

三峡入库河流大宁河回水区浸没土壤及消落带土壤氮形态及分布特征

张雷¹, 秦延文¹, 郑丙辉¹, 徐德星²

(1. 中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室, 北京 100012; 2. 北京化工大学环境工程系, 北京 100029)

摘要: 利用分级浸取分离法首次对三峡入库河流大宁河回水区表层浸没土壤、消落带土壤不同形态氮含量进行了测定, 分析了各形态氮之间以及各形态氮与环境参数之间的相关性。结果表明, ①浸没土壤总氮含量在 436.0 ~ 921.6 mg/kg, 消落带土壤总氮含量在 1 253.5 ~ 2 439.8 mg/kg, 与长江中下游浅水湖泊表层浸没土壤总氮含量相比, 大宁河回水区表层浸没土壤总氮含量处于偏低水平。②浸没土壤可转化态氮含量在 289.7 ~ 511.3 mg/kg, 消落带土壤可转化态氮含量在 271.6 ~ 595.1 mg/kg, 有机态和硫化物结合态氮是可转化态氮的优势组分, 离子交换态氮是可转化态无机氮的优势组分。③浸没土壤与消落带土壤中总氮、可转化态氮含量与有机态和硫化物结合态氮显著相关, 表明样品中的可转化态氮含量的增加主要来源于有机态和硫化物结合态氮。

关键词: 三峡入库河流; 大宁河; 回水区; 浸没土壤; 消落带; 氮形态; 分布特征

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)10-2884-07

Nitrogen Forms and Its Distribution Character in Immersed and Water-level-fluctuating Zone Soils of the Backwater Reach from Input River of Three Gorges Reservoir

ZHANG Lei¹, QIN Yan-wen¹, ZHENG Bing-hui¹, XU De-xing²

(1. River and Coastal Environment Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. Department of Environmental Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: This study measures the contents of different nitrogen forms in the immersed soils and the soils of water-level-fluctuating zone of the backwater area from input river of Three Gorges Reservoir, and analyzes the relationship between nitrogen forms and environmental parameters. The results indicates that: ① Content of TN in the surface immersed soils ranged from 436.0 to 921.6 mg/kg, and that in the soils of water-level-fluctuating zone ranged from 1 253.5 to 2 439.8 mg/kg. Compared with the TN content in surface immersed soils from the shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River, content of TN in the surface immersed soils is in the mid-lower level and the TN content in the soils of water-level-fluctuating zone is higher than that in the surface immersed soils. ② Content of transferable nitrogen in the surface immersed soils ranged from 289.7 to 511.3 mg/kg, and that in the soils of water-level-fluctuating zone ranged from 271.6 to 595.1 mg/kg. Organic matter-sulfide form nitrogen(OSF-N) is the predominant form of the transferable nitrogen, whereas ion-exchangeable form nitrogen(IEF-N) is predominant in the transferable inorganic nitrogen. ③ Correlation coefficients between nitrogen forms and environmental parameters show that OSF-N is the main impact factor to increase the concentrations of total nitrogen and transferable nitrogen in the surface immersed soils and the soils of water-level-fluctuating zone. The increasing of the concentration of the transferable nitrogen is mainly from OSF-N.

Key words: input rivers of Three Gorges Reservoir; Daning River; backwater reach; immersed soils; water-level-fluctuating zone; nitrogen forms; distribution characteristics

三峡工程是举世瞩目的水利工程,建成后防洪、发电、航运等综合效益巨大,但是工程的兴建和水库的形成,将改变长江三峡的水文情势,进而会对三峡库区水环境质量产生较大的影响^[1].三峡水库的周期性运行调度形成了规模巨大的消落带区域,三峡库区消落带是库区水域与周边陆地环境的过渡地带,同时具有水、陆环境的特点,此外,还具有水位涨落的落差高、库周城镇密集、生物多样性和生产力相对较低等特点。

作为三峡水库的重要入库支流,大宁河受到三

峡水库蓄水的影响,其水文情势产生了显著的变化,已经由原先的河流型水体转变为湖泊型水体,在冬季 175 m 高蓄水位下,大宁河整个回水段平均流速只有 0.004 m/s^[2],加之河流水体污染等原因,大宁河经常出现“水华”现象^[3].三峡水库蓄水后,大宁河

收稿日期: 2008-08-14; 修订日期: 2009-05-14

基金项目: 科技部国际(中德)合作项目(2007DFA90510); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2007CB407306)

作者简介: 张雷(1975~),男,工程师,主要研究方向为河流与海岸带环境学, E-mail: zhang_lei@craes.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: qinyw@craes.org.cn

