

有机肥对不同母质菜田土壤磷解吸动力学模拟*

王荣萍 廖新荣 李淑仪 丁效东[†] 薛石龙

(广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

摘要 通过室内恒温培养试验研究了华南 3 种典型母质发育的菜田土壤(玄武岩母质发育、花岗岩母质发育、河流冲积物母质发育)在经过两种有机肥(鸡粪堆肥和商品有机肥)预培养 30 d 和 60 d 后其土壤有效磷含量及磷解吸动力学过程的影响。结果表明,添加鸡粪堆肥和商品有机肥后,3 种母质发育菜田土壤其有效磷含量均显著增加,且添加鸡粪堆肥处理的土壤其有效磷含量的增加量大于添加商品有机肥处理;3 种母质发育土壤在添加两种有机肥处理后其磷解吸动力学曲线均是先快速解吸然后缓慢达到平衡的过程;磷解吸量不仅与各处理的土壤初始有效磷含量密切相关,而且与土壤成土母质类型、施入有机肥种类相关;3 种母质发育的菜田土壤在经过两种有机肥处理后其磷解吸动力学曲线用 5 种动力学方程进行拟合,发现 Elovich 方程、抛物线方程和幂函数方程能够取得较好的拟合效果。

关键词 不同母质发育土壤;有机肥;磷解吸动力学;方程拟合;有效磷

中图分类号 X53 **文献标识码** A

在华南红壤地区,磷肥施用后在短时间内被吸附到土壤颗粒表面或与土壤作用形成难溶性磷酸盐,导致植物对磷的利用程度降低。而土壤固定态磷的解吸速率及其能力直接关系到磷在土壤溶液中的含量及缓冲能力,从而影响到土壤磷的生物有效性。磷的解吸过程是土壤磷从固相到液相的过程,是一个先快后慢的过程,分为三个阶段:快速解吸过程、中速解吸过程、慢速解吸,最后达到平衡^[1-3]。

近年来,许多学者已开始关注有机肥施用对土壤磷素有效性及解吸动力学过程的影响,施入有机肥种类、土壤类型、土壤有机质含量等因素都直接影响土壤磷的有效性,认为有机肥矿化过程产生的水溶性有机物对土壤磷的吸附-解吸有重要影响,甚至直接影响土壤固定态磷素的生物有效化过程^[4-5]。许多学者采用不同的数学模型描述磷解吸动力学过程^[6-8],目前应用较多的模型有零级方程、一级方程、Elovich 方程、抛物线和幂函数(见表 2)^[9]。尽管研究表明在两种石灰性土壤中施用有机肥后磷素解吸动力学过程可通过 Elovich 和幂函数模型进行较好的拟合^[2,10],但是上

述任何单一拟合方程均不适用于所有类型土壤磷的解吸动力学过程拟合。同时,由于华南红壤对磷的吸附能力较强,且不同母质发育的土壤类型多样,而关于在华南不同母质发育的土壤中施用有机肥后土壤磷解吸动力学过程研究鲜见报道。本文拟以广东省 3 种典型母质发育的菜田土壤为研究对象,通过室内模拟研究分析施入两种有机肥预培养后土壤磷解吸动力学过程,旨在为华南菜田土壤合理施用磷肥与有机肥提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验供试土壤为广东 3 种典型母质发育的菜田土壤(玄武岩母质发育、花岗岩母质发育和河流冲积物母质发育),玄武岩母质发育的菜田土壤来自广东南部的雷州半岛(20°53'57" N, 109°58'40" E),花岗岩和河流冲积物母质发育的菜田土壤均来自珠江三角洲地区(23°17'34" N, 113°39'44" E; 23°09'28" N, 113°00'06" E),均为 0~20 cm 表层土

* 广东省科学院青年科学研究基金(qnj201011)、广东省科技计划项目(2011B020309004, 2012A020602031, 2012A020100004)、广州市科技计划项目(201300000204)资助

[†] 通讯作者, E-mail: xiaodongding2004@163.com

作者简介:王荣萍(1976—),女,山西忻州人,博士,副研究员,主要从事植物营养与环境方面研究。E-mail: rpwang@soil.gd.cn

收稿日期: 2013-10-24; 收到修改稿日期: 2014-02-20

壤,土壤样品经室内自然风干,过 2 mm 筛,备用。3 种类型菜田土壤的理化性质如表 1 所示,其中 pH、有机质、全磷、碱解氮的测定方法参照 Jackson^[11],有效磷的测定方法采用 Olsen-P 法^[12],游离氧化铁的测定方法参照 Loppert 方法^[13],非晶质氧化铁的测定方法参照 McKeague 和 Day 方法^[14]。

