

# 杨树抗非生物胁迫基因工程研究

王 颖<sup>1</sup>, 金 华<sup>2</sup>, 刘明国<sup>1</sup>, 闫艳华<sup>3</sup>, 姜国斌<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 大连民族学院 生命科学学院, 辽宁 大连 116600)

3. 辽宁师范大学 生命科学院, 辽宁 大连 116029)

**摘要:** 综述了杨树转抗旱、耐盐、抗寒基因及转基因在植物修复方面的研究进展, 阐述了转抗非生物胁迫基因存在的问题, 并对其应用前景进行了展望。

**关键词:** 杨树; 基因工程; 非生物胁迫; 植物修复

**中图分类号:** S 792.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)24-0225-04

杨树是林业最早开展基因工程研究的树种, 很早以前人们就开始对木本植物进行转基因研究, 尤其是转抗逆基因的木本植物在治理盐碱化、沙漠化土地, 改善生态环境及增加林业收入等方面, 具有草本植物不可替代的优势。随着我国土地荒漠化、盐渍化和冻害的不断加剧, 培育抗逆品种是实现扩大种植面积, 缓解土地矛盾的有效途径之一, 而基因工程则是解决此问题的有效办法。

杨树适应性广, 生长速度快, 无性繁殖容易, 在不同类型的杨树之间, 通过人工杂交和自然杂交, 容易产生优于父本和母本的杂种。另外杨树容易离体培养和基因转化; 有较好的研究基础且基因组较小; 杨树全基因组测序的完成, 这些优点使杨树成为林木基因工程重要的模式树种。自从 1986 年 Parson 等证实杨树可进行遗传转化和外源基因能在林木细胞中表达以来, 杨树基因工程取得了重大进展。我国是从事林木基因工程较早的国家之一, 1989 年首次报道了转基因欧洲黑杨<sup>[1]</sup>。

## 1 杨树转抗旱、耐盐基因的研究

目前已开展的研究主要包括几大类: 一类是克隆了一批使细胞积累相容性物质的基因。这些物质既能有效地调节渗透势, 在一定范围内可以维持盐胁迫下细胞的正常膨压和细胞的正常代谢功能, 又不会对大分子溶质系统产生太大的干扰作用, 还能有益于膜的稳定性。一类研究则是在环境胁迫的条件下, 基因之间通过信号传导作用, 启动某些相关基因, 从而达到抵抗逆境、保护

细胞正常活动的目的。另一类是通过调控 LEA 等逆境诱导蛋白提高细胞渗透吸水的能力, 从而增强抗旱、耐盐能力。

### 1.1 抗旱、耐盐渗透调节物质合成基因

**脯氨酸合成酶基因:** 脯氨酸是水溶性很大的氨基酸, 其在植物中的积累首先依赖于体内合成。植物中脯氨酸的合成有 2 条途径: 谷氨酸途径和鸟氨酸途径。二者的主要区别在于底物的不同, 植物受到盐胁迫和缺少氮原的情况下主要发生谷氨酸途径, 而该途径的关键限速酶是吡咯琳-5-羧酸合成酶(P5CS), 这在 Szoke 等将拟南芥脱水和复水过程中, 发现脯氨酸含量的上升和下降与 P5CS 基因的 mRNA 水平的消长成比例时得到证明<sup>[2]</sup>。因此, 通过转入 P5CS 基因来增加非盐生植物细胞中脯氨酸的量可能会提高其抗渗透胁迫的能力。

**甜菜碱合成酶基因:** 甜菜碱合成的相关基因目前研究的较多, 甜菜碱对细胞质中的酶类无毒性, 它的积累使得许多代谢中的重要酶类在渗透胁迫下保持活性。在植物中, 甜菜碱由胆碱经 2 步氧化得到, 2 步反应均发生在叶绿体基质中。参与催化第 1 步反应的酶是胆碱单氧化物酶(CMO), 第 2 步反应是甜菜碱醛脱氢酶(BADH)。此外, 乙酰胆碱氧化酶(COD)因为可以把乙酰胆碱一步合成甜菜碱而日益受到人们的关注。如果通过基因工程手段向植物中定向转入甜菜碱相关基因, 就能使那些在盐胁迫下不积累甜菜碱的植物发生甜菜碱累积, 就有可能获得较强的抗渗透胁迫的能力<sup>[3]</sup>。由于甜菜碱的合成途径比较简单, 且已证明甜菜碱合成后几乎不再被进一步代谢, 属于永久性或非永久性渗透调节剂, 因此甜菜碱被认为是最有希望的渗透保护剂之一, 在植物抗盐、抗旱研究中已越来越受到重视。杨传平等<sup>[4]</sup>将与甜菜碱合成有关的 *bet-A* 基因转入小黑杨中, 获得阳性植株, Southern 杂交结果表明, *bet-A* 基因已整合进入小黑杨的基因组中, 对转化植株进行盐胁迫, 测定在不同的处理天数时, 非转基因植株与转基因植株