形成了一个面积约为 15.3 km², 长度为 49.6 km 的消落带区域, 其消落带面积约占三峡重庆库区消落带面积的 5.3%^[4]. 此外, 大宁河原有农用耕作区的土壤由于蓄水被永久淹没, 成为新的河底. 农用耕作区土壤由于经过多年耕作施肥使其本身就具有较高的氮素含量, 其作为浸没土壤又是氮的主要源与汇, 它既可接受来自水体沉降、颗粒物输运所埋藏的氮, 也可以在合适的条件下释放分解进入水体进行再循环^[5]. 浸没土壤中氮的不同形态, 呈现出不同的地球化学特征, 在循环中所起的作用不同. 因此, 氮形态的定量研究是探讨浸没土壤氮的生物地球化学功能的重要前提^[6].

针对三峡入库河流的这些特殊情况, 本实验首次对三峡入库支流大宁河回水淹没迁建区浸没土壤、消落带土壤氮形态进行了研究. 本研究应用氮形态分级浸取方法, 对大宁河流域回水段浸没土壤及消落带土壤样品中氮的形态进行分析, 将其分为可转化态和非转化态, 并考察了各形态氮的含量以及相应环境参数, 探讨了样品中氮形态的分布特征以及它们之间的关系. 通过掌握三峡水库秋季蓄水运行(156 m)条件下大宁河流域淹没迁建区浸没土壤氮形态的分布特征, 以期分析水库运行对大宁河浸没土壤变化的影响、探讨水体中营养负荷的迁移变化规律提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 采样点设置

样品于 2007 年 10 月采集. 由大宁河回水末端至长江干流交汇处, 共设置 6 个采样点, 依次标记为 S1、S2、S3、S4、S5、S6. 采样站位如图 1 所示. 每个站位采集河流中泓线处浸没土壤样品, 同时采集消落带土壤样品.

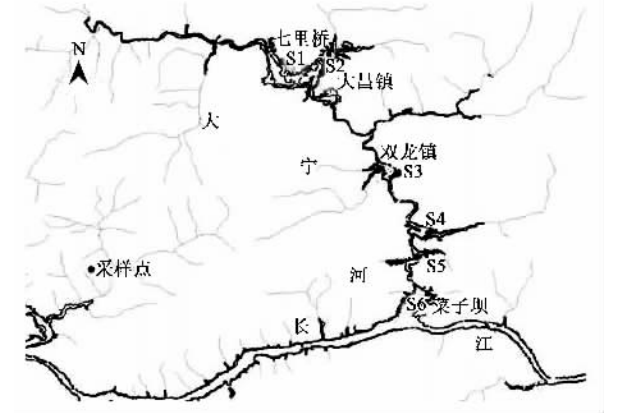


图 1 大宁河采样点站位示意
Fig.1 Sampling sites in the Daning River

1.2 样品的采集和处理

用蚌式采泥器采集表层(0~5 cm)浸没土壤样品, 同时采集消落带表层土壤(0~2 cm)样品. 样品采集后, 放在铁盒中、密封好, 于 4℃ 条件下保存. 样品运回实验室后, -20℃ 条件下冷冻, 经 FD-1A-50 型冷冻干燥机冷冻干燥处理, 用重物捣碎、过 100 目(0.149 mm)筛, 保存于封口袋中, 置于干燥器中备用.

1.3 分析方法

样品氮形态分离方法采用马红波等^[6]的氮形态分级浸取方法, 将样品中的可转化态氮分为离子交换态氮(IEF-N)、碳酸盐结合态氮(CF-N)、铁锰氧化态氮(IMOF-N)和有机态和硫化物结合态氮(OSF-N), 具体分析程序见图 2. 样品全分解得到总氮(TN), 浸取液中 NO₂⁻-N 采用重氮偶氮分光光度法测定, 其中 NH₄⁺-N 用次溴酸钠氧化法测定, NO₃⁻-N 采用镉柱还原法测定^[7].

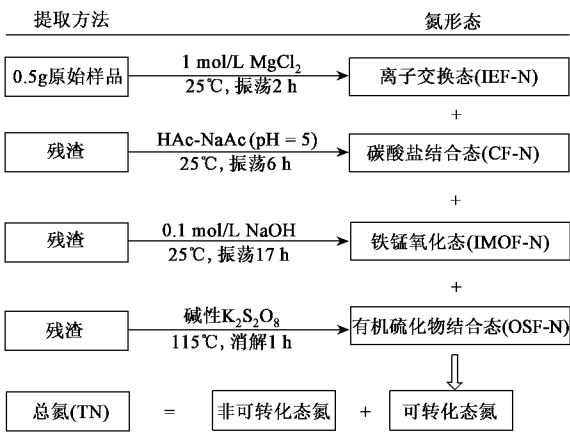


图 2 氮形态分级浸取示意
Fig.2 Sequential extraction process of nitrogen

其他参数的测定: 有机质用重铬酸钾容量法^[8]测定; 主要元素组成用电感耦合等离子体发射光谱仪测定^[9]; 颗粒组成用马尔文 2000 激光粒度分析仪测定; 矿物组成采用 X 射线衍射法测定, 测试参照标准为 JY/T009-1996.

