

石灰性褐土中磷锌交互作用及磷对锌吸附-解吸的影响*

刘忠珍^{1,3} 介晓磊^{1,2} 刘世亮^{1**} 刘芳¹ 化党领¹
崔海燕¹ 王代长¹

(1. 河南农业大学资源与环境学院/河南省高校农业资源与环境工程技术研究中心, 郑州, 450002;
2. 郑州牧业工程高等专科学校, 郑州, 450011; 3. 广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广州, 510640)

摘要 采用室内培养和吸附解吸两种方法, 研究了石灰性褐土中磷、锌交互作用。培养试验表明, 在本研究浓度范围内, 施磷明显提高了土壤中 DTPA 提取态锌含量, 提高率为 15%—134%, 且这种作用在培养前 3 天之内就已经很明显, 在整个培养期比较稳定。施锌也增加了磷的有效性, 这种作用随着时间的延长(培养的第 7 天始)逐渐增强。施锌可减缓有效磷随培养时间的延长呈明显下降的趋势。吸附试验表明, 石灰性褐土磷含量或磷吸附量的提高均可降低其对锌离子的吸附容量和吸附能力。吸附磷提高了 KCl 解吸的活性较高的锌量, 降低了 HCl 解吸的专性吸附态锌(活性很低的锌)量, 即磷含量(吸附量)增加了土壤中锌的有效性。因此, 石灰性褐土中磷锌交互作用为协同作用。

关键词 褐土 磷 锌 交互作用 吸附 解吸

在土壤-植物系统中, 磷与重金属元素间交互作用的研究很多, 其中主要集中于磷与重金属如锌、镉等的吸附解吸研究。如罗厚庭等^[1]研究表明, 红壤、黄棕壤吸附磷酸根后可使 Cu、Zn、Cd 的次级吸附量增加, 解吸率下降, 并呈线性关系。刘芳等^[2]研究结果表明, 石灰性土壤中镉的吸附量随磷浓度的增加而升高。同时, 磷锌拮抗问题一直是土壤与植物营养科学的研究热点之一。磷锌拮抗的土壤化学机制存在两种观点: (1) 在土壤中可能生成磷酸锌沉淀, 从而降低锌的生物有效性^[3]。(2) 施磷或特定形态的磷加强了土壤对锌的吸附作用, 降低了土壤溶液中锌的浓度, 进而降低了锌的有效性^[4]。但也有研究表明, 施磷促进了土壤吸附态锌的解离, 使其有效性提高^[5-6]。

研究磷与重金属元素交互作用的重要性在于, 植物营养元素的交互作用已从单纯的营养学角度扩展到维持环境物质的生态平衡, 乃至保护环境和人类健康等方面。首先, 以锌为代表的植物必需重金属元素在世界大部分耕地中有效性极低, 其原因除土壤因素外, 大量使用磷肥也是一个重要原因^[7]。其次, 由于工业等污染使其浓度过高对植物产生毒害, 各国的环境和植物营养学家试图通过施用磷肥来减轻或消除其对植物的不利影响^[8]。因此, 从植物营养角度看, 磷与植物必需的重金属元素间的交互作用, 对促进植物对某一特定元素的吸收和利用, 并对不同作物进行养分的合理配比以指导合理施肥具有重要的意义; 从重金属污染治理角度, 利用磷可使植物富集某些重金属, 以修复被重金属元素污染的土壤^[9-14]。

本试验排除植物因素的影响, 在供试褐土中研究磷、锌相互关系, 以揭示土壤中磷、锌相互影响, 为进一步研究其交互作用奠定基础。

1 实验部分

1.1 供试材料

供试土壤采自郑州市惠济区典型褐土区的表层(0—20 cm), 其理化性质如下: 有机质 $4.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $9.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH(H_2O) 8.0, 粘粒($<0.002 \text{ mm}$) 20.18%, 粉粒($0.002—0.02 \text{ mm}$) 60.36%, 砂砾($0.02—0.05 \text{ mm}$) 20.18%, 总 Zn 含量为 $44.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, DTPA 提取态 Zn $1.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试试剂: 磷为

2009年11月20日收稿。

* 河南省自然科学基金项目(0511031400, 2008A208014)资助。

** 通讯联系人, E-mail: shlliu70@163.com

磷酸二氢钙($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, AR)和磷酸二氢钾(KH_2PO_4 , AR), 锌为 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (AR).

