

转基因的健康发展必须超越“实质等同”评价原则

周则卫*

(中国医学科学院/北京协和医学院放射医学研究所, 天津 300192)

摘要: 本文围绕转基因食品的“实质等同”原则下的食用安全性评价方式存在的问题进行深入讨论, 并从实验动物饲料配方的高营养性及动物体质因素与人类的差异, 以及评价定位不准和标准过于宽松等方面, 对“实质等同”评价的“严谨性”和“科学性”进行质疑。并对评价方式不科学带来的严重后果进行剖析和阐述。通过逆向思维, 创新建立的损益指数及累计积分(BDI-GS)食品功效及安全性评价新体系具有明显的科学性和实用价值, 并为转基因作物及食品的研究和发展指明方向。相信只有超越“实质等同”的评价原则, 我国的转基因事业才会迎来灿烂的明天。

关键词: 实质等同; 转基因食品; 食用安全性; BDI-GS 体系; 评价方式

Healthy development of genetically modified organism must surpass the ‘substantial equivalence’ evaluation principle

ZHOU Ze-Wei*

(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China)

ABSTRACT: In this paper, some existing problems in the principle of ‘substantial equivalence’ for genetically modified foods were in-depth discussed, while edible safety evaluation, and with respect to ‘strictness’ and ‘scientific’ of the ‘substantial equivalence’ evaluation approach was questioned from feed formula of experimental animal with high-nutritional trait leading to the difference with humans’ nutrition, and different physical conditions of animal with human, as well as too loose standards and inaccurate positioning of evaluation, etc.. And scientific analysis and explanation were given for that the unscientific evaluation approach could bring us quite serious consequences. By means of reverse thinking innovation, Benefit-Damage Index -General Score (BDI-GS) food evaluation system should be established for functions and safety, and the directions for research and development of genetically modified crops and foods were pointed out. We believe that as long as surpass the evaluation of ‘substantial equivalence’ principle, genetically modified organism (GMO) in China can have a bright future.

KEY WORDS: substantial equivalence; genetically modified foods; edible safety; Benefit-Damage Index -General Score system; evaluation approach

随着转基因(genetically modified, GM)食品安全性问题的相关争论愈演愈烈, 公众对转基因食品的食用安全性

持怀疑和谨慎的态度^[1,2]。世界卫生组织(WHO)也曾认为现有的技术手段还不足以保证 GM 食品的安全性问题, 需要

*通讯作者: 周则卫, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为药物及功能食品。E-mail: zhouzewe@irm-cams.ac.cn

*Corresponding author: ZHOU Ze-Wei, Professor, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China. E-mail: zhouzewe@irm-cams.ac.cn

研究更加灵敏、科学可行的评价方法^[3]。围绕着“实质等同”评价原则及对转基因食品安全性保障问题,国内外专家学者和公众是争论不休。早在世纪之交国外知名专家^[4,5]即质疑“实质等同”原则的科学性,国内外很多学者^[6,7]也认为需要研究更加科学的评价方式。无疑评价方式的疑虑问题是导致目前众多争议问题和转基因食品举步维艰的困难局面之根源所在。然而,尽管检测手段在不断进步,但始终没有更可取的评价方式出现,使“实质等同”原则仍然作为国际通用的评价标准而沿用至今。现对常规评价方式出现问题的症结所在,以及未来能够取代“实质等同”原则的新评价方式的科学性及相关优势进行阐述,以破解争议和困扰我国转基因事业健康发展的关键性难题。

1 “实质等同”原则受到公众质疑的症结所在

1.1 特定的高营养饲料配方

从临床癌症患者的化学药物治疗法(简称化疗)需要高营养饮食来减轻化疗药物的不良反应,以完成化疗疗程^[8,9]以及从环境毒理学领域相关研究我们了解到营养具有解毒作用^[10]。因此,如同毒理学中谈毒性不能离开剂量一样,研究食用安全性问题不应该脱离营养背景去孤立地讨论和评价某食品是否安全,必须在实际具体的营养背景下去揭示其食用安全性,特别是转基因食品。然而 AIN-93G 是按照鼠类生长的标准鼠料配方营养配制而成的^[11],使实验动物快速生长是其具有的明显特征^[12,13]。很显然标准生长饲料是为了提高实验动物繁殖效率,提高生长速度尽快用于科学实验而设计的,生长表现超出了一般动物正常的生长速度。评价实验中动物快速生长的实际情况十分符合其高营养的属性^[14],却与人类实际的营养状况相去甚远。

