

## 风险评估

## 我国市售液态乳中 15 种元素含量特征分析及风险评估

马兰,赵馨,尚晓虹,赵云峰,周爽

(国家食品安全风险评估中心,北京 100021)

**摘要:**目的 通过对我国不同地区市售液态乳中营养元素及有害元素含量测定,分析我国居民通过饮用液态乳对多元素的摄入状况,评估成年消费人群中多元素暴露水平及健康风险,为相关标准制定提供依据。方法 采集全国 7 个地理区域市售液态乳样品共计 110 份,以微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定镁、钙、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、砷、硒、钼、镉和铅 15 种元素含量,分析地域性差异。对于营养元素采用推荐摄入量(RNI)和适宜摄入量(AI)评价营养状况,对于污染元素采用暴露边界比(MOE)和暂定每月耐受摄入量(PTMI)评价健康风险。结果 液态乳中钙含量普遍较高(430~939 mg/kg);铁、铬、钴、锰、钒、镍、铅、砷、镉 9 种元素的含量分布具有一定的地域性差异;液态乳中砷、铅和铬检出值均小于我国限量标准。暴露评估结果显示,营养元素镁、钙、硒、钼的摄入量均大于其 RNI 的 10%;污染元素铅 MOE 远远大于 1,镉 PTMI 均小于 0.1  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,镍 MOE 远远大于 10。结论 液态乳中富含多种营养元素,可通过日常饮用液态乳获得一定的营养元素补充;液态乳中有害元素污染普遍较低,对人体健康的潜在风险较低。

**关键词:**液态乳;多元素;风险评估;暴露水平

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2021)03-0325-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2021.03.015

### Occurrence and exposure risk assessment of elements in liquid milk in China

MA Lan, ZHAO Xin, SHANG Xiaohong, ZHAO Yunfeng, ZHOU Shuang

(China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China)

**Abstract: Objective** To analysed nutritious and harmful elements found in liquid milk marketed in different regions across China, analyzed the intake of elements from drinking milk, assessed exposure to elements and health risks in adults, and provided basis for relevant standards. **Methods** As many as 110 milk samples were collected in seven geographic regions across China. A total of 15 elements, Mg, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd and Pb, were determined with microwave digestion - inductively coupled plasma mass spectrometry to analyze regional differences. Recommended Nutrient Intake (RNI) and Adequate Intake (AI) were used to assess nutrition status while Margin of Exposure (MOE) and Provisional Tolerable Monthly Intake (PTMI) were used to assess health risks. **Results** The result showed that milk generally has high level of Ca (430-939 mg/kg). The levels of 9 elements, namely Fe, Cr, Co, Mn, V, Ni, Pb, As and Cd, varied geographically. The measured concentrations of As, Pb and Cr in liquid milk were all lower than the limits of the Chinese standards. According to the result of exposure assessment, the RNIs of Mg, Ca, Se and Mo were higher than 10%. The MOE of Pb was much higher than 1. The PTMI of Cd was lower than 0.1  $\mu\text{g}/\text{kg BW}/\text{month}$ , and the MOE of Ni was much higher than 10. **Conclusion** Milk contains abundant nutritious elements and is an important supplementary to human nutrition. In addition, milk generally contains low levels of harmful elements, which poses low risk to human health.

**Key words:** Liquid milk; elements; risk assessment; exposure level

液态乳中有二十余种元素被认为是构成人体组织、参与机体代谢、维持生理功能所必需的微量元素,这些微量元素的含量虽然较低,却参与生命

活动并与人类的健康息息相关,但是摄入过量的微量元素也可能会对人体健康产生不良影响。同时,铅、砷、镉为具有潜在毒性,但低剂量可能具有功能作用的微量元素<sup>[1]</sup>,GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[2]</sup>中规定了食品中砷、铅的限量要求。液态乳中多种矿物质含量及重金属污染问题已引起广泛关注,准确快速测定液态乳中重金属元素的含量对液态乳质量控制有重要意义。电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定具有检出

收稿日期:2020-12-09

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC1600500)

作者简介:马兰 女 副主任技师 研究方向为食品卫生检验

E-mail:malan@cfsa.net.cn

通信作者:周爽 女 研究员 研究方向为分析化学

E-mail:zhoush@cfsa.net.cn

限低、线性范围宽、干扰少、精度高、分析速度快等特性,适用于多种元素的同时测定,近些年在元素检测领域广泛应<sup>[3-8]</sup>。

本研究采用 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》<sup>[9]</sup>方法对全国 7 个地理区域 110 份液态乳样品中镁、钙、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、砷、硒、钼、镉和铅 15 种元素进行定量检测,并初步分析我国液态乳中多元素的含量水平,评价中国居民通过消费液态乳对多元素的摄入水平。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 样品采集

