

# 人工湖蓝绿藻浓度与水质和气象条件关系研究

秦子悦<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>云南师范大学地理学部, 云南 昆明

<sup>2</sup>云南省高原地理过程与环境变化重点实验室, 云南 昆明

收稿日期: 2023年5月10日; 录用日期: 2023年7月12日; 发布日期: 2023年7月18日

## 摘要

水体的富营养化程度直接或间接地影响着藻类浓度的高低, 同时藻类浓度也受外部环境因素的影响。为了解水体中藻类的浓度与水质和气象条件的关系, 本文从2017年5月初开始至2017年10月, 每月采取传统实验方法对云师大人工湖中水温、pH、氨氮、总磷、硝酸盐氮、总氮以及叶绿素a浓度等指标进行了测量, 并且从校内气象站获取了CO<sub>2</sub>的浓度、总辐射、风速和环境温度等指标。通过相关性分析, 结果表明: 1) 北湖的藻类爆发特征比较明显, 主要集中在6~7月份; 2) 在研究的三个湖泊中, 1号湖总氮的平均含量为0.919 mg/L, 且硝酸盐氮平均含量为0.368 mg/L, 氨氮平均含量为0.611 mg/L; 总磷的平均含量为0.007 mg/L, 很明显, 该湖的总氮含量偏高, 氮主要来源于氨氮; 总磷含量很低, 造成了氮磷比很高, 磷成为限制因子; 3) 南湖总氮平均含量为0.965 mg/L, 氨氮平均含量为0.715 mg/L, 硝酸盐氮平均含量为0.314 mg/L; 总磷平均含量为0.013 mg/L。总氮含量远高于总磷含量, 且氮主要来源于氨氮, 由氮磷比与叶绿素a浓度相关性趋势图得出, 南湖的氮磷比与叶绿素a整体上呈负相关, 相关系数为0.289 (除该湖4号采样点的数值异常偏高), 二者相关性较低; 4) 北湖总氮平均含量为0.508 mg/L, 氨氮平均含量为0.376 mg/L, 硝酸盐氮平均含量为0.146 mg/L; 总磷平均含量为0.0179 mg/L。总氮含量高于总磷含量, 且氮同样主要来源于氨氮, 根据氮磷比与叶绿素a浓度相关性示意图, 二者相关性较低; 5) 气象观测和叶绿素a的测定为六个月, 相关性分析采用三个湖六个月的气象数据和六个月的叶绿素a进行分析, 结果显示, CO<sub>2</sub>的浓度与叶绿素a的相关性较强, 呈负相关; 环境温度与叶绿素a浓度呈负相关, 相关系数比CO<sub>2</sub>大; 风速与叶绿素a的关系并不大, 人工湖受风速影响较小; 总辐与叶绿素a的相关性也不是很大; 总体来看, 气象因子在一定程度上也影响着蓝绿藻的爆发。

## 关键词

藻类, 水质指标, 气象条件, 叶绿素a, 人工湖

# Study on the Relationship between Blue-Green Algae Concentration and Water Quality and Meteorological Conditions in Artificial Lakes

Ziyue Qin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Yunnan Key Laboratory of Plateau Geographical Processes & Environmental Changes, Kunming Yunnan

Received: May 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 12<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 18<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The eutrophication degree of water body directly or indirectly affects the algae concentration, and the algae concentration is also affected by external environmental factors. In order to understand the relationship between the concentration of algae in water and water quality and meteorological conditions, traditional experimental methods were used in this paper to measure the water temperature, pH, ammonia nitrogen, total phosphorus, nitrate nitrogen, total nitrogen and chlorophyll a concentration in the artificial lake of Yunnan Normal University every month from the beginning of May 2017 to October 2017, and the CO<sub>2</sub> concentration, total radiation, wind speed and environmental temperature were obtained from the weather station in the school. Through the correlation analysis, the results show that: 1) The characteristics of algae outbreaks in North Lake are obvious, mainly in June-July; 2) In the three lakes studied, the average content of total nitrogen in Lake No. 1 is 0.919 mg/L, the average content of nitrate nitrogen is 0.368 mg/L, and the average content of ammonia nitrogen is 0.611 mg/L; the average content of total phosphorus is 0.007 mg/L. Obviously, the total nitrogen content in the lake is high, and the nitrogen mainly comes from ammonia nitrogen. The total phosphorus content is very low, resulting in a high ratio of nitrogen to phosphorus, and phosphorus becomes the limiting factor; 3) The average content of total nitrogen, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen in Nanhu Lake is 0.965 mg/L, 0.715 mg/L and 0.314 mg/L, respectively. The average content of total phosphorus is 0.013 mg/L. The total nitrogen content is much higher than the total phosphorus content, and the nitrogen mainly comes from ammonia nitrogen. According to the trend chart of the correlation between the ratio of nitrogen to phosphorus and the concentration of chlorophyll, the ratio of nitrogen to phosphorus in South Lake is negatively correlated with chlorophyll a as a whole, with a correlation coefficient of 0.289 (except for the abnormally high value at the No. 4 sampling point in the lake), and the correlation between them is low; 4) The average content of total nitrogen, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen in North Lake is 0.508 mg/L, 0.376 mg/L and 0.146 mg/L, respectively. The average content of total phosphorus is 0.0179 mg/L. The total nitrogen content is higher than the total phosphorus content, and the nitrogen also mainly comes from ammonia nitrogen. According to the correlation diagram between the nitrogen phosphorus ratio and chlorophyll concentration, the correlation between the two is relatively low; 5) The meteorological observation and determination of chlorophyll a lasted for six months, and the correlation analysis used the meteorological data of three lakes for six months and chlorophyll a for six months. The results showed that the correlation between CO<sub>2</sub> concentration and chlorophyll a was strong and negative. Environmental temperature is negatively correlated with chlorophyll a concentration, and the correlation coefficient is larger than that of CO<sub>2</sub>. The relationship between wind speed and chlorophyll a is not great, and the artificial lake is less affected by wind speed; the correlation between total radiation and chlorophyll a is not very great;

