

聚磷酸盐在灰漠土和砖红壤中 吸附-解吸附特性研究

张静雯, 迟海龙, 吴胜彪, 马 林, 江席亮, 危常州, 张新疆*

(石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 通过研究不同聚合度聚磷酸盐在两种不同类型土壤中的磷吸附-解吸特性, 为聚磷酸磷肥肥效差异的解析和农业磷肥的应用提供理论依据。以北方灰漠土和南方砖红壤为供试土壤, 以常规水溶磷肥 (DAP) 为对照, 探究不同聚合度聚磷酸盐 (APP1、APP2、APP3、KTPP) 在两种土壤中磷的吸附和解吸附特性, 并进一步探究不同类型土壤理化性质与土壤磷吸附-解吸附量之间的相互关系。结果表明: 在酸性土壤中, 各处理土壤磷吸附能力表现为 APP2>APP3>KTPP>APP1>DAP, 土壤中磷解吸附能力为 APP1>KTPP>DAP>APP3>APP2; 在灰漠土中, 各处理土壤磷吸附能力表现为 APP2>APP1>APP3>DAP>KTPP, 土壤中磷解吸附能力为 KTPP>APP1>DAP>APP3>APP2。土壤各理化性质参数中土壤黏粒、铁铝氧化物含量与土壤磷最大吸附量 (Q_m) 呈正相关关系。土壤 pH、有机质和碳酸钙含量与 Q_m 呈负相关关系。综上所述, 较高聚合度的聚磷酸盐 (KTPP) 在灰漠土中磷吸附能力弱, 土壤磷有效性高, 而较低聚合度的聚磷酸盐 (APP1) 在酸性土壤中的磷吸附能力弱, 能保持较好的土壤磷平衡和供磷能力。土壤 pH、有机质和碳酸钙含量越高, 土壤黏粒和铁铝氧化物含量越低, 则土壤对磷的吸附能力越低, 磷的解吸越高, 土壤磷有效性越高。

关键词: 聚磷酸铵; 吸附; 解吸附

磷是植物生长必需的大量营养元素之一, 在农业生产中施用磷肥可以提高作物产量。无论固体磷肥还是液体磷肥, 在施入土壤后, 水溶性磷总是向固定方向进行, 其原因是正磷酸盐极易与土壤接触后发生吸附并固定, 导致其移动性弱, 磷有效性低, 造成磷肥当季利用率仅为 10% ~ 25%^[1-2]。土壤对磷的吸附和解吸特性对土壤磷素的有效性具有重要影响, 如何降低土壤对磷的吸附固定、提高磷的活性及磷肥利用效率一直是土壤磷素研究领域的热点^[3-5]。

磷肥有效性取决于磷肥自身的组成和形态^[6-8]。聚磷酸铵化学通式为 $(\text{NH}_4)_n\text{P}_{2n}\text{O}_{3n+1}$, 聚磷酸盐是一种含高磷的聚合物, 短链聚磷酸盐可以作农用水溶性磷肥使用, 一般聚合度小于 20 的可溶于水。

聚磷酸盐施入土壤以后会逐步水解进而释放正磷酸盐, 这一过程可以减少磷被土壤的固定^[9], 增加磷的移动性, 促进作物吸收, 进而提高磷肥的利用率。此外, 还有研究表明, 聚磷酸盐可能直接被土壤所吸附, 造成聚磷酸磷肥肥效表现不如常规磷肥^[10]。因此, 探明施用不同聚磷酸磷肥土壤中磷酸盐吸附和解吸附行为可能是解释聚磷酸磷肥肥效差异的主要突破口。

影响土壤对磷的吸附和解吸的因素很多, 包括 pH、离子强度、有机质含量、黏粒含量、水合氧化物和碳酸钙的存在等^[11]。颜晓等^[12]对红壤、黄泥土和紫色土等典型酸性旱地土壤的研究表明, 黏粒含量、各形态氧化铝含量和 pH 值是影响土壤吸磷能力的主要因素, 其中黏粒含量可能是最关键因素。何振立等^[13]对针铁矿、青紫泥和高岭石等几种浙江代表性土壤的研究表明, 盐基饱和度、交换性酸、黏粒含量、有机质及全磷含量是影响土壤磷吸持力的主要因素。影响新疆灰漠土和棕漠土吸附固磷能力的土壤性质包括黏粒、有机质、碳酸钙含量及 pH 值^[14]。因此, 探究不同土壤类型的理化性质对土壤磷的吸附和解吸附行为对高效施磷和正确选择磷肥品种有重要意义。

