

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.02.028

常洁, 陈学刚, 董煜. 新疆天山天池景区表土磁性特征的时空变化. 土壤, 2021, 53(2): 421–428.

## 新疆天山天池景区表土磁性特征的时空变化<sup>①</sup>

常洁<sup>1</sup>, 陈学刚<sup>1,2\*</sup>, 董煜<sup>1,2</sup>

(1 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2 新疆师范大学新疆维吾尔自治区干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:** 以天山天池 5A 级景区表土为研究对象, 分别于 2015 年和 2017 年两次采集表土样品, 采用磁测、统计和 GIS 方法对其磁学特征、时空变异性进行研究。结果表明: 表土样品载磁矿物以低矫顽力亚铁磁性矿物(磁铁矿和磁赤铁矿)为主, 同时含有一定不完全反铁磁性矿物(赤铁矿和针铁矿), 磁性矿物含量适中, 磁性矿物粒度主要由假单畴粗颗粒和含量相对较低的超顺磁性细颗粒混合而成; 表土样品中磁性矿物特征随时间变化显著, 2017 年磁性矿物含量、粗颗粒比例高于 2015 年; 从景区表土样品磁性参数空间分布看, 两期分布图变化趋势相似, 2015 年的高值区位于旅游核心景点区域及湖泊南部区域, 2017 年的高值区由 2015 年的高值区扩大到环湖区域且在核心景点区域含量增高; 除自然因素外, 由于研究区远离工业区、城市等污染源, 两期磁性矿物含量和粒度产生的时空差异主要是两年的旅游交通活动输入的磁性污染物不断累积引起的。研究发现, 监测景区表土磁性参数的时空变化有助于圈定可能污染范围的变化和判别污染物来源。

**关键词:** 时空变化; 磁性参数; 表层土壤; 天池

**中图分类号:** P934; X53 **文献标志码:** A

### Temporal and Spatial Variation of Magnetic Properties of Topsoils in Heaven Lake Scenic Spot at Tianshan Mountain of Xinjiang, China

CHANG Jie<sup>1</sup>, CHEN Xuegang<sup>1,2\*</sup>, DONG Yu<sup>1,2</sup>

(1 School of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2 Key Laboratory of Arid Lake Environment and Resources, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** The topsoil samples were collected in 2015 and 2017 from Heaven Lake 5A Scenic Spot at Tianshan Mountain of Xinjiang, and their magnetic properties, temporal and spatial variation were investigated by the methods of magnetic measurement, statistics and GIS. The results showed that low coercive ferrimagnetic minerals (magnetite and maghemite) were predominated the magnetic materials and included some amount of anti-ferrimagnetic minerals (hematite and goethite), the content of magnetic minerals was moderate and the magnetic mineral size of the two samples was mainly composed of pseudo-domain coarse particles and SP particles with relatively low content. The properties of magnetic minerals in the topsoil samples changed significantly with time, and the content of magnetic materials and the proportion of coarse particles in 2017 samples were higher than those in 2015 ones. As for the spatial distribution of magnetic mineral content in topsoil samples, the changing trends of the distribution maps were similar in the two phases. In 2015, the high value area was located in the core scenic spot area and in the southern part of the Lake, while in 2017, the high value area expanded from the high value area in 2015 to the area around the Lake. Moreover, the content in the core scenic spot area was increased. In addition to natural factors, being far away from pollution sources such as industrial areas and cities, the spatial and temporal differences of magnetic mineral contents and grain sizes between the two phrases were mainly caused by the accumulation of magnetic pollutant particles input by tourism traffic activities in these two years. It was found that monitoring the temporal and spatial changes of the magnetic parameters of the topsoils in the scenic spot is helpful to delineate the possible changes of pollution scope and identify the sources of pollutants.

①基金项目: 国家自然科学基金项目(41461033、41161029、41861033)资助。

\*通讯作者(caschxg@126.com)

作者简介: 常洁(1995—), 女, 新疆石河子人, 硕士研究生, 主要从事旅游开发与规划研究。E-mail: 935961615@qq.com

**Key words:** Temporal and spatial variation; Magnetic parameters; Topsoil; Heaven Lake

旅游过程中旅游景区是游客游览的核心要素。但是,随着景区内游客活动量的增加,在消耗景区内资源的同时,景区污染物的排放也显著增加。景区内土地践踏、旅游设施建设、尾气排放、旅游垃圾等一系列的旅游活动导致的生态污染直接影响到人们的健康<sup>[1]</sup>。土壤作为旅游景区生态圈中游客直接接触的部分,在维持生态系统平衡与稳定的同时也极易受到旅游活动的干扰。而景区内表土对旅游活动的敏感性响应会通过土壤理化性质的改变表现出来<sup>[2]</sup>,所以对景区内土壤污染的研究是评价景区环境质量的重要手段<sup>[3]</sup>。土壤磁性作为土壤性质的一个重要组成部分,能够表征人为活动影响下的表土磁性特征与自然成土下的表土磁性特征的差异性<sup>[4-5]</sup>。如,在景区自助游带动下,私家车和区间车增多等一系列能源消耗与排放的旅游活动中产生的污染物通常含磁性矿物颗粒,而这些矿物颗粒主要是与交通活动如尾气排放、轮胎磨损、垃圾焚烧等有关的 Pb、Cu、Zn 的污染来源<sup>[6]</sup>。研究显示,污染物中磁学参数值与重金属含量具有显著正相关性,这使得磁学参数不仅成为重金属元素含量的代用指标同时也能指示人为污染<sup>[7]</sup>。由于磁学参数能够灵敏地判断样品中磁性矿物含量、矿物种类和粒径大小,且通过磁学参数分析可推断磁性颗粒受时空变化影响的过程,因而其也成为环境污染变化评估的代用指标<sup>[8-9]</sup>。磁学参数测量方法有迅速、灵敏、对环境无破坏性、费用低等优势,因而被广泛应用于土壤污染源的测定和追踪、污染评价等方面<sup>[10]</sup>。当前,国内外学者针对土壤性质的时空变化分析主要集中在土壤的养分<sup>[11-12]</sup>、重金属<sup>[13]</sup>和盐分<sup>[14]</sup>等,而针对土壤磁性的研究主要在单一时间点的分析并仅见于农田土壤磁化率空间变异研究<sup>[15]</sup>,关于景区内土壤磁性时空变异的报道尚不多见。本文在前人研究的基础上对天池景区表土磁性随时间变化引起的空间分布变化进行研究,并绘制空间分布图,以期能得到天池景区表土磁性污染的时空变异特征,明晰表土的污染特点、污染程度、磁性分布规律等。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