generally speaking, meteorological factors also affect the outbreak of blue-green algae to some extent.

## Keywords

Algae, Water Quality Index, Meteorological Conditions, Chlorophyll a, Artificial Lakes

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 湖泊河流等水体水质下降日益严重, 导致水体中藻类大量繁殖, 藻类爆发事件频繁发生。总磷、总氮是评价水质的重要指标, 目前, 治理蓝藻危害是一个世界性的问题, 世界上有记录以来最大规模的蓝绿藻水体于 1991 年发生在澳大利亚达令河系, 但治理收效甚微, 国内的滇池自 1990 年以来蓝藻水华爆发的次数越来越多, 面积越来越大, 1999 年达到最高峰[1]。水质与气象条件在湖泊富营养化及藻华爆发的过程中起着决定性的作用。本文研究了氨氮、硝酸盐氮、总磷等水质指标和气象条件对藻类生长的影响, 从而找出控制藻类生长的关键因素和相关参数。藻类水华爆发是指在一定的营养、气候、水文条件和生态环境下形成的藻类过度繁殖和聚集的现象[2] [3], 是水体环境因子如 TN、TP、温度、pH 等综合作用的结果。营养盐是藻华爆发十分重要的因素和条件, 但不是唯一决定性的条件, 水质和气象条件同样是起决定性作用的因子, 即使有充足的营养盐, 如果水质、气象条件不适宜, 藻类照样无法正常生长, 更不用说爆发藻华了。另一方面, 藻华爆发是一个生态问题, 不但决定于藻类生长的营养物质条件, 而且决定于其生长所在的生态环境条件, 水质、气象条件就是重要的生态环境因子。同时, 藻华爆发还决定于藻类与其它水生生物和生态环境的关系, 水质、气象条件的改变会明显影响这些生态关系。因此, 要通过研究发现水质、气象因子对藻类生长的影响和作用, 找出控制藻类生长的关键因素和相关参数, 预测水华爆发的可能性, 建立预警系统, 减少社会经济损失, 并在可能的条件下, 通过改变水质、气象因素, 达到抑制藻类生长、控制藻华爆发的目的。

## 2. 野外监测和实验分析

### 2.1. 野外监测

本次研究主要通过野外监测和室内实验共同完成, 野外监测是对师大人工湖的水体概况进行观察和记录, 且对象主要是人工湖的湖水温度、水体 pH 值以及风向等, 监测主要靠人工完成并记录时间。

采样点布设: 师大人工湖水体采样点一共有 12 个。其中, 1 号湖的东部和南部各有一个, 南湖的有四个, 分别是湖泊南部、东部、北部和西部, 北湖的采样点有六个, 五个采样点位于主湖, 即环湖平均分布五个点, 第六个点位于连接北湖以南的偏湖之中。采样点的布设主要考虑全湖的状况, 均是环湖布设。

### 2.2. 实地指标监测

在所有指标的监测中, 实地监测的是湖水温度, 且采用酒精温度计进行精确的检测和记录, 水体 pH 值采用 pH 精密试纸来检测。

### 2.3. 样品采集

水样采集容器是 800 ml 的白色塑料瓶, 采集水样的工具是塑料小桶, 采集是记录当时时间并且采样活动均在下午进行。

## 3. 实验方法

### 3.1. 叶绿素 a 的测定——热乙醇法

叶绿素分为叶绿素 a、b、c, 是浮游植物的主要光和色素。其中, 叶绿素 a 存在于所有的浮游植物中, 是表征浮游植物生物量的重要指标[1]。叶绿素 a 的含量, 可以反映水体的富营养化程度, 其测定被广泛应用于湖泊、水库等水体的生物监测中。国际上通用的分光光度法测定叶绿素 a 含量分为乙醇法和丙酮法。其中, 丙酮法由于对人体健康有较大伤害, 用乙醇提取浮游植物中的叶绿素 a 较丙酮提取较为完全。本次实验采用热乙醇法来测定叶绿素 a。具体实验步骤如下:

1) 过滤: 取一定体积混匀的水样, 用 1  $\mu\text{L}$  玻璃纤维滤膜过滤, 真空干燥滤膜。将干燥过的滤膜剪碎, 放入带聚四氟乙烯塞子的玻璃管中。

