

综述

# 铁强化食品研究进展

胡 静 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:**针对铁缺乏有多种干预措施,其中推广铁强化食品是最具有成本效益性的干预措施。近年来由于人们对铁强化剂和强化技术研究的深入,NaFeEDTA 强化食品和氨基酸螯合铁强化食品的研究取得了较大进展,铁盐微囊包裹、添加维生素 C 和植酸酶以提高铁吸收率的技术也有较大的发展,为全面了解铁强化食品的研究情况,就铁强化剂和强化技术的研究进展进行综述。

**关键词:**铁缺乏;食品,强化;研究;营养调查

## Progress of Iron Fortified Food

HU Jing, PIAO Jian-hua

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

**Abstract:** Iron deficiency is one of the major health problems in the world especially in the developing

示,我们可以把微观领域体现具体标准的列表制度融入宏观的行政许可管理中,使得我国的健康相关产品的许可管理更加科学化、法制化、合理化。

行政许可制在我国使用较为广泛,涵盖了社会生活的各个领域。卫生行政许可是国家对健康相关产品管理的重要手段,我国规定食品、化妆品等健康相关产品的生产经营均需要通过行政审批取得许可证方可进行,并根据相关法律制定了取得许可证的程序。在我国加入 WTO 后,现行的卫生行政许可制度无论是在观念上、制度上还是实践上都还存在一定的差距,需要我们按照“入世”的要求和建设市场经济的需要加以调整、改革和完善。一方面要求简化审批程序,另一方面又要求严格实行准入制度。考虑到我国的行政许可条件不具体,标准不明确,有的过于宽泛,有的过于苛刻,使得行政机关及其工作人员的自由裁量过大,所以如把列表制度引入行政许可制度中,使许可的准入条件明晰准确直至列表制度化,这样我们在进行行政审批时就能更加规范,使许可制度更加体现经济规律,更加合理和科学。例如在我国的健康相关产品的行政许可程序中,在生产能力审核中,对生产企业提交的技术资料的核对和现场审核,依据产品配方、生产工艺和生产设备

核实生产企业是否具有相应产品的生产能力时,可以以肯定或否定列表制度的形式作为客观依据。因为生产能力是市场准入的关键部分,也是考验政府行政许可是否科学合理的关键。将生产能力的产品配方、生产工艺、生产设备采用严格的肯定列表制度以保证健康相关产品的质量,对保证我国人民的健康,保证国际贸易的顺利进行将会起着至关重要的作用。

### 参考文献

- [1] 毛雪丹. 日本“肯定列表制度”及其农药残留限量标准[J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(1): 91-92.
- [2] 曾永超. 加入 WTO 后的卫生行政许可制度改革[J]. 中国卫生监督杂志, 2003, 10(5): 313-314.
- [3] A Collection of Financial Keywords and Phrases[EB/OL].
- [4] 房军, 房鹏, 刘宝军. 日本化妆品和医药部外品管理简介[J]. 中国卫生监督杂志, 2004, 11(5): 292-295.
- [5] 吴咏梅. 中日化妆品卫生监督管理的比较[J]. 中国公共卫生管理, 2006, (22): 2.
- [6] 文吉. 国外行政审批制度比较以及对我国的启示[J]. 编制管理研究, 2002, (1): 42-45.
- [7] 梅旭辉, 孙秀发, 温先群. 食品药品化妆品监督管理大全[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2004.
- [8] 李永寅. 日本化妆品和法规[J]. 外国化妆品法规, 2003, (1): 28-30.

[收稿日期: 2006 - 12 - 18]

中图分类号: R155; D911.04    文献标识码: E    文章编号: 1004 - 8456(2007)03 - 0274 - 03

基金项目: Harvest Plus-China 计划  
作者简介: 胡静 女 硕士生  
通讯作者: 朴建华 男 研究员



countries. The most critically affected population are infants, school-age children and women of child-bearing age. In spite of that there are several measures to improve or maintain iron status in a target population, the iron-fortified food is considered to be the most effective. This paper briefly reviewed the successful iron fortification programs or trials conducted worldwide and summarized the iron fortificants and technics.

