

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201409050

李杰勤, 王丽华, 詹秋文, 等. 两个苏丹草品系成熟种子的组织培养和植株再生研究[J]. 广西植物, 2016, 36(8):930-936

LI JQ, WANG LH, ZHAN QW, et al. Tissue culture and plant regeneration using mature seeds of two sudangrass strains[J]. *Guihaia*, 2016, 36(8):930-936

两个苏丹草品系成熟种子的组织培养和植株再生研究

李杰勤, 王丽华, 詹秋文, 胡能兵, 王世建

(安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 该研究以苏丹草品系 S722 和 Sa 的成熟种子为外植体、MS 培养基为基础培养基, 2,4-D 和 NAA 各 3 个浓度共 6 个处理对这两个苏丹草品系成熟种子进行愈伤诱导, 探讨不同品系在不同植物生长物质浓度及植物生长物质组合中诱导愈伤组织和继代培养以及分化的能力。结果表明: 苏丹草 S722 和 Sa 成熟种子的愈伤诱导率差异不显著, 平均诱导率为 17.19%。诱导培养基中 2,4-D 浓度为 0.5 或 1 mg · L⁻¹ 时, 诱导效果最佳, 而添加 NAA 不能提高愈伤诱导率。在继代培养中, 设定 2,4-D 和 6-BA 各两个浓度共 4 个处理组合, 处理 1 (2,4-D 1 mg · L⁻¹ + 6-BA 0 mg · L⁻¹) 的继代培养效果最佳。为了解不同植物生长物质对愈伤分化的影响, 设定 6-BA、NAA 各两个不同浓度、KT 3 个不同浓度共 5 个处理组合对继代培养的愈伤进行分化培养。在 5 个处理中, 处理 1 (6-BA 2 mg · L⁻¹ + NAA 0 mg · L⁻¹ + KT 0 mg · L⁻¹) 对 S722 成熟种子诱导的愈伤分化率最高, 达 33.3%。在这两个苏丹草品系中, S722 更容易分化培养。综上所述表明, 2,4-D 浓度为 1 mg · L⁻¹ 时诱导愈伤和继代培养效果较好, 6-BA 浓度为 2 mg · L⁻¹ 时分化效果较好。另外, 针对不同苏丹草品系进行组织培养和植株再生时, 适当调整植物生长物质浓度能提高植株再生的成功率。

关键词: 苏丹草, 种子, 组织培养, 植株再生, 植物生长物质

中图分类号: Q943.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)08-0930-07

Tissue culture and plant regeneration using mature seeds of two sudangrass strains

LI Jie-Qin, WANG Li-Hua, ZHAN Qiu-Wen, HU Neng-Bing, WANG Shi-Jian

(College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: In the study, mature seeds of sudangrass strains S722 and Sa as explants were used to study the factors affecting callus induction, subculture and differentiation using different combinations of plant growth substances and MS (Murashige and Skoog) media for basic media. Six treatment combinations, including three different levels of 2,4-D and NAA, were used to induce callus from mature seeds of two sudangrass strains in callus induction process. The results showed that the percentage of callus induction was not significantly different between the two sudangrass strains. And the average percentage of callus induction was 17.19% for the two sudangrass strains. The proper concentration of 2,4-D for callus induction was 0.5 or 1 mg · L⁻¹ in MS media. The percentage of callus induction did not changed when NAA was added in basic media in callus induction process. The results showed that it was not helpful for callus induction when NAA was added in MS basic media. Four treatment combinations including two different concen-

收稿日期: 2014-09-26 修回日期: 2015-03-24

基金项目: 国家自然科学基金(31301383); 安徽科技学院自然科学研究项目(ZRC2013371); 国家“星火”计划项目(2012GA710076); 安徽省省级学科建设重大项目—草学(皖教秘科[2014]28); 农业部科研任务专项(201503133) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31301383); Natural Science Research Program of Anhui Science and Technology University (ZRC2013371); National Spark Plan (2012GA710076); Anhui Key Program of Discipline ([2014]28); Special Fund for Scientific Research of Agricultural Ministry (31301383)].

