

类胡萝卜素生物合成相关基因的克隆及其遗传工程的研究进展

郑阳霞^{1,2,3} 杨婉身¹ 季 静^{3*} 王 罡³

(四川农业大学,¹ 生命理学院,² 林学院园艺学院, 雅安 625014;

³ 天津大学农业与生物工程学院, 天津 300072)

摘要 类胡萝卜素具有重要的生物学功能, 尤其对人体健康有着更重要的作用, 近年来一直是研究的热点。综述了类胡萝卜素生物合成途径及相关基因的分离, 以及运用这些基因提高微生物和植物中类胡萝卜素含量的遗传工程研究进展。

关键词 类胡萝卜素; 生物合成; 基因; 遗传工程

类胡萝卜素是自然界广泛存在的一大类色素, 具有许多重要的生理功能。在植物中, 类胡萝卜素是光合作用的辅助色素和光氧化作用保护剂^[1]; 同时也是构成花果颜色的重要色素, 具有重要的农艺价值。在人类所需营养中, 类胡萝卜素扮演着更为重要的角色。有 40 余种类胡萝卜素可被人体吸收利用, 尤其是 β -胡萝卜素具有重要的临床意义^[2]。Blumberg 在《第二届抗氧化剂维生素在预防疾病中的作用》国际会议中将 β -胡萝卜素对人体的有益作用概括为以下几方面内容: β -胡萝卜素是维生素 A 的前体, 具有免疫功能, 具有抗氧化功能, 能淬灭单线态氧和清除体内氧自由基的不良影响, 能预防癌症, 延缓癌症的发展^[3]。对菲律宾、加拿大和中国的食道癌患者的调查都证明 β -胡萝卜素对食道癌能产生缓解作用^[4]。但类胡萝卜素在许多植物中含量较低, 并且很难用化学方法合成。因此类胡萝卜素生物合成途径、催化各步反应所需酶的基因及其遗传工程一直倍受人们关注。近年来, 对其主要合成途径的研究取得巨大进展, 已从分子水平阐释其生物合成途径, 关键酶基因先后得到分离, 并已初步实现通过遗传工程技术改变植物和微生物中类胡萝卜素的组成和含量。

1 类胡萝卜素的生物合成途径

类胡萝卜素的生物合成途径十分复杂, 是类异戊二烯代谢体系中的一个分支, 由一系列不同的阶段组成。异戊烯焦磷酸(IPP)是该途径的前体物质, 它由葡萄糖分子转化而来^[5]。IPP 在 IPP 异构酶作用下生成二甲基丙烯基二磷酸(DMAPP), 然后再与 3

个 IPP 缩合, 依次生成牻牛儿焦磷酸(GPP)、法尼基二磷酸(FPP)和牻牛儿基牻牛儿焦磷酸(GGPP)。2 个 GGPP 在八氢番茄红素合成酶(PSY)作用下形成第一个无色的类胡萝卜素——八氢番茄红素。八氢番茄红素经过连续的脱氢反应, 共轭双键延长, 直至形成链孢红素, 番茄红素。番茄红素是类胡萝卜素进一步合成代谢的分支点: 一条途径是在番茄红素 β -环化酶(LycB)的作用下产生 β -胡萝卜素; 另一条途径是在番茄红素 β -环化酶(LycB)和番茄红素 ϵ -环化酶(LycE)的共同作用下合成 α -胡萝卜素。从八氢番茄红素起至 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素, 均不含氧原子, 统称为胡萝卜素。在 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素分子中引入羟基、甲氧基、酯键等之后形成结构更为复杂的含氧衍生物——叶黄素。由 α -胡萝卜素转化而来的主要为叶黄质, 而绝大多数叶黄素如隐黄质、玉米黄素、环氧玉米黄素、虾青素、角黄素、辣椒红素、辣椒玉红素等则由 β -胡萝卜素转化而来^[6]。在不同的生物体中, 这一途径的某个阶段、某些酶所催化的反应和某些中间代谢产物可能有所不同, 但其总体过程是相同的。