2 结果与讨论

2.1 样品的理化性质

2.1.1 有机质

浸没土壤样品中, 有机质含量在 23~34 g/kg 之间, 高于长江中下游浅水湖泊表层沉积物有机质平均含量为 15 g/kg^[10]. 空间分布较为均匀, 最大值出现在 S6 点处, 最小值出现在 S2 点处(见表 1). 同时, 由于水中的长时间浸泡, 浸没土壤有机质逐渐分解,

导致浸没土壤有机质含量降低而分布均匀。

消落带土壤中有有机质含量含量在 22 ~ 77 g/kg 之间,明显高于浸没土壤,其空间分布不均匀,最大值出现在 S5 点处,最小值出现在 S1 点处,最大值与最小值相差 3.5 倍。大宁河受库区水位运行影响,在冬季蓄水期,形成了淹没区,消落带范围内村镇自身排放的污水无法顺利排至长江停留在大宁河的库岸。在高水位运行过程中,水流流速减慢,水体的稀释扩散能力降低,很容易产生泥沙淤积、污染物沉淀、水质下降等问题。当夏季库区水位下降时(145m 水位),河道变窄,因库尾水体极为缓慢地消退,水体流速极缓,这种消落带的形成和消失年复一年,周而复始,沉积在消落带上的淤泥无法清除,消落带污染悄然而生。

表 1 浸没土壤和消落带土壤有机质和颗粒组成

Table 1 Concentrations of OM and composition of grain in immersed soils and water-level-fluctuating zone soils						
项目	采样点	有机质/G•kg ⁻¹	中砂/%	细砂/%	极细砂/%	粉砂/%
			500 ~ 250 μm	250 ~ 125 μm	125 ~ 63 μm	63 ~ 4 μm
浸没土壤	S1	30.09	3.39	4.06	12.06	72.16
	S2	22.89	0	0.04	7.72	78.29
	S3	24.24	0	0	3.50	81.66
	S4	25.26	0	0.06	7.47	78.27
	S5	25.76	0.68	0.16	7.57	77.43
	S6	33.52	0.77	1.29	11.13	74.12
消落带	S1	21.57	9.89	7.63	10.86	61.2
	S2	61.69	2.73	10.35	22.66	54.54
	S3	41.66	2.63	3.81	13.35	69.74
	S4	65.05	0	3.20	15.34	73.50
	S5	76.99	3.08	3.61	13.98	68.47
	S6	57.10	2.15	1.05	11.03	78.93

根据沉积物粒级标准,以 0.063 mm 为界,<0.063 mm 为粉砂级,>0.063 mm 为粗颗粒,<0.063 mm 为细颗粒^[11]。按照此标准,浸没土壤样品中细颗粒平均含量为 90%,消落带土壤中细颗粒平均含量为 75.2%,由此看出浸没土壤样品中细颗粒含量远远高于消落带土壤。浸没土壤与消落带土壤由于粒径的差异,从而导致化学元素含量的不同。氮作为重要的营养元素,与土壤的粒度之间存在一定的对应关系^[12],因此浸没土壤与消落带土壤不同形态氮含量应该也存在一定的差异。

2.2 氮形态的地球化学特征

2.2.1 总氮的分布特征

浸没土壤总氮含量是反映其营养水平的重要指标之一。浸没土壤样品中,总氮含量在 436.0 ~ 921.6 mg/kg 之间,最大值出现在 S1 点处,最小值出现在 S2 点处,最大值与最小值相差 2 倍多,平均为 628.7

大宁河流域以农业为第一产业,耕种过程中农药及化肥的施用以及生活污水的排放等也是造成消落带土壤有机质含量较高的原因。大宁河流域多暴雨,水土流失严重,消落带土壤中较高的有机质含量对水体富营养化有潜在的威胁。

2.1.2 粒度

从整体上讲,样品中颗粒组成主要以粉砂粒级、粘土粒级和极细砂粒级为主,这一分析结果与长江中下游湖泊浸没土壤颗粒组成基本一致^[10]。浸没土壤样品粒径组成中粉砂平均含量高达 77.0%,粘土平均含量为 13.0%,极细砂的平均含量为 8.2%;消落带土壤粒径组成中粉砂平均含量为 67.7%,极细砂的平均含量为 14.5%,粘土的平均含量为 7.4%。浸没土壤以及消落带土壤粒径组成见表 1。

mg/kg。S1 点位于七里桥附近,处于回水末端,人口密度较大,生活污水排放量相对较大,该区域较严重的污染程度、上游污染的影响及库区回水水质的影响可能是导致此点位总氮含量相对较高的主要原因。