作者简介: 李杰勤(1980-), 男, 四川屏山人, 博士, 讲师, 主要从事饲草遗传育种研究, (E-mail) wlhljq@163.com.

trations of 2,4-D and 6-BA were used to subculture for induced callus. The best combination was treatment No. 1, which included $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 2, 4-D and $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA. When 6-BA was added in MS basic media, callus became brown and the growth of callus was also inhibited. These results indicated that 6-BA inhibited the growth of callus in subculture process when 6-BA was added in MS basic media. To gain a better understanding about the effects of different combinations of plant growth substances in callus differentiation, five treatment combinations including two different 6-BA and NAA concentrations and three different concentrations of KT were used to differentiate for callus when the callus had been subcultured. Treatment No. 1 was the best combination in the five treatment combinations. And the differentiation rate of callus from mature seeds of S722 was 33.3% when $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA was added in MS basic media. It was the highest differentiation rate when the concentration of 6-BA was added in media. Callus from S722 mature seeds were more easily differentiated than the other sudangrass strain Sa. Summarily, the best concentration of 2,4-D for callus induction and subculture was $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in basic media when mature sudangrass seeds were used for explants. 6-BA had inhibition effects for callus in subculture process. And the best concentration of 6-BA for callus differentiation was $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in basic media. The different sudangrass strains should use different combinations of plant growth substances in tissue culture process. Therefore, plant regeneration rate would be improved if the concentrations and combinations of plant growth substances were adjusted in media for tissue culture and plant regeneration of sudangrass when different sudangrass strain's mature seeds were used as explants.

Key words: sudangrass, seeds, tissue culture, plant regeneration, plant growth substances

苏丹草 (*Sorghum sudanese*) 为禾本科高粱属一年生草本植物,原产于非洲的苏丹,因其饲草产量高,再生能力强,营养价值丰富,适应范围广等优点,在我国大部分地区都有栽种(詹秋文等,2001)。苏丹草是长江中下游地区最主要的夏季牧草,占该区域暖季型牧草种植面积在 70% 以上(徐玉鹏等,2003)。由于受夏季高温高湿影响,苏丹草在该地区种植时病害较重,影响其产量和品质。

转基因技术已成为育种的一种重要手段,而组织培养技术则是转基因技术的基础。因此,通过转基因技术来提高苏丹草的抗病性,将成为苏丹草抗病育种的一种新途径。目前,以组织培养技术为基础的转基因技术已经在水稻、玉米和棉花上得到了广泛应用(贾士荣等,2014;李娜等,2012;赵丹等,2013)。但与这些作物相比,通过组织培养获得高粱和苏丹草的再生植株则更难一些(Gurel et al, 2009;Liu & Godwin, 2012)。另外,组织培养技术在作物的种质保存方面也有重要应用(姚绍嫦等,2014;张卫华等,2014)。但苏丹草组织培养和植株再生的研究报道还较少。钟小仙等(2005)以苏丹草品系 2098 的幼穗为外植体进行组织培养,并获得了再生植株。王立艳等(2006)以苏丹草品系 185 成熟种子为外植体,研究了不同植物生长物质配比对愈伤组织诱导率的影响,但未获得再生植株。利用种子为外植体进行组织培养具有不受季节限制、取材方便的优点。但目前还未见以不同的苏丹草品

系成熟种子为外植体,并获得再生植株的相关报道。本研究以本课题组培育的优质苏丹草品系 Sa 和 S722 种子为外植体,试图探明不同植物生长物质的组合对种子愈伤组织的诱导和分化以及植株再生能力的影响,为苏丹草的转基因育种和功能基因组学的研究奠定良好的基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与药剂

1.1.1 材料 本研究的材料为本课题组选育的苏丹草品系 Sa 和 S722 的成熟种子。

1.1.2 药剂 药剂 NH_4NO_3 、 KNO_3 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 KH_2PO_4 、KI、 H_3BO_3 、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 HgCl_2 、甘氨酸、盐酸硫胺素、盐酸吡哆醇、烟酸、肌醇、2,4-D、6-BA、NAA、KT 等为分析纯。所配 MS 培养基 pH 值为 5.6~6.0,蔗糖 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,琼脂 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.2 方法

1.2.1 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子的灭菌处理 分别取苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子 192 粒,放在自来水下冲洗 5~10 min。在超净工作台上,先用 70% 酒精处理 30 s(轻轻摇动)后倒掉酒精;再用 0.1% 升汞处理 15 min,无菌水冲洗 4~5 次。将处理过的种子放入灭菌的小三角瓶中,加入

