

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第8期

Vol.38 No.8

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

用于滤膜称重的饱和氯化镁溶液恒湿系统搭建与评估	李晓晓, 张强, 邓建国, 蒋靖坤, 郝吉明 (3095)
钢铁工业排放颗粒物中碳组分的特征	张进生, 吴建会, 马威, 冯银厂 (3102)
常州市大气 PM _{2.5} 中 PAHs 污染特征及来源解析	顾爱军, 刘佳澍, 罗世鹏, 毕承路, 苏亚兰, 叶招莲, 盖鑫磊 (3110)
兰州河谷盆地大气多环芳烃干沉降通量及来源	尉媛丽, 刘攀亮, 于周锁, 高宏, 毛潇萱, 马建民, 黄韬 (3120)
株洲市大气降尘中元素特征及来源分析	王世豪, 张凯, 柴发合, 钟学才, 周广柱, 杨晴, 柯馨妹 (3130)
传统北京烤鸭烤制过程中大气污染物的排放特征	徐敏, 何万清, 聂磊, 韩力慧, 潘涛, 石爱军 (3139)
基于车载测试的重型柴油车尾气典型烷烃排放特征	史纯珍, 郝雪薇, 申现宝, 曹鑫悦, 张伟, 吴辉, 姚志良 (3146)
基于 wavelet-SVM 的 PM ₁₀ 浓度时序数据预测	王平, 张红, 秦作栋, 姚清晨, 耿红 (3153)
广州港船舶停泊工况排放因子实测及排放量初步估算	黄学良, 张洲, 杨威强, 李晟, 朱明, 方华, 何俊杰, 陈俊文, 万承浩, 张艳利, 刘国光, 黄祖照, 王宇骏, 王新明 (3162)
沙尘天气对生物气溶胶中总微生物浓度及粒径分布的影响	李鸿涛, 祁建华, 董立杰, 高冬梅 (3169)
典型生活垃圾处理设施恶臭排放特征及污染评价	芦会杰 (3178)
杭州地区城区降雪中全氟化合物的污染特征	张明, 唐访良, 俞雅雲, 徐建芬, 陈金汉, 余波, 周姗, 张伟 (3185)
黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特征	聂明华, 晏彩霞, 杨毅, 周俊良, 刘敏 (3192)
漓江地表水体有机碳来源	赵海娟, 肖琼, 吴夏, 刘凡, 苗迎, 蒋勇军 (3200)
夏季热分层效应对典型岩溶水库水化学及溶解无机碳的影响	吴飞红, 蒲俊兵, 李建鸿, 张陶, 李丽, 黄思宇 (3209)
城市不同功能区地表水重金属污染特性比较: 以宁波为例	徐美娟, 童桂华, 孙丹, 李建新, 虞效益 (3218)
地下水主要组分水化学异常识别方法对比: 以柳江盆地为例	张小文, 何江涛, 彭聪, 张昌延, 倪泽华 (3225)
人为扰动背景下城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收潜力分析	李如忠, 叶舟, 高苏蒂, 郑悦 (3235)
长江口低氧区沉积物中磷的形态及其环境意义	刘军, 臧家业, 冉祥滨, 赵晨英, 刘季花, 王小静 (3243)
三峡库区小流域不同土地利用类型“土壤-水体”氮磷含量特征及其相互关系	陈成龙, 高明, 木志坚, 倪九派, 祁乐 (3254)
黄土高原降雨驱动下流域碳输移特征及其碳流失评估: 以羊圈沟坝系流域为例	鄂馨卉, 汪亚峰, 高扬, 陈利顶, 陈世博, 陈维梁 (3264)
新型溴代苯酚类消毒副产物的氯化降解机制	李欢, 李正魁, 李爱民, 周庆, 王莹, 潘咏 (3273)
藻形态及混凝剂组成对混凝-超滤过程的影响	张大为, 徐慧, 王希, 门彬, 王东升, 段晋明 (3281)
汝溪河浮游硅藻功能群特征及其与环境因子相关性分析	向蓉, 李巧玉, 喻焱, 张洪波, 董聪聪, 施军琼, 吴忠兴 (3290)
石岩水库叶绿素 a 时空分布及其影响因子分析	宋云龙, 张金松, 郭小雅, 朱佳, 王丽, 陶益, 张丽 (3302)
不同湿地模型中根系微生物的多样性	王林, 李冰, 余家辉, 朱加宾, 朱健 (3312)
北海湖微生物群落结构随季节变化特征	张雅洁, 李珂, 朱浩然, 张洪勋 (3319)
基于高通量测序的流化床生物滤器细菌群落结构分析	张海耿, 宋红桥, 顾川川, 单建军, 张宇雷, 倪琦 (3330)
高效反硝化菌和包埋填料性能及微生物群落分析	孟婷, 杨宏 (3339)
基于城市污水资源化的微藻筛选与污水预处理	韩松芳, 金文标, 涂仁杰, 陈洪一 (3347)
生物膜贴壁培养小球藻净化猪粪沼液废水的效果	王愿珠, 程鹏飞, 刘德富, 刘天中 (3354)
微气泡臭氧催化氧化-生化耦合工艺深度处理煤化工废水	刘春, 周洪政, 张静, 陈晓轩, 张磊, 郭延凯 (3362)
pH 冲击对海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水脱氮效能的影响	于德爽, 周同, 李津, 王晓霞, 吴国栋, 王骁静 (3369)
酒精废水部分亚硝化-厌氧氨氧化脱氮的可行性	周正, 林兴, 王凡, 顾澄伟, 沈婧, 袁砚, 金润 (3377)
模拟废水中钼的微生物回收及其对亚甲基蓝的催化特性	康乃馨, 朱能武, 郭雯颖, 何志心 (3385)
采用颜色空间表征 ANAMMOX 启动与冲击过程	王利君, 李志华, 韩冬, 张天宇, 杨成建 (3393)
CSTR 和 MBR 反应器的短程硝化快速启动	张婷, 吴鹏, 沈耀良, 闫刚, 徐乐中, Samwine Thomas (3399)
硫酸盐还原氨氧化体系中基质转化途径	完颜德卿, 黄勇, 毕贞, 刘忻, 姚鹏程, 张文静 (3406)
不同 TOC/NH ₄ ⁺ -N 对厌氧氨氧化脱氮效能的影响	王凡, 刘凯, 林兴, 周正, 李祥, 黄勇 (3415)
盐度对 EGSB 反应器的运行及厌氧颗粒污泥的影响	谭潇, 黄靛, 杨平, 涂奔州 (3422)
CANON 颗粒污泥工艺的启动与负荷提高策略	孙延芳, 韩晓宇, 张树军, 李星, 曹相生 (3429)
胞外聚合物对活性污泥吸附去除全氟辛酸磺酸 (PFOS) 的影响	刘鑫彤, 尹华, 彭辉, 李浩榕, 杨萍萍, 曹雅娟 (3435)
不同施肥方式下紫色土 N ₂ O 与 NO _x 的排放特征	胡磊, 刘韵, 朱波 (3442)
地膜覆盖对蔬菜地甲烷排放的影响	张凯莉, 郝庆菊, 冯迪, 石将来, 石孝均, 江长胜 (3451)
模拟的增温增雨对内蒙古温带草原土壤氨氧化微生物的影响	张翠景, 沈菊培, 孙翼飞, 王军涛, 杨中领, 韩红艳, 张丽梅, 万师强, 贺正 (3463)
长期施肥酸性旱地土壤硝化活性及自养硝化微生物特征	徐白璐, 钟文辉, 黄欠如, 秦红益, 邓欢, 韩成 (3473)
施加碳酸钙对酸性土壤微生物氮循环的影响	郭安宁, 段桂兰, 赵中秋, 唐仲, 王杨扬, 王伯勋 (3483)
水稻不同生育期根际与非根际土壤胞外酶对施氮的响应	魏亮, 汤珍珠, 祝贞科, 蔡观, 葛体达, 王久荣, 吴金水 (3489)
凋落物呼吸温度敏感性的变化特征及其影响因素	张彦军 (3497)
西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义	王新, 夏敦胜, 王博, 陈红, 刘浩 (3507)
小麦秸秆驱动菱铁矿热解制备磁性生物炭及其吸附 Cd ²⁺ 活性	张如玉, 刘海波, 邹雪华, 庆承松, 李梦雪, 陈冬, 陈天虎 (3519)
交通污染暴露对 DNA 甲基化的影响	汪婷, 丁锐, 黄丹妮, 祝子逸, 章军, 叶怀庄, 徐迎春, 金永堂 (3529)
外接菌种对污泥堆肥效能及堆体细菌群落的影响	杨萍萍, 尹华, 彭辉, 唐少宇, 卢妙, 刘皓 (3536)
中国电动自行车动力铅酸蓄电池生命周期评价	刘巍, 田金平, 陈吕军 (3544)
《环境科学》征稿简则 (3280) 《环境科学》征订启事 (3301) 信息 (3353, 3472, 3535)	

西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义

王新¹, 夏敦胜^{1*}, 王博², 陈红¹, 刘浩¹

(1. 兰州大学资源环境学院, 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000)

摘要: 为探究环境磁学方法在西北干旱区农田土壤污染监测中的可行性, 以典型绿洲农业区张掖市(临泽县、甘州区、民乐县和山丹县)为研究区域, 采集农田土壤样品 102 份并对其进行系统的环境磁学分析。结果表明, 张掖市农田土壤磁性特征以亚铁磁性的磁铁矿为主导, 磁晶颗粒主要为粗粒假单畴(PSD)和多畴(MD), 颗粒等效粒径介于 0.2~1 μm 之间; 样品磁化率(χ_{lf})变化范围为 $22.27 \times 10^{-8} \sim 188.36 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $63.85 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 磁性矿物含量总体较少但空间变化较大; 磁参数空间分布表明, 磁性矿物含量在甘州区、民乐县和山丹县高于临泽县, 并在甘州区的中部、民乐县的西南边和山丹县的西边呈现相对高值; 甘州区中部的磁性高值主要受控于工业生产等人类活动, 民乐县西南边和山丹县西边的磁性高值主要与较强的自然成土作用有关。综合多种磁学参数的系统分析能够有效区分和划定农田土壤人为污染范围, 为农田土壤污染防治工作提供依据。

