

## 内蒙古乌梁素海叶绿素 a 浓度时空分布及其与氮、磷浓度关系\*

杨志岩, 李畅游\*\*, 张 生, 孙 标

(内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018)

**摘 要:** 采用 2005–2007 年乌梁素海监测数据, 对乌梁素海水体中叶绿素 a 浓度的时空分布进行分析, 并对叶绿素 a 浓度与总氮、总磷浓度相关关系进行研究, 结果表明: 乌梁素海叶绿素 a 浓度具有明显的时空分布特征, 在时间上, 5 月份>7、8 月份>10 月份>9 月份>6 月份, 可以看出 5 月份、10 月份叶绿素 a 浓度偏高, 其原因是乌梁素海特殊的地域性, 补水来源主要为河套灌区的农田退水, 5 月份、10 月份正处于春浇秋灌时期, 农田退水携带充足的氮磷元素进入乌梁素海, 使藻类迅速增长繁殖; 在空间上, 北部区>南部区。通过分析得出, 2006 年叶绿素 a 与氮、磷浓度的相关关系在 5 月、10 月存在明显的相关性, 8 月份相关性较小, 其他月份无明显相关性。

**关键词:** 乌梁素海; 叶绿素 a; 总氮; 总磷; 相关关系

## Temporal and spatial distribution of chlorophyll-a concentration and the relationships with TN, TP concentrations in Lake Ulansuhai, Inner Mongolia

YANG Zhiyan, LI Changyou, ZHANG Sheng & SUN Biao

(Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, P.R.China)

**Abstract:** This paper based on the conventional monitoring data from in 2005–2007, and studied the distributing of chlorophyll-a with temporal and spatial distribution, and the relationship between the chlorophyll-a and TN, TP concentrations. The results showed that chlorophyll-a concentration appeared obvious temporal and spatial changes, and the values were arranged according to May>July, August>October>September>June. Chlorophyll-a concentration of May and October higher than others. The supply water of Lake Ulansuhai occurred form drainage of Hetao in May and October, and there is a lot of nutrition was bring into Lake Ulansuhai, which induced growth of algae. By analyzing, the relationships between chlorophyll-a concentration and TN and TP concentration appeared evidently in May and October of 2006, and the relationships in August were not remarkable, and no relationship in other months.

**Keywords:** Lake Ulansuhai; chlorophyll-a; TN; TP; relationships

随着经济的迅猛发展和人口的急剧膨胀, 湖泊流域系统发生着巨大变化, 湿地湖泊的污染与富营养化问题日益突出。富营养化是指水体中的营养物质过量引起水体植物的大量生长, 从而导致水质恶化等一系列问题。氮、磷是导致湖泊发生富营养化的重要营养元素, 对湖泊藻类生长具有重要的影响。氮、磷与藻类生物量之间的关系是研究湖泊富营养化的重要内容之一<sup>[1-2]</sup>。由于叶绿素 a 含量是表征藻类现存量的重要指标之一<sup>[3]</sup>, 也是作为水体理化和生物指标的综合表现, 本身也受环境因子的制约, 因此, 研究叶绿素 a 含量的时空分布及其与总氮、总磷浓度的关系, 对认识湖泊富营养化的机理具有重要意义。

本研究以乌梁素海为研究对象, 采用自 2005 年以来对乌梁素海进行的长期观测数据为基础, 分析了乌梁素海的叶绿素 a 含量的时空分布特征及叶绿素 a 与氮、磷浓度之间的相关关系。

\* 国家自然科学基金项目(50569002, 50669004)资助。2008–06–17 收稿; 2008–10–16 收修改稿。杨志岩, 女, 1983 年生, 硕士研究生; E-mail: yangzhiyan110@yahoo.com.cn.

\*\* 通讯作者; E-mail: nndlichangyou@163.com.

