

基因工程改良作物营养品质的研究

范士靖 李建粤* 程 磊** 周根余

(上海师范大学生命与环境科学学院,上海 200234)

摘 要 综述了近 10 年来采用基因工程技术改良作物蛋白质、糖类、脂类营养成分研究的最新发展,尤其对作物蛋白质含量及氨基酸组分改良方面进行了详细描述,并简要介绍了基因工程食品可能存在的不安全性问题及解决的办法。

关键词 基因工程, 营养品质改良, 蛋白质, 糖类, 脂类

中图分类号 Q943.2 文献标识码 C 文章编号 1000-3061(2002)03-0381-06

基因工程技术自 20 世纪 70 年代建立后,使得从不同植物品种甚至微生物和动物中分离、纯化的目的基因导入植物已成为可能。利用基因工程技术改良作物品种的研究热点,在 20 世纪 80 年代主要是如何提高作物抗病性和抗虫性方面^[1]。

近年来,随着人民生活水平的提高以及对外贸易的开拓,作物营养品质研究日益引起人们的关注。利用基因工程技术改良作物营养品质的研究始于 20 世纪 90 年代,虽起步较晚,但通过近 10 年的发展,现已取得了一些可喜的成就。本文就其中构成作物的 3 种重要营养要素:蛋白质、糖类和脂类的改良研究作一较为详细的描述。

1 蛋白质

植物是食用及饲用蛋白质的主要来源。作为人类饮食及动物饲料的来源,由于缺少特定的必需氨基酸,因此植物蛋白在营养方面是不平衡的。通常谷物蛋白缺乏赖氨酸(Lys)及色氨酸(Trp),而豆类和多数蔬菜蛋白主要缺少含硫氨基酸,如甲硫氨酸(Met)和半胱氨酸(Cys)^[2,3]。

尽管常规育种方法在改良植物种子蛋白质方面已取得了一些进展,如高 Lys 谷物和大麦突变体的获得^[4]。然而这些突变体由于同时存在产量低、抗虫及抗病性差等不良性状,使它们在农业生产中难以推广。

利用基因工程技术,如今已实现了在不改变作物其它性状的同时,达到提高作物蛋白质品质的目的,主要包括以下几个方面:

1.1 外源基因的直接转化与表达

分子克隆技术和植物转化技术的发展使远缘物种间的

基因转移成为可能。许多富含含硫氨基酸的植物蛋白和编码它们的基因已被鉴定及分离(见表 1)。这些基因可作为提高含硫氨基酸缺陷作物营养品质的基因来源。

表 1 富含硫元素的蛋白质

Table 1 Sulfur-rich proteins

Protein	MW/kD	Source	Author and year
白蛋白	12	巴西果	Nicaud <i>et al.</i> ^[5] , 1994
白蛋白		胡桃	Teuber <i>et al.</i> ^[6] , 1998
白蛋白		向日葵	Kelly <i>et al.</i> ^[7] , 2000
白蛋白	11.3	<i>Cereus jamacaru</i> mill	Aragao <i>et al.</i> ^[8] , 2000
玉米醇溶蛋白	21	玉米	Chui <i>et al.</i> ^[9] , 1995
贮藏蛋白	53	大豆	Krishnan <i>et al.</i> ^[10] , 2000
2S 白蛋白	10	大麻	Odani <i>et al.</i> ^[11] , 1998
11S 球蛋白, 2S 白蛋白		芝麻	Tai <i>et al.</i> ^[12] , 1999

注:*Cereus jamacaru* mill 为山影掌属的一种植物

在巴西果(*Bertholletia excelsa*)2S(Bn2S)白蛋白中,Cys(8%)和 Met(18%)含量较丰富,其 cDNA 已被克隆和测序^[13]。现已用于许多作物的遗传转化,其中有拟南芥属^[14]、甘蓝型油菜(*Brassica napus*)^[14,15]、烟草^[14,16]、马铃薯^[17]和大豆^[18]等。

