

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



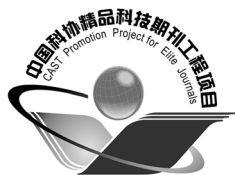
中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第5期

Vol.52 No.5



土 壤 学 报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

目 次

综述与评论

- 基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析 宋长青 谭文峰 (957)
土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应 吴绍华 虞燕娜 朱 江等 (970)

研究论文

- 基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异 李 玲 张少凯 吴克宁等 (979)
皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系 刘莉红 胡雪峰 叶 玮等 (991)
青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 张玉柱 黄春长 庞奖励等 (1002)
基于成像光谱技术预测氮素在土壤剖面中的垂直分布 李 硕 汪善勤 史 舟 (1014)
基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测 王 升 陈洪松 付智勇等 (1024)
淮河流域地表干湿变化的时空分布特征 曹永强 徐 丹 曹 阳 (1031)
神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测 郭明明 王文龙 李建明等 (1044)
砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究 赵 丹 李 毅 冯 浩 (1058)
pH和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响 周鑫斌 于淑慧 谢德体 (1069)
土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性 李 婷 王火焰 陈小琴等 (1078)
生物质灰对红壤酸度的改良效果 时仁勇 李九玉 徐仁扣等 (1088)
小麦秸秆生物炭对高氯代苯的吸附过程与机制研究 李 洋 宋 洋 王 芳等 (1096)
不同温度玉米秸秆生物炭对萘的吸附动力学特征与机理 张 默 贾明云 卞永荣等 (1106)
十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫毒性研究 王赢利 陈建松 阳宇翔等 (1116)
稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响 王 慧 桂 娟 刘满强等 (1124)
沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应 王诚楠 张伟东 王雪峰等 (1135)
土壤团聚体 N_2O 释放与反硝化微生物丰度和组成的关系 周汉昌 张文钊 刘 毅等 (1144)
基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 王 寅 冯国忠 张天山等 (1153)

问题讨论

- 中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题 易 晨 马渝欣 杨金玲等 (1166)

研究简报

- 干旱与重吸水对人工藻结皮光合特性的影响 吴 丽 杨 红 兰书斌等 (1173)
咸水灌溉对沙漠防护林植物根系分布及风沙土演变的影响 李从娟 唐俊妍 高 培等 (1180)
不同 $NaNO_3$ 浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素 张政勤 罗文贱 陈 勇等 (1188)

封面图片: 不同浓度十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫的毒性 (由王赢利提供)

不同 NaNO_3 浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素^{*}

张政勤 罗文贱 陈 勇 杨少海 邹献中[†]

(广东省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业部南方植物营养与肥料重点实验室,
广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广州 510640)

摘 要 研究了江西红壤和昆明铁质砖红壤在去离子水中和在 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 溶液中吸附铜离子后, 依次在包括去离子水在内, 浓度由低到高的 NaNO_3 溶液中解吸时, 铜离子解吸率在不同吸附 pH 段的分配规律。结果表明, 随着吸附 pH 的升高, 可在去离子水中解吸的铜离子解吸率变化规律与在 NaNO_3 溶液中者完全不同。在所研究的吸附 pH 范围内, 大致以吸附 pH 3.7 ~ 4.0 为界, 低于此值时, 吸附性铜离子基本以在去离子水中解吸为主, 反之则基本为交换性解吸。土壤中氧化铁含量和吸附时溶液的 NaNO_3 浓度越高, 则能被交换解吸的铜离子所占总解吸率的比例越低。其原因与不同 pH 段各种铜离子吸附态在不同吸附条件下的比例分配以及解吸对体系 pH 的影响有关。

关键词 可变电荷土壤; 铜离子; 解吸率分配; 连续解吸; NaNO_3 浓度

中图分类号 153.3 **文献标识码** A

广泛分布在亚热带、热带地区的可变电荷土壤, 由于富含氧化铁铝等氧化物, 以及黏土矿物以高岭石为主, 其表面性质与温带地区的恒电荷土壤有很大的不同, 因此其与重金属离子, 如铜离子之间的相互作用也与恒电荷土壤有着较大的差异^[1]。

虽然相对吸附反应, 解吸实验更能反映相关离子对植物的有效性, 但有关重金属离子的解吸研究要少得多^[2]。根据传统土壤化学理论, 被吸附离子通常被分为电性吸附态(交换吸附态)和专性吸附态。但已有研究表明, 在可变电荷土壤以及氧化物中, 还存在一种可在去离子水中解吸的特殊形态^[3-5]。虽然有关其成因等已有初步的结论^[6], 但这部分重金属离子, 是否也同样可被交换解吸尚未有定论。Barrow^[7]认为, 被吸附离子的吸附位置与其浓度有关。从吸附自由能的角度出发, 可以认为, 被吸附离子是基于其吸附自由能的大小, 按结合能从高到低的顺序依次被吸附剂表面吸持。在已往的研究中, 已有研究者进行了单一惰性电解质

