

风险评估

我国重点和非重点地区居民膳食中高氯酸盐暴露风险概率评估

陈秋宇^{1,2}, 梁江², 王小丹², 张磊², 魏晟¹

(1. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 湖北武汉 430030; 2. 国家食品安全风险评估中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室, 北京 100022)

摘要:目的 评估我国高氯酸盐污染重点和非重点地区膳食中高氯酸盐的暴露水平及健康风险。方法 通过检索文献收集我国食品中高氯酸盐的含量数据, 利用2015年中国总膳食研究数据, 概率评估两类地区各年龄组居民膳食中高氯酸盐暴露风险。结果 茶叶(175.54 μg/kg)中高氯酸盐平均含量最高, 蔬菜是我国居民通过膳食摄入高氯酸盐的重要食品类别(贡献率为79.40%)。分别与联合国粮食及农业组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会设定的暂定最大每日容许摄入量(PMTDI)(10 μg/kg·BW)和我国学者暂定每日容许摄入量(tTDI)(0.7 μg/kg·BW)相比, 99%居民膳食中高氯酸盐暴露量低于PMTDI, 但在两类地区各有4.96%和26.57%居民的高氯酸盐膳食暴露量超过tTDI; 在饮茶人群中, 95%居民膳食中高氯酸盐暴露量低于PMTDI, 而在两地区各有57.47%和77.94%的饮茶人群膳食中高氯酸盐暴露量超过tTDI。结论 我国居民经膳食摄入高氯酸盐暴露风险总体较低, 但存在一些重点地区因局部高污染等因素导致暴露风险高于其他地区。

关键词: 食品; 茶叶; 高氯酸盐; 暴露评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2023)12-1740-09

DOI: 10.13590/j.cjfh.2023.12.008

Probabilistic assessment of the exposure risk to dietary perchlorate in the Chinese population from general and key areasCHEN Qiuyu^{1,2}, LIANG Jiang², WANG Xiaodan², ZHANG Lei², WEI Sheng¹

(1. Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Wuhan 430030, China; 2. Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, National Health Commission of the People's Republic of China, China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To assess the exposure and health risks from perchlorates in food and tea among Chinese residents grouped by key and common areas. **Methods** Perchlorate content data for food and tea in China were collected from the literature. Combined with data from the Chinese Total Diet Study in 2015 and using the hazard quotient, the estimated dietary exposure to perchlorate in different areas was assessed and compared using several health-based guidance values. **Results** The highest mean perchlorate content was 175.54 μg/kg in tea. The results of the probability assessment showed that vegetables were critical exposure pathways in the Chinese population, accounting for 79.40% of total daily perchlorate intake. The 99% daily perchlorate intake of Chinese populations was lower than the provisional maximum tolerable daily intake (PMTDI, 10 μg/kg·BW) set by the Joint FAO/WHO. However, the daily perchlorate intake of 4.96% and 26.57% of the residents in two areas far exceeded the temporary tolerable daily intake (tTDI, 0.7 μg/kg·BW) set by China. In tea, 95% of daily perchlorate intake was lower than the PMTDI, but the daily perchlorate intakes of 57.47% and 77.94% of the tea drinkers in the two areas exceeded the tTDI. **Conclusion** The risk of exposure to perchlorate via dietary intake in the Chinese population is generally low; however, there are key areas where the exposure is significantly higher than those in other areas owing to high local pollution.

收稿日期: 2022-12-09

基金项目: 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目资助(2019-I2M-5-024); 国家重点研究发展计划(2018YFC1603105)

作者简介: 陈秋宇 女 硕士研究生 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: chenqiuyu0624@163.com

通信作者: 张磊 男 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: zhanglei@cfsa.net.cn

魏晟 男 教授 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: shengwei@hust.edu.cn

张磊和魏晟为共同通信作者

Key words: Food; tea; perchlorate; exposure assessment

高氯酸盐是一种具有强氧化性的无机阴离子^[1-2],也是一种持久性污染物^[3],水溶性高^[4],很容易迁移到土壤、水和植物中^[5]。同时高氯酸盐在环境中非常稳定,地表水和地下水中的高氯酸盐可能会存在很多年^[6]。高氯酸盐来源于自然环境^[4],人为活动如作为火箭、烟花等爆炸物的固体推进剂^[7],同时高氯酸钾(重要的化工产品)的生产和排放不当易造成水域以及饮用水大面积的污染^[8-10]。高氯酸盐主要通过膳食和饮用水进入人体^[11],其中蔬菜是膳食高氯酸盐摄入的重要来源(贡献率为79.4%)^[12]。高氯酸盐进入人体后通过竞争钠-碘同向转运体(Sodium-iodine symporter, NIS),干扰碘吸收,并扰乱甲状腺激素动态平衡和甲状腺的抗体水平,影响全身细胞代谢和胎儿及其大脑的发育^[13],同时会增加甲状腺乳头状癌的风险^[14]。高氯酸盐在环境积累并进入食物链对人类是潜在的健康风险^[15],特别是孕妇、婴儿以及甲状腺疾病患者^[16]。我国作为重要的茶叶生产、消费和出口大国,近年来出口欧盟的茶叶被曝出高氯酸盐含量较高^[17],可能会增加饮茶人群高氯酸盐过高暴露的风险。目前,高氯酸盐的潜在健康危害在各国已引起高度关注并建立健康指导值:欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)设定每日容许摄入量(Tolerable daily intake, TDI)为 $0.3 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ^[18],美国环保局(Environmental Protection Agency, EPA)建议每日参考剂量(Reference dose, RfD)为 $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ^[19],联合国粮食及农业组织/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)设定的暂定最大每日容许摄入量(Permissible tolerable daily intake, PMTDI)为 $10 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$,我国学者^[20]建议暂定的每日容许摄入量(Temporary tolerable daily intake, tTDI)为 $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 。同时,欧盟还设定了茶叶、蔬菜、婴幼儿食品中的高氯酸盐含量强制性标准^[21]。

我国地域广阔,环境中高氯酸盐污染存在较大差异,干旱/半干旱地区的土壤中高氯酸盐含量比其他地区更高^[4,22],同时个别地区存在因地质或工业污染造成的局部高污染,春节期间大量的烟花爆竹燃放是土壤中高氯酸盐浓度高的主要原因^[23]。WU等^[24]研究发现在15个城市的自来水、瓶装水、地下水(或井水)、地表水样中,衡阳市水样的高氯酸盐平均浓度最高 $[(36.5\pm 18.2) \mu\text{g}/\text{L}]$,远高于天津市 $[(0.63\pm 0.67) \mu\text{g}/\text{L}]$ 。本研究依据高氯酸盐用途、潜在污染源分布、高氯酸盐环境污

