

环境锰污染对生物健康的威胁

滕小华^{1,2}, 刘宇昊², 李克非³, 刘晓洁⁴, 黄斌¹, 李丹¹, 唐友^{1*}

(1. 吉林农业科技学院电气与信息工程学院, 吉林 吉林 132101; 2. 东北农业大学动物科学技术学院, 哈尔滨 150030;

3. 哈尔滨市农业科学院农村经济研究中心, 哈尔滨 150029; 4. 黑龙江省绿色食品科学研究院, 哈尔滨 150028)

摘要: 锰广泛存在于自然环境中, 是地壳最丰富金属元素之一, 也是人类和其他生物正常生长、发育及维持细胞内环境稳定所必需微量元素。近年来, 随锰广泛应用, 环境锰含量超标, 生物甚至人类摄入过量, 导致锰中毒, 受到人们关注。为此, 文章探讨锰应用对土壤、水、空气、畜禽饲料、食品造成的污染, 论述锰污染对生物甚至人类健康的威胁, 以期对锰减排、污染治理、环境保护、生物和人类锰中毒防治及开展锰中毒机理研究提供参考。

关键词: 锰; 应用; 环境污染; 有害影响; 健康威胁

中图分类号: X503

文献标志码: A

文章编号: 1005-9369(2021)01-0090-07

滕小华, 刘宇昊, 李克非, 等. 环境锰污染对生物健康的威胁[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(1): 90-96. DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2021.01.0011.

Teng Xiaohua, Liu Yuhao, Li Kefei, et al. Threat of environmental manganese pollution to biological health[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2021, 52(1): 90-96. (in Chinese with English abstract) DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2021.01.0011.

Threat of environmental manganese pollution to biological health/TENG Xiaohua^{1,2}, LIU Yuhao², LI Kefei³, LIU Xiaojie⁴, HUANG Bin¹, LI Dan¹, TANG You¹ (1. Electrical and Information Engineering College, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin Jilin 132101, China; 2. School of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 3. Research Center of Rural Economy, Harbin Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150029, China; 4. Heilongjiang Academy of Green Food Science, Harbin 150028, China)

Abstract: Manganese (Mn) widely exists in natural environment, and is one of the most abundant metal elements in the earth's crust. It is also an essential trace element for normal growth, development, and maintenance in the stability of intracellular environment in organisms. However, in recent years, with the wide application of Mn, Mn contents in the environment is exceeded leading to Mn poisoning and bringing potential threat to the health of organisms and even humans. Therefore, this review discussed the pollution caused by Mn application to soil, water, air, livestock, poultry feed and food. In addition, the harm of Mn pollution to organisms and even humans was discussed in order to provide basis and references for the reduction of Mn emission, the treatment of Mn pollution, the protection of environment, the prevention and cure of Mn poisoning in humans and other organisms, and the researches on the mechanism of Mn poisoning.

Key words: manganese; application; environmental pollution; harmful effect; health threat

基金项目: 吉林省智慧农业工程研究中心项目(JLNKU2015); 吉林省特色高水平学科新兴交叉学科“数字农业”建设项目(JLXK20180319)

作者简介: 滕小华(1963-), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为畜禽环境毒理学。E-mail: tengxiaohua@neau.edu.cn

*通讯作者: 唐友, 教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向为畜禽信息科学。E-mail: tangyou9000@163.com

锰是生物体必需微量金属元素,同时也是地壳中最丰富矿物质之一,具有多种化学性质而应用广泛。近年来,随着人类活动增加,环境锰含量超标,导致污染。锰摄入过量造成体内沉积,导致生物甚至人类出现组织损伤和锰中毒症状,威胁生物多样性,已引起社会广泛关注。但目前尚未见锰造成环境污染,威胁生物健康的系统性报道。为此,本文拟阐述锰的应用、锰的环境污染及其对生物甚至人类健康的威胁,以期为锰减排、锰环境污染治理及中毒机理研究提供参考。