**Key word:** Iron Deficiency; Food, Fortified; Research; Nutrition Surveys

铁是人体必需的微量营养素,铁缺乏是全球三大隐性饥饿之首,是全世界尤其是发展中国家面临的最主要的营养问题之一。2002年“中国居民营养与健康调查”结果显示,我国居民贫血患病率达20.1%,其中男性为15.8%,女性为23.3%<sup>[1]</sup>。在发展中国家,由于经济发展落后,人群缺铁的状况更为严重,缺铁性贫血已成为仅次于结核病的全球患病率最高、耗资最大的公共卫生问题。在世界卫生组织2002年的《世界健康报告》中,“铁缺乏”被列为全球十大可预防的健康危险因素之一<sup>[2]</sup>。

针对人群缺铁的干预措施一般有食物搭配、食物强化和应用铁补充剂。食物强化即是将所缺乏的微量元素加入一种食物载体,以增加营养素在食物中的含量。这种方法的优点在于可以用较少的花费在比较短的时间内取得收效,不需要改变人们的饮食习惯,因而可以广泛推广,经济欠发达地区贫困人群也可以接受<sup>[3]</sup>。在过去几十年中,人们对铁强化食品做了比较多的研究,用铁强化食品改善人群的营养状况取得了很好的成效。发达国家开展铁的食物强化比较早,铁强化食品在工业化国家相当普遍,如饼干、面包、玉米粉、通心粉和早餐谷类食物等。美国从1941年起在面包和面粉中加入铁强化剂,美国膳食中约有25%的铁来源于铁的强化。在瑞典,由膳食摄入的铁中约有40%通过铁强化小麦粉获得。瑞典的育龄妇女的贫血患病率在1965年为30%,经过10年的营养强化,到1975年其贫血率下降到7%<sup>[4]</sup>。

目前普遍认为,在改善人群尤其是贫困人群的铁营养状况方面,食物强化是一项最具有成本效益性的长期干预措施。人们在铁强化食品方面也开展了很多研究,而铁强化剂的研究进展促进了铁强化食品的发展推广,随着各种铁强化剂和强化技术的发展,铁强化食品的铁吸收率以及感观性状的可接受度都得到了较大提高,本文就近几年来国内外的铁强化食物研究进展情况综述如下。

## 1 NaFeEDTA 强化食品

NaFeEDTA是一种金属螯合物,其铁含量为12.5%~13.5%,性质稳定,能溶于水的浅黄色粉末,无铁锈味。作为铁强化剂,国际营养性贫血顾问

组(INACG)1993年对其安全性进行了评估,将其列为“一般认为安全”,并将NaFeEDTA推荐为铁补充剂。选择铁强化剂不仅要考虑铁强化剂的铁含量,生物利用率也是一项非常重要指标。EDTA与铁螯合后,可以阻止铁吸收抑制因子如植酸与铁结合,NaFeEDTA的吸收受抑制因子的影响较少,在食物中的吸收率较FeSO<sub>4</sub>高,Hurrell R F等在研究中证实NaFeEDTA在植物性膳食中不易受到铁吸收抑制因子如植酸的影响,在植物性膳食结构中吸收率可高过FeSO<sub>4</sub>铁吸收率的2~3倍<sup>[5]</sup>。霍君生等用稳定同位素法对NaFeEDTA强化酱油中NaFeEDTA的吸收率进行了研究,结果表明FeSO<sub>4</sub>铁在人体中的平均吸收率为4.73%,NaFeEDTA为10.51%<sup>[6]</sup>。NaFeEDTA在人体吸收率方面优于传统的铁强化剂FeSO<sub>4</sub>,而且NaFeEDTA还具有促进膳食中其他铁源或内源性铁吸收的作用。Hurrell<sup>[7]</sup>等分别和同时强化<sup>55</sup>FeSO<sub>4</sub>和<sup>58</sup>NaFeEDTA,观察了同时服用2种铁源及先服用<sup>55</sup>FeSO<sub>4</sub>几天后再服用<sup>58</sup>NaFeEDTA强化的玉米粥后各种铁源的吸收率。结果表明,同时或分开服用时,NaFeEDTA的吸收率基本一致,而FeSO<sub>4</sub>同时服用时的吸收率明显高于分开服用,结果说明NaFeEDTA具有促进膳食中其他铁源或内源性铁吸收的作用。