染水平及结合其他因素划分重点区和非重点区,采用概率评估的方法对两类地区居民膳食(包括茶叶)来源的高氯酸盐暴露量和健康风险进行研究,为我国食品中高氯酸盐的相关管控措施的建立提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 食品中高氯酸盐含量数据

以“perchlorate”“dietary”或“food”“China”或“Chinese”为英文关键词检索PubMed数据库,以“高氯酸盐”“膳食”或“食品”或“茶叶”为中文关键词,检索中国知网和万方数据知识服务平台,最终检索到相关文献289篇,包括中文110篇和英文179篇。纳入标准:研究对象为食品,包括谷类、蔬菜类、水果类、肉类、奶及其制品、蛋及其制品、鱼虾类以及茶叶;采用离子色谱-质谱法(IC-MS/MS)或液相色谱-质谱法(LC-MS/MS)检测高氯酸盐;有明确的样品数及高氯酸盐浓度均值;发表时间为2012年1月至2022年9月;语言为中文和英文。排除标准:重复文献;检测方法不明;含量数据缺失。根据纳入与排除标准最终纳入11篇^[5,17,25-33],中文文献6篇,英文文献5篇。

1.1.2 我国居民消费量数据

来源于2015年中国总膳食研究数据,采用多阶段分层整群抽样,监测了我国18个省(自治区、直辖市)共150个监测点居民的营养健康状况,其中个人消费数据采用连续3 d 24 h膳食询问调查,删除体质量缺失的20条数据,共纳入了32 121条数据;同时提取饮茶人群的各类食物消费量形成子数据库,共纳入1 143条(占总数据的3.56%)数据。

1.1.3 重点区和非重点区划分依据

主要依据高氯酸盐用途、潜在污染源分布、高氯酸盐环境污染水平及结合其他因素,将我国火箭发射场^[34]和主要烟火生产地(主要集中在湖南、江西及周边等省份)^[35]所在省份以及可能通过重点流域(主要为长江和黄河流域)流经的邻近省份^[10]列为重点区,其他无明确证据存在明显污染的省份设为非重点区。划分结果如下:重点区包括内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、江西、湖南、湖北、贵州、四川共9个省(自治区);非重点区包括辽宁、吉林、黑龙江、北京、河南、河北、江苏、浙江、广西共9个省(自治区、直辖市)。

1.2 方法

1.2.1 食品中高氯酸盐暴露健康风险评估人群暴露水平计算

高氯酸盐的暴露风险评估采用随机抽样(蒙特卡洛)概率评估法。拟合文献中得到的如叶类、根茎类蔬菜、热带亚热带水果等不同食品中高氯酸盐含量呈对数正态分布,从各个食品含量数据的拟合分布中随机抽取 50 000 次,同时消费量数据根据年龄和地区进行分层,并且迭代 50 000 次构建新的消费量数据库,随机抽取某一消费量数据,结合相应体重数据,描述和评估我国全人群(即膳食消费量不为 0 的人群)和饮茶人群(即茶叶消费量不为 0 的人群)高氯酸盐膳食暴露的分布情况和健康风险,计算公式如下:

$$Exp = \sum_{i=1}^n \frac{(Fi \cdot Ci)}{1\,000 \cdot Wi} \times I \quad \text{式(1)}$$

其中, Exp 为人体每日通过膳食暴露于高氯酸盐的量($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$), Fi 为第 i 种食品的消费量(g/d), Ci 为第 i 种食品中高氯酸盐的含量($\mu\text{g}/\text{kg}$), Wi 为与消费量相对应的体质量(kg), n 为个体消费的食物总数, I 为高氯酸盐在茶叶中的迁移率,浸泡试验表明^[27,36],第 1 次浸泡后有 65%~75% 的目标物被浸出,经过第 2 次和第 3 次浸泡后,总共 89.1%~100.0% 的目标物进入茶水中,从评估的保守性考虑,将 I 定为 100%。

1.2.2 风险特征描述

本研究利用危害商(Hazard quotient, HQ)对高氯酸盐的风险进行特征描述,当 $HQ < 1$ 时,认为该物质的暴露风险较低,可以接受;当 $HQ \geq 1$ 时,则认为该物质的暴露风险较高,需予以关注^[37]。分别计算重点区和非重点区的各年龄组间 $HQ \geq 1$ 所占的比例,系统评估高氯酸盐膳食暴露风险。计算公式如下:

$$HQ = \frac{Exp}{TDI} \quad \text{式(2)}$$

其中 Exp 为人体每日通过膳食暴露于高氯酸盐的量($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$),考虑到关注的健康终点存在较大差异,分别采用我国学者提出的 $tTDI(0.7 \mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$, 基于甲状腺的碘吸收抑制率,未考虑甲状腺的代偿能力),同时参考 JECFA 制定的 $PMTDI(10 \mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$, 基于激素水平的改变),对风险进行综合评价。

1.3 统计学分析

主要利用 Excel 2019 和 R 4.1.2 软件进行数据分析。对含量数据均值和标准差的处理主要为两种方法:当已知样本量、均值和标准差时,参见 StarsToDo 的网页上的计算公式^[38];当已知样本量、

最大值和最小值时,参考 WAN 等^[39]研究的计算公式。因数据不符合正态分布,故采用 Kruskal-Wallis 检验比较两地区消费量数据间的差异,采用 χ^2 检验比较两组及多组间的率的差异,采用 Mann-Whitney 秩和检验比较两地区食品高氯酸盐含量的差异,检验水准 $\alpha=0.05$,所有统计学检验均为双侧检验。

2 结果

2.1 不同食品中高氯酸盐污染水平

中国不同食品中高氯酸盐含量来源于 11 篇文献,共收集了 1 884 份样本,来源于上海、天津、四川、安徽、福建、湖北、湖南、广东、广西、贵州、河南、江苏、江西、山东、云南、浙江等 25 个省(自治区、直辖市);搜集到的文献中谷类高氯酸盐含量数据较少,仅存在于非重点区,故下文未进行谷类数据分析。

