

全脂羊乳粉中塑化剂的暴露量调查及安全评估

曹双弟¹, 葛武鹏^{1*}, 李志成¹, 陈 瑛², 王 琨³, 李艳莉³, 杨 静³

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 杨凌 712100; 2. 陕西省质量技术监督局信息中心, 西安 710006;
3. 陕西杨凌质量技术监督检测检验所, 杨凌 712100)

摘要: **目的** 调查国内有代表性的羊乳粉加工企业生产的乳粉中塑化剂的种类和含量, 并评估羊乳粉中塑化剂的暴露量情况, 为安全性评价提供参考。 **方法** 通过 Monte Carlo 模拟对不同年龄段的婴幼儿通过乳基粉对塑化剂的膳食暴露情况进行非参数概率评估, 按照美国环境保护署(EPA)提出的经口摄入参考剂量(reference dose, RfD), 对塑化剂膳食暴露引发的健康风险进行评价。 **结果** I、II、III段龄3组婴幼儿对邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯(DEHP)摄入量的平均值(90% Confidence Interval)的致癌风险分别为 1.56×10^{-5} 、 2.16×10^{-5} 、 $1.33 \times 10^{-5} a^{-1}$, 均在 EPA 推荐的最大可接受值 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$ 范围之内。以高百分位(P99)计算来看, 3组婴幼儿的邻苯二甲酸二异丁酯(DIBP)、DEHP、邻苯二甲酸二环己酯(DCHP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)的健康风险值均小于 1, 在风险控制标准之下。 **结论** 以羊乳粉作为生产婴幼儿配方乳粉的基料是安全的。

关键词: 全脂羊乳粉; 塑化剂; 污染状况; 暴露量; Monte Carlo 模拟

Safety assessment and investigation on exposure of phthalate esters in whole goat milk powder

CAO Shuang-Di¹, GE Wu-Peng^{1*}, LI Zhi-Cheng¹, CHEN Ying², WANG Kun³,
LI Yan-Li³, YANG Jing³

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;
2. Information Center of Shaanxi Bureau of Quality and Supervision, Xi'an 710006, China;
3. Yangling Quality and Technical Inspection and Testing Institute, Yangling 712100, China)

ABSTRACT: Objective The concentration of phthalate esters in the base powder from different representative enterprises in China were analyzed, to evaluate the safety of phthalate esters exposure, and to provide the reference for prevention and industry supervision. **Methods** Dietary intake of phthalate esters from goat milk powder in different ages of infants was simulated by Monte Carlo simulation, and health risk associated with phthalate esters intake was evaluated by applying a reference dose (reference dosed, RfD) developed by Environmental Protection Agency of USA. **Results** Simulated DEHP intake (90% confidence interval) in three groups of infants, the carcinogenic risk values of 0~6 month, 6~12 month, 1~3 year-old was 1.56×10^{-5} , 2.16×10^{-5} , $1.33 \times 10^{-5} a^{-1}$, respectively. Risk values caused by DEHP are all below the standard recommended ($1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$) by US Environmental Protection Agency. The risk values of three groups of infants caused by DEHP, DCHP, DIBP, DBP are all lower than 1 at the 99th percentile, and they are under the risk control stan-

基金项目: 国家星火计划项目(2013GA850003)

Fund: Supported by National Spark Plan Project (2013GA850003)

*通讯作者: 葛武鹏, 副教授, 博士, 主要研究方向为乳品科学及生物技术。E-mail: josephge@sina.com

*Corresponding author: GE Wu-Peng, Associate Professor, Northwest A&F University, 28 Xinong Road, Yangling 712100, China. E-mail: josephge@sina.com

ard. **Conclusion** It is safe to use goat milk powder to produce infant formula powder.