### 1 研究区概况与研究方法

#### 1.1 研究区概况

乌梁素海属于蒙新高原湖区, 位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特前旗境内, 其地理坐标介于北纬 40°36′-41°03′, 东经 108°43′-108°57′之间, 现有水域面积 285.38km<sup>2</sup>, 其中芦苇区面积为 118.97km<sup>2</sup>, 明水区面积为 111.13km<sup>2</sup>, 明水区中 85.7km<sup>2</sup>为沉水植物密集区, 其余为沼泽区。湖水于每年 11 月初结冰, 直到翌年 3 月末到 4 月初开始融化, 冰封期约为 5 个月。乌梁素海是内蒙古河套灌区排灌水系的重要组成部分, 处于黄河河套平原末端, 属黄河内蒙段最大的湖泊, 其补水来源 90%经总排干沟汇入乌梁素海后, 由西山咀河口排入黄河(图 1), 是当地农田退水、工业废水和生活污水的唯一承泄渠道, 每年汇入乌梁素海的各种营养盐加速了乌梁素海的沼泽化<sup>[4-5]</sup>, 使乌梁素海成为我国中型湖泊中富营养化水平较为严重的湖泊之一<sup>[6]</sup>。

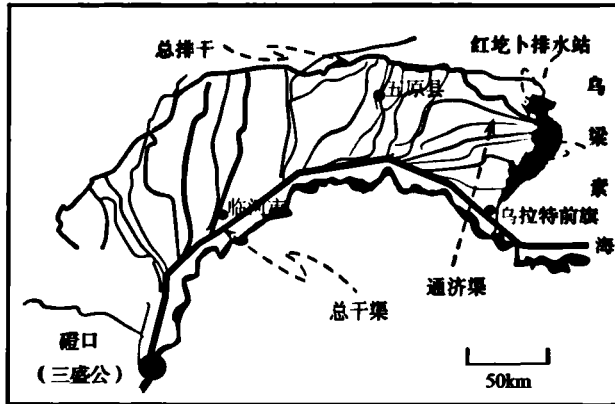


图 1 巴彦淖尔市河套灌区灌排系统

Fig.1 The system of irrigation and drainage of Hetao in Bayannaoer

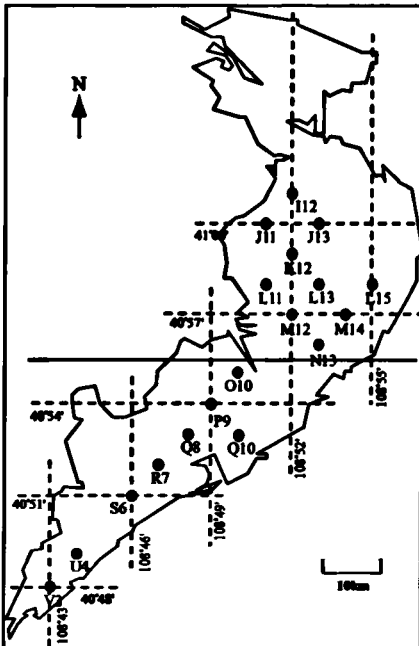


图 2 乌梁素海水质监测点布设图

Fig.2 Map showing distributing of examination sites in Lake Ulansuhai

#### 1.2 研究方法

将乌梁素海在空间上以 2km×2km 的正方形网格剖分, 利用网格的交点, 以梅花形布置水样监测点(图 2)。

取样时间为 2005-2007 年的 5-10 月份(其中 2005 年只有 8-10 月份资料), 每月取样一次, 即: J12、J11、J13、K12、L11、L13、L15、M12、M14、N13、O10、P9、Q8、Q10、R7、S6、U4、V3 共 18 个点的数据分析乌梁素海叶绿素 a 的时空变化规律, 以及叶绿素 a、总氮、总磷浓度及其相关关系的变化规律。

叶绿素 a 的测定采用取 300ml 水样用 Whatman GP/C 微孔玻璃纤维滤膜(0.45μm)抽滤, 滤膜低温干燥后, 用 90%丙酮低温萃取, 离心后取上清液测定光密度, 实验方法和计算按规范进行<sup>[7]</sup>, 其它理化指标的监测按规定的分析方法<sup>[8]</sup>。

### 2 结果与讨论

#### 2.1 乌梁素海水体中叶绿素 a 的时间变化

叶绿素 a 随时间变化分析结果表明, 2005 到 2007 年的叶绿素浓度随时间变化基本一致, 呈现出 5 月份、7 月份、

8 月份、10 月份偏高, 6 月份、9 月份偏低的发展趋势(图 3)。最高值出现在 2005 年 10 月份, 均值为 0.077mg/L, 最低值出现在 2007 年 6 月, 均值为 0.015mg/L。2007 年 10 月份的叶绿素 a 浓度呈现全年最低(图 3), 这主要是由于 2007 年 9 月底由通济渠(图 1)向乌梁素海引入黄河水所导致; 这一结果与葛大兵, 陈菊芳等研究的南方湖泊有一定的差异<sup>[9-11]</sup>。

