

· 综述 ·

西藏高原饮茶型氟中毒研究进展

杨依, 张茹 综述, 李永华 审校

中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101

摘要: 西藏是我国饮茶型氟中毒流行最严重的区域之一, 有效控制饮茶型氟中毒危害是当前西藏地方病防治的难点与重点。西藏饮茶型氟中毒是在西藏特定的自然环境和社会人文条件下发生的人群健康损害, 近年来西藏饮茶型氟中毒流行势头稍有遏制, 但整体防治形势仍然严峻, 病情较我国其他饮茶型氟中毒病区更为严重。高氟砖茶、饮茶膳食习惯和自然环境等影响因素与西藏高原饮茶型氟中毒密切相关。本文对西藏高原饮茶型氟中毒流行特征、影响因素研究进展进行综述, 为制定西藏饮茶型氟中毒长效防控对策提供依据。

关键词: 饮茶型氟中毒; 地理环境; 影响因素; 西藏高原

中图分类号: R599 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2022) 02-0156-05

Research progress on brick-tea type fluorosis in Tibet Plateau

YANG Yi, ZHANG Ru, LI Yonghua

Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources
Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Tibet Plateau is one of the most prevalent areas of brick-tea type fluorosis in China. Effective management of brick-tea type fluorosis is a key point and a difficulty in endemic disease prevention and treatment in Tibet. Brick-tea type fluorosis is a human health concern that occurs under specific natural environments and social humanistic conditions in Tibet. Recently, the prevalence of brick-tea type fluorosis has been effectively reduced in the Tibet Plateau; however, there are still challenges for the overall brick-tea type fluorosis control, and the endemic status remains more severe than other regions endemic for brick-tea type fluorosis in China. Previous studies have shown that intake of high-fluoride brick-tea, dietary habits of drinking tea and specific natural environments are strongly associated with brick-tea type fluorosis in the Tibet Plateau. This review summarizes the advances in the epidemiological characteristics and influencing factors of brick-tea type fluorosis, so as to provide insights into the development of the long-term control strategy for brick-tea type fluorosis in the Tibet Plateau.

Keywords: brick-tea type fluorosis; geographical environment; influencing factors; Tibet Plateau

饮茶型氟中毒是人体长期饮用高含氟量的砖茶水, 摄入过量氟导致的慢性蓄积性中毒, 主要表现为牙齿和骨骼病变, 主要分布于内蒙古、宁夏、甘肃、新疆、青海、四川和西藏等有大量饮用砖茶习惯的少数民族居住地区^[1-2]。西藏高原生态环境脆弱、元素地球化学异常及高寒缺氧, 是我国地方病的高发区; 饮茶型氟中毒则是目前西藏分布最广、受危害人口最多的地方病^[3-4]。除高氟砖茶外, 西藏特定的自然环

境和社会人文条件均会对饮茶型氟中毒的流行造成影响^[5-6]。近年来西藏高原人口增加和农牧业结构调整, 改变了其原有的生产、生活方式和人文模式, 从而影响该地区饮茶型氟中毒的流行^[7]。本文综合近年来的文献研究, 总结西藏高原饮茶型氟中毒的流行特征, 从高氟砖茶、西藏居民饮茶膳食习惯和自然环境的角度, 探讨西藏高原饮茶型氟中毒的影响因素, 为揭示西藏高原饮茶型氟中毒的发病机制和制定长效防控对策提供依据。

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2022.02.010

基金项目: 国家自然科学基金 (420774280); 第二次青藏高原综合科学考察研究 (2019QZKK0607)