2) 研磨提取: 将预先加热到 75 $^{\circ}\text{C}$  的 90% 乙醇溶液转移至装有滤膜的玻璃管中, 冷却后充分研磨, 静置提取 3 min 或更长时间。将过滤研磨后的混合液转移至 25 mL 容量瓶中, 定容待测。

3) 测定: 以 90% 乙醇溶液为空白, 分别于 665 nm 和 750 nm 波长处测量吸光值。移取 0.01 mL 3.0 mol/L 盐酸溶液, 加入 10 mL 提取液中, 放置 5 min (最长不超过 30 min), 分别于 665 nm 和 750 nm 波长处测量吸光值[4]。

### 3.2. 氨氮、硝酸盐氮以及磷的测量

本次实验的氨氮、硝酸盐氮以及磷的测量, 采用的是实验室多功能水质仪进行测量的, 总氮的含量为氨氮的浓度和硝酸盐氮浓度的和。

## 4. 实验结果

### 4.1. 人工湖水质指标、叶绿素、温度、pH 概况

根据师大人工湖个月水质指标示意图, 在研究的 6 个月中, 1 号湖(图 1)的氨氮浓度在 5 月末和 9 月份较低; 硝酸盐氮浓度在 5 月末和 6 月份的时候较低, 总磷浓度相对较平均, 无明显变化, 叶绿素浓度在 6、7、8 月份较低, 高浓度集中在 9、10 月份。南湖(图 2)中氨氮浓度较高的是 7、8、10 月份, 较低的是 5 月末和 9 月份; 硝酸盐氮浓度较为平均, 但是 5 月末和 6 月份较低; 总磷浓度 5 月末较低, 8、10 月份较高; 而叶绿素的浓度除 8 月份较低之外, 其余时间段都较高。北湖(图 3)的氨氮高浓度集中在 7、8 月份; 但是整个湖的硝酸盐氮浓度较低, 总磷浓度集中在 5 月末和 6 月份, 其他月份较低, 相比较另外两个湖, 北湖的叶绿素浓度较平均, 只有 6、9 月份偏高, 比较突出。

根据师大人工湖每个月的数据记录表显示, 在进行研究的 6 个月中, 1 号湖的温度在 10 月份比较低, 在同一个月中每个采样点的温度相差值在 0~1 $^{\circ}\text{C}$  范围内; pH 值总体来说没有起伏, 范围在 6.5~7.5 之间; 叶绿素浓度在 6、7、8 月份较低, 高浓度集中在 9、10 月份。南湖的温度 5~9 月份差别不大, 范围在 21~25 $^{\circ}\text{C}$  之间, 同一月份中每个采样点的温度差别在 0~1 $^{\circ}\text{C}$  之间, 但在 10 月温度急剧下降至 17.5 $^{\circ}\text{C}$  左右; pH 值变化范围不大, 总体在 6~7.5 之间; 叶绿素的浓度除 8 月份较低之外, 其余时间段都较高。北湖的温度 5~9 月份波动不大, 范围在 20~24.5 $^{\circ}\text{C}$  之间, 在同一个月中每个采样点的温差不大, 差值在 0~1 $^{\circ}\text{C}$  之间, 但在 10 月份温度下降在 17 $^{\circ}\text{C}$  左右; pH 值波动范围不大, 在 6.5~7.5 之间; 叶绿素浓度较平均, 只有 6、

9月份偏高, 比较突出。

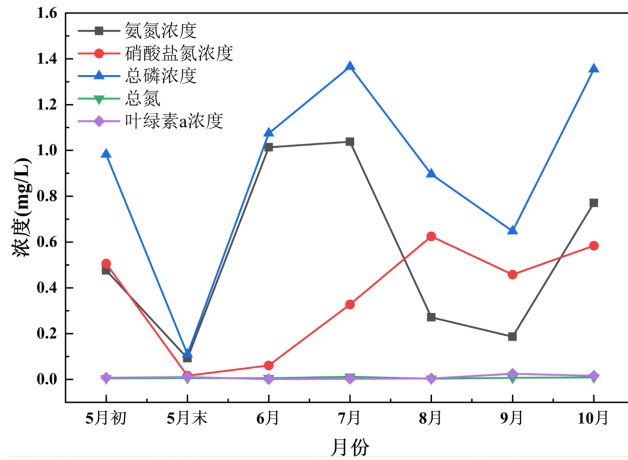


Figure 1. Trend chart of monthly water quality indicators for Lake 1  
图 1. 1号湖各月水质指标趋势图

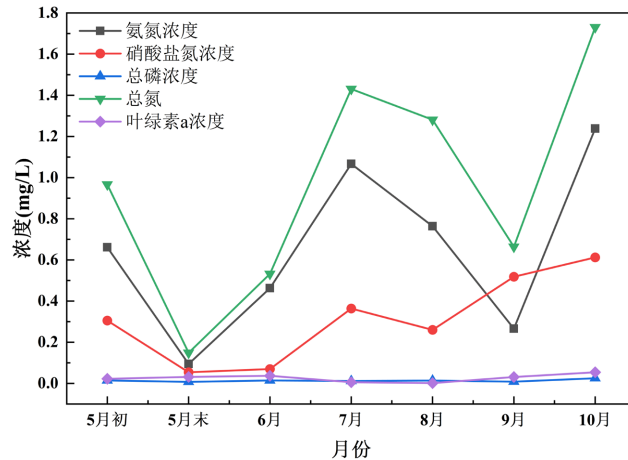


Figure 2. Trend chart of monthly water quality indicators in South Lake  
图 2. 南湖各月水质指标趋势图

