

水环境中营养盐磷在生物膜上吸附热力学研究

李 玲*, 张 晴 晴, 申 禹

(清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 营养盐磷是浮游藻类生长繁殖乃至水体发生富营养化的最重要的限制性元素之一, 受到水环境中生物膜的强烈吸附作用, 探究生物膜对磷的吸附特性对水环境治理有着重要意义. 采集天然水体中的生物膜吸附不同初始浓度的正磷酸盐溶液, 并分析了多种环境因素对吸附作用的影响, 研究了天然水体生物膜吸附磷的热力学特征, 获得了多种环境因素影响下的吸附等温线. 研究表明, 天然水体生物膜吸附磷的热力学特征符合 Langmuir 模型; 温度和振荡速率能显著影响生物膜对磷的吸附作用, 25~30 ℃ 为最佳吸附温度, 振荡速率越大, 饱和平衡吸附量越大; pH 对吸附的影响主要表现为在碱性条件下天然水体中生成的絮状体的间接作用; 磷负荷是影响平衡吸附率和单位干质量生物膜平衡吸附量的主要因素, 磷的总质量和生物膜的总用量是影响总吸附量的主要因素.

关键词: 水环境; 营养盐磷; 生物膜; 吸附热力学; 吸附等温线

中图分类号: O647.32 **文献标识码:** A **doi:** 10.7511/dllgxb201606002

0 引 言

天然水体中磷是水体浮游藻类生长繁殖最重要的限制性营养元素之一^[1-2]. 水中的磷超过临界浓度后, 就会刺激水生植物的生长以致发生“水华”, 造成水体富营养化. 因此为防止富营养化, 磷是最主要的控制指标之一^[3]. 近些年来, 国内外在治理水体富营养化过程中, 采取了一系列除磷措施, 主要有阻截污水、底泥清淤、建造湿地、引水冲污等工程措施; 通过调整 pH, 控制金属离子与磷的浓度, 生成稳定难溶磷酸盐沉淀的化学方法; 利用微生物和水生生物吸收磷的生物方法; 借助无机矿物及无机材料吸附磷的物理方法等^[4]. 相关的理论研究也日趋成熟^[5-12].

随着研究的不断深入, 生物膜吸附磷的重要作用逐渐被研究者认知. 生物膜是由微生物及其他有机成分, 以及与其相结合的铁氧化物、锰氧化物等无机矿物共同组成的复合表面附着物^[13]. 在自然环境条件下, 生物膜几乎存在于所有暴露于水中的固体表面上^[14], 水体中的磷与固相基质的相互作用必然会受到生物膜的影响, 深入研究生

物膜对磷的吸附特征, 对于认识水环境中生物膜对磷的迁移、转化的影响具有重要的理论研究意义, 对于防治水体富营养化具有重要的现实指导意义. 目前, 生物膜对有机污染物的吸附特性已被深入研究, 例如: 有机物分子的大小和带电性会影响生物膜对有机物的吸附, 负电性有机分子不利于生物膜的吸附^[15-16]. 生物膜对苯酚、硝基苯酚等有机污染物的吸附等温线符合 Freundlich 方程、Langmuir 方程^[17]. 关于生物膜对营养盐磷的吸附作用的研究还很少, 本课题组曾经研究了天然水体生物膜吸附磷的动力学特征, 得出生物膜对磷具有很强的吸附活性, 吸附动力学特征符合准二级、准一级动力学模型, 并分析了温度和 pH 对吸附的影响^[18]; 并且还通过对比去除生物膜与附着生物膜的泥沙颗粒对磷的吸附能力, 得出附着生物膜的泥沙颗粒的吸附量比纯净泥沙颗粒吸附量高出 1 个数量级, 同时附着生物膜的泥沙颗粒吸附磷的动力学特征符合准二级动力学模型, 等温吸附特征符合 Langmuir 模型^[19]. 迄今为止, 水环境中生物膜对磷的吸附作用的研究还不完整, 本文在以往研究的基础上, 继续探讨天然水体生

物膜吸附磷的热力学特征和吸附等温线及其受环境因素的影响.

