

黄褐土根际土壤表面电荷特征及对 Cu^{2+} 的吸附*

王 朴 胡红青[†] 刘 凡 李学垣

(华中农业大学农业部亚热带农业资源与环境重点实验室, 武汉 430070)

RHIZOSPHERIC SOIL SURFACE CHARGE CHARACTERISTICS OF YELLOW CINNAMON SOIL AND Cu^{2+} ADSORPTION

Wang Pu Hu Hongqing[†] Liu Fan Li Xueyuan

(Key Laboratory of Subtropical Agricultural Resource and Environment, MOA, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

关键词 表面电荷; 黄褐土; 根际; 铜吸附
中图分类号 S153 文献标识码 A

根际一般指绕根面 1~ 2mm, 性质受根分泌物影响的薄层土壤, 是植物摄取养分的主要区域, 已日趋受到人们的重视^[1]。根际土壤环境在土壤体系中较为独特, 它与本体土壤(非根际土壤)在物理、化学及生物化学性质等方面都有较大的差异^[2~4]。

根据土壤的表面电荷特征和表面化学行为, 可将土壤表面划分为二种类型, 即恒电荷表面和可变电荷表面, 土壤表面带有电荷是土壤具有众多理化性质的根本原因^[5,6], 了解土壤表面电荷性质对于土壤发生分类、改良利用以及污染控制等都有非常重要的参考价值^[7]。于天仁等^[8]系统地研究了可变电荷土壤的电化学特征, 但关于温带土壤胶体表面的电化学特征尚缺乏系统研究。

重金属元素在土壤中的迁移转化及其对植物的有效性和毒性都与土壤胶体的吸附性能有密切关系^[9]。研究土壤对 Cu^{2+} 的吸附特征, 不仅有助于阐明土壤中 Cu^{2+} 的移动及植物有效性, 从而因地制宜地合理施用微肥, 而且可为制定土壤对 Cu^{2+} 环境容量, 防治 Cu^{2+} 污染等提供理论依据^[10]。

本研究以典型的恒电荷土壤黄褐土为材料, 通过盆栽试验获得玉米、小麦和油菜等作物的根际土及非根际土, 对它们的表面电荷量及其对 Cu^{2+} 吸附进行测定, 讨论其表面电荷性质的特点, 旨在揭示根

际效应对黄褐土表面电化学性质的影响, 为土壤管理、施肥、污染防治和改良利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品

供试黄褐土采自湖北枣阳, 取样深度 0~ 20 cm。取部分风干磨碎分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛, 供土壤基本性质测定, 其余土壤磨细过 2 mm 筛作盆栽试验用。土壤的理化性质为: 土壤有机质 20.73 g kg^{-1} , 碱解氮 17.10 mg kg^{-1} , 有效磷 2.16 mg kg^{-1} , pH(H_2O) 6.60, 阳离子交换量 20.50 cmol kg^{-1} , 粘粒矿物主要有水云母(75%)、高岭石(20%)和蛭石(4%)。

1.2 盆栽试验

采用根垫法进行模拟试验, 根垫装置为截面直径 25 cm 的圆盆, 由 32 μm 孔径尼龙纱网使土壤分隔成上、中、下三部分(图 1), 三层土壤分别厚 1 cm、3 cm 和 6 cm。将发芽后的玉米、小麦和油菜种子播入上层土壤中, 使幼苗紧密排列以确保根际土壤中最大根系密度。每个处理设 3 次重复, 作物生长过程中保持水分含量为 40% 田间持水量。生长 45 d 后将盆中上、中、下三部分各层倒出, 分别为根际、近

* 国家自然科学基金项目(40371065)资助

† 通讯作者, E-mail: hqhu@mail.hzau.edu.cn

作者简介: 王 朴(1979-), 男, 湖北荆州人, 硕士, 主要从事土壤环境化学方面研究

收稿日期: 2006-01-26; 收到修改稿日期: 2006-05-25

根际和非根际土壤, 风干, 磨碎过 1 mm 和 0.25 mm 筛备用。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤电荷量的测定——Mehlich 法^[11] 分别用 $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$ 缓冲溶液和 HCl 淋洗使土壤表面被 Ba^{2+} 或 H^+ 饱和, 然后用蒸馏水淋洗。最后用 CaCl_2 溶液交换, 加 K_2CrO_4 溶液使 Ba^{2+} 沉淀、烘干。用 HCl 溶液将沉淀溶解, 摇匀后测定 Ba^{2+} 的浓度, 计算土壤 pH 8.2 时负电荷量 ($\text{CEC}_{8.2}$) 和永久负电荷量 (CEC_p), 土壤可变负电荷量 CEC_v 为两者的差值。