关键词: 农田土壤; 环境磁学; 污染监测; 磁性特征; 张掖市

中图分类号: X123; X833 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)08-3507-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.201701128

Magnetic Properties of Farmland Soils in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Implications

WANG Xin¹, XIA Dun-sheng^{1*}, WANG Bo², CHEN Hong¹, LIU Hao¹

(1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education, College of Earth and Environment Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to understand the feasibility of environmental magnetism methods in farmland soil pollution monitoring in the northwest arid areas of China, the environmental magnetic properties of 102 farmland soil samples from four typical agricultural regions, namely Linze county, Ganzhou district, Minle county, and Shandan county in Zhangye City were systematically analyzed. The results show that the main magnetic mineral of farmland soil samples is ferrimagnetic magnetite, and the main magnetic grain sizes are coarse-grained pseudo single domain (PSD) and multidomain (MD), mainly between 0.2-1 μm in equivalent diameter. The low frequency magnetic susceptibility (χ_{lf}) value of farmland soil samples ranged from $22.27 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ to $188.36 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, with the average value of $63.85 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Overall, the magnetic mineral content of farmland soil samples was low, but it had large spatial variation. The spatial distribution of the magnetic parameters show that the magnetic mineral contents in Ganzhou district, Minle county, and Shandan county are higher than in Linze county, and three relatively high-value areas are present in central Ganzhou district, the southwest side of Minle county, and the west side of Shandan county. High magnetic value in central Ganzhou district is mainly controlled by human activities, such as industrial production, whereas the high magnetic values in the southwest side of Minle county and west side of Shandan county are more related to strong natural pedogenesis. Therefore, systematic comprehensive analysis of magnetic parameters can effectively distinguish and delimit the man-made pollution range in farmland soil and provide a basis for farmland soil pollution prevention and control.

Key words: farmland soil; environmental magnetism; pollution monitoring; magnetic properties; Zhangye City

土壤是人类生态环境的重要组成部分,同时是各种重金属和有机污染的“汇”,土壤污染由于具有隐蔽性、累积性和难可逆性等特点,已成为区域生态安全及人体健康的重大威胁之一,引起国内外环境、生态、医学工作者的广泛关注^[1~3]。我国土壤质量总体状况堪忧,土壤环境问题日益凸显,建立完善的土壤污染防治体系显得至关重要。由于土壤污染治理任务艰巨,存在诸多困难,在土壤污染防治工作中,应以污染预防为主。而土壤污染预防工作需

要定期大面积布点监测,以便快速掌握土壤污染动态变化,为污染防治措施的及时开展提供依据。传统化学分析方法由于测量周期长、费用高且化学试剂可导致二次污染,在土壤污染监测方面显示出一

收稿日期: 2017-01-15; 修订日期: 2017-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071125); 中央高校基本科研业务费专项(lzujbky-2013-m03)

作者简介: 王新(1992~),女,硕士,主要研究方向为城市污染与环境磁学, E-mail: xwang_10@lzu.edu.cn

* 通信作者, E-mail: dsxia@lzu.edu.cn

定的缺陷,发展一种经济快速的土壤污染监测技术是当今环境研究的需要^[4]。

环境磁学方法最初应用于古气候与古环境变化研究中^[5,6]。因其测量快捷、经济、对样品无破坏及对环境无污染等诸多优点,20 世纪 90 年代开始得到国内外现代环境过程研究者的青睐,磁测技术逐渐应用于土壤^[4,7~11]、河流沉积物^[12,13]、大气颗粒物^[14,15]、街道尘埃^[16,17]、树叶^[18,19]等环境介质的污染研究方面。大量已有研究表明,人类活动产生的污染物往往富含磁性颗粒,污染物磁性特征显著区别于自然成因的磁性物质,且反映磁性矿物含量的磁学参数与重金属元素含量呈现显著的相关性。这使得磁学方法对人为污染的表征成为可能,同时为土壤污染监测提供了一种新途径。近年来,土壤污染的磁监测研究发展十分迅速,在我国西北地区也有开展^[11,20~22],但至今,这些研究多是以城市土壤为研究对象,关于农田土壤的磁学研究却鲜见报道。目前,已涉及农田土壤磁性的监测工作主要有三方面,一是农田土壤作为参比对象,与其他土地利用方式下土壤的磁性特征进行对比^[20,23,24],有研究表明,与城区或工业区土壤对比而言,农用地土壤中亚铁磁性矿物含量相对较少,颗粒较细;二是对典型污染源(如矿区、工厂等)周边农田土壤进行磁测,分析该污染源对周围环境的影响^[25~27],段雪梅等^[25]对钢铁公司周边耕作土壤剖面的磁测发现,磁化率与污染重金属有相同的垂向分布特征且两者之间显著相关,认为虽然耕作土壤由于长期反复翻耕,磁学指标和重金属的表层高值深度不能反映污染物垂向迁移行为的真实状态,但磁学指标仍然可以反映耕作土壤的污染范围和相对污染程度;三是针对农田土壤的磁监测^[28~30],杨萍果^[28]对山西襄汾县农田土壤磁化率的空间变异性研究显示,农田土壤磁化率主要取决于土壤母质、土壤性质和地形等结构因素,耕作和施肥等人为活动虽对磁化率有一定影响,但未改变其原有空间结构。尽管已有研究对农田土壤磁性取得一定的认识,但存在研究范围小、样品量少、磁学指标单一等不足。中国是世界农业大国之一,农地面积广大,针对农田土壤开展大面积的系统磁学监测研究具有重要意义。

张掖市(东经 97°12'~102°20'、北纬 37°28'~39°57')是我国典型的西北干旱区绿洲农业区,位于甘肃省西北部,河西走廊中段,在青藏高原向内蒙古高原跌落的过渡地带。南依祁连山,北靠合黎山、龙首山,境区自南向北分为南部祁连山山地、中部

走廊平原、北部合黎山与龙首山山地三大地形区,海拔 1 284~5 547 m。黑河贯穿全境,形成了特有的荒漠绿洲景象。走廊平原区地势平坦,土质肥沃,光热充足,水资源丰富,灌溉便利,是国家现代农业示范区,全国最大的玉米制种区和重要的粮食、蔬菜、瓜果和油料生产基地,其土壤质量的好坏与当地及外地居民的健康有密切联系。本研究以张掖市农田土壤为研究对象,通过测量其环境磁学参数,首次系统分析了张掖市农田土壤中磁性矿物的含量、组成、粒度等磁学特征及张掖市农田土壤磁学特征的空间分布规律,并探讨了磁学特征的环境意义,以期作为监测和评价张掖市农田土壤环境质量提供科学依据,并为其他地区农田土壤污染的磁监测提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究以张掖市的临泽县(LZX)、甘州区(GZQ)、民乐县(MLX)、山丹县(SDX,不包括山丹军马场)为重点研究区域,于 2013 年 10 月秋收以后进行农田土壤样品的野外采集。采样前先用便携式 Bartington 磁化率仪对采样区域农田土壤进行磁化率的预测,再用 GPS 对样点准确定位。按照网格布点法和实际情况相结合的原则采集了表层 0~20 cm 农田土壤样品 102 份,具体分布为(图 1):临泽县 29 份,甘州区 33 份,民乐县 19 份,山丹县 22 份。同时,在研究区域内采集 4 处农田土壤剖面,选取深度 80~100 cm 处样品共 10 个作为背景与表层农田土壤样品磁学数据进行对比。所有样品装袋密封并编号后统一运送实验室,采样过程中所用工具均为无磁性塑料材质。

1.2 实验测试

农田土壤样品在实验室自然风干,研磨后过 100 目尼龙筛,称取 5.5 g 用塑料薄膜包紧装入 8 m³ 正方体磁学专用样品盒并用透明胶带封住盖子,贴上标有编号的标签。对所有样品进行基本环境磁学参数的测定,包括①470 Hz 低频磁化率(χ_{lf})和 4 700 Hz 高频磁化率(χ_{hf}):使用英国 Bartington 公司产 MS2 型磁化率仪测量;②非磁滞剩磁(ARM):使用 LDA-3 型交变退磁仪,在 0.1 mT 直流场叠加峰值为 100 mT 的交变场中退磁后,用 Molspin Minispin 小旋转磁力仪测量;③等温剩磁(IRM):使用 MPM10 型脉冲强磁仪施加外场,用 Molspin Minispin 小旋转磁力仪测量,设定 1 T 磁场中获得的 IRM 为饱和等温剩磁(SIRM),反向磁场包括 -20、

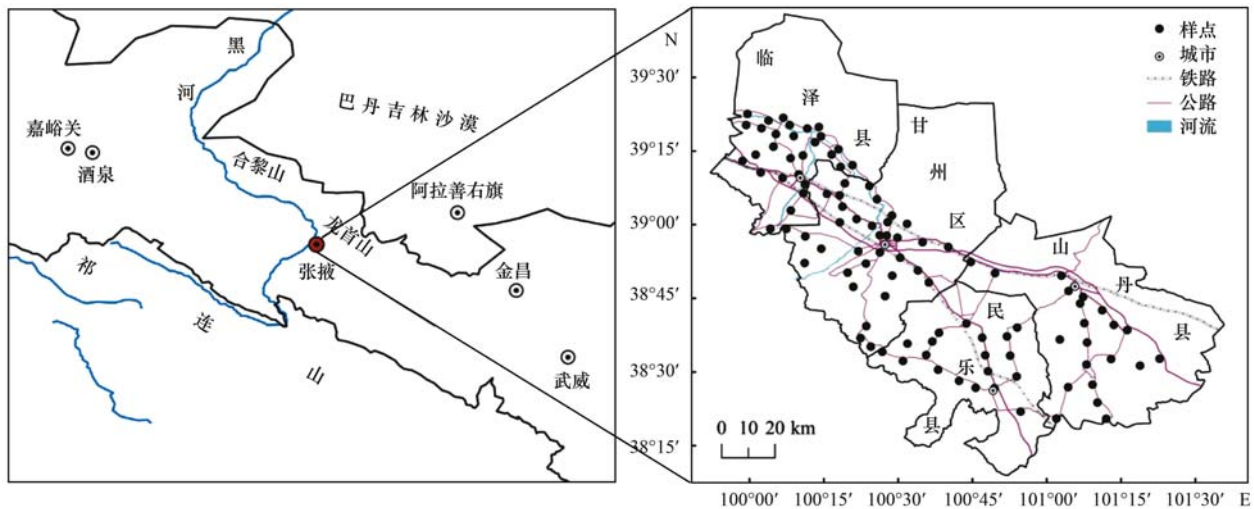


图1 农田土壤采样点位置示意

Fig. 1 Sites of farmland soil sampling

-60、-100 和 -300 mT. 选取部分代表性样品使用 VFTB 可变磁场磁天平进行磁滞回线 (Hysteresis loop) 和热磁曲线 (Thermomagnetic curve, J-T) 的测量. 以上实验在兰州大学西部环境教育部重点实验室和华东师范大学完成.

