

嘉陵江南充段枯水期叶绿素 a 与营养盐的空间分布特征

黄兴¹, 朱晓华^{1,2}, 杨艳^{1,2*}, 任丽平^{1,2}, 张柳青¹, 周抑杨¹, 青佳明¹

(1. 西华师范大学环境科学与工程学院, 四川 南充 637000;

2. 西华师范大学环境科学研究所, 四川 南充 637000)

摘要:在嘉陵江南充段及其主要入江支流布设 18 个采样点, 测定总氮、总磷和叶绿素 a 等水质参数, 探讨叶绿素 a 和氮磷有机物空间分布特征及其潜在影响因素, 并运用修正的卡尔森营养状态指数(TSI)评价嘉陵江南充段及其主要入江支流采样点富营养化水平。结果表明:嘉陵江南充段氮磷元素及叶绿素 a 表现出南充市市区段浓度高; 东河、西溪河、螺溪河、西河等支流受人类活动的影响大, 氮磷及叶绿素 a 含量较高; 嘉陵江南充段及其支流采样点 TSI 值在 49.95 ~ 63.69 之间变化, 西河富营养化最严重(TSI 为 63.69), 氮营养盐和溶解氧是影响嘉陵江南充段富营养化状态的主要因子。

关键词: 叶绿素 a; 氮; 磷; 枯水期; 主成分分析; 嘉陵江南充段

中图分类号: X522

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2021)03-0041-04

Spatial Distribution of Chlorophyll A and Nutrients in Dry Season of Jialing River (Nanchong Section)

HUANG Xing¹, ZHU Xiao-hua^{1,2}, YANG Yan^{1,2*}, REN Li-ping^{1,2}, ZHANG Liu-qing¹,
ZHOU Yi-yang¹, QING Jia-ming¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637000, China; 2. Institute of Environmental Science, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract: Total nitrogen, total phosphorus and chlorophyll a in the water from 18 sampling sites in the main tributaries of Jialing River (Nanchong Section) were detected, their spatial distribution characteristics and the potential influencing factors were discussed. The eutrophication level of Jialing River (Nanchong Section) and its tributaries were evaluated according to revised Carlson Nutritional Status Index (TSI). The results showed that the concentration of nitrogen, phosphorus, and chlorophyll a in downtown Nanchong Section of Jialing River were high. East River, Xixi River, Luoxi River, West River and other tributaries were greatly affected by human activities, where the content of nitrogen, phosphorus, and chlorophyll a were high. The value of TSI varied from 49.95 to 63.69 in Jialing River (Nanchong Section) and its tributaries. The eutrophication was of the most serious in West River (TSI = 63.69). Nitrogen and dissolved oxygen were the main factors affecting the eutrophication of Jialing River (Nanchong Section).

Key words: Chlorophyll a; Nitrogen; Phosphorus; Dry season; Principal component analysis; Jialing River (Nanchong section)

目前,江河湖泊水体富营养化程度日渐加剧,成为水环境保护的突出问题。氮磷是浮游植物生长必需的营养元素,其浓度变化影响湖泊水库富营养化进程^[1-2]。叶绿素 a (Chl-a) 作为光合作用的主要色素,也是划分水体富营养化的重要依据,在

收稿日期: 2020-03-27; 修订日期: 2021-03-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(41807458); 南充市科技计划基金资助项目(19YFZJ0076); 西华师范大学英才科研基金资助项目(17YC145, 17YC548); 西华师范大学博士科研启动基金资助项目(17E055, 15E011)

