

天然食用色素的特性、应用、安全性评价及安全控制

成 黎

(北京农学院国际学院, 北京 102206)

摘 要: 天然食用色素具有安全性高、低毒副作用; 含有人体需要的营养物质或具有丰富的药理作用; 色调自然、易为消费者接受等很多独特的优点, 目前天然食用色素已广泛应用于饮料、糖果、乳制品、糕点、鱼、肉罐头制品及调味料等各种食品中。然而, 在天然色素的原料开发、加工研制及与食品的配合应用过程中仍然存在着部分安全风险。通过对天然食用色素的分类、特性、应用及安全性评价的文献回顾, 提出: 为了保证长期使用天然食用色素对人体不产生任何瞬时或者累积的健康危害, 必须对这些安全隐患进行控制及降低。同时需要相关部门对天然色素进行严格的安全性评价及控制, 这些评价方法包含毒理学检测、有害微量元素检验、卫生检验。

关键词: 天然食用色素; 特性; 应用; 安全性评价; 风险评估

Characteristics, Application, Safety Evaluation and Safety Control of Natural Food Pigments

CHENG Li

(International College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: Natural food pigments have been widely used in the food industry due to their unique benefits such as high safety, low negative effects and multiple health benefits compared with synthetic food pigments. However, with development of natural food pigments, the safety of natural pigments used in foods has gained extensive attention. There are still many safety risks in natural food pigments during their development, processing and application. This article summarizes the classification, major characteristics, application and safety evaluation as well as safety control of natural food pigments, which will be benefit for reducing the immediate and cumulative safety risks of natural food pigments to the minimal level. A series of natural food pigment safety evaluation methods including toxicology test, toxic trace element test and hygiene test of natural food pigments in a more reliable and consistent manner have been discussed.

Key words: natural food pigment; major characteristics; application; safety evaluation; risk evaluation

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)23-0399-06

颜色在食品加工中起着特殊的作用。因为食物颜色是用来辨别和衡量食物新鲜程度最基础的工具之一^[1], 消费者往往通过对食物色泽的感知来辨别食物的新鲜程度, 从而选择食品^[2-3]。然而, 在现代食品加工业中, 为了使食物保存更长久, 往往会在加工过程中部分丧失或改变原有的天然色泽, 因此, 大多数的食品企业在食品加工过程中通过添加食用色素使食品保持具有吸引力的感官特征^[4]。食用色素按来源可以分成天然色素和人工合成色素。天然食用色素是从植物、微生物、动物材料中, 用物理方法提纯而得到的天然着色物质^[5-6]。文献证明, 早在公元前1500年, 人类就开始在食物中使用天然色素, 古埃及人利用天然提取物和葡萄酒来改善糖果颜色^[7]。我国文献

《史记·货殖传》和《齐民要术》中也记载了古人在东周及北宋年间对天然色素的提取和使用^[8]。随着西方工业革命的发展, 食品加工业也取得了迅速发展, 19~20世纪, 人工合成色素出现并逐渐占据食品加工着色剂的主要地位^[9]。与人工合成色素相比, 天然食用色素安全性相对较高。近些年来, 消费者逐渐对饮食与健康的关系认识加深, 对食品安全的重视度不断增加, 人们对天然食用色素的需要也越来越多^[10]。目前我国是世界上批准使用天然色素最多的国家^[5]。天然食用色素的开发、应用研究和安全性评价也成为相关科研工作者及食品企业从业者研究和工作的重点。本文对天然食用色素的分类、特性、应用及安全性评价及控制进行了初步的探讨。

收稿日期: 2012-07-16

作者简介: 成黎(1972—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为贯穿供应链的食品安全控制。E-mail: chenglee1@yahoo.com

1 天然食用色素的分类

天然色素的来源广泛、种类繁多，单就类胡萝卜素就有 600 多种^[8]。因此，天然色素的分类依据也不同，按来源可分为植物色素、动物色素和微生物色素；按其溶解性不同可分为水溶性色素和脂溶性色素等；以化学结构可以划分为类胡萝卜素、花青素类等 5 大类^[8,11]。表 1 通过各种文献研究对天然食用色素的分类进行了总结。

