

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

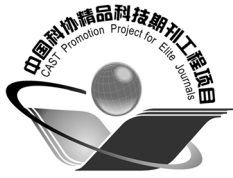


中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

目 次

综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- ¹³C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入¹⁵N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电化学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像 (由张中彬提供)

DOI: 10.11766/trxb201408210415

铁膜对水稻根表面电化学性质 和氮磷钾短期吸收的影响*

郑芸芸^{1, 2} 李忠意^{1, 2} 李九玉¹ 徐仁扣^{1†}

(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 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 通过水培试验研究了水稻根表铁膜对根表电化学性质、根表对 NH_4^+ 、 K^+ 和磷酸根吸附和吸收的影响。结果表明, 铁膜降低根表阳离子交换量, 使根表zeta电位绝对值减小, 说明根表负电荷数量减少。与对照相比, 铁膜抑制了水稻根表对 NH_4^+ 和 K^+ 的吸附, 但促进了其对磷酸根的吸附。6 h 培养实验结果表明, 铁膜使水稻对 NH_4^+ 、 K^+ 、 H_2PO_4^- 的吸收速率分别降低了21.1%、42.7%、59.1%。因此, 作为物理、化学屏障或者临时储存库, 铁膜抑制了水稻对大量营养元素的短期吸收。

关键词 水稻; 铁膜; 电化学性质; 氮磷钾吸收

中文分类号 S153 **文献标识码** A

当土壤淹水种稻时, 氧由大气向土壤的扩散受阻, 随着土壤中有机还原性物质的不断产生, 土壤中的氧气逐渐消耗, 土壤铁、锰氧化物被还原为 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} , 其浓度急剧上升。水稻作为一种生长在淹水土壤中的粮食作物, 可以在生长过程中通过特殊的输氧组织, 将地上部的氧气由叶和茎输送到根部, 除供根系呼吸消耗外, 剩余的氧气则侧渗到根际中^[1-2], 并在根系氧化酶和铁氧化细菌等^[3-4]的共同作用下将根际中的 Fe^{2+} 氧化并在水稻根表面形成铁氧化物膜(简称铁膜)。国内外已对湿地植物根表铁膜的形成机制、组成、铁膜对重金属及对污染物和养分吸收的影响等方面开展了广泛研究^[5-13]。铁膜的矿物形态主要以无定形氧化铁、纤铁矿和水铁矿为主, 并含有一定量的针铁矿、菱铁矿^[9]。铁膜对元素吸收的影响除与环境条件有关外, 主要与铁膜的数量和性质有关, 一般适量铁膜可以促进水生植物对P、Zn等养分的吸收, 但随着铁膜数量增加其对养分和污染物的吸收多表现为抑制作用^[5-7, 11-13]。

虽然对水稻根表铁膜的生态环境效应已开展广泛研究^[5-7, 14-19], 但对铁膜本身的电化学性质及其

与养分吸收和有害物质毒性的关系的研究很少。虽然有人根据铁氧化物的一般性质对铁膜的表面电荷性质进行过预测, 但受实验条件限制, 这些预测并未得到实验的验证。本文初步研究了铁膜对水稻根表面电荷和zeta电位的影响及其与水稻根吸附和吸收 NH_4^+ 、 K^+ 和磷酸根的关系, 研究结果可为水稻养分管理和水稻土污染控制提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 水培实验与铁膜形成

将水稻(*Oryza sativa* L.)种子II优602放入30%的双氧水中消毒15 min, 用蒸馏水清洗干净, 在25℃蒸馏水中浸泡24 h后, 移于放有纱布的周转箱中避光培养。当水稻幼苗生长至2 cm高时, 将其移至植物培养室(14 h光照、27℃/10 h无光照、25℃)。当水稻幼苗长至5 cm高时, 将其移至按国际水稻研究所建议的营养液配方配置的全营养液(pH为5.5)中培养^[20], 四叶期时移至14 L的周装箱中, 30 d后选取生长一致的水稻苗, 分株到1 L的PVC桶中培养1周。营养液配方如下:

*国家自然科学基金项目(41230855)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-EW-405)资助

†通讯作者, E-mail: rkxu@issas.ac.cn

作者简介: 郑芸芸(1989—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤表面电化学研究。E-mail: yyzheng@issas.ac.cn

收稿日期: 2014-08-21; 收到修改稿日期: 2015-01-26

(mmol L⁻¹) 0.75 (NH₄)₂SO₄, 1.5 NaNO₃, 0.32 NaH₂PO₄ · 2H₂O, 0.5 K₂SO₄, 1.7 MgSO₄ · 7H₂O, 1.0 CaCl₂; (μmol L⁻¹) 9.1 MnCl₂ · 4H₂O, 0.16 CuSO₄ · 5H₂O, 0.15 ZnSO₄ · 7H₂O, 0.07 (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O, 18 H₃BO₃和40 FeSO₄ · 7H₂O-EDTA。

将水稻苗放入蒸馏水中并培养12 h, 再用亚铁(FeSO₄ · 7H₂O)含量为0、30 mg L⁻¹的溶液在12 h内诱导形成铁膜(分别标记为Fe0和Fe30)^[16], 将形成铁膜后的水稻苗继续在蒸馏水中培养12 h后用于以下试验。

1.2 根系材料制备及性质测定

在水稻根结处将地上部与根部分离, 用蒸馏水清洗根系5次; 再用0.1 mol L⁻¹的NaCl溶液浸泡3次, 每次30 min, 期间不断搅动; 最后用蒸馏水清洗根系至无Cl⁻, 将根系风干后剪成2~4 mm的片段备用。

测定根系阳离子交换量(CEC)^[21]时, 称取0.5 g上述风干根系片段, 先用蒸馏水润湿样品, 再用pH5.8的200 ml浓度为1 mol L⁻¹醋酸铵溶液淋洗7次, 接着用400 ml酒精淋洗14次, 最后用1 mol L⁻¹KCl溶液淋洗至200 ml的容量瓶中, 用靛酚蓝比色法在625 nm波长下测定淋洗液中铵的浓度, 计算CEC。

测定根系流动电位^[22-23]时, 称取0.15 g的根系, 剪成2 cm的片段, 用流动电位测量装置, 以电导率约为20 μS cm⁻¹的NaCl溶液作为电解质, 测定流动电位值, 并根据测定的数据计算zeta电位值。

铵态氮和钾离子的吸附实验中, 称取上述风干根系片段0.25 g, 放置于已称重的离心管中, 分别加入25 ml浓度不同的NH₄Cl和KNO₃溶液, 25 °C下在旋转震荡机上震荡2 h, 用已称重的滤纸过滤后, 将滤纸及其上的根系收回离心管, 加入0.1 mol L⁻¹ NaCl溶液25 ml继续解吸2 h, 过滤并收集滤液。分别采用靛酚蓝比色法和火焰光度法测定吸附液或解吸液中的NH₄⁺和K⁺浓度, 并测定吸附液pH, 并按下式计算根系对两种阳离子的吸附量与解吸量:

$$\text{吸附量 (mmol kg}^{-1}\text{)} = ([\text{离子初始浓度}] - [\text{离子平衡浓度}]) \times 0.025 \times 1\,000/0.25$$

$$\text{解吸量 (mmol kg}^{-1}\text{)} = ([\text{解吸液离子浓度} \times$$

(25+吸附残留液质量)/1 000- [吸附平衡液浓度] × 吸附残留液质量)/0.25g
式中离子浓度单位均为mmol L⁻¹。

P的吸附实验中, 称取0.25 g上述风干根系片段, 先用1 mmol L⁻¹ NaH₂PO₄溶液进行P吸附量随时间变化的动力学吸附试验, 确定吸附时间为3 h, 之后按照上述吸附过程, 获取吸附平衡液, 采用钼蓝比色法测定P浓度并计算吸附量。