收稿日期: 2023-08-09; 录用日期: 2023-11-14

基金项目: 石河子大学高层次人才科研启动项目 (RCZK201946); 企业横向课题 (YTHZWYJY2020001); 石河子大学大学生研究训练计划 (SRP) 项目 (srp2022018)。

作者简介: 张静雯 (2001-), 本科生, 主要从事植物营养研究。
E-mail: 1185798321@qq.com。

通讯作者: 张新疆, E-mail: xinjiangzhang0218@126.com。

磷等温吸附解吸曲线是描述磷吸附解吸特征常用的方法^[15]。一般用 Langmuir 方程描述土壤磷的吸附行为,从而描述土壤的固磷情况,并获得许多反映土壤磷运移能力及评价农田磷环境风险的重要参数,如土壤对磷的最大吸附量(Q_m)、土壤与磷的结合能常数(K)、土壤对磷的最大缓冲容量(MBC)、土壤对磷的吸附饱和度(DPS)等^[16-17]。磷解吸是相对于吸附的相反过程,对评估土壤磷有效性有重要意义,与土壤吸附的磷再利用有关^[18]。

土壤对磷的吸附和解吸附行为是决定磷在土壤中有效性的关键,而不同类型土壤上施用聚磷酸磷肥存在肥效差异,特别是南方和北方土壤的相关性质差异较大,土壤对磷的吸附和解吸能力的差异会更大。因此,本文拟通过在不同类型土壤中施用聚磷酸盐,探究施用聚磷酸盐的土壤中磷的吸附和解吸附效应,以解析聚磷酸磷肥不同肥效表现的内在原因,为聚磷酸盐在农业上的应用以及新型肥料的发展提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤包括灰漠土和砖红壤,其分别采自新疆石河子市(44.18° N, 86.69° E)和福建安溪(25.07° N, 118.18° E)。供试土壤的基本理化性质如表 1 所示。

表 1 灰漠土和砖红壤的基本理化性质

土壤类型	pH 值	有机质 (g/kg)	黏粒 (%)	碳酸钙 (%)	铁铝氧化物 (%)	全磷 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)
灰漠土	8.05	18.77	16.36	7.84	1.27	1.29	8.62
砖红壤	5.69	23.42	30.60	3.58	4.06	0.48	20.16

选用常规水溶磷肥(DAP, N 16%、P₂O₅ 50%)和 4 种不同聚合度聚磷酸磷肥进行试验。供试 4 种聚磷酸磷肥分别是平均聚合度为 1.8 的聚磷酸铵 1 (APP1, N 16%、P₂O₅ 60%, 聚合率 75%), 平均聚合度为 2.3 的聚磷酸铵 2 (APP2, N 16%、P₂O₅ 60%, 聚合率 75%), 平均聚合度为 2.7 的聚磷酸铵 3 (APP3, N 17%、P₂O₅ 60%, 聚合率 98%) 和平均聚合度为 3.0 的三聚磷酸钾 (KTPP, P₂O₅ 45%、K₂O 51%, 聚合率 95%), 以上均由云天化股份有限公司研发中心提供。

1.2 试验设计

通过在两种不同类型土壤(碱性灰漠土和酸性砖红壤)上设置 5 种不同磷源,研究 2 种土壤对 5 种磷源的吸附和解吸附特性。5 种磷源分别是 APP1、APP2、KTPP 和 APP3,以磷酸二铵(DAP)为对照。因此,本研究共计处理数:2 类土壤 × 5 种磷肥 = 10 个处理,每个处理重复 4 次。

1.3 试验方法

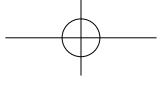
1.3.1 土壤样品采集与分析

采用“S”形布点采集南北方典型砖红壤和灰漠土土壤 0 ~ 20 cm 土层 5 ~ 7 点样品,充分混匀,经风干后,磨细过 1 mm 筛备用。土壤 pH 值采用 1 : 2.5 土水比 pH 计测定;有机质测定采用重铬酸钾容量法—外加热法;黏粒含量采用简易比重计法测定;碳酸钙含量采用容量滴定法测定;铁铝氧化物含量用质量法测定;土壤全磷测定用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法;有效磷采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定,具体测定方法参考鲍士旦的《土壤农化分析》^[19]。

