

玉米根分泌物对喀斯特地区土壤吸附磷的影响

黄承玲^{1,2}, 陈训³, 范成五⁴

(1. 贵州省植物园, 贵州贵阳 550004; 2. 贵州大学, 贵州贵阳 550005; 3. 贵州省科学院, 贵州贵阳 550002; 4. 贵州省农业科学院, 贵州贵阳 550008)

摘要 磷是作物生长发育的必要养分, 喀斯特地区的土壤中碳酸钙是主要的磷吸附基质, 使得喀斯特土壤中可利用的磷含量低。农作物根分泌物在活化磷的过程中起重要作用。利用平衡法模拟喀斯特地区土壤在有根分泌物存在时的磷吸附反应。结果表明, 玉米根分泌物能抑制土壤对磷的吸附, 即使得土壤中可供作物利用的磷增加。土壤对磷的等温吸附反应能被 Freundlich 方程很好地拟合, 拟二级速率方程是描述土壤对磷的吸附动力学的最优方程。

关键词 玉米根分泌物; 喀斯特地区土壤; 磷; 吸附

中图分类号 S154.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2008)26-11453-03

Effects of Root Exudates of Maize on the Adsorption of Phosphorus in Soil of Karst Area

HUANG Cheng-ling et al (Guizhou Botanical Garden, Guiyang, Guizhou 550004)

Abstract Phosphorus is the necessary nutrient in growing process of crop. Calcium carbonate in soil is the primary adsorption material in karst area, therefore, the concentration of available phosphorus in the soil is low. The root exudates of crop played an important role in the process of phosphorus mobilization. The balance method was used to simulate the adsorption reaction of phosphorus in karst soil under the existing of root exudates. Result showed that root exudates of maize could restrain the phosphorus adsorption in karst soil, and the concentration of available phosphorus increased. Langmuir equation and Freundlich equation could describe phosphorus adsorption in karst soil, and Freundlich equation was better. Imitating secondary velocity equation was the best equation to describe the adsorption kinetics of phosphorus by soils.

Key words Root exudates of maize; Soil in karst area; Phosphorus; Adsorption

贵州属典型的喀斯特地貌, 土壤石漠化严重, 导致土壤中可供植物利用的氮、磷、钾含量低, 土壤生产力低下, 不易保水保肥, 是约束当地农业发展和农民生活的根本问题之一。磷是农业生产的重要物质保证, 土壤是植物营养的主要来源^[1]。在缺磷严重的地区人为施入磷肥来补充磷是常见的手段, 但化学磷肥施入土壤后磷的生物有效性还是特别低, 在喀斯特地区的石灰性土壤上尤为突出, 其主要原因就是土壤有强大的固磷能力^[2], 其中碳酸钙是主要的磷吸附基质。另一方面, 有相关研究表明, 生长在土壤上的植物根系分泌的有机酸能增加土壤中磷肥的有效性, 促进土壤中难溶性磷的释放^[3-4], 根分泌的有机酸活化土壤磷素的可能机制包括以下途径: ①有机酸与磷酸根之间竞争络合位点, 降低土壤对磷酸根的吸附; ②吸附剂表面电荷的变化; ③酸溶解作用; ④消除土壤磷吸附位点; ⑤有机酸/有机阴离子与诸如 Fe、Al 和 Ca 等金属间的络合反应, 造成含磷化合物的溶解, 从而活化土壤中的磷^[5-7]。而以往的研究都集中在非喀斯特地区的土壤^[8-10], 因此, 研究根系分泌物对喀斯特地区土壤吸附磷的影响, 对指导喀斯特地区农业生产中磷肥的有效施用有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试土壤和植物。 试验用土壤采自贵州省农业科学院内试验用地表层。土壤为黄壤, 基本理化性质为有机质含量 33.97 g/kg, 全磷 1.03 g/kg, 全氮 1.89 g/kg, 全钾 13.27 g/kg, 有效磷 282.46 mg/kg, pH 值为 6.95。土壤基本理化性质均根据中国农业科技出版社出版的鲁如坤主编的《土壤农业化学分析方法》一书中的方法测定。其中 pH 值为水土比 5:1, pH 电极测定; 有效磷用 Olsen-P 法测定。试验用的植物