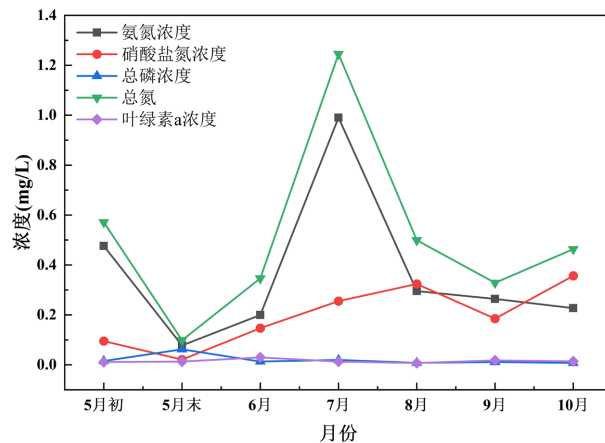


Figure 3. Trend chart of monthly water quality indicators in North Lake  
图 3. 北湖各月水质指标趋势图

## 4.2. 藻类浓度影响因素分析

### 水质指标与叶绿素的关系

富营养化是指在人类活动的影响下,微生物所需的氮、磷等营养物质进入湖泊、河口、海湾等缓流水体,引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖,水体溶解氧下降,水质恶化,鱼类及其他水生生物大量死亡的现象。这是环境学的富营养化概念,研究表明,在自然状态下,水体也可能发生富营养化。水体富营养化,是在营养盐物质进入水体之后形成的,其显著特征是水体透明度下降,藻类大量繁殖。在此次研究中,分别以氨氮、硝酸盐氮、总磷含量作为师大人工湖水质的主要检测指标,并且探究其与叶绿素之间的关系。分析结果如下:以每个湖泊作为研究对象,分析其5~10月份之间各水质指标与叶绿素之间的关系(表1),1号湖位于我校东部,数据显示,叶绿素与氨氮浓度呈现负相关且相关性系数为-0.422,表明氨氮浓度与叶绿素浓度之间的相关性比较小,也就是说,师大人工湖的藻类爆发(蓝绿藻为主)跟氨氮浓度没有相互促进的关系。其次是硝酸盐氮,根据其跟叶绿素浓度之间的相关性分析结果来看,硝酸盐氮浓度与叶绿素浓度的相关性系数为0.129,比氨氮跟叶绿素的相关性更低,可能受天气如降水的影响。总磷浓度与叶绿素浓度的相关系数为0.338,在研究的6个月间,1号湖内的两个采样点的总磷浓度测量值都很低,说明二者在研究期间并无太大相关性。总氮跟氨氮浓度呈显著相关。

**Table 1.** Pearson correlation of various water quality indicators in Lake 1

**表 1.** 1号湖各水质指标的 Pearson 相关性

指标	氨氮	硝酸盐氮	总磷	总氮	叶绿素 a
氨氮	-	-0.129	0.338	0.843**	-0.422
硝酸盐氮	-0.129	-	-0.114	0.420	0.307
总磷	0.338	-0.114	-	0.234	0.140
总氮	0.843**	0.420	0.234	-	-0.250
叶绿素 a	-0.422	0.307	0.140	-0.250	-

注: \*\*相关性在 0.01 水平上显著(双尾)。

2号湖为我校南湖,根据水质指标与叶绿素浓度相关性分析图表来看(表2),南湖的氨氮平均浓度相比较1号湖来说较低,但也存在个别偏高的数值,与1号湖相似,南湖中的氨氮浓度与叶绿素浓度呈现负相关,且相关性系数低至-0.200,除此之外,该湖的硝酸盐氮浓度与叶绿素浓度也呈现负相关关系且系数为0.079,整个湖泊的总磷浓度也是很低,总磷浓度与叶绿素浓度二者缺乏相关性。

**Table 2.** Pearson correlation of various water quality indicators in South Lake

**表 2.** 南湖各水质指标的 Pearson 相关性

指标	氨氮	硝酸盐氮	总磷	总氮	叶绿素 a
氨氮	-	0.531**	0.773**	0.974**	-0.200
硝酸盐氮	0.531**	-	0.382	0.661**	0.079
总磷	0.773**	0.382*	-	0.737**	-0.030
总氮	0.974**	0.661**	0.737**	-	-0.237
叶绿素 a	-0.200	0.079	-0.030	-0.237	-

注: \*\*相关性在 0.01 上显著(双尾); \*相关性在 0.05 上显著(双尾)。

3号湖为我校北湖(表3),该湖一共6个采样点,数据相对较集中,氨氮浓度整体偏高但是与叶绿素浓度呈负相关趋势,相关性也不大为-0.168;而硝酸盐氮浓度数值较稳定,二者相关性很小。总磷浓度