KEY WORDS: whole goat milk powder; phthalate esters; contamination; exposure evaluation; Monte Carlo simulation

1 引言

塑化剂(plasticizer), 又称增塑剂, 即邻苯二甲酸酯类化合物(phthalate esters, PAEs), 为无色透明的油状黏稠液体, 难溶于水, 不易挥发, 凝固点低, 易溶于醇类、脂类、醚类等有机溶剂, 被广泛用作塑料聚合物添加剂, 尤其是在聚氯乙烯、橡胶、纤维素和苯乙烯生产过程中, 来提高后者的柔软度和弹性。它们存在许多消费产品中, 包括儿童玩具、家具、汽车、服装、化妆品、个人护理产品、假牙、营养补充剂、血液袋、有机溶剂、清洁剂、包装纸张、涂料、杀虫剂、装饰和建筑材料之中^[1]。食品中 PAEs 污染除从环境吸收外, 还包括从包装材料或加工设备中迁移混入^[2]。近些年对体内、体外和动物模型实验研究表明^[3], 塑化剂具有明显的抗雄激素生物效应, 可通过饮水、进食、皮肤接触和呼吸等途径进入人体, 会破坏人体的生殖系统, 在体内长期积累具有潜在的致癌、致畸性及生殖发育毒性的可能^[4-6]。如今, 由于塑化剂大量而广泛的应用, 这类化合物已成为全球性的主要环境有机污染物之一。2011 年台湾发生“起云剂”事件后, 接着国内数个品牌方便面的酱料中检出邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯(DEHP)含量超标; 2012 年国内某高端白酒被检出 DBP 超标 2.6 倍, 这些一系列的塑化剂事件的爆发使其逐渐进入人们的视线。由于其存在对人类健康和环境的潜在的巨大危害, 其中的几种邻苯二甲酸酯类化合物成为许多国家和国际组织优先监测的对象。为打击在食品及食品添加剂生产中违法添加非食用物质的行为, 保障消费者身体健康, 我国卫生部发布《食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂名单(第六批)》, 将邻苯二甲酸酯类物质列入其中, 这意味着塑化剂将作为卫生监管部门今后的监督管理重点之一。

目前国内有关食品中 PAEs 的研究比较少, 主要体现在酒类、油类及水体等方面, 而且主要集中在检测方法研究方面, 而有关羊乳粉基粉(以下简称“基粉”)中塑化剂的暴露量研究至今鲜见报道。本研究旨

在调查国内有代表性的羊乳粉加工企业生产的基粉中塑化剂的质量浓度, 并评估塑化剂的暴露量情况, 为防控塑化剂污染和行业监管提供参考。

2 材料与amp;方法

2.1 材料方法及评估依据

选取国内有代表性的羊乳粉加工企业(A、B、C 等厂, 奶源不同)全脂羊奶基粉样品, 采集的过程中严禁使用塑料器具及设备, 密封包装, 4 ℃ 储存。前处理过程参考 GB 21911-2008-T 食品中邻苯二甲酸酯的测定、佟晓芳^[7]及 Fromme 等^[8]所建立的方法, 并做适当改进, 采用 GC-MS 方法进行塑化剂质量浓度检测。所建立的方法回收率为 78% ~ 110.2%, 相对标准偏差 < 5%, 最低检测限(limit of detection, LOD)为 0.01 mg/kg ~ 0.05 mg/kg。

暴露评估所需的婴幼儿体重数据来自于 2012 年中国卫生统计年鉴、《中国居民营养与健康状况调查报告之三—2002 居民体质与营养状况》^[9]和《中国居民营养与健康状况调查报告之一—2002 综合报告》^[10], 乳粉消费量核算以羊乳粉为基料的婴幼儿配方乳粉食用量推荐表为依据。为区分不同年龄段的婴幼儿特征, 本研究遵循国内婴幼儿乳粉的分段要求, 分别为 I、II、III 段, 即 I 段 0 ~ 6 个月龄、II 段 6 ~ 12 个月龄和 III 段 12 ~ 36 个月龄, 3 组消费人群进行暴露量评估, 具体信息见表 1。

表 1 不同年龄段婴幼儿乳粉消费量与体质量信息
Table 1 Consumption of milk powder and body weight in different ages of infants

消费人群	体质量/kg	乳粉消费量/(g/d)
0 ~ 6 个月(I 段)	7.22±1.27	114.75±5.25
6 ~ 12 个月(II 段)	10.20±0.47	135.00±1.50
12 ~ 36 个月(III 段)	13.50±2.40	110.25±2.25

注: 体质量信息主要来自 2012 年中国卫生统计年鉴, 缺少的部分数据来自 2002 中国居民营养与健康状况调查报告; 乳粉消费量来自婴幼儿乳粉食用量推荐表。

2.2 质量控制

由于 PAEs 的广泛存在, 为了避免污染及干扰, 试验过程中避免使用塑料器皿, 且所有玻璃器皿需按以下步骤清洗:

水洗→清洁剂洗→水洗→超纯水→丙酮浸泡(1 h)→己烷冲洗→烘干(120 °C 至少 4 h)

2.3 暴露评估模型的构建

获得乳粉的消费量数据和乳粉中塑化剂浓度数据时, 可运用点评估、单一分布和概率分析方法整合这些数据来建立相应的模型并提供暴露评估。FAO/WHO 以及我国管理部门多采用点评估方法进行化学物暴露评估, 其原因在于该方法简便易行, 可推广到大范围应用, 且能保护绝大部分人群。但是该方法基于食品消费量、食品中某化学物浓度以及体质量的点值计算得到, 忽视了食品消费量和食品中化学物浓度的变异性, 且无法对参数估计的不确定性做出说明, 无法全面反映化学物的暴露情况^[11], 且容易造成暴露量的高估, 使评估的结果过于保守^[12]。“单一分布”表达的是食品摄入量的分布, 但对于化学物残留量或浓度却使用一个固定参数值的方法, 这种结果比点评估更具有信息价值, 因为它考虑了食品消费模式中所存在的变量, 但是它仍然保留了很多保守的假设, 只考虑作为暴露评估的上限。概率评估是将个体作为研究对象, 通过对可获得的全部数据进行模拟抽样, 得到人群的暴露量分布, 得到的信息量远远大于点评估, 且结果更加符合实际。但是由于个体消费差异非常大, 模型中塑化剂浓度并非严格通过测量得出, 加之消费过程中多种因素影响, 使得模型存在很大的变异性 and 不确定性。本研究采用 Monte Carlo 方法分析数据的变异性, 应用非参数概率评估方法构建概率评估模型^[13]。具体方法如下: 1) 对于每一组人群, 按照公式 $I=CT/m$ 进行暴露评估。

式中, I 代表该组人群通过乳粉对塑化剂的摄入量/ $(\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d}))$;

T 代表该组人群对乳粉的摄入量/ (g/d) ;

C 代表乳基粉中塑化剂的含量/ (mg/kg) ;

m 代表该组人群的体质量/ kg 。

2) 将检测得到的乳粉样本中塑化剂污染水平定义为离散均匀分布(discrete uniform distribution), 使变量分布中的每一个数据都有相同概率被抽到, 不同消费人群的乳粉摄入量 T 和体质量 m 信息用平均

值给出。进行 10000 次 Monte Carlo 非参数模拟, 抽样方法设定为拉丁超立方抽样(latin hypercube sampling), 通过模拟得到该组人群通过乳粉对塑化剂暴露水平的概率分布, 计算均值、百分位数等统计量的 90% CI(P 5 ~ P 95), 来描述塑化剂暴露评估结果的变异性。

以上模拟抽样过程在美国 Palisade 公司的 @risk6.1 Industrial Edition 专业风险分析软件环境下运行。其中, 低于检测限的塑化剂污染数据按照 1/2 倍检出限(0.01 mg/kg ~ 0.05 mg/kg)替换处理^[14, 15]。

2.4 健康风险判定方法

本研究基于模拟得到的塑化剂摄入暴露量, 根据化学污染物对健康影响效应与暴露剂量的关系, 致癌性、生殖发育等毒害作用产生的健康风险可以用下式进行评价^[16]。致癌斜率和参考剂量见表 2。

$$R = SF \times E \text{ (低剂量)} \quad (1)$$

$$R = 1 - \exp(-SF \times E) \text{ (高剂量)} \quad (2)$$

式中: R 为致癌风险; SF 为致癌斜率系数/ $(\text{mg}/(\text{d}\cdot\text{kg}))^{-1}$; E 为暴露剂量/ $(\text{mg}/(\text{d}\cdot\text{kg}))$ 。

对生殖发育等毒害作用可表达为: $HI = E/RfD$ (3)

式中: HI 为健康风险; RfD 为参考剂量/ $(\text{mg}/(\text{d}\cdot\text{kg}))$; E 为暴露剂量/ $(\text{mg}/(\text{d}\cdot\text{kg}))$ 。

表 2 致癌斜率和参考剂量
Table 2 Slope factor and reference doses

化合物	CAS 号	致癌性	SF(mg/(d·kg)) ⁻¹	RfD(mg/kg·d)
DEHP	117-81-7	2B	0.014	0.02
DBP	84-74-2	4	-	0.1
DIBP	84-69-5	-	-	-
DCHP	84-61-7	-	-	-

