

不同耕种年限红壤性水稻土理化性质的变化特征^①

马良^{1,2}, 徐仁扣^{*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 以江西省余江县不同种植年限的红壤性水稻土为对象, 研究了土壤有机质、pH、阳离子交换量(CEC)、游离氧化铁含量和氧化铁活化度随时间变化趋势; 选择耕种7、22和80年的土壤剖面, 研究了游离氧化铁和无定形氧化铁在剖面不同层次的分布。结果表明, 耕层(0~20 cm)土壤有机质含量随着水稻种植年限的增加而增加, 淹水种稻导致土壤pH升高, 但主要发生在种稻的前7年, 7~80年间土壤pH变化不大。土壤CEC随着种植年限的增加而增加, 在17年达到最大, 然后随种稻时间的进一步增加而减小。土壤游离氧化铁含量随种稻时间呈下降趋势, 但种稻后土壤氧化铁的活化度高于母土旱地红壤。对7年和80年水稻土, 表层土壤游离氧化铁的含量低于底层土壤, 说明铁在剖面中存在淋溶迁移。7年和22年水稻土表层土壤无定形氧化铁含量高于底层土壤, 但对80年水稻土, 土壤无定形氧化铁随采样深度的增加而增加。

关键词: 水稻土; 种植年限; 土壤性质

中图分类号: S153

水稻土是在植稻或以种稻为主的耕作制下, 经长期人为活动, 使土壤发生一系列变化而形成的一种独特土壤类型。它经历淹水还原、排水氧化、土壤黏闭、以及施肥等频繁的人为管理措施的影响^[1]。水稻土物理化学性质既有一般土壤的共性, 又有其本身的特点^[2]。因此, 研究水稻土理化性质时空动态变化对水稻土的合理管理有重要意义, 也是了解其发生和发育的重要内容。

水稻土在经历周期性的干湿交替后, 其组成和表面性质会发生变化, 尤其是土壤中所含的铁氧化物。氧化铁是土壤氧化物中最为活跃的部分, 其迁移和转化在土壤剖面的发生和土壤特征层的形成中起着重要的作用。Kumar等^[3]报道, 淹水使土壤中无定形氧化铁的含量显著增加。然而土壤落干又使无定形氧化铁转化为结晶态氧化铁, 两者可相互转化。

已有学者研究短时间内的干湿交替所引起的土壤表面性质的变化, 但从较长时间尺度开展的研究则不多。本文研究了种稻年限对红壤性水稻土理化性质的影响, 可为了解水稻土形成过程中土壤性质的演变提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

采样点选在江西省余江县刘家站(116°5'30"E, 28°5'30"N), 属亚热带季风气候区, 年均气温17.8℃, 年降雨量1785 mm, 年蒸发量1318 mm, 无霜期261天。各采样田均处于较高的地形部位, 灌排水状况良好, 历史背景相近, 轮作制度为双季稻^[4]。除80年水稻田地下水位较高外, 其他田块地下水位均处于相似水平。采集的水稻土均发育于第四纪红色黏土母质, 种稻年限分别为7、17、22、35和80年。采集7、22和80年的土壤剖面样, 用于水稻土不同层次理化性质的比较。

1.2 土壤样品的采集和处理

选择耕种7、17、22、35和80年的稻田, 采集0~20 cm的表层土样, 每块田随机采5点, 等量混合获取混合土样。选择耕种7、17和80年的稻田按发生层次采集剖面样。采样深度分别为7年剖面: 0~20、20~46、46~67、67~85 cm, 22年剖面: 0~20、20~30、30~40、40~77 cm, 80年剖面: 0~20、20~36、36~55 cm。同时采集邻近稻田的荒地土壤, 作为本底对照。采样时间为2007年3月, 水稻种植前。土样经自然风干后过10目筛用于土壤pH测定, 过60目筛用于其他性质测定。

1.3 分析方法

土壤有机质用重铬酸钾法测定; 土壤pH_(H₂O)用电

^①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目群(KZCX2-YW-Q10-3)和创新前沿领域项目(ISSASIP0711)资助。

* 通讯作者(rkxu@issas.ac.cn)

作者简介: 马良(1985—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤表面电化学。E-mail: maliang@issas.ac.cn

位法测定,测定时的土水比为1:2.5;土壤阳离子交换量(CEC)用醋酸铵法测定;土壤游离氧化铁用DCB法提取,土壤无定形氧化铁用酸性草酸铵提取,用原子吸收分光光度法测定提取液中的Fe。<2 μm的土壤黏粒用吸管法提取。土壤理化性质的详细测定步骤参见文献[5]。

