

水体中沉积物氮和磷的释放机制及其影响因素研究进展

李乾岗¹, 田颖¹, 刘玲², 张光明^{1,3*}, 王洪杰^{2*}

(1. 中国人民大学环境学院, 北京 100872; 2. 河北大学生态与环境治理研究所, 河北大学生命科学学院, 河北保定 071002; 3. 河北工业大学能源与环境工程学院, 天津 300401)

摘要: 水体中沉积物氮和磷的释放是导致水体富营养化的主要原因。综述了水体中沉积物氮和磷的主要赋存形态, 总结了沉积物氮和磷释放途径及其描述方法; 从沉积物性质、上覆水的理化性质、生物、水体的水量变化、扰动作用5个方面, 归纳了水体沉积物氮和磷释放过程的影响因素; 阐述了水体中溶解氧含量、水体pH和水温对沉积物氮和磷释放的影响; 最后, 对未来相关研究进行了展望。

关键词: 沉积物; 氮; 磷; 释放; 水体; 影响因素

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5948(2022)01-094-10

随着城镇人口的急剧增加、工农业的迅速发展和城镇的快速扩张, 有大量未经过处理或虽然经过处理但是仍然未达标的生产和生活污水直接排入河流或湖泊等水体中, 导致这些水体长期处于富营养化状态^[1]。2020年6月的统计结果显示, 中国有25.8%的重点湖泊的水体处于富营养化状态, 松花江、辽河、淮河和海河的大部分河段的水体仍处于污染状态^[2]。

沉积物(又称“底泥”)向上覆水体中释放氮和磷的过程是氮和磷生物地球化学循环的重要部分, 而这一过程也会对水环境产生直接影响^[3]。研究表明, 当外源氮、磷输入得以有效控制后, 沉积物中氮、磷的释放将成为水体氮、磷污染的主要内部来源^[4-7]。采用能够减少沉积物中氮和磷释放的工程措施, 使沉积物由释放氮和磷的源, 变成吸收氮和磷的汇^[8], 将使水体富营养化的治理工作事半功倍。研究水体沉积物中氮和磷的释放过程及其影响因素, 可以更好地了解水体沉积物中氮和磷的赋存形态和释放机制, 这对河流和湖泊等水体的修复具有重要意义。

本研究对水体沉积物中氮和磷的赋存特点进行了归纳, 详细阐述了水体沉积物中氮和磷的释放机制, 总结了环境因素对沉积物中氮和磷释放过程的影响, 最后, 对未来沉积物氮和磷释放的研究方向进行了展望, 以期对水体富营养化的治理、水体内源污染的控制和水体修复工程开展提供参考依据。

1 沉积物中的氮和磷

水体富营养化是指由于氮和磷的过量输入而导致的水环境或水生态系统遭到破坏的现象^[9]。近几十年来, 中国多数水体沉积物中蕴含了大量的氮和磷元素, 形成了较高的生态环境风险。例如, 白洋淀沉积物的全氮和全磷质量比分别为1 230.8~9 559.0 mg/kg和344.4~915.4 mg/kg^[10]; 2015年8~9月, 洞庭湖区南湖0~20 cm深度沉积物的全氮和全磷质量比分别为1 640~1 740 mg/kg和1 455~2 062 mg/kg^[11]; 东巢湖近城市湖湾沉积物的全氮和全磷质量比分别为1 608.1~4 752.7 mg/kg和319.5~726.8 mg/kg^[12]; 2018年2月, 阳澄湖0~

收稿日期: 2021-03-31; 修订日期: 2021-09-07

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2018ZX07110003)资助。

作者简介: 李乾岗(1996-), 男, 山西省临汾人, 博士研究生, 从事环境科学研究; 田颖(1994-), 女, 山西省长治市人, 博士研究生, 从事环境科学研究。E-mail: lqg2018@ruc.edu.cn; tycaicai@126.com

*通讯作者: 张光明, 教授; 王洪杰, 教授。E-mail: 2020017@hebut.edu.cn; wanghj@hbu.edu.cn

5 cm 深度沉积物的全氮和全磷质量比分别为 1 272.66~5 399.56 mg/kg 和 412.15~1 425.54 mg/kg^[13]; 2016 年 7 月, 扎龙湿地克钦湖 0~5 cm 深度沉积物的全氮和全磷质量比分别为 179.1~3 520.3 mg/kg 和 132.7~649.1 mg/kg^[14]; 2018 年 12 月(枯水期), 拉鲁湿地水体表层沉积物的全氮和全磷质量比分别为 0.18~6.35 g/kg 和 0.33~2.88 g/kg, 2019 年 5 月(丰水期), 拉鲁湿地水体表层沉积物的全氮和全磷质量比分别为 0.10~3.95 g/kg 和 0.31~1.26 g/kg^[15]; 2015 年 12 月, 深圳福田红树林的秋茄(*Kandelia candel*)林水体沉积物的全氮和全磷质量比分别为 609.67~1 562.34 g/kg 和 95.93~823.18 g/kg^[16]。多数湖泊沉积物的全氮质量比变化在 122~9 559 mg/kg 之间, 全磷质量比变化在 96~2 906 mg/kg 之间。一般认为, 当湖泊沉积物中的全氮和全磷质量比分别高于 550 mg/kg 和 600 mg/kg 时, 湖泊就会有一定的生态环境风险^[17]。

沉积物中的氮包括有机氮和无机氮两类。有机氮主要来自水体中的生物残体和生物排泄物。洪湖沉积物中的有机氮含量占全氮含量的 90% 以上, 无机氮含量则相对较小^[18]。

磷很难通过气态形式从水体中脱除, 大量磷在水体中沉积, 并且水体的磷富营养化风险更高, 故而受到较多关注^[19-20]。沉积物中的磷可以分为有机磷和无机磷两类。有机磷含量占全磷含量的比例通常相对较小, 无机磷含量占全磷含量的比例通常大于 60%, 这主要与沉积物中铁和铝等金属元素含量相关^[20-23]。沉积物对磷的吸附主要包括离子交换、静电吸附、配位体交换和表面络合 4 种方式, 离子交换和静电吸附是沉积物吸附磷酸盐的主要途径^[24-25]。

