

风险评估

我国批准使用的食品着色剂理论风险评估

葛建鸿^{1,2,3}, 魏雪涛^{2,3}, 肖潇¹, 徐海滨¹, 杨大进¹, 屈鹏峰¹, 雍凌¹, 宋雁¹

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022; 2. 北京大学公共卫生学院, 北京 100191;

3. 食品安全毒理学研究与评价北京市重点实验室, 北京 100191)

摘要:目的 针对《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2014)中具有每日允许摄入量(ADI)值和最大使用量的着色剂,开展理论风险评估,了解其使用的安全性和人体健康风险。方法 首先使用丹麦预算法计算着色剂的理论每日最大摄入量。对于预算法评估发现摄入量超过ADI的着色剂,进一步利用我国2012年总膳食研究的食物消费量数据和GB 2760—2014中着色剂的最大使用量,采用简单分布评估法开展理论风险评估。结果 本研究共筛选出21种具有数值型ADI和最大使用限量的着色剂。预算法评估发现其中有15种每日摄入量高于ADI。对这15种着色剂进一步开展简单分布评估,显示我国一般人群的每日平均摄入量均低于ADI,但有2种着色剂的高食物量消费人群(P95)摄入量超过其ADI;消费人群的每日平均摄入量也均低于ADI,但有8种着色剂的P95摄入量超过其ADI。结论 我国批准使用的大部分着色剂在我国人群中的摄入量较低,风险处于可接受水平,但仍有少部分着色剂的高食物量消费人群的每日理论摄入量超过ADI,需要进一步摸清这些着色剂在食品中的实际含量后开展更精确的风险评估,从而确定其对我国人群的健康风险水平。

关键词:食品添加剂;着色剂;风险评估;理论风险评估;预算法;简单分布评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2022)01-0098-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.01.019

Theoretical risk assessment of food colorants approved in China

GE Jianhong^{1,2,3}, WEI Xuetao^{2,3}, XIAO Xiao¹, XU Haibin¹, YANG Dajin¹,
QU Pengfeng¹, YONG Ling¹, SONG Yan¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China;

2. School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China; 3. Beijing Key

Laboratory of Toxicological Research and Risk Assessment for Food Safety,

Peking University, Beijing 100191, China)

Abstract: Objective To carry out the theoretical risk assessment for food colorants in the National food safety standard-standards for uses of food additives (GB 2760—2014) by Budget method and deterministic assessment. **Methods** Budget method was applied for calculating the theoretical maximum daily intake of food colorants which had ADI values and maximum use levels. For the additives whose intakes were higher than their ADIs, simple distribution assessment was performed with food consumption data from a Chinese total diet study in 2012. **Results** There are totally 21 food colorants have both ADI values and maximum use levels in GB 2760—2014. These 21 food colorants were included in the assessment by Budget method. The maximum theoretical daily intake of 15 food colorants exceeded their ADIs. Then, these 15 food colorants were assessed by simple distribution assessment. The result showed that the average intakes were below ADIs but the P95 intakes of 2 food colorants exceeded the ADIs in the whole population. Among consumers, the average intakes were also below ADIs, but the P95 intakes of 8 food colorants exceeded the ADIs. **Conclusion** The health risks of most food colorant intakes in the national standard were at low levels. However, a few food colorants showed a requirement for further assessment with the actual concentrations in foods to confirm their health risk level.

Key words: Food additives; food colorants; risk assessment; theoretical risk assessment; Budget method; simple distribution assessment

收稿日期:2021-02-19

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1604306)

作者简介:葛建鸿 男 硕士生 研究方向为安全性评价和风险评估

估 E-mail:gejh@pku.edu.cn

通信作者:雍凌 女 副研究员 研究方向为食品安全风险评估

E-mail:yongling@cfsa.net.cn

着色剂是一种重要的食品添加剂,可分为天然色素和合成色素两大类。天然色素来自于天然植物、动物、微生物,且大多来自可食资源,是利用一定的加工方法所获得的有机色素和少量的无机色素,大多数安全性较高,但其色素含量和稳定性等一般不如合成色素。由于合成色素的成本低廉、色

泽鲜艳、着色力强、色调多样,因此被广泛应用。据统计,2017年我国的着色剂销售量达42万吨,销售额37.7亿元,出口量9613吨,在着色剂三大类产品中,合成色素销量0.4万吨,天然色素1.6万吨,焦糖色素约40万吨^[1]。