供试有机肥为鸡粪堆肥 (PM) 和商品有机肥 (OM) 两种,其中鸡粪堆肥 (PM) 来自佛山市南海区

农家肥;商品有机肥 (OM) 从市场上购买 (东莞市奇的肥业有限公司“壮根宝”精制有机肥)。将供试有机肥自然风干,过 0.25 mm 筛备用,其理化性质如下:鸡粪堆肥 (PM): pH 8.02 (土水质量比 = 1:5)、有效磷 9.55 g kg⁻¹、有机质 173.8 g kg⁻¹;商品有机肥 (OM): pH 6.87、有效磷 4.20 g kg⁻¹、有机质 314.1 g kg⁻¹,其中有机质采用湿式氧化法测定^[15]、有效磷采用钒钼酸法测定^[11]。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of the tested soils

土壤母质 Parent material	pH	有效磷 Olsen-P (mg kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	有机质 OM (g kg ⁻¹)	游离氧化铁 Free iron oxides (g kg ⁻¹)	非晶质氧化铁 Amorphous iron oxides (g kg ⁻¹)
玄武岩 Basalt	4.50	7.93	0.5	26.62	10.58	2.18
花岗岩 Granite	6.34	161.8	1.6	30.64	8.74	2.06
河流冲积物 River alluvium	6.19	66.58	1.8	20.48	8.50	1.48

1.2 试验方法及设计

有机肥预培养处理:分别称取过 2 mm 筛的 3 种母质发育的菜田土壤 300.0 g,置于 250 ml 的塑料杯中。每种土壤设 3 个施有机肥处理,分别为对照 (CK,不施用有机肥),鸡粪堆肥 (PM) 和商品有机肥 (OM),其中鸡粪堆肥 (PM) 和商品有机肥 (OM) 的加入量均为 9.0 g (以风干土壤样品的 3% 计算)。每个处理分两组,每组 3 次重复;第二步,将土壤与有机肥混匀后,加入去离子水 (按重量的 18% 计算含水量),带孔的 (保持土壤空气自由流通) 塑料薄膜对塑料杯进行表面覆盖,防止水分过度蒸发,同时采用隔天称重法进行补水,使其含水量保持初始水平;第三步,将塑料杯放在恒温培养箱内 (25℃) 分别预培养 30 d 和 60 d (两组分别为两个预培养时

间段)。土壤预培养结束后,经自然风干,过 0.25 mm 筛备用。

解吸动力学试验:准确称取上述各处理的预培养的干土样品 1.00 g 于 100 ml 的离心管中,加入 20 ml 浓度为 0.5 mol L⁻¹ 的 NaHCO₃ (pH 8.5) 溶液,在 25℃ 下恒温振荡。在振荡的 15、30、60、120、240、480、1 440、2 880、4 320、5 760 min 时分别取样、离心、过滤,测定上清液中的磷浓度,计算预培养土壤磷的解吸量。以时间为 x 轴,土壤磷的解吸量为 y 轴,绘制磷解吸动力学曲线。同时用表 2 中所述的解吸动力学模型进行拟合^[9-10],分析判断 3 种类型土壤施用有机肥预培养后土壤磷解吸过程更符合哪个模型。

表 2 描述磷解吸动力的模型

Table 2 Models describing phosphorus desorption kinetics^[9]

模型 Model	方程 Equation	参数 Parameters
零级方程 Zero order	$q_t = q_0 - k_0 t$	k_0
一级方程 First order	$\ln q_t = \ln q_0 - k_1 t$	k_1
Elovich 方程 Simplified Elovich	$q_t = q_0 - k_p t^{0.5}$	k_p
抛物线方程 Parabolic diffusion law	$q_t = 1/\beta \ln(\alpha_s \beta_s) + (1/\beta_s) \ln t$	$\alpha_s \quad \beta_s$
幂函数方程 Power function	$q_t = a t^b$	$a \quad b$

注: q_t 为振荡某时间 t 后磷的解吸量 P mg kg⁻¹; q_0 在 0 时间的磷的量 P mg kg⁻¹ Note: q_t stands for phosphorus desorption (P mg kg⁻¹) after a certain time period (t) of agitation; and q_0 for amount of P (P mg kg⁻¹) at time 0

1.3 数据统计方法

所有数据采用 SASTM 软件 (SAS Institute Inc., 1989) 进行单因素显著性检验。用 LSD 法在 0.05 和 0.01 水平进行多重比较。

2 结果

2.1 土壤经有机肥预处理后有效磷含量

3 种母质发育的菜田土壤添加有机肥或未添加有机肥培养 30 d 和 60 d 后,各处理土壤有效磷含量如表 3 所示。未添加有机肥的各处理其有效磷含量范围在 5.32 ~ 259.1 mg kg⁻¹,添加鸡粪堆肥和商品有机肥的各处理土壤其有效磷含量范围分别为 72.33 ~ 425.5 mg kg⁻¹ 和 21.48 ~ 257.2 mg kg⁻¹。表明 3 种母质发育的菜田土壤在经过添加有机肥预培养后,花岗岩发育土壤 + OM 处理除外,土壤有效磷含量均显著增加,而花岗岩发育的土壤 + OM 处

