



杨春霞. 食品安全化学性污染物高氯酸盐污染现状及风险管控策略[J]. 黑龙江农业科学, 2023(4):71-76.

食品安全化学性污染物高氯酸盐污染 现状及风险管控策略

杨春霞

(宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要:人类对高氯酸盐的高度关注源于高氯酸的危害性。我国尚缺乏具有法律效力的有毒污染物环境风险管控体系和针对高氯酸盐管控政策,导致我国食品中高氯酸盐风险监测力度不够,溯源分析滞后,限量标准缺乏。且现有高氯酸盐风险监测对象多以商品化产品为主,缺乏地域特色农产品及食品中高氯酸盐污染现状摸排、风险水平评估、污染暴露途径、溯源分析等相关研究,同样农产品种植及生产加工环节也缺乏高氯酸盐污染监测与控制。针对以上问题,从食品中高氯酸盐污染现状、风险管控存在的问题方面进行综述,旨在让人们了解食品中高氯酸盐的污染水平和风险管控现状,使人们高度重视膳食累积摄入高氯酸的严重危害性。基于我国环境管理现状和需求,提出严格控制食品中高氯酸盐污染,制定具体风险管控措施,追溯污染源和污染途径,分析污染水平等全过程管控建议。通过借鉴国外成熟管控经验和成效,在未来的研究工作中制定完善适合我国的食品安全污染物高氯酸盐管控的具体政策措施。

关键词:食品安全;高氯酸盐;污染现状;风险;管控措施

美国是最先发现高氯酸盐并展开相关研究的国家。美国环境保护署(USEPA)对环境中的高氯酸盐进行风险评估并将其列入环境污染物候选名单^[1],后续世界范围内开展有关高氯酸盐的相关研究。中国学者对高氯酸盐的关注源于2016年《新京报》报道的我国出口欧盟的茶叶样本中检测出高氯酸盐^[2]。欧盟委员会发布(EU)2020/685号条例,规定了茶叶中高氯酸盐的最大残留量为 $0.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[3],这对我国茶叶对外贸易构成了潜在风险。

高氯酸盐是一种物理化学性质稳定、水溶性强、扩散性极强的高持久性无机有毒环境污染物。人类对高氯酸盐的高度关注源于高氯酸的危害性。相关急性毒性、亚慢性毒性、慢性毒性、遗传毒性、发育毒性等测试表明,高氯酸盐会干扰甲状腺中碘化物的运输,影响甲状腺素的合成,人体长期累积摄入高氯酸盐会影响正常新陈代谢,尤其对碘缺乏的年轻群体及碘缺乏症母乳喂养的婴儿甲状腺功能和智力发育有严重影响^[4-5]。关于高氯酸盐的人体每日容许摄入量,USEPA在2005年和2015年规定参考剂量为 $0.70\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[6],FDA建议参考剂量为 $0.53\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[7]。欧盟食品科学委员会

(SCF)建议食品中的限量为 $0.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[8]。

食品中高氯酸盐的来源主要是通过工业排放、肥料施用、氯类消毒剂的降解、氯类杀菌剂除草剂的施用等进入水体、土壤,进而富集到植物,最终进入食物链。由于原有检测设备和技术手段落后,对这种痕量物质不能准确广泛检测,加之对高氯酸盐的危害认识不足,缺乏监督管理制度,从而增加了高氯酸盐的盲目排放。国际国内几乎所有监测点的水、肉制品、谷物粮食、瓜果蔬菜、海产品等中均检测出了高氯酸盐。高氯酸盐污染俨然成为一个世界范围内问题,这对农产品、食品安全、人体健康、对外贸易构成了潜在风险。研究表明:人群通过食物摄入高氯酸盐的暴露量占总暴露量的83%^[9],而大于50%^[10]的膳食摄入来源于蔬菜和水果。通过风险调查,我国食品中高氯酸盐的检出率已超过国外安全标准规定的阈值,污染隐患逐年增加。

虽然,国内外已开展了不同类别食品中高氯酸盐的污染监测与膳食风险评估研究并制定了一系列管控措施。但我国缺乏具有法律效力的有毒污染物环境风险管控体系,无针对性的高氯酸盐管控政策,且不能及时关注高氯酸盐引起的健康风险。导致我国食品高氯酸盐风险监测力度不够,溯源分析滞后,限量标准缺乏。为解决以上问题,唤醒人们高度重视膳食累积摄入高氯酸的严重危害性,控制食品中高氯酸盐污染,我国必需制定相应风险管控措施。

