

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2020.02.016

青海湖北部高寒草地土壤粒度与 磁化率关系探讨

张卓^{1,2,3}, 曹广超^{1,2}, 张富玲^{1,2}, 杨荣荣^{1,2},
陈治荣^{1,2}, 童珊^{1,2}

(1. 青海师范大学, 青藏高原地表过程与生态保育教育部重点实验室, 西宁 810008;

2. 青海师范大学, 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810008;

3. 新疆克州环境监测站, 新疆 阿图什 845350)

摘要: 文章以青海湖北部刚察县高寒草地为研究对象, 分析测试土壤样品的各粒级组分进而计算出各粒度参数值, 尝试探索土壤层剖面的土壤粒度与土壤磁化率的变化特征及其相关性。结果表明: 该高寒草地土壤剖面粒度组成以粉砂为主, 黏粒次之, 再次是砂粒, 土壤属性属于粉砂壤土—粉砂土; 土壤质量磁化率总体较低, 土壤物源既有基岩风化而成, 又有远程物质的搬运沉积; 土壤剖面上表现出两个较为明显的质量磁化率由高到低的周期演化, 说明成土成壤过程经历了两个时期。土层在 30 cm 以上, 质量磁化率与频率磁化率呈现出相反的变化趋势; 30 cm 以下随着越接近母岩方向, 质量磁化率值呈现减小的态势。且在剖面上表现出两个较为明显的以高质量磁化率值开始、低质量磁化率结束为特征的周期演化。

关键词: 高寒草地; 土壤粒度; 土壤磁化率; 相关性; 青海湖北部; 青海省

中图分类号: P512.2 **文献标识码:** A

0 引言

土壤粒度属土壤基本物理特性之一, 粒度大小主要受到物源、搬运距离、动力条件等因素的影响; 粒度指标已被用于衡量某个区域的降水、温度、湿度等气候环境变化, 其本身会影响土壤中矿物的组成及部分矿物的磁性特征^[1-2]。磁化率作为记录环境变化信息的一项重要指标, 基于其具有快速、简便和非破坏性等优势条件, 已成为发现和解决环境问题的重要手段^[3-6], 尤其在湖泊、河流和海洋沉积物来源、沉积环境变化以及空气污染方面得到广泛应

用^[7-13]。比如在黄土和古土壤中发现频率磁化率分别呈现波谷和波峰的特征, 故将频率磁化率作为反映古气候变化的灵敏指标之一; 受人类活动的影响, 湖泊不同沉积层位中磁化率值也是高低不一, 且随着沉积层位的变深, 磁化率变化趋势也不尽相同^[14]。同时发现沉积物的磁化率与粒度之间的关系非常密切^[15]。已有不少学者探讨了土壤的磁化率和粒度之间存在的相关关系^[14, 16-17], 受土壤物源及搬运条件和沉积环境条件的影响, 不同地区的土壤磁化率与土壤粒度的相关性亦有差异^[18]。

本文利用 2018 年 7—8 月份高寒草地土壤粒度和磁化率的测定, 开展了高寒草地土壤磁化率与粒度的特征及相关关系研究, 希望有助于明晰该区域

收稿日期: 2019-09-16; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家重点研发计划项目(编号:2017YFC0404304)、国家自然科学基金项目(编号:41361005)联合资助。

作者简介: 张卓(1986—), 男, 工程师, 博士在读, 主要从事地表环境过程与生态响应。通信地址: 青海省西宁市城西区五四西路 38 号, 青海师范大学青海省自然地理与环境过程重点实验室; 邮政编码: 810008; E-mail: sxzhangzhuo@126.com

通信作者: 曹广超(1971—), 男, 教授, 博士, 主要从事地表环境过程研究工作。通信地址: 青海省西宁市城西区五四西路 38 号, 青海师范大学青海省自然地理与环境过程重点实验室; 邮政编码: 100083; E-mail: caoguangchao@126.com