1/3 无菌水,放在振荡器上振荡 12 h 左右。

1.2.2 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子愈伤组织的诱导 每个处理组合每品系接 8 瓶,每瓶 2 粒种子,接种时将种子横切为两半,即每瓶接 4 个半粒的种子进行成熟种子的愈伤组织诱导。基本培养基为 MS 培养基,用于愈伤组织诱导的植物生长物质处理组合见表 1。接种 2 周后统计愈伤诱导结果和污染情况。培养的温度为 25 ℃,光照 10 h · d⁻¹,光照强度 1 500 lx,黑暗 14 h · d⁻¹。

愈伤诱导率 = 出愈伤组织的外植体个数/接种的全部外植体个数 × 100%。

表 1 苏丹草愈伤组织诱导的植物生长物质处理组合

Table 1 Treatment combinations of different plant growth substances used in callus induction of sudangrass

处理 Treatment	2,4-D (mg · L ⁻¹)	NAA (mg · L ⁻¹)
1	0.5	0.0
2	1.0	0.0
3	2	0.0
4	0.5	0.2
5	1.0	0.2
6	2.0	0.2

1.2.3 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织继代培养 接种 2 周后,对愈伤组织进行继代培养。继代培养的基本培养基为 MS 培养基,愈伤组织继代培养的植物生长物质处理组合见表 2,每个品系接种 8 瓶。继代培养 2 周后进行结果统计,培养条件和愈伤组织诱导的条件相同。

表 2 苏丹草愈伤组织继代培养的植物生长物质处理组合

Table 2 Treatment combinations of different plant growth substances used in callus subculture of sudangrass

处理 Treatment	2,4-D (mg · L ⁻¹)	6-BA (mg · L ⁻¹)
1	1.0	0.0
2	1.0	0.5

1.2.4 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织分化培养 继代培养 3 周后,对继代培养的愈伤组织进行分化培养,每品系每个处理组合接 5 瓶。基础培养基为 MS 培养基,用于分化培养的植物生长物质处理组合见表 3。培养温度为 25 ℃,光

照 14 h · d⁻¹,光照强度 1 500 lx,黑暗 10 h · d⁻¹。

分化率 = 成苗数/接种数 × 100%

1.2.5 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 分化苗的移栽 当分化苗长到 10 cm 左右时,将其移栽到小营养钵中(根上的小块培养基不去除),并加入适量的营养土。先将移栽的苗放在与分化培养相同温度和光照强度的培养箱中炼苗 1 周后,再放到室外培养 1 周,移栽到大田,并统计成活率。

成活率 = 成活苗数/分化苗数 × 100%

表 3 苏丹草愈伤组织分化培养的植物生长物质处理组合

Table 3 Treatment combinations of different plant growth substances used in callus differentiation of sudangrass

处理 Treatment	6-BA (mg · L ⁻¹)	NAA (mg · L ⁻¹)	KT (mg · L ⁻¹)
1	2.0	0.0	0.0
2	2.0	0.5	0.0
3	0.0	0.0	2.0
4	0.0	0.5	2.0
5	0.0	0.5	1.0

1.3 数据统计与分析

数据统计与分析在 Excel 和 DPS 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子愈伤组织诱导比较分析

从总体上来看,这两个苏丹草品系成熟种子的愈伤组织诱导率不高,平均为 17.19%;而褐化率较高,平均达 33.33%(表 4)。这两个品系诱导出的愈伤组织颜色和特征基本相似,都是白色半透明、疏松质软,成不规则的块状(图 1)。

6 个处理之间愈伤组织形成率差异较大,最小的为处理 6,平均为 4.69%,而最大的为处理 4,平均为 21.88%。统计分析结果表明,这 6 个处理的愈伤组织形成率之间差异显著,但前 5 个处理之间差异不显著。这说明当 2,4-D 和 NAA(萘乙酸)都为较大浓度时,苏丹草愈伤组织的形成率降低较明显。从以上结果看出,添加 NAA 不但不能提高苏丹草成熟种子愈伤的诱导率,在较大浓度时还会使诱导率降低。因此,2,4-D 对苏丹草成熟种子愈伤组织形成率起促进作用,而诱导培养过程中合适的 2,4-D 浓度为 0.5 或 1 mg · L⁻¹。

