

综述

植物源高营养型转基因食品的研究进展

胡貽椿 杨晓光 朴建华

(中国疾病预防控制中心营养与食品安全所,北京 100050)

摘要:近年来植物源的高营养型转基因食品成为转基因技术研究的热点,旨在为消费者提供更富营养、高生物利用率及低致敏性的营养食品,为人类健康造福。本文对植物源高营养型转基因食品的发展现状、安全性问题进行了综述,并就我国转基因食品的发展进行了展望。

关键词:植物,基因修饰;营养;食品;安全

Review on Plant-Originated Nutritional Genetically Modified Food

HU Yi-chun, YANG Xiao-guang, PIAO Jian-hua

(National Institute for Nutrition and Food Safety, Chinese CDC, Beijing 100050, China)

Abstract: The research on nutritional genetically modified (GM) food is becoming an increasing concern in global academia and food industry. Nutritional GM food will provide more nutritional, high bio-efficient and low allergic food to customers by means of improving nutritional value and making up the deficiencies of its traditional counterpart. In this paper, the development of plant-originated nutritional GM food was outlined and putting forward suggestions for developing GM food in China as well.

Key words: Plants, Genetically Modified; Nutrition; Food; Safety

转基因食品是利用基因工程技术改变基因组构成的动物、植物和微生物生产的食品 and 食品添加剂^[1]。自1994年美国孟山都公司研制的首例转基因食品——延熟西红柿问世以来^[2-4],转基因食品在全世界得到了迅速发展。

转基因食品按其功能可以分为三类:抗病增产型、高营养型和保健药用型^[5]。近几年来改善食品的营养成分、提高各种营养成分的生物利用率、降低食品的致敏性以获得高营养的食品成为转基因技术研究的热点,本文就植物源的高营养型转基因食品研究进展综述如下。

1 高营养型转基因食品

目前世界上还存在四大营养问题,蛋白质-热能营养不良、维生素A缺乏、碘缺乏和铁缺乏。据统计全球有35亿多人缺铁,20亿人可能缺碘,2亿儿童维生素A不足,且主要存在于发展中国家^[6]。虽然目前许多国家采用的食品强化(如在食盐中加碘)已经取得了一些成效,但是微量营养素不足的问题仍困扰着发展中国家,这是由于发展中国家是以粮食作为主要食物,消费者仍然买不起含有足够维

生素和矿物质的非主粮,诸如蔬菜、水果、动物和鱼类食品。通过转基因技术对现有食品进行“营养改良”,将需要性状的基因从现有物种中分离出来,植入目标食品内就可获得高营养的转基因食品^[7],满足人们的营养需求。

此外,许多食品,尤其是植物源性的食品本身存在一些营养问题,如豆类缺乏含硫氨基酸,谷物缺乏赖氨酸和色氨酸^[8],花生、大豆中含有致敏蛋白、抗营养因子等^[9],通过转基因技术也可以弥补传统食品这类不足从而获得高营养的食品。

2 高营养型转基因食品的发展现状

转基因技术主要通过以下方式对食品进行改造,获得具有高营养价值的食品:(1)通过提高营养素的含量来提高食品的营养价值,将表达特定营养素的基因导入食品中,增加食品中特定营养素的含量;(2)通过改变非营养素的含量来提高食品的营养价值,如提高功效成分的含量,或降低食品中致敏原、抗营养因子的含量等^[5]。高营养型转基因食品旨在为消费者提供更具营养价值和高生物利用率的食品,如富含维生素A的金大米、高赖氨酸大米、转乳铁蛋白大米、富钙胡萝卜等^[10-14]。虽然目前尚无高营养型转基因食品达到商业化的程度,但其有望在不久的将来发挥出巨大的潜力。

2.1 通过提高营养素的含量来提高食品的营养价

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(2007CB109207)