土壤粒度与土壤磁化率指标的环境意义,以期对后期土地资源的开发利用、区域环境演变及土壤环境保护提供帮助。

1 研究区概况

刚察县高寒草地研究区位于中国最大内陆咸水湖——青海湖正北部(图 1)。区内地貌主要有三大类型:高山、丘陵、平原;地势自北西向东南倾斜,海拔高度范围为 3200~3800 m^[19],平均海拔 3300 m,北部与南部平均落差在 600 m 左右,最大可达 1580 m^[20-21]。区内大通山山脉横贯北部,东西向展布的桑斯扎山与赞宝化秀山将该区水系分为南北两部分:南部环湖内陆水系,北部为湟水水系。

区内土地利用类型主要有草地、耕地、林地、沙地等^[22]。2007 年统计资料显示,区内草地面积占比达该区土地总面积的五分之三以上,天然草地有 71.20×10^4 hm²,其中可利用面积 69.07×10^4 hm²^[23]。

区内草地植被呈现出明显的垂直分带规律,沿海拔高度可分为高寒草甸、高寒草原、山地草原和平原草甸 4 个草原类型,以高寒草甸为主^[24]。

2 样品采集与测试方法

2.1 样品采集与预处理

为观察优选出符合土壤采样代表性要求的位置,在 2018 年的 7—8 月份,选择青海湖北部的刚察县高寒草地作为研究样地。采样点间距为 500 m,在该区域不同草地类型即高寒草甸、高寒草原、山地草原、平原草甸,分别选取 3 个采样点,共计 12 个采样点。采样时,以每个采样目标点位为圆心,半径 30 m 范围内确定具体点位。采样点位注意避免了以下区域:人为干扰较大的陡坡地、低洼积水地、沟渠以及牲畜粪堆附近等处;农牧民居民点 300 m 缓冲区内,点状污染源 600 m 内。采样过程中发现该区域的土层较薄,深度基本上处于 700~800 mm 出现砾石,偶见土壤侵入体。采样使用直径为 50 mm 的土钻,向下钻取 0~600 mm 深度的土层柱(剖面),然后在土层柱(剖面)上每隔 50 mm 进行取样,每个取样孔柱(剖面)上获取 12 件土样品,每件样品重量 1 kg。本次共采集样品 $12 \times 12 = 144$ 件,所有样品带回实验室。

将室外采集来的土样放在实验室内,让它在室温、避光和通风条件下自然风干,剔除杂质,过孔径 2 mm 筛子,每个土样预称取重量 200 g 的样品备测。

2.2 测试方法

土壤粒度和磁化率测试分析工作在青海省自然地理与环境过程重点实验室完成。

土壤粒度分析采用英国 Malvern 公司制造的 Mastersizer2000 型激光粒度仪完成。试样制取:首先,称取 0.40 g 预处理好的待测土样置于 50 mL 烧杯中,加入 10 mL 浓度为 10% 的双氧水(H₂O₂),加

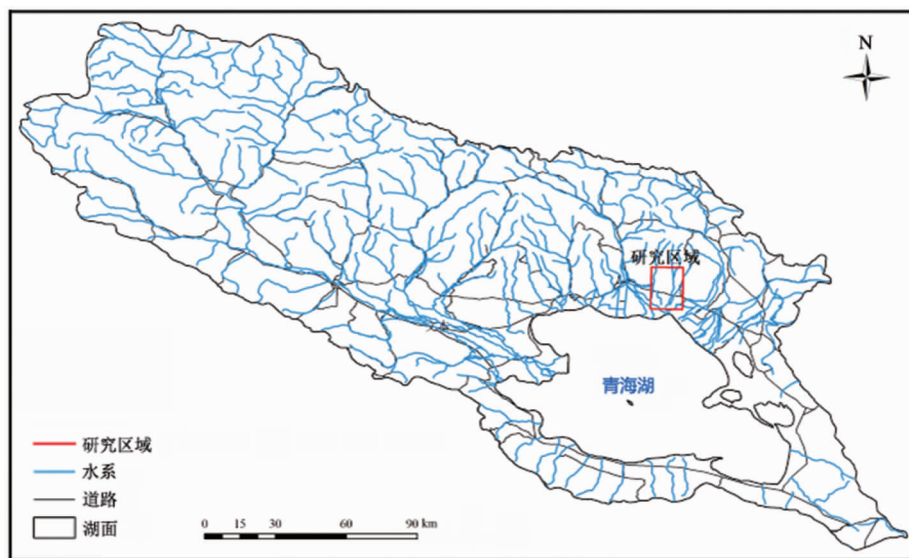


图 1 研究区域示意图

Fig. 1 Sketch of the study area

热煮沸待烧杯冷却,再加入 10 mL 浓度为 10% 盐酸 (HCl), 摇匀煮沸后静置, 至少 14 个小时; 然后, 加入 10 mL 浓度为 10% 的六偏磷酸钠 ($(\text{NaPO}_3)_6$), 置于超声波震荡器中震荡 10 分钟, 即可供仪器进行测试。测量时待遮光度分布在 17%—20% 之间。

