

文章编号: 1004-4353(2023)04-0366-06

连云港徐圩新区河湖底泥的理化特征及其 氮磷污染程度评价

林洪军¹, 郑小军², 胡志远³, 王贝贝¹, 张肖城¹, 程铮¹

(1. 江苏香河农业开发有限公司, 江苏 连云港 222048; 2. 江苏大学 环境与安全工程学院, 江苏 镇江 212013;
3. 苏州先进分子诊断有限公司, 江苏 苏州 215127)

摘要: 为探究连云港徐圩新区内河湖底泥的环境状况, 对区域内河湖底泥的 pH 值、硝态氮(NO_3^- -N)、氨氮(NH_3 -N)、总氮(TN)、总磷(TP) 5 个理化指标进行了测定和分析, 并利用地质累积指数法(I_{geo})对底泥的氮磷污染程度进行了评估. 结果表明: 研究区河湖底泥的 pH 值在 7.9~8.7 范围内, 其 NO_3^- -N、 NH_3 -N、TN 和 TP 的含量范围分别为 0.32~5.03 mg/kg、1.73~24.68 mg/kg、0.152~0.437 g/kg、0.49~1.16 g/kg, 其中 NO_3^- -N、 NH_3 -N 和 TP 的变异系数相对较高; 研究区内河湖底泥中的 TN 和 TP 的 I_{geo} 平均值分别为 1.97 和 2.30, 表明研究区内的河湖分别处于偏中度污染和中度污染的状态. 该研究成果可为治理和保护徐圩新区内的河湖生态提供参考.

关键词: 连云港徐圩新区; 底泥; 地质累积指数; pH 值; 硝态氮; 氨氮; 总氮; 总磷

中图分类号: X53

文献标志码: A

Physical and chemical characteristics of river and lake sediment and evaluation of nitrogen and phosphorus pollution in Xuwei New District of Lianyungang City

LIN Hongjun¹, ZHENG Xiaojun², HU Zhiyuan³, WANG Beibei¹, ZHANG Xiaocheng¹, CHENG Zheng¹

(1. Jiangsu Xianghe Agricultural Development Co., Ltd., Lianyungang 222048, China;
2. School of the Environment and Safety Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;
3. Suzhou Advanced Molecular Diagnostic Technology Co., Ltd., Suzhou 215127, China)

Abstract: In order to understand the status of sediment environment in Xuwei New District of Lianyungang City, we analyzed the five physical and chemical index characteristics of sediment of rivers and lakes, including pH value, nitrate nitrogen (NO_3^- -N), ammonia nitrogen (NH_3 -N), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and used the geoaccumulation index (I_{geo}) to evaluate the pollution degree of nitrogen and phosphorus in sediment. Our result show that the pH value is in the range of 7.9-8.7, and NO_3^- -N, NH_3 -N, TN, TP in sediment of rivers and lakes are 0.32-5.03 mg/kg, 1.73-24.68 mg/kg, 0.152-0.437 g/kg, 0.49-1.16 g/kg, respectively. Particularly, the coefficient of variation of NO_3^- -N, NH_3 -N, TP is relatively high; the I_{geo} average value of TN and TP are 1.97 and 2.30, respectively, indicating a near moderately polluted state and moderately polluted state in sediment of rivers and lakes. Our research can provide references for the management and protection of the ecology of rivers and lakes in the study area.

收稿日期: 2023-09-19

基金项目: 江苏大学横向课题(HX20230220); 江苏大学高级人才基金(20JDG067)

第一作者: 林洪军(1988—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为环境生态学.

通信作者: 程铮(1989—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为水生生物多样性.

