

刘霞, 徐青, 史淼森, 等. 沱江流域沉积物中氮赋存状态及其垂向分布特征[J]. 岩矿测试, 2018, 37(3): 320 - 326.

LIU Xia, XU Qing, SHI Miao-sen, et al. Nitrogen Species and Vertical Distribution Characteristics in the Sediment of the Tuo River [J]. Rock and Mineral Analysis, 2018, 37(3): 320 - 326.

[DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201801250012]

沱江流域沉积物中氮赋存状态及其垂向分布特征

刘霞¹, 徐青^{1,2}, 史淼森¹, 余晓平¹, 郭亚飞¹, 邓天龙^{1*}

(1. 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津科技大学, 天津 300457;

2. 成都大学建筑与土木工程学院, 四川 成都 610106)

摘要: 2004年2月发生在沱江的特大水污染事故给沱江流域的生态环境造成了严重的危害,近年来受工农业和沿岸居民生活的影响,沱江的生态环境依然遭受着一定程度的污染,但对沱江流域氮的地球化学研究甚少。沉积物是水环境中污染元素的重要蓄积库或释放源,为揭示沉积物中氮赋存状态迁移转化特征,并评估该地区生态环境修复状况,本文参照 Mackin 应用的沉积物中吸附态氨氮提取方法和 Smart 建立的沉积物中总氮提取方法,采用分光光度法针对沱江流域金堂地区冬季沉积物,开展了河流沉积物中总氮(TN)、可交换态氨氮(AN)、有机氮(ON)赋存状态分析,并对比了十年前后该地沉积物中氮赋存状态的变化情况。实验结果表明:TN 含量为 518.913 ~ 4386.899 mg/kg, ON 含量为 101.531 ~ 3793.683 mg/kg。在 -3 cm 以上, TN 和 ON 含量较高,且 ON 是 TN 的主要组成部分;随着深度增加,两者含量迅速减少,AN 含量略有降低。与十年前该地区沉积物中氮的相关数据对比, TN 含量增加,其中 AN 含量增加明显;在 -3 cm 以上, ON、TN 在表层沉积物中增加明显。研究认为:沱江流域沉积物中的氮已经作为内源氮释放至间隙水甚至上覆水中,同时存在外源污染,致使沉积物表层有机氮以及总氮含量升高明显。

关键词: 沱江流域; 沉积物; 氮赋存状态; 垂向分布; 含水率

要点:

- (1) 揭示了沱江流域冬季沉积物中氮不同赋存状态及其垂向分布特征。
- (2) 对比了十年前后沱江流域上游金堂地区不同氮赋存状态的变化情况。
- (3) 发现沱江上游既存在沉积物中氮的内源释放,也存在外源污染。

中图分类号: O613.61; O657.31

文献标识码: A

水生氮是水生生态系统中的重要营养元素,但过量的氮会导致水体富营养化^[1]。沉积物作为水环境中各污染元素的蓄积库或释放源,不仅能间接反映水体的污染情况,在物理化学因素制约下,还会向水体中释放营养元素,影响富营养化过程^[2]。由氮污染引发的湖泊、河口和近海水体富营养化现象仍是当今世界面临的一个全球性重大环境问题。

沱江发源于四川盆地北部的九顶山,是长江左岸流域全部在四川境内的一级支流,是长江五大支流之一。沱江途经四川盆地的重要农业区,于泸州注入长

江,受沿岸人为活动影响较为明显。2004年2月,发生在四川沱江的特大水污染事故,给沱江流域的生态系统及沿岸的水体环境造成了直接和潜在的危害^[3]。为评价沱江流域的环境污染状况及生态恢复情况,学者们对其沉积物-水界面的影响因素进行了研究,大多集中在沉积物中氮的赋存状态分布特征、与上覆水氮的交换通量模拟计算以及探讨沉积物中氮的污染来源等方面^[4-6]。例如,张蓉^[7]对冬季沱江流域沉积物-水界面氮的赋存状态及其环境地球化学进行了研究;吴怡^[8]对夏季沱江流域沉积物-水界面氮的赋

收稿日期: 2018-01-25; 修回日期: 2018-03-27; 接受日期: 2018-05-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21773170); 教育部创新团队发展计划资助项目(ITR_17R81)