消落带土壤中,总氮含量在 1 253.5 ~ 2 439.8 mg/kg 之间,最大值出现在 S4 点处,最小值出现在 S3 点处,最大值与最小值相差约 2 倍,平均为 1 738.7 mg/kg。S4 点靠近农业耕种区,此点总氮含量受人为因素和自然因素的影响较大。农业耕种过程中化肥及农药大量的施用,经暴雨的冲刷作用大量富含氮的泥砂被冲落到消落带中,这可能是 S4 点总氮含量较高的主要原因。

由浸没土壤和消落带土壤中总氮分布情况(见图 3)可以看出消落带土壤总氮含量明显高于浸没土壤样品,这可能与消落带土壤中氮含量易受诸如生活污水和工业废水的排放、含氮农药和化肥的大

量施用等人为因素的影响有关,还可能与浸没土壤中氮的释放有一定的关系,具体原因有待进一步研究.样品中总氮的分布情况在一定程度上反映了库区蓄水后对大宁河回水段水环境的影响状况.

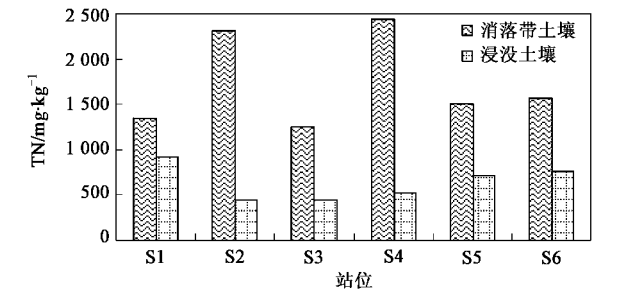


图3 浸没土壤和消落带土壤中总氮的分布

Fig.3 Distribution of TN in immersed soils and water-level-fluctuating zone soils

2.2.2 可转化态氮形态的分布特征

不同结合形态的氮形成机制不同,在循环中所

起的作用也不同.利用不同强度的浸取剂将不同结合形态的氮区别开来,并结合土壤的环境特征就可以研究三峡入库河流回水区浸没土壤和消落带土壤各形态氮的地球化学特征,从而进一步讨论三峡水库蓄水后入库河流回水区土壤长期被水淹没而发生的生物地球变化特征以及对水体富营养化的影响.

本研究采用的氮形态分级浸取法将可转化态氮(TTN)分为离子交换态氮(IEF-N)、碳酸盐结合态氮(CF-N)、铁锰氧化态氮(IMOF-N)和有机态和硫化物结合态氮(OSF-N)(见表2),其中前3种形态为无机氮,有机态和硫化物结合态氮(OSF-N)主要为有机氮.非转化态氮(NTN)是相对于可转化态氮而言的,即总氮扣除可转化态氮(TTN)后剩余的部分^[12].氮的不同形态反映了氮与土壤的结合强度和转化能力.样品中的IEF-N、CF-N、IMOF-N和OSF-N的含量与其占可转化态氮的比例见表2.浸没土壤和消落带土壤中可转化态氮的含量与其占总氮的比例见图4.

表2 浸没土壤和消落带土壤中 IEF-N、CF-N、IMOF-N 和 OSF-N 的含量与其占可转化态氮的比例

Table 2 Concentrations of IEF-N, CF-N, IMOF-N, OSF-N and their ratios to transferable nitrogen in immersed soils and water-level-fluctuating zone soils									
采样点	IEF-N		CF-N		IMOF-N		OSF-N		
	含量/mg·kg ⁻¹	所占比例/%	含量/mg·kg ⁻¹	所占比例/%	含量/mg·kg ⁻¹	所占比例/%	含量/mg·kg ⁻¹	所占比例/%	
浸没土壤	S1	39.8	7.8	11.6	2.3	9.3	1.8	450.6	88.1
	S2	35.0	12.1	11.9	4.1	8.3	2.9	234.5	80.9
	S3	42.2	13.2	14.0	4.3	6.3	2.0	258.6	80.5
	S4	29.2	9.8	13.2	4.4	4.2	1.4	249.8	84.3
	S5	51.2	13.8	13.1	3.5	14.1	3.8	293.3	78.9
	S6	32.6	10.4	8.3	2.7	8.2	2.6	265.1	84.3
消落带	S1	12.9	3.9	8.3	2.5	8.4	2.6	296.8	91.0
	S2	34.3	7.8	8.8	2.0	12.2	2.8	384.7	87.4
	S3	13.6	5.0	7.1	2.6	5.6	2.0	245.3	90.3
	S4	63.5	10.7	11.3	1.9	17.0	2.9	503.3	84.6
	S5	17.9	4.8	7.9	2.1	7.3	2.0	341.5	91.2
	S6	34.9	8.6	8.2	2.0	10.4	2.6	352.4	86.8