2.2 乌梁素海水体中叶绿素 a 浓度的空间变化

对每个取样点 2005 年到 2007 年所有月份取均值, 总氮、总磷随空间变化如图 4 所示。叶绿素 a 随空间变化分析结果表明, 氮、磷含量北部区较南部区浓度值较高, 主要由于排入乌梁素海的工业废水、农业废水及生活污水 90%是经过 I12 和 J11 之间的总排干排入, 而南部区沿岸很少有污水排入, 大量的营养物质在向南流动途中被水生植物吸收和降解, 从而影响藻类的繁殖、增长。这也导致了叶绿素 a 在乌梁素海形成了十分明显的空间分布(图 5)。即前北部 10 个点均值均大于 0.035mg/L, 而南部后 8 个点均值均小于 0.035mg/L。图 2 中的横线为北区和南区的分界线。

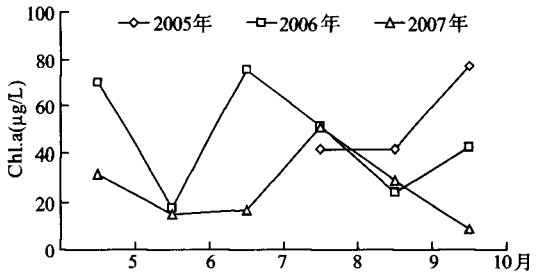


图 3 乌梁素海各年叶绿素 a 浓度月均值随时间变化

Fig.3 The changes with time of Chl.a average value annually in Lake Ulansuhai

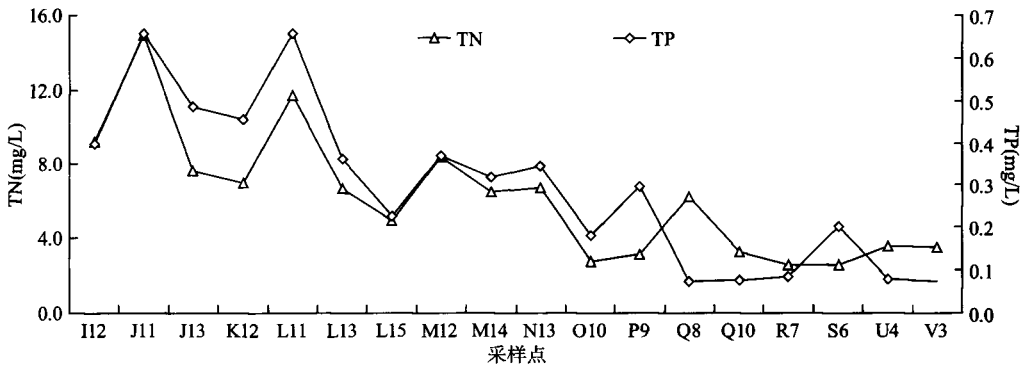


图 4 各取样点 TN 和 TP 均值

Fig.4 The average concentration of TN and TP of sampling sites

2.3 叶绿素 a 与总氮、总磷浓度关系分析

浮游植物是湖泊中的初级生产者, 通过光合作用将水体中的无机物转化为有机物。在这种物质转化过程中, 水体中无机营养盐类的丰歉是影响浮游植物光合生产的重要因素, 而浮游植物的生长状况又是影响水体中营养盐类含量变动的主要条件, 作为浮游植物体内主要色素的叶绿素 a, 其与营养盐的关系较为复杂<sup>[10]</sup>。大量的研究结果都表明<sup>[12-14]</sup>, 叶绿素 a 含量的对数与总氮、总磷含量的对数呈线性关系, 但直线的斜率、截距因水体影响因子的不同而有所差异。采用 2006 年共 6 个月的数据对乌梁素海的叶绿素 a 浓度与总氮、总磷浓度相关关系进行分析, 建立回归方程, 分析结果见图 7。

2006 年 5 月与 10 月的叶绿素 a 浓度与总氮、总磷浓度有着显著的相关关系, 5 月份的相关系数为 0.7678 和 0.6927, 叶绿素 a 与总氮的相关性好于叶绿素 a 与总磷的相关性, 10 月份的相关系数为 0.5533 和 0.6489, 与 5 月份相比恰好相反, 为叶绿素 a 与总磷的相关性好于叶绿素 a 与总氮的相关性; 8 月份也有一定的相关性, 但不是很明显, 其它月份无明显相关性(图 6)。