第一作者简介: 王颖(1985-), 女, 在读硕士, 现主要从事抗逆性杨树组培及转基因技术研究工作。E-mail: wangying\_fx@126.com.

通讯作者: 姜国斌(1956-), 男, 博士, 教授, 现主要从事逆境植物生物学研究工作。

基金项目: 辽宁省重点农业攻关计划资助项目(2008207001); 中央高校基本科研业务费资助项目(DC10050102)。

收稿日期: 2010-10-25

之间甜菜碱、脯氨酸、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)的变化。杜宁霞<sup>[5]</sup>等通过根癌农杆菌介导将山菠菜 *AhDREB1* 基因导入毛白杨叶片, 获得了卡那霉素抗性植株; 并对卡那霉素抗性植株进行 PCR 及 PCR—Southern 检测, 结果表明, *AhDREB1* 基因已整合到毛白杨基因组中。张学彬等<sup>[6]</sup>将辽宁碱蓬 *CMO* 基因转入速生杨 107 中, 结果表明转基因植株耐盐性有所提高。王亮<sup>[7]</sup>利用农杆菌介导的叶盘法转化, 将辽宁碱蓬的 *BADH* 基因导入速生杨 107, 通过耐盐筛选得出, 转基因植株在 NaCl 浓度为 50、75、100 mmol/L 的生根培养基上生长情况都要好于未转化植株。

**海藻糖合成酶基因:**海藻糖广泛存在于真菌、细菌、酵母、藻类和一些低等维管植物中, 含量高的可达其干量的 10% 以上, 作为生物体抵御各种胁迫环境的保护剂。海藻糖是国际新近开发的主要低聚糖之一。海藻糖之所以具有保存生物活力的特殊功能, 是由于它能有效地保护细胞膜和蛋白质的结构, 使生物体在许多异常情况下, 如高温脱水(干燥、高渗透压)、冷冻时仍保持细胞内湿润, 防止细胞因失水而造成细胞内养分损失和细胞的损伤, 从而使这些生物具有较强的抗旱、抗寒能力。

**肌醇甲基转移酶基因(*Int1*):**是从生长于南非沙漠中的冰叶午时花的 cDNA 文库中分离得到的<sup>[8]</sup>, 该基因在盐碱或干旱胁迫下诱导表达, 以肌醇为底物, 合成一种具有较强亲水能力的多羟基糖醇化合物—芒柄醇。因其含有多个羟基, 亲水能力强, 能减少生理性干旱造成的损失而使植物得以耐盐。不但对细胞起到渗透保护作用外, 还能清除活性氧, 在这方面甲基肌醇比甘氨酸、甜菜碱更为有效, 尤其在高毒性趁基存在的条件下, 甲基肌醇及肌醇能保护对活性氧敏感的酶和细胞膜。

***mtID* 基因和 *gutD* 基因:**甘露醇和山梨醇都属于多元醇。*mtID* 基因和 *gutD* 基因都是从大肠杆菌中克隆的分别编码 2 种多元醇合成的关键基因。多元醇因含多个羟基, 亲水性强, 能有效的维持细胞膨压, 从而起到抗盐作用<sup>[9]</sup>。刘风华等<sup>[10]</sup>用 PCR 方法克隆了大肠杆菌 1-磷酸甘露醇脱氢酶基因(*mtID*), 并利用土壤农杆菌介导法导入八里庄杨(*Populus* × *XiaoZhannia*), 经卡那霉素筛选及盐胁迫, 获得了一批较高抗盐性的转化植株。尹建道等<sup>[11]</sup>对转抗盐碱基因 *mtID* 的八里庄杨进行了大田释放造林试验, 调查结果表明, 转基因杨比对照八里庄杨的造林成活率明显提高, 在 0.3% ~ 0.4% 土壤盐化范围内提高 0.7 倍, 可在中度盐碱地上正常生长。樊军锋等<sup>[12]</sup>利用叶盘转化法首次开展了 84K 杨双价耐盐基因 *mtID*/*gutD* 的转化研究, 经诱导不定芽及诱导生根阶段卡那霉素连续筛选, 获得了 16 株卡那霉素抗性植株。耐盐试验表明, 3 株阳性植株抗 NaCl 能力, 较对照有不同程度提高。