根据上述已测磁学参数计算比值磁参数, 包括: 百分频率磁化率 $\chi_{fd}\%$ ($\chi_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100\%$), 非磁滞磁化率 $\chi_{ARM} = \text{ARM} / \text{磁场强度}$, S-ratio = $-\text{IRM}_{-300 \text{ mT}} / \text{SIRM}$, 剩磁矫顽力 B_{cr} (由 $\text{IRM}_{-20 \text{ mT}}$ 和 $\text{IRM}_{-60 \text{ mT}}$ 线性内插获得), 软剩磁 $\text{SOFT} = (\text{SIRM} - \text{IRM}_{-20 \text{ mT}}) / 2$, 硬剩磁 $\text{HIRM} = (\text{SIRM} + \text{IRM}_{-300 \text{ mT}}) / 2$.

2 结果与分析

2.1 基本磁学参数

2.1.1 χ_{lf} 和 $\chi_{fd}\%$

χ_{lf} 表示样品在外界磁场作用下被磁化的难易程度, 反映了磁性矿物含量的多少, 同时, 还依赖于磁性矿物粒径和类型^[31,32]. 如表 1 所示, 研究区农田土壤样品 χ_{lf} 均值为 $63.85 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围 $22.27 \times 10^{-8} \sim 188.36 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 47%, 剖面 80 ~ 100 cm 处 χ_{lf} 背景值为 $36.91 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. 农田土壤样品 χ_{lf} 均值是背景值的 1.73 倍, 其中超出背景值的样点占 86.27%, 农田表层土壤磁性的增强可能与土壤后期成壤发育或磁性颗粒的外源输入有关. χ_{lf} 变异程度属于中等, 表明农田土壤磁性空间分布不均.

$\chi_{fd}\%$ 对细粒超顺磁 SP 颗粒非常灵敏, 可用来估计样品中是否存在 SP 颗粒^[33]. 当 $\chi_{fd}\% < 2\%$ 时基本不含 SP 颗粒; 当 $\chi_{fd}\%$ 在 2% ~ 10% 间, 表明磁性

矿物组合中含有一定不占主导地位的 SP 颗粒; 当 $\chi_{fd}\% > 10\%$ 时, 表明含有大量 SP 颗粒^[34]. 研究区农田土壤样品 $\chi_{fd}\%$ 值处于 0.74% ~ 7.07% 之间, 均值为 3.72%, 表明其含有少量的超顺磁 SP 颗粒.

2.1.2 SIRM、SOFT、HIRM、S-ratio 和 B_{cr}

SIRM 主要反映样品中亚铁磁性矿物 (如磁铁矿、磁赤铁矿) 和不完全反铁磁性矿物 (如赤铁矿、针铁矿) 的含量, 易受到磁性颗粒形状、大小的影响, 不受顺磁性和抗磁性物质的影响^[31]; SOFT 和 HIRM 分别指示样品中低矫顽力的不完全亚铁磁性矿物含量和高矫顽力的不完全反铁磁性矿物含量^[35]. 研究区农田土壤样品 SIRM、SOFT、HIRM 的均值分别为 1070.14×10^{-5} 、 298.04×10^{-5} 、 $65.61 \times 10^{-5} \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值超出背景值的 1.70、2.09、1.23 倍, 变异系数分别为 56%、62%、37%, 结果表明相对不完全反铁磁性矿物而言, 农田土壤中亚铁磁性矿物的含量增加更多且含量空间变化更大.

S-ratio 可用来判断低矫顽力矿物与高矫顽力矿物的相对丰度, 当 S-ratio 接近 1 时, 亚铁磁性矿物占主导地位; B_{cr} 指示 SIRM 降低到零所需要的反向磁场强度, 值越小则矿物越“软”^[35]. 研究区农田土壤样品 B_{cr} 值较小, 变化范围为 35.80 ~ 58.84 mT, 变异系数 10%; S-ratio 值较高, 变化范围为 73.05% ~ 95.16%, 变异系数仅 4%, 说明软磁性的亚铁磁性矿物是农田土壤剩余磁性的主要载体.

2.1.3 χ_{ARM} 、 χ_{ARM} / χ_{lf} 和 χ_{ARM} / SIRM

χ_{ARM} 主要受控于样品中细粒 (SD 和小的 PSD 颗粒) 磁性矿物的含量^[36]; 研究区农田土壤样品 χ_{ARM} 均值为 $177.46 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值超出背景值

的 2.15 倍,变异系数高达 69%,说明农田土壤中细粒磁性矿物含量空间变化较大.在样品中磁性矿物以磁铁矿为主导的情况下, $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 、 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 可分辨磁性颗粒的粒径,颗粒越细比值越高^[34].研究区农

田土壤样品 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的均值为 2.61 和 $0.16 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$,变化范围为 1.08 ~ 4.45 和 $0.08 \times 10^{-3} \sim 0.29 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$,呈现低值,表明农田土壤磁性矿物粒径较粗,SD 颗粒比重较低.

表 1 农田土壤样品环境磁学参数统计

Table 1 Magnetic parameters of the farmland soil samples

项目	范围	均值	标准差	变异系数	背景值
$\chi_{\text{lf}} \times 10^{-8} / \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	22.27 ~ 188.36	63.85	30.30	0.47	36.91
$\chi_{\text{fd}} \%$	0.74 ~ 7.07	3.72	1.49	0.40	3.04
$\chi_{\text{ARM}} \times 10^{-8} / \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	41.73 ~ 731.04	177.46	122.46	0.69	82.71
$\text{SIRM} \times 10^{-5} / \text{A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	366.00 ~ 4 216.91	1 070.14	600.42	0.56	628.22
$\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$	1.08 ~ 4.45	2.61	0.67	0.26	2.22
$\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM} \times 10^{-3} / \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$	0.08 ~ 0.29	0.16	0.04	0.26	0.13
$\text{SOFT} \times 10^{-5} / \text{A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	79.69 ~ 1 187.95	298.04	183.40	0.62	142.64
$\text{HIRM} \times 10^{-5} / \text{A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	30.44 ~ 227.99	65.61	24.23	0.37	53.27
S-ratio/%	73.05 ~ 95.16	86.48	3.86	0.04	82.57
B_{cr}/mT	35.80 ~ 58.84	46.74	4.90	0.10	53.82

2.2 热磁曲线

磁性矿物的磁学性质随温度变化而变化,在加热超过临界温度(居里温度 T_{C} 或奈尔温度 T_{N})时,磁性材料将失去磁性,表现为顺磁性,不同的磁性矿物有不同的 T_{C} 或 T_{N} ,因而热磁曲线可用于磁性矿物类型的诊断^[31,37].研究区农田土壤 3 个典型样品的 J-T 热磁曲线分析结果显示(图 2),3 个样品的加热曲线从 0 ~ 360℃ 缓慢下降,360 ~ 450℃ 之间下降速率增加并在 450℃ 附近呈现低峰,可能是亚稳定的强磁性磁赤铁矿受热转化为弱磁性的赤铁矿,磁化强度降低的幅度可能和样品中磁赤铁矿的相对含量和成土作用有关^[24,38];随后 450 ~ 500℃ 磁化强度上升并在 500℃ 附近呈现高峰,主要是由含铁硅酸盐矿物或黏土矿物在高温下分解形成铁磁性矿物所致^[39];500 ~ 580℃ 磁化强度急剧下降并在 580℃ 附近降至接近于 0,呈现出磁铁矿的居里温度特征,

说明样品中主要载磁矿物为磁铁矿;从 580 ~ 700℃ 之间,磁化强度仍有所下降,说明样品中还有部分赤铁矿.3 个样品的冷却曲线高于加热曲线 6 ~ 9 倍,说明在加热过程中有新的强磁性矿物生成,高出程度越大,则样品中含有的可转化为强磁性矿物的组分越多.

2.3 磁滞回线

在外加磁场强度变化的过程中,磁性矿物产生的磁化强度的变化落后于外加磁场强度变化的现象称为磁滞现象,样品由循环一个周期的磁场所引起的磁化强度曲线图即为磁滞回线^[31].磁性矿物成分不同,磁滞回线特征大不相同,磁滞回线的形状能较好地指示磁性矿物的种类,磁滞回线闭合处的磁场强度可以指示主导磁滞行为的磁性矿物^[35].研究区农田土壤 3 个典型样品的 Loops 磁滞回线结果显示(图 3),3 个样品的磁滞回线表现出明显的高