Molvig 等^[19]将富含 Met 的向日葵种子白蛋白基因导入狭叶羽扇豆以改良其营养价值。与未转化植株相比,转基因植株中 Met 含量提高了 94%。将转基因种子和对照种子同时喂养试验鼠,结果表明在活体增重、实际蛋白消化率、生物

价及净蛋白利用率等方面,转基因种子均超过对照。

为了提高 Lys 缺乏作物的营养品质,张秀君等^[20]构建了两个含高 Lys 蛋白质基因 cDNA 的表达载体,用基因枪法将其导入玉米不同杂交组合的胚性愈伤组织,经 PCR 扩增、点杂交及 Southern 杂交表明该基因已整合进玉米基因组中。测定 13 株 T1 代种子中 Lys 的含量,其中有 3 株 Lys 含量提高 10% 以上。孙学辉等^[21]采用同样的方法使转基因玉米植株种子中 Lys 含量最高提高了 16%。高越峰等^[22]将来源于四棱豆(*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC)的高 Lys 蛋白基因和 ubiquitin 强启动子接合,用基因枪导入水稻幼胚愈伤组织,获得了可育再生植株。PCR 和 Southern 杂交表明该基因整合到水稻基因组中,大部分转基因水稻叶片中 Lys 含量有不同程度提高,最高幅度为 16.04%。

利用总 DNA 导入的方法也可迅速有效地提高作物种子的蛋白质含量。李建粤等将大豆 DNA 通过浸种、幼苗期浇灌法和花粉管通道法导入水稻。蛋白质及氨基酸含量测定表明,大豆 DNA 处理获得的水稻种子与对照相比,其糙米蛋白和 Lys 含量都显著提高^[23]。相关性分析显示处理材料的糙米蛋白含量与直链淀粉含量呈负相关^[24]。洪亚辉等^[25]采用浸胚法将高蛋白玉米马齿黄的总 DNA 导入优质早籼稻。通过连续六年的选择,从变异后代中选出 5 个高蛋白稻新品系。大田试验表明,这些品系能保持原受体较高的产量和抗性等优点,平均蛋白含量达 13.65%,其中有一新品系高达 14.9%。雷勃钧等^[26]利用花粉管导入技术将野生大豆 DNA 直接导入受体栽培大豆。经连续七年的选育及分析,经处理的受体大豆蛋白质含量超过 45%,平均比对照高 1.76 个百分点,球蛋白总量比对照高近 10 个百分点,11S 球蛋白超过了 70%。

通过提高游离态氨基酸的含量也同样可以达到增加该氨基酸在作物中含量的目的。Shaul 和 Galil^[27]将从 *E. coli* 中分离的 DHPS 基因和 CaMV35S 启动子融合并导入烟草,结果表明转基因植株中 DHPS 活性提高了 25 倍。与对照植株相比,由 DHPS 基因合成的酶蛋白对 Lys 的反馈抑制显得不太敏感,这使得转基因植株中游离的 Lys 含量提高了 15 倍。Glassman^[28]用相同的方法在转基因烟草中也观察到游离态 Lys 的超量表达。与对照植株(354 μ g 游离态 Lys/g 叶片)相比,转基因植株叶片每克组织中含有 30 000 μ g 的游离态 Lys。此外,Falco 等^[29]将 *Corynebacterium dapA* 基因(编码 DHPS 和 AK)和一个大肠杆菌的突变 LysC 基因分别连接到一个叶绿体转运肽基因上转入到大豆和 canola 中。结果使 canola 种子的游离 Lys 含量增加 100 倍,种子总 Lys 含量提高一倍。

通过基因工程提高作物铁蛋白含量可改善饮食中铁含量的不足。1999 年,Goto 等^[30]将大豆铁蛋白基因与水稻贮藏蛋白谷蛋白的启动子(GluB-1)相连,通过农杆菌导入水稻。免疫组织印记证实大豆铁蛋白在转基因植株中特异性积累,其含量比对照提高了 3 倍。