Keywords: Xuwei New District of Lianyungang City; sediment; geoaccumulation index; pH value; nitrate nitrogen; ammonia nitrogen; total nitrogen; total phosphorus

底泥不仅是水生生物赖以生存的基本环境要素,而且还是水生生态系统物质能量循环的重要组成部分.研究表明,底泥中各项污染物的含量不仅能够反应水体污染物随空间和时间的变化情况,而且还能够反应水体受污染的程度^[1-2];因此,对河湖底泥中的成分进行监测和评价,对保护河湖生态和强化河湖的管理具有重要意义.徐圩新区作为连云港市的高新工业区,近年来因其内的河湖受到面源污染、盐胁迫、泥沙淤积、外来生物入侵等因素的影响较大,使得其底泥的生态系统受到较大冲击^[3-5];因此,研究新区河湖底泥的环境空间特征以及分析其主要影响因素,对保护该区域的水生生态系统和维护经济可持续发展具有重要的战略意义.近些年,一些学者利用数学模型对河湖底泥中的多种污染物进行了研究^[6-9],但相关研究大多针对的是底泥中的单一成分,而对不同生态系统类型中的底泥的理化特征及其污染程度研究得较少.基于此,本研究以徐圩新区内9条河流和6个湖泊为研究对象,通过测定其底泥的pH值以及硝态氮(NO_3^- -N)、氨氮(NH_3 -N)、总氮(TN)、总磷(TP)的含量,综合评估该区域内河湖底泥的环境现状,以为治理和保护该区域河湖的生态提供参考.

1 数据与方法

1.1 研究区域与采样点

徐圩新区($118^{\circ}24' \sim 119^{\circ}68' \text{E}$, $33^{\circ}59' \sim 35^{\circ}07' \text{N}$)位于江苏省连云港市东南部.本研究选取的河湖包括复堆河、烧香河、驳盐河、中心河、方洋河、纳潮河、西港河、深港河、南复堆河9条河流,以及云湖、东香湖、香河湖、张圩湖、甌山湖、徐圩湖6个湖泊,并共设置了28个采样点(具体采样点如图1所示).

1.2 样品采集与分析

根据研究区内河湖生境特征和水文特征,本文选取河湖底泥的pH值、 NO_3^- -N、 NH_3 -N、TN、TP 5个理化指标进行调查和评估,样品的采集时间为2023年3月19日—20日.采集样品时,首先去除采集点的表层枯枝落叶和腐殖质层,然后

按照HJ/T 166—2004标准分别取10~30 cm深度的沉积样品(每个样品重量为1.0 kg).采样采用 $1/16 \text{ m}^2$ 改良型彼得逊采泥器(Peterson dredger).

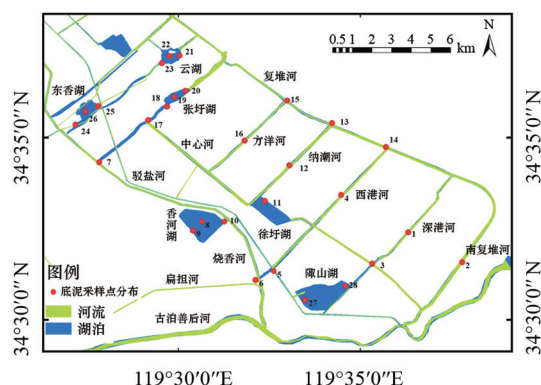


图1 河湖底泥采集点的位置图

1.3 理化指标检测的方法、仪器和试剂

KCl溶液的质量浓度为1.0 g/L,坛墨质检科技股份有限公司生产;硝酸、高氯酸和氢氟酸的质量浓度均1.0 g/L,国药集团化学试剂有限公司生产; H_2SO_4 的质量浓度为1.0 g/L,坛墨质检科技股份有限公司生产.

使用FE28-STANDARD型pH计测定pH值;按照中华人民共和国国家环境保护标准(HJ 634—2012《土壤 氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定 氯化钾溶液提取-分光光度法》),利用KCl溶液提取-分光光度法测试 NO_3^- -N和 NH_3 -N;按照中华人民共和国城镇建设行业标准(CJ/T 221—2005《城市污水处理厂污泥检验方法》),利用 H_2SO_4 消解-分光光度法测定TN;按照中华人民共和国国家环境保护标准(HJ 632—2011《土壤 总磷的测定 碱熔-钼锑抗分光光度法》),利用硝酸、高氯酸和氢氟酸消解-钼锑抗比色法测定TP(消解时间为48 min);使用哈希/DR6000型紫外分光光度计测定吸光度.