材料为种子市场上购买的玉米种子。

1.1.2 根分泌物的收集。 将在市场上购买的玉米种子播种于花盆中, 用珍珠岩为培养基质。将花盆放于人工气候箱中培养。温度设为 20 ℃, 光照时间设为 14 h, 湿度为 80%。每 3 d 浇 1 次水。待玉米幼苗长出真叶时即用来提取根分泌物: 将长出真叶的幼苗小心从盆中取出, 用清水洗净根表面的珍珠岩, 再用去离子冲洗根部 3 次。然后将根部完整, 大小一致的幼苗每 100 株放入装有 2 L 0.01 mmol/L 的 CaCl₂ 溶液的容器中。将容器置于光照环境中 6 h, 用充气泵向溶液中通气。6 h 后将已含有根分泌物的溶液通过 0.45 μm 的滤膜抽滤后放入 4 ℃ 的冰箱冷藏保存。

1.1.3 供试试剂。 试验中所用的 KH₂PO₄ 为分析纯。

1.2 方法 该试验采用批量吸附试验。分别称取 0.1 g 黄壤置于 50 ml 离心管中, 加入的含 H₂PO₄⁻ 的溶液 10 ml, 然后再加入 10 ml 含有根分泌物的水溶液, 调节初始 pH 值为 5.5。将离心管放入恒温气浴振荡箱中 25 ℃ 下振荡 4 h, 平衡后离心, 用钼锑抗比色法测定上清液中的 H₂PO₄⁻ 含量。然后用蒸馏水作对照试验。作等温吸附时加入的 H₂PO₄⁻ 的溶液浓度分别为 3, 6, 12, 24, 48 mg/L; 作根分泌物浓度对土壤吸附磷的影响时, 根分泌物原液分别稀释 2 倍和 4 倍, 此时的 H₂PO₄⁻ 的溶液浓度为 12 mg/L; 作吸附动力学试验时将取样时间定为 5, 10, 30, 60, 120, 180, 240 min。

在描述等温吸附时常用 Langmuir 方程和 Freundlich 方程来进行拟合。Langmuir 方程: $C_e/Q_e = C_e/Q_m + Q_m/b$, 其中 Q_e 为平衡吸附量 (mg/g); C_e 为 Cd 平衡浓度 (mg/g); Q_m 为最大吸附量, 是个容量因子, 反映土壤磷库的大小, 只有土壤磷库到一定程度时才能对作物供磷; b 为吸附反应常数, 是土壤吸附磷的能力大小的一个重要参数, b 越大表明吸附能力越强, 土壤供磷能力越弱。 $b \cdot Q_m$ 为最大缓冲容量, 是综合磷吸附强度和容量因子的一个参数, 表明土壤吸附磷和供磷的特征。 Freundlich 方程: $\lg Q_e = 1/n \lg C_e + \lg K$, 其中 Q_e

作者简介 黄承玲 (1977 -), 女, 贵州大方人, 在读博士, 助理研究员, 从事森林培育、植物引种驯化的研究工作。

收稿日期 2008-06-17

为平衡吸附量(mg/g); C_e 为 Cd 平衡浓度; $1/n$ 为吸附指数, $1/n$ 在 0.1~0.5 表示吸附易进行,即 $1/n$ 越小,表示吸附越易进行。

动力学试验研究的是吸附解吸过程的快慢问题,将所计算的各时间点磷吸附量和相应的时间用拟二级速率方程、双常数方程、抛物线方程和 Elovich 方程分别进行拟合^[11]。拟二级速率方程: $t/Q_t = 1/KQ_e^2 + t/Q_e$,其中 t 为取样的时间(min); Q_t 为 t 时的磷吸附量(mg/g); Q_e 为平衡吸附量(mg/g); K 为速率常数。Elovich 方程: $Q_t = a + K_e \ln t$,其中 Q_t 为 t 时的吸附量(mg/g); t 为吸附反应时间(min); a, K_e 均为常数, K_e 与吸附速率有关, K_e 越大,吸附越快^[12]。双常数方程: $\ln Q_t = A + B \ln t$,其中 Q_t 为 t 时的吸附量(mg/g); t 为吸附反应时间(min); A, B 均为常数, A, B 的值与吸附速率有关。抛物线方程: $Q_t = a + kt^{1/2}$,其中 Q_t 为 t 时的吸附量(mg/g); t 为吸附反应时间(min); a, k 为常数。