从主要营养功效成份剂量折算的角度计算,饲料中蛋白含量要求达到 20%,大鼠平均体质量按 200 g 计,每日平均食量按 20 g 计,那么,大鼠对蛋白日摄入量: $20 \text{ g} \times 20\% = 4 \text{ g}$; 转换成每公斤体质量为: $4 \text{ g} \times 1000 / 200 = 20 \text{ g/kg}$; 再按照药理学人-大鼠折算系数^[15]大鼠是人相对摄入量的 6.2 倍折算成人的日蛋白摄入量: $20 \text{ g} / 6.17 = 3.24 \text{ g/kg}$ 体质量。从营养学角度,人的日蛋白需要量仅为 1 g/kg 体质量,可见大鼠配方饲料的营养远超过人类实际需要的营养水平。即使考虑动物生长需要也不会到 3 倍以上的蛋白摄取剂量。相当于 60 kg 体质量的人每天摄取约 200 g 蛋白的营养水平。因此,实验中大鼠的营养水平是超过人类实际需要的营养水平,而且高营养饲料喂食是固定的,而人类食谱每天是不固定、营养忽高忽低的。更有相当数量处于贫困线以下的人群,饮食具有更低的营养水平。因此,我们说这种完全脱离人类实际营养水平的实验评价结果无法保证转基因食品对人群的食用安全性,对人类饮食健康和基本安全没有指导意义。

1.2 实验动物的体质因素

实验动物处于快速生长期,健康的实验动物体质强健而且整齐划一,况且高营养饲料有进一步增强动物体质的功效。然而,人群体质由于国度、地域、种族、年龄、性别、营养等各不相同,体质可以说是千差万别。WHO 曾公布数据表明,世界上约有 75% 的人群处于亚健康状态,亚健康状态群体构成了人类的主体人群。儿童、少年、老年人及亚健康状态人群对不良侵害抵御能力会明显低于青壮年及成年人,即使现有的评价方式能保障少部分青壮年人群的食用安全性,也无法保障对人群主体大多数人的食用安全性问题。因此,实验动物的体质因素及饲料配方的高营养性与人类实际体质及营养状况相背离和存在的显著差异是评价结果缺乏科学性的关键症结所在。

1.3 大量营养素的稀释效应

含有大量营养素的高营养饲料背景在增强实验动物体质的同时,实验动物对毒性反映的灵敏度会下降,也使受试食品中微量毒素浓度被大大稀释而表现不出毒性效应。食品的安全性问题主要是由所含微量内毒素及抗营养素决定的,从毒理学角度认为“剂量决定毒性”,从药理学角度讲“浓度决定效应”。亲本与转基因食品的微量内毒素及抗营养素含量即使存在显著性差异,也均是微量水平上的差异^[16-17],而高营养饲料配方中大量营养素的稀释作用,也就会使其功效或毒性效应差异容易被掩盖而大为消减。因而多方面的因素使众多转基因食品评价得到的均是大同小异的结果,得出“实质等同”的结论比比皆是,导致“实质等同”原则的食用安全性评价形同虚设。

