

太湖流域水稻土的磁化率剖面*

俞劲炎 赵渭生 詹硕仁

(浙江农业大学)

土壤磁学是一门新兴的土壤学分支学科。它以研究土壤磁性为中心内容,把现代磁学理论以及磁测、磁查和磁诊断等研究手段和方法应用到土壤学中来^[1]。

土壤磁性的强弱,可用磁化率作为指标。土壤磁化率的大小,主要决定于含铁矿物的种类和数量,特别是强磁性矿物(亚铁磁性的磁铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ 和磁赤铁矿 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)的数量。已有资料^[2,3,11,12]说明,从土壤形成的历史来看,可以从两方面去寻找土壤磁化率高低的原因:一是母岩和母质中含铁矿物的情况,这决定了土壤磁性的“本底”;二是在风化和成土过程中,由于游离氧化铁的释放、淋移、淀积和结晶,尤其是原生强磁性矿物(主要是磁铁矿)的破坏,次生强磁性矿物(土壤中新生的磁铁矿和磁赤铁矿)的形成,造成土壤磁性的消长及其在剖面中的“再分配”。反之,土壤磁性在土壤中的分异,造成了不同的“土壤磁化率剖面”,可提供各种土壤过程的“踪迹”。

迄今为止,土壤磁性研究工作,多以自然土壤和旱地土壤为对象,只在个别报道中^[3,9]涉及了几种水稻土的磁化率,但是未作专门讨论。鉴于水稻土中氧化铁的形态转化和迁移十分显著,因而可把磁化率测定作为一种简便而灵敏的磁性“示踪”手段,以研究各类水稻土成土过程的特点。

本文拟以太湖流域的土壤为例,探讨水稻土磁化率剖面的共性和个性及其在土壤分类上的意义。试验土样包括太湖流域主要水稻土及其同源同母质的旱地土壤。用 WCL-1 型磁化率仪测定其容积磁化率 K (单位为 $10^{-6}\text{emu}/\text{cm}^3$),同时测定土样的装填容量 D (g/cm^3),按下式计算土壤比磁化率 x (单位为 $10^{-6}\text{emu}/\text{g}$): $x = K/D$ 具体的测定方法及注意事项等详见另文^[1]。

一、水稻土磁化率的共同特点

水稻土是在长期淹灌和水耕条件下形成的水成型土壤。在长期的渍水还原条件下,土壤中的磁铁矿和磁赤铁矿发生了还原、溶解、水化和无定形化,变为纤铁矿、针铁矿以及无定形水氧化铁,其磁化率降低几个数量级,因而使得水稻土的磁化率大幅度地下降。与其同源的旱地土壤相比较,其磁化率剖面也迥然不同。

下面,以三种母质上的土壤为例,对水稻土及其同源旱地土壤的磁化率剖面进行对比。

* 本工作是朱祖祥教授主持的“水稻土理化肥力特性研究”的一部分。南京土壤研究所徐琪、陆彦椿、邓时琴、徐梦熊等提供部分土壤标本和资料;本校俞震豫教授提出宝贵意见,深表感谢。

1) 俞劲炎、詹硕仁, 1980: 土壤磁化率测定中的影响因素研究(资料)。

(一) 黄斑埤土(冲积母质)

选择了浙江省加兴县三种土壤:(1)黄斑埤土(老水稻土),是当地肥沃水稻土的代表,有机质 3.16%,粘粒 16.0%,属粗粉质重壤或粉土。(2)钙质黄斑埤土(新水稻土),种稻年限短,母质中原有的碳酸钙尚未完全淋失, pH7.5。(3)旱地黄斑土,与黄斑埤水稻土交错分布的“堆叠土”,高出相邻水田 2—3 尺,故土壤剖面上段已脱离地下水和田面水的浸渍作用。这三种土壤由同一种河流冲积物发育而来,它们的质地相近,原来的矿物组成相同,但由于成土过程的发展方向(水耕潜育化或旱耕潮土化)及发育程度(水耕年限和剖面分异情况)不同,造成氧化铁的形态转化及其在剖面中迁移的条件(主要是水分和氧化还原条件)不同,因而形成了不同的磁化率剖面(图 1-a)。

