

基因工程甘蔗 : 潜能、现状和前景

许莉萍* 潘大仁 陈如凯

(农业部甘蔗遗传育种重点开放实验室 福州 350002)

摘 要 从基因工程在甘蔗上的应用潜能、甘蔗遗传转化的方法及其成效、启动子及选择标记对基因表达和转化体筛选的效应、基因工程甘蔗的成就等几个方面进行综合评述,并提出了进一步的研究方向。

关键词 甘蔗,基因工程,遗传转化

中图分类号 S566.1 **文献标识码** C **文章编号** 1000-3061(2001)04-0371-04

近年迅速发展的基因工程技术可突破物种的界限,导入有用基因、创造新品种,为作物育种开辟了新的有效途径。自 80 年代转基因植物进入田间试验,到 1996 年,全球已种植转基因作物约 280 多万公顷,1997 年为 1280 多万公顷^[1],1999 年达 3900 多万公顷,约占全球栽培面积的 3%~4%。我国已批准进入商品化生产的转基因植物已有番茄、棉花、青椒和矮牵牛等 4 种,批准进入中试的已达 13 种。基因工程甘蔗的研究在我国才刚刚起步,但国外在该领域已取得许多进展,本文就基因工程甘蔗的潜能、转化技术及转基因甘蔗的现状进行综合评述,并探讨了进一步研究的方向。

1 基因工程在甘蔗上的应用潜能

基因工程是指在体外将核酸分子插入到载体分子,构成遗传物质的新组合,并使之参入到原先没有这类分子的寄主细胞内,而能持续稳定地繁殖和遗传^[2],其主要内容包括目的 DNA 片段的分离、表达载体的构建、植物受体的遗传转化及转化子的筛选和鉴定等四个主要步骤,最终使目的基因在新的遗传背景下实现功能表达。通过基因工程技术培育出的作物称为基因工程作物,它将成为解决 21 世纪食物保证的重要措施之一。甘蔗是最重要的糖料作物,约占世界产糖量的 65%^[3],占我国产糖量的 85% 以上,同时,甘蔗也是生产糖醛、葡聚糖和绿色能源乙醇的原料,一些天然的药用化合物也来自甘蔗^[4],此外,蔗糖生产过程的农业和工业副产物正被大量用作动物营养、造纸和燃料等。传统育种从有性杂交到良种的育成约需 10~13 年的选择过程,而且,在育种的后期还可能因某一性状缺陷,如抗病性差而难以在栽培上应用。采用传统育种途径(如回交)改造现有品种的某一不足是不易实现的,这是由于栽培品种的遗传复杂性以及选择过程的长期性所造成的,基因工程正可弥补这些方面的不足。基因工程在现有甘蔗品种改良及创造新的育种材料方

面有其不可替代的作用。遗传转化是基因工程作物得以实现的不可缺少的步骤,而植物的组织培养技术及其离体再生系统是遗传转化成功的前提。尽管甘蔗原生质体再生困难且只是局限在个别基因型上^[5,6],但这并未成为基因工程技术在甘蔗上应用的瓶颈,因为甘蔗的组织培养技术及其离体再生系统极其成熟,并且,对于几乎所有的甘蔗基因型都是普遍适用的,加上甘蔗是无性繁殖的作物,因而,特别适用于利用基因工程技术培育转基因甘蔗。现在,已明确任何来源的基因均可加以修饰以便在植物中表达,这使基因工程成为甘蔗改良的一种强有力的辅助手段,包括把优越的有用基因(如抗病虫基因)导入甘蔗,把已知的有害基因灭活(如灭活使纤维含量高的木质化基因);分子启动仅在某种状态所需的基因(如高产而不开花的商业品种在需要时,启动开花诱导基因以便作为亲本);改变现有基因,修饰表达的模式或表达产物(如改变酶的表达模式,减少蔗糖从贮藏组织中再转移出来或改变酶的性质以促进蔗糖合成)。因此,转基因甘蔗将可能重塑甘蔗产业,拓展工业的领域。