1.4 安全性评价的定位不准、标准过于宽松

转基因食品经过 20 年的评价研究及人群食用,表明其安全性问题主要的并不是中毒的危险,也非“转基因致癌”的风险^[18]。转基因大豆及其制品的风险问题在于农药残留的个案问题^[19-20],农药残留对人体健康危害很大,远超过所转基因的健康危险。转基因食品评价的重点应该定位在未来相关的流行病发生的风险,如不孕症、糖尿病及伴随免疫力低下的相关疾病。如大量流行病调研^[21-25]的结果显示过食精米会提高远期患 II 型糖尿病风险,转基因大米的风险在于进一步加重对胰腺的损害程度^[26],无需统计学差异和病理学上实质的改变,哪怕是微小的胰腺损害加重,也会使我国未来 II 型糖尿病发生率不断增高。这种微妙的差异在“实质等同”原则评价下由于无统计学意义是被忽略的。有的转基因大米的评价甚至忽略了胰腺指标^[27-28],根本不知道转基因大米食用风险的关键所在。有的评价已经出现指标的统计学差异,还要进行等同的认定^[14]，“实质等同”原则对评价者起到误导作用^[29],结论的可靠性也就值得怀疑。

1.5 实际评价中还存在很多的具体问题

例如,“实质等同”原则下的评价只是所含蛋白的营养功效评价^[30],并非整个食物的功效差异评价,完全是以偏概全的做法。况且对大米而言,蛋白含量仅占营养成分的6%~10%,80%以上是淀粉成份,而淀粉本质是多糖也是有生物活性的,其作用不仅是提供能量那么简单。而且还有微量营养素及抗营养素、内毒素变化的平衡与干扰等。因此,“实质等同”原则下的动物实验的评价结果,无法保障转基因食品对人体健康和安全的问題,而且存在诸多漏洞,“严谨性”和“科学性”尚待进一步加强。

1.6 后果严重性的分析

随着转基因事业的不断发展和突破,转基因的品种和数量会不断增多,由于食用安全性评价技术的不过关,大量安全性没有保障的转基因产物通过审批进入种植或养殖进而被人们食用。根据 $1+1>2$ 的理论, $1+1+1>3$,依次类推。食品安全基本的保障体系会被彻底打乱,人类的饮食健康也就无从谈起,食源性疾痼及慢性流行病必然会越来越高发。同时,由于转基因作物品种过多不仅给环境和生态平衡的评估带来巨大的压力。未来人类将难以驾驭各类转基因食品及作物的“群体效应”对人体健康,以及环境和生态平衡带来的巨大风险^[31-32]。如此长期发展下去,不仅会给人类健康带来巨大伤害,转基因事业也终将会因危害巨大、难以驾驭而夭折。目前种植推广中各方面出现的巨大争议问题和阻力可见一斑,已经为我们敲响了警钟。

因此,“实质等同”原则的食用安全性评价方式是诸多争议问题的核心,必须彻底改革评价方式,使其符合人类健康的实际需求。需要有能够说明转基因食品对人类安全性问题及可能存在风险的明确结论,而不是“基本等同、基本安全”含糊的、难以令人信服的评价结果。通过对“实质等同”原则评价中存在症结问题的深入分析,我们通过逆向思维选择营养效价较低的普通玉米作为共同背景的本底饲料,建立起低营养亚健康动物模型,并结合创建的损益指数及累计积分(Benefit-Damage Index-General Score, BDI-GS)评价体系,在玉米饲料中添加等比例的亲本及转基因食品,进行整个食品功效及安全性的对比评价,具有良好的科学性和实用价值。能够很好地解决转基因食品食用安全评价中存在的困惑和争议的问题,为转基因事业的健康发展铺平道路。

2 BDI-GS 食品功效安全评价体系的优势所在

2.1 扎实的理论基础

BDI-GS 评价体系主要是根据传统中医的核心理论——五行理论及三焦学说^[33],结合对食物营养效应特别敏感及现代养生学特别重视骨质健康问题^[34],以及经典营养

学评价的技术手段建立的食品功效及安全性评价体系。系统固定选取解剖学的五脏、三焦的3个重要腺体和股骨等9项能表征脏器组织功能的代表性指标,结合体质量变化的观察和血清生物化学指标的检测整合而成。通过实验动物的生理指标能够全面揭示受试食物的功效和安全性问题。该体系能够从宏观、局部到微观不同水平进行综合评价,不同层面的指标可以相互印证自成一体,并初步形成统一化和标准化的评价体系。