作者简介: 黄兴(1997—), 女, 四川宜宾人, 在读研究生, 研究方向为水污染控制与水环境保护。

* 通信作者: 杨艳 E-mail: sisiter_yy@sina.cn

评价水体富营养化程度中起着关键性作用^[3]。近年来,专家学者对江河湖泊氮磷分布特征及其富营养化探究多集中在丰水期,而枯水期气温较低,水下光照相对较弱,来水量较少,温度和光照对于浮游植物 Chl-a 含量的影响尤其重要。嘉陵江作为长江支流中流域面积最大,长度仅次于雅砻江的大河,是南充市内最长的河流,其水质状况关系到南充市工农业生产和居民生活用水安全。今以嘉陵江南充段及其主要入江支流为研究区域,探讨研究区枯水期 Chl-a、氮磷的空间分布特征,采用修正的卡尔森营养状态指数(TSI)评价其水体富营养化等级,并分析其潜在影响因素,为加强对该河段的管理和保护提供有效的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域概况

嘉陵江南充段(E105°57'26"~E106°23'32", N30°28'41"~N31°36'57")位于川东北地区,属嘉陵江中游,亚热带季风气候,多年平均流量为2 120 m³/s,年平均降水量774.8 mm,径流量约占长江的7.31%,长约271 km,是南充市内最长的河流,承担着南充市内700多万人口,以及2 200多万头牲口的供水,是重要的涵养水源地^[1]。嘉陵江经广元市入川,南流至阆中市(南充市入境),经南充市嘉陵区流入广安市烈面镇(南充市出境)。

1.2 采样点布设

根据嘉陵江南充段水流方向共布设18个采样点(S1—S18)见图1。其中,6个采样点(S10—S15)位于南充市市区,4个采样点(S1、S4、S5、S8)位于县城,8个采样点(S2、S3、S6、S7、S9、S16—S18)位于乡镇。东河(S2)、西溪河(S6)、螺溪河(S11)、西河(S14)为嘉陵江南充段主要入江支流。于2019年12月进行野外样品采集。

1.3 样品采集与测定

按照《水和废水监测分析方法》(第四版),将采集的表层(0.5 m)水样贮存在润洗后的聚氯乙烯瓶中,当天送回实验室,样品避光于冰箱4℃保存,所有指标均在3 d内测完。样品原水采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定总氮(TN)、总磷(TP)。水样经0.45 μm微孔滤膜过滤后,采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定溶解性总氮(DTN),紫外分光光度法测定硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、磷酸盐(PO₄³⁻-P),纳氏试剂比色法测

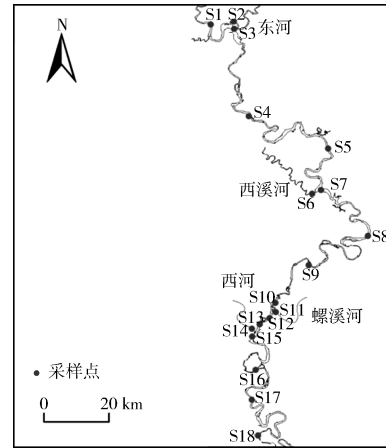


图1 研究区采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in study area

定氨氮(NH₃-N),丙酮-分光光度法测定 Chl-a^[4]。溶解氧(DO)、水温和pH值使用美国哈希多参数水质检测仪在现场直接测定。透明度(SD)采用塞氏盘测定。

1.4 评价方法

根据TSI对嘉陵江南充段水体富营养化程度作评价,TSI采用0~100的系列数字对湖泊营养状态分级:TSI<37,为贫营养;37≤TSI≤54,为中营养;TSI>54,为富营养^[5-6]。计算公式如下:

$$TSI_M(\text{Chl-a}) = 10 \times [2.46 + \ln(\text{Chl-a}) / \ln 2.5] \quad (1)$$

$$TSI_M(\text{TP}) = 10 \times \{2.46 + [6.71 + 1.15 \times \ln(\text{TP})] / \ln 2.5\} \quad (2)$$

$$TSI_M(\text{SD}) = 10 \times \{2.46 + [3.69 - 1.53 \times \ln(\text{SD})] / \ln 2.5\} \quad (3)$$

$$TSI = [TSI_M(\text{Chl-a}) + TSI_M(\text{TP}) + TSI_M(\text{SD})] / 3 \quad (4)$$