注: SF 值与 RfD 值源自 US EPA 推荐值, - 为未明示或未检索到相关数据。

3 结果与分析

3.1 样品中塑化剂的污染状况分析

2013 年 4 月以来, 采用所建立方法对从国内有代表性的羊乳粉加工企业采集的 150 个样品进行了 PAEs 物质质量浓度检测, 结果表明 4 种邻苯二甲酸酯类化合物被检出, 分别为邻苯二甲酸二异丁酯(DIBP)、DBP、邻苯二甲酸二环己酯(DCHP)、DEHP。与美国、欧盟等西方发达国家相比, 我国在塑化剂标

准方面还存在一定差距,而且我国只对 3 种邻苯二甲酸酯类化合物做出了限量标准。以 GB9685-2008《食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准》中规定的 DEHP、DINP、DBP 在食品、食品添加剂中的最大残留量分别是 1.5 mg/kg、9.0 mg/kg、0.3 mg/kg 为超标的判断依据,具体结果见表 3。

由表 3 分析可知,除 DBP 之外,DIBP、DCHP、DEHP 的含量均很低,平均值分别为 0.1093、0.2228、0.2333 mg/kg,总共 150 个样本中,20 个样本的 DEHP 超过国家限量标准,76 个样本的 DBP 超过国家限量标准 0.3 mg/kg。

3.2 暴露量评估结果分析

通过收集调查等方法得到 0~6 个月、6~12 个月和 12~36 个月 3 组婴幼儿消费群体对羊乳粉的摄入量 and 体质量数据,结合检测得到的羊乳粉基粉样本中 DIBP、DBP、DCHP 及 DEHP 等 4 种塑化剂的污染数据,运用@risk 软件模拟计算不同消费人群通过羊乳粉基粉对塑化剂的暴露量,暴露评估结果见表 4、5、6、7。(注:检测得到的是基粉中塑化剂的种类和含量,本研究中的暴露量评估计算依据是根据实际配方乳粉中添加 30%、50%、55%的基粉计算而得)。

表 3 150 份样品 4 种邻苯二甲酸酯类化合物的检测结果
Table 3 Summary of concentrations for 4 phthalate esters in 150 samples

项目	样品数	范围/	平均数/	中位数/	众数/	检出率	超标率	限量/
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			mg/kg
DIBP	150	< LOD ~ 0.6311	0.1093	< LOD	< LOD	42.67%	-	-
DBP		< LOD ~ 10.5179	3.0786	0.3297	< LOD	76.67%	50.67%	0.3
DCHP		< LOD ~ 1.5973	0.2228	0.0799	< LOD	67.33%	-	-
DEHP		< LOD ~ 1.7969	0.2333	0.0698	< LOD	60%	1.33%	1.5

表 4 不同年龄段婴幼儿通过基粉对 DIBP 的暴露评估结果
Table 4 Simulated DIBP intake from goat milk powder in different ages of infants

消费人群	平均值	DIBP 摄入量百分位数(90%置信区间)/(μg/(kg·d))				
		P50	P75	P90	P95	P99
0~6 个月	0.4223±0.8531	0.1192	0.5710	0.9536	1.5197	2.5490
6~12 个月	0.5861±1.2065	0.1655	0.7926	1.3236	2.1092	3.5378
12~36 个月	0.3616±0.7837	0.1021	0.4890	0.8167	1.3015	2.1830

表 5 不同年龄段婴幼儿通过基粉对 DBP 的暴露评估结果
Table 5 Simulated DBP intake from goat milk powder in different ages of infants

消费人群	平均值	DBP 摄入量百分位数(90%置信区间)/(μg/(kg·d))				
		P50	P75	P90	P95	P99
0~6 个月	8.3340±2.1962	1.5270	11.9430	30.1620	41.3760	50.0970
6~12 个月	11.9850±3.0612	2.1200	16.5750	41.8600	57.4300	69.5300
12~36 个月	7.3935±1.8382	1.3065	10.2285	25.8055	35.4355	42.9025

表 6 不同年龄段婴幼儿通过基粉对 DCHP 的暴露评估结果
Table 6 Simulated DCHP intake from goat milk powder in different ages of infants