1.2 褐土中磷-锌不同培养时期的交互作用

采用两因素完全设计, 锌设3个浓度水平, 分别为0、25、200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (分别用Zn0、Zn25、Zn200表示), 磷设3个浓度水平, 分别为0、65.46、196.38 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (分别用P0、P65.46、P196.38表示). 土壤样品自然风干后, 过10 mm筛, 分装于塑料杯子里, 每杯装土60 g, 以溶液的形式向土壤中添加磷($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、锌($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)到不同水平, 设6个重复. 置于人工气候箱中培养, 培养时温度保持25℃, 湿度保持64%左右. 在培养的第3、7、15、30、60、90天时分别破坏取样, 放入烘箱35℃鼓风烘干后过20目塑料筛保存, 供以后测速效磷和DTPA提取态锌.

1.3 不同含磷量土样制备及锌吸附等温线试验

土样制备: 选用供试褐土, 设4个磷浓度水平: 0、21.82、65.46、196.38 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (KH_2PO_4 以溶液形式加入), 参照1.2培养方法于人工气候箱内培养3个月后, 放入烘箱35℃鼓风烘干后过20目筛保存, 供测速效磷和锌吸附等温线试验.

锌吸附等温线试验: 称过20目的土样1.0000 g若干份置于50 ml塑料离心管中, 称取离心管和土样总重, 加入含不同浓度水平的Zn(0、5、10、20、30、40、60、80、100 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)溶液25 ml, 摇匀, 在(25 ± 1)℃下恒温振荡10 h(150 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 静置一夜, 以6000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心10 min, 上清液测锌含量, 差量法计算土样对锌的吸附量.

1.4 磷吸附对褐土锌次级吸附和解吸的影响

不同磷吸附量土样制备: 称过20目的土样1.0000 g若干份置于50 ml塑料离心管中, 加入含不同浓度水平的P(0、5、10、20、40、80、120、160、200 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)溶液25 ml, 同1.3条件振荡、离心, 上清液测磷含量, 差量法计算土壤的磷吸附量.

次级吸附锌试验: 离心后, 倾倒上清液, 吸附不同磷量的土样分两组, 分别加入10、80 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 浓度Zn(ZnSO_4 0.01 $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KCl, pH = 5.6) 25 ml, 同样条件振荡、离心后, 测上清液锌浓度, 差量法计算各土壤对锌的次级吸附量.

解吸锌试验: 依介晓磊的方法^[15], 依次用0.5 $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KCl、KOH、HCl溶液25 ml对上述次级吸附锌的样品进行浸提, (25 ± 1)℃下振荡2 h, 离心后测锌含量. 每次离心后称离心管重, 计算管内残液中残留锌量, 从下次提取结果中扣除.

以上吸附试验, 均做两个重复.

1.5 测定方法

土壤速效磷采用 NaHCO_3 浸提-钼兰比色法(Olsen法)^[16]测定, 有效态Zn用DTPA浸提-原子吸收分光光度法^[16]测定.

2 结果与讨论

2.1 褐土中磷-锌有效性相互影响及其随时间的变化

2.1.1 施磷对褐土中锌有效性影响及其随时间的变化

由图1可知, 在锌浓度为25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 土壤中磷的施入均增加了DTPA提取态锌浓度, 这种作用在培养的整个时期(3 d—90 d)均很明显, 且稳定. 锌浓度为25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, P65.46和P196.38对DTPA锌浓度的提高率分别为26%—48%和15%—42%, P196.38水平对锌有效性的提高率低于P65.46水平. 锌浓度为200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, P65.46和P196.38对DTPA锌浓度的提高率分别为63%—103%和70%—134%, P196.38水平对锌有效性的提高率大于P65.46水平. 可见, 施磷对土壤中锌有效性的增加是有限度的, 分析认为, 低浓度水平, 磷锌作用机理为吸附, 高浓度水平, 磷锌作用机理为沉淀. 当锌背景不同时, 其开始发生沉淀反应所需的磷量是不同的.