2 类胡萝卜素生物合成的主要酶及其基因

Armstrong 等^[7]首次从荚膜红细菌(*Rhodobacter capsulatus*)中分离出类胡萝卜素生物合成基因。随后 Misawa 等^[8]从噬夏孢欧文氏菌(*Erwinia uredovora*)

收稿日期: 2005-11-03 接受日期: 2006-02-16

“国家植物转基因技术研究开发与中试基地建设”专项课题资助
(No.J99-B-001)

* 通讯作者。Tel: 022-87402200, E-mail: jijingtjdx@163.com

中也克隆到参与类胡萝卜素生物合成基因。目前,已有 150 多个类胡萝卜素合成酶基因被分离,这些基因都为结构基因,共编码 20 多种不同类胡萝卜素合成酶(表 1)。其中胡萝卜 *lycB*、*CCS* 基因是由陈大明^[9]利用 RACE 技术从其肉质根中分离出来;柑

桔 *lycB*、*CCS* 基因由徐昌杰等^[10]分离到;我们从我国的传统名贵中药枸杞中分离出 *Psy* 和 *lycB* 基因。这些基因的分离为我国开发和利用该系列合成酶基因打下了基础。

所有这些基因序列都可以通过互联网从

表 1 已分离的部分类胡萝卜素主要合成酶基因

酶	基因	生物	登录号
GGPP 合成酶	<i>crtE</i>	欧文氏菌(<i>Erwinia uredevora</i>)	D90087
	<i>crtE</i>	集胞藻(<i>Synechocystis pcc6803</i>)	D90899
	<i>Ggps</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	L25813
	<i>Ggps</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	X80267
八氢番茄红素合成酶	<i>crtB</i>	农杆菌(<i>Agrobacterium aurantiacum</i>)	D58420
	<i>crtB</i>	集胞藻(<i>Synechocystis pcc6803</i>)	X69172
	<i>Psy</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	X68017
	<i>Psy</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	L25812
	<i>Psy</i>	黄水仙(<i>Lpsea speciosa</i>)	X78814
	<i>Psy1</i>	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	A21360
	<i>Psy2</i>	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	L23424
	<i>Psy</i>	枸杞(<i>Lycium barbarum</i>)	AY920918
八氢番茄红素脱氢酶	<i>Pds</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	L16237
	<i>Pds</i>	玉米(<i>Zea mays</i>)	L39266
	<i>Pds</i>	黄水仙(<i>Lpsea speciosa</i>)	X78815
	<i>Pds</i>	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	M88683
	<i>crtP</i>	集胞藻(<i>Synechocystis pcc6803</i>)	X62574
	<i>crtI</i>	荚膜红细菌(<i>Rhodobacter capsulatus</i>)	Z11165
	<i>crtI</i>	欧文氏菌(<i>Erwinia uredevora</i>)	D90087
	<i>crtQ</i>	集胞藻(<i>Synechocystis pcc6803</i>)	X65274
ζ-胡萝卜素脱氢酶	<i>Zds</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	U38550
	<i>Zds</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	X68058
	<i>Zds</i>	黄水仙(<i>Lpsea speciosa</i>)	AJ224683
	<i>Zds</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	X86221
番茄红素 β-环化酶	β-Lyc	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	X86452
	β-Lyc	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	L40176
	β-Lyc	胡萝卜(<i>Daucus carota</i>)	AF208531
	β-Lyc	柑桔(<i>Citrus</i>)	AF240787
	β-Lyc	枸杞(<i>Lycium barbarum</i>)	AY906864
	β-Lyc	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	U50738
番茄红素 ε-环化酶	ε-Lyc	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	Y14387
	ε-Lyc	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	Y14387
β-胡萝卜素羟化酶	<i>crtZ</i>	农杆菌(<i>Agrobacterium aurantiacum</i>)	D58420
	<i>Bch</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	U58919
	<i>Bch</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	Y09225
玉米黄素环氧酶	<i>Zep1</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	T45502
	<i>Zep1</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	X91491
	<i>Zep</i>	烟草(<i>Nicotiana benthamiana</i>)	X95732
	<i>Zep</i>	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	Z83835
紫黄质脱环氧酶	<i>Vde1</i>	拟南芥(<i>Arabidopsis thalina</i>)	N37612
	<i>Vde</i>	烟草(<i>Nicotiana benthamiana</i>)	U34817
	<i>Vde</i>	莴苣(<i>Lactuca sativa</i>)	U31462
辣椒红素 / 辣椒玉红素合成酶	<i>Ccs</i>	辣椒(<i>Capsicum annuum</i>)	X77289
	<i>Ccs</i>	胡萝卜(<i>Daucus carota</i>)	AF208530
	<i>Ccs</i>	柑桔(<i>Citrus</i>)	AF169241
新黄质合成酶	<i>Nxs</i>	马铃薯(<i>Solanum tuberosum</i>)	AJ272136
	<i>Nxs</i>	番茄(<i>Lycopersion esculenum</i>)	Y18297