天山天池风景区位于天山东段博格达主峰北坡的新疆阜康市南,距阜康市区 37 km,距首府 97 km,地理坐标 88°00'~88°20'E,43°45'~43°59'N,面积 248 km<sup>2</sup>,海拔 1 910 m。研究区气候属典型的大陆性

干旱气候,年平均气温 2.55 ℃,年降水量为 500~600 mm;区内土壤类型以灰褐色森林土、山地栗钙土、山地棕钙土为主;地质构造方面,天山天池属东天山博格达造山带,呈东-西走向夹持于准噶尔和吐鲁番-哈密两个中、新生代盆地之间,处于博格达晚古生代弧后断陷盆地与准噶尔中央地块的接合部,断层、褶皱发育,由一系列推覆构造岩片组成<sup>[16]</sup>。丰富的自然景观和人文资源,不仅为天池景区旅游活动的开展提供了良好的环境基础,且使其在新疆旅游业发展中居于重要地位,其于 2007 年被评为国家 5A 级旅游景区。

### 1.2 样品采集和分析方法

2015 年 8 月和 2017 年 5 月分别对天山天池景区内表土进行样品采集,采样点的选取主要以旅游交通区、旅游活动频繁区和旅游活动稀少的未干扰区为主。采用以 100 m 间隔的系统采样法均匀地在景区内布点采样,分别采集 79 个(2015 年)、35 个(2017 年)表土样品,其中 2017 年采样点与 2015 年采样点重合。每个样品利用梅花点采样法采集表土 0~10 cm,每个样品混合而成 1 kg 左右的样品,装入双层聚乙烯塑料密封袋中,标注样品信息及编号。

采集的表土样品经过放置在阴凉、干燥、通风、无尘污染的室内进行自然风干后,拣出杂质、植物根系、大块石砾等,过 1 mm 的尼龙筛,称重并用塑料保鲜膜包紧后装入 10 cm<sup>3</sup> 的测磁专用样品盒内压实封口,供测试使用。样品送至中国地质大学古地磁实验检测室进行测试,样品的低频磁化率  $\chi_{LF}(976\text{Hz})$  和高频磁化率  $\chi_{HF}(15\ 616\ \text{Hz})$  采用卡帕桥 MFK1-FA 多频磁化率仪测量,根据测量结果计算频率磁化率  $\chi_{FD}$ ,  $\chi_{FD}(\%)=(\chi_{LF}-\chi_{HF})/\chi_{LF}\times 100$ 。表土样品的等温剩磁(IRM)和饱和等温剩磁(SIRM)利用 IM-10-30 脉冲磁化仪和旋转磁力仪测量, SIRM 外加磁场强度为 1 000 mT;并测量样品的-20、-100、-300 mT 反向磁场的等温剩磁。软剩磁  $\text{SOFT}=(\text{SIRM}-\text{IRM}_{-20\text{mT}})/(2m)$ (其中  $m$  代表质量)和硬剩磁  $\text{HIRM}=(\text{SIRM}+\text{IRM}_{-300\text{mT}})/(2m)$ ,  $\text{SIRM}/\chi_{LF}$  以及比值参数通过已测磁性参数计算得到,  $S_{\text{ratio}}(\%)=-\text{IRM}_{-300\text{mT}}/\text{SIRM}\times 100$ 。