连续解吸土壤中吸附性铜离子的研究^[8-9], 但这部分可解吸的重金属离子, 应该可以进一步细分。

由于吸附时离子强度大小必然会影响到被吸附离子自由能大小, 因此, 有关不同支持电解质浓度条件下吸附性铜离子连续解吸的研究将有助于了解吸附时的离子强度变化对可解吸铜离子的形态影响。但目前这方面的研究却很少见文献报道, 而这方面的研究结果, 以及与单一浓度多次解吸结果的比较, 不仅有助于更深入了解不同 pH 段的各形态吸附性离子在整个吸附量中的比例分配等方面的知识, 为有关重金属淋溶、植物有效性等研究提供理论依据, 也有助于更深入了解有关可变电荷表面重金属离子解吸的本质。

鉴于以上的认识, 本工作借鉴有关土壤中重金属离子形态研究所采用的连续性解吸研究方法(SEP), 研究了两种可变电荷土壤在去离子水和 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 溶液中吸附的铜离子连续解吸时, 以不同浓度 NaNO_3 解吸液的条件下, 铜离子解

^{*} 广东省中小企业发展资金项目“农田重金属污染阻控产品的产业化与推广”资助

[†] 通讯作者, E-mail: 121123623@qq.com

作者简介: 张政勤(1964—), 广东省乐昌人, 副研究员, 主要从事植物营养方面研究工作。E-mail: zq64@163.com

收稿日期: 2014-09-30; 收到修改稿日期: 2015-03-02

吸率在不同吸附pH段的分配规律，并与单一浓度NaNO₃条件下多次解吸的结果进行了对比，以更好地了解可变电荷土壤对铜离子的吸附-解吸机理及影响因素。

1 材料与方法

1.1 供试样品

供试土壤为两种氧化铁含量迥异的我国南方的

红壤和铁质砖红壤，分别采自江西进贤县红壤站和云南昆明黑龙潭公园，均为地表以下30~50 cm之间的亚表层土壤。红壤和铁质砖红壤的黏土矿物均以高岭石为主，且均含有大量的氧化铁，均属可变电荷土壤^[10]。土壤样品经风干和过60目筛之后，用电渗析法制成氢、铝质样品^[1]，其基本性质见表1。

1.2 研究方法

称土样1.000 g 于已知重量的酸洗过的100 ml

表1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of soils tested							
土壤	地点	有机质	CEC	游离氧化铁	全铁	pH	黏土矿物组成
Soil	Locality	OM (g kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)	Free Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	Total Fe (g kg ⁻¹)	(KCl ¹⁾ , 1: 2.5)	Clay minerals ²⁾
红壤	江西进贤	4.58	11.07	33.23	39.50	3.78	高岭石、水云母为主，少量蛭石
Ali-Haplic Acrisol	Jinxian, Jiangxi						K, I, V
铁质砖红壤	云南昆明	36.21	16.51	48.83	148.33	3.78	高岭石、三水铝石和赤铁矿
Hyper-Rhodic Ferralsol	Kunming, Yunnan						K, G, H (Go)

1) KCl; 1 mol L⁻¹; 2) G, Gibbsite; Go, Goethite; H, Hematite; I, Hydrous mica; K, Kaolinite; V, Vermiculite.

离心管中，加入已用不同体积0.01 mol L⁻¹ NaOH或0.01 mol L⁻¹ HNO₃溶液调节过pH的去离子水或0.1 mol L⁻¹ NaNO₃溶液18 ml。所加入酸碱量已经过预实验，以保证最终吸附实验完成时，平衡液pH范围在3.0~6.5之间，且样点分布间隔合适。使用小型漩涡仪充分混合土壤悬液，每次10秒钟，共3次。放置平衡12 h后用微量加液器加入2 ml 0.01 mol L⁻¹ Cu (NO₃)₂标准溶液，恒温振荡箱振荡4 h (25℃, 220 r min⁻¹)。吸附平衡后，以3 200 g左右离心力离心4 min，倾出上清液，一部分用玻璃电极法测定pH，一部分用原子光谱吸收法(AAS)测定铜离子浓度。从吸附前后溶液中铜离子的浓度差计算吸附量和吸附率。样品2次重复，吸附率较低部分3次重复。

不同浓度NaNO₃解吸液的依次解吸：将上述含土壤残渣的离心管称重，计算残留于土样中残留液的体积，由残留液体积和铜离子浓度，计算残留量。加入已用适量0.01 mol L⁻¹ NaOH或0.01 mol L⁻¹ HNO₃溶液调节过pH的解吸液，使最终溶液体积为20 ml，且所加入解吸液的初始pH与将被解吸

的土样上次吸附或解吸完成时的平衡液pH基本一致。其后试验过程同吸附试验，根据平衡液体积和铜离子浓度计算出平衡液铜离子总量，减去解吸开始前的铜离子残留量，除以该样点的吸附量而得到该样次的铜离子解吸率。待该次解吸完成后，重复上述过程，直至该浓度解吸液条件下，铜离子最高解吸率低于10%为止，然后换用浓度高一级NaNO₃溶液继续解吸，直至所用解吸液为1 mol L⁻¹ NaNO₃为止。解吸液浓度和解吸次数依次分别为去离子水(3次)、0.01 mol L⁻¹ NaNO₃(3次)(红壤去离子水中吸附者2次)、0.1 mol L⁻¹ NaNO₃(3次)和1mol L⁻¹ NaNO₃(2次)。

单一浓度NaNO₃解吸液的解吸以0.1 mol L⁻¹ NaNO₃和1 mol L⁻¹ NaNO₃为解吸液，对红壤在去离子水中吸附的铜离子进行两次连续解吸，相关实验过程同上。