2 沉积物中氮和磷的释放

2.1 氮和磷释放的途径

沉积物在水体氮和磷物质循环中具有十分重要的作用, 沉积物中栖息了大量的微生物, 有助于沉积的有机氮和有机磷的矿化和释放, 提供给需要氮和磷的生物。同时, 由于沉积物位于水体底部, 氧含量偏小, 又富含有机质, 可以为反硝化菌和厌氧氨氧化菌提供较好的反应环境, 促进水体中的氮元素重新回到大气环境中^[26-29]。水体中的

磷主要通过沉积物中颗粒物和生物吸收得以沉积并保留^[30]。由此可见, 沉积物与水界面之间的氮、磷交换是氮、磷生物地球化学循环的重要环节, 也是湿地氮、磷物质循环最重要的部分。

人类活动既打破了自然界自身的氮、磷循环过程, 又导致大量地表水水体富营养化。研究表明, 人类对固氮和固磷矿石的过量开采等活动, 导致进入地表环境的氮和磷的量增加了一倍以上^[31]。通常, 氮和磷在沉积物与上覆水之间存在吸附与释放的动态平衡, 过量的氮和磷输入会使上覆水和沉积物中的氮和磷含量增大, 使得平衡浓度升高, 这会极大地增加沉积物中氮和磷释放的风险, 从而加大水体污染治理的难度^[24]。研究显示, 在一些长期处于富营养化的湖泊中, 沉积物氮和磷释放或许会让很多外源污染控制措施不能发挥应有的治理效果, 反而可能会在一些固氮蓝藻的作用下加剧湖泊水体的富营养化程度^[32-33]。

沉积物可以通过两种途径释放氮和磷。第一, 将附着在沉积物颗粒物上的氮和磷先释放到间隙水中, 再通过水中的浓度梯度或外力扰动, 将氮和磷扩散到上覆水中, 这个过程简称为自由扩散过程^[34]。第二, 在外界的自然作用下, 沉积物中含或吸附氮和磷的颗粒物再悬浮到上覆水中, 可以增大上覆水中氮和磷的含量, 这个过程简称为再悬浮过程^[35]。自由扩散过程主要受环境因子的影响, 是沉积物中氮和磷向水体中扩散的主要方式, 再悬浮过程则主要受扰动作用的影响^[36-37]。

2.2 氮和磷释放的描述方法

主要采用 3 种方法^[38-42], 描述沉积物中氮和磷的释放过程。

上覆水中氮和磷的质量浓度(mg/L)。该方法是表征沉积物释放作用对水环境质量影响最为简洁和直观的方法, 主要适用于有固定体积的上覆水。它既能评价沉积物释放氮和磷作用的强弱, 又可以判断沉积物释放氮和磷作用对水环境质量的实际影响。

沉积物氮和磷的释放通量[mg/(m²·h)或mg/(m²·d)]。该方法主要是利用上覆水中氮和磷浓度的变化数据, 估算沉积物氮和磷的释放通量, 或采用菲克定律, 估算沉积物氮和磷的释放通量^[41,43]。前者主要通过实验室静态释放实验的结果进行估

算,更适合评价中短期的沉积物氮和磷释放特性。后者根据菲克第一扩散定律,需要准确测量沉积物-水界面的各项指标,估算沉积物氮和磷的释放通量,更适合评价沉积物氮和磷的长期释放特征^[42]。这种描述方法能更好地反映出沉积物氮和磷的释放或吸附状态和释放通量,由于其计算过程中包含了时间与空间尺度,能够避免上覆水体体积变化造成的影响,更有利于评估实际水体的沉积物氮和磷释放过程和估算内源污染总量。

沉积物氮和磷的累积释放质量比(mg/kg)。这个方法通常用于实验室中沉积物氮和磷的释放过程描述,能更好地对比不同条件下沉积物氮和磷释放的长期作用^[42,44],但并不适用于评估实际水体沉积物氮和磷的释放过程。

3 沉积物中氮和磷释放的影响因素

沉积物释放氮和磷的过程受到环境因素的显著影响。由于氮和磷在沉积物中的主要存在形态不一致,因此,各种环境因素对氮和磷的释放规律的影响也存在差异。

3.1 沉积物性质

沉积颗粒物本身的粒径和形态会直接影响其对氮和磷物质的吸附与释放,通常粒径较小的沉积颗粒物比表面积更大,再悬浮能力更强,故其释放氮和磷的速率会更快^[45-46]。研究发现,当沉积物组分类似时,黏粒级(粒径小于4 μm)颗粒释放氮和磷的速率大于细砂粒级(粒径为63~250 μm)和粗砂粒级(粒径为250~1 000 μm)颗粒^[47];小粒径的沉积物颗粒释放有机磷的速率更快,而大粒径的沉积物颗粒释放的有机磷量更大^[48-49]。

沉积物本身的物质组成也是影响其氮和磷释放的重要因素。例如,沉积物中的有机质包含的极性官能团是影响氮释放的重要组分。研究显示,随着沉积物极性官能团的减少,沉积物释放的氮增加,而且释放的平衡时间变短^[50]。铁、锰、铝和钙等金属元素对沉积物磷的释放可能有更显著的影响^[51-53],因为它们都可以与磷酸盐结合,变成相对稳定的化合物,从而促进磷的沉积。沉积物磷的释放过程主要受沉积物中铁元素的控制^[54]。磷酸盐易与三价铁离子形成较为稳定的化合物,从而使磷储存在沉积物中^[52],也正因为如此,铁

基材料一直是人工湿地基质填充材料的研究热点^[25]。沉积物中的碱性磷酸酶是氮和磷循环过程中重要的活性物质,其能促进沉积物中有机磷的转化与释放,近年来其愈发受到关注^[55-56]。沉积物中的碳和氮负荷增加会提高微生物碱性磷酸酶的分泌,从而促进磷的释放^[57]。此外,淡水沉积物中的硫酸盐含量增大也会增加磷释放量^[58]。