收稿日期:2022-11-08

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2022BEG03069);
2022年第二批自治区人才专项青年拔尖人才项目。

作者简介:杨春霞(1983—),女,硕士,助理研究员,从事农产品质量安全与检测研究。E-mail:xia0113@126.com。

1 不同类别食品中高氯酸盐污染现状分析

从生产到食物链,高氯酸盐通过水体、土壤等介质逐级富集后对农产品和食品安全构成威胁。水和食物是人类接触高氯酸盐的最直接途径。近年来,不同国家通过对高氯酸盐风险监测和暴露评估发现,在日常生活中的水、牛奶、蔬菜、水果、肉制品、乳制品等介质中均检出了一定量的高氯酸盐^[11-13],检出率高,污染范围广,潜在风险十分严重。

1.1 水体中高氯酸盐污染现状

高氯酸盐在水中具有高溶解性,使其在自然水系中持续迁移并扩散,最终造成大范围污染。食品中高氯酸盐的污染可追溯到水体的污染。研究表明^[14],用含有高氯酸盐的水灌溉之后,高氯酸盐在植物的根、茎、叶片、果实及种子中有一定量富集。

1.1.1 国外 1997年的美国水体高氯酸盐污染调查资料显示:美国在超过5%总人口的居住区的地表水、地下水、土壤和公共饮用水等系统中均检测出高氯酸盐^[15]。2004—2006年美国FDA进行的一项大规模调查显示饮用水中均检出不同浓度的高氯酸盐,平均含量为 $9.85\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[16]。日本研究人员调查发现日本河流上游、Usui河的高氯酸盐检出质量浓度达 0.34 和 $2.30\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,污染严重,Tone河周边的30个自来水样品中均有高氯酸盐检出,其中有13个自来水样品的高氯酸盐含量超过了 $10.00\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[17]。英国威尔士地区水源水、饮用水中高氯酸盐最大检出质量浓度为 4.98 和 $2.07\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[18]。韩国饮用水中高氯酸盐质量浓度在 $0.15\sim 35.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[19]。土耳其饮用水中高氯酸盐平均质量浓度为 $0.07\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[20]。印度地表水和地下水的高氯酸盐最高检出质量浓度分别达 7.27 和 $0.36\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,饮用水中高氯酸盐的检出浓度为 $0.10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[21]。

1.1.2 国内 2008年我国开展饮用水中高氯酸盐风险监测,发现被监测水体中均检出一定浓度的高氯酸盐,其质量浓度范围为 $0.15\sim 152.00\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,平均质量浓度为 $6.05\pm 17.23\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[22]。浏阳河河水中高氯酸盐污染严重,其质量浓度达 $65.8\sim 170.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[23]。北京市饮用水厂源水及出厂水中均检测出一定量的高氯酸盐,平均质量浓度为 $2.11\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[24]。我国学者对北京、上海、天津、哈尔滨、沈阳、济南、泰安、郑州、开封、南昌、衡阳、成都、临汾、昆明和深圳地区300份水样中高氯酸

盐污染情况调查分析,发现包括自来水、地下水、地表水和瓶装水在内的258份水样中均检出了高氯酸盐(占比86.0%),以长江流域的水体高氯酸盐污染较为严重,其质量浓度在 $0.02\sim 54.40\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,溯源分析表明:当地地表水、地下水和土壤中高氯酸盐主要是当地烟花生产和表演导致的^[25]。

以上研究结果说明,高氯酸盐在水体中的检出率高、污染范围广,潜在风险严重。高氯酸盐污染风险管控重点在于水体,因此需要明确造成水体污染的排放源、确定污染物水平、制定限量标准,进而确保饮用水安全。