1.3 数据处理

数据处理采用Excel 2010，作图软件为SigmaPlot 13.0，用平均值绘图。

2 结 果

2.1 pH-铜离子吸附率

图1a是两种可变电荷土壤（江西红壤和昆明铁质砖红壤）在去离子水和 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 溶液中的pH-Cu(II)吸附率曲线。在本文所研究的pH范围（pH3.0~6.3左右）内，土壤对铜离子的吸附率由5%左右迅速增至近100%，所有的pH-Cu(II)吸附率曲线均呈明显的S型。相同pH条件下，铜离

子吸附率大小排列顺序大致为铁质砖红壤（去离子水中吸附）>铁质砖红壤（ $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 中吸附）>红壤（去离子水中吸附）>>红壤（ $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 中吸附）。平衡液pH相同时，红壤在支持电解质为 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 体系中的铜离子吸附率较在去离子水中者明显偏低。这是因为较高支持电解质浓度时，红壤吸附铜离子受到较强的抑制作用的缘故^[11]。

图1b为红壤在去离子水中吸附铜离子时，同一

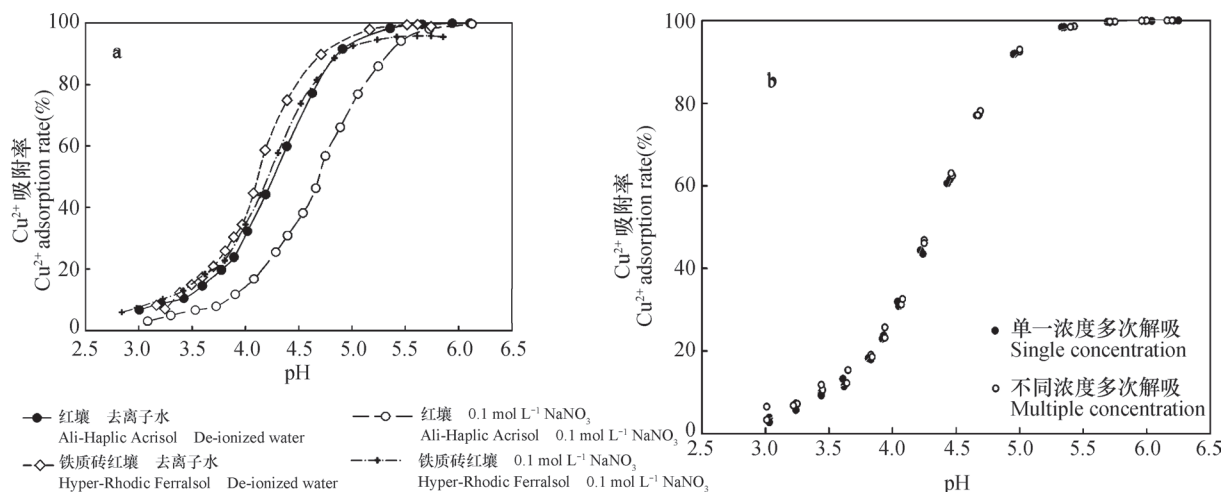


图1 不同NaNO₃浓度条件下可变电荷土壤pH-Cu(II)吸附率曲线及比较

Fig. 1 Curves of pH-Cu(II) adsorption rate in variable charge soils relative to NaNO₃ concentration and comparison

浓度NaNO₃多次解吸与不同浓度NaNO₃多次解吸两者pH-Cu(II)吸附率曲线的比较，从图1b中可以看出，虽然是不同时间所做相同实验条件下的吸附试验，但实验结果具有非常高的重合性。

2.2 吸附性铜离子解吸率的分布

图2~图3为红壤和铁质砖红壤吸附铜离子后，再被浓度从低到高的NaNO₃依次解吸时，各浓度NaNO₃条件下的解吸率统计结果。结果表明，无论吸附时NaNO₃浓度高低，铜离子总解吸率总是随着吸附时平衡液pH（pH_{吸附}）的上升而下降。但其下降趋势与吸附时溶液中NaNO₃的浓度有关，NaNO₃浓度越大，其下降趋势越明显。对于在去离子水中吸附者，在所研究的pH范围内，最少也有超过50%的被吸附铜离子可被解吸，而在 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 中吸附者最低解吸率不超过5%。

从解吸液NaNO₃浓度大小的角度分析，可以发现，去离子水所导致的解吸率变化总是随着pH_{吸附}的升高而下降，当pH_{吸附}升高到一定程度之后，其

解吸率基本为零；而由不同浓度NaNO₃所导致的解吸率，在所研究的pH范围内，随pH吸附的升高，基本均呈先上升后下降的峰型。在不同土壤和不同浓度NaNO₃解吸液条件下，峰值则明显不同。

相同浓度NaNO₃解吸液条件下时，红壤相比铁质砖红壤，其峰型更为明显，且峰值更高。总体而言，不能在去离子水中解吸但可被NaNO₃溶液解吸的部分，则在NaNO₃浓度为 0.1 mol L^{-1} 时达到最高值，其后解吸率下降。

由于在低pH段铜离子的吸附量很少，且残留液中铜离子浓度很高，因此导致在去离子水中的第一次解吸率在低pH段时有一定的误差，从而使在去离子水中的解吸率产生一定的误差。这点以红壤在 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$ 溶液中吸附铜离子者最为明显。