1.3 养分吸收实验

将形成铁膜后的水稻苗置于2/3强度的全营养液(pH为5.5)中培养6 h(NH₄⁺、K⁺和P的浓度为1.0、0.7、0.2 mmol L⁻¹), 培养前后称重并记录营养液重量以获取水分损失量数据。将水稻移出营养液, 测定营养液中NH₄⁺、K⁺和P浓度。用柠檬酸三钠-碳酸氢钠-连二亚硫酸钠(DCB)法提取铁膜, 测定提取液中NH₄⁺、K⁺和P浓度, 结合培养液中NH₄⁺、K⁺和P的浓度, 按照下式计算水稻对N、K的吸收速率以及溶液P的消耗速率、实际P吸收速率、DCB提取液中P含量。提取后的根系与剩余水稻一起于60 °C下烘干、称重, 获取生物量。实验设置Fe0+N、P、K与Fe30+N、P、K, 共6次重复, 有12个处理。铁膜的具体提取步骤为^[24]: 取一株完整的根系, 加入40 ml浓度为0.03 mol L⁻¹的柠檬酸钠(Na₃C₆H₅O₇ · 2H₂O)与0.125 mol L⁻¹的NaHCO₃的混合液, 加入1.0 g Na₂S₂O₄, 25 °C下反应1 h, 提取液过滤至100 ml容量瓶中, 用蒸馏水清洗3次, 一并转移至容量瓶中。

N/K吸收速率或者溶液中P的消耗速率 (mmol kg⁻¹ h⁻¹) = ([吸收母液离子浓度] - [剩余吸收液离子浓度] × 剩余吸收液总体积) / 总生物量/6 h

实际P吸收速率 (mmol kg⁻¹ h⁻¹) = ([吸收母液P浓度] - [剩余吸收液P浓度] × 剩余吸收液总体积 - DCB提取P含量 × 总根重) / 总生物量/6 h

DCB提取P含量 (mmol kg⁻¹) = [DCB提取液中P浓度] × 提取体积/提取根干重

式中离子浓度单位均为mmol L⁻¹, 体积单位为L, 重量单位为kg。

1.4 数据分析

采用SPSS 20.0对实验数据进行独立样本T检验, 确定处理间差异的显著性。

2 结果与讨论

2.1 铁膜对根表电化学性质的影响

CEC的测定结果表明,水稻根表带有净负电荷(表1)。形成铁膜之后,根表在pH为5.8时的阳离子交换量由6.31降为3.49(表1),说明根表面负电荷量降低,正电荷量升高。由流动电位方法获得的根表zeta电位结果与CEC一致,对照和形成铁

膜的根表面zeta电位均为负值,表明根表带净负电荷。形成铁膜之后根表的zeta电位的绝对值减小,说明根表面的负电荷数量减少。氧化铁的电荷零点一般在7~9之间,因此酸性条件下铁膜带净正电荷,这是根表形成铁膜后表面净负电荷减少的主要原因。另一方面,铁膜对根表的物理覆盖作用也使根表面负电荷减少。

表1 水稻根表阳离子交换量和Zeta电位

Table 1 Cation exchangeable capacity and zeta potential of rice roots

处理 Treatment	阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	Zeta电位 Zeta potential (mV)
Fe0	6.31 ± 0.63a	-32.64 ± 1.31b
Fe30	3.49 ± 0.86b	-24.74 ± 0.45a

2.2 铁膜对根表吸附NH₄⁺、K⁺和磷酸根的影响

图1和图2表明,对于以静电吸附机理为主的阳离子,即NH₄⁺和K⁺,随着离子浓度的增加,根表面对阳离子的吸附量亦增大。研究表明,形成铁膜后根表面对NH₄⁺和K⁺的吸附量均有所减小,而且铁膜对根表吸附NH₄⁺和K⁺的抑制作用随着两种阳离子平衡浓度的升高而增加(图1和图2)。铁膜对水稻根表面吸附NH₄⁺和K⁺的抑制作用与铁膜对根表面电化学性质的影响结果一致(表1)。水稻根表面