作者简介: 刘霞, 硕士研究生, 海洋化学专业。E-mail: 237090084@qq.com。

通信作者: 邓天龙, 教授, 博士生导师, 主要从事环境地球化学和海洋化学研究。E-mail: tldeng@tust.edu.cn。

存状态及其环境地球化学进行了研究,对沱江沉积物中氮的污染状况及沉积物-水界面氮赋存状态及其随季节变化的迁移转化规律研究取得了相应的进展,但缺少对沉积物中氮的各种赋存状态随时间变化的迁移转化规律的系统研究。

近年来,受工业、农业和沿岸居民生活的影响,沱江的生态环境依然遭受着一定程度的污染,但对沱江流域氮的环境地球化学研究甚少。本文选取沱江流域上游金堂段的沉积物为研究对象,对沉积物中氮的赋存状态进行了研究,旨在分析河流沉积物中氮赋存状态的垂向分布行为,以揭示其存在的地球化学特征,并与十年前该地区沉积物中氮的相关研究结果进行对比分析,探讨了十年前后氮赋存状态变化趋势,研究成果对于掌握该地区生态环境状况以及预测未来可能存在的风险具有指导意义。

1 实验部分

1.1 采样点概况

沱江是四川农业区域和工业城市最集中的河流,流域内有成都、德阳、内江、自贡、泸州5座大中城市,大中型工厂多达千余座。采样点(图1)位于沱江上游金堂地区(E104°31′24.35″, N30°43′51.97″),采样时间为2017年1月2日。金堂县属四川省东部地台区,跨“成都断陷”、“龙泉山褶皱带”和“川中台拱”三大构造单元。沱江流域上游的

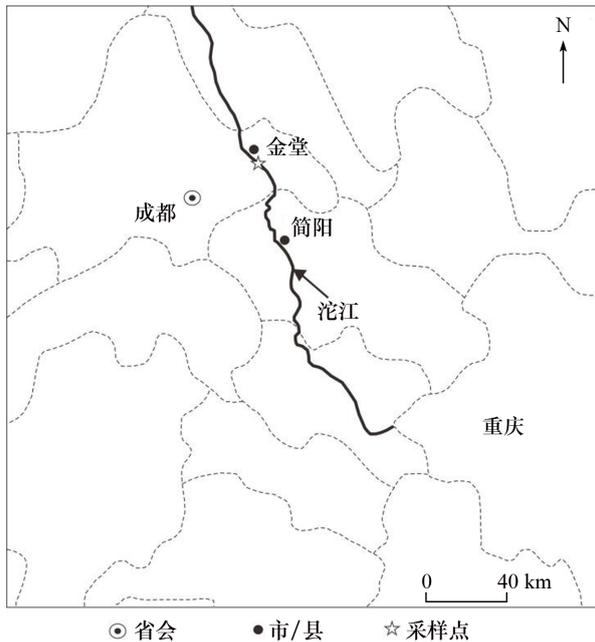


图1 沱江金堂段采样点

Fig. 1 The sampling site in Jintang, Tuo River

三河(毗河、中河、北河)汇聚于此地形成沱江干流。采样点上游矿产资源较少,亦不存在矿产开发,该地区生态环境良好,沿江的网箱养殖渔业较多。

1.2 样品采集

采样器预先用1%硝酸(V/V)浸泡3天后,先后用一次蒸馏水和二次蒸馏水洗净,再用保鲜膜、保鲜袋保护,采样时先放入充氮气的取样袋中1 h。为使分析数据与2007年的数据具有对比性,根据GPS坐标定位,采样位置与张蓉^[7]选取的采样位置一致。于2017年1月2日在选定的采样点,将采样器缓缓垂直插入沉积物中,采样柱体高度约20 cm。为防止样品被氧化,在充氮气的取样袋中,将沉积物柱样随即从下到上每隔1 cm进行分取,去除大块的沙砾和植物残根,采用四分法取样装入聚氯乙烯瓶中,拧紧瓶盖。所有样品用液氮罐冷藏保存,快速运回实验室后,立即将样品置于超低温(-20℃)冰箱中冷冻保存,并尽可能在短时间内完成样品的分析工作。