为了更好地对比不同浓度NaNO₃多次解吸与单一浓度NaNO₃多次解吸的效果，我们也使用两种浓度NaNO₃（ 0.1 mol L^{-1} 和 1 mol L^{-1} ）为解吸液，对红壤在去离子水中吸附的铜离子进行了单一浓度多

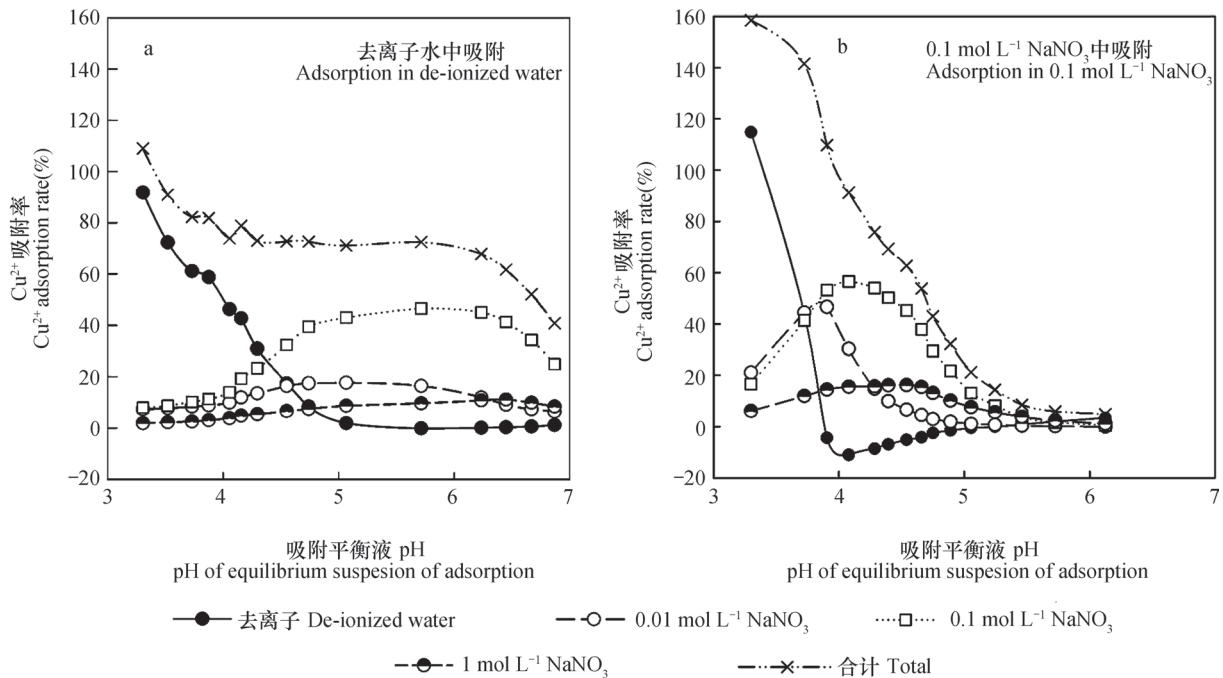


图2 红壤中吸持性铜离子解吸率在不同pH段的分布

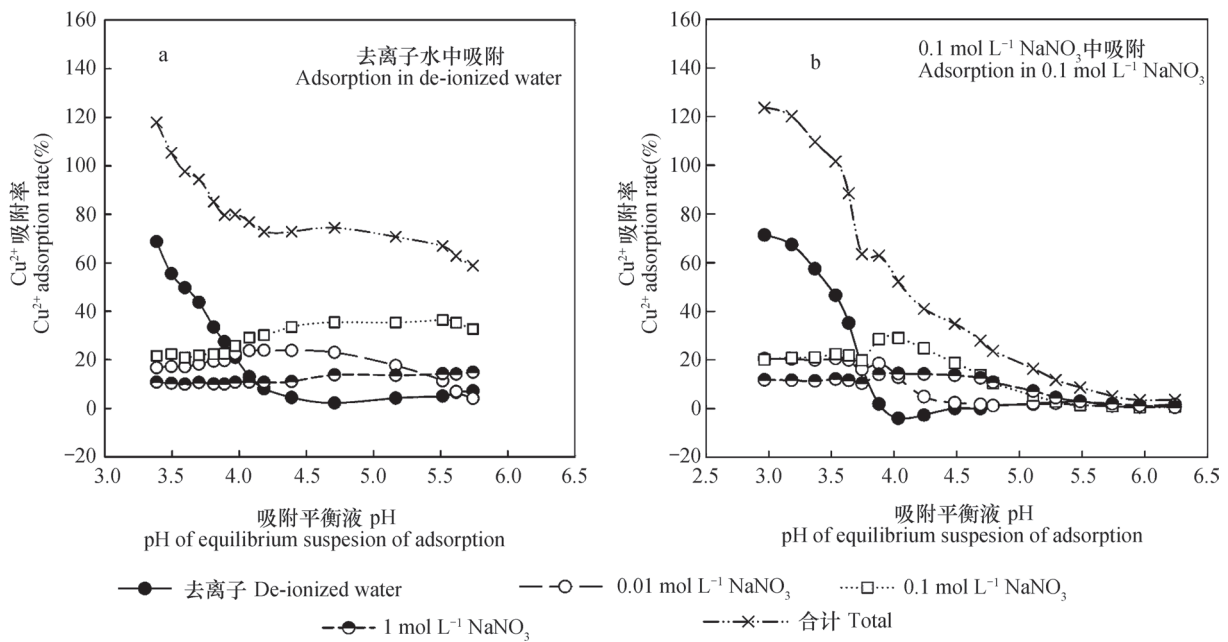
Fig. 2 Distribution of desorption rate of Cu^{2+} adsorbed at different pH by Ali-Haplic Acrisol