1.3.2 土壤磷的吸附与解吸

1.3.2.1 磷等温吸附试验 称取过 1 mm 筛的 5.000 g 土壤于 100 mL 离心管中,分别加入 50 mL 含不同种类聚磷酸盐(以 P 含量为标准)浓度分别为 0、30、60、90、120、150、180、210、240 mg/L 的 0.01 mol/L KCl- 聚磷酸盐溶液,滴加 3 滴氯仿以抑制微生物活性。在 25℃ 下恒温振荡 2 h,恒温平衡 22 h,以 5000 r/min 离心 5 min。离心完毕后,移取上清液,用钼蓝比色法测定上清液中的磷含量,即为平衡溶液中磷的浓度。土壤磷的吸附量为初始溶液磷浓度与平衡溶液磷浓度之差。根据所得结果,以平衡溶液中的磷浓度为横坐标,土壤磷的吸附量为纵坐标画图,此为磷的等温吸附曲线,并用 Langmuir 方程进行拟合。

1.3.2.2 磷等温解吸试验 吸附试验结束后,用 20 mL 饱和 KCl 溶液清洗土样中游离的塑料管壁残留的磷酸盐各 2 次,之后加入 50 mL 的 0.01 mol/L KCl 溶液,25℃ 下恒温振荡 2 h,恒温平衡 22 h,以 5000 r/min 离心 5 min。离心完毕后,取上清液,采用钼蓝比色法测定上清液中的磷即为解吸磷。根据所得结果,以平衡溶液中的磷浓度为横坐标,土壤对磷的解吸量为纵坐标画图,此为磷的等温解吸曲线。



1.3.3 计算方法

Langmuir 等温吸附方程:

$$C/Q = C/Q_m + 1/(K \times Q_m) \quad (1)$$

式中, C 为平衡溶液磷浓度, mg/L ; Q 为磷吸附量, mg/kg ; Q_m 为磷最大吸附量, mg/kg ; K 为吸附亲和力常数。

根据 Langmuir 等温吸附方程得到的一系列参数, 可计算以下指标:

土壤最大缓冲容量 (MBC , mg/kg) 是 Q_m 和 K 两个因子的综合参数, 公式如下:

$$\text{MBC} = K \times Q_m \quad (2)$$

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 与 SPSS 26.0 进行数据处理与

统计分析, 采用 Origin 2022 作图。

2 结果与分析

2.1 不同土壤类型下聚磷酸盐在土壤中磷的吸附特性

在不同处理下, 各土壤对磷吸附量都是随平衡溶液磷浓度的增加而增加, 从整体上看, 各施肥处理在砖红壤的磷吸附量大于灰漠土。

在酸性土壤上, APP2 处理磷吸附量在整个平衡溶液磷浓度范围内最高 (图 1a)。在灰漠土中, 各处理的磷吸附量从高到低依次为 APP2>APP1>APP3>DAP>KTPP, 除 KTPP 处理以外, 其他处理的磷吸附量均大于 DAP 处理 (图 1b)。

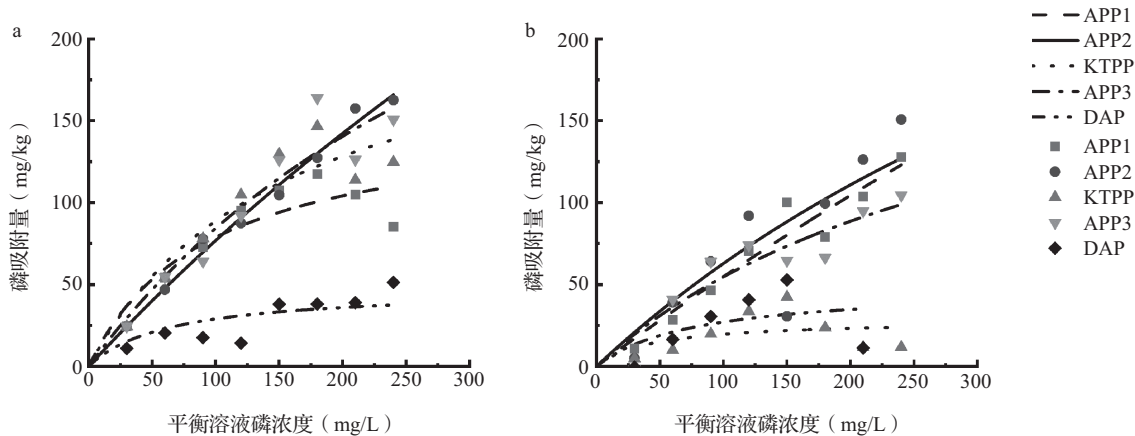


图 1 不同处理下各土壤磷等温吸附曲线

注: 图 a 为砖红壤, 图 b 为灰漠土。

为了更好地量化不同处理下吸附磷的变化, 采用 Langmuir 吸附等温曲线模型拟合了不同处理吸附磷和相应的平衡溶液磷浓度的关系 (表 2), 可以看出 Langmuir 方程拟合的相关性较好, 说明在本试验条件下, 用 Langmuir 方程拟合的等温吸附曲线能较好地描述各供试磷肥在灰漠土和砖红壤上磷的吸附特性。

