

位山引黄灌区农田土壤磁化率与粒度特征及其相关性分析^①

赵璐¹ 刘子亭¹ 陈琳¹ 张保华¹ 韩广轩² 曹建荣¹

(1.聊城大学 环境与规划学院,山东 聊城 252059; 2.中国科学院 烟台海岸带研究所、
海岸带环境过程与生态修复重点实验室,山东 烟台 264003)

摘要 以位山引黄灌区为研究区,测定了农田土壤剖面的磁化率和粒度,并分析了二者的相关关系.结果显示:位山引黄灌区农田土壤低频磁化率(x_{lf})的变化范围为 $35.37-97.20 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,均值为 $62.16 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$;频率磁化率(x_{fd})的变化范围为 $0.65\%-22.14\%$,平均值为 7.23% .土壤中粘粒($<4 \mu\text{m}$)含量变化范围为 $3.20\%-27.16\%$,平均值为 9.07% ;粉砂($4-63 \mu\text{m}$)含量变化范围为 $35.82\%-90.23\%$,平均值为 68.94% ;砂粒($>63 \mu\text{m}$)含量变化范围为 $1.95\%-58.52\%$,平均值为 21.99% ;中值粒径的变化范围为 $9.56-72.86 \mu\text{m}$,平均值为 $34.94 \mu\text{m}$.相关性分析结果表明:剖面 $0-20 \text{ cm}$ 土壤 x_{lf} 与粉砂($4-63 \mu\text{m}$)含量呈显著负相关,与砂粒($>63 \mu\text{m}$)含量及中值粒径呈显著正相关,与粘粒($<4 \mu\text{m}$)含量相关性较弱,土壤 x_{fd} 与各粒度组分含量及中值粒径的相关性均不显著.剖面 $20-80 \text{ cm}$ 土壤 x_{lf} 与粉砂($4-63 \mu\text{m}$)含量呈显著负相关,与砂粒($>63 \mu\text{m}$)含量呈显著正相关,与中值粒径的相关性较显著,与粘粒($<4 \mu\text{m}$)含量相关性不显著;土壤 x_{fd} 与粘粒($<4 \mu\text{m}$)及粉砂($4-63 \mu\text{m}$)含量相关性较显著,与砂粒($>63 \mu\text{m}$)含量及中值粒径的相关性均不显著.研究认为:土壤磁化率在 $0-20 \text{ cm}$ 耕作层主要受到土壤母质以及灌溉、施肥等人类活动的影响,而在 $20-80 \text{ cm}$ 主要受土壤母质差异的影响.

关键词 磁化率;粒度;土壤;相关性;位山引黄灌区

中图分类号 S159.2

文献标识码 A

0 引言

引水灌溉是干旱、半干旱以及半湿润地区农业生产的重要保障,其对土壤质量的影响是亟待深入探究的重要问题.磁化率作为表征土壤成土发育、环境变化的代用指标,受成土母质、气候、地形以及人类活动等因素的影响^[1],已经成为研究土壤与环境变化的重要手段,并广泛应用于黄土-古土壤^[2]、湖泊沉积与环境变化^[3]、以及城市环境污染^[4-6]等研究中,并取得了很好的效果.粒度作为土壤基本物理特性,不仅能够反映母质物源^[7],而且会影响土壤中矿物的组成及部分矿物的磁性特征^[8,9],在研究母质来源和区域土壤质量变化中具有重要作用^[10].相关研究表明:磁化率和粒度之间存在一定的相关关系^[11-13],但由于不同地区土壤母质来源和环境条件等各不相同,不同地区土壤磁化率与粒度的相关关系也有差异.开展不同环境条件下的土壤磁化率与粒度的特征及相关关系研究,有助于厘清磁化率等指标的环境意义.本

^① 收稿日期:2018-01-10

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2016DM14);山东省软科学计划(2016RKB01439);山东省教育厅科技发展计划(J15LH09);聊城大学博士基金项目资助

通讯作者:刘子亭,男,汉族,博士,副教授,研究方向:水土资源开发与保护,E-mail:zitingliu@126.com.