图3 铁质砖红壤中吸持性铜离子解吸率在不同pH段的分布

Fig. 3 Distribution of desorption rate of Cu^{2+} adsorbed at different pH by Hyper-Rhodic Ferralsol

次解吸的研究, 实验结果见图4。结果表明, 与图1相比, 当pH吸附大于约4.5之后, 单一浓度多次解吸者铜离子总解吸率与不同浓度 NaNO_3 多次解吸者基本相同; 当pH吸附低于4.5时, 单一浓度多次解吸者铜离子总解吸率稍小于不同浓度者。

3 讨论

就导致吸附原因而言, 土壤中重金属离子的吸附大致可分为两类, 电性吸附和专性吸附。区分两者的主要实验方法就是用一定浓度的惰性电解质

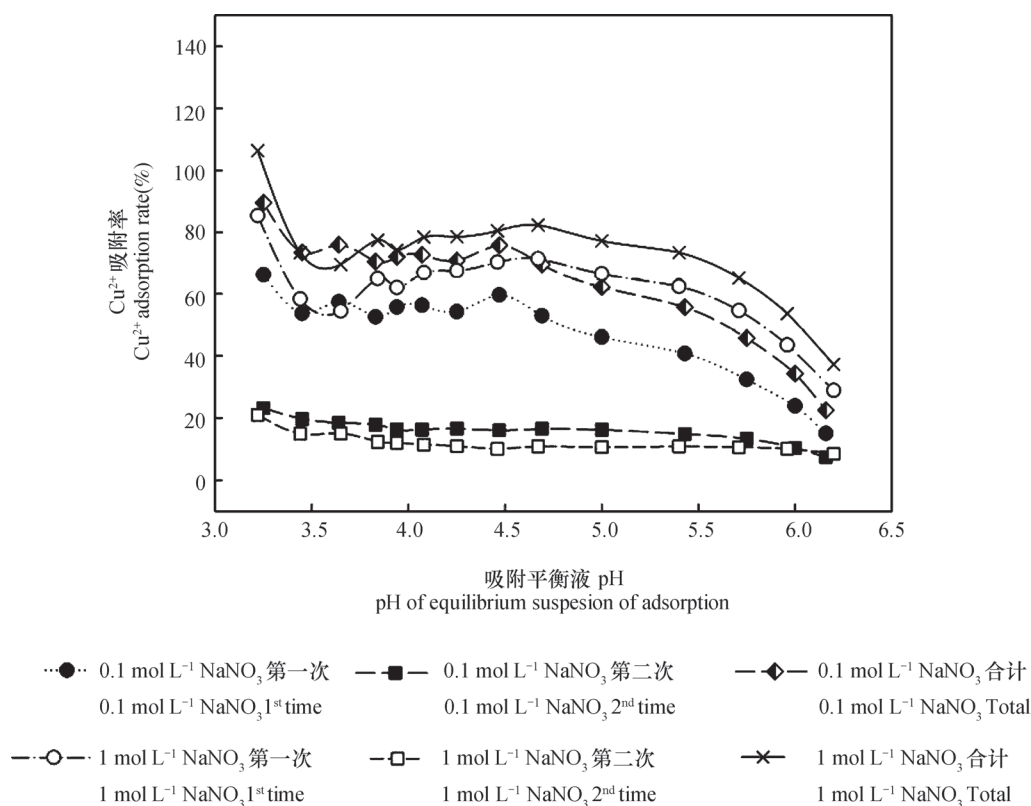


图4 红壤去离子水吸附性铜离子单系列解吸率在不同pH段的分布

Fig. 4 Distribution of single series desorption rate of Cu^{2+} adsorbed in de-ionized water at different pH by Ali-Haplic Acrisol

溶液进行解吸, 能被解吸的部分, 通常被认为属于电性吸附态, 或叫交换态^[12]。由此可见, 在传统土壤化学定义中, 专性吸附态离子的结合能要强于电性吸附态, 而在可变电荷土壤和氧化铁等具有可变电荷表面的物质中, 还可能存在着另一类比较特殊的吸附形态, 即可在去离子水中解吸的部分。有关这一方面的研究, 还处于相当初步的阶段。目前可以证实的是, 这种特殊的吸附形态可在具有可变电荷表面的氧化铁、可变电荷土壤中存在^[4-5]; 我们的实验结果表明, 在高岭石中, 同样存在着这类可在去离子水中解吸的铜离子。导致这一现象的原因应与离子强度对可变电荷表面的表面电位的影响有关。在去离子水中解吸时, 体系离子强度都呈降低趋势, 而离子强度降低将导致表面电位绝对值的增加^[7-13]。当表面电位为正值时, 这将使吸附表面对吸附性铜离子的排斥势增加, 从而导致吸附性铜离子的解吸^[6]。所以在以恒电荷表面为主的恒电荷土壤中, 不存在这种吸附形态^[5]。

