

# 转基因技术与食品安全性

吴爽<sup>1</sup>, 吴健<sup>2</sup>, 唐春华<sup>3</sup>, 江建华<sup>1</sup>, 王德正<sup>1\*</sup>

(1. 安徽省农业科学院水稻研究所, 安徽合肥 230031; 2. 安徽省宿松县林场, 安徽宿松 246500; 3. 安徽省劳动就业服务局, 安徽合肥 230061)

**摘要** 对转基因技术发展历程、应用领域和食品安全性评价进行了综述, 认为转基因技术对于人类生活水平的提高具有积极作用。但也要加强食品安全评价的力度, 加强监督管理和执法力度, 执行强制标识制度让公众有知情权和选择权。

**关键词** 转基因技术; 转基因食品; 安全评价

**中图分类号** TS201.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)13-0011-04

## Transgenic Technology and Safety Assessment of Genetically Modified Food

WU Shuang<sup>1</sup>, WU Jian<sup>2</sup>, TANG Chun-hua<sup>3</sup> et al (1. Rice Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031; 2. Forest Farm of Susong County, Susong, Anhui 246500; 3. The Labor Employment Service Bureau of Anhui Province, Hefei, Anhui 230031)

**Abstract** The development history, application field and food safety evaluation of transgenic technology were reviewed. It is believed that transgenic technology has a positive effect on the improvement of human living standard. However, it is necessary to strengthen the evaluation of food safety, strengthen supervision and management and enforce the law, and enforce the compulsory marking system to make the public have the right to know and choose the right.

**Key words** Transgenic technology; Genetically modified food; Safety assessment

转基因是指将人工分离或修饰过的基因导入到目的生物体的基因组中, 从而达到改造生物的目的的现代分子生物学技术。基因片段的来源可以是特定生物体基因组中的目的基因, 也可以是人工合成的 DNA 片段。按目的转基因性状主要分为 3 类: 一是降低生产成本、增加产量, 如抗病虫、耐逆、抗除草剂等; 二是提高品质, 如增加营养或改变味道、抗氧化; 三是提高附加值, 如生产药物等。

人类可以根据自己的意愿定向地改造生物的遗传特性, DNA 片段被转入特定生物中, 与其自身的基因组进行重组, 经过数代的人工选育从而获得具有稳定遗传表达的个体。转基因技术, 包括外源基因的克隆或人工合成、表达载体构建、受体细胞选择、遗传转化等。

转基因技术发展史上有如下重要事件: 1972 年, Morrow 和 Berg 率先完成了世界上第 1 例 DNA 体外重组试验, 获得了包括猿猴病毒 40(SV40) 和  $\lambda$  噬菌体 DNA 的重组 DNA 分子<sup>[1]</sup>; 1973 年, Cohen 等<sup>[2]</sup>首次将卡那霉素和四环素抗性基因转化到大肠杆菌后同时产生 2 种抗性, 由此揭开了转基因技术应用的序幕; 1974 年, Jaenisch 等<sup>[3]</sup>将病毒 SV40 转入小鼠; 1978 年, Gilbert 等<sup>[4]</sup>通过转基因技术生产出了胰岛素并于 1981 年实现产业化; 1980 年, Biogen 公司首次用细菌生产出干扰素; 1983 年, Palmiter 等<sup>[5]</sup>将大白鼠生长激素基因导入到普通小白鼠使之体形变大; 1996 年, 全球首次大规模商业化种植抗除草剂、抗虫抗病毒转基因作物。

根据国际农业生物技术应用服务组织 (ISAAA) 发布的 2016 年度报告, 全球种植转基因作物的国家达 28 个, 种植面积从 1996 年的 170 万  $\text{hm}^2$  上升至 2016 年的 1.851 亿  $\text{hm}^2$ , 累计种植达到 21 亿  $\text{hm}^2$ , 种植面积最大的前 3 位国家为美国、

巴西、阿根廷, 中国位于第 8 位, 欧洲和非洲也有少量种植, 如西班牙、葡萄牙、南非。德国、俄罗斯等国禁止种植。1996—2015 年, 转基因作物使得全球的作物产值增加了 1 678 亿美元, 节约了 1.74 亿  $\text{hm}^2$  的耕作土地; 2016 年全球转基因作物种子的市场价值为 158 亿美元, 占全球商业种子市场 450 亿美元市值的 35%; 应用转基因作物每年所降低的  $\text{CO}_2$  排放量相当于约 1 200 万辆汽车的碳排放总量; 减少除草剂和杀虫剂的用量而对环境影响降低了 19%, 保护了生物多样性; 此外, 转基因作物种植帮助了 1 800 万个小农户及其家庭提高了收入水平。

