

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2015.03.2014102801

高士杰, 杜雪冬, 李琳, 等. 北京地区部分农田土壤无机磷形态分析[J]. 环境化学, 2015, 34(3): 586-588

北京地区部分农田土壤无机磷形态分析*

高士杰^{1,2} 杜雪冬² 李琳² 王崇臣² 李俊清^{1**}

(1. 北京林业大学林学院, 北京, 100083; 2. 城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室(北京建筑大学), 北京, 100044)

摘 要 为了解北京地区部分农田土壤磷赋存形态及其含量, 选取了北京多区县农田为采样区域, 采集土壤样品 62 个, 测定了全磷、二钙磷、八钙磷、铝磷、铁磷、闭蓄态磷和十钙磷含量. 结果表明, 采样区域的土壤样品基本处于富磷状态, 全磷含量为 549.4—2474.8 mg·kg⁻¹; 有效磷(二钙磷)和作为第二有效磷源的铝磷、铁磷含量偏高, 而潜在磷源(闭蓄态磷及十钙磷)含量偏低. 为此, 应注意有效利用土壤中的有效磷及第二有效磷源, 兼顾节约用磷和降低磷的径流流失风险.

关键词 北京, 农田, 土壤, 磷, 形态.

磷是人类和动、植物各种生命活动所必需的元素, 在生命活动中起着关键作用. 磷在土壤中存在广泛的循环过程, 是植物生长的限制性因素. 从某种程度上来看, 土壤是磷的临时储存地, 在土壤中磷会经历一些生化转换过程, 包括无机磷和有机磷之间的转化. 在没有人工施肥的情况下, 土壤中磷的浓度相对较低, 约为 100—3000 mg·kg⁻¹(土壤重量)^[1], 人工施肥会影响土壤中磷的循环平衡^[2]. 磷在土壤中的存在形态会影响植物对磷的吸收. 植物体所吸收的磷主要来自于土壤磷库中的速效磷, 因此, 农业生产中一直将土壤中速效磷含量的高低作为土壤磷素丰缺的标准. 近年来, 随着对农作物产量的需求增大, 施入土壤中的磷肥量迅速增加, 远远超出了植物生长所需. 同时, 植物对施入土壤中的磷肥当季利用率很低, 有研究表明, 中国磷肥的当季利用率仅为 10%—20%, 导致绝大部分的磷以非有效态积累于土壤中, 造成了磷在土壤中的积累. 换句话说, 土壤缺磷并非真正缺磷, 而是缺少植物可利用的速效磷, 磷在土壤中的存在形态及化学行为可直接影响农作物对磷素的吸收和利用, 因此一直受国内外学者的广泛关注. 另外, 积累在土壤中的磷正是土壤磷素流失的潜在补给源, 会导致地下水和地表径流中的磷浓度提高, 形成大面积的面源污染.

北京地区农田土壤属于典型石灰性土壤, 存在碳酸钙对磷固定的现象. 本论文采集北京不同县区部分农田的 62 个土壤样品, 对磷总含量、赋存形态及其含量进行测定、分析, 以了解北京地区部分农田土壤中磷赋存形态及其含量, 从而更好地节约磷、利用磷, 减少磷的径流流失.

1 材料与方 法

1.1 样品的采集与预处理

选取北京市门头沟区、海淀区、昌平区、顺义区、朝阳区的部分农田, 按多点混合法, 共采集可耕层土壤样品 62 个, 采样时间为 2013 年 11 月—12 月. 前处理后, 使其全部通过 100 目(孔径为 0.149 mm)标准筛, 混合均匀后备用.

1.2 全磷含量的分析

准确称取 0.5000 g 左右(精确至 0.0002 g)土样置于消解管中, 采用 H₂SO₄-HClO₄法消解^[3], 在 FIA6100 型流动注射仪采用钼蓝分光光度法测定全磷的含量.

1.3 磷的各形态含量分析

采用顾益初^[4]提出的方法提取磷的各种形态, 用 0.25 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 溶液(pH=7.5)浸提土壤二钙磷(Ca₂-P), 用 0.5 mol·L⁻¹ NH₄Ac 溶液(pH=4.2)浸提土壤八钙磷(Ca₈-P), 用 0.5 mol·L⁻¹ NH₄F 溶液(pH=8.2)浸提土壤铝磷(Al-P), 用 0.1 mol·L⁻¹ NaOH 和 0.1 mol·L⁻¹ 1/2Na₂CO₃ 混合溶液浸提铁磷(Fe-P), 用 0.3 mol·L⁻¹ 柠檬酸钠-Na₂S₂O₄ 溶液浸提闭蓄态磷(Obs-P), 用 0.5 mol·L⁻¹ H₂SO₄ 溶液浸提十钙磷(Ca₁₀-P). 在 FIA6100 型流动注射仪采用钼蓝分光光度法测定磷的各形态含量.

