

金 熠,徐玲娥,盛 晟,等.施有机肥对稻田剖面土壤胶体颗粒形态及胶体磷含量的影响[J].江苏农业科学,2019,47(23):269-276.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.23.065

# 施有机肥对稻田剖面土壤胶体颗粒形态及胶体磷含量的影响

金 熠<sup>1</sup>,徐玲娥<sup>1</sup>,盛 晟<sup>1</sup>,陈奋飞<sup>1</sup>,高晗旻<sup>1</sup>,梁新强<sup>2</sup>

(1.中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司,浙江杭州 311122;2.浙江大学环境与资源学院,浙江杭州 310058)

**摘要:**选取浙江省嘉兴市农业科学研究院连续 8 年施用猪粪有机肥的稻田剖面(0~60 cm)土壤,研究施用有机肥对稻田土壤胶体含量、赋存形态及胶体磷分布的影响。将剖面土壤分为 0~5、5~20、20~40、40~60 cm 4 层,通过振荡→离心→微滤→超滤等步骤获取土壤胶体颗粒(1 nm~1 μm),并利用傅里叶红外(FTIR)、X 射线衍射(XRD)、扫描电镜能谱(SEM-EDS)、透射电子显微镜(TEM)等技术对分离的土壤胶体颗粒进行表征分析,同时测定各层土壤胶体磷的含量。结果表明,施用有机肥显著增加了深层土壤胶体颗粒的含量,在 40~60 cm 土层,高(M<sub>3</sub>)、中(M<sub>2</sub>)、低(M<sub>1</sub>)3 种处理的土壤胶体含量分别是不施肥处理(CK)的 1.51、1.38、1.33 倍。施有机肥增加了 0~20 cm 土层土壤胶体颗粒多水高岭石和白云母晶体矿物的含量。在各层土壤样品中,溶解磷和胶体磷的含量随有机肥施用量的增加而增加;在 20 cm 土层深度下,胶体磷的含量高于溶解磷含量。

**关键词:**稻田土;有机肥;胶体;磷;颗粒形态

**中图分类号:** S152;S511.06;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)23-0269-07

将畜禽粪便处理后作为有机肥输入稻田土壤,一方面可以减少农村畜禽养殖废弃物的排放,另一方面可以增加土壤肥力,保证作物养分供给。与化肥相比,有机肥的养分组成更加复杂,向土壤中输入氮、磷等养分元素的同时带入了大量有机质,且这些物质多数以胶体颗粒形式存在<sup>[1]</sup>。与氮素可能以湿沉降的方式进入土壤不同,磷进入土壤系统几乎全部依靠外源肥料的输入。随着有机肥施用时间的增加,磷素在土壤中大量累积赋存,降水量大时可能发生地表径流、下渗和侧渗等多种途径的流失。粒径介于 1 nm~1 μm 之间的胶体颗粒具有液-固两相的共性,是作为促进污染物向地下环境迁移的重要载体<sup>[2]</sup>。因此,阐明田间施用有机肥对土壤胶体颗粒赋存形态及胶体磷分布的影响,对稻田合理设计有机肥施用量及控制磷污染物流失具有实际意义。本试验以连续 8 年施用有机肥的稻田土壤为研究对象,以田间小区试验为基础,在水稻收获后采集剖面土壤并分离得到土壤胶体颗粒,考察不同有机肥用量对土壤剖面胶体颗粒及吸附磷含量的影响,利用傅里叶红外(FTIR)、X 射线衍射(XRD)、扫描电镜能谱(SEM-EDS)和透射电子显微镜(TEM)技术对土壤胶体颗粒的物理化学形态进行表征,以期对杭嘉湖平原的稻田有机肥施肥管理和胶体颗粒促进的磷素迁移转化规律研究提供理论依据。

收稿日期:2018-09-28

基金项目:浙江省杰出青年科学基金(编号:LR16B070001);国家自然科学基金优秀青年科学基金(编号:41522108);国家重点研发计划(编号:2017YFD0800103);浙江省博士后择优资助项目(编号:zj2018016)。

作者简介:金 熠(1989—),男,浙江杭州人,博士,主要从事农业面源污染控制与治理研究。E-mail:jinyi1989@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

长期施用猪粪有机肥的试验点位于浙江省嘉兴市农业科学的双桥农场(120°40'E,30°50'N)。嘉兴市地处典型的亚热带季风气候区,年平均气温为 15.7~16.5℃,年平均降水量为 1 300 mm 左右,雨季在每年的 3—9 月。试验点土壤系河湖海相沉积物发育,是 1 种典型的潜育性水稻土。从国际制土壤粒级分类标准判断,该地土壤属于黏土类型。当地种植模式为水稻—油菜轮作,水稻季是从 6 月到 11 月,油菜季是从 11 月至翌年 5 月。试验点土地自 2005 年起长期接受猪粪有机肥作为基肥用于水稻生产,水稻季仅追施无机氮肥,不补施磷肥。油菜季利用土壤自身肥力进行生产,不额外施肥。当地耕层(0~15 cm)土壤 pH 值为 7.2,阳离子交换量(CEC)为 8.1 cmol/kg,土壤全碳含量为 25.2 g/kg,全氮含量为 3.0 g/kg,全磷含量为 0.9 g/kg,土壤容重为 1.52 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

试验采用腐熟的猪粪作为有机肥。根据当地农事习惯,共设计了 4 个有机肥施水平,分别为 CK(0 kg/hm<sup>2</sup>)、M<sub>1</sub>(1 930 kg/hm<sup>2</sup>)、M<sub>2</sub>(2 895 kg/hm<sup>2</sup>)、M<sub>3</sub>(3 860 kg/hm<sup>2</sup>),折合成磷素施用量分别为 0、26、39、52 kg/hm<sup>2</sup>。每个处理设 3 个平行,共 12 个小区,随机区组设计,小区面积为 20 m<sup>2</sup>(5 m×4 m),南北长,东西宽,呈 2 列排列。每年水稻季开始前,将猪粪作为基肥一次性输入土壤表层并充分耘田。

### 1.3 样品采集及分析方法

**1.3.1 土壤样品采集与胶体颗粒分离** 本研究于 2013 年 11 月初水稻季结束、田面水完全落干后,利用长 60 cm、直径 5 cm 的土钻采集试验田 0~60 cm 土层土壤样品,采样时在每个小区内选取 3 处地点钻取土柱,并将土柱分为 0~5、5~

20、20~40、40~60 cm 4 个层次后装入塑料封口袋内,保存在 4℃ 移动冰箱中运回实验室。将所有土壤样品分为 2 个部分,一部分用烘箱烘干测定土壤含水率等基础指标,另一部分自然风干 10 d 后用木棒碾磨,过 2 mm 筛后备用。