《中华人民共和国食品安全法》规定,国家建立食品安全风险评估制度,对食品、食品添加剂、食品相关产品中的危害因素进行风险评估。欧洲、美国、日本和韩国等多个国家及地区已经开始启动食品添加剂再评估计划^[2],欧洲近几年来已经对甜味剂、谷氨酸盐、磷酸盐、亚铁氰化钠/钾/钙、黄原胶、脂肪酸、β-环糊精、靛胭脂、没食子酸丙酯等多种物质作为食品添加剂的安全性开展了再评估^[3-4],并且经重新评估后,于2018年从食品添加剂清单中删除山梨酸钙^[5],并且对一些食品添加剂的使用提出建议修改的科学意见;美国和日本已对香料开展了再评估^[6-10],韩国对已批准使用的合成色素、抗氧化物和护色剂也开展了再评估^[11-12],其他一些国家和地区也在纷纷开展食品添加剂的再评估工作^[13],其主要原因包括:一是安全性有关的新科学证据显示某些食品添加剂的安全性存在潜在风险,例如,2011年联合国粮农组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee for Food Additives, JECFA)调整了铝的暂定每周耐受摄入量(Provisional tolerable weekly intake, PTWI),基于此健康指导值评估发现,我国人群通过膳食摄入铝对健康具有一定的风险,因此我国于2014年修订了标准,减少了含铝食品添加剂的种类和使用范围^[14];二是风险监测评估结果提示存在安全性问题;三是食品添加剂使用范围的扩大和人群对含食品添加剂的食物的消费量增加,导致以前对该食品添加剂的健康风险出现较大不确定性,需要重新评估。随着社会经济的发展,我国人群深加工食品的消费量逐渐增加,随之食品添加剂的摄入种类和摄入量也越来越多,同时新的食品添加剂仍在不断加入,因此亟需针对《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—2014)中的食品添加剂开展再评估。

按照国际上对食品添加剂风险评估的惯例,一般采用分步骤渐进式的筛选评估方法开展^[15]。首先采用保守的模型膳食,如丹麦预算法,估计人体在极端情况下的摄入量,若未超过每日允许摄入量(Acceptable daily intake, ADI),则说明其健康风险很低,不需要开展更精确的评估;若摄入量超过ADI,则需进一步依据实际食物消费量以及该食品添加剂在食品中的使用限量或实际含量等数据,采

用点评估、简单分布评估或概率评估等方法对其开展更精确的评估。

本研究针对我国所有批准使用的着色剂的最大使用量和ADI进行了梳理和筛选,除标准规定在所有允许添加的食品中均按生产需要适量使用的及尚无明确数值型ADI的着色剂以外,其余着色剂均纳入本次理论评估。本次研究利用丹麦预算法和简单分布评估对我国允许使用的着色剂进行了初步风险排序,筛选出需要优先进行精确评估的着色剂,为我国食品添加剂再评估工作的全面开展提供科学基础。

1 资料与方法

1.1 数据来源

食品中着色剂含量数据来源于GB 2760—2014。该标准中规定了已批准的着色剂的允许使用范围及最大使用量。

食物消费量数据来源于2012年总膳食研究消费量数据库,涵盖北京市、河北省、内蒙古自治区、辽宁省、吉林省、黑龙江省、江苏省、浙江省、江西省、河南省、湖北省、湖南省、广西壮族自治区、四川省、贵州省、陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区共18个省、市和自治区,共计32 101人。消费量调查采用多阶段分层和人口成比例的整群随机抽样的方法,收集调查对象连续3 d 24 h膳食回顾数据。调查内容包括基本信息(性别、年龄、体质量等)和调查对象每日所有食物分别的消费量。

着色剂的ADI值主要依据JECFA最新的食品添加剂风险评估报告,同时借鉴了欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)制定的ADI值。在两家机构对同一着色剂制定不同的ADI时,从风险预防原则考虑,本研究取两者当中较低者作为此次评估的健康指导值。

1.2 方法

1.2.1 丹麦预算法

丹麦预算法^[16]是一种模型膳食的方法,其计算公式为

$$\text{Exp}_{\max} = C_s \times F_s \times \text{ratio}_s + C_l \times F_l \times \text{ratio}_l$$

其中, Exp_{\max} 为理论每日最大摄入量(mg/kg·BW); C_s 为固体食品中食品添加剂的最大含量(mg/kg); F_s 为固体食品每日最大生理消费限量(kg/kg·BW); C_l 为饮料中食品添加剂的最大含量(mg/L); F_l 为饮料每日最大生理消费限量(L/kg·BW)。 ratio_s 为添加被评价食品添加剂的固体食品占总固体食品的比例; ratio_l 为添加被评价食品添加剂的饮料占总饮料的比例。