1.2 不同食品类别中高氯酸盐污染现状

1.2.1 谷物 高氯酸盐在谷物中普遍存在。我国主产粮区15个省份的稻谷中高氯酸盐检出率为86.8%,暴露水平为 $5.44\sim 22.96\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;玉米中的检出率达72.9%,暴露水平为 $0.96\sim 9.25\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;小麦检出率达到87.8%,暴露水平为 $7.06\sim 24.45\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[26]。杨佳佳^[27]检测出谷物中高氯酸盐含量在 $6.60\sim 76.20\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Ye^[28]检测出哈尔滨市7个玉米样品中高氯酸盐含量在 $0.18\sim 0.40\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Sanchez等^[29]研究发现科罗拉多河水体被附近的航空和国防相关燃料工业低浓度的高氯酸铵污染,小麦经该水体灌溉后高氯酸盐含量高达 $0.98\sim 3.92\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2.2 乳制品 基于高氯酸盐对婴幼儿的严重危害,开展乳制品及婴幼儿食品中高氯酸盐污染水平调查及暴露风险具有重要意义。2003年Krik等^[30]在牛奶及母乳中检测出高氯酸盐,并且母乳中的高氯酸盐含量显著高于牛乳。2009年,美国环境工作小组公布了15个品牌婴幼儿奶粉中均检出一定浓度的高氯酸盐^[31]。韩国一项关于市售食品研究表明,乳制品中高氯酸盐暴露水平最大为 $6.34\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[11]。2017年上海市对市售乳制品中高氯酸盐污染水平进行摸排,发现抽检10个样本中高氯酸盐的检出率为90.0%,平均检测值为 $6.80\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[32]。我国研究人员对婴幼儿奶粉、米粉以及国产婴幼儿面类食品中高氯酸的污染及暴露水平进行了评估,发现婴幼儿相关产品中的高氯酸盐检出率高达85.3%,检出值在 $0.10\sim 103.34\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。一、二、三段奶粉中高氯酸盐暴露量分别为每公斤体重每天 $0.28, 0.27$ 和 $0.14\mu\text{g}$ ^[32-33]。美国FDA^[34]报道了关于6~11个月的婴幼儿群体的高氯酸盐暴露水平(每公斤体重每天 $0.26\sim 0.29\mu\text{g}$)、2岁幼儿的暴露水平(每公斤体重每天 $0.35\sim 0.39\mu\text{g}$),我国婴幼儿食品中高氯酸盐暴露水平与之相当。

1.2.3 果蔬类 果蔬类食品中高氯酸盐污染普遍存在。研究表明,高氯酸盐在食品中的暴露量贡献率大小依次为蔬菜、肉类、水果、茶叶、蛋类。上海市出售的 80 份食物样品中有 63 份检测出了高氯酸盐,检出率达 78.8%,高氯酸盐平均检测值为 $13.0 \pm 26.4 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其中,茶叶中高氯酸盐平均检测值最高,为 $59.0 \pm 51.9 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,水果中高氯酸盐平均检测值最低,为 $3.40 \pm 2.30 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1[32]}$ 。几乎所有监测点的西红柿、菠菜、茼蒿、胡萝卜等蔬菜均检测出了高氯酸盐,因为植物能够快速捕获和积累高氯酸盐并将其储存在叶子中,所以多叶菜类蔬菜中高氯酸盐含量富集较高^[35]。武汉市出售的 300 份食物样品中蔬菜中高氯酸盐平均含量达 $33.38 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中菠菜中高氯酸盐含量最高,生菜次之,两者平均浓度为 $80.92 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1[36]}$ 。Wang 等^[37]在加拿大渥太华地区共采集了包括各种蔬菜、水果、果汁及一些进口食品在内的 150 份样品开展高氯酸盐污染水平调查及暴露分析,发现本地区 1~4 岁幼儿和 5~11 岁儿童的水果蔬菜中高氯酸盐暴露量分别为每公斤体重每天 0.03 和 0.04 μg 。智利、墨西哥、哥斯达黎加、危地马拉、土耳其等国家在杏子、西红柿、哈密瓜中检测了一定浓度的高氯酸盐,其含量为 $62.8 \sim 463.5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1[38]}$ 。韩国对豆芽、水芹、菠菜和番茄中高氯酸盐污染监测摸排,发现豆芽、水芹、菠菜、番茄中高氯酸盐含量在 $7.31 \sim 35.2 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,存在较高安全风险^[38]。

