

李学平, 邹美玲, 任加云. 退化滨海湿地沉积物中磷形态含量特征及影响因素[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 469–471.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.131

退化滨海湿地沉积物中磷形态含量特征及影响因素

李学平, 邹美玲, 任加云

(滨州学院资源环境系, 山东滨州 256600)

摘要:研究黄河三角洲退化滨海湿地沉积物中磷形态含量特征及温度、pH 值、上覆水理化性质对湿地沉积物磷形态含量的影响。结果表明, 退化滨海湿地沉积物中不同形态磷中铁结合磷(Fe-P)含量最大, 达 971.7 mg/kg, 闭蓄态磷(O-P)含量最小, 为 195.6 mg/kg。Fe-P、铝结合磷(Al-P)、钙结合磷(Ca-P)、O-P 平均含量分别 683.7、401.0、331.6、288.0 mg/kg。当温度 < 20 ℃ 时, Fe-P 含量随温度升高而增大, 当温度 > 20 ℃ 时, Fe-P 含量随温度升高而下降; Al-P 含量随温度升高逐渐增大; O-P 含量随温度的升高先下降后增大。Fe-P 含量随着 pH 值的增大逐渐降低, pH 值 > 9 时, pH 值对 Fe-P 含量的影响不大; Al-P、Ca-P 含量均随 pH 值的升高先减小后增大。另外, 有机质与 O-P 含量存在正相关关系($r=0.895$), 溶氧量与 Al-P 含量存在正相关关系($r=0.940$)。

关键词:沉积物; 磷; 含量; 退化滨海湿地; 形态特征; 影响因素

中图分类号: X171.4; S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0469-03

湿地的运行由于受污染物负荷、自身内部结构等因素的影响, 对磷的拦截去除效果并不稳定^[1-2], 而且不同湿地类型沉积物磷形态的分布特征也不同。对南四湖微山湖区沉积物磷形态进行研究发现, 闭蓄态磷(O-P, 396.79 mg/kg)的含量最高, 并随着土层深度增大逐渐降低; 相反, 铝结合磷(Al-P)含量仅有 4.08 mg/kg, 且随着土层深度增大而增大^[3]。对九龙江口滨海湿地的研究表明, 生物可利用磷含量占总磷(TP)含量的 59.46%^[4]。同一湿地(如天鹅湖)不同区域沉积物中总磷和各形态磷的含量差异也较大, 外源污染和沉积物颗粒组成是影响其分布的主要因子, 其中无机磷含量占总磷含量的 42.24%~82.04%^[5]。黄河三角洲季节性泛洪湿地在 60~80 cm 土层, 春季 TP 含量(959.9 g/m²)明显低于秋季(1 124.6 g/m²), 随着土层加深, TP 含量下降, 但在土层 40~80 cm 之间有 1~2 个磷积累量高峰^[6]。影响沉积物中磷释放的因素包括内在和外在 2 类因素, 内在因素

包括磷的含量和组合形态、氧化还原电位、沉积物组成等; 外在因素包括 pH 值、上覆水的性质、磷的浓度、温度、溶氧量、生物作用、扰动等^[7]。

黄河三角洲地区现有盐碱类湿地 15 万 hm², 部分湿地土壤退化和盐碱化严重, 导致湿地蓄洪防旱和净化水质功能大大下降。目前, 对于退化滨海盐碱化湿地磷形态特征了解甚少。因此, 研究退化滨海盐碱化湿地沉积物中磷形态含量特征, 并分析外在因子对沉积物磷形态的影响, 这对退化湿地的修复具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于黄河三角洲腹地的滨州沾化县北约 10 km 处的重度退化滨海盐碱芦苇湿地(图 1), 试验地面积为 1 hm², 水溶性总盐含量 0.9%~2.4%, pH 值平均为 7.9, 该区域属东亚温暖带潮湿大陆季风性气候, 年平均气温 12.5 ℃, 年平均降水量约 584 mm, 年蒸发量 1 800~2 000 mm。目前, 该试验区挺水植物主要为芦苇。