1 实验材料与方法

1.1 试剂与仪器

试剂:(1+1)硫酸,50 mg/L 磷标准溶液(KH_2PO_4),100 g/L 抗坏血酸溶液,钼酸盐溶液(每升溶液中含 26 g 钼酸铵和 0.7 g 酒石酸锑钾),1 mol/L 氢氧化钠溶液,1 mol/L 稀盐酸.

仪器:UV-755B 紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司),PHS-3C 智能酸度计(上海康仪仪器有限公司),ZD-3 调速多用振荡器(天津市欧诺仪器仪表有限公司),DHG-9050B 电热恒温鼓风干燥箱(上海琅环实验设备有限公司),FA2004B 电子天平(上海越平科学仪器有限公司),DK-98-II 电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司),三角瓶,25 mL 比色管,10 mm 比色皿等.

1.2 生物膜的采集与计量

选取北京市永定河、清华荷塘、紫竹院公园 3 个采样点,参照文献[18]的方法采集及预处理生物膜,并拟合出其干质量与湿质量的线性关系.由于每次采集的生物膜疏松程度、称重时的含水量等有较大差异,每次称重前都要进行湿质量-干质量线性回归分析,且称重时间不宜过长,应在 30 min 内一次性连续称重.

1.3 实验过程

实验根据国家标准《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》(GB 11893—1989)测定磷浓度.根据 $q_e = (C_0 - C_e)V$ 计算平衡吸附量 q_e ,Langmuir 等温吸附模型为 $q_e = Q_{\max} bC_e / (1 + bC_e)$,Freundlich 等温吸附模型为 $q_e = K_F C_e^n$.其中, C_0 为初始磷浓度(mg/L), C_e 为平衡磷浓度(mg/L), V 为溶液体积(mL), $Q_{\max}$ (饱和吸附量)、 b 、 n 、 K_F 为模型参数.

热力学实验:各取 2 g 生物膜在 25 ℃ 条件下吸附 250 mL 不同初始浓度的磷酸盐溶液,进行两组实验,生物膜分别取自北京市永定河(生物膜干湿比 0.308)与清华荷塘(生物膜干湿比 0.320).根据动力学实验确定吸附达到平衡后,记录平衡浓度 C_e 并计算平衡吸附量 q_e ,将实验数据分别与 Langmuir 吸附等温式和 Freundlich 吸附等温式进行非线性拟合.

温度影响实验:各取 2 g 生物膜(干湿比

0.320)吸附 250 mL 不同初始浓度的磷酸盐溶液,分别在温度为 20、25、30 ℃ 的条件下进行 3 组实验,根据动力学实验确定吸附达到平衡后,记录平衡浓度 C_e 并计算平衡吸附量 q_e ,将实验数据与 Langmuir 吸附等温式进行非线性拟合.

振荡速率影响实验:各取 1 g 生物膜(干湿比 0.291)在 20 ℃ 条件下吸附 250 mL 不同初始浓度的磷酸盐溶液,分别在振荡速率为 60、120、180 r/min 的条件下进行 3 组实验,根据动力学实验确定吸附达到平衡后,记录平衡浓度 C_e 并计算平衡吸附量 q_e ,将实验数据与 Langmuir 吸附等温式和 Freundlich 吸附等温式进行非线性拟合.并将热力学实验中的数据作为 0 r/min 的情况与其他振荡速率下的吸附进行比较.

pH 影响实验:各取 1 g 生物膜(干湿比 0.287)在 25 ℃ 条件下吸附 250 mL 由蒸馏水配制的不同初始浓度的磷酸盐溶液,分别在 pH 为 3、5、7、9、11 的条件下进行 5 组实验,同时设置对照实验组,对照实验所用磷酸盐溶液由自来水配制.根据动力学实验确定吸附达到平衡后,记录平衡浓度 C_e 并计算平衡吸附量 q_e ,将实验数据与 Langmuir 吸附等温式或 Freundlich 吸附等温式进行非线性拟合.