### 1.3 数据处理

样品磁性参数的统计分析利用 SPSS 20.0 软件完成,磁学参数的统计图和空间分布图利用 Graph Prism 6 和 ArcGIS 10.0 软件完成。

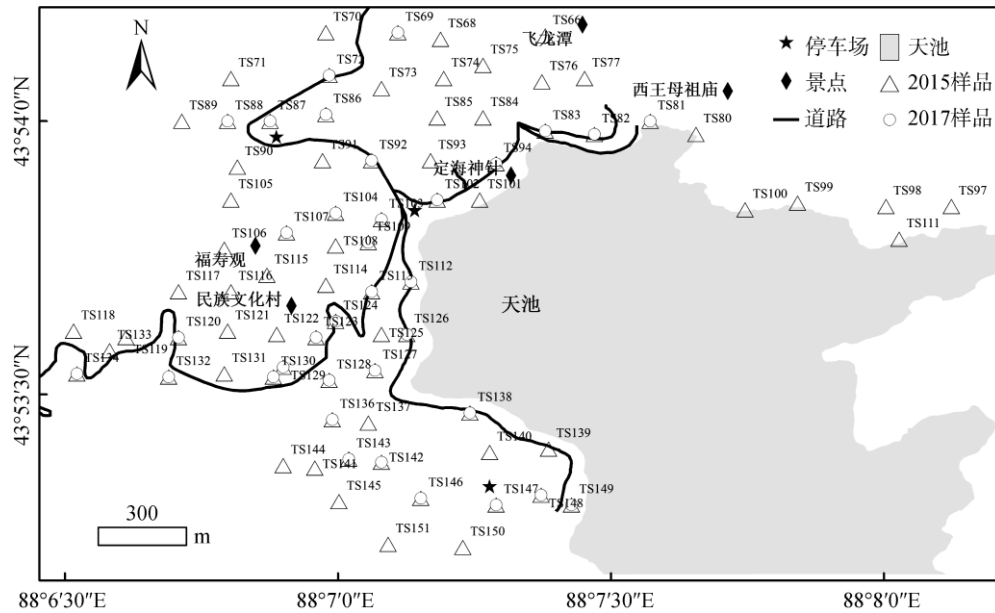


图 1 2015 年和 2017 年 2 期采样点空间分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in 2015 and 2017

## 2 结果

### 2.1 磁性矿物类型参数

研究区两次样品的磁性参数描述性统计见表 1。SOFT 是反映低矫顽力的亚铁磁性矿物(如磁铁矿或磁赤铁矿)含量的指标<sup>[17-19]</sup>, HIRM 则用于估计样品中高矫顽力的不完全反铁磁性矿物(如赤铁矿和针铁矿)含量<sup>[20]</sup>。从表 1 可以看出, 研究区土壤 SOFT 的变化范围 2015 年为 $(134.62 \sim 1\,063.04) \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$  (平均值  $283.29 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ ), 2017 年为 $(108.98 \sim 831.57) \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$  (平均值  $374.15 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ ); HIRM 的变化范围 2015 年为 $(17.86 \sim 110.58) \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$  (平均值  $43.96 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ ), 2017 年为 $(11.48 \sim 144.39) \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$  (平均值  $60.58 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ )。  $S_{\text{ratio}}$  可用来评价低矫顽力软剩磁与高矫顽力硬剩磁矿物的相对含量<sup>[21]</sup>, 其值越接近 1 时, 表示低矫顽力的亚铁磁性矿物(如磁铁矿或磁赤铁矿)是样品中主要的磁性矿物<sup>[22]</sup>。当  $S_{\text{ratio}} < 0.8$ , 则说明样品中含有较高比例的硬磁性矿物, 反之,  $0.8 < S_{\text{ratio}} < 1.0$ , 则软磁性矿物占优势。研究区土壤  $S_{\text{ratio}}$  2015 年为 82.51% ~ 96.83% (平均值 91.60%), 2017 年为 87.39% ~ 94.95% (平均值 91.95%)。  $\text{SIRM}/\chi_{\text{LF}}$  用作鉴别样品磁性矿物的粒度和磁性矿物类型。研究发现,  $\text{SIRM}/\chi_{\text{LF}}$  值 $(8.25 \sim 25.33) \times 10^3 \text{ A/m}$  属于钛磁铁矿的范围<sup>[23]</sup>。天池景区土壤  $\text{SIRM}/\chi_{\text{LF}}$  范围 2015 年为 $(7.76 \sim 25.89) \times 10^3 \text{ A/m}$ , 2017 年为 $(9.23 \sim 27.41) \times 10^3 \text{ A/m}$ 。

### 2.2 磁性矿物含量参数

$\chi_{\text{LF}}$ 、SIRM 与样品中磁性矿物含量呈正比。 $\chi_{\text{LF}}$  大体反映环境样品中磁性矿物(包括抗磁性、顺磁性、不完全反铁磁性和亚铁磁性矿物)的含量<sup>[24]</sup>。SIRM 与  $\chi_{\text{LF}}$  的区别在于其不受顺磁性和抗磁性物质的影响, 主要表明亚铁磁性和不完全反铁磁性矿物的贡献<sup>[25]</sup>。天池景区表土的  $\chi_{\text{LF}}$ 、SIRM 值变化范围 2015 年分别为 $(46.05 \sim 210.32) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (平均值  $95.25 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )、 $(516.56 \sim 4\,219.12) \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$  (平均值  $1\,110.86 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ ); 2017 年分别为 $(43.20 \sim 326.54) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (平均值  $113.04 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )、 $(454.24 \sim 4\,241.40) \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$  (平均值  $1\,574.40 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ )。

### 2.3 磁性矿物粒度参数

如果样品中磁铁矿主导亚铁磁性矿物,  $\text{SIRM}/\chi_{\text{LF}}$  可用于估计磁性矿物粒度, 其值越高, 表明磁性矿物颗粒越粗, 其低值指示样品以多畴和超顺磁性颗粒(SP)为主, 低值到中值时以假单畴颗粒主导, 其高值说明稳定单畴颗粒占优<sup>[26]</sup>。天池景区表土  $\text{SIRM}/\chi_{\text{LF}}$  的平均值 2015 年、2017 年分别为  $11.62 \times 10^3$ 、 $13.83 \times 10^3 \text{ A/m}$ , 属于低值到中值过渡范围; 同时, 2017 年平均值高于 2015 年, 表明粗颗粒磁性矿物增加。 $\chi_{\text{FD}}$  反映细小的 SP 对磁化率的贡献, 值越高表明整体磁性颗粒越细;  $\chi_{\text{FD}}$  值的大小也指示 SP 比例的多少, 同时能够辨别土壤颗粒是自然形成还是人为活动所致<sup>[27]</sup>。研究区土壤  $\chi_{\text{FD}}$  变化范围 2015 年为 1.54% ~ 11.08% (平均值 7.59%), 2017 年为 1.53% ~ 13.71%