作者简介: 杨依, 博士在读, 主要从事环境健康研究工作

通信作者: 李永华, E-mail: yhli@igsnr.ac.cn

1 西藏高原饮茶型氟中毒流行特征

西藏是我国饮茶型氟中毒流行最严重的病区, 饮茶型氟中毒广泛分布于西藏 74 个县区, 病区人

口 191.61 万^[8]。饮茶型氟中毒是西藏唯一尚未得到有效控制的地方病^[8]。

尿氟含量、氟斑牙患病率和成人氟骨症患病率等指标可用于表征病区的饮茶型氟中毒流行现状^[1, 3]。尿氟含量是人体内的氟负荷指标, 可用于估计短期内的摄氟水平^[9]。2008—2018年青藏高原各地区儿童和成人尿氟水平均呈下降趋势; 在2015年后的调查研究中, 儿童和成人尿氟均值均低于国家标准(1.6 mg/L)^[10], 提示近年来西藏居民短期摄氟量已有所下降。长期较高水平的氟摄入对人体具有慢性、蓄积性和不可逆性的损害, 氟斑牙与氟骨症可用于表征这一特点。氟斑牙是在牙发育形成期间摄氟过多导致的牙体硬组织不可逆性改变, 临床上肉眼可见牙釉质表面失去正常光泽, 出现白垩、着色和缺损样改变^[11]。2008—2018年西藏地区成人氟斑牙患病率整体呈下降趋势; 儿童氟斑牙是氟中毒的特异、敏感指标, 而西藏儿童氟斑牙患病率为20%~40%, 未呈现线性趋势, 且整体高于全国饮茶型氟中毒病区的平均水平(约15%)^[12-13]。长期过量摄入氟还会导致氟骨症, 临床表现为骨和关节疼痛及X线征象异常^[14]。西藏成人氟骨症临床检出率总体偏高, 而成人氟骨症X线检出率虽有下降, 但仍高于全国饮茶型氟中毒病区的平均水平^[1, 13]。

2 西藏高原饮茶型氟中毒影响因素

与国内其他地区 and 民族相比, 西藏饮茶型氟中毒具有两个基本特征: 一是藏区饮茶型氟中毒流行最为严重, 中、重度氟骨症患者较多; 二是在相近的饮茶氟暴露水平下, 藏族氟骨症检出率和病情严重程度也明显高于其他民族^[15]。因此, 西藏饮茶型氟中毒的分布和流行不仅与高氟砖茶密切相关, 西藏居民独特的饮茶膳食习惯和高原地理环境也造成了一定影响。

2.1 高氟砖茶 砖茶是西藏居民日常生活的必需品, 长期嗜饮高氟砖茶是西藏农牧民过量摄入氟, 导致饮茶型氟中毒的根本原因^[16]。砖茶含氟量高而合格率低可能是西藏高原饮茶型氟中毒流行较全国其他病区严重的原因之一。砖茶由茶树的粗老叶片和叶梗加工而成, 氟含量是一般商品茶如红茶和绿茶的数十到数百倍^[17]。近年研究表明, 西藏砖茶平均含氟量(>1 000 mg/kg)明显高于全国饮茶型氟中毒病区的平均水平(约600 mg/kg); 全国饮茶型氟中毒病区砖茶含氟量的平均合格率为16%左右, 但西藏砖茶含氟量高于国家砖茶含氟量标准上限300 mg/kg^[1, 13]。

2.2 饮茶和膳食习惯 西藏居民的饮茶和膳食习惯显著区别于国内其他地区居民。在饮茶习惯上, 甜茶和酥油茶是西藏居民每日水分摄入的主要来源, 制作需加入大量砖茶熬煮, 大大增加了氟摄入; 此外熬煮工艺导致更多砖茶氟释放到茶水中, 实验证明熬煮砖茶的氟浸出量高出冲泡砖茶15%以上^[18]。在膳食习惯上, 西藏居民的主食为糌粑, 糌粑由青稞面和酥油茶调制而成, 大量食用糌粑又进一步加重了体内氟蓄积^[19-20]。西藏居民蔬菜水果摄入量相对较少, 维生素等营养物质摄入不足^[9]。流行病学调查提示, 膳食中的维生素C、维生素E等营养物质可减轻饮茶型氟中毒病情^[21]。研究指出西藏儿童尿氟含量均明显低于当地成人, 是由于西藏儿童均集中于学校就餐, 其高氟砖茶摄入时间、浓度以及膳食营养情况等都与成人明显不同^[1]。这也进一步证明西藏居民特殊的饮茶和膳食习惯导致了砖茶氟的溶出量及其体内氟的蓄积量显著增加^[16]。

