

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240531003

食用天然色素国内外法规标准对比与安全性评价

陈贤驰, 陈 婷, 周庆琼, 叶金连, 容俊楠, 戚 平*, 林子豪, 陈羽中

(广州市食品检验所, 广州 511400)

摘 要: 食用天然色素由于其安全性能, 在世界范围内得到广泛应用, 目前许多国家都注重对食用天然色素的使用和管理, 并制定了相应的法律法规。本文从食用天然色素的分类、产品标准、国内外食用天然色素法律法规的对比、安全性评价及在食品工业的应用等方面做出综述, 并分析食用天然色素的风险点、世界卫生组织联合食品添加剂专家委员会对食用天然色素制定的每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI), 为控制和降低食用天然色素对人体的风险提供科学基础。食用天然色素优点突出, 开发应用食用天然色素必将成为我国食品添加剂发展的方向之一, 提高天然色素的使用工艺, 克服天然色素的缺点, 做好全过程的安全性评价, 加强对其安全风险的管控, 使其能够更广泛的应用于现代食品工业中。

关键词: 食用天然色素; 分类; 法规标准; 安全性评价; 应用

Comparison of domestic and foreign regulations and standards and safety evaluation of edible natural pigments

CHEN Xian-Chi, CHEN Ting, ZHOU Qing-Qiong, YE Jin-Lian, RONG Jun-Nan,
QI Ping*, LIN Zi-Hao, CHEN Yu-Zhong

(Guangzhou Institute for Food Inspection, Guangzhou 511400, China)

ABSTRACT: Edible natural pigments are widely used in the world due to their safety performance. At present, many countries pay attention to the use and management of edible natural pigments, and have formulated corresponding laws and regulations. This paper reviewed the classification of edible natural pigments, product standards, comparison of laws and regulations of edible natural pigments at home and abroad, safety evaluation and application in food industry, analyzed the risk points of edible natural pigments and the acceptable daily intake (ADI) value of edible natural pigments formulated by the World Health Organization and the Food Additives Expert Committee to provide a scientific basis for the study of the safety and stability of edible natural pigments. The advantages of edible natural pigments are outstanding, and the development and application of edible natural pigments will become one of the development directions of food additives in China. Improve the use process of natural pigments, overcome the shortcomings of natural pigments, does a good job in the safety evaluation of the whole process, strengthens the control of its safety risks, so that it can be more widely used in the modern food industry.

KEY WORDS: edible natural pigment; classification; regulation and standard; security judgement; applications

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金项目(2021A1515010015)、广州市市场监督管理局科技项目(2024KJ43、2023KJ39、2022KJ43)

Fund: Supported by the Guangdong Basic and Applied Basic Research Fund (2021A1515010015), and the Science and Technology Project of Guangzhou Administration for Market Regulation (2024KJ43, 2023KJ39, 2022KJ43)

***通信作者:** 戚平, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全。E-mail: 561537935@qq.com

***Corresponding author:** QI Ping, Ph.D, Professor, Guangzhou Institute for Food Inspection, No.53, Jiejiner Road, Shiqiao District, Guangzhou 511400, China. E-mail: 561537935@qq.com

0 引言

食物颜色影响着人们对食物的评判,故生产商选择了添加色素来提高食物的感官^[1]。食用色素按其来源可分为天然色素和人工色素两大类。相较于合成色素,天然色素因其安全性更高,而应用更广。市场调研显示:2022 年食用天然色素全球市场规模达 337.76 亿元,到 2028 年其年复合增长率预估为 4.27%^[2]。

食用天然色素除了植物、动物和微生物的来源外,还有小部分来自矿物质,比如二氧化钛、氧化铁等,但是该类色素在食品中应用范围较小,安全性未充分确定,故本文后续内容仅涉及来自于植物、动物和微生物的食用天然色素。

本文总结了各类天然色素在食品领域的应用及其安全性,对比我国与国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)组织、欧盟及美国等对天然色素的使用及管理情况,有助于天然色素的应用推广、完善我国食用天然色素的管理以及与国际相关标准接轨,对我国食品进出口贸易的健康发展具有促进作用。

1 天然色素的分类

1.1 按来源分类

食用天然色素主要来源于植物、动物、微生物等^[3]。目前植物色素是研究和应用最多的。其中色素资源最丰富的植物有大黄(主要含蒽醌, 11.6 g/100 g)、紫苏(主要含类胡萝卜素, 3 g/100 g; 叶绿素, 200 mg/100 g)、栀子花(主要含栀子苷, 3 g/100 g)、紫甘蓝(主要含花青素, 1 g/100 g)、胡萝卜(主要含类胡萝卜素, 800 mg/100 g)、菠菜(主要含类胡萝卜素, 22.1 mg/100 g; 叶绿素, 77.7 mg/100 g)、红甜菜

根(主要含甜菜素, 14.20 mg/100 g)、姜黄(主要含姜黄素, 2.6 mg/100 g)。甜菜黄素是甜菜色素的一种,是黄刺梨和红刺梨的主要色素(3.7 mg/100 g; 4.5 mg/100 g)。番茄红素是一种类胡萝卜素,主要存在于番茄、胡萝卜、西瓜等蔬菜水果中,其中番茄中含量最高,鲜食番茄中约含番茄红素 3 mg/100 g^[4-5]。此外,桑树、醋栗、黄菊、樟树以及高粱皮、花生内皮、玉米淀粉黄浆、酒皮等农副产品也含有大量色素。

动物源食用天然色素主要是从哺乳动物(家禽)中提取(如:胆红素和血红素),但数量相对较少。在昆虫中也发现了可食用的色素,例如紫胶虫(如:紫胶黄色素、紫胶红色素)和胭脂虫(如:胭脂虫红)。此外,大多数保健品都含有天然抗氧化剂虾青素,而虾青素来源于虾、蟹等海洋生物^[6]。

微生物中同样含有食用天然色素,如螺旋藻、红曲霉菌^[7]。螺旋藻作为一种可食用的蓝藻菌,体内含有大量的色素,如藻蓝蛋白(0.172 g/100 g)、叶绿素(0.012 g/100 g)和 β -胡萝卜素(0.211 g/100 g)^[8]。经红曲霉菌发酵的红曲米中提取的红曲色素则在世界范围内被广泛用作食品添加剂^[9]。