2 甘蔗遗传转化方法及成效

2.1 遗传转化方法

甘蔗遗传转化的方法有:电穿孔法、基因枪法和农杆菌介导法。电穿孔法是以原生质体和完整细胞为受体,原生质体虽然是遗传转化过程中外源 DNA 的理想受体^[7],但已证明从原生质体难以再生出转基因甘蔗植株,尽管可以获得外源基因整合及稳定表达的愈伤组织细胞^[8~10]。基因枪法是以完整细胞和组织为受体,克服了原生质体培养和再生困难的障碍,将 DNA 包被的颗粒在真空条件下加速后轰击细胞或组织,直接导入受体细胞或组织,经筛选后存活下来,表达导入的基因。该法操作简便、无基因型专一性,且可同时用几个质粒,是目前甘蔗等单子叶植物遗传转化的首选方法,

其关键在于 :外源 DNA 被转移进那些有体细胞胚发生能力的细胞 ,但不能伤害该组织 ,以避免体细胞胚发生能力的下降。绝大多数基因工程甘蔗的培育是采用该法。

农杆菌介导的转化是以完整细胞、组织或器官为受体 ,该系统在双子叶植物上的应用极为成功 ,在甘蔗等单子叶植物上也有成功的应用^[11~13]。采用乙酰丁香酮等酚类化合物处理农杆菌以诱导 Vir 基因的表达、筛选农杆菌菌株 ,以及从特定的发育时期等途径寻找、诱导或富集感受态细胞等 ,以提高农杆菌转化的效率 ,其关键在于对感受态细胞形成机理的认识。

2.2 表达载体构建所需的启动子和选择标记

目的基因在受体细胞中的稳定整合和表达 ,需借助植物表达载体来实现。启动子是决定外源基因在受体植物中表达与否的关键因子 ,目前在双子叶植物中广泛采用的强组成型启动子 CaMV35S 在基因工程甘蔗上表达调控强度远低于水稻 Actin1 基因启动子、Emu 基因启动子和玉米 Ubi1 基因启动子^[14,15]。在小麦上还发现不同启动子串联后 ,也可促进外源基因的表达^[16]。此外 ,在表达载体中加入内含子(Intron)和增强子(Enhancer)也可起到增强外源基因表达的作用^[14,16]。对于有些基因来说 ,持续的强表达是有利的 ,这种基因可采用强组成型启动子进行调控 ;对很多基因来说 ,外源目的基因的时空特异性高效表达是人们追求的目标 ,调控这类基因的启动子应选择组织专一性的或诱导型的 ,这样既能达到预期的目的 ,又不过分消耗能量。遗憾的是 ,目前这类启动子还

很缺乏。从甘蔗中发现和分离这类启动子是困难的 ,这是由于甘蔗基因组的庞大和高度杂合性所致。在甘蔗上 ,已发现几个类似启动子的区域 ,但当它与报告基因相连并导入甘蔗后 ,未表现活性或沉默^[17] ,但是 Tang 等^[18]的研究表明 ,甘蔗小亚基 Rubisco 基因的启动子是一种组织专一性启动子 ,能启动 GUS 基因在幼嫩植株叶片光合组织中稳定表达。

选择标记是决定转化体筛选效率的关键因子。迄今 ,已在甘蔗上采用的选择标记有 NPT II 基因、HPT 基因、GFP 基因和 BAR 基因。由于甘蔗对卡那霉素(Kanamycin)有较高的天然抗性(可高达 350mg·L⁻¹) ,且在 Kan 选择压力下 ,易产生白化苗^[15,19,20] ,因而 ,NPT II 基因并非明智的选择 ;HPT 基因可编码抗潮霉素(Hygromycin)的产物 ,甘蔗对其较为敏感 ,是一种较好的筛选标记 ;GFP 基因编码的产物呈绿色 ,可通过肉眼判定 ;BAR 基因编码的产物 PAT 可提供对除草剂 Basta 或 PPT(膦丝菌素)或 bialaphos 的抗性 ,甘蔗对其敏感、临界致死浓度为 4mg/L PPT 或 2.5g/L Basta ,是一种较为理想的筛选标记 ,同时 ,它又具有抗除草剂的农业用途 ,且已建立起一种快速的用于筛选 PPT 抗性的离体叶片检测法^[21]。

3 基因工程甘蔗的成就

自 1987 年以原生质体为受体 ,首次进行甘蔗遗传转化尝试^[8]以来 ,已培育出许多基因工程甘蔗 ,其主要成就见表 1。由表 1 可知 ,目前在甘蔗上应用的有农艺重要性的基因有抗除草剂的 BAR 基因和 CP4-EPSPS 基因、抗甘蔗花叶病