根据单一浓度 NaNO_3 多次解吸与不同浓度 NaNO_3 多次解吸的结果对比, 可以初步肯定的是, 可在去离子水中解吸的铜离子, 有部分也可以在

NaNO_3 中解吸, 否则在 $\text{pH}_{\text{吸附}}$ 低于 3.7 ~ 4.0 时, 单一浓度 NaNO_3 多次解吸者的解吸率要远远低于实测值; 但另一方面, 可在去离子水中解吸的铜离子, 又非全部可为 NaNO_3 解吸, 否则两者的总解吸率应该基本一致。虽然关于可在去离子水解吸的铜离子的成因已基本可以肯定, 但其与惰性电解质可解吸的交换态之间的关系还有待进一步研究。

本文中的结果表明, 不可在去离子水中解吸但可被 Na^+ 交换的铜离子 ($\text{Cu}_{\text{交换}}$) 占总吸附量的比例与土壤类型以及吸附时支持电解质浓度有关。总体而言, 土壤中氧化物含量越低, 吸附时支持电解质浓度越低, $\text{Cu}_{\text{交换}}$ 所占比例越大, 反之亦然。从土壤化学中有关吸附的基本原理出发, 可以解释上述这一规律。土壤中氧化物含量越高, 能进行专性吸附的物质也就越多, 非电性吸附铜离子所占比例当然就越高, 相应的 $\text{Cu}_{\text{交换}}$ 的比例也就越低; 吸附时支持电解质浓度越大, 交换吸附就越受抑制, 因此其所占总吸附量的比例也就越低。

本文的实验结果表明, 相比在去离子水中吸附铜离子者, 在 $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{NaNO}_3$ 溶液中吸附铜离子者, 当 $\text{pH}_{\text{吸附}}$ 大于 4.0 左右之后, 专性吸附态所占

比例迅速上升，直至基本所吸附铜离子均不能被解吸，这其中的原因应该一方面是因为随着吸附时支持电解质浓度的增大，专性吸附所占比例有一定的上升，另一方面应该与解吸时pH的变化有着密切关系，对于在去离子水中吸附铜离子者，其每一浓

度NaNO₃溶液中解吸最终完结时，体系pH相对较低，而在0.1 mol L⁻¹ NaNO₃溶液中吸附铜离子者的最终体系pH相对较高（表2），有关这方面的机理还有待进一步研究和深入。

表2 不同NaNO₃浓度下可变电荷土壤吸附的铜离子连续解吸后体系pH的变化

Table 2 Change in pH of the system after successive desorption of Cu (II) adsorbed by variable charge soils under different concentrations of NaNO₃

	去离子水中吸附 Adsorption in de-ionized water				0.1 mol L ⁻¹ NaNO ₃ 中吸附 Adsorption in 0.1 mol L ⁻¹ NaNO ₃			
	pH _{吸附}	pH _a	pH _b	pH _c	pH _{吸附}	pH _a	pH _b	pH _c
红壤	3.17	4.22	4.12	4.08	3.09	4.11	4.05	4.00
Ali-Haplic	3.60	4.37	4.25	4.19	3.90	4.64	4.34	4.25
Acrisol	4.70	4.66	4.39	4.37	4.89	5.59	5.21	5.02
	5.73	5.03	4.58	4.46	6.13	6.30	6.00	5.78
铁质砖红壤	3.00	4.44	4.00	3.98	3.18	4.24	4.17	4.12
Hyper-Rhodic	3.90	4.52	4.30	4.23	3.64	4.42	4.33	4.26
Ferralsol	4.88	4.89	4.55	4.43	4.70	5.47	4.82	4.63
	6.14	5.48	5.07	5.07	5.73	6.68	6.13	5.62

注：pH_a: 0.01 mol L⁻¹ NaNO₃溶液中第三次解吸平衡液pH; pH_b: 0.1 mol L⁻¹ NaNO₃溶液中第三次解吸平衡液pH; pH_c: 1 mol L⁻¹ NaNO₃溶液中第二次解吸平衡液pH
Note: pH_a: pH of the solution, 0.01 mol L⁻¹ in NaNO₃ concentration after a third round of desorption; pH_b: pH of the solution, 0.1 mol L⁻¹ in NaNO₃ concentration after a third round of desorption; pH_c: pH of the solution, 1 mol L⁻¹ in NaNO₃ concentration after a second round of desorption

4 结 论

两种可变电荷土壤在不同浓度NaNO₃中连续解吸的统计结果表明，当吸附pH低于3.7~4.0左右时，土壤所吸附的铜离子基本以能在去离子水中解吸者为主，其解吸率总体趋势为随着pH吸附的升高而单调下降；而当pH_{吸附}高于此值时，能被解吸的吸附性铜离子则基本为交换态，其解吸率总体趋势为随着pH_{吸附}的升高而呈先上升后下降的峰型。土壤中氧化铁含量、吸附时支持电解质浓度大小，均可影响铜离子解吸率大小和在不同pH段的分配规律。