## 1 转基因技术主要应用领域

**1.1 动物转基因** 转基因动物综合运用了细胞融合、细胞重组、染色体工程、基因工程和生殖工程等技术, 将外源基因导入精子、卵细胞或受精卵中从而育成含有外源 DNA 的个体。

Palmiter 等<sup>[5]</sup>将大鼠生长激素基因与金属硫蛋白基因启动子拼接成融合基因, 导入小鼠受精卵后, 获得了称为“超级鼠”的转基因小鼠, 被认为是世界上首批转基因动物; Hammer 等<sup>[6]</sup>尝试将融合基因转入猪、兔中并获得表达; Kuroiwa 等<sup>[7]</sup>将导致疯牛病的朊蛋白基因通过基因工程敲除, 从而使牛获得抗性; 为应对禽流感的危害, 转基因鸡产生短发夹 RNA (shRNA) 可抑制病毒传播<sup>[8]</sup>。

2015 年 11 月, 美国食品药品监督管理局批准一种可供食用的转基因三文鱼上市, 随后 2016 年 5 月, 加拿大也宣布转基因三文鱼食用安全并批准售卖且不用特别贴标, 这是全球首批批准上市的转基因动物。这种转基因鱼在寒冷季节里依然能分泌生长荷尔蒙, 因此有较快的生长速度, 上市时间缩短一半, 化学成分、生物成分等方面与普通三文鱼没有区别<sup>[9]</sup>。

此外, 转基因动物可作为生物反应器生产多肽或蛋白, 如生产人抗血栓素<sup>[10]</sup>、改善母猪乳汁中的营养成分<sup>[11]</sup>。目

**基金项目** 农业部转基因专项 (2016ZX08001001-001-008); 杂交水稻国家重点实验室开放课题 (2015KF02)。

**作者简介** 吴爽 (1972—), 男, 安徽枞阳人, 副研究员, 博士, 从事杂交水稻育种及推广。\* 通讯作者, 研究员, 从事两系杂交水稻育种及推广。

**收稿日期** 2018-01-23

前,已上市的药物有通过转基因山羊乳腺生物反应器生产的抗血栓素药物 ATryn 与由转基因兔生产的单克隆抗体遗传性血管水肿治疗药物 Ruconest。

**1.2 植物转基因** 1983年培育出的抗除草剂烟草是第1例转基因植物<sup>[12]</sup>。目前全球种植的转基因植物有11种,分别是玉米、大豆、棉花、油菜、甜菜、苜蓿、木瓜、南瓜、马铃薯、杨树、茄子。种植面积居于首位的是大豆,其次是玉米<sup>[13-14]</sup>。2016年转基因大豆在全球的种植面积为9 140万 $\text{hm}^2$ ,占全球转基因作物总种植面积1.682亿 $\text{hm}^2$ 的50%以上,全世界78%的大豆、64%的棉花、26%的玉米和24%的油菜都是转基因品种。

在我国应用转基因技术最成功的例子当属转 *Bt* 基因抗虫棉。自1997年商业化种植以来,近几年的种植面积占我国棉花总种植面积的90%以上<sup>[15]</sup>,2016年我国种植转基因棉花290万 $\text{hm}^2$ ,应用率达95%,大大降低了化学杀虫剂的用量,为棉花增产和农民增收做出了重要贡献。苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*,简称*Bt*)是一种分布十分广泛的革兰氏阳性土壤杆菌,*Bt*杀虫活性是由它在形成芽孢时产生的晶体蛋白所决定,它在昆虫中肠碱性和还原性的环境下,被降解成活性小肽,并和中肠纹缘膜上的受体(氨基酶氮和钙粘着蛋白类似物)结合而使细胞膜形成穿孔,破坏了细胞膜质和中膜腔之间的离子平衡,引起细胞肿胀甚至裂解,导致昆虫幼虫停止进食而死亡。目前已发现*Bt*杀虫蛋白对许多重要的农作物害虫,包括鳞翅目、鞘翅目、双翅目、膜翅目等都具有特异性的毒杀作用,而对人、畜、哺乳动物和天敌无害,因为无特异性受体蛋白<sup>[16]</sup>。

在农作物生长过程中,杂草不仅与作物争夺光照、生长空间与营养物质等,还会传播病虫害,释放有毒物质造成粮食减产<sup>[17]</sup>。我国常年杂草发生面积接近0.97亿 $\text{hm}^2$ ,相当于作物种植面积的80%。防除杂草最经济、最环保的方法是利用除草剂抗性基因如*EPSPS*和*Bar*培育抗除草剂农作物新品种,2016年抗除草剂品种种植面积占全球种植总面积的47%,如抗除草剂大豆<sup>[18]</sup>、玉米<sup>[19]</sup>、水稻、油菜、棉花等。

此外还有富含高赖氨酸<sup>[20]</sup>、植酸酶和铁蛋白的玉米<sup>[21]</sup>,富含 $\beta$ -胡萝卜素的黄金大米<sup>[22]</sup>,只在叶茎处富含盐的耐盐碱番茄<sup>[23]</sup>,含多种维生素(抗坏血酸、 $\beta$ -胡萝卜素、叶酸)的玉米<sup>[24]</sup>,生产人血清白蛋白的水稻<sup>[25]</sup>,转黄瓜抗青枯病基因的甜椒和马铃薯,不会引起过敏的转基因大豆等。