K 表示土壤胶体与磷酸根离子亲和力的高低, 可反映出土壤吸附磷的能级^[20]。 K 值越大, 则表明吸附反应程度越强, 生成物越稳定, 供磷能力越弱^[21]。当 $K>0$ 时, 表明土壤磷的吸附反应是在常温下自发进行的。本试验砖红壤下各施肥土壤的 K 值范围为 0.001 ~ 0.016, 灰漠土下的 K 值

范围为 0.001 ~ 0.022, 说明各施肥处理土壤磷吸附反应在常温下均能自发进行。 Q_m 反映了土壤胶体吸附点位的多少, 可表征土壤磷库容量, 当土壤中磷含量达到一定程度时, 土壤才可向作物提供养分^[20]。在砖红壤下, Q_m 值从大到小顺序均为 APP2>APP3>KTPP>APP1>DAP; 在灰漠土下, Q_m 值从大到小顺序均为 APP2>APP1>APP3>DAP>KTPP, 说明了 APP2 处理持续固磷能力强。 MBC 是综合反映土壤吸磷强度和容量因素的参数^[22], 是判断土壤供磷特性的指标^[23], MBC 值越大, 则表明土壤贮存磷的能力越大^[15], 磷损失的风险就越小。整体上看, 砖红壤的 MBC 均较大于灰漠土, 说明了砖红壤对磷的吸附能力要大于灰漠土。

表 2 不同处理下磷吸附等温吸附方程特征参数

土壤类型	磷肥类型	Langmuir 方程	常数 K	磷最大吸附量 (mg/kg)	R^2	土壤最大缓冲容量 (mg/kg)
砖红壤	APP1	$C/Q=0.007C+0.616$	0.011	153.38	0.899	1.623
	APP2	$C/Q=0.001C+1.197$	0.001	960.24	0.991	0.835
	KTPP	$C/Q=0.004C+0.695$	0.006	231.48	0.920	1.440
	APP3	$C/Q=0.002C+0.949$	0.003	419.98	0.930	1.054
	DAP	$C/Q=0.021C+1.345$	0.016	47.43	0.728	0.743
灰漠土	APP1	$C/Q=0.002C+1.380$	0.001	470.40	0.802	0.724
	APP2	$C/Q=0.001C+1.735$	0.001	1110.54	0.949	0.576
	KTPP	$C/Q=0.035C+1.578$	0.022	28.44	0.634	0.634
	APP3	$C/Q=0.004C+1.398$	0.003	233.72	0.896	0.715
	DAP	$C/Q=0.021C+1.616$	0.013	48.25	0.692	0.619

2.2 不同土壤类型下聚磷酸盐在土壤中磷的解吸特性

在不同处理下，土壤对磷解吸量均随平衡溶液磷浓度的增加而增加。从整体上看，各施肥处理在砖红壤上磷的解吸量小于在灰漠土上。

在砖红壤上，各处理的磷解吸量从高到低依次为 APP1>KTPP>DAP>APP3>APP2。当平衡溶液

磷浓度为 240 mg/kg 时，APP1 较 APP2 处理提高了 40.01%（图 2a）。在灰漠土中，KTPP 处理磷解吸量在整个平衡溶液磷浓度范围内最高，而 APP2 处理磷解吸量最低。当平衡溶液磷浓度为 240 mg/kg 时，KTPP 处理较 APP2 处理提高了 33.33%（图 2b）。