GenBank、EMBI 核酸序列数据库和日本 DNA 数据库中获得。在上述克隆工作中,除采用异源分子杂交、差异 cDNA 文库筛选、转座子标记以及利用纯化酶的抗体对 cDNA 文库进行筛选、RACE 等一般的克隆技术外,还利用“颜色互补”这一特定技术克隆类胡萝卜素合成酶基因。

3 类胡萝卜素的遗传工程

类胡萝卜素生物合成途径及其主要基因的阐明与分离,为类胡萝卜素遗传工程的开展打下了基础。近年来,研究人员在微生物和植物的类胡萝卜素遗传工程方面已做了大量的工作,并取得重大突破。

3.1 微生物类胡萝卜素的遗传工程

通过遗传工程技术已在一些不能产生类胡萝卜素的微生物中成功合成类胡萝卜素,同时也改变了一些能合成类胡萝卜素的微生物中类胡萝卜素的含量和种类^[11]。主要在大肠杆菌、酵母和集胞藻上获得了成功。大肠杆菌(*Escherichia coli*)不具有合成类胡萝卜素的能力,但细胞中含有类胡萝卜素合成的前体物质 IPP、DAMPP 和 GGPP。目前已经在大肠杆菌中表达了许多类胡萝卜素合成酶基因^[12]。Ruther 等^[13]和 Kajiware 等^[14]将 3 个携带欧文氏菌类胡萝卜素合成酶基因的质粒: pACCRT-EIB(载有 *crtE*, *crtB*, *crtI*)、pACCAR16Δ*crtX*(载有 *crtE*, *crtB*, *crtI*, *crtY*)和 pACCAR25Δ*crtX*(载有 *crtE*, *crtB*, *crtI*, *crtY*, *crtZ*)转入 JM101 大肠杆菌,分别生产出 200~500 μg/g (DW)的番茄红素,β-胡萝卜素和玉米黄素。实现了利用大肠杆菌合成类胡萝卜素的目标。

组合类胡萝卜素合成酶基因,不仅可以合成现已商品化生产的类胡萝卜素,如虾青素和β-胡萝卜素,而且还可以合成天然材料中稀有的甚至自然界不存在的类胡萝卜素。例如 Schmidt-Dannert 等^[15]在大肠杆菌中对来自不同微生物的八氢番茄红素去饱和酶基因进行重组,结果产生了新类胡萝卜素——3,4,3'4'-四氢番茄红素。又在这种新的合成途径中引入番茄红素环化酶基因,产生了一系列有颜色的类胡萝卜素,并首次在大肠杆菌中合成了新的环状类胡萝卜素——鲨烯(torulene)。Albrecht 等^[16]将欧文氏菌或荚膜红杆菌的 *crtI* 与 *crtC* 和 *crtD* 或者与 *crtY*, *crtZ* 和 *crtC* 组合,合成了 8 种无环和有环羟基类胡萝卜素。此后他们通过引入八氢番茄红素五步脱氢酶,在大肠杆菌中得到 4 种抗氧化性能更强的非天

然类胡萝卜素。

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)和产朊假丝酵母(*Candida utilis*)自身也不能合成类胡萝卜素,但体内积累大量的类异戊二烯化合物麦角固醇,麦角固醇和类胡萝卜素有共同的前体 FPP。Yamano 等^[17]把欧文氏菌类胡萝卜素合成酶基因转入酿酒酵母中,改变了其代谢途径,合成了β-胡萝卜素和番茄红素,约有 10% 麦角固醇转向类胡萝卜素合成。Ausich 等^[18]报道,通过欧文氏菌类胡萝卜素基因的遗传操作,在酿酒酵母转化体上获得了番茄红素,玉米黄素等。