结果显示,茶叶中高氯酸盐含量最高,为 $175.54 \mu\text{g}/\text{kg}$,低于欧盟食品安全组织制定高氯酸盐含量强制性标准($750 \mu\text{g}/\text{kg}$)^[21],其次为叶类蔬菜、茎类和甘蓝类蔬菜,分别为 123.16 、 40.90 和 $34.95 \mu\text{g}/\text{kg}$,蛋类和乳制品中高氯酸盐含量分别为 13.04 和 $11.87 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。在水果类食品中,热带、亚热带水果的高氯酸盐含量最高,为 $9.28 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。在海鲜类食品中,贝类食品的高氯酸盐含量要高于鱼虾类,分别为 7.92 和 $4.89 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。食用菌类蔬菜中高氯酸盐含量最低,为 $0.74 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

整体看,重点区的绝大部分食品中高氯酸盐的含量高于非重点区,如叶类、块根类和茎类蔬菜、浆果类、仁果类及柑橘类水果、蛋类食品以及乳制品;同时两个地区中也有一些食品中高氯酸盐含量相当,如甘蓝类蔬菜和贝类食品;少部分食品高氯酸盐含量如水生类蔬菜,热带、亚热带水果以及肉类,非重点区的高氯酸盐含量高于重点区,见表 1 和表 2。

2.2 食品消费水平

根据 2015 年中国总膳食研究数据结果表明,如图 1 所示,消费量前 3 位分别是蔬菜类、肉类和水果类,非重点区和重点区的均值分别为 430.85 、 509.07 、 75.71 、 77.76 、 57.27 、 $46.86 \text{ g}/\text{d}$ 。不同地区居民各类食物的消费量有所差异,重点区居民的蔬菜类和肉类的消费量比非重点区居民消费量高,非重点区居民的其他类别的食品消费量均高于重点区居民。

2.3 我国居民经不同食品的每日高氯酸盐暴露量概率评估

由表 3 所示,非重点区 2~12 岁、13~18 岁、19~

表1 中国不同地区食品中高氯酸盐含量均值和标准差

Table 1 The mean and standard deviation of perchlorate content in food from different regions of China

食品种类	非重点区			重点区			P	合计		
	样品份数	均值(min,max)/(μg/kg)	标准差	样品份数	均值(min,max)/(μg/kg)	标准差		样品份数	均值/(μg/kg)	
谷类	10	4.60(—, —)	2.30	—	—	—	—	10	4.60	
蔬菜类	叶类	11	40.22(0.28 ^c ,98.84)	30.93 ^b	35	149.23(0.075 ^c ,417.00)	98.28 ^a	<0.000 1	46	123.16
	茎类	13	17.09(0.28 ^c ,101.99)	29.33 ^a	35	26.89(0.075 ^c ,266.40)	44.52 ^a	<0.000 1	48	40.90
	甘蓝类	9	34.51(3.10,177.22)	58.27 ^b	35	35.07(2.94,209.95)	49.13 ^a	<0.000 1	44	34.95
	鲜豆类	5	24.46(0.28 ^c ,102.03)	43.12 ^b	—	—	—	—	5	24.46
	水生类	5	33.21(0.28 ^c ,133.53)	56.47 ^b	15	12.88(0.075 ^c ,84.26)	24.56	<0.000 1	20	17.96
	块根类	2	6.82(0.28 ^c ,13.36)	11.09 ^b	120	11.62(0.075 ^c ,26.20)	15.04 ^a	<0.000 1	122	11.54
	瓜类	—	—	—	35	10.19(0.075 ^c ,114.00)	23.08 ^a	—	35	10.19
	葱蒜类	—	—	—	15	6.58(0.075 ^c ,59.39)	15.03	—	15	6.58
	茄果类	—	—	—	40	3.96(0.53,21.50)	4.31 ^b	—	40	3.96
	食用菌	7	0.74(0.28 ^c ,2.70)	0.89 ^b	—	—	—	—	7	0.74
水果类	热带、亚热带	12	12.60(0.28 ^c ,16.45)	4.94 ^b	35	8.14(0.15,80.65)	14.69 ^a	<0.000 1	47	9.28
	浆果类	9	0.73(0.28 ^c ,2.16)	0.63 ^b	15	12.51(0.91,94.62)	23.11	<0.000 1	24	8.09
	仁果类	14	1.29(0.28 ^c ,6.31)	1.77 ^b	70	4.38(0.075 ^c ,34.67)	6.94 ^a	<0.000 1	84	3.86
	柑橘类	4	0.80(0.28 ^c ,2.37)	1.00 ^b	35	3.27(0.075 ^c ,14.70)	3.44 ^a	<0.000 1	39	3.02
	瓜果类	3	2.57(0.28 ^c ,5.87)	3.21 ^b	—	—	—	—	3	2.57
蛋类	鸡蛋	10	4.30(—, —)	1.50	35	15.54(0.075 ^c ,59.31)	13.29 ^a	<0.000 1	45	13.04
肉类	合计肉类	10	7.20(—, —)	17.90	140	4.45(0.075 ^c ,22.76)	3.93 ^a	<0.000 1	150	4.63
海鲜	贝类	178	7.96(0.05 ^c ,71.50)	9.67	5	6.34(4.40,8.25)	1.63 ^b	<0.000 1	183	7.92
	鱼虾类	—	—	—	95	4.89(0.075 ^c ,15.80)	3.87 ^a	—	95	4.89
乳制品	10	6.80(—, —)	9.30	20	14.40(9.38,25.20)	4.23 ^b	<0.000 1	30	11.87	
茶叶	336	158.05(1.50 ^c ,16406.60)	206.85	73	256.02(14.80,1507.90)	292.55	<0.000 1	409	175.54	