表 1 基因工程甘蔗进展一览表
Table 1 Development of engineering sugarcane

Gene-transformed	Receptor	Method of transformation	Result	References
GUS	callus suspension cell	biolistics	transgenic plant	Bower <i>et al.</i> ^[22] ;Bower ^[23]
GUS	cell suspension embryogenic calli	biolistics	transient expression	Franks ^[24]
GUS	Intact cell	electroporation	transgenic plant	Arencibia ^[25]
SCMV-CP	meristem embryogenic calli	biolistics	transgenic plant	Smith ^[26] ;Joyce ^[27]
SCMV-CP	protoplast	electroporation	transient expression	Smith ^[28]
BAR	protoplast cell suspension	electroporation	Stable expression in callus	Chowdhury ^[10]
BAR	embryogenic calli	biolistics	transgenic plant	Gallo-Meagher ^[29] ;Falco ^[30]
BAR	cell suspension	biolistics	transgenic plant	Surf ^[19]
BAR	meristem	Agrobacterium-mediated	transgenic plant	Enriquez-Obregon ^[31]
Bt	Intact cell	electroporation	transgenic plant	Arencibia ^[32]
Bt	embryogenic calli	Agrobacterium-mediated	transgenic plant	Arencibia ^[33]
CryIA(b)	embryogenic calli	electroporation	transgenic plant	Arencibia ^[18]
GFP	embryogenic calli	biolistics	transgenic plant	Bower ^[23]
GFP	embryogenic calli	Agrobacterium-mediated	transgenic plant	Elliot ^[12]
Proteinase inhibitor II	embryogenic calli	biolistics	transgenic plant	Nutt ^[34]
CP4-EPSPS	embryogenic calli	biolistics	transgenic plant	Eugenid ^[35]
SCFJV-CP	embryogenic calli	biolistics	no report	Smith ^[36]

毒病的 SCMV-CP 基因、抗甘蔗斐济(Fiji)病毒病的 fijivirus-CP (SCFJV-CP)基因、抗虫的蛋白酶基因及 Bt 基因等 4 类 ,已成功培育出转基因甘蔗的转化方法有电穿孔法、基因枪法和农杆菌介导法等 3 种 ,所采用的受体类型包括完整细胞(悬浮培养细胞)、胚性愈伤组织和分生组织 ,以原生质体为受体的甘蔗遗传转化虽已被多次尝试过 ,但均未能再生出转基因植株 ,仅停留在瞬间表达或稳定表达的抗性细胞系上。

4 工程甘蔗的前景

甘蔗是一个复杂的多细胞有机体 ,是成千上万基因调控表达的产物。目前的遗传转化技术 ,只允许一次导入 1 个或多个少数几个基因 ,尽管单个主效基因的分离和操作将给甘蔗业带来革新 ,但是 ,许多重要农艺性状的遗传是由多基因控制的数量性状 ,而且 ,即便是单基因控制的性状 ,目前对其生理

基础的了解也只是初步的,对其调控表达的分子机理更是知之甚少。所以,认识到遗传转化在甘蔗品种改良中不可能替代传统的育种,而只是它的补充,这点是重要的。此外,甘蔗在离体培养的过程中,还可能发生变异,这些变异常又是不利的,所以,尽可能减少离体培养的时间,对于获得除待改良性状外,其它性状保持与供体相似或相同的个体是有益的。RAPD 分析证实来自原生质体的愈伤组织发生显著的遗传变化,但是,愈伤组织的后代几乎没有发生变化,与离体培养的时间和培养条件有关,因此,遗传转化不失为一种甘蔗品种改良的有效途径,同时,该技术还有利于增进对基因表达调控生理基础和分子机理的了解,从而揭示可作为修饰的目的基因。未来的甘蔗基因工程研究或许可从以下几方面进行尝试。