3.2 上覆水的理化性质

3.2.1 溶解氧含量

水体-沉积物界面的溶解氧含量能够改变该界面上的氧化还原电位,进而影响两相氮和磷形态的转化,直接影响沉积物的氮和磷释放过程。很多研究发现,随着水体中溶解氧含量的增大,沉积物氮和磷的释放量在逐渐减小^[59-64]。很显然,厌氧环境更有利于沉积物释放氮和磷,而且溶解氧含量的变化对沉积物中磷释放的影响更显著。

在缺氧环境中,沉积物-水界面呈还原性,反硝化作用增强,沉积物中的氨氮释放量增加^[8]。沉积物中氮的释放主要与氨氮、硝态氮的相互转化密切相关,在厌氧环境下,沉积物以释放氨氮为主,在好氧环境下,则以释放硝态氮为主^[54]。厌氧环境下沉积物释放氨氮的强度远大于好氧环境下释放硝态氮的强度^[62],这也是厌氧环境下沉积物氮释放效率更高的主要原因。缺氧环境促使沉积物中高价态金属离子会向低价态转变,三价铁离子等与磷酸盐稳定结合的金属阳离子被还原,同时还还原环境抑制了磷沉积,增加了沉积物中磷酸盐的释放^[65-66]。在三峡水库的一个支流回水区,在缺氧环境下,沉积物中的铁氧化物含量在减小,水体中的磷和二价铁离子含量有同步增大的趋势^[67]。缺氧环境能提高沉积物中碱性磷酸酶的活性,进一步加剧厌氧环境下沉积物磷的释放^[56-57]。

水体中的溶解氧含量减小是引起夏季水体沉积物中氮和磷释放量增大的重要原因之一。夏季,水体的光照强度增大,水位升高,藻类大量繁殖,下层水界面的溶解氧含量常处于较低水平,进而导致水体的内源污染风险增大^[52,64]。夏季,佩普西湖(Lake Peipsi)水体的缺氧环境对沉积物磷释放量增大的贡献率在80%以上^[3]。

3.2.2 水体pH

水体pH会直接改变吸附在沉积物中的氮和

磷的赋存形态,进而直接影响沉积物中氮和磷的释放。在很多研究中,当水体呈中性时,沉积物氮和磷的释放量都偏低;当水体呈酸性或碱性时,沉积物氮和磷的释放量都会增大^[44,59,63,68-71]。

碱性水体沉积物的氮释放量大于酸性水体,因为过量的氢氧根会提高铵离子的逸散速率,增大沉积物-水体间的浓度梯度,从而使沉积物氮的释放效率增大^[60]。当水体 pH 过大时,反硝化细菌活性被抑制。洱海的反硝化细菌活性最适的水体 pH 为 5.5~8.3,当洱海水体 pH 大于 10 时,反硝化细菌活性会受到极大抑制,促使沉积物-水界面的硝酸盐积累,从而表现为沉积物氮的释放量增加,因此,硝态氮是碱性环境中氮释放的主要形式^[72]。除颗粒磷沉积以外,磷酸盐配位体交换与静电吸附是沉积物吸附磷的两种重要方式^[73]。配位体交换是指沉积物表面的羟基基团与磷酸盐发生的交换^[25],因而在碱性环境中,过量的氢氧根会与金属磷酸盐形成配位竞争^[24,74],从而促进更多的磷酸盐释放出来。

在酸性水体环境中,铵离子成为沉积物氮释放的主要形式^[72]。这是由于沉积物胶体中的铵离子与水中高浓度的氢离子发生置换,促使大量铵离子从沉积物中逸出,促进了氮释放^[75]。在酸性水体环境中,沉积物中铁、铝和钙离子等对磷酸盐有吸附性的金属盐离子大量溶解,从而促使沉积物中磷酸盐的释放^[76-77]。但是,水中过量的氢离子也会促使沉积物表面基团质子化,增强对磷酸盐的静电吸附作用^[78],在一定程度上减弱了磷酸盐的释放强度,这也是酸性环境对沉积物氮和磷释放的促进作用远低于碱性环境的重要原因。

3.2.3 水温

水温是影响沉积物氮和磷释放的关键因素。水温可以通过影响沉积物中微生物的活性,改变有机物的矿化速率,影响沉积物-水界面的氧含量,从而间接地对沉积物的氮和磷释放过程产生影响。

当水温变化在 5~40 °C 之间时,随着水温的升高,沉积物的氮和磷释放量都在不断增大^[42,44,59-62,68-69,71,79-81]。

水温升高会增加河流水体中微生物和藻类等其它生物的活性,使这些生物的蛋白酶、脲酶、碱

性磷酸酶等重要的氮磷转化生物酶的分泌量增大,提高微生物对沉积物中有机氮磷的矿化速率,从而增加沉积物中氮和磷的溶出^[82]。同时,水温升高会降低水体中氧的溶解度,提高水体中好氧微生物活性和藻类的繁殖率,增加水体的耗氧速率,从而极大减小了沉积物-水界面的氧含量,间接促进沉积物中的氮和磷的释放,这也是水体升温导致沉积物氮和磷释放的最主要原因^[83]。此外,水温升高也会促进水体中离子的活跃程度,加快传质过程。如前文所述,夏季,由于水温较高,造成了中、下层水体,尤其是沉积物-水界面处严重缺氧。冬季,水深 20 m 处的水体的氧含量与表层水体相差不大,而夏季,当水深超过 5 m 后,水体的氧含量就开始急剧减小,在 15 m 深度处,水体的氧含量基本为零^[84],极大地促进了沉积物中氮和磷的释放。夏季,中国南方河流水体的水温偏高,水体中的溶解氧含量与水温显著负相关,沉积物磷的释放量比全年其它时间大 89.7%~159.6%^[52]。研究表明,气候变暖导致 1951~2013 年滇池沉积物中氮和磷的沉积效率分别减小了 314%~659%和 15%~31%^[85]。

