

田亿<sup>1,2</sup>, 王小冬<sup>1\*</sup>, 刘兴国<sup>1</sup>, 车轩<sup>1</sup>, 潘桓丰<sup>1,2</sup>, 陈鑫<sup>1,2</sup>

(1.中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 2000921; 2.上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

## 1. 前言

蓝藻水华易在富营养化水体中暴发。微囊藻属 (*Microcystis*) 水华作为池塘、湖泊等水域中的常见的蓝藻水华, 对水产养殖和湖泊生态等水域带来了诸多的负面影响。扰动对蓝藻水华的影响受到许多学者的关注, 但关于扰动方法控制蓝藻水华有不同的观点, 有研究者表明施加扰动处理能直接或间接影响到蓝藻水华的生长, 而有学者则认为扰动在一定程度上能控制蓝藻水华的强度。然而在扰动控藻的过程中也会有诸多环境因素影响扰动对蓝藻水华调控的结果, 相对于温度、营养盐、pH值等, 光照是较为容易实施的人为干预因素。

本研究是在确定一定的扰动强度能抑制微囊藻水华生长的前提下, 对不同初始浓度微囊藻水华的生长环境采取一定遮光率的遮光措施, 旨在提高扰动对微囊藻水华调控的效果和微囊藻向其他藻类演替的效率, 为后续相关研究提供有益参考。

## 2. 材料与与方法

于2021年6月24日从太湖庙渚港桥蓝藻打捞台下获取蓝藻水华, 其中湿质量占比99.85%的为微囊藻属 (*Microcystis*), 取回后利用大量自来水在滤网中淋洗微囊藻水华, 以尽量将蓝藻水华中含有的溶解性氮磷营养盐稀释至自来水中的水平。

实验设计2个不同的遮光率, 2个不同的微囊藻水华浓度, 使用正交实验, 共4个处理, 每个处理3个重复。将利用自来水稀释后的蓝藻水华转移至80L的锥形底部的有机玻璃柱内, 使用相同的曝气扰动强度。实验期间测定WT、DO、pH值、Sal、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、SRP、TN和TP和Chla。用鲁哥氏液固定并保存水样, 静置沉淀24h以上后使用0.1 mL计数框计数, 进行浮游植物种类统计和湿质量的计算。

各处理间数据的比较通过软件SPSS26.0的一般线性分析模型 (GLM) 的方差分析进行。采用软件Origin 2018作图。

## 3. 结果与讨论

表1 各处理对应的微囊藻水华浓度、Chla浓度、光照和曝气扰动强度

| 处理  | 对应Chla浓度 (ug/L) | 光照 (相对于室外自然光照的遮光率) | 曝气扰动强度 (以曝气量表示)        |
|-----|-----------------|--------------------|------------------------|
| I   | 384.32          | 遮光率 (约为99.39%)     | 0.185m <sup>3</sup> /h |
| II  | 384.32          | 遮光率 (约为99.39%)     | 0.185m <sup>3</sup> /h |
| III | 736.21          | 遮光率 (约为74.35%)     | 0.185m <sup>3</sup> /h |
| IV  | 736.21          | 遮光率 (约为74.35%)     | 0.185m <sup>3</sup> /h |