1.2 样品的预处理

所研究的湿地位于滨州市, 沉积物样品均取底泥表面 5~10 cm 部分, 装入塑料袋后带回实验室, 将采集的泥样在自然条件下风干, 采用四分法取样研磨并通过 100 目的尼龙

收稿日期: 2015-05-25

基金项目: 山东省重点研发计划(编号: 2015GNC111018); 山东省滨州市科技发展计划(编号: 2013ZC1002); 服务滨州项目(编号: BZXYFB20110510)。

作者简介: 李学平(1978—), 女, 山东临沂人, 博士, 副教授, 从事湿地生态系统和盐碱地改良与利用研究。E-mail: lixueping2008@163.com。

[15] Horvth G, Droppa M, Oravec Z. Formation of the photosynthetic apparatus during greening of cadmium poisoned barley leaves [J]. *Planta*, 1996, 199: 238–243.

[16] Alberte R S, Friedman A L, Gustafson D L, et al. Light-harvesting systems of brown algae and diatoms. isolation and characterization of chlorophyll a/c and chlorophyll a fucoxanthin pigment-protein complexes [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1981, 635(2): 304–316.

[17] 肖明月, 安婧, 纪占华, 等. 六种常见抗生素对小白菜种子萌发及生理特性的影响[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(10): 2775–

2781.

[18] Liao X R, Chen J, Zhou Y F. Effect of salicylic acid on the isozymes of peroxidase and catalase in cells of wheat callus [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2000, 20(2): 66–68.

[19] 安婧, 周启星, 刘维涛. 土霉素对小麦种子发芽与幼苗生长发育的生态毒性[J]. *环境科学*, 2009, 30(10): 3022–3027.

[20] 林仁漳, 杜文超, 王晓蓉, 等. 土壤外源 Cd 对小麦幼苗生长自由基代谢及抗氧化酶活性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 23–29.

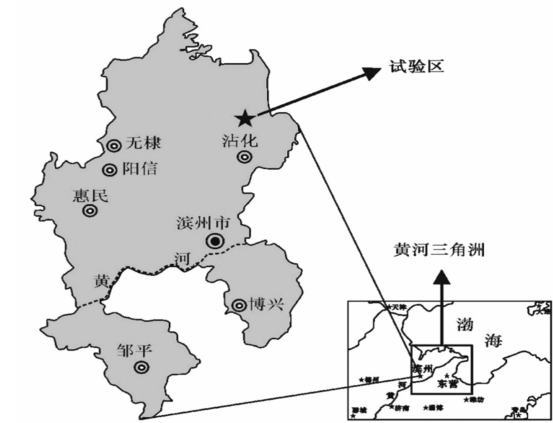


图1 试验区位置

筛,处理后的样品保存于封口袋中备用。

1.3 方法

1.3.1 沉积物磷形态分析方法 利用 SMT 法测定沉积物中的铁结合磷(Fe-P)、Al-P、钙结合磷(Ca-P)和 O-P 的含量^[8]。

1.3.2 温度控制试验 将样品放入恒温培养箱中,分别设置 8、15、20、25℃等 4 种温度,按照前面的方法测定磷含量。

1.3.3 pH 值控制试验 使用 0.1 mol/L 硫酸和氢氧化钠溶液控制 pH 值,分别将土样置于 pH 值为 3.0、5.0、7.0、9.0、

11.0 中模拟 pH 值的影响。

1.3.4 其他指标的测定方法 使用碘量法测定上覆水中的溶氧量,使用比色法测定有机质含量。

2 结果与分析

2.1 沉积物中磷形态含量特征

该湿地沉积物中总磷含量较大,采样点 3 水藻较多,总磷含量最大,为 2010.5 mg/kg(表 1)。从平均值来看,铁结合磷含量占总磷含量的绝大部分,约为 34.1%,钙结合磷、铝结合磷、闭蓄态磷分别占总磷含量的 16.5%、20.0%、14.4%。铁结合磷在采样点 3 达到最大值,为 971.7 mg/kg;采样点 2 闭蓄态磷含量最小,为 195.6 mg/kg。Fe-P、Al-P、Ca-P、O-P 平均含量分别 683.7、401.0、331.6、288.0 mg/kg,各磷形态含量从大到小依次为 Fe-P>Al-P>Ca-P>O-P。