3.3 生物

3.3.1 微生物

沉积物中富含营养物质,能为微生物提供较好的生存环境,是微生物生长和反应的重要场所,微生物活动也对氮和磷生物地球化学循环起到至关重要的作用^[86]。沉积物中富含有机氮和有机磷,沉积物是微生物有机氮和有机磷矿化的主要场所,同时厌氧环境也使沉积物成为反硝化的主要场所,水体中大部分氮形态转化都在沉积物中发生^[84]。研究发现,在河流沉积物氮和磷释放的过程中,氮转化微生物的数量明显多于磷转化微生物,其中氨化细菌多于反硝化细菌和硝化细菌^[82]。虽然沉积物中的微生物对磷具有生物吸收作用^[84],但是微生物对磷的吸收量通常可以忽略不计^[87]。

微生物将有机氮和有机磷矿化为无机氮和无机磷的过程是沉积物氮和磷物质循环的重要环节,对沉积物氮和磷的释放有深刻影响^[88]。在高原山地分散养殖型农村沟渠底泥磷释放的研究中,未灭菌底泥的磷释放通量比灭菌底泥增加了 13.6%~

48.8%^[78]。在微生物和硬毛藻(*Chartomorpha antennina*)对天鹅湖不同湖区沉积物氮和磷释放影响的研究中,未灭菌沉积物的氮浓度比灭菌沉积物大68.1%^[89]。可见,微生物在沉积物氮和磷释放过程中贡献较大。微生物作用的强弱与环境因素息息相关,水温和水体pH能直接影响微生物的活性,氮、磷和有机质含量也是影响微生物分泌碱性磷酸酶等生物酶的重要因素^[56,82]。

3.3.2 植物

数量庞大的水生植物在水下通过呼吸作用等活动吸附颗粒物、截留污染和降低水动力,从而抑制沉积物的污染物释放^[90]。在生长过程中,水生植物还能吸收沉积物中的污染物,其泌氧作用也能增加沉积物-水界面的溶解氧含量,进一步减少沉积物污染物的释放量^[91]。狗牙根(*Cynodon dactylon*)和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)对水库消落带土壤氮和磷释放影响的模拟研究表明,狗牙根和空心莲子草能够在12~16 d内显著减小沉积物间隙水中的氮和磷含量^[92]。沉水植物与活性覆盖材料联合控制底泥氮和磷释放效果的研究显示,苦草(*Vallisneria natans*)和黑藻(*Hydrilla verticillata*)可以将沉积物间隙水中的氮和磷含量减小0.2%~21.7%和79.5%~84.8%,还显著减少了沉积物中的氮和磷污染物的排放量^[93]。

3.4 水体的水量变化

3.4.1 水位高度

2012~2017年受季节性补水差异的影响,鄱阳湖水位发生了变化,导致沉积物上覆水中的氮和磷浓度也随之发生了变化,也对沉积物氮和磷的释放量产生了显著影响;随着水位升高,鄱阳湖水体中氮和磷的浓度在逐渐降低,但是沉积物氮和磷的释放通量却在逐渐增大,可见水位变化降低了上覆水中氮、磷浓度,从而加大了沉积物-水界面的氮、磷浓度差,促进了沉积物的氮、磷的释放^[94]。研究表明,萧太后河水位的升高,会使其沉积物的氮和磷释放通量增大,0.9 m水深下的氮和磷的平均释放通量比0.3 m水深下的分别增加了63.59%和400.84%^[37]。

3.4.2 干燥和再淹没过程

通常在季节性影响下或湿地修复工程中,随着湿地生态补水量的增加,不仅湿地的水位会升

高,还会有大量的裸地被淹没,使原来的干燥土壤变为湿地的沉积物层,这一过程会对沉积物氮和磷的释放产生显著影响^[95]。在干燥和重新淹没的过程中,较长时间的干燥会导致滨海富营养化沉积物暴露于好氧环境中,其氨氮含量逐渐减小,重新被淹没后,其氨氮的释放作用也会明显变弱,其通量减小率最高可以超过100%^[96]。长期干燥会促进富营养化沉积物中的铝结合态磷向铁结合态磷转变,抑制了再淹没初期的活性磷释放,但是,随着厌氧环境的形成,铁结合态磷会逐步再释放出来,磷的释放速率会高于氮;干燥和再淹没过程会极大地改变沉积物氮和磷的释放特征,进而改变上覆水体中的氮和磷含量,对水体富营养化的治理影响深远^[97-98]。近年来,随着退耕还湿工程的大力推进,再淹没过程会引起大量受农业影响的富营养化土壤中的氮和磷释放到水体中,因此,进一步揭示干燥和再淹没过程中氮和磷的释放规律,对湿地修复和重建十分必要。

3.5 扰动作用

扰动作用是指在自然力的影响下,对沉积物的物理形态进行改变的过程。这种应力可能是水流动、生物活动、甚至是地壳运动所产生的,其扰动作用能够将沉积物氮和磷的扩散速率提高数倍甚至数十倍^[99]。扰动会加快沉积物质的传质速率,提高间隙水中的氮和磷向上覆水中扩散的速率。当扰动达到一定强度时,就能引起沉积颗粒物质的再悬浮过程,进一步促进沉积物氮和磷的释放^[100]。根据产生的原因,可以将扰动作用分为自然扰动作用和生物扰动作用^[101-102]。

自然扰动的扰动强度和时间是影响沉积物氮和磷释放的关键因素^[99],但是自然扰动对氮释放的作用规律并不一致。随着扰动强度增加,液化沉积物氮和磷的释放速率也在增加;随扰动时间的增加,液化沉积物氮和磷的释放速率不变或逐渐减小^[102-103]。低强度扰动对鄱阳湖沉积物氮释放的促进作用最强,不扰动、高强度扰动次之;随着扰动时间的增加,沉积物全氮含量趋于稳定,而氨氮含量则在不断减小^[42]。除了环境条件和微生物因素的影响外,产生这种差别的主要原因可能是各研究中沉积物组分差异和沉积颗粒物的再悬浮强度不同所致^[104-105]。