1.2 按色系分类

现新发布的国家标准 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》将在 2025 年 2 月 8 日实施,罗列了 49 种食用天然色素,按色系分,大多分布在红、黄、紫、褐等 8 种色系中^[10-11],见表 1。

1.3 按化学结构分类

食品中的天然色素按其化学结构可分为 5 类,包括吡啶类化合物、异戊二烯衍生物、多酚类衍生物、酮类衍生物和醌类衍生物^[12]。其中各类代表性色素化合物结构见图 1。

表 1 食用天然色素的色系
Table 1 Color system of edible natural pigment

色系	数量	色素
红	15	番茄红、番茄红素、红米红、红曲米和红曲红、黑豆红、黑加仑红、花生衣红、辣椒红、辣椒油树脂、萝卜红、玫瑰茄红、杨梅红、越橘红、高粱红、胭脂虫红
橙	4	β -阿朴-8'-胡萝卜素醛、辣椒橙、天然胡萝卜素、胭脂树橙
黄	11	柑橘黄、 β -胡萝卜素、红花黄、姜黄、姜黄素、沙棘黄、玉米黄、叶黄素、栀子黄、红曲黄色素、核黄素
绿	2	叶绿素铜、叶绿素铜钠/钾盐
蓝	2	藻蓝、栀子蓝
紫	9	葡萄皮红、紫草红、紫甘薯色素、桑葚红、天然苋菜红、紫胶红、紫胶、甜菜红、蓝锭果红
褐	5	焦糖色、菊花黄浸膏、可可壳色、橡子壳棕、金樱子棕
黑	1	植物炭黑

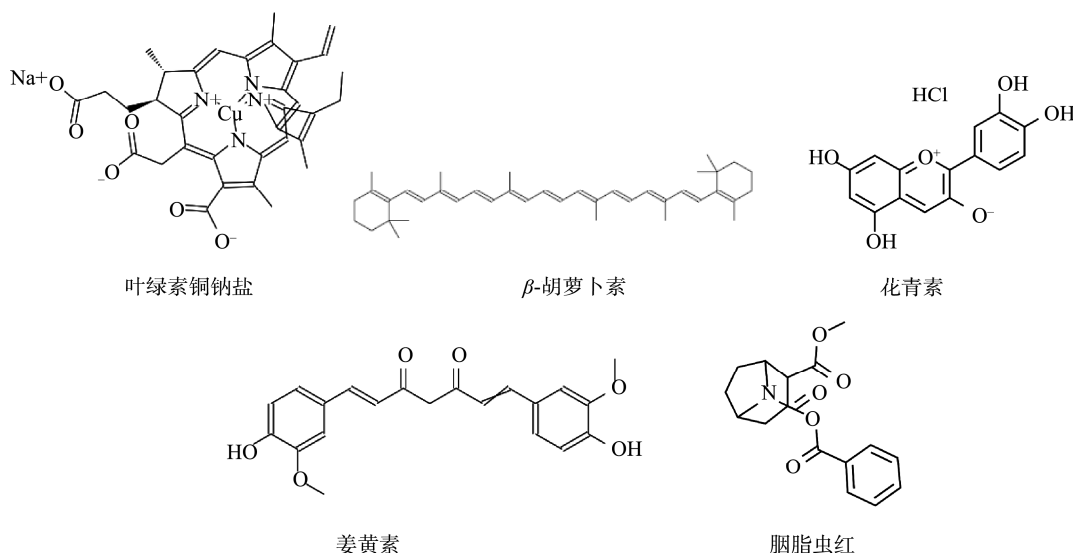


图1 各类代表性天然色素化合物结构图

Fig.1 Structure diagrams of various representative natural pigment compounds

1.3.1 卟啉类化合物

卟啉类化合物是一类由 4 个吡咯类亚基的 α -碳原子通过次甲基桥(=CH-)互联而形成的大分子杂环化合物,代表色素有叶绿素。叶绿素是一类无毒副作用的绿色天然色素,由于叶绿素化学性质不稳定,且难溶于水,常被加工成叶绿素铜钠盐。叶绿素铜钠盐在我国及国际上均被批准用于食品中,其具有天然绿色植物的色调,着色力强且在中性或碱性的固体食品中稳定性较好,但对光、热、酸性条件较为敏感。常用于果蔬汁类及其饮料、碳酸饮料、配制酒、冰淇淋、果冻、饼干、糖果等,用量一般为 0.02%~0.10%^[13]。

1.3.2 异戊二烯衍生物

异戊二烯聚合物及其衍生物的总称是萜类化合物,代表色素有类胡萝卜素。类胡萝卜素,又称多烯色素,由异戊二烯残基通过共轭双键连接而成的萜类化合物,其颜色通常为红色、橙色或黄色。类胡萝卜素在自然界中仅次于黑色素,目前已经发现了 700 多种类胡萝卜素,主要分布在水果和蔬菜中,是应用最广泛的亲脂性天然食用色素。其中番茄红素因独特的营养功效多被用于保健品,近 5 年全球含有番茄红素的补充剂占比高达 30.6%^[14]。

类胡萝卜素又可分为类胡萝卜素-无氧胡萝卜素和共轭多烯类胡萝卜素,该类色素不同化学成分会影响其最终颜色。例如,番茄红素和 β -胡萝卜素主要呈现红色^[15-16]; β -隐黄质、 β -隐黄质棕榈酸酯、 β -隐黄质肉豆蔻酸酯和玉米黄质是黄色的主要成因^[17-18]。

1.3.3 多酚类衍生物

多酚类衍生物是植物中一种含有多个酚羟化学物质的统称,代表色素有花青素、甜菜色素^[19-20]。花青素,又称花色素,是类黄酮的一种,在自然界广泛存在于植物中,

已知有 250 多种。由于细胞汁液中存在花色素,使得许多水果、蔬菜和鲜花显现鲜艳的颜色^[21-23]。花青素溶于水、甲醇、乙醇等极性溶剂中,在不同的 pH 呈现不同的颜色,当 pH<7 时呈现红色,当 pH 范围在 7~8 时呈现紫色,当 pH>11 时呈现蓝色^[24]。常用于饮料、果酱、糖果、配制酒等食品中。