(平均值 5.75%)。Dearing<sup>[28]</sup>指出,若  $\chi_{FD}<2\%$ , 样品中基本无 SP 的存在;  $2\%<\chi_{FD}<11\%$ , 样品中 SP 含量介于 10% ~ 50%;  $11\%<\chi_{FD}<14\%$ , 样品中 SP 含量  $>75\%$ , 样品中以 SP 颗粒为主。研究区 2015 年样

品中  $\chi_{FD}\%$  值在 8% ~ 11% 的样品占比较高,而 2017 年样品中  $\chi_{FD}$  值在 2% ~ 8% 的样品占比较高,说明 2017 年样品中粗颗粒比例明显增多,两次样品中多数样品的磁性载体含有 10% ~ 50% 不等的 SP 颗粒。

表 1 不同时期表土样品磁性参数统计结果  
Table 1 Statistics of magnetic parameters of topsoil samples in different periods

磁性参数	采样年月	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
$\chi_{LF}(10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$	2015.8	46.05	210.32	95.25	32.97	0.35
	2017.5	43.20	326.54	113.04	53.33	0.47
$\chi_{FD}(\%)$	2015.8	1.54	11.08	7.59	2.18	0.29
	2017.5	1.53	13.71	5.75	2.81	0.49
SIRM( $10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ )	2015.8	516.56	4 219.12	1 110.86	551.06	0.50
	2017.5	454.24	4 241.40	1 574.40	834.49	0.53
SOFT( $10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ )	2015.8	134.62	1 063.04	283.29	137.04	0.48
	2017.5	108.98	831.57	374.15	173.06	0.46
HIRM( $10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ )	2015.8	17.86	110.58	43.96	17.38	0.40
	2017.5	11.48	144.39	60.58	27.40	0.45
$S_{\text{ratio}}(\%)$	2015.8	82.51	96.83	91.60	2.76	0.03
	2017.5	87.39	94.95	91.95	1.78	0.02
SIRM/ $\chi_{LF}(10^3 \text{ A/m})$	2015.8	7.76	25.89	11.62	2.74	0.24
	2017.5	9.23	27.41	13.83	3.89	0.28

### 3 讨论

#### 3.1 天池景区表土磁性特征

不同磁参数的双变量图是一种有用、有效的定性图形技术,无需昂贵的化学分析,也可以快速、简便地鉴别某些磁性矿物特征和畴态<sup>[26]</sup>。当磁性矿物由单一磁性矿物构成或磁性矿物的混合物以恒定比率控制时,  $\chi_{LF}$  和 SIRM 呈线性关系。天池景区两次表土样品的  $\chi_{LF}$  与 SIRM 变化趋势相似且呈显著正相关 ( $r=0.75, 0.74$ ; 图 2), 反映了样品中磁性矿物主要是亚铁磁性矿物质和不完全反铁磁性矿物,同时较高的相关性说明表土样品中磁性矿物来源的多样性;  $\chi_{LF}$  与 SOFT 呈极显著正相关 ( $r=0.90, 0.89$ ), 与 HIRM 呈中低度相关性 ( $r=0.45, 0.64$ ), 反映表土样品的磁学性质主要受低矫顽力亚铁磁性矿物所主导,且伴有一定不完全反磁性矿物; SOFT 平均值远高于 HIRM, 也进一步证明了上述结果;  $S_{\text{ratio}}$  值大于 90%, 表示低矫顽力的亚铁磁性矿物(如磁铁矿或磁赤铁矿)是样品中主要的磁性矿物; 从 SIRM/ $\chi_{LF}$  结果看, 两次样品的载磁矿物以亚铁磁性矿物(钛磁铁矿)为主。

天池景区 2017 年样品  $\chi_{LF}$  的平均值高于 2015 年, 且变化幅度大于 2015 年。与其他研究区表土样品相比, 该景区表土样品  $\chi_{LF}$  平均值略低于喀纳斯景区表土样品(平均值  $122.30 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )<sup>[3]</sup>、银川市城市表

土样品(平均值  $117 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )<sup>[29]</sup>。考虑近两年自然因素的不变性, 因此, 2017 年样品磁性的增强主要是由旅游活动产生的生活排污、汽车尾气、化石燃料燃烧等人为因素造成。

已有研究表明, 自然成土土壤的  $\chi_{LF}$  与  $\chi_{FD}$  具有良好的正相关性, 而污染土壤的相关性一般表现较高的  $\chi_{LF}$  和较低的  $\chi_{FD}$ <sup>[7]</sup>。2015 年样品  $\chi_{FD}$  与  $\chi_{LF}$  无相关性 ( $r=0.07$ ), 2017 年样品呈低相关性 ( $r=-0.21$ ), 表明景区表土样品磁性未受 SP 颗粒主导, 2017 年样品中粗颗粒明显增加, 磁性增强。人为磁性矿物的磁性不同于自然产生的磁性矿物, 因为它们具有较粗的磁性颗粒尺寸(多畴和假单畴)<sup>[30]</sup>。综合来看, 天池景区表土样品中存在人为形成的假单畴粗颗粒和一定量的 SP 细颗粒。

