

水肥状况对土壤中Fe的移动及水稻吸Fe的影响

赵秀芬¹ 刘学军¹ 吕世华² 张福锁¹

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100094; 2. 四川省农科院 土壤肥料研究所,成都 610066)

摘要 通过模拟土柱试验研究了不同水肥状况下灰潮土和灰棕潮土2种冲积土中Fe的活化淋溶、空间分异及水稻吸Fe特征。结果表明,土壤淹水种稻后Fe被活化并随渗滤液淋溶出1 m土体。湿润处理和淹水处理相比,Fe浓度无明显差异,但淋溶总量低于淹水处理。土壤各层次DTPA-Fe均为淹水处理高于湿润处理,并呈现一定的淀积趋势,交换态Fe亦有类似的规律但差异小于DTPA-Fe,全Fe各处理间无明显变化。土壤水分状况对水稻地上部生长无明显影响,但湿润处理降低了地上部对Fe的吸收。相对而言,有机肥和化肥对土壤中Fe活性的影响远不如水分的状况明显。2种土壤比较,灰棕潮土比灰潮土晚3 d出现渗滤液,且前期Fe浓度较低。灰棕潮土DTPA-Fe含量较高,而交换态Fe含量较低,全Fe 2种土壤间无明显差异。

关键词 水肥状况; 模拟土柱; Fe; 水稻

中图分类号 S 154.1

文章编号 1007-4333(2003)05-0074-05

文献标识码 A

Effects of water and fertilization conditions on Fe movement and its uptake by rice

Zhao Xiufen¹, Liu Xuejun¹, Lü Shihua², Zhang Fusuo¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract The effects of different water and fertilization conditions on iron leaching, spatial distribution and uptake by rice (*Oryza sativa* L.) were studied with soil column. The results showed that 1) iron (Fe) concentration in leachates decreased rapidly with the submerging time. Although the wetting and flooding treatments had similar Fe concentration in leachates, the later had higher total leached quantity; 2) DTPA-extractable Fe and exchangeable Fe in soil profile were significantly affected by water and fertilization conditions. The treatments of no fertilizer with flooding (CK), NPK fertilizer with flooding (NPK) and NPK fertilizer and pig manure with flooding (NPKM) had higher values than that of NPK fertilizer and pig manure with wetting (NPKM/W). But the total Fe in soil profile changed little. There was no difference among the four water and fertilization treatments; 3) The Fe uptake by rice also followed the sequence: NPKM/W < CK, NPK and NPKM. Generally, water and fertilization conditions in grey alluvial soil (calcareous sand loam) had greater influence on Fe than that in grey-brown alluvial soil (acid loam).

Key words water and fertilization conditions; soil column; iron; rice

淹水条件下,土壤的物理、化学、生物学及矿物学性质都会发生显著变化^[1,2],这些变化将通过改变土壤组分的化学行为而最终影响元素的活化、迁移和淀积,进而反映在渗滤液与剖面中^[3,4]。Fe是易受土壤水肥状况影响的矿质元素之一。因而长期以来,淹水土壤Fe的化学一直是土壤发生学和土壤化学的重点研究之一^[5,6]。Fe和Mn相似,其形态转化是水稻田干湿交替过程中氧化还原状况变化所引

起的最重要的化学变化之一^[7]。由于水稻土剖面不同土层的氧化还原电位(Eh)存在较大差异,Fe的化学行为在不同土层中必将发生显著变化,但对于不同水肥条件下冲积性水稻土中Fe的淋溶、空间分异及水稻Fe营养特征的研究尚为少见。为此,我们通过模拟土柱试验研究了不同水肥状况对土壤中Fe有效性及其转化的影响,试图探讨不同水肥状况与土壤中Fe的迁移、转化及其生物有效性的关系。

收稿日期: 2003-06-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49801013)

作者简介: 赵秀芬, 硕士研究生; 张福锁, 教授, 博士生导师, 联系作者, 主要从事植物营养生理、生态与遗传研究, E-mail: zhangfs@cau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤为四川成都平原发育于不同冲积母质的2种冲积土,其基本理化性状见表1。