1 锰的应用

锰广泛应用于农业、工业及医疗卫生,而农业和工业应用范围更广。锰在农业中主要用于肥料和杀虫剂,工业锰应用涉及众多产业。

1.1 锰在农业中的应用

在农业生产中,锰用于锰肥和杀虫剂。如硫酸锰(MnSO_4)作为锰肥用于马铃薯^[1];杀虫剂代森锰(Maneb)广泛用于控制粮食、蔬菜和水果的真菌病害^[2],杀虫剂代森锰锌(Mancozeb)用于蔬菜(土豆和番茄)和果树(香蕉、葡萄和柑橘)^[3-4]。

1.2 锰在工业中的应用

锰在工业金属使用中位于第四位^[5]。其应用包括制造玻璃、陶瓷、粘合剂、焊接剂、油漆、汽油抗爆添加剂及电池。锰金属对冶金工业至关重要,主要用于生产钢铁和铝,磷酸锰涂层用于降低钢材表面的腐蚀速度。含锰有机化合物甲基环戊二烯基三羰基锰[MMT,分子式为 $\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4\text{Mn}(\text{CO})_3$],是一种汽油抗爆添加剂,硫酸锰是MMT主要燃烧产物。电解锰是可交换和弱酸溶性组成成分,电解二氧化锰(MnO_2)被用于制造各种锌锰电池。锰在未处理的电解锰中具有较高迁移率,即使在较高pH条件下,浸出量也超出我国标准。电解锰渣是电解锰提取过程中产生的一类酸性过滤副产物,电解锰渣固体废弃物给环境带来沉重负担^[6]。露天采矿导致天然矿石和废矿全部暴露于外界环境,经雨水冲刷、浸泡、淋溶等,矿石中锰溶析,形成含有大量重金属污染流。地下采矿破坏地下水系,增加地下水流动性、冲刷能力和锰金属溶析性。矿井水受到采矿影响,以渗流形式进入周围地下水域。

1.3 锰在医疗卫生方面的应用

锰被用于医学影像对比剂和净水剂,也是造影剂必需元素和代谢副产物。高锰酸钾(KMnO_4)是一种强氧化剂,具有强杀菌作用,是鱼类、畜禽和人类常用药品。

2 锰导致的环境污染

近年来人们发现,人类在获得锰和应用锰的同时,导致大量锰被释放到空气、土壤及水体(涉及地表水、饮用水、地下水及近海)环境中,其中土壤锰污染最为严重,其次是水体锰污染。而在水体锰污染中,河流污染较为严重,环境锰污染给生物和人类带来潜在健康威胁。

2.1 空气锰污染

20世纪后期,一些学者发现锰的应用增加空气锰浓度,甚至导致空气锰浓度超标。燃料燃烧时,形成大小 $0.2\sim 0.4\ \mu\text{m}$ 锰颗粒进入空气^[7]。Loranger等研究发现,加拿大魁北克省蒙特利尔市中心大气锰浓度显著高于拉胡特农村地区^[8]。Lauwerys等研究发现,作业场所锰尘浓度为 $0.07\sim 8.61\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,平均值为 $0.94\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[9]。锰还可通过工业污染源、车辆运行时轮胎磨损、矿物和机动车燃料燃烧排出的废气导致空气锰污染。21世纪后,研究发现城市交通站点空气和高速公路扬尘含高浓度锰^[10-11],在我国还发现在生产电解锰、锰锭、锰粉等污染区内,大气降尘接近人体呼吸高度,锰含量高达 $6\ 109.0\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是远离污染区的5.4倍,严重威胁人体健康^[12]。

2.2 土壤锰污染

人类活动如采矿、金属冶炼和农业生产增加土壤和沉积物中锰含量,出现不同程度土壤锰污染问题,对土壤微生物和植物有害。

近年我国土壤锰污染问题备受关注。蔡茜茜等发现,位于广东省东北部某锰化厂附近土壤存在严重锰污染问题,在3.5 m土壤深度以上区域,土壤中锰含量超出广东省土壤背景值^[13]。朱岗辉等发现,中国湘潭金石锰矿周边表层土壤锰污染严重,锰平均值为 $4\ 525.53\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,超标率为45%,达极度严重污染水平^[14]。蒋宗宏等发现,贵州铜仁锰矿区(杨立掌、白岩溪、盆架山及鹏程)地表土层和地下土层均遭受不同程度锰污染,部分土壤