2 结果与讨论

对在北京部分地区采集的 62 个土壤样品进行全磷含量测定, 提取土壤中的二钙磷(Ca₂-P)、八钙磷(Ca₈-P)、铝磷

2014 年 10 月 28 日收稿.

* 环境科学与环境工程专业建设项目(PXM2013-014210-000157)资助.

** 通讯联系人, Tel: 010-62338100; Email: lijq@bjfu.edu.cn

(Al-P)、铁磷(Fe-P)、闭蓄态磷(Obs-P)和十钙磷(Ca₁₀-P)并测定其含量,结果列于表1中。结果表明,62个土壤样品总磷含量在549.4—2474.8 mg·kg⁻¹,平均值为1307.0 mg·kg⁻¹,其中72.6%的土壤样品全磷含量高于全国第二次土壤普查养分分级标准的一级标准(1000 mg·kg⁻¹);12.9%的土壤样品全磷含量属于二级标准(800—1000 mg·kg⁻¹);11.3%的土壤样品全磷含量水平属于三级标准(600—800 mg·kg⁻¹),3.2%的土壤样品全磷含量在400—600 mg·kg⁻¹之间属于四级标准。这些数据表明所调查区域农田土壤基本处于富磷状态。造成北京地区土壤总磷量偏高的可能因为:(1)北京较为干燥且有效积温较低,作物耕种基本分为两季,所以土壤中的磷不利于被作物吸收,也不容易被淋溶流失^[5]。(2)所调查的地区主要土壤类型为石灰性潮土和褐土^[6],而潮土和褐土成土母质含磷矿物较多。

表1 北京地区部分农田土壤全磷及磷的各形态的含量(mg·kg⁻¹)