土壤磁化率分析采用英国 Bartington 公司制造的 MS-2B 型磁化率仪完成。首先, 测量 2 次磁化率仪的背景噪音, 前后两次测量的背景值变化应该小于 0.3; 然后, 将预处理好的待测土样装入圆柱体塑料盒 (MS-2B 型磁化率仪测试盒, 体积为 10 ml), 准确称取重量, 连续进行 3 次测量。仪器工作条件低频为 470 Hz, 高频为 4700 Hz, 单位档为 SI, 测量档为 0.1 档。根据测试结果可通过以下公式计算质量磁化率和频率磁化率: 质量磁化率 $\chi_{If} = (\text{样品 3 次测量的平均值} - 2 \text{ 次背景值的平均值}) \times 10 / \text{样品质量}$, 质量磁化率的量单位为 $10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; 频率磁化率 $\chi_{fd} = [(\text{低频磁化率 } \chi_{Lf} - \text{高频磁化率 } \chi_{Hf}) / \text{低频磁化率 } \chi_{Lf}] \times 100\%$, 频率磁化率的量单位为 %。

3 结果与讨论

3.1 粒度组成与特征

根据 Udden 和 Wentworth 粒度分级标准^[25-26], 青海湖北部高寒草地区不同类型草地的土壤样品粒径组分特征如表 1 所述, 土壤层剖面粒径变化情况如表 2 所述。

从表 1 不难看出, 在各粒径组分中, 砂粒含量在 4.01%~21.17% 之间, 平均值为 8.91%; 粉砂含量在 64.52%~77.20% 之间, 平均值为 70.12%; 黏粒含量变化范围在 14.45%~24.76% 之间, 均值为 20.97%。

从表 2 不难看出, 高寒草地土壤层剖面其众数粒级是粉砂组分, 其次是黏粒组分, 粉砂和黏粒两者的含量高于 80%, 明显比砂粒级要大得多。随着土层厚度的增加, 砂粒组分在 300~350 mm 以上呈现出减小趋势, 以下呈现增加趋势; 黏粒组分自表层至深层呈现微弱的减小趋势, 粉砂组分自 250~300 mm 以下无显著变化 (图 2)。从土壤粒度组成三角图 (图 3) 可知, 研究区草地土壤大部分属于粉砂壤土, 少部分属于粉砂土, 这说明土壤在发育过程中, 由于风化成壤作用, 土壤的粗组分有向细组份渐变趋势。

表 1 青海湖北部高寒草地区不同类型草地的土壤粒度测试结果

Table 1 Soil particle size measurement of different types of grassland in alpine grassland area of north Qinghai Lake area

采样点位		砂 ($>63 \mu\text{m}$) / %	粉砂 ($4 \sim 63 \mu\text{m}$) / %	黏粒 ($<4 \mu\text{m}$) / %
高寒草甸	变化范围	5.33~21.17	64.79~74.76	14.45~21.94
	平均值	12.77	68.82	18.41
高寒草原	变化范围	2.63~12.16	66.87~77.20	19.96~23.3
	平均值	5.26	73.49	21.25
山地草原	变化范围	4.01~11.33	68.61~73.28	20.06~24.13
	平均值	6.14	71.44	22.42
平原草甸	变化范围	6.28~18.37	64.52~73.69	14.62~24.76
	平均值	10.71	68.97	20.32
总体	平均值	8.91	70.12	20.97