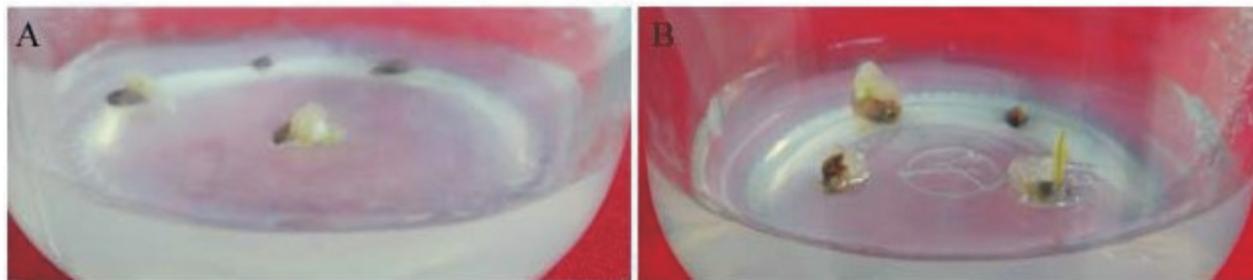


图 1 苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织 A. Sa; B. S722。下同。

Fig. 1 Callus induced from mature seeds of Sa and S722 A. Sa; B. S722. The same below.

表 4 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导愈伤结果
Table 4 Results of induced callus from mature seeds in sudangrass Sa and S722

处理 Treatment	品系 Strain	愈伤组织 形成率 Percentage of callus induction (%)	愈伤组织 生长状况 Callus growth status	褐化率 Browning rate (%)
1	S722	18.75a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	37.50
	Sa	21.88a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	0.00
2	S722	15.63a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	50.00
	Sa	25.00a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	50.00
3	S722	6.25a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	37.50
	Sa	25.00a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	25.00
4	S722	31.25a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	25.00
	Sa	12.50a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	25.00
5	S722	25.00a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	12.50
	Sa	15.63a	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	37.50
6	S722	3.13b	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	37.50
	Sa	6.25b	白色半透明、疏松质软 White, translucent, loose and soft	62.50

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平上显著。下同。

Note: Different small letters mean significant differences at 0.05 level. The same below.

另外,进一步比较这两个苏丹草品系的愈伤组织形成率则表明,两个苏丹草品系成熟种子的愈伤

诱导率差异不显著。

2.2 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织继代培养的比较分析

为了解植物生长物质对愈伤组织继代增殖的影响,设定 2 种不同浓度的 6-BA 与 2,4-D 组合对愈伤组织进行继代增殖。结果表明,处理 2 (2,4-D 1.0 mg · L⁻¹+6-BA 0.5 mg · L⁻¹) 的效果很差,愈伤组织接种以后变为黄褐色,生长很慢(图 2:A)。相反,处理 1 (2,4-D 1.0 mg · L⁻¹) 的效果较好,愈伤组织为淡黄色,质地疏松,增殖较快(图 2:B)。这说明在增殖培养基中添加 6-BA,对愈伤组织生长有抑制作用,并导致愈伤组织褐化。

2.3 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织分化培养结果的比较分析

从 5 个不同植物生长物质处理的结果来看,这 5 个处理都能使愈伤组织分化成苗,但不同处理组合的分化效果不一致。从分化的时间上来看,从出现绿点到芽的形成一般为 4~9 d。这 5 个处理分化效果有较大差异,其中只有处理 3 能使这两个苏丹草品系都分化成苗。另外,在这 5 个处理中,只有处理 5 不能使 S722 分化成苗,而其它 4 个处理都能够使 S722 分化成苗。这说明相对于苏丹草品系 Sa 来看,S722 更容易分化成苗。因此,对于不同的苏丹草品系其分化效果不一致,如 S722 处理 1 的分化率最高,达 33.3%。综合看来,不同苏丹草品系对植物生长物质种类及浓度要求不同。如果需要达到最佳的分化效果,研究者应对不同的苏丹草品系愈伤植物生长物质浓度进行优化。