1.2.4 茶叶 我国是一个茶叶产出大国。高氯酸盐对茶叶的污染直接对外贸构成了潜在风险。对取自不同国家、地区及国内市售茶叶随机抽检,发现北京市抽检的 190 份市售茶叶中均检出不同浓度的高氯酸盐,平均含量为 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1[39]}$ 。抽检我国福建、广东、江西和海南产的 123 份茶叶样本,发现有 112 份样本中检出了高氯酸盐,检出率达 91.1%,含量在 $1.01 \sim 735.0 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1[40]}$ 。91 个不同国家和地区的绿茶、红茶、黑茶及茶叶鲜叶样本中高氯酸盐检出率为 90.5%,含量范围 $0.01 \sim 1.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1[41]}$ 。2016—2017 年对安徽、江西、四川、贵州及重庆等地部分茶叶主产区的茶叶样本进行抽检,450 批次中高氯酸盐检出率为 100%,平均含量为 $0.24 \sim 0.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中将近 10% 的茶叶样品高氯酸盐超过了欧盟限量值 ($0.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[42-43]。茶叶中高氯酸盐的溯源分析结果表明:茶叶中高氯酸盐污染主要源自于灌溉水、土壤、含高氯酸盐肥料的施用以及茶树本身的富集能力等^[42]。

2 美国食品中高氯酸盐污染物风险管控现状

美国是最早系统地开展高氯酸盐水质监测、人体健康风险评估、溯源分析的国家,明确了高氯酸盐潜在排放源,制定了系统的饮用水标准更新修订程序、废水中有毒污染物排放管控制度,制定了 CCL 清单筛选监管污染物,开展高氯酸盐毒性研究并确定参考剂量,制定相应的国家饮用水标准值及管控限值^[44]。出台了《高氯酸盐最佳管理实践条例》^[45]、《国防部与高氯酸有关的必要行动政策》^[46]、《圣地亚哥公开烟花表演活动通用型排污许可证》^[47]、《关于钙、钠和次氯酸钾的临时决定》^[48]管控政策,提出了管控要求,管理经验成熟,成效显著。相继制定了高氯酸盐的管控限值,2005 年,EPA 制定了高氯酸盐毒性参考剂量为每公斤体重每天 0.7 μg ^[49];2008 年制定了高氯酸盐饮用水卫生建议值为每公斤体重每天 15.0 μg ^[50-51]。加利福尼亚州和马萨诸塞州制定了高氯酸盐饮用水标准值分别为 $6.00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1[52]}$ 和 $2.00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1[53]}$ 。EPA 确定高氯酸盐的筛选水平为 $14.00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1[54]}$,美国 19 个州制定了高氯酸盐筛选水平,范围为 $0.80 \sim 71.00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1[55]}$,超过该值代表着存在潜在的重大污染水平,要进一步调查。

3 我国在高氯酸盐风险管控方面的不足和努力方向

3.1 高氯酸盐针对性管控的缺乏

我国缺乏完整的有毒污染物环境风险管控体系,对高氯酸盐尚未开展针对性管控政策,不能及时关注高氯酸盐的健康风险。在 2006 年出台的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中,高氯酸盐不在其列。环保部将高氯酸盐列入“2008 年第一批高污染、高环境风险产品”,但对其在食品、饮用水中的限定值尚未做出明确规定^[30]。2017 年出台的 BSJ201706 补充方法规定了饮用水、液体乳、大米、胡萝卜、哈密瓜、猪肉、鱼肉、茶叶、婴幼儿配方乳中高氯酸盐和氯酸盐的测定方法,这为我国食品安全污染物高氯酸盐控制提供了技术保障。但是有关高氯酸盐污染风险限量标准及管控限值仍然以参考国外相关标准为依据,实际风险评估工作中依靠专家和管理部门综合研判决策开展现象居多。

3.2 国内高氯酸盐监测管控的挑战

我国相关领域工作者在高氯酸盐污染监测治理方面存在以下六方面挑战:(一)公众对高氯酸

盐的危害性认识不足,甚至都不知道食品中存在高氯酸盐污染物。即使食品中普遍存在高氯酸盐污染,认为其浓度含量低,不会对人体产生危害。(二)我国缺乏针对高氯酸盐管控政策措施,增加了高氯酸盐的盲目排放,潜在风险增加。(三)我国环境管理基础信息和风险底数不清,污染源不明。(四)我国针对高氯酸盐有毒污染物危害信息严重缺失,风险管控技术标准体系尚未建立,高氯酸盐的溯源分析、地域分布、污染水平、污染途径、污染暴露量及风险评估不清。(五)我国针对高氯酸盐的风险监测力度不够、监测对象不够全面,监测数据缺乏。(六)缺乏相关限量标准。