理可能是由于土壤有效磷本底值较高,且加入有机肥后增加磷的吸附位点,使有效磷含量变化不显著;而添加鸡粪堆肥的有效磷含量增加量大于添加商品有机肥的处理,这可能因为鸡粪堆肥和商品有机肥具有不同的矿化程度和自身含有的有效磷含量不同有关。表 3 也表明,对照 (不施用有机肥) 处理的土壤在培养 30 d 和 60 d 后,玄武岩母质发育的菜田土壤其有效磷含量降低,可能的原因是玄武岩发育的菜田土壤在经过长期脱硅富铝化后,再经过恒温恒湿预培养后其自身的活性铁、铝含量增加,或者由于土壤黏粒交换量较低 (例如,赵其国在 1992 年第四纪研究中研究发现,玄武岩土壤黏粒交换量为 16.6 毫克当量/100 克土,而红壤黏粒交换量在 16 ~ 32 毫克当量/100 克土) 所致,表明该类型母质发育的菜田土壤对磷素的固定能力增强,导致土壤有效磷含量降低。

表 3 不同母质发育菜田土添加有机肥培养后有效磷含量变化

Table 3 Changes after incubation in available phosphorus content in vegetable garden soils different in parent material applied with different organic fertilizers

培养时间 Culture duration (d)	土壤母质 Parent material	有效磷含量 Available phosphorus content (mg kg ⁻¹)		
		未添加有机肥 CK	添加鸡粪堆肥 PM	添加商品有机肥 OM
30	玄武岩 Basalt	5.32Cc	76.66Aa	24.63Bb
	花岗岩 Granite	259.1 Bb	425.5Aa	257.2Bb
	河流冲积物 River alluvium	118.3 c	260.7Aa	140.4 Bb
60	玄武岩 Basalt	5.73Cc	72.33Aa	21.48Bb
	花岗岩 Granite	238.6 Bb	361.3 Aa	245.7Bb
	河流冲积物 River alluvium	93.30Cc	227.0Aa	117.2Bb

注:多重比较在同一行内进行,大写字母表示在 0.01 水平下 LSD 方差检验,小写字母代表在 0.05 水平下 LSD 方差检验 Note: Multiple comparisons were done within the same row. Capital letters represent the LSD variance test at the level of 0.01; and lowercase letters represent LSD variance test at the level of 0.05

2.2 土壤不同有机肥处理培养 30 d 和 60 d 后磷解吸动力学

玄武岩母质发育的菜田土壤在施有机肥经过室内恒温培养 30 d 和 60 d 后,各处理的土壤磷解吸量随时间变化如图 1 所示。由图 1 土壤磷的解吸曲线可知,土壤对磷的解吸是先快速解吸,再慢速解吸达到平衡的过程,而快速解吸时间较短,大概 30 min 左右;无论培养 30 d 还是 60 d,添加有机肥处理后土壤磷的解吸量在各个时间段明显高于对

照,且添加鸡粪堆肥 (PM) 土壤磷的解吸增加效果显著高于添加商品有机肥 (OM) 处理的;培养 60 d 各处理的磷解吸量高于培养 30 d 的磷解吸量 (包括对照)。表 3 结果表明,玄武岩母质发育菜田土壤各处理预培养后有效磷含量大小顺序:玄武岩发育土壤 + PM (30 d/60 d) > 玄武岩发育土壤 + OM (30 d/60 d) > 玄武岩发育土壤 + CK (30 d/60 d), 且各处理磷解吸量的大小具有相同趋势。