1.4 地质累积指数

采用地质累积指数(I_{geo})评估河湖底泥中氮磷的污染程度^[10]. I_{geo} 的计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 C_i / (K \times B_i).$$

式中 I_{geo} 为地质累积指数; C_i 为实测底泥中化学元素 i 的质量分数; B_i 为元素 i 的地球化学背景

值(%)^[11](所测的元素采用的是我国工业化前沉积物中的化学元素^[12], B_i 背景值选取各省、自治区、直辖市的土壤氮磷含量^[13]); K 为表征岩石地质、成岩作用等影响背景值变化的系数(依据本文测试底泥的结果和文献报道的数据, 本文取该系数值为1.5)^[14]. 采用 Muller 分级标准对 I_{geo} 的计算结果进行分级和评价^[15-16].

2 结果与分析

2.1 pH 值及其空间分布特征

pH 值是衡量河湖底泥酸碱度的重要指标. 水体中底泥的 pH 值主要与水体中 CO_2 和 HCO_3^- 的含量密切相关. 由图 2 可以看出, 各河湖底泥样品的 pH 值在 7.90~8.66 范围内, 平均值为 8.37. 其中, 13 个河流底泥样品的 pH 值在 7.90~8.49 范围内, 15 个湖泊底泥样品的 pH 值在 8.02~8.66 范围内, pH 值最低的样品采集点位于烧香河 7 号, pH 值最高的样品采集点位于云湖 23 号.

这表明, 该研究区内河湖之间的酸碱性差异较小.

2.2 氮磷含量及其空间分布特征

表 1 和图 3 给出的是研究区内的河湖底泥中的氮磷含量. 由表 1 可知: 研究区内的河湖底泥中的 NO_3^- -N 和 NH_3 -N 的含量范围分别为 0.32~5.03 mg/kg 和 1.73~24.68 mg/kg, 平均值分别为 1.18 mg/kg 和 6.87 mg/kg. 其中, 河流底泥中的 NO_3^- -N 和 NH_3 -N 的平均含量分别为 1.01 mg/kg 和 5.42 mg/kg, 湖泊底泥中的 NO_3^- -N 和 NH_3 -N 的平均含量分别为 1.33 mg/kg 和 8.14 mg/kg. 研究区内的河湖底泥中的 TN 和 TP 的含量分别为 0.152~0.437 g/kg 和 0.49~1.16 g/kg, 平均值分别为 0.250 g/kg 和 0.65 g/kg. 其中, 河流底泥中的 TN 和 TP 的平均含量分别为 0.251 g/kg 和 0.65 g/kg; 湖泊底泥中的 TN 和 TP 的平均含量分别为 0.249 g/kg 和 0.65 g/kg. 这表明, 研究区内的河湖底泥中的 TN 和 TP 的含量相差较小.