表 2 青海湖北部高寒草地土壤层剖面粒径变化情况

Table 2 Grain size variation of alpine grassland soil profile

深度 / mm	砂 ($>63 \mu\text{m}$) / %	粉砂 ($4 \sim 63 \mu\text{m}$) / %	黏粒 ($<4 \mu\text{m}$) / %	黏粒 / 粉砂
50	12.95	66.2	20.85	0.31
100	10.03	67.1	22.87	0.34
150	8.2	69.5	22.3	0.32
200	6.7	72.1	21.2	0.29
250	5.1	72.2	22.7	0.31
300	6.12	71.4	22.48	0.31
350	6.26	72.8	20.94	0.29
400	7.3	71.6	21.1	0.29
450	8.1	71.3	20.6	0.29
500	10.2	69.2	20.6	0.30
550	10.9	69.1	20	0.29
600	11.4	68.7	19.9	0.29

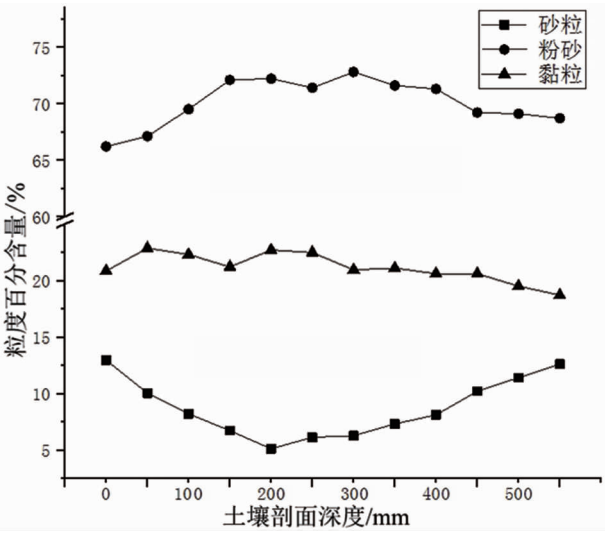


图 2 青海湖北部高寒草地土壤剖面粒径变化趋势

Fig. 2 Variation trend of grain size in soil profile of alpine grassland in northern Qinghai Lake

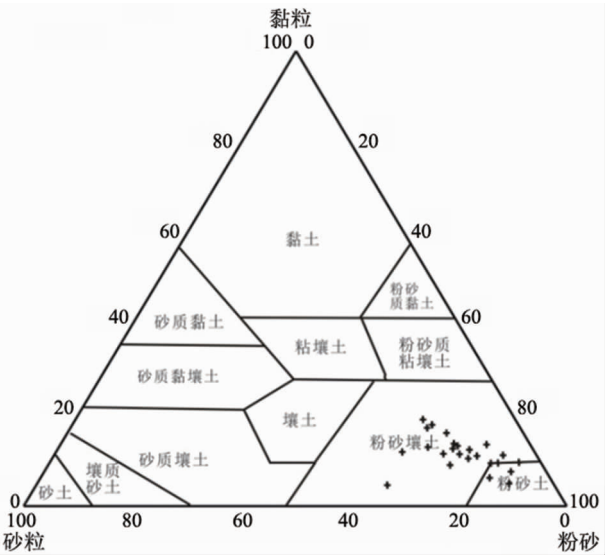


图 3 青海湖北部高寒草地土壤粒级分布三角图解

Fig. 3 Trigonometric diagram of soil particle size distribution in alpine grassland in the north of Qinghai Lake

表 3 青海湖北部高寒草地土壤层剖面粒度参数

Table 3 Grain size parameters of alpine grassland soil profile in the north of Qinghai Lake

剖面深度/mm	平均粒径 $M_Z/\mu\text{m}$	偏度 S_K	标准差 σ	峰度 K_K	质量磁化率 $\chi_{lf}/10^{-7}\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	频率磁化率 $\chi_{fd}/\%$
50	6.21	-0.025	2.10	0.97	5.10	7.01
100	6.42	-0.075	2.05	1.01	4.92	7.45
150	6.50	-0.070	1.90	1.05	4.83	7.92
200	6.52	-0.010	1.75	1.06	4.75	8.73
250	6.68	-0.025	1.70	1.04	4.99	8.53
300	6.53	0.000	1.76	1.03	5.01	8.04
350	6.41	0.020	1.72	1.03	5.47	7.22
400	6.37	0.030	1.73	0.97	5.10	6.94
450	6.30	0.030	1.78	0.96	5.02	6.92
500	6.22	0.050	1.88	0.95	5.01	6.47
550	6.15	0.026	1.87	0.94	4.81	5.91
600	6.09	0.072	1.86	0.93	4.61	5.12