甜菜色素是一类颜色上看来类似花色素苷和类黄酮的水溶性色素,但其颜色不受 pH 的影响。甜菜色素包括甜菜色苷(红色)和甜菜黄质(黄色)两种类型的化合物。甜菜红的水溶液 pH 在 3.0~7.0 时比较稳定,其中 pH 在 4.0~5.0 稳定性最大,染色性好^[25],呈红色至红紫色,但热、光和氧均可促进降解。由于甜菜红对热、光和氧敏感,故一般常用于冰淇淋、凝态优酪乳、干混食品及糖果等食品中^[26]。

1.3.4 酮类衍生物

酮类衍生物是羰基与两烃基相连的化合物,代表色素有红曲色素、姜黄素等。姜黄素,一种天然的黄色色素,溶于乙醇、丙二醇、冰醋酸和碱溶液,对光、热敏感,在中、酸性溶液中呈黄色,在碱性溶液中呈红褐色,着色性强(蛋白质除外),着色后不易褪色,可用于罐头、酱卤肉制品等产品^[27]。

1.3.5 醌类衍生物

醌类衍生物是一类具有醌式结构的有色物质,代表的色素有胭脂虫红和虫胶色素。胭脂虫红是一种从仙人掌上的雌胭脂虫体内提取的色素,其理化性质非常稳定,它是唯一一种美国食品和药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)允许在食品、药品和化妆品中添加的色素,也被视为最安全的天然色素^[28-29]。胭脂虫红具有较强的光稳定性和热稳定性,色泽度和色牢度极高,可用于风味发酵乳、坚果、熟肉制品、糖果等 21 类食品,应用前

景非常广阔^[30]。

2 我国食用天然色素的产品标准

我国非常重视对食品添加剂的使用安全并制定了相关标准,如现新发布的 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》。该标准中允许使用的食用天然色素有 49 种,包括 β -阿朴-8'-胡萝卜素醛、番茄红、核黄素等,其中 47 种有相应产品标准,产品标准中附其检验方法(紫胶除外),如 GB 31620—2014《食品安全国家标准 食品添加剂 β -阿朴-8'-胡萝卜素醛》、GB 28316—2012《食品安全国家标准 食品添加剂 番茄红》等;另外 2 种暂未制定产品标准的分别是蓝锭果红和橡子壳棕。新发布的 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》与现行有效的 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》相比,新标准删除了落葵红、密蒙黄、酸枣色这 3 类天然色素的相关使用规定。

3 国内外食用天然色素法规标准的比较

3.1 国际食品法典委员会

在 CAC 制定的《食品添加剂通用法典标准》中,允许在食品中使用的天然色素种类、最大使用量、范围和纯度等相关内容有明确的规定^[31]。现行的 CODEX STAN 192—1995《食品添加剂通用法典标准》在 1995 年被采纳,经过 22 次修订后的 2023 年版本,允许使用的天然色素有 15 种:核黄素、 β -阿朴-8'-胡萝卜素醛、 β -胡萝卜素、姜黄素、角黄素、焦糖色、辣椒油树脂、葡萄皮红、胭脂虫红、胭脂树橙、叶黄素、叶绿素铜络合物、甜菜红、番茄红素、藻蓝。

3.2 美国

美国联邦法规(Code of Federal Regulations, CFR)第 21 章是食品和药品行政法规,其中 70~74 部分、80~82 部分是关于色素的管理规定,包括色素的通则、申请、认证、使用范围、使用量和安全评估等。根据 CFR 第 21 章,71.20,在确定是否需要食用色素进行认证时,FDA 会考虑食用色素的成分、其生产工艺、可能的杂质、潜在毒性,以确保符合上市标准所需要的控制与分析方法,以及其成分的可变性。目前,免于认证的食用色素通常是来自动物、植物或微生物的天然色素,而需要认证的食用色素通常为人工合成色素^[32-33]。

CFR 第 21 章的修订一般是每年的 4 月 1 日公布,第 73 部分为免认证的色素名录,最近一次修订于 2024 年 3 月 6 日,免认证的色素有 37 种:胭脂树橙、南极磷虾粉、虾青素、虾青素二甲基二琥珀酸酯、甜菜红、群青蓝色、蝴蝶豌豆花提取物、角黄素、焦糖色、 β -阿朴-8'-胡萝

素醛、 β -胡萝卜素、胭脂虫红、叶绿素铜络合物、部分脱脂焙烤棉籽粉、葡萄糖酸亚铁、乳酸亚铁、葡萄色素提取物、葡萄皮红、红球藻粉、Jagua(京尼平-甘氨酸)蓝色、果汁、蔬菜汁、干藻粉、叶黄素、胡萝卜油、玉米胚乳油、辣椒粉、辣椒油树脂、副球菌色素、法夫酵母、核黄素、藏红花、大豆豆血红蛋白、藻蓝、番茄红素、姜黄、姜黄素^[34]。

3.3 欧盟

在欧盟,所有的食品添加剂都有一个特定的编码,以字母 E 开头,后面跟着 3 个或 4 个数字,称为 E 编码,方便消费者了解来自不同欧洲国家的食品标签。2011 年 11 月 11 日欧盟委员会发布了法规(EU) No 1129/2011,其中修订了欧洲议会和理事会法规(EC) No 1333/2008 的附件 II,建立了欧盟食品添加剂名录与欧洲经济区(European Economic Area, EEA)相关的文本,法规最近一次修订于 2013 年 11 月 21 日,该法规中 B 部分列出了所有食品添加剂名录,其中天然色素有 16 种:姜黄素(E100)、核黄素(E101)、胭脂虫红(E120)、叶绿素和叶绿酸(E140)、叶绿素铜络合物(E141)、焦糖色(E150a-d)、植物碳(E153)、 β -胡萝卜素(E160a)、胭脂树橙(E160b)、辣椒油树脂(E160c)、番茄红素(E160d)、 β -阿朴-8'-胡萝卜素醛(E160e)、叶黄素(E161b)、角黄素(E161g)、甜菜红(E162)、葡萄皮红(E163)^[35-36]。