2.3 自然地理环境 西藏高原的强侵蚀作用与高寒环境下的弱成土作用交错并存, 气温曲线异常复杂, 垂直地域分异明显, 内部自然地理分异复杂^[22]。特定的气象条件有利于形成富氟地区, 高寒干燥环境导致西藏居民砖茶水摄入量增加, 从而间接加重饮茶型氟中毒病情^[23]。有研究指出在饮用砖茶量相近甚至更少的情况下, 海拔越高, 饮茶型氟中毒病情越严重^[24]。高海拔会增强动物肾小管对氟的重吸收作用, 加剧体内氟蓄积^[25]。但目前针对地理环境与饮茶型氟中毒之间关系的研究, 仅限于简单探讨海拔等单一因素影响, 尚未有研究综合考虑西藏高原的复杂自然地理环境与饮茶型氟中毒之间的关系。

西藏高原低硒环境也可能影响饮茶型氟中毒。硒是西藏高原地球化学异常的代表性元素, 西藏整体处于低硒循环状态, 从土壤、水、粮食和牧草等外环境介质到头发、血液等人体内暴露指标均处于低硒水平^[26-27]; 而且西藏高原硒含量存在较为明显的水平与垂直分异现象, 含量与地势倾向、水热变化走向及土壤地带性分布密切相关^[27]。研究表明, 硒作为重要的抗氧化剂能够拮抗氟的毒性; 硒干预治疗能够降低氟化钠暴露大鼠的血氟浓度, 并减轻其氟中毒引起的脑损伤^[28-30]。鉴于硒已知的生物学功能以及西藏低硒循环背景与饮茶型氟中毒重度流行现状, 西藏环境低硒水平与人群低硒营养可能是导致西藏饮茶型氟中毒病情重于其他地区和民族的非氟暴露关键性因素。然而, 尚未见西藏高原低硒环境与饮茶型氟中毒病情之间关系的实证研究报道。

3 青藏高原饮茶型氟中毒防控对策

3.1 推广低氟茶 砖茶是青藏高原饮茶型氟中毒病区居民氟摄入的最主要来源,推广低氟茶是目前主要的,也是理论上最有效的防控手段^[31]。茶树是氟的强富集植物,主要集中在叶片上,降低砖茶中氟含量的常见方法有选育低富集氟的茶树、改良茶园土壤性质、施用磷肥、选用嫩茶叶和喷洒微生物制剂等^[32-33]。然而由于技术和成本原因,低氟砖茶的口感不佳且价格较高,尚未在西藏大规模推广。西藏居民日均砖茶氟摄入量仍高于 3.5 mg 的国家标准上限,每年人均砖茶消耗量远高于 3 kg 这一防治氟骨症最佳效果上限^[1]。可见推广低氟茶在西藏饮茶型氟中毒病区面临较大阻力。

3.2 降低砖茶氟溶出率 降低砖茶氟溶出率也是降低西藏居民砖茶氟暴露的途径之一。当前该方向的研究集中于砖茶种类、饮茶方式、茶水比例、冲煮次数和冲煮时间等常规饮茶习惯对砖茶氟溶出量的影响^[34]。任兴葡等^[6]通过模拟实验发现温度、煮沸时间和煮茶方式均会影响砖茶水中氟含量;温度越高、煮沸时间越长,砖茶水中氟含量越高。但现有模拟实验未考虑西藏居民特殊的饮茶习惯,即好饮甜茶和酥油茶,清茶占比较少;且模拟实验结果不能较好反映在奶和酥油共存环境下砖茶中氟的实际溶出特征。