3.3 完善国内高氯酸盐管控措施

综上所述,虽然,我国已经开展了相关食品中高氯酸盐污染现状摸排,明确了现阶段食品中高氯酸盐污染水平,但是仍存在风险监测力度小,监测面窄、监测种类少,涉及监测对象多以商品化产品为主等不足。尤其缺乏地域特色农产品、食品及农产品种植环节、生产加工环节中高氯酸盐监测、污染水平评估、污染暴露途径、溯源分析等研究。加上我国未出台相应的污染物管控措施,无相关限量标准,人们对高氯酸盐的危害性认识不足,导致农产品质量安全中对高氯酸盐污染物风险监测力度不够。针对这一问题,国内研究者应该加大高氯酸盐的深入研究,借鉴国外的管控政策措施及成效,有针对性地提出并制定适合我国的高氯酸盐污染物管控措施。(一)要唤醒人们正确认识并客观对待高氯酸盐危害性,做好高氯酸盐危害性科普工作,增强人们对食品安全污染物高氯酸盐的重视。(二)要提出并制定适合我国的污染物高氯酸盐管控措施,建立健全管控体制机制。以源头控制和预防为主,建立涵盖环境调查监测、溯源分析、风险评估及管控的长效管理体制,用制度和体制保障我国农产品质量安全。(三)加大溯源分析,明确高氯酸盐的污染来源,从种植和生产加工环节入手,定期开展污染监测,分析污染水平,暴露污染途径,开展风险评估,实现全过程管控。(四)要加大风险监测力度,实现监测对象全覆盖,对存在问题的重点监测,不断补充完善各类产品高氯酸盐风险监测数据,补充完善我国高氯酸盐污染物风险评估数据库,对我国食品中高氯酸盐精准筛查、科学评估和环境风险管控提供数据支撑。(五)要强化技术能力,出台相关检测技术方法,制定相关限量标准,做到有标可依,提高高氯酸盐污染物风险管理的准确性和科学性。

参考文献:

- [1] PERCIASEPE R. Announcement of the drinking water contaminant candidate list[J]. Federal Regist, 1998, 63(40):10273-10287.
- [2] 李栋.不只是茶叶中高氯酸盐污染成世界难题[N].新京报,2016-02-23(B11)[2022-11-01].
- [3] 欧盟委员会.欧盟委员会发布(EU)2020/685号条例[EB/OL].(2020-7-1)[2022-11-01]. <https://www.puer.cn.com/news/69609>.
- [4] 田一媚,官智勇.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.
- [5] MILLER M D,CROFTON K M,RICE D C,et al. Thyroid-disrupting chemicals: interpreting upstream biomarkers of adverse outcomes[J]. Environmental Health Perspectives, 2009,117(7):1033-1041.
- [6] KANNAN K, PRAAMSMA M L, OLDI J F, et al. Occurrence of perchlorate in drinking water, groundwater, surface water and human saliva from India [J]. Chemosphere:environmental toxicology and risk assessment, 2009,76(1):22-26.
- [7] US Food and Drug Administration. Preliminary estimation of perchlorate dietary exposure based on FDA 2004/2005 exploratory data [EB/OL]. (2017-12-27)[2022-11-01]. <https://www.fda.gov/food/process-contaminants-food/preliminary-estimation-perchlorate-dietary-exposure-based-fda-20042005-exploratory-data>.
- [8] Scientific Committee on Food. Opinion of the Scientific Committee on Food on the 23th additional list of monomers and additives for food contact materials [EB/OL]. (2002-09-26)[2022-11-01]. <https://cdn.shopify.com/s/files/1/2234/2707/files/iodine-ul-upper-intake-limit.pdf?1912130-360668524537>.
- [9] OH S H,LEE J W,MANDY P,et al. Analysis and exposure assessment of perchlorate in Korean dairy products with LC-MS/MS[J]. Environmental Health and Toxicology, 2011,26:e2011011.
- [10] CALDERÓN R,GODOY F,ESCUDEY M,et al. A review of perchlorate (ClO_4^-) occurrence in fruits and vegetables [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2017,189(2):81-93.
- [11] KIRK A B,SMITH E E,TIAN K,et al. Perchlorate in milk[J]. Environmental Science and Technology,2003,37(21):4979-4981.
- [12] 邵琳智,吴映璇,欧阳少伦,等.离子交换高效液相色谱-串联质谱法测定鸡肉和鸡肝中的高氯酸盐[J].食品科学,2016,37(20):167-171.
- [13] FRAM M S,BELITZ K. Probability of detecting perchlorate under natural conditions in deep groundwater in California and the southwestern United States [J]. Environmental Science and Technolog,2011,45(4):1271-1277.
- [14] 李冬桂,吴凤,吕丽兰,等.蔬菜、水果中高氯酸盐的污染情况及健康风险评估[J].食品工业[J].2021,21(4):497-500.
- [15] SHI Y L,ZHANG P,WANG Y W,et al. Perchlorate in

