

转基因作物安全性评价与商品化前景分析

陈洁君¹, 王 劲², 宛煜嵩³, 金芜军³(1. 科学技术部中国生物技术发展中心, 北京 100081; 2. 绵阳师范学院生态与基因研究中心, 绵阳 621000;
3. 中国农业科学院生物技术研究所, 北京 100081)

摘 要: 转基因作物的安全性评价是转基因作物生产和推广的前提, 全面了解转基因作物安全性评价对于指导当前的转基因作物研究具有重要意义。以转基因作物安全性评价实施以来的数据为依据, 全面分析转基因作物安全性评价中使用的基因、改变的性状、转化方法和推广的面积等参数标准, 试图阐明当前转基因发展的趋势和现状。同时还介绍了中国当前转基因作物安全性评价的成果和相关问题。

关键词: 转基因作物; 生物技术; 商品化; 生物安全性

Safety Assessment and Commercialization of Transgenic Crops

CHEN Jie-jun¹, WANG Jin², WAN Yu-song³, JIN Wu-jun³(1. China National Center for Biotechnology Development, Ministry of Science and Technology, Beijing 100081;
2. Research Center of Ecology, Mianyang Normal College, Mianyang 621000; 3. Biotechnology Research Institute,
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Bio-safety evaluation is important for transgenic crop research and an indispensable step in transgenic crops commercialization. This paper is to analyze trends of transgenic crops development based on data of genes, improved traits, transformation methods and pre-commercialization areas of transgenic crops used in transgenic crops safety evaluations in the past 10 years. These data include those retrieved from web (ArgBioworld) and unpublished data from Chinese government.

Key words: transgenic crop; biotechnology; commercialization; bio-safety

转基因技术打破了常规育种技术一些难以克服的障碍, 已在全球范围内显示出巨大的应用价值和商业前景。自 1996 年首次商业种植转基因大豆以来, 全球转基因作物种植面积已经连续 10 多年保持 10% 以上的增长率, 累计种植转基因作物面积约为 4.75 亿 hm^2 。2005 年转基因作物全球种植面积达到 9 000 万 hm^2 。美国、阿根廷、巴西、加拿大和中国是全球几个主要的转基因作物种植国。2005 年美国转基因作物种植面积约为 4 980 万 hm^2 , 占全球种植面积的 55%^[1]。本文以近年来转基因作物的商业化种植和田间试验中的作物、基因种类为重点, 对转基因作物研发进展与生产应用前景进行了分析^[1,2] (本文部分数据来自 <http://www.isb.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm>, <http://www.isaaa.org>)。

1 国际转基因作物田间试验概况

20 世纪 90 年代以来, 全球范围内 45 个国家对 60 余种转基因植物进行了超过 25000 例田间生物安

全试验和生产试验。其中美国在 18000 个试验点进行了 700 多种基因、6 000 多种转基因植物的田间试验。

2002 至 2004 年间, 美国、加拿大、欧盟和澳大利亚, 总共对 4 970 例转基因作物进行了田间试验。其中美国占 70.5%, 加拿大占 23.1%, 欧盟 4.8%, 澳大利亚 1.5%。

迄今为止, 田间试验的转基因性状主要包括 5 大类: 除草剂抗性^[3-11]; 农业有害生物, 如病毒、细菌、昆虫、线虫和真菌抗性^[12-19]; 改善产品品质, 如改变植物中的油份、淀粉、糖类、纤维素^[20-25]; 改良农艺性状, 如提高产量、增强非生物逆境(冷、旱、盐等)耐受能力^[26-31]; 其他性状, 如选择性标记、遗传限制等技术性性状, 以及特殊用途转基因作物性状, 如产生药用蛋白、生物能源等特殊性状^[32-41]。

2 美国转基因作物田间试验情况

2.1 目的基因

20 世纪 90 年代以来, 美国进入田间试验转基

接收日期: 2007-05-09

作者简介: 陈洁君 (1976-), 女, 安徽亳州人, 博士, 保护生物学专业, 目前主要从事生物领域相关管理工作。E-mail: chjj@cncbd.org.cn