底栖生物活动所产生的扰动被称之为生物扰动^[91]。湿地中底栖生物数量众多,它们在湿地中的扰动作用不容忽视。在一些缓流水体中,生物扰动或许是沉积物氮和磷释放的主要动力^[5]。生物扰动除了能直接促进沉积物氮和磷的扩散外^[34],还可以增加沉积物中功能微生物的数量,促进有机氮和有机磷的释放。三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)的扰动使白洋淀底泥中的功能微生物相对丰度增加了47.98%,提高了沉积物可溶磷的溶出量^[106]。生物扰动还会通过减小沉积物-水界面的氧通量,来增大沉积物氮和磷的释放量。蚯蚓和贝类的扰动减小了人工湿地沉积物-水界面的氧通量,使沉积物中的可溶性氮和磷溶出量增加,促进了水生植物的生长^[28-29]。此外,底栖生物自身的摄食活动等也会改变沉积物粒径和物质成分,影响其释放的物质类型。在对近岸海域沉积物-水界面营养盐交换通量和生物扰动影响的研究中,在实验初期,底栖双贝类的扰动能使沉积物的氨氮释放量增大^[107]。

4 已有相关研究中存在的不足

沉积物的性质对其氮和磷释放的影响需要进一步明晰。沉积物粒径多样,组成成分复杂,沉积物的性质不同,对其氮和磷的释放存在潜移默化的影响,探明不同粒径和物质组成的沉积物氮和磷的释放特征,将有助于湿地修复工程的开展。

微生物对沉积物氮和磷释放过程的影响方面的研究存在不足。现有的研究已经表明,微生物对沉积物氮和磷的释放贡献较大,并且它们通过不同的方式影响沉积物氮和磷的释放,例如,硫细菌活动会影响沉积物磷的释放^[55,105]。深入探讨不同微生物类群在沉积物氮和磷释放过程中的影响,将会对物质循环研究提供更多参考。

水位波动、干燥和再淹没过程对沉积物氮和磷释放的影响研究比较缺乏。与大型湖泊和浅海水域等相比,沼泽、小型湖泊和河流等的水量更容易受到季节等因素的影响,常发生水位波动,使沉积物裸露与淹没现象交替出现。深入讨论水位波动、干燥和再淹没过程对沉积物氮和磷释放的影响,将有助于为湿地管理和退耕还湿等湿地恢复工程提供理论支撑。

扰动作用造成的沉积物二次或多次悬浮的氮和磷释放过程值得进一步探讨。研究表明,沉积物的二次或多次悬浮所带来的氮和磷的释放规律并不一致^[108],因此,值得进一步研究。

5 结论

水体中的沉积物是氮和磷重要的汇,沉积物氮和磷的释放对氮、磷物质循环有重要的作用。沉积物中的氮和磷主要以有机氮和无机磷形态存在,主要通过自由扩散和再悬浮释放到上覆水中。沉积物性质、上覆水理化性质、生物(包括微生物和植物)、水体的水量变化和扰动作用都会对水体沉积物的氮和磷释放产生影响。厌氧环境、酸碱环境和高温环境更有利于沉积物中氮和磷的释放,而且水体中的溶解氧含量、水体pH和水温对沉积物磷释放的影响更显著。未来,应该进一步研究沉积物性质、微生物、水体水量变化和扰动二次悬浮对沉积物氮和磷释放的影响。

参考文献

- [1]韩曦,王丽,周平,等. 淮河(安徽段)南岸诸河流水质标识指数评价[J]. 湿地科学, 2012, 10(1): 46-57.
- [2]刘若男. 松花江哈尔滨段非点源污染模拟及最佳管理措施研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2020.
- [3]TAMMEORG O, NÜRNBERG G, HORPPILA J, et al. Redox-related release of phosphorus from sediments in large and shallow Lake Peipsi: Evidence from sediment studies and long-term monitoring data[J]. Journal of Great Lakes Research, 2020, 46(6): 1595-1603.
- [4]刘伟,周斌,王丕波,等. 沉积物再悬浮氮磷释放的机制与影响因素[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(4): 1311-1318.
- [5]TIAN S Y, TONG Y F, HOU Y. The effect of bioturbation by polychaete *Perinereis aibuhitensis* on release and distribution of buried hydrocarbon pollutants in coastal muddy sediment[J]. Marine pollution bulletin, 2019, 149: 110487.
- [6]WAUER G, GONSIORCZYK T, KRETSCHMER K, et al. Sediment treatment with a nitrate-storing compound to reduce phosphorus release[J]. Water research, 2005, 39(2-3): 494-500.
- [7]WALTON C R, ZAK D, AUDET J, et al. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation[J]. Science of the Total Environment, 2020, 727: 138709.
- [8]瞿畏,龚丽玲,邓征宇,等. 2017年南汉垵水渠清淤前后水中沉积物与其上覆水界面氮扩散通量估算[J]. 湿地科学, 2020, 18(4): 468-474.