#### 3.2 天池景区表土磁性特征的时间变化

不同时间段表土样品表现出的磁性特征差异, 在一定程度上可以追踪当地土壤污染的时间变化。以天池景区表土磁性参数随时间变化的关系作图(图 3), 且以 1% ~ 99%、25% ~ 75% 的概率作为时间变化下磁性参数变化分布范围, 比较两个时间段的各项参数值, 由图 3 可知, 景区 2017 年表土样品的  $\chi_{LF}$ 、SIRM、SOFT 和 HIRM 值明显高于 2015 年。研究区远离城市 and 工业区, 受工矿污染排放影响很小, 磁性矿物含

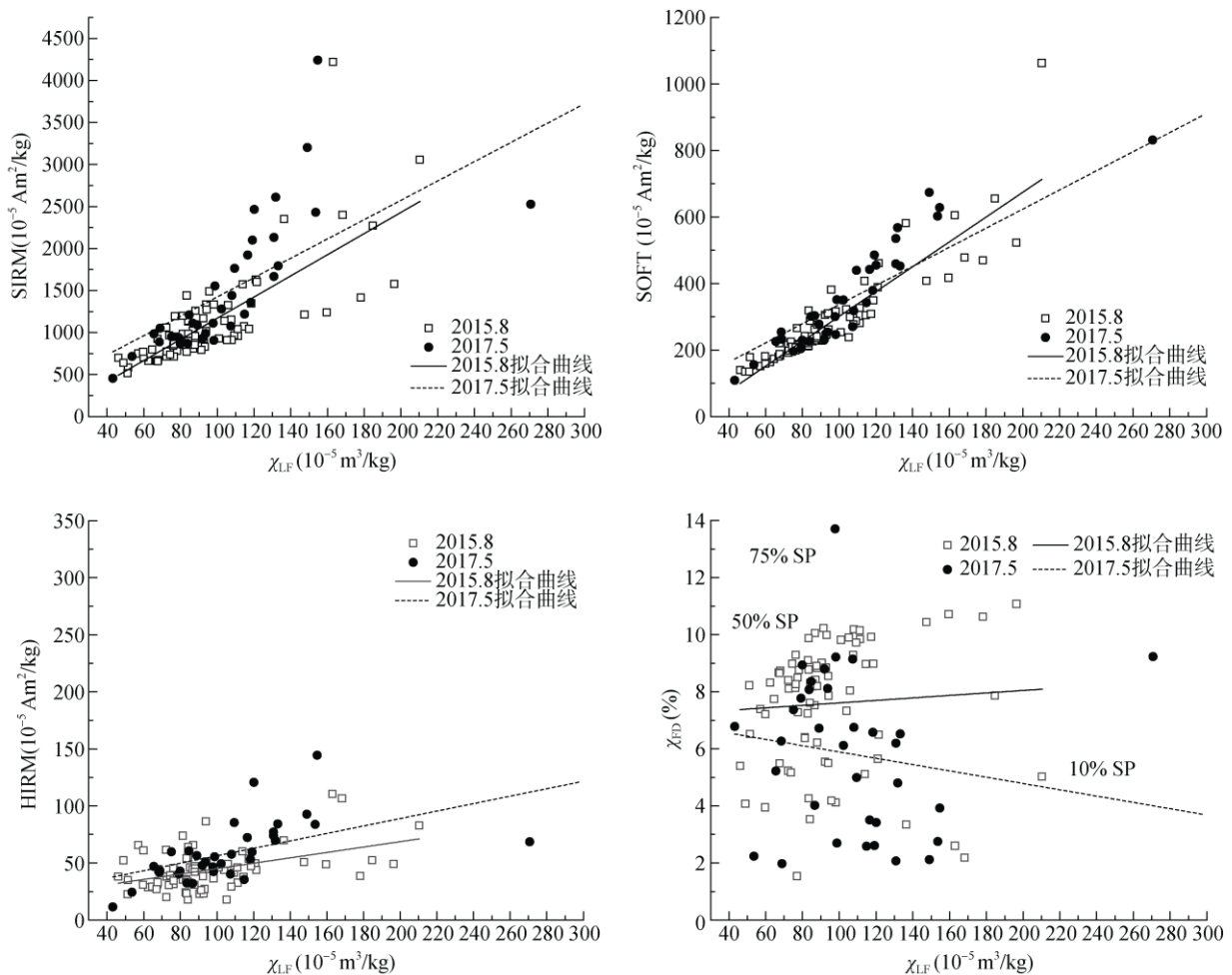


图 2 磁性参数的相关性

Fig. 2 Correlations among magnetic parameters

量的增强可能与近两年景区旅游活动排放的污染物累积有关，如景区内汽车尾气排放及轮胎磨损、筑路材料等磁性矿物颗粒，这与其他学者研究结论类似<sup>[31]</sup>。比较两次样品的  $S_{ratio}$  值和  $\chi_{FD}$ ，如图 3 所示，2017 年样品的  $S_{ratio}$  高于 2015 年，同时 2017 年样品的  $\chi_{FD}$  整体又小于 2015 年，这表明虽然两组样品的磁性颗粒都以粗颗粒为主，但 2017 年样品的磁性颗粒矫顽力更低，磁性颗粒更粗。比较两次景区表土样品的  $SIRM/\chi_{LF}$  平均值，可见，随时间的进展磁性矿物颗粒粒径增加。