因植物 60 余种，涉及基因 700 余种，基因种类、功能、来源日趋丰富^[42]。

①基因种类 第一代：以提高或者改变作物抗性为主，主要包括抗除草剂基因、抗虫基因、抗病基因（抗真菌基因、抗细菌基因、抗病毒基因）、抗线虫基因等。

第二代：以改善作物品质为主，改变氨基酸、脂肪酸组成；增加油份、淀粉、蛋白质和维生素含量；提高果实品质；改变风味；改善加工特性；改变饲喂品质、纤维品质和碳水化合物代谢；改良农艺性状，矮化、改变发育、改变叶形、光合作用、降低重金属毒害、增加产量、提高非生物逆境（冷、旱、盐、热）耐受能力等。

第三代：表达特殊用途的蛋白质的转基因植物；表达特殊用途的蛋白质；包括药用蛋白、酶制剂、工业原料等。

②基因来源 据 agbios 资料，目前全球已经批准商业化应用转基因（遗传改良）植物 107 种，总共使用 158 个外源基因，其中绝大部分来源于微生物，共 128 个，占 81%，来源植物的基因 30 个，但其中绝大部分是传统杂交育种和基因突变导入或产生的新基因。

随着转基因技术发展，基因来源更趋多样化，尤其是来源于植物的基因增加较多。据美国 2005 田间试验数据，转基因生物共使用外源基因 2011 个，其中 1298 个基因作为商业机密未予公布。在所公布 713 个外源基因中，植物来源基因为 415 个，占 58%，动物来源基因也有 39 个，占 5%，来源于微生物基因 259 个，占 36%。

2.2 转基因性状

美国是目前转基因植物研发、田间试验及商业化应用最多的国家之一。笔者以美国 2005-2006 年进入田间试验数据为考察对象，分析田间试验转基因植物目标性状，以期对把握转基因植物产业化发展趋势提供参考。

①美国 2005 年田间试验转基因植物目标性状 2005 年，美国批准进入田间试验转基因植物 900 余例。其中比例最高的仍然是转基因抗除草剂作物，共有 221 例转基因抗除草剂植物进入田间试验，其中又以草甘膦抗性最多，达 66 例。抗虫转基因作物共 96 例，其中鳞翅类昆虫抗性有 41 例，鞘翅类昆虫抗性有 55 例。抗病转基因作物共 58 例，其中抗真菌有 33 例，抗病毒有 14 例，抗细菌性病害有

3 例，抗线虫有 8 例。

其次是改善产品品质转基因植物 254 例，包括改变植物油份含量、油份组成、脂肪酸组成，改变蛋白含量、改变氨基酸组成、增加特定氨基酸（如赖氨酸）含量，改变糖份，增加淀粉含量、改变淀粉代谢，改良果实品质，提高动物饲喂品质，改变开花习性、改变花色等。

排在第三位的是农艺性状改良 162 例，主要是增加产量（63 例）、增强非生物逆境耐受能力（56 例）、增加生长速率（10 例）、提高氮利用效率（2 例）及改变叶形等。

涉及标记性状 58 例，主要用于转化技术、生物安全性及其他相关研究。其中提高遗传转化频率 1 例，降低花粉过敏性 1 例。

其他性状 93 例。包括改变基因表达（21 例）、生产新型药用蛋白（7 例）、改变育性、单性结实、生物修复、采后真菌抗性等。

在 900 余例田间试验转基因植物中，同时具有 2 种以上转基因性状的 189 例，占 21% 左右。

涉及植物种类 50 余种。主要是玉米、棉花、大豆、油菜、水稻、马铃薯、甜菜、烟草、花生、小麦、大麦等转基因作物，以及牧草、草坪草、花卉、林木、蔬菜（黄瓜、洋葱）、水果（西瓜、番木瓜、葡萄、蓝莓、苹果）等。

②美国 2006 年田间试验转基因植物目标性状至 2006 年 6 月，美国进入田间试验转基因作物 700 余例。其中抗除草剂 129 例（抗草甘膦 66 例）；抗虫 86 例（抗蚜虫 2 例）；抗病 70 例（抗真菌 44 例、抗病毒 13 例、抗细菌 10 例、抗线虫 3 例）；改善产品品质 214 例；改变农艺性状 117 例；其他 62 例。