1.3 分析方法

可交换态氨氮(AN):参照 Mackin 等^[9]应用的沉积物中吸附态氨氮的提取方法,在1 g左右的沉积物中加入2 mol/L氯化钾溶液10 mL,振荡器中振荡1 h(250 r/min),经0.45 μm微孔滤膜过滤后,按照HJ535—2009《国家环境保护标准》,采用纳氏试剂分光光度法测定提取液中氨氮含量。氨氮含量按沉积物干样计算。

总氮(TN):参照 Smart 等^[10]建立的沉积物中总氮的提取方法,利用碱性过硫酸钾在高温(120℃)下将沉积物中氮形态蒸馏消解为硝酸盐,按照HJ636—2012《国家环境保护标准》,用紫外分光光度法测定消解液中硝酸盐含量。总氮含量按沉积物干样计算。

有机氮(ON):由总氮和可交换态氨氮差减得到。

含水率(%):称取湿沉积物样品5 g于坩埚中,记录总量,放入烘箱于105℃烘干24 h后取出称重,记录二者差值计算含水率。

可挥发性物质含量(TVS):称取烘干后的沉积物0.5 g于马弗炉中在750℃焙烧4 h后,放入干燥器中冷却至室温后称量,计算沉积物中可挥发性物质含量。

2 结果与讨论

2.1 沉积物中氮赋存状态的垂向分布特征

沱江流域金堂段沉积物中氮赋存状态及 TVS、

含水率的垂向分布如图2所示。由图2可见,TN含量在518.913~4386.899 mg/kg之间波动,平均含量为1256.270 mg/kg。随着深度的增加,TN的变化趋势和有机氮的变化趋势类似,总体呈现出逐渐减小的趋势,这可能是由于该采样点离岸较近,陆源补充比较丰富,有机质含量会随着TN的变化而变化。TN的最大值(4386.899 mg/kg)出现在沉积物表层,最小值(518.913 mg/kg)出现在-13 cm处。TN含量的垂向分布特征,可能造成的原因有:①外源氮污染的输入,大量于沉积物表层沉积以及内源氮污染向沉积物表层释放;②沉积物中的氮在微生物作用下不断矿化分解进入间隙水中,从而使TN含量随沉积物深度的增加呈下降趋势^[11]。

ON含量在101.531~3793.683 mg/kg之间波动,平均含量为747.883 mg/kg,占TN平均含量的59.53%。在沉积物表层,ON含量最高,可能是由于有机质的矿化作用大都在表层含氧区内发生^[12]。随着深度的增加,ON总体呈现出逐渐减小的趋势,-13 cm处达到最小值为101.531 mg/kg,在沉积物最下层ON含量略有增加。ON的这种垂向分布特征主要取决于水体中生物有机体的沉积作用以及微生物的分解作用。微生物在有氧条件下,将沉积物中的ON通过氨化作用分解为铵态氮,铵态氮又可以通过硝化作用继续转化为硝态氮。但溶解氧在沉积物中的渗透深度只有表层的几厘米,在这种缺氧的环境下微生物分解有机物的作用将大大减弱,并且,分解有机质的微生物大多数存在于沉积物表层中,且随着沉积物深度的增加其数量逐渐减少,所以

ON含量会随着沉积物深度的增加而逐渐减少^[6]。

AN含量在364.410~633.884 mg/kg之间波动,平均含量为508.387 mg/kg,占TN平均含量的40.47%。表层沉积物中AN含量较高,可能造成的原因有:①在沉积物表层氨化作用突出,随着沉积物深度的增加,氧含量的迅速减少,沉积物中各种微生物数量与活性减少,氨化作用降低,同时还原环境促进了反硝化作用的进行,大量氮元素通过反硝化作用转化为 N_2 ,从而使得AN含量开始下降^[13];② NH_4^+ -N本身带正电荷,易于被表层带负电的沉积物颗粒胶体吸附而不易发生淋失^[14-15]。在沉积物最下层,AN含量略有增加。AN含量在-2 cm处最高,为633.884 mg/kg,在-11 cm处最低,为364.410 mg/kg。

2.2 沉积物含水率和TVS的垂向分布特征

沉积物含水率在30.524%~56.643%之间波动,平均值为38.895%;TVS在8.855%~13.647%之间波动,平均值为10.996%。含水率和TVS的总体变化随深度增加而减小,峰值均出现在沉积物-水界面处,沉积物表层的含水率较高,可以反映表层沉积物孔隙度相对较大,可在一定的水动力条件下再悬浮,从而造成二次污染^[16]。