2.4 两个苏丹草 Sa 和 S722 品系再生植株的移栽分析

愈伤分化出苗 1 个月,对再生植株进行炼苗和移栽。结果表明 S722 的移栽成活率达 65%,Sa 的成活率则达 75%。这说明再生植株能成活,而且这

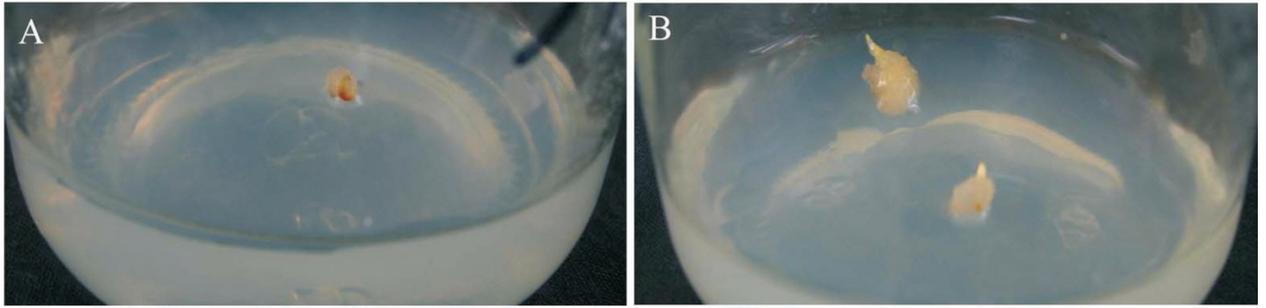


图 2 苏丹草品系 Sa 愈伤组织继代培养增殖 A. 处理 1; B. 处理 2。

Fig. 2 Callus subculture of Sa in different treatments A. Treatment No. 1; B. Treatment No. 2.

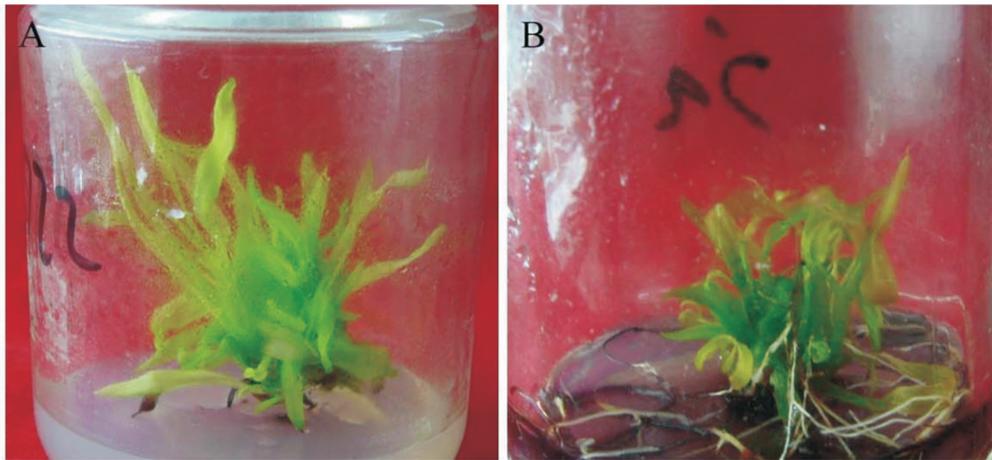


图 3 苏丹草品系 Sa 和 S722 分化成苗

Fig. 3 Regenerated plants of Sa and S722

表 5 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织继代培养结果

Table 5 Results of induced callus subculture from mature seeds of Sa and S722

处理 Treatment	品系 Strain	愈伤组织颜色(接种前) Callus color (Before inoculation)	愈伤组织颜色(接种后) Callus color (Post inoculation)	愈伤组织生长状况 Callus growth status
1	S722	白色半透明 White and translucent	淡黄色 Light yellow	不规则块状,组织质软,长势较好 Irregular and soft, fast growth
	Sa	白色半透明 White and translucent	淡黄色 Light yellow	不规则块状,组织质软,长势较好 Irregular and soft, fast growth
2	S722	白色半透明 White and translucent	黄褐色 Tan	生长缓慢 Slow growth
	Sa	白色半透明 White and translucent	黄褐色 Tan	生长缓慢 Slow growth

两个苏丹草品系再生植株的成活率较高。

3 讨论

苏丹草为高粱属草本植物,而高粱是公认的组

织培养较困难的一种作物。目前,对于苏丹草组织培养的研究还较少,所选用的外植体只有成熟种子和幼穗。钟小仙等(2005)利用苏丹草幼穗进行愈伤诱导,诱导频率为 80%~90%,诱导率较高。王立艳等(2006)利用苏丹草 185 的成熟种子进行愈伤

表 6 两个苏丹草品系 Sa 和 S722 成熟种子诱导的愈伤组织分化培养结果

Table 6 Results of induced callus differentiation subculture from mature seeds of Sa and S722