消费人群	平均值	DCHP 摄入量百分位数(90%置信区间)/($\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$)				
		P50	P75	P90	P95	P99
0~6 个月	1.0620±0.2036	0.3807	2.0853	2.6700	3.0453	7.0425
6~12 个月	1.4740±0.3159	0.5285	2.8945	3.7060	4.2270	9.7730
12~36 个月	0.9095±0.2153	0.3260	1.7860	2.2865	2.6080	6.0315

表 7 不同年龄段婴幼儿通过基粉对 DEHP 的暴露评估结果
Table 7 Simulated DEHP intake from goat milk powder in different ages of infants

消费人群	平均值	DEHP 摄入量百分位数(90%置信区间)/($\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$)				
		P50	P75	P90	P95	P99
0~6 个月	1.1124±0.4026	0.2856	2.0937	3.0039	3.3375	7.8039
6~12 个月	1.5435±0.3375	0.3965	2.9060	4.1690	4.6325	10.8315
12~36 个月	0.9525±0.2983	0.2445	1.7930	2.5725	2.8585	6.6835

由表 4~7 中数据相比较可知, 0~6 个月、6~12 个月和 12~36 个月 3 组婴幼儿通过乳基粉对 DIBP、DCHP 及 DEHP 的暴露量不大, 而 DBP 的暴露量显著大于 DIBP、DCHP 及 DEHP, 平均值(90%CI)分别为 8.3340、11.9850、7.3935 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, 其高百分位(P99)分别为 50.0970、69.5300、42.9025 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。比较不同月份婴幼儿的塑化剂暴露量可知, 6~12 个月的婴儿对 DIBP、DBP、DCHP、DEHP 的暴露量均高于 0~6 个月和 12~36 个月的婴幼儿, 分析可能是由于 6 个月以内的婴儿母乳是其最主要的营养来源, 而乳粉只是辅助食品, 摄入量较少, 暴露量低一些; 6~12 个月的婴儿可能由于母乳不足或者处于断奶期, 乳粉是其主要的营养来源, 摄入量多, 对塑化剂的暴露量相对较多。1 岁~3 岁幼儿随着年龄的增加, 可以食用一些流食(如米粥)、蒸蛋、肉沫等主食, 然而乳粉却成为婴幼儿的辅食, 摄入量少, 对塑化剂的暴露量相对较少。

3.3 健康风险评估

欧洲食品安全机构 EFSA 规定, 人体内 DEHP 浓度达到 0.05 mg/kg 以上就认为是不安全的。美国环境保护署(EPA)通过对 DCHP、DBP 毒理学研究, 提出摄入参考剂量(reference dose, RfD)分别为 20 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ 和 100 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ ^[17, 18]。欧洲化学品管

理局(ECB)认为 0~3 个月新生儿的 DCHP 的 TDI 为 20 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$, 3~12 月婴幼儿的 TDI 为 25 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ ^[19]。有关 DIBP 的研究并不广泛, 但是 Benson 通过试验给出的参考剂量为 0.8 mg/(kg bw·d)^[20]。欧盟食品科学委员会(SCF)认为人体对于 DEHP 的每日允许摄入量(ADI)为 50 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ ^[21]。国内有关机构给出 DBP 的 RfD 为 100 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$, 由此可见各国权威机构提出的 DBP、DEHP 等物质的参考摄入量水平比较接近。本研究参照陆蓓蓓选取 RfD 的方法^[22], 以美国 EPA 推荐的 RfD 为 100 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ 作为评判标准。由表 2 知, DEHP 的致癌斜率系数为 0.014, 因此 0~6 个月、6~12 个月和 12~36 个月 3 组婴幼儿在暴露量平均值下 DEHP 的致癌风险 R 值分别为 $1.56\times 10^{-5}\text{a}^{-1}$ 、 $2.16\times 10^{-5}\text{a}^{-1}$ 、 $1.33\times 10^{-5}\text{a}^{-1}$, 在美国 EPA 推荐的最大可接受值 $1.0\times 10^{-4}\text{a}^{-1}$ 范围之内。其高百分位(P99)的 R 值 $1.09\times 10^{-4}\text{a}^{-1}$ 、 $1.52\times 10^{-4}\text{a}^{-1}$ 、 $0.94\times 10^{-4}\text{a}^{-1}$ 。以高百分位(P99)计算来看, 3 组婴幼儿的 DIBP、DEHP、DCHP 健康风险值 HI 均小于 0.11, DBP 的健康风险值 HI 小于 0.70, 均在风险控制标准(一般为 1)之下。