初步统计，与 2005 年田间试验情况相比，2006 年美国进入田间试验转基因植物中，抗虫、抗除草剂转基因植物比例相对下降，抗病转基因植物数量及所占比例均明显增加，主要是抗真菌病害转基因植物数量增加。

改善产品品质转基因植物所占比例也有所增加，性状也更为丰富，如软化胚乳、改变木材品质、改变衰老、产生 Ω -3 脂肪酸、磷脂酶 D 抑制、降低肌醇六磷酸、山梨醇合成下调、重金属镉区隔化等转基因作物开始进入田间试验。

在田间试验转基因植物方面，植物种类达 50 余种，植物种类更加多样，除主要转基因作物外，

转基因蔬菜、水果及特用植物如薄荷等的数量及比例均有增加。

2.3 遗传转化方法

据 agbios 资料, 目前, 全球已经批准商业化应用转基因(遗传改良)植物 107 种, 其中农杆菌介导的遗传转化方法 50 个, 基因枪轰击法 24 个, 直接 DNA 转移法 2 个, 电击介导法 2 个, 化学介导法 1 个, 其中还有通过传统植物育种和种间杂交的 13 个, 化学诱变或自然突变的 15 个。

随着转基因技术发展, 无标记或中性标记技术, 以及基因限制技术在遗传转化中应用广泛, 大规模遗传转化平台技术发展迅速。

3 转基因作物案例分析

3.1 转基因玉米

美国从 1990 年到 2006 年共接受了 5 771 项转基因玉米田间试验的申请, 批准了 5 412 项申请。涉及的性状包括改变农艺性状、抗虫、抗真菌、耐除草剂、提高产品品质及其他性状。其中改变农艺性状的有 668 项, 真菌抗性的有 172 项, 病毒抗性的有 16 项, 细菌抗性的 1 项, 昆虫抗性的有 2 357 项, 抗除草剂的有 1 875 项, 产品质量相关的有 1 127 项, 其他性状改变的有 396 项, 其中生产药物蛋白的申请有 48 项。(注: 同一申请中可能包括多种性状) 近年来多种抗性聚合的申请有增多的趋势, 尤其是不同抗除草剂抗性的聚合, 2006 年竟有多至 29 种性状改变混合在一起的申请出现。另外如提高某种氨基酸含量等提高品质的申请也有所增多。

3.2 转基因大豆

美国从 1985 年到 2006 年共接受了 1 101 项转基因田间试验的申请, 批准了 1 029 项申请。其中最多的除草剂抗性有 492 项, 包括 2,4-D、单氰胺(Cyanamide)、麦草畏(Dicamba)、草甘膦(Glyphosate)、咪唑啉酮(Imidazolinone)、异恶唑草酮(Isoxaflutole)、异恶唑(Isoxazole)、溴苯腈(Bromoxynil)和草丁膦(Phosphinothricin)的抗性, 对草甘膦抗性的申请最多, 达 259 项, 对不同除草剂抗性的申请年份相对集中, 也许反应了某种除草剂应用的时效性; 其次是产品质量改变的申请有 406 项, 主要包括对种子蛋白成分、氨基酸含量和油组分调节的申请; 对真菌抗性的申请有 66 项、对病毒抗性的申请 13 项、对昆虫抗性的申请 87 项, 对线虫抗性的申请有 17 项; 抗逆、提高产

量等农艺性状改变方面的申请有 85 项, 如生产抗体等其他性状改变的申请有 50 项。今年在大豆中同样有多种性状聚合的申请, 2006 年出现 20 多种性状改变聚合的申请。

3.3 转基因棉花

美国从 1985 年到 2006 年共接受了 803 项转基因棉花田间试验的申请, 批准了 768 项申请。涉及的性状包括改变农艺性状、抗虫、抗真菌、耐除草剂、提高产品品质等。其中除草剂耐性的有 361 项申请, 包括对草甘膦、2,4-D、ALS 抑制子、溴苯腈、咪唑啉酮、草丁膦、磺酰脲(Sulfonylurea)等的抗性; 抗虫的(包括鳞翅目、鞘翅目)有 323 项; 棉花纤维品质改良的有 25 项。近年来有整合抗虫、抗除草剂性状及整合抗多种真菌的性状的趋势出现, 并出现一些新的除草剂抗性转基因棉花申请进入田间试验。