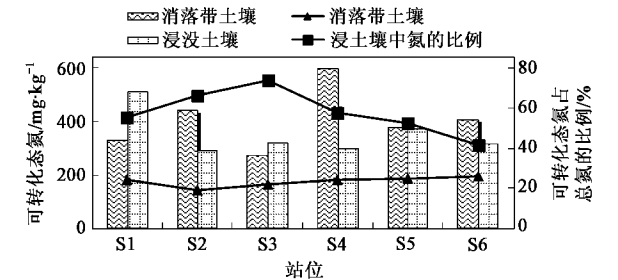


图4 浸没土壤和消落带土壤中可转化态氮的含量与其占总氮的比例

Fig.4 Concentrations of transferable nitrogen and its ratio to total nitrogen in immersed soils and water-level-fluctuating zone soils

本研究的浸没土壤样品中,可转化态氮含量在

289.7~511.3 mg/kg之间,最大值出现在 S1 点处,最小值出现在 S2 点处,最大值与最小值相差近 2 倍,平均为 350.7 mg/kg,占总氮的 57.9%.消落带土壤中,可转化态氮含量在 271.6~595.1 mg/kg之间,最大值出现在 S4 点处,最小值出现在 S3 点处,最大值与最小值相差 2 倍多,平均为 402.3 mg/kg,占总氮的 23.3%.由图4可以看出,消落带土壤中可转化态氮含量整体上要比浸没土壤样品高,这是因为三峡水库成库后,水位升高,入库河流被淹没土壤由于长期受到水流冲刷作用而导致部分可转化态氮释放到了水体中,从而重新参与到水体的氮循环过程中.而消落带土壤由于具有较高含量的可转化氮含量,其

对水体富营养化的潜在影响不容忽视。

离子交换态氮(IEF-N)与初级生产力关系密切,是可转化态氮中最“活跃”的形态,是所有可转化态氮中结合能力最弱的,也是最容易被释放参与水体氮循环的形态^[11,12]。浸没土壤样品中 IEF-N 含量在 29.2 ~ 51.2 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 7.8% ~ 13.8%。消落带土壤中 IEF-N 含量在 12.9 ~ 63.5 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 3.9% ~ 10.7%。IEF-N 是释放能力最强的可转化态氮形态,浸没土壤和消落带土壤中的 IEF-N 都是其可转化态氮的优势形态。在检测样品中,S4 站位的 IEF-N 的含量表现为消落带土壤高于浸没土壤样品。其原因为 IEF-N 中的 NH_4^+ -N主要来自消落带或浸没土壤中有有机态氮的分解,且只有在还原性环境中才能稳定存在,消落带或浸没土壤中中有机质含量含量及氧化还原环境直接影响着有机态氮的分解,因此对 NH_4^+ -N分布的控制作用明显。S4 点采样位置可能处于受到诸如生活污水和工业废水的排放等因素的影响有关,导致其 ON 的含量明显偏高(见表 2)。消落带土壤中较高的 IEF-N 含量对水体富营养化可能会产生一定的影响,其影响有待进一步的研究。

碳酸盐结合态氮(CF-N)也称为弱酸可提取态氮(WAEF-N),其结合能力相当于碳酸盐的结合能力,是释放性能稍低于 IEF-N 的形态^[12,13]。浸没土壤样品中 IEF-N 含量在 8.3 ~ 14.0 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 2.3% ~ 4.4%。消落带土壤中 IEF-N 含量在 7.1 ~ 11.3 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 1.9% ~ 2.6%。浸没土壤和消落带土壤中的 CF-N 含量都低于 IEF-N。

铁锰氧化态氮(IMOF-N)也称为强碱可提取态氮(SAEF-N),其结合能力相当于铁锰氧化物的结合能力,稍高于 CF-N 的结合能力,因而其释放性能稍低于 CF-N^[12,13]。IMOF-N 的释放能力是 3 种无机形态可转化态氮中最弱的。因此样品中 IMOF-N 的含量基本上低于 IEF-N。浸没土壤样品中 IMOF-N 含量在 4.2 ~ 14.1 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 1.4% ~ 3.8%。消落带土壤中 IMOF-N 含量在 5.6 ~ 17.0 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 2.0% ~ 2.9%。