称取 10 g 新鲜土壤样品置于 250 mL 玻璃三角瓶中,加入 80 mL 去离子水;在培养箱中于 25℃、120 r/min 振荡 16 h。将悬浊液在 4 680 r/min 条件下离心 10 min;将上清液在真空抽滤瓶装置上通过孔径为 1 μm 的微孔滤膜,弃去前 5 mL 滤液;余下的滤液在 42 000 r/min 条件下离心 2 h;将上清液小心吸出,待离心管中的沉淀物冷冻干燥后小心取出土壤胶体颗粒<sup>[3]</sup>,低温保存。

**1.3.2 土壤溶解磷和胶体磷的测定** 测定土壤溶解磷和胶体磷的准备步骤同“1.3.1”节。吸取未经过超高速离心和经过超高速离心的水样各 5 mL 置于 25 mL 比色管中,加入 1 mL 含 150 mmol/L  $K_2O_8S_2$  和 180 mmol/L  $H_2SO_4$  的溶液,于 95℃ 煮沸 60 min。消煮后利用钼蓝比色法测定样品中的总磷浓度,溶解磷浓度 = 经过超高速离心样品中的总磷浓度;胶体磷浓度 = 未经过超高速离心样品的总磷浓度 - 经过超高速离心样品中的总磷浓度。

**1.3.3 土壤理化分析** 土壤 pH 值(土水比为 1 g: 5 mL)用玻璃探头 pH 计(PHS-3C,上海雷磁仪器厂)测定;土壤 CEC 采用乙酸铵法测定<sup>[4]</sup>。土壤养分测试内容包含总碳、总氮、总磷、土壤有机碳、有机磷和有效磷含量等。土壤总碳和总氮含量采用 Vario MAX CNS 元素分析仪(Elementar,德国)测定;土壤总磷含量采用  $H_2SO_4-HClO_4$  高温消解,钼锑抗比色法测定;土壤有机碳含量采用低温外热重铬酸钾氧化-比色法测定;土壤有机磷含量采用灼烧法测定;土壤有效磷含量采用碳酸氢钠浸提法测定。

土壤胶体颗粒样品(用“1.3.1”节中的方法获取)经过离子溅射喷金处理,使样品表面导电后置于热场发射扫描电子显微镜(SEM, SIRION-100,荷兰)下,在放大倍数 5 000~10 000 之间观察土壤胶体颗粒表面形貌。利用 X 射线能量色散谱仪(EDS, Genesis 4000, 美国)分析土壤胶体颗粒上金属元素(Fe、Al、Ca、Mg、Mn 等)的分布及含量百分比。利用透射电镜(TEM, Tecnai G2, 荷兰)在 5 000~10 000 倍的放大倍数下观察土壤胶体颗粒的内部结构特征。

为测定土壤胶体颗粒表面官能团特征,将 1 mg 土壤胶体颗粒与溴化钾研磨混合(质量比 1:200)压片,在红外光谱仪中(IR Prestige-21, 日本)进行全波段扫描,以  $4\text{ cm}^{-1}$  为步长扫描样品,扫描范围为 400~4 000  $\text{cm}^{-1}$ 。

为测定土壤胶体颗粒晶体矿物类型,采用 XPert PRO 型 X 射线衍射仪(PANalytical, 荷兰)对土壤胶体颗粒进行 X 射线衍射表征,入射角在 5°~70°之间,扫描步长为 0.017°,扫描速度为 10 s。采用 MDI Jade 5.0 软件处理 XRD(X 射线衍射)试验数据,并用内置的物相比对卡确定衍射峰处的晶体物相类型。

#### 1.4 图像和数据处理

利用 Origin 7.5 和 SPSS 18.0 软件进行绘图和数据分析,数据为 3 次重复的平均值和 1 个标准偏差。利用单因素方差分析(one-way ANOVA)中的最小显著差异法(LSD)进行不同处理间 95% 的显著性差异分析,显著性水平设定为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 施有机肥对剖面土壤粒径和磷素含量的影响

从表 1 可以看出,施用有机肥对 0~20 cm 土层土壤的 pH 值、CEC、总碳含量和总氮含量影响较大,随着有机肥用量增加,表层 0~20 cm 土壤的 CEC、总碳含量和总氮含量增加,且各处理与对照相比均存在明显差异。表 2 中,黏粒比例为 38.5%~43.1%,粉粒比例为 24.9%~33.5%,同种施肥处理的土壤剖面黏粒、粉粒百分比变化不大,长期增施猪粪对土壤粒径分布的影响不大,各处理间无显著差异。在 0~5、5~20、20~40 cm 土层中,随着有机肥用量的增加,土壤总磷含量呈逐渐增加的趋势。在 0~5 cm 土层中,土壤有机磷含量从  $M_0$  处理下的 0.22 g/kg 增至  $M_3$  处理下的 0.61 g/kg;施有机肥降低了有机磷占总磷的比例,从  $M_0$  处理下的 18.33% 降至  $M_3$  处理下的 16.09%,但  $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$  这 3 种处理间有机磷占总磷的比例无显著差异。在 5~20 cm 土层,除了  $M_0$ 、 $M_1$  与  $M_3$  处理间差异显著,4 种施肥处理的有机磷含量无显著差异,但随着有机肥用量的增加,有机磷占总磷的比例逐渐降低,从  $M_0$  处理下的 19.81% 降至  $M_3$  处理下的 9.97%, $M_0$  处理与其他 3 种有机肥处理间存在显著差异( $P<0.05$ )。4 种施肥处理对 0~5、5~20 cm 土层的土壤有效磷影响较明显,变化趋势和土壤总磷相似。增施猪粪对 20~40、40~60 cm 土层土壤的有效磷含量影响不显著,各处理间没有显著差异。

### 2.2 土壤胶体颗粒的形态表征

选取  $M_3$  处理的 0~5 cm 土层土壤胶体颗粒用于扫描电镜和透射电镜图谱分析,用于能量色散谱仪分析的土壤胶体颗粒分别来自  $M_3$  处理的 0~5、5~20、20~40、40~60 cm 土层。在 100~200 nm 尺度上,通过透射电镜可以观察到土壤胶体颗粒呈现鳞片状聚簇成团的形貌,很少有分散的球状颗粒存在(图 1-a、图 1-b),这符合水云母多以鳞片状结构存在的特征。在 1~2 μm 的尺度上,通过扫描电镜可以观察到土壤胶体颗粒呈现片状堆叠的二聚体、三聚体形貌,这与透射电镜的结果一致(图 1-c、图 1-d)。通过能谱分析可知,土壤胶体颗粒上存在的主要非金属元素有 O、Si、C。这可能是因为土壤胶体颗粒由硅酸盐矿物质以及有机物组成。土壤胶体颗粒中主要存在的金属元素有 Al、Fe、Mg、K、Ca 等,这与白云母、多水高岭石等矿物晶体所含元素相吻合,与“2.5”节 XRD 分析结果一致。此外,在  $M_3$  处理的 20~40 cm 土层,土壤胶体颗粒上还检测到较多的磷元素(图 1-g)。