在三个湖泊中的含量都很低，3号湖尤其明显，它与叶绿素浓度的相关系数为-0.074，相关性最低甚至没有。

**Table 3.** Pearson correlation of various water quality indicators in North Lake  
**表 3.** 北湖各水质指标的 Pearson 相关性

指标	氨氮	硝酸盐氮	总磷	总氮	叶绿素 a
氨氮	-	0.098	-0.209	0.970*	-0.168
硝酸盐氮	0.098	-	-0.653**	0.309*	0.173
总磷	-0.209	-0.653**	-	-0.321*	-0.074
总氮	0.970**	0.309*	-0.321*	-	-0.171
叶绿素 a	-0.168	-0.137	-0.074	-0.173	-

注：\*\*相关性在 0.01 上显著(双尾)；\*相关性在 0.05 上显著(双尾)。

根据校内人工湖每个月的记录表显示，在进行的 6 个月中，在 5 月份中 3~5 个点的硝酸盐氮含量最低，变化范围在 0~1 之间；氨氮在 2~2 这个点的含量最低，变化范围在 0~1 之间。

水体中化学物质种类繁多，而氮是污水中最有价值，也是转化最复杂的成分目前出现在地下水中最主要的一种污染物离子就是硝酸根离子，硝酸根离子对人体危害较大，易造成动脉硬化、癌症等一系列疾病，氮不但是植物生长的三大要素之一，而且也是动物蛋白质组成不可缺少的部分。过量的氮进入水体将给水体带来污染与危害，如果水体中氮的含量超标，将直接影响鱼类生存，甚至出现赤潮。

在水体中，有机污染物包括氮、碳、磷、硫 4 种主要物质，而后三者形成的产物在氧气充足的条件下，对鱼类的影响程度不是很大，当氮以分子氨态或亚硝酸盐氮态存在时，却会对水生动物产生很强的神经性毒害当前，以强饲为特征的集约养殖方式加大了水体有机氮物质分解转化的负荷，微生物分解环节严重受阻，从而成为水体系统循环过程的制约瓶颈，造成水体富营养化甚至污染，引发出诸多病害、药残、食品隐患等问题。因此，研究三氮转化规律，对防治污染、保护水域环境、充分开发利用水资源有着重大的现实意义。水体系统的氨氮循环及污染治理已成为世界性关注的环境问题和研究热点。

有机物的氮经过氨化作用形成氨氮，在好氧条件下，硝化细菌将氨氮氧化成硝态氮和亚硝态氮，亚硝态氮可以继续氧化为硝态氮。但是亚硝酸盐不稳定，易分解成二氧化氮。二氧化氮与水反应生成硝酸使水酸化。水中氮含量升高，也是造成水体富营养化的原因之一。

综上所述，师大人工湖的氨氮和硝酸盐氮的含量都比较低，同时，说明了师大的人工湖水体不属于污染的水体，水质较好。

### 4.3. 气象条件对藻类浓度的影响

#### 4.3.1. 气象数据来源

气象数据来源于学院的气象观测站，收集了 CO<sub>2</sub> (ppm)、风向(°)、总辐(w/m<sup>2</sup>)、土壤温度 1 (°C)、土壤温度 2 (°C)、土壤温度 3 (°C)、土壤温度 4 (°C)、土壤湿度 5 (°C)、土壤湿度(%RH)、风速(m/s)、雨量(mm)、环境温度(°C)、环境湿度(%RH)、气压(hPa)、曝辐(MJ/m<sup>2</sup>)等指标，但是主要选取 CO<sub>2</sub> (ppm)、总辐(w/m<sup>2</sup>)、风速(m/s)、环境温度(°C)这四个指标进行分析。

#### 4.3.2. 气象因子与叶绿素 a 的关系

从数据来看，7 月份的 CO<sub>2</sub> 浓度最高，为 302 ppm，叶绿素 a 的浓度也相对较低，10 月份的 CO<sub>2</sub> 浓度最低，为 179 ppm，叶绿素 a 浓度就相对较高一些，并对 CO<sub>2</sub> 浓度和叶绿素 a 的相关性分析，可以看出 CO<sub>2</sub> 的浓度与叶绿素 a 的浓度呈现负相关，相关系数为 0.046。总辐和叶绿素 a 的相关性不大，相关系

数为 0.0682, 5 月 21 日的总辐最大为  $824 \text{ w/m}^2$ , 最小为 10 月份为  $93 \text{ w/m}^2$ , 从图 4 中的趋势线看, 相关性不是很强, 趋势线先上升又下降; 再来看环境温度对叶绿素 a 的影响, 相关系数为 0.1153, 相关系数比  $\text{CO}_2$  和总辐都大一点, 说明叶绿素 a 的浓度跟环境温度还是有一定的关系, 从相关性趋势曲线看, 环境温度与叶绿素 a 呈负相关; 风速与叶绿素 a 的相关系数为 0.0564, 相关系数很小, 由此看来, 师大人工湖的叶绿素 a 浓度与风速关系很小; 此次相关性分析是用三个湖每个月的气象数据与每个月的叶绿素 a 浓度进行的分析。本次实验从 2017 年 5 月到 2017 年 10 月结束, 对六个月的叶绿素 a 含量和气象数据进行了实验, 由于前期的准备工作, 实验从 5 月份开始, 首先是做了一组预实验, 5 月 22 日进行正式实验, 为期 6 个月。