磷负荷影响实验:实验所用生物膜干湿比为 0.291.取 3 个 500 mL 的三角瓶和 1 个 250 mL 的三角瓶,分别编号 A、B、C、D,根据表 1 在 30 ℃ 条件下设置吸附实验,测定吸附达到平衡时的浓度、平衡吸附率和吸附量,对比分析磷与生物膜质量比对吸附规律的影响.其中磷负荷为磷与生物膜干质量比,反映生物膜的相对用量.

表 1 磷负荷影响实验试剂

Tab.1 Reagent for experiments on the effect of phosphorus load

编号	磷溶液体积 V/mL	磷浓度 C_0 / (mg · L ⁻¹)	生物膜湿质量 m/g	磷负荷 / %
A	500	1	1	0.172
B	500	2	1	0.344
C	500	2	2	0.172
D	250	2	1	0.172

2 实验结果与分析

2.1 天然水体中生物膜吸附磷的热力学特征

拟合结果与实验实测数据对比如图 1、2 所示,拟合参数和相关系数列于表 2、3,两个模型拟合的

相关系数均达到显著性水平($n-2=4, P<0.01$)。结果表明,不同水体的生物膜对磷的吸附有所差异,但具有相似的热力学特征,Langmuir 模型比 Freundlich 模型能更好地描述自然水体生物膜对磷的等温吸附,随着平衡浓度增大,平衡吸附量也增大,但增大的幅度越来越小,最终趋于饱和,可见生物膜对磷的等温吸附符合单分子层吸附模型。

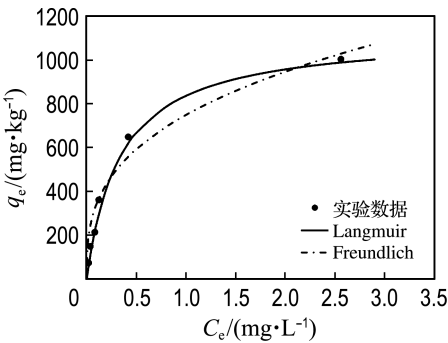


图1 永定河生物膜吸附磷的等温线
Fig.1 Isotherms of phosphorus adsorption on surface coatings from Yongding River

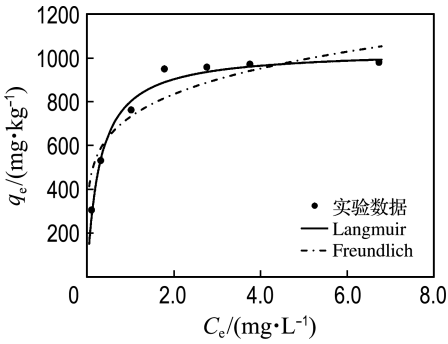


图2 清华荷塘生物膜吸附磷的等温线
Fig.2 Isotherms of phosphorus adsorption on surface coatings from Tsinghua pond

表2 永定河生物膜吸附磷的热力学模型
Tab.2 Thermodynamic model of phosphorus adsorption on surface coatings from Yongding River

热力学模型	模型参数	相关系数 R
Langmuir	$Q_{\max}=1\ 119.51, b=2.96$	0.996
Freundlich	$K_F=749.66, n=0.34$	0.961

表3 清华荷塘生物膜吸附磷的热力学模型
Tab.3 Thermodynamic model of phosphorus adsorption on surface coatings from Tsinghua pond

热力学模型	模型参数	相关系数 R
Langmuir	$Q_{\max}=1\ 035.11, b=3.38$	0.992
Freundlich	$K_F=730.37, n=0.19$	0.922

2.2 温度对吸附热力学特征的影响

在不同温度条件下实验实测数据与拟合结果对比如图3所示。结果表明,3种温度下生物膜对磷的等温吸附过程均符合 Langmuir 模型。温度对生物膜吸附磷的等温吸附过程有显著的影响。25~30℃时的平衡吸附量最大,20℃时最小,且相同的平衡浓度对应的平衡吸附量随温度并不单调变化。