3.4 转基因马铃薯

美国从 1985 年到 2006 年共接受了 847 项转基因马铃薯田间试验的申请, 批准了 769 项申请。其中昆虫抗性的申请为 348 项, 真菌抗性的申请为 108 项, 细菌抗性的申请为 38 项, 线虫抗性的申请 1 项, 病毒抗性的申请为 318 项, 除草剂抗性的申请为 81 项, 产品质量改变的申请有 224 项, 农艺性状改变的申请有 6 项, 其他性状为 14 项。马铃薯中未见生产药物蛋白方面的申请。

3.5 转基因苜蓿

美国从 1989 年到 2006 年共接受了 347 项转基因苜蓿田间试验的申请, 批准了 334 项申请。其中除草剂抗性的申请为 301 项, 产品质量相关方面的申请为 19 项, 1 项真菌抗性, 8 项病毒抗性, 2 项昆虫抗性, 4 项农艺相关性状, 11 项其他性状。农艺性状主要是改变氮素代谢及改变花期。除草剂抗性主要是针对草甘膦抗性的申请, 还有少数是针对草丁膦抗性的申请。产品质量主要包括木质素生物合成调节及延缓叶衰老方面的申请。其他性状的申请包括增加次生代谢物和生产药物蛋白和工业蛋白。

3.6 转基因烟草

美国从 1985 年到 2006 年共接受了 336 项转基因烟草田间试验的申请, 批准了 300 项申请。其中产品质量改变的申请最多有 98 项, 病毒抗性的申请有 79 项, 真菌抗性的申请有 22 项, 细菌抗性的申请有 4 项, 线虫抗性的申请 5 项, 昆虫抗性的申

请 16 项, 除草剂抗性的申请有 24 项, 农艺性状改变的申请有 17 项, 其他性状的申请有 43 项。产品质量方面的性状主要包括降低烟碱含量、镉分区、类胡萝卜素及维生素含量改变。其他性状包括药物蛋白制造及多胺代谢调节等, 多为近年申请。

3.7 转基因油菜

美国从 1986 年到 2006 年共接受了 256 项转基因油菜田间试验的申请, 批准了 232 项申请。其中产品质量改变的申请最多有 103 项, 抗除草剂的申请有 89 项, 昆虫抗性的申请有 28 项, 抗真菌的申请有 4 项, 农艺性状改变的申请有 47 项, 其他性状改变的申请有 7 项。产品品质改良主要为油组分改变和脂肪酸代谢改变。在农艺性状中涉及氮素利用及氮素代谢的有 8 项, 主要为今年申请; 涉及雄性不育的有 11 项, 主要为 2000 年以前申请。

3.8 转基因水稻

美国从 1990 年到 2006 年共接受了 250 项转基因水稻田间试验的申请, 批准了 222 项申请。涉及的性状包括改变农艺性状、抗虫、抗细菌、抗真菌、耐除草剂、提高产品品质及一些其他性状。其中抗除草剂的申请 117 项, 包括对草甘膦、咪唑啉酮、草丁膦的抗性; 13 项细菌抗性、9 项真菌抗性、7 项昆虫抗性; 52 项针对农艺性状和产品品质改良的申请中有 37 项是提高产量相关的申请, 近年出现提高氮素高效利用的申请; 其他的一些性状包括重金属生物修复、生产药物蛋白及一些对人类消费有附加价值的蛋白, 其中生产药物蛋白的申请主要集中在 1997 年到 2001 年间, 而以后的申请多是对人类消费有附加价值的蛋白。

3.9 转基因草

美国从 1993 年到 2006 年共接受了 187 项转基因草田间试验申请, 批准了 187 项申请。其中除草剂抗性申请有 132 项, 真菌抗性的申请有 34 项, 昆虫抗性的申请有 3 项, 农艺性状改变相关的申请有 36 项, 产品质量相关的申请有 3 项。农艺性状方面的申请主要是逆境抗性相关的申请, 另外还有少数改变生长速率和改变育性的申请。除草剂抗性主要是针对抗草甘膦和抗草丁膦的申请。

3.10 转基因番木瓜

美国从 1991 年到 2006 年共接受了 28 项转基因番木瓜田间试验申请, 批准了 25 项申请。其中包括细菌、真菌、昆虫、病毒抗性和产品品质的 7 种导入性状。在批准的 25 项申请中, 19 项是环斑

