

婴幼儿配方乳粉中污染物风险评估体系的探讨

史贇学¹, 邱雨², 王峻¹, 吴宇^{1*}

(1. 成都产品质量检验研究院有限公司, 成都 610000; 2. 四川中烟工业有限责任公司, 成都 610000)

摘要: 在国内外婴幼儿配方乳粉安全问题频发的背景下, 针对乳粉的污染物风险分析并进行评估在保障食品安全方面有着极为重要的意义。本文以婴幼儿配方乳粉为研究对象, 分别从原料、加工和包装环节对污染物的风险评估进行探讨, 探讨内容包括了原料乳中常见的微生物污染, 乳粉加工过程中可能存在的各类元素或重金属污染, 以及包装过程中存在的化学物质迁移。同时结合并对比国内外的相关评估理论及食品安全标准, 对可能存在的风险来源进行了探讨, 为婴幼儿配方乳粉中污染物的风险评估体系的完善提供了思路。

关键词: 婴幼儿配方乳粉; 污染物; 风险评估

Discussion on the risk assessment system of pollutants in infant formula milk powder

SHI Yun-Xue¹, QIU Yu², WANG Jun¹, WU Yu^{1*}

(1. Chengdu Institute of Product Quality Inspection Co., Ltd., Chengdu 610000, China; 2. China Tobacco Sichuan Industrial Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

ABSTRACT: In the context of frequent safety problems of infant formula milk powder of domestic and overseas, analysis and assessment of the risk of contaminants in milk powder is of great significance in ensuring food safety. This article taking infant formula milk powder as the research object, discussed the risk assessment of pollutants from the raw materials, processing and packaging links. The discussion included the common microbial pollution in raw milk, the possible elements or heavy metal pollution in the process of milk powder processing, and the chemical material migration in the packaging process. At the same time, combining and comparing relevant domestic and foreign assessment theories and food safety standards, the possible sources of risks were discussed, which provided ideas for the improvement of the risk assessment system of contaminants in infant formula milk powder.

KEY WORDS: infant formula milk powder; pollutants; risk assessment

0 引言

配方乳粉作为一类重要并且特殊的食品, 是婴幼儿除母乳外的主要营养来源, 因此保证其质量安全尤为重要。

20世纪80年代末, 食品安全分析初见雏形, 经过近半个多世纪以来的实践摸索和不断完善, 风险分析已经成

为食品安全生产质量管理规范(good manufacturing practices, GMP)危害分析, 良好卫生操作规范以及关键控制点(hazard analysis critical control point, HACCP)以来的第三次改革^[1-2]。食品安全风险分析的三大内容包括: 风险评估、风险交流和风险管理^[3], 而风险评估是其中涵盖面最广, 涉及内容最多的一项, 主要立足于使用数据和资料对食品安全进行全面系统的科学分析^[4-5]。风险评估一般包

*通信作者: 吴宇, 高级工程师, 主要研究方向为食品化工检测。E-mail: 9934448@qq.com

*Corresponding author: WU Yu, Senior Engineer, Chengdu Institute of Product Quality Inspection Co., Ltd, NO.16 Xingmao Street, Longquanyi District, Chengdu 610000, China. E-mail: 9934448@qq.com

括有危害描述、暴露评估、风险识别和风险描述四部分内容, 其中暴露评估则根据物理性、化学性和生物性 3 种因子在膳食中的摄入量进行估测而得到^[6], 而全部工作可以顺利开展的前提则是能否准确地了解并掌握对污染物因子的测定方法以及对危害来源的预测并定性估计。近些年来, 婴幼儿配方乳粉安全事件的频繁爆出, 受到全社会关注, 2015 年颁布的《中华人民共和国食品安全法》^[7], 针对婴幼儿配方食品从原材料、生产以及流通等各大环节都做出了严格要求。2020 年 6 月国家发改委、农业农村部、工业和信息化部、卫健委等七大部门联合发布了《婴幼儿配方乳粉提升行动方案》, 提出品质提升、产品升级和品牌培育的行动计划, 用以重振国内婴幼儿乳品行业^[8], 婴幼儿乳粉的安全保障成为急需解决的问题。目前国内对于婴幼儿乳粉的安全保障体系仍处于逐渐完善的阶段, 其中乳粉安全分析的背景资料及风险评估制度也尚未完整建立。现阶段我国的风险评估体系仍旧存在部分问题和弊端, 包括: (1)风险评估体系中包含的内容有所欠缺, 例如风险评估规划制度不足以支撑食品安全的日常监管, 致使其过分被动, 未能提前进行足够的预防和准备工作。(2)目前风险评估相关的法律体系不够成熟和健全, 关于食品风险评估的法律法规相对比较分散, 目前未能形成统一。(3)风险评估的公开信息较少, 尤其对评估的过程和方法以及相关性的数据等, 大多只有评估结果^[9-12]。