注:a:方法1^[38];b:方法2^[39];c:采用检测方法检出限的1/2作为其含量值;—:文献中数据未给出

表2 中国不同地区茶叶中高氯酸盐含量

Table 2 Content of perchlorate in tea from different regions of China

地区	样品份数	最小值/(μg/kg)	中位数/(μg/kg)	最大值/(μg/kg)	均值/(μg/kg)	标准差	参考文献
上海	10	—	—	—	59.00	51.90	[28]
安徽	50	25.00	286.00	702.00	257.16	183.20	[26]
安徽	15	1.50 ^a	151.70	1 026.80	286.30	294.73 ^b	[17]
福建	60	10.90	86.00	745.30	145.20	158.79 ^b	[17]
广东	16	20.80	243.50	1 646.60	390.10	459.57 ^b	[17]
广西	13	1.50 ^a	53.80	546.00	120.10	162.74 ^b	[17]
河南	8	101.40	200.60	1 463.80	470.40	474.97 ^b	[17]
江苏	8	55.60	158.20	288.60	174.60	81.23 ^b	[17]
山东	6	72.50	181.80	588.60	223.00	201.36 ^b	[17]
云南	40	1.50 ^a	29.70	392.00	52.90	90.55 ^b	[17]
浙江	40	16.70	117.80	463.60	154.50	103.62 ^b	[17]
浙江	70	1.50 ^a	—	310.00	57.92	57.66	[29]
湖北 [*]	8	79.10	272.50	1 338.40	390.40	439.03 ^b	[17]
贵州 [*]	10	14.80	116.90	173.50	100.00	51.30 ^b	[17]
湖南 [*]	9	55.20	378.50	1 507.90	646.10	486.13 ^b	[17]
四川 [*]	40	16.30	166.10	624.30	197.30	140.98 ^b	[17]
江西 [*]	6	27.80	110.10	474.30	143.20	174.20 ^b	[17]

注:a:采用检测方法检出限的1/2作为其含量值;b:方法1;*:重点区;—:文献中数据未给出

65岁、>65岁及全年龄组人群通过膳食每日摄入的高氯酸盐暴露量的均值分别为0.276、0.181、0.227、0.246、0.233 μg/kg·BW,重点区的分别为0.776、0.545、0.642、0.592、0.626 μg/kg·BW;99%的居民膳食暴露量均未超过JECFA设定的PMTDI,但依据我国tTDI,分别有3.23%~7.99%非重点区居民以及24.95%~36.07%重点区居民高氯酸盐膳食暴露量的HQ≥1。其中重点区的2~12岁年龄组的高氯酸盐膳食暴露量最高,同时该地区人群中高氯酸盐暴露量的HQ≥1的比例远高于非重点区(P<0.05)。非重点区2~12岁、13~18岁、19~65岁、

>65岁及全年龄组饮茶人群通过膳食每日摄入的高氯酸盐暴露量的均值分别为1.814、0.596、1.850、1.864、1.846 μg/kg·BW,重点区的分别为2.463、1.055、2.648、2.511、2.615 μg/kg·BW;95%的居民膳食暴露量均未超过JECFA设定的PMTDI,但依据我国tTDI,分别有23.48%~60.43%非重点区饮茶人群以及59.78%~78.65%重点区饮茶人群高氯酸盐膳食暴露量的HQ≥1。其中重点区饮茶人群中的19~65岁居民高氯酸盐膳食暴露量最高,同时该地区人群中高氯酸盐暴露量的HQ≥1的比例远高于非重点区的(P<0.05),详见表3。

表3 重点区和非重点区各年龄高氯酸盐暴露的风险概率评估

Table 3 Risk probability assessment of age-specific perchlorate exposure in Chinese from general and key areas.

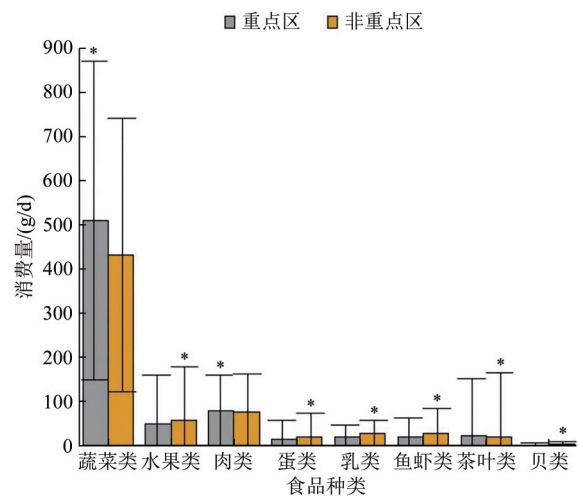
分组	膳食高氯酸盐暴露量 Exp/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}/\text{d}$)				P	比例 1/%	比例 2/%	
	均值	P75	P95	P99				
一般人群 (n=32 121)	重点区 2~12岁	0.776	0.980	2.498	4.475	<0.000 1	36.07	0.07
	非重点区 2~12岁	0.276	0.312	0.920	1.942			
	重点区 13~18岁	0.545	0.699	1.766	3.268	<0.000 1	24.95	0.01
	非重点区 13~18岁	0.181	0.225	0.573	1.122			
	重点区 19~65岁	0.642	0.746	1.967	4.489	<0.000 1	26.98	0.25
	非重点区 19~65岁	0.227	0.241	0.678	1.751			
	重点区 >65岁	0.592	0.700	1.769	3.880	<0.000 1	25.00	0.14
	非重点区 >65岁	0.246	0.259	0.744	2.093			
	重点区 全年龄组	0.626	0.733	1.917	4.191	<0.000 1	26.57	0.17
	非重点区 全年龄组	0.233	0.246	0.696	1.789			
饮茶人群 (n=1 143)	重点区 2~12岁	2.463	3.217	7.003	12.561	<0.000 1	76.32	1.99
	非重点区 2~12岁	1.814	1.919	6.320	14.542			
	重点区 13~18岁	1.055	1.331	2.631	4.454	<0.000 1	59.78	0.07
	非重点区 13~18岁	0.596	0.668	1.832	3.893			
	重点区 19~65岁	2.648	2.998	8.686	18.066	<0.000 1	78.65	3.85
	非重点区 19~65岁	1.850	2.036	6.675	14.622			
	重点区 >65岁	2.511	2.847	8.488	18.304	<0.000 1	72.83	3.64
	非重点区 >65岁	1.864	1.974	6.523	15.168			
	重点区 全年龄组	2.615	2.975	8.602	17.980	<0.000 1	77.94	3.65
	非重点区 全年龄组	1.846	2.005	6.642	15.007			