锰污染非常严重；白岩溪区土壤锰含量平均为 $860 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，鹏程矿区土壤锰含量平均为 $1\,520 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，为轻度污染水平；在杨立掌矿区，土壤锰含量平均为 $2\,340 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，为中度污染水平；在距离盆架山矿渣堆点 0.3 km 处，土壤中锰含量平均为 $3\,418 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，为重度污染水平^[15]。Gopalakrishnan 等研究发现，位于我国珠江三角洲西南部珠海市东部的淇澳岛，由于城市化和珠江三角洲及周边地区工业废水排放，该地区重金属污染，沉积物中锰含量为 $372.03 \sim 2\,063.59 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ （平均值为 $1\,364.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ），达中度锰污染程度^[16]。

21 世纪后，国外土壤锰污染问题引起学者关注。Boudissa 等发现，加拿大一家关闭 10 年的铁合金厂，由于含锰残留物沉积于土壤，导致周围地区地表和地下土层中含有高浓度锰位于封闭铁合金厂东北 10 m 处土壤表层锰含量和地下土层锰含量达到重度污染^[17]。黎巴嫩利塔尼河道及其灌溉农田土壤也受到锰污染^[18]。美国洛杉矶市中心，距离 I-110 高速公路顺风方向约 150 m 处土壤中含高浓度锰^[11]。

2.3 水体锰污染

锰工农业应用均引起水体污染，研究发现锰水体污染广泛，涉及近海、河流、池塘、井水、饮用水及地下水。其中河流锰污染较严重。

2.3.1 河流、池塘、井水和地表水锰污染

Wang 等发现，湖南省湘潭市某锰尾矿裸露区，地表径流锰含量超过地表水环境质量标准^[19]。Pan 等发现九龙河口上覆水中溶解态锰含量过高，造成水体污染^[20]。

欧洲和亚洲部分国家井水、河水、地表水及池塘也出现锰污染问题。瑞典在 2007 年发现 12 000 口取样井锰浓度中位数为 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，约 20% 水井超过瑞典建议的 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 指导值^[21]。印度和越南分别在 2013 年和 2014 年发现河流和井水锰污染问题。印度某电厂排出含粉煤灰和重金属废水进入阿里格市卡西姆布尔河，导致河水锰含量超过联合国环境保护规划署 (UNEPGEMS) 规定上限^[22]。越南湄公河三角洲地表水用于饮用、灌溉和家庭生活，其污染可能威胁人类和动物健康并破坏生态系统，河中锰含量 $1\,659.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，超过越南饮用水和家庭用水质量标准规定阈值^[23]。随后葡萄牙和黎巴嫩分别于 2016 年和 2018 年发现池塘和河水锰污染问题。葡萄牙某铀矿向周围环境释放酸

性废水，位于矿区池塘锰含量 $6\,340 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，超过饲养鲤鱼和灌溉用途地表水质量标准^[24]。利塔尼河是黎巴嫩最长河流，其上游锰排放家庭、工业、医疗和农业废水污染水道，导致其灌溉的谷物、蔬菜、果树等遭受锰污染威胁^[18]。

2.3.2 地下水和饮用水锰污染

地下水是最广泛、最重要饮用淡水资源。工农业生产带来污染物或地下储罐泄漏均可导致地下水锰污染。包括我国东北地区在内的许多国家地下水中经常检测到高水平可溶性锰(II) ($>0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, WHO)^[25]。

使用农用杀虫剂导致含锰化合物进入水体，成为引起水体锰污染的主要原因之一。西班牙哥斯达黎加某香蕉种植园喷洒代森锰锌，附近村庄饮用水 22% 样品锰浓度高于 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，7% 样品锰浓度高于 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，距离与锰浓度呈负相关^[9]。