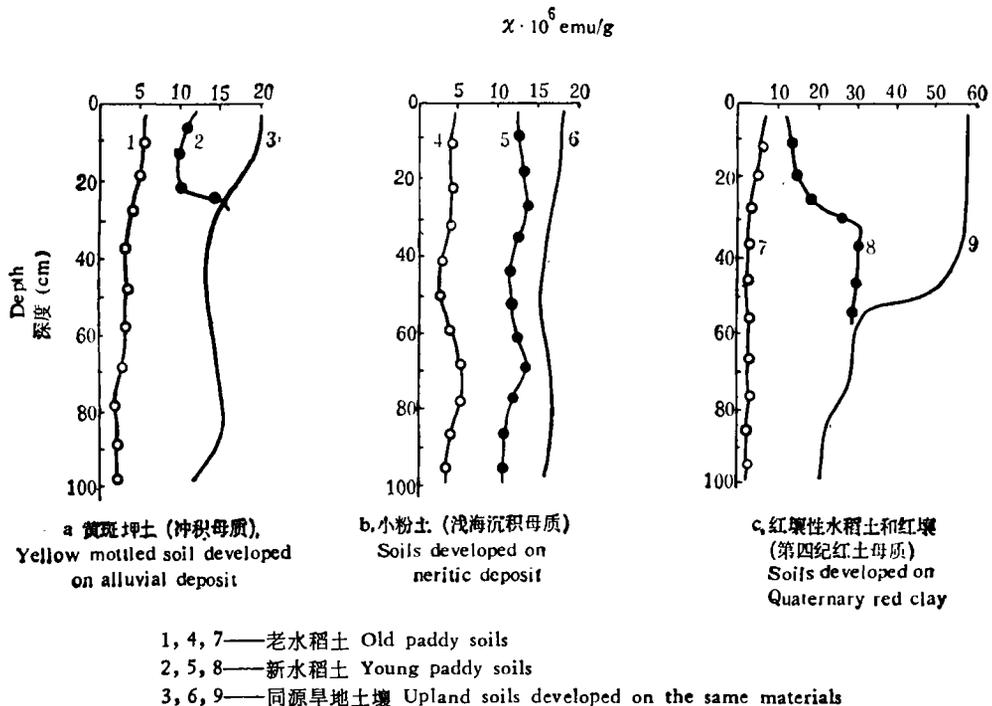


图 1 水稻土及其同源旱地土壤的磁化率剖面

Fig. 1 The magnetic susceptibility profile of paddy soils and the upland soils developed on same materials

黄斑埤土的磁化率很低, A 层的 χ 值为 5 单位 (10^{-6} emu/g , 下同), 其下各层更降至 3—2 单位(图 1 中曲线 1)。钙质黄斑埤土的 A 层 χ 值为 9—12 单位(图 1 中曲线 2), 比老水稻土要高, 但比同源旱地土壤要低。旱地黄斑土的全层保持较高的 χ 值(18—13 单位), 尤其是其上段(图 1 中曲线 3)。

磁性的强弱次序是旱地黄斑土 > 钙质黄斑埤土 > 黄斑埤土。这说明老水稻土的磁化率同旱地相比, 可降低至 1/6—1/9, 新水田土壤的磁化率处在两者之间。

(二) 小粉土(浅海沉积母质)

小粉土是杭州附近的主要耕地土壤。这种土壤中粗粉粒和细砂粒含量高(50—80%左右),含有机质 1.5% 上下^[4]。

本校华家池农场相邻的桑园土壤(旱地小粉土),地形位置较高,一米土层内未受地下水浸渍,全剖面的 x 值甚为一致,为 15—17 单位(图 1-b 曲线 6)。邻近的新水田土壤(水田小粉土)地形位置较低,下部受地下水浸渍,上段则受人工淹灌的影响,磁化率降低,但因水耕年限短,剖面分化不明显,全层的 x 值较为一致,为 14—11 单位(图 1 中曲线 5)。

