

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2017.02.2016050801

于玲红, 王晓云, 李卫平, 等. 包头市南海湿地水质现状分析与评价[J]. 环境化学, 2017, 36(2): 390-396.
YU Linghong, WANG Xiaoyun, LI Weiping, et al. Analysis and evaluation of water quality status in the Nanhai wetland of Baotou [J].
Environmental Chemistry, 2017, 36(2): 390-396.

包头市南海湿地水质现状分析与评价*

于玲红¹ 王晓云¹ 李卫平^{1**} 高静湑¹ 鲍交琦² 王佳宁¹

(1. 内蒙古科技大学能源与环境学院, 包头, 014010; 2. 包头市生态湿地保护管理中心, 包头, 014010)

摘 要 南海湖是包头市唯一的天然湖泊, 为了解包头市南海湿地的水质现状, 根据南海湿地进出水特点于 2015 年 4—11 月合理布点采样, 通过检测 pH、DO、TN、TP、DP、NO₃-N、NO₂-N、NH₃-N、COD_{Cr}、Chl(a) 等指标, 对湿地水质现状进行分析, 并采用污染指数法和营养状态指数法对湿地水体进行评价. 结果表明, 南海湿地水体达到严重污染级别, 根据污染负荷分担率 K_i 值可知化学需氧量(22.93—45.98)、总氮(27.69—38.10)、总磷(5.93—28.03)对水体的污染最为显著, 均超过地表水 V 类标准, 监测期间各点位 TSI(chla) 值均大于 53, 可知南海湖现已处于富营养状态.

关键词 包头市南海湿地, 污染指数评价, 营养状态指数法, 水质分析.

Analysis and evaluation of water quality status in the
Nanhai wetland of Baotou

YU Linghong¹ WANG Xiaoyun¹ LI Weiping^{1**} GAO Jingxian¹
BAO Jiaoqi² WANG Jianing¹

(1. School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and technology, Baotou, 014010, China;
2. Baotou Ecological Wetland Conservation and Management Center, Baotou, 014010, China)

Abstract: Nanhai lake is the only natural lake in Baotou. In order to understand the water quality of Nanhai wetland in Baotou, this research sampled influent and effluent water in Nanhai wetland from April to November in 2015, measured the indices of pH, DO, TN, TP, DP, NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N, COD_{Cr}, Chl(a), etc., and assessed the water quality by pollution index method and nutritional status index method. The results showed that Nanhai wetland had reached the serious pollution level. According to the analysis of the pollution loading (the value of K_i), chemical oxygen demand (22.93—45.98), total nitrogen (27.69—38.10) and total phosphorus (5.93—28.03) polluted the water most seriously, and all of them exceeded the class V standard of surface water. The TSI(chla) value was greater than 53 at every sampling site, so the water of Nanhai lake was in eutrophic state.
Keywords: Nanhai wetland of Baotou, pollution index, nutritional status index method, water quality analysis.

湿地是最富生物多样性生态景观和人类最重要的生存环境之一^[1]. 湿地因具有巨大的水文和元素

2016 年 5 月 8 日收稿 (Received: May 8, 2016).

* 内蒙古包头黄河湿地生态系统国家定位观测研究站运行补助 (2015-LYPT-DW-037) 和国家自然科学基金 (41263010) 资助.

Supported by Inner Mongolia baotou Yellow River Wetland Ecosystem State Locating Observation Station (2015-LYPT-DW-037) and the National Natural Science Foundation of China (41263010).

** 通讯联系人, Tel: 18604720301, E-mail: sjlwp@163.com

Corresponding author, Tel: 18604720301, E-mail: sjlwp@163.com

循环功能,被誉为“地球之肾”^[2].南海湿地位于干旱草原地区,年平均降雨量不足 400 mm,而年蒸发量约 2300 mm,地表水十分缺乏,南海湖是包头市区唯一的天然湖泊,不仅为野生动物提供理想的场所,湖中的藻类、香蒲、芦苇等水生植物的吸收、分解、积累对水体具有净化作用^[3-6],而且在蓄水防洪、调节气候、防止水土流失、保障包头市生态安全等方面发挥着重要作用^[7-8],可谓包头之“肾”^[9].但是,近年来由于黄河水量减少、人口增多、城市污染和工农业的影响,湿地水体质量明显下降,水体呈绿色,可见度底,污染呈现加剧趋势,水生生物多样性降低,湿地面积持续萎缩,导致湿地生态服务功能退化问题日益突出^[10].

