

文章编号: 1674-9057(2021)01-0218-07

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2021.01.027

南丹县矿区居民锌膳食暴露及健康风险评估

吴 勇^{1,2}, 钟雪梅¹, 夏德尚¹

(1. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541006; 2. 湖州市应急管理局, 浙江 湖州 313000)

摘 要:通过调查南丹矿业影响区和对照区常住居民食品中锌(Zn)的含量,评估南丹县矿区居民锌膳食暴露及健康风险。在 2013 年 7—8 月和 2014 年 11—12 月期间,采用称重法和化学分析法对矿业影响区和对照区居民膳食 Zn 的每日摄入量调查,获得居民膳食中 Zn 暴露量,并采用美国环保署(US EPA)推荐的方法计算人体中锌的长期日摄入量,得出该元素的长期暴露量(CDI),评估居民通过膳食摄入 Zn 的健康风险。矿业影响区与对照区膳食锌含量显著差异($p < 0.05$)。矿业影响区和对照区居民经食品摄入 Zn 的量分别为 10.446 和 5.647 mg/d。矿业影响区男女 Zn 潜在非致癌风险健康影响危险系数 HQ 值均小于 1。南丹矿区居民膳食 Zn 摄入不足,潜在非致癌风险较低,应加强营养知识宣教补充膳食锌。

关键词: Zn; 膳食暴露; 风险评估; 南丹

中图分类号: X56

文献标志码: A

锌作为地壳中最常见元素之一,在食物中广泛存在,是人体必须的微量元素之一。人体摄入过量的锌会导致胃痉挛、恶心、呕吐等急性副作用,而人体缺乏锌则会导致食欲减退、贫血、生长迟缓、性腺机能减退、生殖能力受损、精神功能下降^[1],摄入充足的锌可能降低抑郁症患病风险^[2]。

矿产的开发给周边地区居民的食品安全、生态安全带来严重影响^[3],同时,采矿、选矿、冶炼过程中会产生大量的尾矿、废渣,露天堆放的尾矿、废渣会迅速风化,重金属通过降雨、淋洗、酸化等作用向矿区周边地表和地下迁移,从而使矿区周边的土壤与地下水受到重金属污染^[4-6],间接通过食物链影响到人体的健康。

目前关于矿区居民膳食暴露及风险评估的报道,如铅、镉、砷、铜、锰、钴等较多^[7-8],但关于 Zn 的相关研究较少。本文选取广西南丹矿产活动较活跃区域,对居民进行膳食结构调查,并通过分析居民食品中锌的摄入和暴露状况进行健康风险

评估。为了解矿业影响区的居民健康现状,于 2013 年 7—8 月和 2014 年 11—12 月对南丹县矿业影响区和对照区居民进行食品农产品中锌含量检测和居民暴露及健康风险评价。

1 对象与方法

1.1 研究区概况

研究区位于南丹—河池锡多金属成矿带,是广西重要的锡铅锌多金属成矿带之一。该成矿带已查明锡资源储量达 128.4 万 t,其中 80%的资源储量集中于大厂锡多金属矿田,境内有大型选矿冶炼厂,如大厂新兴选矿厂、广西拉么锌矿等,矿业活动频繁,矿区周边土壤遭受了不同程度的重金属污染^[9]。南丹县耕地土壤呈酸性和弱酸性,土壤 Zn 的背景值为 81.40 mg/kg^[10],土壤 Zn 在大厂、车河、长老的局部地区出现中度污染^[11]。上述地区土壤 Zn 可能会通过当地种植的作物通过食物链进入人体内并造成 Zn 元素积累,从而出现人体膳食

收稿日期: 2019-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261082); 广西科技重大专项(桂科 AA17204047)

作者简介: 吴 勇(1994—),男,硕士,研究方向:土壤重金属污染调查与评价,1404472460@qq.com。

通讯作者: 钟雪梅,副教授,189983598@qq.com。

引文格式: 吴勇,钟雪梅,夏德尚.南丹县矿区居民锌膳食暴露及健康风险评估[J].桂林理工大学学报,2021,41(1):218-224.