- sewage sludge, rice, bottle water and milk collected from different areas in China [J]. *Environment International*, 2007, 7: 955-962.
- [16] 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.
- [17] KOSAKA K, ASAMI M, MATSUOKA Y, et al. Occurrence of perchlorate in drinking water sources of metropolitan area in Japan [J]. *Water Research*, 41(15): 3480-3482.
- [18] BARDIYA N, BAE J H. Dissimilatory perchlorate reduction: a review [J]. *Microbiological Research*, 2011, 166(4): 237-254.
- [19] QUINONESO, OH J E, VANDERFORD B, et al. Perchlorate assessment of the Nakdong and Yeongsan watersheds, Republic of Korea [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2007, 26(7): 1349-1354.
- [20] ERDEMGIL Y, GÖZET T, CAN Ö, et al. Perchlorate levels found in tap water collected from several cities in Turkey [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(158): 1-7.
- [21] KANNAN K, PRAAMSMA M L, OLIDI J F, et al. Occurrence of perchlorate in drinking water, groundwater, surface water and human saliva from India [J]. *Chemosphere: Environmental Toxicology and Risk Assessment*, 2009, 76(1): 22-26.
- [22] 陈文秀, 何纳轮, 史亚利, 等. 我国人群高氯酸盐暴露途径及贡献率分析[J]. *科学通报*, 2020, 65(14): 1387-1394.
- [23] 史亚利, 高健民, 李鑫, 等. 浏阳河水、底泥和土壤中高氯酸盐的污染[J]. *环境化学*, 2010, 29(3): 388-391.
- [24] 刘勇建, 牟世芬, 林爱武, 等. 北京市饮用水中溴酸盐、卤代乙酸及高氯酸盐研究[J]. *环境科学*, 2004(2): 51-55.
- [25] WU Q, ZHANG T, SUN H, et al. Perchlorate in tap water, groundwater, surface waters, and bottled water from China and its association with other inorganic anions and disinfection by products [J]. *Archives Environmental Contamination Toxicology*, 2010, 58(3): 543-550.
- [26] 刘恋. 粮食主产区谷物中高氯酸盐的暴露水平及其在稻谷中分布规律[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
- [27] 杨佳佳. 中国居民膳食高氯酸盐和溴酸盐暴露水平研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2012.
- [28] YE L, YOU H, YAO J, et al. Seasonal variation and factors influencing perchlorate in water, snow, soil and corns in Northeastern China [J]. *Chemosphere*, 2013, 90(10): 2493-2498.
- [29] SANCHEZ C A, KRIEGER R I, VALENTIN-BLASINI L, et al. Perchlorate accumulation and potential exposure from durum wheat irrigated with Colorado river water [J]. *Journal of ASTM International*, 2006, 3(7): 6.
- [30] KRIK A B, MARTINELANGO P K, TIAN K, et al. Perchlorate and iodide in dairy and breast milk [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(7): 2011-2017.
- [31] 张卫. 关于茶叶中的新型污染物高氯酸盐[J]. *中国食品*, 2016(6): 130-131.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] EFSA. 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.
- [35] 田一媚. 基于 LC-MS 研究高氯酸盐对脂质代谢的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021.
- [36] 董晶晶, 王英杰, 方敏, 等. 武汉市多种食品高氯酸盐的检测与暴露评估[C]//中国食品科学技术学会. 武汉: 中国食品科学技术学会第十六届年会暨第十届中国食品业高层论坛论文摘要集, 2019: 68-69.
- [37] WANG Z W, FORSYTH D, LAU B P Y, et al. Estimated dietary exposure of Canadians to perchlorate through the consumption of fruits and vegetables available in Ottawa Markets [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(19): 9250-9255.
- [38] 明双喜, 刘伟, 张然, 等. 食品中高氯酸盐污染及检测[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(14): 208-213.
- [39] 陈东, 范赛, 沙博郁, 等. 同位素标记-超高效液相色谱-串联质谱法测定茶叶中的高氯酸盐[J]. *中国卫生检验杂志*, 2017, 27(16): 2298-2300.
- [40] 华永有, 李宇翔, 林宏琳, 等. 茶叶中高氯酸盐检测与污染情况分析[J]. *海峡预防医学杂志*, 2018, 24(1): 4-6, 12.
- [41] LIU Y, SUN H Z, ZHOU L, et al. Quantitative determination and contamination pattern of perchlorate in tea by ultra performance liquid chromatography and tandem mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 180-186.
- [42] 邓家军, 张莉, 廖健, 等. 茶叶中高氯酸盐健康风险研究[J]. *乡村科技*, 2016(36): 42.
- [43] 邓家军, 潘华, 张富生, 等. 茶叶高氯酸盐污染及分析技术[J]. *茶叶科学*, 2019, 39(4): 372-381.
- [44] 王宏洋, 孙宇巍, 王旭, 等. 美国针对高氯酸盐环境风险的管控策略及对我国的启示[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(10): 2396-2403.
- [45] Department of Toxic Substances Control. Best management practices for perchlorate materials [S]. San Diego: Department of Toxic Substances Control, 2006.
- [46] U. S. Department of Defense. Environmental contamination: department of defense activities related to trichloroethylene, perchlorate, and other emerging contaminants [S]. Washington Department of Defense, 2007.
- [47] California Regional Water Quality Control Board. General national pollutant discharge elimination system (NPDES) permit for residual firework pollutant waste discharges to waters of the United States in the San Diego region from the Republic of the Philippines [S]. San Diego: California Regional Water Quality Control Board, 2011.
- [48] U. S. EPA. Interim registration review decision for sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, and potassium hypochlorite [S]. U. S. EPA, 2018.
- [49] Integrated Risk Information System (IRIS). Perchlorate