另一种老水稻土,质地为轻壤—中壤,由于水耕年限久长,全剖面的 x 值已降至 5 单位左右(图 1 中曲线 4)。

由此可见,三种小粉土的磁化率,也是旱地土壤 > 新水稻土 > 老水稻土。

(三) 红壤性水稻土和红壤(第四纪红土母质)

在太湖平原南缘的红土丘陵上,选择了一组土壤。余杭茶场的老水稻土和茶园红壤位置相近。水稻土位于山垅内,整个剖面受渍水影响,从上到下的 x 值只 6—4 单位(图 1 中曲线 7)。茶园红壤的上段未受水渍影响, x 值在 58 单位左右,为老水稻土的十倍多,它的下段处于地下水升降和毛管上升水活动范围内, x 值降至 30—24 单位(图 1 中曲线 9)。

附近的同一母质的新水稻土(地表水型),其淹育层段的 x 值降至 12 单位,但下段水渍影响弱,仍保持 30 单位左右(图 1 中曲线 8)。所以,这一组土壤也表明,老水稻土的磁化率最低,而同源旱地土壤的磁化率最高,新水稻土居中。同时,旱地土壤的磁性愈强,则水耕后磁化率降低的幅度也愈大。

二、各类水稻土的磁化率剖面特征

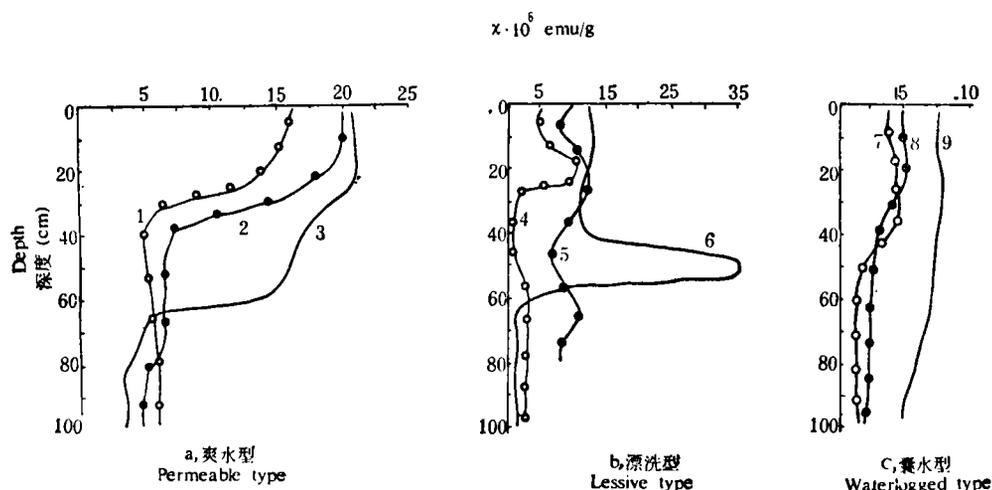
各类水稻土的剖面构型、水分状况以及氧化还原状况等均不相同,因而铁锰化合物的氧化与还原、水化与失水、结晶化与无定形化、淋移与淀积的情况也不相同,从而造成不同的磁化率剖面(图 2)。

(一) 爽水型水稻土

此类水稻土通透性较好,渗渍层(W层)发育明显,剖面构型为 A—P—W—Bg—G(或 C)。由于人工培肥和适当的干湿交替,有利于胡敏酸的积累以及强磁性矿物(磁赤铁矿胶膜以及粘粒组中的磁铁矿)的形成,如同肥沃的自然土壤中那样^[11,12]。

耕层大量鳊血斑块的出现,是肥沃的爽水型水稻土的重要特征^[7]。穆斯堡尔谱分析及电镜微区电子衍射谱表明,“鳊血”胶膜是有机铁络合物的网络及各种氧化铁,包括磁赤铁矿在内¹⁾。鳊血斑块的磁化率可达 30—50 单位,为无锈纹土块的近十倍。因此,爽水型土壤上段(A, P 层及 W 层的上段)的磁化率显著回升,达 15—20 单位。剖面的下段,受