1.4 数据分析

土样的数据分析用SPSS16.0。

2 结果与讨论

2.1 不同种植年限水稻土基本性质的比较

由表1可知,水稻土耕层(0~20 cm)土壤有机

质含量随种植年限的增加而显著增加($p < 0.05$)。在80年的耕作期内,土壤表层有机质从旱地的11.25 g/kg持续增加到34.13 g/kg,增幅达203%。土壤有机质的变化趋势与文献报道结果相一致^[6-8],说明旱地红壤改种水稻后土壤对有机碳的固定量增加,这对减少CO₂排放有积极意义。旱地红壤改种水稻后,表层土壤pH值显著提高,说明土壤淹水导致铁锰氧化物的还原消耗了质子(H⁺),使土壤酸度降低,土壤pH上升。但从表1的结果可以看出,土壤pH的增加主要发生在种稻开始的7年间($p < 0.05$),从第7年至80年土壤pH的变化很小,统计分析表明差异不显著。表明旱地红壤淹水种稻后土壤pH能较快达到相对稳定状态。

表1 不同种植年限水稻土的物理化学性质

Table 1 Properties of paddy soils under different cultivated years

种稻时间 (a)	有机质 (g/kg)	pH _(H₂O)	CEC (cmol _c /kg)	游离 Fe (g/kg)	无定形 Fe (g/kg)	氧化铁的活化度 (%)
对照	11.25 ± 0.35	4.68 ± 0.01	7.16 ± 0.36	34.87 ± 0.53	1.14 ± 0.03	3.27
7	16.50 ± 0.28	5.37 ± 0.02	8.06 ± 0.27	42.46 ± 0.36	2.71 ± 0.02	6.38
17	20.17 ± 0.45	5.41 ± 0.01	10.82 ± 0.67	29.72 ± 0.59	2.48 ± 0.01	8.34
22	24.45 ± 0.36	5.30 ± 0.03	7.40 ± 0.38	34.34 ± 1.64	2.63 ± 0.04	7.66
35	29.27 ± 0.55	5.44 ± 0.02	8.90 ± 0.25	30.76 ± 0.67	1.77 ± 0.03	5.75
80	34.13 ± 0.31	5.35 ± 0.01	7.20 ± 0.52	15.55 ± 0.30	1.09 ± 0.05	7.01

土壤CEC为土壤胶体所能吸附的各种阳离子的总量,其大小主要决定于土壤黏土矿物组成,土壤中铝氧化物含量、有机质含量对CEC也有重要影响。中亚热带地区的红壤,黏土矿物组成以1:1型的高岭石为主,并含有少量蛭石和水云母等2:1型矿物,因此其CEC一般较低。从表1中可以看出,旱地红壤的CEC为7.16 cmol/kg,淹水种稻后土壤CEC随种稻时间的增加而增加,到17年时达最大,然后随种稻时间的进一步增加而减少。土壤CEC增加主要由于土壤有机质的增加和淹水导致氧化铁的还原使氧化铁胶膜覆盖的负电荷位释放所致。有机质对土壤表面负电荷有重要贡献,研究表明,华南赤红壤胶体中有机质含量每增加1%,土壤CEC增加1 cmol/kg,长江下游的水稻土可增加2 cmol/kg^[9]。随种稻时间的进一步增加,土壤CEC的下降可能与水耕熟化过程中黏粒迁移有关。选择旱地红壤、种稻17年和80年的水稻土,测定了表层土壤中粒径<2 μm的黏粒占土体重量的百分比,结果分别为32.5%、32.8%和25.8%。说明种稻17年的水稻土表层土壤黏粒含量与母土旱地红壤相似,但种稻80

年后土壤黏粒含量显著减小,表明长期种稻导致土壤黏粒由表层向下迁移或随排水而流失。由于土壤黏粒的CEC高于粉砂粒和砂粒等大颗粒组分,因此土壤黏粒含量的降低是土壤CEC减小的主要原因。

2.2 长期种植水稻对土壤表层游离氧化铁含量的影响

由表1可以看出,耕层土壤游离氧化铁含量的总体变化趋势是随种稻时间的增加而降低,但在前期土壤游离氧化铁的变化较小,从35年至80年,土壤游离氧化铁含量显著降低,降幅达49.4%。土壤游离氧化铁的减少主要由于淹水种稻期间Fe的还原和离Fe作用所致。在旱地土壤中Fe主要以Fe(III)的氧化物形态存在,Fe的溶解度很低。淹水后土壤Fe在有机物作用下发生还原反应,由Fe(III)转变为Fe(II),其溶解度增加。特别当Fe(II)与可溶性有机物形成络合物后,其移动性进一步增强。因此,还原产生的Fe(II)可随排水离开土壤,或从耕作层淋溶至下层,导致耕层土壤中铁氧化物量减少。