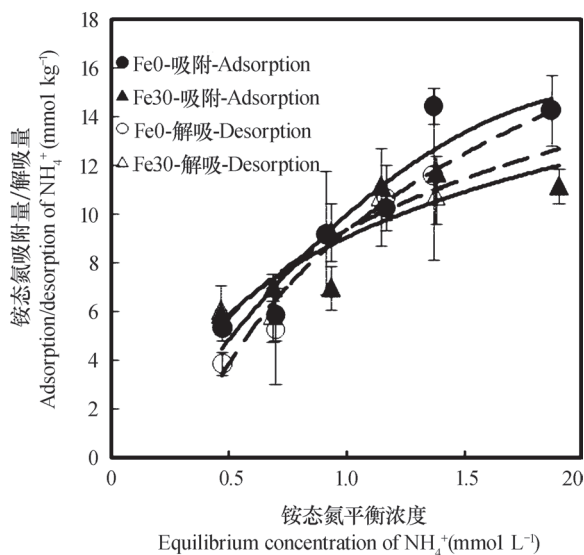


图1 铁膜对水稻根系NH₄⁺吸附和解吸的影响
(吸附实验中溶液pH为5.8~6.0)

Fig. 1 Effect of iron plaque on adsorption and desorption of NH₄⁺ on rice roots (Adsorption solution pH: 5.8~6.0)

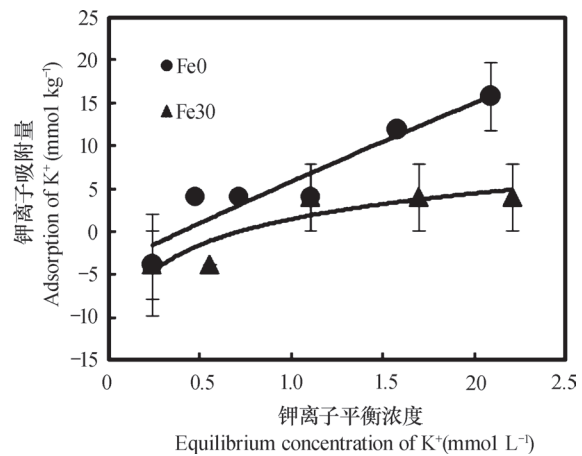


图2 铁膜对水稻根系吸附K⁺的影响
(吸附实验中溶液pH为5.6)

Fig. 2 Effect of iron plaque on adsorption of K⁺ on rice roots
(Adsorption solution pH: 5.6)

形成铁膜后,表面负电荷数量减少,对阳离子的静电吸附位减少,吸附亲和力减弱。

图1中的结果还表明,吸附于根表面的NH₄⁺的绝大部分可被中性盐解吸,这也进一步说明与土壤对NH₄⁺和K⁺的吸附机制相似,植物根表面也主要通过静电机制吸附NH₄⁺和K⁺。因此吸附于根表面的NH₄⁺和K⁺是活性的,它们可以释放至溶液中,也可以随溶液被植物直接吸收。因此,植物根表对阳离子的吸附可以促进植物对养分的吸收,减小养分淋失。

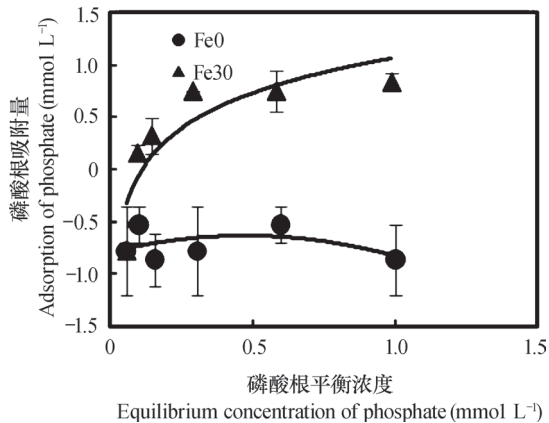


图3 铁膜对水稻根系吸附磷酸根的影响
(吸附实验中溶液pH为5.6~5.8)