注: $M_Z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/3$; $S_K = (\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})/2(\phi_{84} - \phi_{16}) + (\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})/2(\phi_{95} - \phi_5)$; $\sigma = (\phi_{84} - \phi_{16})/4 + (\phi_{95} - \phi_5)/6.6$; $K_G = (\phi_{95} - \phi_5)/2.44(\phi_{75} - \phi_5)$ 。式中的 ϕ_n 为到达 $n\%$ 的粒径

根据粒度参数计算公式,得到青海湖北部高寒草地土壤的平均粒径(M_Z)、偏度(S_K)、标准差(σ)、峰度(K_G)值,如表 3 所述。

土壤粒度的标准差、偏度值可以反映土壤颗粒的分选性、分选程度,这与成壤的搬运条件和不同的沉积环境密切相关,对指示沉积环境具有重要意义。从表 3 可见:研究区土壤平均粒径为 $6.09 \mu\text{m}$ — $6.68 \mu\text{m}$;土壤粒度的标准差的值在 $1.70 \sim 2.10$ 之间,该区域土壤粒度的偏度值在 $-0.075 \sim 0.072$ 之间,根据福克、沃德分选系数的标准^[27],它们属于分

选较好的级别;土壤剖面上显示出的峰度总体趋势为随着土层厚度的增加而增加,峰度值集中在 $0.93 \sim 1.06$ 之间,峰显示出既不尖锐也不属于平峰,属于中等(正态),进一步证明了粗细颗粒分布较为均匀,即土壤的砂粒、粉砂粒、黏粒分布较为稳定,说明了剖面的发育程度较好。

3.2 磁化率特征

众多研究者将土壤磁性的相对强弱以及磁性的变化作为研究重点,土壤的磁性有原生磁性和次生磁性之分。土壤原生磁性,即组成母岩的矿物晶体

颗粒在受到各类外力地质作用情况下形成的风化壳、半风化壳、碎屑沉积物直至最终在一定水热条件下发育成土壤所继承原有晶体颗粒的磁性。次生磁性,是指发育的土壤受到一系列物理化学环境(pH、Eh等)、腐殖质、有机质等因素的影响后附加上的磁性。样品的体积磁化率与其本身的密度的比值称为质量磁化率。在不同频率外加磁场下,样品产生的磁化率值的变化程度称为频率磁化率。本次对青海湖北部高寒草地土壤剖面样品磁化率测试结果,见表3所述。

表3中所呈现的高寒草地土壤剖面样品磁化率数据表明,质量磁化率变化范围为 $4.61 \times 10^{-7} \sim 5.10 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $4.98 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; 随着土层深度的增加,土壤剖面质量磁化率呈逐渐波动的变化趋势, χ_{If} 值表现为先减小后增加再减小(图4)。频率磁化率的变化范围为 5.12%—8.73%, 剖面上段部位土壤的 χ_{fd} 值较剖面下段部位的值普遍偏高(图5)。

频率磁化率(χ_{fd})主要反映的是超顺磁颗粒和稳定单畴颗粒对磁化率的贡献。 $\chi_{fd} < 10\%$ 的土壤,表明它们基本不存在超顺磁性矿物颗粒^[4]。本次研究的高寒草地剖面样品的频率磁化率值都小于10%,说明它们并非都是以超顺磁晶体颗粒为主导,因此高寒草地土壤剖面土层在不同深度均几乎不含超顺磁矿物颗粒,即超顺磁颗粒在高寒草地土壤的磁性贡献中所占的比例很小。