产朊假丝酵母体内的麦角固醇含量是酿酒酵母的 2~3 倍,因此产朊假丝酵母的类胡萝卜素遗传工程更具有应用前景。利用酵母的启动子把欧文氏菌的胡萝卜素合成酶基因 *crtE*、*crtB* 和 *crtI* 重组后转入产朊假丝酵母 IFO0988 菌株中,结果产生 1.1 mg/g (DW)番茄红素,约有 35% 麦角固醇转向类胡萝卜素合成^[19]。Miura 等^[20]将细菌类胡萝卜素生物合成途径中的相关基因,根据产朊假丝酵母密码子用法修饰后,在产朊假丝酵母的组成型启动子控制下表达,得到的酵母菌株中番茄红素产率可以提高 1.5 倍,同时还得到了β-胡萝卜素和虾青素。

集胞藻(*Synechocystis* sp.)自身能够合成类胡萝卜素,主要含有β-胡萝卜素和玉米黄质。目前已有多种类胡萝卜素合成酶基因在集胞藻中表达。用集胞藻 PCC6803 的 *crtB* 和欧文氏杆菌的 *crtB* 转化集胞藻(PCC7942),类胡萝卜素含量分别提高了 60% 和 20%^[21]。用欧文氏杆菌的β-胡萝卜素羟化酶基因转化时,总胡萝卜素含量不变,但β-胡萝卜素大量转化为玉米黄质,玉米黄质的含量由原来的 32% 提高到 55%^[21]。

3.2 植物类胡萝卜素的遗传工程

植物类胡萝卜素遗传工程开始时并不完全成功,PSY 基因的组成型过量表达,打乱了植株体内代谢平衡,使得赤霉素和脱落酸的合成量减少,引起植株生长异常,反而最终抑制类胡萝卜素合成^[22]。但现在已经通过遗传工程技术提高了油菜、水稻、番茄等植物中的类胡萝卜素含量。

Shewmaker 等^[23]将欧氏杆菌 *crtB* 基因与油菜种子特异启动子连接转入油菜进行过量表达,获得胚呈橙黄色的转基因油菜。成熟种子中类胡萝卜素含量增加了 50 倍,其主要为β-胡萝卜素和α-胡萝卜素,八氢番茄红素也可检测到。这可能是由于油菜

种子中的类胡萝卜素生物合成途径被活化。Ravanello 等^[24]将细菌 *crtE*、*crtB* 和 *crtI* 基因一起构成表达载体转入油菜, 也极大地促进了油菜中类胡萝卜素的生物合成。

水稻成熟胚乳虽然能够合成并积累 GGPP, 但完全缺乏类胡萝卜素。Burkhardt 等^[25]曾将黄水仙 *PSY* 基因在水稻胚乳特异性启动子控制下进行过量表达, 结果获得胚乳中积累八氢番茄红素的稻米。表明利用遗传工程手段使水稻中 GGPP 向类胡萝卜素合成方向转化是可行的。在此基础上, Ye 等^[26]将黄水仙的 *PSY*、*LycB* 基因和细菌八氢番茄红素脱氢酶 *crtI* 基因一起构成表达载体转入到一个粳稻品种中, 结果获得了胚乳呈黄色的“金大米”, 在其种子中检测到 β -胡萝卜素, 其含量高达 $1.6 \mu\text{g/g}$ (DW)。Hoa 等^[27]将 *PSY* 基因和 *crtI* 基因一起分别转化籼稻和粳稻品种, 均得到了不同类胡萝卜素表达量的“金水稻”。Paine 等^[28]将不同植物来源的 *PSY* 基因分别同 *crtI* 基因一起转化水稻, 均可得到类胡萝卜素含量不同的水稻种子。源于玉米的 *PSY* 转化水稻可使类胡萝卜素含量达到 $37 \mu\text{g/g}$ 。进一步证实了 *PSY* 基因是水稻类胡萝卜素合成的关键基因。