2.4 畜禽日粮和人类食品锰污染

锰污染可导致畜禽日粮和人类食品锰含量超标。广西河池市某公司桥卜米粉厂米粉原料大米和米粉中出现锰含量超标，分别高达 $5\,615$ 和 $1\,705.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[26]。上海市饲料质量监督检验站发现 2011 年 10 月~2016 年 10 月上海地区送检饲料样品中 10% 鸡饲料中锰含量高于农业部公告第 1224 号最高限量值 ($150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)，安全性评价结果显示，鸡饲料中锰污染程度达到安全警戒水平^[27]。

3 锰污染对生物健康的威胁

研究发现，锰污染降低土壤微生物、植物及动物种类多样性。动植物体内沉积过量锰可引起锰中毒症状，导致组织病变，降低发芽率，增加死亡率。受威胁的植物涉及蔬菜、谷物、果树和牧草，受威胁的动物有鱼类、鸟类和哺乳动物，其中鸟类受威胁最严重。

3.1 锰污染对土壤微生物及植物的威胁

土壤锰污染导致植物锰浓度超标、降低植物种类多样性和土壤微生物数量。2018 年两项研究报告土壤锰污染对微生物多样性危害。广东省东北部某锰化厂附近，土壤遭受严重锰污染，影响土壤微生物数量，微生物 *Sphingomonas*、*Acidithiobacillaceae* 数量与锰呈负相关；微生物 *Deftuicoccus* 和 *Methylobacterium* 数量与锰呈正相关；土壤锰达到中度污染时，随着重金属综合污染指数增加，

土壤微生物多样性指数迅速下降^[13]。与未受污染土壤相比, 污染土壤微生物数量(细菌和真菌生物量)显著降低^[18]。

近年来, 在我国发现土壤锰污染对植物造成危害。Huang等研究发现, 2008~2014年广西崇左、南宁、来宾、贵港等地, 成熟甘蔗基部茎含锰量高达 $564.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干物质), 宿根蔗苗发生严重黄化病, 黄化再生植株在田间死亡率达到约50%^[28]。El-Alam等发现, 土壤锰污染导致5种植物(小麦、三叶草、紫花苜蓿、高羊茅和黑麦草)种子萌发率降低7%~30%, 植物多样性指数下降^[18]。陈兰兰等发现贵州锰矿区锰渣排放区的白菜和黑麦草种子发芽受到抑制^[29]。沐婵等报道, 云南省玉溪市红塔区和江川区生产的葡萄植株在2016年5月~2017年7月期间出现典型锰中毒症状^[30]。2020年蒋宗宏等发现, 洗矿和炼砂导致广西矿区及周边田地锰污染, 蔬菜和谷物产生锰中毒病, 菠萝出现黄化病, 水稻出现“烧苗病”, 大豆出现失绿症^[15]。

3.2 锰污染对动物的威胁

环境锰污染降低动物多样性, 导致鱼类、野生哺乳动物和鸟类体内锰沉积, 鸟类受锰污染威胁最严重。锰中毒的动物发生组织病理学变化及运动功能障碍。

3.2.1 锰污染降低动物多样性

我国学者温清等发现, 锰污染降低洞穴动物多样性, 在贵州省松桃县锰矿区附近, 河洞土壤母质锰含量较高, 洞穴动物多样性下降, 且洞穴动物多样性指数与土壤母质锰含量显著负相关^[31]。

3.2.2 锰污染对鱼类健康的威胁

工业锰污染导致鱼类多组织器官高锰含量和组织病变。Javed等发现, 位于印度阿里格尔市受污染的卡西姆布尔河中大刺鲃(一种鱼)多种脏器(肝脏、肾脏、鳃、外皮和肌肉)含有高浓度的锰, 同时腮、肝脏和肾脏组织病变^[22]。