**1.3 基因工程药品** 许多药品的生产是从生物组织中提取的。受材料来源限制产量有限,其价格往往十分昂贵。微生物生长迅速,容易控制,适于大规模工业化生产,以之作为生物反应器,不仅解决产量问题,还能大大降低生产成本。

胰岛素是治疗糖尿病的特效药,长期以来只能依靠从猪、牛等动物的胰腺中提取,100 kg胰腺只能提取4~5 g的胰岛素。1978年Gilbert把鼠胰岛素基因与*E. coli*的青霉素酶基因连接,转化到*E. coli*中,每2 000 L培养液就能产生100 g胰岛素<sup>[4]</sup>。

干扰素是治疗癌症的主要药物,安达芬是我国第1个全

国产化的基因工程人干扰素 $\alpha-2b$ ,是当前国际公认的病毒性疾病治疗的首选药物和肿瘤生物治疗的主要药物。

白细胞介素、乙肝疫苗、人造血液等通过基因工程实现工业化生产,均为解除人类的病苦,提高人类的健康水平发挥了积极作用。

**1.4 基因诊断与基因治疗** 运用基因工程设计制造的“DNA探针”检测肝炎病毒等病毒感染及遗传缺陷,不但准确而且迅速。

基因治疗是把正常基因导入病人体内,使该基因的表达产物发挥功能,从而达到治疗疾病的目的,这是治疗遗传病的最有效的手段。主要包括基因置换、基因修复、基因增补和基因敲除等,但这项技术尚未成熟。

**1.5 环境保护** “DNA探针”可以十分灵敏地检测环境中的病毒、细菌等污染,且不易因环境污染而大量死亡,甚至还可以吸收和转化污染物。通常一种细菌只能分解石油中的一种烃类,用基因工程培育成功的“超级细菌”可以分解石油中的多种烃类化合物,有的还能吞食转化汞、镉等重金属,分解DDT等毒性物质。

## 2 转基因食品安全性研究

转基因生物及食品问世以来,认为转基因生物及食品有风险的声音便从未间断。食品安全只是一个相对概念,绝对安全的食物是不存在的。转基因育种与传统育种本质上都是基因的交换与重组,通过安全评价并获得安全证书的转基因食品是安全的,符合“实质等同性”原则。应用转基因技术带来的潜在风险涉及生态环境安全、人畜安全等多方面的问题,转基因安全性评价包括食用安全性评价和环境安全评价,其中食用安全性评价主要包括营养学、致敏性和毒理学评价等内容。逢金辉等<sup>[26]</sup>检索了9 333篇SCI论文,90%以上证实转基因是安全的,与传统的作物无显著差异,在451篇有关食品安全论文中,只有35篇认为不安全,根据后续研究发现,错误的研究材料或方法是得出转基因食品不安全结论的主要原因。

Snell等<sup>[27]</sup>综述了12篇长期研究和12个多代研究,证明转基因植物与非转基因植物的营养性是一样的,并且可以安全食用,一些参数指标的波动也都在正常值范围内,没有生物学改变和毒性表现。但有些针对性改良营养成分的转基因食品其目标成分会有较大变化,如富含高赖氨酸的玉米<sup>[20]</sup>。

食物过敏是一种病理性免疫反应,是由一个特定的食物成分中的抗原所引起的反应所致。Nordlee等<sup>[28]</sup>将巴西坚果中编码为富含蛋氨酸2S白蛋白基因转入大豆中,发现对巴西坚果过敏的人同样对这种大豆过敏,后该蛋白被确定为过敏原。Bernstein等<sup>[29]</sup>将*Bt*基因转移到玉米后会产生具有强致敏性的Cry9c蛋白,食用这种玉米后会引发头痛、腹泻、恶心和呕吐的食物过敏症状。Prescott等<sup>[30]</sup>在豌豆中转入菜豆的 $\alpha A1-1$ 基因后,发现该基因再次表达时分子结构发生了改变并引起机体过敏的特异性免疫反应。Richards等<sup>[31]</sup>发现,绿色荧光蛋白GFP有低致敏风险。在理论层面和实验室