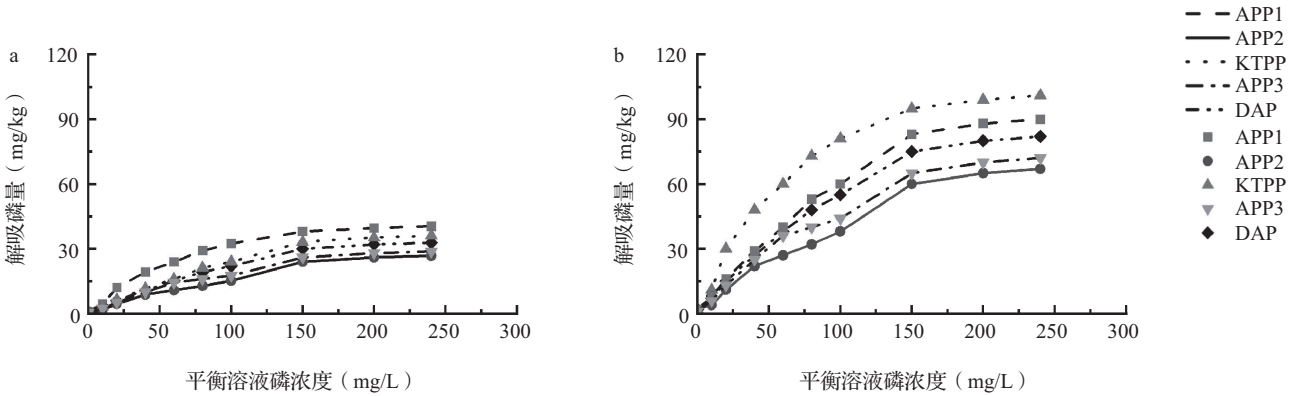


图 2 不同处理下各土壤磷等温解吸附曲线

注：图 a 为砖红壤，图 b 为灰漠土。

2.3 聚磷酸盐磷吸附特性与土壤理化性质的相互关系

本研究根据土壤 Q_m 来衡量土壤的吸磷能力，据此建立供试土壤 Q_m 与各理化性质的相关关系（图 3）。土壤 pH 值与 Q_m 呈负相关关系，相关系数为 -0.45，这或许可以解释砖红壤磷吸附量大于灰漠土的原因。土壤的黏粒、铁铝氧化物含量与 Q_m 呈正相关关系，土壤的有机质和碳酸钙含量与 Q_m

呈负相关关系。
土壤 pH 值与碳酸钙含量呈正相关关系，与铁铝氧化物含量呈负相关关系；而土壤黏粒、有机质含量与碳酸钙含量均呈负相关关系，与铁铝氧化物含量均呈正相关关系。这说明，土壤性质在影响土壤吸磷能力时，各土壤理化性质之间还可能存在交互作用。

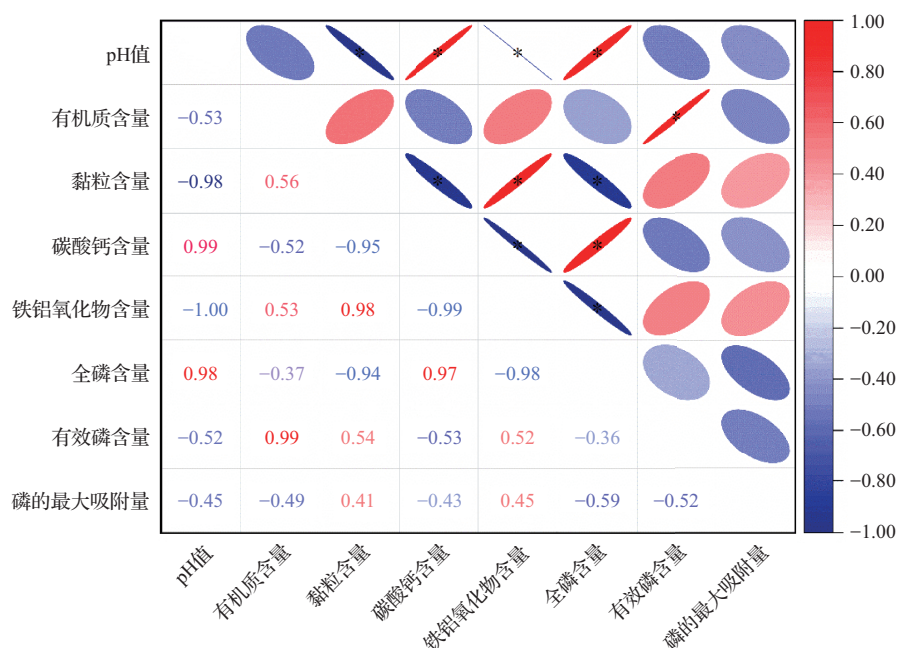


图3 最大吸磷量与土壤各理化性质的相关性分析

注: * 表示相关性达显著水平 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同聚合度聚磷酸磷肥对于土壤中磷吸附与解吸附特性的影响