水质现状与富营养化状况分析是掌握湖泊水环境状况和进行水质管理的基础^[11-12],为此,于 2015 年4 月至 11 月对南海湿地的水质现状及主要污染物进行研究与分析,旨在为南海湿地的污染治理和管理提供一定的理论依据.

1 研究方法(Research methods)

1.1 采样点的设置

南海湿地各采样点位置见图 1,功能分区和环境情况见表 1.

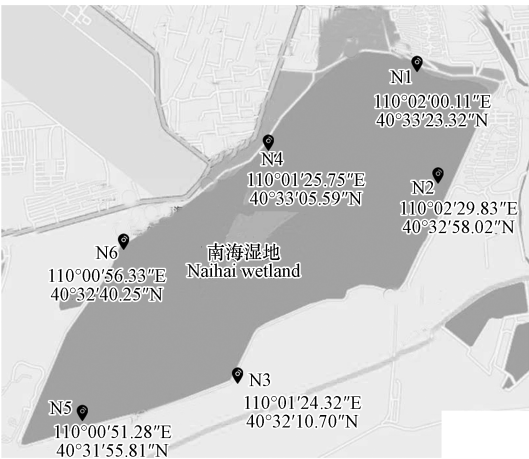


图 1 研究区监测点位示意图

Fig.1 Illustration of sampling sites in Nanhai wetland

表 1 南海湿地各采样点的功能分区及特征植物

Table 1	The function classitication and predominant plant of the sampling sites in Nanhai wetland					
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
功能划分	引水入口	内湖植被恢复区	外湖植被恢复区	旅游开发区	控水出口	内湖植被恢复区
特征植物	芦苇	枸杞	芦苇	—	芦苇	香蒲

1.2 样品的采集与处理

2015 年 4 月至 11 月每月中旬对南海湿地 6 个取样点进行取样,每次取样均在 7 d 内无极端天气(如大规模降雨和沙尘暴等)的情况下进行,并且采集区域无突发性污染事件,以避免高污染负荷冲击对监测带来影响.采样时间为上午 9:00—11:00,现场使用便携式多参数水质分析仪对水温、溶解氧、电导率、盐度、溶解性总固体、pH、氧化还原电位进行监测,透明度采用塞氏盘法测定.所有样品的采集使用去离子水清洗干净的聚乙烯采样瓶密封保存,带回实验室立即测定.

实验室监测水质指标的测定方法参照《水和废水监测分析方法(第四版)》^[13]具体分析方法见表 2.

表 2 相关水质指标的测定方法
Table 2 Determination methods of water quality indices

水质指标 Quality index	测定方法 Determination method	水质指标 Quality index	测定方法 Determination method
总氮 (TN)	碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法	溶解性磷	过硫酸钾消解-钼酸铵分光光度法
氨氮	纳氏试剂分光光度法	叶绿素 a	丙酮提取法
硝态氮	紫外分光光度法	化学需氧量 (COD _{Cr})	重铬酸钾法
亚硝态氮	N-(1 萘基)-乙二胺光度法	悬浮物	重量法
总磷 (TP)	过硫酸钾消解-钼酸铵分光光度法		

1.3 水质分析标准和方法

水质现状分析以水质监测结果为依据;水质评价参照国家颁布的地表水环境质量标准进行;富营养化评价采用综合营养状态指数 TSI(chla)法进行评价。

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 湿地水质现状分析

(1)pH 在监测期间南海湿地水体 pH 值在 8.12—9.41 之间,如图 2 所示,南海湿地各点 pH 值均在 8—9 之间,可见南海湿地总体碱度大,主要是由于南海湿地流速在 0.1 m·s⁻¹左右,水体流动缓慢,易于藻类等水生植物大量繁殖,水中植物的光合作用会消耗水中的 CO₂导致水中 pH 的增加.10 月以后,水生植物开始凋零,各监测点 pH 值有不同程度的降低。