2.2 BDI-GS 评价方法的科学性

玉米是人类主食中营养效价最低的一种,也是普通标准鼠料的本底饲料,具有很好的适食性。由于低营养性,实验动物会逐渐呈现缺乏营养及亚健康状态,这很好地对应了大部分人群的营养特征和亚健康体质的实际状况。如果在低营养水平实验动物模型证明转基因食品的食用安全性,那么其对占主体的低营养和亚健康人群的安全性就有保障,同样由于饮食营养的解毒作用,那么对少部分高营养及健康的人群其食用安全性会有更充分的保障。而且啮齿类实验小鼠与人体在生理结构和生理特征方面有很好的相似性,实验结果可以很好地演绎到人体效应。因此,玉米低营养模型评价结果能够涵盖转基因食品对全部人群的食用安全性问题。完全符合科技以人为本的宗旨,并因而表明其具有良好的科学性。

2.3 BDI-GS 评价指标的灵敏性

由于使用低营养的饲料使实验动物评价指标对受试物功效及毒性效应均会反映敏感,即使微妙的变化也能通过脏器组织的BDI得以体现,无需有统计学差异的要求,实际上使评价标准变得十分严格甚至苛刻。通过基因修饰后的食品对脏器组织的损或益的改变及其程度均可通过BDI值轻松进行判断。而且通过BDI累计的GS值可对比评价受试物综合功效的高低,揭示整个食物的综合功效及风险的情况。不再是“实质等同”原则下评价的只是其中蛋白的功效和安全性,评价结果有很好的可比性,并通过“优选原则”判定转基因操作后的食品功效和安全性变化的优与劣。

2.4 BDI-GS 评价结果的实用性

BDI-GS 评价体系通过简单的数据转换,将脏器重量或系数进行BDI式的转化,并通过累计GS进行综合效应的评价,数据结果更加直观易懂。可以使转基因食品与亲本食品之间品质差异的比较变得十分容易。通过“优选原则”比较,即可知道转基因食品是否比亲本食品更为健康安全还是风险更高,并可以揭示出亲本及转基因食品相关的流行病风险信息。转基因食品究竟是有增加流行病的风险,还是对控制流行病有益。这些信息由于“实质等同”原则的评价无从进行揭示,未来就有可能蕴藏着巨大的远期健康风险。而如果通过评价能够预测其流行病风险,情况

就会大不一样,对将来控制饮食相关的流行病高发会有益处。也有可能通过评价发现能遏制流行病高发的转基因品种,如目前研究最热的转基因大米经过 BDI-GS 式的再评价精选,有可能得到能遏制我国不断高发的糖尿病的品种,成为真正意义上的“黄金大米”。

2.5 结论的科普性

BDI 和 GS 没有专业知识的人也能轻易看懂,并通过“优选原则”容易进行健康和安全性判断,有利于未来公众参与新的转基因高科技产品的评价和审批,满足民众知情权和参与权的需求。做到心明眼亮,民众会有健康把握在自己手中的感觉,争议中的问题自然会迎刃而解。并能够有效消除“实质等同”原则下评价转基因食用安全性给公众带来信赖危机的恶劣影响,未来对相关的转基因作物商业化种植和食品的推广也会有很好的促进作用。

2.6 对转基因事业的影响

理论上讲同一作物可以研究多个转基因品种,如目前国内外在封闭研究中的转基因大米就有 100 多种^[35-36]。由于 BDI-GS 方式的食用安全性评价的严格性,使得大量有害健康的品种被直接淘汰,可以起到严格优选的作用。首先要保证的是对人类健康的问题,而且由于能商业种植品种数量的大幅减少本身对环境及生态的影响就会降低。而少部分通过食用安全性评价的品种进入种植给环境及生态平衡的风险评估压力也会大为降低,可以进行更细致的评价研究。精品化的做法,使转基因品种大幅减少,结合细致的评价工作,转基因生态环境的风险无疑也是可以驾驭的。同时,由于 BDI-GS 式的评价具有评价周期短、样本用量少,结果明确等特征。可以使转基因在小试种植阶段的样本就可进行评价和判定,不合格的就直接淘汰,并转入新的转基因产品的研究,这无疑会使转基因作物的研究提速很多,发现有益于人类健康和社会发展的转基因品种的机会也就会大为增加。转基因的研究也会逐渐步入良性循环的轨迹。