1) 顾新运、李淑秋, 1977: 水稻土中“鳊血”特性的研究。中国科学院南京土壤研究所编《太湖地区水稻土肥力研究论文集(摘要)》, 50—53 页。



1 无锡乌黄泥 2 上海黄泥土 3 常熟乌泥土 4 吴县乌白土 5 长兴埭田白土 6 江宁乌肝土
7 加兴青紫泥 8 无锡灰炉底 9 吴江沙底青泥土

图2 各类水稻土的磁化率剖面

Fig. 2 The magnetic susceptibility profile of different paddy soils

渍水潜育作用影响, x 值降低至 ~ 5 单位(图 2-a)。无锡乌黄泥(图 2 中曲线 1)和上海黄泥土(图 2 中曲线 2)是此类水稻土的代表。它们的磁化率剖面呈“上凸(x 值大)下平(x 值小)”的形状。

常熟乌泥土的剖面构型为 A—P—W—G。它是一种“老潜底爽水型”水稻土,有爽水型的上段和囊水型的下段。它可由囊水型水稻土经过排水改良而形成,也可能是由水分状况不同的两个沉积层叠合而成。此种水稻土的磁化率剖面也呈“上凸下平”的形状。只是它的上段磁化率比一般爽水型水稻土更高些,而其下段的 x 值则更低些(图 2 中曲线 3)。

表 1 太湖平原水稻土各粒组的磁化率

Table 1 The magnetic susceptibility of different particle-size fractions of paddy soils in Tai Hu plain

类 型 Soil type	质 地 Soil texture	土 层 Horizon	$x \cdot 10^6 \text{emu/g}$		
			砂 粒 Sand	粉 粒 Silt	粘 粒 Clay
爽 水 型 Permeable	轻 壤 Light loam	A	53—90	8—21	32—33
		P	23—37	6—21	33—35
		W	10—22	8—16	25—35
	重 壤 Heavy loam	A	120—450	5—7	~ 12
漂 洗 型 Lessive	重 壤 Heavy loam	WL	90—380	1—3	7—8

造成这种情况是由于这种土壤的质地粘重,有机质含量高(约 3.5%),当排水条件得到改善时,丰富的粘粒和有机-矿质复合体可成为良好的磁性载体,而其中的胡敏酸则可能是强磁性矿物形成的接触剂,如同某些自然土壤中所发现的那样^[11]。潜育性土壤在排

水后,由于纤铁矿等的脱水,可产生磁赤铁矿^[6]。因此,这种老潜底爽水型水稻土的上段 x 值 > 20 单位,而其潜育化的底层则仍保持很低的 x 值(~ 3 单位)。

土壤中 铁锰结核,也可提高水稻土的磁化率。从表 1 可见,由于磁性铁结核的存在,使土壤砂粒组的磁化率急剧升高,尤其是在粘重的土壤中,此组的 x 高达 120—450 单位。关于旱地土壤磁性结核已有不少报道^[6],而水稻土中的磁性结核的组成和形成机制,是尚待研究的问题。

土壤粘粒组的 x 值有所升高,约为粉粒组的 1.5—5.5 倍,这是否同某些旱地土壤那样,是由于土壤中次生的磁铁矿集中在粘粒组中^[12]之故,尚待查。化学分析和 X-射线分析表明,爽水型等水稻土中发现有磁铁矿¹⁾。

(二) 漂洗型水稻土

剖面构型为 A—P—WL—Bg (滞水漂洗型) 或 A—P—WL—SL—Bg—C (侧渗漂洗型)^[6,7] 它们有一个或几个漂洗层 (WL 和 SL), 其下垫为渗水性极弱的粘质土层。