农田土壤样品磁化率测定中,首先称取 10.00 g 经自然风干的土壤样品用保鲜膜包扎,装入 10 mL 圆柱形样品盒中,然后使用英国产 Bartington MS-2 型双频磁化率仪分别在 0.47 kHz 和 4.7 kHz 频率下测定样品的低频磁化率(x_{lf})和高频磁化率(x_{hf}).每个样品重复测量 3 次,取其平均值.利用低、高频磁化率计算频率磁化率(x_{fd}).频率磁化率的计算方法如

$$x_{fd}(\%) = \frac{(x_{lf} - x_{hf})}{x_{lf}} \times 100\%.$$

农田土壤样品粒度测定中,首先称取 0.5 g 经自然风干的土壤样品置于干净的烧杯中,然后用双氧水和稀盐酸去除样品中的有机质和碳酸盐,再加入六偏磷酸钠并充分分散上机测定.粒度测定使用英国 Malvern 仪器公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行,重复测量 3 次,然后取其平均值.

农田土壤样品的磁化率测定在聊城大学自然地理学实验室完成,样品的粒度测定在中国科学院烟台海岸带研究所分析测试中心完成.

2.2 数据分析

利用 SPSS 20.0 软件对研究区农田土壤样品指标测定数据进行统计学分析和显著性分析,利用 Origin 软件绘制图表及拟合图像,利用 CorelDraw 软件绘制土壤数据分析结果图.

3 结果与分析

3.1 农田土壤磁化率特征

测定结果显示(表 1),位山引黄灌区农田土壤剖面样品 x_{lf} 值的变化范围为 35.37-97.20 $\times 10^{-8}$ m³/kg,均值为 62.16 $\times 10^{-8}$ m³/kg.随着土层深度的增加,土壤 x_{lf} 呈逐渐下降的变化趋势,但不同剖面土壤 x_{lf} 波动大小有所不同.总体来看,在 0-20 cm 耕作层土壤 x_{lf} 均值的变化范围为 66.40-67.63 $\times 10^{-8}$ m³/kg,比耕作层下部土壤 x_{lf} 均值高.

总的来看,土壤 x_{fd} 的变化范围为 0.65%-22.14%,均值为 7.23%(表 1).随着土层深度的增加,土壤 x_{fd} 波动变化,但波动变化不明显.

3.2 农田土壤粒度特征

参照 Udden^[15] 和 Wentworth^[16] 粒度分级标准,计算了位山引黄灌区农田土壤样品各粒径组分的含量.结果显示(见表 1),各粒径组分中,粘粒(<4 μ m)含量变化范围为 3.20%-27.16%,平均值为 9.07%;粉砂(4-63 μ m)含量变化范围为 35.82%-90.23%,平均值为 68.94%;砂粒(>63 μ m)含量变化范围为 1.95%-58.52%,平均值为 21.99%;粉砂(4-63 μ m)和砂粒(>63 μ m)含量平均值之和达 90%之多.土壤样品中值粒径的变化范围为 9.56-72.86 μ m,平均值为 34.94 μ m.

总体上,随土壤剖面深度的增大,土壤样品的粉砂(4-63 μ m)含量呈逐渐增大的趋势,砂粒(>63 μ m)含量、中值粒径则表现为逐渐减小的趋势,粘粒(<4 μ m)变化趋势不明显.