有机态和硫化物结合态氮(OSF-N)也称为强氧化剂可提取态氮(SOEF-N)。有机态和硫化物结合态氮(OSF-N)主要为有机形式的氮,是可转化态氮中含量最高的形态^[17]。有机态和硫化物结合态氮(OSF-N)的释放能力比可转化态无机氮的释放能力

弱,其释放能力是 4 种可转化态氮中最弱的,是最难以被释放参与氮循环的形态^[12,13]。样品中可转化态氮含量以有机态和硫化物结合态氮(OSF-N)为最高,在可转化态氮中占有绝对优势。浸没土壤样品中 OSF-N 含量在 234.5 ~ 450.6 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 78.9% ~ 88.1%。消落带土壤中 OSF-N 含量在 245.3 ~ 503.3 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 84.6% ~ 91.2%。由表 2 可以看出,消落带土壤中各站位 OSF-N 含量基本上高于浸没土壤样品的 OSF-N 含量。虽然 OSF-N 的释放能力在 4 种可转化态氮中最弱,但是其相对含量远远高于其他 3 种可转化态氮,因此样品中,尤其是消落带土壤中的高 OSF-N 含量对水体富营养化的潜在影响不容忽视。

总之,样品中均为 OSF-N 为可转化态氮的主体,IEF-N 为可转化态无机氮的主体(如表 2 所示)。对比浸没土壤样品和消落带土壤,不同形态可转氮中,消落带土壤中的 OSF-N 含量比浸没土壤样品高,其他 3 种可转化态氮含量表现为浸没土壤样品略高于消落带土壤。消落带土壤中较高的 IEF-N、OSF-N 含量对水体富营养化的潜在影响有待进一步的研究。

2.2.3 非可转化态氮的分布特征

样品中非转化态氮含量如图 5 所示。浸没土壤样品中非可转化态氮含量在 115.3 ~ 440.2 mg/kg 间变化,占总氮比例的 26.4% ~ 58.4%。消落带土壤中非可转化态氮含量在 981.9 ~ 1 871.3 mg/kg 间变化,占可转化态氮比例的 74.2% ~ 81.0%。浸没土壤样品中非可转化态氮含量低于消落带土壤,但其变化范围要比消落带土壤大。这可能与浸没土壤样品受水动力状况、水温、酸碱度等沉积环境因素的影响有关。

2.3 氮形态的相关性分析

浸没土壤中氮的输入包括径流输送、污水排放、生物来源等,输入的氮经过复杂的生物地球化学过

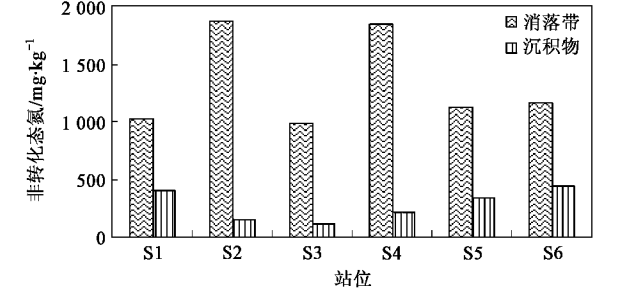


图 5 样品中非可转化态氮分布
Fig.5 Distribution of untransferable nitrogen in immersed soils and water-level-fluctuating zone samples

程后沉淀,其含量受浸没土壤性质、水动力条件、生化作用粒度的大小与上覆水体的温度、pH 值、悬浮颗粒物的粒度、种类以及分布的影响,进而影响浸没土壤中各种形态氮的含量及存在形式^[14].分析浸没土壤中各形态氮与浸没土壤的某些理化性质之间的相关关系,有利于认识氮形态的分布特征.本研究分析了样品中氮形态以及环境因素与各形态氮含量之间的相关性,以期更深入地了解研究区域内氮形态的分布特征.

表 3 给出了浸没土壤样品中各形态氮含量之间的相关性分析结果,浸没土壤样品中 TN 含量与 OSF-N 显著相关,说明浸没土壤中 TN 含量的增加主要来自 OSF-N;可转化态氮与 OSF-N 的相关性要好于 TN 与 OSF-N 的相关性,达到了极显著相关,这说明样品中的可转化态氮含量的增加主要来源于 OSF-N.在各形态氮中,OSF-N 与 IEF-N、CF-N、IMOF-N 相关

表 3 浸没土壤样品中氮形态相关系数矩阵¹⁾

Table 3 Correlation coefficients among nitrogen forms in immersed soils samples

	IEF-N	CF-N	IMOF-N	OSF-N	TTN	TN
IEF-N	1					
CF-N	0.424	1				
IMOF-N	0.812 *	0.351	1			
OSF-N	0.273	0.295	0.301	1		
可转化态氮	0.397	0.322	0.403	0.991 **	1	
TN	0.217	0.415	0.478	0.828 *	0.819 *	1