水平证实了部分外源基因能够导致转基因食品具有致敏风险得到大多数学者的认可,国际上规定不能用过敏性基因来研究转基因。

对转基因的毒理学研究是安全性争议的一个焦点,支持和反对的声音此起彼伏。Ewen 等<sup>[32]</sup>报道了用转雪花莲凝集素(GNA)基因马铃薯饲养的大鼠出现了胃黏膜增生、消化系统受损等;Hashimoto 等<sup>[33]</sup>则认为不会产生病理现象,英国皇家学会也对这份报告进行了审查,宣称该研究实验“充满漏洞”。1999年,Losey 等<sup>[34]</sup>报道了食用高剂量的转 *Bt* 基因抗虫玉米的花粉可使黑脉金斑蝶幼虫发育迟缓、死亡率增高。Hug 等<sup>[35]</sup>发现转基因牛生产的牛奶能使饮用者血浆中的类胰岛素生长因子 IGF-1 水平增高,而它的水平高低与肺、乳腺和结肠肿瘤的发生发展呈正相关,而 Zhou 等<sup>[36]</sup>报道了转人乳铁蛋白的奶粉与传统奶粉同样安全。Séralini 等<sup>[37]</sup>用抗除草剂的 NK603 转基因玉米喂养大鼠 2 年,发现大鼠的死亡数量较对照组高 2~3 倍,且会出现较高的致癌率,特别是雌性大鼠比对照组大鼠更易发生大型乳腺肿瘤,较对照组高 4 倍;Appenzeller 等<sup>[38]</sup>则认为兼抗鳞翅类和鞘翅类害虫的转基因玉米与常规玉米一样安全营养,且不会影响大鼠病理学指标。Dona 等<sup>[39]</sup>研究发现,喂食转基因大豆的大鼠的幼鼠死亡率增高 56%,而幸存的大鼠也会生长发育迟缓。Lemaux 等<sup>[40]</sup>发现,转 *GNA* 基因的马铃薯会对食用它的哺乳动物的生长有不良影响,会引起体重和器官质量显著减轻,免疫系统受到破坏;Poulsen 等<sup>[41]</sup>发现,对大鼠喂食含 *GNA* 的转基因大米可降低血糖、胆固醇,同时会升高甘油三酯和高密度脂蛋白的浓度;Momma 等<sup>[42]</sup>则认为,转大豆球蛋白水稻对大鼠无影响。De Vendômois 等<sup>[43]</sup>和 Séralini 等<sup>[44]</sup>通过对大鼠分组喂养 3 种 Monsanto 公司的主要商业化转基因玉米 90 d 后,发现对肾、肝、饮食代谢器官都有不良影响,甚至对心脏、肾上腺、脾和造血系统也有一定的影响,食用非转基因食品的大鼠存活率要远高于喂食含转基因玉米的大鼠,且食用高成分转基因玉米对大鼠肾的毒性更严重,但这些结果遭到同行的质疑,认为存在着大量错误和缺陷<sup>[45-46]</sup>。Bakke - McKellep 等<sup>[47]</sup>用抗草甘膦大豆喂食大西洋鲑鱼,发现炎症发生率变高<sup>[47]</sup>,与 Sanden 等<sup>[48]</sup>研究结果不一致。

由于人和动物在生理、解剖结构等存在差异,动物试验可能无法正确地反映人类的表现<sup>[49]</sup>,同时加工过程也会有影响<sup>[50]</sup>,因此,应选择合适的模式动物并经过可以重复的试验验证。

### 3 我国农业转基因有关法规及举措

**3.1 安全评价** 在各类生物育种技术中,迄今只针对转基因技术建立了系统的安全体系,足以克服和避免应用转基因技术带来的潜在风险。在转基因安全管理方面,借鉴了国际通用的技术准则,1993 年 12 月国家科委制定基因生物安全管理的指导性文件《基因工程安全管理办法》,1996 年 7 月农业部正式实施《农业生物基因工程安全管理实施办法》,2001 年 5 月国务院颁布了《农业转基因生物安全管理条例》并于 2017 年 10 月份进行了修订,2002 年 1 月农业部发布

《农业转基因生物安全评价管理办法》《农业转基因生物进口安全管理办法》并分别于 2016 年 7 月、2017 年 11 月进行修订,这些条例和办法的制定和实施标志着我国将农业转基因生物安全管理从研究试验延伸到生产、加工、经营和进出口各个环节。

迄今为止,农业部共批准发放 7 种作物的安全证书,即耐储存番茄、抗虫棉花(1997 年)、改变花色矮牵牛、抗病辣椒(1999 年)、抗病番木瓜(2006 年)、抗虫水稻、转植酸酶玉米(2009 年),而最终真正进入商品化生产的作物只有转基因棉花和木瓜。其中,转基因抗虫水稻和转植酸酶玉米的安全评价,分别经过 11 年和 6 年的严格评价。根据国际食品法典委员会标准,在评价抗虫作物时毒理学试验只要求做大鼠 90 d 喂养和口服急性毒性试验,但在我国还增加了标准中没有要求的 3 代繁殖试验、慢性毒性试验和致畸试验,而且我国转基因安全证书的有效期为 6 年,以克服潜在风险。据报道,2018 年 1 月转 *Bt* 抗虫水稻华恢 1 号获得美国食品药品监督管理局(FDA)的食用许可。