1.2 试验方案

模拟土柱长100 cm,内径11 cm,为有机高分子

表1 试验土壤的基本理化性状

Table 1 The related properties of the experimental soils

土壤类型	地点	母质	质地	pH(H ₂ O)	O.M. / (g kg ⁻¹)	DTPA-Fe / (mg kg ⁻¹)
灰潮土	四川温江	混江冲积物	轻壤	8.08	18.9	16.1
灰棕潮土	四川新都	沱江冲积物	中壤	5.76	25.6	63.2

(1) 淹水无肥(CK):不施肥料,用去离子水浇灌,维持土表2~3 cm的水层;

(2) 淹水化肥(NPK):淹水(与CK同)基础上每土柱施NPK化肥,用量为尿素0.5 g,磷酸-胺0.3 g,氯化钾0.3 g;

(3) 淹水有机无机(NPKM):在淹水化肥(与处理NPK同)的基础上每土柱施干猪粪10 g;

(4) 湿润有机无机(NPKM/W):在施化肥和猪粪的基础上保持土壤湿润状况,即土表无明显水层,浇灌次数同淹水处理,但浇灌量仅为前者的1/2~1/3。

试验于1995-06初开始,每土柱播8粒已催芽的水稻种子,1周后间苗至4株。根据先密后疏的原则定期收集土壤渗滤液,测定其Fe浓度并计算Fe的总淋失量,以研究Fe的淋溶动态。8月底收割水稻地上部,并打开土柱分4个层次(0~20、20~40、40~60和60~100 cm)取土样,进行土壤和植株Fe含量的分析,以研究不同形态Fe的空间差异及其生物吸收。

1.3 分析方法

土壤质地用吸管法,pH用电极法,有机质用重铬酸钾稀释热法-容量法。植株全Fe用高氯酸-硝酸消化。土壤全Fe用硝酸-高氯酸-氢氟酸消化,DTPA态Fe用0.005 mol L⁻¹的DTPA混合液(pH 7.3)提取,交换态Fe用1 mol L⁻¹中性NH₄OAc提取。植株和土壤Fe浓度的测定均用原子吸收分光光度法。

2 结果与分析

2.1 水肥状况对土壤中Fe活化淋溶的影响

2.1.1 Fe的淋溶动态 土壤淹水初期渗滤液中Fe

聚合物制成的PVC管。土柱底部套一相同材料制成的圆锥形带孔漏斗。漏斗内铺洁净河砂,高约5 cm,底部用一瓷盆收集渗滤液。供试土壤经风干并过5 mm筛孔,按土壤表观容重1.2 g·cm⁻³装入管内。表层0~20 cm为施肥和水分处理层。试验设4个处理,各重复3次。具体处理为:

的浓度较高,灰潮土约为0.3 mg L⁻¹,灰棕潮土为0.15 mg L⁻¹以上,随淹水时间的延长,Fe浓度呈下降趋势,至最后(11周左右)几乎所有处理均低于0.05 mg L⁻¹(图1)。湿润处理(NPKM/W)和各淹水处理(CK、NPK、NPKM)比较,渗滤液中Fe浓度无明显差异。灰棕潮土施有机肥对Fe的淋溶似有一定的促进作用,但各处理间经统计检验无显著性差异。值得注意的是,灰棕潮土出现渗滤液的时间比灰潮土晚3 d,且Fe的平均浓度低于灰潮土,这在一定程度上反映了不同母质来源的潮土水耕熟化过程的差异。

2.1.2 Fe的淋溶总量 根据渗滤液Fe的浓度和体积计算出Fe淋溶总量(表2)。可以看出,淹水种稻期间,由于湿润处理渗滤液量较少,故其淋溶总量低于淹水处理,特别以灰潮土更为典型。各淹水处理间比较,灰潮土施用有机肥增加了Fe的淋溶量。Fe的这种淋溶特点类似于Mn,但淋溶总量远低于Mn^[8]。