采集全国部分地区市售不同品牌、不同批次液态乳样品共计 110 份,按照地理区域分类,分别来自华东(17 份)、华北(27 份)、华中(15 份)、华南(3 份)、西南(19 份)、西北(19 份)、东北(10 份)。

#### 1.1.2 主要仪器与试剂

8800 型 ICP-MS 仪(美国 Agilent),Mars 6 微波消解仪及配套超高压聚四氟乙烯消解罐(美国 CEM),Milli-Q Advantage 超纯水制备装置(美国密理博),EHD36 智能样品处理器(美国 labtech),电子天平(精确到 0.000 1 g)。

镁、钙、铁元素标准溶液(1 000 mg/L)和钒、铬、锰、钴、镍、铜、锌、砷、硒、钼、镉、铅元素标准溶液(10 mg/L)(5183-4688),锂、钇、铈、钽、钽调谐液(5188-6564,10 mg/L),锂、钪、铈、铈、铈内标溶液(5183-4681,10 mg/L),均购自美国安捷伦;定值标准参考物质脱脂奶粉(1549)、奶粉(1549a)、米粉(1568b)均购自美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standard and Technology, NIST);试剂均为优级纯,试验用水为国家标准规定的一级水或仪器分析用高纯水。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 液态乳中元素含量检测方法&数据处理

参照 GB 5009.268—2016<sup>[9]</sup>前处理方法,称取 2.0~3.0 g 样品于消解罐中,加入 5 mL 硝酸,放入微波消解仪中消解,样品消解完成后自然冷却至室温,开盖赶酸,用水定容至 10 mL,混匀备用,同时做空白试验。分别取各元素检测方法线性范围内的混合标准溶液、空白溶液和试样溶液于进样杯中,按所设仪器条件依次测定。样品检测的同时配以碰撞反应池,碰撞气为 He,用质谱调谐溶液(质量浓度为 1.0 μg/L 的锂、钇、铈、铈、钽溶液)对 ICP-MS 仪器测定时的工作条件进行优化,使仪器的灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等各项指标均达到测定要求,得到的 ICP-MS

仪器最佳技术参数,计算响应值。

按照 WHO 全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第 2 次会议“食品中低水平污染物可信评鉴”中对未检出数据的处理原则<sup>[10]</sup>,当未检出数据的比例低于 60%时,所有未检出数据用 1/2 最低检测限值(即 1/2LOD)替代,本次评估对未检出的数据均赋予 1/2LOD 值进行统计。

#### 1.2.2 暴露评估方法

本次评估根据《中国居民膳食指南》<sup>[11]</sup>中推荐每天饮奶 300 g 或相当量的奶制品和成年男子体质量(63 kg)数据为基础,结合液态乳中的元素含量值,采用简单分布模型(确定性评估)的方法,可计算摄入液态乳居民每个个体每天每公斤体重元素暴露量的平均值和不同百分位数的暴露量,计算公式为:

$$EXP = \frac{F \times C}{W \times 1\,000}$$

式中:EXP 为某个体每天每公斤体质量元素的暴露量,μg/kg BW;F 为某个体每天液态乳的消费量,g;C 为液态乳中元素的含量,μg/kg;W 为某个体的体质量,63 kg。

#### 1.2.3 健康指导值的确定

营养元素摄入量根据《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版)》<sup>[12]</sup>中规定的推荐摄入量(RNI)和成人适宜摄入量(AI)进行评价。

铅采用风险表征采用暴露边界比(MOE>1)的方法进行暴露的健康风险评估。

镉按照 2010 年食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives,JECFA)第 73 次会议认定的暂定每月耐受摄入量 PTMI(25 μg/kg BW)进行评估。

对镍敏感的个体,从作为急性参考点的剂量效应出发,选了一个最低的(BMDL10,1.1 μg/kg BW)作为敏感人群中诱发系统性接触性皮炎的镍的急性暴露量,并在风险特征描述中采用了 MOE 的方法进行评估。

### 1.3 统计学分析

采用 Excel 2007 软件建立数据库并进行数据录入,采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。对加钙奶和高钙奶与其他未加钙的液态乳中钙含量进行 *t* 检验,以 *P*>0.05 为差异无统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 方法学参数

#### 2.1.1 检出限(LOD)和定量限(LOQ)

在优化仪器工作条件下连续重复检测 10 次试

样全流程空白,取检测结果的 3 倍极差所对应的浓度作为方法的 LOD,10 倍极差所对应的浓度作为方法的 LOQ,结果见表 1。

表 1 方法检出限和定量限(μg/L)

Table 1 The limits of detection and the limits of quantitation of the method(μg/L)