2 天然食用色素的特性

天然食用色素来源于自然，种类繁多，且大多数无毒副作用，与合成色素相比具有突出的特性。与合成色素相比，天然食用色素的优点有：1) 大多数天然色素来源于可食的动植物，安全性高，低毒副作用，毒理学实验评价不高^[15,19-20]；2) 很多天然色素含有人体需要的营养物质或者本身就是维生素或者维生素类物质^[15,19]；3) 一些天然色素具有药理作用，对某些疾病有防治作用，如黄酮类色素对心血管病的防治具有积极作用；还有一些色素具有抗氧化、镇痛、降压等作用^[13,15,19,22]。天然色素色调自然，易为消费者接受，有一定的使用价值和经济价值。有的品种有特殊香气，增加食品的风味^[8,15,19,22-24]。

与合成色素相比，天然食用色素的缺陷有：1) 稳定性较差，色调不稳定：主要表现在其水溶性、热稳定性、金属离子的影响等方面^[13,25]。一些色素只有 pH 值在 2~6 时相对稳定，如红地球葡萄色素。另外金属离子、氧化剂和还原剂对色素都有一定的破坏作用，因此天然色素稳定性低，对保存环境要求相对较高^[13,26]。很多天然色素溶解性差，不易混合均匀，不易着色^[12]。2) 保色性差：由于色素未被分离时与其他物质紧密结合，对物质

的颜色起着长久作用，分离后，失去了细胞膜及其他生物机制的保护，易褪色。3) 应用范围窄：由于天然色素对环境要求高，专用性强，因此单一色素的应用范围较窄^[13,27]。4) 纯度低：因为天然色素是从动植物中分离出来的，常共存有其他成分，纯化难度较大，提取纯化成本相对较高^[12-13]。

3 天然食用色素的应用

目前食品加工工业对于天然食用色素的应用呈多维化的潜力^[28]。由于天然食用色素具有很多有益的特性，很多情况下，对于天然色素的使用不仅仅起到影响食品颜色的作用，还会发挥其药理保健作用及增加天然风味等其他作用^[29]。然而，使用色素的主要目的还是在于帮助校正食品色泽的天然偏差，或者校正由于贮存、加工、包装等过程中造成的色素变化导致的色泽不一致，烘托产品的合适的色泽效果，保证外观更为消费者所接受。天然食用色素可以广范应用于饮料、糖果、乳制品、糕点、鱼、肉罐头制品及调味料等各种食品中^[20]。

3.1 饮料

软饮料和酒精饮料中通常要加入色素全面着色，以烘托风味，使产品更具吸引力。由于消费者对于食品安全及保健作用的需求，一些天然色素会在饮料中使用，如月季花红素、越橘色素等。需要注意的是，许多饮料是装在透明容器中的，需要加入对光的稳定性较强的天然色素^[27,30-31]。

3.2 糖果和糕点

硬糖、棒棒糖、糖衣巧克力等都有色彩引人注目的糖果来吸引消费者。由于这类产品会常暴露在阳光下，因此需要选用对光和氧化具有稳定性的水溶性天然色素。糕点上应用天然色素在增加安全的同时，会通过色