2.7 利用 BDI-GS 体系进行食品评价的实例

本课题组前期通过低营养动物模型结合创建的 BDI-GS 评价体系,对比评价了进口转基因大豆和国产东北天然大豆的能效和安全性问题^[20],结果表明二者的能效差异相去甚远。当然,可能存在种植环境不同、是否为亲本等因素影响,但足以说明,进口转基因大豆在能效及安全性方面不如国产天然大豆。然后由于没有转基因大米样本,我们分别评价了基因相同、不同加工的普通精米和糙米的能效安全性^[26,37],很好地拟合和解释了相关流行病学调查^[21-25]的结果,并发现精米对胰腺健康的轻度损伤效应是造成过多食用精米饭导致 II 型糖尿病发生风险的原因。还进行了杂交大米与普通大米能效的对比评价^[38],以及对比评价了基因同源的两种糯米的能效^[39]。通过该体系还对多

种普通食品进行了能效及风险评价^[40-42],均很好地拟合了相关流行病学调查^[43-44]的结果,足以证明其科学性和实用价值。玉米低营养动物模型评价所表现出的对人类饮食相关的多种流行病同时具有很好的揭示作用,在以往的动物实验中并不多见,因而预示其在将来控制我国慢性流行病的高发态势将会发挥重要作用,而通过转基因新技术手段有可能成为其中最重要的方式之一。

因此,通过对实验操作及评价程序的进一步标准化和规范化要求,BDI-GS 评价体系完全可以取代有严重缺陷的“实质等同”原则的评价。BDI-GS 评价体系与现有的成份分析、过敏试验、基因转移、24 个月评价等评价方式进行整合后,人类完全可以驾驭转基因食品的食用安全性问题。只要我们能够放弃“实质等同”缺乏科学性的评价方式,转基因技术显著的现代高科技的特征,在将来解决我国人口粮食安全以及饮食健康问题中才会发挥重大的作用,人们无需再担心其食用安全性问题,百姓真正可以放心食用转基因食品。因为 BDI-GS 评价体系具有预防和降低相关流行病风险的优势,转基因食品有可能实现从人们不敢随意问津到争相选取的华丽转身。因此,笔者认为只有超越“实质等同”原则,我国的转基因事业才能走出困境,迎来灿烂而辉煌的明天。当然,将来要发展转基因品种,必须持谨慎、谨慎、再谨慎的态度。

参考文献

- [1] 马爱平. “转基因大豆”究竟可怕不可怕[J]. 中国科技财富, 2013, 7: 65-66.
Ma AP. Whether or not terrible exactly for ‘GM soybean’ [J]. Sci Technol Wealth China, 2013, 7: 65-66.
- [2] 郭于华. 天使还是魔鬼——转基因大豆在中国的社会文化考察[J]. 社会学研究, 2005, 1: 84-112.
Guo YH. Angel or devil -- expedition on GM soybean in China's social culture [J]. Sociol Res, 2005, 1: 84-112.
- [3] 杨文友. 转基因食品安全性检测与评价[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2001, 24(1): 49-53.
Yang WY. Genetically modified food safety testing and evaluation [J]. Chin J Front Health Quarant, 2001, 24(1): 49-53.
- [4] Millstone E, Brunner E, Mayer S. Beyond ‘substantial equivalence’ [J]. Nature, 1999, 401: 525-526.
- [5] Kuiper HA, Kleter GA, Noteborn HP, *et al.* Substantial equivalence--an appropriate paradigm for the safety assessment of genetically modified foods? [J]. Toxicology, 2002, 181-182: 427-431.
- [6] 顾祖维. 转基因食品的安全性及其毒理学评价[J]. 毒理学杂志, 2005, 19(1): 9-11.
Gu ZW. The safety of genetically modified food and its toxicological evaluation [J]. J Toxicol, 2005, 19(1): 9-11.
- [7] Magaña-Gómez JA, dela Barca AM. Risk assessment of genetically modified crops for nutrition and health [J]. Nutr Rev, 2009, 67(1): 1-16.
- [8] 王德明. 胃肠高营养疗法在晚期卵巢癌治疗中的应用[J]. 川北医学院学报, 2003, 18(2): 144-145.
Wang DM. High gastrointestinal nutrition therapy in the treatment of later