元素	LOD	LOQ	元素	LOD	LOQ
钙	0.09	0.3	铁	3.0	10
砷	0.06	0.2	镁	3.0	10
镍	0.06	0.2	硒	0.07	0.2
铅	0.04	0.2	镉	0.01	0.03
锰	0.05	0.2	铬	0.04	0.2
铜	0.6	2.0	钒	0.02	0.1
锌	2.0	6.0	钴	0.01	0.03
钼	0.2	0.6			

注:镁、钙、铁、锌元素含量单位为 mg/kg,其他元素含量单位为 μg/kg

### 2.1.2 线性范围

用 ICP-MS 法测定 15 种元素时,由于所购多元素混合标准溶液中镁、钙、铁(1 000 mg/L)和其他元素(10 mg/L)标准溶液浓度相同,而考虑到此次所测液态乳样品中各元素间浓度差异较大,对高浓度元素,ICP-MS 检测器接收信号的模式会出现转换,为了保证数据的准确性,避免较大的线性误差,吸取适量单元素标准贮备液或多元素混合标准贮备液,用硝酸溶液(5+95)逐级稀释配成混合标准工作溶液系列,确定标准曲线的适宜范围作校准曲线,线性相关系数(*r*)均大于 0.999 0,结果见表 2。

### 2.2 质量控制

为了保证所测数据的真实可靠,按照上述优化的试验条件,将市场采集的液态乳样品进行测定,

表 2 方法的线性范围

Table 2 Linear range of the method

元素	质荷比( <i>m/z</i> )	线性范围/(ng/mL)	相关系数/( <i>r</i> )	元素	质荷比( <i>m/z</i> )	线性范围/(ng/mL)	相关系数/( <i>r</i> )
镁	24	50 ~ 5 000	1.000 0	铜	66	2.0 ~ 200	1.000 0
钙	44	50 ~ 5 000	1.000 0	锌	67	10 ~ 200	0.999 1
钒	51	0.1 ~ 50	1.000 0	砷	75	0.1 ~ 50	1.000 0
铬	52	0.1 ~ 200	1.000 0	硒	82	0.5 ~ 50	0.999 9
锰	55	2.0 ~ 200	1.000 0	钼	95	0.5 ~ 50	1.000 0
铁	54	10 ~ 1 000	1.000 0	镉	111	0.1 ~ 50	1.000 0
钴	59	0.1 ~ 50	1.000 0	铅	208	0.1 ~ 50	1.000 0
镍	60	0.1 ~ 50	1.000 0				

所有样品平行称量 3 份,进行微波消解(样品消解的同时须采用相同的试剂,在相同的试验步骤和条件下进行空白试验),消解液分别用 ICP-MS 测定样品中多元素的含量,每份样品均有 3 个测定值,平均值为最终检测结果,同时计算每份样品的相对标准偏差(*RSD*),结果显示,110 份样品中 15 种元素测定值 ICP-MS 的 *RSD* 均在 1.7%~12.8%之间。

为了进一步验证此检验方法的准确度,样品检测时,均带入标准参考物质作为质控样品进行分析与测试,同时制备平行样。试验选择了脱脂奶粉(1549)、奶粉(1549a)、米粉(1568b)3 种定值标准参考物质,其数值用于评价样品测定结果的有效性和可信度,判断检测是否存在系统误差,结果见表 3。经计算结果,此次分析的 3 种定值标准参考物质各元素的测定结果均在参考值标示范围内,*RSD* 在 1.4%~14.1%之间,基本符合分析要求,表明此测定方法具有良好的精密度和重现性。也同时表明满足上述条件同批次的样品检测值认定为有效结果。

### 2.3 元素含量分析

#### 2.3.1 营养元素含量分析

液态乳 10 种营养元素(钙、镁、铬、锰、铁、钴、铜、锌、硒、钼)中,镁、钙、铜、锌、硒、钼 6 种元素的含量数据间均无明显地域性差异,铁、铬、钴、锰 4 种

表 3 标准参考物质测定值分析

Table 3 Test results of standard materials

标准物质	元素	平均值/(mg/kg)	参考值/(mg/kg)	<i>RSD</i> /%
1549	铬	0.003 0	0.002 6	14.1
	锰	0.24	0.26	4.3
	铁	1.84	1.78	4.4
	铜	0.62	0.7	5.1
	锌	45.1	46.1	3.3
	硒	0.15	0.11	5.8
	铅	0.021	0.019	10.1
1549a	镍	0.080	0.068±0.014	9.3
	钼	0.398	0.377±0.072	6.6
	镁	870	892±62	1.6
1568b	钙	8 779	8 810±240	1.4
	钴	0.018 0	0.017 7±0.000 5	11.3
	镉	0.023 0	0.022 4±0.001 3	10.8
	钼	0.023 0	0.022 4±0.001 3	10.8