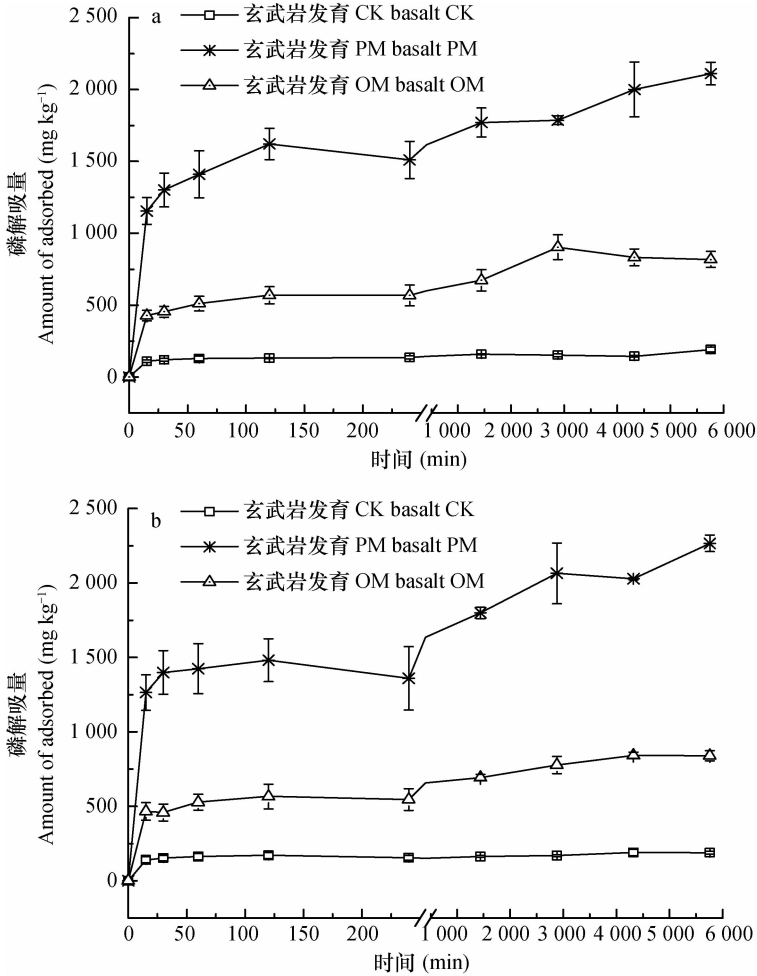


图1 培养30 d和60 d玄武岩母质发育土壤不同有机肥处理的磷解吸动力学
 Fig. 1 P desorption kinetics in soils derived from basalt applied with different organic fertilizers after 30 d (a) and 60 d (b) of incubation

从图2可以看出,花岗岩母质发育的菜田土壤施有机肥后,经过室内恒温预培养30 d和60 d,磷解吸曲线在480 min内是快速解吸,然后慢速解吸过程;添加鸡粪堆肥(PM)预培养的土壤磷解吸量在各时间段内均显著高于对照,而添加商品有机肥(OM)预培养的土壤磷解吸量则在某些时间段内有少量增加,而大部分时间段内低于对照;从各处理预培养土壤磷解吸初期的有效磷含量比较来看,添加商品有机肥预培养60 d时的土壤有效磷含量较对照处理高7.06 mg kg⁻¹,而培养30 d的处理土壤有效磷含量较对照低1.92 mg kg⁻¹;添加鸡粪堆肥在30 d、60 d预培养后土壤有效磷含量较对照高66.34 mg kg⁻¹和122.7 mg kg⁻¹,初始有效磷含量高的土壤磷解吸量高于初始有效磷含量低的处理。

河流冲积物母质发育的菜田土壤施有机肥后,并经过室内培养30 d和60 d,各处理预培养的土壤磷解吸量随时间变化趋势如图3所示。由图3可知,土壤磷解吸曲线是先快速解吸、然后在慢速解吸达到平衡的过程,快速解吸持续时间(480 min左右)与花岗岩母质发育的菜田土壤类似;添加两种有机肥的预培养的土壤在各时间段内磷的解吸量显著高于对照,添加鸡粪堆肥(PM)的预培养后土壤其磷解吸效果优于添加商品有机肥(OM);磷解吸进行前,各处理预培养的土壤其有效磷含量大小为:河流冲积物发育土壤+PM(30 d/60 d) > 河流冲积物发育土壤+OM(30 d/60 d) > 河流冲积物发育土壤+CK(30 d/60 d),且各处理磷解吸量的大小具有相同趋势。