1.2 导入经修饰过的外源基因

由于大多数作物种子都含有丰富的贮藏蛋白,如通过密

码子修饰或插入相应的基因序列来改变特定蛋白的氨基酸组成,也可以提高作物必需氨基酸的含量。

De Clercq 等^[14]对提高拟南芥 2S 白蛋白中 Met 含量的可行性进行了研究。他们把 2S 白蛋白中的一段可变序列 AT2S1 用附加 Met 密码子的序列来替换,然后将其导入拟南芥、甘蓝型油菜和烟草中。在 3 种转基因种子中都检测到富含 Met 的 2S 白蛋白的积累,其含量占高盐溶种子蛋白总量的 1% 至 2%。

玉蕊科中一种植物(Paradise nut)的 2S 种子蛋白(Pn2S)含有丰富的 Met 残基(16mol%)^[31]。Zuo 等^[31]对 Pn2S cDNA 的 Cys-6 与 Cys-7 间的序列进行修饰,使它们分别含有 19mol%、21mol% 和 23mol% 的 Met。将 3 种突变的 cDNA 与菜豆蛋白的启动子构成嵌合基因导入烟草,结果显示 3 种蛋白突变体在转基因烟草种子中均能表达、加工和积累。

Ustumi 等^[32]尝试用马铃薯表达大豆球蛋白。他们用马铃薯块茎蛋白(potatin)基因的启动子与大豆球蛋白 A_{1a}B_{1b} 前体 cDNA 和它的修饰序列(IV + 4Met, V + 4Met)构建了两个融合基因,结果两者都能在马铃薯块茎的薄壁细胞中特异性表达,得到了天然的和修饰的大豆球蛋白基因的转录产物。这说明 Potatin 启动子可使大豆球蛋白基因在马铃薯块茎中特异性表达,并且 IV + 4Met 和 V + 4Met 的修饰不会影响球蛋白在薄壁组织中的生物合成和翻译后的加工过程,这将为生产高经济价值的蛋白质提供新的途径。

Tu 等^[17]将巴西果中编码富含 Met 蛋白(含 Met19mol%)的 cDNA 与 CaMV35S 启动子相连,通过农杆菌导入马铃薯栽培品种 Russet Burbank 中。同时导入通过序列修饰产生的四种嵌合突变基因。对于导入不同突变基因的转基因植株,其叶片中蛋白表达水平占总蛋白的 0.01% 至 0.2% 不等,且块茎中蛋白表达量只有叶片的 1/4 至 1/2。这些结果说明对巴西果 2S 蛋白可变区域的修饰可以提高作物 Met 的含量。

1.3 导入人工合成基因

DNA 合成技术的不断完善使合成能编码含有特定必需氨基酸组份蛋白的基因成为可能。Yang 等^[33]人工合成了 292bp 能编码包含 80% 必需氨基酸多肽的 DNA 序列(HEAAE-DNA),并构建 CAT-HEAAE 融合基因导入马铃薯。结果由 CAT-HEAAE 合成的蛋白在块茎中出现,但只占块茎总蛋白量的 0.02% 至 0.35%。这可能是由于启动子的低活性及融合蛋白的不稳定性引起的。

2 糖 类

2.1 对淀粉组成的改良

在绿色植物中,淀粉是仅次于纤维素的第二大多糖。对于淀粉合成的研究一直没有间断过。90 年代以后随着淀粉合成过程中相关酶的基因克隆以及各种植物遗传转化体系的相继建立,利用基因工程进行淀粉合成的调控已有大量报道^[34,35]。本文仅例举调控淀粉组成的一些初期尝试。

在稻米中,直链淀粉与支链淀粉含量的比例高低,会影响稻米的食味品质。一般而言,直链淀粉含量越高,稻米口

感越差。Shimada 等^[36]将水稻蜡质基因的部分编码区构建成反义 *Waxy* 基因,并通过电击法将其导入水稻,在转基因后代植株中发现部分植株种子中的直链淀粉含量明显降低。Terada 等^[37]通过导入反义 *Waxy* 基因来研究 *Waxy* 基因的表达。他根据 I-KI 染色的结果将 T₂ 代植株分为三种类型,即直链淀粉含量明显降低、淀粉含量稍微降低和完全不降低的。对前两类株系进行单粒直链淀粉及 *Wx* 蛋白含量测定,结果显示分别降低至对照系的 5%~30% 及 50%~90%。