Fig. 3 Effect of iron plaque on adsorption of phosphate on rice roots (Adsorption solution pH: 5.6~5.8)

图3结果表明, 未形成铁膜的水稻根对磷酸根没有吸附, 反而有磷酸根释放进入溶液, 但形成铁膜后根表对磷酸根的吸附量显著增加, 这主要因为氧化铁对磷酸根有很高的吸附容量所致。磷酸根在铁氧化物上的吸附以专性吸附或者共沉淀为主^[25], 预实验结果表明, 磷酸根在水稻根表面吸附之后难以

被中性盐解吸, 说明磷酸根在铁膜上的吸附机制与纯氧化铁体系相似, 即以专性吸附和共沉淀为主。

2.3 铁膜对于氮磷钾元素吸收的影响

6 h培养实验结果表明铁膜的形成抑制了水稻根系对 NH_4^+ 和 K^+ 的吸收。相对于未形成铁膜的对照处理, 铁膜使水稻根系对 NH_4^+ 的吸收速率降低21.2%, 对 K^+ 的吸收速率降低42.7% (表2), 这与水稻根对两种阳离子的吸附结果一致 (图1和图2)。由于水稻对于 NH_4^+ 的吸收较多, 故DCB提取液中未检测到铵根离子, 而DCB提取液中 K^+ 含量的大小趋势为 $\text{Fe0} > \text{Fe30}$ (表2)。铁膜可以通过多种机制影响水稻根系对 NH_4^+ 和 K^+ 的吸收。一方面形成铁膜抑制了水稻根表对 NH_4^+ 和 K^+ 的吸附 (图1和图2), 降低了水稻根系对两种养分的吸收; 另一方面, 铁膜可作为覆盖在根表的障碍, 阻碍了水稻对于养分元素的吸收^[26]; 再者, 铁膜的形成可能对根尖造成了伤害, 抑制了元素的吸收。实验结果表明 Fe0 和 Fe30 的1-萘胺氧化量分别为313.4和285.5 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$, 即铁膜的形成降低了根系活力。Chen等^[27]的结果表明, 这种方式形成的铁膜会对水稻根尖造成一定程度的伤害。

表2 铁膜对水稻根系吸收 NH_4^+ 和 K^+ 的影响

Table 2 Effect of iron plaque on NH_4^+ and K^+ uptake by rice roots

处理 Treatment	NH_4^+ 吸收速率 NH_4^+ uptake rate ($\text{mmol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)	DCB提取铁膜中 NH_4^+ NH_4^+ in iron plaque extracted by DCB (mmol kg^{-1})	K^+ 吸收速率 K^+ uptake rate ($\text{mmol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)	DCB提取铁膜中 K^+ K^+ in iron plaque extracted by DCB (mmol kg^{-1})
Fe0	$9.49 \pm 0.15\text{a}$	0	$3.44 \pm 0.05\text{a}$	$32.90 \pm 0.97\text{a}$
Fe30	$7.48 \pm 0.17\text{b}$	0	$1.97 \pm 0.03\text{b}$	$30.56 \pm 0.84\text{a}$

磷酸根在铁氧化物表面主要发生专性吸附或形成共沉淀, 所以, 在DCB提取液中, Fe30 处理中P含量显著高于 Fe0 处理。而在溶液中P的消耗速率上, 铁膜形成后, 溶液中P的减少量要显著高于空白处理。如将溶液中P的消耗速率扣除根表吸附的P, 即P的实际吸收速率, 则可以发现铁膜的存在使P的实际吸收速率下降59.1%, 因此在6 h培养期间铁膜抑制了水稻对于P的吸收 (表3)。铁膜形成后, 根表P吸附比例由68%升高至90%, 远较水稻吸收的P比例高, 因此针对于P的吸收上, 一方面铁膜作为一种吸附剂, 作为屏障, 在短时间内阻