病毒抗性, 导入的基因包括来源于环斑病毒的衣壳蛋白和复制酶基因, 有两项为天蚕素基因分别提供对细菌和真菌的抗性, 有两项为 ACC 合成酶基因用于改善产品品质, 1 项淀粉酶基因用于提供真菌抗性, 1 项防卫素和几丁质酶基因用于提供真菌抗性, 1 项雪花莲凝集素基因提供对叶蝉的抗性。

4 田间试验转基因性状及发展趋势

20 世纪 90 年代, 田间试验转基因作物中比例最大的是除草剂抗性作物, 其次是降低农药用量的环境友好型转基因作物如抗虫、抗病作物, 以及改善农艺性状如降低化肥使用的转基因作物。另外, 还包括改善作物产品品质、增加产品附加值及替代不可再生工业饲料的可再生农业饲料的“第二代”性状如低植酸酶动物饲料、种子油份改良等。

近年来, “第二代”转基因性状的田间试验显示出增加的趋势。在美国国内进行的转基因作物田间试验中, 改善产品品质性状所占比例从 1995 年的 24% 降低到 2000 年的 12%, 但在 2004 年之后再一次增加, 2005 年这一比例为 24%。2003 年, 欧盟对 111 种性状进行了田间试验, 其中 28% 为品质性状。

进入田间试验的改良产品品质转基因性状的增加, 表明研发者及生物安全管理机构均预测第二代转基因作物产业化可能性增加。据美国、欧盟和日本的数据和经验, 一般转基因作物田间试验 2~6 年后, 产品有可能进入市场。

与此同时, 农艺性状改良转基因作物田间试验, 在美国、加拿大的田间试验中所占比例也呈增加趋势。加拿大从 1998 年的 4% 增加到 2004 年的 24%, 2005 年略有下降, 为 22%。美国则从 2000 年的 7% 增加到 2005 年的 17%。

值得关注的是, 近年来, 一些特殊用途的转基因植物开始进入田间试验, 如用于生产药用蛋白、酶制剂及用于能源的转基因植物等。

此外, 进入田间试验的转基因植物种类不断增加, 除转基因玉米、大豆、油菜、棉花、水稻、马铃薯等主要作物之外, 转基因蔬菜、瓜果、牧草、花卉、林木及特用植物数量逐渐增加; 基因种类、来源日益丰富; 转基因性状日趋多样、复杂。2005 年, 美国批准进入田间试验的转基因植物 900 余例, 其中同时具有 2 种以上转基因性状的近 190 例; 2006 年 1 月至 6 月底, 美国批准约 700 例转基因植

物进入田间试验,其中同时具有2种以上转基因性状的近130例。

在国家转基因植物研究与产业化专项支持下,中国转基因作物技术研发取得重要进展,获得了一批具有重要应用价值并拥有自主知识产权的新基因,如融合抗虫基因、新型抗除草剂基因、隐性抗水稻白叶枯病基因等,培育了大批转基因抗虫、抗除草剂、抗逆、品质改良等水稻、玉米、小麦、棉花、油菜、大豆新株系和新品系,到2006年为止农业部共受理的192家研究单位的安全评价申请1525项,经国家农业转基因生物安全委员会评审,共批准了转基因生物中间试验456项、环境释放211项、生产性试验181项,安全证书424项。目前,转基因抗虫棉、耐贮藏番茄、改变花色的矮牵牛花、抗病毒甜椒、抗病毒番木瓜及基因工程疫苗等已获得生产应用安全证书,发挥了显著的社会、经济和生态效益。

进入2006年,全世界转基因作物种植另外的一个重要的趋势是:种植和批准转基因作物的国家和面积均有显著变化。①2006年,全世界总共22个国家种植了转基因作物,另外还有29个国家已经批准了转基因作物的进口,以用做食物、饲料,或是将它们释放到环境中。②印度正在成为亚洲的转基因作物种植的一个领先国家。2006年印度的转基因作物种植面积高速增长,达192%,即250万 hm^2 ,总面积达到了380万 hm^2 ,在全球排名中跃升了两个档次,成为全球第五大转基因作物种植国,首次超过了中国。③欧洲对于转基因作物的态度有所变化。欧盟成员国也在继续增加转基因作物的种植面积,其中斯洛伐克成为25个成员国中第6个种植转基因作物的国家。西班牙依然在欧洲大陆处于领先地位,2006年的种植面积达6万 hm^2 。欧盟其他5个成员国的种植面积增长了5倍,从2005年的1500万 hm^2 增长到了2006年的约8500万 hm^2 。