2.3 沉积物中各氮赋存状态、TVS及含水率的相关性分析

用SPSS软件对金堂沉积物中氮赋存状态及TVS、含水率做相关性分析,结果见表1。从表1中可以看出,AN与ON的相关系数 $r=0.537(0.01 < P \leq 0.05)$,AN与TN的相关系数 $r=0.618(0.01 <$

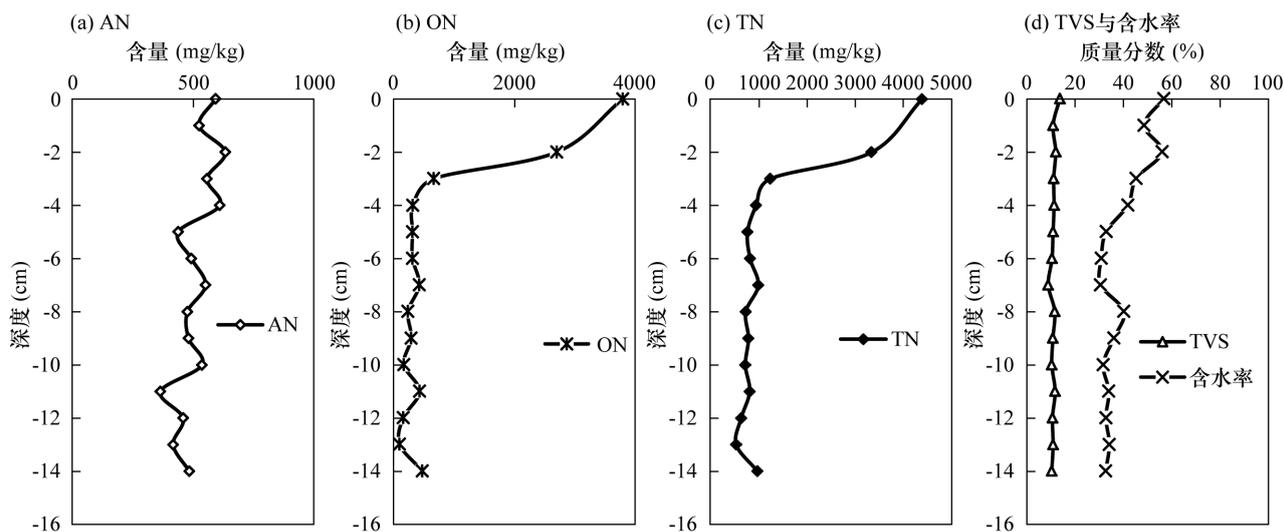


图2 金堂沉积物中氮赋存状态、TVS及含水率垂向分布(2017)

Fig.2 Profiles of nitrogen species, TVS and moisture in 2017 in sediments of Jintang, Tuo River

$P \leq 0.05$), ON 与 TN 的相关系数 $r = 0.998 (0.001 < P \leq 0.01)$, AN、ON 与 TN 两两之间均呈正相关关系, ON 与 TN 的正相关关系尤为明显,说明三者

表 1 金堂沉积物中氮赋存状态、TVS 及含水率的相关性分析(2017)

Table 1 The correlation coefficient (r) among nitrogen species, TVS and moisture in sediments of Jintang, Tuo River

分析项目	AN	ON	TN	TVS	含水率
AN	1	-	-	-	-
ON	0.537 *	1	-	-	-
TN	0.618 *	0.998 **	1	-	-
TVS	0.199	0.743 **	0.727 **	1	-
含水率	0.649 **	0.838 **	0.848 **	0.754 **	1

注:标注“*”的数据代表在 0.05 水平上(双侧)显著相关;

标注“**”的数据代表在 0.01 水平上(双侧)显著相关。

ON 与 TVS 的相关系数 $r = 0.743 (0.001 < P \leq 0.01)$, TN 与 TVS 的相关系数 $r = 0.727 (0.001 < P \leq 0.01)$, 沉积物中 TVS 含量分布在很大程度上影响着 ON 的垂向分布特征,从金堂段的 ON 含量占 TN 的比例及其相关关系来看, TN 在沉积物中的分布特征受 ON 含量的分布影响较大,可以推测沉积物中有机质的矿化分解过程会促进 ON 的释放。