2.2 对糖含量的调控

蔗糖-6-磷酸聚合酶在高等植物中催化 UDPG-葡萄糖转化为蔗糖-6-磷酸。Worrell 等^[38]将玉米的蔗糖-磷酸合成酶基因导入番茄叶片,观察到该酶的活性增加了一倍,并引起转基因叶片淀粉含量降低,蔗糖含量升高。由于在胞质溶胶中,从 1,6-果糖-二磷酸转变为果糖-6-磷酸时会产生焦磷酸

(PPi),Sonnewald^[39]试图用 *E. coli* 的无机焦磷酸基因的表达来降低烟草和马铃薯叶片胞质溶胶中 PPi 的含量,实验结果表明,烟草和马铃薯中糖与淀粉的比值都提高了。

Martineau 等^[40]通过使编码异戊烯转移酶的基因在番茄果实中的表达来提高其子房中内源细胞分裂素含量。他们在实验中还观察到番茄果实中固体内含物含量的大幅度增加,其中有些株系的糖与酸比值(SAR)也有提高。这一方面可降低运输和加工过程中水份的散发,另一方面又能提高番茄的食用口味。

3 脂类

植物脂类是人类饮食中重要的组成部分,它主要来源于油料作物的种子。有关作物脂类合成的酶及基因的分子生物学研究进展见表 2。

表 2 脂类合成有关酶及基因分子生物学研究进展

Table 2 Molecular biological studies of lipid enzymes and genes

Enzymes and genes	Cultivar	Subject	Author and year
ACP-硫酯酶	加州桂	<i>E. coli</i> 表达;合成调控	Voelker <i>et al.</i> ^[41] ,1994
ACP-硫酯酶	拟南芥	cDNA 克隆; <i>E. coli</i> 表达	Dormann <i>et al.</i> ^[42] ,1995
16-D-ACP-硫酯酶(萼距花)	油菜	进化起源	Jones <i>et al.</i> ^[43] ,1995
1-酰基-sn-甘油-3-磷酸酰基转移酶	椰子	cDNA 克隆	Knutzon <i>et al.</i> ^[44] ,1995
溶血磷脂酰基转移酶(<i>Limnanthes alba</i>)	油菜	功能研究	Lassner <i>et al.</i> ^[45] ,1995
FatB(<i>California bay</i> ;樟树)	拟南芥,油菜	<i>E. coli</i> 表达;功能研究	Yuan <i>et al.</i> ^[46] ,1995
溶血磷脂酰基转移酶(椰子)	油菜	功能研究	Knutzon <i>et al.</i> ^[47] ,1999
AtFAB1(拟南芥)	拟南芥,油菜	功能研究	Dormann <i>et al.</i> ^[48] ,2000
3-氧酰基-ACP 还原酶	甘蓝型油菜	功能研究	O'Hara <i>et al.</i> ^[49] ,2001

注:第一栏括号内所注表示来源作物。

植物脂类的理化特性和营养价值由脂肪酸组份决定。减少食物中饱和脂肪酸的含量,发展含不饱和脂肪酸的植物油是如今人们关注的两个方面。

3.1 改变脂肪酸的饱和度

Knutzon 等^[50]首先从芜菁(*Bassica rapa*)中分离出编码硬脂酰-ACP 去饱和酶的 cDNA,并用它构建两个种子特异性嵌合反义结构。然后通过农杆菌导入原先的作物及甘蓝型油菜中。结果表明,反义 RNA 有效地抑制了去饱和酶的表达,一些转基因种子硬脂酸含量占总脂肪酸含量的 40%,并伴随着油酸的下降,而未转化种子硬脂酸含量仅为 1.2%。在转基因芜菁中还观察到高硬脂酸含量种子的油脂含量低,且没有萌发力。相反,转基因甘蓝型油菜种子虽然具有 40% 的高硬脂酸含量,但油脂含量及萌发力均正常。此项研究是第一个运用基因工程手段来改变种子油脂组份的研究。高硬脂酸含量的油脂可用于生产人造奶油和用作可可油的替代品。