本试验采用 Langmuir 方程拟合不同磷源处理下灰漠土和砖红壤对磷的吸附曲线,发现 Langmuir 方程拟合效果较好。对于磷的等温吸附曲线,从整体上来看,土壤对磷吸附量是随平衡溶液磷浓度的增加而增加,但是某些处理并未达到最大吸附量,这是因为其吸附还未达到饱和,可能仍需增加磷浓度,或者与振荡时间和动力学因素有关。本研究发现,在灰漠土上,以中聚合度为主的 APP2 吸附性最强, KTPP 吸附性最弱;在砖红壤上, APP2 吸附性最强, DAP 吸附性最弱。聚磷酸铵 (APP) 作为富含氮、磷元素的一种新型肥料,主要是由正磷酸盐、焦磷酸盐、三聚磷酸盐、四聚磷酸盐及四聚以上的磷酸盐组成^[24]。Blancha 等^[25]的研究发现,三聚磷酸盐、焦磷酸盐的吸附性强于正磷酸盐,这是因为三聚磷酸盐、焦磷酸盐与正磷酸盐竞争吸附位点,从而减少对正磷酸盐的吸附。而且随着时间的延长,高聚态聚磷酸盐快速水解为焦磷酸盐和正磷酸盐,焦磷酸盐再较为缓慢地水解为正磷酸盐,前一过程产生的正磷酸盐提高了溶液中磷的含量,所以高聚态聚磷酸盐处理的吸附量小于焦磷酸盐。还有研究

证实,焦磷酸盐水解的半衰期最长,一般为 4 ~ 100 d^[26]。聚磷酸盐含中聚合度成分越多,其水解为正磷酸盐的速率越慢,因此,聚合度大小会显著影响聚磷酸盐的有效性。本研究中以中聚合度为主的 APP2 水解为焦磷酸盐的量较多,因此土壤对其的吸附性较强。

本试验结果显示,在砖红壤和灰漠土上,不同处理的磷解吸量均表现出随平衡溶液磷浓度增加而增加,这与陈波浪等^[21]研究得出的磷解吸量随磷浓度增加而增加的结果相符合。这主要是因为,在低浓度平衡溶液磷浓度条件下,土壤对磷的吸附能力强,不易解吸,而在较高浓度的平衡溶液磷浓度条件下,土壤对磷的吸附较接近饱和,因此解吸量较高^[27]。在灰漠土中,整体上来看 KTPP 的磷解吸量最大,而 APP2 的磷解吸量较小。这主要是因为当土壤同时吸附 KTPP 和 APP2 时, KTPP 水解为正磷酸盐和焦磷酸盐的速度远大于 APP2 水解为正磷酸盐的速度,所以导致溶液中 KTPP 水解产生的正磷酸盐的浓度高于 APP2。在砖红壤上, APP1 的磷解吸量最大, APP2 的磷解吸量较小。APP1 中低聚合度聚磷酸盐含量占比大,因而 APP1 水解为正磷酸盐的速率比其他磷肥处理快。砖红壤和石灰性土壤的 pH 值不同,土壤的颗粒表面吸附力不同,以及各处理下颗粒的不同排列所导致的孔隙大小不同^[28],且含有的离子类型也有一定的差异^[29],所

以这两种土壤下磷解吸附量是不同的。今后,可对不同类型土壤对磷吸附解吸特性进行进一步的研究,为APP在农业上的应用提供理论依据和技术支撑。

3.2 土壤理化性质对磷吸附能力的影响

本研究中土壤有机质含量与 Q_m 呈负相关关系(图3)。土壤有机质可以通过自身矿化释放出磷,而且有机质在腐解过程中会产生有机酸根离子,其会与土壤溶液中的磷酸根产生竞争吸附,减弱了土壤对磷的吸附^[30];同时有机质分解产生的有机酸还可溶解灰漠土中的钙镁磷酸盐从而释放磷素^[31],因而有机质含量越高,土壤对磷吸附能力越弱,磷有效性越高。

本研究中土壤黏粒含量与 Q_m 呈正相关关系(图3)。土壤无机胶体是黏粒的重要组成部分,也是原生矿物经风化作用形成的次生黏土矿物,其粒径小、具有巨大比表面积和比表面能,包括硅酸盐、铁铝氧化物和层状硅酸盐矿物。在土壤磷吸附过程中,胶体中表面所具有羟基或水合基的非晶形硅酸盐、铁铝氧化物、水合氧化物和层状硅酸盐矿物的断键处可与溶液中 $H_2PO_4^-$ 发生配位交换反应,因而土壤黏粒具有很强的吸附水相中正磷酸盐的能力^[14]。

在本研究供试土壤pH值范围内,土壤pH值与 Q_m 呈负相关关系,而且土壤pH值还与铁铝氧化物含量呈负相关关系(图3)。这说明,pH值越低的土壤,铁铝氧化物含量越高,对磷的吸附能力越大。这主要是因为可变电荷土壤的pH值越低,土壤中铁铝氧化物表面、高岭石等次生矿物表面或边缘羟基及有机胶体表面的某些基团的质子化程度越高,即能提供的阴离子吸附位点越多,进而使土壤溶液磷的吸附容量越大,所以呈酸性的土壤中含有相对较多的铁铝氧化物会易于磷的吸附^[12]。