3.2.3 锰污染对野生哺乳动物和鸟类健康的威胁

环境锰污染威胁城市和野外环境野生哺乳动物和鸟类的健康。动物多个组织, 如皮肤、肌肉、肺脏、肝脏和肾脏, 出现锰沉积现象, 鸟类还发生组织病变和运动功能障碍。

锰污染伤害鸟类受到关注相对较早。Loranger等发现受锰污染的加拿大魁北克省蒙特利尔市区,

鸽子肝脏和粪便中锰平均浓度显著高于农村地区^[8]。Kim等在韩国发现古代墨鱼(一种野生鸟类)肝脏组织中含有高浓度锰^[32]。Gong等发现, 黑龙江省鸡西市杂食性鸟类树麻雀羽毛和肝脏含有高浓度锰^[33]。Ejaz等发现在空气锰污染的巴基斯坦拉合尔周边地区, 野生鸟类(椋鸟、猫头鹰、乌鸦和鸽子)皮肤、肌肉、肺脏、肝脏和肾脏锰含量显著升高, 出现组织病理学变化^[34]。近年, Amir等发现, 澳大利亚格罗特埃兰特采矿作业导致的锰污染影响北澳袋鼬运动功能^[35]。

3.3 锰污染对人类健康的威胁

研究人员发现杀虫剂和工业锰污染给人类健康带来威胁, 儿童和职业锰接触者是主要受害群体。锰中毒人群呼吸系统、神经系统、内分泌系统及生殖系统受到损伤。

3.3.1 杀虫剂锰污染对人类健康的威胁

杀虫剂可通过空气、土壤、植物及水体, 进入人体, 导致锰中毒, 威胁人类健康。

2015年和2020年美国 and 意大利两项研究发现, 儿童和作业工人健康受到杀虫剂威胁。Mora等报道, 在农作物生产中使用代森锰和代森锰锌的美国加利福尼亚州居住的儿童, 牙齿含有高浓度锰, 并伴有多动症问题^[36]。Mandić-Rajčević等研究发现, 意大利北部16个葡萄园喷洒代森锰锌的工人, 出现皮肤锰沉积。且皮肤锰含量开放式拖拉机工人高于封闭式和过滤式拖拉机工人^[37]。

3.3.2 工业锰污染对人类健康的威胁

工业废气进入大气, 废渣进入土壤, 废水进入水体, 导致周围环境含有高浓度的锰。人类通过皮肤接触、呼吸、饮食和饮水, 导致体内多组织(婴儿脐带血、毛发、脚指甲、血液和尿液)含有过量锰, 出现锰中毒症状。

研究人员发现, 工业锰污染导致婴儿脐带血和儿童多部位锰沉积, 威胁居住在污染区或污染区附近儿童健康, 出现内分泌紊乱症状。Menezes-Filho等发现, 巴西巴伊亚萨尔瓦多地区锰合金生产工厂附近生活儿童, 头发含有较高浓度锰, 锰含量与工厂距离成反比, 距离工厂最近和下风向区域锰含量最高^[38]。Lin等研究发现婴儿脐带血含有高浓度锰, 锰浓度与机动车排放含有锰尾气相关^[39]。Dos发现巴西巴伊亚州西姆埃斯菲罗合金厂附近学校小学生, 脚趾甲、枕骨头发和血液出现

锰沉积现象, 并出现内分泌激素失衡症状^[40]。

研究还发现, 主要临床锰中毒案例来自工业职业锰接触者^[5], 工人神经系统、呼吸系统、内分泌系统和生殖系统受到影响。进入20世纪下半叶, 国内外均出现工业职业锰接触者锰中毒现象。我国高炉冶炼锰铁产生的锰尘(气溶胶)导致冶炼工出现神衰症候群和锥体外锰中毒症状。Lauwerys等证实, 生产锰盐的工人生育能力下降, 后代胎儿畸形增加, 后代数量明显减少^[9]。Roels等研究141名比利时接触无机锰男性工人流行病学, 发现空气锰尘暴露导致工人出现锰中毒临床症状^[41]。直到2010年后, 职业锰暴露导致工人锰中毒问题才受到更多学者关注, 并成为研究热点。Martin发现, 含锰电焊烟尘导致电焊工出现轻微帕金森病症状^[42]。Witczak等发现波兰电焊工患有锰导致的职业性哮喘病^[43], Yoon等研究大量受锰污染影响的韩国工人患锥体外系统异常、运动障碍和其他神经系统退行性疾病风险增加, 且与长期工作在锰污染的职业环境显著相关; 此外, 继发性帕金森病与慢性锰暴露显著相关^[44]。王建波等报道, 锰焊烟尘导致广州一家电子厂作业工人发生肺通气功能障碍^[45]。Ou等研究广西一家工程机械制造公司的铁合金冶炼厂后, 发现电焊工尿液锰浓度高, 内分泌系统受破坏^[46]。Ho等报道, 被诊断为慢性锰中毒的患者有职业锰接触史, 其尿液锰浓度超标, 认知障碍、帕金森病和肌张力障碍等神经症状^[47]。