锌暴露风险。

1.2 调查对象

调查对象分布在南丹县,分为矿业影响区及对照区。矿业影响区包括长老乡、大厂镇和车河镇,对照区为六寨镇。矿业影响区与对照区自然环境条件相似,居民饮食习惯相似并存在可比较性。矿业影响区分布在南丹大厂超大型锡多金属矿床核心区域,工矿活动密集,重金属在环境介质中迁移能力较强。刁江流域的矿业影响区车河镇、大厂镇、长老乡均由于曾受到过矿产开发尾砂的洪水冲击而出现重金属污染,而对照区六寨镇与其同属一区域但未受矿业活动影响。本次在车河镇、大厂镇、长老乡及六寨镇分别调查了27、24、25和26户居民。矿业影响区调查对象年龄范围为16~101岁,其中男性平均体重为58.1 kg,共101人;女性平均体重为52.7 kg,共103人。对照区调查对象年龄范围为16~81岁,其中男性平均体重为56.9 kg,共36人;女性平均体重为48.0 kg,共26人。

1.3 样品采集和测定

为减少当地居民因季节性饮食差异带来的影响,分别采集夏季和冬季膳食。采集时间为2013年7—8月和2014年11—12月,调查以入户方式进行,调查内容包括家庭一般情况、生活行为和体重情况、“3天24小时”膳食入户调查回顾法和食物消费频数。调查员通过面对面访谈形式给予调查家庭指导,对居民消耗的食品、调料、零食和水果的种类及数量进行连续3天调查,填入膳食调查表中。要求调查对象按照双份饭菜法将每日实际摄入的食物吃一份,留下相同的一份样品于调查员准备的聚乙烯塑料盒内,调查者在被调查期间保持原来的饮食习惯(包括食物的种类和摄入量以及频率),以获得尽可能真实的数据。

通过分析当地居民普遍食用的膳食种类组成,将采集回来的所有食品归纳为14类:米及米制品、肉类及肉制品、豆类及豆制品、其他谷物、油脂类、蔬菜、蛋类、水果、食糖、调味品类、其他类(包括油茶与茶叶)。考虑到采集食品样品代表当地居民实际消费习惯和外来食源输入对调查结果的影响,本次研究采集的食品样品均来自被调查居民家及附近的粮副食品店与菜市场^[12]。经实地调查研究,当地居民食品消费水平有限,除食糖、调味品外,大部分食品为自产自销。采集回来的肉制

品、豆腐等先用料理机打碎,装入带盖的聚乙烯塑料盒中,将油脂和去壳的蛋类装入150 mL聚乙烯塑料瓶中,均置于-20℃的冰箱中冷冻保存。

样品用硝酸-高氯酸湿法消解,通过在分析过程中加入国家标准物质(一级标准物质代号分别为GSV-1、GSB-23、GSB-29)以及进行加标回收率实验进行质量控制。实验试剂和用水为优级纯和超纯水,标样回收率为90%~110%,测定偏差控制在±10%以内,重复测试选取10%样品且相对误差在±5%以内。Zn含量的测试仪器为电感耦合等离子体发射光谱仪(Optima 7000)。

1.4 数据处理与统计分析

采用SPSS 23软件进行统计分析,依据数据的分布特征,若原数据符合正态分布,采用算数平均值表征;若原数据经对数转换后符合正态分布则采用几何均值表征,若转换后仍不符合正态分布,则用中位数表征。水果、豆类及豆制品、肉类用算数平均值表征,大米、蔬菜、油脂、其他谷物、蛋类、调味品及其他用中位数表征。居民食用食品主要产自于非受污染场农田土壤,评估受体为当地居民,不适用环保部2014年颁布的《污染场地风险评估评估技术导则》(HJ 25.3—2014),故本次健康风险评估模型和相关参数参考自美国环保署(US EPA)的风险评估方法和公共评估手册^[13-14]。

当地居民每人每天膳食锌摄入量计算公式为

$$DI = \sum IR_i \times C_i, \quad (1)$$

其中:DI为人体锌的平均日摄入量,μg/d;IR_i为各食品日均消费量,g/d;C_i为某食物i中的中锌含量,μg/g^[15]。

某类食品对人体锌摄入量的贡献率

$$CR = F_s / F_T, \quad (2)$$

其中:CR为某类食品对人体摄入锌的贡献率,%;F_s为人体从某类食品对锌的摄入量,g/(人·d);F_T为人体从食品中对锌的总摄入量,g/(人·d)。

锌暴露水平计算:根据美国环保署推荐方法,采用长期日摄入量表征(CDI, μg/(d·kg))^[14]

$$CDI = \frac{DI \times ED \times EF}{BW \times AT}, \quad (3)$$

其中:ED为暴露年限,取值为当地人平均寿命70 a;EF为暴露频率,为365 d/a;BW为平均体重,kg,见1.2节调查对象;AT为平均暴露时间,a,对非致癌暴露时间,该值为365×ED^[8,14]。

锌的潜在非致癌风险健康影响采用危险系数 (HQ)^[14] 表征:

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \times 10^{-3}, \tag{4}$$

其中, RfD ($\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$) 为长期暴露参考剂量, US EPA 推荐参考值为 $0.3 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。当 $HQ > 1$ 时, 锌可能造成健康风险; $HQ < 1$ 时, 表明锌暴露风险可以忽略。