3.3 农田土壤磁化率与粒度相关性分析

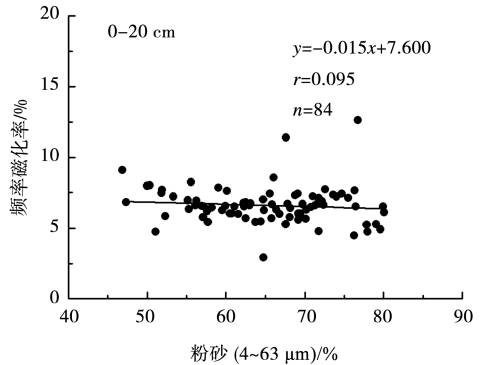
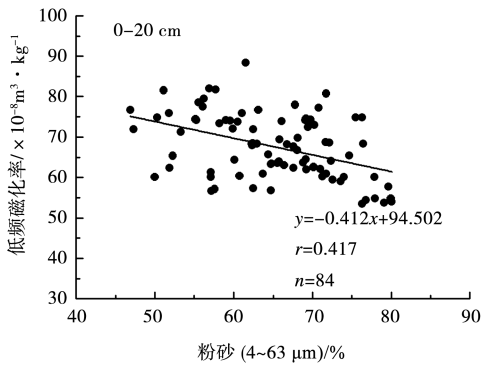
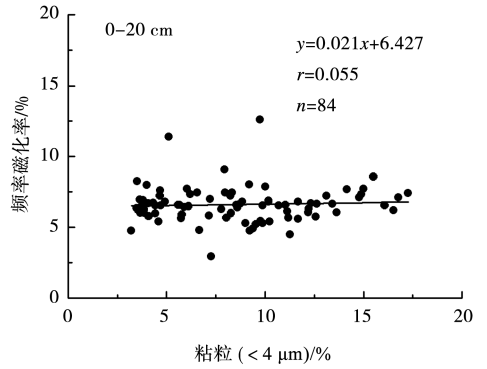
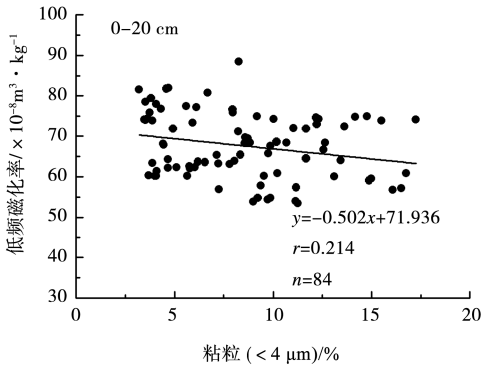
野外观察显示:位山引黄灌区农田土壤剖面上部 20 cm 颜色较深,应为耕作层,而深度 20 cm 以下土壤颜色总体变浅.结合剖面土壤样品磁化率和粒度数据的变化趋势(见表 1),将剖面分为 0-20 cm、20-80 cm 两个层段进行分析.

研究区农田土壤剖面 0-20 cm 土壤样品磁化率与粒度的相关性结果显示(见图 2),土壤 x_{lf} 与粉砂(4-63 μ m)含量呈显著负相关,与砂粒(>63 μ m)含量及中值粒径呈显著正相关,与粘粒(<4 μ m)含量相关性较弱;土壤 x_{fd} 与各粒度组分含量及中值粒径的相关性均不显著.

剖面 20-80 cm 土壤样品磁化率与粒度的相关性结果显示(见图 3),土壤 x_{lf} 与粉砂含量呈显著负相关,与砂粒(>63 μ m)含量呈显著正相关,与中值粒径的相关性良好,与粘粒含量相关性不显著;土壤 x_{fd} 与粘粒及粉砂含量相关性较显著,与砂粒含量及中值粒径的相关性均不显著.