元素含量数据存在一定的地域性差异,结果见表 4、图 1-4。铁元素含量:华南地区样品测定结果较低,西南地区较高,平均值分别为 0.23 和 0.51 mg/kg;铬元素含量:华北地区样品测定结果较低,西南地区较高,平均值分别为 0.30 和 1.98 μg/kg;钴元素含量:华中地区样品测定结果较低,华南地区较高,平均值分别为 0.24 和 0.42 μg/kg;锰元素含量:西北地区样品测定结果较低,华中地区较高,平均值分别为 20 和 42 μg/kg。

本研究检测的 110 份液态乳样品中钙含量平均

值为 765 mg/kg, 其中 22 份样品中钙含量大于 800 mg/kg, 占样品量的 20.0%。此次检测的加钙奶和高钙奶共计 11 份样品, 平均值为 790 mg/kg, 其中 8 份样品钙含量范围在 692~798 mg/kg 之间, 3 份

样品钙含量范围在 912~939 mg/kg 之间, 未加钙的液态乳钙平均值为 762 mg/kg。经统计检验, 加钙奶和高钙奶与其他未加钙的液态乳中钙含量差异无统计学意义 ( $t=1.36, P>0.05$ )。

表 4 液态乳中营养元素含量测定结果

Table 4 Test results of milk samples

样品来源	元素含量									
	镁	钙	铁	锌	铬	钴	铜	锰	硒	钼
华东	96~125	430~853	0.11~1.02	3.0~4.6	0.31~3.84	0.11~0.62	24~35	12~56	20~79	31~50
华北	108~160	688~939	0.16~3.25	3.4~5.8	ND~2.96	0.14~0.58	22~55	14~33	29~85	34~53
华中	95~125	659~888	0.16~0.66	3.5~4.4	0.30~2.37	0.14~0.35	23~45	22~61	50~70	23~50
华南	102~109	718~778	0.20~0.26	3.8~4.0	0.43~1.34	0.32~0.47	27~43	18~64	37~58	36~42
西南	106~131	633~898	0.18~1.25	3.0~4.7	0.47~4.08	0.20~0.63	25~46	16~37	26~51	31~48
西北	103~119	715~796	0.15~0.89	3.8~4.5	ND~4.95	0.08~0.71	21~37	13~26	38~76	38~51
东北	108~155	692~916	0.18~2.25	3.1~5.4	ND~0.78	0.12~0.54	17~44	17~61	25~83	32~52
合计	95~160	430~939	0.11~3.25	3.0~5.8	ND~4.95	0.08~0.71	17~55	12~64	20~85	23~53

注: ND 表示未检出; 镁、钙、铁、锌元素含量单位为 mg/kg, 其他元素含量单位为  $\mu\text{g/kg}$

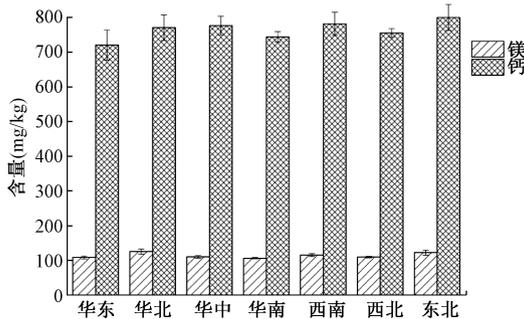


图 1 液态乳样品中营养元素(镁、钙)的含量分布  
Figure 1 Distribution of nutritional elements (Mg, Ca) in milk samples

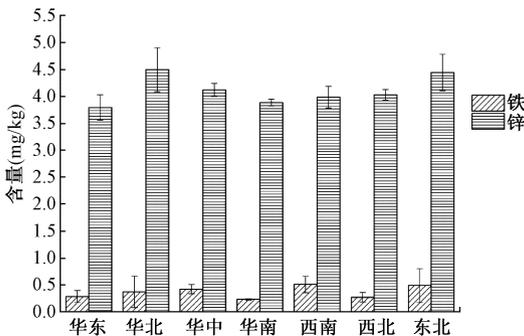


图 2 液态乳样品中营养元素(铁、锌)的含量分布  
Figure 2 Distribution of nutritional elements (Fe, Zn) in milk samples

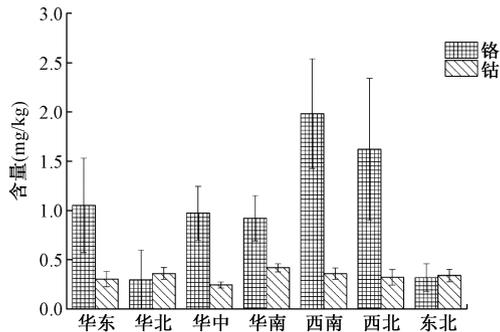


图 3 液态乳样品中营养元素(铬、钴)的含量分布  
Figure 3 Distribution of nutritional elements (Cr, Co) in milk samples