表 1 天然食用色素的分类
Table 1 Classification of natural food pigments

分类依据	色素种类	来源及应用
原料来源	植物性	从人工种植植物中提取的天然色素，如红花草素 从农副产品或废弃物中提取的天然色素，如橘皮色素 从野生植物野浆果中提取的天然色素，如万寿菊色素 ^[12]
	动物性	重点集中在大型哺乳动物中，如胆红素 昆虫资源，如胭脂虫等 ^[13]
	微生物资源	应用最多的微生物资源为红曲菌 ^[13]
溶解性	水溶性色素	一般用于水基类的食品中，如冰淇淋、饮料等
	油溶性色素	一般用于黄油、色拉油及各种点心和微波食品中
	乳浊型色素	通过添加乳浊剂用特殊加工方法制成的，用于水基或油基食品中，如奶酪、饮料和烘焙食品中等
	固体粉末型色素	用于固体含量高，不依赖于水的食品中，如谷物食品等 ^[14]
化学成分及结构	吡咯色素	一般称为叶绿素
	多烯色素	一般分为胡萝卜素类和叶黄素类
	酚类色素	一般分为色素花青素类和花黄素类
	酮醌类色素	色素中含有酮类或醌类结构，如散沫花素
	其他天然色素	结构不同于上述物质但属于色素的天然物质 ^[8,13,15-18]

泽增加食欲。乳浊型和油溶性色素在糕点中使用较多。

3.3 乳制品

由于乳制品中的乳蛋白可以与油溶性色素结合稳定,质地纯正,因此用于人造奶油和奶油中最理想的色素就是油溶性的天然色素,例如姜黄素等。

3.4 鱼、肉和罐头制品

鱼、肉加工制品和罐头制品由于加工贮藏过程中的处理工作,血红蛋白会发生变化,导致明显变色或者褪色。生产者为了吸引消费者,恢复产品原来的色泽,保持商品价值,会添加色素。目前用于这类食品中的天然色素主要有红色素甜菜红和辣椒红色素。这些天然色素取代有致癌风险的合成发色剂,提高了食品的安全性,发色效果良好。

3.5 加工蔬菜、水果和调味料

新鲜果蔬为了便于长时间贮藏,常常通过腌渍、加热、干燥等手段被加工成蜜饯果脯、脱水蔬菜、调味料等,在这个过程中,原本艳丽的颜色会改变、褪去。为了增加产品的吸引力,通常会选用水溶性天然色素来帮助校正色泽,例如叶绿素、辣椒黄色素、姜黄素、大麦芽和焦糖素等^[31]。

4 天然食用色素的安全性及风险控制

由于使用天然色素来源于自然,其安全性普遍被人们信赖,但安全性高并不等于无毒副作用,一些天然色素存在安全风险,需要进行安全评价及控制。

4.1 天然色素的安全风险

天然色素并不绝对安全,在其来源、化学结构及提取加工过程中都存在安全风险(图1)。

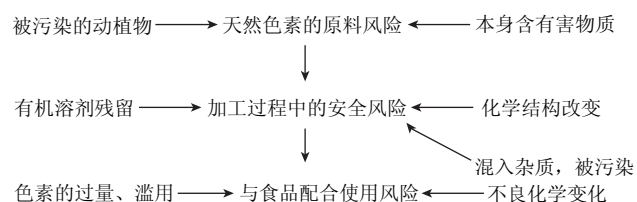


图1 天然食用色素存在的安全风险
Fig.1 Safety risks of natural food pigments

4.1.1 天然色素的原料存在的安全风险

由于天然色素成分较复杂,有的色素成分没有被分离鉴定,本身含有某些危害物质,如藤黄素,或者有毒的霉菌等。一些天然色素中包含某些无机色素,这些色素一般都是一些重金属或者金属盐类,一般毒性较大^[32-34]。近年来人类在作物的生产中大量使用农药,造成了空气、土壤、水源的污染。这些污染通过食物链在动、植物体内大量残留,在自然界中很难降解。天然色素从这些受污染的动、植物中提取出来,也会含有超标的农药

残留,对人体产生不利健康的危害^[32]。

4.1.2 天然色素加工过程中的安全风险

天然色素在提纯分离过程中也会产生安全风险,目前国际上对天然染色素的提取大多使用正己烷、丙酮等有机溶剂,这些有机溶剂的安全性以及在后续工艺中的残留都会对天然色素的安全性产生影响。另外,天然色素在加工、精制的过程中,结构会发生改变,或混入杂质被污染,造成安全风险^[32,33-35]。