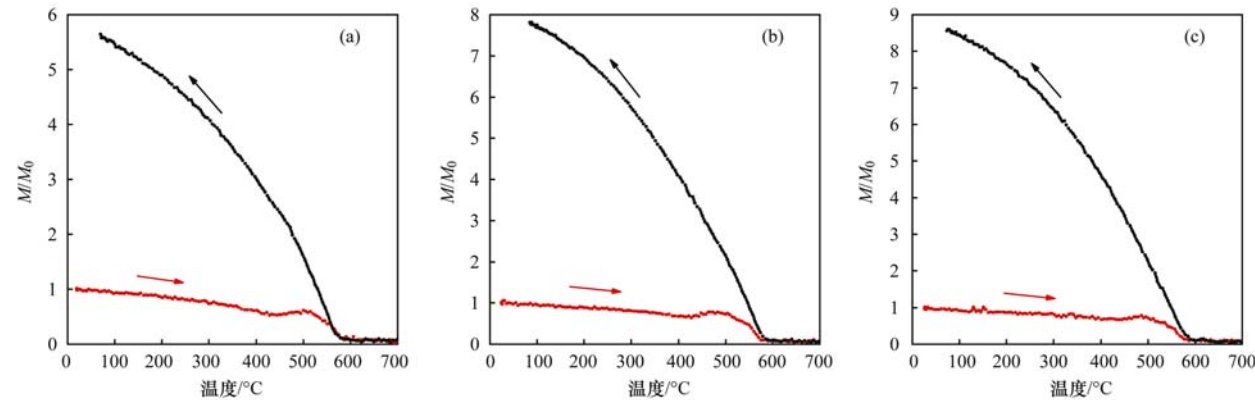
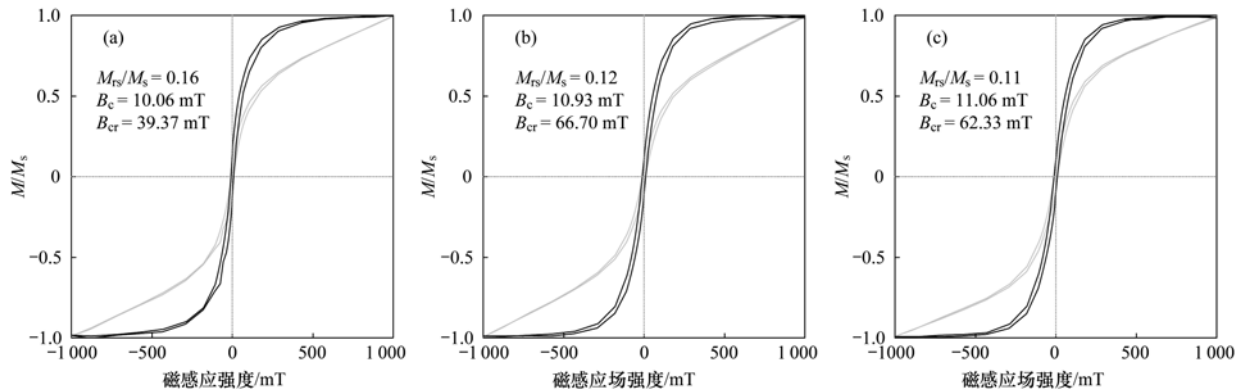


图 2 典型农田土壤样品热磁曲线

Fig. 2 Thermomagnetic curves of typical farmland soil samples



灰线为实测曲线,黑线为顺磁校正曲线

图3 典型农田土壤样品磁滞回线

Fig. 3 Magnetic hysteresis loops of typical farmland soil samples

瘦形态,磁感应强度从 0 ~ 300 mT 快速上升并在 300 mT 左右磁滞回线趋于闭合,说明样品的磁滞行为主要受低矫顽力的亚铁磁性矿物控制;300 mT 之后实测磁滞回线基本呈线性增加,说明样品中还含有部分顺磁性矿物. 由于单畴 SD 磁铁矿、多畴 MD 磁铁矿、赤铁矿的矫顽力 B_c 分别为 10、2、400 mT^[31],3 个样品的矫顽力 B_c 值分别为 10.06、10.93、11.06 mT,表明样品在磁铁矿主导的情况下同时存在一定比例的赤铁矿.

3 讨论

3.1 农田土壤的磁性特征

物质的磁性特征主要由磁学参数来反映,磁学参数可以揭示样品磁性矿物的含量、组成和粒度特征^[40]. 由上述分析可知,基本环境磁学参数中 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 可指示磁性矿物的含量,研究区样品这 4 种磁参数的平均值和变异系数分别为 χ_{lf} : $63.85 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 47%、 χ_{ARM} : $177.46 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 69%、SIRM: $1\,070.14 \times 10^{-5} \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 56%、SOFT: $298.04 \times 10^{-5} \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 62%,其结果相对一致,均表现为平均值相对背景值有一定程度的增加且变异强度达到中等,表明研究区农田土壤中的磁性矿物含量受到后期作用的影响,在空间上磁性矿物含量变化较大. 为了判断磁性矿物含量在空间上是否具有显著性差异,采用 SPSS 19.0 软件中的 One-Way ANOVA 分析法,以 4 个县为自变量对农田土壤磁参数 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 进行方差分析,单因素方差分析结果显示(表 2),磁参数 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 在临泽县与甘州区、民乐县、山丹县之间的差异显著度 P 值均小于显著性水平 0.05,说明两

表 2 磁参数在 4 县区之间的差异显著度 P 值¹⁾

Table 2 P values for significant difference of magnetic parameters among the four counties

组别	χ_{lf}	χ_{ARM}	SIRM	SOFT
LZX-GZQ	0.000	0.000	0.000	0.000
LZX-MLX	0.000	0.000	0.001	0.004
LZX-SDX	0.000	0.000	0.000	0.000
GZQ-MLX	0.813	0.424	0.618	0.733
GZQ-SDX	0.634	0.118	0.799	0.685
MLX-SDX	0.526	0.511	0.498	0.505

1) $P < 0.05$, 表示该指标在组间差异显著

者之间磁性矿物含量存在显著性差异,具有统计学意义. 进一步由 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 的统计结果[图 4(a) ~ 4(d)]可知,磁性矿物含量在临泽县最低,在甘州区、民乐县和山丹县相对较高.

土壤磁性主要受自然因素和人为因素的影响,自然因素包括土壤母质、成土过程、气候等,人为因素包括汽车尾气、工业生产、生物质燃烧、施肥等. 其中土壤母质的磁性矿物含量与物理风化形成的原生磁性矿物有关;成土过程主要与生物化学风化形成的次生磁性矿物相关,表现为极其微小的 SP 超顺磁颗粒,即 $\chi_{fd}\%$ 值的增高;人类活动释放出的污染物质不同程度地都含有磁性颗粒且使得环境载体表现出不同的磁性增强^[41]. 一般当研究区范围较小时,样点间的气候差异及土壤母质差异极其微弱,表层土壤磁性的增强主要由两种原因造成,一是自然成土过程中产生了 SP 超顺磁矿物颗粒,二是土壤受到人为因素的污染. 而 χ_{lf} 和 $\chi_{fd}\%$ 的关系模式是区分自然成土原因与人为原因的依据^[10]. 通常成土成因的自然土壤的 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 呈良好的正相关关系;受污染的土壤一般表现为较高的 χ_{lf} 和较低的 $\chi_{fd}\%$, χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 呈负相关^[42]. 本文研究区范围不

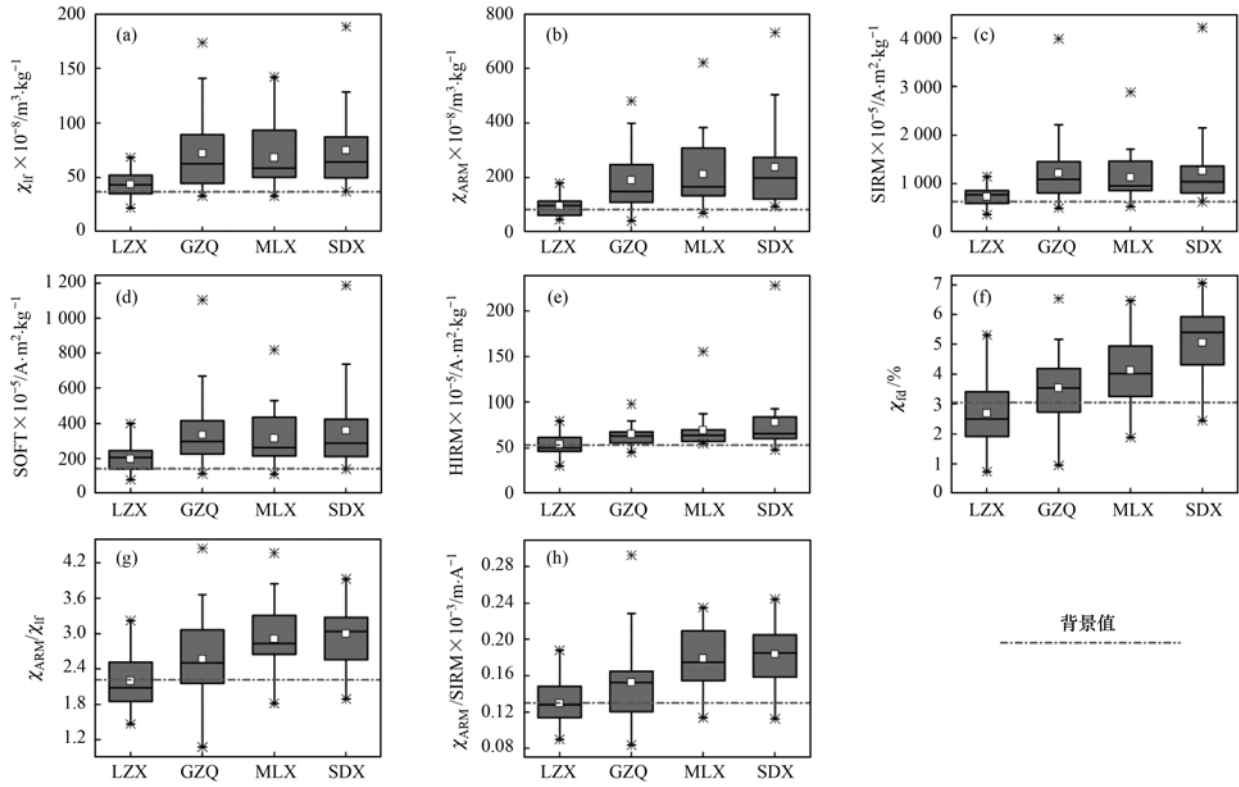


图4 农田土壤磁学参数箱型图

Fig. 4 Box plots of magnetic parameters of the farmland soil samples

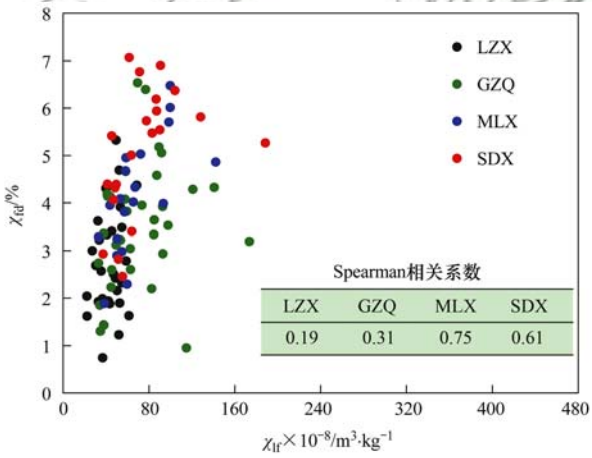


图5 农田土壤 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}/\%$ 散点图

Fig. 5 Scatter plot of χ_{lf} and $\chi_{fd}/\%$ of the farmland soil samples

大,样点土壤以灌漠土为主,各个样点间的气候差异微弱,土壤母质及气候对土壤磁性的影响不予考虑。 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}/\%$ 的散点分布图(图5)显示, $\chi_{fd}/\%$ 随 χ_{lf} 的升高呈一定的升高趋势,说明研究区农田土壤中的磁性矿物有相当一部分来自成土作用形成的细粒SP超顺磁颗粒的贡献。 $\chi_{fd}/\%$ 处于0.74%~7.07%之间,变化范围较大,变异系数高达40%,说明自然成土作用导致的农田土壤磁化率升高在空间上分布不均。 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}/\%$ 的Spearman相关系数在民乐县和山