地点	全磷	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	Ca ₁₀ -P	Obs-P
城子山上 1 [#] (红薯,农家肥)	602.10	1.86	5.38	76.20	113.10	204.00	82.10
城子山上 2 [#] (红薯,农家肥)	1067.40	2.44	25.99	110.70	127.20	311.30	88.40
城子山上 3 [#] (白菜,农家肥)	549.40	1.37	11.56	100.90	69.00	187.10	72.10
陇家庄 1 [#] (大葱,农家肥+复合肥)	1873.90	4.53	141.80	544.20	211.90	369.30	112.50
陇家庄 2 [#] (豆角,农家肥)	1445.10	3.65	69.86	367.10	174.50	429.40	96.70
陇家庄 3 [#] (玉米,农家肥+复合肥)	1563.80	9.45	94.06	437.40	158.80	352.40	98.30
陇家庄 4 [#] (苹果,农家肥+复合肥)	1149.50	1.51	30.73	170.10	105.70	328.50	68.00
陇家庄 5 [#] (白菜,农家肥+复合肥)	1203.10	4.37	74.04	277.40	122.60	366.80	77.80
陇家庄 6 [#] (大葱,农家肥+复合肥)	1233.30	4.70	43.36	190.10	98.10	425.80	69.80
陇家庄 7 [#] (萝卜,农家肥+复合肥)	1454.90	5.03	60.48	353.20	161.90	397.10	121.90
陇家庄 8 [#] (韭菜,农家肥)	1248.20	10.65	35.95	344.70	230.90	290.90	84.50
陇家庄 9 [#] (白菜,农家肥)	2064.40	16.84	171.00	599.30	204.40	542.20	90.50
陇家庄 10 [#] (黄豆,未施肥)	1816.90	7.03	97.25	447.20	174.10	393.90	105.80
陇家庄 11 [#] (花生,复合肥)	1329.90	8.36	59.20	275.20	123.00	380.40	81.70
陇家庄 12 [#] (红薯,农家肥)	1696.90	17.19	128.60	455.60	203.40	453.30	100.10
陇家庄 13 [#] (芝麻,复合肥)	1898.10	23.41	223.80	447.80	163.40	361.10	113.00
陇家庄 14 [#] (玉米,农家肥)	1400.00	10.93	42.52	287.00	145.40	380.30	90.00
龙泉务北口 1 [#] (韭菜,农家肥)	1540.00	31.66	129.70	374.60	135.20	311.30	91.00
龙泉务北口 2 [#] (辣椒,农家肥)	1756.90	52.15	207.40	519.70	184.40	349.60	95.70
龙泉务北口 3 [#] (西红柿,农家肥)	1819.00	42.28	219.90	446.60	165.20	326.40	94.10
龙泉务北口 4 [#] (大葱,农家肥)	2002.30	73.42	269.20	444.90	140.40	343.20	102.20
龙泉务北口 5 [#] (雪里红,农家肥)	1946.60	30.61	180.90	450.40	151.10	368.90	102.40
龙泉务北口 6 [#] (南瓜,农家肥)	1493.20	28.78	90.01	262.40	119.10	311.30	89.60
龙泉务北口 7 [#] (茄子,农家肥)	2474.80	193.30	315.40	699.10	382.70	333.10	67.50
龙泉务北口 8 [#] (茄子,农家肥)	2360.80	103.40	124.50	756.20	196.00	275.50	91.90
龙泉务北口 9 [#] (萝卜,农家肥)	1586.30	15.39	94.54	302.50	101.80	368.70	85.90
龙泉务北口 10 [#] (菠菜,农家肥)	1817.70	51.08	133.80	374.10	139.50	358.30	88.70
三家店西口 1 [#] (油菜,农家肥)	1398.30	20.66	85.78	290.90	140.60	376.70	76.90
三家店西口 2 [#] (白菜,农家肥)	1506.40	30.04	116.70	301.10	110.30	380.10	82.40
三家店西口 3 [#] (韭菜,农家肥)	1696.90	21.64	80.43	618.80	140.20	378.10	104.50
三家店西口 4 [#] (韭菜,农家肥)	1374.50	18.42	78.77	235.20	120.00	394.40	77.20
三家店西口 5 [#] (玉米,农家肥)	1836.40	28.63	222.10	324.10	122.40	381.70	100.80
九华山庄(白菜,农家肥)	1535.30	3.68	7.12	68.60	152.90	796.00	53.00
北七家镇 1 [#] (菠菜,农家肥)	726.30	2.97	12.32	61.70	127.00	290.80	53.00
北七家镇 2 [#] (大豆,农家肥)	1245.20	8.72	59.92	145.70	185.40	367.00	72.80
北七家镇 3 [#] (玉米,农家肥)	1348.20	9.51	61.38	105.50	177.30	410.10	79.90
北七家镇 4 [#] (豆角,农家肥)	1221.80	16.89	58.33	114.30	188.20	400.90	62.20
北七家镇 5 [#] (红薯,农家肥)	1313.70	15.61	80.41	123.80	185.40	440.10	59.40
北七家镇 6 [#] (油菜,农家肥)	1088.70	5.00	53.81	99.40	131.70	380.40	73.50
北七家镇 7 [#] (玉米,农家肥)	775.70	4.02	48.37	89.10	110.80	324.30	33.10
望京花园东区 1 [#] (小白菜,复合肥)	772.70	13.99	26.45	92.20	146.70	253.50	64.30

续表1

地点	全磷	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	Ca ₁₀ -P	Obs-P
望京花园东区 2 [#] (菠菜,复合肥)	745.50	12.29	29.52	84.30	149.90	249.70	68.60
望京花园东区 3 [#] (生菜,复合肥)	791.00	9.99	26.46	107.60	128.30	287.90	72.80
望京花园东区 4 [#] (棉花,复合肥)	1029.60	7.03	31.00	108.90	131.50	294.10	72.10
望京花园东区 5 [#] (大葱,复合肥)	1307.30	61.21	103.30	233.40	214.70	291.20	82.10
望京花园东区 6 [#] (辣椒,复合肥)	1896.00	44.27	63.88	311.70	442.70	276.60	105.40
望京花园东区 7 [#] (花生,复合肥)	828.80	7.89	26.34	89.80	138.30	303.40	57.20
望京花园东区 8 [#] (蒜和白菜,复合肥)	861.60	11.93	34.05	97.60	129.10	315.00	113.20
崔各庄(桃树,农家肥)	1302.20	12.91	131.00	192.80	194.40	350.70	73.50
后沙峪 1 [#] (玉米,农家肥+复合肥)	1195.90	19.33	118.80	158.00	208.30	268.90	75.70
后沙峪 2 [#] (玉米,农家肥+复合肥)	958.60	5.30	55.17	123.70	184.80	245.60	92.70
后沙峪 3 [#] (玉米,农家肥+复合肥)	928.80	3.44	27.10	73.20	149.90	228.30	82.10
后沙峪 4 [#] (玉米,农家肥+复合肥)	563.00	3.00	27.89	69.00	120.80	198.70	26.10
后沙峪 5 [#] (玉米,农家肥+复合肥)	617.90	3.08	29.92	68.70	126.60	238.20	26.80
顺义河北村 1 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	825.90	12.07	63.75	89.90	138.60	332.70	49.40
顺义河北村 2 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	811.40	3.80	22.08	51.20	129.10	326.50	70.00
顺义河北村 3 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	1027.50	11.57	46.11	74.90	133.00	334.10	69.30
顺义河北村 4 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	1059.40	9.87	53.59	84.40	156.10	367.80	65.00
顺义河北村 5 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	1013.00	16.49	51.39	82.20	138.30	366.80	64.30
顺义河北村 6 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	897.30	12.98	51.02	85.30	135.80	361.80	73.50
顺义河北村 7 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	892.20	8.76	44.14	78.40	148.60	357.60	61.50
顺义河北村 8 [#] (小麦,农家肥+复合肥)	1246.10	38.87	75.95	108.30	162.70	377.20	60.80