碍了P的吸收; 另一方面, 也不排除根表吸附P的解吸, 因为根系分泌的有机酸如柠檬酸、草酸会将铁氧化物固定的P释放供植物重新吸收利用^[28], 这样铁膜可以作为P的临时储存库, 在植物P缺乏的时候供植物吸收, 这与Zhou等^[29]观察到的铁膜对水稻吸收亚硒酸影响的结果相似。

铁膜对元素吸收的影响既与环境条件有关, 也与铁膜的数量和性质有关, 一般适量铁膜可以促进水生植物对P、Zn等养分的吸收, 但随着铁膜数量增加其对养分和污染物的吸收多表现为抑制作用^[5-7, 11-13]。在本文所示的6 h培养期内, 铁膜抑

表3 铁膜对水稻根系吸收磷酸根的影响

Table 3 Effect of iron plaque on phosphorus uptake by rice roots

处理 Treatment	溶液中P的消耗速率 Depletion rate of P in solution (mmol kg ⁻¹ h ⁻¹)	DCB提取铁膜中P含量 P in iron plaque extracted by DCB (mmol kg ⁻¹)	P的实际吸收速率 P uptake rate (mmol kg ⁻¹ h ⁻¹)	根表P吸附 Percentage of P adsorption (%)	水稻P吸收 Percentage of P uptake (%)
Fe0	0.93 ± 0.02b	11.29 ± 0.35b	0.31 ± 0.01a	68	32
Fe30	1.22 ± 0.02a	20.84 ± 0.21a	0.13 ± 0.01b	90	10

制了水稻根对K⁺、NH₄⁺和P的吸收，但铁膜对这些养分吸收的长期影响还有待进一步研究。

3 结 论

铁膜在根表形成后，增加了根表的正电荷量，相对降低了其负电荷量，导致带铁膜的根表对于静电吸附阳离子吸附量降低。形成的铁膜显著提高了水稻根对磷的吸附量。6 h培养实验结果表明，形成的铁膜抑制了水稻根对NH₄⁺、K⁺和磷酸根的短期吸收。

参 考 文 献

- [1] Armstrong W. Oxygen diffusion from roots of some British bog plants. *Nature*, 1964, 204 (4960): 801—802
- [2] Armstrong W. The oxidizing activity of roots in waterlogged soils. *Physiological Plant*, 1967, 20 (4): 920—926
- [3] Ando T, Yoshida S, Nishiyama I. Nature of oxidizing power of rice roots. *Plant and Soil*, 1983, 72 (1): 52—71
- [4] Emerson D, Weiss J V, Megonigal J P. Iron-oxidizing bacteria are associated with ferric hydroxide precipitates (Fe-plaque) on the roots of wetland plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65 (6): 2758—2761
- [5] 刘文菊, 朱永官. 湿地植物根表的铁锰氧化物膜. *生态学报*, 2005, 25 (2): 358—363. Liu W J, Zhu Y G. Iron and Mn plaques on the surface of roots of wetland plants (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (2): 358—363
- [6] 刘候俊, 张俊伶, 韩晓日, 等. 根表铁膜对元素吸收的效应及其影响因素. *土壤*, 2009, 41 (3): 335—343. Liu H J, Zhang J L, Han X R, et al. Influence of iron plaque on element uptake by plants and its affecting factors (In Chinese). *Soils*, 2009, 41 (3): 335—343
- [7] 傅友强, 于智卫, 蔡昆争, 等. 水稻根表铁膜形成机制及其生态环境效应. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (6): 1527—1534. Fu Y Q, Yu Z W, Cai K Z, et al. Mechanisms of iron plaque formation on root surface of rice plants and their ecological and environmental effects: A review (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16 (6): 1527—1534
- [8] St-Cyr L, Crowder A A. Factors affecting iron plaque on the roots of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Plant and Soil*, 1989, 116 (1/2): 85—93
- [9] Hansel C M, Fendorf S, Sutton S, et al. Characterization of Fe plaque and associated metals on roots of mine-waste impacted aquatic plants. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35 (19): 3863—3868
- [10] Neubauer S C, Tole-Durán G E. Returning to their roots: Iron-oxidizing bacteria enhance short-term plaque formation in the wetland-plant rhizosphere. *Geomicrobiology Journal*, 2007, 24 (1): 65—73
- [11] Zhang X K, Zhang F S, Mao D R. Effect of iron plaque outside roots in nutrient uptake by rice (*Oryza sativa* L.): Zinc uptake by Fe-deficient rice. *Plant and Soil*, 1998, 202 (1/2): 33—39
- [12] Zhang X K, Zhang F S, Mao D R. Effect of iron plaque outside roots in nutrient uptake by rice (*Oryza sativa* L.): Phosphorus uptake. *Plant and Soil*, 1998, 209 (1/2): 187—192
- [13] Xu D F, Xu J M, He Y, et al. Effect of iron plaque formation on phosphorus accumulation and availability in the rhizosphere of wetland plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2009, 200 (1): 79—87
- [14] Chen Z, Zhu Y G, Liu W J, et al. Direct evidence showing the effect of root surface iron plaque on arsenite and arsenate uptake into rice (*Oryza sativa*) roots.