在施锌浓度为25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 土壤中DTPA提取态锌在各种P浓度处理下, 随培养时期的延长, 均稍有降低趋势. 施磷后土壤中有效锌含量随培养时间的变化趋势与不施磷时随时间变化趋势是一致的. 在培养时间达到60 d后, 土壤中锌有效性含量基本上不再变化. 还可以发现, 从培养的

第 3 天开始, 磷对锌有效性提高的作用就已经很明显, 并趋于稳定了, 可以推测, 磷开始与锌竞争吸附点位, 以及沉淀等作用在培养的前 3 天内就已经趋于稳定了。

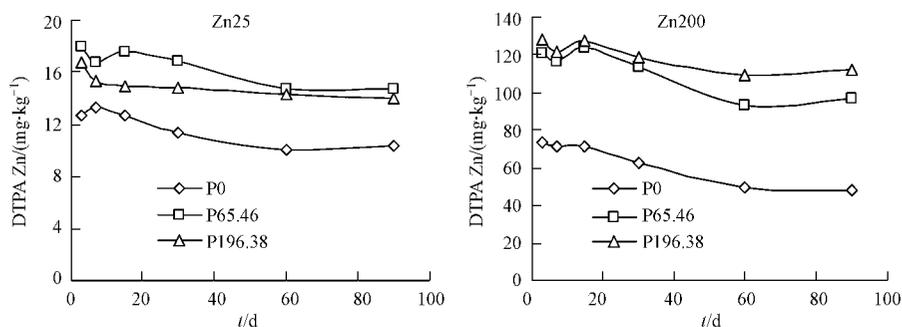


图 1 土壤不同磷含量对锌有效性影响及其随时间的变化

Fig. 1 Effect of soil P content on DTPA-Zn concentration during incubation

2.1.2 施锌对褐土中磷有效性影响及其随时间的变化

由图 2 可知, 在施磷浓度为 $65.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $196.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时(分别用 P65.46、P196.38 表示), 土壤中锌的施入均增加了土壤中速效磷的含量, 且速效磷含量随施锌浓度的提高而增加。

由图 2 可知, 在锌浓度为 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 土壤中速效磷含量随培养时间的延长, 均有降低趋势, 高磷浓度时, 降低趋势很明显。还可以发现, 锌对磷有效性提高的作用随着时间的延长逐渐增强, 在培养的前 7 天, 因锌浓度的提高引起磷有效性提高的效果不明显(与前面磷对锌有效性提高作用在前 3 天已经趋于稳定相比, 锌对磷有效性提高的发生作用较缓慢, 且是逐渐增强的); 从培养的第 7 天开始, 锌对磷的作用逐渐增强; 到第 60 天时, 这种作用基本稳定。所以, 锌的添加减缓了土壤中磷有效性随时间延长而逐渐降低的趋势, 即施锌可以延长磷有效期。在培养时间达到 60 d 后, 土壤中磷有效性基本上不再变化。

由此可见(图 1、图 2), 石灰性褐土中磷锌交互作用仍是协同作用。施磷明显提高了土壤中锌的有效性, 且这种作用在培养前 3 天之内就已经很明显。施锌也明显提高了磷的有效性, 这种作用在培养的前期效果不太明显, 随着培养时间的延长(培养的第 7 天始), 对磷有效性提高的效果逐渐增强。同时发现, 土壤有效磷随培养时间的延长呈明显的下降趋势, 施锌则减缓了这种趋势。土壤磷有效性变化、有效锌变化以及两者互相作用的变化均在培养的第 60 天趋于稳定。

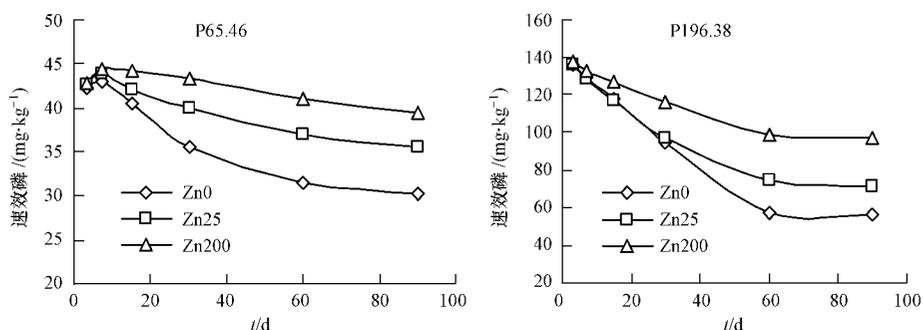


图 2 土壤不同锌含量对磷有效性影响及其随时间的变化

Fig. 2 Effect of soil Zn content on P availability during incubation

2.2 不同磷含量土壤对锌的吸附等温方程

添加不同浓度磷培养 3 个月后的褐土, 测定其速效磷含量分别为: 7.4 、 15.1 、 30.3 、 $63.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (分别用 P7.4、P15.1、P30.3、P63.5 表示)。4 个土壤对锌的等温吸附曲线如图 3 所示。由图 3 可见, 随着土壤中磷含量的增加, 土样对锌的吸附量有降低趋势; 在实验浓度范围内, 随平衡液中锌浓度的增加, 不同磷含量土壤对锌的吸附量的增加幅度逐渐减小, 其曲线为“L”型。