表1显示,所研究地区农田土壤 Ca₂-P 含量变化范围是 1.37—193.3 mg·kg⁻¹,平均含量是 20.5 mg·kg⁻¹,占全磷含量的 1.34%,略高于正常水平.北京部分地区农田土壤 Al-P 含量变化范围是 51.2—756.2 mg·kg⁻¹,平均含量是 244.5 mg·kg⁻¹,占全磷含量的 16.82%;Fe-P 含量变化范围是 69.0—442.7 mg·kg⁻¹,平均含量是 158.1 mg·kg⁻¹,占全磷含量的 15.98%;Ca₈-P 含量变化范围是 5.38—315.4 mg·kg⁻¹,平均含量是 83.6 mg·kg⁻¹,占全磷含量的 12.95%.表明 Al-P 和 Fe-P 含量相对偏高, Ca₈-P 含量相对偏低.北京部分地区农田土壤 Ca₁₀-P 含量变化范围是 187.1—796.0 mg·kg⁻¹,平均含量是 346.2 mg·kg⁻¹,占全磷含量的 28.61%;Obs-P 含量变化范围是 26.1—121.9 mg·kg⁻¹,平均含量是 79.3 mg·kg⁻¹,占全磷含量的 6.48%,可见,不可利用的磷含量比较低.

3 结论

62个土壤样品总磷含量在 549.4—2474.8 mg·kg⁻¹,基本处于富磷状态.有效磷源 Ca₂-P 含量变化范围为 1.37—193.3 mg·kg⁻¹,略高于正常水平.作为第二有效磷源的 Al-P、Fe-P 和 Ca₈-P 含量变化范围分别为 51.2—756.2、69.0—442.7 mg·kg⁻¹和 5.38—315.4 mg·kg⁻¹.其中,Al-P 和 Fe-P 含量相对偏高, Ca₈-P 含量相对偏低.潜在磷源 Ca₁₀-P 和 Obs-P 含量变化范围分别为 187.1—796.0 mg·kg⁻¹和 26.1—121.9 mg·kg⁻¹,表明不可利用的磷含量较低.由此可见,所研究区域农田土壤的磷总量充足,且活性形态磷含量偏高.这种情况一方面有利于植物对磷的吸收利用,另一方面存在磷随地表径流流入地表水,引起水体富营养化的潜在风险.

参 考 文 献

- [1] Gburek W J, Sharpley A N, Heathwaite L, et al. Phosphorus management at the watershed scale: a modification of the phosphorus index [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29:130-144
- [2] 郝晓地, 王崇臣, 金文标. 磷危机概观与磷回收技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011
- [3] 黎国有, 王雨春, 陈文重, 等. 两种消解法测定沉积物总磷的对比[J]. *中国环境监测*, 2013, (3):112-116
- [4] 顾益初, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷分级的测定方法[J]. *土壤*, 1990, (2):101-102
- [5] 王永壮, 陈欣, 史奕. 农田土壤中磷素有效性及影响因素[J]. *应用生态学报*, 2013, (1):260-268
- [6] 王崇臣, 王鹏, 刘铮. 北京地区公路两侧土壤 pH 分布情况调查[J]. *中国农学通报*, 2010, (1):121-125