丹县为0.75和0.61,在0.01水平(双侧)上显著相关,而在临泽县和甘州区相关系数为0.19和0.31,呈不显著相关关系,表明后期成土作用对农田土壤磁性增强的影响在民乐县和山丹县更显著,而临泽县和甘州区农田土壤的后期成土发育较弱,SP颗粒对其磁性的贡献很小。然而,分区统计结果显示[图4(a)~4(d)], χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM和SOFT在临泽县内最低,在甘州区、民乐县和山丹县内有明显的增高,即甘州区农田土壤在较弱成土发育的情况下却呈现较高的磁性,可见研究区农田土壤磁性矿物含量的空间变化并非全由成土作用控制,还受到人类活动的影响。此外,通过 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM和SOFT与背景值的比较发现(表3),研究区农田土壤样品 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM和SOFT的平均值为背景值的2倍左右,最小值为背景值的0.50~0.60倍,最大值则分别高出背景值的5.10、8.84、6.71和8.33倍,若根据 $\chi_{fd}/\%$ 的波动以上下2倍背景值范围对自然成土因素导致的磁性矿物空间变化进行控制,可见 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM和SOFT的高值远超出背景值的2倍范围,具有明显的人类活动的印记。因此,研究区农田土壤中磁性矿物含量在空间上的中度变异除了受成土作用的影响外,在局部地区还受到了一定程度外在人为活动的干扰,磁性矿物含量高值区可能存在农田土壤污染。

表 3 农田土壤样品磁参数与背景磁参数的比值

Table 3 Ratios of sample magnetic parameters and background magnetic parameters in the farmland soil

项目	最小值/背景值	最大值/背景值	平均值/背景值
χ_{lf}	0.60	5.10	1.73
χ_{ARM}	0.50	8.84	2.15
SIRM	0.58	6.71	1.70
SOFT	0.56	8.33	2.09

SIRM 与 χ_{lf} 散点图可以指示磁性矿物组成的变化,当样品中只有一种磁性矿物存在或只有一种磁性矿物含量占绝对优势时,即使磁性矿物颗粒大小存在差异,SIRM 与 χ_{lf} 散点分布图也将呈一条直线^[38,43]. 由图 6 (a) 可见,研究区农田土壤样品 SIRM 与 χ_{lf} 显著线性相关,呈一条直线分布,两者相关系数为 $R^2 = 0.90$,表明农田土壤样品的磁学性质主要受亚铁磁性矿物和不完全反铁磁性矿物中的一

种控制. SOFT 与 χ_{lf} 的高度相关性 [图 6(b)] 以及 HIRM 与 χ_{lf} 较差的相关性 [图 6(c)] 进一步表明样品的磁学性质主要受其中低矫顽力软磁性的亚铁磁性矿物控制. 通过对典型样品 J-T 曲线及 Loops 曲线的分析可知,主导的亚铁磁性矿物种类是磁铁矿,此外,样品中还含有少量的赤铁矿及顺磁性矿物,可能含有磁赤铁矿. 在临泽县、甘州区、民乐县和山丹县内农田土壤样品磁性矿物的种类保持一致,而 4 个县区样品的 B_{cr} 平均值分别为 47.68、46.65、46.48 和 45.81 mT,S-ratio 平均值分别为 84.76%、87.75%、86.56% 和 86.78%,临泽县的 B_{cr} 值最高,S-ratio 值最低,说明在矿物组成上,临泽县农田土壤样品中高矫顽力的硬磁性组分所占比例更高,软磁性的亚铁磁性组分所占比例相对甘州区、民乐县和山丹县较低.

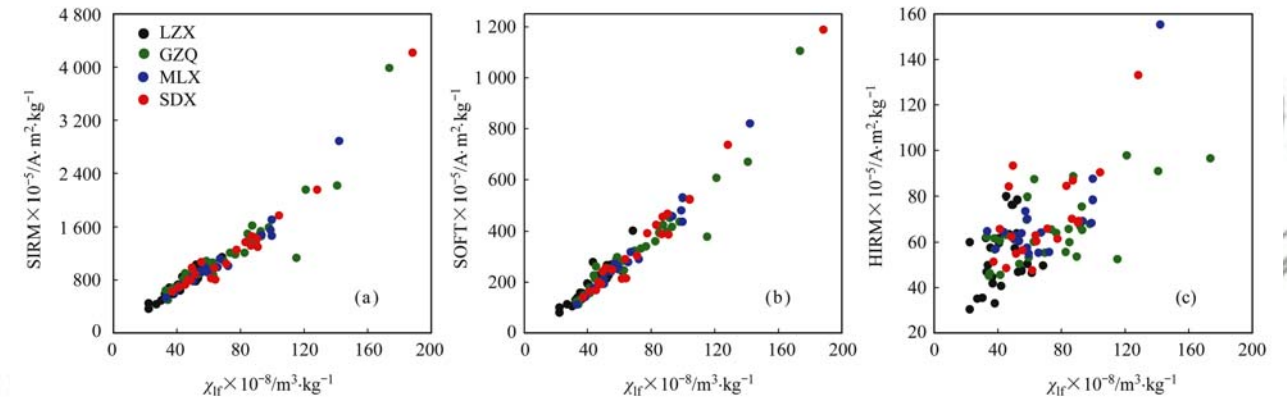


图 6 农田土壤样品磁参数散点图

Fig. 6 Scatter plots of magnetic parameters of the farmland soil samples

$\chi_{fd}\%$ 、 χ_{ARM}/χ_{lf} 、 $\chi_{ARM}/SIRM$ 及其组合可反映磁性矿物的粒度特征. Dearing 等^[44] 提出,在样品中的磁性矿物以磁铁矿为主导的情况下,可通过 $\chi_{fd}\%$ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$ 的散点图来判别样品的磁畴. Dearing 图显示 [图 7 (a)],研究区农田土壤样品绝大部分落

入 MD 和 PSD 范围,仅少量样品落入 Coarse SSD 范围,表明样品中磁性矿物的粒度偏粗,磁性颗粒的磁畴大多为多畴与假单畴,含少量粗粒稳定单畴; $\chi_{fd}\%$ 处于 50% SP 以下,表明样品中含有少量不占主导地位的极其微小的超顺磁颗粒. 同样,King

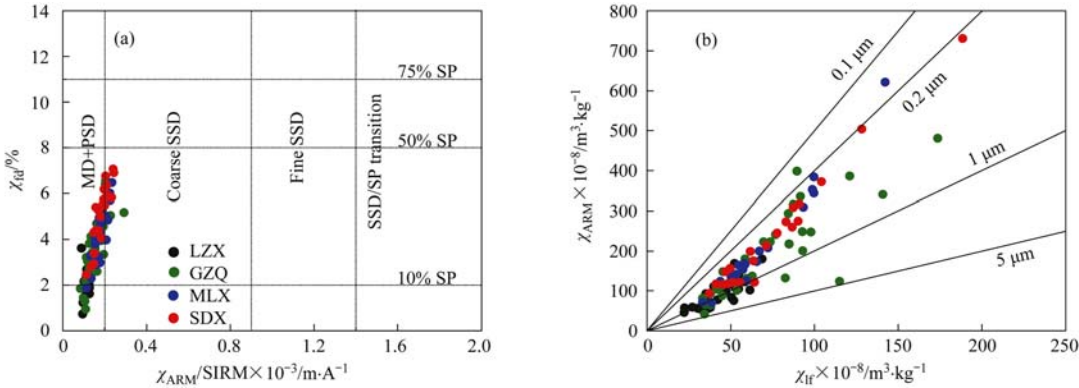


图 7 农田土壤样品 Dearing 和 King 图

Fig. 7 Dearing plot and King plot of the farmland soil samples

等^[45]提出可用 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 半定量鉴别样品的磁性矿物晶体颗粒大小. King 图显示[图 7(b)], 张掖市农田土壤样品大部分落入 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 范围, 进一步表明样品磁性矿物颗粒偏粗, 晶体粒径介于 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间. 比值磁参数 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 随着颗粒度的减小而增加, 分县区统计结果显示[图 4(g)和 4(h)], $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 在临泽县最小, 甘州区次之, 民乐县和山丹县较大, 因此, 4 个县区农田土壤样品的磁晶粒径为临泽县最粗, 民乐县和山丹县较细, 甘州区介于之间.

综上所述可知, 研究区农田土壤由于受成土作用影响及人类活动干扰, 磁性矿物含量空间变化较大, 在临泽县最低, 甘州区、民乐县和山丹县有显著增高; 矿物组成以亚铁磁性磁铁矿为主, 同时含有少量的赤铁矿和顺磁性矿物, 可能含有磁赤铁矿, 临泽县亚铁磁性组分所占比例相对甘州区、民乐县和山丹县较低; 磁性矿物的粒度偏粗, 以多畴 MD 和假单畴 PSD 颗粒为主, 有少量粗粒稳定单畴 SSD 和细粒超顺磁 SP 颗粒, 颗粒等效粒径主要介于 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间, 临泽县磁粒度最粗, 民乐县和山丹县较细, 甘州区介于之间.