太湖平原的滞水漂洗型水稻土,可以白土为代表。有关其发生和特性方面的研究已较多^[4,9]。白土的诊断土层是白土层(即漂洗层 WL)。由于上轻下粘的质地层次,在粘土层之上的粗粉质层中造成滞水还原条件以及极其缓慢的侧向漂洗或垂直漂洗,因而粘粒和游离铁锰氧化物发生机械淋失和化学淋失,使此土层呈浅白色,粗粉性更强(0.05—0.01 毫米粒组达 60—80%)。在长兴、吴兴一带成片分布的白土,其 1 米剖面中可出现 2—3 个白土层(漂洗层),与粘质淀积层相间分布。愈近太湖边,该层的厚度愈大,白色愈鲜明,粗粉性愈强^[4]。

由图 2-b 可见,白土剖面中的磁化率分布,有几个高低起伏,而呈波浪形,这是有几个漂洗层与粘质淀积层相间分布的反映。在多数白土剖面中,离铁作用及粘粒淋失使漂洗层中的 x 值降低,其上、下土层(尤其是下垫的淀积层)的 x 值则较高,故漂洗层处在磁化率剖面的凹段。例如,长兴埭田白土(图 2 中曲线 5)的两个漂洗层(8—15 厘米及 40—55 厘米深度)的 x 值只 7—8 单位,而其上、下土层为 10—12 单位,即比漂洗层大一半左右。同样,吴县乌白土(图 2 中曲线 4)的磁化率剖面中也有两个凹段,均为其漂洗层。吴兴织里一带的白土中,可见到三个漂洗层,因而有三个磁化率凹段。

在另一些白土剖面中,如长兴虹溪白土、武进白土、吴县 19 号白土及无锡 3 号白土,其磁化率剖面“反常”,即漂洗层的 x 值反而比相邻的粘质淀积层为高。在这些白土的白土层中,发现极少量的磁性铁结核,其 x 值可达几百个单位。这从表 1 中白土 WL 层的砂粒组 x 值的异常升高中也可得到证明,因结核全部集中在这一粒组中。该 WL 层除去结核后的土体部分, x 值仍然低(3—5 单位)。

在太湖流域的各种水稻土中,白土的风化度最强,尤其是其白土层(漂洗层),因而土壤中原有的含铁矿物(包括强磁性矿物)的风化和破坏较为彻底,而形成次生强磁性矿物的作用又不及爽水型水稻土,故其磁化率数值往往比相同母质和相同质地的爽水型水稻土为低。

1) 徐琪等未发表的资料。

在太湖平原边沿的丘陵上,有各种侧渗漂洗型水稻土,如汀浆白泥土、汀浆黄泥土等^[4]。在它们的剖面中,也有表现程度不同的漂洗层。这些土壤中漂洗层的磁化率均常较其下垫土层为低。如马肝土江苏省江宁,起源于下蜀黄土母质的黄棕壤漂洗层的 α 值约为12单位,而其下垫的粘盘层的 α 值约为35单位,呈一舌状高峰(图2中曲线6)。在旱地黄棕壤中,粘盘层的 α 值也较高,但不如水稻土(马肝土)中这样形成陡峰^[3]。

(三) 囊水型水稻土

此类水稻土主要发育于湖积母质上,以青泥土和乌栅土为代表。这类水稻土的剖面中往往有一个至几个黑色腐泥层,剖面构型为A—P—Bg—G^[6]。

这类水稻土分布于太湖平原的低洼部位,质地粘重(粘粒含量22—35%),有机质含量较高(3—4%以上)。由于土壤内排水差、地下水位高,其游离氧化铁多处处在还原状况,故磁化率很低,且上、下土层之 α 值差异甚小,整个磁化率剖面呈“低而平缓”的形状(图2-c)。例如,加兴青紫泥(青泥土亚类)上层的 α 值为8—7单位,下部的潜育层为6—5单位(图2中曲线9)。无锡灰炉底(乌栅土亚类)全层的磁化率只有5—4单位(图2中曲线8)。吴江沙底青泥土的磁化率更低,上段约为4单位,底部的潜育化沙质土层的 α 值只约2单位(图2中曲线7)。

囊水型水稻土经过排水改良以后,其全层(尤其是上段)的磁化率将升高,向爽水型水稻土的方向转化。

三、小 结

本文是土壤磁测用于水稻土诊断、分类的初次尝试。就太湖流域的水稻土来说,其磁化率剖面可说明如下两点:

1. 同母质来源相同的旱地土壤比较,水稻土的磁化率 α 值(10^{-6} emu/g)显著降低。 α 值的变化可以反映成土过程的方向和发展程度。如鳝血化(爽水型)、白土化(漂洗型)和潜育化(囊水型)。

2. 各类水稻土的磁化率剖面,具有各自的“形态”特点。爽水型为“上凸下平”,漂洗型为“波状起伏”,囊水型为“低而平缓”。当然,这种典型“形态”特点可因质地层次性或次要成土过程的存在而有某些变化。

鉴于土壤磁化率的测定方法简便,灵敏度高,适宜于室内或野外进行大量和快速测定,因而看来它可作为土壤调查、诊断和分类工作中的一项新的测试手段。

参 考 文 献

- [1] 于天仁、谢建昌等,1959:太湖流域低产“白土”的成因及其改良。土壤学报,7卷1—2期,42—58页。
- [2] 俞劲炎,1979:土壤磁学——土壤学研究的新领域。土壤学进展,4期,1—12页。
- [3] 俞劲炎、詹硕仁,1981:我国主要土类土壤磁化率的初步研究。土壤通报,1期,35—38页。
- [4] 俞劲炎、童永忠、厉仁安,1981:浙江汀板土壤类型及其物理指标。浙江农业大学学报,印刷中。
- [5] 徐琪,1962:长江中下游白土的地理分布规律及其形成过程的特点。土壤学报,10卷1期,44—54页。
- [6] 徐琪、陆彦椿、朱洪官,1980:太湖地区水稻土的发生分类。土壤学报,17卷2期,120—132页。
- [7] 徐琪、陆彦椿、刘元昌、朱洪官,1980:中国太湖地区水稻土。上海科学技术出版社。

- [8] Mullins, C. E., 1977: Magnetic susceptibility of soils and its significance in soil science—a review. *J. Soil Sci.*, 28: 223—246.
- [9] Prasad, B., Ghildyal, B. P., 1975: Magnetic susceptibility of lateritic soils and clays. *Soil Sci.*, 120: 219—229.
- [10] Schwertmann, U., Fischer, W. R., Taylor R. M., 1974: New aspects of iron oxide formation in soils. *Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci.*, 6(I): 237—247.
- [11] Vadyunina, A. F., Babanin, V. F., 1974: Magnetic Susceptibility of some soils in USSR. *Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci.*, 1: 357—362.
- [12] Вадюнина, А. Ф., Бабанин, В. Ф., Ковтун, В. Я., 1974: Магнитная восприимчивость фракций механических элементов некоторых почв. *Почвоведение*, №1, 116—120.

THE MAGNETIC SUSCEPTIBILITY PROFILE OF PADDY SOILS IN TAI HU BASIN

Yu Jin-yan, Zhao Wei-sheng and Zhan Shuo-ren

(*Zhejiang Agricultural University*)

Summary

The present paper deals with the application of magnetic susceptibility of soil for classification of paddy soils of Tai Hu basin.

The results obtained has showed that (1) the magnetic susceptibility χ value of paddy soils is much lower than that of their corresponding upland soils derived from same parent material; (2) the χ value of the old paddy soils is lower than that of the young paddy soils derived from same parent materials; and (3) the higher the magnetic susceptibility of the original upland soil, the more remarkable the decrease in the χ value of the soil after putting under paddy cultivation.

Evident differences of the magnetic susceptibility have been found in profiles of various paddy soils, because different soil moisture regimes and patterns of soil profile may affect the processes of oxidation and reduction of soils, crystallization and decrystallization, leaching and accumulation of ferromanganese minerals, as well as the movement of clay particles which are the principal carriers of secondary ferromagnetic minerals. Therefore, each type of paddy soils in Tai Hu basin has its own unique distribution of magnetic susceptibility in the profile. It may be used as a diagnostic criterion for identification and classification of paddy soils.