## 1.2 与信号传导相关的抗旱、耐盐基因

在环境胁迫下, 植物体能通过信号传导作用, 启动或关闭某些相关基因, 以达到抵抗逆境的目的。蛋白激酶: 蛋白激酶在信号传递过程中起重要作用, 至今已研究的与植物干旱、高盐应答有关的植物蛋白激酶主要有: 与感受发育和环境胁迫信号有关的受体蛋白激酶(Receptor protein kinase, RPK); 与植物对干旱、高盐、低温、激素(乙烯、脱落酸、赤霉素、生物素)等反应的信号传递有关的促分裂原活化蛋白激酶(MAPK); 通过增加某些特定蛋白的合成使植物对外界胁迫做出反应的核糖体蛋白激酶(Ribosomal-protein kinase); 主要参与生物生长、细胞周期、染色体正常结构维持等多种生命活动相关基因表达的转录调控蛋白激酶(TRPK), 以及钙依赖而钙调素不依赖的蛋白激酶(CDPK)等<sup>[13]</sup>。

**转录因子:**转录因子是指那些专一性地结合于 DNA 特定序列上的, 能激活或抑制其它基因转录的蛋白质。转录因子在植物的抗逆作用中起关键作用, 它可以激活一系列抗逆功能基因的表达, 并能提高脯氨酸和蔗糖含量, 从而综合提高植株的抗逆性。DRE 顺式作用元件普遍存在于干旱、高盐或低温胁迫应答基因的启动子中, 对在这些胁迫条件下的基因诱导表达起调控作用<sup>[14]</sup>。近年来, 已相继分离出大量不同类型的转录因子, 如 Bzip、MYB 等转录因子。

## 1.3 与抗旱、耐盐有关的功能蛋白

**LEA 蛋白:**LEA 蛋白即种子胚胎发生后期富集蛋白质, 是在种子成熟和发育阶段合成的一系列蛋白, 也表达在因受干旱、低温和盐渍胁迫而失水的营养组织中<sup>[15-16]</sup>。LEA 蛋白具高亲水性和热稳定性, 并具有高度保守的氨基酸序列, LEA 蛋白最大的物理化学特性是具有很高的亲水性和热稳定性, 即使在煮沸条件下也能保持水溶状态。研究表明, 植物在水分胁迫时面临的最主要的问题是细胞组成成分的晶体化, 这将破坏细胞的有序结构, 而 LEA 蛋白具有高度的亲水性, 能把足够的水分捕获到细胞内, 从而保护细胞免受水分胁迫的伤害。

## 2 杨树转抗寒基因的研究

抗寒基因是一种诱发基因。只有在特定条件诱导下, 启动抗寒基因表达, 进而发展为抗寒力。植物生理学的研究结果揭示, 植物抵御冻害的途径主要有 2 种, 一是避免细胞内冰晶的形成和阻止冰晶的生长, 二是维持细胞膜的结构稳定性和蛋白质核酸的生物活性。因此, 改造作物抗冻遗传特性的分子生物学工作也主要是围绕这 2 个方面进行的。

**抗冻蛋白基因(AFPs):**AFP 在植物中的存在较动物中更普遍, 是抗冻植物对冬季低温较普遍的适应机制。抗冻蛋白(AFPs)是一类能够抑制冰晶生长的蛋白质, 它能降低水溶液的冰点, 但对融点的影响很小, 使水

溶液的融点和冰点间产生差值,从而起到抗寒害作用。试验得出 AFP 在植物中可能具有下列功能:抑制冰重结晶;降低冰晶的生长速度;在某一特定温度下降低结冰水的百分比;保护细胞膜系统及阻止细胞内冰晶的形成。Werser 首次提出植物抗寒性诱导过程改变基因表达的观点。随后,人们利用蛋白质电泳检测技术和基因分离技术分离鉴定了冷驯化过程中产生的特异性蛋白或基因,并对其与植物抗寒性间的平行关系进行了研究。李春霞<sup>[7]</sup>通过农杆菌介导法将 AFP 导入山杨,获得 4 株卡那霉素抗性植株,其中 1 株,经 PCR 检测为阳性,初步证明 AFP 基因已转入山杨中。