3.4 CAC、美国、欧盟和中国批准使用食用天然色素情况对比

CAC、美国、欧盟和中国批准使用的食品天然色素种类繁多,以 CAC、美国、欧盟为代表,对其批准使用的食用天然色素种类与中国(表 1)进行比较,见表 2,发现 CAC、欧盟、美国、中国均批准使用的食用天然色素有 13 种: β -阿朴-8'-胡萝卜素醛、番茄红素、核黄素、 β -胡萝卜素、姜黄素、焦糖色、辣椒油树脂、葡萄皮红、胭脂虫红、胭脂树橙、叶黄素、叶绿素铜/叶绿素铜钠/钾盐、甜菜红。

其中角黄素是 CAC、美国和欧盟均批准使用的食用天然色素,而在中国未被批准使用。角黄素多作为动物饲料添加剂,使蛋黄和禽肉的颜色更加鲜明,而非作食用色素用途^[37]。据部分研究所得,摄取大量角黄素,可导致色素积聚于视网膜,但欧盟食品安全局 2010 年的评估显示角黄素的使用大体是安全的。藻蓝在 CAC、美国和中国均批准使用,而未在欧盟食品添加剂名录中,因为欧盟已经将藻蓝列为彩色食品原料,非食品添加剂,其在食品中的使用量不受限制。藻蓝是一种从微藻中提取的光合色素,不仅是一种良好的食用天然色素,还是一类我国认可的天然食品功能因子,已被证实具有抗氧化、抗糖尿病、抗炎、抗癌等多种生理活性,在食品领域被广泛关注和研究^[38-39]。

表 2 CAC、美国、欧盟和中国批准使用食用天然色素情况对比
Table 2 Comparison of the use of edible natural pigments approved by CAC, the United States, the European Union and China

天然色素名称	中国	CAC	美国	欧盟
β -阿朴-8'-胡萝卜素醛	√	√	√	√ (E160e)
番茄红素	√	√	√	√ (E160d)
核黄素	√	√	√	√ (E101)
β -胡萝卜素	√	√	√	√ (E160a)
姜黄素	√	√	√	√ (E100)
焦糖色	√	√	√	√ (E150a-d)
辣椒油树脂	√	√	√	√ (E160c)
葡萄皮红	√	√	√	√ (E163)
胭脂虫红	√	√	√	√ (E120)
胭脂树橙	√	√	√	√ (E160b)
叶黄素	√	√	√	√ (E161b)
叶绿素铜; 叶绿素铜钠/钾盐	√	√	√	√ (E141)
叶绿素和叶绿酸				√ (E140)
甜菜红	√	√	√	√ (E162)
橡子壳棕	√			
番茄红	√			
柑橘黄	√			
黑豆红	√			
黑加仑红	√			
红花黄	√			
红米红	√			
红曲黄色素	√			
红曲米, 红曲红	√			
花生衣红	√			
姜黄	√			
金樱子棕	√			
菊花黄浸膏	√			
可可壳色	√			
萝卜红	√			
玫瑰茄红	√			
桑椹红	√			
沙棘黄	√			
天然苋菜红	√			
杨梅红	√			
玉米黄	√			
越橘红	√			
藻蓝	√	√	√	
栀子黄	√			
栀子蓝	√			
植物炭黑	√			√ (E153)
紫草红	√			

表 2(续)

天然色素名称	中国	CAC	美国	欧盟
紫甘薯色素	√			
紫胶红(又名虫胶红)	√			
紫胶(又名虫胶)	√			
高粱红	√			
天然胡萝卜素	√			
蓝锭果红	√			
辣椒橙	√			
辣椒红	√			
角黄素		√	√	√ (E161g)
南极磷虾粉			√	
虾青素			√	
虾青素二甲基二琥珀酸酯			√	
群青蓝色			√	
蝴蝶豌豆花提取物			√	
烘烤的部分脱脂熟棉籽粉			√	
葡萄糖酸亚铁			√	
乳酸亚铁			√	
红球藻粉			√	
Jagua(京尼平-甘氨酸)蓝色			√	
果汁			√	
蔬菜汁			√	
干藻粉			√	
胡萝卜油			√	
玉米胚乳油			√	
副球菌色素			√	
法夫酵母			√	
藏红花			√	
大豆豆血红蛋白			√	
姜黄油树脂			√	
辣椒粉			√	
葡萄糖素提取物			√	
合计(种)	49	15	37	16

注: √表示批准使用; 叶绿素铜; 叶绿素铜钠/钾盐在中国 GB 2760—2024 中为 2 种天然色素。

4 食用天然色素安全性评价及风险控制

4.1 食用天然色素的安全性评价

由于食用天然色素市场前景好, 各国竞相开展对食用天然色素的开发和应用, 如胡萝卜素、叶绿素、甜菜红、番茄红素等已进入工业化生产^[40-41]。粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert

Committee on Food Additives, JECFA)对 125 种色素进行了安全水平评估,截至第 97 届 JECFA 会议(2023 年 11 月),只有极少数的食用天然色素制定了每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI),还有部分天然色素为“未规定(not specified, NS)”与“未限定(not limited, NL)”每日允许摄入量,见表 3^[42]。

表 3 JECFA 对天然色素安全水平的评估
Table 3 JECFA assessment of the safety level of natural pigments

编号	天然色素名称	ADI/(mg/kg·BW)
1	焦糖色, II 级	0~160
2	焦糖色, III 级	0~200; 0~150(以固体计)
3	焦糖色, IV 级	0~200
4	叶绿素铜钠/钾盐	0~15
5	β -阿朴-8'-胡萝卜素醛	0~0.3
7	角黄素	0~0.03
8	姜黄素	0~3
9	葡萄皮红	0~2.5
10	胭脂树提取物	红木素: 0~12; 降红木素及其钠钾盐: 0~0.6 (ADI 组, 以降红木素表示)
11	辣椒提取物	0~1.5
12	JAGUA(京尼平-甘氨酸)蓝色	0~11
13	叶绿素、焦糖色 1 级、胡萝卜素(藻类、蔬菜)、甜菜红、番茄红素、核黄素、辣椒油树脂、叶黄素、番茄红素	NS 与 NL