固体食品和饮料的每日最大生理消费限量分别是 0.05 kg/kg·BW 和 0.1 L/kg·BW, 相当于体质 60 kg 的人每日消费 3 kg 固体食品和 6 L 饮料。添加被评价食品添加剂的固体食品和饮料占总固体食品和饮料的比例分别假定为 12.5% 和 25%。本次研究采用以上参数进行计算。

1.2.2 简单分布评估法

采用 2012 年总膳食研究中个体的食物消费量数据和 GB 2760—2014 中的最大使用量数据, 计算个体的着色剂每日理论摄入量。在得到个体通过各类食物的着色剂摄入量的基础上, 可获得全部个体着色剂摄入量的频数分布, 并可获得一般人群 (即本次评估所依据的消费量调查中全部调查对象所代表的人群) 和消费人群 (即在本次评估所依据的消费量调查数据中, 食用了所关注的某种或某类特定食品的亚人群) 的着色剂平均摄入水平及第 95 百分位数 (P95, 即高端消费量人群) 摄入水

平。具体公式为

$$Exp = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i \times C_i)}{W}$$

其中, Exp 为每人每天每千克体质量某着色剂的平均摄入量 (mg/kg·BW); F_i 为某个体第 i 种食物的平均消费量 (g/d); C_i 为第 i 种食物中某着色剂的平均含量 (g/kg); W 为某个体的体质量 (kg)。

2 结果

2.1 着色剂筛选流程

如图 1 所示, 针对 GB 2760—2014 中的 292 种食品添加剂进行初步筛选。首先剔除在标准中没有明确规定最大使用限量的食品添加剂 114 种; 在 JECFA 和 EFSA 两家机构的食品添加剂评估报告中搜索其最新制定的食品添加剂 ADI 值; 对于两家机构均无 ADI 评估资料或者认为现有证据不足以制定 ADI 值的 114 种食品添加剂进行剔除; 将两家机