1.3 数据分析 试验数据采用 Excel 和 Origin 软件进行分析并作图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度根分泌物对土壤吸附磷的影响 从图 1 可看出,玉米根分泌物浓度越高,土壤吸附磷的量越小。与对照相比,当根分泌物稀释 4 倍、2 倍和不稀释时,土壤吸附磷的量分别下降了 5.0%、5.6% 和 8.0%。即根分泌物的存在降低了土壤对磷的吸附,而且随着根分泌物浓度的增加,磷吸附量降低的幅度也增大。结果表明,磷酸根与有机酸根离子存在竞争吸附,有机酸阴离子占据部分络合位点,从而降低了土壤对磷酸根的吸附。此外,有机酸可以通过自身的功能基产生螯合和溶解作用,通过与 Ca^{2+} 等离子螯合,使被束缚的磷释放,减少了磷的固定。

2.2 不同 $H_2PO_4^-$ 浓度时玉米根分泌物对土壤吸附磷的影响 土壤的磷等温吸附曲线和加入玉米根分泌物时的吸附曲线如图 2。由图 2 可见,2 条曲线变化趋势一致,随着初始溶液磷浓度的升高,土壤吸附的磷增加。磷低浓度时,土壤对磷吸附量增加幅度较大;磷浓度升高时,土壤磷吸附量增加的幅度减小。但加入玉米根分泌物后,磷吸附曲线始终在对照的吸附曲线的下方,说明根分泌物的存在对土壤吸附磷有明显的抑制作用。

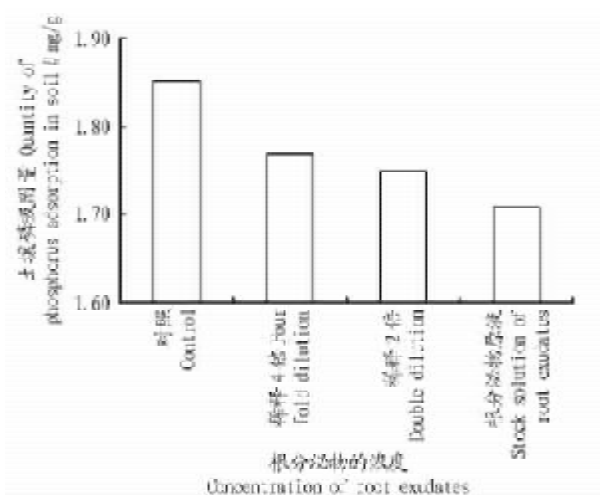


图 1 根分泌物浓度对土壤吸附磷的影响

Fig. 1 Effects of root exudates concentration on phosphorus adsorption in soil

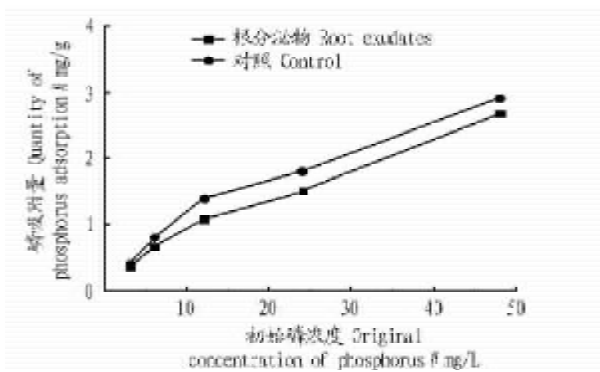


图 2 磷浓度对土壤吸附磷的影响

Fig. 2 Effects of P concentration on soil P adsorption

从表 1 可看出,加入玉米根分泌物后,吸附反应常数 b 、最大吸附量和最大缓冲容量都降低。加入根分泌物后,吸附反应变难。说明当土壤中存在根分泌物后,土壤吸附磷的能力有所下降,而且磷的容量水平也降低。通过 $1/n$ 的值可看出,对照的土壤比加入根分泌物的土壤更易吸附磷。通过对图 2 中磷等温吸附曲线进行拟合,拟合的结论一致,即加入根分泌物后土壤对磷的吸附能力降低。相关系数 r 均达极显著水平 ($P < 0.001$) 和非常显著水平 ($P < 0.01$)。其中以 Freundlich 方程的相关性更为显著(表 1)。