注:比例1为Exp与我国tTDI相比HQ>1的比例;比例2为Exp与JECFA的PMTDI相比,HQ>1的比例

由图2所示,在两类地区各年龄组中,蔬菜是我国居民通过膳食暴露高氯酸盐的重要食品类别,其贡献率依次为蔬菜(79.40%)>茶叶(16.30%)>肉类(1.87%)>蛋类(0.85%)>水果类(0.70%)≈乳制品(0.68%)>海鲜类(0.20%)。在饮茶人群中,茶叶和蔬菜是通过膳食暴露高氯酸盐的重要食品类别,贡献率依次为83.30%和15.80%。同时除肉类和贝类外,重点区的居民经其他食品摄入高氯酸盐的暴露风险均高于非重点区,见表4。

3 讨论

一般人群膳食中高氯酸盐概率评估结果表明,重点区2~12岁年龄组的高氯酸盐平均每日经膳食暴露量最高,与该年龄段单位体质量能量摄入较高有关;而重点区膳食中高氯酸盐暴露量高于非重点区由多重因素导致,重点区有5个北方地区和4个南方地区,均集中在中部地区,非重点区有6个北方地区和3个南方地区,主要集中在东北和沿海地区,而不同地区消费结构不同,因多位于中部,重点



注:*表示两组差异具有统计学差异
图1 重点区和非重点区不同食品消费量水平

Figure 1 Food consumption in common and key areas

区的肉类(其中内蒙古主要为牛羊肉)以及蔬菜的消费量均高于非重点区($P<0.05$),但重点区的肉类是少数高氯酸盐含量低于非重点区的食品,这使得重点区居民经肉类摄入高氯酸盐低于非重点区。

表4 重点区和非重点区各食品高氯酸盐暴露的风险概率评估

Table 4 Risk probability assessment of food perchlorate exposure in Chinese from general and key areas

食品种类	重点区高氯酸盐暴露量/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d}$)			非重点区高氯酸盐暴露量/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d}$)			P
	均值	P95	P99	均值	P95	P99	
茶叶	0.095	0.000	2.593	0.044	0.000	1.037	<0.000 1
蔬菜类	0.510	1.594	2.881	0.172	0.573	1.140	<0.000 1
肉类	0.007	0.024	0.051	0.010	0.038	0.122	<0.000 1
乳制品	0.004	0.027	0.068	0.002	0.011	0.044	<0.000 1
水果类	0.003	0.017	0.052	0.003	0.015	0.040	<0.000 1
蛋类	0.005	0.023	0.051	0.002	0.007	0.012	<0.000 1
贝类	0.002×10^{-2}	0.000	0.000	0.001×10^{-1}	0.000	0.003	<0.000 1

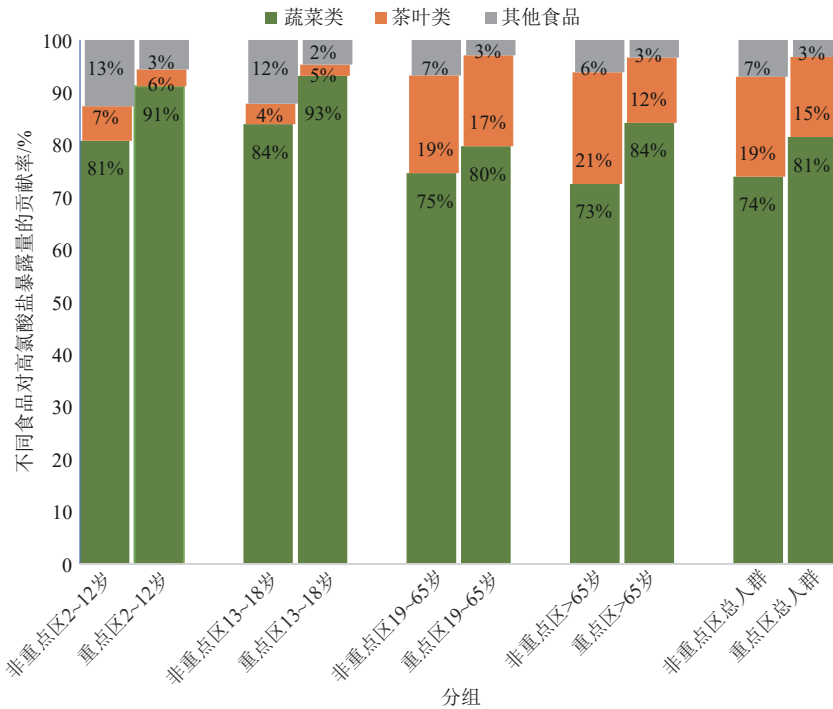


图2 对两类地区不同年龄组的高氯酸盐饮食总暴露量均值有贡献的食物类别

Figure 2 Food groups that contribute to the total dietary exposure to perchlorate of the different age groups in two are

因高氯酸盐水溶性较强,植物树叶部分更容易吸收和富集土壤中的高氯酸盐^[9,40],故茶叶和叶类蔬菜中高氯酸盐含量最高,而茶叶中高氯酸盐含量高于蔬菜,与先前研究结果一致^[28],可能是因为茶树的树叶通过根系和维管组织^[26,41]比蔬菜更容易富集高氯酸盐并且经过进一步干燥浓缩,同时植物中高氯酸盐含量还取决于植物品种、土壤中的高氯酸盐浓度、季节等多种因素^[42-43];肉类富含蛋白质和脂肪,水溶性较低,其高氯酸盐污染水平可能与肉的种类有关,其中韩国一项暴露评估结果表明^[44],鸡肉、鸭肉以及牛肉中高氯酸盐含量远高于猪肉;于艳丽和李杰^[45]的研究也发现鸡肉、鸭肉中高氯酸盐含量远高于猪肉,同时也可能与动物体内生物利用度有关^[46],其利用率会随着高氯酸盐浓度的增加而升高,同时因为在动物体内不产生次级代谢产物,大部分高氯酸盐经尿液排出。

研究还发现,蔬菜是我国居民膳食中高氯酸盐暴露的重要途径,占高氯酸盐总暴露量的79.40%,这与很多研究结果相似,如CALDERÓN等^[47]发现,蔬菜和水果是高氯酸盐摄入的重要来源(膳食贡献率>50%)。同时一般人群经茶叶摄入高氯酸盐暴露量占总膳食的占比为16.30%,并随着年龄的增加而增大,而在饮茶人群中经茶叶摄入高氯酸盐暴露量占总膳食的占比高达83.30%,主要集中在19~65岁年龄组(占总人群的90%)。一般人群和饮茶人群贡献食品差异大的原因可能是饮茶人群在一般人群