本文分别从婴幼儿配方乳粉的原料环节、加工环节和包装环节出发, 结合国内外相关评估理论以及国内外的食品安全标准, 对婴幼儿配方乳粉中污染物的风险评估体系进行探讨, 研究并加强对婴幼儿配方乳粉的风险管控和营养学研究, 为行业整体管控水平及加强乳粉生产运输风险监测提供参考。

1 风险体系组成

婴幼儿乳粉中元素含量与婴幼儿健康生长发育息息相关, 因此, 建立合理的风险限定标准尤为重要。同时奶粉中各组分含量的变化主要受原材料、加工过程、包装运

输环节等影响^[13-14]。此外, 风险指标的检测和识别方法也是风险评价的关键, 是识别危害、描述风险特征的主要因素。由此可知, 婴幼儿乳粉的风险体系组成包括: (1)风险来源, 即风险成分变因的来源; (2)识别危害因子和风险特征的描述, 即对风险指标的检测方法的构建和评价; (3)评估摄入量, 即各个风险指标的限定标准^[15-16]。

2 乳粉风险成分分析

2.1 原料污染

奶源是整个乳粉供应链的起始点, 也是乳粉生产和销售环节中最重要的关键点之一, 所以对原料乳的安全管控至关重要, 国际上对原料乳的质量问题向来非常重视。食源性致病微生物是损害原料乳品质的主要因素, 原料乳营养丰富, 含有多种蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质, 极易滋生各类微生物, 从而引起食源性致病菌的污染, 严重影响后续乳粉的加工和产品货架期^[17-18]。许多研究^[19-20]都发现奶罐储存的鲜乳中含有病原性大肠杆菌、沙门氏菌、葡萄球菌、溶血性链球菌、肉毒杆菌、李斯特菌属、芽胞杆菌属等食源性致病微生物, 这些致病菌对婴幼儿危害严重, 可能引发脑膜炎、贫血, 危害消化系统。其中单增李斯特菌及沙门氏菌是原料乳中最常见的致病菌, 在奶罐生乳中的发生率分别为 2.8%~7.0%和 0~11%, 沙门氏菌在初乳中的检出率更是高达 15%。表 1 可以看出, 对乳粉中微生物的检测标准制定有了较大提升, 在限量值的要求方面, 中国相较于欧美等国更为宽泛, 仍采用最大或然数法(most probable number, MPN)概率技术, 且限量值为 90 MPN/100 g, 而其他国家则大多使用具体数值进行表示。智利甚至增加了大肠埃希氏菌作为检测指标, 对胃肠道致病菌的污染预防有着更加严苛的要求。大部分致病微生物通过寄生在牲畜的皮肤和胃肠道以及养殖场所环境污染奶源, 并在挤奶和屠宰过程中进入到牲畜肉和原料乳中, 从源头引发污染, 对后续的加工和运输构成潜在的二次污染风险。

表 1 部分国家或组织间婴幼儿乳粉中微生物限量标准比较^[21]

Table 1 Comparison of microbial limit standards in infant milk powder among countries or organizations^[21]

| 国家或组织 | 微生物 | 颁布数值/(CFU/g) | 取样计划 | 应用要求 | 规范状态 |
|-----------|--------|---------------------------------------|---------------|------|--------------|
| 澳大利亚 | 需氧微生物 | $m=5 \times 10^4$; $M=2 \times 10^5$ | $n=5$; $c=1$ | 未指定 | 标准 |
| | 大肠杆菌 | $m=0/0.01$; $M=0/0.01$ | $n=5$; $c=2$ | | |
| 中国 | 菌落总数 | $< 5 \times 10^4$ | $n=1$ | 终产品 | GB 5410—1999 |
| | 大肠菌群 | 90 MPN/100 g | | | |
| 国际食品法典委员会 | 需氧嗜热菌 | $m=5 \times 10^4$; $M=2 \times 10^5$ | $n=5$; $c=2$ | 终产品 | 指导性 |
| | 大肠菌群 | $m=10$; $M=100$ | $n=5$; $c=1$ | | |
| 智利 | 需氧嗜热菌 | $m=10^3$; $M=10^4$ | $n=1$; $c=2$ | 未指定 | 强制性 |
| | 大肠菌群 | $m < 3$; $M=20$ | $n=5$; $c=1$ | | |
| | 大肠埃希氏菌 | $m < 3$ | $n=5$; $c=0$ | | |

表 1(续)

| 国家或组织 | 微生物 | 颁布数值/(CFU/g) | 取样计划 | 应用要求 | 规范状态 |
|--------------|-----------------------|---|--------------------------------|------|------|
| 国际食品微生物规格委员会 | 需氧微生物(平板计数) 大肠菌群 | $m=3\times 10^4$; $M=3\times 10^5$ $m=10$; $M=100$ | $n=5$; $c=2$ $n=5$; $c=1$ | 生产点 | 指导性 |
| 新西兰 | 需氧微生物(35 °C) 粪大肠菌群 | $m=10^3$; $M=10^4$ $m=0$ | $n=5$; $c=2$ $n=5$; $c=0$ | 未指定 | 指导性 |
| 美国 | 菌落总数 大肠菌群 | $\leq 5\times 10^4$ ≤ 10 | $n=1$ | 终产品 | 标准 |