2 结 果

2.1 居民各类食品的消费量

研究区域居民各类食物消费量见表 1, 矿业影响区居民膳食主要来源为蔬菜、米及米制品、肉及肉制品、油脂及鱼类, 人均消费量分别为 297.4、264.3、154.6、34.25 和 31.91 g/d, 占比分别为 32.8%、29.2%、17.1%、3.78%和 3.52%。对照区居民膳食主要来源为米及米制品、蔬菜、肉及肉制品、豆及豆制品以及油脂, 人均消费量分别为 250.1、231.8、105.9、25.45 以及 25.11 g/d, 占比分别为 36.0%、33.4%、15.25%、3.66%以及 3.61%。

根据《中国居民膳食指南》(2016)可知, 中国居民平衡膳食宝塔推荐每人每天膳食蔬菜及水果消费量为 300~500 g 和 200~350 g, 畜禽肉为 40~75 g, 油脂为 25~30 g, 蛋类为 40~50 g, 鱼类为 40~75 g, 大豆及坚果类为 25~35 g, 食盐小于 6 g, 谷薯类(包

括米及米制品、其他谷物、面及面制品)为 250~400 g, 全谷物和杂豆类为 50~150 g。矿业影响区居民豆及豆制品与谷薯类消费量均符合居民膳食宝塔推荐值, 但油脂类、肉及肉制品以及食盐的消费量超过推荐值, 蔬菜类、鱼类、蛋类以及水果类消费量未达到推荐值。对照区居民谷薯类、油脂类、豆类消费量均符合推荐值, 肉及肉制品、食盐的消费量均超过推荐值, 蔬菜类、鱼类、蛋类以及水果类的消费量低于推荐值。

因此, 针对研究区居民膳食的合理建议为矿业影响区居民增加蛋类、水果类、蔬菜类以及鱼类的食用, 降低油脂类、食盐和肉制品的食用。对照区居民应适量增加鱼类、蛋类、蔬菜类和水果类的食用, 降低肉类以及食盐的食用。

2.2 食品中锌的含量水平

研究区居民食品中锌含量水平如表 2 所示。根据《粮食(含谷物、豆类、薯类)及其制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量》(NY 861—2004)中规定可知, 谷物及制品、豆类及制品中锌含量限值为 50、100 mg/kg。

研究区中车河镇大米、其他谷物、豆类锌含量范围分别为 5.95~22.18、5.51~59.24、35.67~41.18 mg/kg, 其中, 其他谷物存在部分超标, 占比为 9.38%; 大厂镇大米、其他谷物和豆类锌含量范围分别为6.35~15.83、1.16~56.01和24.06~

表 1 研究区域居民各类食物消费量

Table 1 Food consumption of residents in the study area

g/d

| 食品分类 | 矿业影响区 | | | | 对照区 (六寨镇) | 广西农村 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|------------------------|------------------------|
| | 车河镇 | 大厂镇 | 长老乡 | 平均消费量 | | 2009 年 ^[16] | 2002 年 ^[17] |
| 米及米制品 | 281.7 | 224.2 | 278.0 | 264.3 | 250.1 | — | 325.76 |
| 面及面制品 | 37.19 | 41.27 | 16.86 | 31.77 | 13.20 | — | 32.29 |
| 蔬菜 | 315.8 | 309.1 | 267.4 | 297.4 | 231.8 | 341.3 | 302.96 |
| 肉及肉制品 | 154.1 | 142.8 | 165.5 | 154.6 | 105.9 | 133.3 | 110.44 |
| 油脂 | 34.24 | 48.13 | 27.52 | 34.25 | 25.11 | 33.7 | 27.18 |
| 豆及豆制品 | 32.05 | 37.46 | 18.09 | 29.06 | 25.45 | 2.8 | 45.32 |
| 蛋类 | 21.12 | 15.91 | 7.80 | 15.35 | 3.75 | 10.0 | 9.65 |
| 水果 | 24.71 | 3.60 | 4.30 | 12.17 | 2.07 | 32.8 | 34.44 |
| 调味品类 | 7.49 | 8.45 | 2.70 | 7.43 | 3.14 | — | — |
| 食盐 | 8.07 | 9.15 | 5.16 | 7.43 | 6.25 | 6.9 | — |
| 其他谷物 | 5.54 | 8.80 | 7.96 | 7.24 | 3.30 | — | 6.2 |
| 鱼类 | 20.46 | 77.0 | 17.92 | 31.91 | 13.10 | 50.1 | 10.26 |
| 腌菜类 | 4.28 | 4.50 | 7.62 | 5.42 | 4.71 | — | 4.91 |
| 其他 | 18.64 | 0.23 | 1.29 | 7.85 | 6.62 | — | — |