- ovarian cancer [J]. *J North Sichuan Med Coll*, 2003,18(2): 144-145.
- [9] 姜宇, 姜南. 恶性肿瘤综合治疗中高营养疗法的地位[J]. *河南肿瘤学杂志*, 1996, 9(4): 271-273.
Jiang Y, Jiang N. The position of high nutrition therapy in the combined treatment of malignant tumors [J]. *J Henan Oncol*, 1996, 9(4): 271-273.
- [10] Hennig B, Ettinger AS, Jandacek RJ, *et al.* Using nutrition for intervention and prevention against environmental chemical toxicity and associated diseases [J]. *Environ Health Persp*, 2007, 115(4): 493-495.
- [11] Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC Jr. AIN-93G purified diets for laboratory rodents; final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet [J]. *J Nutr*, 1993, 123(11): 1939-1951.
- [12] 郭建强, 齐娜, 苏忆兰, 等. SPF级大鼠体重和主要脏器正常参考值的探讨[J]. *卫生毒理学杂志*, 2002, 16(4): 255-257.
Guo JQ, Qi N, Su YL, *et al.* Study on SPF rats weight and normal reference value of main organs [J]. *J Health Toxicol*, 2002, 16(4): 255-257.
- [13] 王亚东, 杨海燕, 王海玉, 等. SD大鼠30d喂养试验正常参考值的探讨[J]. *现代预防医学*, 2007, 34(7): 1265-1267.
Wang YD, Yang HY, Wang HY, *et al.* Study on SD rats normal reference value of 30 d feeding experiment [J]. *Mod Prev Med*, 2007, 34(7): 1265-1267.
- [14] 胡贻禧, 朴建华, 杨晓光. 转人乳铁蛋白基因大米的营养成分及亚慢性毒性研究[J]. *卫生研究*, 2012, 41(1): 6-12.
Hu YC, Piao JH, Yang XG. Nutritional components and sub-chronic toxicity of genetically modified rice expressing human lactoferrin [J]. *J Hyg Res*, 2012, 41(1): 6-12.
- [15] 黄继汉, 黄晓晖, 陈志扬, 等. 药理试验中动物间和动物与人体间的等效剂量换算[J]. *中国临床药理学与治疗学*, 2004, 9(9): 1069-1072.
Huang JH, Huang XH, Chen ZY, *et al.* Dose conversion among different animals and healthy volunteers in pharmacological study [J]. *Chin J Clin Pharmacol Ther*, 2004, 9(9): 1069-1072.
- [16] 曹柏营, 欧仕益, 黄才欢, 等. 抗草甘膦转基因大豆的酚类物质分析[J]. *食品科学*, 2006, 27(8): 56-59.
Cao BY, Ou SY, Huang CH, *et al.* Analysis of Phenolic substances in transgenic soybean seeds and other soybean varieties [J]. *Food Sci*, 2006, 27(8): 56-59.
- [17] 金红, 张斌, 李鹏宇, 等. 转基因与非转基因大豆营养及次生物质的比较[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(5): 140-143.
Jin H, Zhang B, Li PY, *et al.* The Comparative study of the main content of nutritive index and secondary metabolites of genetically modified soybean and non-genetically modified soybean seeds [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(5): 140-143.
- [18] 张学文. 转基因食品—现状、前景及其安全性[J]. *食品与发酵工业*, 2003, 29(9): 82-86.
Zhang XW. Genetically modified food, the present situation, the prospects and its safety [J]. *Food Ferment Ind*, 2003, 29(9): 82-86.
- [19] Arregui MC, Lenardón A, Sanchez D, *et al.* Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean [J]. *Pest Manag Sci*, 2004, 60(2): 163-166.
- [20] 周则卫, 王德芝, 沈秀, 等. 用BDI-GS体系综合评价进口转基因大豆的能效与安全[J]. *大豆科学*, 2012, 31(5): 822-826.
Zhou ZW, Wang DZ, Shen X, *et al.* Comprehensive evaluation on functions & safety of imported GM soybean using BDI-GS system [J]. *Soybean Sci*, 2012, 31(5): 822-826.