### 2.3 施有机肥对土壤胶体颗粒含量的影响

4 种施肥处理下,土壤 0~60 cm 剖面的胶体颗粒含量分布见图 2。可以看出,随土壤深度的增加,土壤水分散性胶体颗粒的含量总体上呈现增加的趋势;但增施猪粪有机肥对土壤水分散性胶体颗粒含量的影响不一致。在 0~5 cm 土层,4 个水平有机肥处理的土壤胶体颗粒含量的范围是 0.93~3.37 g/kg,4 种处理之间没有显著差异。5~20 cm 土层的土壤胶体颗粒的含量比 0~5 cm 土层略有增加,但 4 种处理之间仍没有显著差异。在 20~40 cm 土层,胶体颗粒的含量比前 2 层显著增加; $M_2$  和  $M_3$  这 2 种处理的胶体含量间无显著差异,但比  $M_1$  和  $M_0$  处理的胶体颗粒含量显著提高。在 40~60 cm 土层,胶体颗粒的含量随着有机肥施用量的增加而增

表 1 不同施肥量对 0 ~ 60 cm 土壤剖面基本理化性质的影响

深度 (cm)	处理	pH 值	CEC (cmol/kg)	总碳含量 (g/kg)	总氮含量 (g/kg)
0 ~ 5	M <sub>0</sub>	7.26 ± 0.06a	7.92 ± 0.04a	29.03 ± 3.47a	3.87 ± 0.23a
	M <sub>1</sub>	7.46 ± 0.03b	8.77 ± 0.84a	36.32 ± 2.58b	4.70 ± 0.23b
	M <sub>2</sub>	7.76 ± 0.08c	10.45 ± 0.21b	42.23 ± 3.84c	5.39 ± 0.38c
	M <sub>3</sub>	7.74 ± 0.03c	12.77 ± 0.63c	50.58 ± 2.18d	6.03 ± 0.33c
5 ~ 20	M <sub>0</sub>	7.28 ± 0.04a	7.61 ± 0.91a	21.47 ± 1.03a	3.26 ± 0.06a
	M <sub>1</sub>	7.54 ± 0.04b	8.33 ± 1.04a	24.16 ± 0.88b	3.70 ± 0.04b
	M <sub>2</sub>	7.44 ± 0.10b	10.07 ± 0.69b	29.88 ± 2.79c	4.22 ± 0.22c
	M <sub>3</sub>	7.52 ± 0.07b	13.18 ± 1.06c	33.01 ± 3.66c	4.28 ± 0.44c
20 ~ 40	M <sub>0</sub>	7.58 ± 0.12a	7.77 ± 0.65a	15.27 ± 0.58a	2.58 ± 0.30a
	M <sub>1</sub>	7.60 ± 0.04a	8.47 ± 0.72a	16.02 ± 0.48a	2.88 ± 0.08a
	M <sub>2</sub>	7.67 ± 0.07a	9.26 ± 0.84a	17.06 ± 0.39a	2.91 ± 0.13a
	M <sub>3</sub>	7.60 ± 0.04a	10.39 ± 1.33b	19.21 ± 1.47b	3.19 ± 0.14a
40 ~ 60	M <sub>0</sub>	7.60 ± 0.07a	8.28 ± 0.65a	13.14 ± 0.08a	2.39 ± 0.08a
	M <sub>1</sub>	7.65 ± 0.06a	8.18 ± 0.39a	13.68 ± 0.12a	2.75 ± 0.12a
	M <sub>2</sub>	7.73 ± 0.05a	9.56 ± 0.74a	14.07 ± 0.38a	2.59 ± 0.09a
	M <sub>3</sub>	7.71 ± 0.04a	9.86 ± 1.33a	13.87 ± 0.03a	2.64 ± 0.12a