γ -亚麻酸等不饱和脂肪酸对人体健康有其独特的生物功效。植物油含有一定量的不饱和脂肪酸可以提高其营养和经济价值。Reddy 等^[51]在烟草中导入兰藻 $\Delta 6$ 脂肪酸脱饱

和酶基因,结果使 γ -亚麻酸在转基因烟草中大为积累。Sayanova 等^[52]克隆了 $\Delta 6$ 脂肪酸脱饱和酶的 cDNA,在烟草中实现表达。在转基因烟草植株叶片中检测到大量 γ -亚麻酸和十八碳四烯酸。

3.2 改变脂肪酸链的长度

在植物中,FA 合成的最终产物通常是由 16 或 18 个碳原子组成的长链脂肪酸,但由于硫酯酶的出现,一些高等植物会积累大量以 8 至 14 个碳原子为主的中链脂肪酸。中等长度的脂肪酸可作食物和用于工业生产。

Voelker 等^[53]从一种积累 caprate(10:0)和月桂酸(12:0)的油料作物,加州桂(*Umbellularia californica*)未成熟种子中分离出编码中链脂肪酸的 12:0-ACP 硫酯酶的 cDNA。将该 cDNA 与芜菁种子贮藏蛋白的启动子融合,然后导入拟南芥。结果显示,在转基因植物中,12:0-ACP 硫酯酶活性与对照植物相比提高了 70 倍,而对照植物的酶活性是以 18:1-ACP 硫酯酶为主。同时还发现低活性 14:0-ACP 的水解活性在转基因植株中同样也提高了 7 倍。成熟种子的脂类分析表明未转化植株中不存在月桂酸,而在所有转基因植株都有月桂酸的积累。在转基因作物中,虽然脂肪酸总含量不变,但中链