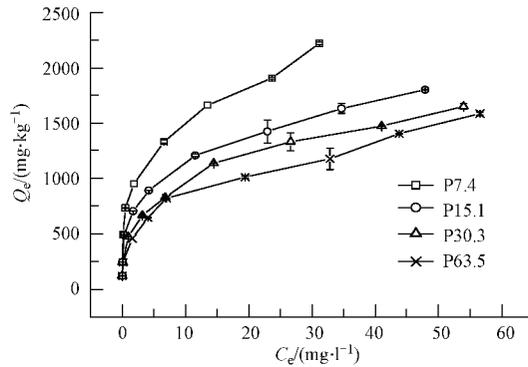


图3 锌在不同磷含量褐土中的吸附等温线

Fig. 3 Adsorption isotherms of Zn on cinnamon soil with different P contents

吸附数据采用 Langmuir 方程 $Q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$ 进行拟合. 其中 Q_e 为土壤对锌的吸附量, 或固相平衡浓度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); C_e 代表达到表观平衡时溶液中锌的浓度 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$); Q_m 为 Langmuir 方程常数, 表示最大吸附量; K_L 为 Langmuir 常数, 与吸附能量有关.

方程拟合结果如表 1, 表 1 可见 4 种磷含量土壤对锌等温吸附的 Langmuir 方程拟合相关系数 (r) 都达到了极显著水平; 方程常数 Q_m 也均达到了极显著水平; 除 P7.4 处理外, 其它处理的拟合方程常数 K_L 也达到了显著水平.

表 1 表明, 随着土壤含磷量的提高, 锌吸附最大值 (Q_m) 和吸附常数 (K_L) 相应变小. 说明石灰性土壤中磷含量的提高可降低其对锌离子的吸附容量和吸附能力. 从理论上证明了石灰性褐土中磷含量的增加可以提高土壤中锌的有效性.

表 1 不同磷含量褐土锌吸附等温线的 Langmuir 模型拟合参数

Table 1 Constants (K_L) and correlation coefficients (r) of Zn sorption on the soil with different P contents based on the Langmuir equations

样品	Q_m	K_L	r
P7.4	1996.14 ± 182.40	0.655 ± 0.305	0.9493 **
P15.1	1722.23 ± 152.82	0.335 ± 0.140	0.9533 **
P30.3	1662.95 ± 135.31	0.193 ± 0.063	0.9678 **
P63.5	1541.25 ± 135.87	0.172 ± 0.061	0.9604 **

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

2.3 不同磷吸附量对褐土锌次级吸附和解吸的影响

土壤吸附不同浓度水平磷后, 再次级吸附 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 浓度的锌, 最后依次用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KCl、 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KOH、 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ HCl 解吸, 比较 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 两种情况下锌吸附率、三种解吸剂解吸锌量所占比率 (表 2).

由表 2 可见, 随磷吸附量的增加, 土样对锌的吸附率降低. 吸附 $80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 水平锌时, 随磷吸附量增加, 锌吸附率从 99.16% 降低到了 84.79%; 吸附 $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 水平锌时, 锌吸附率从 99.86% 降低到了 97.68%, 即磷吸附对高水平锌吸附降低的幅度大于低水平锌.

出现以上现象主要与磷酸根和锌离子对土壤胶体吸附位的占据情况有关. 在磷锌共存的土壤体系中, 土壤胶体的吸附位点可以分为三部分: (1) 只有磷酸根可以占据的; (2) 只有锌离子可以占据的; (3) 两者竞争均可以占据的^[15, 17]. 两者竞争吸附主要是竞争占据第三部分的吸附位点, 而这种竞争能力与接触吸附位点时间先后、离子浓度有很大关系. 此试验中, 磷吸附量较小时, 锌离子具有浓度高的竞争优势, 可以占据较多的第三部分吸附位点; 而随着磷吸附量的增加, 锌离子量却没有增加, 故锌离子竞争能力越来越小, 所占据的第三部分的吸附位点越来越少, 吸附量降低. 土壤吸附低浓度锌时, 大部分锌离子占据在自己特有的吸附位点上, 只有很少量的锌离子与磷酸根竞争第三部分吸附位点; 另外, 土壤先吸附磷再吸附锌, 本来浓度就很低的锌离子没有优先占据第三部分吸附位点的优势, 因而受磷吸附影响很