表 1 位山引黄灌区农田土壤剖面样品磁化率特征及各粒径组分含量

剖面 深度 /cm	低频磁化率 x_{lf}		频率磁化率 x_{fd}		粘粒($<4 \mu\text{m}$)含量		粉砂($4\text{--}63 \mu\text{m}$)含量		砂粒($>63 \mu\text{m}$)含量		中值粒径	
	$/\times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$		/%		/%		/%		/%		/ μm	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
0-5	48.13-80.77	67.35	0.76-12.61	6.78	3.47-14.78	8.59	47.32-77.89	65.81	9.68-47.75	25.60	20.97-58.46	36.34
5-10	47.10-86.43	67.55	1.78-14.27	6.61	3.53-16.77	8.00	51.81-79.65	63.83	9.52-40.58	28.17	21.36-50.93	38.46
10-15	48.60-88.43	67.63	1.04-12.96	6.95	3.20-17.26	8.74	50.31-79.96	64.45	10.16-45.71	26.81	20.37-58.02	37.22
15-20	49.53-81.73	66.40	1.20-11.44	7.33	3.68-15.52	8.74	46.88-80.09	66.04	8.77-46.00	25.22	18.67-57.80	36.85
20-25	47.40-79.50	64.45	1.37-10.64	7.29	3.95-18.80	9.29	47.34-81.22	67.28	6.72-44.72	23.43	19.06-50.82	35.72
25-30	42.47-75.40	63.80	1.64-12.12	7.31	3.73-17.36	9.16	53.86-81.14	68.69	7.23-38.86	22.15	21.72-51.04	35.18
30-35	40.17-87.40	63.44	1.33-13.49	6.98	4.26-17.52	8.70	41.68-83.22	68.57	7.31-52.51	22.73	21.49-65.86	36.29
35-40	41.90-87.33	63.14	0.65-11.36	7.27	4.08-19.11	9.23	42.90-81.03	68.45	7.22-51.04	22.32	20.02-64.16	35.63
40-45	42.47-87.80	63.85	2.76-12.81	7.35	4.11-17.30	9.93	37.95-82.71	67.95	7.01-46.11	22.12	21.33-56.95	34.27
45-50	38.97-87.40	62.92	1.31-12.85	7.49	4.87-21.70	9.85	38.39-83.33	68.50	7.63-46.07	21.65	19.93-58.66	33.58
50-55	36.53-87.63	59.54	3.65-14.53	7.77	4.48-19.99	9.12	36.33-83.16	70.45	7.46-58.52	20.43	16.08-72.61	33.99
55-60	38.10-97.20	59.88	1.39-18.86	7.80	4.90-19.49	9.46	35.82-82.72	71.57	6.49-58.27	18.97	15.04-72.86	33.13
60-65	38.13-87.33	59.48	3.21-22.14	7.98	4.43-20.50	9.23	48.23-86.21	72.53	7.00-44.20	18.24	14.90-53.21	32.35
65-70	39.27-88.40	57.00	3.49-11.46	7.28	3.76-27.16	10.12	44.20-90.23	72.56	1.95-48.06	17.32	9.56-58.92	31.73
70-75	35.37-91.53	53.69	4.52-10.12	6.74	3.67-18.65	7.83	50.32-88.34	73.43	5.84-41.19	18.74	21.25-47.72	34.54
75-80	43.67-93.80	54.37	4.96-8.16	6.68	3.43-16.63	9.10	48.21-86.39	72.91	7.35-41.21	18.00	23.43-45.10	33.80
平均		62.16		7.23		9.07		68.94		21.99		34.94