作者简介:胡貽椿 女 博士生

通讯作者:杨晓光 男 研究员 博士生导师

值 典型代表是“金大米”,它是为解决发展中国家维生素 A(vitamin A, VA) 缺乏问题研发的一种转基因大米。VA 缺乏可导致夜盲、眼球干燥、角膜软化和免疫系统功能低下,严重者可致失明和死亡,全球每年大约有 25 万~50 万儿童因患 VA 缺乏失明^[15]。类胡萝卜素可在人体内转化为维生素 A,但由于大米胚乳中不含类胡萝卜素,造成以大米为主粮的发展中国家人群中 VA 缺乏现象非常普遍。改造水稻使之能够在胚乳中表达类胡萝卜素是增加大米营养和减轻 VA 缺乏的有效路径,但至今尚未发现能够在胚乳中表达类胡萝卜素的野生水稻,因此现阶段无法利用传统育种方法,而只能借助转基因技术对

水稻进行改造^[16]。欧洲科学家在大米中植入维生素 A 的前体——类胡萝卜素基因,使大米胚乳中类胡萝卜素含量增加,其在磨掉稻壳后呈淡黄色,因此被称为“金大米”^[10,17]。2005 年,英国先正达公司成功研制出第 2 代金大米,将来自玉米的八氢番茄红素合成酶基因转入水稻,使类胡萝卜素含量比第 1 代金大米提高了 23 倍,达到每克胚乳 37 μ g^[10,18]。

除了“金大米”,各国的科学家还致力于各种高营养型转基因食品的研究,表 1 中列出了部分通过提高食品中宏量或微量营养素含量的方式提高食品营养价值的研究成果。

2.2 通过改变非营养素的含量来提高食品的营养

表 1 提高了营养素含量的高营养型转基因食品

	特点	目标食品	研究机构
富含维生素	富含 VA	大米(金大米)	瑞士联邦理工学院,德国弗莱堡大学 ^[10]
		大米(金大米 2 号)	英国剑桥先正达种子公司 ^[19]
	富含 VD	蘑菇	美国加州农业研究中心,美国蒙特利蘑菇公司 ^[20]
	富含 - 胡萝卜素	果蔬	美国阿莫利公司 ^[21]
	富含 VE(- 生育酚)	大豆	英国伦敦大学,英国杰尼卡公司,日本中央关键技术实验室 ^[22]
富含矿物质	富含铁蛋白	莴苣	日本中央电力研究所,日本国家农业环境科学研究所,日本林业与渔业省农业技术革新协会 ^[5]
	富含人乳铁蛋白	土豆	加拿大罗马琳达大学,加拿大罗马琳达分子生物和基因医疗中心 ^[23]
	富含钙	大米	中国福建农林大学 ^[12] ,美国加州大学戴维斯分校 ^[13]
	富含钙	胡萝卜	美国德克萨斯农工大学 ^[14]
富含氨基酸/蛋白质	富含赖氨酸	玉米	美国孟山都公司 ^[24]
		大米	中国扬州大学 ^[11,25] ,中国科学院植物研究所 ^[26]
	富含蛋氨酸	大豆	日本东京大学 ^[27]
	富含色氨酸	大米	日本国家作物科学研究所 ^[5]
	富含 - 菜豆蛋白	大米	美国路易斯安那州立大学 ^[28]
富含油、脂肪	富含 - 3- 脂肪酸	大豆	美国杜邦公司 ^[29]

价值 植物性食品中含有许多生理活性成分,它们虽然不具备传统意义上的营养价值,但对人体健康却有正面效应,如具有抗氧化活性的黄酮类化合物,它对人体的长期及短期健康效应多有报道^[30]。由于很难说服消费者,尤其是儿童,摄食足够富含黄酮类化合物的坚果、水果等以获得充足的黄酮类化合物,故通过转基因技术来提高果蔬中黄酮类物质的含量就是一个很好的方式。如大豆中的异黄酮合酶基因就已成功地转入实验室模型植物拟南芥中^[31]。