- [21] Hu EA, Pan A, Malik V, *et al.* White rice consumption and risk of type 2 diabetes: meta-analysis and systematic review [J]. *BMJ*, 2012, (344): e1454.
- [22] Yu R, Woo J, Chan R, *et al.* Relationship between dietary intake and the development of type 2 diabetes in a Chinese population: the Hong Kong Dietary Survey [J]. *Public Health Nutr*, 2011, 5: 1-9.
- [23] Nanri A, Mizoue T, Noda M, *et al.* Rice intake and type 2 diabetes in Japanese men and women: the Japan Public Health Center-based Prospective Study [J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 92(6): 1468-1477.
- [24] Zhang G, Malik VS, Pan A, *et al.* Substituting brown rice for white rice to lower diabetes risk: a focus-group study in Chinese adults [J]. *J Am Diet Assoc*, 2010, 110(8): 1216-1221.
- [25] Sun Q, Spiegelman D, van Dam RM, *et al.* White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women [J]. *Arch Intern Med*, 2010, 170(11): 961-969.
- [26] 龙伟, 沈秀, 白佳利, 等. 用损益指数综合评价精米的营养健康效应[J]. *中国稻米*, 2013, 19(2): 9-13.
Long W, Shen X, Bai JL, *et al.* Comprehensive evaluation on nutrition and health effects of white rice using Benefit-Damage Index [J]. *Chin Rice*, 2013, 19(2): 9-13.
- [27] 董英, 施卫东, 周兴华, 等. 转高赖氨酸融合蛋白基因大米喂养SD大鼠90天试验研究[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(13): 2768-2776.
Dong Y, Shi WD, Zhou XH, *et al.* A 90-Day Toxicology study of transgenic rice expressing lysine-rich protein fusion gene in Sprague-Dawley rats [J]. *Sci Agric Sin*, 2011, 44(13): 2768-2776.
- [28] 杨月欣, 陈淑蓉, 韩军花, 等. 转SCK基因大米的营养学评价比较喂养研究小型猪[J]. *营养学报*, 2005, 27(1): 38-41, 45.
Yang YX, Chen SR, Han JH, *et al.* The nutritional evaluation of-comparative feeding genetically modified rice study of mini pigs [J]. *Acta Nutr Sin*, 2005, 27(1): 38-41, 45.
- [29] Esther J, Harry AK. Comparative safety assessment for biotech crops [J]. *Trends Biotechnol*, 2003, 21(10): 439-444.
- [30] 张洪瑞, 朱其松, 宋克勤, 等. 转基因食品的安全性评价与检测技术[J]. *河北农业科学*, 2008, 12(9): 101-103, 105.
Zhang HR, Zhu QS, Song KQ, *et al.* Study on the safety evaluation and detection techniques of transgenic foods [J]. *J Hebei Agric Sci*, 2008, 12(9): 101-103, 105.
- [31] 徐广惠, 王宏燕, 刘佳. 抗草甘膦转基因大豆(RRS)对根际土壤细菌数量和多样性的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(8): 4535-4541.
Xu GH, Wang HY, Liu J. Effects of RRS on the amount and diversity of bacteria in rhizospheric soil [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(8): 4535-4541.
- [32] 沈晓峰, 栾凤侠, 陶波. 抗草甘膦转基因大豆生物与环境安全性[J]. *东北农业大学学报*, 2007, 38(3): 401-404.
Shen XF, Luan FX, Tao B. Biosafety and environmental safety of genetic modified soybean resistant to glyphosate [J]. *J Northeastern Agric Univ*, 2007, 38(3): 401-404.
- [33] 孟媛, 于涛, 韩景献. 精与三焦关系浅析[J]. *江苏中医*, 2010, 42(5): 6-8.
Meng Y, Yu T, Han JX. Simple analysis on the relationship between nutrients and the sanjiao [J]. *J Jiangsu TCM*, 2010, 42(5): 6-8.
- [34] 李璞, 戴功瑾, 赵理. 骨密度与营养状况和生活方式的关系[J]. *现代预防医学*, 2007, 34(11): 2161-2162.