小, 随磷吸附量提高, 锌吸附率降低趋势不很明显. 而吸附高浓度锌时, 锌离子占据特有的吸附位点后, 还有较多锌离子与磷酸根离子竞争第三部分吸附位点, 故受土壤磷吸附量影响较大, 对磷吸附量增加, 锌吸附量降低趋势较明显.

表 2 不同磷吸附量对褐土锌吸附和解吸率的影响

Table 2 Effect of adsorbed P content on the rate of Zn adsorption & desorption

磷吸附量/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	锌吸附率/%		三种解吸剂解吸锌占总吸附锌量的比率/%						总解吸锌量占吸附 锌量的比率/%	
			KCl		KOH		HCl			
	10Zn	80Zn	10Zn	80Zn	10Zn	80Zn	10Zn	80Zn	10Zn	80Zn
0	99.86	99.16	0.29	12.02	30.31	49.25	67.50	26.68	98.10	87.96
36.63	99.54	95.38	0.42	13.78	33.01	34.31	65.24	25.45	98.67	73.53
52.75	99.51	93.52	0.47	22.10	39.13	26.97	59.07	23.65	98.67	72.72
72.50	99.04	90.64	0.38	28.02	37.86	28.28	60.52	21.26	98.76	77.57
97.50	98.45	88.42	0.63	29.91	38.64	24.82	59.95	20.24	99.22	74.97
137.50	98.22	86.54	0.64	33.26	42.51	22.29	56.28	19.23	99.44	74.78
175.00	97.69	86.14	0.73	34.09	42.62	23.36	56.41	18.22	99.76	75.67
200.00	97.92	86.11	0.83	37.54	42.16	25.47	54.94	18.20	97.93	81.21
204.25	97.68	84.79	0.85	42.39	43.46	24.55	53.31	18.89	97.62	85.83

吸附 $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 锌时, 所吸附的锌被三种解吸剂依次解吸后, HCl 解吸的锌量所占比率最大(大于 50%), KOH 解吸锌量所占比率次之(30%—45%), KCl 解吸锌量所占比率极小(小于 1%). 吸附 $80\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 锌时, 三种解吸剂解吸锌量所占比率与 $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 相比有了很大变化, KCl 解吸锌量所占比率明显上升(12%—43%), HCl 解吸锌量所占比率明显下降(18%—27%). 因为 KCl 解吸态锌属于电性吸附态, 为活性较高的锌; HCl 解吸态锌属于专性吸附态, 为几乎没有活性的锌; KOH 解吸态锌的活性则处于两者之间. 所以当吸附锌量较低时, 锌主要吸附在结合能较高, 不易被解吸下来的专性吸附位点上; 当吸附锌量增大时, 锌离子除占据专性吸附位外, 还占据了大量的非专性吸附位点, 易被解吸进入土壤溶液, 有效性提高. 另一种解释是, 当锌浓度较低时, 锌离子被均匀地吸附在土壤表面, 且吸附力很大, 但当浓度较高时, 可能发生多层吸附, 则层与层之间作用力较小, 所以更容易被解吸下来.

从表 2 中还可看出, 两种锌浓度下均是随着磷吸附量的增加, KCl 解吸率逐渐增大, HCl 解吸率均逐渐降低, 这表明磷的吸附增加了吸附态锌的电性吸附, 降低了锌的专性吸附, 在某种意义上说明, 在石灰性褐土中, 磷酸根和锌离子可能竞争占据一些相同的专性吸附位点. 随着磷吸附量增加, 更多的磷酸根占据了这些位点, 又因为试验中磷吸附在先, 故专性吸附锌量逐渐降低. 这也从理论上说明了磷吸附可以与锌离子竞争吸附位, 增加土壤中锌的活性, 这与介晓磊等^[15, 18]关于磷吸附对针铁矿吸附锌的影响趋势截然相反.