致 谢 本文得到林圣展和陈婷瑶在实验分析方面的大力协助，特此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 邹献中，徐建民，赵安珍，等. 离子强度和pH 对可变电荷土壤与铜离子的相互作用的影响. 土壤学报，2003，40（6）：845—851. Zou X Z, Xu J M, Zhao A Z, et al. Effects of ionic strength and pH on interaction between Cu²⁺ and variable charge soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40（6）：845—851

[2] Paripurnanda L, Aravanamuthu V, Jaya K, et al. Cadmium sorption and desorption in soils: A review. Environmental Science and Technology, 2012, 42: 489—533

[3] 杨少海，陈勇，刘辉，等. 离子强度对铁质砖红壤铜离子连续解吸的影响. 土壤学报，2014，51（6）：1290—1297. Yang S H, Chen Y, Liu H, et al. Effect of ion-strength on successive desorption of copper ions in Hyper-Rhodic Ferralsol (In Chines). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51（6）：1290—1297

- [4] 周代华, 李学垣, 徐凤琳. 电解质浓度对铁、铝氧化物表面解吸重金属离子的影响及原因. 科学通报, 1995, 40 (22) : 2088—2090. Zhou D H, Li X Y, Xu F L. Effect of electrolyte concentration on desorption of heavy metal ions from the surface of Fe, Al oxides and its cause (In Chinese) . Chinese Science Bulletin, 1995, 40 (22) : 2088—2090
- [5] 邹献中, 徐建民, 赵安珍, 等. 可变电荷土壤中铜离子的解吸. 土壤学报, 2004, 41 (1) : 68—73. Zou X Z, Xu J M, Zhao A Z, et al. Desorption of copper ions adsorbed by variable charge soils (In Chinese) . Acta Pedologica Sinica, 2004, 41 (1) : 68—73
- [6] 邹献中, 张超兰, 宁建凤, 等. 不同浓度铜离子土壤的吸附-解吸行为. 土壤学报, 2012, 49 (5) : 892—900. Zou X Z, Zhang C L, Ning J F, et al. Behaviors of copper ions different in concentration in sorption-desorption by soils and existence of weak-specific-adsorption state (In Chinese) . Acta Pedologica Sinica, 2012, 49 (5) : 892—900
- [7] Barrow N J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. Advances in Agronomy, 1985, 38: 183—230
- [8] Yang, J Y, Yang X E, He Z L, et al. Effects of pH, organic acids, and inorganic ions on lead desorption from soils. Environmental Pollution, 2006, 143 (1) : 9—15
- [9] 陈苏, 孙丽娜, 晁雷, 等. 无机离子对镉、铅解吸特征的影响. 生态环境学报, 2008, 17 (1) : 105—108. Chen S, Sun L N, Zhao L, et al. Effects of inorganic anions on the desorption character of cadmium, lead (In Chinese) . Ecology and Environment, 2008, 17 (1) : 105—108
- [10] 于天仁. 绪论//于天仁, 季国亮, 丁昌璞. 可变电荷土壤的电化学. 北京: 科学出版社, 1996: 1—8. Yu T R. Introduction//Yu T R, Ji G L, Ding C P, et al. Electrochemistry of variable charge soils (In Chinese) . Beijing: Science Press, 1996: 1—8
- [11] 于天仁, 孙含元, 张宏. 阳离子的专性吸附//于天仁, 季国亮, 丁昌璞, 等. 可变电荷土壤的电化学. 北京: 科学出版社, 1996: 67—87. Yu T R, Sun H Y, Zhang H. Specific adsorption of cations//Yu T R, Ji G L, Ding C P, et al. Electrochemistry of variable charge soils (In Chinese) . Beijing: Science Press, 1996: 67—87
- [12] 李学垣. 土壤的表面性质//于天仁. 土壤化学原理. 北京: 科学出版社, 1987: 246—324. Li X Y. Surface character of soils//Yu T R. Principle of soil chemistry (In Chinese) . Beijing: Science Press, 1987: 246—324
- [13] Bowden J W, Nagarajah S, Barrow N J, et al. Describing the adsorption of phosphate, citrate and selenite on a variable-charge mineral surface. Australian Journal of Soil Research, 1980, 18: 49—60

DISTRIBUTION OF CU (II) DESORPTION RATE IN VARIABLE CHARGE SOILS RELATIVE TO CONCENTRATIONS OF NaNO_3 AND ITS AFFECTING FACTORS

Zhang Zhengqin Luo Wenjian Chen Yong Yang Shaohai Zou Xianzhong[†]
(Institute of Agricultural Resource and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences

Key Laboratory of Plant and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture,

Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation,

Guangzhou 510640, China)