注: NS 每日允许摄入量,该术语适用于毒性极低的食物物质,指根据已有的资料(化学、生物化学、毒理学等)和该物质的总膳食摄入量,从达到预期效果所需要的用量以及食品可允许的本底含量计算摄入该物质的总量,按照 JECFA 判断此摄入量对健康不构成危害。NL 与 NS 具有相同含义,该值更多的是基于可接受的处理食品的水平,以数值或者良好生产规范(good manufacturing practice, GMP)形式表述,而不是毒理学上确定的 ADI。

4.2 食用天然色素的风险控制

食用天然色素的开发研究需要克服其缺点,特别是安全性评价和风险控制。现阶段天然食用色素的安全性的评价方法包含毒理学检测、有害微量元素检验和卫生检验 3 个方面。风险控制则需要从源头到成品逐一地识别与控制,包括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^[43-44]。JECFA 已对部分色素的毒理学评价结果进行公布,并制定了相应的 ADI 值。国内则在 GB 2760—2024 规定了各种食用色素的安全性评价标准。

食用天然色素的风险点主要有以下几方面。(1)原料的污染。天然色素主要来源于植物,如果从受到重金属污染或、农药残留的植物中提取食用天然色素,长期食用必定

会对人体造成伤害^[45]; (2)提取过程有机溶剂的危害。天然色素的提取时多使用有机溶剂,有机溶剂的安全性以及后续工艺中的残留也会对天然色素的安全性造成影响; (3)分离纯化过程微生物等污染。天然色素的分离纯化主要采用大孔吸附树脂和膜分离技术,树脂残留物、裂解物、反渗透膜在处理中易受到微生物污染,色素浓缩时的二次污染、膜清洗后的残留清洗剂等是天然色素的污染源; (4)天然色素在食品中的超剂量或超范围使用。

针对食用天然色素的风险点,可以通过以下 3 方面有效控制。(1)源头控制。天然色素本身成分比较复杂,参考历史文献的同时,还需进行毒理学检测,对原料的有害微量元素、活性微生物产生的毒素、农药残留等进行检测分析,分类标识,使用者需严格按照规定使用; (2)加工及使用过程的控制。有些色素特别是植物来源的色素会出现交叉污染以及同其它原料产生化学反应的安全危害,需要建立一个各种相关物质交叉污染及化学反应危害的数据库,严格按照规定操作; 引入新的环保的技术应用到提取分离天然色素过程中,有效降低提取中的风险,例如超临界二氧化碳萃取技术。(3)管理和标准的控制。有些天然色素用于食物已有较长的历史,但是没有明确的 ADI 值,我国也有部分天然色素有标准但没有明确剂量,且没有产品标准和检验方法,因此需要不断改善天然色素的管理制度和法规标准; 近年来,我国也在不断完善食品添加剂的法规管理,对食用天然色素有严格的审批程序制度。同时也在全面建立危害分析的临界控制点(hazard analysis and critical control point, HACCP)和出口农产品质量安全生产良好农业规范(good agricultural practice, GAP)体系,及时跟踪国外食品质量标准变化,研究储备新的使用技术等^[43]。

5 天然色素在食品中的应用

食用天然色素优点包括。(1)来源于自然,毒性和副作用较少,安全性较高; (2)富含人体所需的维生素或维生素类物质; (3)可预防部分疾病; (4)部分天然色素的香气可增加食品风味^[46]。同时也存在若干缺点。(1)稳定性较差,溶解性差,不易混合,保色性不强,易褪色; (2)其加工过程中存在其他物质或微生物污染风险; (3)因其来源或化学结构差异导致其性质复杂,应用范围小^[47]。

在 GB 2760—2024 中允许添加到食品中的天然色素有 40 多种,普遍用于乳制品、饮料、糖果、肉制品、烘焙食品等食品种类,因其自身稳定性较差,限制了在食品中的应用,而影响稳定性的主要因素有温度、pH、光照、氧、金属离子、酶等,使用时需要兼顾其相应的特性。

烘焙食品中添加天然色素可丰富色彩、促进食欲,且具有良好的营养价值,对人体健康有一定的帮助^[48]。部分具有药理作用的天然食用色素在烘焙食品中以其特殊功能

性深受大众欢迎。用于烘焙食品的天然色素产品开发的关键技术是降低天然色素对光、热及 pH 的敏感性, 提高其抗氧化性, 从而提高稳定性。主要的工艺突破点是对抗氧化剂、稳定剂的选择、合成及引入微胶囊化技术。用于烘焙的主要天然色素产品包括天然色素粉剂、色香油、果膏等^[49-50]。

饮料的颜色是影响消费者购买的一个非常重要的因素, 故需要根据饮料的特性挑选合适的色素, 目前天然色素已在众多果汁饮料中广泛使用。 β -胡萝卜素是一种天然的橙色的脂溶性色素, 具有高维生素活性, 常用于果味饮料。洛神花富含大量花青素, 使用喷雾干燥的洛神花青素多被用作饮料的着色剂。花青素在酸性条件下可以维持红色, 也常用作酸奶的着色剂^[51-52]。目前主要通过两种方式提高天然色素在饮料中的应用范围, 一是直接在饮料中添加抗氧化剂、乳化剂、稳定剂及盐类等添加剂, 二是将天然色素包裹在难溶的载体中, 形成悬浮液, 提高天然色素的稳定性^[53]。

肉类加工过程中常加入硝酸盐和亚硝酸盐来防止肉类物质发生褐变, 使肉呈现鲜红色, 但是其毒副作用大, 具有致畸性、致癌性等, 危害人们的健康。寻找亚硝酸盐天然替代物是迫切需要解决的问题。红曲色素用于腌制肉类、发酵香肠具有良好的抗菌抑菌和抗氧化作用, 但在应用中存在的问题是光不稳定性和色素的提纯。进一步研究红曲霉的深层发酵工艺, 提高功能性红曲活性成分的含量和红曲色素对光的稳定性至关重要^[54-55]。此外, 番茄红素、胭脂树红在肉制品加工中也被作为亚硝酸盐的新型替代物^[56-57]。