### 3.3 天池景区表土磁性特征的空间变化

研究区 2017 年样品的  $\chi_{LF}$ 、 $\chi_{FD}$ 、 $SIRM$ 、 $SOFT$  和  $HIRM$  呈现出较高的 CV 值，均大于 0.4，除了  $SOFT$ ，其他变化程度都高于 2015 年样品，两次样品  $S_{ratio}$  的 CV 值最低，反映出 2017 年表土样品的磁性参数变化幅度大，空间分布不均匀。研究区两次表土样品磁性矿物含量空间变化明显，在磁性矿物含量的高值区可能存在土壤污染，为比较两个时期景区表土

样品磁性矿物含量的空间变化规律，圈定受游客旅游活动影响的可能污染范围和程度，对两次样品的  $\chi_{LF}$ 、 $SIRM$ 、 $SOFT$  和  $HIRM$  值，采用反距离插值法进行空间插值，绘制出两次样品 4 种磁性参数的空间分布图。从图 4 可以看出，无论是 2015 年还是 2017 年样品的  $\chi_{LF}$  值，高值都主要出现在天池北部的西王母祖庙、定海神针几个核心景区区域，并随着样品离核心景区区域距离的增加， $\chi_{LF}$  值呈逐渐下降的趋势；在西北部停车场附近及天池湖南部周边，两次采样点的  $\chi_{LF}$  值均出现了相似的变化趋势。2017 年的  $\chi_{LF}$  值相对于 2015 年增长趋势明显增大，范围变广，尤其是在天池北部的核心区域、天池湖三面以及天池中部的民族文化村，2017 年高值点是 2015 年高值点的 1.5 倍，且污染面积明显扩大，这可能是两年内天池景区频繁的旅游活动造成。可见，旅游活动对景区表土样品的磁性矿物含量的贡献很大。两次采样的  $SIRM$ 、 $SOFT$  空间变化与  $\chi_{LF}$  变化趋势基本相似，亚铁磁性矿物含量也呈现出沿环湖区高值并向外围逐渐递减

的分布趋势。2017 年的 SIRM 高值点是 2015 年高值点的 1.8 倍, 2017 年的 SOFT 高值点是 2015 年高值点的 1.3 倍, 与  $\chi_{LF}$  相似, 天池景区 2017 年西南部及环湖区域的 SIRM 与 SOFT 值明显高于 2015 年。两次采样 HIRM 呈现从环湖区域值高并随着远离核心

景区区域向外围减少的趋势, 湖的北部值高, 说明不完全反铁磁性矿物颗粒较多。对比两次采样的 HIRM, 2017 年的高值点小于 2015 年的高值点, 但整体上 2017 年大于 2015 年; 同时出现了湖的北部核心景区区域及环湖的值明显增大。