表 2 还可发现, 在吸附 $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 锌时, 随磷吸附量的提高, KOH 解吸率逐渐升高. 分析认为, 由于土壤吸附的磷酸根逐渐增加, 为锌通过与邻近的磷酸根分子相连接而被吸附创造了更好的条件, 故此形态吸附锌也逐步升高, 这在一定程度上为一些研究者所设想的“桥链”作用^[15, 18-22]提供了证据. 而当吸附 $80\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 锌时, 随磷吸附量的提高, KOH 解吸率却逐渐降低. 分析原因, KOH 解吸锌的同时, 土壤所吸附的磷也会被 KOH 解吸一部分. 由于吸附锌量很大, 被 KOH 解吸进入溶液中的锌量也较多, 于是, 磷被解吸下来进入溶液的同时, 高出生成沉淀浓度阈值的那部分极有可能会生成沉淀. 随磷吸附量的增加, KOH 解吸的磷量也应该是增加的, 与锌生成沉淀的量也应该逐渐增加, 故所测到的被解吸下来的锌量是逐渐降低的. 而土壤吸附 $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 锌时, 被 KOH 解吸进入溶液中的锌量少, 不可能生成沉淀. 故两种情况下, 溶液中磷锌发生了不同的作用. 当然在吸附 $80\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 锌后, KCl 和 HCl 解吸时, 磷锌也可能发生沉淀.

另外, 比较土壤吸附 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $80\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 两种情况下, 三种解吸剂所解吸的总锌量占锌吸附量的比率可发现: $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 时, 此比率 > 97%, 即三种解吸剂几乎解吸了土壤吸附的全部的锌, 并且被解吸下来进入溶液的锌全部被检测出, 这意味着没有发生磷锌沉淀. 而 $80\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 时, 比率却 < 88%, 远远低于 $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 时. 有两种可能会引起此现象, 一是三种解吸剂不能把土壤所吸附的锌全部解吸; 二是所吸附的锌全部被解吸, 但一部分锌与被解吸的磷生成了沉淀没有被检测出. 有研究表明^[15], 此三种解吸

剂是可以把所吸附的锌几乎全部解吸的,故应该是一部分磷锌生成了沉淀,造成了所测到的锌解吸量降低的假象.这也在一定程度上证明了当土壤吸附 $80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 锌时,随磷吸附量的提高,KOH 解吸锌率逐渐降低,这是因为有磷锌沉淀生成引起的.

3 结论

(1) 在本研究浓度范围内,石灰性褐土中磷锌交互作用为协同作用.施磷明显提高了土壤中锌的有效性,且这种作用在培养前 3 天之内就已经很明显.施锌也明显提高了磷的有效性,这种作用在培养的前期,效果不太明显,随着培养时间的延长(培养的第 7 天始),对磷有效性提高的效果逐渐增强.土壤有效磷含量随培养时间的延长呈明显下降的趋势,施锌则减缓了这种趋势.土壤磷有效性变化、有效锌变化以及两者互相作用的变化均在培养的第 60 天达到稳定.

(2) 石灰性褐土中磷含量提高可降低其对锌离子的吸附容量和吸附能力,从理论上证明了石灰性褐土中磷含量的增加,可提高土壤中锌的有效性.

(3) 石灰性褐土中,磷吸附量的提高降低了土壤对锌的吸附能力,提高了 KCl 解吸的活性较高的锌量,降低了 HCl 解吸的专性吸附态锌(活性很低的锌)量,即磷吸附增加了土壤中锌的有效性.