2.2 水肥状况对土壤中Fe的空间分异的影响

土壤剖面中Fe的分异是氧化Fe的各种形态相互作用及迁移转化的结果,并反映出成土过程和成土条件的特点。淹水是促进氧化Fe形态转化的重要因素之一。许多研究表明,淹水使土壤中无定形氧化Fe含量急剧增加^[9~11]。因此不同淹水种稻条件下,土壤中Fe的空间分异主要受到了水分状况影响。

2.2.1 DTPA-Fe DTPA-Fe是表征土壤有效Fe的一个重要指标。从图2可知,2种土壤DTPA-Fe含量都是湿润处理(NPKM/W)低于淹水处理(CK、NPK、NPKM),且差异达5%的显著水平,这说明DTPA-Fe是易受土壤水分状况影响的Fe形态。灰潮土DTPA-Fe含量低于灰棕潮土,而且对灰潮土来说,DTPA-Fe

在土壤剖面中的含量以底部土层高于中上部土层,呈明显的淀积特征,而灰棕潮土无此现象。这与 2

种土壤来源于不同母质,其理化性质和土壤组分中铁分布不同有关(表 1)。

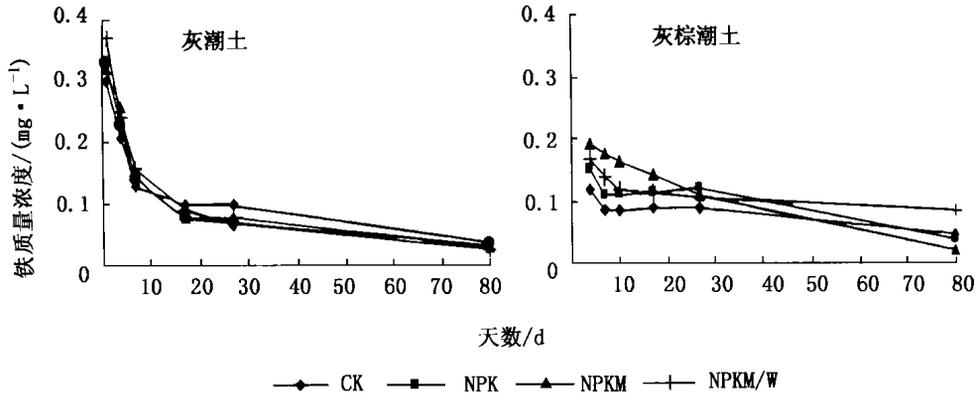


图 1 水肥状况对土壤渗滤液铁质量浓度的影响

Fig. 1 Effect of water and fertilization conditions on Fe concentration in soil leachates

表 2 不同水肥处理对土壤铁的淋溶总量的影响

Table 2 Total Fe contents in soil leachates as affected by water and fertilization conditions $\text{mg} \cdot \text{柱}^{-1}$

土壤类型	淹水无肥 CK	淹水化肥 NPK	淹水有机无机 NPKM	湿润有机无机 NPKM/W
灰潮土	2.26 \pm 1.19	2.59 \pm 1.49	2.79 \pm 0.69	1.23 \pm 0.21
灰棕潮土	2.22 \pm 0.64	2.34 \pm 0.74	1.68 \pm 0.22	1.75 \pm 0.66

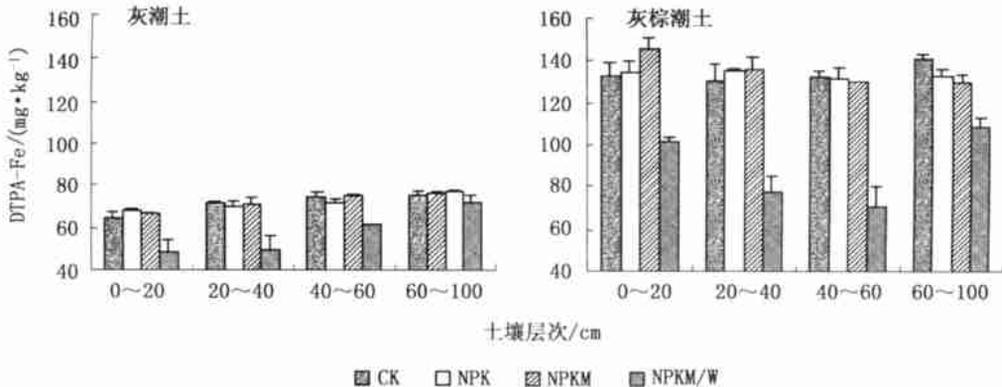


图 2 水肥状况对土壤剖面中 DTPA - Fe 含量的影响

Fig. 2 Effect of water and fertilization conditions on DTPA - Fe content in soil profile