4 讨论

一般情况下, 在暴露评估的过程中, 风险评估

关注的是个体每天每公斤体重的食品消费量,这在通常的膳食暴露评估中一般选择成年人(以 60~65 kg 的平均体重)作为目标人群进行评估,很少有人去关注婴幼儿群体,而本文中以 I、II、III 段龄 3 组婴幼儿作为目标人群,考虑了每一年龄段婴幼儿体重在性别方面的差异,而且选择食用量推荐表的量作为目标人群的消费量更为准确,为婴幼儿通过羊乳粉对塑化剂的暴露评估提供了重要的参考数据。但在实际过程中,每一群体的体重及其所对应的消费量都会给研究带来误差和不确定因素。而样本的测量值和真实值之间的误差也会对暴露评估数据产生影响。同时本文选用的蒙特卡罗模拟模拟方法,受到方法本身和样本量的限制,对评估结果仍会造成一定不确定性。

本研究结果表明以被测羊乳粉作为生产婴幼儿配方粉的基料是安全的,但是考虑到人体可能暴露于其他食品、水、接触物、空气等环境中的塑化剂之下,累积暴露可能存在潜在的安全性风险,应当加强风险控制。由于塑化剂在乳粉中污染状况随着奶源、加工、储运等环境条件而变化,需进一步对羊乳粉中塑化剂污染情况进行连续跟踪监测,企业也应将其列入日常监测体系之内;另一方面,应加大采样数量,由于塑化剂含量变化存在地域差别,下一步需在全国范围内采样并调查其污染情况,全面评估其对消费者的健康风险。

5 结 论

(1)150 个样品中共 4 种邻苯二甲酸酯类化合物被检出, DIBP、DBP、DCHP、DEHP。其中 DBP 检出率为 76.67%, 超标率为 50.67%; DEHP 检出率为 60%, 超标率为 1.33%; DCHP 检出率为 67.33%; DIBP 检出率为 42.67%。

(2)从食品安全风险角度评价, 3 组婴幼儿在暴露量平均值下 DEHP 的致癌风险 R 值分别为 $1.56 \times 10^{-5} a^{-1}$ 、 $2.16 \times 10^{-5} a^{-1}$ 、 $1.33 \times 10^{-5} a^{-1}$, 在美国 EPA 推荐的最大可接受值 $1.0 \times 10^{-4} a^{-1}$ 范围之内。从生殖发育等危害方面评价, 以高百分位(P99)计算 3 组婴幼儿的 DIBP、DEHP、DCHP 健康风险值 HI 均小于 0.11, DBP 的健康风险值 HI 小于 0.70, 均在风险控制标准(一般为 1)之下。因此, 以此羊乳粉作为生产婴幼儿配方乳粉的基粉是安全的。