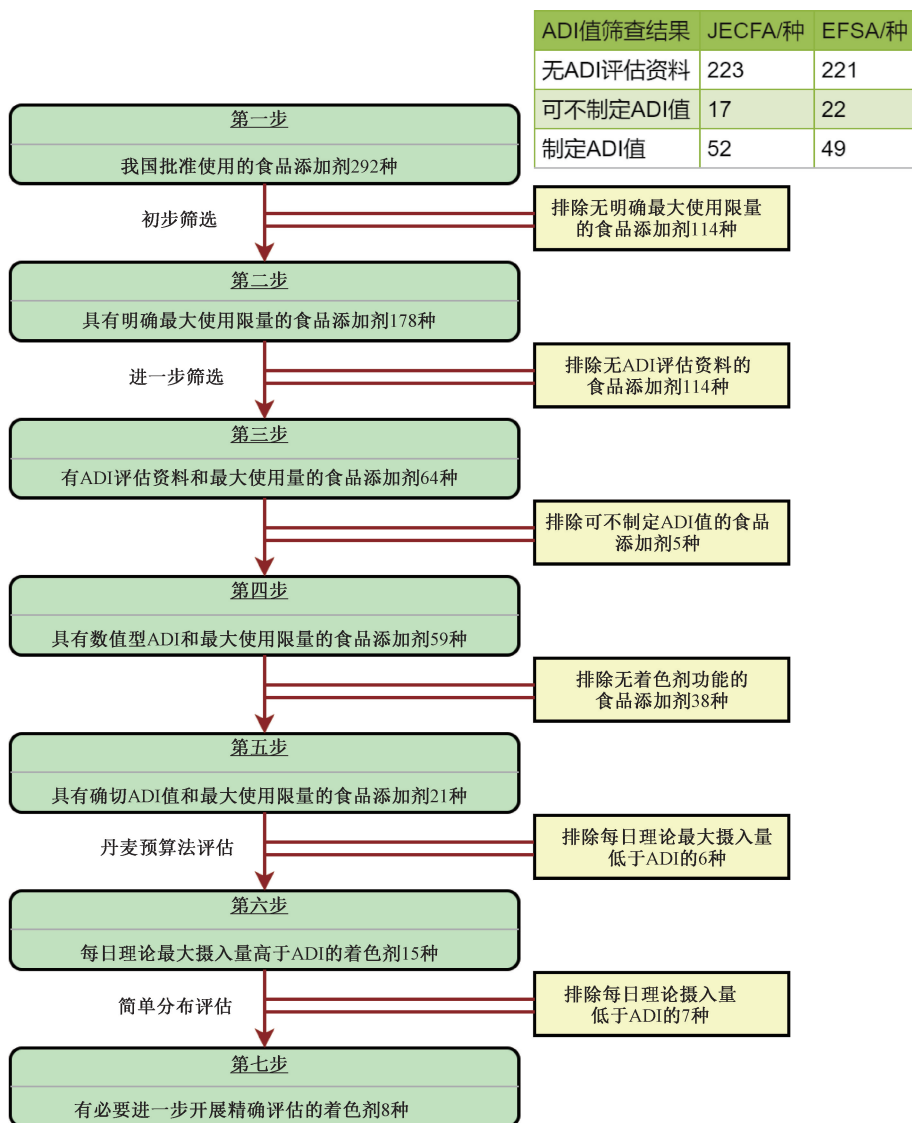


图 1 食品添加剂筛选流程

Figure 1 Screening process of food additive

构评估认为具有较高安全性,因此排除可不制定 ADI 值的 5 种食品添加剂;最后再按食品添加剂的功能筛选出 21 种符合本次评估要求的着色剂进行风险评估。对于纳入评估的 21 种着色剂,首先采用丹麦预算法计算其理论每日最大摄入量;对于理论每日最大摄入量超出其 ADI 值的着色剂,再采用简单分布评估法进行评估。

对 GB 2760—2014 中的 292 种食品添加剂的 ADI 值查新发现,其中有 205 种食品添加剂没有经过 JECFA 和 EFSA 的安全性评估或评估资料不足,两家机构都没有制定其 ADI 值。JECFA 对其中的 223 种食品添加剂未制定 ADI 值;其中的 17 种在评估后认为,该物质作为食品添加剂能达到预期效应的量加上在食品中天然存在的量,其每日总摄入量仍不足以对健康造成危害,因此可不制定 ADI 值;另外 52 种制定了明确的 ADI 值。EFSA 对其中 221 种食品添加剂未制定 ADI 值;

22 种在评估后认为可不制定 ADI 值;49 种制定了明确的 ADI 值。

2.2 采用丹麦预算法评估理论每日最大摄入量

如图 1 所示,经初步筛选,共有 21 种着色剂纳入预算法评估流程。经评估, β -阿朴-8'-胡萝卜素醛、 β -胡萝卜素、赤藓红及其铝色淀等 15 种着色剂的理论每日最大摄入量超过其 ADI;酸性红、焦糖色(普通法)、焦糖色(苛性硫酸盐)、靛蓝及其铝色淀、诱惑红及其铝色淀、亮蓝及其铝色淀 6 种食品添加剂的理论每日最大摄入量未超过其 ADI,不进入简单分布评估流程。

如表 1 和图 2 所示,经预算法评估进入简单分布评估的 15 种食品添加剂中,理论每日最大摄入量超过 ADI 倍数最低的为叶绿素铜钠盐和钾盐,为 ADI 的 104.28%,最高的为 β -胡萝卜素,理论每日最大摄入量为 ADI 的 35.0 倍。

表 1 我国批准使用的 15 种着色剂的 ADI 值及理论摄入量(mg/kg·BW)

Table 1 ADIs and theoretical intakes of 15 food colorants approved in China (mg/kg·BW)

编号	着色剂名称	来源	ADI		预算法评估理论摄入量占 ADI 百分比/n, %	简单分布评估			
			JECFA	EFSA		一般人群平均摄入量(占 ADI 百分比/n, %)	一般人群 P95 摄入量(占 ADI 百分比/n, %)	消费人群平均摄入量(占 ADI 百分比/n, %)	消费人群 P95 摄入量(占 ADI 百分比/n, %)
1	β -阿朴-8'-胡萝卜素醛	合成	5.00	0.30	204.17	0.01 (3.56)	0.05 (16.22)	0.04 (14.87)	0.19 (62.59)
2	赤藓红及其铝色淀	合成	—	0.10	1 875.00	0.01 (9.21)	0.04 (41.81)	0.04 (37.37)	0.14 (140.45)
3	核黄素	合成	0.50	—	375.00	0.01 (1.28)	0.03 (6.921)	0.04 (7.06)	0.14 (29.74)
4	焦糖色(加氨生产)	合成	200.00	100.00	1 562.50	14.36 (14.36)	27.52 (27.52)	25.49 (25.49)	109.40 (109.41)
5	焦糖色(亚硫酸铵法)	合成	200.00	300.00	781.25	48.38 (24.19)	180.90 (90.48)	57.40 (28.70)	210.80 (105.42)
6	喹啉黄	合成	5.00	0.50	500.00	0.00 (0.04)	0.00 (0.00)	0.19 (37.26)	0.83 (165.42)
7	柠檬黄及其铝色淀	合成	7.50	7.50	191.67	0.17 (2.33)	0.760 (10.13)	0.31 (4.09)	1.22 (16.30)
8	日落黄及其铝色淀	合成	4.00	4.00	359.38	0.18 (4.58)	0.361 (9.034)	0.54 (13.56)	0.85 (21.28)
9	苋菜红及其铝色淀	合成	0.50	0.15	2 083.33	0.02 (11.54)	0.091 (60.97)	0.06 (40.36)	0.21 (138.06)
10	胭脂红及其铝色淀	合成	4.00	0.70	625.00	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
11	β -胡萝卜素	合成/天然	5.00	—	3 500.00	3.33 (66.52)	12.51 (250.30)	4.10 (82.05)	14.88 (297.65)
12	姜黄素	天然	3.00	3.00	229.17	0.10 (3.35)	0.54 (17.94)	0.36 (12.04)	1.45 (48.35)
13	辣椒油树脂	天然	—	24.00	1 302.08	3.22 (13.40)	16.50 (68.78)	8.51 (35.47)	31.30 (130.42)
14	胭脂虫红	天然	—	2.50	850.00	0.77 (30.90)	3.402 (136.0)	1.88 (75.20)	7.89 (315.60)
15	叶绿素铜钠盐,叶绿素铜钾盐	天然	15.00	—	104.28	0.34 (2.26)	1.54 (10.28)	1.22 (8.11)	4.90 (32.64)