2.2.2 交换态铁 交换态铁为土壤胶体表面吸附的可代换性铁,是对植物直接有效的一种铁形态。从图 3 不难看出,交换态铁和 DTPA-Fe 类似,剖面中有向下淀积的趋势,不同水肥处理比较也是湿润处理低于各淹水处理。但有所不同的是,交换态铁的含量远远低于 DTPA-Fe 的含量,且以灰棕潮土低于灰潮土,这一结果正好说明为何淹水种稻后灰潮土铁的活化淋溶强度大于灰棕潮土。

2.2.3 全铁 土壤水分状况对土柱剖面中全铁的含量和空间分布没有明显的影响,各处理间差异都

不显著,土层之间也无太大的变化。全铁含量均在 $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。这与土壤全铁主要由矿物态铁和游离铁组成,而且受水分状况影响较小有关。

2.3 不同水肥状况对水稻生长及吸铁的影响

从表 3 中看出,湿润处理对水稻分蘖和地上部生物量无明显影响,但降低了地上部对铁的吸收,因此地上部铁浓度显著低于淹水处理,其中尤以灰潮土更典型。这与对锰所作的结果相似^[8]。不同施肥水平淹水条件下施用有机肥(NPKM)对水稻铁的吸收有一定的促进作用,这可能是由于有机肥的施入

降低了土壤的氧化还原电位,加剧土壤的还原状态^[11],促进了铁的活化。化肥(NPK)与无肥(CK)之间差异不明显,说明水分状况和有机肥都是影响水稻铁素营养的因素,但这里水分状况的作用更为突出。2 土壤比较,灰棕潮土水稻生物干重较高,水稻

吸铁量高于灰潮土。从水稻吸铁量与土壤铁淋溶总量的关系看,灰潮土水稻吸铁量略低于土壤铁淋失总量,而灰棕潮土相反,水稻吸铁量高于土壤铁淋失总量。这可能与灰潮土质地较沙及有机质含量较低有关。

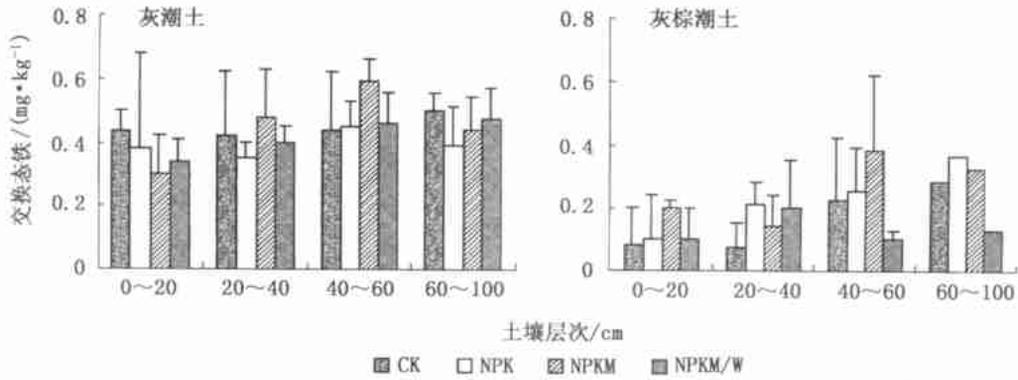


图 3 水肥状况对土壤剖面中交换态铁含量的影响

Fig. 3 Effect of water and fertilization conditions on exchangeable Fe content in soil profile