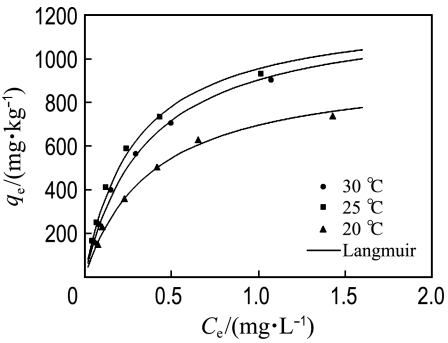


图3 不同温度下生物膜吸附磷的等温线
Fig.3 Isotherms of phosphorus adsorption on surface coatings at different temperatures

2.3 振荡速率对吸附热力学特征的影响

在不同振荡速率下实验实测数据与拟合结果对比如图4所示。结果表明,不同振荡速率下生物膜吸附磷的等温吸附特性均符合 Langmuir 模型,饱和吸附量 $Q_{\max}$ 随振荡速率的增大而增大,且增幅较大,说明回旋振荡能显著提高生物膜的吸附活性。回旋振荡一定程度上能够模拟动水条件,振荡速率越大对应于水流速度越快、紊动越强,因此可初步认为流动状态的水体中生物膜对磷有更强的吸附效果。

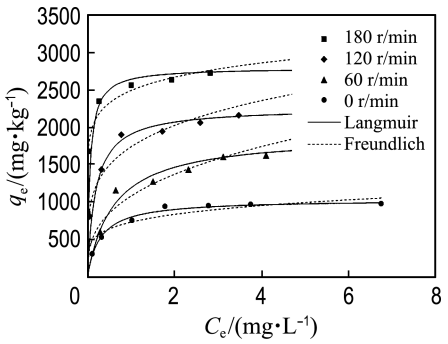


图4 不同振荡速率下生物膜吸附磷的等温线
Fig.4 Isotherms of phosphorus adsorption on surface coatings at different oscillation rates

2.4 pH 对吸附热力学特征的影响

在不同 pH 条件下实验实测数据与拟合结果

对比如图 5、6 所示. 结果表明,生物膜对蒸馏水配制的正磷酸盐的等温吸附符合 Langmuir 模型,不同 pH 条件下拟合结果差异不大,pH 的变化对生物膜吸附磷的热力学特征基本无影响. 在配制不同浓度磷溶液时发现,由于磷标准溶液是加硫酸贮存的,磷酸二氢钾又是弱酸,因此蒸馏水中加入不同体积的磷标准溶液配制成不同浓度的磷溶液后 pH 也不相同,生物膜吸附磷基本不受 pH 影响的结论证明了生物膜对不同浓度磷溶液的等温吸附实验的合理性. 对于由自来水配制的不同 pH 的正磷酸盐溶液,实验数据与 Langmuir 和 Freundlich 吸附等温式拟合效果较差,特别是 pH 为 9、11 两种情况与等温吸附模型不符合(事实上,Langmuir 模型无法拟合,Freundlich 模型中 $n>1$),表明天然水体 pH 调至碱性后,生物膜对

磷的吸附不再占主导地位,水体中生成的絮状体对磷的吸附作用更明显. 事实上天然水体 pH 过高或过低都不利于水体生物的生长,而且碱性水体中产生的絮状体很难去除,是严重的二次污染源,因此应避免水体 pH 过高或过低.