2.2 沉积物中 Fe-P 含量特征

Fe-P 含量的变化范围为 201.2~971.7 mg/kg(表 1),变化范围较大,这与各采样点的环境和理化性质有关。Fe-P 含量的最小值出现在采样点 6,为 201.2 mg/kg,因为采样点 6 底泥为黄色,经常受到水流冲击,导致磷不易积累。最大值出现在采样点 3,为 971.7 mg/kg,因为采样点 3 水藻较多,使得溶氧量非常小,Fe-P 的吸附积累就多。采样点 2、4 等 2 点含量相对少于采样点 1,因为采样点 1、3、5 上覆水波动小,水动力作用较小,较有利于 Fe-P 的积累。

表 1 各采样点磷形态含量特征

采样点	采样点特征	TP 含量 (mg/kg)	Fe-P 含量 (mg/kg)	Al-P 含量 (mg/kg)	Ca-P 含量 (mg/kg)	O-P 含量 (mg/kg)
1	底泥为黑色	2 012.3	868.1	401.2	339.5	348.5
2	中性	2 009.6	615.6	285.4	295.3	195.6
3	水藻较多	2 010.5	971.7	478.6	412.1	314.4
4	未见水藻	2 000.7	609.7	349.7	295.2	261.3
5	水藻很少	1 989.1	835.9	586.4	416.2	309.5
6	底泥为黄色	2 008.8	201.2	304.4	231.4	298.6
平均值		2 005.2	683.7	401.0	331.6	288.0

2.3 沉积物中 Al-P 含量特征

Al-P 含量的变化范围是 285.4~586.4 mg/kg,起伏较大(表 1)。采样点 5 的 Al-P 含量达到最大值,为 586.4 mg/kg,因为采样点 5 底泥酸性较大,微生物的代谢作用产生的 CO₂ 较少,有利于其积累。采样点 2 含量最小,为 285.4 mg/kg,因为采样点 2 底泥偏中性,不利于 Al-P 的积累。采样点 1、3、4、6 的 Al-P 含量分别为 401.2、478.6、349.7、304.4 mg/kg,采样点 1、3 的 Al-P 含量比较大,因为采样点 1、3 本身水藻较多,磷浓度基数比较大;其余 2 点理化性质较稳定,Al-P 含量较稳定。

2.4 沉积物中 Ca-P 含量特征

沉积物中 Ca-P 含量相对较少,范围是 231.4~416.2 mg/kg(表 1)。Ca-P 含量最小值出现在采样点 6,为 231.4 mg/kg,因为采样点 6 底泥偏中性,不利于沉积物中 Ca-P 积累;最大值出现在采样点 5,为 416.2 mg/kg,因为采样点 5 底泥酸性较大,其中微生物代谢产生的 CO₂ 少,有利于 Ca-P 的积累。采样点 3 的 Ca-P 含量为 412.1 mg/kg,比较大是因为采样点 3 沉积物表层水藻多,磷浓度基数大。

2.5 沉积物中 O-P 含量特征

采样点 1 的 O-P 含量达到最大值(表 1),为 348.5 mg/kg,因为采样点 1 底泥成黑色,受污染较多,O-P 含量相对较多;采样点 2 的 O-P 含量最小,为 195.6 mg/kg,因为采样点 2 受风力扰动和水的搅动作用较大,不利于 O-P 的积累;其余各点的 O-P 含量相当,受多种因素影响较小。