4 结论

综上所述, 人类活动使大量锰被释放到环境中, 导致空气、水体和土壤锰污染。土壤锰污染最为严重, 其次为水体锰污染。农业和工业是主要锰污染源, 农业锰污染源主要为杀虫剂, 工业锰污染源涉及多个产业。锰污染降低土壤微生物多样性, 危害植物、动物甚至人类健康。因此, 应开展降低环境锰污染和锰中毒机理的研究, 以期减少锰污染对动植物和人类健康的威胁。

[参 考 文 献]

[1] 焦淑娟, 董强, 卢婷婷, 等. 叶面喷施 $MnSO_4$ 对马铃薯植株叶片生理特性和块茎品质的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2020.

- [2] Gürkan M, Hayretoglu S. Acute toxicity of maneb in the tadpoles of common and green toad[J]. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, 2015, 66(3): 189-195.
- [3] Van Wendel de Joode B, Barbeau B, Bouchard M F, et al. Manganese concentrations in drinking water from villages near banana plantations with aerial mancozeb spraying in Costa Rica: Results from the Infants' Environmental Health Study (ISA)[J]. Environmental Pollution, 2016, 215: 247-257.
- [4] Runkle J, Flocks J, Economos J, et al. A systematic review of Mancozeb as a reproductive and developmental hazard[J]. Environment International, 2017, 99: 29-42.
- [5] Liu Y, Rolle-McFarland D, Mostafaei F, et al. *In vivo* neutron activation analysis of bone manganese in workers[J]. Physiological Measurement, 2018, 39(3): 035003.
- [6] Zhang D, Xiao D, Yu Q, et al. Preparation of mesoporous silica from electrolytic manganese slags by using amino-ended hyperbranched polyamide as template[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2017, 5(11): 10258-10265.
- [7] Ter Haar G L, Griffing M E, Brandt M, et al. Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl as an antiknock: Composition and fate of manganese exhaust products[J]. Journal of the Air Pollution Control Association, 1975, 25(8): 858-859.
- [8] Loranger S, Demers G, Kennedy G, et al. The pigeon (*Columba livia*) as a monitor for manganese contamination from motor vehicles[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1994, 27(3): 311-317.
- [9] Lauwerys R, Noels H, Genet P, et al. Fertility of male workers exposed to mercury vapor or to manganese dust: a questionnaire study[J]. Am J Ind Med. 1985, 7(2): 171-176.
- [10] Moreno T, Pandolfi M, Querol X, et al. Manganese in the urban atmosphere: Identifying anomalous concentrations and sources[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2010, 18(2): 173-183.
- [11] Mousavi A, Sowlat M H, Sioutas C. Diurnal and seasonal trends and source apportionment of redox-active metals in Los Angeles using a novel online metal monitor and Positive Matrix Factorization (PMF)[J]. Atmospheric Environment, 2018, 174: 15-24.
- [12] 游芳, 甘定宇, 许云海, 等. 南方某铅锌锰冶炼区周边大气降尘重金属污染水平及风险评价[J]. 环境污染与防治, 2019, 41(12): 1444-1450.
- [13] 蔡茜茜, 袁勇, 余震, 等. 锰化厂土壤重金属污染及微生物群落结构特征[J]. 生态环境学报, 2018, 27(6): 1160-1166.