2.5 磷负荷对吸附热力学特征的影响

磷负荷影响实验结果列于表 4. 分析 A、B 组可知,相同生物膜吸附相同体积、不同浓度的磷溶液,磷浓度大者(B)平衡吸附率较低,但由于吸附质的量更大,故平衡总吸附量及单位干质量生物膜平衡吸附量也较大;此情形即为等温吸附实验中浓度逐渐增加的情形,根据等温吸附曲线,浓度增加到一定程度后,吸附量将不再增加. 分析 B、C 组可知,不同质量的生物膜吸附相同体积、相同浓度的磷溶液,生物膜质量大者(C),磷负荷较小,平衡吸附率较大,平衡总吸附量也较大,但单位干质量生物膜平衡吸附量较小,说明增加部分的生物膜的吸附效果随生物膜量的增加而逐渐降低. 分析 A、C 组可知,相同体积的磷溶液,同比例增减磷浓度和生物膜用量,即保持磷与生物膜干质量比恒定,则磷浓度大者(C)平衡吸附率较大,单位干质量生物膜平衡吸附量也较大,说明磷负荷恒定时,一定范围内磷浓度对生物膜吸附磷有促进作用,同步增加磷和生物膜有利于生物膜对磷的吸附去除. 分析 A、D 组可知,保持磷和生物膜的质量不变,对磷溶液进行浓缩,则平衡吸附率增大,平衡总吸附量和单位干质量生物膜平衡吸附量均增大. C 与 D 的关系相当于把两个完全相同的吸附实验(D)合并在一个三角瓶中进行(C),但 C 组磷的绝对量更大,对比 C、D 组可知,磷浓度恒定时,生物膜用量与溶液体积同步增减,对平衡浓度、吸附率、单位干质量生物膜吸附量影响不大,但磷总量较小者(D)平衡吸附率和单位干质量生物膜平衡吸附量略大,说明磷总量越少,吸附效果越好. 对比 B、D 组可知,相同生物膜吸附相同浓度、不同体积的磷,随着体积的增加(B),磷负荷增大,平衡吸附率降低,但单位干质量生物膜平衡吸附量增大. 综合 4 组实验可看出,在磷负荷恒定的情况下,同步增加生物膜量与溶液体积或对溶液进行稀释浓缩对单位干质量生物膜平衡吸附量有一定影响,但影响较小. 影响单位干质量生物膜平衡吸附量最主要的因素是磷负荷,影响平衡总吸附量的主要因素是磷的总质量和生物膜的总用量,影响平衡吸附率的主要因素是磷浓度和磷负荷.

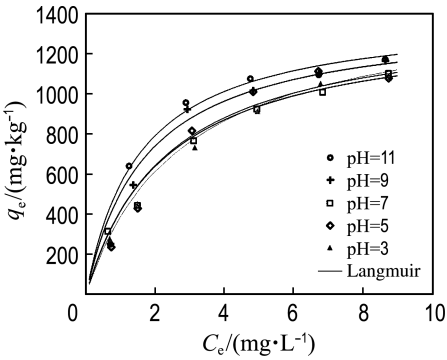


图 5 生物膜吸附不同 pH 磷溶液(蒸馏水配制)的等温线

Fig. 5 Isotherms of phosphorus adsorption on surface coatings at different pHs prepared by distilled water

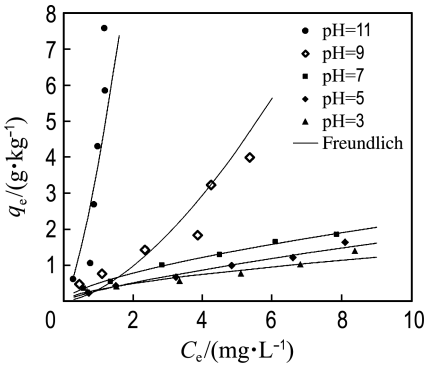


图 6 生物膜吸附不同 pH 磷溶液(自来水配制)的等温线

Fig. 6 Isotherms of phosphorus adsorption on surface coatings at different pHs prepared by running water

表4 磷负荷影响实验结果

Tab.4 Results of experiments on the effect of phosphorus load

编号	平衡浓度 $C_e/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	平衡吸 附率/%	平衡总吸附量 $Q_e/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	单位干质量生物 膜平衡吸附量 $q_e/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$
A	0.515	48.5	242.5	807.6
B	1.190	40.5	405.0	1 391.8
C	0.890	55.5	555.0	953.6
D	0.865	56.8	283.8	975.1

3 结 论

(1)实验选取不同天然水体的生物膜,其吸附磷的热力学特征虽然有差异,但一定条件下均符合 Langmuir 等温吸附模型,相同质量的生物膜对不同初始磷浓度的磷酸盐溶液的吸附,吸附量随磷浓度增大而增大,但增大的幅度越来越小,磷浓度无限增大时吸附量趋于饱和。