1) * 在 0.05 水平上显著相关, * * 在 0.01 水平上显著相关(双尾检验),样本数 = 6,下同

表 5 浸没土壤样品中各形态氮与环境参数的相关性

Table 5 Correlation coefficients between nitrogen forms and environmental factors in immersed soils

	T	DO	PH	CaCO ₃	OM	Es	Fe ₂ O ₃	MnO	细粒度含量
IEF-N	-0.321	-0.131	-0.465	0.138	0.843 *	-0.857 *	0.816 *	-0.623	0.883 *
CF-N	-0.133	0.462	0.162	-0.830 *	0.421	-0.125	-0.736	0.333	0.756
IMOF-N	-0.524	0.284	-0.465	0.134	-0.842 *	0.108	0.827 *	0.735	0.708
OSF-N	-0.752	0.246	0.731	0.22	0.825 *	0.328	-0.369	-0.589	0.939 **
TN	-0.132	-0.134	0.359	-0.332	0.791	-0.276	0.174	-0.628	0.850 *

IEF-N 与 OM、Fe₂O₃、细粒度含量呈正相关,与 Es 呈负相关,这可能与 IEF-N 中 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的不同来源和性质受环境因素的影响不同有关. NH₄⁺-N 的吸附主要受 OM、Es、粘土矿物性质的影响; NO₃⁻-N 主要来源于水体,受水体环境影响较大^[12].农田过度使用化肥、河道污水、污灌、垃圾填埋场等都是硝酸盐氮污染的主要来源^[16~18].

CF-N 与 CaCO₃ 呈负相关($r = -0.830$),这可能与浸没土壤样品中 CaCO₃ 变化明显有关,说明样品

性较弱,这一结果表明样品中 OSF-N 与 IEF-N、CF-N、IMOF-N 来源可能存在差异,还可能与浸没土壤中氮的赋存形态受诸多沉积环境的影响有关.

消落带土壤中的氮含量易受人为因素等外界条件影响.表 4 给出了消落带土壤中各形态氮含量之间的相关性分析结果,消落带土壤中 TN 含量与各形态氮都显著相关,与 OSF-N、IMOF-N 相关性较好,说明消落带土壤中 TN 含量的增加主要来自 OSF-N 和 IMOF-N.可转化态氮与 IEF-N、CF-N、IMOF-N、OSF-N 的相关性都达到极显著相关水平,其中与 OSF-N 的相关性最好,相关系数达到 0.998,这说明样品中的可转化态氮含量的增加主要来源于 OSF-N.由表 4 还可以看出,各形态氮之间达到极显著相关,说明消落带土壤中不同形态氮的来源可能相同.

浸没土壤样品中氮的赋存受多种环境因素的影响.各形态氮含量与沉积环境之间的相互关系在一定程度上揭示了各成分之间可能的相互关系.表 5 给出了浸没土壤样品中各形态氮与环境参数的相关系数.

表 4 消落带土壤中氮形态相关系数矩阵

Table 4 Correlation coefficients among nitrogen forms in water-level-fluctuating zone samples

	IEF-N	CF-N	IMOF-N	OSF-N	TTN	TN
IEF-N	1					
CF-N	0.921 **	1				
IMOF-N	0.961 **	0.962 **	1			
OSF-N	0.947 **	0.955 **	0.960 **	1		
可转化态氮	0.965 **	0.958 **	0.971 **	0.998 **	1	
TN	0.867 *	0.849 *	0.917 **	0.900 *	0.903 *	1

中 CF-N 含量与 CaCO₃ 含量呈现相反的分布趋势. IMOF-N 与 Fe₂O₃ 呈正相关,与 OM 呈负相关.这可能与 IMOF-N 的形成与分布主要受浸没土壤的氧化还原环境的影响^[19]有关.OSF-N 与 OM、细粒度含量呈较好的正相关,与细粒度含量达到极显著正相关($r = 0.939$),这一研究结果与马红波^[15]的相一致.

表 6 显示消落带土壤中各形态氮含量与环境参数之间的相关性很小或没有,这可能与消落带样品氮含量受诸多环境及人为因素的影响有关,具体原

表 6 消落带土壤中各形态氮与环境参数的相关性

Table 6 Correlation coefficients between nitrogen forms and environmental factors in water-level-fluctuating zone soils

	T	DO	PH	CaCO ₃	OM	Es	Fe ₂ O ₃	MnO	细粒度含量
IEF-N	- 0.254	- 0.143	- 0.452	- 0.075	0.473	- 0.757	0.292	0.156	0.251
CF-N	- 0.142	0.459	0.142	- 0.072	0.314	- 0.145	- 0.035	- 0.064	0.069
IMOF-N	- 321	0.328	- 0.471	- 0.162	0.354	0.195	0.327	0.020	0.033
OSF-N	- 0.652	0.432	0.754	0.112	0.557	0.428	0.061	0.099	0.062
TN	- 0.342	- 0.127	0.452	- 0.126	0.500	- 0.372	0.222	- 0.187	- 0.249

因有待深入研究.