3.2 农田土壤磁学参数空间分布及其环境意义

如前所述, 研究区农田土壤样品磁性矿物含量空间变化较大, 受人类活动干扰在磁性矿物含量高值区可能存在农田土壤污染, 对磁参数进行空间分析有助于了解磁性矿物的空间分布特征并圈定可能的污染范围. 研究区农田土壤样品磁参数的空间分布结果显示(图 8), 在空间上, χ_{lf} 呈现出 3 个相对高值区, 主要分布在甘州区的中部、民乐县的西南边和山丹县的西边, 其中 48 号、88 号和 20 号样点 χ_{lf} 值最高, 分别为 188.36×10^{-8} 、 173.64×10^{-8} 和 $142.18 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 除了高值区以外的区域 χ_{lf} 值相对较低, χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 均显示出与 χ_{lf} 高度一致的空间分布特征.

对磁参数的系统比较发现, 在临泽县内各个磁参数均呈现低值, 其中 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 几乎全部低于 2 倍背景值, 且整体分布均匀, 表明临泽县农田土壤中亚铁磁性矿物含量少, 磁性颗粒的外部人为输入也不显著, 磁性矿物含量主要受自然因素控制; $\chi_{\text{fd}}\%$ 变化范围为 $0.74\% \sim 5.32\%$, 平均值为 2.70% , 说明临泽县内农田土壤的成土发育较弱, 磁性矿物的自然来源中成土作用的贡献量相对较少; $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 与背景值接近, 在研究区呈相对低值, 颗粒偏粗. 因此, 临泽县农田土壤磁

性的整体低值与较弱的成土发育有关, 可以判定临泽县农田土壤基本呈清洁状态.

甘州区中部为张掖市的市区所在, 市区内商业、教育、工业等集中分布, 道路密集, 市区东北部为张掖工业园区, 园区内分布有生物医药、轻工食品、有色冶炼、化工建材、种子加工等产业群体, 市内丰富的人类活动不可避免地影响到周边土壤的环境质量, 靠近市区的农田土壤样点 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM 和 SOFT 均呈现高值, 其中 χ_{lf} 最高的 88 号样点位于市区东北边缘, 南侧为由市内通往火车站的主干道张火公路, 北侧为张掖工业园区, 且附近百米的范围内有一压瓦厂. 由于交通及工业生产排放的污染物中含有大量的粗粒强磁性小球颗粒, 通过大气、径流等途径的传播会造成附近农田土壤污染并使得磁性增强. $\chi_{\text{fd}}\%$ 、 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 与 χ_{lf} 呈相反的变化, 即甘州区中部 χ_{lf} 的高值区为 $\chi_{\text{fd}}\%$ 、 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的低值, 对应磁性颗粒偏粗. 高 χ_{lf} , 低 $\chi_{\text{fd}}\%$ 、 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的磁性特征明显不同于自然土壤. 因此, 甘州区中部磁性的增强主要由人类活动造成, 此处农田土壤可能存在一定程度的污染.

民乐县西南边与山丹县西边的 χ_{lf} 高值区呈带状分布, 与 χ_{lf} 相对应, $\chi_{\text{fd}}\%$ 、 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 也在民乐县西南边与山丹县西边呈现高值. 由 χ_{lf} 和 $\chi_{\text{fd}}\%$ 散点分布已知(图 5), 民乐县与山丹县 χ_{lf} 和 $\chi_{\text{fd}}\%$ 整体上有很强的线性正相关关系, 即民乐县与山丹县农田土壤成壤作用很强, 细粒 SP 颗粒对磁化率有很大贡献. 同样, χ_{lf} 和 $\chi_{\text{fd}}\%$ 的正相关性在民乐县西南边与山丹县西边的 χ_{lf} 带状高值区也十分显著, 说明此带状区农田土壤的成壤作用很强. $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 在民乐县西南边与山丹县西边呈高值, 表明此处磁性颗粒偏细. 因此, 民乐县西南边与山丹县西边农田土壤的磁性高值主要与较强的自然成土作用有关. 但是, χ_{lf} 高值的带状分布特征具有明显的人为干扰痕迹, 有研究表明^[46~48], 人为施入土壤的各种有机肥料、有机农药及生物质的燃烧等均可导致土壤有机碳和黑炭的累积, 由于土壤有机碳和黑炭具有吸附重金属的物化特性, 磁化率与土壤黑炭含量呈极强的正相关性. 实际考察发现, 当地有常年焚烧作物秸秆的习惯, 因此, 带状区农田土壤在自然作用的基础上可能还叠加了部分不显著的人为影响. 其中, χ_{lf} 最高的 48、20 和 13 号样点, $\chi_{\text{fd}}\%$ 仅为弱高值, 即其成土作用的信号有所减弱; 48 号样点靠近山丹县县

4 结论

(1) 研究区农田土壤磁性矿物组成以亚铁磁性的磁铁矿为主,并含有部分磁赤铁矿、赤铁矿及少量顺磁性矿物;磁性矿物的晶体颗粒主要为粗粒多畴(MD)和假单畴(PSD),并含有少量偏细粒的稳定单畴(SSD)和超顺磁(SP)颗粒,颗粒等效粒径介于 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 之间;磁性矿物含量空间变化较大,在临泽县最低,甘州区、民乐县和山丹县较高。

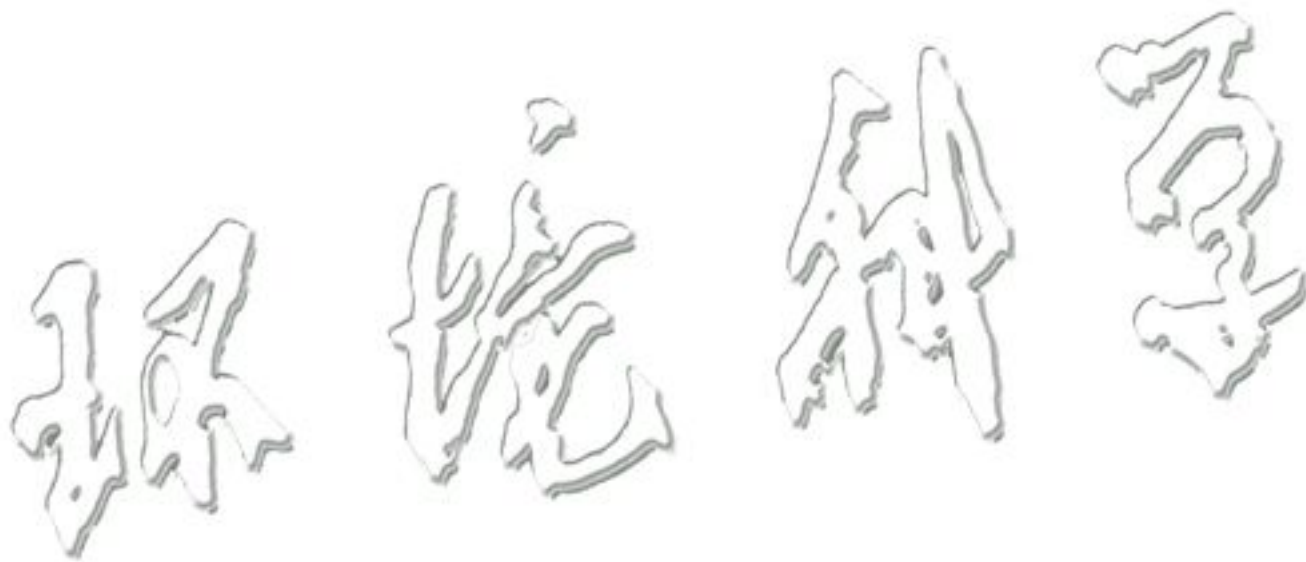
(2) 农田土壤的磁学特征表现出一定的空间分布规律,磁性矿物含量参数 χ_{lf} 、 χ_{ARM} 、SIRM和SOFT在空间上呈现出3个相对高值区,分别为甘州区的中部、民乐县的西南边和山丹县的西边,结合磁粒度参数 $\chi_{\text{fd}}\%$ 、 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{lf}}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 分析表明,甘州区中部的磁性高值主要受控于工业生产等人类活动的影响,民乐县西南边及山丹县西边除几个特殊点位外的磁性高值主要与较强的自然成土作用有关。综合多种磁参数的系统分析能够有效地监测农田土壤污染状况。

参考文献:

