炭  $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

## 2.4 炼苗与移栽

当芦竹组培苗根长到 2~3 cm 时,炼苗 1 周,河沙、黄泥或腐质土均可作为栽培基质,移栽于荫蔽度 70 的大棚中,移栽后定期浇水、追肥,1 个月后观察发现芦竹幼苗成活率为 98% 以上,成活率较高,长势良好。移栽 20 d 后芦竹组培苗生长情况如图 4。2015 年 3 月,将得到的芦竹种苗直接移栽于实验田中,之后按常规管理方式进行管理(图 5),成活率  $\geq 98\%$  (移植芦竹种苗成活株数/芦竹种苗的总移植株数  $\times 100\%$ )。于 2015 年 11 月收获,经统计,亩产量约为 5 500 kg。

## 3 讨论与结论

芦竹是一种发展潜力非常大的新型能源植物,本研究使用的芦竹品种为从匈牙利引进的优良品种,产量可达每年干重  $50 \sim 100 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,而普通的芦竹品种干物质产量通常为每年  $30 \sim 40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  (Eleni, 2007)。两相比较,引进的良种芦竹优势明显,是一个可以作为芦竹产业生产的优质品种。良种芦竹与普通芦竹一样,花粉败育,使用传统的繁殖方式远不能满足市场的需求。组织培养技术就成为繁殖种苗的重要手段。它具有繁殖系数高、周期短、所需空间少、可产生大量植株、除去病毒等优点。因此,研究出一套高效快速的良种芦竹快速繁殖体系,对于芦竹的产业化应用意义重大。本研究以良种芦竹新生幼嫩腋芽茎段为外植体,通过设计不同的生长调节剂配比,对芦竹

腋芽诱导、继代增殖及生根培养基进行了研究,总结集成了一套良种芦竹组培快繁技术体系,整体增殖系数为 4.3/30 d,将利用该体系组培所得生根苗炼苗移栽,移栽成活率  $\geq 98.0\%$ ,当年亩产量约为 5 500.0 kg,初步达到了为该良种芦竹的产业应用提供技术支撑的目的。

芦竹组培快繁的研究,国内外已有报道,但不同品种、基因型会存在较大差异。在诱导良种芦竹腋芽萌发时,已有的研究中分化培养基通常附加 6-BA 与 IBA 或 IAA 的组合(叶保君和李春玲, 1994;冉隆贤等, 1998;刘文竹和赵惠恩, 2015)。而本研究发现,只添加 6-BA 时,便能达到 90.0% 的萌发率,与之前的研究结果差别不大。在继代培养中发现 6-BA 是决定芦竹增殖系数大小与芽粗壮度的关键因素。使用继代增殖最佳培养基 MS+ 6-BA  $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + IBA  $0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 蔗糖  $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ + 琼脂  $3.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,每个点新增芽数都能达到 10~13,瓶苗长势整齐,相较于刘文竹和赵惠恩(2015)的研究结果,增殖效果更加稳定,但整体增殖系数为 4.3/30 d,与之前的研究相比并未有较大的突破,还有待进一步继续研究;在继代增殖研究中还发现该良种芦竹基部保留 3~5 个芽增殖效果最佳。实验浓度范围内 IBA 虽对芦竹增殖系数大小与芽粗壮度的影响不显著,但随着 IBA 的添加,芽的粗壮度增加,玻璃化现象有所缓解,说明 IBA 对芦竹芽的粗壮度、长势有促进作用,冉隆贤等(1998)在进行芦竹组培研究中也发现了相似的现象。本研究首次在芦竹生根时使用液体培养基,结果发现在保障了芦竹高生根率的同时,清理根系残留培养基方便,减少了出苗时对植株及根系的损伤,能有效地提高幼苗的成活率,与固体培养相比,优势十分明显。另外,本研究还在继代增殖及生根阶段,适当地增加了光照强度,结果发现这一措施对提高分化芽和生根苗的长势、促进生根、增强后期出苗时种苗对外界环境的适应性可能确实起到积极的作用(郑洪立等 2008),具体机理有待进一步研究。

目前,国内芦竹组培快繁通常是以茎段为外植体,获得了不错的成果,在一定程度上缩短了芦竹生产的周期,但是相对于传统扦插模式,繁殖倍

数提高的不多,这对芦竹产业的发展造成了一定的限制。在新的产业需求下,以产量更高、更优质的芦竹品种作为产业化生产品种,是促进芦竹产业发展的有效途径,同时,寻求更快更有效地提高芦竹繁殖倍数的途径更是芦竹生产迫切要解决的技术难题。近年来已有利用愈伤途径来进行芦竹组培快繁的报道(陈岑等,2016;阳宴清等,2016),取得了不错的繁殖速率,但体系尚未成熟,仍有待进一步研究。在今后的研究中,可加强芦竹愈伤、胚状体等方面的研究,形成有效的再生体系,为芦竹产业化生产提供依据和参考。

## 参考文献:

CHEN C, LI BL, MO HP, 2016. The establishment of rapid propagation systems for *Arundo donax* [J]. Southern Hortic, 27(2): 1-5. [陈岑, 李伯林, 莫海萍, 2016. 芦竹组培快繁研究初探 [J]. 南方园艺, 27(2): 1-5.]