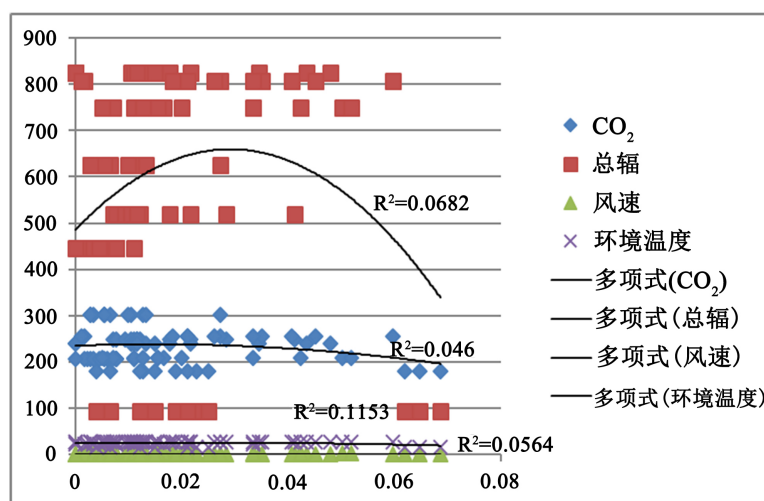


Figure 4. Correlation analysis between chlorophyll a and meteorological factors  
图 4. 叶绿素 a 与气象因子相关性分析

综上所述: 1) 气象观测和叶绿素 a 的测定为六个月, 相关性分析采用三个湖六个月的气象数据和六个月的叶绿素 a 进行分析, 结果显示,  $\text{CO}_2$  的浓度与叶绿素 a 的相关性较强, 呈负相关; 2) 环境温度与叶绿素 a 浓度呈负相关, 相关系数比  $\text{CO}_2$  大; 3) 风速与叶绿素 a 的关系并不大, 人工湖受风速影响较小。

#### 4.3.3. 总辐与叶绿素 a 的相关性

总辐与叶绿素 a 的相关性也不是很大; 总体来看, 气象因子在一定程度上也影响着蓝绿藻的爆发。

#### 4.3.4. 温度、pH 与叶绿素浓度的关系

根据每个湖的数据进行相关性分析, 得出以下结果, 如 1 号湖图 5 所示, 叶绿素与温度之间呈现负相关关系, 且它们之间的相关系数为 0.3998, 表明温度与叶绿素之间的相关性比较小, 且在叶绿素与温度之间没有相互促进的关系, 反而呈现一种制约关系。然后是 pH, 根据 pH 与叶绿素浓度之间的相关性分析结果来看, pH 与叶绿素浓度之间的相关性系数为 0.0679, 比温度与叶绿素的相关性系数还小, 表明 pH 与叶绿素浓度之间的相关性很小。

如南湖图 6 所示, 南湖中温度与叶绿素浓度之间呈现负相关关系, 且它们的相关系数为 0.484, 比 1 号湖的相关系数大一些, 但与 1 号湖曲线的表示有所不同, 在南湖图中曲线呈现的方式先是较缓慢的下降, 再然后是较快的下降, 也表明在南湖中温度与叶绿素浓度之间存在的并不是相互促进的关系。其次是 pH, 根据 pH 与叶绿素浓度的相关性分析结果来看, pH 与叶绿素浓度之间的相关系数是 0.0604, 相比 1 号湖来说更低一些, 表明在南湖 pH 与叶绿素浓度的相关性很小。



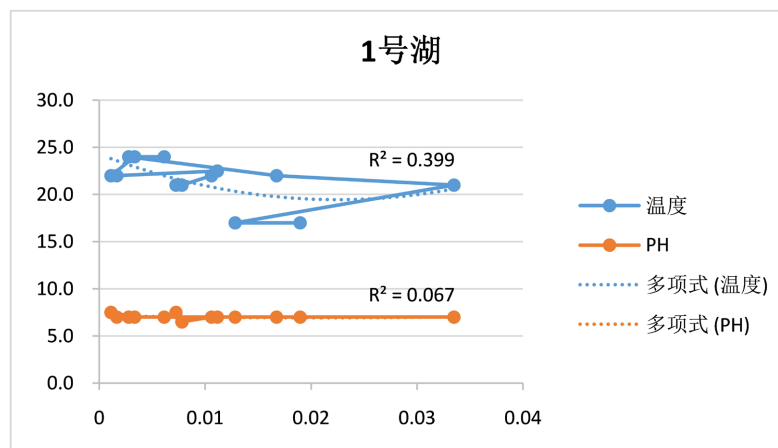


Figure 5. Correlation between temperature, pH, and chlorophyll concentration in Lake 1  
图 5. 1号湖温度、pH 与叶绿素浓度的相关关系