**3.2 技术保障** 严格转基因管理程序的同时,不断提升的科技水平成为转基因生物安全的又一道保障。根据检测原理主要分为两大类:基于外源核酸的检测技术和基于外源蛋白的检测技术。另外,电化学发光分析、色谱、近红外光谱、生物传感器、生物分子互作、内标基因种属特异性检测等技术也被应用。

近年来,我国共研制 69 项转基因环境安全评价技术新方法、30 项食用饲用安全评价技术新方法、95 项检测监测技术新方法、3 项转基因生物安全评价技术标准和规程、89 项转基因生物检测技术标准,研制了 25 种标准物质,截至 2015 年已有 42 个转基因检测机构通过“2+1”认证,这些构成了功能完善、管理规范、农业转基因生物安全检测体系,保障了转基因生物安全评价和检测监测的高精度、高效率 and 全覆盖,并已应用到农林、质检等行业国家转基因产品监管中,大幅度提高了我国生物安全保障能力。

**3.3 标识制度** 世界转基因产品标识制度分为“自愿标识”和“强制性标识”2 种。2016 年美国颁布《国家生物工程食品披露标准》法案,要求在包装上进行转基因成分标注,准许自愿标注不含转基因成分的做法。韩国要求转基因含量高于 3% 的农产品必须标识。我国台湾规定使用了转基因原料需标注。在欧盟国家相关产品中转基因成分的含量只有高于 0.9% 这一阈值时才需标识,而在日本这一阈值被定为 5%。

我国在转基因作物方面采用了强制性标识方法,是世界上唯一进行定性标识的最严格国家,即只要产品中含有转基因成分就必须标识,未标识和不按规定标识的,不得进口或销售。农业部 2002 年制定了《农业转基因生物标识管理办法》并于 2017 年 11 月 30 日进行修订,公布了农业转基因生物的目录,包括大豆、玉米、油菜、棉花、番茄种子及加工品,凡列入农业转基因生物标识目录并用于销售的农业转基因生物必须进行标识,从而规范了农业转基因生物的销售行为,保护了消费者的知情权和选择权,也可有效解决纷争。

## 4 结语

2016年中央1号文件提出“加强农业转基因技术研发和监管,在确保安全的基础上慎重推广”。随着人口、资源、环境的压力增大,作为一种有效、廉价的技术,转基因技术得到了长足的发展并将深入到人类生活的各个层面。由于转基因食品安全存在一定的风险性,必须建立完善科学的食用安全性评价体系,加强监督管理和执法力度,执行强制标识制度让公众有知情权和选择权,此外科普宣传也要加大力度。