3.3 降低砖茶氟的生物有效性 砖茶氟的生物有效性是一些复杂程度不等的生理、代谢过程的综合反应,砖茶中一些与氟共存元素以及膳食营养因素都会以积极或消极的方式影响氟的摄入^[35]。已有动物模型实验结果表明,添加食盐可提高砖茶浸泡液中氟的生物有效性,而乳制品如奶粉等则减少肠道对砖茶浸泡液中氟的吸收并促进体内氟排出^[36];食物中矿物质如钙、镁等,会与氟离子形成不溶性复合物影响氟的生物利用度^[37],而砖茶中以较高浓度存在的铝、铅等共存元素通过影响机体内氟的代谢,进而改变氟的生物有效性^[38-39]。因此,可向砖茶添加不同的膳食营养因素影响其中氟的生物有效性,但目前膳食营养因素影响机体氟代谢的相关作用机制尚不完全清楚,需进一步研究。

4 结 论

目前西藏饮茶型氟中毒流行势头稍有遏制,但整体疫情较全国其他饮茶型氟中毒病区更为严重。长期高氟砖茶摄入和独特的饮茶膳食习惯及特定的自然环境是西藏饮茶型氟中毒流行的重要影响因素。此外,

气候、海拔等自然环境因素会对饮茶型氟中毒的流行造成一定影响。鉴于低氟砖茶推广效果尚不明显以及西藏居民根深蒂固的饮茶习惯,在不改变病区居民现有饮茶习惯的前提下,一方面继续宣传高氟砖茶的危害,推广低氟砖茶;另一方面研究降低氟砖茶中氟的溶出率或生物利用度的方法,作为未来青藏高原饮茶型氟中毒防治的重点领域。

参考文献

- [1] 龚弘强,何凤珍,赵生成,等.西藏饮茶型氟中毒流行现状调查分析[J].中华地方病学杂志,2018,37(11):889-892.
GONG H Q, HE F Z, ZHAO S C, et al. Investigation on the epidemic status of drinking brick-tea type fluorosis in Tibet [J]. Chin J Endemiol, 2018, 37 (11): 889-892.
- [2] 李强,赵志军,杨佩珍,等.青海省部分地区饮茶型氟中毒流行现状调查[J].中国公共卫生,2020,36(6):956-958.
LI Q, ZHAO Z J, YANG P Z, et al. Prevalence of tea-drinking type fluorosis in some regions of Qinghai province [J]. Chin J Public Health, 2020, 36 (6): 956-958.
- [3] 郭敏,尼玛仓决,赵生成,等.西藏自治区地方病防治“十二五”规划终期评估报告[J].中国地方病防治杂志,2016,31(12):1333-1337.
- [4] LIU X, GAO Y, SUN Y, et al. Prevalence of brick tea-type fluorosis in the Tibet Autonomous Region [J]. J Epidemiol, 2016, 26 (2): 57-63.
- [5] VISWANATHAN G, RAJA P B, THIRUMOORTHY K, et al. Pathways of factors exacerbating dental fluorosis risk at high altitude regions-A review [J/OL]. Environ Technol Innov, 2020, 20 [2021-12-08]. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101115>.
- [6] 任兴葡,郝得隆,龚弘强,等.温度、煮沸时间和方式对砖茶氟离子溶出影响的实验研究[J].中国地方病防治杂志,2021,36(1):3-6.
REN X P, HAO D L, GONG H Q, et al. Experimental study on the influence of temperature, boiling time and method on the dissolution of fluoride ion in brick tea [J]. Chin J Control Endemic Dis, 2021, 36 (1): 3-6.
- [7] 曾仁利.西藏中部农村生产与生活的生态文化研究—以西藏自治区扎囊县扎西林村为例[D].成都:西南民族大学,2018.
ZENG R L. Research on the ecological culture of production and living in rural areas in central Tibet—illustrated with Zhaxin Lin Village in Zhanang County Tibet Autonomous Region [D]. Chengdu: Southwest Minzu University, 2018.
- [8] 孙殿军,高彦辉,刘辉,等.做好地方病消除工作,为我国实现全部脱贫目标助力[J].中华地方病学杂志,2017,36(3):157-161.
SUN D J, GAO Y H, LIU H, et al. Work hard on elimination of endemic diseases to assist in achieving the goal of all people out of poverty in China [J]. Chin J Endemiol, 2017, 36 (3): 157-161.
- [9] 格桑宗吉,土旦,次珍.2017年西藏那曲市比如县饮茶型氟中毒监测结果分析[J].心理月刊,2018(2):161-162.