含水率与 AN、ON、TN 及 TVS 的相关系数分别为 0.649 ($0.001 < P \leq 0.01$)、0.838 ($0.001 < P \leq 0.01$)、0.848 ($0.001 < P \leq 0.01$)、0.754 ($0.001 < P \leq 0.01$)。沉积物中含水率对 AN、ON、TN 及 TVS 含量分布影响较大,而含水率与沉积物的粒度组

黏度性质等相关。由此推测,金堂地区沉积物的粒度组成、黏度等对沉积物-间隙水中有机污染物的分布发挥了主导作用,进而影响氮赋存状态在沉积物和水体中的分布特征^[11]。

2.4 沉积物中各氮赋存状态、TVS、含水率十年前后垂向分布的时空对比

结合本项目组在沱江流域金堂沉积物 2007 年氮赋存状态的研究结果^[7],十年前后沉积物中氮赋存状态及 TVS、含水率的垂向分布对比如图 3 所示。

AN₂₀₁₇ 含量均大于 AN₂₀₀₇ 含量,两者在沉积物中的分布特征大致相同,总体呈现减小的趋势。在 -3 cm 以上, ON₂₀₁₇ 平均含量远远大于 ON₂₀₀₇ 平均含量;在 -3 cm 以下, ON₂₀₁₇ 含量均小于 ON₂₀₀₇ 含量。两者均是随着沉积物深度的增加,总体上呈现逐渐减小的趋势,且在沉积物-水界面出现最大值。在 -3 cm 以上, TN₂₀₁₇ 含量均大于 TN₂₀₀₇ 含量;在 -3 cm 以下, TN₂₀₁₇ 含量与 TN₂₀₀₇ 含量相比有大有小,且二者相差不大,随着沉积物深度的增加,总体均呈现逐渐减小的趋势,且在沉积物-水界面出现最大值。

在沉积物-水界面氮的迁移转化是一个涉及物理、化学及生物等多种因素的复杂的地球化学循环过程,包括了氮的输入、氮的固定,有机质的矿化、硝化、反硝化,硝酸盐的氨化等反应过程^[17]。由十年前后各形态氮的分布规律可见, AN 含量的总体增加是外源氮输入以及内源氮释放综合作用的结果;而 ON 与 TN 基本在 -3 cm 以上增加,在 -3 cm 以下减小,推测外源氮的输入是以一部分氨氮和一部分有机氮的形式进入沉积物-水界面。外源输入的 ON 不易通过分子扩散的形式扩散至间隙水或沉积物中,只能通过微生物作用发生矿化反应而形成无

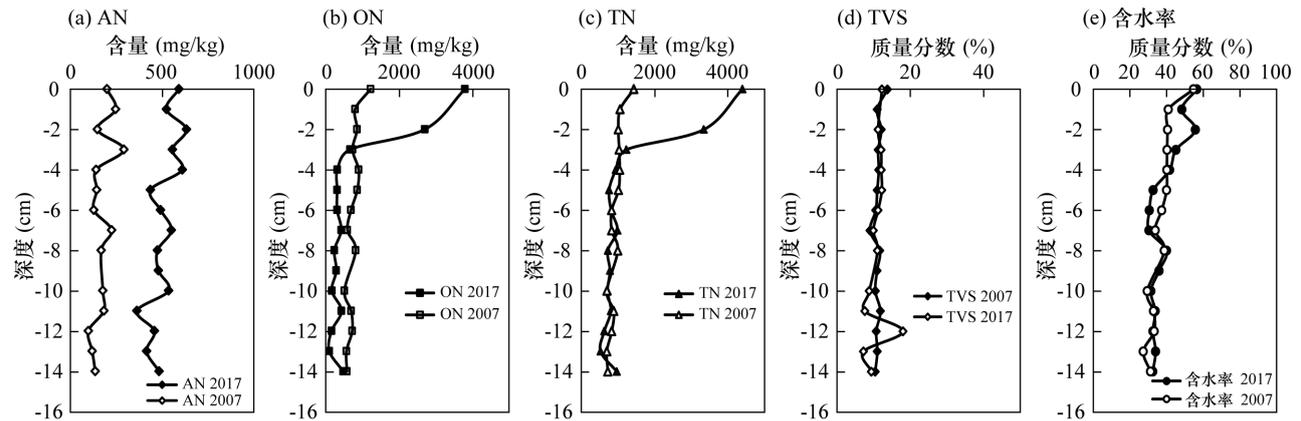


图 3 金堂沉积物中氮赋存状态、TVS 及含水率在 2007 年和 2017 年的垂向分布对比

Fig. 3 A comparison of the vertical distributions of nitrogen species, TVS and moisture in the years of 2007 and 2017 in the sediments of Jintang, Tuo River