- al.* Transfer of Lysine-rich protein gene into rice and production of fertile transgenic plants (in English). *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 2001, **43**(5): 506 ~ 511
- [23] LI J Y (李建粤), ZHOU G Y (周根余), XU Y (许燕) *et al.* The content analyses of crude protein amino acid in rice seeds induced by exogenous DNA from soybean. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究) 2000, **20**(2): 189 ~ 194
- [24] LI J Y (李建粤), XU Y (许燕), ZHANG W (张伟). The correlation analysis of the crude protein contents and amylose contents in the off-springs seeds obtained by introducing exogenous DNA of soybean into rice. *J Shanghai Teachers Univ Natural Sci* (上海师范大学学报自然科学版), 1999, **28**(1): 89 ~ 93
- [25] HONG Y H (洪亚辉), XIAO L T (萧浪涛), DONG Y Y (董延瑜). Rice strains containing high protein obtained by introducing com DNA into rice. *J Hunan Agrical Univ* (湖南农业大学学报), 2000, **26**(1): 28 ~ 30
- [26] LEI B (雷勃钧), QIAN H (钱华), LI X (李希臣) *et al.* Breeding of a high -yielding, high-quality and high -protein content soybean Cultivar-Heisheng 101 through direct introduction of alien DNA. *Acta Agronomica Sci* (作物学报), 2000, **26**(6): 725 ~ 730
- [27] Shaul O, Galili G. Increased lysine biosynthesis in tobacco plants that express high levels of bacterial dihydrodipicolinate synthase in their chloroplasts. *Plant J*, 1992, **1**(2): 203 ~ 209
- [28] Glassman K F. A molecular approach to elevating free lysine in plants. *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*. Singh B K, Flores H E and Shannon J C Ed, ASPP, 1992
- [29] Falco S C, Guida T, Locke M *et al.* Transgenic canola and soybean seeds with increased lysine. *Biol/Technology*, 1995, **13**(6): 577 ~ 582
- [30] Goto F, Yoshihara T, Shigemoto N *et al.* Iron fortification of rice seed by the soybean ferritin gene. *Nat Biotechnol*, 1999, **17**(3): 282 ~ 286
- [31] Zuo W N. Sulfur-rich 2S proteins in *Lecythidaceae* and their methionine-enriched forms in transgenic plants. Ph. D thesis, University of Hawaii-Manoa, 1993
- [32] Utsumi S, Kitagawa S, Katsube T *et al.* Expression and accumulation of normal and modified soybean glycinins in potato tubers. *Plant Science*, 1994, **102**(1): 181 ~ 188
- [33] Yang M S, Espinoza N O, Nagpala P G *et al.* Expression of a synthetic gene for improve protein quality in transformed potato plants. *Plant Sci*, 1989, **64**(1): 99 ~ 111
- [34] BAO J S (包劲松). Gene engineered improvement of crop starch quality. *Acta Agriculturae Shanghai* (上海农业学报), 1998, **14**(1): 90 ~ 96
- [35] XU J W (徐军望), LI X (李旭刚), ZHU Z (朱祯). Manipulation of starch quality via genetic engineering. *Biotechnology Information* (生物技术通报), 2000, **16**(1): 11 ~ 18
- [36] Shimada H, Tada Y, Kawasaki T *et al.* Antisense regulation of the rice waxy gene expression using a PCR-amplified fragment of the rice genome reduce the amylose content in grain starch. *Theor Appl Genet*, 1993, **86**(6): 665 ~ 672
- [37] Terada R, Nakajima M, Isshiki M *et al.* Antisense Waxy genes with highly active promoters effectively suppress Waxy gene expression in transgenic rice. *Plant Cell Physiol*, 2000, **41**(7): 881 ~ 888
- [38] Worrell A C, Bruneau J M, Summerfelt K *et al.* Expression of maize sucrose phosphate synthase in tomato alters leaf carbohydrate partitioning. *Plant Cell*, 1991, **3**(3): 1121 ~ 1130
- [39] Sonnnewald U. Expression of *E. coli* inorganic pyrophosphatase in transgenic plants alters photoassimilate partitioning. *Plant J*, 1992, **11**(2): 571 ~ 581
- [40] Martineau B, Summerfelt K R, Adams D F *et al.* Production of high solids tomatoes through molecular modification of levels of the plant growth regulator cytokinin. *Biol/Technology*, 1995, **13**(6): 250 ~ 254
- [41] Voelker T A, Davies H M. Alteration of the specificity and regulation of fatty acid synthesis of *Escherichia coli* by expression of a plant medium-chain acyl-acyl carrier protein thioesterase. *J Bacteriol*, 1994, **176**(23): 7320 ~ 7327
- [42] Dormann P, Voelker T A, Ohlrogge J B. Cloning and expression in *Escherichia coli* of a novel thioesterase from *Arabidopsis thaliana* specific for long-chain acyl-acyl carrier proteins. *Arch Biochem Biophys*, 1995, **316**(1): 612 ~ 618
- [43] Jones A, Davies H M, Voelker T A. Palmitoyl-acyl carrier protein (ACP) thioesterase and the evolutionary origin of plant acyl-ACP thioesterases. *Plant Cell*, 1995, **7**(3): 359 ~ 371
- [44] Knutzon D S, Lardizabal K D, Nelsen J S *et al.* Cloning of a coconut endosperm cDNA encoding a 1-acyl-sn-glycerol-3-phosphate acyltransferase that accepts medium-chain-length substrates. *Plant Physiol*, 1995, **109**(3): 999 ~ 1006
- [45] Lassner M W, Levering C K, Davies H W *et al.* Lysophosphatidic acid acyltransferase from meadowfoam mediates insertion of erucic acid at the sn-2 position of triacylglycerol in transgenic rapeseed oil. *Plant Physiol*, 1995, **109**(4): 1389 ~ 1394
- [46] Yuan L, Voelker T A, Hawkins D. Modification of the substrate specificity of an acyl-acyl carrier protein thioesterase by protein engineering. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1995, **92**(23): 10639 ~ 10643
- [47] Knutzon D S, Hayes T R, Wyrick A *et al.* Lysophosphatidic acid acyltransferase from coconut endosperm mediates the insertion of laurate at the sn-2 position of triacylglycerols in lauric rapeseed oil and can increase total laurate levels. *Plant Physiol*, 1999, **120**(3): 739 ~ 746
- [48] Dormann P, Voelker T A, Ohlrogge J B. Accumulation of palmitate in *Arabidopsis* mediate by the acyl-acyl carrier protein thioesterase FATB1. *Plant Physiol*, 2000, **123**(2): 637 ~ 644
- [49] O'Hara P, Slabas A R, Fawcett T. Fatty acid synthesis in developing leaves of *Brassica napus* in relation to leaf growth and changes in activity of 3-oxoacyl-ACP reductase. *FEBS Lett*, 2001, **448**(1-2): 18 ~ 22
- [50] Knutzon D S, Thompson G A, Radke S E *et al.* Modification of *Brassica* seed oil by antisense expression of a stearyl-acyl carrier protein desaturase gene. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1992, **89**(7): 2624 ~ 2628
- [51] Reddy A S, Thomas T L. Expression of a cyanobacterial delta 6-desaturase gene results in gamma-linolenic acid production in transgenic plants. *Nat Biotechnol*, 1996, **14**(5): 639 ~ 642
- [52] Sayanova O, Smith M A, Lapinskas P *et al.* Expression of a borage desaturase cDNA containing an N-terminal cytochrome b5 domain results in the accumulation of high levels of delta6-desaturated fatty acids in transgenic tobacco. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1997, **94**(8):