- [10] 格桑卓嘎, 汤晓佳, 西洛. 2016—2018年拉萨市饮茶型氟中毒病情调查分析 [J]. 中华地方病学杂志, 2020, 39 (9): 658-662.
- [11] 中华人民共和国卫生部. 氟斑牙诊断: WS/T 208—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
Ministry of Health of the people ' s Republic of China. Diagnostic of dental fluorosis: WS/T 208-2011 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [12] 中国疾病预防控制中心地方病控制中心. 2020年度全国饮茶型地方性氟中毒监测报告 [R]. 哈尔滨: 中国疾病预防控制中心地方病控制中心, 2021.
Center for Endemic Disease Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention. Annual national monitoring report on brick-tea type of endemic fluorosis in 2020 [R]. Harbin: Center for Endemic Disease Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2021.
- [13] 范淑玲. “十三五”期间我国地方性氟中毒防制现状 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (12): 1219-1223.
FAN S L. Current prevention and control of endemic fluorosis during the Thirteenth Five-Year Plan in China [J]. J Environ Occup Med, 2020, 37 (12): 1219-1223.
- [14] 中华人民共和国卫生健康委员会. 地方性氟骨症临床诊断标准: WS/T 192—2021 [S]. 2021.
National Health Commission of the people ' s Republic of China. Diagnostic standard for endemic skeletal fluorosis: WS/T 192-2021 [S]. 2021.
- [15] 刘洋, 孙静, 李丙云, 等. 我国4个民族饮茶型氟中毒病情差异研究 [J]. 中华地方病学杂志, 2014, 33 (3): 315-319.
LIU Y, SUN J, LI B Y, et al. The differences of brick-tea fluorosis of four ethnic in China [J]. Chin J Endemiol, 2014, 33 (3): 315-319.
- [16] 高彦辉. 地方病防治专项三年攻坚行动方案 (2018—2020年) 工作任务解读 [J]. 中华地方病学杂志, 2019, 38 (1): 1-3.
GAO Y H. Interpretation of the tasks of the special three-year program for prevention and control of endemic diseases (2018-2020) [J]. Chin J Endemiol, 2019, 38 (1): 1-3.
- [17] 郭宝峰, 李程程, 梁丽娜, 等. 砖茶氟含量调查研究 [J]. 中华地方病学杂志, 2019, 38 (6): 467-471.
GUO B F, LI C C, LIANG L N, et al. Investigation on fluoride content of brick tea [J]. Chin J Endemiol, 2019, 38 (6): 467-471.
- [18] 刘盼盼, 郑鹏程, 龚自明, 等. 青砖茶中氟及其浸出特性研究 [J]. 食品科技, 2018, 43 (12): 90-94.
LIU P P, ZHENG P C, GONG Z M, et al. Study on fluorine contents in Qingzhuana tea and its extracting characteristics [J]. Food Sci Technol, 2018, 43 (12): 90-94.
- [19] 张佳丽, 姚军, 仁青措姆, 等. 西藏昌都市3~5岁儿童龋病及其影响因素调查分析 [J]. 华西口腔医学杂志, 2021, 39 (1): 53-57.
- [20] 何峰, 卫郑霞. 糌粑中营养成分的测定 [J]. 现代食品, 2016 (3): 106-109.
HE F, WEI Z X. The determination of nutrients in Zanba [J]. Mod Food, 2016 (3): 106-109.
- [21] 吴俊华, 李丹丹, 杨丹, 等. 饮茶型氟中毒病区藏族与哈萨克族人群尿氟水平与氟暴露程度相关性研究 [J]. 中华地方病学杂志, 2015, 34 (8): 549-552.
WU J H, LI D D, YANG D, et al. Correlation between urinary fluoride level and intake of fluoride per day in Tibetan and Kazakh population in brick-tea-borne fluorosis areas [J]. Chin J Endemiol, 2015, 34 (8): 549-552.
- [22] 陈发虎, 傅伯杰, 夏军, 等. 近70年来中国自然地理与生存环境基础研究的重要进展与展望 [J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49 (11): 1659-1696.
CHEN F H, FU B J, XIA J, et al. Major advances in studies of the physical geography and living environment of China during the past 70 years and future prospects [J]. Sci China: Earth Sci, 2019, 49 (11): 1659-1696.
- [23] 何志润. 宁夏清水河流域氟化物 (F⁻) 的分布特征及其影响因素研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
HE Z R. Study on the distribution characteristics and influencing factor of Fluoride (F⁻) in Qingshui River Basin of Ningxia [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020.
- [24] 秦毅. 青藏高原主要疾病影响因素分析及人体健康风险评估 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2021.
QIN Y. Influencing factor of major diseases and human health risk assessment in Qinghai-Tibet Plateau [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2021.
- [25] 秦毅, 李倩倩, 苏贵金, 等. 青藏高原地区主要疾病流行特征及健康评价方法 [J]. 环境化学, 2021, 40 (6): 1668-1682.
QIN Y, LI Q Q, SU G J, et al. Epidemic characteristics of major diseases in the Qinghai-Tibet Plateau region and health assessment methods [J]. Environ Chem, 2021, 40 (6): 1668-1682.
- [26] 曲航, 尼玛扎西, 韦泽秀, 等. 西藏土壤硒状况与富硒青稞生产路径 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (18): 3645-3653.
- [27] WANG J, LI H R, YANG L S, et al. Distribution and translocation of selenium from soil to highland barley in the Tibetan Plateau Kashin-Beck disease area [J]. Environ Geochem Health, 2017, 39 (1): 221-229.
- [28] 陈荣梅, 蒋伟东, 蒋备战. 硒对氟斑牙发生的拮抗作用及其对Beclin1表达的影响 [J]. 同济大学学报 (医学版), 2020, 41 (4): 426-430.
CHEN R M, JIANG W D, JIANG B Z. The antagonistic effect of selenium on dental fluorosis and the expression of Beclin1 in mice [J]. J Tongji Univ (Med Sci), 2020, 41 (4): 426-430.
- [29] 索冬卫, 陈灵, 张玉华, 等. 硒对过量氟化物致小鼠成釉细胞DNA损伤的拮抗作用 [J]. 中国地方病防治杂志, 2016, 31 (7): 811-813.
SUO D W, CHEN J, ZHANG Y H, et al. Antagonistic effect of selenium on DNA damage of mouse ameloblasts induced by excessive fluoride [J]. Chin J Control Endemic Dis, 2016, 31 (7): 811-813.
- [30] ZHENG X R, SUN Y, KE L L, et al. Molecular mechanism of brain impairment caused by drinking-acquired fluorosis and selenium intervention [J]. Environ Toxicol Pharmacol, 2016, 43: 134-139.
- [31] 申红梅, 刘辉. 新中国成立70周年地方病防治历程 [J]. 中