颜色对糖果类食品十分重要, 但消费者在购买时会担心合成色素的危害, 但使用天然色素来代替将会解决部分问题, 而且 GB 2760—2014 中允许糖果使用的天然色素有 32 种^[58]。此外, 天然色素在食品涂层的应用越来越广泛^[59], 如有色硬质口香糖的涂层中将香精与色素分离开, 可以防止色素与其他物质相互作用而降低稳定性^[60], 还有将胭脂树橙进行微胶囊化, 以分散体或粉末加入可食用涂层中, 制成巧克力豆等^[61]。

6 结束语

食用天然色素优点突出, 相比于合成色素安全性更高, 各国竞相开展对食用天然色素的开发和应用, 但同时也要克服其缺点, 特别是安全性和不稳定性, 提高天然色素的使用工艺, 加强对其安全风险的管控, 做好全过程的安全性评价和风险控制, 使其能够更广泛的应用于现代食品工业中。

中国 GB 2760—2024 是依据 CODEX STAN 192—1995 起草, 在食品类别和编码上多数遵照 CAC 规定。通过国内外法规标准对比中, 中国批准使用的天然色素较 CAC、美国、欧盟批准使用的明显要多, CAC 批准使

用的 15 种食用天然色素除了角黄素和藻蓝, 其他 13 种在美国、欧盟、中国均批准使用, 但不同国家针对食用天然色素的允许使用范围及使用量不尽相同, 具体批准种类及允许使用食品类别方面也存在诸多差异。中国和 CAC 的标准中未单独列出食用天然色素的清单, 而美国在 CFR 第 21 章, 第 73 部分将免认证的色素列出来, 免认证的食用色素基本为天然色素, 欧盟也在(EC) No 1333/2008 的附件 II 的 B 部分单独列出食用色素清单。

因此, 我国需要持续关注国外食品添加剂的法规标准要求及变化, 及时发布风险预警信息, 建立应急机制; 对比 CAC 组织、欧盟及美国等对天然色素的使用及管理情况, 不断完善食品添加剂相关标准, 与国标相关标准接轨, 提高食品加工技术, 这有利于我国食品进出口贸易。

参考文献

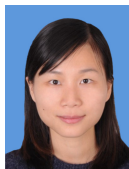
- [1] TKACZYK A, MITROWSKA K, POSYNIK A. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 717: 137222.
- [2] 搜狐. 中国天然食用色素行业全景调研报告[EB/OL]. [2023-11-28]. https://www.sohu.com/a/739643778_121807582 [2024-02-26]. SOHU. Panoramic research report on China's natural edible pigment industry [EB/OL]. [2023-11-28]. https://www.sohu.com/a/739643778_121807582 [2024-02-26].
- [3] 陈贤驰, 曾豪威, 汪宁, 等. 国内外食用色素对比分析[J]. *食品安全导刊*, 2018, (16): 68-72. CHEN XC, ZENG HW, WANG N, *et al.* Comparative analysis of edible pigment at home and abroad [J]. *China Food Saf Magaz*, 2018, (16): 68-72.
- [4] 王晨, 赵抒娜, 刘孟涛, 等. 番茄红素在食品领域中的应用及发展建议[J]. *中国果菜*, 2023, 43(12): 27-33. WANG C, ZHAO SN, LIU MT, *et al.* Application and development suggestions of lycopene in food field [J]. *China Fruit Veget*, 2023, 43(12): 27-33.
- [5] 许瑞瑞. 不同番茄品种中番茄红素的提取及含量测定[J]. *潍坊学院学报*, 2014, 14(2): 77-79, 63. XU RR. Extraction and content determination of lycopene in different tomato varieties [J]. *J Weifang Univ*, 2014, 14(2): 77-79, 63.
- [6] MULARCZYK M, MICHALAK I, MARYCZ K. Astaxanthin and other nutrients from *Haematococcus pluvialis*-multifunctional applications [J]. *Mar Drug*, 2020, 18: 437-459.
- [7] USMANI Z, SHARMA M, SUDHEER S, *et al.* Engineered microbes for pigment production using waste biomass [J]. *Curr Genom*, 2020, 21(2): 80-95.
- [8] MARINO T, CASELLA P, SANGIORGIO P, *et al.* Natural beta-carotene: A microalgae derivate for nutraceutical applications [J]. *Chem Eng Transact*, 2020, 79: 103-108.
- [9] 张莎莎, 林华. 浅谈红曲色素在食品中的应用[J]. *福建轻纺*, 2024, (2): 31-34: 83. ZHNG SS, LIN H. Application of monascus pigment in food [J]. *Light Text Ind Fujian*, 2024, (2): 31-34: 83.
- [10] BAKTHAVACHALU P, KANNAN SM, QORONFLEH MW. Food color