群中的比例较小(3.56%),同时茶叶中高氯酸盐的含量高于蔬菜,可能对于暴露评估的结果产生了较为关键的影响。因为高氯酸盐的高迁移率、高水溶性和高生物蓄积率^[48],所以重点区茶叶的高氯酸盐含量高于非重点区,因此重点区中的19~65岁居民高氯酸盐膳食暴露量最高。而除了茶叶产地对高氯酸盐的含量有影响,茶叶种类和分布部位也会影响,安徽东南部和西部茶叶中成熟叶高氯酸盐的浓度约为嫩叶中的17倍,其成品茶中高氯酸盐含量远低于茶鲜叶,可能是该地区茶叶加工工艺降低了茶叶高氯酸盐的含量^[28]。与一般人群膳食中高氯酸盐概率评估的结果相同,重点区的饮茶人群膳食中高氯酸盐暴露量也高于非重点区。

不同机构设定的健康指导值的侧重点不同。EFSA侧重于高氯酸盐对健康成人甲状腺碘摄入的抑制作用以及早期的指标变化^[18];美国EPA也是以抑制甲状腺对碘的吸收作为关键效应,并通过人体试验确定健康指导值,同时也考虑到保护易感人群;我国同样是基于GREER等^[49]的研究获得高氯酸盐的未观察到有害效应的剂量水平为0.007 mg/kg·BW,同时选择10倍不确定系数对新生儿和婴幼儿等敏感人群提供充分保护,建议tTDI为0.7 μg/kg·BW^[20],而JECFA则考虑甲状腺代偿能力,在50%碘摄入受抑制情况不会造成甲状腺功能和上游调节激素水平的变化,故设置PMTDI为10 μg/kg·BW^[50]。与我国tTDI和JECFA设定的健康指导值综合比较

分析认为,我国居民膳食中高氯酸盐暴露造成甲状腺功能影响的风险总体较低。

本研究首次按照受高氯酸盐污染的程度将地区分为非重点区和重点区对人群膳食中高氯酸盐暴露和饮茶者高氯酸盐暴露进行评估,同时采用概率评估,利用对数正态分布拟合高氯酸盐含量,结合食物消费结构差异分析了两类地区暴露水平的差异原因。但由于已发表的研究数据限制,在暴露评估中也存在一些局限性:首先食品种类不够全面,部分省份和食物品种样本量较小,不同食物种类的样本量差异较大,可能会影响高氯酸盐污染的代表性,但是现有文献中数据较为完整,将高氯酸盐含量数据进行对数转换后加蒙特卡罗上万次重复抽取,在一定程度上减少了误差;其次重点区域和非重点区域的划分需要更加细化;最后,虽然大量研究表明蔬菜是膳食中高氯酸盐暴露的重要途径,而谷类及其他食品中高氯酸盐的污染现象也值得关注。因已有研究数据很少,本研究未纳入消费量较高的谷类,也未考虑饮用水(包括烹调用水)造成的额外摄入等因素,导致结果存在一定低估。同时没有考虑在烹调加工过程中,高氯酸盐可能发生的降解或流失,可能导致结果的高估。

本研究结果表明,我国居民膳食中高氯酸盐暴露造成甲状腺功能影响的风险总体较低,蔬菜是主要贡献食品,贡献率为79.40%,茶叶对膳食总暴露的贡献率为16.30%,而在饮茶人群中,茶叶是主要贡献食品,贡献率为83.30%。由于污染地理分布差异,存在一些重点地区因局部高污染等因素,导致暴露量高于其他地区,对我国重点地区蔬菜和茶叶中高氯酸盐污染应予关注。

参考文献

- [1] WILLIAM E, MOTZER, MANAGER R, et al. Perchlorate: Problems, detection, and solutions[J]. *Environmental Forensics*, 2001, 2(4): 301-311.
- [2] SMITH P N, YU L, MCMURRY S T, et al. Perchlorate in water, soil, vegetation, and rodents collected from the Las Vegas wash, Nevada, USA[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 132(1): 121-127.
- [3] ZHANG B, AN W, SHI Y, et al. Perchlorate occurrence, sub-basin contribution and risk hotspots for drinking water sources in China based on industrial agglomeration method[J]. *Environment International*, 2022, 158: 106995.
- [4] KUMARATHILAKA P, OZE C, INDRARATNE S, et al. Perchlorate as an emerging contaminant in soil, water and food[J]. *Chemosphere*, 2016, 150: 667-677.
- [5] WANG Y, DONG J, CHEN M, et al. Dietary exposure and risk assessment of perchlorate in diverse food from Wuhan, China [J]. *Food Chemistry*, 2021, 358: 129881.
- [6] STURCHIO N C, BELOSO JR A, HERATY L J, et al. Isotopic tracing of perchlorate sources in groundwater from Pomona, California[J]. *Applied Geochemistry*, 2014, 43: 80-87.
- [7] MURRAY C W, EGAN S K, KIM H, et al. US Food and Drug Administration's total diet study: Dietary intake of perchlorate and iodine[J]. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2008, 18(6): 571-580.
- [8] URBANSKY E T. Perchlorate chemistry: Implications for analysis and remediation[J]. *Bioremediation Journal*, 1998, 2(2): 81-95.
- [9] SANCHEZ C A, KRIEGER R I, KHANDAKER N, et al. Accumulation and perchlorate exposure potential of lettuce produced in the lower Colorado River region[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(13): 5479-5486.
- [10] 闫旭. 我国重点流域及重点地区饮用水中高氯酸盐污染水平调查研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2020.
YAN X. Investigation on perchlorate pollution level of drinking water in key river basins and key areas in China[D]. Beijing: CDC, 2020.
- [11] LAU F K, DE CASTRO B R, MILLS-HERRING L, et al. Urinary perchlorate as a measure of dietary and drinking water exposure in a representative sample of the United States population 2001—2008 [J]. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2013, 23(2): 207-214.
- [12] CHANG W H, CHEN H L, LEE C C. Dietary exposure assessment to perchlorate in the Taiwanese population: A risk assessment based on the probabilistic approach[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 267: 115486.
- [13] HUBER D R, BLOUNT B C, MAGE D T, et al. Estimating perchlorate exposure from food and tap water based on US biomonitoring and occurrence data[J]. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2011, 21(4): 395-407.
- [14] WANG H R, JIANG Y S, SONG J Y, et al. The risk of perchlorate and iodine on the incidence of thyroid tumors and nodular goiter: A case-control study in southeastern China[J]. *Environmental Health*, 2022, 21(1): 1-12.
- [15] CALDERÓN R, PALMA P, PARKER D, et al. Capture and accumulation of perchlorate in lettuce. Effect of genotype, temperature, perchlorate concentration, and competition with anions[J]. *Chemosphere*, 2014, 111: 195-200.
- [16] LEOTERIO D M S, PAIM A P S, BELIAN M F, et al. Potentiometric perchlorate determination at nanomolar concentrations in vegetables[J]. *Food Chemistry*, 2017, 227: 166-172.
- [17] 吴微, 冯德建, 许洋, 等. 茶叶中高氯酸盐的污染情况及健康风险初步评估[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(4): 173-178.
WU W, FENG D J, XU Y, et al. Pollution and health risk assessment of perchlorate in tea of China [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(4): 173-178.
- [18] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain CONTAM. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of perchlorate in food, in particular fruits and vegetables [J]. *EFSA Journal*, 2014, 12(10): 3869.
- [19] US Environmental Protection Agency Science Advisory Board. SAB advice on approaches to derive a maximum contaminant