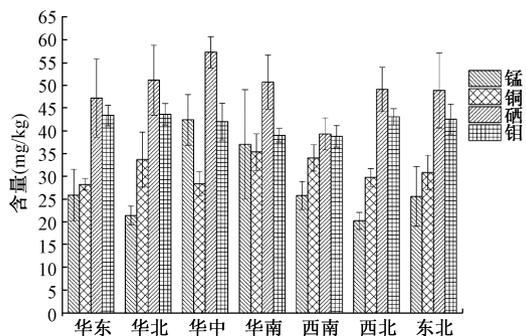


图 4 液态乳样品中营养元素(锰、铜、硒、钼)的含量分布  
Figure 4 Distribution of nutritional elements (Mn, Cu, Se, Mo) in milk samples

液态乳中含有大量人体所需的营养元素, 根据《中国居民膳食指南》<sup>[11]</sup> 中推荐每天饮奶 300 g 或相当量的奶制品, 结合液态乳中的元素平均值和不同百分位数的含量值, 分别计算其摄入量, 与《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)》<sup>[12]</sup> 中规定的推荐摄入量(RNI)比较, 评价中国居民由液态乳摄入的营养元素是否充足。对因研究资料不充分目前尚未制定的铬和锰的 RNI 值, 则根据《中国居

民膳食营养素参考摄入量(2013版)》中成人适宜摄入量(AI)进行评价。钴的 DRIs 目前未看到国外报道, 且国内目前缺乏对钴研究的数据, 无法进行评价。结果见表 5。

液态乳中镁摄入量范围为 28.5~48.0 mg/d, 占 RNI 比例的范围在 8.6%~14.5% 之间, 平均摄入量为 34.5 mg/d, 占其 RNI 值(330 mg/d)的 10.5%。钙摄入量范围为 129~282 mg/d, 占 RNI 比例的范围

表 5 液态乳中营养元素含量及摄入量

元素	项目	平均值	P25	P50	P75	P95
镁	含量/(mg/kg)	115	107	113	119	140
	摄入量/(mg/d)	34.5	32.1	33.9	35.7	42.0
	占 RNI/%	10.5	9.7	10.3	10.8	12.7
钙	含量/(mg/kg)	765	725	757	793	893
	摄入量/(mg/d)	229.5	217.5	227.1	237.9	267.9
	占 RNI/%	28.7	27.2	28.4	29.7	33.5
铁	含量/(mg/kg)	0.38	0.20	0.25	0.40	0.92
	摄入量/(mg/d)	0.11	0.06	0.08	0.12	0.28
	占 RNI/%	1.0	0.5	0.6	1.0	2.3
锌	含量/(mg/kg)	4.2	3.8	4.0	4.3	5.6
	摄入量/(mg/d)	1.3	1.1	1.2	1.3	1.7
	占 RNI/%	10.0	9.1	9.7	10.3	13.3
铬	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	1.04	0.30	0.70	1.37	3.55
	摄入量/( $\mu\text{g}/\text{d}$ )	0.3	0.1	0.2	0.4	1.1
	占 AI/%	1.0	0.3	0.7	1.4	3.6
钴	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	0.33	0.23	0.32	0.42	0.57
	摄入量/( $\mu\text{g}/\text{d}$ )	0.10	0.07	0.10	0.13	0.17
	占 RNI/%	31	27	29	35	49
铜	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	9.4	8.1	8.7	10.5	14.6
	摄入量/( $\mu\text{g}/\text{d}$ )	9.4	8.1	8.7	10.5	14.6
	占 RNI/%	1.2	1.0	1.1	1.3	1.8
锰	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	26	20	22	29	51
	摄入量/( $\mu\text{g}/\text{d}$ )	7.9	6.0	6.6	8.6	15.2
	占 AI/%	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3
硒	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	49	40	48	57	72
	摄入量/( $\mu\text{g}/\text{d}$ )	14.6	12.0	14.3	17.0	21.6
	占 RNI/%	24.3	20.0	23.8	28.4	36.0
钼	含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	42	40	42	46	50
	摄入量/( $\mu\text{g}/\text{d}$ )	12.7	12.0	12.6	13.8	15.0
	占 RNI/%	12.7	12.0	12.6	13.8	15.0

在 16.1%~35.3%之间,平均摄入量为 229.5 mg/d,占其 RNI 值(800 mg/d)的 28.7%。硒摄入量范围为 6.0~25.5  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,占 RNI 比例的范围在 10.0%~42.5%之间,平均摄入量为 14.6  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,占其 RNI 值(60  $\mu\text{g}/\text{d}$ )的 24.3%。钼摄入量范围为 6.9~15.9  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,占 RNI 比例的范围在 6.9%~15.9%之间,平均摄入量为 12.7  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,占其 RNI 值(100  $\mu\text{g}/\text{d}$ )的