注:同列数据后标有不同小写字母的表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 2 同。

表 2 不同施肥量对 0 ~ 60 cm 土壤剖面粒径和磷含量的影响

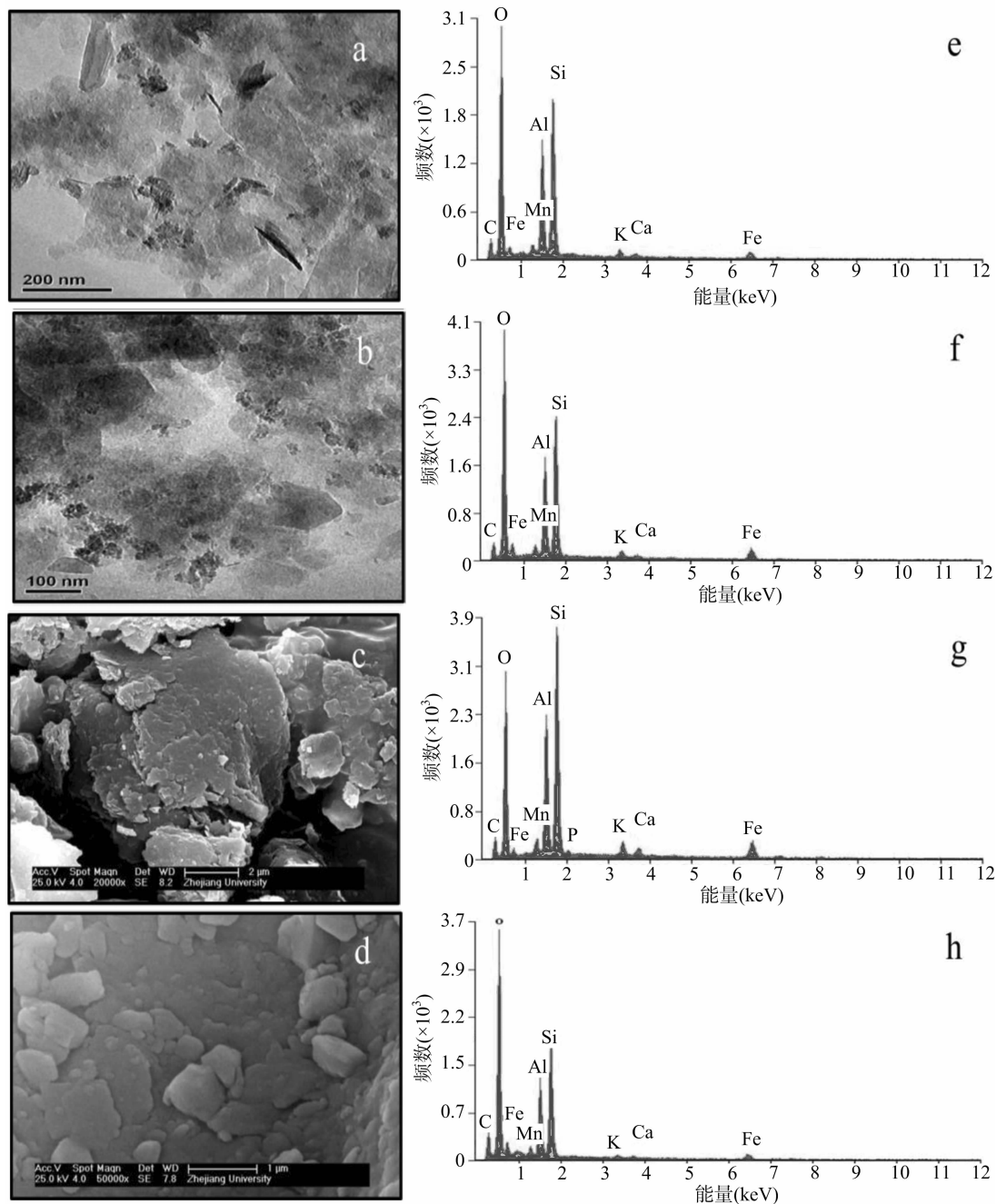
深度 (cm)	处理	黏粒含量 (%)	粉粒含量 (%)	总磷含量 (g/kg)	有机磷含量 (g/kg)	有效磷含量 (g/kg)
0 ~ 5	M <sub>0</sub>	41.6 ± 0.8a	30.5 ± 1.2a	1.20 ± 0.03a	0.22 ± 0.08a	0.12 ± 0.01a
	M <sub>1</sub>	38.8 ± 0.7a	29.5 ± 1.0a	2.33 ± 0.18b	0.39 ± 0.05b	0.19 ± 0.02b
	M <sub>2</sub>	40.2 ± 1.8a	33.5 ± 1.7a	3.77 ± 0.43c	0.58 ± 0.06c	0.28 ± 0.03c
	M <sub>3</sub>	41.5 ± 0.3a	32.4 ± 2.3a	3.79 ± 0.23c	0.61 ± 0.02c	0.44 ± 0.02d
5 ~ 20	M <sub>0</sub>	39.6 ± 2.3a	28.6 ± 2.5a	1.06 ± 0.07a	0.21 ± 0.04a	0.12 ± 0.01a
	M <sub>1</sub>	40.2 ± 1.9a	26.4 ± 3.7a	1.60 ± 0.08b	0.26 ± 0.15a	0.17 ± 0.01b
	M <sub>2</sub>	41.6 ± 0.4a	26.8 ± 0.8a	2.71 ± 0.44c	0.28 ± 0.03ab	0.25 ± 0.07b
	M <sub>3</sub>	43.1 ± 0.6a	25.7 ± 0.7a	3.31 ± 0.46c	0.33 ± 0.03b	0.30 ± 0.09b
20 ~ 40	M <sub>0</sub>	38.5 ± 1.8a	27.6 ± 1.3a	0.60 ± 0.07a	0.13 ± 0.04a	0.08 ± 0.01a
	M <sub>1</sub>	39.4 ± 0.8a	28.9 ± 1.3a	0.72 ± 0.10a	0.15 ± 0.06a	0.10 ± 0.03a
	M <sub>2</sub>	42.8 ± 1.3a	26.4 ± 0.6a	0.77 ± 0.04a	0.23 ± 0.10a	0.12 ± 0.03a
	M <sub>3</sub>	41.5 ± 0.5a	25.8 ± 1.1a	1.56 ± 0.01b	0.19 ± 0.07a	0.12 ± 0.04a
40 ~ 60	M <sub>0</sub>	40.8 ± 1.9a	26.7 ± 1.5a	0.43 ± 0.01a	0.14 ± 0.06a	0.08 ± 0.02a
	M <sub>1</sub>	39.7 ± 0.8a	27.8 ± 2.0a	0.42 ± 0.02a	0.12 ± 0.06a	0.08 ± 0.03a
	M <sub>2</sub>	39.9 ± 1.5a	28.0 ± 2.8a	0.43 ± 0.02a	0.20 ± 0.11a	0.14 ± 0.07a
	M <sub>3</sub>	40.4 ± 2.8a	24.9 ± 1.7a	0.44 ± 0.06a	0.23 ± 0.07a	0.12 ± 0.01a

加,最高值为 M<sub>3</sub> 处理下的 10.7 g/kg。农田土壤系统中的胶体颗粒可能来自黏土矿物、金属氧化物和腐殖酸等天然有机质<sup>[2,5-6]</sup>。长期施肥会影响土壤理化性质,如 pH 值、Eh 值(氧化还原电位)、有机质含量等,这些都与土壤胶体颗粒的释放有密切的关系。有学者研究发现,从大孔隙中释放的胶体与土壤黏粒含量呈显著正相关关系<sup>[7]</sup>,土壤 pH 值的变化也会显著影响胶体颗粒从土壤基质中的释放量<sup>[3]</sup>。

2.4 施有机肥对土壤胶体颗粒官能团的影响

不同施肥处理对不同深度土壤胶体颗粒的 FTIR 吸收峰影响不大,仅在个别样品中吸收峰的强度有差异。检测到土壤胶体颗粒的吸收峰主要出现在 3 700、3 628、3 391、2 938、2 874、1 645、1 385、1 107、1 039、912、868、748、692、532、467 cm<sup>-1</sup> 等波数处(图 3),各波数对应的主要官能团见表 3。从峰型上看,400 ~ 1 300 cm<sup>-1</sup> 的低频区内吸收峰较多,而