(2)溶解氧 在监测期间南海湿地的溶解氧 4—11 月月均值分别为:3.84、5.25、5.68、7.15、7.68、5.97、6.35、5.14 mg·L⁻¹,如图 3 所示.由图 3 可以看出,南海湿地的溶氧值随着时间的变化先升高后降低,主要是由于 4、5 月份温度升高植物刚开始生长,光合作用微弱,水生植物生长所消耗的溶解氧远大于光合作用产生的溶解氧,故 4、5 月份水体中的溶解氧浓度略低;而 6—8 月份水生植物已经生长成熟,水生植物进行光合作用会产生大量的氧气,因此湿地水体中的溶解氧含量上升.10 月以后,溶解氧值较 9 月有明显的降低,是由于 10 月开始温度降低,植物凋零,光合作用减弱,产生的氧气减少所致。

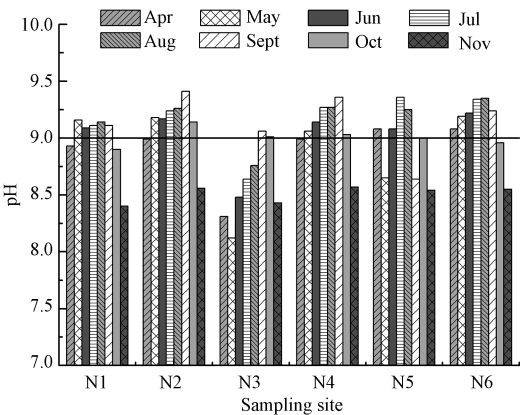


图 2 南海湿地水中 pH 变化
Fig.2 pH change in the Nanhai wetland

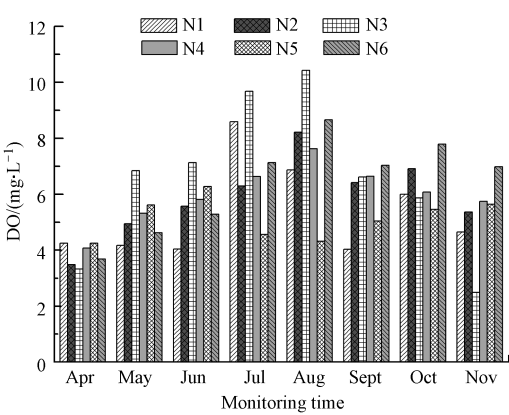


图 3 南海湿地溶解氧变化
Fig.3 Change of dissolved oxygen in the Nanhai wetland

(3)总磷 南海湿地不同形态磷含量如图 4 所示.南海湿地水体中不溶性磷的含量在 0.10—0.17 mg·L⁻¹之间,平均值为 0.13 mg·L⁻¹,占总磷含量的 89.4%左右.溶解性磷含量较少,在 0.0067—0.025 mg·L⁻¹之间,平均值为 0.015 mg·L⁻¹,占总磷含量的 10.6%左右。

南海湿地水体中 TP 的来源主要是生活污水和地表径流引入的农业污染物.从图 4 可以看出,南海湿地水体中的磷主要以不溶性磷的形式存在.一方面磷肥施入土壤后,没有被植物吸收的部分,很快与土壤发生理化反应,转化成难溶性磷酸盐^[14],随着地表径流进入湿地水体.另一方面湿地中的水生植物

主要利用溶解性磷合成各类供生命活动需要的化合物,从而降低了水体中溶解性磷的含量.N1 和 N6 点溶解性磷的含量最低,主要是在 N1 点生长着大量的芦苇,N6 点香蒲生长茂盛,磷作为植物营养素被大量吸收;虽然 N3 点也生长着大量芦苇,但是由于 N3 点位于南海湿地外湖区,紧靠公路受外界影响较大,底泥受扰动磷元素得到释放,使 N3 点总磷含量升高。

(4)总氮 南海湿地水体中各形态氮的含量如图 5 所示.可见,南海湿地硝态氮含量所占百分比超过了 50%,其含量在 0.823—4.908 mg·L⁻¹之间,平均值为 2.94 mg·L⁻¹;亚硝态氮的含量最低,只占总氮含量的2.66%,其含量在 0.062—0.141 mg·L⁻¹之间,平均值为 0.12 mg·L⁻¹。