12.7%。结果表明,我国居民日常通过饮用液态乳的镁、钙、硒、钼平均摄入量均大于其相应 RNI 的 10%。

### 2.3.2 污染元素含量分析

#### 2.3.2.1 与国内外标准比较分析

GB 2762—2017<sup>[2]</sup> 规定的食品中砷、铅的限量要求,其中生乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳、发酵乳、调制乳中砷的限量标准为 0.1 mg/kg,铅的限量标准为 0.05 mg/kg。本研究结果显示,液态乳样品中砷、铅含量均低于我国标准限量。

国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC); Codex Stan 193—1995《国际食品法典食品及饲料中污染物和毒素通用标准》<sup>[13]</sup> 规定液态乳、加工乳制品中铅的限量标准为 0.02 mg/kg。欧盟(EC)No 1881/2006《食品中某些污染物最大限量》<sup>[14]</sup> 规定生乳、热处理奶及乳制品原料奶中铅的限量标准为 0.020 mg/kg。与 CAC 及欧盟比较,我国液态乳样品中铅含量均低于标准限量。

#### 2.3.2.2 含量分布特征

本研究检测的液态乳中污染元素为铅、砷、镉、镍、钒,从测定样品的数值(表 6)及含量分布(图 5),表明均存在地域性差异。华南地区砷含量较低,华中地区砷含量较高,平均值分别为 0.03 和 2.70  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。华中和西北地区镉含量较低,平均值分别为 0.02 和 0.04  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;华南地区镉含量较高,平均值为 0.62  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。西北地区铅含量较低,华南地区铅含量较高,平均值分别为 0.39 和 2.71  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。华南地区镍含量较低,西北地区镍含量较高,平均值分别为 0.03 和 1.70  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。华南和西南地区钒含量较高,平均值分别为 0.67 和 0.63  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其他地区含量均小于 0.31  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。样品的含量测定值<sup>[15]</sup>及总检出率结果见表 6。

表 6 液态乳中污染元素含量测定结果/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )Table 6 Concentration of contaminant elements in milk samples/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

样品来源	元素含量(检出数/样品数)				
	砷	镉	铅	镍	钒
华东	1.14~5.15(13/17)	0.03~1.11(7/17)	0.04~4.05(17/17)	0.56~2.34(13/17)	0.03~1.56(17/17)
华北	0.25~2.06(21/27)	0.01~0.32(22/27)	0.22~3.36(23/27)	0.41~1.58(15/27)	0.03~2.04(22/27)
华中	2.05~6.37(15/15)	0.01~0.13(3/15)	0.22~2.38(14/15)	0.45~8.42(15/15)	0.02~0.64(15/15)
华南	(0/3)	0.57~0.66(3/3)	1.59~4.86(3/3)	(0/3)	0.06~1.87(3/3)
西南	1.26~6.38(12/19)	0.02~1.33(17/19)	0.49~5.59(16/19)	0.61~2.95(12/19)	0.07~2.05(19/19)
西北	1.04~2.80(19/19)	0.02~0.07(15/19)	0.25~1.02(10/19)	0.67~7.41(19/19)	0.03~1.27(18/19)
东北	0.81~2.26(8/10)	0.02~1.10(9/10)	0.11~2.57(10/10)	0.71~2.57(7/10)	0.10~0.19(7/10)
合计	0.25~6.38(88/110)	0.01~1.33(76/110)	0.22~5.59(93/110)	0.41~8.42(81/110)	0.02~2.05(101/110)

## 2.4 暴露量分析

目前按照食品添加剂联合专家委员会(JECFA)的评估结果,没有可以用于铅的健康指导阈值,只是相对于铅暴露不良效应的风险相对比较低而言

的,因此风险表征采用暴露边界比(MOE)的方法进行,如果暴露相当于或低于这一水平时,风险被认为相对较低(即 MOE>1)。本研究中通过液态乳摄入铅的 MOE 值在 62~681 之间,MOE 值远大于 1,

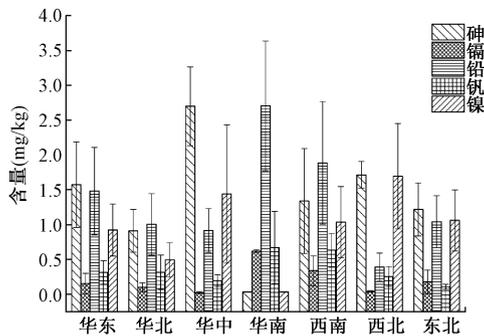


图5 液态乳样品中污染元素的含量分布

Figure 5 Contaminant elements in milk samples

说明液态乳对成人铅暴露的健康风险较低。

2010年JECFA第73次会议认定镉的长期终生暴露对人群健康的危害更值得关注,因此镉的暂定每月耐受摄入量(PTMI)为 $25\ \mu\text{g}/\text{kg}\ \text{BW}$ 。此次检测的液态乳中镉的平均月摄入量为 $0.02\ \mu\text{g}/\text{kg}\ \text{BW}$ ,P25、P50、P75、P95值也均小于 $0.1\ \mu\text{g}/\text{kg}\ \text{BW}$ ,低于JECFA对PTMI的规定。