- [1] 张小敏, 张秀英, 钟太洋, 等. 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 692-703.
Zhang X M, Zhang X Y, Zhong T Y, *et al.* Spatial distribution and accumulation of heavy metal in arable land soil of China[J]. Environmental Science, 2014, **35**(2): 692-703.
- [2] Guo G H, Wu F C, Xie F Z, *et al.* Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, **24**(3): 410-418.
- [3] Stajic J M, Milenkovic B, Pucarevic M, *et al.* Exposure of school children to polycyclic aromatic hydrocarbons, heavy metals and radionuclides in the urban soil of Kragujevac city, Central Serbia[J]. Chemosphere, 2016, **146**: 68-74.
- [4] 朱艳明, 郭小蕾, 周力平. 北京地区表土磁性特征及其环境意义[J]. 科学通报, 2010, **55**(17): 1717-1725.
Zhu Y M, Guo X L, Zhou L P. Magnetic properties of surface soils in Beijing area and their environmental implications[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, **55**(17): 1717-1725.
- [5] 刘秀铭, 刘东生, Shaw J. 中国黄土磁性矿物特征及其古气候意义[J]. 第四纪研究, 1993, **13**(3): 281-287.
Liu X M, Liu D S, Shaw J. Magnetic mineral characteristics of Chinese loess and its palaeoclimatic significance[J]. Quaternary Sciences, 1993, **13**(3): 281-287.
- [6] Heller F, Liu T. Magnetism of Chinese loess deposits[J]. Geophysical Journal International, 1984, **77**(1): 125-141.
- [7] Heller F, Strzyszczyk Z, Magiera T. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1998, **103**(B8): 17767-17774.
- [8] Hoffmann V, Knab M, Appel E. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, **66**(1-2): 313-326.
- [9] 沈明洁, 胡守云, Blaha U, 等. 北京东郊 722 土壤垂向剖面重金属污染的磁学响应及其统计意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, **31**(3): 399-404.
Shen M J, Hu S Y, Blaha U, *et al.* Magnetic responses to heavy metal pollution and its statistics significance for site 722 soil vertical profile in Eastern Beijing[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, **31**(3): 399-404.
- [10] 卢升高, 白世强. 杭州城区土壤的磁性及其环境意义[J]. 地球物理学报, 2008, **51**(3): 762-769.
Lu S G, Bai S Q. Magnetic characterization and magnetic mineralogy of the Hangzhou urban soils and its environmental implications[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008, **51**(3): 762-769.
- [11] 王博, 夏敦胜, 余晔, 等. 兰州城市表层土壤重金属污染的环境磁学记录[J]. 科学通报, 2012, **57**(32): 3078-3089.
Wang B, Xia D S, Yu Y, *et al.* Magnetic records of heavy metal pollution in urban topsoil in Lanzhou, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, **58**(3): 384-395.
- [12] Zhang C X, Qiao Q Q, Piper J D A, *et al.* Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods[J]. Environmental Pollution, 2011, **159**(10): 3057-3070.
- [13] 王博, 夏敦胜, 余晔, 等. 环境磁学在监测城市河流沉积物污染中的应用[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(9): 1979-1991.
Wang B, Xia D S, Yu Y, *et al.* Use of environmental magnetism to monitor pollution in the river sediment of an urban area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, **31**(9): 1979-1991.
- [14] Xia D S, Chen F H, Bloemendal J, *et al.* Magnetic properties of urban dustfall in Lanzhou, China, and its environmental implications[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(9): 2198-2207.
- [15] Shi M N, Wu H C, Zhang S H, *et al.* Weekly cycle of magnetic characteristics of the daily PM_{2.5} and PM_{2.5-10} in Beijing, China[J]. Atmospheric Environment, 2014, **98**: 357-367.
- [16] Xie S J, Dearing J A, Bloemendal J. The organic matter content of street dust in Liverpool, UK, and its association with dust magnetic properties[J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(2): 269-275.
- [17] Wang G, Oldfield F, Xia D S, *et al.* Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: a case study from the city of Lanzhou, China[J]. Atmospheric Environment, 2012, **46**: 289-298.
- [18] Maher B A, Moore C, Matzka J. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(2): 364-373.
- [19] 曹丽婉, 胡守云, Appel E, 等. 临汾市树叶磁性的时空变化特征及其对大气重金属污染的指示[J]. 地球物理学报, 2016, **59**(5): 1729-1742.
Cao L W, Hu S Y, Appel E, *et al.* The spatio-temporal variation of magnetic properties of tree leaves in Linfen, China and its indication to the atmospheric pollution of heavy metals[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, **59**(5): 1729-1742.
- [20] 杨涵, 熊黑钢, 陈学刚. 石河子市土壤环境磁学特征及空间

- 分布研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(9): 3537-3545.
- Yang H, Xiong H G, Chen X G. Environmental magnetic properties and their spatial variability of topsoil in Shihezi City [J]. Environmental Science, 2014, **35**(9): 3537-3545.
- [21] Xia D S, Wang B, Yu Y, *et al.* combination of magnetic parameters and heavy metals to discriminate soil-contamination sources in Yinchuan—A typical oasis city of Northwestern China [J]. Science of the Total Environment, 2014, **485-486**: 83-92.
- [22] Wang B, Xia D S, Yu Y, *et al.* Detecting the sensitivity of magnetic response on different pollution sources-A case study from typical mining cities in northwestern China [J]. Environmental Pollution, 2015, **207**: 288-298.
- [23] Magiera T, Zawadzki J. Using of high-resolution topsoil magnetic screening for assessment of dust deposition: comparison of forest and arable soil datasets [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, **125**(1): 19-28.
- [24] 许淑婧, 张英, 余晔, 等. 西北干旱区黄河沿岸典型工业带表土磁性特征及其环境意义[J]. 环境科学, 2013, **34**(9): 3578-3586.
- Xu S J, Zhang Y, Yu Y, *et al.* Magnetic properties of topsoils in typical industrial belt along the Yellow River in arid regions in northwest China and their environmental significance [J]. Environmental Science, 2013, **34**(9): 3578-3586.
- [25] 段雪梅, 胡守云, 闫海涛, 等. 南京某钢铁公司周边耕作土壤的磁学性质与重金属污染的相关性研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, **39**(9): 1304-1312.
- Duan X M, Hu S Y, Yan H T, *et al.* Relationship between magnetic parameters and heavy element contents of arable soil around a steel company, Nanjing [J]. Science China Earth Sciences, 2010, **53**(3): 411-418.
- [26] Zhang C X, Appel E, Qiao Q Q. Heavy metal pollution in farmland irrigated with river water near a steel plant—magnetic and geochemical signature [J]. Geophysical Journal International, 2013, **192**(3): 963-974.
- [27] 陈轶楠, 张永清, 张希云, 等. 晋南某钢厂周边土壤重金属与磁化率分布规律及其相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, **28**(1): 85-91.
- Chen Y N, Zhang Y Q, Zhang X Y, *et al.* Distributions of soil heavy metal elements and magnetic susceptibility and their correlativity around a steel factory in southern Shanxi province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, **28**(1): 85-91.
- [28] 杨萍果. 山西襄汾农田土壤磁化率和养分空间变异性[J]. 中国沙漠, 2013, **33**(3): 813-818.
- Yang P G. Spatial variability of soil magnetic susceptibility and nutrients in Xiangfen, Shanxi, China [J]. Journal of Desert Research, 2013, **33**(3): 813-818.
- [29] 欧阳婷萍, 万洪富, 张金兰, 等. 珠江三角洲农业土壤磁化率空间分布特征及其影响因素分析[J]. 第四纪研究, 2012, **32**(6): 1199-1206.
- Ouyang T P, Wan H F, Zhang J L, *et al.* Spatial distribution characteristics of magnetic susceptibility of agricultural soils and analysis of its influencing factors for the Pearl River Delta, China [J]. Quaternary Sciences, 2012, **32**(6): 1199-1206.
- [30] 吴丹, 欧阳婷萍, 匡耀求, 等. 佛山农业表层土壤磁化率特征及其与重金属含量的关系[J]. 生态环境学报, 2014, **23**(11): 1826-1831.
- Wu D, Ouyang T P, Kuang Y Q, *et al.* Correlation between magnetic susceptibility and the concentration of heavy metal in agricultural topsoil of Foshan City [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, **23**(11): 1826-1831.
- [31] Thompson R, Oldfield F. Environmental magnetism [M]. London: Allen & Unwin, 1986. 1-127.
- [32] 姜月华, 殷鸿福, 王润华. 环境磁学理论、方法和研究进展[J]. 地球学报, 2004, **25**(3): 357-362.
- Jiang Y H, Yin H F, Wang R H. The theory, method and research progress of environmental magnetism [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, **25**(3): 357-362.
- [33] 敖红, 邓成龙. 磁性矿物的磁学鉴别方法回顾[J]. 地球物理学进展, 2007, **22**(2): 432-442.
- Ao H, Deng C L. Review in the identification of magnetic minerals[J]. Progress in Geophysics, 2007, **22**(2): 432-442.
- [34] 夏敦胜, 马剑英, 王冠, 等. 环境磁学及其在西北干旱区环境研究中的问题[J]. 地学前缘, 2006, **13**(3): 168-179.
- Xia D S, Ma J Y, Wang G, *et al.* Environmental magnetism concepts and their applications to environmental studies in arid regions, Northwest China[J]. Earth Science Frontiers, 2006, **13**(3): 168-179.
- [35] Liu Q S, Roberts A P, Larrasoana J C, *et al.* Environmental magnetism: principles and applications [J]. Reviews of Geophysics, 2012, **50**(4): RG4002.
- [36] Evans M E, Heller F. Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics [M]. New York: Academic Press, 2003.
- [37] 周洪英, 单爱琴. 城市表土磁学特征对污染源的指示[J]. 环境科学与技术, 2016, **39**(4): 190-193, 199.
- Zhou H Y, Shan A Q. Magnetic characteristics of urban topsoil and the implications on pollution origins [J]. Environmental Science & Technology, 2016, **39**(4): 190-193, 199.
- [38] 李勇, 李海燕, 白凌燕, 等. 发育于石英岩之上的表土磁学性质及其环境磁学意义[J]. 土壤, 2009, **41**(1): 60-66.
- Li Y, Li H Y, Bai L Y, *et al.* Magnetic property and environmental magnetism significance of surface soil derived from quartzite[J]. Soils, 2009, **41**(1): 60-66.
- [39] Deng C, Zhu R, Jackson M J, *et al.* Variability of the temperature-dependent susceptibility of the Holocene eolian deposits in the Chinese loess plateau: a pedogenesis indicator [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, 2001, **26**(11-12): 873-878.
- [40] 张春霞, 黄宝春. 环境磁学在城市环境污染监测中的应用和进展[J]. 地球物理学进展, 2005, **20**(3): 705-711.
- Zhang C X, Huang B C. The application and research progress of environmental magnetism in monitoring urban environment pollution[J]. Progress in Geophysics, 2005, **20**(3): 705-711.
- [41] 王博, 夏敦胜, 余晔, 等. 典型沙漠绿洲城市表土磁性特征及环境指示意义[J]. 地球物理学报, 2014, **57**(3): 891-905.
- Wang B, Xia D S, Yu Y, *et al.* Magnetic properties of urban soils from typical oasis cities and their environmental implications [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, **57**(3): 891-905.
- [42] 旺罗, 刘东生, 吕厚远. 污染土壤的磁化率特征[J]. 科学通报, 2000, **45**(10): 1091-1094.
- [43] 田世丽, 夏敦胜, 余晔, 等. 西北地区河谷城市大气降尘环境磁学特征及其环境意义[J]. 环境科学, 2011, **32**(9):

- 2761-2768.
- Tian S L, Xia D S, Yu Y, *et al.* Magnetic property of dustfall in a Northwest China valley city and its environmental implications [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(9): 2761-2768.
- [44] Dearing J A, Bird P M, Dann R J L, *et al.* Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation [J]. *Geophysical Journal International*, 1997, **130**(3): 727-736.
- [45] King J, Banerjee S K, Marvin J, *et al.* A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediments [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1982, **59**(2): 404-419.
- [46] 章明奎, 王浩, 郑顺安. 土壤中黑碳的表面化学性质及其变化研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2009, **35**(3): 278-284.
- Zhang M K, Wang H, Zheng S A. Preliminary study of surface chemical properties and transform of black carbon in soils [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2009, **35**(3): 278-284.
- [47] 汪青. 土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展 [J]. *生态学报*, 2012, **32**(1): 293-310.
- Wang Q. A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(1): 293-310.
- [48] Simpson M J, Hatcher P G. Determination of black carbon in natural organic matter by chemical oxidation and solid-state ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. *Organic Geochemistry*, 2004, **35**(8): 923-935.