转基因技术代表了现代农业科技发展的新方向,并将在解决目前人类所面临的粮食安全、环境恶化、资源匮乏、效益衰减等问题上发挥巨大作用。

参考文献

- [1] 美国转基因作物田间试验数据库网址: <http://www.isb.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm>.
- [2] 农业生物技术应用国际服务组织网址: <http://www.isaaa.org>
- [3] 孙雷心. 2005年转基因作物商业化生产全球态势. 生物技术通报, 2006, (2): 105-106.
- [4] Todd F, Han H J, Healy-Fried M L, Fischer M, Schönbrunn E. Molecular basis for the herbicide resistance of roundup ready crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103: 13010-13015.
- [5] Zhou M, Xu H L, Wei X L, Ye Z Q, Wei L P, Gong W M, Wang Y Q, Zhu Z. Identification of a glyphosate-resistant mutant of rice 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase using a directed evolution strategy. *Plant Physiology*, 2006, 140(1): 184-195.
- [6] 陈梁鸿, 王新望, 张文俊, 张晓东, 胡道芬, 刘广田. 抗除草剂草甘膦 EPSPs 基因在小麦中的转化. *遗传学报*, 1999, 26(3): 239-243.
- [7] Ye Q N, Hajdukiewicz P T, Broyles D. *et al.* Plastid-expressed 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase genes provide high level glyphosate tolerance in tobacco. *Plant Journal*, 2001, 25(3): 261-270.
- [8] Comai L, Facciotti D, Hiatt W R, Thompson G, Rose R E, Stalker D M. Expression in plants of a mutant *aroA* gene from *Salmonella typhimurium* confers tolerance to glyphosate. *Nature*, 1985, 317: 741-744.
- [9] Stalker D M, Hiatt W R, Comai L. A single amino acid substitution in the enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase confers resistance to the herbicide glyphosate. *Journal of Biological Chemistry*, 1985, 260: 4724-4728.
- [10] Fitzgibbon J E, Braymer H D. Cloning of a gene from sp. strain PG2982 conferring increased glyphosate resistance. *Applied and Environmental Microbiology*, 1990, 56: 3382-3388.
- [11] Pilacinski W. Petition for determination of nonregulated status for Roundup Ready wheat event MON 71800.02-WT-093F. Submitted to USDA December 18, 2002. Monsanto Company, St. Louis, MO, USA, 2002.
- [12] Duan Y P, Powell C A, Purcifull D E. *et al.* Phenotypic variation in transgenic tobacco expressing mutated geminivirus movement/pathogenicity (BC1) protein. *Molecular Plant Microbe Interaction*, 1997, 10 (9): 1065-1074.
- [13] Wang G L, Song W Y, Ruan D L. The cloned gene, *Xa21*, confers resistance to multiple *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* isolates in transgenic plants. *Molecular Plant Microbe Interaction*, 1996, 9: 850-8.
- [14] 李 枞, 宋艳如. 转基因工程的手段提高植物中淀粉含量. *植物学通报*, 1995, 12: 6.
- [15] Herbers K, Sonnewald U. Production of new/modified proteins in transgenic plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 1999, 10 (2): 163.
- [16] Murphy D J. Production of novel oils in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 1999, 10(2): 175-180.
- [17] Richard J, Mahoney. Opportunity for Agricultural Biotechnology. *Science*, 2000, 288: 815.
- [18] 陈 宏. 基因工程原理与应用. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [19] 李恩虎, 李 毅, 陈章良. 植物抗病毒基因工程研究进展. 走向 21 世纪的植物分子生物学. 北京: 科学出版社, 2000.
- [20] 付顺华. 植物转基因研究进展. 云南林业科技, 2003, (1): 69-74.
- [21] Shine D S, Compadre C M, Maleki S J. *et al.* Biochemical and structural analysis of the IgE binding sites on Ara h1, an abundant and highly allergenic peanut protein. *Journal of Biological Chemistry*, 1998, 273: 13753-13759.
- [22] 孔建强, 赵 琦. 应乐果甜蛋白及其基因工程生命的化学, 2002, 22(3): 243-245.