- Li P, Dai GQ, Zhao L. Relationship on bone mineral density and nutrition and lifestyle [J]. *Mod Prev Med*, 2007, 34(11): 2161–2162.
- [35] 张丽丽, 曹晶, 李宗军, 等. 转基因大米及其安全性评价研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2010, 4: 9–12.
- Zhang LL, Cao J, Li ZJ, *et al.* Research progress of genetically modified rice and its safety evaluation [J]. *Cereal Feed Ind*, 2010, 4: 9–12.
- [36] 陈浩, 林拥军, 张启发. 转基因水稻研究的回顾与展望[J]. *科学通报*, 2009, 54(18): 2699–2717.
- Chen H, Lin YJ, Zhang QF. Retrospect and prospect of transgenic rice research [J]. *Chin Sci Bull*, 2009, 54(18): 2699–2717.
- [37] 王晓光, 王浩, 白佳利, 等. 用 BDI-GS 系统评价糙米的营养健康效应[J]. *中国稻米*, 2013, 19(3): 18–22.
- Wang XG, Wang H, Bai JL, *et al.* Using BDI-GS System evaluate nutrition and health effects of crude dehulled rice (brown rice) [J]. *Chin Rice*, 2013, 19(3): 18–22.
- [38] 王晓光, 王德芝, 周则卫, 等. 杂交大米食用功效及安全性的评价研究[J]. *食品科技*, 2012, 37(11): 163–168.
- Wang XG, Wang DZ, Zhou ZW, *et al.* Evaluation of functions and safety in hybrid rice consumption [J]. *Food Sci Technol*, 2012, 37(11): 163–168.
- [39] 王德芝, 王浩, 沈秀, 等. 新体系对比评价糯米的营养健康效应[J]. *食品科技*, 2013, 38(6): 158–162.
- Wang DZ, Wang H, Shen X, *et al.* Comparative evaluation on nutritional and healthy effects of glutinous rice by BDI-GS system [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(06): 158–162.
- [40] 龙伟, 沈秀, 王德芝, 等. 用食品 BDI-GS 体系综合评价牛奶的营养健康效应[J]. *中国乳品工业*, 2013, 41(6): 4–9, 26.
- Long W, Shen X, Wang DZ, *et al.* Comparative evaluation on nutrition and health of bovine milk using food BDI-GS system [J]. *China Dairy Ind*, 2013, 41(6): 4–9, 26.
- [41] 龙伟, 沈秀, 王浩, 等. 可乐饮料功效安全性 BDI-GS 体系综合评价[J]. *中国公共卫生*, 2013, 29(增刊): 19–22.
- Long W, Shen X, Wang H, *et al.* Functions and safety comprehensive evaluation of Cola drink by BDI - GS system [J]. *Chin Public Health*, 2013, 29(Suppl): 19–22.
- [42] 龙伟, 靳瑾, 沈秀, 等. 新体系评价甜型红葡萄酒的营养健康效应及改进食品安全质量的设想[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(5): 1485–1491.
- Long W, Jin J, Shen X, *et al.* Evaluating the effects of sweet-type red wine on nutrition and health by novel system and imagination for improving safety and quality of foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(5): 1485–1491.
- [43] Feskanich D, Willett WC, Stampfer MJ, *et al.* Milk, dietary calcium, and bone fractures in women: a 12-year prospective study [J]. *Am J Public Health*, 1997, 87(6): 992–997.
- [44] Dhingra R, Sullivan L, Jacques PF, *et al.* Soft drink consumption and risk of developing cardiometabolic risk factors and the metabolic syndrome in middle-aged adults in the community [J]. *Circulation*, 2007, 31: 480–488.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



周则卫, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为药物及功能食品。

E-mail: zhouzewei@irm-cams.ac.cn