以NaFeEDTA为铁强化剂进行的人群干预试验分别有1974年在泰国乡村以鱼露为食物载体的24个月人群改善,1983年在中美洲瓜得马拉城市社区以食糖为载体进行的20个月人群改善试验,1986年在南非城市社区以咖喱粉为食物载体进行的24个月人群改善试验。这些试验基本上肯定了NaFeEDTA改善人群铁状况的作用。在中国,以酱油为载体的NaFeEDTA强化食物在改善人群铁营养状况方面也有很好的效果。霍君生<sup>[8]</sup>等在河南南阳市开展了一项关于NaFeEDTA强化酱油对缺铁性贫血(IDA)改善作用的研究中,补铁组受试者缺铁性贫血各项指标有明显改善。此项试验结果表明NaFeEDTA强化酱油对改善缺铁性贫血有一定效果。NaFeEDTA强化酱油对于自然高危人群铁缺乏的防治也有明显效果,一项在贵州开展的受试者为14000人的18个月NaFeEDTA强化酱油干预试验显示,干预人群各年龄性别组的血红蛋白及血浆铁蛋

白水平明显升高,贫血率明显下降,3~6岁儿童身高体重明显改善,NaFeEDTA强化酱油对于纠正铁缺乏、降低贫血率以及改善儿童生长发育有明显的效果<sup>[9]</sup>。NaFeEDTA具有吸收率高和促进膳食中其他铁吸收的优点,是最近研究利用较多的一种新型铁强化剂,由于没有铁锈味而且性质稳定,可添加在很多类食品中作为铁强化剂。由于其价格相对低廉,可以在发展中国家广泛推广。

## 2 氨基酸螯合铁强化食品

铁的氨基酸的螯合物在最近十几年来被广泛应用于食物的铁强化和缺铁性贫血的治疗中,包括甘氨酸亚铁(FeBC)、甘氨酸铁(FeTC)、盐酸甘氨酸亚铁等等,其中甘氨酸亚铁的研究和应用最为普遍。FeBC的含铁量为20%,是亚铁离子与2个甘氨酸螯合而成,在pH2~6的环境下完全溶于水,1999年美国FDA将其评为GRAS(一般认为安全),通常作为铁强化剂添加在牛奶、小麦粉、玉米粉和饮料等食品中,其吸收受人体的铁储存量的影响,其吸收率与血清铁含量成反比<sup>[10]</sup>。FeBC在食物中的吸收率受到铁吸收干扰物的影响,但是较之FeSO<sub>4</sub>所受的影响要低。Bovell等将FeBC在食物中的稳定性与硫酸亚铁进行了对比实验,结果显示FeBC容易引起食物感观性状的改变以及食物的腐败<sup>[11]</sup>。甘氨酸亚铁能较好地改善儿童铁营养状况,Osman<sup>[12]</sup>等在6~14岁儿童的3个月铁营养改善试验中,用甘氨酸亚铁强化牛奶,试验结果显示,牛奶是甘氨酸亚铁的良好食物载体,甘氨酸亚铁没有引起牛奶的感观性状的改变,试验后女孩组的贫血率从23.0%降到9.6%,男孩组的贫血率从25.3%降到5.0%。但是此项试验没有设对照组,没有和其他铁强化剂如硫酸亚铁的效果进行比较。另外一项研究设置了对照组,试验对象为6~11岁儿童,在饮用了一种包括甘氨酸亚铁在内的复合营养素强化的饮料一段时期后,儿童的铁营养状况有了较明显的改善<sup>[13]</sup>。氨基酸螯合铁强化食品目前并不是很普遍,由于目前还缺少大规模的人群干预试验,其对各个年龄段人群的补铁效果还有待进一步的研究。

## 3 铁强化食盐

铁强化食物有多种食物载体,如上所述的酱油就是一种,食盐也可以作为铁强化食物的载体。Michael在2003年开展了关于碘铁双重强化食盐(DFS)对改善当地缺碘、缺铁的研究。加碘食盐已经在全世界大范围地推广,在改善人群的碘营养状况方面起到了很好的作用。研究证明铁与碘在体内