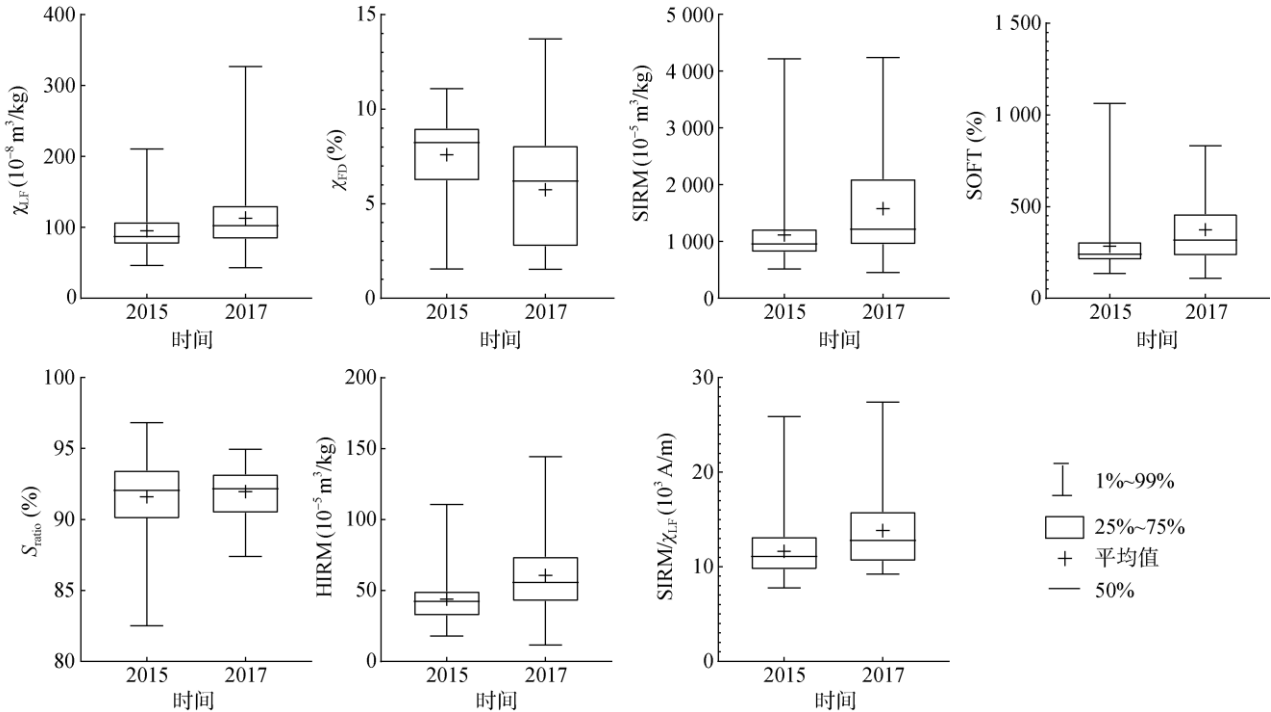


图 3 不同时期磁性参数的变化

Fig. 3 Temporal variation of magnetic parameters in different periods

综上所述, 4 种磁性参数的空间分布状况均表现出不连续分布的高值区域, 两次采样点均显示湖的北部游艇停靠区、停车场及周边、核心景区区域值较高, 2017 年样品的磁性参数高值区与 2015 年高值区相似且在 2015 年高值区基础上范围显著扩大。可能原因是研究区北部分布着 3 个核心景点(定海神针的游客密集区、西王母神庙和飞龙潭), 景区内周围分布着道路、乘船码头。该区域表土频繁有尾气的排放及游客践踏、旅游垃圾等人为活动影响。环湖的西北部、西部和西南部土壤磁性参数富集程度仅次于环湖北部区域, 可能是由于环湖周围停靠在码头边的游艇尾气累积及游客增多导致交通区间车增加带来的影响。湖的西南部和西北部不连续分布的高值点的增高是由于停车场周围汽车的增多导致尾气排放量增大导致, 西部区域富集增大是由于靠近福寿观和民俗文化区受到了旅游餐饮和住宿区燃煤飞灰的影响。

#### 4 结论

1) 天山天池景区表土样品中磁性矿物以低矫顽

力亚铁磁性矿物(磁铁矿和磁赤铁矿)为主, 同时伴有赤铁矿和针铁矿组成的不完全反铁磁性矿物; 样品磁性矿物含量适中, 低于喀纳斯景区和银川市; 两次样品中磁性矿物主要由假单畴粗颗粒, 同时含有相对较低的 SP 颗粒混合构成。

2) 天山天池景区表土样品中磁性矿物特征随时间变化显著, 2017 年磁性矿物含量、粗颗粒比例高于 2015 年; 除自然因素外, 由于景区远离城市和工业区, 两年的旅游活动产生的含有磁性矿物的污染物不断的累积, 因而造成两次样品磁性矿物含量和粒度的差异。

3) 天山天池景区表土样品的磁性参数空间分布变化明显, 两期的磁性参数空间分布图呈现出在受人为活动影响较大的停车场及交通要道等旅游活动密集区的磁性矿物含量明显高于其他地区的格局。研究发现, 监测景区表土磁性参数的时空变化有助于圈定可能污染范围的变化和判别污染物来源。