Bramley 等^[29]将番茄 *PSY* 基因反义导入番茄, 结果 GGPP 积累而类胡萝卜素含量大大下降, 表明 *PSY* 基因在番茄类胡萝卜素合成中起到了限速作用。Romer 等^[30]将欧文氏杆菌的 *crtI* 基因在组成型启动子驱动下转入番茄, 转基因番茄果实中类胡萝卜素总量减少一半, 但 β -胡萝卜素含量增加 3 倍。这是由于转基因番茄果实中的 *PDS*、*ZDS* 和 *LycB* 基因被诱导的结果。徐昌杰等^[31]将甜橙 β -胡萝卜素羟化酶基因的反义植物表达载体注入脐橙白皮层中诱导了 β -胡萝卜素的积累, 暗示了 β -胡萝卜素羟化酶基因在 β -胡萝卜素向叶黄素的转化中起关键作用。

Misawa 等^[32]将欧文氏菌 *CrtI* 基因有义导入烟草, β -胡萝卜素合成增强。Mann 等^[33]报道了在转基因烟草的蜜腺组织中积累虾青素。他们利用番茄中 *PDS* 的启动子和信号肽在烟草中成功表达了海藻编码的 β -胡萝卜素酮解酶基因(*CrtO*)。这一工作揭示了 β -胡萝卜素酮解酶能够和存在于植物中的 β -羟化酶一起产生虾青素等酮基类胡萝卜素。季静等^[34]将药用黄花龙胆草的 *GGPS*、*PSY*、*ZDS*、*LycB*、*LycE* 基因与 35S 启动子和 NOS 终止子相连转入烟草中, 结果表明 *PSY*、*ZDS* 对类胡萝卜素的生物合成

影响较大, 叶黄素和 β -胡萝卜素总量都有较大的提高, 而 *GGPS* 基因对类胡萝卜素的生物合成影响不大。梁燕^[35]等采用叶盘法将胡萝卜番茄红素 β -环化酶反义 RNA 基因转入烟草, 结果转基因烟草当代叶片组织中茄红素和胡萝卜素含量与对照植株不同。

此外, 通过遗传操作技术提高马铃薯块茎中玉米黄素含量和 β -胡萝卜素含量的尝试也获得了成功^[36,37]。

4 小结与展望

综上所述, 类胡萝卜素合成的分子生物学研究已经取得可喜的进展, 其合成途径基本上被阐明, 绝大多数相关基因也被分离, 用遗传工程技术调控其合成也取得了一定进展。这些结果向人们展示了通过遗传工程技术生产特定的、有商品价值的类胡萝卜素的美好前景。相信在不久的将来, 将会有越来越多令人振奋的类胡萝卜素高含量的转基因产品问世。但还有一些问题有待研究, 如复杂类胡萝卜素的末端基团、甲基基团及多烯烃链的额外修饰过程仍不太清楚; 植物细胞如何将前体分配到类异戊二烯途径的不同分支; 类胡萝卜素生物合成酶基因在不同植物中如何表达和调控; 目前仍未有进入大田生产的转类胡萝卜素合成酶基因植株等。另外, 目前在应用遗传工程技术提高类胡萝卜素含量时存在很大的盲目性。虽然转基因加速了相应酶促反应的步骤, 但影响其他代谢途径, 如植物激素 GA_3 的合成, 影响植物的正常生长, 增加了研究类胡萝卜素遗传工程的难度。因此类胡萝卜素合成酶基因表达是今后研究工作的重点。除要研究内源类胡萝卜素基因表达特点外, 还要研究外源基因的导入对原来内源类胡萝卜素基因表达及其他代谢的影响, 以及类胡萝卜素合成酶基因的顺式作用元件(如启动子和增强子等)和反式作用元件, 组织器官特异性表达的启动子等, 以期减少类胡萝卜素遗传工程的盲目性, 增加其可行性。

参考文献 (References)