表 1 土壤磷吸附特征参数

Table 1 Parameters of soil P adsorption

处理 Treatment	Freundlich 方程 Freundlich equation				Langmuir 方程 Langmuir equation				
	$\lg Q_e = 1/n \lg C_e + \lg K$	$1/n$	K	r	$C_e/Q_e = C_e/Q_m + Q_m/b$	Q_m (mg/g)	b	r	$b \times Q_m$
根分泌物 Root exudates	$\lg Q_e = -0.42 + 0.54 \lg C_e$	0.54	0.38	0.995	$C_e/Q_e = 0.30C_e + 3.64$	3.33	0.92	0.947	3.06
对照 Control	$\lg Q_e = -0.28 + 0.50 \lg C_e$	0.50	0.52	0.981	$C_e/Q_e = 0.29C_e + 2.22$	3.45	1.55	0.976	5.35

注: $n = 5, P_{0.001} = 0.951, P_{0.01} = 0.874, r$ 为相关系数。

Note: $n = 5, P_{0.001} = 0.951, P_{0.01} = 0.874, r$ is correlation coefficient.

2.3 土壤吸附磷的动力学 从图 3 可看出,随着时间的延长,土壤吸附磷的量在不断增加。在吸附开始的 30 min 内,磷吸附量增加的幅度较大,后期增加的幅度变缓。加入根分泌物后磷的吸附量始终低于对照的吸附量,而且磷吸附量较快达到平衡。

用拟二级速率等动力学方程对土壤吸附磷的动力学过

程进行拟合,得到各方程的相关系数与参数(表 2)。

从拟二级速率方程拟合的结果来看, Q_e (对照) $>$ Q_e (根分泌物), k (对照) $>$ k (分泌物);同样证明对照处理的土壤吸附磷的速率比有根分泌物时的快,结论与等温吸附的一致,根分泌物阻碍了土壤对磷的吸附。从相关系数 r 来看,拟二级速率方程拟合的结果最好,双常数方程次之,其他方

程较差。但 4 个动力学方程拟合的相关系数都达极显著水平。从拟合的磷平衡吸附量 Q_e 与试验中的 Q_e 比较来看,拟合的根分泌物处理的土壤的 Q_e 为 1.79 mg/g, 试验中 Q_e 为

1.75 mg/g, 两者相差甚微; 而拟合的对照处理的土壤的 Q_e 为 1.85 mg/g, 而试验中 Q_e 也为 1.85 mg/g。从这些数值来看, 也说明拟二级速率方程拟合的结果最切合试验。

表 2 各动力学方程的参数与相关系数

Table 2 Parameters and correlation coefficient of kinetic equation

处理 Treatment	拟二级速率方程 Imitate secondary velocity equation			Elovich 方程 Elovich equation			双常数方程 Double constant equation			抛物线方程 Parabola equation		
	Q_e	k	r	a	k_e	r	A	B	r	a	k	r
根分泌物 Root exudates	1.79	0.073	0.999	0.84	0.16	0.984	-0.07	0.12	0.990	1.07	0.048	0.987
对照 Control	1.85	0.096	0.999	0.93	0.17	0.988	0.01	0.11	0.982	1.19	0.043	0.937

注: $n=7, P_{0.001}=0.898, P_{0.01}=0.798, r$ 为相关系数。

Note: $n=7, P_{0.001}=0.898, P_{0.01}=0.798, r$ is correlation coefficient.

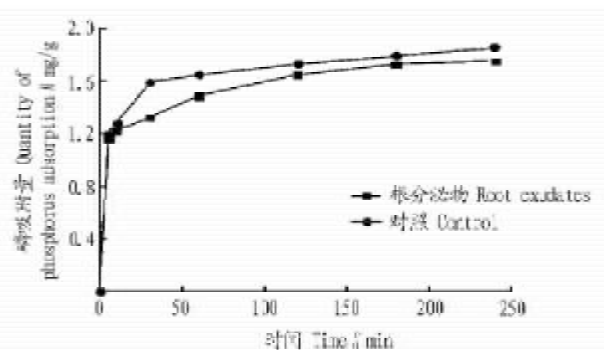


图 3 土壤吸附磷的动力学情况

Fig. 3 Adsorption kinetics of P by soil

3 结论与讨论

土壤中存在玉米根分泌物时,能抑制土壤对磷的吸附,主要原因是根分泌物中的有机酸阴离子占据了原来的磷吸附位点。从另一角度来说,土壤中可供农作物利用的磷量增加,农作物对磷的需求得到满足,有利于农作物的生长发育。玉米根分泌物的浓度越高,这种抑制作用越明显。当加入低浓度磷时,土壤对磷吸附量增加幅度较大;浓度升高时,土壤磷吸附量增加的幅度减小。用 Langmuir 和 Freundlich 方程都能很好地拟合土壤对磷的等温吸附反应,相关系数呈极显著水平。其中以 Freundlich 方程的拟合效果最好。从吸附动