2.3 采用简单分布评估法评估每日理论摄入量

对 15 种着色剂开展简单分布评估发现,对于一般人群而言,着色剂的每日平均摄入量均未超过其 ADI;仅有 2 种食品添加剂的 P95 摄入量超过了 ADI,即 β -胡萝卜素、胭脂虫红, P95 摄入量分别为 ADI 的 2.50 倍和 1.36 倍。考虑到不同人群食物消费模式的差异,针对消费人群(即在本次评估所依据的消费量调查数据中,食用了含该着色剂的食品的亚人群)也进行了简单分布评估。结果显示,着色剂的每日平均摄入量仍未超过其 ADI,但是有 8 种着色剂的 P95 摄入量超过了 ADI,这 8 种着色剂除 β -胡萝卜素、胭脂虫红以外,还有辣椒油树脂、

赤藓红及其铝色淀、焦糖色(加氨生产)、焦糖色(亚硫酸铵法)、喹啉黄、苋菜红及其铝色淀(表 1, 图 2)。在 10 种合成色素中有 5 种、4 种天然色素中有 2 种的消费人群 P95 摄入量超过 ADI。

3 讨论

此次评估结果显示,我国批准使用的大部分着色剂在我国人群中的摄入量较低,风险处于可接受水平。对于一般人群来说,着色剂摄入导致的健康风险较低,每日平均摄入量均低于 ADI,仅发现 2 种着色剂的 P95 摄入量超过 ADI;对于消费人群,着色剂的平均摄入量也未超过 ADI,但有 8 种着色剂的

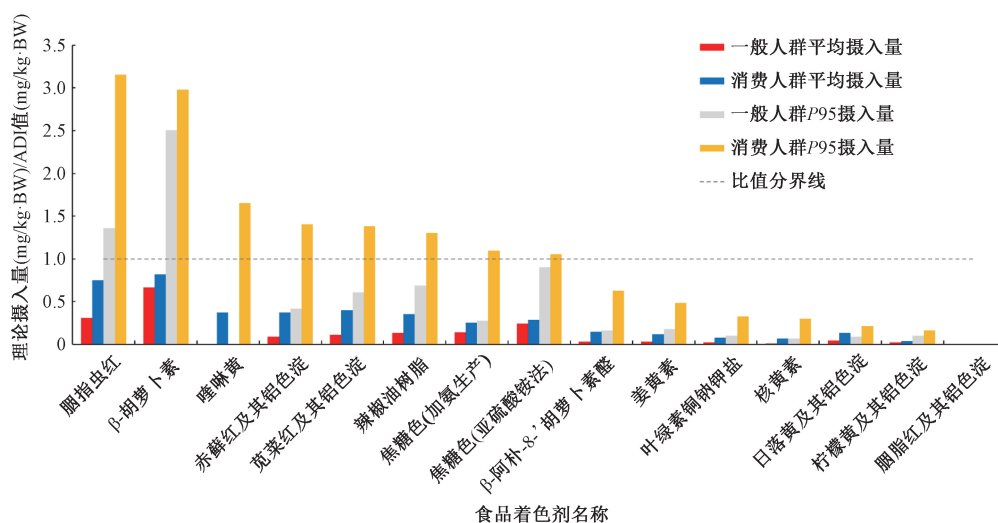


图2 简单分布评估食品添加剂的每日理论摄入量与 ADI 的比值

Figure 2 Proportions of theoretical daily intakes calculated by simple distribution assessment to ADIs