4.1.3 天然色素在食品使用中的安全风险

天然色素在食品使用中存在的安全风险主要是超剂量、超范围使用,在混配天然色素过程所产生的反应等。安全和功能的关键在于剂量,在一定剂量下有功能的物质超标使用就有可能产生毒性。任何物质的功能和安全性都是在一定剂量下评定的。另外天然色素如果使用不当,色素和食品间会发生一些不良反应,也会对人体安全产生危害^[32]。

4.2 天然食用色素的安全性评价

天然食用色素在食品中的使用关系到消费者的健康,天然食用色素的生产和使用中会存在一些安全风险需要控制和降低,因此,相关部门对天然食用色素的安全要求是很高的。任何天然色素在被批准前要做大量的实验,提供大量可靠数据,对它们的安全性评价采用综合评价的方法。对于天然食用色素的安全性评价各国主要都基于动植物的毒性、毒理实验数据和使用色素的化学结构、性质、纯度及稳定性等因素进行评价。1994年,世界卫生组织(WHO)联合食品添加剂专家委员会(JECPA)对某些着色剂公布了毒理学评价结果,提出了人体最大日摄入量(ADI)的参考值。国内的GB 2760—2011《食品添加剂使用卫生标准》规定了各种合成食用着色剂的安全评价标准。对于天然食用色素的安全性评价方法,现阶段包含3个方面:毒理学检测、有害微量元素检验、卫生检验^[5,36]。

4.2.1 毒理学检测

毒理学检测评价包含毒性剂量测定与毒性实验,前者为测定某种天然色素对机体造成损害的能力;后者为研究动物在一定时间以一定剂量进入体内所引起的毒性反应,它一般分为急性毒性实验、遗传性毒性实验、亚慢性毒性实验和慢性毒性实验(包括致癌实验)这4个阶段。决定天然色素是否能应用于食品,主要取决于毒性在现阶段生产和生活条件下是否可以被控制^[37-39]。

4.2.2 有害微量元素检测

天然色素在生产、贮存和运输过程中,可能会有一些有毒微量元素带入,为了保证天然食用色素的安全性,防止有毒物质的带入,必须对一些常见有害微量元素进行检测,各项检查项目不得超标^[37-38,40]。

4.2.3 卫生检验

在完成毒理学及微量元素检测合格后,还要对天然色素进行卫生检验。主要检验一些致病微生物和农药残留。检测需要按照标准方法严格检验,检验结果必须符合国家标准天然色素才能使用。一般对食用天然色素的要求是致病菌阴性、一般菌落30CFU/mL以下,DDT、六六六、菌曲霉未检出^[15,37]。

4.3 有效控制及降低天然色素的安全风险

由于天然食用色素的安全风险存在于从源头到成品食用各个阶段,对于天然食用色素安全的控制也要贯穿整个从源头到成品的供应链,发现、明确、控制每一阶段的安全隐患。因此关键控制点分析体系(hazard analysis critical control points, HACCP)和风险评估体系(risk assessments, RA)对导致食品安全问题的危害,进行风险识别、评估与控制,是控制和降低天然食用色素安全危害的最有效体系^[41-44]。早期的风险识别是控制安全风险的关键。早期风险识别工作包括建立专业数据库;建立风险出现的鉴别描述架构及食品安全风险出现的及时报告体系;分析食品安全警报趋势;以及回顾分析由微生物、生化、化学和真菌毒素等引起的食品安全风险特征等^[45]。此外,文献[46]表明,对于食品安全风险的控制还集中在一些特殊的控制研究领域,特别是食品安全风险出现的早期发现,识别和评估;对于微生物风险,化学风险、生化风险以及全球气候转变带来的风险出现的研究与控制。因此,要有效地控制天然色素的安全风险就要从源头到成品进行逐一的风险识别与控制,这包含了天然色素的源头控制、加工及使用过程中的控制和管理标准的控制。