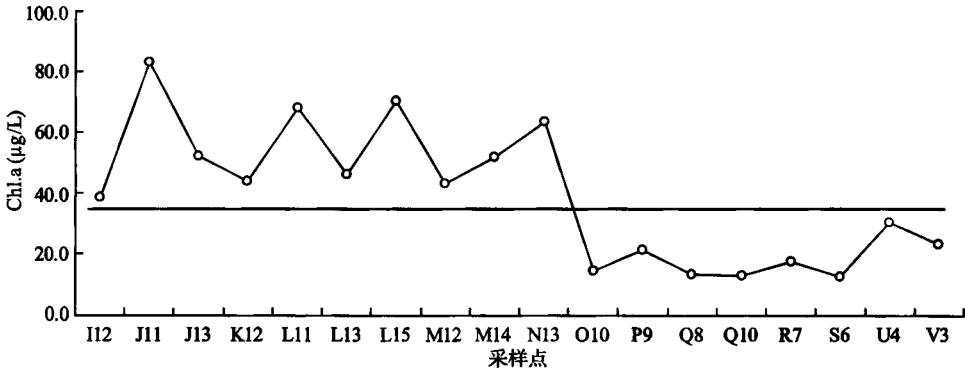


图 5 各取样点叶绿素 a 浓度及其均值  
Fig.5 The Chl.a average of sampling sites

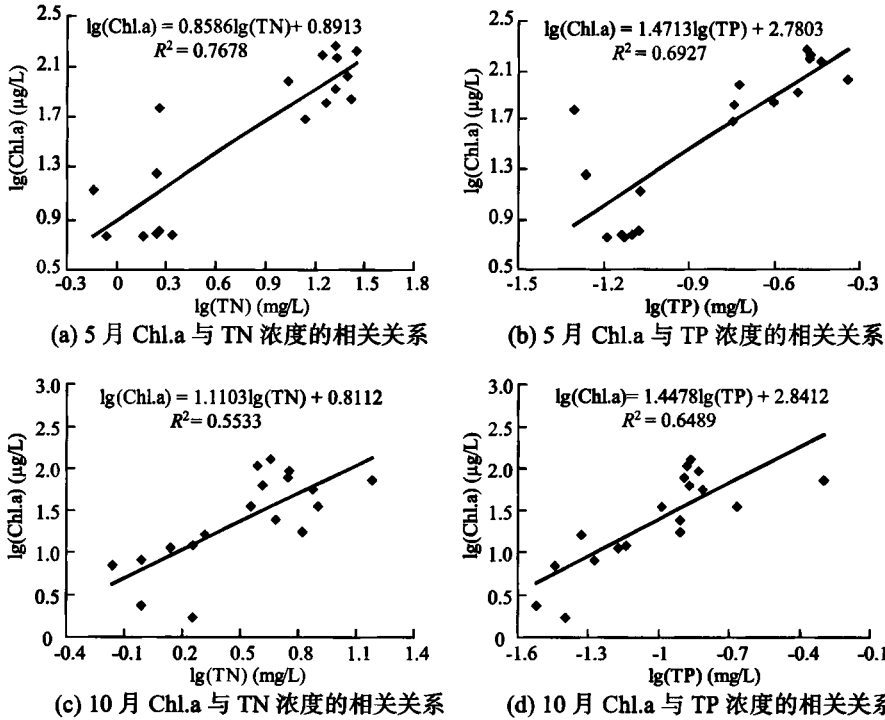


图 6 叶绿 a 浓度与总氮, 总磷浓度的相关关系  
Fig.6 Correlation between Chl.a and TN, TP

表1 叶绿素a浓度与总氮和总磷浓度的相关关系  
Tab.1 Correlation between Chl.a and TN, TP

月份	Chl.a 与 TN		Chl.a 与 TP	
	线性回归方程	R <sup>2</sup>	线性回归方程	R <sup>2</sup>
6	$lg(Chl.a) = 0.1193 lg(TN) + 1.0908$	0.0272	$lg(Chl.a) = -0.1325lg(TN) + 1.047$	0.0199
7	$lg(Chl.a) = 0.2879lg(TN) + 1.4402$	0.0215	$lg(Chl.a) = 0.1676lg(TN) + 1.7832$	0.0173
8	$lg(Chl.a) = 1.3516 lg(TN) + 0.5663$	0.3319	$lg(Chl.a) = 0.9905lg(TN) + 2.1389$	0.3779
9	$lg(Chl.a) = 0.5335 lg(TN) + 0.3906$	0.0640	$lg(Chl.a) = 0.6382 lg(TN) + 1.2729$	0.1015