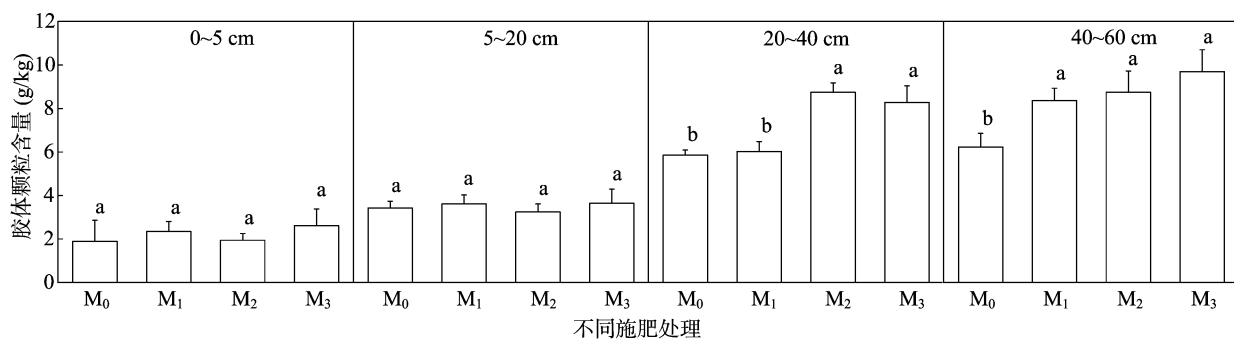
1 300 ~ 4 000 cm<sup>-1</sup> 的中高频区内吸收峰较少。所有 FTIR 图谱中,最明显的是出现在 1 039 cm<sup>-1</sup> 处的强吸收峰,该吸收峰表明所有土壤胶体颗粒均可能含大量硅酸盐。3 700、3 628 cm<sup>-1</sup> 2 处是明显的 1 : 1 型高岭石特征吸收峰。M<sub>1</sub> (40 ~ 60 cm)、M<sub>2</sub> (20 ~ 40 cm) 和 M<sub>3</sub> (40 ~ 60 cm) 等样品在 3 391 cm<sup>-1</sup> 处存在明显较宽的吸收峰,表明这些土壤胶体颗粒矿物上可能含有较多的结晶水。在 4 种处理的 40 ~ 60 cm 土层均发现了 2 938、2 874 cm<sup>-1</sup> 2 个弱吸收峰,表明样品具有明显的脂肪族 CH<sub>2</sub>、CH<sub>3</sub> 伸缩振动。所有样品在 1 645 cm<sup>-1</sup> 处具有明显的吸收峰,这表明土壤胶体颗粒可能由含有芳香族 C = C 基团的碳骨架构成。在 40 ~ 60 cm 土层,4 种处理的土壤胶体颗粒均出现了 1 385 cm<sup>-1</sup> 的吸收峰;而在 0 ~ 5、5 ~ 20 cm 土层,4 种处理的土壤胶体颗粒均没有出现该吸收峰,这表明耕作层含羧酸盐 COO—键的矿物可能较少,施有机肥



a、b—200、100 nm 尺度下土壤胶体颗粒的 TEM 图；c、d—2、1 μm 尺度下土壤胶体颗粒 SEM 图；

e~h—M<sub>3</sub> 处理下 0~5、5~20、20~40、40~60 cm 层土壤胶体颗粒 EDS 图

图1 土壤胶体颗粒的透射电镜、扫描电镜及能谱分析(SEM-EDS)



同一土层的不同处理间标有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图2 增施猪粪有机肥对 0~60 cm 土壤剖面胶体颗粒含量的影响