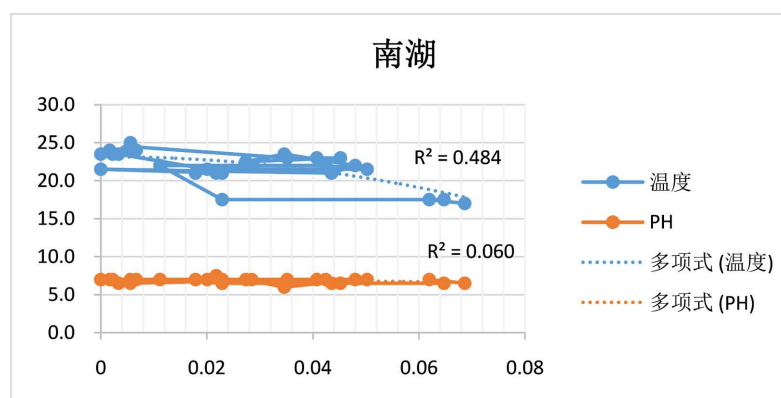


Figure 6. Correlation between temperature, pH, and chlorophyll concentration in South Lake  
图 6. 南湖温度、pH 与叶绿素浓度的相关关系

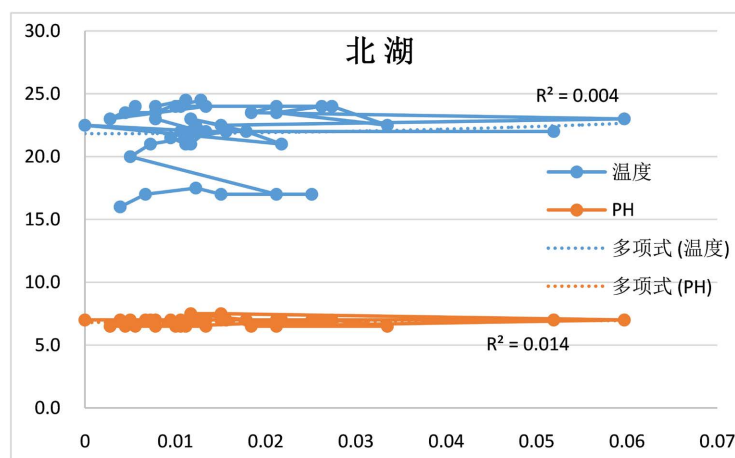


Figure 7. Correlation between temperature, pH, and chlorophyll concentration in North Lake  
图 7. 北湖温度、pH 与叶绿素浓度的相关关系

如北湖图 7 所示，北湖中温度与叶绿素浓度的相关系数分析结果与 1 号湖及南湖都有所不同，其曲线几乎呈现为一条直线，温度与叶绿素浓度的相关性系数为 0.0045，表明在北湖温度与叶绿素浓度的相关

性很小。然后根据 pH 与叶绿素浓度的相关性分析结果来看, pH 与叶绿素浓度的相关性系数为 0.0144, 表明在北湖 pH 与叶绿素浓度的相关性很小。

综上所述: 1) 在进行研究的 6 个月间, 除 10 月外, 各个月的温度变化不大, 每个月的 pH 值变化也不大; 2) 温度与叶绿素浓度在 1 号湖和南湖的相关性为负相关关系, 且相关性系数不大, 其次在北湖温度与叶绿素浓度的相关性很小; 3) 在 1 号湖、南湖、北湖, pH 与叶绿素浓度的相关性都很小。

## 5. 师大人工湖水体营养盐结构特征

TN/TP(质量比)对藻类的爆发性生长具有重要意义, 是水中浮游植物营养结构特点的重要反映。据此, 学者提出富营养化评估的营养物限制性划分标准: 1) 当水体中氮磷比  $< 7\sim 10$  时, 藻类生长表现为氮限制状态, 生物固氮作用有可能发生, 以调节 TN/TP, 消纳水体中相对较多的 TP; 2) 当氮磷比  $> 22.6\sim 30$  时, 磷将成为藻类生长的限制性因子, 较低的 TP 含量水平可能使得氮素的有机合成过程受到抑制, 无机氮向有机氮形态转化速率降低; 3) 当氮磷比介于两者之间时, 为藻类生长的合适范围, 通过对硝氮的利用和摄取以实现氮素有机合成的生态过程较为明显。

通过图表, 在研究测量的 6 个月中, 1 号湖总氮的平均含量为 0.919 mg/L, 且硝酸盐氮平均含量为 0.368 mg/L, 氨氮平均含量 0.611 mg/L; 总磷的平均含量为 0.007 mg/L, 很明显, 该湖的总氮含量偏高, 氮主要来源于氨氮; 总磷含量很低, 造成了氮磷比很高。从相关性分析来看, 该湖的氮磷比与叶绿素浓度呈负相关, 相关系数为 0.043, 磷成为限制因子。