- [1] Penuelas J et al. *Trends Plant Sci*, 2005, **10**: 166
- [2] 许青等. *国外医学: 生理、病理科学与临床分册*, 1996, **16**: 249
- [3] Blumberg JB. *Am J Clin Nutr*, 1995, **62**: 1521S
- [4] 韩雅珊. *中国农业大学学报*, 1999, **4**: 5
- [5] Botella-Pavia P et al. *Plant J*, 2004, **40**: 188
- [6] Van Dien SJ et al. *Appl Environ Microbiol*, 2003, **69**: 7563
- [7] Armstrong GA et al. *Mol Gen Genet*, 1989, **216**: 254

- [8] Misawa N *et al. J Bacterial*, 1990, **172**: 6704
- [9] 陈大明. 中国科学院植物研究所博士后学位论文, 2001
- [10] 徐昌杰等. 园艺学报, 2002, **29**(增刊): 619
- [11] Lee PC *et al. Appl Microbiol Biotechnol*, 2002, **60**: 1
- [12] Shimada H *et al. Appl Environ Microbiol*, 1998, **64**: 2676
- [13] Ruther A *et al. Appl Microbiol Biotechnol*, 1997, **48**: 162
- [14] Kajiwarra S *et al. Biochem J*, 1997, **324**: 421
- [15] Schmidt-Dannert C *et al. Nat Biotechnol*, 2000, **18**: 750
- [16] Albrecht M *et al. Nat Biotechnol*, 2000, **18**: 843
- [17] Yamano S *et al. Biosci Biotechnol Biochem*, 1994, **58**: 1112
- [18] Lee AR *et al. Patent Appli-cation PCT:US*, 1991, US910458w
- [19] Miura Y *et al. Appl Environ Microbiol*, 1998, **64**: 1226
- [20] Miura Y *et al. Biotechnol Bioeng*, 1998, **58**: 306
- [21] Gotz T *et al. Plant Physiol*, 1999, **120**: 599
- [22] Fray RG *et al. Plant J*, 1995, **8**: 693
- [23] Shewmaker CK *et al. Plant J*, 1999, **20**: 401
- [24] Ravanello MP *et al. Metab Eng*, 2003, **5**: 255
- [25] Burkhardt PK *et al. Plant J*, 1997, **11**: 1071
- [26] Ye X *et al. Scinece*, 2000, **287**: 303
- [27] Hoa TT *et al. Plant Physiol*, 2003, **133**: 161
- [28] Paine JA *et al. Nat Biotechnol*, 2005, **23**: 482
- [29] Bramley P *et al. Plant J*, 1992, **2**: 343
- [30] Romer S *et al. Nat Biotechnol*, 2000, **18**: 666
- [31] 徐昌杰等. 农业生物技术学报, 2003, **11**: 593
- [32] Misawa N *et al. Plant J*, 1993, **4**: 833
- [33] Mann V *et al. Nat Biotechnol*, 2000, **18**: 888
- [34] 季 静等. 农业生物技术学报, 2002, **10**(增刊): 62
- [35] 梁 燕等. 西北农林科技大学学报, 2003, **31**: 73
- [36] Romer S *et al. Meta Eng*, 2002, **4**: 263
- [37] Ducreux L M *et al. J Exp Bot*, 2005, **56**: 81

Progress in Gene Cloning and Genetic Manipulation of Carotenoid Biosynthesis

Yang-Xia Zheng^{1,2,3}, Wan-Shen Yang¹, Jing Ji^{3*}, Gang Wang³

(¹College of Biology and Science, ²Forestry and Horticulture College, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China;

³College of Agriculture and Biotechnology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract Carotenoids have drawn much attention recently. Because carotenoids have a range of diverse biological functions and actions, especially in relation to human health. For example, some of carotenoids are the precursor of provitamin A and have been associated with reducing the risk of cancer. This article reviewed the studies of carotenoid biosynthesis, correlative gene cloning and genetic manipulation with improving carotenoid production in microorganisms and crop plants.

Key words carotenoid; biosynthesis; gene; genetic manipulation

Received: November 3, 2005 Accepted: February 16, 2006

This work was supported by the National Specific Foundation Project "Plant Gene Transformation and Pilot Scheme" (No.J99-B-001)

*Corresponding author. Tel: 86-22-87402200, E-mail: jijingtjdx @163.com