- level goal for perchlorate [EB/OL]. (2013-05-29) [2023-06-19]. <https://www.epa.gov/fedfac/revised-assessment-guidance-perchlorate>
- [20] 宁钧宇, 肖文, 魏洪鑫, 等. 高氯酸盐的危害评估[J]. 毒理学杂志, 2021, 35(3): 198-206.
NING J Y, XIAO W, WEI H X, et al. Hazard assessment of the perchlorate[J]. Journal of Toxicology, 2021, 35(3): 198-206.
- [21] Statement as regards the presence of perchlorate in food endorsed by the Standing Committee on Plants, Animals, Food and Feed on 10 March 2015[EB/OL] (2015-06-23) [2023-06-19]. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_perchlorate_statement_food_update_en.pdf.
- [22] ZHANG T, CHEN X J, WANG D, et al. Perchlorate in indoor dust and human urine in China: Contribution of indoor dust to total daily intake[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(4): 2443-2450.
- [23] GAN Z W, SUN H W, WANG R N, et al. Occurrence and exposure evaluation of perchlorate in outdoor dust and soil in mainland China[J]. Science of the Total Environment, 2014, 470-471: 99-106.
- [24] WU Q, ZHANG T, SUN H W, et al. Perchlorate in tap water, groundwater, surface waters, and bottled water from China and its association with other inorganic anions and with disinfection byproducts[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2010, 58(3): 543-550.
- [25] 李冬桂, 农耀京, 吴凤, 等. 蔬菜水果中高氯酸盐检测及污染情况分析[J]. 食品科技, 2021, 46(2): 315-320.
LI D G, NONG Y J, WU F, et al. Detection and analysis of perchlorate contamination in vegetables and fruits [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(2): 315-320.
- [26] 张南, 张根荣, 焦卫婷, 等. 安徽东南和西部地区茶叶中高氯酸盐含量分析[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(3): 345-348.
ZHANG N, ZHANG G R, JIAO W T, et al. Analysis of perchlorate content in tea from southeastern and western Anhui [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2020, 47(3): 345-348.
- [27] 张书芬, 满正印, 应璐, 等. 宁波地区茶叶中高氯酸盐和氯酸盐污染现状与风险评估[J]. 食品工业, 2019, 40(9): 209-213.
ZHANG S F, MAN Z Y, YING L, et al. Status and risk assessment of perchlorate and Chlorate contamination in tea in Ningbo[J]. The Food Industry, 2019, 40(9): 209-213.
- [28] 宇盛好, 李亦奇, 张旭晟, 等. 上海市市售食品中高氯酸盐污染的暴露评估[J]. 上海预防医学, 2017, 29(6): 426-430.
YU S H, LI Y Q, ZHANG X S, et al. Perchlorate contamination exposure assessment on commercial foods in Shanghai [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2017, 29(6): 426-430.
- [29] GAN Z W, PI L, LI Y W, et al. Occurrence and exposure evaluation of perchlorate in indoor dust and diverse food from Chengdu, China[J]. The Science of the Total Environment, 2015, 536: 288-294.
- [30] 许浩. 高氯酸盐在婴幼儿食品中的暴露评估及其体外生物利用率[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
XU H. Exposure assessment of perchlorate in infant food and its bioavailability *in vitro* [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019.
- [31] LI M, XIAO M, XIAO Q, et al. Perchlorate and chlorate in breast milk, infant formulas, baby supplementary food and the implications for infant exposure [J]. Environment International, 2022, 158: 106939.
- [32] LIU Q, MAO W F, JIANG D G, et al. The contamination and estimation of dietary intake for perchlorate and chlorate in infant formulas in China [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2021, 38(12): 2045-2054.
- [33] CHEN Y N, ZHU Z, ZHAO Y, et al. Perchlorate in shellfish from South China Sea and implications for human exposure [J]. Marine Pollution Bulletin, 2021, 170: 112672.
- [34] 陈斌, 郑勇. 中国航天发射任务的统计与分析 [J]. 中国航天, 2022, 528(4): 41-47.
CHEN X, ZHENG Y. Statistics and analysis of China's space launch mission [J]. Aerospace China, 2022, 528(4): 41-47.
- [35] 林俊, 王胜芝. 我国烟花爆竹产业现状分析及推进产业转型的五点建议 [J]. 花炮科技与市场, 2015, 21(3): 27-28.
LIN J, WANG S. Analysis of the current situation of China's fireworks and fireworks industry and five suggestions for promoting industrial transformation [J]. Fireworks Technology and Market, 2015, 21(3): 27-28.
- [36] LIAO Z Y, CAO D L, GAO Z B. Monitoring and risk assessment of perchlorate in tea samples produced in China [J]. Food Research International, 2022, 157: 111435.
- [37] HAJOK I, KOWALSKA A, PIEKUT A, et al. A risk assessment of dietary exposure to ochratoxin A for the Polish population [J]. Food Chemistry, 2019, 284: 264-269.
- [38] Combine Means and SDs into one group program [DB/OL]. (2020-03-01) [2022-11-10]. <https://www.statstodo.com/CombineMeansSDs.php>.
- [39] WAN X, WANG W Q, LIU J M, et al. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, median, range and/or interquartile range [J]. BMC Medical Research Methodology, 2014, 14: 135.
- [40] TRUMPOLT C W, CRAIN M, CULLISON G D, et al. Perchlorate: Sources, uses, and occurrences in the environment [J]. Remediation Journal, 2005, 16(1): 65-89.
- [41] 陈桂葵, 骆世明, 杜宁宁, 等. 高氯酸盐对水稻生理生态的影响及其在稻田系统中的分布规律 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(11): 2137-2144.
CHEN G K, LUO S M, DU N N, et al. Effect of perchlorate on rice eco-physiological characteristics and its distribution in the paddy field system [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(11): 2137-2144.
- [42] YIFRU D D, NZENGUNG V A. Uptake of perchlorate by vegetation growing at field sites in arid and subhumid climates [J]. Remediation Journal, 2007, 17(4): 53-68.
- [43] YU L, CAÑAS J E, COBB G P, et al. Uptake of perchlorate in terrestrial plants [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2004, 58(1): 44-49.
- [44] LEE J W, OH S H, OH J E. Monitoring of perchlorate in diverse foods and its estimated dietary exposure for Korea populations