- [9] LIN S S, SHEN S L, ZHOU A, *et al.* Assessment and management of lake eutrophication: A case study in Lake Erhai, China[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, **751**: 141618.
- [10] 杜奕衡, 刘成, 陈开宁, 等. 白洋淀沉积物氮磷赋存特征及其内源负荷[J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(6): 1537-1551.
- [11] 李照全, 方平, 黄博, 等. 洞庭湖区典型内湖表层沉积物中氮、磷和重金属空间分布与污染风险评价[J]. *环境科学研究*, 2020, **33**(6): 1409-1420.
- [12] 李运奔, 匡帅, 王臻宇, 等. 东巢湖沉积物—水界面氮、磷、氧迁移特征及意义[J]. *湖泊科学*, 2020, **32**(3): 688-700.
- [13] 郭西亚, 凌虹, 周旭, 等. 阳澄湖沉积物氮磷与有机质分布及污染评价[J]. *环境科技*, 2020, **33**(2): 59-64.
- [14] 彭沛林, 叶华香, 臧淑英, 等. 扎龙湿地克钦湖表层沉积物中有机质、全氮和全磷含量分布特征[J]. *湿地科学*, 2021, **19**(1): 110-116.
- [15] 任静雯, 王佳俊, 周磊, 等. 拉鲁湿地沉积物碳氮磷分布及污染风险评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, **37**(2): 172-181.
- [16] 乔永民, 谭键滨, 马舒欣, 等. 深圳红树林湿地沉积物氮磷分布与来源分析[J]. *环境科学与技术*, 2018, **41**(2): 34-40.
- [17] 王艳平, 徐伟伟, 韩超, 等. 巢湖沉积物氮磷分布及污染评价[J]. *环境科学*, 2021, **42**(2): 699-711.
- [18] WU H, HAO B, CAI Y, *et al.* Effects of submerged vegetation on sediment nitrogen-cycling bacterial communities in Honghu Lake (China) [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **755** (P1): 142541.
- [19] HAN C N, QIN Y W, ZHEN N H, *et al.* Geochemistry of phosphorus release along transect of sediments from a tributary backwater zone in the Three Gorges Reservoir[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **722**: 136964.
- [20] 韩年, 袁旭音, 周慧华, 等. 洪泽湖入湖河流沉积物有机磷分布特征及外源输入对其形态转化的影响[J]. *湖泊科学*, 2020, **32** (3): 665-675.
- [21] ZHAO Y, LI Y, YANG F. Critical review on soil phosphorus migration and transformation under freezing-thawing cycles and typical regulatory measurements[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **751**: 141614.
- [22] 聂丽娟, 田文龙, 管锡东, 等. 武汉市湖泊表层沉积物磷形态组成特征[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, **36**(12): 1540-1548.
- [23] 贾雪莹, 田志杰, 张冬杰, 等. 小兴凯湖表层沉积物的理化特征和磷吸附效率研究[J]. *湿地科学*, 2020, **19**(5): 577-584.
- [24] 魏婷, 牛丽君, 张光明, 等. 三元复合吸附剂Ce-Zr-Zn对水中低浓度磷的吸附性能及其机理[J]. *环境工程学报*, 2020, **14**(11): 2938-2945.
- [25] WANG Q P, LIAO Z Y, YAO D X, *et al.* Phosphorus immobilization in water and sediment using iron-based materials: A review[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, **767**: 141246.
- [26] LI W B, SHI C Z, YU Y W, *et al.* Interrelationships between tetracyclines and nitrogen cycling processes mediated by microorganisms: A review[J]. *Bioresource Technology*, 2021, **319**: 124036.
- [27] WANG Q K, ROGERS M J, NG S S, *et al.* Fixed nitrogen removal mechanisms associated with sulfur cycling in tropical wetlands[J]. *Water Research*, 2021, **189**: 116619.
- [28] KANG Y, XIE H, ZHANG J, *et al.* Intensified nutrients removal in constructed wetlands by integrated Tubifex tubifex and mussels: Performance and mechanisms[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, **162**: 446-453.
- [29] KANG Y, ZHANG J, XIE H, *et al.* Enhanced nutrient removal and mechanisms study in benthic fauna added surface-flow constructed wetlands: The role of Tubifex tubifex[J]. *Bioresource Technology*, 2017, **224**: 157-165.
- [30] JI M, HU Z, HOU C, *et al.* New insights for enhancing the performance of constructed wetlands at low temperatures[J]. *Bioresource Technology*, 2020, **301**: 122722.
- [31] 林肇信, 刘天齐, 刘逸农. 环境保护概论[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [32] SCHINDLER D W, HECKY R E, FINDLAY D L, *et al.* Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, **105**(32): 11254-11258.
- [33] SCHINDLER D W, CARPENTER S R, CHAPRA S C, *et al.* Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, **50**(17): 8923-8929.
- [34] CHENG D D, SONG J X, ZHAO X T, *et al.* Effects of chironomid larvae and Limnodrilus hoffmeisteri bioturbation on the distribution and flux of chromium at the sediment-water interface[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, **245**: 151-159.
- [35] 刘伟, 周斌, 王丕波, 等. 沉积物再悬浮氮磷释放的机制与影响因素[J]. *科学技术与工程*, 2020, **20**(4): 1311-1318.
- [36] 邓延慧, 丁润楠. 湖泊沉积物氮矿化及其影响因素研究进展[J]. *环境生态学*, 2020, **2**(11): 91-95.
- [37] 胡明, 刘心远, 薛娇, 等. 水深和扰动对北运河沉积物释放的模拟研究[J]. *环境科学学报*, 2021, **41**(1): 174-180.
- [38] WANG J F, CHENG J G, YU P P, *et al.* Oxygenation and synchronous control of nitrogen and phosphorus release at the sediment-water interface using oxygen nano-bubble modified material[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **725**: 138258.
- [39] LIU J J, DIAO Z H, XU X R, *et al.* Effects of dissolved oxygen, salinity, nitrogen and phosphorus on the release of heavy metals from coastal sediments[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **666**: 894-901.
- [40] LI R, GAO L, WU Q R, *et al.* Release characteristics and mechanisms of sediment phosphorus in contaminated and uncontaminated rivers: A case study in South China[J]. *Environmental Pollution*, 2021, **268**: 115749.
- [41] LIU C, DU Y H, CHEN K N, *et al.* Contrasting exchanges of