4.3.1 源头控制

源头控制即天然色素的原材料控制,原材料中存在的风险主要有4个方面:1)天然色素本身成分比较复杂,一些原料未经鉴定其安全性。对于这一类原料的使用要参考历史使用纪录,同时进行毒理学检测、有害微量元素检验、卫生检验等安全性评价^[47]。2)原料中含有重金属等有毒成分,防止这类风险出现的方法主要有对各物质成分进行标识,在色素提取原料中用物理和化学的扫描技术例如TLC,扫描各种有毒成分,如重金属、马兜铃酸(aristolochic acid)等^[48-49]。3)原料为活性微生物成分,在一定条件下产生毒素。由于这类天然物质的独特生理特性,对其安全风险检验主要依照使用这些活性微生物的潜在风险去评估。大量的评估主要在于这些原料本身的安全性的分析^[50-55]。使用者要对有毒禁用的种类严格控制,对色素使用的原料成分要严格标识。同时要了解活性物质在其生长条件及发酵介质中的特性与安全风险的联系,以及活性物质与重要抗生素的对抗性和肠胃反应等^[47,53,56]。4)原料由于污染含有农药等有害化学物质

的残留。降低这类化学污染需要选用相对传统、安全的种植、养殖的原料进行色素提取。同时对使用的天然及化合杀虫剂的安全性进行评估,另外生物杀虫剂对环境与人类健康也有着影响,在选取色素原料时也要考虑到生物杀虫剂的使用情况和进行安全评估^[49,57]。

4.3.2 加工及使用过程中的控制

在加工和使用过程中,有的色素特别是从天然草药中提取的色素会出现交叉污染以及同别的原料产生化学反应的安全危害^[48]。Kelly等^[58]研究表明天然物质在某种环境中(加工或者消费过程中)会产生反应,例如与口腔或者肠道中的微生物相遇产生转换。对这种危害要建立一个各种相关物质化学反应危害及交叉污染数据库,严格控制物质使用中累积剂量,严格安全操作防止交叉污染。另外,天然色素在提纯分离过程中也会产生安全风险,有些使用的有机溶剂的安全性以及在后续工艺中的残留都会对天然色素的安全性产生影响。这些都需要在提取、纯化中进行改进^[59-60]。为了减少有害物质的残留,新的更加环保的技术已经逐渐应用在天然物质的提取中,例如利用二氧化碳和水代替一些有害的有机溶剂。目前超临界二氧化碳萃取技术由于全过程不用有机溶剂,萃取物无残留溶媒,同时也防止了提取过程对人体的毒害和对环境的污染,成为应用发展最快的技术^[59,61-62]。

4.3.3 管理和标准的控制

很多天然物的提取物质用于食物已经有较长的历史,但是没有明确的日摄入量(ADI)和未观察到的损害作用剂量(NOEL)标准^[63]。目前,我国所使用的天然色素标准也仅有品种而没有明确剂量并且大多数标准低于国际标准,很多天然色素无检测方法和指标。因此要控制天然色素的安全风险,就要在天然色素的管理和标准上进行严格控制:要对使用天然色素的审批程序进行严格管理,包括原料来源、名称、取用部位、主要成分化学结构、检测方法、着色成分的纯度、灰分、溶剂残量、菌群数、稳定性实验、毒理检测、安全性级别等^[32]。在管理上建立和贯彻HACCP与良好生产规范(GMP)体系,对在食品原料中使用的天然物质逐一进行安全评估,建立起一个通用的评估框架^[64-65]。

5 结 语

天然食用色素安全性高,低毒副作用;含有人体需要的营养物质或者本身就是维生素或者维生素类物质;一些天然色素具有药理作用,对某些疾病有防治作用,还有一些色素具有抗氧化、镇痛、降压等作用;天然色素色调自然,易为消费者接受,有的品种有特殊香气,增加食品的风味,有一定的使用价值和经济价值。因此,消费者对天然色素的需求越来越多。目前天然食用色素已广泛应