另一些物质对人体健康却具有负面效应,如食品中的一些致敏原、抗营养因子及酶类等。食品中的致敏原通常是蛋白质,通过敲除致敏蛋白或改变致敏蛋白的结构可以降低食品的致敏性。TADA 等^[32]通过敲除致敏蛋白的方式成功地减少了大米中引起过敏症的蛋白含量,BANNON 等^[33]和 ALIBHAI 等^[30]也分别将花生过敏原和土豆过敏原成功的移除。表 2 列出了部分通过改变食品中非营养物质的含量从而提高食品的营养价值的研究成果。

3 转基因食品的安全性问题

转基因食品在近几年得到了迅速的发展,已商业化的抗虫增产型转基因食品在实践中显示出了巨大的优越性,然而自从转基因食品问世以来,人们对其安全性问题一直存在着争议,因此只有解决了这些问题,转基因食品尤其是高营养和具有特定生物学作用的转基因食品才能更好地为人类健康造福。目前人们对转基因食品的安全性争议主要表现为以下几方面。

3.1 致敏性 转基因食品可能含有已知或未知的致敏原,能引起人体的致敏反应,这种反应可能是致命的^[52,53]。除了可能引入与已知致敏原同源的致敏原以外,在转基因操作中还可能引入无食用历史的致敏原。如果将编码这些蛋白的基因导入食品中,可能使人体对转基因食品产生过敏反应^[9,54]。因此在采用转基因技术改良食品的营养价值时,我们必须对目的基因本身的安全性进行检测,对目的基因的物种来源进行选择。

表2 改变了非营养素含量的高营养型转基因食品

特点	作用方式	目标食品	研究机构
延迟成熟	降低乙烯含量	水果	美国 ^[34]
	维持细胞分裂素水平	蔬菜	美国威斯康星州大学 ^[35,36]
提高性能	抑制多酚氧化酶;抑制褐变	果蔬	荷兰 Keygene 公司,荷兰瓦赫宁根大学,美国康奈尔大学 ^[37,38]
	抑制 UDP-葡萄糖焦磷酸化酶; 土豆抑制淀粉分解	土豆	美国辛普劳公司,美国北达科他州大学 ^[39]
	降低亚麻酸含量	大豆	美国孟山都公司,加拿大农业和农业食品研究中心 ^[5]
降低致敏原	降低白蛋白含量	大米	日本 Mitsui Toatsu 公司 ^[5]
增强功能	高分子量麦谷蛋白的蛋白质修饰;磨粉性能改良	小麦	英国布里斯托尔大学,美国佛罗里达大学,美国农业研究中心,英国国家作物研究所,澳大利亚联邦科学与工业研究中心 ^[40]
	优化直链淀粉/支链淀粉之比	土豆	荷兰农业大学,荷兰格罗宁根大学 ^[41] ,荷兰瓦赫宁根大学,德国马普分子植物生理研究所 ^[42]
		树薯	荷兰农业大学,荷兰格罗宁根大学 ^[43]
		香蕉	英国联合利华公司科尔沃什实验室,美国国家淀粉化学公司 ^[44]
增加甜度	提高月桂酸含量	卡诺拉(油菜)	美国孟山都 Calgene 分公司 ^[45]
	转入莫内林(一种极甜的蛋白)	西红柿、莴苣	美国加州大学,西班牙 ^[46]
	转入素默丁(提取自一种极甜的西非植物)	黄瓜	波兰华沙农业大学,波兰华沙生物化学和生物物理研究所 ^[47,48]
增加油、脂	增加油酸	大豆	美国孟山都公司 ^[49]
		卡诺拉(油菜)	美国杜邦公司 ^[50]
	增加硬脂酸	油菜	美国孟山都 Calgene 分公司,马来西亚棕榈油研究所,美国加利福尼亚大学 ^[51]

3.2 抗药性 目前转基因技术中,抗生素抗性标记基因的应用最为广泛,其本身并无安全性问题,但通过基因水平转移,有可能将抗生素抗性标记基因传递给人肠道中的微生物,并在其中表达获得抗药性,这就可能影响抗生素的药效,对健康造成危害。为了彻底消除这一因素的潜在危险,科学家正设法在转基因食品中避免使用抗生素抗性标记基因^[9],或者采用删除抗性标记基因技术^[55]以解除对抗药性的担忧。