表 3 不同水肥状况对水稻铁吸收的影响

Table 3 Rice shoot growth and its Fe uptake as influenced by water conditions and fertilization mg 柱⁻¹

土壤类型	项 目	淹水无肥 CK	淹水化肥 NPK	淹水有机无机 NPKM	湿润有机无机 NPKM/W
灰潮土	生物干重/(g column ⁻¹)	14.3 ±0.4	15.6 ±1.4	14.9 ±0.4	12.6 ±2.2
	w(Fe)/(mg kg ⁻¹)	120 ±21.6	127 ±34.0	135 ±10.9	81.1 ±5.4
	吸铁量/(mg column ⁻¹)	1.71 ±0.27	1.98 ±0.68	2.01 ±0.21	1.02 ±0.12
灰棕潮土	生物干重/(g column ⁻¹)	28.8 ±2.4	30.2 ±1.5	35.7 ±1.8	34.7 ±1.4
	w(Fe)/(mg kg ⁻¹)	127 ±46.5	111 ±41.5	132 ±15.2	103 ±9.9
	吸铁量/(mg column ⁻¹)	3.66 ±1.15	3.36 ±1.10	4.71 ±0.67	3.56 ±0.26

3 讨 论

1) 水稻土是一种人工水成土,除自然因素外,受灌溉、耕作、施肥等农业技术措施的影响很大。淹水种稻会引起土壤一系列物理、化学、生物化学性质的变化^[12]。pH和 Eh 决定了土壤的氧化还原状况,从而直接影响土壤养分的存在状态、转化和有效性^[2,13,14]。铁氧化物是水稻土中最常见的氧化物,具有较高的活性,易随环境条件的变化而转变^[15]。土壤淹水种稻后,由于有机质的嫌气分解导致土壤氧化还原电位的下降,促进了氧化铁的活化,引起铁的淋溶^[16,17]。从试验结果(图 1)看出,淹水后,土壤渗滤液中Fe浓度呈递降趋势,这可能是由于淹水初期土壤 Eh 下降相对较快,有利于铁的活化,并且随着淹水时间的延长,Eh 下降相对减缓,从而影响了铁的转化。与Mn相比,渗滤液中Fe浓度较低且变幅

较小^[8],不同水分处理之间的差异也较小。但这种特征也因土壤类型和试验条件的不同而改变。张甘霖和龚子同研究发现,淹水条件下红壤铁的迁移能力明显高于潮土,且渗滤液中Fe的浓度远高于Mn^[3]。但就迁移系数而言,却是Ca > Mn > Fe^[3,16]。刘学军等^[8]的研究证实Mn的迁移能力强于Fe。土壤剖面中DTPA-Fe和交换态Fe的空间分布则进一步表明不同水分状况对土壤中Fe的空间有效性的影响(图 2、3),特别是DTPA-Fe在剖面中的淀积及湿润处理下其含量明显低于淹水处理(尤其是0~20 cm土层),更有力地说明旱改水过程中耕层Fe有效性深受水分状况的影响。但由于高价Fe还原成低价Fe的标准氧化还原电位低于Mn,故土壤水分状况对Fe的影响要小于Mn。相对而言,有机肥和化肥对Fe活化淋溶的影响明显小于水分状况。

2) 水稻对Fe的吸收主要与土壤中Fe的有效性

和根系吸收能力密切相关。由于影响水稻铁吸收的因素很多,前人就淹水条件下铁的植物有效性的研究结果不完全一样。有人发现土壤淹水或氧化还原电位下降对水稻铁吸收几乎没有影响^[18,19],但也有人认为水稻对铁的吸收随淹水土壤中可溶性铁浓度的增加而增加^[20]。从本试验结果看,湿润处理显著降低了水稻地上部对铁的吸收(表3),表明铁的生物有效性和土壤有效性的一致性,同时也进一步说明在一般情况下淹水有利于土壤中铁的活化及水稻对铁的吸收。因此,在水稻覆盖旱作或湿润栽培条件下应充分考虑其对水稻铁营养的影响。