- [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 243: 52-58.
- [45] 于艳丽, 李杰. 高效液相色谱-串联质谱法测定肉类中的氯酸盐和高氯酸盐[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(11): 265-270.
YU Y L, LI J. Determination of Chlorate and perchlorate amounts in meat by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(11): 265-270.
- [46] 王英杰. 大鼠暴露高氯酸盐的毒代动力学与代谢组学研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2020.
WANG Y J. Toxicokinetics and metabonomics of rats exposed to perchlorate [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2020.
- [47] CALDERÓN R, GODOY F, ESCUDEY M, et al. A review of perchlorate (ClO₄) [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, 189(2): 82.
- [48] 田一媚, 宫智勇. 食品中高氯酸盐的污染现状及毒理作用研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 276-281.
TIAN Y M, GONG Z Y. Advances in research on pollution status and toxicological effects of perchlorate in food matrices [J]. *Food Science*, 2020, 41(5): 276-281.
- [49] GREER M A, GOODMAN G, PLEUS R C, et al. Health effects assessment for environmental perchlorate contamination: The dose response for inhibition of thyroidal radioiodine uptake in humans [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002, 110(9): 927-937.
- [50] Safety evaluation of certain contaminants in food: prepared by the seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) [EB/OL]. (2011-01-01) [2022-11-02]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241660631>.

《中国食品卫生杂志》投稿须知

《中国食品卫生杂志》是中华预防医学会、中国卫生信息与健康医疗大数据学会共同主办的国家级食品卫生学术期刊,为中文核心期刊、中国科技核心期刊。《中国食品卫生杂志》的办刊方针是普及与提高并重。设专家述评、论著、研究报告、实验技术与方法、监督管理、调查研究、风险监测、风险评估、食品安全标准、食物中毒、综述等栏目。《中国食品卫生杂志》既报道食品安全领域的重大科研成果,也交流产生、发现于实际工作的研究结论;既涉足实验室,又深入监督管理现场;全方位报道国内外食品安全的政策、理论、实践、动态。

1 投稿的基本要求

文稿应具有创新性、科学性、实用性,文字精练,数据准确,逻辑性强。文章一般不超过 5000 字,如遇特殊情况请与编辑部联系。投稿时邮寄单位推荐信,介绍该文的作者、单位,文章的真实性,是否一稿两投,是否属于机密,是否受各类基金资助。如为基金资助项目,应附带资助的合同文本封面和课题参加者名单页复印件或获奖证书复印件。

2 文稿中应注意的问题

投稿前最好先阅读本刊,以便对本刊有基本的了解。尤其要注意以下问题。

- 2.1 作者和单位的中英文名字、所在地、邮编分别列于中英文题目之下,单位的英文名称应是系统内认可的、符合规范的。
- 2.2 个人署名作者在 2 人(含 2 人)以上以及集体作者,应指定一位通信作者(corresponding author)。第一作者及通信作者应有简短的中文自传:姓名、性别、学位、职称、主攻研究方向,放在文稿第一页的左下方。副高职称以上的作者应有亲笔签名。
- 2.3 受资助的情况(资助单位、项目名称、合同号)用中英文分别列于文稿左下方。
- 2.4 所有稿件都应有中英文摘要。一般科技论文的摘要包括:目的、方法、结果、结论。作者应能使读者通过阅读摘要就能掌握该文的主要内容或数据。为便于国际读者检索并了解文章的基本信息,英文摘要应比中文摘要更详细。
- 2.5 每篇文章应标注中英文关键词各 3~8 个。
- 2.6 缩略语、简称、代号除了相邻专业的读者清楚的以外,在首次出现处必须写出全称并注明以下所用的简称。如新术语尚无合适的中文术语译名可使用原文或译名后加括号注明原文。
- 2.7 用于表示科学计量和具有统计意义的数字要使用阿拉伯数字。
- 2.8 研究对象为人时,须注明试验组、对照组受试者的来源、选择标准及一般情况等。研究对象为试验动物时需注明动物的名称、种系、等级、数量、来源、性别、年龄、体重、饲养条件和健康状况等。动物试验和人体试验均需伦理审查文件。
- 2.9 药品、试剂使用化学名,并注明主要试剂的剂量、单位、纯度、批号、生产单位和日期。
- 2.10 主要仪器、设备应注明名称、型号、生产单位、精密度或误差范围。
- 2.11 图、文字和表格的内容不要重复,图、表应有自明性,即不看正文就能理解图意、表意。
- 2.12 所引的参考文献仅限于作者亲自阅读过的。未公开发表或在非正式出版物上发表的著作如确有必要引用,可用圆括号插入正文或在当页地脚加注释说明。原文作者若不超过 3 人应将作者姓名依次列出,中间用“,”隔开,3 位以上作者则列出前 3 位,逗号后加“等”。参考文献格式如下:

期刊文章:[序号] 主要责任者(外文人名首字母缩写,缩写名后不加缩写点). 文献题名[文献类型标志]. 刊名, 年,卷(期): 起页-止页.

举例 [1] 汪国华,马进,季适东,等. 急性出血坏死性胰腺炎的手术治疗[J]. *中级医刊*, 1995, 30(8): 22-25.