2.3 长期种植水稻对氧化铁活化度的影响

土壤无定形氧化铁与游离氧化铁的比值为土壤Fe的活化度,是土壤发育程度的指标之一^[10]。与绝大部分土壤中的情况相似,土壤中大部分铁氧化物是以结晶态形式存在。不同耕种年限水稻土氧化铁的活化度示于表 1 中,结果表明,种植水稻初期,氧化铁活化度随耕种年限的增加呈升高趋势,说明由于干湿交替导致土壤氧化还原性质的周期性变化,土壤中的部分结晶态氧化铁转化为无定形氧化铁。虽然从 17 年开始,土壤Fe的活化度有所降低,但在 80 年的种稻期间,水稻土Fe的活化度均高于旱地红壤(对照)的,表明淹水种稻提高了无定形氧化铁在游离氧化铁中的比例,提高了土壤氧化铁的活性。

水稻土中铁氧化物形态转化的趋势与旱地土壤中不同,旱地土壤中的非结晶态铁铝氧化物随土壤发育程度增加逐渐转化为结晶态铁铝氧化物,导致土壤氧化铁活化度随成土年龄的增加而降低^[11-12]。

2.4 长期种植水稻对铁在土壤剖面上分布的影响

铁锰氧化物是水稻土中最为活跃的一类物质,它们的还原淋溶和氧化淀积是水稻土形成的重要特征之一^[13]。图 1 示土壤游离氧化铁在剖面中的分布,结果表明,种稻 7 年的水稻土耕层游离氧化铁的含量低于 20~46 cm 土层,而 20~46 cm 土层游离氧化铁含量高于 46~67 cm 土层和 67~85 cm 土层,说明在该剖面中存在Fe的还原淋溶和在 20~46 cm 土层淀积的现象。耕种 80 年的水稻土剖面中,20~36 cm 土层和 36~55 cm 土层中土壤游离氧化铁含量的差异不大,但比表层土壤的游离氧化铁含量高得多,说明表层土壤由于还原淋溶和离Fe作用,Fe的迁移情况比较明显。游离Fe在剖面中的变化趋势与近期用浙江地区水稻土获得的结果相似^[14]。土壤各种形态的氧化铁之间可以相互转化,并受土壤颗粒组成、水分、温度、pH、有机质含量等环境条件的影响^[15],种稻时间越长,Fe的迁移转化越显著。游离氧化铁在 22 年水稻土剖面中的分布没有表现出明显的规律性。

图 2 示无定形氧化铁在土壤剖面中的分布,结果表明,种稻 7 年和 22 年的水稻土,表层土壤无定形氧化铁的含量明显高于底层土壤中,说明由于干湿交替导致的氧化还原作用使表层土壤氧化铁由结晶态向无定形态转化。对于 80 年水稻土,土壤无定形氧化铁随剖面深度的增加而增加,说明长期种稻导致活性 Fe 在剖面中发生由表层向下的迁移。