表 2 所示为常见的原料乳中所涉及到的微生物及其来源,可以看出大部分的病原微生物主要存在于奶畜的乳房、盛奶和储存容器以及接触到的污水中。而在一些欧美国家,因为生鲜牛乳比乳粉和巴氏杀菌乳价格便宜,约有 35%~60%工薪家庭会购买生鲜牛乳并给婴幼儿食用,因此食源性致病微生物导致的患病概率大大增加。

表 2 奶源中可能存在的微生物及污染来源^[22-25]Table 2 Microorganisms and pollution sources that may exist in milk sources^[22-25]

| 微生物 | 拉丁文名 | 主要污染来源 |
|-------|-------------------------|-----------------|
| 大肠菌群 | <i>Coliforms</i> | 污水、粪便、乳房及挤乳设备污染 |
| 沙门氏菌属 | <i>Salmonella</i> | 污水、粪便、乳房及挤乳设备污染 |
| 假单胞菌属 | <i>Pseudomonas</i> | 污水、挤乳储存设备、冷藏环境 |
| 乳杆菌属 | <i>Lactobacillus</i> | 挤乳设备、储奶罐、搅拌装置 |
| 大肠杆菌 | <i>Escherichia coli</i> | 污水、粪便、储奶罐、乳房污染 |
| 乳球菌属 | <i>Lactococcus</i> | 乳房及储存、盛装设备 |
| 芽孢杆菌属 | <i>Bacillus</i> | 饲料、粪便、冷藏和牧场环境 |
| 李斯特菌属 | <i>Listeria</i> | 挤乳及生产设备 |
| 葡萄球菌属 | <i>Staphylococcus</i> | 乳牛皮肤、乳腺 |
| 微球菌属 | <i>Micrococcus</i> | 乳房、挤乳及生产设备 |
| 明串珠菌属 | <i>Leuconostoc</i> | 乳房 |

此外,病原微生物直接灭活后菌体崩解会释放大量的细菌内毒素,内毒素存在于革兰氏阴性菌的细胞壁中,主要成分为脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)。研究表明,LPS 可以对包括巨噬细胞在内的多种细胞因子产生作用,从而激发机体的炎症反应^[26-28]。适当的细胞因子可以激活机体免疫,如果过量则会导致机体器官功能衰竭、炎症发热、休克等,严重可以导致死亡。

2.2 加工及元素污染

婴幼儿乳粉的加工过程其实是对原料乳通过添加各类营养成分,从而实现其“母乳化”,以满足婴幼儿在发育成长过程中的营养需求。婴幼儿乳粉的生产加工环节较为复杂,通常使用的加工工艺为:奶罐原料乳→初步净化→冷却储存→添加配料→乳液均质→二次冷却→杀菌浓缩→喷雾烘干→接粉储粉→成分检验→成品检验→出厂售卖^[29-30]。目前国内和国际上常见的婴幼儿乳粉的配方加工工艺主要分为湿法加工、干法加工以及干湿结合加工三类^[31-32]。其中干法加工工艺是机械化的将干燥后的原料进行混合,同时加入各类营养组分,此方法最为简单快速而且耗能低,同时因为全程加热较少,避免了对热敏性较差的营养组分的破坏。该方法较易在干料储存和运输过程中造成污染,并且因为干法工艺对加工环境和原料生产要求较高,并且成品可能存在组分不均一等问题,因此只适用于依靠进口原料进行生产的企业^[33]。乳粉加工过程尤其应当管控针对各类易超标的营养元素,结合对元素的推荐摄入量等进行分析,合理进行添加。

我国根据元素对个体的差异与健康关系,结合膳食营养素参考摄入量(dietary reference intakes, DRIs)和国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)制定出了涵盖婴幼儿配方乳粉中钙、镁、铁、锌、氯等 12 种元素的限量值及添加要求的标准,GB 23790—2010《粉状婴幼儿配方食品良好生产规范》、GB 10765—2010《婴儿配方食品》等。现行食品安全标准中国居民膳食营养素参考摄入量是针对中国人饮食习惯和日常给出的一组每日平均膳食营养素摄入量的参考值,分为平均需要量、推荐摄入量、适宜摄入量以及可耐受最高摄入量^[34]。各个国家制定的食品安全限量标准也为风险评估工作的实行提供了法律依据,表 3 是各国针对婴幼儿配方乳粉中各元素的限量值。由表 3 可知我国标准中的限量值基本和 CAC 与欧盟标准一致,而与澳大利亚标准协会相差较大。婴幼儿乳粉进出口所导致的暴露风险水平主要是由各国限量标准的差异和社会、经济条件所导致。因此,在进行风险指标分析时,也需要考虑国际不同的标准限定值,使暴露风险降低^[35-37]。