机氮形态,这个过程是相对缓慢和复杂的。随着沉积物深度的增加,含氧量逐渐减少,使得沉积物下层容易呈现出相对还原环境,有机质的矿化作用及硝化作用逐渐减弱,由有机质矿化作用而产生的无机氮形态减弱,沉积物中无机氮的形态是以 AN 为主,因此在沉积物下层来自有机质矿化作用产生的 AN 应该在 AN 分布中占的比例较小。由此推测,AN 总体含量的增加受外源氮输入的影响较大。这与2016年新华网报道的氨氮再次污染事件以及近年来学者们针对沱江流域生态环境的研究结果一致,氨氮是重要的超标因子之一^[18-19]。

AN 在十年前后呈现基本相同的垂向分布规律,与沉积物的沉积环境、沉积物的组分及含水率等密切相关,表层沉积物的含氧量高于深层沉积物的含氧量,无论是由于浓度梯度扩散至间隙水的 AN,或者有机质矿化产生的 AN,还是硝酸盐氮化产生的 AN,由于逐渐形成的厌氧环境常常发生反硝化过程,最终生成 NO 或 N₂,进入大气圈或者再进入氮的地球化学循环过程,导致 AN 均大致呈现随深度减小的趋势。在 -3 cm 以下,ON 含量相比十年前减小,说明 ON 作为内源氮污染的来源被微生物分解形成无机氮形态进入下一地球化学循环过程。

对比沱江流域金堂段 2007 年和 2017 年沉积物中各氮赋存状态的含量可见,随着时间的推移,AN 含量是明显增加的,深度在 -3 cm 以下 ON 含量是减小的,-3 cm 以上 ON 含量是增加的,可以推测金堂地区沉积物中的氮已经作为内源氮释放至间隙水甚至上覆水中,使得沉积物表层 ON 以及 TN 含量增加明显。沱江流域水环境污染需要解决的主要超标因子从过去的有机污染物转变为难以治理的氨氮污染物^[20]。

TVS₂₀₁₇ 含量在深度 -8 cm 以上基本是减小的,而在 -8 cm 以下 TVS₂₀₁₇ 含量大于 TVS₂₀₀₇。在 -4 cm 以上及 -7 cm 以下,含水率₂₀₁₇ 大于含水率₂₀₀₇;在 -5 cm 至 -7 cm,含水率₂₀₁₇ 小于含水率₂₀₀₇。

3 结论

本文系统地研究了沱江流域金堂地区沉积物中氮的不同赋存状态的垂向分布特征,并对比了十年前后氮赋存状态的变化。结果表明:-3 cm 以上有机氮是总氮的主要赋存状态,随着深度的增加,总氮与有机氮的变化趋势类似,在 -3 cm 以上含量迅速减小,最大值均出现在沉积物表层,且二者与 TVS 的垂向分布特征密切相关。对比 2007 年和 2017 年

沉积物中不同赋存状态氮的含量发现,可交换态氮含量是明显增加的,-3 cm 以下有机氮与总氮含量是减小的,-3 cm 以上有机氮与总氮含量是增加的,可推测沱江流域沉积物中的氮已经作为内源氮释放至间隙水甚至上覆水中,同时存在外源污染,使得沉积物表层有机氮以及总氮含量升高明显。本研究对评价水环境质量、治理环境污染、维护生态平衡具有重要意义。