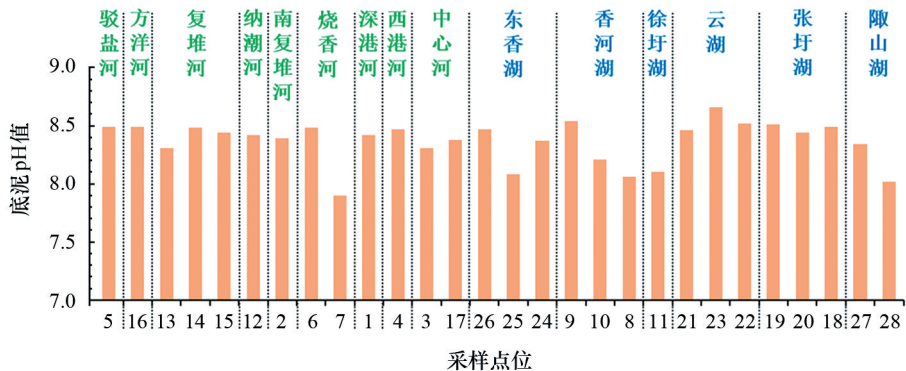


图 2 各采样点底泥的 pH 值

表 1 徐圩新区河湖底泥中的氮磷含量

检测类别	检测指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%
河流底泥	NO_3^- -N	0.39	4.34	1.01	1.03	102.13
	NH_3 -N	1.87	13.83	5.42	4.00	73.93
	TN	0.157	0.354	0.251	0.06	23.06
	TP	0.49	1.16	0.65	0.17	25.60
湖泊底泥	NO_3^- -N	0.32	5.03	1.33	1.57	117.73
	NH_3 -N	1.73	24.68	8.14	8.16	100.25
	TN	0.152	0.437	0.249	0.09	35.23
	TP	0.56	0.86	0.65	0.08	11.75
研究区内的底泥	NO_3^- -N	0.32	5.03	1.18	1.33	112.60
	NH_3 -N	1.73	24.68	6.87	6.60	96.01
	TN	0.152	0.437	0.250	0.07	29.63
	TP	0.49	1.16	0.65	0.12	19.07

注: NO_3^- -N 和 NH_3 -N 的单位为 mg/kg, TN 和 TP 的单位为 g/kg.

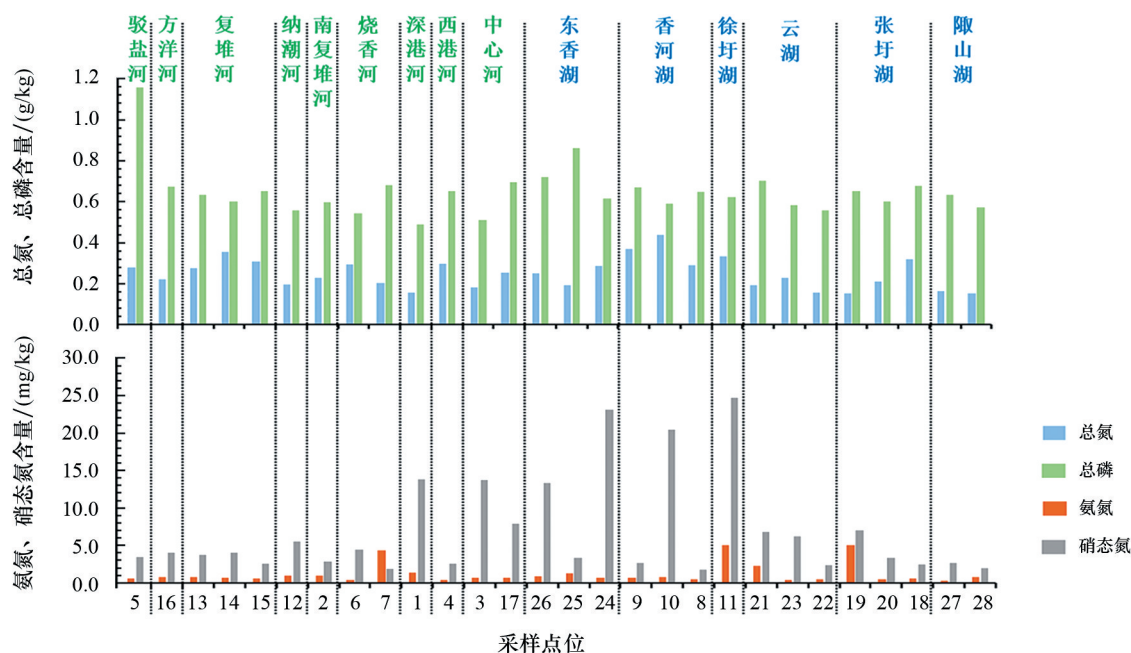


图3 各采样点底泥中的氮磷含量

表2给出的是研究区内不同河湖底泥中的氮磷含量.由表2可以看出:9条河流中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均含量最高的是深港河,TP平均含量最高的是驳盐河;6个湖泊中, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均含量最高的是徐圩湖, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 平均含量较高的是张圩湖, $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均含量较高的是东香湖.该结果表明,深港河、驳盐河、徐圩湖和张圩湖的底泥污染程度相对较高.