- New Phytologist, 2005, 165 (1): 91—97
- [14] Cheng H, Wang M Y, Wong M H, et al. Does radial oxygen loss and iron plaque formation on roots alter Cd and Pb uptake and distribution in rice plant tissues. *Plant and Soil*, 2014, 375 (1/2): 137—148
- [16] Liu W J, Zhu Y G, Smith F A, et al. Do iron plaque and genotypes affect arsenate uptake and translocation by rice seedlings (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture? *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55 (403): 1707—1713
- [17] Mei X Q, Yang Y, Tam N F Y, et al. Roles of root porosity, radial oxygen loss, Fe plaque formation on nutrient removal and tolerance of wetland plants to domestic wastewater. *Water Research*, 2014, 50 (1): 147—159
- [18] Ye Z H, Baker A J M, Wong A J. Copper and nickel uptake, accumulation and tolerance in *Typhalatifolia* with and without iron plaque on the root surface. *New Phytologist*, 1997, 136 (3): 481—488
- [19] Ye Z H, Baker A J M, Wong M H, et al. Zinc, lead and cadmium accumulation and tolerance in *Typhalatifolia* as affected by iron plaque on the root surface. *Aquatic Botany*, 1998, 61 (1): 55—67
- [20] 毛达如. 植物营养研究方法. 第2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2005. Mao D R. Research methods for plant nutrition (In Chinese). 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2005
- [21] Chamuah G S. Comparison of methods of expression and measurement of cation exchange capacity of plant roots. *Plant and Soil*, 1985, 84 (3): 423—425
- [22] Li Z Y, Li J Y, Liu Y, et al. Measurement of the streaming potential of clay soils from tropical and subtropical regions using self-made apparatus. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 21 (17): 10461—10469
- [23] Li Z Y, Liu Y, Zheng Y Y, et al. Zeta potential at the root surfaces of rice characterized by streaming potential measurements. *Plant and Soil*, 2015, 386 (1): 237—250
- [24] Taylor G J, Growder A A. Use of DCB technique for extraction of hydrous iron oxides from roots of wetland plants. *American Journal of Botany*, 1983, 70 (8): 1254—1257
- [25] Ler A, Stanforth R. Evidence for surface precipitation of phosphate on goethite. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37 (12): 2694—2700
- [26] Howeler R H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physicochemical change in a flooded oxisol. *Soil Science Society of America Proceeding*, 1973, 37 (6): 898—903
- [27] Chen R F, Shen R F, Gu P, et al. Response of rice (*Oryza sativa*) with root surface iron plaque under aluminum stress. *Annals of Botany*, 2006, 98 (2): 389—395
- [28] Johnson S E, Loeppert R H. Role of organic acid in phosphate mobilization from iron oxide. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70 (1): 222—234
- [29] Zhou X B, Shi W M, Zhang L H. Iron plaque outside roots affects selenite uptake by rice seedlings (*Oxyza sativa* L.) grown in solution culture. *Plant and Soil*, 2007, 290 (1/2): 17—28