用于饮料、糖果、乳制品、糕点、鱼、肉罐头制品及调味料等各种食品中。然而,在天然色素的原料开发、加工研制及与食品的配合应用过程中仍然存在着部分安全风险。为了保证长期使用天然食用色素对人体不产生任何瞬时或者累积的健康危害,必须对这些安全隐患进行控制及降低。这就需要相关部门尽量做到:1)建立和完善天然色素的安全、卫生、检测标准,对天然色素进行严格的安全性评价及控制,这些评价方法包含毒理学检测、有害微量元素检验、卫生检验。2)对天然色素的生产链即从源头到成品进行有效的风险识别与控制。只有在天然食用色素的开发、研制、应用过程中准确地识别控制安全危害,严格地进行天然食用色素的安全性的综合评价,天然食用色素的安全性才能得到有效的保证。3)建立各种危害及相关物质反应数据库,避免危害的发生。4)在管理上,建立和贯彻 HACCP 与良好生产规范(GMP)体系,对在食品原料中使用的天然物质逐一进行安全评估,建立起一个通用的评估框架。

参考文献:

- [1] DUFOSSÉ L. Microbial production of food grade pigments[J]. Food Technol Biotechnol, 2006, 44(3): 313-321.
- [2] SANJAY K R, KUMARESAN N, NAIDU K A, et al. Safety evaluation of pigment containing *Aspergillus carbonarius* biomass in albino rats[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(3): 431-439.
- [3] CLYDESDALE F M. Color as a factor in food choice[J]. Crit Rev Food Sci Nutri, 1993, 33: 83-101.
- [4] GONZALEZ M, GALLEGO M, VALCARCEL M. Automatic screening method for the rapid and simple discrimination between synthetic and natural colorants in foods[J]. Analytica Chimica Acta, 2002, 464: 237-247.
- [5] 夏洁如, 向晨茜, 王伟伟. 食用天然色素功能应用及发展趋势[J]. 中国酿造, 2008(22): 1-3.
- [6] 凌关庭. 食品添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997: 541-546.
- [7] 曹雁平. 我国天然食用色素研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(1): 80-84.
- [8] 惠秋沙. 天然色素的研究概况[J]. 北方药学, 2011, 8(5): 3-4.
- [9] MAPARI S A S, THRANE U, MEYER A S. Fungal polyketide azaphilone pigments as future natural food colorants[J]. Trends in Biotechnology, 2010, 28(6): 300-307.
- [10] WISSGOTT U, BORTLIK K. Prospects for new natural food colorants[J]. Trends Food Science Technology, 1996, 7: 298-302.
- [11] 郭风华, 王慧. 天然色素的提取和应用研究[J]. 山东食品发酵, 2008(1): 27-30.
- [12] 左玉. 天然色素研究与应用[J]. 粮食与油脂, 2006(9): 46-48.
- [13] 朱洪波, 巩江, 倪士峰, 等. 食用天然色素的化学成分及保健作用研究概况[J]. 西北药学杂志, 2010(4): 156-158.
- [14] 谭国进, 蒋林斌, 黄润均, 等. 植物食用色素的研究现状与展望[J]. 化工技术与开发, 2005, 34(6): 25-29.
- [15] 王桃云, 万承勇, 王飞. 我国天然植物色素研究与开发初探[J]. 浙江林业科技, 2001(3): 71-73.
- [16] 杨. 实叶绿素·叶黄素·花青素[J]. 湖南农业, 1998(1): 7.
- [17] 宋惠, 李勇. 黄酮类化合物的保健作用[J]. 营养保健, 2004(11): 45-47.
- [18] 王统一, 樊静, 赵兵. 天然色素的提取和精制的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2008(增刊1): 198-201.
- [19] 乔华, 张生万, 李美萍, 等. 天然色素稳定性研究及其新的类型划分[J]. 食品科学, 2006, 27(9): 69-72.
- [20] 高荣海, 张辉, 李冬生, 等. 天然食用色素的研究进展[J]. 农产品加工, 2009(6): 64-68.