ELENI GP, 2007. *Arundo donax* L. stress tolerance under irrigation with heavy metal aqueous solutions [J]. Desalination, 211: 304-313.

HAN ZP, HU ZH, 2005. Tolerance of *Arundo donax* to heavy metals [J]. Chin J Appl Ecol, 16(1): 161-165. [韩志萍, 胡正海, 2005. 芦竹对不同重金属耐性的研究 [J]. 应用生态学报, 16(1): 161-165.]

HAN ZP, 2005. A research on restoring wetland polluted by some heavy metals using giantreed [J]. Technol Equip Environ Poll Contr, 6(8): 30-33. [韩志萍, 2005. 利用芦竹修复重金属污染湿地的研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 6(8): 30-33.]

HAN ZP, 2006. Accumulation and distribution of chromium, copper and nickel in *Arundo donax* Linn [J]. Environ Sci Technol, 29(5): 106-108. [韩志萍, 2006. 铬铜镍在芦竹中的富集与分布 [J]. 环境科学与技术, 29(5): 106-108.]

HAN ZP, WANG CY, 2007. Accumulation and distribution of cadmium, lead, mercury, and copper in *Arundo donax* of different ecotype [J]. Ecol Environ, 16(4): 1092-1097. [韩志萍, 王趁义, 2007. 不同生态型芦竹对 Cd、Hg、Pb、Cu 的富集与分布 [J]. 生态环境, 16(4): 1092-1097.]

LIU WZ, ZHAO HE, 2015. Application of tissue culture for rapid propagation of *Arundo donax* [J]. Chin Agric Sci Bull, 31(16): 146-150. [刘文竹, 赵惠恩, 2015. 芦竹高效快繁体系的建立 [J]. 中国农学通报, 31(16): 146-150]

RAN LX, WEN SZ, XIE YR, 1998. Rapid propagation of *Arundo donax in vitro* [J]. Econ For Res, 16(2): 13-15. [冉隆贤, 文仕知, 谢钰容, 1998. 芦竹快速繁殖技术研究 [J]. 经济林业研究, 16(2): 13-15.]

RAN LX, LIN XJ, WEN SZ, et al, 1998. Studies of tissue culture of *Arundo donax* [J]. J Cent S For Univ, 18(1): 49-52. [冉隆贤, 林雪坚, 文仕知, 等, 1998. 芦竹组织培养技术研究 [J]. 中南林学院学报, 18(1): 49-52.]

WANG LS, PAN Z, DOU TF, et al, 2004. The development and prospect analysis of *Arundo donax* [J]. Sci Technol Tianjin Agric For, (5): 11. [王连锁, 潘铮, 窦田芬, 等, 2004. 芦竹的开发前景分析 [J]. 天津农业科技, (5): 11.]

WU Y, TIAN H, WANG YM, et al, 2016. Combustion kinetics of *Arundo donax* Linn [J]. Appl Chem Ind, 45(4): 796-800. [吴艳, 田红, 王运民, 等, 2016. 芦竹燃烧动力学不同反应机理的研究 [J]. 应用化工, 45(4): 796-800]

XIE L, WANG DG, 2009. Treatment of domestic sewage by subsurface-flow constructed wetland with *Arundo donax* var. *versicolor* [J]. Chin Water Waste Water, 25(5): 89-91. [谢龙, 汪德燿, 2009. 花叶芦竹潜流人工湿地处理生活污水的研究 [J]. 中国给水排水, 25(5): 89-91.]

YANG YQ, WANG Y, ZHU ML, et al, 2016. A study on callus induction and plant regeneration in giant reed (*Arundo donax*) [J]. Pratacul Sci, 33(7): 1332-1341. [阳宴清, 王咏, 朱美兰, 等, 2016. 芦竹愈伤组织诱导及再生体系的建立 [J]. 草业科学, 33(7): 1332-1341.]

YE BJ, LI CL, 1994. Studies on the techniques and methods for tissue culture of *Arundo donax* var. *versicolor* [J]. J Beijing Agric coll, 9(1): 48-52. [叶保君, 李春玲, 1994. 花叶芦竹组织培养技术的研究 [J]. 北京农学院学报, 9(1): 48-52.]

YU Z, LI JL, LI GY, 2009. Analysis on the potential capacity of exploiting giant reed as an energy forage [J]. Pratacul Sci, 26(6): 62-69. [余醉, 李建龙, 李高扬, 2009. 芦竹作为清洁生物质能源牧草开发的潜力分析 [J]. 草业科学, 26(6): 62-69.]

ZENG HY, 2013. Biological characters of *Arundo donax* based on cellulosic bioenergy use [D]. Changsha: Hunan Agriculture University. [曾汉元, 2013. 基于纤维素能源利用的芦竹生物学特性研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学.]

ZHEN HL, YE CM, WANG JH, et al, 2008. Effect of different temperatures and light intensities on the growth and multiplication of banana plantlets in tissue culture [J]. Chin J Trop Crop, 29(4): 455-459. [郑洪立, 叶春海, 王季槐, 等, 2008. 温度和光照对香蕉组培苗生长和增殖的影响 [J]. 热带作物学报, 29(4): 455-459.]