## 参考文献

- MORROW J F, BERG P. Cleavage of simian virus 40 DNA at a unique site by a bacterial restriction enzyme [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1972, 69 (11): 3365 - 3369.
- COHEN S N, CHANG A C, BOYER H W, et al. Construction of biologically function bacterial plasmid *in vitro* [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1973, 75 (11): 3240 - 3244.
- JAENISCH R, MINTZ B. Simian virus 40 DNA sequences in DNA of healthy adult mice derived from preimplantation blastocysts injected with viral DNA [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1974, 71 (4): 1250 - 1254.
- GILBERT W, VILLA-KOMAROFF L. Useful proteins from recombinant bacteria [J]. Scientific American, 1980, 242 (4): 74 - 94.
- PALMITER R D, BRINSTER R L, HAMMER R E, et al. Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein-growth hormone fusions genes [J]. Nature, 1983, 300 (5893): 611 - 615.
- HAMMER R E, PURSEL V G, REXROAD C E JR, et al. Production of transgenic rabbits, sheep and pigs by microinjection [J]. Nature, 1985, 315: 680 - 683.
- KUROIWA Y, KASINATHAN P, MATSUSHITA H, et al. Sequential targeting of the genes encoding immunoglobulin- $\mu$  and prion protein in cattle [J]. Nat Genet, 2004, 36 (7): 775 - 780.
- LYALL J, IRVINE R M, SHERMAN A, et al. Suppression of avian influenza transmission in genetically modified chickens [J]. Science, 2011, 331 (6014): 223 - 226.
- FLETCHER G L, SHEARS M A, YASKOWIAK E S, et al. Gene transfer: Potential to enhance the genome of *Atlantic salmon* for aquaculture [J]. Aust J Exp Agri, 2004, 44 (11): 1095 - 1100.
- ZHOU Q, KYAZIKE J, ECHELARD Y, et al. Effect of genetic background on glycosylation heterogeneity in human antithrombin produced in the mammary gland of transgenic goats [J]. J Biotechnol, 2005, 117 (1): 57 - 72.
- NOBLE M S, RODRIGUEZ-ZAS S, COOK J B, et al. Lactational performance of first-parity transgenic gilts expressing bovine alpha-lactalbumin in their milk [J]. J Anim Sci, 2002, 80 (4): 1090 - 1096.
- ZAMBRYSKI P, JOOS H, GENETELLO C, et al. Ti plasmid vector for the introduction of DNA into plant cells without alteration of normal regeneration capacity [J]. EMBO J, 1983, 2 (12): 2143 - 2150.
- 杨长青, 王凌健, 毛颖波, 等. 植物转基因技术的诞生和发展 [J]. 生命科学, 2011, 23 (2): 140 - 150.
- 宋敏, 刘丽军, 苏颖异, 等. 抗草甘膦 EPSPS 基因的专利保护分析 [J]. 中国生物工程杂志, 2010, 30 (2): 147 - 152.
- 范存会, 黄季焜, 胡端法, 等. Bt 抗虫棉的种植对农药施用的影响 [J]. 中国农村观察, 2002 (5): 2 - 10.
- TANG X M, HAN F T, ZHAO K, et al. A 90-day dietary toxicity study of genetically modified rice TIC-1 expressing Cry1C protein in Sprague-Dawley rats [J]. PLoS One, 2012, 7 (12): 1 - 9.
- GIANESSI L P, REIGNER N P. The value of herbicides in US crop production [J]. Weed Technol, 2007, 21 (2): 559 - 566.
- PADGETTE S R, BIESTTAYLOR N, NIDA D L, et al. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans [J]. J Nutrition, 1996, 126 (3): 702 - 716.
- ZHU Y X, HE X Y, LUO Y B, et al. A 90-day feeding study of glyphosate-tolerant maize with the *G2-aroA* gene in Sprague-Dawley rats [J]. Food Chem Toxicol, 2013, 51: 280 - 287.
- HE X Y, TANG M Z, LUO Y B, et al. A 90-day toxicology study of transgenic lysine-rich maize grain (Y642) in Sprague-Dawley rats [J]. Food Chem Toxicol, 2009, 47 (2): 425 - 432.
- DRAKAKAKI G, MARCEL S, GLAHLN R P, et al. Endosperm-specific co-expression of recombinant soybean ferritin and Aspergillus Phytase in maize results in significant increase in the levels of bioavailable iron [J]. Plant Mol Biol, 2005, 59 (6): 869 - 880.
- YE X D, AL-BABILI S, KLÖTTI A, et al. Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm [J]. Science, 2000, 287 (5451): 303 - 305.
- ZHANG H X, BLUMWALD E. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit [J]. Nat Biotechnol, 2001, 19 (8): 765 - 768.
- ARJÓ G, CAPELL T, MATIAS-GUIU X, et al. Mice fed on a diet enriched with genetically engineered multivitamin corn show no sub-acute toxic effects and no sub-chronic toxicity [J]. Plant Biotechnol J, 2012, 10 (9): 1026 - 1034.
- HE Y, NING T T, XIE T T, et al. Large-scale production of functional human serum albumin from transgenic rice seeds [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2011, 108 (47): 19078 - 19083.
- 逢金辉, 马彩云, 封勇丽, 等. 转基因作物生物安全: 科学证据 [J]. 中国生物工程杂志, 2016, 36 (1): 122 - 138.
- SNELL C, BERNHEIM A, BERGE J B, et al. Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review [J]. Food Chem Toxicol, 2012, 50 (3/4): 1134 - 1148.
- NORDLEE J A, TAYLOR S L, TOWNSEND J A, et al. Identification of a Brazil-nut allergen in transgenic soybeans [J]. N Engl J Med, 1996, 334 (11): 688 - 692.
- BERNSTEIN J A, BERNSTEIN L I, BUCCHINI L, et al. Clinical and laboratory investigation of allergy to genetically modified foods [J]. Environ health perspect, 2003, 111 (8): 1114 - 1121.
- PRESCOTT V E, CAMPBELL P M, MOORE A, et al. Transgenic expression of bean alpha-amylase inhibitor in altered structure and immunogenicity [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53 (23): 9023 - 9030.
- RICHARDS H A, HAN C T, HOPKINS R G, et al. Safety assessment of recombinant green fluorescent protein orally administered to weaned rats [J]. J Nutr, 2003, 133 (6): 1909 - 1912.
- EWEN S W, PUSZTAI A. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine [J]. Lancet, 1999, 354 (9187): 1353 - 1354.
- HASHIMOTO W, MOMMA K, YOON H J, et al. Safety assessment of transgenic potatoes with soybean glycinin by feeding studies in rats [J]. Biosci Biotechn Bioch, 1999, 63 (11): 1942 - 1946.
- LOSEY J E, RAYOR L S, CARTER M E. Transgenic pollen harms monarch larvae [J]. Nature, 1999, 399 (6733): 214.
- HUG K. Genetically modified organisms: Do the benefits outweigh the risks? [J]. Medicina (Kaunas), 2008, 44 (2): 87 - 99.
- ZHOU C, WANG J W, HUANG K L, et al. A 90-day safety study in Sprague-Dawley rats fed milk powder containing recombinant human lactoferrin (rhLF) derived from transgenic cloned cattle [J]. Drug Chem Toxicol, 2011, 34 (4): 359 - 368.
- SÉRALINI G E, CLAIR E, MESNAGE R, et al. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize [J]. Food Chem Toxicol, 2012, 50 (11): 4221 - 4231.
- APPENZELLER L M, MALLEY L, MACKENZIER S A, et al. Subchronic feeding study with genetically modified stacked trait lepidopteran and coleopteran resistant (DAS-empty set 15empty set 07-1xDAS-59122-7) maize grain in Sprague-Dawley rats [J]. Food Chem Toxicol, 2009, 47 (7): 1512 - 1520.
- DONA A, ARVANITOYANNIS I S. Health risks of genetically modified foods [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2009, 49 (2): 164 - 175.
- LEMAUX P G. Genetically engineered plants and foods: A scientist's analysis of the issue (Part I) [J]. Ann Rev Plant Biol, 2008, 59 (1): 771 - 812.
- POULSEN M, KROGHSBO S, SCHRØDER M, et al. A 90-day safety study in Wistar rats fed genetically modified rice expressing snowdrop lectin *Galanthus nivalis* (GNA) [J]. Food Chem Toxicol, 2007, 45 (3): 350 - 363.
- MOMMA K, HASHIMOTO W, YOON H J, et al. Safety assessment of rice genetically modified with soybean glycinin by feeding studies on rats [J]. Biosci Biotechn Bioch, 2000, 64 (9): 1881 - 1886.
- DE VENDÔMOIS J S, ROULLIER F, CELLIER D, et al. A comparison the effects of three GM corn varieties on mammalian health [J]. Int J Biol Sci, 2009, 5 (7): 706 - 726.