(2)温度对生物膜吸附磷的热力学特征有较大影响,在 25~30 ℃ 条件下,饱和平衡吸附量最大。

(3)pH 对生物膜吸附磷的热力学特征影响不大,但天然水体中金属离子在碱性条件下生成絮状体,间接影响生物膜对磷的吸附。

(4)振荡速率对生物膜吸附磷有显著促进作用,振荡速率越大,饱和平衡吸附量也越大。

(5)磷负荷是影响平衡吸附率和单位干质量生物膜平衡吸附量的主要因素,磷的总质量和生物膜的总用量是影响总吸附量的主要因素。

参考文献：

[1] Alexander R B, Smith R A. Trends in the nutrient enrichment of US rivers during the late 20th century and their relation to changes in probable stream trophic conditions [J]. **Limnology and Oceanography**, 2006, **51**(1):639-654.

[2] 王茹静,赵旭,曹端钰.富营养化水体底泥释磷的影响因素及其机理[J].江苏环境科技,2005,18(4):47-49.

WANG Ru-jing, ZHAO Xu, CAO Rui-yu. Study on the affecting factors and mechanism of internal phosphorus release in eutrophic water [J]. **Jiangsu Environmental Science and Technology**, 2005, **18**(4):47-49. (in Chinese)

[3] 席北斗,陈艳卿,苏婧,等.湖泊营养物标准方法学及案例研究[M].北京:科学出版社,2013.

XI Bei-dou, CHEN Yan-qing, SU Jing, *et al.* **Nutrient Criteria Methodology for Lakes and Case**

Study [M]. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese)

[4] 黄怀曾,汪双清,袁红莉,等.磷控型富营养化:机理与调控原理[M].北京:科学出版社,2014.

HUANG Huai-zeng, WANG Shuang-qing, YUAN Hong-li, *et al.* **Phosphorus-Control Eutrophication: Mechanism and Regulating-Controlling Principles** [M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)

[5] 刘建康.湖泊与水库富营养化防治的理论与实践[M].北京:科学出版社,2003.

LIU Jian-kang. **Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication** [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)

[6] Isao J. Phosphorus removal from wastewater by crystallization method [J]. **Water Science Technology**, 1984(17):121-132.

[7] 冯昭华.高浓度含磷废水的治理技术[J].给水排水,2000,26(1):57-59.

FENG Zhao-hua. Technology for treatment of high-concentration phosphorus-containing wastewater [J]. **Water & Wastewater Engineering**, 2000, **26**(1):57-59. (in Chinese)

[8] 刘长青,冯学静,卞建方,等.生物除磷系统微生物能量代谢活性对好氧吸磷能力的影响研究[J].水处理技术,2013,39(6):45-48.

LIU Chang-qing, FENG Xue-jing, BIAN Jian-fang, *et al.* Effect on aerobic phosphorus absorption ability by microbial energy metabolic activity [J]. **Technology of Water Treatment**, 2013, **39**(6):45-48. (in Chinese)

[9] LIU Wei, YANG Dian-hai, XU Li, *et al.* A modified oxidation ditch with additional internal anoxic zones for enhanced biological nutrient removal [J]. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, 2013, **21**(2):192-198.

[10] 吴薇,刘雷,黄魁,等.国内外利用藻类去除污水中氮、磷的研究现状及发展趋势[J].江西科学,2007,25(1):47-50.

WU Wei, LIU Lei, HUANG Kui, *et al.* Present situation and the developmental trend of removal of nitrogen and phosphorus in wastewater with alga technology [J]. **Jiangxi Science**, 2007, **25**(1):47-50. (in Chinese)

[11] 宋智香,刘晓黎,周新革,等.黄河下游悬浮颗粒物和沉积物对磷的吸附[J].人民黄河,2009,31(12):45-46.