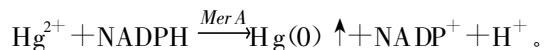
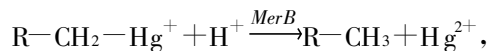
脂肪酸去饱和代谢的关键酶基因,早在 20 世纪 70 年代 Lyons 和 Raison 提出了“膜相变的寒害”假说,认为植物在遭受低温伤害时,生物膜首先发生膜脂的物相变化,膜脂上的脂肪酸链由无序排列变为有序排列,膜上出现孔道或龟裂,使膜的通透性增大,膜内可溶性物质大量向膜外渗透,破坏了细胞内外的离子平衡,同时膜结合酶结构改变,酶促反应速度失去平衡,导致植物细胞生理代谢的变化和功能的紊乱<sup>[8]</sup>。试验表明,膜脂中不饱和脂肪酸的含量与植物的抗寒性有明显的正相关关系,不饱和脂肪酸含量高的植物抗寒性也相应较高;反之,温度的降低也能诱导植物不饱和脂肪酸含量的增高,提高膜的流动性。现已有多种脂肪酸去饱和代谢关键酶基因被相继发现,为进一步开展抗寒基因工作奠定了基础。周洲<sup>[9]</sup>通过农杆菌介导法将 *PtFAD3* 基因导入 84 K 杨,试验证明不饱和脂肪酸在生物抗寒过程中起重要作用。

抗氧化基因:试验表明,低温会诱导活性氧的大量产生,造成膜的损伤,并促使冰晶附着于细胞壁和细胞膜,引起细胞破裂。一般认为,植物的抗氧化防御系统能起到调节膜性、增加膜结构和功能稳定性的作用。此系统主要由超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸(ASA)、谷胱甘肽(GSH)等组成。这些物质协同作用以去除植物体内的活性氧自由基。超氧化物歧化酶是清除植物体内超氧自由基的主要酶类。到目前为止,不同类型的 SOD 基因已经被转化到多种植物中,试验结果表明 SOD 在转基因植株中的过量表达能不同程度地提高植物对环境胁迫的抵抗能力。Arisi 等于把拟南芥的 *Fe-SOD* 基因导入杨树,发现转基因杨树叶绿体中 *Fe-SOD* 活性高于对照 5~8 倍,杨树的抗冻性也明显提高<sup>[20]</sup>。Wang<sup>[21]</sup>等将 *MnSOD* gene 导入杨树(*Populus davidiana* × *P. bolleana*)中,试验结果表明转基因杨树 SOD 活性增强,耐盐碱性比野生型显著提高。Gallardo<sup>[22]</sup>等将松树胞质谷胱甘肽合成酶基因用农杆菌介导法导入杂种杨(*P. tremula* × *P. alba*),测得转基因杨树的水溶性蛋白及叶绿素含量

较对照都有所提高。

### 3 杨树转基因在植物修复方面的研究

随着工农业的发展,重金属污染日趋严重,已成为土壤环境的重要污染物。自 1983 年 Chaney 提出利用超富集植物清除土壤重金属污染的思想以来植物修复成为安全、有效的环境治理方式。目前主要是利用重金属超积累植物吸收污染土壤中的重金属。而现已发现的大多数超富集植物,往往生长速度很慢且生物量低;而生长速度快、生物量大的植物往往富集重金属能力和抗重金属污染能力却很低,这给植物修复带来了一定的困难。因此应用基因工程技术把生长缓慢、生物量低的超积累植物培育成生长速度快、生物量大的植物品种或把重金属超积累基因转入到生长速度快、生物量高的植物中去。一些研究表明柳树(*Willow*)和白杨(*Poplar*)这种高生物量的树木是一种非常好的廉价的重金属污染土壤的修复材料<sup>[23]</sup>。目前应用于植物修复的耐重金属基因主要有:金属硫蛋白(MT):是富含半胱氨酸的低分子量蛋白,对金属如 Cd、Cu 和 Zn 等具有高亲和力。它们通过半胱氨酸残基上的巯基与重金属结合形成无毒或低毒的络合物,从而清除重金属的毒害。植物络合素(PCs):其能被多种重金属诱导,对 Cu 和 Cd 都有很强的亲和力。通过巯基与金属离子整合形成无毒化合物,减少细胞内游离的金属离子,从而减轻金属对植物的毒害。导入植络素合成酶基因的植物,本身能合成大量的植络素,增强了植物的抗重金属能力<sup>[24]</sup>。*merB*、*merA* 基因:*merB* 将有机汞还原为  $Hg^{2+}$ , *MerA* 将  $Hg^{2+}$  进一步还原为  $Hg^0$ ,从植物中挥发出去,从而增强植物对汞的抗性。*merA* 转基因杨树对汞的修复结果表明,转基因杨树比对照杨树汞的挥发能力提高了 10 倍,植物抗汞能力也提高了 3~4 倍<sup>[25]</sup>。