在整个成土成壤过程中,剖面上发育程度不同

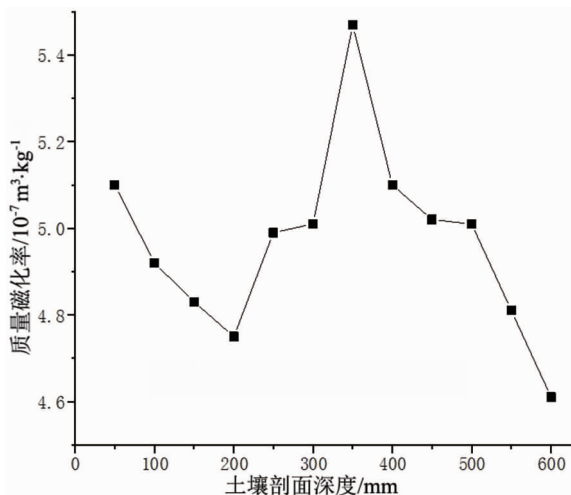


图4 青海湖北部土壤剖面质量磁化率变化

Fig. 4 Variation of magnetic susceptibility of mass in soil profile in northern Qinghai Lake

的层位处的质量磁化率值和频率磁化率呈现出不同的特征。从图4中可见,该剖面上两个较为明显的以高质量磁化率值开始、低质量磁化率结束为特征的周期演化,即分别在深度50~200 mm及350~600 mm处的质量磁化率值呈降低趋势。比较图4、图5可知,在深度300 mm以上,质量磁化率与频率磁化率呈现出相反的变化趋势;在300 mm以下,随着土层深度的增加越接近母岩方向,质量磁化率值呈现减小的趋势,且接近母岩处,达到最低值。

根据测得的土壤样品质量磁化率和频率磁化率数据,结合约翰·迪林提出的主要磁性矿物的磁畴与来源不同的样品对应关系,得到青海湖北部高寒草地土壤样品 χ_{If} — χ_{fd} 图(图6)。由图6可知,高寒草地土壤剖面的各个散点均分布在混合物的周围,

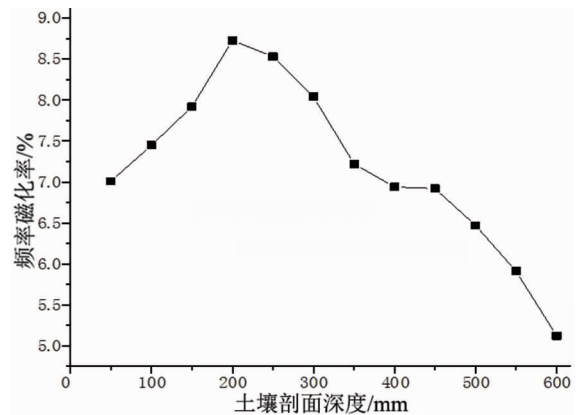


图5 青海湖北部土壤剖面频率磁化率变化

Fig. 5 Variation of frequency susceptibility of soil profile in northern Qinghai Lake

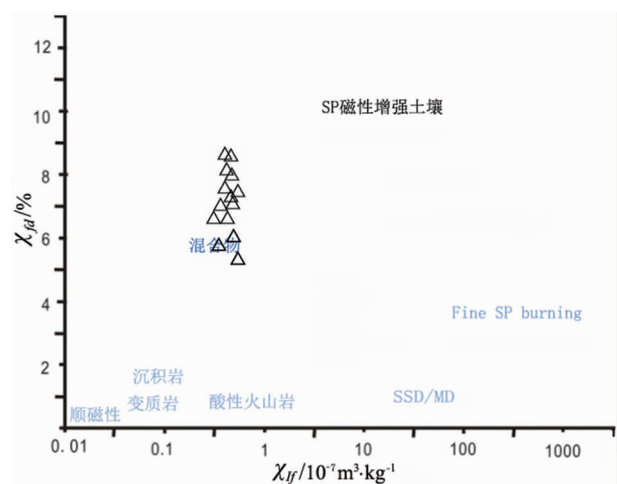


图6 青海湖北部高寒草地土壤样品 χ_{If} — χ_{fd} 图

Fig. 6 χ_{If} — χ_{fd} map of alpine grassland soil samples in the north of Qinghai Lake

表 4 青海湖北部高寒草地土壤剖面各粒度组分和参数与频率磁化率、质量磁化率相关系数

Table 4 The correlation coefficients of particle size components and parameters of alpine grassland soil profile in the north of Qinghai Lake with magnetic susceptibility of frequency and mass were obtained