表 3 标准规定婴幼儿乳粉中各元素的限量值
Table 3 Limit value of elements of infant milk powder in various national standards

| 元素 | 最低值 | | | | | 最高值 | | | | |
|----------------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|---------|-------|-----|
| | GB | FDA | CAC | AUS | EU | GB | FDA | CAC | AUS | EU |
| 钾 ¹ | 60 | 80 | 60 | 84 | 60 | 180 | 200 | 180 | 210 | 160 |
| 钠 ¹ | 20 | 20 | 20 | 21 | 14 | 60 | 60 | 60 | 63 | 60 |
| 钙 ¹ | 50 | 50 | 50 | 50.4 | 50 | 140 | — | GUL:140 | — | 140 |
| 镁 ¹ | 5 | 6 | 5 | 5.04 | 5 | 15 | — | GUL:15 | 16.8 | 15 |
| 磷 ¹ | 25 | 30 | 25 | 25.2 | 25 | 100 | — | GUL:100 | 105 | 90 |
| 氯 ¹ | 50 | 55 | 50 | 50.4 | 50 | 160 | 150 | 160 | 147 | 160 |
| 铁 ² | 0.45 | 0.15 | 0.45 | 0.84 | 0.3 | 2.4 | 3.0 | — | 2.1 | 1.3 |
| 锌 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.504 | 0.5 | 1.0 | — | 1.5 | 1.806 | 1.5 |
| 铜 ² | 35 | 60 | 35 | 58.8 | 35 | 120 | — | GUL:120 | 180.6 | 100 |
| 碘 ² | 10 | 5 | 10 | 5.04 | 10 | 60 | 75 | GUL:60 | 42 | 50 |
| 锰 ² | 1 | 5 | 1 | 1.008 | 1 | 100 | — | 100 | 100.8 | 100 |
| 硒 ² | 1 | / | 1 | 1.05 | 1 | 9 | / | GUL:9 | 4.998 | 9 |

注: “—”表示未规定限量值; “/”表示指定其限量值; “¹”表示单位为 mg/100 kcal; “²”表示单位为 μg/100 kcal; GB 代表国家标准; FDA 代表美国食品药品监督管理局; CAC 代表国际食品法典委员会; AUS 代表澳大利亚标准协会; EU 代表欧盟。

2.2.1 常量与微量金属元素污染

婴幼儿配方乳粉中添加的常量金属元素包括钾、钠、镁、钙。其中易因为添加过量导致乳粉污染的是钾和钙。钾作为参与人体正常新陈代谢的主要阳离子之一, 有着维持细胞内正常渗透压正常运作, 参与细胞酶促反应以及维持神经和肌肉组织的正常兴奋和心脏功能正常的作用。而钾添加过量则会引发心律失常、肌肉组织无法正常活动, 严重时还会造成迟缓性瘫痪^[38-39]。钙元素则是人体重要的组成部分, 体重占比约为 1.5%~2%, 与凝血、维持激素水平稳定及体液酸碱平衡等内环境调节有着密切关系。钙过量摄入则会引发软组织及部分脏器的钙化^[40]。

微量元素又称痕量元素, 指的是人体中占比在 0.01% 以下的元素。其中, 铁在微量金属元素中含量最高, 分布最广, 几乎人体所有的组织中都含有铁。铁也是人体内氧交换和血液运输所必需的的成分, 铁元素的过量摄取则会引发铁中毒, 加重脏器负荷, 严重损坏肝脏和肾脏, 影响人体正常生理代谢^[41-42]。

2.2.2 重金属元素污染

重金属元素大多具有较强的神经毒性、肾脏毒性以及血液毒性。这些重金属元素一旦掺杂在幼儿日常食用的乳粉中, 不仅对新生儿和婴幼儿的智力发育和行为认知能力有着严重影响, 还会干扰幼儿体内对其他营养元素的吸收及利用。研究证实, 即便是极微量的重金属污染, 对幼儿身体也有严重损害。目前学术界通常将密度大于 5 g/cm³ 的金属元素定义为重金属^[43]。常见且对婴幼儿危害较大的

污染乳制品的重金属包括铅、镉、汞、砷。这几种重金属污染大多是由于工业化快速发展导致的。其中铅污染是近两年来被国内外学者所关注较多的问题, 急性铅中毒容易引发婴幼儿行为发育失常以及骨骼代谢、造血系统的紊乱, 对神经系统有着严重影响^[44]。而镉被国际癌症研究署评定为一类致癌物, 在人体和环境内具有较强的蓄积性, 镉如果在幼儿体内蓄积过量则会表现为软骨病及骨质疏松等慢性镉中毒的症状^[45]。环境中的汞污染对于生长和发育期的婴幼儿有着严重危害, 目前已经成为世界性的公共卫生问题。急性汞中毒会严重影响消化道和呼吸道并伴随着肾病和皮肤炎症, 更严重则会引发急性肾衰竭危及生命。而慢性汞中毒则会干扰患者的精神状况并造成肢体活动不受控, 从而导致水俣病^[46-47]。