表2 研究区内不同河湖底泥中的氮磷含量

类型	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ / (mg/kg)	$\text{NH}_3\text{-N}$ / (mg/kg)	TN/ (g/kg)	TP/ (g/kg)
河流	驳盐河	0.62	3.48	0.281
	方洋河	0.74	3.99	0.220
	复堆河	0.67	3.44	0.313
	纳潮河	0.97	5.47	0.198
	南复堆河	0.97	2.84	0.230
	烧香河	2.37	3.14	0.249
	深港河	1.33	13.83	0.157
	西港河	0.41	2.60	0.299
	中心河	0.68	10.78	0.217
湖泊	东香湖	0.95	13.26	0.242
	香河湖	0.62	8.27	0.365
	徐圩湖	5.03	24.68	0.335
	云湖	1.02	5.10	0.193
	张圩湖	2.01	4.29	0.228
	瞰山湖	0.56	2.33	0.157

2.3 污染程度评价

图4为研究区河湖底泥中TN和TP含量的地质累积指数(I_{geo})和分级评价结果.由图4可以看出,处于TN偏中度污染的点位有15个,处于TP偏中度污染的点位有5个,剩余其他点位均处于TN和TP中度污染及以上等级.对各采集点氮磷的 I_{geo} 值进行计算得,其总氮的 I_{geo} 平均值为1.97,表明该区域处于偏中度污染状态;总磷的 I_{geo} 平均值为2.30,表明该区域处于中度污染状态(表3).在9条河道中,驳盐河、复堆河和西港河的平均总氮的 I_{geo} 值较高,处于中度污染状态,其余为偏中度污染水平;驳盐河的平均总磷的 I_{geo} 值最高,为重度污染状态,其余为中度污染及以下水平(表3).6个湖泊中,香河湖与徐圩湖的总氮的 I_{geo} 平均值相对较高(分别为2.93和2.69),处于中度污染状态;各湖泊采样点位的总磷的 I_{geo} 平均值的差异较小(在2.12~2.57范围内),均处于中度污染状态(表3).

2.4 人类活动对底泥生态的影响

由表1中的变异系数可以看出,区域内河湖底泥 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变异系数均大于90%,说明区域内河湖底泥中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 受人类活动的影响较大,该结果可能与徐圩新区的工农业生产密切相关.

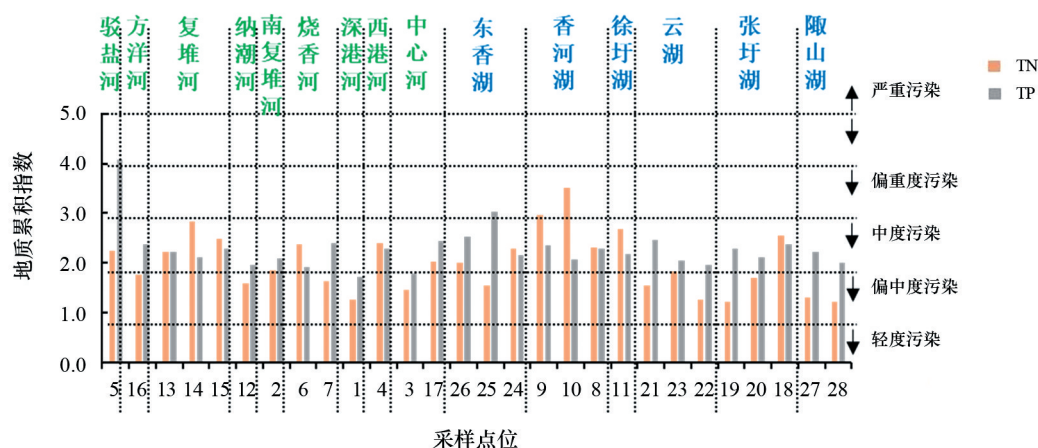


图 4 各采样点底泥中的氮磷地质累积指数 (I_{geo}) 及其分级评价结果

表 3 研究区河湖底泥中的氮磷地质累积指数 (I_{geo}) 及其污染程度

类型	TN		TP	
	I_{geo}	污染程度	I_{geo}	污染程度
河流	驳盐河	2.25 中度	4.07 重度	
	方洋河	1.77 偏中度	2.37 中度	
	复堆河	2.51 中度	2.21 中度	
	纳潮河	1.59 偏中度	1.96 偏中度	
	南复堆河	1.85 偏中度	2.10 中度	
	烧香河	2.00 偏中度	2.15 中度	
	深港河	1.26 偏中度	1.72 偏中度	
	西港河	2.40 中度	2.29 中度	
	中心河	1.74 偏中度	2.12 中度	
湖泊	东香湖	1.94 偏中度	2.57 中度	
	香河湖	2.93 中度	2.24 中度	
	徐圩湖	2.69 中度	2.19 中度	
	云湖	1.55 偏中度	2.16 中度	
	张圩湖	1.83 偏中度	2.26 中度	
	陂山湖	1.26 偏中度	2.12 中度	