蔗糖或过高的蔗糖浓度都会抑制树兰原球茎的增殖,较适宜树兰原球茎增殖的蔗糖质量浓度为 20 g/L。

**2.6 培养条件** 在组织培养过程中,温度、光照、pH 等环境条件对培养物的生长有很大影响。研究表明,树兰组织培养较为适宜的条件:光照强度 1 500 ~ 2 000 lx,光照时间 12 ~ 14 h/d,培养温度(24 ± 2) °C, pH 5.8 ~ 6.0<sup>[17-19]</sup>。

### 3 展望

近年来,虽然国内在树兰组织培养研究方面取得一定的进展,但树兰组织培养快繁技术仍处于未成熟的阶段,在组织培养过程中存在一些问题仍需继续探讨及完善:①与国外相比,国内树兰种质资源较少,因此对树兰品种资源的引进、搜集、筛选及杂交育种等仍是一项艰巨的工作。②外植体的选择是组织培养成功的关键。不同树兰品种以及不同器官部位均存在一定的分化能力差异,培养的难易程度也有很大区别。目前,树兰的离体培养大多选择种子、茎尖、茎段、丛芽、侧芽、幼芽、花梗等为外植体,而尚未见以对母株无伤害、不受季节限制且数量较多的叶片和根尖<sup>[30]</sup>作为外植体进行研究的相关报道。因此,叶片和根尖是否为树兰组织培养中优良的外植体材料仍有待研究。③外植体的消毒是离体培养的重要环节。截至目前,国内对树兰外植体消毒方法的研究极少,外植体的表面消毒处理技术仍是未来研究的难点之一。④建立树兰组织培养快繁体系是实现大规模工厂化生产的关键技术。因此,对树兰优良品种的引进、筛选,组培快繁中外植体诱导萌发、丛生芽形成、增殖分化、生根壮苗培养等各个阶段,以及外植体的来源、培养基的筛选、外源激素、添加物和培养条件等方面的探索仍是今后主要研究内容,以期建立健全、高效、标准化的树兰组培快繁技术体系奠定坚实的技术基础,更快更好地实现树兰优良品种的工厂化生产,从而满足市场需求。

### 参考文献

[1] 曾宋君. 树兰的繁殖栽培[J]. 园林, 2001(3): 28-29.  
 [2] 魏翠华. 树兰的离体培养和植株再生(简报)[J]. 亚热带植物科学, 2006(2): 64-65.  
 [3] 李春华, 李柯澄. 树兰繁殖与栽培[J]. 中国花卉园艺, 2016(24): 22-25.  
 [4] 卢思聪, 张毓, 石雷, 等. 世界栽培兰花百科图鉴[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014: 338-343.  
 [5] 谷祝平, 徐涛. 树兰原球茎增殖中体细胞胚发生的研究[J]. 兰州大学