1.3.2 铜吸附等温线的测定 以 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 配制铜离子浓度为 $0\sim 5\text{ mmol L}^{-1}$ 系列溶液。向含有 0.5 g 土样的离心管中, 分别加入含 Cu^{2+} 溶液 10 ml, 在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温条件下振荡 4 h, 平衡后离心分离, 原子吸收光谱法测定上清液中 Cu^{2+} 浓度, 据加入液和平衡液浓度差值计算吸附量。

用 Excel 2000 软件对数据进行统计分析。

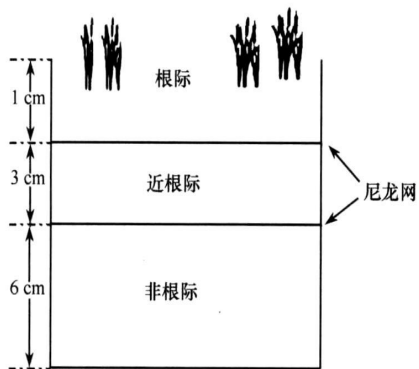


图 1 根垫法装置示意图

2 结果与分析

2.1 黄褐土电荷量

由表 1 可见, 供试黄褐土种植玉米、小麦和油菜后, $\text{CEC}_{8.2}$ 、 CEC_v 和 $\text{CEC}_v/\text{CEC}_{8.2}$ 均有一定的变化, 而 CEC_p 变化不大, 为 $18.23\sim 18.81\text{ cmol kg}^{-1}$, 受根系影响很小, 不同作物间无显著变化, 而根际土壤的 $\text{CEC}_{8.2}$ 、 CEC_v 和 $\text{CEC}_v/\text{CEC}_{8.2}$ 均较非根际土壤高, 这是因为永久负电荷大小主要取决于土壤中粘土矿物组成及粘粒含量^[11]。由于根际效应的影响, 根际土 $\text{CEC}_{8.2}$ 为 $24.99\sim 25.85\text{ cmol kg}^{-1}$, 非根际土 $\text{CEC}_{8.2}$ 为 $22.78\sim 23.63\text{ cmol kg}^{-1}$ (表 1), 玉米、小麦和油菜的根际土的 $\text{CEC}_{8.2}$ 较非根际土分别高 2.51 cmol kg^{-1} 、 2.21 cmol kg^{-1} 和 1.82 cmol kg^{-1} , 增加 10.8% 、 9.7%

和 7.7% , 差异均达到显著水平。

黄褐土种植玉米、小麦和油菜后, CEC_v 在 $4.12\sim 7.22\text{ cmol kg}^{-1}$ 之间 (表 1), 玉米、小麦和油菜的根际土较非根际土分别高 2.45 cmol kg^{-1} 、 2.33 cmol kg^{-1} 和 1.99 cmol kg^{-1} , 增幅达 53.4% 、 56.6% 和 38.0% , 三种作物根际土壤与非根际土壤之间差异显著。 $\text{CEC}_v/\text{CEC}_{8.2}$ 在根际土中为 $0.26\sim 0.28$, 非根际土中为 $0.18\sim 0.22$, 玉米、小麦和油菜的根际土较非根际土分别高 35.0% 、 44.4% 和 27.23% , 种植玉米和小麦后根际土与非根际土之间差异极显著, 种植油菜根际土与非根际土之间差异显著 (表 1)。

表 1 黄褐土表面电荷量 (cmol kg^{-1})

作物	土壤	$\text{CEC}_{8.2}$	CEC_p	CEC_v	$\text{CEC}_v/\text{CEC}_{8.2}$
玉米	根际土	25.85 a A	18.81 a A	7.04 a A	0.27 a A
	非根际土	23.34 b A	18.75 a A	4.59 b B	0.20 b B
小麦	根际土	24.99 a A	18.54 a A	6.45 a A	0.26 a A
	非根际土	22.78 b A	18.66 a A	4.12 b B	0.18 b B
油菜	根际土	25.45 a A	18.23 a A	7.22 a A	0.28 a A
	非根际土	23.63 b A	18.40 a A	5.23 b A	0.22 b A