3 结论

(1)消落带土壤中的高氮含量是受生活污水的排放、含氮农药及化肥的大量使用等人为因素的影响,而浸没土壤由于水的浸没导致氮的释放,因而总氮含量远低于消落带土壤.与长江中下游浅水湖泊表层浸没土壤总氮含量相比,大宁河回水区表层浸没土壤 TN 含量处于偏低水平,消落带土壤中 TN 平均含量远远高于浸没土壤,一方面显示出人类活动对消落带土壤 N 含量的影响,另一方面也说明三峡大坝的建立,对回水区浸没土壤中氮的消解作用较大.

(2)消落带土壤中较高的可转化态氮含量对水体富营养化的潜在影响不容忽视.消落带样品可转化态氮含量要高于浸没土壤样品可转化态氮含量,并且变化范围比浸没土壤样品大.消落带样品较高的可转化态氮含量对水体富营养化的潜在影响不容忽视.

(3)浸没土壤与消落带土壤中 TN、TTN 含量主要来自 OSF-N.浸没土壤样品的各形态氮中 OSF-N 与 IEF-N、CF-N、IMOF-N 来源可能存在差异,还可能与浸没土壤中氮的赋存形态受诸多沉积环境的影响有关.消落带土壤的可转化态氮与 IEF-N、CF-N、IMOF-N、OSF-N 的相关性都达到极显著相关水平,样品中的可转化态氮含量的增加主要来源于 OSF-N.各形态氮之间达到极显著相关,说明消落带土壤中不同形态氮的来源可能相同.

参考文献:

[1] 郑丙辉,曹承进,秦延文,等.三峡水库主要河流氮营养盐特征及其来源分析[J].环境科学,2008,29(1):1-6.

[2] 邓春光.三峡库区富营养化研究[M].北京:中国环境科学出版社,2007.83-88.

[3] 刘瑞民,沈珍瑶.大宁河流域生态环境综合评价及其演变[J].北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(2):200-203.

[4] 韩勇.三峡库区消落带污染特性及水环境影响研究[D].重庆:重庆大学,2007.18.

[5] 吕晓霞,宋金明,袁华茂,等.南黄海表层沉积物中氮的潜在生态学功能[J].生态学报,2004,24(8):1635-1643.

[6] 马红波,宋金明,吕晓霞,等.渤海沉积物中氮的形态及其在循环中的作用[J].地球化学,2003,32(1):48~54.

[7] GB 17378.4-1998,海洋检测规范.第四部分:海水分析[S].

[8] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].(第四版).北京:中国环境科学出版社,2002.462-464.

[9] SY/T 5163-1995,沉积物粘土矿物相对含量 X 射线衍射分析方法[S].

[10] 孟凡德,姜霞,金相灿.长江中下游湖泊沉积物理化性质研究[J].环境科学研究,2004,17(增刊):24-29.

[11] 王圣瑞,金相灿,焦立新.不同污染程度湖泊沉积物中不同粒级可转化态氮分布[J].环境科学研究,2007,20(3):52-57.

[12] 赵一阳,鄢明才.中国浅海浸没土壤地球化学[M].北京:科学出版社,1994.179-200.

[13] 吕晓霞,宋金明,袁华茂,等.南黄海表层不同粒级沉积物中氮的地球化学特征[J].海洋学报,2005,27(1):64-69.

[14] 杨守业,李从先,张家强.苏北滨海平原冰后期古地理演化与沉积物源研究[J].古地理学报,2000,2(2):65-71.

[15] 马红波.渤海沉积物中氮的赋存形态及其在循环中的作用[D].青岛:中国科学研究院海洋研究所,2001.19-32.

[16] 国家环境保护总局.长江三峡工程生态与环境监测公报[R].北京:国家环境保护总局,2005.

[17] 梁秀娟,肖长来,杨天行,等.密云水库中氮分布及迁移影响因素研究[J].中国科学 D 辑,2005,35(增 I):272-280.

[18] 邢光熹,曹亚澄,施书莲,等.太湖地区氮的污染源和反硝化[J].中国科学 B 辑,2001,31(2):131-137.

[19] 吕晓霞,宋金明,李学刚,等.北黄海沉积物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.