- 国地方病防治杂志, 2019, 34 (4): 361-363.
- SHEN H M, LIU H. The course of endemic disease prevention and control in the 70th anniversary of the founding of the People's Republic of China [J]. Chin J Control Endemic Dis, 2019, 34 (4): 361-363.
- [32] 石旭东. 茯砖茶氟含量状况调查及降氟措施研究 [J]. 农产品加工, 2020 (20): 65-67.
- SHI X D. Investigations on the fluoride content of Fuzhuan tea and the measures to reduce fluoride [J]. Farm Prod Process, 2020 (20): 65-67.
- [33] 刘淑娟, 钟兴刚, 覃事永, 等. 茶叶氟含量现状及控氟措施研究进展 [J]. 茶叶通讯, 2016, 43 (3): 41-45.
- LIU S J, ZHONG X G, QIN S Y, et al. Review of current situation of fluorine content in tea and research progress in control measures [J]. J Tea Commun, 2016, 43 (3): 41-45.
- [34] 白静, 刘庆斌, 李海蓉, 等. 砖茶中氟、铝溶出特性的实验观察 [J]. 中国地方病防治杂志, 2015, 30 (4): 243-344.
- BAI J, LIU Q B, LI H R, et al. Observation of dissolving characteristic of fluoride and aluminium in brick tea [J]. Chin J Control Endemic Dis, 2015, 30 (4): 243-344.
- [35] CHEN G J, XIE M H, WAN P, et al. Digestion under saliva, simulated gastric and small intestinal conditions and fermentation *in vitro* by human intestinal microbiota of polysaccharides from Fuzhuan brick tea [J]. Food Chem, 2018, 244: 331-339.
- [36] XI J, ZHANG L, PENG C, et al. Flavor augmentations affect fluoride bioavailability from brewed dark tea [J]. Food Sci Technol-Lebensm-Wiss Technol, 2019, 109 (12): 270-275.
- [37] KRAVCHENKO J, RANGO T, AKUSHEVICH I, et al. The effect of non-fluoride factors on risk of dental fluorosis: evidence from rural populations of the Main Ethiopian Rift [J]. Sci Total Environ, 2014, 488/489: 595-606.
- [38] LEITE G, SAWAN R, TEÓFILO J M, et al. Exposure to lead exacerbates dental fluorosis [J]. Arch Oral Biol, 2011 (56): 695-702.
- [39] 王文彦, 桂传枝, 官志忠. 氟中毒拮抗物的研究进展 [J]. 职业与健康, 2021, 37 (17): 2433-2435.
- WANG W Y, GUI C Z, GUAN Z Z. Advances in studies on antagonists of fluorine [J]. Occup Health, 2021, 37 (17): 2433-2435.
- 收稿日期: 2021-08-30 修回日期: 2021-12-08 本文编辑: 金伟熔