### 3 结论

(1)很多学者通过对湖泊(水库)叶绿素 a 浓度的时间分布研究表明春、夏季含量较高, 秋、冬季含量较低<sup>[15-17]</sup>。但是本文通过对乌梁素海叶绿素 a 浓度的分析表明, 乌梁素海叶绿素 a 浓度在时间变化上具有一定的特殊性, 其变化规律基本与氮磷随时间变化规律一致。为 5 月份>7、8 月份>10 月份>9 月份>6 月份, 这种现象主要因为乌梁素海的来水以河套灌区的农田退水为主, 5 月份及 10 月份正值春灌秋浇期, 大量的农田退水携带充足的氮磷元素进入乌梁素海, 使藻类在温度适合条件下迅速增长繁殖。

(2)乌梁素海叶绿素 a 浓度在空间分布上, 北部区>南部区。出现这种状况主要是因为大量的污水从北部的总排干进入乌梁素海, 从南部的西山咀排出。在水自北向南的运移过程中, 通过以水草和芦苇为主的生物降解和吸收作用, 氮、磷营养元素浓度也逐步降低, 导致南部叶绿素 a 含量小于北部区。

(3)通过对乌梁素海叶绿素 a 浓度与总氮、总磷浓度关系分析表明, 在 2006 年 5 月份和 10 月份的相关性是最好的, 这也与春灌秋浇有着密切的关系, 大量营养盐的排入驱动叶绿素 a 浓度的增加; 其他月份的相关性小或无明显相关的主要因为在春灌以后外源排入氮磷元素相对减少, 而气温则逐渐增加, 藻类的生长吸收了大量的营养物质, 叶绿素 a 浓度在增加而氮、磷营养元素在减少, 变化呈现的不规律影响了相关性。

### 4 参考文献

- [1] 杨清心. 太湖水华成因及控制途径初探. 湖泊科学, 1996, 8(1): 67-74.
- [2] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] Lorenzen CJ. Determination of chlorophyll-a and phaeopigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 1967, 12: 343-346.
- [4] 任春涛, 李畅游, 全占军等. 基于 GIS 的乌梁素海水体富营养化状况的模糊模式识别. 环境科学研究, 2007, 20(3): 68-74.
- [5] 于瑞宏, 李畅游, 刘廷玺等. 乌梁素海湿地环境的演变. 地理学报, 2004, 59(6): 948-955.
- [6] 金相灿, 稻森悠平(日), 朴俊大(韩)等. 湖泊和湿地水环境生态修复技术与管理指南. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版, 1989.
- [8] 吕唤春, 王飞儿, 陈英旭等. 千岛湖水体叶绿素 a 与相关环境因子的多元分析. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1347-1350.
- [9] 陈菊芳, 王朝晖, 江天久等. 广东肇庆星湖浮游生物及其水质的关系. 中国环境科学, 2000, 20(3): 258-262.
- [10] 胡 韧, 林秋奇, 段舜山等. 热带亚热带水库浮游植物叶绿素 a 与磷分布的特征. 生态科学, 2002, 21(4): 310-315.
- [11] 葛大兵, 吴小玲, 朱伟林等. 岳阳南湖叶绿素 a 及其水质关系分析. 中国环境监测, 2005, 21(4): 69-71.
- [12] 阮晓红, 石晓丹, 赵振华等. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系. 湖泊科学, 2008, 20(5): 556-562.
- [13] 任学蓉, 张宁惠. 沙湖水体富营养化限制性因子分析. 宁夏工程技术, 2006, 5(3): 288-291.
- [14] 宋敬阳. 湖泊富营养化相关物理量的定量关系. 中国环境管理干部学院学报, 1999, 9(1): 33-36.
- [15] 陈水根, 刘伟龙, 韩红娟等. 太湖水体叶绿素 a 含量与氮磷浓度的关系. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2062-2068.
- [16] 张运林, 秦伯强, 陈伟民等. 太湖梅梁湾浮游植物叶绿素 a 和初级生产力. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2127-2131.
- [17] 钱天鸣, 陈 超, 程 咏. 杭州西湖水体生态环境参数的相互关系. 中国环境监测, 2002, 18(3): 41-44.