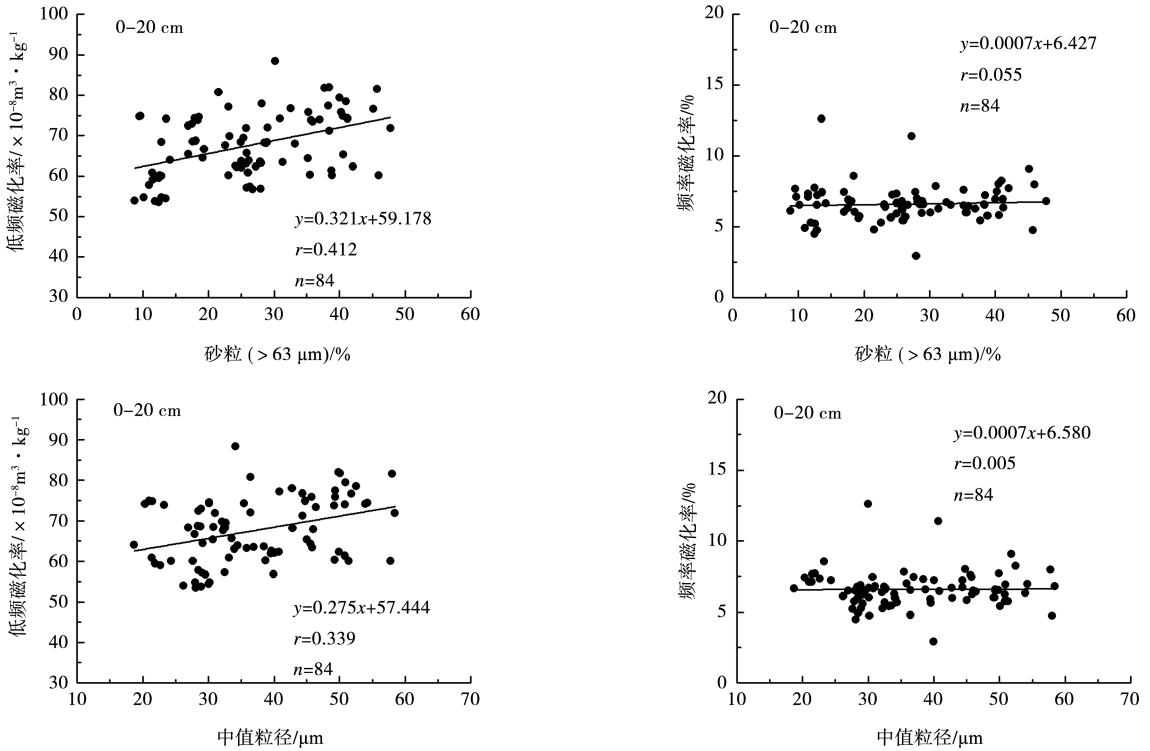


图 2 位山引黄灌区农田土壤剖面 0-20 cm 土壤磁化率与粒度相关性

4 讨论

位山引黄灌区农田土壤剖面中,0-20 cm 及 20-80 cm 土壤 x_{H} 均与粉砂(4-63 μm)呈负相关关系,与砂粒(>63 μm)呈正相关关系(见图 2,3),表明影响 0-20 cm 及 20-80 cm 土壤 x_{H} 变化的因素主要来自于粉砂和砂粒的母质多样。位山引黄灌区位于黄泛冲积平原,其土壤母质所含砂质较多,且粘结力较差^[7]。在研究区大面积地区呈西南-东北方向呈带状分布着三条黄河古河道遗迹,其中北部古河道沿冠县-临清一带展布,中部古河道分别沿莘县-东昌府区-茌平以及由莘县北部延伸至高唐,南部古河道沿阳谷县南部-东阿-茌平南部一线延伸,这些古河道的分布影响着该区土壤的组成和分布^[18]。研究结果显示:黄河碎屑矿物含量变化除受物源控制外,还受到水动力强度变化、沉积环境差异以及重力分选作用的影响^[19],不同粒径黄河泥沙中的矿物组分含量变化较大且与泥沙粒度关系显著^[20]。对风成沉积物的微量与稀土元素研究表明:粗颗粒物较之细颗粒物具有较大的地球化学特征差异,反映其具有复杂的物质来源并保存着更多的源岩信息,而细颗粒物因经过较充分的混合而具有更为相似的特征^[21]。因此,受黄河水动力因素控制,位山引黄灌区农田土壤中粉砂组分的母质较之细颗粒组分具有更为多样的物源并保存着其源岩信息,加之砂粒和粉砂组分含量多达 90%,因此二者含量的彼此增减导致了土壤 x_{H} 具有显著变化。而研究区土壤 x_{H} 变化与粘粒(<4 μm)含量相关性较弱或相关性不显著(见图 2,3),应是该粒径组分经历了较充分的混合而较为均匀所致。

研究区农田土壤剖面中 0-20 cm 土壤 x_{fd} 与各粒度组分含量及中值粒度的相关性均不显著(见图 2,3),应是由于该层土壤除受母质影响外,也受到成土作用以及人类活动等多因素综合作用的结果。相关研究表明:土壤 x_{fd} 主要用来反映土壤样品中超顺磁颗粒(SP)的相对含量^[22]。当 $x_{\text{fd}} < 2\%$ 时基本不含 SP 颗粒, x_{fd} 介于 2%-10%之间,表明 SP 和粗颗粒同时存在^[23]。灌溉、施肥等人类活动会带来较多的磁性矿物^[4]且主要集中于土壤表层^[25,26]。在剖面 20-80 cm 部分,土壤 x_{H} 与粉砂(4-63 μm)正相关关系较显著,与砂粒(>63 μm)负相关关系较显著,应是由于耕作层以下土壤中磁性矿物仍然主要赋存于细颗粒组分

中, 相关研究表明: 粉砂(4-63 μm)组分所含磁性矿物颗粒很少^[11].