总之,本研究认为:通过改变土壤水肥状况(主要是水分)可以调控土壤铁的有效性和空间再分布,进而影响水稻等作物的铁营养。

参 考 文 献

- [1] 李庆逵. 中国水稻土 [M]. 北京:科学出版社, 1992
- [2] Pannamperuma F N. The chemistry of submerged soils [J]. *Adv Agron*, 1972, 24: 29 ~ 96
- [3] 张甘霖, 龚子同. 淹水条件下土壤中元素迁移的地球化学特征 [J]. *土壤学报*, 1993, 30: 355 ~ 364
- [4] Gong Zitong. Origin, evolution and classification of paddy soils in China [J]. *Adv Soil Sci*, 1986, 5: 179 ~ 200
- [5] 徐琪. 水稻土的研究进展 [J]. *土壤*, 1989, 21: 192 ~ 195
- [6] Gbotoh S, Patrick W H. Transformation of iron in a waterlogged soil as influenced by redox potential and pH [J]. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1974, 38: 66 ~ 71
- [7] 赵红挺. 成都平原水稻土中铁的分异特点 [J]. *土壤学报*, 1992, 29: 191 ~ 198
- [8] 刘学军, 张福锁, 吕世华, 等. 水肥状况对土壤剖面中锰的移动和水稻吸锰的影响 [J]. *土壤学报*, 1999, 36(3): 369 ~ 374
- [9] Kumar S. Changes in some physico-chemical properties and activities of iron and zinc on submergence of some rice soils [J]. *J Indian Soc Soil Sci*, 1981, 29: 204 ~ 207
- [10] 苏玲, 章永松, 林咸永. 干湿交替过程中水稻土铁形态和磷吸附解吸的变化 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4): 410 ~ 415
- [11] 杨长明, 杨林章, 颜廷梅. 不同养分和水分管理模式对土壤生态环境影响 [J]. *农村生态环境*, 2002, 18(3): 11 ~ 15
- [12] Abid Subhani, 黄昌勇. 施肥对土壤环境质量的影响 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 1999, 25(5): 505 ~ 506
- [13] Narteh L T, Sahrawat K L. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soil [J]. *Geoderma*, 1999, 87: 179 ~ 207
- [14] Navas A, Bermúdez F, Mach I J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols [J]. *Geoderma*, 1998, 87: 123 ~ 135
- [15] 陈家坊, 何群, 邵宗臣. 土壤中的氧化铁的活化过程的探讨 [J]. *土壤学报*, 1983, 20(4): 387 ~ 392
- [16] 杨林章, 徐琪, 熊毅. 水分状况对红壤母质中物质移动及稻麦生物量的影响 [J]. *土壤学报*, 1987, 24: 199 ~ 209
- [17] Schwab A P, Lindsay W L. Effect of redox on the solubility and availability of iron [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1983, 47: 201 ~ 205
- [18] Clark F, Nearpass D C, Spect A W. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice [J]. *Agron J*, 1957, 49: 586 ~ 589
- [19] Chaudry M S, McClean E O. Comparative effects of flooded and nutrient uptake by rice plants [J]. *Agron J*, 1963, 55: 555 ~ 567
- [20] Schwab A P, Lindsay W L. Effect of redox on the solubility and availability of iron [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1983, 47: 201 ~ 205

科研简讯

我校一项食物源 SARS 病毒基因快速检测技术通过专家鉴定

2003年5月27日,由我校食品学院攻关小组研制的食物源 SARS 病毒基因快速检测技术通过了教育部的专家鉴定。与会专家一致认为,这项成果总体达到了国际领先水平。

食物源 SARS 病毒基因快速检测技术的基本过程为,首先提取食物源总核糖核酸通过体外合成 cDNA 及巢式聚合酶链式反应扩增病毒基因的保守区域,从而确定食物是否受到 SARS 病毒的污染。该项技术首次利用 PT- Nested PCR 对食源性 SARS 病毒基因的检测,具有快速、准确和灵敏的特点。另外,可以避免病毒的分离和富集操作过程,从而降低了操作的危险性。