2.6 沉积物磷形态含量的影响因素

2.6.1 温度对磷形态含量的影响 Fe-P 含量随温度的增大而先增大后下降,且变化趋势较大(图 2)。当温度为 8、15、20、25℃时,其含量分别为 568.5、689.3、925.4、635.4 mg/kg。温度<20℃时,Fe-P 含量随温度升高而增大,温度升高有利于 Fe-P 在沉积物中的积累;当温度为 20℃时,Fe-P 含量为 925.4 mg/kg,达到最大值;温度>20℃时,Fe-P 含量随温度升高而下降。Al-P 含量随温度增大逐渐增大,因为温度引起溶氧量变化增大其积累,但变化趋势较小,变化范围为 320.3~423.5 mg/kg。当温度为 20℃时,Al-P 含量为 423.5 mg/kg;而后温度>20℃时,Al-P 含量变化趋于缓和,此时底泥中的光合细菌使得 CO₂

增多,减缓 Al-P 的释放。Ca-P 含量的变化曲线趋于平稳,波动很小,说明温度变化对两者含量的变化影响较小。O-P 含量随温度的增大而先下降后增大,这是因为 Fe-P、Al-P 与 O-P 之间相互转化,Fe-P、Al-P 含量增大,则 O-P 含量降低;Fe-P、Al-P 含量下降,则 O-P 含量增大。

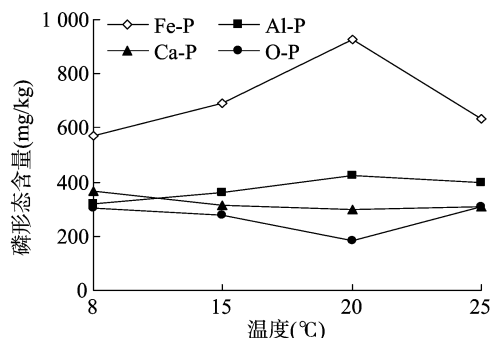


图2 温度对沉积物磷形态含量的影响

2.6.2 pH 值对磷形态含量的影响 Fe-P 含量随着 pH 值的增大逐渐降低,最终趋于平衡(图 3),变化范围在 755.4 ~ 880.0 mg/kg 之间。当 pH 值=3 时,Fe-P 含量达到最大值,为 880 mg/kg;当 pH 值 3~9 时,Fe-P 含量随 pH 值的增大而下降,且趋势较大,因为 pH 值铁络合胶体与非晶体磷交换作用增大,Fe-P 积累较少;当 pH 值=9 时,Fe-P 含量为 756.9 mg/kg;当 pH 值>9 时,Fe-P 含量随着 pH 值的增大而趋于缓和,波动不大,说明 pH 值>9 时 pH 值对 Fe-P 含量的影响不大。Al-P、Ca-P 含量随 pH 值的增大先下降后增大,当 pH 值<7 时,两者含量均下降,因为在酸性条件下,微生物代谢产生的 CO₂ 减少了 Al-P 和 Ca-P 的积累;当 pH 值=7 时,Al-P、Ca-P 含量分别为 285.4、270.6 mg/kg;当 pH 值>7 时,两者含量又逐渐增大,因为在碱性条件下,水中的 OH⁻ 与沉积物胶体中的阴离子相互竞争吸附位,增加 Al-P 和 Ca-P 的积累。O-P 含量随 pH 值的增大逐渐增大,但趋势较小,因为 Fe-P、Al-P、Ca-P 要转化为 O-P。