从作为急性参考点的剂量效应出发,选了一个最低的( $\text{BMDL}_{10}$ ,  $1.1\ \mu\text{g}/\text{kg}\ \text{BW}$ )作为敏感人群中诱发系统性接触性皮炎的镍的急性暴露量。欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)的评估表明,所有年龄段的MOE值均小于10,说明对于敏感个体可能具有引发皮肤湿疹的风险。本研究中通过液态乳暴露镍的MOE值在91~7700之间,MOE值远大于10,数据显示液态乳对成人引发过敏性接触性皮炎的健康风险较低。

液态乳中总砷和钒的平均暴露量分别为 $0.44\ \mu\text{g}/\text{d}$ 和 $0.10\ \mu\text{g}/\text{d}$ ,四分位数暴露量结果见表7。

表7 液态乳中污染元素含量及暴露量

Table 7 Concentration and intake of contaminant elements

元素	项目	平均值	P25	P50	P75	P95
砷	含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	1.47	0.78	1.52	2.01	2.77
	暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{d})$	0.44	0.23	0.46	0.61	0.83
镉	含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	0.15	ND	0.04	0.08	0.72
	暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{d})$	0.05	—	0.01	0.02	0.2
镍	PTMI/ $(\mu\text{g}/\text{kg}\ \text{BW})$	0.02	—	0.006	0.01	0.1
	含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	1.16	0.37	0.83	1.53	4.01
铅	暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{d})$	0.35	0.11	0.25	0.46	1.20
	MOE	217	681	305	165	63
铜	含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	1.03	0.03	0.82	1.50	2.53
	暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{d})$	0.31	0.01	0.25	0.45	0.76
铁	MOE	224	7700	282	154	91
	含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	0.33	0.10	0.19	0.35	1.22
钒	暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{d})$	0.10	0.03	0.06	0.10	0.37

注:ND表示未检出;—表示无此数值

### 3 小结

本研究对全国七个地理区域110份液态乳样品中镁、钙、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、砷、锑、铋和

铅等15种元素进行定量检测,采样场所包括当地商场超市、食品商店、烟酒副食店、形象店、奶站和奶棚等,并对所检测的液体乳中多元素含量进行初步调查分析,能够在一定程度上反映我国部分地区,特别是我国主要的乳制品生产和消费地区的含量现状。

样品量及区域范围内液体乳样品测定结果显示,营养元素和污染元素这两类15种元素中,镁、钙、铜、锌、锑、铋元素的含量数据间均无明显地域性差异,铁、铬、钴、锰、钒、镍、铅、砷、镉元素的含量数据存在一定的地域性差异。通过对目前国内外液态乳中多元素的相关调查研究,本次检测液态乳样品中的营养元素水平与王磊等<sup>[16]</sup>测得的元素水平相近。与国内及美国食品和营养委员会医学研究所、RAJALAKSHMI、JARJOU测得的人乳中部分矿物质的水平相比较,镁、钙、钒、锰的水平高于报道值,钴、铁、锌的水平与报道值相近,铜的水平低于报道值<sup>[17-22]</sup>。根据GB 2762—2017中相关污染物限量要求,本研究中液态乳样品的砷、铅和铬含量普遍较低,检出值均小于我国限量标准。通过对液态乳中的营养元素采用推荐摄入量和适宜摄入量评价日常饮用液态乳能获得营养元素补充的状况,对污染元素采用暴露边界比和每月耐受摄入量评价获得液态乳对人体潜在的健康风险。由于液体乳尤其是巴氏杀菌乳储存及运输的难度,部分地区未能进行样品采集,没有涵盖在本次调查范围内。但通过对现有20个省份液态乳的监测,能够在一定程度上了解多元素的含量水平及分布特征,同时也为修制订标准、风险预警和风险评估提供基础数据。