- [23] Fisher R, Kim S-H, Cho J M. *et al.* Endogenously sweetened transgenic plant products. 1998, US Patent 573940.
- [24] Stoutjesdijk P A, Hurlestone C, Singh S P, *et al.* High-oleic acid Australian *Brassica napus* and *B. juncea* varieties produced by co-suppression of endogenous $\Delta 12$ -desaturases. *Biochemical Society Transaction*, 2000, 28: 938-940
- [25] Katavic V, Friesen W, Barton D L. *et al.* Utility of the Arabidopsis FAE1 and yeast SLC1-1 genes for improvement in erucic acid and oil content in rapeseed. *Biochemical Society Transaction*, 2000, 28: 935-937.
- [26] Apse M P, Aharon G S, Snedden W S, Blumwald E. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na^+/H^+ antiporter in *Arabidopsis*. *Science* 1999, 285: 1256-1258.
- [27] Blumwald E, Aharon G S, Apse, M P, Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2000, 140: 1465-1513.
- [28] Ohta M, Hayashi Y, Nakashima. *et al.* Introduction of a Na^+/H^+ antiporter gene from *Atriplex gmelini* confers salt tolerance to rice. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, 2002, 532: 279-282.
- [29] Zhang H X, Blumwald E. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature Biotechnology*. 2001, 19: 765-768.
- [30] Zhang H X, Hodson J N, Williams J P, Blumwald E. Engineering salt-tolerant *Brassica* plants: characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 200, 98: 12832-12836.
- [31] Wang J, Zuo K, Wu W, Song J, Sun X, Lin J, Li X, Tang K. Expression of a novel antiporter gene from *Brassica napus* resulted in enhanced salt tolerance in transgenic tobacco plants. *Biologia Plantarum*, 2004, 48 (4): 509-515.
- [32] 肖乃仲, 白百峰, 刘锦秀. 等. 植物生物反应器生产药物蛋白的前景. *遗传*, 2003, 25(1): 107-112.
- [33] Hanley Z, Stabas T, Elborough K M. The use of plant biotechnology for the production of biodegradable plastics. *Trends in Plant Science*, 2000, 5(2): 45-46.
- [34] Huang Z, Elkin G, Maloney B J. *et al.* Virus-like particle expression and assembly in plants: Hepatitis B and Norwalk viruses. *Vaccine*, 2005, 23(15): 1851-1858.
- [35] Fraley R T, Rogers S G, Horsch R B, *et al.* Expression of bacterial genes in plant cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1983, 80 (15): 4803-4807.
- [36] Arakawa T, Chong D K, Merritt J L, *et al.* Expression of cholera toxin B subunit oligomers in transgenic potato plants. *Transgenic Research*, 1997, 6(6): 403-413.
- [37] Daniell H, Lee S B, Panchal T, *et al.* Expression of the native cholera toxin B subunit gene and assembly as functional oligomers in transgenic tobacco chloroplasts. *Journal of Molecular Biology*, 2001, 311(5): 1001-1009.
- [38] Koprowski H. Old and new prescriptions for infectious diseases and the newest recipes for biomedical products in plants. *Arch Immunol Ther Exp (Warsz)*, 2002, 50(6): 365-369.
- [39] Pen J, Molendij K L. Production of biologically active jirudin in plants seeds using deosin partitioning. *Plant Molecular Biology*, 1995, 29: 1167.
- [40] Liu J, Selinger B. Plant seed oil-bodies as an immobilization matrix for a recombinant xylanase from the rumen fungus *neocallimastix patriclarum*. *Molecular Breeding*, 1997, 3: 463-470.
- [41] Witcher D. Commercial production of GOS β -glucuronidase: a model system for the production of protein in plants. *Molecular Breeding*, 1998, 4: 301-312.
- [42] 李宏伟. 世界转基因作物发展态势, 全球科技经济瞭望. 2004, 217 (1): 50-51.