注: 米及米制品: 大米、稻谷和糙米; 蔬菜: 小白菜、大白菜、白花菜、包菜、青椒、黄瓜、南瓜、南瓜苗、西红柿、茄子、红薯苗、苦瓜、冬瓜、苦麻菜、洋葱、土豆、豆角、空心菜、蕹菜、木耳、丝瓜、韭菜、胡萝卜等; 肉及肉制品: 猪肉、鸡肉和鸭肉等; 豆及豆制品: 豆腐、豌豆和豆腐乳; 油脂: 猪油、蚝油、动物油和植物油; 其他谷物: 主要为玉米; 蛋类: 鸡蛋和鸭蛋; 鱼类: 草鱼、冻海鱼和干鱼; 水果: 桃子、葡萄和西瓜; 其他: 油茶、茶叶等。(下同)

表 2 研究区居民食品中 Zn 含量
Table 2 Food categories of Zn in study area

| 类型 | 车河镇 | | | 大厂镇 | | | 长老乡 | | | 矿业影响区 | | | 六寨镇(对照区) | | |
|-----------------|----------|-----------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|
| | <i>N</i> | <i>AM</i> ± <i>SD</i> | <i>GM</i> | <i>N</i> | <i>AM</i> ± <i>SD</i> | <i>GM</i> | <i>N</i> | <i>AM</i> ± <i>SD</i> | <i>GM</i> | <i>N</i> | <i>AM</i> ± <i>SD</i> | <i>GM</i> | <i>N</i> | <i>AM</i> ± <i>SD</i> | <i>GM</i> |
| 大米 ^a | 21 | 11.90±3.452 | 11.88 | 15 | 12.37±6.937 | 11.13 | 46 | 13.67±8.780 | 11.88 | 82 | 12.98±7.397 | 11.808 | 18 | 10.06±3.416 | 10.21 |
| 蔬菜 ^a | 145 | 32.08±38.09 | 16.80 | 118 | 14.84±27.21 | 4.609 | 57 | 15.09±18.4 | 6.904 | 320 | 22.70±32.55 | 9.231 | 103 | 6.467±15.16 | 2.65 |
| 水果 | 4 | 17.84±21.48 | 9.964 | 1 | 35.66 | 35.66 | 3 | 20.73±17.36 | 14.15 | 8 | 21.15±17.90 | 13.33 | — | — | — |
| 油脂 | 11 | 2.740±0.773 | 2.642 | 9 | 3.567±3.016 | 2.814 | 13 | 3.199±1.558 | 2.844 | 33 | 3.146±1.865 | 2.746 | 18 | 2.949±0.912 | 2.821 |
| 豆类及豆制品 | 2 | 38.57±4.113 | 38.46 | 4 | 34.74±17.18 | 32.02 | 2 | 44.56±6.31 | 44.34 | 8 | 38.15±12.38 | 36.36 | 1 | 22.91 | 22.91 |
| 其他谷物 | 32 | 31.43±12.18 | 29.34 | 35 | 29.11±9.534 | 28.13 | 23 | 22.63±17.31 | 20.97 | 90 | 28.28±13.13 | 26.93 | 25 | 22.40±8.566 | 22.28 |
| 蛋类 | 2 | 3.516±1.529 | 3.516 | — | — | — | — | — | — | 2 | 3.516±1.529 | 3.516 | — | — | — |
| 肉类 | 4 | 16.77±7.697 | 15.60 | — | — | — | 1 | 20.22 | 20.22 | 5 | 17.46±6.842 | 16.43 | 2 | 16.45±10.59 | 14.64 |
| 调味品 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 2.928 | 2.928 |
| 其他 | 3 | 45.38±42.36 | 21.94 | — | — | — | — | — | — | 3 | 45.38±42.36 | 21.94 | — | — | — |

注: *N* 表示样品个数; *AM*±*SD* 表示算术均值±标准差; *GM* 为中位数。

59.35 mg/kg, 其中, 其他谷物存在部分超标, 占比为 2.27%; 长老乡大米、其他谷物及豆类锌含量范围分别为 7.28~67.83、0.25~55.82 和 ND~40.10 mg/kg(ND 为未检出, 下同), 其他谷物样本存在部分超标, 占比为 13.04%。总体来讲, 矿业影响区中大米、其他谷物和豆类含量范围分别为 5.95~67.83、0.25~59.24 和 ND~59.35 mg/kg, 其他谷物超标率为 7.07%。整个矿业影响区其他谷物锌含量存在部分超标样品, 对照区大米、其他谷物和豆类含量范围分别为 0.87~15.72、ND~35.48 和 ND~22.91 mg/kg, 均未超标。经独立样本 *t* 检验分析, 矿业影响区与对照区蔬菜中 Zn 含量存在显著差异($p=0.000<0.05$), 表明矿业活动对蔬菜中 Zn 的蓄积可能存在影响, 蔬菜中 Zn 元素的蓄积速率可能在频繁的矿业活动中被加快。关于其他类食品中 Zn 的限量, 因原有关于食品中 Zn 的限量标准《食品中锌的限量卫生标准》(GB 13106—1991)^[18]已废止, 目前我国暂无相关规定。