- [14] 朱岗辉, 汪成, 李璐, 等. 湘潭金石锰矿周边土壤污染特征及生态风险评价[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(34): 48-52.
- [15] 蒋宗宏, 陆凤, 马先杰, 等. 贵州铜仁典型锰矿区土壤及蔬菜重金属污染特征及健康风险评价[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 293-300.
- [16] Gopalakrishnan G, Wang S, Mo L, et al. Distribution determination, risk assessment, and source identification of heavy metals in mangrove wetland sediments from Qi'ao Island, South China[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2020(33): 100961.
- [17] Boudissa S M, Lambert J, Müller C, et al. Manganese concentrations in the soil and air in the vicinity of a closed manganese alloy production plant[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 361(1-3): 67-72.
- [18] El-Alam I, Verdin A, Fontaine J, et al. Ecotoxicity evaluation and human risk assessment of an agricultural polluted soil[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, 190(12): 738-755.
- [19] Wang J, Cheng Q, Xue S, et al. Pollution characteristics of surface runoff under different restoration types in manganese tailing wasteland[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(10): 9998-10005.
- [20] Pan F, Liu H, Guo Z, et al. Metal/metalloid and phosphorus characteristics in porewater associated with manganese geochemistry: A case study in the Jiulong River Estuary, China[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 255: 113134.
- [21] Ljung K, Vahter M. Time to Re-evaluate the guideline value for manganese in drinking water[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2007, 115(11): 1533-1538.
- [22] Javed M, Usmani N. Assessment of heavy metal (Cu, Ni, Fe, Co, Mn, Cr, Zn) pollution in effluent dominated rivulet water and their effect on glycogen metabolism and histology of *mastacembelus armatus*[J]. *Springer Plus*, 2013, 2(1): 390.
- [23] Wilbers G J, Becker M, Nga L T, et al. Spatial and temporal variability of surface water pollution in the mekong delta, vietnam[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 485-486: 653-665.
- [24] Bessa M L, Antunes S C, Pereira R, et al. Multibiomarker toxicity characterization of uranium mine drainages to the fish *Carassius auratus*[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(13): 13355-13367.
- [25] Jia H, Liu J, Zhong S, et al. Manganese oxide coated river sand for Mn(II) removal from groundwater[J]. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2014, 90(9): 1727-1734.
- [26] 韦佩珠. 一起食用米粉所致锰中毒原因分析[J]. 应用预防医学, 2001(S1): 92-93.
- [27] 孙国荣, 杨海峰, 黄志英, 等. 上海市配合饲料中铜、铁、锌、锰含量分析及安全性评价[J]. 上海农业学报, 2018, 34(4): 104-108.
- [28] Huang Y L, Yang S, Long G X, et al. Manganese toxicity in sugarcane plantlets grown on acidic soils of Southern China[J]. *PLoS One*, 2016, 11(3): e0148956.
- [29] 陈兰兰, 马先杰, 陆凤, 等. 贵州典型锰矿区锰渣重金属含量特征及对种子萌发的毒性效应[J]. 河北农业大学学报, 2019, 42(4): 56-62.
- [30] 沐婵, 吕艳玲, 钱荣青, 等. 葡萄锰中毒症及其相关营养元素分析[J]. 北方园艺, 2019(13): 36-43.
- [31] 温清, 杨卫诚, 陶红梅, 等. 贵州省松桃县锰矿区洞穴动物群落结构与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2018, 38(10): 3718-3728.
- [32] Kim J, Shin J R, Koo T H. Heavy metal distribution in some wild birds from Korea[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, 56(2): 317-324.
- [33] Gong Q, Jin Z, Zou H. Concentrations of copper, zinc and manganese in tree sparrow (*Passer montanus*) at Jixi, Heilongjiang Province, China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2012, 23(2): 319-322.
- [34] Ejaz S, Camer G A, Anwar K, et al. Monitoring impacts of air pollution: PIXE analysis and histopathological modalities in evaluating relative risks of elemental contamination[J]. *Ecotoxicology*, 2014, 23(3): 357-369.
- [35] Amir Abdul Nasir A F, Cameron S F, Niehaus A C, et al. Manganese contamination affects the motor performance of wild northern quolls (*Dasyurus hallucatus*) [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 241: 55-62.
- [36] Mora A M, Arora M, Harley K G, et al. Prenatal and postnatal manganese teeth levels and neurodevelopment at 7, 9, and 10.5 years in the CHAMACOS cohort[J]. *Environment International*, 2015, 84: 39-54.
- [37] Mandić-Rajčević S, Rubino F M, Colosio C. Establishing health-based biological exposure limits for pesticides: A proof of principle study using mancozeb[J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2020, 115: 104689.
- [38] Menezes-Filho J A, Paes C R, Pontes A M, et al. High levels of hair manganese in children living in the vicinity of a ferro-manganese alloy production plant[J]. *NeuroToxicology*, 2009, 30(6): 1207-1213.
- [39] Lin Y Y, Hwang Y H, Chen P C, et al. Contribution of gestational exposure to ambient traffic air pollutants to fetal cord blood man-