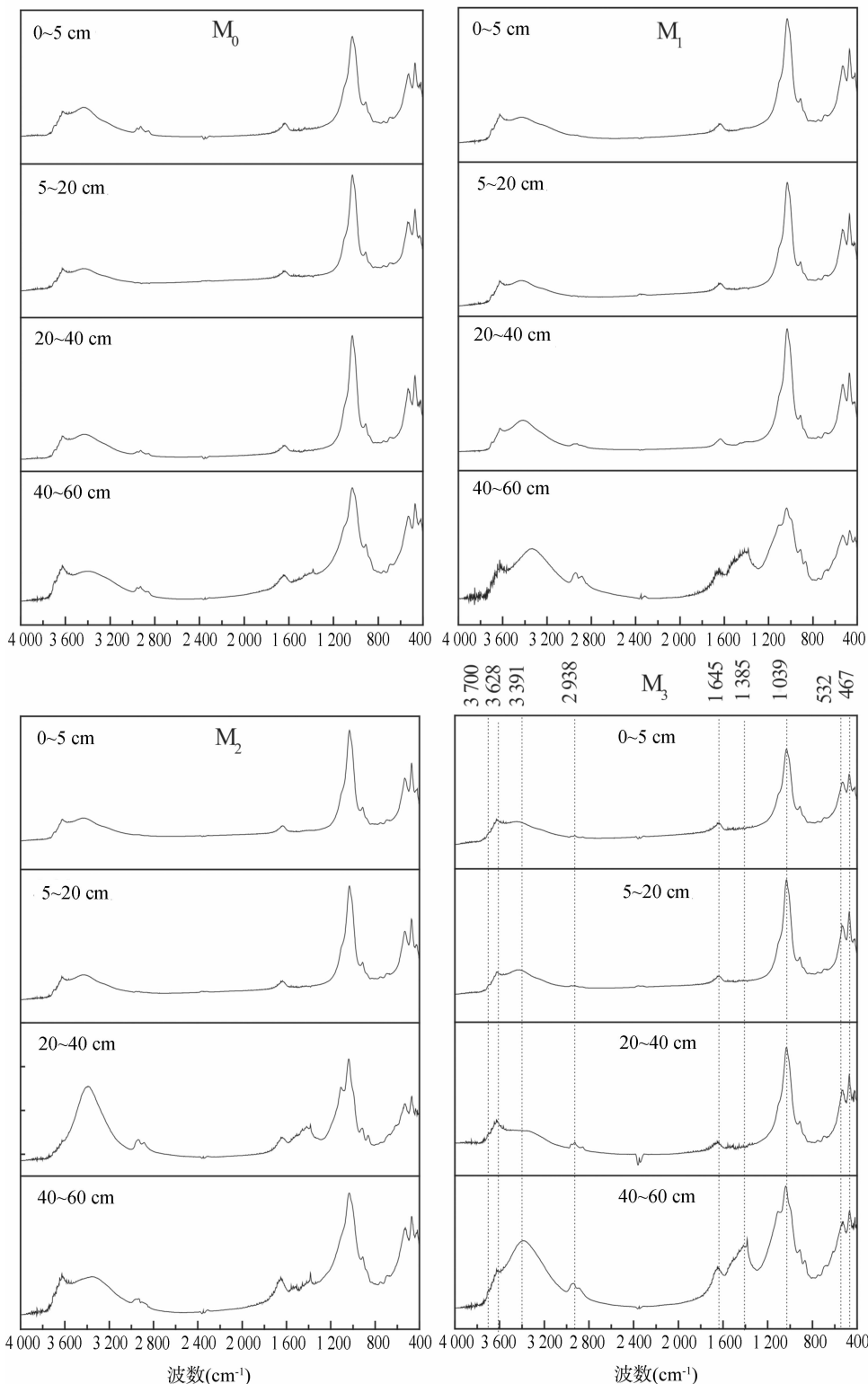


图3 0~60 cm 稻田剖面土壤胶体颗粒傅里叶红外光谱结果

没有增加耕层含这种官能团化合物的含量。

### 2.5 施有机肥对土壤胶体晶体结构的影响

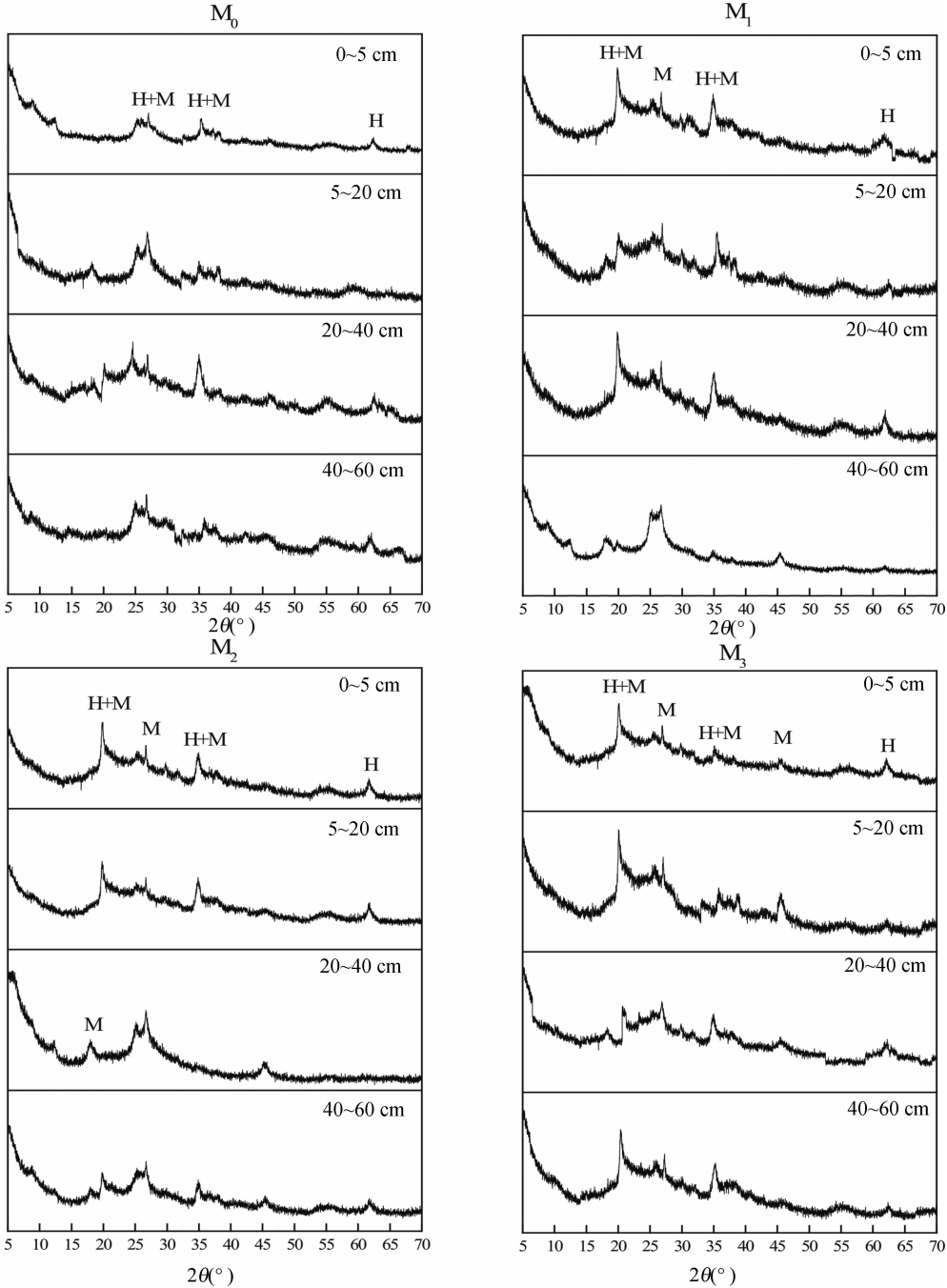
根据 XRD 图谱衍射峰的出峰位置和强度,推测嘉兴土壤胶体颗粒的主要晶体结构组成可能有衍射峰出现在  $20.5^\circ$ 、 $35.2^\circ$ 、 $61.0^\circ$  的多水高岭石-7A ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) 和衍射峰出现在  $18.5^\circ$ 、 $26.5^\circ$ 、 $35.0^\circ$ 、 $45.3^\circ$  的白云母-3T ( $\text{K}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Mg},$

$\text{Fe})_2(\text{Si}_{3.1}\text{Al}_{0.9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (图 4)。对比各处理间的 XRD 图谱可以发现,增施猪粪有机肥对 0~5、5~20 cm 土层土壤胶体颗粒晶体结构的影响较明显。相比于  $M_0$  处理,  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  处理的 0~20 cm 土层土壤胶体颗粒出现了  $20.5^\circ$ 、 $26.5^\circ$  和  $35.2^\circ$  这 3 处较强的衍射峰;但  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  3 种处理之间衍射峰强度的差异不明显。在 20 cm 以下土层,4 种处理的土壤胶体颗粒晶

表 3 傅里叶红外光谱测定土壤胶体颗粒官能团吸收峰对照

波数( cm <sup>-1</sup> )	官能团分析
3 700	内表面 OH 官能团
3 628	内部 OH 官能团
2 938 ,2 874	脂肪族 C—H 伸缩振动
1 645	芳香族 C=C 伸缩振动
1 385	羧酸盐 COO—的反对称伸缩振动
1 107	多糖 C—O 伸缩振动
1 039	硅酸盐矿物与硫酸盐
912 ,868 ,748 ,692 ,532 ,467	无机矿物晶体,如 AlAlOH、AlMgOH 等

体结构差别不大。这表明相比于不施肥处理,长期增施猪粪有机肥可能增加了 0~20 cm 土层中土壤胶体颗粒上多水高岭石和白云母晶体矿物质。土壤胶体颗粒中晶体矿物的种类受土壤基质发育来源、矿化过程及矿化时间的影响很大,且不同类型的土壤中天然胶体/纳米颗粒的晶体结构差别很大<sup>[8]</sup>。王旭刚等利用 FTIR 和 XRD 技术表征了玄武岩赤红壤中土壤胶体颗粒的晶体结构,结果发现,土壤剖面中胶体颗粒的 FTIR 图谱差异不大,但 XRD 的结果显示,深层土壤的矿物质结晶程度比表层土壤好<sup>[9]</sup>,这可能是由于表层土壤受到人为因素的影响较大,熟化程度较高。本研究中心剖面土壤胶体的 FTIR 图谱(图