4.1 性状改良

4.1.1 抗病性改良:甘蔗病毒病是甘蔗上的一大类主要病害,采用从病毒本身来源的基因的抗病毒病策略已在多种植物上得以证实,转 SCMV-CP 基因的甘蔗也证明了这一点。用于抗病毒病的基因包括病毒外壳蛋白基因(正义或反义)、病毒基因组织反义序列、卫星 RNA、病毒复制酶等^[37],成功的报道大多是单链 RNA 病毒。控制细菌和真菌性病害可用的基因包括:A. 编码抗微生物蛋白的基因如编码几丁质酶、 β -1,3-半乳糖苷酶(β -1,3-glucanase)^[38,39],内源性抗菌肽^[40]和核糖体抑制蛋白^[41],已在多种植物上发现了抗微生物蛋白。B. 表达产物能使致病因子失活的基因,如编码甘蔗白条病(*Xanthomona albilineans*)病菌毒素 albicidin 降解酶的基因导入甘蔗后,病害症状减轻。C. 表达产物能杀死植物细胞的基因,其作用原理已在马铃薯中得以证实^[42]。D. 编码产生抗毒素的基因或能提高其毒性的基因。

4.1.2 抗虫性改良:除 Bt 基因和胰蛋白酶基因外,还可以尝试其它与抗虫性有关的基因。

4.2 代谢途径改进

甘蔗糖分的提高是糖料甘蔗育种的主要目标之一,迄今,尚无直接针对培育代谢改变以提高糖分积累的基因工程甘蔗。有效的代谢操作首先必需拥有器官和/或组织细胞专一性表达的启动子,在适当的环境下、在特定的发育时期表达。已克隆测序了甘蔗小亚基 Rubisc(rbcS)基因,用该启动子与报告基因相连,导入甘蔗后,该启动子使外源基因在叶片中专一性表达,并优先在维管束鞘细胞中表达,采用水稻 rbcS 小亚基启动子在转基因甘蔗上也观察到相同的表达模式^[43],在进一步明了甘蔗糖分积累及代谢中起关键作用的酶后,构建其反义或正义基因,通过遗传转化培育出具有反义或正义基因的基因工程甘蔗有可能克服蔗糖积累的生理生化局限。

不论是抗逆性状的改良还是代谢过程的操作,都必须在对有关基因表达产物进一步了解的基础上,才有可能对其进行克隆并用于性状的分子改良,此外,还要进一步加强组织专一性启动子或器官专一性启动子的分离,只有这样,方有可能按照人们的意愿对某一性状进行遗传操作。目前,用于

甘蔗转化的具有农艺重要性的基因只有几个。在转化方法上,应该说已初步建立起利用基因枪法转化甘蔗的技术,电穿孔法和农杆菌介导的甘蔗转化也有几个成功的事例,但是,高效、可重复地稳定表达外源基因的转化体系的建立仍是今后研究的一个方向,尤其是农杆菌介导的甘蔗转化技术,目前已报道的利用该技术成功培育出基因工程甘蔗的仅有 3 例,且局限于古巴和澳大利亚。由于农杆菌介导技术设备要求简单、费用低,且通常只会整合单个或少数拷贝的外源基因,因而,很少会有甲基化和基因沉默现象(Silencing)发生,是未来的主要研究方向。由于甘蔗遗传背景的异源多倍性和高度杂合性,建立高效、稳定的甘蔗遗传转化技术仍是目前最关键的技术,除外,基因分离技术的进步也是制约基因工程甘蔗培育的主要因素。

REFERENCES 参考文献

[1] QIAN Y (钱迎倩), WEI W (魏伟), TIAN Y (田彦) *et al.* Application and potential problems of transgenic crops. *Chinese Journal Application Environment Biology* (应用与环境生物学报), 1999, **5** : 427 ~ 433

[2] WU N H (吴乃虎). Principle of genetic engineering (基因工程原理) 2nd ed (upper volume), Beijing Science Press, 1998

[3] Agra-Europe. Sugar cane expected to be main supply of world sugar production in 1994/5, Agra-Europe, January 20, p7 (abstracts)

[4] Menendez R, Fernandez S I, Del-Rio A *et al.* Policosanol inhibits cholesterol biosynthesis and enhances low density lipoprotein processing in cultured human fibroblasts. *Biology Research*, 1994, **27** : 199 ~ 203

[5] Srinivasan C, Vasil I K. Plant regeneration from protoplasts of sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Journal Plant Physiology*, 1986, **126** : 41 ~ 48

[6] Taylor P W J, Ko H L, Adkins S W *et al.* Establishment of embryogenic callus and high protoplasts yielding suspension cultures of sugarcane (*Saccharum* spp.). *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 1992, **28** : 69 ~ 78