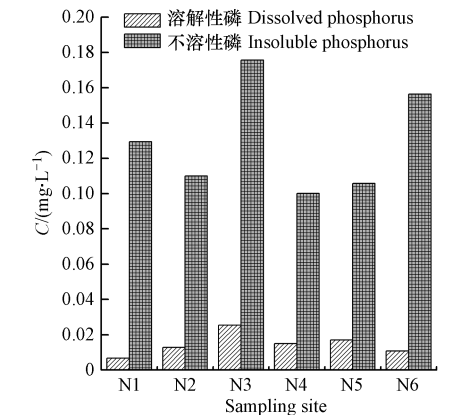


图 4 不同形态磷含量
Fig.4 Contents of different forms of phosphorus

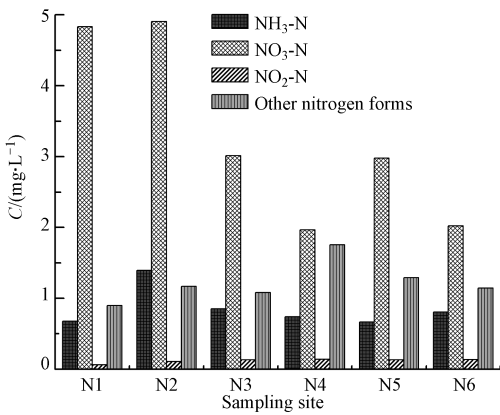


图 5 南海湿地不同形态氮含量
Fig.5 Contents of different forms of nitrogen

南海湿地总氮来源与总磷相同,通过对进入南海湿地的生活污水进行检测,得出排入南海湿地的氮主要以硝态氮和氨氮的形式存在,农业污染物中的氮主要以铵态氮和硝态氮的形式存在^[13].硝态氮高一方面来源于生活污水和农业污染物,另一方面水中溶解氧含量高,有利于氨氮和亚硝态氮转化为硝态氮,而且湿地 pH 值在 9 左右,水中氨氮的挥发速率较大,一部分氨氮以气态形式挥发离开湿地系统^[15],导致氨氮值偏低。

(5)化学需氧量 南海湿地 COD_{Cr}变化如图 6 所示.5—11 月化学需氧量的月均值分别为:90.21、87.08、103.54、88.98、94.13、76.70、140.27 mg·L⁻¹.由此可见南海湿地水体受有机污染严重.主要是由于黄河水量减少,湿地主要依靠东河补水,而东河接纳了周边工业区的工业废水、生活区的大量生活污水,因此东河受污染水体增加了南海湿地的水质污染程度。

经过对进入南海湿地的污水进行检测,排入南海湿地的污水 COD_{Cr}值高达 150—260 mg·L⁻¹之间,从图 6 可以看出,N1、N3、N6 点 COD_{Cr}值较其他点低,主要原因是 N1、N3 点生长大量芦苇,N6 点生长大量香蒲,一方面植物本身能吸收部分有机污染物,另一方面植物根系微生物能促进有机污染物质分解,提高 COD 的净化能力.10 月以后,各点化学需氧量都有所升高.在十一月份达到最大值,经分析主要是因为冬季温度降低,植物死亡,水生植物对有机污染物的降解最弱,使南海湿地化学需氧量升高。

(6)叶绿素 a 南海湿地 Chl(a)变化如图 7 所示.6—11 月叶绿素 a 的均值分别为:40.22、47.58、50.27、155.00、65.04、18.20 mg·m⁻³.由此可见南海湿地水体中叶绿素 a 含量的时空变化明显.叶绿素 a 的含量在九月达到顶峰,是由于经过一个夏季的生长期,水中的藻类累积到最大值,这时水中的藻类繁殖量最大.而十月以后,温度降低,藻类繁殖减弱,数量减少,叶绿素 a 的含量有所下降。

2.2 水质评价

本文水质评价选用污染指数评价方法,根据水质组分浓度相对于其环境质量标准的大小来判断水质状况.水质污染指数 P 的计算公式:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \tag{1}$$

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \tag{2}$$

式中, P 为水质污染指数; P_i 为污染物 i 的污染指数; C_i 为污染物 i 的实测浓度; S_i 为污染物 i 的评价标准; n 为参加评价的污染个数.