- nitrogen and phosphorus across the sediment-water interface during the drying and re-inundation of littoral eutrophic sediment [J]. *Environmental Pollution*, 2019, **255**: 113356.
- [42]袁轶君, 何鹏程, 刘娜娜, 等. 温度与扰动对鄱阳湖沉积物氮释放的影响[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2020, **43**(5): 495-500.
- [43]裴佳瑶. 雁鸣湖底泥氮磷释放及主要环境影响因子研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [44]史静, 于秀芳, 夏运生, 等. 影响富营养化湖泊底泥氮、磷释放的因素[J]. *水土保持通报*, 2016, **36**(3): 241-244.
- [45]黄勇, 严过房, 董运常, 等. 底泥氮磷释放的影响因素及控制策略[J]. *江西农业学报*, 2020, **32**(10): 116-120.
- [46]程鹏达, 朱心广, 冯春, 等. 再悬浮底泥中非吸附性污染物释放的数值模拟[J]. *力学学报*, 2020, **52**(3): 689-697.
- [47]金相灿, 王圣瑞, 赵海超, 等. 五里湖和贡湖不同粒径沉积物吸附磷实验研究[J]. *环境科学研究*, 2004, **17**(增刊): 6-10.
- [48]孙士权, 梁焱, 赵刚, 等. 粒径和底床地形对沉积物中有机磷释放的影响[J]. *环境工程学报*, 2017, **11**(3): 1605-1614.
- [49]赵刚, 谭万春, 孙士权. 扰动下底泥粒径对溶解性有机磷释放影响的水槽试验[J]. *科技创新与应用*, 2015(12): 39.
- [50]王圣瑞, 赵海超, 王娟, 等. 有机质对湖泊沉积物不同形态氮释放动力学影响研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(2): 332-340.
- [51]YUAN H Z, LI Q, RAVI K K, *et al.* Identifying sources and cycling of phosphorus in the sediment of a shallow freshwater lake in China using phosphate oxygen isotopes[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **676**: 823-833.
- [52]LI R, GAO L, WU Q, *et al.* Release characteristics and mechanisms of sediment phosphorus in contaminated and uncontaminated rivers: A case study in South China[J]. *Environmental Pollution*, 2020, **268**: 115749.
- [53]LI S J, LIN Z G, LIU M, *et al.* Effect of ferric chloride on phosphorus immobilization and speciation in Dianchi Lake sediments[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, **197**: 110637.
- [54]BEUTEL M W, LEONARD T M, DENT S R, *et al.* Effects of aerobic and anaerobic conditions on P, N, Fe, Mn, and Hg accumulation in waters overlaying profundal sediments of an oligo-mesotrophic lake[J]. *Water Research*, 2008, **42**(8-9): 1953-1962.
- [55]MA S N, WANG H J, WANG H Z, *et al.* Effects of nitrate on phosphorus release from lake sediments[J]. *Water Research*, 2021, **194**: 116894.
- [56]MA S N, WANG H J, WANG H Z, *et al.* High ammonium loading can increase alkaline phosphatase activity and promote sediment phosphorus release: A two-month mesocosm experiment[J]. *Water Research*, 2018, **145**: 388397.
- [57]LI H, SONG C L, CAO X Y, *et al.* The phosphorus release pathways and their mechanisms driven by organic carbon and nitrogen in sediments of eutrophic shallow lakes[J]. *The Science of the Total Environment*, 2016, **572**: 280288.
- [58]WU S J, ZHAO Y P, CHEN Y Y, *et al.* Sulfur cycling in freshwater sediments: A cryptic driving force of iron deposition and phosphorus mobilization[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **657**: 1294-1303.
- [59]裴佳瑶, 冯民权. 环境因子对雁鸣湖沉积物氮磷释放的影响[J]. *环境工程学报*, 2020, **14**(12): 3447-3459.
- [60]张茜, 冯民权, 郝晓燕. 上覆水环境条件对底泥氮磷释放的影响研究[J]. *环境污染与防治*, 2020, **42**(1): 7-11.
- [61]荣伟英, 周启星. 大沽排污河底泥释放总氮的影响[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(2): 326-331.
- [62]卢俊平, 贾永芹, 张晓晶, 等. 上覆水环境变化对底泥释氮强度影响模拟研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2018, **34**(10): 924-929.
- [63]林华实. 水体沉积物中的氮磷释放规律研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2011.
- [64]张茜. 漳泽水库沉积物和上覆水污染特征及氮磷释放规律研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [65]LIU C, ZHONG J C, WANG J J, *et al.* Fifteen-year study of environmental dredging effect on variation of nitrogen and phosphorus exchange across the sediment-water interface of an urban lake[J]. *Environmental Pollution*, 2016, **219**: 639-648.
- [66]LIU J J, DIAO Z H, XU X R, *et al.* Effects of dissolved oxygen, salinity, nitrogen and phosphorus on the release of heavy metals from coastal sediments[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **666**: 894-901.
- [67]HAN C N, QIN Y W, ZHENG B H, *et al.* Geochemistry of phosphorus release along transect of sediments from a tributary backwater zone in the Three Gorges Reservoir[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **722**: 136964.
- [68]王睿, 左剑恶, 张宇, 等. 凉水河底泥氮磷释放影响因素研究[J]. *广东化工*, 2018, **45**(9): 1-3.
- [69]张红, 陈敬安, 王敬富, 等. 贵州红枫湖底泥磷释放的模拟实验研究[J]. *地球与环境*, 2015, **43**(2): 243-251.
- [70]张茜, 冯民权, 郝晓燕. 上覆水环境条件对底泥氮磷释放的影响研究[J]. *环境污染与防治*, 2020, **42**(1): 7-11.
- [71]卢俊平, 刘廷玺, 马太玲, 等. 不同环境要素条件下大河口水库底泥氮磷释放特征研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2015, **36**(1): 109-113.
- [72]ZHANG L, WANG Shengrui, WU Z H. Coupling effect of pH and dissolved oxygen in water column on nitrogen release at water-sediment interface of Erhai Lake, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2014, **149**: 178-186.
- [73]WU Junlin, LIN Jianwei, ZHAN Yanhui. Interception of phosphorus release from sediments using Mg/Fe-based layered double hydroxide (MF-LDH) and MF-LDH coated magnetite as geo-engineering tools[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **739**: 139749.
- [74]魏婷, 牛丽君, 张光明, 等. 三元复合吸附剂Ce-Zr-Zn对水中低浓度磷的吸附性能及其机理[J]. *环境工程学报*, 2020, **14**(11):