3 结论

对连云港徐圩新区内的 9 条河流和 6 个湖泊底泥的 pH 值及其 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 的含量进行测定显示:其 pH 值在 7.9~8.7 范围内, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 和 TP 的含量范围分别为 0.32~5.03 mg/kg、1.73~24.68 mg/kg、0.152~0.437 g/kg、0.49~1.16 g/kg, 其中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 的变异系数较高. 该区域内河湖底泥的总氮 I_{geo} 的平均值为 1.97, 处于偏中度污染状态;总磷 I_{geo} 的平均值为 2.30, 处于中度污染状态. 此外, 研究区内河湖底泥中总磷的污染程度略

高于总氮,说明由河湖底泥引起的内源性磷污染对水体的污染风险相对更大. 该研究成果可为治理和保护徐圩新区河湖底泥的生态提供参考. 在今后的研究中,我们将对徐圩新区河湖底泥中的有机氮、溶解性有机碳、亚硝酸盐等理化指标以及重金属的含量进行检测和分析,以更好地为治理和保护该区域生态环境的可持续发展提供科学依据.

参考文献:

- [1] DALU T, WASSERMAN R J, MAGORO M L, et al. River nutrient water and sediment measurements inform on nutrient retention, with implications for eutrophication [J]. Science of the Total Environment, 2019, 684: 296-302.
- [2] 崔键, 杜易, 丁程成, 等. 中国湖泊水体磷的赋存形态及污染治理措施进展[J]. 生态环境学报, 2022, 31(3): 621-633.
- [3] 崔键, 李金凤, 彭颖, 等. 滨海地区初秋河湖水网表层水环境特征及影响因素:以连云港徐圩新区为例[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(6): 132-145.
- [4] 王高祥, 苏小四, 张岩, 等. 连云港徐圩新区盐渍土盐分时空分布特征及其主要影响因素分析[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(3): 16-24.
- [5] 孙学建, 张晗, 黎雪然, 等. 连云港徐圩新区鸟类分布与群落多样性研究[J]. 江苏林业科技, 2023, 50(3): 21-29.
- [6] GUO J X, XIE Y, GUAN A M, et al. Dam construction reshapes sedimentary pollutant distribution along the Yangtze River by regulating sediment composition [J]. Environmental Pollution, 2023, 316: 120659.
- [7] 李天才, 余米, 江瑞, 等. 紫色土池塘养殖底泥理化性质变化及营养沉积过程[J]. 河南农业科学, 2022,