CONTENTS

Evaluation and Development of a Weighing Chamber by Using Saturated MgCl_2 Solution	LI Xiao-xiao, ZHANG Qiang, DENG Jian-guo, <i>et al.</i> (3095)
Characteristics Research on Carbonaceous Component of Particulate Matter Emitted from Iron and Steel Industry	ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, MA Xian, <i>et al.</i> (3102)
Pollution Characteristics and Source Identification of PAHs in Atmospheric $\text{PM}_{2.5}$ in Changzhou City	GU Ai-jun, LIU Jia-shu, LUO Shi-peng, <i>et al.</i> (3110)
Atmospheric Dry Deposition Fluxes and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lanzhou Valley, Northwest China	JU Yuan-li, LIU Pan-liang, YU Zhou-suo, <i>et al.</i> (3120)
Characteristics and Sources of Elements in Atmospheric Dust Fall in Zhuzhou City, Central China	WANG Shi-hao, ZHANG Kai, CHAI Fa-he, <i>et al.</i> (3130)
Atmospheric Pollutant Emission Characteristics from the Cooking Process of Traditional Beijing Roast Duck	XU Min, HE Wan-qing, NIE Lei, <i>et al.</i> (3139)
Exhaust Emission Characteristics of Typical Alkanes from Heavy-Duty Diesel Vehicles Based on a Portable Emission Measurement System	SHI Chun-zhen, HAO Xue-wei, SHEN Xian-bao, <i>et al.</i> (3146)
PM_{10} Concentration Forecasting Model Based on Wavelet-SVM	WANG Ping, ZHANG Hong, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i> (3153)
Emission Factors and Preliminary Emission Estimates of Air Pollutants from Ships at Berth in the Guangzhou Port	HUANG Xue-liang, ZHANG Zhou, YANG Wei-qiang, <i>et al.</i> (3162)
Influence of Dust Events on the Concentration and Size Distribution of Microorganisms in Bioaerosols	LI Hong-tao, Qi Jian-hua, DONG Li-jie, <i>et al.</i> (3169)
Odor Emission Characteristics and Pollution Evaluation from Typical Household Rubbish Disposal Facilities	LU Hui-jie (3178)
Perfluorinated Compounds in Snow from Downtown Hangzhou, China	ZHANG Ming, TANG Fang-liang, YU Ya-yun, <i>et al.</i> (3185)
Fluorescence Characterization of Fractionated Colloids in Wastewaters Received by Huangpu River	NIE Ming-hua, YAN Cai-xia, YANG Yi, <i>et al.</i> (3192)
Sources of Organic Carbon in the Surface Water of Lijiang River	ZHAO Hai-juan, XIAO Qiong, WU Xia, <i>et al.</i> (3200)
Impacts of Thermal Stratification on the Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon in a Typical Karst Reservoir in Summer	WU Fei-hong, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i> (3209)
Comparison of Heavy Metal Contamination Characteristics in Surface Water in Different Functional Areas; A Case Study of Ningbo	XU Mei-juan, TONG Gui-hua, SUN Dan, <i>et al.</i> (3218)
Comparison of Identification Methods of Main Component Hydrochemical Anomalies in Groundwater; A Case Study of Liujiang Basin	ZHANG Xiao-wen, HE Jiang-tao, PENG Cong, <i>et al.</i> (3225)
Biotic and Abiotic Uptake of Phosphorus in Benthic Sediments of Suburban Streams Under Intense Human Disturbance Scenario	LI Ru-zhong, YE Zhou, GAO Su-di, <i>et al.</i> (3235)
Sedimentary Phosphorus Speciation in the Coastal Hypoxic Area of Changjiang Estuary and Its Environmental Significance	LIU Jun, ZANG Jia-ye, RAN Xiang-bin, <i>et al.</i> (3243)
Characteristics and the Relationship of Nitrogen and Phosphorus in Soil and Water of Different Land Use Types of a Small Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Cheng-long, GAO Ming, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (3254)
Characteristics of Carbon Transportation Under Rainfall Events and Associated Carbon Loss Evaluation in Loess Plateau, China; A Case Study of Yangjuangou Dam Watershed	E Xin-hui, WANG Ya-feng, GAO Yang, <i>et al.</i> (3264)
New Bromated Phenolic Disinfection Byproducts: Mechanism of Their Decomposition During Chlorination	LI Huan, LI Zheng-kui, LI Ai-min, <i>et al.</i> (3273)
Effects of Algal Morphology and Al Species Distribution on the Coagulation-Ultrafiltration Process	ZHANG Da-wei, XU Hui, WANG Xi, <i>et al.</i> (3281)
Functional Group Characteristics of Planktonic Diatoms and Their Relationship with Environmental Factors in the Ruxi River	XIANG Rong, LI Qiao-yu, YU Yi, <i>et al.</i> (3290)
Spatiotemporal Variations of Chlorophyll <i>a</i> and Its Relationship to Environmental Factors in Shiyan Reservoir	SONG Yun-long, ZHANG Jin-song, Guo Xiao-ya, <i>et al.</i> (3302)
Rhizosphere Microbial Diversity in Different Wetland Microcosms	WANG Lin, LI Bing, YU Jia-hui, <i>et al.</i> (3312)
Community Structure of Microorganisms and Its Seasonal Variation in Beihai Lake	ZHANG Ya-jie, LI Ke, ZHU Hao-ran, <i>et al.</i> (3319)
Analysis of Microbial Diversity in a Fluidized-Sand Biofilter Based on High-Throughput Sequencing Technology	ZHANG Hai-geng, SONG Hong-qiao, GU Chuan-chuan, <i>et al.</i> (3330)
Analysis of High-efficiency Denitrifying Bacteria and Embedding Filler Performance and Microflora	MENG Ting, YANG Hong (3339)
Selection of Microalgae for Biofuel Using Municipal Wastewater as a Resource	HAN Song-fang, JIN Wen-biao, TU Ren-jie, <i>et al.</i> (3347)
Purification Effect of Piggery Wastewater with <i>Chlorella pyrenoidosa</i> by Immobilized Biofilm-Attached Culture	WANG Yuan-zhu, CHENG Peng-fei, LIU De-fu, <i>et al.</i> (3354)
Combination of Microbubble Catalytic Ozonation and Biological Process for Advanced Treatment of Biotreated Coal Chemical Wastewater	LIU Chun, ZHOU Hong-zheng, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (3362)
Effect of pH Shock on Nitrogen Removal Performance of Marine Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater	YU De-shuang, ZHOU Tong, LI Jin, <i>et al.</i> (3369)
Removal of Nitrogen from Alcohol Wastewater by PN-ANAMMOX	ZHOU Zheng, LIN Xing, WANG Fan, <i>et al.</i> (3377)
Biorecovery of Palladium from Simulated Wastewaters and Its Catalytic Property for Methylene Blue	KANG Nai-xin, ZHU Neng-wu, GUO Wen-ying, <i>et al.</i> (3385)
Investigation of Initiation and Shock Process of ANAMMOX Based on Color Space	WANG Li-jun, LI Zhi-hua, HAN Dong, <i>et al.</i> (3393)
Fast Start-up of Shortcut Nitrification in a CSTR and an MBR	ZHANG Ting, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (3399)
Conversion Pathways of Substrates in Sulfate-Reducing Ammonia Oxidation System	WANYAN De-qing, HUANG Yong, BI Zhen, <i>et al.</i> (3406)
Effect of Different TOC to NH_4^+ -N Ratios on Nitrogen Removal Efficiency in the ANAMMOX Process	WANG Fan, LIU Kai, LIN Xing, <i>et al.</i> (3415)
Effects of Salinity on the Operation of EGSB Reactors and the Anaerobic Granular Sludge	TAN Xiao, HUANG Liang, YANG Ping, <i>et al.</i> (3422)
Start-up of Granule CANON Process and the Strategy for Enhancing Total Nitrogen Removal Rate	SUN Yan-fang, HAN Xiao-yu, ZHANG Shun-jun, <i>et al.</i> (3429)
Effect of Extracellular Polymeric Substance (EPS) on the Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) onto Activated Sludge	LIU Xin-tong, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (3435)
Characteristics of N_2O and NO_x Emissions from Purple Soil Under Different Fertilization Regimes	HU Lei, LIU Yun, ZHU Bo (3442)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane Emission from a Vegetable Field	ZHANG Kai-li, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (3451)
Responses of Soil Ammonia Oxidizers to Simulated Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe of Inner Mongolia	ZHANG Cui-jing, SHEN Ju-peí, SUN Yi-fei, <i>et al.</i> (3463)
Nitrification Activity and Autotrophic Nitrifiers in Long-term Fertilized Acidic Upland Soils	XU Bai-lu, ZHONG Wen-hui, HUANG Qian-ru, <i>et al.</i> (3473)
Effects of CaCO_3 Application on Soil Microbial Nitrogen Cycle in an Acid Soil	GUO An-ning, DUAN Gui-lan, ZHAO Zhong-qiu, <i>et al.</i> (3483)
Responses of Extracellular Enzymes to Nitrogen Application in Rice of Various Ages with Rhizosphere and Bulk Soil	WEI Liang, TANG Zhen-zhu, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (3489)
Variation in the Temperature Sensitivity of Surface Litter Respiration and Its Influencing Factors	ZHANG Yan-jun (3497)
Magnetic Properties of Farmland Soils in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Implications	WANG Xin, XIA Dun-sheng, WANG Bo, <i>et al.</i> (3507)
Preparation of Magnetic Biomass Carbon by Thermal Decomposition of Siderite Driven by Wheat Straw and Its Adsorption on Cadmium	ZHANG Ru-yu, LIU Hai-bo, ZOU Xue-hua, <i>et al.</i> (3519)
Effects of Traffic-related Air Pollution Exposure on DNA Methylation	WANG Ting, DING Rui, HUANG Dan-ni, <i>et al.</i> (3529)
Effects of Exogenous Microorganism Inoculation on Efficiency and Bacterial Community Structure of Sludge Composting	YANG Ping-ping, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (3536)
Life Cycle Assessment of Traction Lead-acid Batteries for Electric Bikes in China	LIU Wei, TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun (3544)