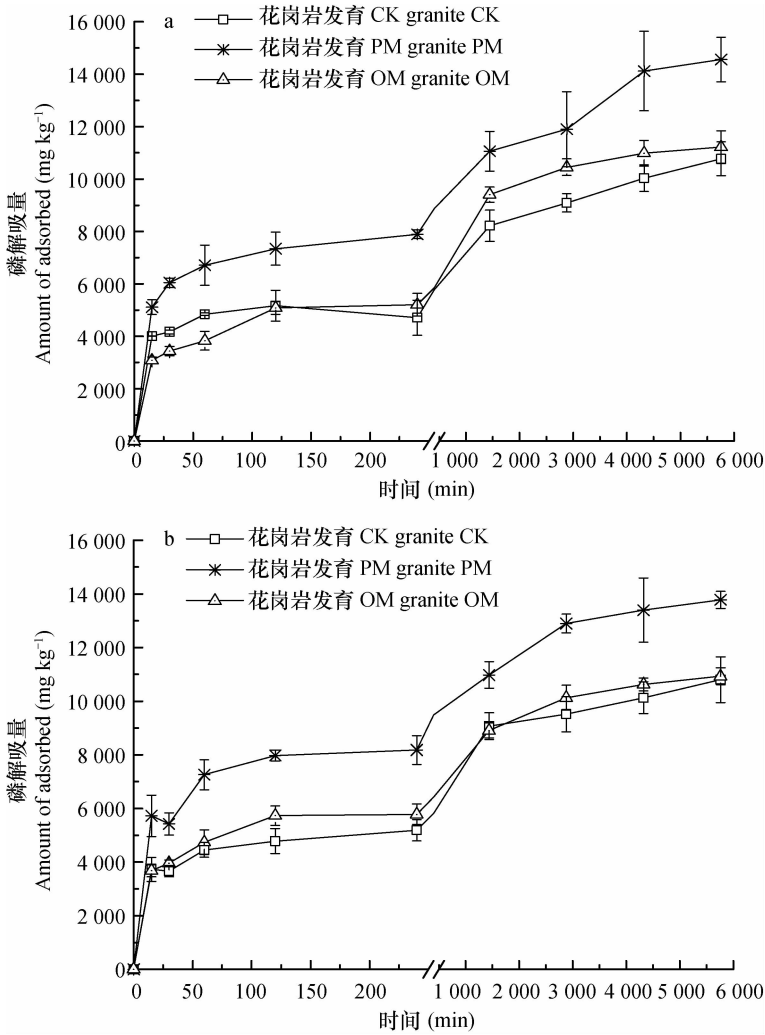


图2 培养 30 d 和 60 d 花岗岩母质发育土壤不同有机肥处理的磷解吸动力学
 Fig. 2 P desorption kinetics in soils derived from granite applied with different organic fertilizers after 30 d (a) and 60 d (b) of incubation

3 种母质发育的菜田土壤在施有机肥培养 30 d 和 60 d 后,各处理的预培养土壤其磷解吸量随时间变化趋势是先快速解吸、再慢速解吸达到平衡的过程,且快速解吸持续时间因母质不同也有所不同;玄武岩和河流冲积物母质菜田土壤在添加有机肥 (PM 和 OM) 后在各时间段内磷解吸量显著高于对照,花岗岩母质菜田土壤在添加鸡粪堆肥处理磷解吸量各时间段显著高于对照,而添加商品有机肥 (OM) 预培养土壤磷解吸量则少许增加,大部分时间段内低于对照,这可能与有机肥种类、成土母质有关。由于两种不同来源的有机肥在结构组分特征、吸附磷能力以及在添加有机肥后土壤溶液体系中有有机小分子结构体发生变化,导致土壤对磷的吸

附-解吸能力发生变化;而不同来源有机肥由于其自身的羧基和酚羟基存在差异,由于羧基配位能力强于酚羟基,这可能影响不同类型土壤中黏粒矿物的电荷数量;且有机肥的腐熟化程度可能影响对磷吸附的稳定性,因为腐熟化程度强,多聚化联合及芳香化程度大,增大了其与磷吸附解吸过程中发生络合反应的稳定性,这也是可能导致花岗岩母质发育土壤添加商品有机肥 (OM) 后对磷解吸量高于对照,而大部分时间段内反而低于对照处理的原因。同时,3 种母质发育的菜田土壤在经过预培养后其磷的解吸量也与初始自身有效磷含量有关,初始有效磷含量高的菜田土壤在经过预培养后,其磷解吸量显著高于初始有效磷含量低的预培养土壤。