[7] Malhotra S D. Biotechnology and Sugarcane. *Sugar Cane*, 1994 (3) : 2 ~ 4

[8] Chen W H, Gartland K M A, Davey M R *et al.* Transformation of sugarcane protoplasts by direct uptake of a selectable chimaeric gene. *Plant Cell Report*, 1987, **6** : 297 ~ 301

[9] Nand L, Lal N. Transforming sugarcane plants through gene delivery. *Bharatiya Sugar*, 1991, **16** (6) : 59 ~ 60

[10] Chowdhury M K U, Vasil I K. Stably transformed herbicide resistant callus of sugarcane via microprojectile bombardment of cell suspension and electroporation of protoplasts. *Plant Cell Report*, 1992, **11** : 494 ~ 498

[11] Hiei Y, Ohta S, Komari T *et al.* Efficient transformation of rice mediated by *Agrobacterium* and sequence analysis of the boundaries of the T-DNA. *Plant Journal*, 1994, **6** : 271 ~ 282

[12] Elliott A R, Campbell J A, Brettell R I S *et al.* *Agrobacterium*-mediated transformation of sugarcane using GFP as a screenable marker. *Plant Physiology*, 1998, **25** : 739 ~ 743

[13] Ishida Y, Saito H, Ohta S *et al.* High efficiency transformation of maize (*Zea mays* L.) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Nature Biotechnology*, 1996, **4** : 745 ~ 750

[14] Rathus C, Birch R G. Effects of promoter, intron and enhancer elements on the expression of genes introduced into sugarcane and carrot protoplasts