- ganese[J]. *Environmental Research*, 2012, 112: 1-7.
- [40] Dos Santos N R, Rodrigues J L G, Bandeira M J, et al. Manganese exposure and association with hormone imbalance in children living near a ferro-manganese alloy plant[J]. *Environmental Research*, 2019, 172: 166-174.
- [41] Roels H, Lauwerys R, Buchet J P, et al. Epidemiological survey among workers exposed to manganese: Effects on lung, central nervous system, and some biological indices[J]. *American Journal of Industrial Medicine*, 1987, 11(3): 307-327.
- [42] Martin W R. Fuming over Parkinson disease: Are welders at risk[J]. *Neurology*, 2011, 76(15): 1286-1287.
- [43] Wittczak T, Dudek W, Walusiak-Skorupa J, et al. Metal-induced asthma and chest X-ray changes in welders[J]. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2012, 25(3): 242-250.
- [44] Yoon J H, Ahn Y S. A large, nationwide, longitudinal study of central nervous system diseases among Korean workers exposed to manganese[J]. *Parkinsonism & Related Disorders*, 2014, 21(3): 194-198.
- [45] 王建波, 白卢哲, 杨烈, 等. 锰焊与锡焊烟尘对作业工人肺通气功能的影响[J]. *中国职业医学*, 2017, 44(2): 239-241.
- [46] Ou S Y, Luo H L, Mailman R B, et al. Effect of manganese on neural endocrine hormones in serum of welders and smelters[J]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2018, 50: 1-7.
- [47] Ho C, Ho R, Quek A. Chronic manganese toxicity associated with voltage-gated potassium channel complex antibodies in a relapsing neuropsychiatric disorder[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(4): 783.
-
- (上接第81页)
- [17] 刘环宇, 陈海涛, 闵诗尧, 等. 基于 PSO-SVR 的植物纤维地膜抗张强度预测研究[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(4): 118-124.
- [18] EI-hefian E A, Yahaya A H. Rheological study of chitosan and its bends: An overview[J]. *Maeji Int J Sci Technol*, 2010, 4(2): 210.
- [19] 马永生, 邱化玉. 干湿强剂作用机理的研究进展[J]. *纸和造纸*, 2004(6): 53-55.
- [20] 孙浩, 徐清凉, 朱勋辉. 浅谈造纸工业常用湿强剂[J]. *造纸装备及材料*, 2017, 46(2): 15-16.
- [21] 兰晓琳. 施胶过程及原理分析[J]. *黑龙江造纸*, 2017, 45(2): 18-19.
- [22] 范丹. 环保型湿强剂的制备及性能研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.
- [23] 柳松. 全氟烷基丙烯酸酯共聚物细微乳液的合成及表面施胶性能研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2018.
- [24] 王永斌. 聚合物表面中性施胶剂的制备与工业施胶应用的研究[D]. 西安: 西北大学, 2004.
- [25] 姜丽峰. 水溶性聚氨酯表面中性施胶剂的合成与应用[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.