- and autism: A meta-analysis [J]. *Adv Neurobiol*, 2020, 240: 481–504.
- [11] AVALASKAR A. Natural blue pigment color gel for foods, beverages and pharmaceuticals [J]. *J Emerg Technol Innov Res*, 2021, 8(1): 1567–1572.
- [12] 刘兴海, 邱诗波, 杜桂涛, 等. 天然色素的提取、稳定性改进及其应用进展探究[J]. *数字印刷*, 2022, (1): 1–25.
- LIU XH, QIU SB, DU GT, *et al.* Extraction, stability improvement and application progress of natural pigments [J]. *Print Digit Med Technol Study*, 2022, (1): 1–25.
- [13] 肖正春, 张广伦. 我国植物食用色素资源开发利用评价[J]. *中国野生植物资源*, 2014, 33(1): 45–54.
- XIAO ZC, ZHANG GL. Evaluation on the development and utilization of plant edible pigment resources in China [J]. *Chin Wild Plant Res*, 2014, 33(1): 45–54.
- [14] 陆婉瑶, 刘孟涛, 赵抒娜, 等. 番茄红素产品的市场趋势调研与法规分析[J]. *中国食品添加剂*, 2023, 34(11): 236–247.
- LU WY, LIU MT, ZHAO SN, *et al.* Market trend investigation and regulation analysis of lycopene products [J]. *China Food Addit*, 2023, 34(11): 236–247.
- [15] MEHTA BJ, OBRAZTSOVA IN, CERDÁ-OLMEDO E. Mutants and intersexual heterokaryons of *Blakeslea trispora* for production of β -carotene and lycopene [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2020, 69(7): 4043–4048.
- [16] LOBO PTD, BRANDÃO HN, ASSIS SAD. Production of carotenoids by *Rhodotorula mucilaginosa* using sugarcane juice (*Saccharum officinarum*) in the fermentation [J]. *Brazilian J Dev*, 2021, 7(2): 18235–18250.
- [17] SHEN N, REN JN, LIU YX, *et al.* Natural edible pigments: A comprehensive review of resource, chemical classification, biosynthesis pathway, separated methods and application [J]. *Food Chem*, 2023, 403: 134422.
- [18] 搜狐. 合成生物「萜类化合物」井喷式发现, 为何能成为近几年热点研究 [EB/OL]. [2022-06-10]. https://www.sohu.com/a/555780732_120943685 [2024-02-26].
- SOHU. The blowout discovery of synthetic biological “terpenoids” has become a hot research topic in recent years [EB/OL]. [2022-06-10]. https://www.sohu.com/a/555780732_120943685 [2024-02-26].
- [19] KANGTHIN K. Pigment stability in Chaba maple (*Hibiscus acetosella* Welw. Ex Hiern.) petals extract as natural food and cosmetic colorants [J]. *Songklanakarin J Sci Technol*, 2021, 43(2): 460–464.
- [20] 黄露露, 杨志伟, 齐鹏宇, 等. 葡萄酒中花色素类物质鉴别及组成研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(19): 6271–6280.
- HUANG LL, YANG ZW, QI PY, *et al.* Research progress on the identification and composition of anthocyanins in wine [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(19): 6271–6280.
- [21] 陈勇, 李嘉杰, 郑丹菁, 等. 不同花色洋紫荆花瓣花青素和类黄酮物质组成和含量的变化[J]. *植物科学学报*, 2024, 42(1): 96–103.
- CHEN Y, LI JJ, ZHENG DJ, *et al.* Changes in composition and content of anthocyanins and flavonoids in petals of different flower colors of *Bauhinia variegata* [J]. *Plant Sci J*, 2024, 42(1): 96–103.
- [22] LU W, SHI Y, WANG R, *et al.* Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22: 4945.
- [23] KARANJALKER GR. Pigments that colour our fruits: An overview [J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00698-3>
- [24] 韩海华, 梁名志, 王丽, 等. 花青素的研究进展及其应用[J]. *茶叶*, 2011, 37(4): 217–220.
- HAN HH, LIANG MZ, WANG L, *et al.* Research progress and application of anthocyanin [J]. *J Tea*, 2011, 37(4): 217–220.
- [25] AZMIN SNHM, JAINE NIM, NOR MSM. Physicochemical and sensory evaluations of moisturising lip balm using natural pigment from beta vulgaris [J]. *Cogent Eng*, 2020, 7(1): 1788297.
- [26] 刘亚昕, 闫桦, 唐玲, 等. 红甜菜和甜菜红素的综合应用研究进展[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(13): 157–164.
- LIU YX, YAN H, TANG L, *et al.* Research progress on comprehensive application of red beet and betacyanin [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2022, 38(13): 157–164.
- [27] 华正昌, 童雨翠, 程强, 等. 姜黄素的生理活性及其在畜禽领域的研究进展[J]. *饲料工业*, 2022, 43(3): 35–40.
- HUA ZC, TONG YC, CHENG Q, *et al.* Physiological activity of curcumin and its research progress in the field of livestock and poultry [J]. *Feed Ind*, 2022, 43(3): 35–40.
- [28] 汤沈杨. 胭脂虫及胭脂虫红色素的应用研究进展[J]. *应用昆虫学报*, 2019, 56(5): 969–981.
- TANG SY. Research progress on the application of cochineal and cochineal red pigment [J]. *Chin J Appl Entomol*, 2019, 56(5): 969–981.
- [29] 陈毅怡. 食用天然红色素的研究进展[J]. *广州化工*, 2017, 45(23): 6–8.
- CHEN YY. Research progress of edible natural red pigment [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2017, 45(23): 6–8.
- [30] 华从伶. 食品添加剂胭脂红与胭脂虫红的比较研究[J]. *食品与发酵科技*, 2017, 53(1): 69–73.
- HUA CL. Comparative study on food additives carmine and cochineal red [J]. *Food Ferment Sci Technol*, 2017, 53(1): 69–73.
- [31] 邹志飞, 席静, 奚星林, 等. 国外食品添加剂法规标准介绍[J]. *中国食品卫生杂志*, 2012, 24(3): 283–288.
- ZHOU ZF, XI J, XI XL, *et al.* Introduction of foreign food additive regulations and standards [J]. *Chin J Food Hyg*, 2012, 24(3): 283–288.
- [32] UL 认证. 质量检测-FDA 对于颜色添加剂的法规要求[EB/OL]. [2021-09-14]. <http://huayutest.com.cn/xinwendongtai/4458.html> [2024-02-26].
- UL Certification. Quality inspection-FDA regulation requirements for color additives [EB/OL]. [2021-09-14]. <http://huayutest.com.cn/xinwendongtai/4458.html> [2024-02-26].
- [33] 刘筠筠, 杨嘉玮. 美国食品添加剂的安全监管及其启示[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(1): 154–159.
- LIU JJ, YANG JW. Safety supervision of food additives in the United States and its enlightenment [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(1): 154–159.
- [34] Part 73—listing of color additives exempt from certification [EB/OL]. [2024-01-10]. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-A/part-73> [2024-03-16].
- [35] Text with EEA relevance. Commission Regulation (EU) No 1129/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a union list of food additives text with EEA relevance [EB/OL]. [2024-02-12]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32011R1129> [2024-02-26].
- [36] CLAUDIA N, ADRIANA KM, RUI MVA, *et al.* Natural food colorants and preservatives: A review, a demand, and a challenge [J]. *Food Chem*, 2022, 70: 2789–2805.
- [37] KALRA R, CONLAN XA, GOEL M. Fungi as a potential source of