2.3 研究区居民膳食锌的摄入量

研究区居民每人每天膳食锌摄入量及各类食物贡献率见表 3。矿业影响区居民主要通过食用大米、蔬菜、肉类以及豆类及豆制品摄入锌, 每人每天摄入量分别为 3.121、2.745、2.699、1.109 mg, 其贡献率分别为 29.88%、26.28%、25.84%、10.62%。对照区居民主要通过大米、肉类、蔬菜和豆类及豆制品摄入锌, 每人每天摄入量分别为 2.554、1.742、0.614 和 0.583 mg, 这 4 种食品对人体摄入锌的贡献率分别为 45.23%、30.85%、10.87%和 10.32%。矿业影响区居民每人每天摄入锌的总量为 10.446 mg。对照区居民每人每天摄入锌的总量为 5.647 mg。锌作为人体必须的微量元素, 人体可耐受最高摄入量 *UL* 度为 40 mg/d^[14], 推荐锌的膳食允许量(RADs) 19 岁以上男女分别为 11 和 8 mg。US EPA 参考剂量 *RfD* 为 0.3 mg/(kg·d), 按照平均体重 55 kg 计算, US EPA 参考剂量对应值为 16.5 mg/d。相对于 US EPA 参考剂量标准, 对

表 3 研究区居民膳食锌摄入量 *DI*(mg/d) 以及各食品贡献率(%)
Table 3 Dietary Zn intake(mg/d) and contribution rate(%) of each food in study area

| 类型 | 车河镇 | | 大厂镇 | | 长老乡 | | 矿业影响区 | | 对照区(六寨镇) | |
|--------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | <i>DI</i> | 贡献率 | <i>DI</i> | 贡献率 | <i>DI</i> | 贡献率 | <i>DI</i> | 贡献率 | <i>DI</i> | 贡献率 |
| 大米 | 3.347 | 24.52 | 2.495 | 43.53 | 3.303 | 34.28 | 3.121 | 29.88 | 2.554 | 45.23 |
| 蔬菜 | 5.305 | 38.87 | 1.425 | 24.86 | 1.846 | 19.16 | 2.745 | 26.28 | 0.614 | 10.87 |
| 水果 | 0.441 | 3.230 | 0.128 | 2.230 | 0.089 | 0.920 | 0.257 | 2.450 | — | — |
| 油脂 | 0.090 | 0.660 | 0.135 | 2.360 | 0.078 | 0.810 | 0.0964 | 0.900 | 0.071 | 1.260 |
| 豆类及豆制品 | 1.236 | 9.060 | 1.301 | 22.70 | 0.806 | 8.370 | 1.109 | 10.62 | 0.583 | 10.32 |
| 其他谷物 | 0.163 | 1.190 | 0.248 | 4.330 | 0.167 | 1.730 | 0.195 | 1.860 | 0.074 | 1.310 |
| 蛋类 | 0.074 | 0.540 | — | — | — | — | 0.054 | 0.520 | — | — |
| 肉类 | 2.584 | 18.93 | — | — | 3.346 | 34.73 | 2.699 | 25.84 | 1.742 | 30.85 |
| 调味品 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.009 | 0.160 |
| 其他 | 0.409 | 3.000 | — | — | — | — | 0.172 | 1.650 | — | — |
| 总计 | 13.650 | 100.0 | 5.732 | 100.0 | 9.635 | 100.0 | 10.446 | 100.0 | 5.647 | 100.0 |

照区与矿业影响区居民锌摄入量均低于参考剂量,表明研究区居民 Zn 摄入量均低于人体健康需求水平,另外对照区居民锌摄入量也低于推荐膳食允许量与参考剂量,因此建议矿业影响区与对照区居民增加膳食 Zn 元素的补充。

2.4 研究区居民膳食锌风险评估

研究区居民膳食锌暴露水平及风险评估见表 4。可知,矿业影响区居民男性和女性锌的暴露量分别为 179.79 和 198.22 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{kg})$ 。对照区居民男性和女性锌的暴露量分别为 99.24 和 117.65 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{kg})$ 。研究区和对照区膳食锌的暴露量均低于参考剂量 0.3 $\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{kg})$ 。研究区居民的 HQ 均小于 1,表明矿业影响区锌对研究区居民可能无潜在风险。