注: 每列中不同大、小写字母表示差异达到 1% 和 5% 显著水平

根际土壤中 $\text{CEC}_{8.2}$ 的大小因种植作物类型而变化的顺序为: 玉米 > 油菜 > 小麦; CEC_v 在 $6.45\sim 7.22\text{ cmol kg}^{-1}$ 之间, 大小顺序与 $\text{CEC}_{8.2}$ 一致, 差异均不显著。土壤中的有机质、氧化物、粘土矿物的边面都可提供一定数量的可变负电荷^[11]。由于植物的吸收和根分泌使根际土壤理化和生物学性质与非根际土壤有显著差异^[12], 根际土壤性质变化会引起土壤有机质含量、组成等方面的变化^[13], 从而使根际土壤与非根际土壤、不同作物根际土壤之间 CEC_v 发生变化。

2.2 黄褐土对 Cu^{2+} 吸附

供试土壤的 Cu^{2+} 吸附量均随平衡液 Cu^{2+} 浓度增加而增大。在浓度较低时, 吸附量随浓度变化较快, 吸附曲线较陡; 随浓度进一步增大, 吸附量随浓度变化减慢, 曲线渐趋平缓 (图 2)。

从图 2A 可以看出, 在低浓度 ($\leq 0.5\text{ mmol L}^{-1}$) 时, 玉米根际土和非根际土吸附 Cu^{2+} 量基本相同, 因为在低浓度时, 加入 Cu^{2+} 大部分被土壤吸附; 在 Cu^{2+} 浓度大于 1.0 mmol L^{-1} 时, 随浓度增大, 玉米根际土与非根际土吸附 Cu^{2+} 量增长趋势为: 根际土 Cu^{2+} 吸附量由 1.243 mg kg^{-1} (加入浓度为 1 mmol L^{-1}) 增加至 4.588 mg kg^{-1} (加入浓度为 5 mmol L^{-1}), 非根际

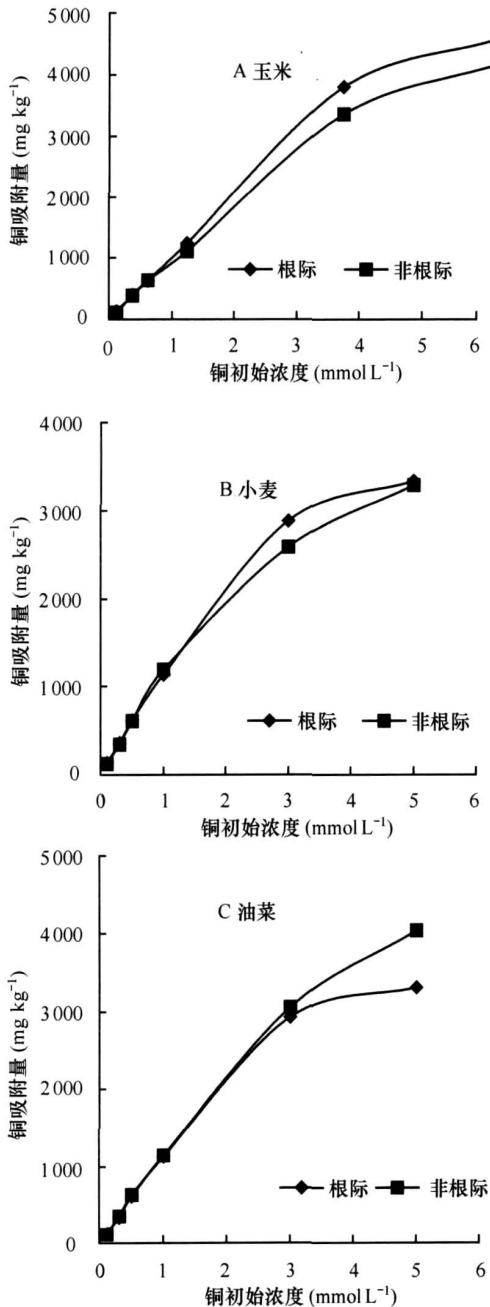


图2 黄褐土对 Cu^{2+} 的等温吸附曲线

土 Cu^{2+} 吸附量由 1109 mg kg^{-1} (加入浓度为 1 mmol L^{-1}) 增加至 4179 mg kg^{-1} (加入浓度为 5 mmol L^{-1})。根际土与非根际土 Cu^{2+} 吸附量的差值随初始浓度增大而增大, 最大达到 400 mg kg^{-1} 。