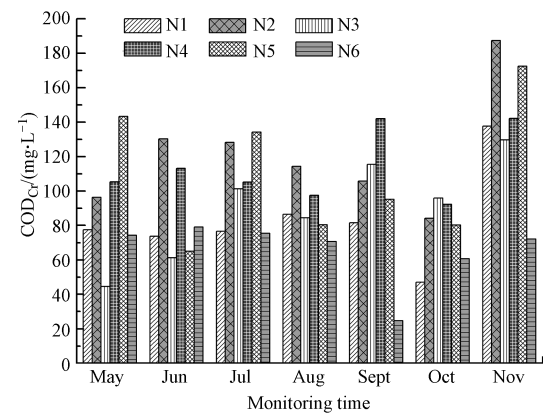


图 6 南海湿地 COD_{Cr}变化图
Fig.6 Changes of COD_{Cr} in the Nanhai wetland

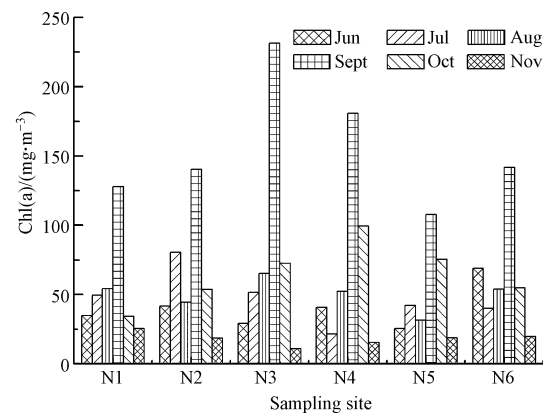


图 7 南海湿地 Chl(a)变化图
Fig.7 Change of Chl(a) in the Nanhai wetland

污染负荷分担率 K_i 的计算公式:

$$K_i = (P_i / \sum_{i=1}^n P_i) \times 100\%$$

(3)

污染指数评价法依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)中的Ⅲ类水体水质标准确定,使用的评价因子及标准限值如表 3 所示.

表 3 地表水Ⅲ类水质标准项目标准限值
Table 3 The limit value of class Ⅲ for surface water

水质指标 Water quality index	pH	DO/ (mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)
Ⅲ类	6—9	≥5	≤20	≤1.0	≤0.2	≤1.0

水质指标的值取各采样点 7 次采样的平均值进行计算,各采样点的水质污染指数 P 值计算结果见下表 4,其污染负荷分担率 K_i 值见表 5.

表 4 南海湿地水质污染指数表
Table 4 The pollution index of water in Nanhai wetland

点位 Sampling site	N1	N2	N3	N4	N5	N6
P 值	2.56	2.74	2.11	2.30	2.38	2.45
污染级别	严重污染	严重污染	严重污染	严重污染	严重污染	严重污染

表 5 各采样点水质指标的均值及 K_i 值

Table 5 The mean value and K_i value of water quality index from each sampling site

监测点位 Sampling site	pH		DO		COD		NH ₃ -N		TP		TN	
	均值 Mean value	K_i	均值 Mean value	K_i	均值 Mean value	K_i	均值 Mean value	K_i	均值 Mean value	K_i	均值 Mean value	K_i
N1	9.09	8.47	5.63	7.34	94.87	30.94	0.68	4.42	0.74	24.03	4.67	30.45
N2	9.17	7.96	5.70	6.93	126.49	38.42	1.39	8.47	0.36	10.85	5.39	32.71
N3	8.46	9.55	7.48	11.82	94.10	37.15	0.85	6.73	0.17	6.57	4.82	38.10
N4	9.15	9.48	5.84	8.47	63.18	22.93	0.73	5.28	0.77	28.03	4.46	32.39
N5	9.08	9.10	5.58	7.83	131.08	45.98	0.67	4.67	0.17	5.93	4.63	32.50
N6	9.24	8.98	5.23	7.12	117.79	40.10	0.64	4.36	0.50	17.68	4.07	27.69

南海湿地各点的水质污染指数在 2.11—2.74 之间,各监测点位均属于严重污染.从污染负荷分担率 K_i 值可知,南海湿地的首要污染物是化学需氧量,其次是总氮和总磷.从各指标的监测平均值看,化学需氧量、总磷、总氮均超过地表水 V 类标准.主要是因为南海湿地位于包头市东河区,该地区人口多,人为污染大,且南海湿地补水来源东河主要接纳东河区的污水,故此南海湿地水体有机污染严重.另外从时间角度分析,包头市 7、8 月份降雨量最多,占全年降雨量的 55.4%,在此期间雨水径流可能将大量地面污染物和农业区的污染物带入水体,导致氮磷污染指数升高.

2.3 富营养化评价

富营养化评价采用营养状态指数法 TSI(chla) 法,其分级评价标准见表 6,计算公式如下:

$$TSI(chla) = 10(6 - \frac{2.04 - 0.68\ln(chla)}{\ln 2})$$

(4)

式中, chla 表示叶绿素 a 的含量($mg \cdot L^{-1}$).