3 讨论

由表 1 可知,矿业影响区人均米及米制品、肉及肉制品、油脂、豆及豆制品、蛋类及食盐消费量均高于 2009 年广西农村各类食品平均消费量,而蔬菜与水果及鱼类消费量低于 2009 年广西农村平均水平。对照区豆及豆制品消费量高于 2009 年广西农村平均水平,蔬菜、肉及肉制品、油脂、蛋类、水果、食盐、鱼类消费量低于广西农村平均水平。相比于 2002 年,广西农村豆类及豆制品与水果消费量下降,其余均增加可能与农村居民收入增加,饮食趋向合理有关。研究区与湖北^[19]、四川^[20]、福建^[21]、大连^[22]、江苏^[23]、北京^[24]居民蔬菜、水果、水产品及谷类的消费对比严重不足,可能是由

于本次研究地区交通局限性及居民收入水平导致居民膳食结构的不合理以及消费量低于正常水平。

据文献[11]可知,南丹县耕地土壤呈酸性和弱酸性,Zn 在矿业密集区大厂、车河和长老的局部地区出现中度污染,但当地居民食用该地区种植出的大米和其他谷物(含玉米)摄入锌暴露水平较低。

矿业影响区居民每人每天膳食中 Zn 摄入量为 10.46 mg/d ,对照区为 5.647 mg/d ,矿业影响区居民锌摄入量远高于对照区。按照平均体重 55 kg 计算,US EPA 参考剂量 RfD 对应值为 16.5 mg/d ,研究区域居民 Zn 摄入量均低于参考剂量。2011 年湖北省男性与女性居民人均锌摄入量分别为 12.39 与 10.71 mg/d ^[25],2009 年中国九省区(辽宁、黑龙江、山东、江苏、河南、湖南、湖北、广西、贵州)男性与女性居民人均锌摄入量分别为 12.2 和 10.3 mg/d ^[26],2010—2012 年四川省农村居民人均锌摄入量为 9.07 mg/d ^[20],2010—2012 年福建省部分农村居民人均锌摄入量为 9.89 mg/d ^[21],2015 年大连市农村居民人均锌摄入量为 14.23 mg/d ^[22],2015 年,北京郊区居民人均锌摄入量为 9.82 mg/d ^[24],顺义区农村居民人均锌摄入量为 10.0 mg/d ^[27],2010—2012 年江苏省居民人均锌摄入量为 12.2 mg/d ^[23],以上均低于参考剂量。全世界约有 17.3% 的人存在锌摄入不足的风险,中国约有 20% 的农村儿童锌摄入量不足^[28],表明我国居民锌摄入量仍低于国际平均水平,Zn 元素的补充应该更加得到重视。长寿之乡广西巴马长寿区老人膳食锌摄入量为 22.67 mg/kg ^[29],但人体摄入食物中 Zn

表 4 研究区膳食锌暴露水平 CDI 及危险系数 HQ
Table 4 CDI and HQ of dietary Zn in study area

| 类型 | 对照区 | | | | 矿业影响区 | | | |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 男 | | 女 | | 男 | | 女 | |
| | CDI | HQ | CDI | HQ | CDI | HQ | CDI | HQ |
| 大米 | 53.718 | 0.179 | 59.222 | 0.197 | 44.886 | 0.150 | 53.208 | 0.177 |
| 蔬菜 | 47.246 | 0.157 | 52.087 | 0.174 | 10.791 | 0.036 | 12.792 | 0.043 |
| 水果 | 4.423 | 0.015 | 4.877 | 0.016 | — | — | — | — |
| 油脂 | 1.618 | 0.005 | 1.784 | 0.006 | 1.248 | 0.004 | 1.479 | 0.005 |
| 豆及豆制品 | 19.088 | 0.064 | 21.044 | 0.070 | 10.246 | 0.034 | 12.146 | 0.040 |
| 其它谷物 | 3.356 | 0.011 | 3.700 | 0.012 | 1.301 | 0.004 | 1.542 | 0.005 |
| 蛋类 | 0.929 | 0.003 | 1.025 | 0.003 | — | — | — | — |
| 肉类 | 46.454 | 0.155 | 51.214 | 0.171 | 30.615 | 0.102 | 36.292 | 0.121 |
| 调味品 | — | — | — | — | 0.158 | 0.001 | 0.188 | 0.001 |
| 其他 | 2.964 | 0.010 | 3.268 | 0.011 | — | — | — | — |
| 总计 | 179.79 | 0.599 | 198.22 | 0.661 | 99.24 | 0.331 | 117.65 | 0.392 |