的代谢有较为密切的联系,缺铁会减少甲状腺激素T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>的合成,目前还没有一种很好的载体解决人群缺铁的问题,基于此,Michael<sup>[14]</sup>等在食盐的双重强化方面作出了探索研究。在碘铁双重强化食盐的制备中,确保碘的稳定性和铁的生物利用率是关键,溶于水的铁化合物生物利用率高,但是容易与氧气和水发生化学反应引起食盐变色,而且还容易引起碘化物的氧化。而不溶于水的铁化合物如磷酸铁或元素铁粉末虽不会引起上述的氧化反应和食盐的颜色改变,但是人体吸收率很低。理想的铁强化物应该是不会引起载体的感观上的改变而且生物利用率高。该实验用了硫酸铁,硫酸铁有非常高的吸收率,接近100%,由于用氢化的植物油包裹硫酸铁微粒,这种处理使得铁强化物不会造成食物的颜色改变,试验结果显示补铁效果较好。该实验用硫酸铁作为铁强化物,其改善铁营养状况的效果比其他同类铁强化食物要好,如Bilot<sup>[15]</sup>等用NaFeEDTA强化的咖喱粉,受试者的平均血红蛋白水平增加5~8g/L,血清铁蛋白增加15μg/L,原因之一就是硫酸铁由于有氢化植物油包裹,减缓了在肠道中的释放,减少了铁与其吸收抑制因子的结合,所以尽管在高植酸饮食结构中,其吸收率还是较高,甚至高于那些与铁吸收促进因子一起强化的强化食物的铁吸收率。Michael<sup>[16]</sup>等在2004年进行了碘铁维生素A三重强化食盐的研究,值得注意的是铁强化剂没有使用吸收率很高的硫酸铁,而是用焦磷酸铁(FePP),FePP是一种难溶于水的铁化合物,添加到食盐里不会引起颜色的改变,一般制备的FePP的颗粒10μm,吸收率很低,在Michae试验中使用一种喷雾-冷却技术制备了只有约2.5μm大小的FePP的颗粒,并且用氢化棕榈油包裹FePP以及添加的碘和维生素A,结果显示这种铁强化食盐在改善人群铁营养状态方面有很好的效果,6个月试验结束后,平均血红蛋白水平增加了15g/L,其他铁相关指标也有明显改善。微囊包裹技术是目前比较新的铁强化技术,解决了铁盐容易引起食物感观性状改变的问题,对于难溶性铁盐,这种技术也提高了铁化合物的生物利用率,因此,微囊包裹技术具有较为广阔的应用范围。

## 4 其他铁强化技术

提高铁的吸收率可以通过添加铁吸收促进剂和减少铁吸收抑制剂的方法来实现。维生素C是目前应用最为广泛的铁吸收促进剂,与铁强化剂一起添加到食物中,尤其是植酸含量较高的食品。维生素C具有还原性和与其他金属离子螯合的能力,当与铁同时进入肠道时,维生素C使三价铁还原成高

吸收率的二价铁,因此具有促进铁吸收的作用<sup>[17]</sup>。由于缺铁的易感人群通常是儿童和妇女,所以很多试验的受试人群为妇女和儿童。在婴儿的谷类食品中,同时添加铁强化剂和维生素C,当维生素C与铁的比例是1.5:1时,铁的吸收率平均提高了3倍;在婴儿的豆类配方食品中,当维生素C与铁的比例是4:1时,铁的吸收率从1.8%提高到6.9%<sup>[18]</sup>。维生素C的添加量要根据食物的种类、植酸含量的高低以及铁强化剂的种类来调整。在Hurrell等的研究中发现,在植酸含量中等的食物中,维生素C与铁的比例是2:1时,铁的吸收率将会被提高2~12倍,在高植酸含量的食物中这个比例就应该调整为4:1<sup>[19]</sup>。尽管维生素C能有效地提高铁吸收率,但是应用受到自身一些特性的限制,如维生素C易溶于水,容易氧化,在加热过程中容易流失等。这些问题都需要在以后发展铁强化食品中考虑和解决。