- 2938-2945.
- [75]梁淑轩, 贾艳乐, 闫信, 等. pH值对白洋淀沉积物氮磷释放的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(36): 20859-20862.
- [76]刘海虹. 温度和pH对土壤中氮磷释放量影响的试验研究[J]. 能源环境保护, 2019, **33**(4): 25-27.
- [77]TEMPORETTI P, BEAMUD G, NICHELA D, *et al.* The effect of pH on phosphorus sorbed from sediments in a river with a natural pH gradient[J]. *Chemosphere*, 2019, **228**: 287-299.
- [78]龚云辉, 刘云根, 杨思林, 等. pH值对高原山地分散养殖型农村沟渠底泥磷释放的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, **36**(4): 955-964.
- [79]林海, 蔡怡清, 李冰. 不同温度条件下妫水河底泥氮磷释放规律研究[J]. 吉林农业, 2019(1): 58.
- [80]吴根福, 吴雪昌, 金承涛, 等. 杭州西湖底泥释磷的初步研究[J]. 中国环境科学, 1998, **18**(2): 107-110.
- [81]CHENG X L, HUANG Y N, LI R, *et al.* Impacts of water temperature on phosphorus release of sediments under flowing overlying water[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2020, **235**: 103717.
- [82]WU Q H, ZHANG R D, HUANG S, *et al.* Effects of bacteria on nitrogen and phosphorus release from river sediment[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, **20**(4): 404-412.
- [83]范成新. 湖泊沉积物-水界面研究进展与展望[J]. 湖泊科学, 2019, **31**(5): 1191-1218.
- [84]王士芬, 周群英. 环境工程微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [85]CHEN Q Y, NI Z K, WANG S R, *et al.* Climate change and human activities reduced the burial efficiency of nitrogen and phosphorus in sediment from Dianchi Lake, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, **274**: 122839.
- [86]STUTTER M, DEMARS B, LANGAN S. River phosphorus cycling: Separating biotic and abiotic uptake during short-term changes in sewage effluent loading[J]. *Water Research*, 2010, **44** (15): 4425-4436.
- [87]SCHINDLER D W, CARPENTER S R, CHAPRA S C, *et al.* Reducing Phosphorus to Curb Lake Eutrophication is a Success[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, **50**(17): 8923-8929.
- [88]张义, 刘子森, 张垚磊, 等. 环境因子对杭州西湖沉积物各形态磷释放的影响[J]. 水生生物学报, 2017, **41**(6): 1354-1361.
- [89]魏烈群, 徐书童, 王效昌, 等. 微生物和硬毛藻对天鹅湖不同湖区沉积物氮磷释放的影响[J]. 生态环境学报, 2020, **29**(3): 580-588.
- [90]刘瑜. 藻荇淀近自然湿地冷暖气水生植物水质净化作用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [91]LI Q G, LONG Z Q, WANG H J, *et al.* Functions of constructed wetland animals in water environment protection—A critical review[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **760**: 144038.
- [92]吕凤玲, 欧阳炜, 宋艳敏, 等. 狗牙根与空心莲对水库消落带土壤氮磷释放影响的模拟[J]. 水土保持学报, 2019, **33**(3): 240-245.
- [93]刘彤. 沉水植物与活性覆盖材料联合控制底泥氮磷释放效果研究[D]. 厦门: 华侨大学, 2017.
- [94]刘聚涛, 温春云, 韩柳, 等. 2012—2017年鄱阳湖水位变化与氮磷响应特征研究[J]. 环境污染与防治, 2020, **42**(10): 1274-1279.
- [95]李晓晴. 乌江洪家渡水库消落带土壤和植被淹水后碳氮释放量研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2020.
- [96]LIU C, DU Y, CHEN K, *et al.* Contrasting exchanges of nitrogen and phosphorus across the sediment-water interface during the drying and re-inundation of littoral eutrophic sediment[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **255**: 113356.
- [97]DANIE C J, HANS W P, ROBERT W H, *et al.* Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus[J]. *Science*, 2009, **323**: 1014-1015.
- [98]THAJUDEEN J, PUTHIYA V V, YOUSUF J, *et al.* Nutrient stoichiometry (N:P) controls nitrogen fixation and distribution of diazotrophs in a tropical eutrophic estuary[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, **151**: 110799.
- [99]陈平, 倪龙琦. 河湖底泥中氮磷迁移转化的研究进展[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2020, **35**(2): 60-66.
- [100]SCOTT VAN PELT R, BADDOCK M C, ZOBECK T, *et al.* Total vertical sediment flux and PM10 emissions from disturbed Chihuahuan Desert surfaces[J]. *Geoderma*, 2017, **293** (D2): 19-25.
- [101]覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等. 生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展[J]. 生态学报, 2014, **34**(1): 59-69.
- [102]张严严, 房文艳, 许国辉, 等. 波浪作用下沉积物中氮、磷释放速率的试验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, **50**(4): 102-110.
- [103]孙振红, 许国辉, 游启, 等. 液化条件下沉积物中氮、磷的释放规律[J]. 海洋环境科学, 2016, **35**(2): 203-208.
- [104]BUYANG S J, YI Q T, CUI H B, *et al.* Distribution and adsorption of metals on different particle size fractions of sediments in a hydrodynamically disturbed canal[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **670**: 654-661.
- [105]RAVIT B, EHENFELD J G, GGBLOM M M H. Effects of vegetation on root-associated microbial communities: A comparison of disturbed versus undisturbed estuarine sediments[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(8): 2359-2371.
- [106]李乾岗, 魏婷, 张光明, 等. 三角帆蚌对白洋淀底泥氮磷释放及微生物的影响探究[J]. 环境科学研究, 2020, **33**(10): 2318-2325.
- [107]邓可. 我国典型近岸海域沉积物-水界面营养盐交换通量及生物扰动的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [108]柳肖竹, 刘群群, 王文静, 等. 水力扰动对河口沉积物中重金属再释放的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2020, **36**(11): 1460-1467.

Research Progress on Release Mechanisms of Nitrogen and Phosphorus of Sediments in Water Bodies and Their Influencing Factors

LI Qiangang¹, TIAN Ying¹, LIU Ling², ZHANG Guangming^{1,3}, WANG Hongjie²

(1. *School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, P.R.China*; 2. *Institute of Ecology and Environmental Governance, College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, Hebei, P.R.China*; 3. *School of Energy & Environmental Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, P.R.China*)

Abstract: The nitrogen and phosphorus releasing from the sediments in the water bodies are the main cause of eutrophication. This study summarized the main occurrence forms of nitrogen and phosphorus in the sediments, and the release pathways and description methods of nitrogen and phosphorus. On the basis, the influencing factors of the release process of nitrogen and phosphorus in the sediments were concluded from 5 aspects, i.e., sediment properties, the physical and chemical properties of overlying water of the sediments, organisms, water volume change of the water bodies, and disturbance effect. Then, the effects of dissolved oxygen content in the water bodies, pH and the water temperature of the water bodies on the release of nitrogen and phosphorus in the sediments were clarified. Finally, the future related research was prospected.

Keywords: sediment; nitrogen; phosphorus; release; water body; influencing factors