注:CDI 单位为 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{kg})$ 。

含量的增加也可抑制对 Cu 的吸收并导致 Cu 的缺乏症状^[1], 应注意合理摄入范围。锌在肉中比在蔬菜和水果中通过食物链生物累积更强^[1], 但当地居民肉类摄入量超过《中国居民膳食指南》(2016)推荐, 故通过增加蔬菜和水果类的消费来满足摄入锌的要求。

对比国内外, 非矿业影响区如北京居民膳食表现为缺锌^[30], 桂林市菜地土壤中的蔬菜和土壤均存在锌超标情况, 但蔬菜中的锌不会对居民健康构成威胁^[31]。矿业影响区如意大利撒丁岛某工业小镇虽地区土壤遭受重金属污染, 但人体 Zn 的摄入量为 8.8~14.4 mg/kg, 仍未超过推荐量^[32], 可能矿业活动并不会对所在地居民的膳食锌摄入量起正向影响, 膳食结构及食物消费量仍为影响居民膳食锌摄入的主要因素。

由于本文未考虑到其他未知来源食品及饮用水对人体锌的摄入量影响, 相对来说低估了锌的人体摄入量, 若综合考虑, 研究区锌的摄入量应高于本文研究结果。

4 结 论

(1)从食品的消费量来讲, 研究区以大米、蔬菜、肉及肉制品为主, 水果、蛋类等消费量较低, 研究区居民可适量增加水果、蛋类的食用保持膳食平衡。

(2)在整个膳食结构中, 大米、蔬菜贡献率较大, 矿业活动影响区大米 Zn 含量均值(11.808 mg/kg)显著高于对照区(10.21 mg/kg); 矿业影响区蔬菜 Zn 含量均值(9.231 mg/kg)高于对照区(2.65 mg/kg)。矿业影响区以及对照区其他谷物均值分别为 26.93、22.28 mg/kg, 两组之间比较, 差异具有统计学意义($p<0.05$)。

(3)矿业影响区居民 Zn 的摄入量为 10.446 mg/d, 对照区居民为 5.647 mg/d, 均低于推荐摄入量, 南丹矿业活动影响区居民膳食 Zn 摄入不足; 矿业影响区以及对照区男女 HQ 分别为 0.599、0.661、0.331、0.392, 均小于 1, 表明锌对研究区居民可能无潜在健康风险。

参考文献:

[1] US Department of Health and Human Service. Toxicological profile for zinc [M]. Atlanta: Agency for Toxic Substances,

2005.

[2] 李宗遥. 成年人锌、铁、铜和硒摄入与抑郁症的关系研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2018.

[3] 仇荣亮, 仇浩, 雷梅, 等. 矿山及周边地区多金属污染土壤修复研究进展 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28 (6): 1085-1091.

[4] 雷良奇, 宋慈安, 谢襄漓, 等. 碳酸盐型硫化物尾矿酸化及其研究意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30 (2): 262-266.

[5] 苏耀明, 陈志良, 雷国建, 等. 多金属矿区土壤重金属垂直向污染特征及风险评估 [J]. 生态环境学报, 2016, 25 (1): 130-134.

[6] 雷良奇, 莫斌吉, 宋慈安, 等. 硫化物尾矿中重金属的赋存状态研究及其意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33 (4): 594-598.

[7] Wessells K R, Brown K H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting[J]. PLOS ONE, 2012, 7(11): e50568. doi:10.1371/journal.pone.0050568.

[8] 邹梦遥, 张磊, 周遗品, 等. 某铅锌矿周边地区大米重金属污染评价及膳食暴露风险评估 [J]. 广东农业科学, 2015, 42 (16): 64-70.

[9] 蔡刚刚, 张学洪, 梁美娜, 等. 南丹大厂矿区周边农田土壤重金属健康风险评估 [J]. 桂林理工大学学报, 2014, 34 (3): 554-559

[10] 钟雪梅, 于洋, 陆素芬, 等. 金属矿业密集区广西南丹土壤重金属含量特征研究 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35 (9): 1694-1702.

[11] 陆素芬, 王佛鹏, 钟雪梅, 等. 2013—2014 年南丹县矿区周边主要食品中镉的含量及暴露评估 [J]. 卫生研究, 2017, 46 (5): 813-817.

[12] 陆素芬, 张云霞, 余元元, 等. 广西南丹土壤—玉米重金属积累特征及其健康风险 [J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33 (8): 706-714.

[13] US EPA. Superfund public health evaluation manual [R]. Washington, DC: US EPA, 1986.

[14] US EPA. USEPA risk-based concentration table [M]. Philadelphia: United States Environment Protection Agency, 2000.

[15] 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 等. 典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估 [J]. 环境科学, 2013, 34 (3): 1076-1085.