### 参考文献

- [1] 孙长颢. 营养与食品卫生学[M]. 北京:人民卫生出版社,2017.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [3] 张阳,周玮,董璨,等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定牛乳中Pb、Cr和Hg的含量[J]. 乳品科学与技术,2014,37(6):18-21.
- [4] 高亦军,岳明祥,张亦红. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时检测配方乳粉中14种元素[J]. 解放军预防医学杂志,2012,30(4):271-273.
- [5] 马兰,屈鹏峰,尚晓虹,等. 绿茶中多元素的含量及分布特征[J]. 中国卫生工程学,2019,18(1):1-5.
- [6] 范晓旭,周美丽,杨伟,等. 电感耦合等离子体质谱法测定乳扇中的18种元素含量[J]. 中国乳品工业,2019,47(10):50-54.
- [7] 宋敏,李蓓. 电感耦合等离子体质谱法在食品中重金属检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报,2018,9(5):1045-1049.
- [8] 于海洋,接伟光,姜怡彤,等. 牛乳中主要元素检测方法的研究进展[J]. 食品研究与开发,2018,39(23):209-213.

- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB 5009.268—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [10] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [Z]. Rome:WHO,1995.
- [11] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2016版)[M]. 北京:人民卫生出版社,2016.
- [12] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [13] Codex Alimentarius Commission. The general standard for contaminants and toxins in food and feed: Codex Standard 193-1995[S]. 2012.
- [14] European Community. Commission regulation (EC) no 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs [S]. 2010.
- [15] 马兰,岳兵,赵馨,等. 液态乳中铅测定的 ICP-MS 和 AAS 方法比较[J]. 中国乳品工业,2015,43(11):36-38, 41.
- [16] 王磊,崔亚娟,王鑫,等. 北京市售 15 种液态乳样品的营养成分分析和比较[J]. 食品工业,2019,40(3):276-279.
- [17] 叶伟民,张传建. 母乳微量元素含量的调查[J]. 上海医学检验杂志,1992,7(4):249.
- [18] 刘强,武仙果,薛慧,等. 0~10 月龄儿母亲乳汁锌的测定及其意义[J]. 中国妇幼保健研究,2008,19(1):10-11.
- [19] 邱立敏,武斌. 636 例母乳的必需营养素测定分析[J]. 武汉医学杂志,1995,19(3):151-152.
- [20] RAJALAKSHMI K, SRIKANTIA S G. Copper, zinc, and magnesium content of breast milk of Indian women [J]. The American Journal of Clinical Nutrition,1980,33(3):664-669.
- [21] JARJOU L M, PRENTICE A, SAWO Y, et al. Randomized, placebo-controlled, calcium supplementation study in pregnant Gambian women: effects on breast-milk calcium concentrations and infant birth weight, growth, and bone mineral accretion in the first year of life[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2006,83(3):657-666.
- [22] 孙忠清,岳兵,杨振宇,等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定人乳中 24 种矿物质含量[J]. 卫生研究,2012,42(3):504-509.

## 《中国食品卫生杂志》2021 年征稿征订启事

《中国食品卫生杂志》创刊于 1989 年,由中华人民共和国国家卫生健康委员会主管,中华预防医学会、中国卫生信息与健康医疗大数据学会共同主办,刊号:ISSN 1004-8456、CN 11-3156/R,邮发代号:82-450,双月刊,国内公开发行。本刊是 2008、2011、2017 版中文核心期刊,中国科学引文数据库核心刊(C 刊),中国科技核心期刊,中国精品科技期刊。中国知网(CNKI)全文收录。2020 年版影响因子 1.553,在预防医学领域影响力指数排名第 8(8/86)。曾连续多年获得中华预防医学会优秀期刊一等奖。

**刊登范围:**食品卫生领域的科研方法及成果,检验检测技术(包括化学分析技术、微生物检验技术、毒理学方法),有毒有害物质的监测、评估、标准的研究,监督管理措施及方法,应用营养等。

**主要栏目:**专家述评、论著、研究报告、实验技术与方法、监督管理、调查研究、食品安全标准、风险监测、风险评估、应用营养、食物中毒、综述及国际标准动态。

**刊发周期:**审稿通过后一般在 2 个月左右刊出。对具有创新性的优秀论文开通绿色通道,加急审稿、优先发表。

### 欢迎投稿、欢迎订阅。

**投稿网址:** <http://www.zgspws.com>

**订 阅:**2021 年《中国食品卫生杂志》。每期定价 40 元,全年 240 元。

订阅方式可以通过以下:

- 1、杂志官方网站订阅(详情见官网 [www.zgspws.com](http://www.zgspws.com)、可咨询购买过刊)。
- 2、通过邮局订阅,邮发代号 82-450。
- 3、通过杂志淘宝店,微信公众号线上购买(详情请扫描以下二维码关注)。

**地 址:**北京市海淀区紫竹院南路 17 号院 3 号楼 102 室

《中国食品卫生杂志》编辑部

**电 话:**010-68707221 **邮 政 编 码:**100048 **E-mail:** [spws462@163.com](mailto:spws462@163.com)



杂志公众号



杂志淘宝店



杂志微店