处理 Treatment	品系 Strain	出现绿点时间 Days for green points (d)	芽形成时间 Days for buds (d)	愈伤组织生长状况 Callus growth status	愈伤组织分化苗的分化率 Differentiation percentage of callus (%)
1	S722	15	24	由白色疏松转化为褐色、疏松状 White loose turned into brown loose	33.3a
	Sa			由白色疏松转化为黑褐色 White loose turned into brown loose	
2	S722	15	25	由白色疏松转化为淡黄色、疏松状 White loose turned into brown loose	14.3b
	Sa			由白色疏松转化为褐色 White loose turned into brown loose	
3	S722	11	16	由白色疏松转化为黄褐色、疏松状 White loose turned into tan loose	25.0b
	Sa	7	11	由白色疏松转化为黄褐色、疏松状 White loose turned into tan loose	20.0b
4	S722	8	12	由白色疏松转化为黄褐色、疏松状 White loose turned into tan loose	20.0b
	Sa			由白色疏松转化为黑褐色 White loose turned into dark brown loose	
5	S722	11	15	由白色疏松转化为黑褐色 White loose turned into dark brown loose	20.0 b
	Sa			由白色疏松转化为黄褐色、疏松状 White loose turned into tan loose	

诱导,诱导率最高为 26.6%。在本研究中,苏丹草 S722 在 2,4-D 浓度为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 加 NAA 为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 MS 培养中的诱导率为 31.25%,而 Sa 在 2,4-D 浓度为 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 MS 培养基上的诱导率为 25%。从上述可以看出,幼穗为外植体的诱导率远高于成熟种子,但成熟种子具有取材方便,在进行组织培养时不受季节限制的优点。本研究中,成熟种子诱导率较低,其主要原因是褐化率较高。因此,如何控制褐化来提高诱导率则需要更进一步的研究。

苏丹草和所有高粱属植物一样,在组织培养过程中易褐化,褐化产生的酚类物质影响愈伤的生长,严重时导致愈伤死亡。吕宗友等(2011)研究表明,活性炭、Vc、PVP 和 AgNO_3 均能不同程度地降低褐化率。Wu et al(2014)对高粱的研究表明,丹宁含量较低的高粱材料其褐化率也较低。在本研究中,在继代培养和分化培养时,不同的植物生长物质处理也会造成愈伤组织褐化。例如,在继代培养中添加 6-BA 会造成苏丹草愈伤组织褐化。因此,在对高粱属植物进行组织培养中,适当的植物生长物质水平是需要考虑的一个重要因素。

高粱的组织培养研究表明,不同的高粱材料愈伤诱导率有较大差异,例如高粱 Tx430 就比较容易成功(朱莉等, 2011; Liu et al, 2014; Zhao et al,

2000)。本研究中,苏丹草 S722 和 Sa 在愈伤诱导率上差异不显著,但在最后的分化成苗则表现出较大的差异,S722 更容易分化成苗。这说明,不同的品系之间在组织培养上有较大的差异。因此,选用更容易进行分化的材料,能更容易获得再生植株。本研究则表明 S722 比 Sa 更适合进行组织培养。

参考文献:

- GUREL S, GUREL E, KAUR R, et al, 2009. Efficient, reproducible Agrobacterium-mediated transformation of sorghum using heat treatment of immature embryos [J]. *Plant Cell Rep*, 28 (3): 429-444.
- JIA SR, YUAN QH, WANG F, et al, 2014. What we have learnt in ten years' study of rice transgene flow [J]. *Sci Agric Sin*, 47 (1): 1-10. [贾士荣,袁潜华,王丰,等, 2014. 转基因水稻基因飘流研究十年回顾 [J]. *中国农业科学*, 47(1): 1-10.]
- LI N, CHEN GZ, LI XH, et al, 2012. Research progress on genetic transformation in maize [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 40(11): 85-89. [李娜,程贯召,李学红,等, 2012. 玉米转基因育种研究进展 [J]. *江苏农业科学*, 40(11): 85-89]
- LIU G, CAMPBELL BC, GODWIN ID, 2014. Sorghum genetic transformation by particle bombardment [J]. *Meth Mol Biol*, 1 099: 219-234.
- LIU G, GODWIN ID, 2012. Highly efficient sorghum transformation [J]. *Plant Cell Rep*, 31(6): 999-1 007.
- LÜ ZY, SU YQ, ZHAO GQ, et al, 2011. Effects of anti-browning agents on the induction of sudangrass callus [J]. *Acata Pratac Sin*, 20(3): 174-181. [吕宗友,苏衍菁,赵国琦,等, 2011. 不同防褐化措施对苏丹草愈伤诱导以及抗褐化的效果研究