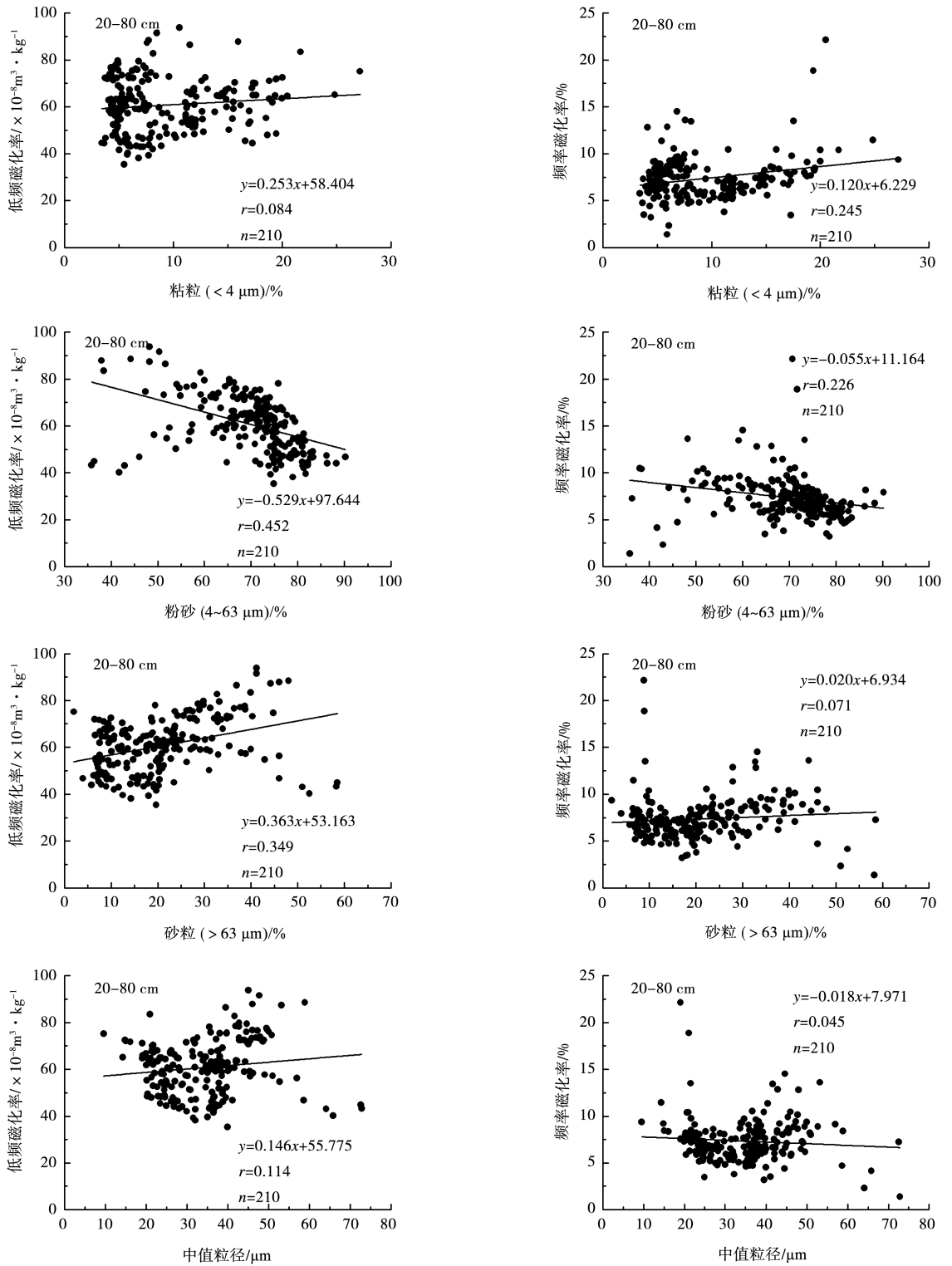


图 3 位山引黄灌区农田土壤剖面 20-80 cm 土壤磁化率与粒度相关性分布图

5 结论

(1) 位山引黄灌区农田土壤低频磁化率(x_{lf})的变化范围为 35.37-97.20 $\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 均值为 62.16 $\times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$; 频率磁化率(x_{fd})的变化范围为 0.65%-22.14%, 平均值为 7.23%。土壤的粒径组成中, 粘粒 (<4 μm) 含量变化范围为 3.20%-27.16%, 平均值为 9.07%; 粉砂(4-63 μm) 含量变化范围为 35.82%-

90.23%,平均值为68.94%;砂粒($>63\ \mu\text{m}$)含量变化范围为1.95%-58.52%,平均值为21.99%;中值粒径的变化范围为9.56-72.86 μm ,平均值为34.94 μm .

(2) 相关性分析结果表明:土壤剖面0-20 cm土壤 x_{ff} 与粉砂(4-63 μm)含量呈显著负相关,与砂粒($>63\ \mu\text{m}$)含量及中值粒径呈显著正相关,与粘粒($<4\ \mu\text{m}$)含量相关性较弱,土壤 x_{fd} 与各粒度组分含量及中值粒径的相关性均不显著.剖面20-80 cm土壤 x_{ff} 与粉砂含量呈显著负相关,与砂粒($>63\ \mu\text{m}$)含量呈显著正相关,与中值粒径的相关性较显著,与粘粒含量相关性不显著;土壤 x_{fd} 与粘粒及粉砂含量相关性较显著,与砂粒含量及中值粒径的相关性均不显著.

(3) 土壤剖面0-20 cm耕作层磁化率主要受到土壤母质以及灌溉、施肥等人类活动的影响,而在20-80 cm主要受土壤母质差异的影响.

参 考 文 献

- [1] Thompson R, Bloemendal J, Dearing J A, et al. Environmental applications of magnetic measurements[J]. Science, 1980, 207 (4 430): 481-486.
- [2] 韩家懋, HusJJ, 刘东生, 等. 马兰黄土和离石黄土的磁学性质[J]. 第四纪研究, 1991, 11(4): 310-325.
- [3] 胡守云, 邓成龙, Appel E, 等. 湖泊沉积物磁学性质的环境意义[J]. 科学通报, 2001, 46(17): 1491-1494.
- [4] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磁化率及其环境意义[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 26-28.
- [5] 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), 2009, 39(9): 1304-1312.
- [6] 闫慧, 沈宁娟. 磁化率对城郊耕地土壤重金属污染的指示研究——以许昌市为例[J]. 地球与环境, 2016, 44(6): 678-682.
- [7] 王建, 刘泽纯, 姜文英, 等. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 155-163.
- [8] Oldfield F, Yu L Z. The influence of particle size variations on the magnetic properties of sediments from the north-eastern Irish Sea [J]. Sedimentology, 1994, 41(6): 1093-1108.