参考文献

- [1] Schettler T. Human exposure to phthalates via consumer products[J]. *Int J Androl*, 2006, 29(1): 134-139.
- [2] 柳春红, 孙远明, 杨艺超, 等. 邻苯二甲酸酯类增塑剂的污染及暴露评估现状[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(3): 339-341.
Liu CH, Sun YM, Yang YC, *et al*. The Contamination Situation and Exposure Assessment of Phthalate Esters [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2012, 28(3): 339-341.
- [3] 沈霞红, 李冬梅, 韩晓冬. 邻苯二甲酸酯类胚胎生殖毒性研究进展[J]. *中国公共卫生*, 2010, 26(9): 1215-1216.
Shen XH, Li DM, Han XD. Research progress of phthalate esters on embryonic reproductive toxicity [J]. *China Public Health*, 2010, 26(9): 1215-1216.
- [4] Hoyer PB. Reproductive toxicology: current and future directions [J]. *Biochem Pharmacol*, 2001, 62(12): 1557-1564.
- [5] McKee RH, Butala JH, David RM, *et al*. NTP center for the evaluation of risks to human reproduction reports on phthalates: addressing the data gaps [J]. *Repro Toxicol*, 2004, 18(1): 1-22.
- [6] Singh S, Li SL. Phthalates: Toxicogenomics and inferred human diseases [J]. *Genomics*, 2011, 97(3): 148-157.
- [7] 佟晓芳. 乳制品中邻苯二甲酸酯类化合物残留量检测方法[J]. *中国乳品工业*, 2012, 1: 59-62.
Tong XF. phthalates in milk residue detection method[J]. *China Dairy Ind*, 2012, 1: 59-62.
- [8] Frommea H, Küchlerb T, Ottoc T, *et al*. Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in the environment[J]. *Water Res*, 2002, 36(6): 1429-1438.
- [9] 杨晓光, 翟凤英. 中国居民营养与健康状况调查报告之三: 2002 居民体质与营养状况[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006.
Yang XG, Zhai FY. Survey report of Chinese residents of nutrition and health—2002 residents health and nutritional status[M]. Bei Jing: People's Medical Publishing House, 2006.
- [10] 王陇德, 齐小秋, 陈传宏, 等. 中国居民营养与健康状况调查报告之一: 2002 综合报告[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
Wang LD, Qi XQ, Chen CH, *et al*. Survey report of Chinese residents of nutrition and health—2002 synthesis report[M]. BeiJing: People's Medical Publishing House, 2005.
- [11] 罗伟. 食品安全风险分析—化学危害评估[M]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
Luo Y. Food safety Food safety risk analysis —chemical hazard assessment[M]. Beijing: Quality Inspection of China Press, 2012.
- [12] Boona PE, Voetb HVD, Klaverena JDV. Validation of a probabilistic model of dietary exposure to selected pesticides in Dutch infants [J]. *Food Addit Contam*, 2003, 20(Supp11): 36-49.
- [13] 刘元宝, 王灿楠, 吴永宁, 等. 膳食暴露定量评估模型及其变

- 异性和不确定性研究[J]. 中国卫生统计, 2008, 25(1): 7-9.
- Liu YB, Wang CN, Wu YN, *et al.* Quantitative model of dietary exposure assessment and analysis for the variability and uncertainty[J]. Chin J Health Stat, 2008, 25(1): 7-9.
- [14] Tsutsumia T, Yanagib T, Nakamurab M, *et al.* Update of daily intake of PCDDs, PCDFs, and dioxin-like PCBs from food in Japan [J]. Chemosphere, 2001, 45(8): 1129-1137.
- [15] Cao H, Qiao L, Zhang H, *et al.* Exposure and risk assessment for aluminium and heavy metals in Puerh tea[J]. Sci Total Environ, 2010, 408(14): 2777-2784.
- [16] 曹国洲, 肖道清, 朱晓艳. 食品接触制品中邻苯二甲酸酯类增塑剂的风险评估[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 325-327.
- Cao GZ, Xiao DQ, Zhu XY. Risk assessment of phthalate plasticizers in food contact products [J]. Food Sci, 2010, 31(5): 325-327.
- [17] Hernández-Díaz S, Mitchell A A, Kelley K E, *et al.* Medications as a Potential Source of Exposure to Phthalates in the U.S. Population [J]. Environ Health Persp, 2009, 117(2): 185-189.
- [18] Cheng Z, Nie XP, Wang HS, *et al.* Risk assessments of human exposure to bioaccessible phthalate esters through marketfish consumption [J]. Environ Int, 2013, 57: 75-80.
- [19] Koniecki D, Wang R, Moody R P, *et al.* Phthalates in cosmetic and personal care products: Concentrations and possible dermal exposure [J]. Environ Res, 2011, 111: 329-336.
- [20] Benson R. Hazard to the developing male reproductive system from cumulative exposure to phthalate esters-dibutyl phthalate, diisobutyl phthalate, butylbenzyl phthalate, diethylhexyl phthalate, dipentyl phthalate, and diisononyl phthalate [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2009, 53(2): 90-101.
- [21] Kima M, Yuna SJ, Chunga GS. Determination of phthalates in raw bovine milk by gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry (GC/TOF-MS) and dietary intakes [J]. Food Addit Contam: Part A, 2009, 26(1): 134-138.
- [22] 陆蓓蓓. 合肥市水源与饮用水中增塑剂污染调查和健康风险评估[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2013.
- Lu BB. Investigation of pollution and health risk assessment on plasticizers in source and drinking water of HeFei [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2013.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



曹双弟, 硕士研究生, 主要研究乳品科学与风险分析。
E-mail: csd0811@163.com



葛武鹏, 副教授, 博士, 主要从事乳品科学及生物技术应用等方面研究工作。
E-mail: josephge@sina.com