- pigments: Harnessing filamentous fungi [J]. *Front Chem*, 2020, 8: 346–369.
- [38] 李凡念, 张文静, 郝帅, 等. 藻蓝色素对胰岛素抵抗 HepG2 细胞糖代谢的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2023, 41(3): 54–63, 84.
- LI FN, ZHANG WJ, HAO S, *et al.* Effect of phycocyanin on glucose metabolism in insulin resistant HepG2 cells [J]. *J Food Sci Technol*, 2023, 41(3): 54–63, 84.
- [39] 殷欢, 张雅斐, 任顺成, 等. 螺旋藻藻蓝色素分离纯化及亚基结构分析[J]. *食品科技*, 2023, 48(4): 237–244.
- YIN H, ZHANG YF, REN SC, *et al.* Purification and subunit structure analysis of blue pigment from *Spirulina platensis* [J]. *Food Sci Technol*, 2023, 48(4): 237–244.
- [40] SAMBASEVAM KP, YUN N, NADIAH H, *et al.* Evaluation of natural pigment extracted from dragon fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) peels [J]. *Sci Res J*, 2020, 17(2): 33–44.
- [41] LOZADA P. Synthesis of ammonium-based ionic liquids for the extraction process of a natural pigment (betanin) [J]. *Molecules*, 2021, 26: 5458.
- [42] WHO Technical Report Series. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) [EB/OL]. [2024-02-20]. <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/> [2024-02-26].
- [43] 成黎. 天然食用色素的特性、应用、安全性评价及安全控制[J]. *食品化学*, 2012, 33(23): 399–403.
- CHENG L. The characteristics, application, safety evaluation and safety control of natural edible pigments [J]. *Food Sci*, 2012, 33(23): 399–403.
- [44] 葛建涛. 我国批准使用的食品着色剂理论风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(1): 98–104.
- GE JH. Theoretical risk assessment of food colorants approved for use in China [J]. *Chin J Food Hyg*, 2022, 34(1): 98–104.
- [45] MALABADI RB. Plant natural pigment colorants-health benefits: Toxicity of synthetic or artificial food colorants [J]. *Int J Innov Sci Res Rev*, 2022, 4(10): 3418–3429.
- [46] SILVA MM, REBOREDO FH, LIDON FC. Food colour additives: A synoptical overview on their chemical properties, applications in food products, and health side effects [J]. *Foods*, 2022, 11: 379.
- [47] 王秀莲, 熊捷, 王军. 天然食用色素在食品中应用及稳定性研究[J]. *工业微生物*, 2024, 54(1): 93–99.
- WANG XL, XIONG J, WANG J. Study on the application and stability of natural edible pigment in food [J]. *Ind Microbiol*, 2024, 54(1): 93–99.
- [48] DUTTA S, HALDER S. A colourful food palette: Health benefits and beyond [J]. *Int J Curr Res*, 2021, 13, (3): 16596–16600.
- [49] 曾永青, 陈丽. 天然色素在烘焙食品中的应用[J]. *现代食品科技*, 2005, 3: 201–202.
- ZENG YQ, CHEN L. Application of natural pigments in baked food [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2005, 3: 201–202.
- [50] 李金金. 天然色素在烘焙食品中的应用研究——以马卡龙为例[J]. *绿色科技*, 2013, 12: 260–261.
- LI JJ. Study on the application of natural pigments in baked goods-Taking macaron as an example [J]. *J Green Sci Technol*, 2013, 12: 260–261.
- [51] MUSA MNI, MARIMUTHU T, MOHD RASHID H, *et al.* Development of pH indicator film composed of corn starchglycerol and anthocyanin from *hibiscus sabdariffa* [J]. *Malays J Chem*, 2020, 22(1): 19–24.
- [52] MANJULA GS, KRISHNA HC, KARAN M, *et al.* Biochemical changes in extracted anthocyanin pigment from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyces for edible colour during storage [J]. *J Pharm Phytochem*, 2018, 7(5): 1616–1620.
- [53] 廖远东, 刘顺宇, 陈文田. 2 种天然红色色素的稳定性及其在果汁饮料中的应用效果探析[J]. *饮料工业*, 2019, 22(6): 28–31.
- LIAO YD, LIU SZ, CHEN WT. The stability of two natural red pigments and their application effects in fruit juice beverages were analyzed [J]. *Bever Ind*, 2019, 22(6): 28–31.
- [54] LIU J, LUO Y, GUO T, *et al.* Costeffective pigment production by *Monascus purpureus* using rice straw hydrolysate as substrate in submerged fermentation [J]. *J Biosci Bioeng*, 2020, 129(2): 229–236.
- [55] PANWAR H. Natural pigment from *Monascus*: The production and therapeutic significance [J]. *J Appl Microbiol*, 2022, 133: 18–38.
- [56] 樊永华. 肉类发色剂亚硝酸盐天然替代物研究进展[J]. *江苏调味副食品*, 2017, 4: 1–3.
- FAN YH. Research progress on natural substitutes of nitrite in meat coloring agent [J]. *Jiangsu Cond Subsid Food*, 2017, 4: 1–3.
- [57] DENISE RM, LAURA J, CARRARI F, *et al.* Achioté (*Bixa orellana* L.): A natural source of pigment and vitamin E [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(6): 1729–1741.
- [58] 梁提松, 敬璞. 糖果中食用色素使用情况调查[J]. *农产品加工*, 2020, 12: 79–82.
- LIANG TS, JING P. Investigation on the use of edible pigments in candy [J]. *Farm Prod Process*, 2020, 12: 79–82.
- [59] ECHEGARAY N, GUZEL N, KUMAR M, *et al.* Recent advancements in natural colorants and their application as coloring in food and in intelligent food packaging [J]. *Food Chem*, 2022, 1: 41–47.
- [60] DEKA A. Natural pigment betacyanin as tracking dye for gel electrophoresis [J]. *Indian J Nat Prod Re*, 2015, 6(1): 23–26.
- [61] 邢金锋, 王稳航. 天然色素的来源、分类、稳定化及其在可食包装中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(13): 286–295.
- XING JF, WANG WH. The source, classification, stabilization of natural pigment and its application in edible packaging [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(13): 286–295.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介



陈贤驰, 工程师, 主要研究方向为食品质量安全。

E-mail: cxianchi@163.com



戚平, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全。

E-mail: 561537935@qq.com