3.3 增强食品中的毒素和抗营养因子 许多植物源性食品本身能产生大量的毒素和抗营养因子,以抵抗病原菌和害虫入侵,如豆类中含有蛋白酶抑制因子、凝集素等。传统食品中这类物质含量较低,或能在加工过程中除去,故并不影响人体健康。而转基因技术有可能增加这类物质的含量或改变其结构,使之在加工中难以被破坏,对人体造成危害^[9]。一般来说,导入的遗传信息和受体植物带来的危害是已知的、可以解释的,但分子操作因其部分机理尚不明晰,带来的危害较难预见^[52]。目前虽然没发现转基因食品由于增加了有毒物质或抗营养因子而对人体产生不利影响,但不能排除这种可能性,因此需要对转基因食品进行严格的安全性评价。

3.4 致毒致害作用 转基因食品导入的基因并非原来亲本所有,有些甚至来自不同类、种或属的其他生物,故外源基因及其表达产物可能产生毒性^[54]。1998年苏格兰 ROWETT 研究所 ARPAD PUSZTAI 博士报道,用转雪花莲凝集素基因的抗虫马铃薯饲喂大鼠,引起大鼠体重严重减轻,免疫系统遭破坏,这

在当时引起了轰动。虽然后来英国皇家学会专门组织了评审,指出这项实验有6条缺陷^[56],但却引起了媒体与公众对转基因食品的怀疑和担心,由此也引发了国际上对转基因食品安全性的争论。

3.5 对食品营养状况的负效应 采用转基因技术转入的外源基因可能对食品的营养价值产生无法预期的影响,可能导致两种负效应:(1)食品中某种营养素含量的改变可能会使其他营养素含量甚至整个食品的营养状况发生改变^[57]; (2)由于引入了外源营养素基因,可能发生营养基因的相互作用,营养成分的生物利用率和营养代谢等方面也可能产生变化,因此可能会影响食品的营养价值乃至消费者的营养健康状况^[57,58]。因此在对营养型转基因食品进行安全性评价时,WHO 提出如果食品中某种营养素的改变有可能影响整个膳食的摄入,就有必要监测该食品中营养价值和生物利用率的变化情况,评估该变化对消费者营养和健康状况的潜在影响^[57]。

4 展望

转基因植物在增产、减少农药使用及提高食品营养价值等方面具有传统食品无可比拟的优越性,并能提供人们所需疫苗和药物,因此尽管转基因食品的安全性目前颇有争议,它的前景仍然十分美好,未来还将会有越来越多的转基因食品涌现。为了确保转基因食品能够充分发挥其巨大潜力,更好地造福于人类,必须完善和加强以下几方面的工作。

4.1 完善转基因食品管理的法规体系 我国现有的涉及转基因方面的管理条款有:《基因工程安全管

理办法》主要从技术角度对转基因生物进行宏观管理与协调,《农业转基因生物安全管理条例》及依据该条例制定的《农业转基因生物安全评价管理办法》主要从保障人体健康和动植物、微生物安全,保护生态环境的角度,对从事农业转基因生物的研究、试验、生产、加工、经营等活动进行管理。目前尚无专门针对转基因食品的安全性的法规,仅是以《新资源食品管理办法》中的有关条款来进行管理。只有建立了专门的法律法规,才能充分发挥转基因食品优势,控制转基因食品给人类和环境的不利影响,最终促进转基因食品的健康发展。

4.2 建立完善的安全性评价体系 虽然目前还没有任何转基因食品对人类健康产生负面影响的报道,但是由于转基因食品与广大消费者的健康息息相关,对转基因食品的商业化研究开发必须十分谨慎,由此转基因食品的安全性评价显得尤为重要。1993年经济发展合作组织(OECD)提出的“实质等同性”原则^[59]虽然存在一些争议,但以“实质等同性”原则为基础,结合“个案原则”和“逐步分析”原则的转基因食品安全性评价框架,仍是目前比较公认的评价体系。随着相关研究的深入,这一评价体系也将得到不断完善和发展,以期最大限度地发现安全隐患,保障食品安全。