表 6 TSI(chla) 的分级评价标准

Table 6 TSI (chla) grading evaluation criteria

TSI 值范围 Range of TSI value	TSI≤37	37<TSI≤53	TSI>53
富营养程度 Level of eutrophication	贫营养型	中营养型	富营养型

通过连续测定南海湿地 2015 年 6 月至 11 月的叶绿素 a 含量,采用营养状态指数公式计算得出,监测期间南海湿地各点位 TSI(chla) 值均大于 53,由此可以看出南海湿地水质处于富营养化状态.南海湿地各点 TSI(chla) 值见图 8.

湿地是以水为中心的系统,近年来包头城市化的加快、人口的增加和农业的发展增加了 N、P 的排放;多年来由径流带入湿地的水体污染物总量大大超过了水体的自净能力;人们对湿地价值缺乏必要的认知,在湿地进行无秩序、不科学的捕捞和放牧活动.通过监测数据,污水进入南海湿地后,各项污染指标均有所降低,尤其在 N1、N3、N6 点的植物较其他点位茂盛,且污染物含量低于其他点位,可知湿地水生植物对湿地水质的净化有不可小觑的作用,但是南海湖内对 N、P 有去除作用的芦苇、香蒲覆盖率较低,由于产量低而不被收割利用,反而会对水质造成二次污染.南海湿地水体流动缓慢,富营养化严重,虽然污染物可以被水中的藻类吸收,但藻类吸收、生长、繁殖、死亡,最后沉积在底泥中,污染物长期在水体中累积沉积导致沉积物在水环境中释放污染物^[16],使底泥也成为了南海湖的内源污染贡献者.

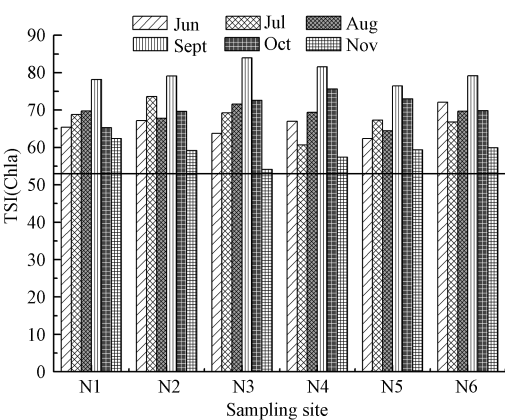


图 8 南海湿地各点 TSI(chla) 值
Fig.8 TSI (chla) values in the Nanhai wetland

3 结论 (Conclusion)

- (1)通过对包头南海湿地水体进行污染指数评价,化学需氧量的污染负荷分担率 K_i 值最高在 22.93—45.98 之间,总氮和总磷的 K_i 值分别为 27.69—38.10 和 5.93—28.03 之间,并且监测期间这 3 项指标均超过地表水 V 类标准.因此化学需氧量、总氮、总磷对污染的贡献值最高.
- (2)经营养状态指数法对南海湿地水体进行富营养化评价,监测期间南海湿地各点位 TSI(chla) 值均大于 53,可知南海湿地水体已处于富营养化状态.
- (3)在 N1、N3、N6 等植被丰富的点位 COD_{Cr} 和 TN、TP 的含量较其他点位低,说明湿地中的水生植物对水质净化存在一定的作用,但是由于南海湿地缺乏管理,水生植物不被收割利用,反而易对水质造成二次污染.

参考文献 (References)