式中:TSI_M(Chl-a)、TSI_M(TP)、TSI_M(SD)分别是以Chl-a、TP、SD为基准的营养状态指数,Chl-a、TP、SD分别为各参数的实测值。

利用SPSS 23.0软件和Origin 64对实验数据进行分析。

2 结果与讨论

2.1 研究区水文变化情况

于全国水雨情信息网站(<http://xxfb.mwr.cn/ssIndex.html?type=2>)收集嘉陵江南充段枯水期水文数据。南充站平均水位267 m,流量变化范围为265 m³/s~815 m³/s,平均值为464.80 m³/s,烈

面站(南充市出境)平均水位 210 m,流量变化范围为 107 m³/s ~ 814 m³/s,平均值为 513.70 m³/s。阆中站平均水位 351.67 m,均未超过警戒水位。

2.2 研究区水体污染状况分析

监测期间研究区水体理化指标、氮磷和 Chl-a 的空间分布情况见图 2(a)–(f)。

2.2.1 水温、pH 值和 DO 变化特征

由图 2(a)(b)(c)可见,研究区水温在 11.4 °C ~ 13.93 °C 之间变化,平均值为 (13.04 ± 0.66) °C,变化幅度较小。pH 值变化范围为 8.14 ~ 8.58,平均值为 8.30 ± 0.10,在采样点 S9—S14 间表现为缓慢升高的趋势。DO 质量浓度变化范围为 9.21 mg/L ~ 10.78 mg/L,平均值为 (9.80 ± 0.39) mg/L,在采样点 S8—S14 间呈现缓缓升高的趋势。根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)(以下简称《标准》),研究区水体中 DO 和 pH 值均达到地表水 I 类水质标准。

2.2.2 氮素空间分布及成因

含过量氮的污水排入河流后会在水中浮游植物大量繁殖,消耗水中大量 DO,水生动物大量死亡,发生厌氧分解,造成水质恶化^[7]。由图 2(d)可见,研究区 TN、TDN、NO₃⁻-N 和 NH₃-N 质量浓度变化范围分别为 1.34 mg/L ~ 3.01 mg/L、1.09 mg/L ~ 2.33 mg/L、1.01 mg/L ~ 2.32 mg/L 和 0.04 mg/L ~ 1.16 mg/L,平均值分别为 (1.84 ± 0.39) mg/L、(1.45 ± 0.28) mg/L、(1.35 ± 0.27) mg/L 和 (0.29 ± 0.33) mg/L。NO₃⁻-N 和 NH₃-N 同属于无机氮,二者能够通过硝化作用和反硝化作用实现互相转化,从而改变水中氮的形态。图中显示南充市区段(S10—S15)氮元素含量较高,其中西河(S14) TN 质量浓度最高,这一方面是因为西河两岸城镇化快速发展,城市人口剧增,居民生产生活用水量增加,生活污水的排放导致河流污染^[8];另一方面,南充市区(S10—S15)水体温度略高,DO 较低,高温和低 DO 的环境条件促进了底泥中有机氮的分解,从而加速了水体底部氮向上覆水的释放,使得水中氮磷含量较高^[9-10]。

2.2.3 磷素空间分布及成因

由图 2(e)可见,研究区 TP、PO₄³⁻-P 质量浓度变化范围分别为 0.05 mg/L ~ 0.13 mg/L、0.01 mg/L ~ 0.12 mg/L,平均值分别为 (0.08 ± 0.02) mg/L、(0.045 ± 0.02) mg/L,空间分布差异不大,达到《标准》中的 II 类水质标准。图中显示