Abstract An adsorption and desorption test was conducted of two variable charge soils (Ali-Haplic Acrisol from Jiangxi and Hyper-Rhodic Ferralsol from Kunmin of Yunnan) to explore distribution of desorption rates of pre-adsorbed Cu (II) from the soils in NaNO_3 solution relative to concentration of the solution and pH, at which Cu (II) was adsorbed during the pre-adsorption phase. For the test, the soil samples were first put into de-ionized water and $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaNO}_3$, separately, for pre-adsorption of Cu (II) and then into de-ionized water and NaNO_3 solutions varying in concentration gradually from low to high, sequentially, for desorption of Cu (II) . Results show that with rising pH, Cu (II) desorption rate varied sharply with NaNO_3 solution. In de-ionized water, Cu (II) desorption rate declined monotonously with the rise of pH in the Cu (II) pre-adsorption phase; while in NaNO_3 solutions, Cu (II) desorption rate

followed a peak-shaped curve, but the total Cu (II) desorption rate also declined monotonously with the rise of pH in the Cu (II) pre-adsorption phase. The Cu (II) desorption rate was the highest in the solution of 0.1 mol L⁻¹ NaNO₃. In short, desorption rates of the Cu (II) desorbable in de-ionized and in NaNO₃ solutions were distributed mainly in the high and low sections, respectively, of the range of pH studied. Desorption rate of the Cu (II) desorbable in NaNO₃ was closely related to content of ferric oxide in the soils and NaNO₃ concentration in Cu (II) pre-adsorption, so the higher the content of ferric oxide in the soil, or the higher the NaNO₃ concentration in pre-adsorption at pH > 4.0 ~ 4.5, the lower the proportion of Cu (II) desorbed by NaNO₃. The cause of such a phenomena is believed to be associated with the effect of ion-strength, specific weight of exchangeable Cu (II) relative to adsorption condition and the effect of desorption on pH of the system. Besides, comparison was also made between sequential desorption in solutions constant in NaNO₃ concentration and that in solutions varying in NaNO₃ concentration.

Key words Variable charge soil; Copper ions; Distribution of desorption rate; Continuous desorption; NaNO₃ concentration

(责任编辑：汪枫生)

CONTENTS

Reviews and Comments

- The historical venation of soil science in the past 30 years—Based on the bibliometric analysis Song Changqing, Tan Wenfeng (968)
- Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization Wu Shaohua, Yu Yanna, Zhu Jiang, et al. (977)

Research Articles

- Analysis on spatial-temporal variability of soil organic matter in Henan Province based on Soil Taxonomy Li Ling, Zhang Shaokai, Wu Kening, et al. (989)
- Relationship between illite crystallinity (IC) value and weathering degree of Quaternary Red Clay in southern Anhui Province, Southeast China Liu Lihong, Hu Xuefeng, Ye Wei, et al. (1000)
- Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. (1013)
- Prediction of vertical distribution of soil nitrogen content in soil profile using spectral imaging technique Li Shuo, Wang Shanqin, Shi Zhou (1022)
- Estimation of thickness of soil layer on typical karst hillslopes using a ground penetrating radar Wang Sheng, Chen Hongsong, Fu Zhiyong, et al. (1030)
- Spatio-temporal distribution of dry-wet alteration in surface soil layer of the Huaihe River Basin Cao Yongqiang, Xu Dan, Cao Yang (1042)
- Erosion on dunes of overburden and waste slag in Shenfu coalfield and prediction Guo Mingming, Wang Wenlong, Li Jianming, et al. (1056)
- Dynamics of soil water evaporation from soil mulched with sand-gravels in stripe Zhao Dan, Li Yi, Feng Hao (1067)
- Effect of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil Zhou Xinbin, Yu Shuhui, Xie Deti (1076)
- Release kinetics and bioavailability of nonexchangeable potassium in soil Li Ting, Wang Huoyan, Chen Xiaoqin, et al. (1086)
- Effects of bio-ash ameliorating red soil in acidity Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou, et al. (1095)
- Effect of wheat straw biochar on high chlorinated benzene sorption process and mechanism Li Yang, Song Yang, Wang Fang, et al. (1104)
- Sorption kinetics and mechanism of naphthalene on corn-stalk-derived biochar with different pyrolysis temperature Zhang Mo, Jia Mingyun, Bian Yongrong, et al. (1114)
- Toxicity of deca-brominated diphenyl ether to *Caenorhabditis elegans* Wang Yingli, Chen Jiansong, Yang Yuxiang, et al. (1122)
- Effects of clover and straw decomposition on soil microfaunal community Wang Hui, Gui Juan, Liu Manqiang, et al. (1133)
- Response of soil nematodes to soil salinization induced by seawater intrusion in coastal areas Wang Chengnan, Zhang Weidong, Wang Xuefeng, et al. (1142)
- Relationships of N₂O emission with abundance and composition of denitrifying microorganisms in soil aggregates Zhou Hanchang, Zhang Wenzhao, Liu Yi, et al. (1151)
- Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit Wang Yin, Feng Guozhong, Zhang Tianshan, et al. (1164)

Communications and Comments

- Status quo and problems in setting-up and naming of basic taxon-Soil family in Chinese Soil Taxonomy Yi Chen, Ma Yuxin, Yang Jinling, et al. (1172)

Research Notes

- Effects of drought and rehydration on photosynthetic characteristics of artificial algal crusts Wu Li, Yang Hong, Lan Shubin, et al. (1179)
- Effect of irrigation with saline water on plant root distribution and evolution of aeolian sandy soil in shelterbelts along desert highways Li Congjuan, Tang Junyan, Gao Pei, et al. (1186)
- Distribution of Cu (II) desorption rate in variable charge soils relative to concentrations of NaNO₃ and its affecting factors Zhang Zhengqin, Luo Wenjian, Chen Yong, et al. (1194)

Cover Picture: Toxicity of deca-brominated diphenyl ether (BDE-209) to *Caenorhabditis elegans* (by Wang Yingli)

《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 5 期 2015 年 9 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 5 Sep., 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



9 770564 392156