P95 摄入量超过 ADI;合成色素与天然色素中摄入量超过 ADI 的种类占比一致。

本次筛选的 21 种着色剂经丹麦预算法评估后,仅酸性红、靛蓝及其铝色淀、焦糖色(苛性硫酸盐)、焦糖色(普通法)、亮蓝及其铝色淀、酸性红(又名偶氮玉红)和诱惑红及其铝色淀 6 种着色剂的理论每日最大摄入量均未超过其 ADI。此外,张俭波等^[15]在 2009 年针对我国批准使用的 22 种食品添加剂采用丹麦预算法评估理论每日最大摄入量,其中仅没食子酸丙酯等 4 种未超过 ADI。可见丹麦预算法是一种极端高估的评估方法,运用此方法评估摄入量会有相当一部分食品添加剂摄入量会超过 ADI,因此该方法仅适用于初步的筛选评估,对食品添加剂再评估优先度排序,并为后续精确评估奠定基础,而不可据此直接得出具有健康风险的结论。

国内外针对部分着色剂开展过风险评估,总体来看,国内外人群通过加工食品均有一定着色剂的摄入,部分着色剂摄入量较高,甚至已超过 ADI,存在一定健康风险。国内主要针对焦糖色开展过风险评估:LIANG 等^[17]基于市场调查获得的焦糖色在 15 类食品中的使用量和我国人群食物消费量数据,评估认为我国人群的焦糖色摄入及其副产物 4-甲基咪唑(4-Methylimidazole, 4-MEI)和 2-乙酰基-4-羟基-丁基咪唑(2-Acetyl-4-hydroxy-butylimidazole, THI)暴露风险较低,主要食品来源为酱油、醋和复合调味料。国外针对着色剂也有相关评估报道:一项针对 2 岁以上美国人群的 4-MEI 暴露评估研究^[18]显示,4-MEI 平均暴露量为 0.000 42~0.001 2 mg/kg·BW, P90 暴露量为 0.000 92~0.002 5 mg/kg·BW,远低于 LIANG 等^[17]报道的我国 3 岁以上人群通过焦糖色的 4-MEI 暴露量(平均为 3.8 mg/kg·

BW, P95 为 12.9 mg/kg·BW),原因之一可能是中国人群的研究中使用的是市场调查获得的焦糖色使用量,而非实际检测数据,导致暴露量存在一定的高估;另一个原因可能是中国人群除了通过可乐型碳酸饮料摄入焦糖色以外,主要是通过酱油等调味料摄入了更多的焦糖色;DOELL 等^[19]评估了美国 2~18 岁人群对亮蓝等 7 种着色剂的摄入量,结果显示一般人群中超过 90%的个体摄入了至少其中 1 种着色剂,主要贡献食品有早餐谷物、果汁、软饮料和冷冻饮品;一项针对科威特 5~14 岁儿童的研究^[20],采用食物消费量调查和食物中着色剂实际含量检测数据,评估了 9 种允许使用的合成色素的摄入量,其中柠檬黄、日落黄、二蓝光酸性红和诱惑红 4 种超过了 JECFA 制定的 ADI 值;韩国也基于食物消费量调查和食物中着色剂实际含量检测数据,对 9 种允许使用的合成色素开展了评估,结果显示摄入量最高的是诱惑红和柠檬黄,苋菜红、赤藓红和诱惑红的摄入量占 EDI/ADI 比例最高,韩国消费者的平均摄入量均不超过其 ADI 的 2.5%,P95 摄入量最高达到 ADI 的 37%^[21]。

本次评估发现着色剂的一般人群和消费者人群每日平均摄入量均未超过 ADI,但是 P95 摄入量则均有部分着色剂超过 ADI,这种情况与前期报道的评估结果比较一致。虽然多数报道结果显示,大部分食品添加剂平均摄入量未超过 ADI,但是也有报道显示在高端消费量人群或者低年龄人群中可能存在健康风险。2019 年两项研究分别对甜味剂爱得万甜^[22]和着色剂亮蓝^[23]采用简单分布评估方法开展了理论评估,结果认为其健康风险均较低;LIEN 等^[24]2016 年采用总膳食研究的方法对台湾人群开展了膳食亚硫酸盐暴露风险评估,结果显示高