铁的吸收会受到食物中其他成分的影响,如植酸会与铁形成难溶性化合物影响铁的吸收,这是以植物性膳食为主的发展中国家缺铁率高的主要原因之一。在铁强化食物中同时添加可以有效分解植酸的植酸酶,植酸酶降解植酸,防止植酸与铁形成难溶的植酸铁,这样可以提高铁的吸收率<sup>[20]</sup>。为了提高铁的吸收率,要尽可能将植酸降到最低,植酸与铁的比例最好小于1:1,理想的比例为0.4:1。有报道显示完全的植酸分解可将铁的吸收率提高12倍,在以大米、玉米或小麦为主食的膳食中添加植酸酶,可使成人铁的吸收率从0.33%~1.80%提高到2.79%~11.54%<sup>[21]</sup>。最近有研究也对这种方法的有效性提出了置疑,Lind用普通玉米粥和经过植酸降解的玉米粥分别喂养给2组6~12个月的婴儿,结果显示2组的铁吸收率并没有明显的区别。这个结果也可能是由于食物中较低的植酸含量和较高的维生素C含量造成的(VC:Fe为5:1)<sup>[22]</sup>。关于通过添加植物酶来提高人体对食物中的铁吸收率的有效性还需要以后的实验加以验证。

与维生素A或碘的强化相比,铁强化的食物载体更多,但是铁强化存在的技术上的困难就是铁强化剂容易和食物中的其他成分发生反应而改变食物的口感或外观。铁强化食物的发展面临的最主要的挑战就是将铁强化技术和铁强化剂与载体较好地结合起来,在不改变食物的感观性状的基础上,提高铁的吸收利用率,同时也要考虑在食物的加工、储存、烹饪等过程中的损失。各种铁强化剂和铁强化技术具有自身的特点,NaFeEDTA适合添加在酱油、鱼露等调料中,他的吸收率很高而且没有铁锈味,不会明显改变食物的感观性状,但是由于对于儿童,

NaFeEDTA强化食品并没有明显优于其他的铁强化剂<sup>[23]</sup>;甘氨酸亚铁适于添加在牛奶、饮料中;微囊包裹技术可以保护可溶性铁盐不与其他物质发生反应变质,可在铁强化食盐中使用;维生素C适于添加在各类干粉类食物如婴儿配方奶粉中,但由于维生素C的稳定性较差,需要另添加抗氧化剂,对食品的包装要求也较高;添加植酸酶降解植酸的技术适用于各种谷类食品,由于成本低廉可以在发展中国家推广使用。推广铁强化食品是人们预防铁缺乏和缺铁性贫血的有效办法,新型铁强化剂和新的铁强化技术的应用促进了铁强化食品的发展;选择铁强化剂应该综合考虑铁吸收率、食物载体、食用人群和成本等因素。

### 参考文献

- [1] 朴建华,赖建强,殷士安,等. 中国居民贫血状况研究[J]. 营养学报,2005,27:268.
- [2] World Health Organization. 2002年世界健康报告[EB/OL]. www.who.int/whr/2002/en/index.html.
- [3] 陈君石. 食物强化在国民营养素质中的改善作用[J]. 卫生研究,2003,32(增刊):1-2.
- [4] 食物强化是预防铁缺乏的理想方法[J]. 营养时讯,2003,(9):11.
- [5] HURRELL R F. Preventing iron deficiency through food fortification[J]. Nutrition Review,1997,55(6):210-222.
- [6] 霍君生,朴建华,于波,等. 稳定同位素示踪测定NaFeEDTA强化酱油中铁在人体中吸收率[J]. 卫生研究,2003,32(增刊):19-24.
- [7] HURRELL R F, REDDY M B, BURRI J, et al. An evaluation of compounds for iron fortification of cereal-based foods[J]. Br J Nutr, 2000,84(6):903-910.
- [8] 霍君生,孙静,苗虹,等. 乙二胺四乙酸铁钠强化酱油对学生贫血状况的改善[J]. 卫生研究,2001,30(5):296-298.
- [9] 陈君石,赵显峰,张馨,等. NaFeEDTA强化酱油对铁缺乏的防治效果[J]. 卫生研究,2003,32(增刊):29-38.
- [10] PIZARRO F, UICICH R, OLIVARS M, et al. Iron absorption of ferric glycinate is controlled by iron stores[J]. Nutr Res, 1998,8:3.
- [11] BOVILL-BENJAMIN A C, ALLEN L H, FRANKEL E N, et al. Sensory quality and lipid oxidation of maize porridge as affected by iron amino acid chelate and EDTA[J]. J Food Science,1999,64(2):371.
- [12] OSMAN A K, AL-OTHAINMEEN. Experience with ferrous bis-glycine chelate as an iron fortificant in milk[J]. Int J Vitam Nutr Res,2002,72:257.
- [13] ASH M A, TATALA S R, FRONGILLO Jr, et al. Randomized efficacy trial of a micronutrients-fortified beverage in primary school children in Tanzania[J]. Am J Clin Nutr,2003,77:891.
- [14] MICHAEL B, ZIMMERMANN, CHRISTOPHE ZEDER, et al. Dual fortification of salt with iodine and microencapsulated iron: a randomized, double-blind, controlled trial in Moroccan schoolchildren[J]. Am J Clin Nutr, 2003,77:425-432.
- [15] BLOTT D E, MACPHAIL A P, BOTHWELL T H, et al. Fortification of curry powder with NaFe( ) EDTA in a iron-deficient