- [J]. 草业学报, 20(3): 174-181.]
- WANG LY, PEI ZY, SUN SJ, et al, 2006. Influence of different media and factors on callus induction ratios in Sudan grass 185 [J]. J Tianjin Agric Univ, 13(4): 24-27. [王立艳, 裴忠有, 孙守钧, 等, 2006. 不同的激素配比及培养基类型对苏丹草 185 愈伤组织诱导率的影响 [J]. 天津农学院学报, 13(4): 24-27.]
- WU E, LENDERTS B, GLASSMAN K, et al, 2014. Optimized Agrobacterium-mediated sorghum transformation protocol and molecular data of transgenic sorghum plants [J]. In Vitro Cell & Dev Biol Plant, 50(1): 9-18.
- XU YP, WU ZX, ZHAO ZX, 2003. The adaptability and the developing foreground of Sudan grass in the produce of agriculture and animal husbandry in china [J]. Pratac Sci, 20(7): 23-25. [徐玉鹏, 武之新, 赵忠祥, 2003. 苏丹草的适应性及在我国农牧业生产中的发展前景 [J]. 草业科学, 20(7): 23-25.]
- YAO SC, XIE YY, HUANG XY, et al, 2014. Study on rapid propagation and gemplasm conservation *in vitro* of five species of genus *Gynostemma* in Guangxi [J]. Guihaia, 34(4): 436-441. [姚绍嫦, 谢月英, 黄雪彦, 等, 2014. 广西五种绞股蓝属植物离体快繁与种质保存研究 [J]. 广西植物, 34(4): 436-441.]
- ZHAN QW, LIN P, LI J, et al. 2001. Research and prospect of hybrid between sorghum and smut [J]. Acata Pratac Sin, (2): 56-61. [詹秋文, 林平, 李军, 等. 2001. 高粱—苏丹草杂交种研究与利用前景 [J]. 草业学报, (2): 56-61.]
- ZHANG WH, XU LP, GONG Z, et al, 2014. Tissue culture propagation technology of *Aquilaria malaccensis* [J]. Guihaia, 34(3): 381-386. [张卫华, 许丽萍, 龚峥, 等, 2014. 马来沉香组织培养技术研究 [J]. 广西植物, 34(3): 381-386.]
- ZHAO D, WU Q, SHEN D, et al, 2013. Research progress and prospects on genetics transformation in cotton [J]. Liaoning Agric Sci, (1): 41-44. [赵丹, 吴琼, 沈丹, 等, 2013. 我国转基因棉花研究与展望 [J]. 辽宁农业科学, (1): 41-44.]
- ZHAO Z, CAI T, TAGLIANI L, et al, 2000. Agrobacterium-mediated sorghum transformation [J]. Plant Mol Biol, 44(6): 789-798.
- ZHONG XX, SHE JM, GU HR, et al, 2005. Technique of plant regeneration from immature in florescence of sorghum Sudanese *in vitro* [J]. Jiangsu Agric Sci, 21(4): 331-335. [钟小仙, 余建明, 顾洪如, 等, 2005. 苏丹草幼穗离体培养植株的再生技术 [J]. 江苏农业学报, 21(4): 331-335.]
- ZHU L, LANG ZH, LI GY, et al, 2011. Research progress on genetic transformation in sorghum [J]. Biotechnol Bull, (1): 1-7. [朱莉, 郎志宏, 李桂英, 等, 2011. 高粱遗传转化研究进展 [J]. 生物技术通报, (1): 1-7.]