- [53] Voelker T A , Worrell A C , Anderson L *et al.* Fatty acid biosynthesis redirected to medium chains in transgenic oilseed plants. *Science* , 1992 , **257** (5066) : 72 ~ 74
- [54] Gleave A P , Mitra D S , Mudge S R *et al.* Selectable marker-free transgenic plants without sexual crossing : transient expression of cre recombinase and use of a conditional lethal dominant gene. *Plant Molecular Biology* , 1999 , **40** (2) : 223 ~ 235
- [55] Ebinuma H , Sugita K , Matsunaga E *et al.* Selection of marker-free transgenic plants using the isopentenyl transferase gene. *Proc Natl Acad Sci USA* , 1997 , **94** (6) : 2117 ~ 2121
- [56] Lu H J , Zhou X R , Gong Z X *et al.* Generation of selectable marker-free transgenic rice using double right-border (DRB) binary vectors. *J Plant Physiology* , 2001 , **28** (3) : 241 ~ 248
- [57] Wang A S , Evans R A , Altendorf P R *et al.* A mannose selection system for production of fertile transgenic maize plants from protoplasts. *Plant Cell Reports* , 2000 , **19** (7) : 654 ~ 660

Studies on Improving Crop Nutritional Quality Through Gene Engineering

FAN Shi-Jing LI Jian-Yue* CHENG Lei** ZHOU Gen-Yu

(*Life and Environment Science College , Shanghai Teachers University , Shanghai 200234 , China*)

Abstract This paper summarizes the studies on improving crop nutritional quality including protein , saccharide and lipid through gene engineering in recent 10 years . Special emphasis is laid upon the improvement of protein contains and amino acid components . The food safety caused probably by gene engineering and some ways to solve the problem are introduced briefly .

Key words gene engineering , crop nutritional quality improvement , protein , saccharide , lipid

Received : 09-24-2001

This work was supported by Grant from Shanghai Science and Technology Development Foundation .

* Corresponding author . Tel 86-21-64322931 ; E-mail lijianyue01@yahoo.com.cn

** Shanghai University of Traditional Chinese Medicine , Doctor graduate