4 参考文献

- [1] 陈永川,汤利. 沉积物-水体界面氮磷的迁移转化规律研究进展[J]. 云南农业大学学报,2005,20(4): 527-533.
Chen Y C, Tang L. Study prospect on removing and transforming characteristics of nitrogen and phosphorus in sediment-water interface [J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2005,20(4):527-533.
- [2] 朱元荣,张润宇,吴丰昌. 滇池沉积物中氮的地球化学特征及其对水环境的影响[J]. 中国环境科学,2011,31(6):978-983.
Zhu Y R, Zhang R Y, Wu F C. Geochemical characteristics and influence to overlying water of nitrogen in the sediment from Dianchi Lake [J]. China Environmental Science,2011,31(6):978-983.
- [3] 周祖冰. 沱江流域水资源可持续利用的思考[J]. 中国防汛抗旱,2006(1):48-50.
Zhou Z B. Ponder on sustainable utilization of water resources in Tuo River [J]. China Flood and Drought Management,2006(1):48-50.
- [4] 吴文成,吴群河,梁明易,等. 珠江广州河段沉积物无机氮的分布特征和界面交换通量[J]. 农业环境科学学报,2008,27(3):1128-1133.
Wu W C, Wu Q H, Liang M Y, et al. Distribution characteristics of inorganic nitrogen in core sediments and diffusion fluxes in interface from Guangzhou reach of the Pearl River [J]. Journal of Agro-Environment Science,2008,27(3):1128-1133.
- [5] 向速林. 湖泊沉积物营养盐的赋存状态及其界面过程研究进展[J]. 贵州农业科学,2011,39(9):204-208.
Xiang S L. Research progress on nutrients forms and interface process from lake sediments [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2011,39(9):204-208.
- [6] 岳维忠,黄小平. 珠江口柱状沉积物中氮状态分布特征及来源探讨[J]. 环境科学,2005,26(2):195-199.
Yue W Z, Huang X P. Distribution characteristics of nitrogen and its source in core sediments from Pearl River Estuary [J]. Environmental Science,2005,26(2):

- 195 - 199.
- [7] 张蓉. 沱江流域沉积物 - 水界面氮的赋存状态及环境地球化学研究[D]. 成都:成都理工大学,2008.
Zhang R. Environmental Geochemistry of Nitrogen Species at the Sediment-Water Interface in Water of Tuojiang River [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology,2008.
- [8] 吴怡. 沱江流域冬季沉积物 - 水界面氮的赋存状态及其环境地球化学研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.
Wu Y. Environmental Geochemistry of Nitrogen Species at the Sediment-Water Interface of Tuojiang River [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology,2007.
- [9] Mackin J E, Aller R C. Ammonium adsorption in marine sediments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1984, 29 (2): 250 - 257.
- [10] Smart M M, Rada R D, Donnermeyer G N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion: An evaluation and comparison with the Kjeldahl procedure [J]. *Water Research*, 1983, 17 (9): 1207 - 1211.
- [11] 苟婷,李思阳,许振成,等. 高州水库沉积物中总氮与总磷的分布特征研究[J]. *环境科学与管理*, 2014, 39 (7): 31 - 35.
Gou T, Li S Y, Xu Z C, et al. Temporal-spatial distribution of total nitrogen and total phosphorus in sediments of Gaozhou Reservoir [J]. *Environmental Science and Management*, 2014, 39(7): 31 - 35.
- [12] 吕晓霞,宋金明,李学刚,等. 北黄海沉积物中氮的地球化学特征及其早期成岩作用[J]. *地质学报*, 2005, 79(1): 114 - 123.
Lü X X, Song J M, Li X G, et al. Geochemical characteristics and early diagenesis of nitrogen in the Northern Yellow Sea sediments [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(1): 114 - 123.
- [13] 王志齐,李宝,胡向辉,等. 南四湖沉积物氮磷和有机质分布特征及其相关性分析[J]. *土壤通报*, 2013, 40 (4): 867 - 874.
Wang Z Q, Li B, Hu X H, et al. Distribution characteristics of nitrogen, phosphorus, organic matter and their correlation analyses in the sediments of Nansi Lake, China [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 40(4): 867 - 874.
- [14] 沈丽丽,何江,吕昌伟,等. 哈素海沉积物中氮和有机质的分布特征[J]. *沉积学报*, 2009, 28(1): 158 - 165.
Shen L L, He J, Lü C W, et al. Distribution characteristics of nitrogen and organic matter in sediments of the Hasu Lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 28(1): 158 - 165.
- [15] 侯兆杰. 内蒙古高原典型湖泊氮的地球化学特征[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2013.
Hou Z J. The Study on the Geochemical Characteristics of Nitrogen in Four Typical Lakes of Inner Mongolia Plateau, China [D]. Huhehaote: Inner Mongolia University, 2013.
- [16] 宋迪,陈毅良. 泸沽湖沉积物中氮、磷等垂向分布特征研究[J]. *环境科学导刊*, 2016, 35(1): 1 - 4.
Song D, Chen Y L. Vertical distribution of nitrogen and phosphorus in the sediments of Lugu Lake [J]. *Environmental Science Survey*, 2016, 35(1): 1 - 4.
- [17] 陈雨艳,余恒,向秋实,等. 沱江流域水环境质量分析[J]. *四川环境*, 2015, 34(2): 85 - 89.
Chen Y Y, Yu H, Xiang Q S, et al. Evaluation of water quality of Tuojiang River [J]. *Sichuan Environment*, 2015, 34(2): 85 - 89.
- [18] 朱先征,何岩,黄民生,等. 城市内河沉积物中反硝化作用的研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(6): 64 - 70.
Zhu X Z, He Y, Huang M S, et al. Research progress of denitrification in urban river sediment [J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 35(6): 64 - 70.
- [19] 周露怡. 沱江成都出境断面“金堂县五凤”水质模拟研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
Zhou L Y. The Simulation Study on Water Quality of Tuo River Exit Section of Chengdu ‘Jintang County Wufeng’ [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [20] 杜明,柳强,罗彬,等. 岷、沱江流域水环境质量现状评价及分析[J]. *四川环境*, 2016, 35(5): 20 - 25.
Du M, Liu Q, Luo B, et al. Evaluation and analysis of present water environment quality of Minjiang and Tuojiang River basins [J]. *Sichuan Environment*, 2016, 35(5): 20 - 25.