(上接第 942 页 Continue from page 942)

- gy of *Salvia prionitis* [J]. J Chin Med Mat, 31(10): 1 464-1 467. [唐辉, 赵瑞峰, 蒋水元, 等, 2008. 红根草生物学特性研究 [J]. 中药材, 31(10): 1 464-1 467.]
- TANG FL, LI F, FU CM, et al, 2006. Tissue culture and rapid propagation of *Salvia prionitis* [J]. Guihaia, 26(3): 282-285. [唐凤鸾, 李锋, 付传明, 等, 2006. 红根草的组织培养与快速繁殖研究 [J]. 广西植物, 26(3): 282-285.]
- SHI YM, LIU GANG, ZHOU XP, et al, 2008. Studies on similar amanita mushrooms by fourier transform infrared spectroscopy based on curve-fitting analysis [J]. Chin J Anal Chem, 36(8): 1 105-1 108. [时有明, 刘刚, 周湘潭, 等, 2008. 基于曲线拟合的形态相似鹅膏菌的傅里叶变换红外光谱研究 [J]. 分析化学, 36(8): 1 105-1 108.]
- TANG H, KONG DX, LIANG HL, et al, 2012. Rapid assessment of *Illicium difengpi* from different regions by fourier transform infrared spectroscopy and chemometrics [J]. J Beijing For Univ, 34(5): 138-141. [唐辉, 孔德鑫, 梁惠凌, 等, 2012. 不同产地地枫皮的红外光谱和化学计量学快速评价 [J]. 北京林业大学学报, 34(5): 138-141.]
- WANG Y, WANG B, XU HZ, et al, 2012. Infrared fingerprint analysis of ethanol extracts from mussel coupled with cluster analysis and principal component analysis [J]. J Fish China, 36(7): 1 148-1 151. [王燕, 王斌, 徐焕志, 等, 2012. 基于聚类分析和主成分分析法的淡菜醇提物红外指纹图谱 [J]. 水产学报, 36(7): 1 148-1 151.]
- WENG SP, 2005. Fourier transform infrared spectrometer [M]. Beijing: Chemical Industry Press: 239-262. [翁诗甫, 2005. 傅里叶变换红外光谱仪 [M]. 北京: 化学工业出版社: 239-262.]
- WU JG, 1994. Modern fourier transform infrared spectroscopy and applications (superior book) [M]. Beijing: Science and Technology Literature Publishing House: 573-625. [吴瑾光, 1994. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用(上卷) [M]. 北京: 科技文献出版社: 573-625.]
- WU LJ, 2006. Natural pharmaceutical chemistry [M]. Beijing: People's Medical Publishing House: 145. [吴立军, 2006. 天然药物化学 [M]. 人民卫生出版社: 145.]
- YANG BJ, HUANG XL, HUANG Y, et al, 1988. Study on chemical constituents of *Salvia prionitis* [J]. Acta Bot Sin, 30(5): 524-527. [杨保津, 黄秀兰, 黄勇, 等, 1988. 红根草化学成分的研究 [J]. 植物学报, 30(5): 524-527.]
- YUAN YF, TAO ZH, LIU JX, et al, 2011. Identification of *Cortex phellodendri* by fourier transform infrared spectroscopy and principal component analysis [J]. Spec Spec Ana, 31(5): 1 258-1 261. [袁玉峰, 陶站华, 刘军贤, 等, 2011. 红外光谱结合主成分分析鉴别不同产地黄柏 [J]. 光谱学与光谱分析, 31(5): 1 258-1 261.]
- ZHANG F, ZHANG WJ, 2003. The effect of extraction in *salvia prionitis* on platelet membrane fluidity and release of 5-TH [J]. Chin Trad Pat Med, 25(7): 2. [张锋, 张文娟, 2003. 红根草提取物对血小板膜流动性及 5-TH 释放的影响 [J]. 中成药, 25(7): 2.]
- ZHANG JS, HUANG Y, 1995. Two new diterpenoids, prioketolacatone and neopriotonone, from *Salvia prionitis* [J]. Nat Product Res Dev, 7(4): 1-4. [张金生, 黄勇, 1995. 红根草中的新二萜-红根草酮内酯和新红根草酮 [J]. 天然产物研究与开发, 7(4): 1-4.]
- ZHANG L, NIE L, WANG WH, 2010. Application of infrared spectroscopy and chemometrics methods to identifying the habitat of *Astragalus membranaceus* [J]. China Pharm, 21(19): 1 772-1 774. [张磊, 聂磊, 王唯红, 2010. 红外光谱法结合化学计量学方法鉴别黄芪产地 [J]. 中国药房, 21(19): 1 772-1 774.]
- ZHOU J, CHEN Y, LANG JY, et al, 2008. Salvicine inactivates β_1 integrin and inhibits adhesion of MDA-MB-435 cells to fibronectin via reactive oxygen species signaling. [J]. Mol Canc Res, (6): 194-204.