EFFECT OF IRON PLAQUE ON SURFACE ELECTROCHEMICAL PROPERTIES AND SHORT-TERM N, P AND K UPTAKE BY RICE ROOTS

Zheng Yunyun^{1, 2} Li Zhongyi^{1, 2} Li Jiuyu¹ Xu Renkou^{1†}

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

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

Abstract Effects of iron plaque on surface electrochemical properties of rice roots and adsorption and absorption of NH_4^+ , K^+ and phosphate by the roots were investigated through hydroponic experiments. It was found that the iron plaque formed on rice roots reduced cation exchangeable capacity of the roots and made zeta potential on the roots less negative compared with control, suggesting that the number of negative charges on rice roots became less due to the formation of iron plaque. Iron plaque also inhibited the adsorption of

NH_4^+ and K^+ , but increased the adsorption of phosphate by rice roots. Results of 6-h cultivation experiments showed that iron plaque lowered the uptake rate of NH_4^+ , K^+ and phosphate by rice by 21.1%, 42.7% and 59.1%, respectively, as compared with control. In conclusion, functioning as physical and chemical barrier or temporary repository, iron plaque inhibit short-term uptake of macronutrient elements, like N, P and K, by rice plants.

Key words Rice; Iron plaque; Electrochemical properties; Uptake of N, P and K

(责任编辑: 陈德明)

2015国际土壤年

在2014年12月5日联合国首个“世界土壤日”(World Soil Day)之际,联合国粮食及农业组织(粮农组织)正式启动2015“国际土壤年”(International Year of Soils, IYS)活动,其主题是“健康土壤带来健康生活”。国际土壤年期间,中国土壤学会将陆续举办包括第12届东亚及东南亚土壤学联合会会议等多项活动。

由于城市扩张、毁林、不可持续的土地利用和管理方式、污染、过度放牧和气候变化,我们的土壤正在面临危险。目前的土壤退化速度威胁着满足子孙后代繁衍生息的需求。2015“国际土壤年”的主要目标是提高人们对健康土壤重要性的认识,为保护这一珍贵的自然资源而倡导可持续土壤管理。

据联合国粮农组织估计,全球土壤三分之一出现退化,包括土壤侵蚀、板结、盐渍化、有机质和养分枯竭、酸化、污染和不可持续的土地管理方式引起的其他退化。健康土壤不仅是粮食、纤维、燃料和药品生产和供应的基础,而且在水资源管理和促进碳封存方面发挥着至关重要的作用,使其成为适应和减缓气候变化的战略工具。

土壤环境安全严重影响着我国农产品品质,进而影响生态环境安全和人体健康。尽管在土壤退化方面采取了相应的减缓措施,但由于不合理的耕作管理,导致了我国土壤质量下降,对生态环境造成了严重威胁,因此加强土壤保育与修复关键技术研发,对于我国土壤资源可持续利用,提高粮食增产潜力,保障粮食安全和生态环境安全十分重要。

联合国设定“世界土壤日”和“国际土壤年”,将有助于提高全球对土壤问题的关注,让人们认识到现今土壤及人类所面临的威胁与挑战,提高土壤保护意识。

CONTENTS

Reviews and Comments

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. (475)
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua (488)

Research Articles

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. (498)
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. (506)
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. (515)
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. (526)
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. (536)
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin (546)
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. (556)
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. (565)
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using ¹³C pulse labeling technique Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei (574)
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. (585)
 Residual of applied ¹⁵N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin (595)
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. (605)
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. (618)
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. (527)
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. (635)
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. (645)
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. (653)
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu (663)
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. (671)
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. (681)

Research Notes

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang (689)
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice rootsZheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. (695)
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. (705)
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. (712)

Cover Picture: Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field (by Zhang Zhongbin)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