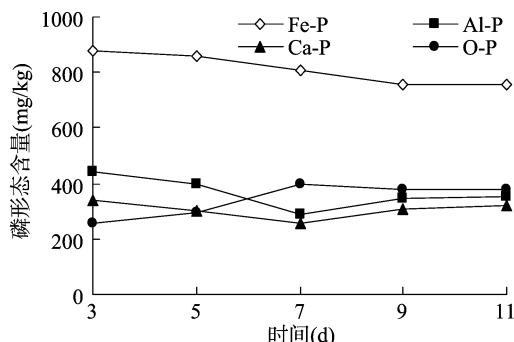


图3 pH 值对沉积物磷形态含量的影响

2.6.3 沉积物上覆水的理化性质对磷形态的影响 沉积物中 4 种磷形态和上覆水的有机质含量与溶氧量有一定的相关性(表 2)。其中,有机质含量和 O-P 含量存在显著正相关关系($r=0.895$),因为 O-P 必须依靠有机质才能存在,所以有机质含量决定了 O-P 的含量。溶氧量与 Al-P 含量存在

显著正相关的关系($r=0.940$),这是因为溶氧量使得 OH⁻ 与铝中的 PO₄³⁻ 发生交换,使得 Al-P 含量逐渐得到积累。

表 2 沉积物上覆水的理化性质与磷形态含量的相关性矩阵

指标	相关系数			
	Fe-P 含量	Al-P 含量	Ca-P 含量	O-P 含量
溶氧量	-0.123 5	0.895 0 *	-0.359 1	-0.460 8
有机质含量	0.621 4	0.436 0	0.003 4	0.940 0 *

注: * 表示相关性显著($P<0.05$)。

3 结论

沉积物中总磷含量较大,最大值为 2 119.1 mg/kg,平均值为 2 005.2 mg/kg。Fe-P 含量的平均值为 683.7 mg/kg, Ca-P 含量的平均值为 331.6 mg/kg, Al-P 含量的平均值为 401.0 mg/kg,无机磷含量的平均值为 426.1 mg/kg,铁结合磷占总磷的 34.1%。Fe-P 含量随 pH 值的增大而减少, Al-P、Ca-P 含量随 pH 值的增大先下降,当 pH 值>7 后再增加, O-P 含量随着 pH 值的增大而逐渐增加。Fe-P 含量随温度的增加而先增加后下降, Al-P 含量随温度增加逐渐增加,温度变化对 Ca-P 含量影响不大, O-P 含量随温度的升高先下降后增加。上覆水的理化性质对磷形态含量有影响,有机质含量和 O-P 含量存在显著的正相关关系($r=0.895$),溶氧量与 Al-P 含量存在显著的正相关关系($r=0.940$)。

参考文献:

- [1] 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 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 162 (1): 92 - 98.
- [2] Bala K P M, Ramanathan A L. Characterization of phosphorus fractions in the sediments of a tropical intertidal mangrove ecosystem [J]. Wetlands Ecology and Management, 2010, 18 (2): 165 - 175.
- [3] 张志斌, 张学杨, 张 波, 等. 南四湖微山湖区沉积物磷形态分布特征 [J]. 环境科学, 2009, 30 (5): 1345 - 1350.
- [4] 潘齐坤, 罗专溪, 颜昌宙, 等. 城市滨海湿地表层沉积物磷形态与相关关系分析 [J]. 生态环境学报, 2010, 19 (9): 2117 - 2122.
- [5] 宋鹏鹏, 侯金枝, 高 丽, 等. 荣成天鹅湖沉积物磷的赋存形态和时空分布特征 [J]. 水土保持学报, 2011, 25 (3): 98 - 102.
- [6] Ye X F, Bai J H, Lu Q Q, et al. Spatial and seasonal distributions of soil phosphorus in a typical seasonal flooding wetland of the Yellow River Delta, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71 (11): 4811 - 4820.
- [7] 侯立军, 陆健健, 刘 敏, 等. 长江口沙洲表层沉积物磷的赋存形态及生物有效性 [J]. 环境科学学报, 2006, 26 (3): 488 - 494.
- [8] Ruban V, López - Sánchez J F, Pardo P, et al. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments—a synthesis of recent works [J]. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 2001, 370 (2/3): 224 - 228.