- [9] 沈明洁, 胡守云, Blaha U, 等. 北京石景山工业区附近一个污染土壤剖面的磁学研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1665-1673.
- [10] 吉云平. 不同类型沉积物中磁化率的解释[D]. 北京: 北京大学, 2007.
- [11] 王心源, 吴立, 张广胜, 等. 安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义[J]. 地理科学, 2008, 28(4): 548-553.
- [12] 刘莉红, 叶玮. 金华高村红土剖面的粒度与磁化率特征研究[J]. 湖南农业科学, 2015(2): 36-39.
- [13] 袁胜元, 李长安, 张玉芬, 等. 江汉平原肖寺剖面粒度和磁化率特征及其环境意义[J]. 海洋湖沼通报, 2011(4): 169-176.
- [14] 段艺芳. 黄泛区不同土地利用方式对农业生态环境影响的研究-以聊城市为例[D]. 聊城: 聊城大学, 2010.
- [15] Udden J A. Mechanical composition of clasticsediments[J]. Bulletin of the Geological Society of America, 1914, 25: 655-744.
- [16] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clasticsediments[J]. The Journal of Geology, 1922, 30: 377-392.
- [17] 庞绪贵, 姜相洪, 战金成, 等. 山东黄河流域下游土壤粒度和深度试验成果[J]. 地质通报, 2005, 24(8): 767-771.
- [18] 张祖陆. 鲁北平原黄河古河道初步研究[J]. 地理学报, 1990, 45(4): 457-466.
- [19] 王中波, 杨守业, 李日辉, 等. 黄河水系沉积物碎屑矿物组成及沉积动力环境约束[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4): 73-85.
- [20] 王兆印, 王文龙, 田世民. 黄河流域泥沙矿物成分与分布规律[J]. 泥沙研究, 2007(5): 1-8.
- [21] Liu Z T, Yang X P. Geochemical-geomorphological evidence for the provenance of aeoliansands and sedimentary environments in the Hunshandake Sandy Land, eastern Inner Mongolia, China[J]. ActaGeologicaSinica, 2013, 87: 871-884.
- [22] Oldfield F. Environmental magnetism-A personal perspective[J]. Quaternary Science Reviews, 1991, 10(1): 73-85.
- [23] Dearing J A, Hay K L, Baban S M J, et al. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set[J]. Geophysical Journal International, 1996, 127(3): 728-734.
- [24] Flanders P J. Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment (invited) [J]. Journal of Applied Physics, 1994, 75(10): 5931-5936.
- [25] 曾丽婷, 陈永康, 王学松. 城市表层土壤重金属与磁化率的多尺度空间变异分析[J]. 环境科学学报, 2014, 34(4): 987-995.
- [26] 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.