综上所述,灰漠土的pH值较高,黏粒含量较低,所以其对磷的吸附能力较弱,可以选择较高聚合度的聚磷酸盐;酸性土壤的pH值较低,黏粒含量较高,所以其对磷的吸附能力较强,可以选择较低聚合度的聚磷酸盐,或者可以考虑添加碱性物质如石灰等,以提高土壤pH值,增加磷的有效性,还可以添加磷素吸附剂以提高磷肥利用率。

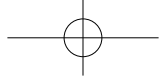
4 结论

不同聚合度的聚磷酸盐对土壤磷的吸附解

吸附特性具有明显差异,较高聚合度的聚磷酸盐(KTPP)在灰漠土中磷吸附能力弱,土壤磷有效性高,而较低聚合度的聚磷酸盐(APP1)在酸性砖红壤中磷的吸附能力弱,能保持较好的土壤磷平衡和供磷能力。影响土壤磷吸附能力的主要参数包括土壤pH及黏粒、有机质、碳酸钙和铁铝氧化物含量。随着土壤pH、有机质和碳酸钙含量越高,土壤黏粒和铁铝氧化物含量越低,则土壤对磷的吸附能力越低,磷的解吸越高,土壤磷有效性越高。

参考文献:

- [1] 熊毅,李庆逵. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [2] 展晓莹,任意,张淑香,等. 中国主要土壤有效磷演变及其与磷平衡的响应关系[J]. 中国农业科学,2015,48(23): 4728-4737.
- [3-] Yan X, Wang D J, Zhang H L, et al. Organic amendments affect phosphorus sorption characteristics in a paddy soil [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2013, 175: 47-53.
- [4] Bai J, Ye X, Jia J, et al. Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions [J]. Chemosphere, 2017, 188: 677-688.
- [5] 龚振平,杜婷婷,闫超,等. 玉米秸秆还田及施磷量对黑土磷吸附与解吸特性的影响[J]. 农业工程学报,2019,35(2): 161-169.
- [6] Wang Y, Marschner P, Zhang F S. Phosphorus pools and other soil properties in the rhizosphere of wheat and legumes growing in three soils in monoculture or as a mixture of wheat and legume [J]. Plant and Soil, 2012, 354(1/2): 283-298.
- [7] Terry J R, Bingah H, Zed R. Wheat, canola and grain legume access to soil phosphorus fractions differs in soils with contrasting phosphorus dynamics [J]. Plant and Soil, 2010, 326(1/2): 159-170.
- [8] Bol R, Julich D, Brodlin D, et al. Dissolved and colloidal phosphorus fluxes in forest ecosystemmsan almost blind spot in ecosystem research [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2016, 179(4): 425-438.
- [9] 熊子怡,邱焯,郭琳钰,等. 聚磷酸铵在土壤中有有效性的变化及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(8): 1473-1480.
- [10] Guan X H, Chen G H, Shang C, et al. Competitive adsorption between orthophosphate and other phosphates on aluminum hydroxide [J]. Soil Science, 2005, 170(5): 340-349.
- [11] 贾兴永. 土壤性质对外源磷化学有效性及吸附解吸的影响研究[D]. 北京:中国农业科学院,2011.
- [12] 颜晓,卢志红,魏宗强,等. 几种典型酸性旱地土壤磷吸附的关键影响因素[J]. 中国土壤与肥料,2019(3): 1-7.
- [13] 何振立,朱祖祥,袁可能,等. 土壤对磷的吸持特性及其与土壤供磷指标之间的关系[J]. 土壤学报,1988,25(4):