细菌砷酸盐还原酶基因 *ArsC* 和谷胱甘肽合成酶基因  $\gamma$ -ECS:从细菌中分离出的砷酸盐还原酶基因 *ArsC* 可以将  $AsO_4^{3-}$  还原为  $AsO_3^{3-}$ ,后者含硫醇基或巯基的多肽物质结合形成低毒或无毒的复合物隔离于液胞中,从而使其毒性降低<sup>[26]</sup>。Xiang<sup>[27]</sup>发现谷胱甘肽化合物  $\gamma$ -谷氨酸半胱氨酸合成酶和谷胱甘肽还原酶基因的导入可提高植物 Cu、Cd 的抗性。

### 4 存在的问题及展望

杨树基因工程研究虽然已取得很大进展,但其发展仍有一定局限性。其分子水平上的研究仍远远不如农作物深入,自身的一些优良基因还未被克隆,未能得以有效利用;目前能有效利用在杨树基因工程中的基因仍然很少,而这些基因又都是从农作物上克隆的,并且还

有许多有用的基因还不能被识别和分离出来;已有成功导入杨树的一些抗性基因,但它们多数是控制单一性状的简单基因,而杨树需要被赋予的性状大都是多基因控制的,现已导入的基因显然难以满足这些要求;而且转化频率低、试验重复性差,如何实现外源基因的定点插入与整合,如何克服外源基因在转基因植物及其后代中的表达稳定性,如何克服转基因植株的基因沉默现象等,也是影响杨树基因工程的瓶颈问题;杨树基因工程虽在抗除草剂、抗虫等方面效果显著,但对抗非生物逆境的研究仍相对薄弱。随着生态环境的恶化,用基因工程培育高抗型(抗干旱、耐盐碱等)杨树已成为今后的研究热点。

转基因树木的研究开发是植物基因工程的重要组成部分,它的发展将在造林事业、维持生态平衡等诸多方面发挥重要作用。分子生物学试验技术的蓬勃发展为杨树基因工程注入了新的活力。杨树以其独特的基因组特点,在林木分子生物学的研究中起着不可替代作用。

总之,快速发展转基因杨树是生物技术应用的一大趋势,其必将产生巨大的经济效益、社会效益和生态效益。

#### 参考文献

- [1] 卢孟柱,胡建军.我国转基因杨树的研究及应用现状[J].林业科技开发,2006,20(6):1-4.
- [2] Szoke A, Miao G H, Hong Z, et al. Subcellular Location of P5CS Redutase in Root/ nodule and Leaf of Soybean [J]. Plant Physiol. 1992, 99(6): 1642-1694.
- [3] 李银心,常凤启,杜立群,等.转甜菜碱脱氢酶基因豆瓣菜的耐盐性[J].植物学报,2000,42(5):480-484.
- [4] 杨传平,刘桂丰,梁宏伟,等.耐盐基因 Bet-1 转化小黑杨的研究[J].林业科学,2001,37(6):34-38.
- [5] 杜宁霞.转 AhDREB1 基因三倍体毛白杨的研究[D].北京:北京林业大学,2003.
- [6] 张学彬,夏秀英,毕晓颖,等.欧美杨 107 耐盐转基因植株的试验[J].沈阳农业大学学报,2006,37(5):712-715.
- [7] 王亮.BADH 基因转化 107 杨及构建甜菜碱合成相关酶多基因表达载体[D].大连:大连理工大学,2007.
- [8] 曾华宗,罗利军.植物抗旱、耐盐基因综述[J].植物遗传资源学,2003,4(3):270-273.
- [9] 王慧中.转 *mtlD/gutD* 双价基因水稻的耐盐性[J].科学通报,2000,45(7):724-729.
- [10] 刘风华,孙仲序.细菌 *mtlD* 基因的克隆及在转基因八里庄杨中的

表达[J].遗传学报,2000,27(5):428-423.