力学来看,土壤对磷的吸附分为前期的快吸附和后期的慢吸附 2 个阶段。用拟二级速率方程等 4 种动力学方程都能很好地描述土壤的磷的吸附动力学,其中以拟二级速率方程的拟合效果最好。

参考文献

- [1] 张福锁, 龚元石. 土壤与植物营养研究新动态(第 3 卷)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 170-184.
- [2] 朱祖祥. 土壤学(上册)[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 207-208.
- [3] 程传敏, 曹翠玉. 水旱轮作中不同类型土壤无机磷形态转化及其有效性[J]. 南京农业大学学报, 1996, 19(4): 32-36.
- [4] 曲东, 尉庆丰, 周建军. 有机酸对石灰性土壤磷素的活化效应[J]. 西北农业大学学报, 1996, 24(1): 101-103.
- [5] 陆文龙, 曹一平, 张福锁. 根分泌物的有机酸对土壤磷和微量元素的活化作用[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 379-382.
- [6] 聂艳丽, 郑毅, 林克惠. 根分泌物对土壤中磷活化的影响[J]. 云南农业大学学报, 2002, 17(3): 281-286.
- [7] 胡红青, 李妍, 贺纪正. 土壤有机酸与磷素相互作用的研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 232-240.
- [8] 李成保, 徐仁扣, 肖双成. 几种有机酸对土壤中磷活动性的增强效应[J]. 土壤学报, 2005, 42(13): 508-512.
- [9] 梁玉英, 黄益宗, 孟凡乔, 等. 有机酸对菜地土壤磷素活化的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(5): 1171.
- [10] 张鼎华, 叶章发, 罗水发. 福建山地红壤磷酸离子($H_2PO_4^-$)吸附与解吸附的初步研究[J]. 山地学报, 2001, 19(1): 19-24.
- [11] 王英英, 温华, 史小云. 土壤矿质胶体对镉的吸附-解吸热力学与动力学研究[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(3): 72-76.
- [12] 郭平, 康春莉, 包国章. 固定化细菌对 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 吸附的热力学和动力学研究[J]. 吉林大学学报, 2006, 44(6): 1019-1022.

(上接第 11434 页)

g/hm^2 处理(防治效果为 62.30%)。

表 1 30% 辛硫磷微囊悬浮剂防治花生蛴螬试验结果

Table 1 Test result of 30% microcapsule suspension of phoxim against peanut white grub

处理 Treatment	活虫数	幼虫防效//%	受害指数	保果效果//%
	Live pest number	Larvae control effect		
①	5.75	87.44 a A	4.14	89.79 a A
②	3.75	91.98 a A	2.95	92.38 a A
③	3.00	93.25 a A	3.40	91.16 a A
④	18.00	61.23 b B	14.98	62.30 b B
⑤	46.50		39.81	

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著; 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

Note: Different lowercases in a row mean significant differences at 0.05 level. Different capital letters mean significant differences at 0.01 level.

level.

3 讨论

30% 辛硫磷微囊悬浮剂属于缓释剂型, 持效期长, 仅播种期施药 1 次即可对花生蛴螬混合种群具有非常高的防治效果和保果效果, 且在试验浓度范围内无药害发生, 对花生安全, 是防治花生蛴螬的优秀杀虫剂。建议在生产上推广使用 30% 辛硫磷微囊悬浮剂 12 000 ~ 18 000 g/hm^2 防治花生地下害虫。在花生播种时将药剂对水 600 L/hm^2 用喷雾器均匀喷施于播种穴内(穴施), 然后立即覆土, 每穴用药液 5 ml 防治花生地下害虫。

参考文献

- [1] 农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则(二)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 429-432.
- [2] 刘爱芝, 李素娟, 武予清, 等. 花生田蛴螬药剂防治技术研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(2): 70-74.