Nitrogen Species and Vertical Distribution Characteristics in the Sediment of the Tuo River

LIU Xia¹, XU Qing^{1,2}, SHI Miao-sen¹, YU Xiao-ping¹, GUO Ya-fei¹, DENG Tian-long^{1*}

(1. Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. School of Architecture and Civil Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

HIGHLIGHTS

- (1) Nitrogen species and their vertical profiles in winter sediments in Tuo River were demonstrated.
- (2) The speciation changes of the nitrogen forms in Jintang, and the upstream of Tuo River in ten years were compared.
- (3) It was found that nitrogen in the overlying water of Tuo River came from the releasing of endogenous nitrogen in sediments, and the external pollutions were existed in the upstream.

ABSTRACT

BACKGROUND: The serious water pollution accident that occurred in the Tuo River in February 2004 caused serious harm to the ecological environment. In recent years, the ecological environment of the Tuo River has suffered from some degrees of pollution through industrial, agricultural and the life of coastal residents, but the geochemical study of nitrogen in the Tuo River is scarce.

OBJECTIVES: To reveal the vertical distribution and temporal and spatial variation characteristics of nitrogen in river sediments and assess the ecological restoration in the area by analyzing the total nitrogen (TN), exchangeable ammonia nitrogen (AN) and organic nitrogen (ON) in the winter sediments of the Jintang Section of the Tuo River and to compare the results with the records of nitrogen species in the same sediments 10 years ago.

METHODS: Based on the method of Mackin's extraction method of adsorbed ammonia nitrogen in sediments and Smart's method for total nitrogen extraction in sediments, spectrophotometry is used to analyze the occurrence of TN, AN and ON in winter sediments in the Jintang area of the Lancang River Basin.

RESULTS: The concentrations of TN range from 518.913 to 4386.899 mg/kg, whereas ON range from 101.531 to 3793.683 mg/kg. The concentrations of TN and ON were above -3 cm, and ON was the main form of TN. With the increased depth, the concentrations of TN and ON decreased rapidly, and the concentrations of AN decreased slightly. A comparison between the results of nitrogen species in sediments and the records of 10 years ago shows that the concentration of AN increased significantly and the concentrations of ON and TN increased significantly above -3 cm.

CONCLUSIONS: The nitrogen in the sediments of the Tuo River had been released upward to the porewaters and even overlying waters as endogenous nitrogen. Combined with external pollution in this area, the concentrations of ON and TN in the surface of the sediment have increased significantly.

KEY WORDS: Tuo River area; sediments; nitrogen species; vertical distribution; moisture