[16] 方志峰, 唐振柱, 杨虹, 等. 1989—2009 年广西六市(县)居民膳食结构变化趋势分析 [J]. 中国食物与营养, 2013, 19 (12): 68-73.

[17] 唐振柱, 刘玄华, 张洁宏, 等. 广西城乡居民膳食摄入水平与糖代谢异常的关系 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2008, 16 (6): 571-573.

[18] GB 13106—1991, 食品中锌限量卫生标准 [S].

[19] 刘爽, 李骏, 龚晨睿, 等. 湖北省成年居民膳食结构与膳食模式的变迁研究 (1997~2011 年) [J]. 华中科技大学

- 学报 (医学版), 2018, 47 (3): 309-313.
- [20] 刘敏, 颜玲, 刘蒙蒙, 等. 四川省居民膳食营养状况分析 [J]. 预防医学情报杂志, 2018, 34 (3): 357-361.
- [21] 赖善榕, 黄峥, 阳丽君, 等. 2010~2012年福建省部分城乡居民膳食结构分析 [J]. 预防医学论坛, 2016, 22 (6): 409-412.
- [22] 李瑞, 国琳, 郑晓南, 等. 2015年大连市居民食物摄入量调查 [J]. 预防医学论坛, 2016, 22 (12): 930-932.
- [23] 朱谦让, 戴月, 谢玮, 等. 江苏省居民膳食结构与营养素摄入状况评价 [J]. 江苏预防医学, 2017, 28 (3): 259-261.
- [24] 龙锦, 侯彩云, 朱海, 等. 北京市郊区居民膳食结构特征与变化 [J]. 中国食物与营养, 2017, 23 (11): 81-85.
- [25] 刘爽, 李骏, 宋毅, 等. 1991—2011年湖北居民膳食锌摄入状况及变化趋势 [J]. 实用预防医学, 2017, 24 (7): 797-800.
- [26] 张继国, 张兵, 王惠君, 等. 1989—2009年中国九省区膳食营养素摄入状况及变化趋势 (七) 18~49岁成年居民膳食锌的摄入状况及变化趋势 [J]. 营养学报, 2012, 34 (2): 111-113.
- [27] 陈东宛, 李勇, 李永进, 等. 2015年北京市顺义区居民膳食营养摄入状况调查 [J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29 (3): 339-344.
- [28] Ma G S, Li Y P, Jin Y, et al. Assessment of intake inadequacy and food sources of zinc of people in China [J]. Public Health Nutrition, 2007, 10 (8): 848-854.
- [29] 曾高峰, 肖德强, 覃健, 等. 广西巴马长寿老人膳食营养微量元素的含量 [J]. 中国老年学杂志, 2011, 31 (20): 3928-3929.
- [30] 黄泽春, 宋波, 陈同斌, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜的锌含量及其健康风险评估 [J]. 地理研究, 2006, 25 (3): 439-448.
- [31] 钟雪梅, 唐丽嵘, 宋波. 桂林市菜地土壤和蔬菜锌含量状况调查与健康风险评估 [J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32 (2): 202-207.
- [32] Beccaloni E, Vanni F, Beccaloni M, et al. Concentrations of arsenic, cadmium, lead and zinc in homegrown vegetables and fruits: estimated intake by population in an industrialized area of Sardinia, Italy [J]. Microchemical Journal, 2013, 107: 190-195.

Dietary exposure and health risk assessment of zinc to inhabitants around mine contaminated areas in Nandan County

WU Yong^{1,2}, ZHONG Xue-mei¹, XIA De-shang¹

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China;

2. Huzhou Emergency Management Bureau, Huzhou 313000, China)

Abstract: To understand the content of zinc (Zn) in the daily food of permanent residents around the mining area of Nandan, and to evaluate the safety of Zn exposure in residents diet affected by mining activities from July to August 2013 and from November to December 2014, the daily intake of Zn in residents diet in affected areas and control areas was investigated and measured by weighing method and chemical analysis method. Zn exposure in residents diets was obtained by US EPA recommended method to characterize the daily exposure of zinc and to characterize long-term exposure (*CDI*). The potential non-carcinogenic health risks of residents was assessed through dietary Zn intake. There were significant differences between zinc in dietary and other cereals and control areas ($p < 0.05$). In the mining affected areas, the daily intake of Zn from foods was 10.446 and 5.647 mg/d. The HQ values of men and women in the affected mining area were low than 1. The potential non-cancer risk of dietary Zn among residents in the affected areas of Nandan was lower. Insufficient intake is low. Nutrition knowledge should be strengthened to supplement dietary zinc.

Key words: Zn; dietary exposure; risk assessment; Nandan

(编辑 任 鹏)