(ClO₄⁻) and perchlorate salts [S]. Washington DC: Integrated Risk Information System (IRIS), 2005.

[50] U. S. EPA. 2012 edition of the drinking water standards and health advisories[S]. Washington DC: U. S. EPA, 2012.

[51] U. S. EPA. National primary drinking water regulations; perchlorate [S]. Washington DC: U. S. EPA, 2019.

[52] California Environmental Protection Agency. Perchlorate in drinking water[S]. California: California Environmental Protection Agency, 2016.

[53] Massachusetts Department of Environmental Protection. Water resources; perchlorate information[S]. Massachusetts: Massachusetts Department of Environmental Protection, 2016.

[54] U. S. EPA. Regional screening levels (RSLs)-generic tables [S]. Washington DC: U. S. EPA, 2017.

[55] U. S. EPA. Technical fact sheet- perchlorate[S]. Washington DC: U. S. EPA, 2017.

Current Situation and Risk Control Strategy of Perchlorate Contamination in Food Safety Chemical Contaminant

YANG Chunxia

(Ningxia Quality Standards and Testing Institute of Agricultural Technology, Yinchuan 750002, China)

Abstract: The great concern of humans towards perchlorate stems from the danger of perchloric acid. China still lacks legally effective environmental risk control system for toxic pollutants and perchlorate control policy, resulting in insufficient monitoring of perchlorate rise in food, backward traceability analysis and limit standard. The monitoring objects are mostly for commercial products, lacking the analysis on the current situation of perchlorate pollution in regional characteristics agricultural products and food, risk level assessment, pollution route exposure, traceability analysis and research, resulting in the lack of perchlorate pollution monitoring and control in agricultural products planting, production and processing. In view of the above problems, this paper summarized the status quo of perchlorate pollution in food and the existing problems in risk control, aiming at making people understand the pollution level of perchlorate in food and the status quo of risk control, so as to make people pay more attention to the serious harm of cumulative dietary intake of perchlorate. Based on the current situation and needs of Chinese environmental management, the suggestions were put forward to control perchlorate pollution in food, formulate risk control measures, trace the source of pollution, expose the way of pollution, and analyze the level of pollution. By learning from the mature control experience and achievements of foreign countries, the future research work will be developed to improve the control policies and measures of pollutants perchlorate.

Keywords: food safety; perchlorate salt; the status of pollution; risk; control measures

协办单位

- 黑龙江省作物学会
- 黑龙江省农业科学院水稻研究所
- 黑龙江省农业科学院克山分院
- 黑龙江省农业科学院黑河分院
- 黑龙江省农业科学院绥化分院
- 黑龙江省农业科学院佳木斯分院
- 黑龙江省农业科学院牡丹江分院
- 内蒙古丰垦种业有限责任公司