参 考 文 献

- [1] 罗厚庭,董元彦,李学垣.可变电荷土壤吸附磷酸根后对 Cu、Zn、Cd 次级吸附的影响[J].华中农业大学学报,1992,11(4): 358-363
- [2] 刘芳,刘世亮,化党领,等.褐土中磷铜吸附与解吸的研究[J].土壤,2008,40(1): 88-92
- [3] 刘鸣达,王耀晶,李艳利,等.不同磷浓度对土壤吸附锌特性的影响[J].土壤肥料,2005,6: 10-13
- [4] 李鼎新,党廷辉.在 MAP 和 DAP 体系中土壤锌吸附的初步研究[J].土壤学报,1991,28(1): 24-31
- [5] 刘忠珍.石灰性土壤中磷与重金属(锌、镉)交互作用研究[D].河南农业大学,2004: 38-40
- [6] 刘忠珍,刘世亮,刘芳,等.不同磷含量对石灰性潮土吸附、解吸锌的影响[J].河南农业大学学报,2005,39(4): 472-476
- [7] 杨志敏,郑绍建,胡霏堂.植物体内磷与重金属元素锌、镉交互作用的研究进展[J].植物营养与肥料学报,1999,5(4): 366-376
- [8] 夏星辉,陈静生.土壤重金属污染治理方法研究进展[J].环境科学,1997,18: 72-75
- [9] Bolan N S, Adriano D C, Duraisamy P, et al. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. I. Effect of phosphate addition [J]. Plant and Soil 2003, 250: 83-94
- [10] 陈世宝,朱永官,杨俊诚.土壤-植物系统中磷对重金属生物有效性的影响机制[J].环境污染治理技术与设备,2003,4(8): 1-7
- [11] Zhu Y G, Chen S B, Yang J C. Effects of soil amendments on lead uptake by two vegetable crops from a lead-contaminated soil from Anhui, China [J]. Environment International 2004, 30(3): 351-356
- [12] 廖柏寒,罗承辉,曾敏,等.施用 P 肥对 Cd 污染胁迫下黄豆生长的调控作用[J].中南林业科技大学学报,2008,28(4): 123-128
- [13] 王碧玲,谢正苗.磷对铅、锌和镉在土壤固相-液相-植物系统中迁移转化的影响[J].环境科学,2008,29(11): 3225-3229
- [14] Chen S B, Xu M G, Ma Y B, et al. Evaluation of different phosphate amendments on availability of metals in contaminated soil [J]. Ecotox Environ Safe 2007, 67: 278-285
- [15] 介晓磊,刘凡,徐凤琳,等.磷酸化针铁矿表面次级吸附态锌的化学分组[J].华中农业大学学报,1997,16(5): 340-344
- [16] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999: 81-82
- [17] 马利民,张明,刘丛,等.外源磷对消落区土壤性质及磷释放的影响[J].环境化学,2008,27(1): 73-76
- [18] 介晓磊,刘凡,徐凤琳,等.磷酸盐吸附对针铁矿表面电化学性质及锌次级吸附的影响[J].河南农业大学学报,2000,34(2): 119-121
- [19] Stanton D A, Burger R, Du T. Availability to plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides [J]. Geoderma, 1967, 1: 13-17
- [20] Li X Y, Ding Y Y, Luo H T. Effects of phosphate adsorption on adsorption-desorption and availability of Cu and Zn ions in ultisols and afisols [J]. Pedosphere 2000, 10(4): 355-362
- [21] Bolland M D A, Posner A M, Quirk J P. Zinc adsorption by goethite in the absence and presence of phosphate [J]. Australian Journal of Soil Research, 1977, 15: 279-286
- [22] Saeed M. Phosphate fertilization reduces zinc adsorption by calcareous soils [J]. Plant and Soil, 1977, 48: 641-649

INTERACTION OF PHOSPHORUS WITH ZINC AND THE EFFECTS OF PHOSPHORUS ON THE ADSORPTION & DESORPTION OF ZINC IN CALCAREOUS CINNAMON SOIL

LIU Zhongzhen^{1,3} *JIE Xiaolei*^{1,2} *LIU Shiliang*¹ *LIU Fang*¹ *HUA Dangling*¹
*CUI Haiyan*¹ *WANG Daizhang*¹

(1. College of Resources and Environment , Henan Agricultural University / Engineering Research Center of Agricultural Resources and Environment , Colleges and Universities of Henan Province , Zhengzhou , 450002 , China;

2. Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering , Zhengzhou , 450011 , China;

3. Institute of Soil and Fertilizer , Guangdong Academe of Agricultural Science , Guangzhou , 510640 , China)

ABSTRACT

The interaction of phosphorus with zinc in calcareous cinnamon soil was investigated by incubation method and batch equilibrium techniques. The results showed that application of P significantly increased the DTPA-Zn concentration in the soil from 15% to 134% , and the effect was evident on the first 3 days and was steady during the entire trial period (90 days) . Application of Zn also significantly enhanced available P concentration , but the effect strengthened gradually with the incubation time (starting from 7th day) . High P concentration or adsorption in calcareous soil decreased Zn adsorption capacity and adsorbability. High P adsorption increased Zn desorption by KCl , but decreased Zn desorption by HCl , i. e. , higher level P in calcareous soil could promote the availability of Zn. Thereby , the interaction of P with Zn had synergetic effect in calcareous cinnamon soil.

Keywords: cinnamon soil , phosphorus , zinc , interaction , adsorption , desorption.