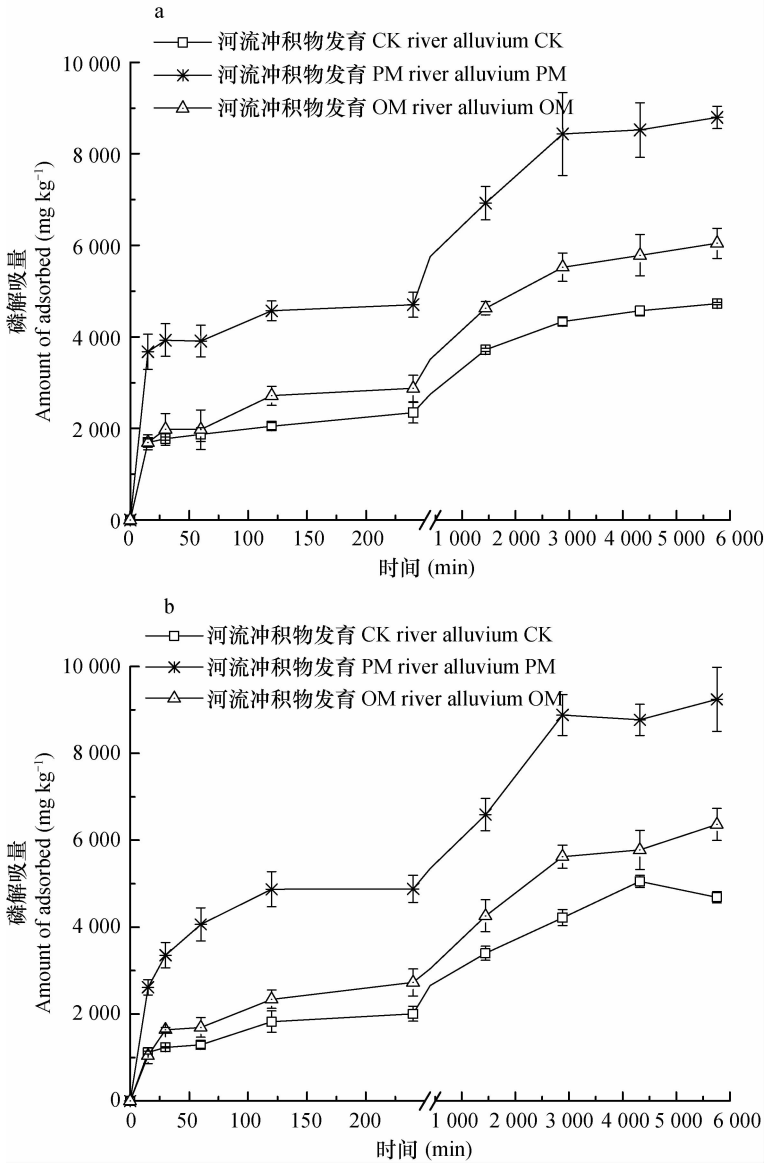


图3 培养 30 d 和 60 d 河流冲积物母质发育土壤不同有机肥处理的磷解吸动力学
 Fig. 3 P desorption kinetics in soils derived from river alluvial deposit applied with different organic fertilizers after 30 d (a) and 60 d (b) of incubation

2.3 土壤不同有机肥处理培养 30 d 和 60 d 磷解吸动力学模型拟合

通过 5 种动力学方程对 3 种母质发育菜田土壤在经过预培养处理后的磷解吸数据进行拟合,并用决定系数 R^2 说明拟合的显著性。结果表明(表 4):花岗岩母质发育以及河流冲积物母质发育的菜田土壤在经过有机肥预培养后,Elovich 方程、抛物线方程和幂函数方程的拟合效果均达到了显著水平;

对玄武岩母质发育的菜田土壤,Elovich 方程、抛物线方程和幂函数方程拟合有个别拟合较差,玄武岩 + CK 60 d 处理的抛物线方程 幂函数方程的 R^2 较低,分别为 0.706 2 和 0.616 8,但这三个方程总体上优于零级方程和一级方程。综上所述,本文所研究的 3 种母质发育土壤施有机肥培养 30 d 和 60 d 后,磷解吸动力过程能用 Elovich 方程、抛物线方程、幂函数方程较好地拟合。

表 4 不同母质发育的土壤添加有机肥培养 30 d 和 60 d 后五种解吸模型的决定系数

Table 4 Determination coefficients of the five models for P desorption in soils applied with different organic fertilizers after 30 d and 60 d of incubation

土壤母质 Parent material	处理 Treatment	零级方程 Zero order		一级方程 First order		Elovich 方程 Simplified Elovich		抛物线方程 Parabolic diffusion low		幂函数方程 Power function	
		30 d	60 d	30 d	60 d	30 d	60 d	30 d	60 d	30 d	60 d
		玄武岩 Basalt	CK	0.676 0	0.736 2	0.647 1	0.709 4	0.888 0	0.813 6	0.896 9	0.706 2
	PM	0.786 5	0.884 9	0.711 6	0.845 2	0.926 7	0.880 5	0.875 7	0.953 0	0.928 9	0.898 9
	OM	0.739 4	0.829 3	0.711 1	0.711 9	0.905 2	0.952 5	0.873 7	0.943 0	0.942 7	0.965 2
花岗岩 Granite	CK	0.902 1	0.836 9	0.837 6	0.767 0	0.899 1	0.933 6	0.978 0	0.953 6	0.934 5	0.967 1
	PM	0.882 7	0.809 0	0.788 3	0.712 6	0.953 5	0.973 0	0.974 3	0.937 5	0.989 2	0.975 8
	OM	0.813 2	0.824 6	0.722 7	0.732 4	0.949 0	0.964 6	0.943 8	0.951 1	0.978 5	0.987 2
河流冲积物 River alluvium	CK	0.859 0	0.847 9	0.789 2	0.734 2	0.939 8	0.942 1	0.971 8	0.960 6	0.973 7	0.985 5
	PM	0.844 9	0.830 6	0.785 6	0.711 9	0.940 2	0.952 2	0.962 0	0.942 0	0.968 4	0.972 7
	OM	0.836 5	0.865 7	0.729 9	0.702 7	0.963 5	0.956 7	0.960 0	0.970 4	0.988 1	0.985 2