消费人群摄入量占 ADI 比例为 19.7%; ZHANG 等^[25]2014 年以简单分布评估法开展了我国人群亚硫酸盐的风险评估,认为绝大多数人群摄入量处于安全水平,但高端消费量人群的亚硫酸盐摄入量超过其 ADI,尤其是 1~6 岁儿童风险较高,主要原因是食品工业对亚硫酸盐的超量和超范围使用;胡桂仙等^[26]2017 年以点评估方法开展了淀粉、酒类、食用菌及藻类罐头 4 类食品中二氧化硫风险评估,认为这 4 类食品的消费量较低,其风险程度均在人体可接受范围内,但 2~13 岁人群的二氧化硫摄入对健康造成了一定威胁;曹佩等^[27]2016 年采用简单分布法开展的一项甜蜜素的理论评估发现,我国居民一般人群通过允许使用甜蜜素的各类食品摄入的甜蜜素处于安全水平,但是我国 2~17 岁高端消费量人群(P97.5)甜蜜素摄入量超过 ADI。

本次评估存在一定不确定性:着色剂的含量数据并非直接从食物中检测获得,而是采用标准中允许使用的最大量,可能存在一定程度的高估;本次评估并未考虑标准之外的食品滥用情况和超量使用情况,可能造成风险的低估,但这部分风险在加强市场监管的情况下可以消除。本研究已对具备评估条件的 21 种着色剂进行了理论评估,然而仍有部分着色剂是可以在生产加工过程中按生产需要适量使用的,并没有最大使用限量,因此无法开展理论评估,对于此类着色剂,需采集食物中的实际监测含量数据后再开展评估。

综上所述,本次筛选评估发现摄入量超过 ADI 的着色剂仍可能存在健康风险,由于理论评估存在较大不确定性,今后应有针对性地采集食品中这些着色剂的实际含量数据,进一步开展更精确的风险评估,并对高端消费量人群以及不同性别、年龄、地区的人群分别开展风险特征描述,发现需重点关注的人群,从而为标准的修订提供科学依据,为市场监管和居民消费方式提供科学建议。

参考文献

- [1] 薛毅. 适应经济结构变化新态势,推进行业稳步向好发展——协会五届九次常务理事会议、五届五次理事会和五届三次会员代表大会工作报告(摘要)[J]. 中国食品添加剂, 2018(4): 44-45.
- [2] 欧盟发布法规对已批准食品添加剂制定重新评估计划[J]. 江苏调味副食品, 2010, 27(2): 5.
- [3] TENNANT D R, VLACHOU A. Potential consumer exposures to low/no calorie sweeteners: A refined assessment based upon market intelligence on use frequency, and consideration of niche applications [J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2019, 36(8): 1173-1183.
- [4] ROBERTS A, LYNCH B, RIETJENS I. Risk assessment paradigm for glutamate[J]. Annals of Nutrition & Metabolism, 2018, 73 (Suppl 5): 53-64.
- [5] 欧盟从食品添加剂清单中删除山梨酸钙[J]. 粮食与饲料工业, 2018(2): 62.
- [6] COHEN S M, EISENBRAND G, FUKUSHIMA S, et al. FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: Mint, buchu, dill and caraway derived flavoring ingredients [J]. Food and Chemical Toxicology, 2020, 135: 110870.
- [7] COHEN S M, EISENBRAND G, FUKUSHIMA S, et al. FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: Citrus-derived flavoring ingredients[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 124: 192-218.
- [8] RIETJENS I M C M, COHEN S M, EISENBRAND G, et al. FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: Cinnamomum and Myroxylon-derived flavoring ingredients [J]. Food and Chemical Toxicology, 2020, 135: 110949.
- [9] MIROKUJI Y, ABE H, OKAMURA H, et al. The JFFMA assessment of flavoring substances structurally related to menthol and uniquely used in Japan[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 64: 314-321.
- [10] COHEN S M, FUKUSHIMA S, GOODERHAM N J, et al. Safety evaluation of substituted thiophenes used as flavoring ingredients [J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 99: 40-59.
- [11] LIM H S, KIM M, LEE G, et al. Dietary exposure assessment of synthetic food colours using analytical concentrations in Korea [J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2019, 36 (10): 1453-1466.
- [12] LEE G, LIM H S, YUN S S, et al. Safety assessment of antioxidants and color fixatives for the Korean population using dietary intake monitoring [J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2019, 36(6): 876-883.
- [13] KALAYCIOĞLU Z, ERIM F B. Nitrate and nitrites in foods: Worldwide regional distribution in view of their risks and benefits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67 (26): 7205-7222.
- [14] ZHANG H, ZHANG J Y, WANG H L, et al. The revision of aluminum-containing food additive provisions in China [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2016, 29 (6): 461-466.
- [15] 张俭波,王竹天,刘秀梅. 预算法评估我国批准使用的 22 种食品添加剂的摄入量 [J]. 中国食品卫生杂志, 2009, 21 (2): 133-136.
- [16] HANSEN S C. Conditions for use of food additives based on a budget for an acceptable daily intake [J]. Journal of Food Protection, 1979, 42(5): 429-434.
- [17] LIANG J, CAO P, WANG X D, et al. Dietary intake assessment of caramel colours and their processing by-products 4-methylimidazole and 2-acetyl-4-tetrahydroxy-butylimidazole for the Chinese population [J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2019, 36(7): 1009-1019.