- [1] 武士蓉,徐梦佳,赵彦伟,等.白洋淀湿地水质与水生生物相关性研究[J].环境科学学报,2013,33(11):3160-3165.
WU S R, XU M J, ZHANG Y W, et al. Correlation between water quality and aquatic life in Baiyangdian wetland[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(11): 3160-3165 (in Chinese).
- [2] 孙广友.中国湿地科学的进展与展望[J].地球科学进展, 2000, 15(6): 666-672.
SUN G Y. Development and prospect of wetland science in China [J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(6): 666-672 (in Chinese).
- [3] 刘建龙.包头黄河湿地水质评价与需水量研究[D].包头:内蒙古科技大学, 2015.
LIU J L. Water quality assessment and water demand analysis of the Yellow River wetland in Baotou[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2015 (in Chinese).
- [4] 刘峰,李秀启,黄贯仓,等.黄河口滨海湿地水质污染物现状研究[J].中国环境科学, 2011, 31(10): 1705-1710.
LIU F, LI X Q, HUANG G C, et al. Water pollution of Yellow River estuary coastal wetland[J]. China Environmental Science, 2011, 31(10): 1705-1710 (in Chinese).
- [5] 张波,翟路,林杰,等.南京城市湖泊湿地的水质动态及其评价[J].湿地科学与管理, 2011, 7(1): 29-39.
ZHANG B, ZHAI L, LIN J, et al. The dynamics of water quality of urban wetland and its assessment [J]. Wetland and Science & Management, 2011, 7(1): 29-39 (in Chinese).
- [6] 刘征,刘洋.水污染指数评价方法与应用分析[J].南水北调与水利科技, 2005, 3(4): 35-37.
LIU Z, LIU Y. Methods and analyses of water pollution index assessment [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(4): 35-37 (in Chinese).
- [7] 孙霖,沈守云,熊启明,等.4种水生植物对水体水质的影响[J].中南林业科技大学学报, 2011, 31(1): 91-97.
SUN L, SHEN S Y, XIONG Q M, et al. Effects of four aquatic plants on water quality[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(1): 91-97 (in Chinese).
- [8] 赵联芳,朱伟,莫妙兴.沉水植物对水体 pH 值的影响及其脱氮作用[J].水资源保护, 2008, 24(6): 64-66.
ZHAO L F, ZHU W, MO M X. Effect of submerged macrophytes on pH values and nitrogen removal[J]. Water Resources Protection, 2008, 24(6): 64-66 (in Chinese).
- [9] 赵海超,王圣瑞,赵明,等.洱海水体溶解氧及其环境因子的关系[J].环境科学, 2011, 32(7): 1952-1959.
ZHAO H C, WANG S R, ZHAO M, et al. Relationship between the DO and the environment factors of the water body in lake Erhai[J]. Environmental Science, 2011, 32(7): 1952-1959 (in Chinese).
- [10] 袁东海,任全进,高士祥,等.几种湿地植物净化生活污水 COD、总氮效果比较[J].应用生态学报, 2004, 15(12): 2337-2341.
YUAN D H, REN Q J, GAO S X, et al. Purification efficiency of several wetland macrophytes on COD and nitrogen removal from domestic sewage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2337-2341 (in Chinese).
- [11] 任美丽,任海军.包头南海湿地公园在城市生态环境中的重要作用[J].内蒙古水利, 2007, (4): 78-79.
REN M L, REN H J. The significance of Nanhai wetland park in urban ecological environment [J]. Inner Mongolia Water Resources, 2007, (4): 78-79 (in Chinese).
- [12] 智颖颀,王玉文,王燕,等.包头南海湿地水体环境季节性变化与生态功能货币化评价[J].干旱区资源与环境, 2014, 28(2): 124-128.
ZHI Y B, WANG Y W, WANG Y, et al. An assessment for water environment and ecosystem functions[J]. Journal of Arid Land Resource and Environment, 2014, 28(2): 124-128 (in Chinese).
- [13] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法(第四版)[M].北京:中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration of China. Methods for monitoring and Analysis of water and waste water (Forth Edition) [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002 (in Chinese).
- [14] 奚磊,侯明明,张胜伟.水环境中磷的农业非点源污染研究[J].安徽农学通报, 2007, 13(10): 42-44.
XI L, HOU M M, ZHANG S W. Study on phosphorus of agricultural non-point sources pollution in water environment [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 13(10): 42-44 (in Chinese).
- [15] 李辉,潘学军,史丽琼,等.湖泊内源氮磷污染分析方法及特征研究进展[J].环境化学, 2011, 30(11): 281-292.
LI H, PAN X J, SHI L Q, et al. Research progress on the analytical methods and characteristic of endogenous nitrogen and phosphorus pollution in Lakes [J]. Environmental Chemistry, 2011, 30(11): 281-292 (in Chinese).
- [16] 王东丽.东昌湖污染源解析与水质评价及保护对策[D].聊城:聊城大学, 2013.
WANG D L. The pollution sources parsing and water quality assessment and protection countermeasures of Dongchang Lake [J]. Liaocheng: Liaocheng University, 2013 (in Chinese).