- 51(4):151-159.
- [8] 张占梅,黄大俊,石瑞琦,等.重庆主城区河流底泥中重金属污染现状及生态风险分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(11):122-127.
- [9] 韩继博,张晟瑀,周昊,等.中国北方某湖泊底泥污染分析及重金属潜在生态风险评价[J].世界地质,2022,41(1):227-235.
- [10] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. Geo Journal, 1969, 2(3): 108-118.
- [11] 成杭新,李括,李敏,等.中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J].地学前缘,2014,21(3):265-306.
- [12] 陈静生,周家义.中国水环境重金属研究[M].北京:中国环境科学出版社,1992:168-170.
- [13] 国家环境保护局,中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [14] MA X L, ZUO H, TIAN M J, et al. Assessment of heavy metals contamination in sediments from three adjacent regions of the Yellow River using metal chemical fractions and multivariate analysis techniques[J]. Chemosphere, 2016, 144:264-272.
- [15] 孙映宏.基于Muller地质累积指数法的杭州城区河道底泥重金属污染评价[J].浙江水利水电专科学校学报,2013,25(1):1-3.
- [16] 孟敏,杨林生,韦炳干,等.我国设施农田土壤重金属污染评价与空间分布特征[J].生态与农村环境学报,2018,34(11):1019-1026.

~~~~~

(上接第344页)

下证解的稳定性. 假设  $u$  和  $v$  分别为 MCSH 系统(4) 对应于初值  $u_0$  和  $v_0$  的解, 若  $\|u_0\|_{H^2 \times H^1}$ ,  $\|v_0\|_{H^2 \times H^1} \leq d$ , 则由式(7) 可得:

$$\|\mathcal{F}(u) - \mathcal{F}(v)\|_{X_T} = \|u - v\|_{X_T} \leq C(1+t)(\|u_0 - v_0\|_{H^2 \times H^1} + T\|u - v\|_{X_T}).$$

同样, 令  $T$  足够小且可使  $C(1+T)T \leq \frac{1}{2}$ , 由此可得  $\|u - v\|_{X_T} \leq C\|u_0 - v_0\|_{X_T}$ .

最后证明(1+1) 维 MCSH 系统的解满足约束方程(5). 令  $X: \partial_0 A_0 - \partial_1 A_1$ ,  $Y: \partial_1 \partial_1 A_0 - \partial_1 \partial_0 A_1 - \kappa \partial_1 B - 2e \operatorname{Im}(\phi \overline{D_0 \phi})$ , 则由此再利用式(4) 可分别得:

$$\partial_t X = \partial_0 \partial_0 A_0 - \partial_0 \partial_1 A_1 = \partial_1 \partial_1 A_0 - \kappa \partial_1 B - 2e \operatorname{Im}(\phi \overline{D_0 \phi}) - \partial_1 \partial_0 A_1 = Y,$$

$$\Delta X = \partial_0 \partial_1 \partial_1 A_0 - \partial_1 \partial_1 \partial_1 A_1 = \partial_0 \partial_1 \partial_1 A_0 - \partial_1 [\partial_0 \partial_0 A_1 + \kappa \partial_0 B + 2e \operatorname{Im}(\phi \overline{D_1 \phi})] =$$

$$\partial_t [\partial_1 \partial_1 A_0 - \partial_1 \partial_0 A_1 - \kappa \partial_1 B] - 2e \operatorname{Im}(\phi \overline{D_1 D_1 \phi}) =$$

$$\partial_t [\partial_1 \partial_1 A_0 - \partial_1 \partial_0 A_1 - \kappa \partial_1 B - 2e \operatorname{Im}(\phi \overline{D_0 \phi})] = \partial_t Y.$$

由上式可得  $\square X = 0$  为齐次线性波动方程, 因此  $X \in H^2 \times H^1$  且唯一. 再由文献[6] 可知, 对于任意的  $u(t) \in H^3 \times H^2$  始终有  $X \in H^2 \times H^1$ , 因此有  $X = 0, Y = 0$ , 即  $u(t)$  满足约束方程. 定理 1 证毕.

## 参考文献:

- [1] LEE C, LEE K, MIN H. Self-dual Maxwell-Chern-Simons solitons[J]. Phys Lett B, 1990, 252:79-83.
- [2] CHAE D, CHAE M. The global existence in the Cauchy problem of the Maxwell-Chern-Simons-Higgs system[J]. J Math Phys, 2002, 43:5470-5482.
- [3] JIN G H, MOON B. Local and global solutions to the  $O(3)$ -sigma model with the Maxwell and the Chern-Simons gauges in  $\mathbf{R}^{+1}$ [J]. J Math Anal Appl, 2021, 495:124715.
- [4] HUH H, JIN G H. Remarks on Chern-Simons gauged  $O(3)$  sigma model in one space dimension[J]. J Math Phys, 2019, 60:021508.
- [5] SOGGE C D. Lectures on Nonlinear Wave Equations[M]. Boston MA: International Press, 1995:11-23.
- [6] MONCRIEF V. Global existence of Maxwell-Klein-Gordon fields in  $(2+1)$ -dimensional space-time[J]. J Math Phys, 1980, 21(8):2291-2296.