粒度参数	砂(>63 μm)	粉砂(4~63 μm)	黏粒(<4 μm)	标准差(σ)	峰度(K _G)	偏度(S _K)	平均粒径(M _Z)
频率磁化率(χ _{fd})	-0.70391	0.43718	0.77217	-0.2767	0.92022	-0.6691	0.93417
质量磁化率(χ _{tf})	-0.3212	0.31975	0.10654	-0.19231	0.17369	-0.00597	0.20047

进一步说明高寒草地剖面成壤过程中既有接受来自于远源物质,又有其它岩性岩石的风化产物构成的土壤侵入体。这与袁杰等^[28]根据青海湖北部区域粒度频率曲线特征分析得出的土壤粒度分布混杂,既有原地母岩岩性风化的,又有远源搬运的等结论相一致。因此可以推断,研究区高寒草地土壤物源分布混杂,沉积环境较为复杂。

3.3 相关性分析

本次根据土壤样品测试的粒度值并运用 SPSS 进行分析,得出高寒草地土壤粒度、粒度参数与土壤磁化率之间的相关数据如表 4 所述。

从表 4 中可以看出,青海湖北部高寒草地土壤剖面上频率磁化率与粉砂和黏粒含量、峰度、平均粒径存在正相关性,与黏粒含量和平均粒径的相关系数达到了 0.77217、0.93417;与砂粒含量、标准差、偏度存在负相关性,与砂粒的相关系数分别为 -0.70391,与偏度的相关系数为 -0.6691。质量磁化率与粉砂含量、平均粒径呈现出正相关关系,相关系数分别为 0.31975、0.20047;与砂粒含量负相关,相关系数为 -0.3212。

综上,青海湖北部高寒草地土壤剖面上频率磁化率与质量磁化率相比,其与黏粒、平均粒径的相关性呈明显正相关。前人研究^[14]发现,在受人类干扰较小的情况下,土壤磁化率的值似乎与粒度组成中的黏粒的含量成正相关,而与砂粒的含量成负相关。此次通过对该区域土壤磁化率与粒度关系研究亦呈现出类似的规律,某种意义上说明青海湖北部高寒草地受人类活动干扰程度较小。

4 结语

本次通过对青海湖北部高寒草地土壤粒度与磁化率关系研究,可得出以下结论:

- (1)青海湖北部高寒草地土壤剖面粒度组成以粉砂为主,黏粒次之,再次是砂粒,土壤属性属粉砂壤土-粉砂土。
- (2)青海湖北部高寒草地土壤质量磁化率总体

较低;土壤物源既有基岩风化而成,又有远程物质的搬运沉积。

(3)青海湖北部高寒草地土壤层位在 30 cm 以上,质量磁化率与频率磁化率呈现出相反的变化趋势;30 cm 以下随着土层深度的增加越接近母岩方向,质量磁化率值呈现减小的趋势。且在剖面上表现出两个较为明显的以高质量磁化率值开始、低质量磁化率值结束为特征的周期演化。

参考文献:

[1] OLDFIELD F, LI Zhongyu. The influence of particle size variations on the magnetic properties of sediments from the north-eastern Irish Sea [J]. Sedimentology, 1994, 41(6): 16.

[2] 沈明洁, 胡守云, U BLAHA, 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(6): 1665-1673.

[3] 卢升高, 俞劲炎. 土壤磁学及其应用研究进展[J]. 土壤学进展, 1991(5): 1-8.

[4] 卢升高. 土壤频率磁化率与矿物粒度的关系及其环境意义[J]. 应用基础与工程科学学报, 2000(1): 9-15.

[5] OLDFIELD, FRANK. Environmental magnetism—personal perspective [J]. Quaternary Science Reviews, 1991, 10(1): 73-85.

[6] THOMPSON R, OLDFIELD F. Environmental magnetism [M]. London Goerge Allen & Uniwin, 1986.

[7] 俞立中, 张卫国. 沉积物来源组成定量分析的磁诊断模型[J]. 科学通报, 1998, 43(19): 2034-2041.

[8] 吴瑞金. 湖泊沉积物的磁化率, 频率磁化率及其古气候意义[J]. 湖泊科学, 1993, 5(2): 128-135.