2.3 包装运输环节污染

乳粉在包装环节中潜在的风险分别有乳粉罐和包装袋带来的微生物污染、塑化剂及油墨等的迁移^[48]。目前我国食品及相关产品涉及到涵盖微生物指标的国家标准分别有 GB 4806.8—2016《食品接触用纸及纸板材料及制品》、GB 14934—2016《消毒餐具》, 这两组标准分别规定了食品相关的内外包装中大肠菌群、沙门氏菌和霉菌的检测规范, 规定 3 种微生物的限量值均为不得检出。而外包装和所使用油墨中常见的塑化剂为邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯[di(2-ethylhexyl)phthalate, DOP]、邻苯二甲酸二丁酯(dibutyl phthalate, DBP)、乙酰柠檬酸三丁酯(*O*-acetyl citrate,

ATBC)与邻苯二甲酸二正辛酯(di-n-octylphthalate, DEHP)^[49-50],其中邻苯二甲酸酯类塑化剂已经明令禁止或限制添加在儿童用品和食品中,此类物质在高温下均可加速由包装迁移至食品中,进入人体后可造成内分泌紊乱,尤其对生殖健康有潜在威胁^[51]。

3 风险指标分析检测

婴幼儿乳粉中的风险指标分析检测包含风险指标来源、风险限量值、风险检测方法。各类常量、微量和重金属元素是婴幼儿乳粉风险指标中的重要依据,也可以为其安全风险管理提供依据和来源。因此,风险指标的检测方法尤为重要^[52-53]。乳粉的常规分析步骤主要有取样、前处理、分析检验、数据处理分析、结果报告等。GB 10765—2010《婴儿配方食品》及GB 10767—2010《较大婴儿和幼儿配方食品》分别对0~12月龄和6~12月龄的婴幼儿配方食品进行了规范化要求,分别从原料、感官、必要成分、可选择性成分、其他指标、污染物限量、真菌毒素限量、微生物限量等方面对各个指标进行了规定。其中GB 10765—2010规定了包含钙、镁、钾、钠、锌在内的10余种元素的检测标准方法,硒元素检测使用的GB 5009.93—2017在GB 5009.93—2010的基础上对部分处理方法进行了修改,其余的元素检测标准也均在GB 5009.21—2010的基础上被细化拆为单独的标准,规定使用火焰原子吸收分光光度法和电感耦合等离子体原子发射光谱法等为钾、钙、镁、钠、铁、锌、铜、锰的测定方法,而GB 5009.12.2017中保留石墨炉原子吸收光谱法为铅元素测定的第一法,增加了电感耦合等离子体质谱法为第二法。在硝酸盐和亚硝酸盐的测定中,GB 5009.33.2016在2010版本的基础上合并了第二法和第三法并依旧使用离子色谱法作为第一法。

风险指标检测过程中,对仪器、检测环境、检测方法 & 检验员的主观判定都对检测分析结果有重要影响,因此需要选择性能匹配的仪器、符合卫生标准的实验环境、合适便捷的检测方法。同时,对风险检测应当保持开放且与时俱进的态度,积极的对方法进行探索和总结,从而不断的优化。

4 结束语

目前,婴幼儿配方乳粉作为一种重要的辅食,随着各国对于其风险分析及污染监管越来越严格,所指定的规范和标准也相应的逐步完善。食品中涉及污染物的风险分析包含有风险来源、风险限量和标准、风险检测方法。本文以婴幼儿配方乳粉为研究对象,对可能影响其质量的较典型污染物进行风险评估体系的讨论。分别从乳粉的风险成分分析、风险指标的分析检测两个方向着手,针对易影响

风险指标评估的原材料污染、加工污染、包装运输污染三个方面进行论述。在原料乳和加工过程中,相较于各类常量和微量元素,原料乳中微生物污染的风险较大,涉及面也较广,而添加元素超标所造成的污染则会直接影响婴幼儿配方乳粉中营养成分指标是否合格,不论是取乳过程卫生条件不合格或者是储存不当导致的原料乳污染,都将对乳粉的后续加工产生严重的质量影响和经济损失,同时奶源环境、季节、饲料等因素也协同作用影响原料乳中的营养成分。在乳粉的包装环节,塑化剂或油墨等物质易通过迁移进而对乳粉造成污染,因此在风险控制及管理的制定中需要特别注意这一点。目前国标在针对婴幼儿配方乳粉中各类风险指标的分析 and 检测大都有与之匹配的方法并在持续修订,而大部分指标的检测分析都有着相对较高的技术和硬件门槛,如何根据不同地区条件制定与之匹配的风险检测标准或者提升落后地区的检测水平,都是风险测定迫切需要解决的问题,而且应当遵循和完善现有污染物风险指标的限量标准,同时积极的寻求合作扩大交流,结合本国和自身的社会、经济条件,充分地考量这些因素,积极地探索更为有效的污染物风险分析方法。