- 397-404.
- [14] 何帅, 尹飞虎, 谢海霞. 新疆地带性土壤磷吸附特性影响因素研究 [J]. 新疆农业科学, 2017, 54 (8): 1513-1522.
- [15] 王斌, 刘骅, 李耀辉, 等. 长期施肥条件下灰漠土磷的吸附与解吸特征 [J]. 土壤学报, 2013, 50 (4): 726-733.
- [16] Yan Z J, Chen S, Dari B, et al. Phosphorus transformation response to soil properties changes induced by manure application in a gray desert soil [J]. Geoderma, 2018, 322: 163-171.
- [17] Fan B Q, Wang J, Fenton O, et al. Strategic differences in phosphorus stabilization by alum and dolomite amendments in calcareous and red soils [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26 (5): 4842-4854.
- [18] Guedes R S, Melo L C A, Vergutz L, et al. Adsorption and desorption kinetics and phosphorus hysteresis in highly weathered soil by stirred now chamber experiments [J]. Soil and Tillage Research, 2016, 162: 46-54.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 王讲利, 凌慧娟, 王伟, 等. 灰漠土长期定位施肥试验研究. I 施肥对作物产量、肥料效益及水效益影响 [C]// 植物保护与植物营养研究进展. 北京: 中国农业出版社, 1999: 805-809.
- [21] 陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 不同质地棉田土壤对磷吸附与解吸研究 [J]. 土壤通报, 2010, 41 (2): 303-307.
- [22] 张迪, 魏自民, 李淑芹, 等. 生物有机肥对土壤中磷的吸附和解吸特性的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2005, 36 (5): 571-575.
- [23] 赵庆雷, 王凯荣, 谢小立. 长期有机物循环对红壤稻田土壤磷吸附和解吸特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2009, 42 (1): 355-362.
- [24] Torres-dorantet L O, Claassen N, Steingrobe B, et al. Hydrolysis rates of inorganic polyphosphates in aqueous solution as well as in soils and effects on P availability [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2005, 168 (3): 352-358.
- [25] Blancha R W, Hossne L R. Hydrolysis and sorption of ortho-, pyro-, tri-, and trimetaphosphate in 32 Mid-western soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, 33 (4): 622-625.
- [26] Sutton C D, Larsen S. Pyrophosphate as a source of phosphorus for plants [J]. Soil Science, 1964, 97 (3): 196-201.
- [27] 曹志洪, 李庆逵. 黄土性土壤对磷的吸附与解吸 [J]. 土壤学报, 1988, 25 (3): 218-226.
- [28] 时新玲, 李志军, 王锐. 土壤磷扩散的影响因素研究 [J]. 水土保持通报, 2003, 23 (5): 15-18.
- [29] 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 磷在土壤中有有效性的衰减 [J]. 土壤学报, 2000, 37 (3): 323-329.
- [30] Wamdruszka R V. Phosphorus retention in gray desert soils and the effect of arganic matter on its mobility [J]. Geochemical Transactions, 2006 (7): 1-8.
- [31] 丁怀香, 宇万太. 土壤无机磷分级及生物有效性研究进展 [J]. 土壤通报, 2008, 39 (3): 681-686.

Study on adsorption-desorption characteristics of polyphosphate in gray desert soil and latosol soil

ZHANG Jing-wen, CHI Hai-long, WU Sheng-biao, MA Lin, JIANG Xi-liang, WEI Chang-zhou, ZHANG Xin-jiang*
(College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003)

Abstract: The phosphorus adsorption-desorption characteristics of polyphosphate with different degree of polymerization in two different types of soil were studied, which provided a theoretical basis for the analysis of fertilizer efficiency differences of polyphosphate fertilizer and the application of agricultural phosphorus fertilizer. Taking gray desert soil in the north and Latosol in the south as the test soil, and conventional water-soluble phosphate fertilizer (DAP) as the control, the adsorption and desorption characteristics of phosphorus in two kinds of soils with different degrees of polyphosphate (APP1, APP2, APP3, KTPP) were explored, and the relationship between the physical and chemical properties of different soils and the amount of phosphorus adsorption desorption was further explored. The results showed that in acid soil, the phosphorus adsorption capacity of each treatment soil was in the order of APP2>APP3>KTPP>APP1>DAP, and the phosphorus desorption capacity in soil was in the order of APP1>KTPP>DAP>APP3>APP2; In gray desert soil, the phosphorus adsorption capacity of each treatment was in the order of APP2>APP1>APP3>DAP>KTPP, and the phosphorus desorption capacity of soil was in the order of KTPP>APP1>DAP>APP3>APP2. The contents of soil clay, iron and aluminum oxides in soil physical and chemical properties parameters were positively correlated with the maximum phosphorus adsorption capacity (Q_m). Soil pH, organic matter and calcium carbonate content were negatively correlated with Q_m . To sum up, higher degree of polymerization polyphosphate (KTPP) has weak phosphorus adsorption capacity in gray desert soil and high soil phosphorus availability, while lower degree of polymerization polyphosphate (APP1) has weak phosphorus adsorption capacity in acid soil and can maintain good soil phosphorus balance and supply capacity. The higher the soil pH, organic matter and calcium carbonate content, the lower the soil clay and iron aluminum oxide content, the lower the soil phosphorus adsorption capacity, the higher the phosphorus desorption, and the higher the soil phosphorus availability.

Key words: ammonium polyphosphate; adsorption; desorption