3 讨 论

3 种母质发育菜田土壤在添加有机肥 (PM 和 OM) 预培养后其磷的解吸量, 与对照的磷解吸量随时间变化的曲线具有相同的趋势, 均是先快速解吸、再慢速解吸达到平衡的过程, 只是快速解吸所需时间不同。这与前人在土壤磷解吸动力学过程的研究结果相一致^[2, 10, 16], 解吸速率先快后慢是由于先解吸的磷素是土壤表面吸附的磷素, 后解吸的磷素是土壤离子态吸附磷, 先解吸的磷以不稳定的土壤表面吸附磷和亚稳态的离子吸附态磷为主, 慢速解吸的磷则是以土壤内部较稳定的吸附态磷为主^[17-20], 土壤中磷解吸有三种机制: 无机磷的释放、土壤矿物结合态磷的释放以及有机质矿化磷的释放; 土壤磷的解吸速率与土壤中磷不同的结晶程度和土壤矿物类型有关^[21]。

添加有机肥 (PM 和 OM) 培养增加了不同母质发育菜田土壤的有效磷含量, 添加 PM 的增加量大于添加 OM 的增加量 (见表 3), 预培养后的土壤其磷的解吸量是添加 PM 的处理大于添加 OM 的处理, 均高于对照处理。说明添加有机肥增加了土壤的磷解吸量, 且磷的解吸量大小与各处理解吸试验初期土壤有效磷含量相关。这与前人的研究结果相一致, Garg 和 Bahl^[22] 报道了在土壤中有机肥与无机肥配合施用能够提高土壤有效磷含量。Ohno 等^[23] 也报道了在土壤中添加动物粪便能够增加土壤中水溶性有机碳, 进而提高了土壤磷素的生物有

效性。通过华南 3 种典型母质发育的菜田土壤比较发现^[24], 玄武岩母质发育土壤具有较低的 pH 和较高的铁锰铝氧化物。该类型土壤主要矿物类型为高岭石、三水铝石和赤铁矿, 在添加有机肥后土壤中活性铁铝氧化物增加是降低磷有效性的重要因素之一。本研究表明, 玄武岩母质发育的菜田土壤相对于其他两种土壤具有较高的磷吸附容量和较强的吸附能力, 添加有机肥 (PM 和 OM) 培养后, 虽增加了土壤中有效磷含量, 但增幅小于其他两种土壤, 也进一步佐证了玄武岩母质发育土壤相对于其他两种土壤具有较大的磷吸附容量。通过解吸动力学研究, 发现花岗岩母质和河流冲积物母质发育菜田土壤其磷的解吸量高出玄武岩母质发育的菜田土壤, 这可能是有机肥添加后前两种类型土壤其黏土矿物对磷的吸附能力降低有关。而添加鸡粪堆肥 (PM) 的 3 种母质发育菜田土壤在经过预培养后其磷的解吸量高于添加商品有机肥 (OM) 的, 这可能与添加不同类型有机肥后土壤溶液体系中其羧基和酚羟基存在差异有关。而鸡粪堆肥的矿化程度高于商品有机肥, 也可能是两者引入的电荷数量不同, 进而影响到土壤中黏粒矿物对磷的吸附能力, 鸡粪堆肥添加导致溶液体系中磷素具有较高的活性和可移动性。综上所述, 土壤对磷的解吸量大小不仅与土壤有效磷含量有关, 而且与成土母质、矿物类型、施入有机肥种类有关。研究表明, 添加有机肥虽然在一定程度上增加了土壤对磷的解吸量, 提高土壤固定态磷的生物有效性, 同时也可能增加土壤磷的淋洗流失风险, 因此在施用有机肥和

磷肥过程中应更加注意环境风险过程。

4 结 论

3 种母质发育的红壤土壤在经过有机肥添加预培养后,土壤有效磷含量增加;其磷的解吸动力曲线均是先快速解吸,然后再缓慢达到平衡的过程。磷解吸量不仅与初始有效磷含量有关,且与土壤成土母质及矿物类型,添加有机肥种类密切相关。对 3 种典型不同母质发育的土壤磷解吸动力曲线用五种动力学方程进行拟合,其 Elovich 方程、抛物线方程、幂函数方程取得较好的拟合效果。