[9] CROCKFORd R H, FLEMING R M. Environmental magnetism as a stream sediment tracer: an interpretation of the methodology and some case studies [J]. Aust J Soil Res, 1998, 36: 167-184.

[10] HUNT A. The application of mineral magnetic methods to atmospheric aerosol discrimination [J]. Phys Earth PlanetInter, 1986, 42: 10-21.

[11] 刘秀铭, 刘东生, Heller F, 等. 黄土频率磁化率与古气候冷暖变化[J]. 第四纪研究, 1990(1): 42-50.

[12] 刘秀铭, 刘东生, Heller F. 中国黄土磁颗粒分析及其古气候意义[J]. 中国科学(B辑), 1991(21): 639-644.

[13] 张振克, 吴瑞金, 王苏民. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映[J]. 地理研究, 1998, 17(3): 297-300.

- [14] 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(4): 548-553.
- [15] YU L, OLDFIELD F, Wu Y, et al. Paleoenvironmental implications of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, South-west China [J]. Journal of Paleolimnology, 1990, 3: 95-110.
- [16] 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.
- [17] 袁胜元, 李长安, 张玉芬, 陈亮. 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.
- [18] 赵璐, 刘子亭, 陈琳, 等. 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[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2018, 31(1): 72-79.
- [19] 魏永林, 许存平, 张盛魁, 等. 气候变化对青海海北地区天然草地生物量及生态环境的响应[J]. 草业科学, 2008(3): 12-17.
- [20] 袁杰, 曹广超, 虞敏, 等. 青海湖北部近 30 年不变草地与不变耕地土壤粒度差异及其指示意义[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 199-204.
- [21] 袁杰, 鄂崇毅, 曹广超, 等. 30a 耕作对高寒草地土壤碳氮与颗粒组成的影响[J]. 干旱区研究, 2017, 34(3): 487-494.
- [22] 青海省地方志编纂委员会. 青海省志: 青海湖志[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1998.
- [23] 索南拉毛. 刚察县天然草地主要类型及退化状况[J]. 青海草业, 2015, 24(3): 53-56.
- [24] 赵景波, 邢闪, 马延东. 刚察县不同植被类型的土壤水分特征研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 14-18.
- [25] UDDEN J A. Mechanical composition of clastic sediment [J]. Geological Society of America Bulletin, 1914, 25(1): 655-744.
- [26] WENTWORTH, CHESTER K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments [J]. The Journal of Geology, 1922, 30(5): 377-392.
- [27] FOLK R, WARD W C. Brazos river bar: a study in significance of grain size parameters [J]. Journal of sedimentary petrology, 1957, 27: 3-26.
- [28] 袁杰, 曹广超, 鄂崇毅, 等. 环青海湖表层土壤沉积物粒度分布特征及其指示意义[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 150-154.

Discussion on the relationship between soil particle size and magnetic susceptibility of alpine grassland in northern Qinghai Lake area

ZHANG Zhuo^{1,2,3}, CAO Guangchao^{1,2}, ZHANG Fuling^{1,2},
YANG Rongrong^{1,2}, CHEN Zhirong^{1,2}, TONG Shan^{1,2}

(1. MOE Key Laboratory of Tibetan Plateau Land Surface Processes and Ecological Conservation, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. Key Laboratory of Qinghai Province Physical Geography and Environmental Process, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

3. Environmental Monitoring Station of Kezilsu Prefecture, Atushi 845350, Xinjiang, China)

Abstract: This paper deals with alpine grassland in the north Qinghai Lake area trying to find out relationship between soil particle size and magnetic susceptibility by means of measuring each soil particle size groups and calculating the particle size parameter. The results show that the alpine grassland section was dominated by silt, then clay, sand. The soil belongs to silt loam-silt soil including the weathered materials of bed rock and the deposited long-distance-transported materials. The mass magnetic susceptibility is generally low. The soil section includes two distinct evolution cycles of mass magnetic susceptibility from high to low indicating that the soil is formed in two periods. Above 30cm of the soil layer the mass magnetic susceptibility and the frequency susceptibility change in opposite tendency; below 30cm, close to the bedrock, the mass susceptibility decrease.

Key Words: alpine meadow; soil size; soil magnetic susceptibility; correlation; north of Qinghai Lake area; Qinghai province