综述

# 食物健康声称 ——欧洲 PASSCLAIM 的循证程序

付佳<sup>1,2</sup> 杨月欣<sup>1</sup>

(1. 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所,北京 100050;

2. 四川大学华西分校卫生学院,四川 成都 610044)

**摘要:** 欧洲委员会的“评估食物声称科学证据的程序”(PASSCLAIM),包括了食物健康声称的评估程序、方法和标准。为给我国食物健康声称的循证过程提供依据和参考,介绍 PASSCLAIM 中的循证概念、过程和要点。

**关键词:** 欧盟;食品;健康声称;循证科学

## Health Claims on Foods

### ——Evidence-Based Approach of PASSCLAIM in European Union

FU Jia, YANG Yue-xin

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

**Abstract:** The PASSCLAIM (Process for the Assessment of Scientific Support for Claims on Foods) project in EU includes assessment procedure, method and criteria for health claims on foods. The article introduced the evidence-based concept, process and procedure of PASSCLAIM, and provided evidence and references for substantiation of health claims in China.

**Key word:** European Union; Food; Health Claims; Evidence-Based Science

population: report of a controlled iron-fortification trial [J]. Am J Clin Nutr, 1989, 49(1): 162-169.

[16] MICHAEL B, ZIMMERMANN, RITA WEGMULLER, et al. Triple fortification of salt with microcapsules of iodine, iron, and vitamin A [J]. Am J Clin Nutr, 2004, 80:1283-1290.

[17] CONRAD M E, SHADES G. Ascorbic acid chelates in iron absorption: a role for hydrochloric acid and bile [J]. Gastroenterology, 1968, 55:35-45.

[18] GLOOLYM, TORRANCE J D, BOTHWELL T H, et al. The relative effect of ascorbic acid on iron absorption from soy-based and milk-based infant formula [J]. Am J Clin Nutr, 1984, 40:522-527.

[19] Hurell R. How to ensure adequate iron absorption from iron-fortified food [J]. Nutr Rev, 2002, 60:S7-S15.

[20] SANDBERG A S, HULTHEN L R, TURK M. Dietary aspergillus niger phytase increase iron absorption in humans [J]. J Nutr, 1996,

126:476-480.

[21] HURELL R, REDDY M B, JULLERAT M A, et al. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects [J]. Am J Clin Nutr, 2003, 77:1213-1219.

[22] LIND T, LONNERDAL B, PERSSON L A, et al. Effects of weaning cereals with different phytate contents on hemoglobin, iron stores and serum zinc: a randomized intervention in infants from 6-12 mo of age [J]. Am J Clin Nutr, 2003, 78:168-175.

[23] DAVIDSSON L, ZIEGLER E, ZEDER C, et al. Sodium iron EDTA [NaFe( ) EDTA] as a food fortificant: erythrocyte incorporation of iron and apparent absorption of zinc, copper, calcium, and magnesium from a complementary food based on wheat and soy in healthy infants [J]. Am J Clin Nutr, 2005, 81(1):104-109.

[收稿日期:2006-09-28]

中图分类号:R15;O614.811 文献标识码:E 文章编号:1004-8456(2007)03-0276-05

基金项目:国家科技部支撑计划(2006BAD27B01)

作者简介:付佳 女 硕士生

通讯作者:杨月欣 女 研究员 博士生导师