参 考 文 献

- [1] Eljamal O, Okawauchi J, Hiramatsu K, et al. Phosphorus sorption from aqueous solution using natural materials. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 68(3): 859—863
- [2] Fekri M, Gorgin N, Sadegh L. Phosphorus desorption kinetics in two calcareous soils amended with P fertilizer and organic matter. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(3): 721—729
- [3] Otero M, Coelho J, Rodrigues E, et al. Kinetics of the PO_4 -P adsorption onto soils and sediments from the Mondego estuary (Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 77(1/2): 361—366
- [4] Hunt JF, Ohno T, He Z, et al. Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44(2): 277—288
- [5] Halajnia A, Haghnia G, Fotovat A, et al. Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. *Geoderma*, 2009, 150(1/2): 209—213
- [6] Shariatmadari H, Shirvani M, Jafari A. Phosphorus release kinetics and availability in calcareous soils of selected arid and semiarid toposequences. *Geoderma*, 2006, 132(3/4): 261—272
- [7] Pavlatou A, Polyzopoulos N. The role of diffusion in the kinetics of phosphate desorption: the relevance of the Elovich equation. *Journal of Soil Science*, 1988, 39(3): 425—436
- [8] Lookman R, Freese D, Merckx R, et al. Long-term kinetics of phosphate release from soil. *Environmental Science & Technology*, 1995, 29(6): 1569—1575
- [9] Hosseinpur A, Pashamokhtari H. Impact of treated sewage sludge application on phosphorus release kinetics in some calcareous soils. *Environmental Geology*, 2008, 55(5): 1015—1021
- [10] Gorgin N, Fekri M, Sadegh L. Impact of organic-matter application on phosphorus-desorption kinetics in two agricultural soils in Southeastern Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2011, 42(5): 514—527
- [11] Jackson M L. *Soil chemical analysis*. New Delhi, India: Prentice Hall, 1973
- [12] Olsen S R, Cole C, Watanabe F S, et al. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, Vol 939, US Department of Agriculture Washington, DC. 1954
- [13] Loppert R H, Inskeep W P. Iron. // Bigham J M. *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical methods. SSSA, Book series No. 5. Madison, WI: SSSA, 1996: 639—634
- [14] McKeague JA, Day JH. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as acids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1966, 46(1): 13—22
- [15] Walkley A, Black I A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 1934, 37(1): 29—38
- [16] Hosseinpur AR, Biabanaki F S, Alikhani H A. Impact of poultry manure application on phosphorus desorption in some calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2011, 42(2): 208—219
- [17] Wang S, Jin X, Bu Q, et al. Effects of particle size, organic matter and ionic strength on the phosphate sorption in different trophic lake sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 128(2/3): 95—105
- [18] Wang Y, Shen Z, Niu J, et al. Adsorption of phosphorus on sediments from the Three-Gorges Reservoir (China) and the relation with sediment compositions. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 162(1): 92—98
- [19] Toor G, Bahl G. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. *BioresourceTechnology*, 1997, 62(1/2): 25—28
- [20] Zhang B, Fang F, Guo J, et al. Phosphorus fractions and phosphate sorption-release characteristics relevant to the soil composition of water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir. *Ecological Engineering*, 2012, 40: 153—159
- [21] Hosseinpur A, Biabanaki F. Impact of fertilizer phosphorus application on phosphorus release kinetics in some calcareous soils. *Environmental Geology*, 2009, 56(6): 1065—1069
- [22] Garg S, Bahl G. Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer P associated phosphatase activity in soils. *BioresourceTechnology*, 2008, 99(13): 5773—5777
- [23] Ohno T, Griffin T S, Liebman M, et al. Chemical characterization of soil phosphorus and organic matter in different cropping systems in Maine, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 105(4): 625—634
- [24] 广东省土壤普查办公室. 广东土壤. 北京: 科学出版社, 1993: 106—107 Guangdong Soil Survey Office. *Guangdong soil*. (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993: 106—107

SIMULATION OF EFFECT OF ORGANIC MANURE ON PHOSPHORUS DESORPTION KINETICS IN VEGETABLE GARDEN SOILS DIFFERENT IN PARENT MATERIAL

Wang Rongping Liao Xinrong Li Shuyi Ding Xiaodong[†] Xue Shilong

(Guangdong Institute of Eco-Environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract Through in-lab thermostat incubation, investigation was done of changes in content of soil available phosphorus and soil phosphorus desorption kinetics, in vegetable garden soils different in parent material (basalt, granite, and river alluvium) in Guangdong Province, 30 d and 60 d after application of organic fertilizers (composted chicken droppings or commodity organic fertilizer). Results show that after the application of composted chicken manure or commodity organic fertilizer, contents of soil available phosphorus in all the three soils increased, with amplitudes showing composted chicken manure was higher in the effect than commodity organic fertilizer. Phosphorus desorption kinetic curves in all the treatments presented a period of rapid desorption followed by a period of slow desorption before reaching equilibrium. Phosphorus desorption in the soil was not only closely related to its initial available phosphorus content, but also to its parent material and the type of the organic fertilizer it received. Five kinetics equations were used to fit the kinetics curves of phosphorus desorption in the three soils different in parent material. The simplified Elovich equation, the Parabolic diffusion low equation and the Power function equation were better in fitting.

Key words Vegetable garden soils different in parent material; Organic fertilizers; Kinetics of phosphorus desorption; Equation fitting; Available phosphorus

(责任编辑:汪枳生)