- plants. *Plant Molecular Biology*, 1993, **23**: 613 ~ 618
- [15] Irvine J E. Genetic transformation of sugarcane and its potentials. *Proceeding ISSCT Congress, Columbia*, 1995, L V - L X VII
- [16] Shigeo T. Effect of six promoter-intron combinations on transient reporter gene expression in einkorn, rimmer and common wheat cells by particle bombardment. *Plant Science*, 1994, **103**: 161 ~ 166
- [17] Birch P G, Bower R, Elliott A R *et al.* Expression of foreign genes in sugarcane. *Proceeding ISSCT X VIII Congress, Columbia*, 1995, **2**: 368 ~ 373
- [18] Arencibia A D, Carmona E R, Cornide M T *et al.* Somaclonal variation in insect-resistant transgenic sugarcane plants produced by cell electroporation. *Transgenic Research*, 1999, **8**: 349 ~ 360
- [19] Sun S S M, Maretzki A, Nagai C *et al.* Transformation of *Saccharum spontaneum* by particle bombardment. *Sugar Cane*, 1993 (5): 1 ~ 8
- [20] LIN J H (林俊芳), ZHANG Y D (张银东), CHEN R K (陈如凯) *et al.* Transgenic albino sugarcane seedlings obtained by transformation of embryogenic callus via microprojectile bombardment. *Journal of Fujian Agricultural University* (福建农业大学学报), 1997, **26**: 18 ~ 23
- [21] Wang M B, Waterhouse P M. A rapid and simple method of assaying plants transformed with Hygromycin or PPT resistance genes. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1997, **15**: 209 ~ 215
- [22] Bower R, Birch R G. Transgenic sugarcane plants via microprojectile bombardment. *Plant Journal*, 1992, **2**: 409 ~ 416
- [23] Bower R, Elliot A R, Potier B A M *et al.* High-efficiency microprojectile-mediated cotransformation of sugarcane using visible or selectable markers. *Molecular Breeding*, 1996, **2**: 239 ~ 249
- [24] Franks T, Birch R G. Gene transfer into intact sugarcane cells using microprojectile bombardment. *Australian Journal Plant Physiology*, 1991, **18**: 471 ~ 480
- [25] Arencibia A, Molina P R, de la Riva G *et al.* Production of transgenic sugarcane (*Saccharum officinarum*) plants by intact cell electroporation. *Plant Cell Report*, 1995, **14**: 305 ~ 309
- [26] Smith G R, Gambley R L. Progress in development of a sugarcane meristem transformation system and production of SCMV-resistant transgenics. *Sugar Cane*, 1994 (6): 22 (Abstracts only)
- [27] Joyce P. Gene Research in targeting mosaic. *Sugar Cane*, 1997 (3): 25
- [28] Smith G R, Ford R, Frenkel M J *et al.* Transient expression of the coat protein of sugarcane mosaic virus in sugarcane protoplasts and expression in *Escherichia coli*. *Archives of Virology*, 1992, **125**: 15 ~ 23
- [29] Gallo-Meagher M, Irvine J M. Herbicide resistant transgenic sugarcane plant containing the bar gene. *Crop Science*, 1996, **36**: 1367 ~ 1374
- [30] Falco M C. Transformation and expression of a gene for herbicide resistance in a Brazilian sugarcane. *Plant Cell Reports*, 2000, **19** (12): 301 ~ 304
- [31] Enriquez-Obregon G A, Vazquez-Padron R I, Prieto-Samsonov D L *et al.* Herbicide-resistant sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Planta*, 1998, **206**: 20 ~ 27
- [32] Arencibia A, Vazquez R, Prieto D *et al.* Transgenic sugarcane plants resistant to stem-borer attack. *Molecular Breeding*, 1997, **3**: 247 ~ 255
- [33] Arencibia A, Carmona E, Tellez P *et al.* An efficient protocol for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Transformation mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Transgenic Research*, 1998, **7**: 213 ~ 222
- [34] Nutt K A, Allsopp P G, McGhie T K *et al.* Transgenic sugarcane with increased resistance to cane grubs. *Proceedings of the 1999 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 1999, pp. 171 ~ 176
- [35] Eugenio C U, Daniella P V B, Paul B L *et al.* Transgenic sugarcane plants for Roundup™ obtained through microprojectile bombardment. *Town & Country Hotel San Diego, CA*, 2000, January 9 ~ 12
- [36] Smith G R, Joyce P A, Handley J A *et al.* Genetically engineering resistance to sugarcane mosaic and Fiji disease viruses in sugarcane. *Sugar 2000 Symposium Sugarcane: research towards efficient and sustainable production*, 1996, pp. 138 ~ 140
- [37] Grumet R. Development of virus resistant plants via genetic engineering. *Plant Breeding Reviews*, 1995, **12**: 47 ~ 49
- [38] Zhu Q, Maher E, Masoud S *et al.* Enhanced protection against fungal attack by constitutive co-expression of chitinase and glucanase genes in transgenic tobacco. *Bio-Technology*, 1994, **12**: 807 ~ 812
- [39] GAO B D (高必达). Strategy of chitinase gene transfer for plant disease control: progress, problems and prospect. *Progress in Biotechnology* (生物工程进展), 1999, **19** (2): 21 ~ 28
- [40] Terras F R G, Eggermont K, Kovaleva V *et al.* Small cysteine-rich antifungal proteins from radish (*Raphanus sativus* L.) their role in defence. *Plant Cell*, 1995, **7**: 573 ~ 588
- [41] Logemann J, Jach G, Tommerup H *et al.* Expression of a ribosome inactivating protein (RIP) leads to fungal resistance in transgenic tobacco plants. *Bio-Technology*, 1992, **10**: 305 ~ 308
- [42] Strittmatter G, Janssens J, Opsomer C *et al.* Inhibition of fungal disease development in plants by engineering controlled cell death. *Bio-Technology*, 1995, **13**: 1085 ~ 1089
- [43] Moore P H, Botha F C, Furbank R T *et al.* Potential for overcoming physio-biochemical limits to sucrose accumulation. In: Keating BA and Wilson JR edited, *Intensive Sugarcane production: meeting the challenge beyond 2000*, Published in UK, Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 1997, pp. 141 ~ 155

Genetic Engineering Sugarcane: Potential, Current Status and Prospects

XU Li-Ping* PAN Da-Ren CHEN Ru-Kai

(Key Laboratory of Sugarcane Genetics and Breeding of Chinese Ministry of Agriculture, Fuzhou 350002, China)

Abstract The literatures on potential of genetic engineering in sugarcane, transformation method and its efficiency, effects of promoter and selectable marker on gene expression and on identification of transformant, and achievement of genetic engineering in sugarcane were reviewed. Directions of further research were also suggested.

Key words sugarcane, genetic engineering, genetic transformation

Received: November 11, 2000

This work was supported by Grants from Fund of Chinese Natural Science (F99004) and Scientific Research Fund of Fujian Education Committee (K99007).

* Corresponding author. Tel 86-591-3741242, Fax 86-591-3741251, E-mail: xlpmail@china.com

中国科学院微生物研究所期刊联合编辑部 <http://journals.im.ac.cn>