西河(S14)TP 质量浓度为 0.13 mg/L,远高于研究区平均值 0.08 mg/L,其分布规律与氮大体一致。虽然主要入江支流(S2、S6、S11、S14)磷含量较高,但嘉陵江南充段流域面积广阔,入江支流汇入嘉陵江南充段后受到较强的稀释作用,故支流磷含量对嘉陵江南充段整体影响不大。西河(S14)TP 质量浓度远高于其他采样点,这是由于西河位于南充市顺庆区市区段,水流速度缓慢,且枯水期降水量小,加之沿岸排放的居民生活用水,以及化工厂排放较多的含磷废水而引起^[11]。同时,在低浓度的 DO 环境条件下,底泥中的磷向上覆水中释放的速度加快,使得该段内 TP 浓度较高,可 TP 的释放规律与

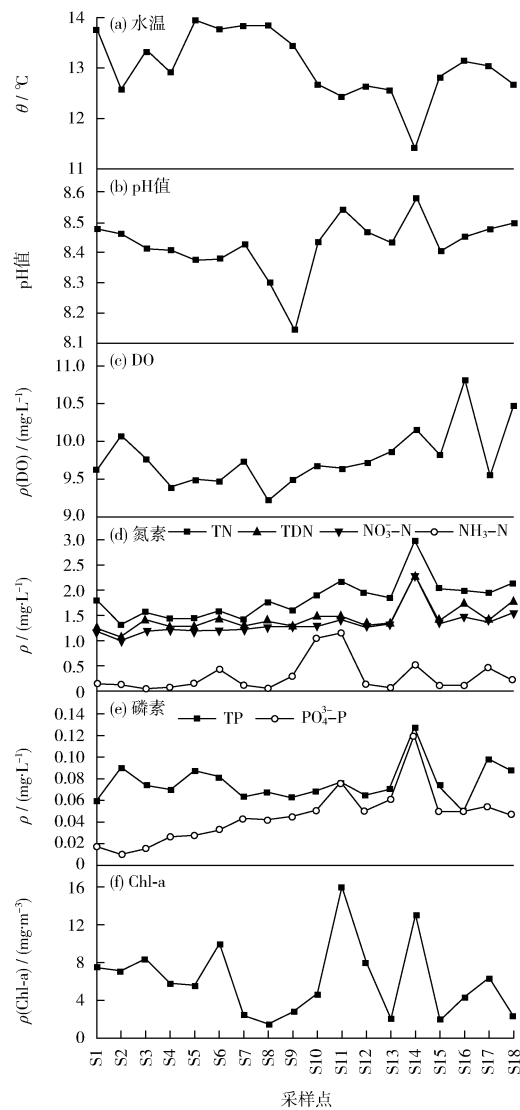


图 2 监测期间研究区各采样点水质指标值
Fig. 2 Water quality index in each sampling site in the study area during the monitoring period

TN不同,其释放强度随DO变化的规律较为明显^[10]。此外,有研究显示水中部分异养微生物的存在能够将沉积物中的有机质部分矿化,生成二氧化碳(CO₂)和甲烷(CH₄),从而引起沉积物中氮、磷的释放,进而加速了水体富营养化的过程^[12-13]。

2.2.4 Chl-a 空间分布规律

Chl-a 是评价浮游植物现存量 and 湖泊富营养状态的重要指标^[14]。由图2(f)可见,研究区 Chl-a 质量浓度存在分布不均匀的特点,其变化范围为 1.55 mg/m³ ~ 15.77 mg/m³,平均值为 (6.41 ± 3.95) mg/m³,最大值出现在螺溪河(S11)处,最小值出现在蓬安段(S8)处。螺溪河位于南充市区,两岸城市居民生活污水排入河流且枯水期水流量较小,高浓度的氮、磷营养盐促进了水中浮游植物的生长,从而使得该支流段的 Chl-a 浓度较高,这与杨子超等^[15]、杨广利等^[16]的研究结论相似。

研究区营养状态评价结果见表1。由表1可知,研究区 TSI 变化范围为 49.95 ~ 63.69,整体水质表现出富营养化。其中,西河(S14) TSI 值为 63.69,水体富营养化程度最高,这是由于西河位于南充市区内,两岸居民生活污水和工厂排放的工业废水中含有大量的氮磷,污水和废水没有得到有效的处理而直接排入西河,导致河水中氮磷浓度高,加速了水体富营养化^[17]。