4.3 加强对消费者的宣传 在转基因技术迅猛发展的同时,消费者对转基因食品的态度却比较抵触^[60,61],因而需要对社会公众进行必要的宣传和教育,否则如果转基因技术及产品得不到公众认可与接受,那将会失去其生存与发展的意义。

当转基因食品的安全性问题得到解决后,相信经过基因工程技术改良的、富有高营养价值的转基因食品一定能够迅速进入市场,并赢得人们的青睐、为人类的健康造福。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部第28号令. 转基因食品卫生管理办法[Z]. 2001-12-11.
- [2] 肖国樱. 转基因作物的安全性评价及其对我国传统农业的影响[J]. 杂交水稻, 2003, 18(3): 1-5.
- [3] 厉建萌, 宋贵文, 沈平. 全球转基因作物商业化发展现状及特点[J]. 农业科技管理, 2006, 25(5): 6-8.
- [4] 喻翠玲, 冯中朝. 全球转基因作物生产概况与发展趋势[J]. 生态经济, 2005, (7): 73-75.
- [5] KEIKO Y S, KAZUKI S. Review: genetically modified plants for the promotion of human health[J]. Biotechnology Letters, 2006, 28: 1983-1991.
- [6] FAO. 全球的饥饿和营养不良[EB/OL]. http://www.feedingminds.org/info/background_zh.htm.
- [7] GREGORIO G M. technology: the answer to poor nutrition? [EB/OL]. [2002-10-1]. <http://www.scidev.net/en/policy-briefs/gmr-technology-the-answer-to-poor-nutrition.html>.
- [8] 钱映雪. 种子蛋白质品质改良的发展和展望[J]. 中国种业, 2001, (4): 13-14.
- [9] 郭俊生. 吃转基因食品安全吗? [EB/OL]. [2006-05-29]. <http://www.cnsoc.org/asp-bin/GB/index.asp?page=8&class=120&d=438>.
- [10] 刘银良. 金大米的知识产权问题分析及启示[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 895-901.
- [11] 刘巧泉. 基因工程技术提高稻米赖氨酸含量[D]. 扬州大学, 2002.
- [12] 林世强. 人乳铁蛋白基因转化水稻的研究[D]. 福建农林大学, 2005.
- [13] SUZUKI Y A, KELLEHER S L, YALDA, D, et al. Expression, characterization, and biologic activity of recombinant human lactoferrin in rice[J]. J Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 2003, 36(2): 190-199.
- [14] Science Daily. Genetically modified carrots provide easy to absorb calcium[EB/OL]. [2008-01-16]. <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/01/080114173903.htm>.
- [15] WHO. Micronutrient deficiencies—vitamin A deficiency [EB/OL]. <http://www.who.int/nutrition/topics/vad/en/index.html>.
- [16] YE X, AL-BABLI S, KLÖTI A, et al. Engineering provitamin A (β-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm[J]. Science, 2000, 287: 303-305.
- [17] POTRYKUS I. The golden rice tale [EB/OL]. [2000-10-23]. http://www.biotech-info.net/GR_tale.html.
- [18] PAINEJ A, SHIPTON C A, CHAGGAR S, et al. Improving the nutritional value of golden rice through increased pro-vitamin A content[J]. Nature Biotechnology, 2005, 23: 482-487.
- [19] 科学数字. 第二代“金大米”[J]. 中国科技信息, 2005, (5): 6.
- [20] WOOD M. Vitamin D-rich mushrooms: A research success! [R/OL]. [2008-11-24]. <http://www.ars.usda.gov/is/pr/2008/081112.htm>.
- [21] HAUPTMANN R, ESCHENFELDT W H, ENGLISH J, et al. Enhanced carotenoid accumulation in storage organs of genetically engineered plants: America, 5618988[P]. 1994-10-28.
- [22] ROMER S, FRASER J, KIANO C, et al. Elevation of the provitamin A content of transgenic tomato plants [J]. Nature Biotechnology, 2000, 18: 666-669.
- [23] CHONG D K X, LANGRIDGE W H R. Expression of full-length bioactive antimicrobial human lactoferrin in potato plants [J]. Transgenic Research, 2000, 9(1): 71-78.
- [24] HOUMARD N M, MAINVILLE J L, BONIN C P, et al. High-lysine corn generated by endosperm-specific suppression of lysine catabolism using RNAi[J]. Plant Biotechnology Journal, 2007, 5, (5): 605-614.
- [25] 周联高, 葛家根, 章世元, 等. 高赖氨酸转基因水稻对肉仔鸡屠宰及血液生化指标的影响[J]. 中国饲料, 2007, (18): 11-15.
- [26] GAO YUEFENG, JING YUXIANG, SHEN SHIHUA, et al. Transfer of lysine-rich protein gene into rice and production of fertile transgenic plants[J]. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(5): 506-511.
- [27] KIM C S, KAMIYA S, SATO T, et al. Improvement of nutritional value and functional-properties of soybean glycinin by protein