Characteristics of Magnetic Susceptibility and Grain Size of Farmland Soils and Their Correlation in Weishan Yellow River Irrigation Area

ZHAO Lu¹ LIU Zi-ting¹ CHEN Lin¹ ZHANG Bao-hua¹

HAN Guang-xuan² CAO Jian-rong¹

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Chinese Academy of Sciences, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract This paper determined magnetic susceptibility (MS) and grain size of farmland soil profiles sampled from the Weishan Yellow River irrigation area and analyzed their correlation. The results showed that soil low frequency magnetic susceptibility (x_{lf}) ranged from $35.37 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ to $97.20 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, and the frequency-dependent magnetic susceptibility (x_{fd}) ranged from 0.65% to 22.14% with the average values of x_{lf} and x_{fd} were $62.16 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ and 7.23%, respectively. The content of clay ($<4 \mu\text{m}$) ranged from 3.20% to 27.16%, the content of slit (4-63 μm) ranged from 35.82% to 90.23%, the content of sand ($>63 \mu\text{m}$) ranged from 1.95% to 58.52%, the average values of clay, slit and sand were 9.07%, 68.94%, 21.99%, respectively. The median grain size ranged from 9.56-72.86 μm and the average value was 34.94 μm . The correlation analysis shows that the soil x_{lf} were significant negative correlation with contents of slit (4-63 μm), significant positive correlation with contents of sand ($>63 \mu\text{m}$) and a weak correlation with contents of clay ($<4 \mu\text{m}$), however the correlation between the soil x_{fd} and grain size and the median grain size was not significant in 0-20 cm. In 20-80 cm the soil x_{lf} were significant negative correlation with contents of slit (4-63 μm), significant positive correlation with contents of sand ($>63 \mu\text{m}$), a certain correlation with the median grain size and no correlation with contents of clay ($<4 \mu\text{m}$), however the correlation between the soil x_{fd} and contents of clay ($<4 \mu\text{m}$) and slit (4-63 μm) was obvious, but the correlation between the soil x_{fd} and contents of sand ($>63 \mu\text{m}$) and the median grain size was not obvious. The research indicated that MS were mainly affected by soil parent material and human activities such as fertilization, irrigation and so on in 0-20 cm, and were mainly affected by the difference of soil parent material in 20-80 cm.

Key words magnetic; susceptibility; soil; correlation; Weishan Yellow River irrigation area