参考文献

- [1] VOYSEY PA, BROWN M. Microbiological risk assessment: A new approach to food safety control [J]. *Int J Food Microbiol*, 2000, 58(3): 173-179.
- [2] DAVIDSON VJ, RYKS J, FAZIL A. Fuzzy risk assessment tool for microbial hazards in food systems [J]. *Fuzzy Set Syst*, 2006, 157(9): 1201-1210.
- [3] 何猛. 发达国家食品安全监管体系研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 49-53, 63.
HE M. Research on food safety supervision system in developed countries [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2012, 33(12): 49-53, 63.
- [4] KIM KK, CORLISS AOB, CRANDALL PG, *et al.* Identifying baseline food safety training practices for retail delis using the Delphi expert consensus method [J]. *Food Control*, 2013, 32(1): 55-62.
- [5] 刘宇姗. 食品安全风险评估与预警方法研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
LIU YS. Research on food safety risk assessment and early warning methods [D]. Tianjin: Tianjin University of science and technology, 2017.
- [6] KAVCAR P, SOFUOGLU A, SOFUOGLU SC. A health risk assessment for exposure to trace metals via drinking water ingestion pathway [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2009, 212(2): 216-227.
- [7] 中华人民共和国食品安全法编写组. 中华人民共和国食品安全法[M]. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2015.
Food Safety Law of the People's Republic of China, Compilation Group. Food safety law of the people's republic of China [M]. Beijing: China Quality Inspection Press China Standard Press, 2015.
- [8] 宋亮. 《国产婴幼儿配方乳粉提升行动方案》解读[J]. *中国乳业*, 2019, (7): 5-6.
SONG L. Interpretation of the action plan to improve domestic infant formula milk powder [J]. *Chin Dairy Ind*, 2019, (7): 5-6.