从图2B可知, 在低浓度 ($\leq 0.5 \text{ mmol L}^{-1}$) 时, 小麦根际土与非根际土 Cu^{2+} 吸附量的变化趋势与图2A相似, 在 Cu^{2+} 初始浓度大于 1.0 mmol L^{-1} 时, 根际土 Cu^{2+} 吸附量逐渐高于非根际土壤, 在 Cu^{2+} 初始浓度为 3.0 mmol L^{-1} 时, 差值达到最大, 为 300

mg kg^{-1} , 随后小麦根际土 Cu^{2+} 吸附量增长变缓。

从图2C可见, 在低浓度 ($\leq 0.5 \text{ mmol L}^{-1}$) 时, 油菜根际土和非根际土与前二者相似, 进而证明在低浓度 Cu^{2+} 存在时, 根际土与非根际土 Cu^{2+} 吸附量无差别。在 Cu^{2+} 初始浓度增加时, 油菜非根际土较根际土增长快, 根际土 Cu^{2+} 吸附量较非根际土小, 在加入 Cu^{2+} 浓度为 5.0 mmol L^{-1} 时差值达到最大, 为 700 mg kg^{-1} 。这一变化趋势与种植玉米和小麦的根际土与非根际土不同, 说明作物生长过程中, 由于有机质、养分及作物根分泌的有机酸形态与分布、迁移与转化、有效性与累积等差异, 会影响土壤吸附 Cu^{2+} 量^[14], 作用机理有待研究。

当 Cu^{2+} 初始浓度相同时, 种植不同作物根际土对 Cu^{2+} 的吸附量的大小顺序依次为: 玉米 (4588 mg kg^{-1}) > 油菜 (3346 mg kg^{-1}) > 小麦 (3314 mg kg^{-1}), 与本文前部分测定的根际土 $\text{CEC}_{8.2}$ 变化趋势相符, 证实了根际效应对土壤负电荷量和 Cu^{2+} 吸附量的影响是一致的。

3 结 论

黄褐土种植作物后, 由于根际效应的存在, 根际土壤与非根际土壤 $\text{CEC}_{8.2}$ 和 $\text{CEC}_v / \text{CEC}_{8.2}$ 相比发生一定的改变, 根际土壤 $\text{CEC}_{8.2}$ 因种植作物类型不同变化顺序为: 玉米 > 油菜 > 小麦, 改变趋势与作物和土壤基本性质有一定的关系。供试土壤 Cu^{2+} 吸附量在不同作物的非根际土壤之间变化不大, 根际土壤中则呈现玉米 > 油菜 > 小麦的趋势, 与根际土壤 $\text{CEC}_{8.2}$ 结果大小顺序一致。

参 考 文 献

- [1] 刘芷宇. 根际微域环境的研究. 土壤, 1993, 25(5): 225~ 230
- [2] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. Biogeochem., 2000, 48: 115~ 146
- [3] Steer J, Harris J A. Shifts in the microbial community in rhizosphere and non rhizosphere soil during the growth of *Agrostis stolonifera*. Soil Biol. Biochem., 2000, 32: 869~ 878
- [4] Strom L. Root exudation of organic acids: Importance to nutrient availability and the calcifuge and calcicole behavior of plants. Oikos, 1997, 80: 459~ 466
- [5] 吴金明, 刘永红, 李学垣, 等. 我国几种地带性土壤无机胶体的表面电荷特性. 土壤学报, 2002, 39(2): 177~ 183
- [6] 于天仁. 我国农业持续发展和生态环境中重大土壤问题的化学机理研究建议. 土壤, 2001, 33(3): 119~ 122

- [7] 杨兴伦, 李航. 三种紫色土表面电荷性质的研究. 土壤学报, 2004, 41(4): 577~ 583
- [8] 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. 35~ 165
- [9] 王建林, 刘芷宇. 重金属在根际中的化学行为 I . 土壤中铜吸附的根际效应. 环境科学学报, 1991, 11(2): 178~ 186
- [10] 徐明岗, 季国亮. 恒电荷土壤及可变电荷土壤与离子间相互作用的研究 III. Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 的吸附特征. 土壤学报, 2005, 42(2): 225~ 231
- [11] 刘东碧, 贺纪正, 刘凡, 等. 中南地区几种土壤的表面电荷特征 III. 土壤的电荷量、电荷零点(PZC)和净电荷零点(PZNC). 土壤学报, 1999, 36(3): 361~ 368
- [12] Curk E A, Truelove B. The Rhizosphere. Berlin Heidelberg, Germany: Springer Verlag, 1986
- [13] Chen Y L, Guo Y Q, Han S J, *et al.* Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. Journal of Forestry Research, 2002, 13(2): 115~ 118
- [14] 胡红青, 刘华良, 贺纪正. 几种有机酸对恒电荷和可变电荷土壤吸附 Cu^{2+} 的影响. 土壤学报, 2005, 42(2): 232~ 237