- [21] 李传欣, 张华, 李景琳. 食用天然色素的应用及发展趋势[J]. 辽宁农业科学, 2001(1): 29-32.
- [22] 杨桂枝, 孙之南. 天然色素提取及海藻中的天然色素[J]. 海湖盐与化工, 2005, 34(3): 30.
- [23] 原小梅, 韩维和. 天然色素的研究[J]. 陕西师范大学继续教育学报, 2006, 23(2): 111-113.
- [24] 刘金福. 食品天然色素研究与应用[J]. 天津农学院学报, 2001, 8(2): 18-21.
- [25] CALVO C, SALVADOR A. Use of natural colorants in food gels. Influence of composition of gels on their colour and study of their stability during storage[J]. Food Hydrocolloids, 2000, 14(5): 439-443.
- [26] 曾柏全, 邓子牛, 王卫, 等. 红地球葡萄皮色素的提取及稳定性的影响因素[J]. 经济林研究, 2008, 26(1): 37-40.
- [27] 邓祥元, 王淑军, 李富超, 等. 天然色素的资源和应用[J]. 中国调味品, 2006(10): 49-53.
- [28] DUFOSSÉ L. Pigments in food, more than colours[C]//Universite de Bretagne Occidentale Publ Quimper, France, 14—17th June, 2004.
- [29] CHATTOPADHYAY P, CHATTERJEE S, SEN S K. Biotechnological potential of natural food grade biocolorants[J]. African Journal of Biotechnology, 2008, 7(17): 2972-2985.
- [30] 温广宇, 朱文学. 天然植物色素的提取和开发应用[J]. 河南科技大学学报, 2003, 23(2): 68-74.
- [31] 黄海璇. 天然色素在食品工业中的应用[J]. 轻工标准与质量, 2000(1): 37-38.
- [32] 高彦祥, 许正虹. 食用天然色素安全性研究进展[J]. 食品科学, 2005, 26(增刊1): 158-162.
- [33] 余芳, 彭常安. 食用色素及其安全性分析[J]. 芜湖职业技术学院学报, 2002(9): 20-22.
- [34] 乐一鸣. 国内外食用着色剂市场状况和发展趋势[C]//中国食品添加剂协会第三届会员代表大会暨中国国际食品添加剂及配料展览会学术论文集, 2005: 27-32.
- [35] 李崇璞, 王安, 杨涛, 等. 食用天然色素的纯化与研究进展[J]. 中国调味品, 2007(9): 18-22.
- [36] 王薇. 食用天然色素的营养保健作用[J]. 中国食物与营养, 2005(1): 45-47.
- [37] 彭子模, 李进, 孟冬丽. 植物源天然色素的开发与应用研究现状与展望[J]. 新疆师范大学学报, 2000, 19(4): 43-50.
- [38] 蔺定运. 食用色素的识别与应用[M]. 北京: 中国食品出版社, 1987: 2-12; 119-129.
- [39] 武汉医学院. 营养与食品卫生学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1985: 379-421.
- [40] 马自超, 庞世珍. 天然食用色素化学及生产工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 5-7; 291.
- [41] van ASSELT E D, MEUWISSEN M P M, van ASSELDONK M A P M, et al. Selection of critical factors for identifying emerging food safety risks in dynamic food production chains[J]. Food Control, 2010, 21: 919-926.
- [42] LUNING P A, MARCELIS W J, JONGEN W M F. Food quality management: a techno-managerial approach[M]. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Press, 2002: 323.
- [43] MARVIN H J P, KLETER G A, FREWER L J, et al. A working procedure for identifying emerging food safety issues at an early stage: implications for European and international risk management