- [11] 尹建道,孙仲序,王玉祥,等.转抗盐碱基因八里庄杨大田释放试验[J].东北林业大学学报,2004,32(3):23-25.
- [12] 樊军锋,韩一凡,李玲,等.84K 杨树耐盐基因转化研究[J].西北林学院学报,2002,17(4):33-37.
- [13] 杨洪强,梁小娥.蛋白激酶与植物逆境信号转导[J].植物生理学通讯,2001,37(3):185-191.
- [14] 江香梅,黄敏仁,王明麻.植物抗盐碱、耐干旱基因工程研究进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2001,25(5):57-62.
- [15] 王忠华,李旭晨,夏英武.作物抗旱的作用机制及其基因工程改良研究进展[J].生物技术通报,2002(1):16-19.
- [16] 周丽英,杨丽涛,郑坚瑜.植物抗寒冻基因工程研究进展[J].植物学通报,2001,18(3):325-331.
- [17] 李春霞.抗冻蛋白基因对山杨等植物遗传转化的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2003.
- [18] 梁慧敏,夏阳,王太明.植物抗寒冻、抗旱、耐盐基因工程研究进展[J].草叶科学,2003,12(3):1-7.
- [19] Zhou Z, Wang M J, Hu J J, et al. Improve freezing tolerance in by overexpressing a  $\omega$ 3 fatty acid desaturase gene[J]. Molecular Breeding, 2010, 25(4): 571-579.
- [20] Arisi A C, Comic G, Jouanin L, et al. Over-expression of Fe-SOD in transformed poplar modifies the regulation of photosynthesis at low CO<sub>2</sub> partial pressures or following exposure to the prooxidant herbicide methyl viologen[J]. Plant Physiol. 1998, 117:565-574.
- [21] WANG Yu-cheng, QU Guan-zheng, LI Hong-yan, et al. Enhanced salt tolerance of transgenic poplar plants expressing a manganese superoxide dismutase from *Tamarix androssowii* [J]. Molecular Biology Reports, 2010, 37(2): 1119-1124.
- [22] Fernando Gallardo, Jianming Fu, Francisco R Canton, et al. Expression of a conifer glutamine synthetase gene in transgenic poplar [J]. Planta, 1999, 210: 19-26.
- [23] Pulford I D, Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees [J]. Environment International, 2003, 29:529-540.
- [24] Richard B Meager. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollution[J]. Current Opinion in Plant Biotechnology, 2000(3): 153-162.
- [25] Rush C L, Senecoff J F, Meagher R B et al. Development of transgenic yellow poplar for mercury phytoremediation [J]. Nature Biotechnology, 1998, 16: 925-928.
- [26] Wang J, Zhao F J, Meharg A A, et al. Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris vittata* uptake kinetics interactions with phosphate and arsenic speciation [J]. Plant Physiol. 2002, 130: 552-561.
- [27] Xiang C, Oliver D J. Glutathione metabolic genes coordinately respond to heavy metals and jasmonic acid Arabidopsis [J]. Plant Cell, 1998, 10: 1539-1550.

## Genetic Engineering of Biological Stress Tolerance in Poplar

WANG Ying<sup>1</sup>, JIN Hua<sup>2</sup>, LIU Ming-guo<sup>1</sup>, YAN Yan-hua<sup>3</sup>, JIANG Guo-bin<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning 110161; 2. College of Life Sciences Dalian National University, Dalian, Liaoning 116600; 3. College of Life Sciences Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029)

**Abstract:** The research progress of transgenesis of drought resisting, salt tolerance, cold resistance and transgenic gene in phytoremediation of the poplar were summarized, the problems of transgenesis in biological stress resistance was described, and its application prospect was expected.

**Key words:** poplar; genetic engineering; abiological stress; phytoremediation