- engineering[J]. *Protein Engineering*, 1990, 3:725-731.
- [28] ZHENG A, SUMI K, TANAKA K, et al. The bean seed storage protein α -phaseolin is synthesized, processed and accumulated in the vacuolar type-II protein bodies of transgenic rice endosperm[J]. *Plant Physiology*, 1995, 109: 777-786.
- [29] JALANI B S, CHEAH S C, RAJANAIDU N, et al. Improvement of palm oil through breeding and biotechnology[J]. *Journal of American Oil Chemists Society*, 1997, 74:1451-1455.
- [30] BOUIS H E, CHASSY B M, OCHANDA J O. Genetically modified food crops and their contribution to human nutrition and food quality [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, (14):191-209.
- [31] JUNG W, YU O, LAU S, et al. Identification and expression of isoflavone synthase, the key enzyme for biosynthesis of isoflavones in legumes[J]. *Nature Biotechnology*, 2000, 18: 208-212.
- [32] TADA Y, NAKASE M, ADACHI T, et al. Reduction of 14-16 kDa allergenic proteins in transgenic rice plants by antisense gene [J]. *FEBS Letters*, 1996, 391(3):341-345.
- [33] BANNON G A, SHIN D, MALEKI S, et al. Tertiary Structure and Biophysical Properties of a Major Peanut Allergen, Implications for the Production of a Hypoallergenic Protein[J]. *International Archives of Allergy and Immunology*, 1999, 118(2): 315-316.
- [34] THEOLOGIS A, SATO T. Control of fruit ripening through genetic control of ACC synthase synthesis: America, 6207881 [P]. 1998-03-02.
- [35] GAN S, AMASINO R. Inhibition of leaf senescence by autoregulation production of cytokinin [J]. *Science*, 1995, 270: 1986-1988.
- [36] AMASINO R, GAN S. Transgenic plants with altered senescence characteristics: Geneva WO96/29858[P]. 1996-10-03.
- [37] BACHEM C, SPECKMANN G, VAN DER LINDE P, et al. Antisense expression of polyphenol oxidase genes inhibits enzymatic browning in potato tubers [J]. *Bio-Technology*, 1994, 12: 1101-1105.
- [38] MURATA M, HARUTA M, MURAI N, et al. Transgenic apple (*Malus domestica*) shoot showing low browning potential. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48: 5243-5248.
- [39] SECOR G, BOROVKOV A Y, MCCLEAN P E, et al. Modulation of sugar content in plants: America, 5646023[P]. 1997-07-08.
- [40] BLECHL A, ANDERSON O. Expression of a novel high-molecular-weight glutenin subunit gene in transgenic wheat [J]. *Nature Biotechnology*, 1996, 14: 875-879.
- [41] HEYER A, LLOYD J, KOSSMANN J. Production of modified polymeric carbohydrates [J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 1999, 10:169-174.
- [42] VISSER R, SOMHORST I, KUIPERS G, et al. Inhibition of the expression of the gene for granule-bound starch synthase in potato by antisense constructs [J]. *Molecular and General Genetics*, 1991, 225: 289-296.