- [9] 安珺. 基于层次分析法的乳品质量安全预警系统研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
AN J. Research on dairy quality and safety early warning system based on analytic hierarchy process [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012.
- [10] 戚建刚. 我国食品安全风险规制模式之转型[J]. 法学研究, 2011, 33(1): 33-49.
QI JG. The transformation of my country's food safety risk regulation model [J]. Legal Stud, 2011, 33(1): 33-49.
- [11] 高秀芬, 杨大进. 国内外食品安全风险预警比较研究[J]. 中国卫生工程学, 2014, 23(3): 254-256.
GAO XF, YANG DJ. Comparative study on food safety risk early warning at home and abroad [J]. Chin Health Eng, 2014, 23(3): 254-256.
- [12] 彭飞荣. 食品安全风险评估中专家治理模式的重构[J]. 甘肃政法学院学报, 2009, (6): 6-10.
PENG FR. Reconstruction of expert governance model in food safety risk assessment [J]. J Gansu Univ Polit Sci Law, 2009, (6): 6-10.
- [13] 陶宏. 风险分析在食品安全国家标准制定中的应用研究[D]. 北京: 清华大学, 2012.
TAO H. Application research of risk analysis in the formulation of national food safety standards [D]. Beijing: Tsinghua University, 2012.
- [14] 王加启, 郑楠, 许晓敏, 等. 牛奶质量安全主要风险因子分析 I. 综述[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(2): 1-5.
WANG JQ, ZHENG N, XU XM, *et al.* Analysis of main risk factors for milk quality and safety I. General overview [J]. Chin Anim Husbandry Vet Med, 2012, 39(2): 1-5.
- [15] FANG YL, ZHANG A, WANG H, *et al.* Health risk assessment of trace elements in Chinese raisins produced in Xinjiang province [J]. Food Control, 2010, 21(5): 732-739.
- [16] GUNAY M, ZAGURY GJ, DOGAN N, *et al.* Exposure assessment and risk characterization from trace elements following soil ingestion by children exposed to playgrounds, parks and picnic areas [J]. J Hazard Mater, 2010, 182(1-3): 656-664.
- [17] ISAAC P, BOHL LP, BRESER ML, *et al.* Commensal coagulase-negative *Staphylococcus* from the udder of healthy cows inhibits biofilm formation of mastitis-related pathogens [J]. Vet Microbiol, 2017, 207: 259-266.
- [18] 陈历俊. 乳品科学与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
CHEN LJ. Dairy science and technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [19] 刘潇忆, 张彧, 陈历俊, 等. 原料乳中微生物检测技术的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2013, (2): 169-174.
LIU XY, ZHANG Y, CHEN LJ, *et al.* Research progress on microbial detection technology in raw milk [J]. Chin Food Addit, 2013, (2): 169-174.
- [20] SAEED A, MAHFUZUR RS, ASHFAQUE H. Microbiological food safety: A dilemma of developing societies [J]. Crit Rev Microbiol, 2014, 40(4): 348-359.
- [21] 吕志平. 国内外技术法规和标准中食品微生物限量[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
LV ZP. Limits of food microorganisms in technical regulations and standards at home and abroad [M]. Beijing: China Standards Press, 2002.
- [22] D'AMICO DJ, GROVES E, DONNELLY CW. Low incidence of foodborne pathogens of concern in raw milk utilized for farmstead cheese production [J]. J Food Protect, 2008, 71(8): 1580.
- [23] GUO Z, WANG JC, YAN LY, *et al.* *In vitro* comparison of probiotic properties of *Lactobacillus casei* Zhang, a potential new probiotic, with selected probiotic strains [J]. Acad Press, 2009, 42(10): DOI: 10.1016/j.lwt.2009.05.025.
- [24] ZHANG J, WANG L, GUO Z, *et al.* 454 pyrosequencing reveals changes in the faecal microbiota of adults consuming *Lactobacillus casei* Zhang [J]. Fems Microbiol Ecol, 2009, 88(3): 612-622.
- [25] BALDASSARRE ME, LAFORGIA N, FANELLI M, *et al.* *Lactobacillus* GG improves recovery in infants with blood in the stools and presumptive allergic colitis compared with extensively hydrolyzed formula alone [J]. J Pediatr, 2010, 156(3): 397-401.
- [26] MARTICH GD, BOUJOUKOS AJ, SUFFREDINI AF. Response of man to endotoxin [J]. Immunobiology, 1993, 187(3): 403.
- [27] ARMANDO, GUERRA, RUIZ, *et al.* Lipopolysaccharide-binding protein plasma levels and liver TNF-alpha gene expression in obese patients: evidence for the potential role of endotoxin in the pathogenesis of non-alcoholic steatohepatitis [J]. Obes Surg, 2007, 17(10): 1374.
- [28] JEAN MS, JOUT P, HARNOIS F, *et al.* High prevalence of small intestinal bacterial overgrowth in patients with morbid obesity: A contributor to severe hepatic steatosis [J]. Obes Surg, 2008, 18(4): 371-377.
- [29] 郑艺. 婴儿配方奶粉中污染微生物的检测、评价及溯源研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
ZHENG Y. Detection, evaluation and traceability of contaminated microorganisms in infant formula milk powder [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.
- [30] 马景友, 刘昊. 婴儿配方奶粉生产中的工艺控制[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(10): 47-50.
MA JY, LIU H. Process control in the production of infant formula milk powder [J]. Chin Dairy Ind, 2005, 33(10): 47-50.
- [31] 刘保军, 刘保惠, 刘洪涛. 干法生产婴幼儿配方乳粉工艺与车间设计[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(3): 51-53.
LIU BJ, LIU BH, LIU HT. Dry-method production process and workshop design of infant formula milk powder [J]. Chin Dairy Ind, 2005, 33(3): 51-53.
- [32] 王利, 马景友, 杨晓波. 我国中高端婴幼儿配方奶粉加工技术的现状和发展趋势[J]. 中国乳业, 2008, (8): 34-36.
WANG L, MA JY, YANG XB. The status quo and development trend of my country's high-end infant formula milk powder processing technology [J]. Chin Dairy Ind, 2008, (8): 34-36.
- [33] 李晓东, 蒋琛. 我国婴幼儿配方奶粉生产技术的现状及展望[J]. 乳业科学与技术, 2013, (2): 41-45.
LI XD, JIANG C. The current situation and prospects of the production technology of infant formula milk powder in my country [J]. Dair Sci Technol, 2013, (2): 41-45.
- [34] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量速查手册: 2013 版[M]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
Chinese Nutrition Society. Quick reference manual of dietary nutrient intakes for Chinese residents: 2013 Edition [M]. Beijing: China Standard Press, 2014.
- [35] 师朝霞. 婴幼儿配方食品营养强化法规标准的研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2010.