南湖总氮平均含量为 0.965 mg/L, 氨氮平均含量为 0.715 mg/L, 硝酸盐氮平均含量为 0.314 mg/L; 总磷平均含量为 0.013 mg/L。总氮含量远高于总磷含量, 且氮主要来源于氨氮, 由氮磷比与叶绿素浓度相关性趋势图得出, 南湖的氮磷比与叶绿素整体上呈负相关, 相关系数为 0.289 (除该湖 4 号采样点的数值异常偏高), 二者相关性较低。最后, 北湖总氮平均含量为 0.508 mg/L, 氨氮平均含量为 0.376 mg/L, 硝酸盐氮平均含量为 0.146 mg/L; 总磷平均含量为 0.0179 mg/L。总氮含量高于总磷含量, 且氮同样主要来源于氨氮, 根据氮磷比与叶绿素浓度相关性示意图, 北湖的氮磷比与叶绿素浓度的相关性曲线呈向上弧形, 相关系数为 0.042 (除该湖 4 号采样点的数值异常偏高), 二者相关性较低。

综上所述: 1) 在研究的 6 个月间, 师大三个人工湖的氮磷比与叶绿素浓度的相关性不高; 2) 湖泊的总氮含量较高, 且氮主要来自氨氮含量; 3) 湖泊的总磷含量很低, 造成氮磷比很高, 使磷成为限制因子。

## 6. 结论

### 6.1. 人工湖藻类浓度、水质和气象条件基本情况

1 号湖的叶绿素 a 浓度(藻类浓度)在 6、7、8 月份较低, 浓度较高的集中在 9、10 月份, 氨氮浓度在 5 月末和 9 月份较低; 硝酸盐氮浓度在 5 月末和 6 月份的时候较低, 总磷浓度相对较平均, 无明显变化。南湖的叶绿素 a 浓度(藻类的浓度)除 8 月份较低之外, 其余时间段都比较高, 氨氮浓度较高的是 7、8、10 月份, 较低的是 5 月末和 9 月份; 硝酸盐氮浓度较为平均, 但是 5 月末和 6 月份较低; 总磷浓度 5 月末较低, 8、10 月份较高。北湖相对另外两个湖, 叶绿素 a 浓度(藻类浓度)较平均, 只有 6、9 月份偏高, 比较突出, 氨氮的高浓度集中在 7、8 月份; 但是整个湖的硝酸盐氮浓度较低, 总磷浓度集中在 5 月末和 6 月份, 其他月份较低。

7 月份的 CO<sub>2</sub> 浓度最高, 10 月份的 CO<sub>2</sub> 浓度最低; 5 月 21 日的总辐最大为 824 w/m<sup>2</sup>, 最小为 10 月份, 为 93 w/m<sup>2</sup>; 7 月 8 日(采样日期)的环境温度较其他时间段采样的温度高, 为 27.1℃, 最低为 10 月 18 日(采样日期) 15.9℃; 风速最大的是 9 月 23 日, 为 1.3 m/s, 最小为 10 月 18 日, 为 0 m/s。

## 6.2. 水质和气象条件与藻类浓度关系(水质和气象条件对藻类浓度的影响)

1号湖: 叶绿素与氨氮浓度呈现负相关且相关性系数为-0.422, 表明氨氮浓度与叶绿素浓度之间的相关性比较小, 其次是硝酸盐氮, 根据其叶绿素浓度之间的相关性分析结果来看, 硝酸盐氮浓度与叶绿素浓度的相关性系数为0.129, 比氨氮与叶绿素的相关性更低, 可能受天气和降水的影响。总磷浓度与叶绿素浓度的相关系数为0.338, 在研究的6个月间, 1号湖内的两个采样点的总磷浓度测量值都很低, 说明二者在研究期间并无太大相关性。总氮与氨氮浓度呈显著相关。

南湖: 叶绿素 a 浓度与氨氮浓度呈现负相关且相关性系数低至-0.200, 硝酸盐氮浓度与叶绿素浓度也呈现负相关关系且系数为0.079, 整个湖泊的总磷浓度很低, 各湖泊的总磷浓度也是很低, 总磷浓度与叶绿素浓度二者缺乏相关性。

北湖: 氨氮浓度整体偏高, 但是与叶绿素浓度呈负相关趋势, 相关性也不大, 为-0.168; 而硝酸盐氮浓度数值较稳定, 所有数据相差不大, 且与叶绿素浓度呈负相关, 系数为-0.137, 表明二者相关性很小。总磷浓度在三个湖泊中的含量都很低, 3号湖尤其明显, 它与叶绿素浓度的相关系数为-0.074, 相关性最低甚至没有。

综上所述, CO<sub>2</sub> 的浓度与叶绿素 a 的相关性较强, 呈负相关; 环境温度与叶绿素 a 浓度呈负相关, 相关系数比 CO<sub>2</sub> 大; 风速与叶绿素 a 的关系并不大, 人工湖受风速影响较小; 总辐与叶绿素 a 的相关性也不是很大; 总体来看, 气象因子在一定程度上也影响着蓝绿藻的爆发。

## 参考文献

- [1] 任健, 蒋名淑, 商兆堂, 秦铭荣. 太湖蓝藻暴发的气象条件研究[J]. 气象科学, 2008, 28(2): 221-226.
- [2] Reynold, C.S. (1984) *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press, London.
- [3] Robert, E.L. (1985) *Phycology*. Second Edition, Cambridge University Press, London.
- [4] 童桂凤, 陈志芳, 范莹. 分光光度法测定叶绿素 a 的比较[J]. 环境监测管理与技术, 2012, 24(1): 53-55.