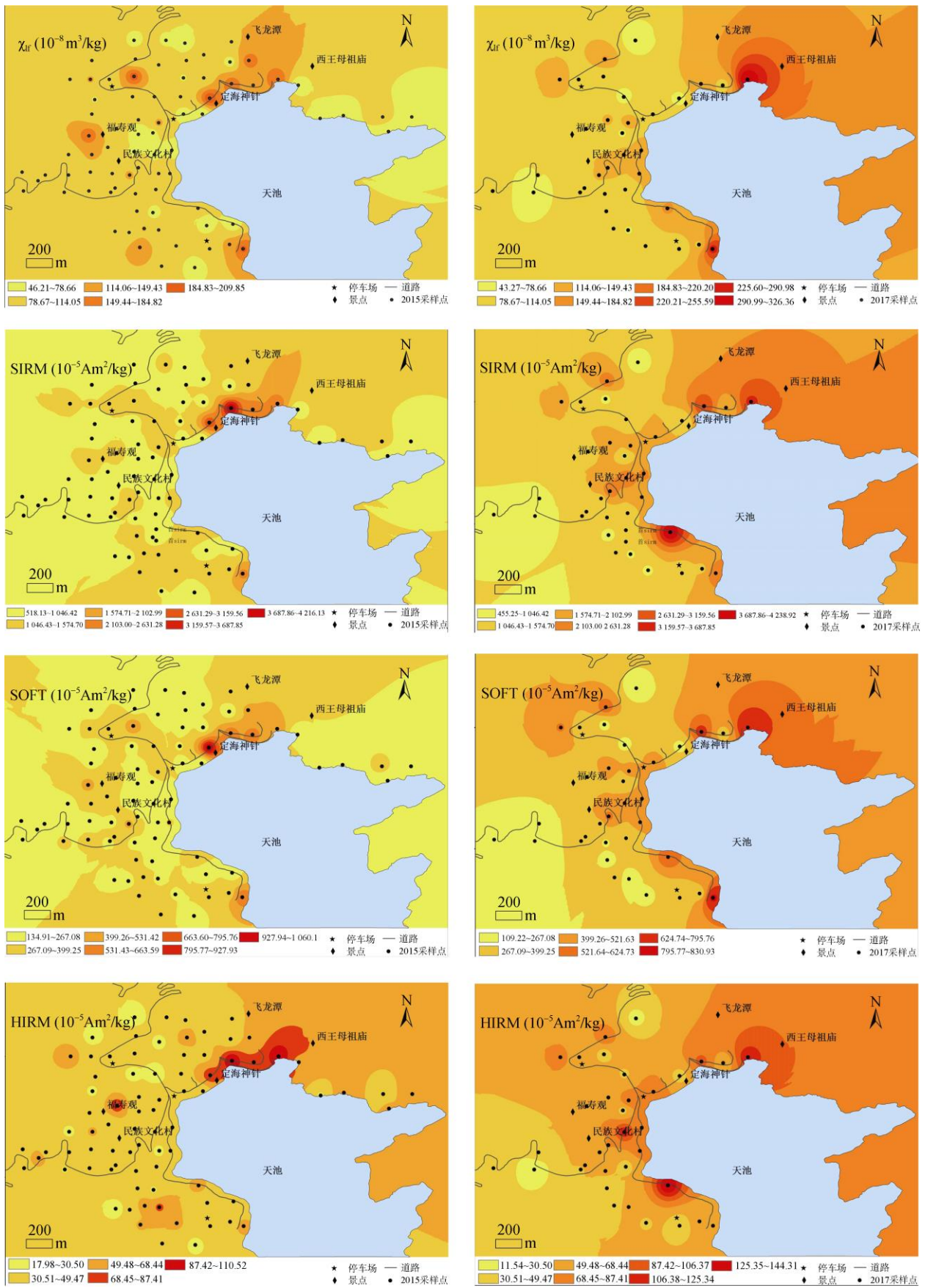


图 4 不同时期磁性参数的空间变化

Fig. 4 Spatial variation of magnetic parameters in different periods

## 参考文献:

- [1] 史坤博, 王文瑞, 杨永春, 等. 旅游活动对甘南草原植被的影响——以桑科草原旅游点为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1220–1228.
- [2] 全婷婷, 陈学刚, 魏疆. 新疆天山天池景区土壤磁学特征及其环境意义[J]. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1286–1293.
- [3] 韩文堂, 陈学刚. 新疆喀纳斯景区表层土壤磁学特征及环境意义[J]. 土壤, 2019, 51(1): 185–194.
- [4] 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.
- [5] 赵珊珊, 王勇辉. 夏尔希里地区土壤磁化率、重金属特征及其相关性分析[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1179–1187.
- [6] 邓海英, 陈学刚. 新疆喀纳斯景区道路沿线表土环境磁学特征[J]. 环境科学研究, 2019, 32(4): 662–670.
- [7] 王新, 夏敦胜, 王博, 等. 西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义[J]. 环境科学, 2017, 38(8): 3507–3518.
- [8] Zawadzki J, Szuskiewicz M, Fabijańczyk P, et al. Geostatistical discrimination between different sources of soil pollutants using a magneto-geochemical data set[J]. Chemosphere, 2016, 164:668–676.
- [9] Rachwał M, Magiera T, Wawer M. Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. Chemosphere, 2015, 138: 863–873.
- [10] 曹丽婉, 胡守云, Appel Erwin, 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.
- [11] 李海云, 姚拓, 张建贵, 等. 东祁连山不同干扰生境草地土壤养分时空变化特征[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 249–257.
- [12] 张晗, 赵小敏, 朱美青, 等. 近 30 年南方丘陵山区耕地土壤养分时空演变特征——以江西省为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 58–65, 71, 2.
- [13] 李宏薇, 尚二萍, 张红旗, 等. 耕地土壤重金属污染时空变异对比——以黄淮海平原和长江中游及江淮地区为例[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9): 3464–3473.
- [14] 史海滨, 吴迪, 闫建文, 等. 盐渍化灌区节水改造后土壤盐分时空变化规律研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 318–331.
- [15] 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.
- [16] 陈晓玉. 阜康市天山天池景区地质灾害评价与防治对策研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [17] Liu Q S, Roberts A P, Larrasoaña J C, et al. Environmental magnetism: Principles and applications[J]. Reviews of Geophysics, 2012, 50(4): RG4002.
- [18] 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.
- [19] Lone A M, Achyuthan H, Shah R A, et al. Environmental magnetism and heavy metal assemblages in lake bottom sediments, anchar lake, srinagar, NW himalaya, India[J]. International Journal of Environmental Research, 2018, 12(4): 489–502.
- [20] 卢升高, 白世强. 杭州城区土壤的磁性与磁性矿物学及其环境意义[J]. 地球物理学报, 2008, 51(3): 762–769.
- [21] Evans M, Heller F. Environmental magnetism - principles and applications of enviromagnetics[M]. Amsterdam: Elsevier, 2003.
- [22] 陈学刚, 魏疆, 胡江玲, 等. 乌鲁木齐城市土壤磁性的空间变异特征研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 59–65.
- [23] Peters C, Dekkers M J. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2003, 28(16/17/18/19): 659–667.
- [24] Muñoz D, Aguilar B, Fuentealba R, et al. Environmental studies in two communes of Santiago de Chile by the analysis of magnetic properties of particulate matter deposited on leaves of roadside trees[J]. Atmospheric Environment, 2017, 152: 617–627.
- [25] 哈孜亚 包浪提将, 陈学刚. 新疆喀纳斯景区道路灰尘的磁学特征及环境意义[J]. 地球与环境, 2018, 46(6): 542–550.
- [26] Lecoanet H, L'éveque F, Ambrosi J P. Combination of magnetic parameters: An efficient way to discriminate soil-contamination sources (south France)[J]. Environmental Pollution, 2003, 122(2): 229–234.
- [27] 陈梓炫, 吕镔, 郑兴芬, 等. 川西地区表土磁学性质及其环境意义[J]. 土壤学报, 2019, 56(3): 661–671.
- [28] Dearing J. Magnetic susceptibility [C] // Environmental magnetism a practical guide. Technical Guide, No 6. London: Quaternary Research Association, 1999: 35–62.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 李珊, 胡雪峰, 杜艳, 等. 上海嘉定区表土磁性强度的空间分异及环境指示意义[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 9–17.