H—多水高岭石-7A, PDF 卡号 29-1487; M—白云母-3T, PDF卡号07-0042

图4 0~60 cm 稻田剖面土壤胶体颗粒X射线衍射 ( XRD ) 图谱

3)与王旭刚等的研究结果<sup>[9]</sup>相似;但 XRD 图谱(图 4)有一定的差异,表现出增施有机肥反而增加了表层土壤中晶体矿物(多水高岭石和白云母)的衍射峰强度,这可能是由于随着有机肥用量的增加,沉淀—离心分离得到的“土壤”胶体颗粒中有一部分属于猪粪直接释放的水分散性胶体颗粒<sup>[10]</sup>。

## 2.6 施有机肥对剖面土壤不同磷形态含量的影响

增施猪粪有机肥对稻田土壤剖面水分散性胶体磷和溶解磷含量的影响如图 5 所示。大量报道指出,胶体促动的磷素在农田径流、河道、湖泊和土壤溶液中运移,已经成为一种新的磷素迁移途径<sup>[11~13]</sup>。在本研究的各层土壤中,溶解态磷的含量随着有机肥施用量的增加而增加,且 4 种处理的溶解态磷含量都是在表层土壤中最高,最高值为  $M_3$  处理下的 36.8 mg/kg。随着土壤深度的增加,溶解态磷的含量逐渐降低;在 40~60 cm 土层,从  $M_0$  至  $M_3$  这 4 种施肥处理的溶解磷含量分别是 0~5 cm 土层的 14.9%、18.0%、21.7%、21.9%。

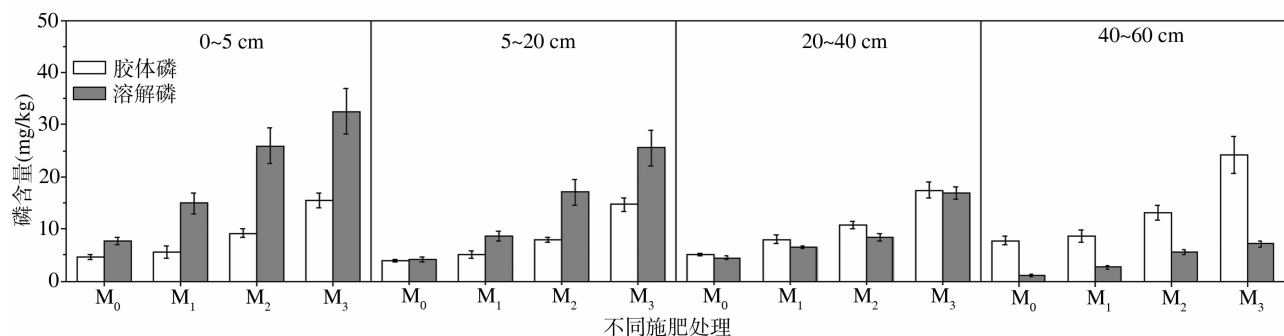


图5 增施有机肥对稻田剖面土壤水散性胶体磷和溶解磷含量的影响

## 3 结论

嘉兴稻田土壤胶体颗粒的形貌主要呈鳞片状,赋存了较多的 Al、Fe、Mg、K、Ca 等金属元素。增施猪粪有机肥对土壤剖面中胶体颗粒表面的官能团结构影响不大,但可能增加了 0~20 cm 表层土壤中土壤胶体颗粒上多水高岭石和白云母晶体矿物质的含量。

土壤胶体颗粒的含量随土壤深度的增加而增加。增施猪粪有机肥对 0~5、5~20 cm 土层胶体颗粒含量的影响不显著,但在 20~40、40~60 cm 土层,增施猪粪有机肥有增加土壤胶体颗粒含量的趋势。这表明深层土壤中赋存的天然胶体颗粒比表层土壤中多,且增施猪粪有机肥可能促使土壤胶体颗粒向深层地下环境迁移。在 0~5、5~20、20~40 cm 土层,增施有机肥使土壤总磷和有效磷含量呈逐渐增加的趋势,增施有机肥增加了 0~20 cm 土层土壤有机磷的含量,但有机磷占总磷的比例不升反降。各层土壤中,溶解磷和胶体磷的含量随有机肥施用量增加而增加。随土壤深度的增加,溶解磷含量有逐渐降低的趋势,在 20 cm 土层深度以下,胶体磷的含量多于溶解磷。

## 参考文献:

- [1] 臧玲. 不同磷饱和度土壤中胶体态磷迁移特征及其对磷素流失潜能的影响[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [2] 刘庆玲,徐绍辉. 地下环境中胶体促使下的污染物运移研究进展[J]. 土壤,2005,37(2):129-135.

同样,土壤各层中水分散性胶体磷的含量也都随着有机肥施用量的增加而增加。在 0~5、5~20 cm 土层,4 种处理的胶体磷含量均低于溶解态磷含量;但在 20~40、40~60 cm 土层,4 种处理的胶体磷含量反而均高于溶解态磷含量。举例来说,在 0~5 cm 土层  $M_0$  至  $M_3$  这 4 种处理的胶体磷含量分别占溶解磷含量的 60.1%、37.7%、35.6%、47.7%;在 5~20 cm 土层,这一比例分别为 95.3%、59.1%、47.3%、57.5%;在 20~40 cm 土层,从  $M_0$  至  $M_3$  这 4 种处理的胶体磷含量分别是溶解磷含量的 1.13、1.25、1.28、1.03 倍;在 40~60 cm 土层,胶体磷含量分别是溶解磷含量的 6.81、3.23、2.33、3.39 倍。施肥量是影响土壤胶体磷含量差异的主要原因。长期施用有机肥会增加表层土壤磷素的含量,有机肥本身含有的胶体颗粒也可能会促进土壤胶体磷的迁移<sup>[14]</sup>。在本研究中,稻田土壤胶体磷含量随着土壤深度增加而增加,这可能与深层土壤的厌氧环境促进胶体颗粒释放有关<sup>[15]</sup>。