学报(自然科学版), 1990, 26(1): 76-79.  
 [6] 魏琪, 李凤兰, 胡国富, 等. 蝴蝶兰快速繁殖研究进展[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 915-920.  
 [7] 范成明, 李枝林, 何月秋. 兰花组织培养及分子生物学研究进展[J]. 园艺学报, 2003, 30(4): 487-491.  
 [8] 张志胜, 欧秀娟. 墨兰的组织培养[J]. 园艺学报, 1995, 22(3): 303-304.  
 [9] 崔广荣, 侯喜林, 张子学, 等. 蝴蝶兰叶片离体培养胚状体的发生及组织学观察[J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 431-436.  
 [10] 崔广荣, 刘云兵, 张俊长, 等. 文心兰组织培养的研究[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 253-255.  
 [11] 张宁宁, 夏明霞, 张琼, 等. 卡特兰组织培养研究进展[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 42-44.  
 [12] 于永畅, 牛田, 孙芳, 等. 国兰组织培养研究进展[J]. 山东林业科技, 2012(4): 100-103.  
 [13] 卢思聪. 美丽奇妙的兰花家族之一——树兰[J]. 中国花卉盆景, 2010(3): 2-7.  
 [14] 丁燕芬, 王岩, 龙春林. 中国兰花组织培养研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(8): 2247-2248, 2250.  
 [15] 张建霞, 李洪林, 付志惠, 等. 胶水树兰的组织培养[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(5): 913.  
 [16] 潘雪峰, 凌梅, 王安石. 树兰未成熟种子离体快繁技术[J]. 热带生物学报, 2010, 1(2): 158-164.  
 [17] 孙瑶, 黄康康. 不同激素对树兰组织培养的影响[J]. 浙江农业科学, 2012(3): 342-343.  
 [18] 王泽祺, 李聆睿, 张佳燕, 等. 树兰的组织培养研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 45-48.  
 [19] 周亚倩. 两种兰花的组织培养与诱变效应的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.  
 [20] 易双双, 陆顺教, 冷青云, 等. 树兰茎段丛生芽快繁体系的建立[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(12): 157-162.  
 [21] 金铃. 兰花组织培养研究进展[J]. 现代农业, 2010(7): 14.  
 [22] 杨善云. 蝴蝶兰组织培养的研究进展[J]. 园艺与种苗, 2012(9): 59-61.  
 [23] 鲁雪华, 徐立晖, 郭文杰, 等. 卡特丽亚兰的组织培养[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(2): 242-245.  
 [24] 王荣钦. 外植体部位、激素浓度对卡特兰、蝴蝶兰原球茎形成和增殖的影响[J]. 福建热作科技, 2000(1): 31-32.  
 [25] 赵贵林, 郑平, 何德华, 等. 小型卡特丽亚兰的组培快繁研究初报[J]. 广东农业科学, 2002, 29(5): 24-26.  
 [26] 吕复兵, 罗志娟, 王碧青, 等. 生长素和糖对卡特兰原球茎生长发育的影响[J]. 广东农业科学, 2005, 32(5): 35-36.  
 [27] 谭文澄. 观赏植物组织培养技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991: 237-247.  
 [28] 马生健, 覃金芳, 曾富华. 有机添加物对卡特兰组织培养的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 32-35.  
 [29] 李正民, 王安石, 王健. 蝴蝶兰组织培养研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(15): 19-22.  
 [30] 丁秋露, 赵亚军. 兰花组织培养和分子生物学研究进展[J]. 生物学杂志, 2010, 27(2): 76-79.

(上接第 14 页)

[44] SÉRALINI G E, CELLIER D, DE VENDÔMOIS J S, et al. New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity[J]. Arch Environ Contam Toxicol, 2007, 52(4): 596-602.  
 [45] SANDERS D, KAMOUN S, WILLIAMS B, et al. Long term toxicity of a roundup herbicide and roundup-tolerant genetically modified maize[J]. Food Chem Toxicol, 2012, 50(3): 4221-4231.  
 [46] LIU P, HE X, CHEN D, et al. A 90-day subchronic feeding study of genetically modified maize expressing Cry1Ac-M protein in Sprague-Dawley rats[J]. Food Chem Toxicol, 2012, 50(9): 3215-3221.  
 [47] BAKKE-MCKELLEP A M, KOPPANG E O, GUNNES G, et al. Histological, digestive, metabolic, hormonal and some immune factor responses in

Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed genetically modified soybeans[J]. J Fish Dis, 2007, 30(2): 65-79.  
 [48] SANDEN M, KROGDAHLÅ, BAKKE-MCKELLEP A M, et al. Growth performance and organ development in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. parr fed genetically modified (GM) soybean and maize[J]. Aquacult Nutr, 2006, 12(1): 1-14.  
 [49] BARTHOLOMAEUS A, PARROTT W, BONDY G, et al. The use of whole food animal studies in the safety assessment of genetically modified crops: Limitations and recommendations[J]. Crit Rev Toxicol, 2013, 43(S2): 1-24.  
 [50] THOMAS K, EROUETGUICHENEY C, LADICS G, et al. Evaluating the effect of food processing on the potential human allergenicity of novel proteins: International workshop report[J]. Food Chem Toxicol, 2007, 45(7): 1116-1122.