- practices[J]. Food Control, 2009, 20: 345-356.
- [44] Food and Consumer Product Safety Authority. Forming a global system for identifying food related emerging risks-EMRISK[M]// NOTEBORN H P J. The Hague, the Netherlands, July 4th, 2006: 1-14.
- [45] KLETER G A, MARVIN H J P. Indicators of emerging hazard and risks to food safety[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47: 1022-1039.
- [46] MARVIN H J P, KLETER G A. Early awareness of emerging risks associated with food and feed production: synopsis of pertinent work carried out within the safe foods project[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47: 911-914.
- [47] ABDEL-RAHMAN A, ANYANGWE N, CARLACCI L, et al. The safety and regulation of natural products used as foods and food ingredients[J]. Toxicological Science, 2011, 123(2): 333-348.
- [48] SULLIVAN D, CROWLEY R. Development and validation of analytical methods for dietary supplements[J]. Toxicology, 2006, 221: 28-34.
- [49] KLETER G A, GROOT M J, POELMAN M, et al. Timely awareness and prevention of emerging chemical and biochemical risks in foods: proposal for a strategy based on experience with recent cases[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47: 992-1008.
- [50] BERNARDEAU M, GUGUEN M, VEMOUX J P. Beneficial lactobacilli in food and feed: long term use, biodiversity and proposal for specific and realistic safety assessment[J]. FEMS Microbiol Rev, 2006, 30: 487-513.
- [51] FAO/WHO. Joint FAO/WHO working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food[C]//World Health Organisation, London, Ontario, Canada, 2002.
- [52] MEILE L, LE BLAY G, THIERRY A. Safety assessment of dairy microorganisms: propionibacterium and bifidobacterium[J]. Int J Food Microbial, 2008, 126: 316-320.
- [53] SANDERS M E, AKKERMANS M A, HALLER D C, et al. Safety assessment of probiotics for human use[J]. Gut Microbes, 2010, 3(1): 164-185.
- [54] WASSENAAR T M, KLEIN G. Safety aspects and implications of regulation of probiotic bacteria in food and food supplements[J]. J Food Prot, 2008, 71: 1734-1741.
- [55] WRIGHT A. Regulating the safety of probiotics: the European approach[J]. Curr Pharm Des, 2005, 11: 17-23.
- [56] SANDERS M E, LEVY D D. The science and regulation of probiotic food and supplement product labeling[J]. Ann N Y Acad Science, 2011, 1219(Suppl 1): E1-E23.
- [57] DRECHSEL D A, PATEL M. Role of reactive oxygen species in the neurotoxicity of environmental agents implicated in Parkinson's disease[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2008, 44: 1873-1886.
- [58] KELLY B G, VESPERMANN A D J, BOLTON D J. Gene transfer events and their occurrence in selected environments[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47: 978-983.
- [59] REA G, ANTONACCI A, LAMBREVA M, et al. Integrated plant biotechnologies applied to safer and healthier food production: the nutra-snack manufacturing chain[J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22: 353-366.
- [60] RUFFONI B, PISTELLI L, BERTOLI A, et al. Plant cell culture: bioreactors for industrial production[M]//GIARDI M T, REA G, BERRA B. Bio-farms for nutraceuticals: functional food and safety control by biosensors. New York: LANDES BioScience and Springer Publisher, 2010: 203-221.
- [61] KHOSRAVI-DARANI K. Research activities on supercritical fluid science in food biotechnology[J]. Critical Review in Food Science and Nutrition, 2010, 50(6): 479-488.
- [62] TANG Weiqiang, LI Dicai, LÜ Yangxiao, et al. Extraction and removal of caffeine from green tea by ultrasonic- enhanced super-critical fluid[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(4): C363-C368.
- [63] NEGI P S. Plant extracts for the control of bacterial growth: efficacy, stability, and safety issues for food application[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 156: 7-17.
- [64] SPEIJERS G, BOTTEX B, DUSEMUND B, et al. Safety assessment of botanicals and botanical preparations used as ingredients in food supplements: testing an European food safety authority-tiered approach[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2010, 54: 175-185.
- [65] van den BERG S J, SERRA-MAJEM L, COPPENS P, et al. Safety assessment of plant food supplements(PFS)[J]. Food and Function, 2011, 2(12): 760-768.