- [3] Liang X Q, Liu J, Chen Y X, et al. Effect of pH on the release of soil colloidal phosphorus[J]. Journal of Soils and Sediments, 2010, 10(8):1548-1556.
- [4] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000.
- [5] Shand C A, Smith S, Edwards A C, et al. Distribution of phosphorus in particulate, colloidal and molecular-sized fractions of soil solution[J]. Water Research, 2000, 34(4):1278-1284.
- [6] Tsao T M, Chen Y M, Wang M K. Origin, separation and identification of environmental nanoparticles: a review[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2011, 13(5):1156-1163.
- [7] Vendelboe A L, Moldrup P, Heckrath G, et al. Colloid and phosphorus leaching from undisturbed soil cores sampled along a natural clay gradient[J]. Soil Science, 2011, 176(8):399-406.
- [8] Li W, He Y, Wu J, et al. Extraction and characterization of natural soil nanoparticles from Chinese soils[J]. European Journal of Soil Science, 2012, 63(5):754-761.
- [9] 王旭刚,孙丽蓉. 土壤剖面胶体中铁氧化物及其厌氧还原特征研究[J]. 河南农业科学, 2009(3):38-42.
- [10] 保琦蓓. 有机肥释放的水分散性胶体的性质特征及其对土壤重金属迁移活化的研究[D]. 杭州:浙江大学,2011:69-79.
- [11] Haygarth P M, Warwick M S, House W A. Size distribution of colloidal molybdate reactive phosphorus in river waters and soil solution[J]. Water Research, 1997, 31(3):439-448.
- [12] Ilg K, Siemens J, Kaupenjohann M. Colloidal and dissolved phosphorus in sandy soils as affected by phosphorus saturation[J]. Journal of Environmental Quality, 2005, 34(3):926-935.

张腾飞. 土体有机重构改良措施对盐碱土壤盐分及养分变化的影响——以定边县白土岗子村土地开发项目区为例[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 276–280.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.23.066

# 土体有机重构改良措施对盐碱土壤 盐分及养分变化的影响 ——以定边县白土岗子村土地开发项目区为例

张腾飞

(陕西省土地工程建设集团有限责任公司榆林分公司, 陕西西安 710075)

**摘要:** 为了研究土体有机重构对盐碱障碍农田内土壤盐分和养分含量变化的影响, 设置覆土压盐、施有机肥、施石膏、施草炭及对照共 5 组处理, 分析比较 1 年时间内, 在不同土层深度 (0~10、10~20、20~40 cm) 条件下, 土壤电导率、水溶性盐总量和土壤速效钾、全氮、全磷及有机质含量的变化情况。结果显示, (1) 在土壤盐分含量指标中, 4 种处理措施较对照组均有所减少, 有机肥处理组土壤养分含量的变化较其他处理明显; (2) 在土壤养分含量指标中, 土壤速效钾含量、土壤有机质含量较对照组明显增加, 土壤全氮含量的增幅不明显, 土壤有效磷含量较对照组呈现负增加, 有机肥处理组土壤养分含量的变化较其他处理明显。定边县盐碱障碍农作区应当重视有机肥的施用, 研究结果可为后期土体有机重构提供数据参考。

**关键词:** 土体有机重构; 改良措施; 盐碱土; 盐分; 养分; 定边县

**中图分类号:** S287; S156.4<sup>+</sup>9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)23-0276-05

全世界有近 10% 的陆地被不同类型的盐碱土覆盖, 且灌溉土地中约有 50% 存在次生盐碱化的威胁, 我国盐渍土中有 800 万  $\text{hm}^2$  在农田, 占耕地面积的 7%<sup>[1-2]</sup>。陕西省盐碱地面积为 2.5 万  $\text{hm}^2$ , 集中分布在定边县“盐湖”周围、浦城县与富平县交界的卤泊滩和大荔县的盐池洼及合阳县的黄河岸边<sup>[3]</sup>。气候干旱、蒸发强烈、地势低洼、地下水位高、矿化度高、母质及土壤含盐量高、不合理的水资源利用方式等是内陆盐碱土形成的主要原因<sup>[4-6]</sup>。土壤盐渍化的治理措施主要包括物理、化学、水利工程、农业和生物改良等<sup>[7-8]</sup>。多年来, 许多科学家对盐碱土治理进行过研究, 王海江等研究新疆新开垦的重度盐渍化农田, 结果表明, 根区隔盐处理在 0~80 cm 耕层的脱盐率为 61.33%; 化学改良处理在 0~40 cm 耕层的脱盐率为 5.32%<sup>[9]</sup>。魏耀锋研究表明, 脱硫石膏及不同垫层均能有效降低土壤的 pH 值和全盐含量, 其中稻草 + 黄沙垫

层处理能使 0~40 cm 土层土壤的 pH 值由 9.34 下降到 8.21, 全盐含量由 2.12% 下降到 0.69%<sup>[10]</sup>。脱硫石膏的主要成分是  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 其改良原理是利用其溶解产生的  $\text{Ca}^{2+}$  替换土壤胶体上的  $\text{Na}^+$ , 并且脱硫石膏富含硫 (S)、钙 (Ca)、硅 (Si) 等, 能为植物提供必需或有益的矿质营养<sup>[11-12]</sup>。宋轩等研究发现, 用草炭能增加土壤的速效氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 含量, 降低盐碱土的 pH 值, 从而改善盐碱土的养分供应状况<sup>[13]</sup>。

本研究以陕西省定边县白土岗子村土地开发项目为例, 采用田间试验方法, 布置了工程改良措施、化学改良措施、肥料改良措施, 研究地下水浅埋区重度盐渍土土壤水溶性盐总量、电导率与土壤速效 K、全 N、有效 P 以及有机质含量的变化, 以期对土体有机重构理论在定边县盐碱障碍地的开发利用提供技术依据。

## 1 研究区概况

定边县地处陕、蒙、宁接壤区腹地, 位于陕西省西北部, 是黄土高原与内蒙古鄂尔多斯荒漠草原的过渡地带。定边县堆子梁镇白土岗子村西北部的白土岗子村土地开发项目区, 距离县城 81 km, 地理位置介于  $108^\circ 15' 00'' \sim 108^\circ 18' 45'' \text{E}$ 、

收稿日期: 2018-09-25

基金项目: 陕西省土地工程建设集团内部科研项目 (编号: DJNY2017-05)。

作者简介: 张腾飞 (1986—), 男, 陕西扶风人, 硕士, 工程师, 主要从事土地工程与生态恢复方面研究。E-mail: 956435298@qq.com。

[13] Siemens J, Ilg K, Pagel H, et al. Is colloid-facilitated phosphorus leaching triggered by phosphorus accumulation in sandy soils? [J]. Journal of Environmental Quality, 2008, 37 (6): 2100–2107.

[14] Zang L, Tian G M, Liang X Q, et al. Effect of water-dispersible colloids in manure on the transport of dissolved and colloidal

phosphorus through soil column [J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(30): 6369–6376.

[15] Henderson R, Kabengi N, Mantripragada N, et al. Anoxia-induced release of colloid- and nanoparticle-bound phosphorus in grassland soils [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46 (21): 11727–11734.