(上接第 155 页)

- short-term cadmium and benzo [a] pyrene exposure experiments [J/OL]. Hereditas, 2018, 155 [2021-11-12]. <https://doi.org/10.1186/s41065-018-0075-3>.
- [29] JUNG J H, MOON Y S, KIM B M, et al. Comparative analysis of distinctive transcriptome profiles with biochemical evidence in bisphenol S- and benzo [a] pyrene-exposed liver tissues of the olive flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. PLoS One, 2018, 13 (5): 1-25.
- [30] JEBALI J, CHICANO-GÁLVEZ E, BANNI M, et al. Biochemical responses in seabream (*Sparus aurata*) caged in-field or exposed to benzo (a) pyrene and paraquat characterization of glutathione S-transferases [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2013, 88: 169-177.
- [31] CARVALHO R N, LETTIERI T. Proteomic analysis of the marine diatom *thalassiosira pseudonana* upon exposure to benzo (a) pyrene [J]. BMC Genomics, 2011, 12: 1-11.
- [32] MOFFAT I, CHEPELEV N, LABIB S, et al. Comparison of toxicogenomics and traditional approaches to inform mode of action and points of departure in human health risk assessment of benzo [a] pyrene in drinking water [J]. Crit Rev Toxicol, 2015, 45 (1): 1-43.
- [33] YIN J F, WANG Z X, SONG M Y, et al. Plastic antibody for DNA damage: fluorescent imaging of BPDE-dG adducts in genomic DNA [J]. Analyst, 2013, 138 (17): 4958-4966.
- [34] ZHANG Q L, GUO J, DENG X Y, et al. Comparative transcriptomic analysis provides insights into the response to the benzo (a) pyrene stress in aquatic firefly (*Luciola leii*) [J]. Sci Total Environ, 2019, 661: 226-234.
- [35] ZHANG Q L, JIANG Y H, ONG Z X, et al. Exposure to benzo [a] pyrene triggers distinct patterns of microRNA transcriptional profiles in aquatic firefly *Aquatica wuhana* (Coleoptera: Lampyridae) [J/OL]. J Hazard Mater, 2021, 401 [2021-11-12]. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123409>.
- 收稿日期: 2021-07-19 修回日期: 2021-11-12 本文编辑: 田田