SONG Zhi-xiang, LIU Xiao-li, ZHOU Xin-ge, *et al.* The absorption of suspended load and sediment in the lower Yellow River to phosphorus [J]. **Yellow River**, 2009, **31**(12):45-46. (in Chinese)

- [12] 郭长城,王国祥,喻国华. 天然泥沙对富营养化水体中磷的吸附特性研究[J]. 中国给水排水, 2006, **22**(9):10-13.
GUO Chang-cheng, WANG Guo-xiang, YU Guo-hua. Study on adsorption of phosphorus in eutrophied water body by natural sediment [J]. **China Water & Wastewater**, 2006, **22**(9):10-13. (in Chinese)
- [13] 董德明,花修艺,李 鱼,等. 天然水环境中的生物膜及其对重金属的吸附[M]. 北京:科学出版社, 2010.
DONG De-ming, HUA Xiu-yi, LI Yu, *et al.* **Heavy Metals Adsorption on Surface Coatings in Natural Aquatic Environment** [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [14] van Loosdrecht M C M, Eikelboom D, Gjaltema A, *et al.* Biofilm structures [J]. **Water Science and Technology**, 1995, **32**(8):35-43.
- [15] Carlson G, Silverstein J. Effect of molecular size and charge on biofilm sorption of organic matter [J]. **Water Research**, 1998, **32**(5):1580-1592.
- [16] Nelson Y M, Lion L W, Shuler M L, *et al.* Modeling oligotrophic biofilm formation and lead adsorption to biofilm components [J]. **Environmental Science & Technology**, 1996, **30**(6):2027-2035.
- [17] 郑 娜,董德明,花修艺,等. 自然水体生物膜对苯酚及对硝基苯酚的热力学吸附[J]. 吉林大学学报(理学版), 2007, **45**(2):315-319.
ZHENG Na, DONG De-ming, HUA Xiu-yi, *et al.* Characteristics of thermodynamic adsorption of phenol and p-nitrophenol onto natural surface coatings [J]. **Journal of Jilin University (Science Edition)**, 2007, **45**(2):315-319. (in Chinese)
- [18] 申 禹,李 玲. 天然水体中生物膜对磷的吸附动力学特征[J]. 环境科学学报, 2013, **33**(4):1023-1027.
SHEN Yu, LI Ling. Kinetic characteristics of phosphorus adsorption on surface coatings in natural water [J]. **Acta Scientiae Circumstantiae**, 2013, **33**(4):1023-1027. (in Chinese)
- [19] 申 禹,李 玲. 附着生物膜的泥沙颗粒对磷的吸附特性研究[J]. 水利学报, 2013, **44**(4):495-499.
SHEN Yu, LI Ling. Study on phosphorus adsorption to the sand attached with surface coatings [J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2013, **44**(4):495-499. (in Chinese)

Thermodynamics study of nutrient phosphorus adsorption on surface coatings in aquatic environment

LI Ling*, ZHANG Qing-qing, SHEN Yu

(State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Nutrient phosphorus is one of key factors which restrict phytoplankton growth and reproduction, and even the occurrence of water eutrophication. Surface coatings in aquatic environment possess a strong adsorption to phosphorus. It is of great significance for water environment treatment to study the adsorption characteristics of phosphorus on surface coatings. Surface coatings sampled from several natural waters are used to absorb orthophosphate solution with different initial concentrations and the influence of several environmental factors is analyzed. Thus, the thermodynamic features are studied and the adsorption isotherms under different environmental conditions are obtained. The results show that the adsorption thermodynamics are fitted with the Langmuir model very well. Temperature and oscillation possess great impact on the adsorption process. The best adsorption temperature is 25-30°C. The maximum equilibrium adsorption capacity increases as oscillation rate increases. pH hardly affects the thermodynamic features itself, but pH has an indirect impact on phosphorus adsorption by the floc generated in an alkaline environment. Meanwhile, it is found that adsorption rate and the amount of phosphate adsorbed per unit mass of surface coatings at equilibrium are mainly affected by phosphorus load. The gross mass of phosphorus and the total adsorbent dosage are key factors which influence the total adsorption capacity.

Key words: aquatic environment; nutrient phosphorus; surface coatings; adsorption thermodynamics; adsorption isotherms