- [43] VISSER R, SUURS L, STEENEKEN P, et al. Some physicochemical properties of amylose-free potato starch[J]. *Starch/Staerke*, 1997, 49:443-448.
- [44] SCHWALL G, SAFFORD R, WESTCOTT R, et al. Production of very-high amylose potato starch by inhibition of SBE A and B [J]. *Nature Biotechnology*, 2000, 18:551-554.
- [45] GEO-PIE project. Public Issues Education, Altered Oil Content [EB/OL]. <http://www.geo-pie.cornell.edu/traits/altoil.html>.
- [46] PENNARUBIA L, KIM R, GIOVANNONI J, et al. Production of the sweet protein monoellin in transgenic plants[J]. *Bio-Technology*, 1992, 10: 561-564.
- [47] SZWACKA M, KRZYMOWSKA M, KOWALCZYK M E, et al. Transgenic cucumber plants expressing the thaumatin gene [J]. *Progress in Biotechnology*, 2000, 17: 43-48
- [48] SZWACKA M, KRZYMOWSKA M, OSUCH A, et al. Variable properties of transgenic cucumber plants containing the thaumatin II gene from *Thaumatococcus daniellii* [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2002, 24(2): 173-185.
- [49] LUI K S, BROWN E A. Enhancing vegetable oil quality through plant breeding and genetic engineering[J]. *Food Technology*, 1996, 50: 67-71.
- [50] MAZUR B, KREBBERS E, TINGEY S. Gene discovery and product development for grain quality traits [J]. *Science*, 1999, 285:372-375.
- [51] FACCIOITTI M, BERTAIN P, YUAN L. Improved stearate phenotype in transgenic canola expressing a modified acylacyl carrier protein thioesterase[J]. *Nature Biotechnology*, 1999, 17:593-597.
- [52] 侯喜林, 张增翠. 植物基因工程食品的安全性及其评价[J]. *南京农业大学学报*, 2000, 23(2): 109-113.
- [53] 程焉平, 庄炳昌. 转基因产品的安全性及其对应策略[J]. *遗传*, 2001, 23(6):577-579.
- [54] 邓平建, 李良成. 转基因食品安全性评价程序和方法[J]. *中国卫生监督杂志*, 2002, 9(1):29-31.
- [55] 黄曙光, 石明旺, 谭晓风. 转基因植物标记基因的安全技术[J]. *生物学通报*, 2004, 39(12):5-7.
- [56] 贾士荣. 转基因作物的安全性争论及其对策[J]. *生物技术通报*, 1999, (6):1-8.
- [57] WHO. Safety aspects of genetically modified foods of plant origin, Joint FAO/WHO Expert Consultation on Foods Derived from Biotechnology, Geneva, May 29-June 2, 2000[C].
- [58] Uzogara S G. The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: A review[J]. *Biotechnology Advance*, 2000, 18(3):179-206.
- [59] OECD. Safety evaluation of food derived by modern technology: concepts and principles [R/OL]. Paris, 1993. http://dbtbiosafety.nic.in/guideline/OACD/Concepts_and_Principles_1993.pdf.
- [60] 马述忠. 消费者、转基因农产品及标签对转基因农产品问题大实证分析[J]. *软科学*, 2004, 18(3): 62-64.
- [61] 刘志强, 王成栋, 李宁. 济南市消费者对转基因食品的认识态度的调查与分析[J]. *中国农业科技导报*, 2007, 9(1):52-58.

[收稿日期:2009-04-15]

中图分类号:R151.4;Q945.1;J522.3 文献标识码:E 文章编号:1004-8456(2009)06-0554-05