- [18] FOLMER D E, DOELL D L, LEE H S, et al. A US population dietary exposure assessment for 4-methylimidazole (4-MEI) from foods containing caramel colour and from formation of 4-MEI through the thermal treatment of food [J]. *Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2018, 35(10): 1890-1910.
- [19] DOELL D L, FOLMER D E, LEE H S, et al. Exposure estimate for FD&C colour additives for the US population [J]. *Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2016, 33(5): 782-797.
- [20] HUSAIN A, SAWAYA W, AL-OMAIR A, et al. Estimates of dietary exposure of children to artificial food colours in Kuwait [J]. *Food Additives and Contaminants*, 2006, 23(3): 245-251.
- [21] HA M S, HA S D, CHOI S H, et al. Exposure assessment of synthetic colours approved in Korea [J]. *Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2013, 30(4): 643-653.
- [22] ZHANG J Y, ZHANG J B, YU H Y, et al. Theoretical risk assessment of dietary exposure to advantame among the Chinese population [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2019, 32(12): 930-933.
- [23] LI W H, HAO D, PEI C, et al. Theoretical risk assessment of dietary exposure to brilliant blue FCF in Chinese population [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2019, 32(2): 126-129.
- [24] LIEN K W, HSIEH D P H, HUANG H Y, et al. Food safety risk assessment for estimating dietary intake of sulfites in the Taiwanese population [J]. *Toxicology Reports*, 2016, 3(C): 544-551.
- [25] ZHANG J B, ZHANG H, WANG H L, et al. Risk analysis of sulfites used as food additives in China [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2014, 27(2): 147-154.
- [26] 胡桂仙, 赖爱萍, 袁玉伟, 等. 消费者膳食中二氧化硫残留的累积性风险评估 [J]. *中国农业科学*, 2017, 50(7): 1317-1325.
- [27] 曹佩, 马宁, 梁江, 等. 我国居民膳食中甜蜜素暴露的理论风险评估 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(1): 111-114.

风险评估

中国水产品总汞污染特征分析及健康暴露评估

徐曦, 颜崇淮

(上海交通大学医学院附属新华医院教育部和上海市环境与儿童健康重点实验室, 上海 200092)

摘要:目的 全面系统分析我国水产品总汞污染状况及其特征, 进行污染评价及膳食暴露风险评估。方法 基于2010—2020年已发表的覆盖全国的水产品监测大样本数据, 分析其汞污染特征并依据居民膳食消费量利用Monte Carlo模拟方法评估汞的健康暴露风险。结果 水产品有效样本量共计19 531件。整体上, 水产品的汞含量远低于国家标准限值, 海水产品总汞含量显著高于淡水产品, 部分鱼类及海水贝类、淡水甲壳类的汞含量达到轻、中度污染水平, 南海区域海水养殖鱼明显高于野生鱼种。经水产品摄入所致的汞暴露量低于JECFA发布的每周耐受摄入量, 但P95暴露水平下45岁以上女性及6—17岁儿童全种类水产品摄入仍有较高风险。结论 水产品总汞含量处于较低水平, 健康暴露风险总体上处于可接受水平, 渤海汞污染问题需要进一步监测, 南海区域鱼类养殖模式仍需更多关注。

关键词: 水产品; 总汞; 污染特征; 膳食暴露评估; 中国

中图分类号: R155 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8456(2022)01-0104-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2022.01.020

Contamination characteristics and health risk assessment of mercury in aquatic products in China

XU Xi, YAN Chonghuai

(MOE-Shanghai Key Laboratory of Children's Environmental Health, Xinhua Hospital,
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200092, China)

收稿日期: 2021-04-27

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1600500)

作者简介: 徐曦 女 硕士生 研究方向为环境重金属污染与健康 E-mail: patrichor@sjtu.edu.cn

通信作者: 颜崇淮 男 教授 研究方向为环境重金属与健康 E-mail: yanchonghuai@xinhuaed.com.cn