表1 研究区营养状态评价结果

Table 1 Evaluation results of nutritional status in the study area

采样点	TSI _M (Chl-a)	TSI _M (TP)	TSI _M (SD)	TSI	营养水平
S1	44.6	62.4	64.07	57.02	富营养
S2	44.2	67.7	60.35	57.42	富营养
S3	45.8	65.2	60.35	57.12	富营养
S4	42.2	64.5	60.35	55.68	富营养
S5	41.9	67.3	62.74	57.31	富营养
S6	47.6	66.4	64.07	59.36	富营养
S7	33.4	63.2	61.50	52.70	中营养
S8	29.0	64.0	56.85	49.95	中营养
S9	35.1	63.2	61.50	53.27	中营养
S10	40.1	64.2	64.07	56.12	富营养
S11	52.2	65.6	70.84	62.88	富营养
S12	45.4	63.5	59.27	56.06	富营养
S13	32.0	64.5	62.74	53.08	中营养
S14	50.2	72.0	68.88	63.69	富营养
S15	31.1	65.2	62.74	53.01	中营养
S16	39.4	60.2	59.27	52.96	中营养
S17	43.1	68.8	64.07	58.66	富营养
S18	33.0	67.3	59.27	53.19	中营养

2.3 主成分分析

为探究环境因子对研究区水体的潜在影响,对 Chl-a、TN、DTN、NO₃⁻-N、NH₃-N、TP、PO₄³⁻-P、DO、水温、pH 值等 10 个因子进行主成分分析^[18],结果见表2。由表2可知,提取出主成分1(F1)、主成分2(F2)、主成分3(F3),其方差贡献率分别为 56.07%、14.84%、10.19%,累计贡献率达到 81.10%。F1 中 TN、DTN、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P 占的载荷较大,说明 F1 主要反映的是氮营养盐,该营养盐会促进浮游植物的生长;F2 中 Chl-a 所占的载荷较大,Chl-a 间接反映了水中浮游植物数量;F3 中 DO 所占的载荷较大。研究得到,氮营养盐和 DO 是影响研究区水体富营养化的驱动因子,应加强对嘉陵江外源氮输入的管理和控制,这与赵旭德等^[19]的研究结果有相似之处。

表2 主成分分析结果

Table 2 Principal component analysis results

项目	F1	F2	F3
TN	0.843	0.284	0.336
DTN	0.859	0.122	0.374
NO ₃ ⁻ -N	0.920	0.174	0.297
NH ₃ -N	0.262	0.771	-0.128
TP	0.488	0.480	0.203
PO ₄ ³⁻ -P	0.892	0.313	0.121
DO	0.256	-0.270	0.850
水温	-0.539	-0.383	-0.519
pH 值	0.113	-0.505	0.778
Chl-a		-0.875	-0.190
贡献率/%	56.07	14.84	10.19
累计贡献率/%	56.07	70.91	81.10

3 结论

(1) 研究区枯水期 TN、TP 和 Chl-a 质量浓度变化范围分别为 1.34 mg/L ~ 3.01 mg/L、0.05 mg/L ~ 0.13 mg/L 和 1.55 mg/m³ ~ 15.77 mg/m³,表现为南充市区段质量浓度较高。西河 TN 和 TP 质量浓度最高,分别为 3.01 mg/L 和 0.13 mg/L,螺溪河 Chl-a 质量浓度最高,为 15.77 mg/m³。

(2) 研究区 TSI 值在 49.95 ~ 63.69 之间变化,西河 TSI 值最高,为 63.69,富营养化最严重。东河、西溪河、螺溪河和西河受人类活动影响大,氮磷及 Chl-a 浓度较高,应加强对支流水质的管理。

(3) 氮营养盐和 DO 是研究区水体富营养化的主要影响因子,应加强对外源氮输入的管控。

(下转第 63 页)