- SHI ZX. Research on regulations and standards for nutritional fortification of infant formula food [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2010.
- [36] 刘鲁林, 张香馥, 付敏, 等. 中国与欧盟婴幼儿食品标准安全指标的差异分析[J]. 标准科学, 2014, (10): 87-90.
LIU LL, ZHANG XF, FU M, *et al.* Difference analysis of safety indicators of infant food standards between China and EU [J]. *Stand Sci*, 2014, (10): 87-90.
- [37] 张丽, 张文秋. 我国与欧盟婴幼儿配方食品标准存在的差异分析[J]. 标准科学, 2013, (8): 87-89.
ZHANG L, ZHANG WQ. Analysis of the differences between my country and EU infant formula food standards [J]. *Stand Sci*, 2013, (8): 87-89.
- [38] 秦占林. 钠元素与人体健康[J]. 新课程(教师), 2010, (1): 63.
QIN ZL. Sodium and human health [J]. *New Course (Teacher)*, 2010, (1): 63.
- [39] 陈凤霞. 浅谈钾在临床治疗中的应用[J]. 航空航天医学杂志, 2009, 19(8): 81.
CHEN FX. Discussion on the application of potassium in clinical treatment [J]. *J Aerosp Med*, 2009, 19(8): 81.
- [40] 张天博, 宋晓青, 杨凯, 等. 婴儿配方乳粉中营养成分均匀性分析[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(3): 19-20.
ZHANG TB, SONG XQ, YANG K, *et al.* Analysis of the uniformity of nutritional components in infant formula milk powder [J]. *Chin Dairy Ind*, 2018, 46(3): 19-20.
- [41] 马彦平, 石磊, 何源. 微量元素铁、锰、硼、锌、铜、钼营养与人体健康[J]. 肥料与健康, 2020, 47(5): 12-17.
MA YP, SHI L, HE Y. Trace elements iron, manganese, boron, zinc, copper, molybdenum nutrition and human health [J]. *Fertil Health*, 2020, 47(5): 12-17.
- [42] 陆笑寒, 刘志颖. 铁系元素与人体健康的关系[J]. 微量元素与健康研究, 2013, 30(5): 75-76.
LU XH, LIU ZY. The relationship between iron elements and human health [J]. *Res Trace Elem Health*, 2013, 30(5): 75-76.
- [43] 李梦莹, 王成尘, 毕珏, 等. 食品中重金属的人体健康风险评估方法研究进展[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2021, 50(1): 1-9.
LI MY, WANG CC, BI J, *et al.* Research progress on human health risk assessment methods of heavy metals in food [J]. *J Fujian Agric Fore Univ (Nat Sci Ed)*, 2021, 50(1): 1-9.
- [44] 付晓萍. 重金属污染物对人体健康的影响[J]. 辽宁城乡环境科技, 2004, (6): 8-9.
FU XP. The impact of heavy metal pollutants on human health [J]. *Liaoning Urban Rural Environ Sci Technol*, 2004, (6): 8-9.
- [45] 安红敏, 郑伟, 高扬. 镉的健康危害及干预治疗研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(9): 739-742.
AN HM, ZHENG W, GAO Y. The health hazards of cadmium and the research progress of intervention therapy [J]. *J Environ Health*, 2007, 24(9): 739-742.
- [46] 王瑛, 林钰清, 李爱军, 等. 重金属危害机制及益生菌清除重金属机制研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(3): 281-292.
WANG Y, LIN YQ, LI AJ, *et al.* Research progress on the harmful mechanism of heavy metals and the mechanism of probiotics to remove heavy metals [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(3): 281-292.
- [47] JARUP L. Hazards of heavy metal contamination [J]. *British Medical Bulletin*, 2003, DOI: 10.1093/bmb/dlg032.
- [48] 陈满英, 邹旭凤, 刘杏宜, 等. 食品及食品包装材料中塑化剂的检测研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(4): 1305-1311.
CHEN MY, ZOU XF, LIU XY, *et al.* Research progress in the detection of plasticizers in food and food packaging materials [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(4): 1305-1311.
- [49] BENTAYEB, ACKERMAN, LORD, *et al.* Non-visible print set-off of photoinitiators in food packaging: detection by ambient ionisation mass spectrometry [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2013, 30(4): 750-759.
- [50] DUPAKOVA Z, DOBIAS J, VOTAVOVA L, *et al.* Occurrence of extractable ink residuals in packaging materials used in the czech republic [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2010, 27(1): 97-106.
- [51] 高松. 纸包装油墨中增塑剂的迁移研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
GAO S. Research on the migration of plasticizers in paper packaging inks [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [52] 邵懿, 吴永宁. 我国食品污染物标准建设成效及发展趋势[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(5): 474-477.
SHAO Y, WU YN. The effectiveness and development trend of my country's food contaminant standard construction [J]. *Chin J Food Hyg*, 2020, 32(5): 474-477.
- [53] 吴晓丽, 赵毕, 齐小娟, 等. 食品中化学污染物风险评估方法研究进展[J]. 预防医学, 2020, 32(7): 682-685.
WU XL, ZHAO B, QI XJ, *et al.* Research progress on risk assessment methods of chemical contaminants in food [J]. *Prev Med*, 2020, 32(7): 682-685.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



史贇学, 硕士, 主要研究方向为食品安全及微生物检测。

E-mail: 872551416@qq.com



吴宇, 高级工程师, 主要研究方向为食品化工检测。

E-mail: 9934448@qq.com