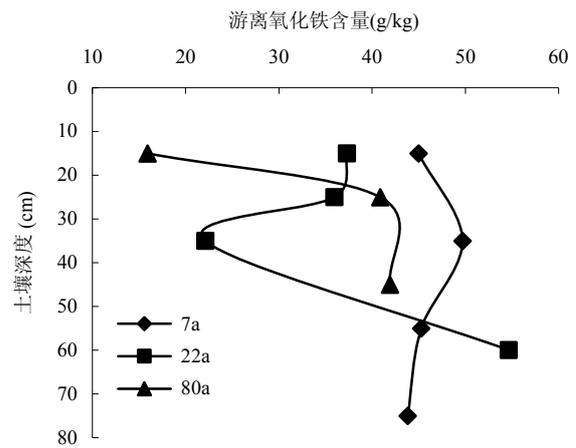


图 1 游离氧化铁含量随剖面采样深度的变化

Fig. 1 Changes of free iron oxides in soil profiles

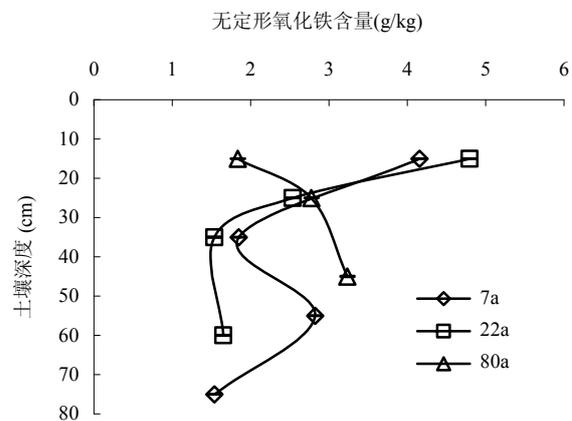


图 2 无定形氧化铁含量随采样深度的变化

Fig. 2 Changes of amorphous iron oxides in soil profiles

3 结论

红壤旱地开垦种植水稻后土壤理化性质发生明显变化,随种稻时间的增加,耕层土壤有机质持续增加,土壤 pH 升高。土壤 CEC 随耕种年限的增加而增加,在 17 年达最大,然后随耕种年限的进一步增加而减小。土壤游离氧化铁含量随耕种年限的增加呈下降趋势,但种稻后土壤氧化铁的活化度高于母土旱地红壤。长期种稻导致 Fe 在土壤剖面中发生淋溶迁移。

参考文献:

- [1] 马毅杰,陈家坊,等. 水稻土物质变化与生态环境. 北京: 科学出版社, 1999: 28-40
- [2] 于天仁,等. 水稻土的物理化学. 北京: 科学出版社, 1983:

- 234-255
- [3] Kumar S, Pahwa SK, Promila K. Changes in some physico-chemical properties and activities of iron and zinc on submergence of some rice soils. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 1981, 29: 204-207
- [4] 李忠佩, 李德成, 张桃林. 红壤水稻土肥力性状的演变特征. *土壤学报*, 2003, 40(6): 870-878
- [5] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [6] Li ZP, Zhang TL, Han FX, Felix-Henningsen P. Changes in soil C and N contents and mineralization across a cultivation chronosequence of paddy fields in subtropical China. *Pedosphere*, 2005, 15(5): 554-562
- [7] 王小利, 苏以荣, 黄道友. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 750-757
- [8] 袁颖红, 李辉信, 黄欠如, 胡锋, 潘根兴, 樊后保. 长期施肥对红壤性水稻土有机碳动态变化的影响. *土壤*, 2008, 40(2): 237-242
- [9] 张效年, 蒋能慧. 土壤电化学性质的研究. III. 红壤胶体的电荷特征. *土壤学报*, 1964, 12(2): 120-131
- [10] 熊毅, 陈家坊, 马毅杰, 等. *土壤胶体* (第二册). 北京: 科学出版社, 1985: 241-268
- [11] Mahaney WC, Fahey BD. Extractable Fe and Al in late Pleistocene and Holocene paleosols in Niwot Ridge, Colorado Front Range. *Catena*, 1988, 15: 17-26
- [12] Mahanry WC, Hancock RGV, Sanmugadas K. Extractable Fe-Al and geochemistry of late Pleistocene Paleosol in the Dalijia Shan, Western China. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 1991, 6: 75-82
- [13] 李庆逵主编. *中国水稻土*. 北京: 科学出版社, 1992: 155-171
- [14] 程月琴, 杨林章, 孔荔玺, 慈恩. 植稻年限对土壤铁锰氧化物的影响. *土壤*, 2008, 40(5): 784-791
- [15] Thompson A, Chadwick OA, Rancourt DG. Iron-oxide crystallinity increases during soil redox oscillations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, 70: 1 710-1 727

Physico-Chemical Characteristics of Paddy Soils Derived from Quaternary Red Clay Under Different Cultivated Years

MA Liang^{1,2}, XU Ren-kou¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The temporal changes of soil organic matter (SOM), pH, CEC, content of iron oxides and the distributions of free iron oxides (Fe_d) and amorphous iron oxides (Fe_o) in paddy soils cultivated for 7a, 22a, and 80a were studied. All soils were derived from the Quaternary Red Clay and collected from Yujiang, Jiangxi Province. The results showed that SOM content in topsoil (0-20 cm) increased with the increase of cultivated year, soil pH increased during rice cultivation of the first 7 years and then changed slightly afterwards. The cation exchange capacity (CEC) increased with the increase of cultivated year, reached the maximum value at the 17th year and then decreased afterwards. The content of free iron oxides in soils decreased with the increase of cultivated year, the ratio of Fe_o/Fe_d was higher in paddy soils than in the dry land soil. For 7a and 80a paddy soils, the content of free iron oxides in topsoils were higher than those in subsoils, suggesting that iron transported downwards in soil profiles. The contents of amorphous iron oxides of 7a and 22a paddy soils were higher in topsoils than those in subsoils, but it increased with the increase of sampling depth for 80a soil profiles.

Key words: Paddy soils, Cultivated years, Soil properties