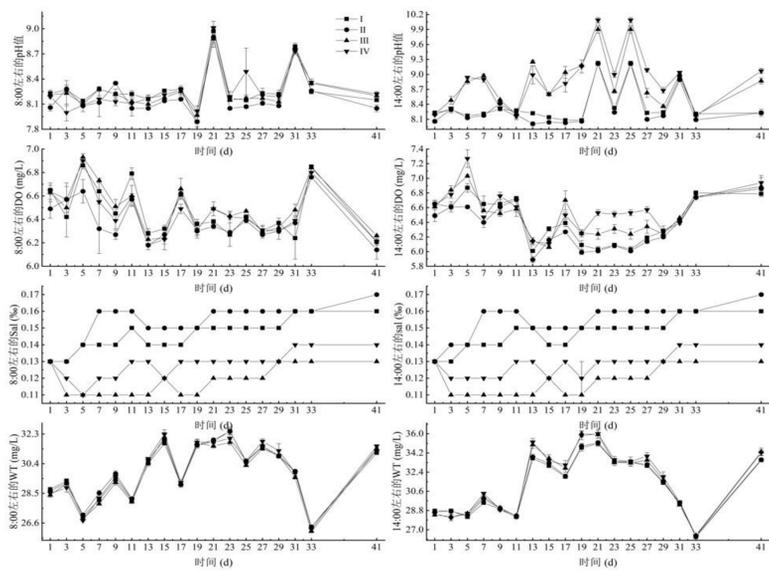


图1 各处理上午8:00左右和下午14:00左右的WT, pH值, Sal, DO随时间的变化

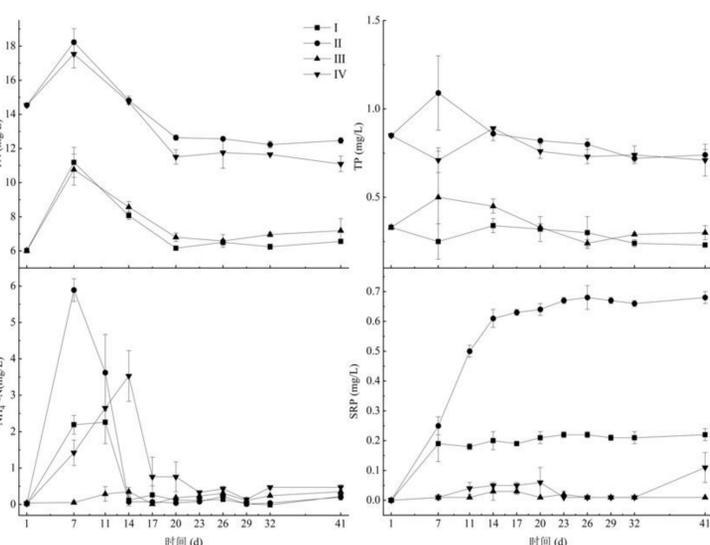


图2 各处理的TN, TP, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和SRP随时间变化

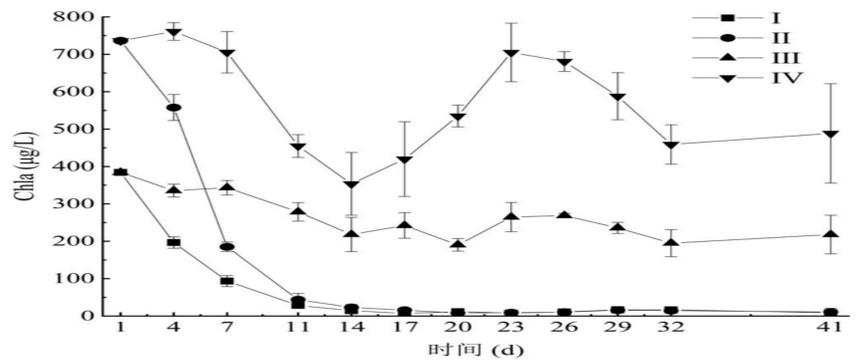


图3 各处理的Chla随时间的变化

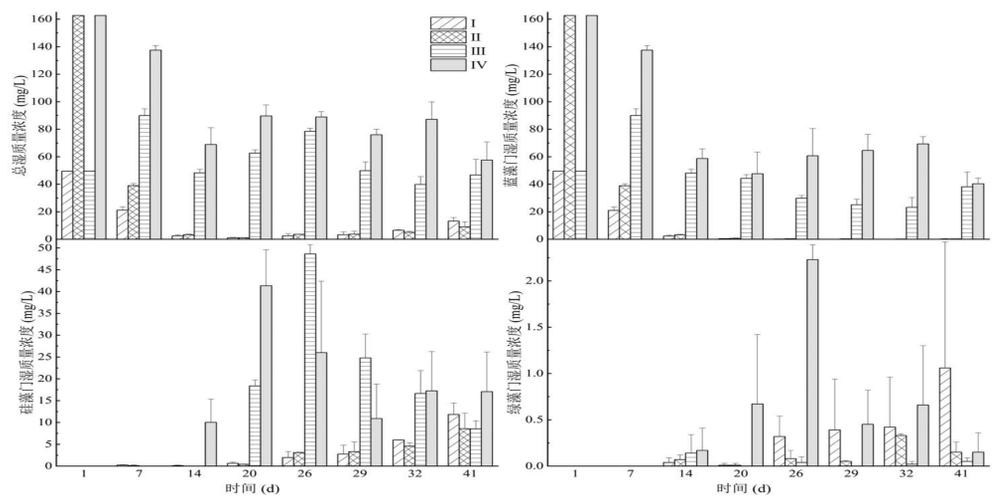


图4 各处理组藻类总湿质量浓度、蓝藻门藻类湿质量浓度、硅藻门藻类湿质量浓度、绿藻门藻类湿质量浓度随时间的变化

表2 I组湿质量排名前4的优势属湿质量百分比

| 浮游植物                   | 第1天       | 第7天        | 第14天        | 第20天        | 第26天        | 第29天       | 第32天       | 第41天      |
|------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|
| 浮游植物                   | Day1      | Day7       | Day14       | Day20       | Day26       | Day29      | Day32      | Day41     |
| 微囊藻 <i>Microcystis</i> | 99.87     | 98.68±0.54 | 84.68±13.26 | 27.25±9.13  | 12.73±11.92 | 9.08±9.92  | 1.93±0.80  | 1.42±1.13 |
| 鱼腥藻 <i>Anabaena</i>    | 0.13      | 0.12±0.08  |             |             |             |            |            |           |
| 席藻 <i>Phormidium</i>   |           |            |             | 15.41±4.71  |             |            |            |           |
| 菱形藻 <i>Nitzschia</i>   | 0.9±0.83  | 5.01±2.38  | 55.98±10.76 | 56.37±21.46 | 73.52±17.30 | 91.69±7.13 | 90.48±9.29 |           |
| 小环藻 <i>Cyclotella</i>  | 0.25±0.36 | 9.35±13.22 |             |             | 4.85±5.62   |            |            |           |
| 小球藻 <i>Chlorella</i>   |           | 0.74±0.82  | 1.34±1.90   | 10.86±1.74  |             | 0.75±0.26  | 0.51±0.17  |           |
| 实球藻 <i>Panorvina</i>   |           |            |             | 6.91±9.78   | 6.52±9.22   | 5.04±7.13  | 7.14±10.10 |           |

表3 II组湿质量排名前4的优势属湿质量百分比

| 浮游植物                   | 第1天   | 第7天        | 第14天       | 第20天        | 第26天       | 第29天       | 第32天       | 第41天       |
|------------------------|-------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 浮游植物                   | Day1  | Day7       | Day14      | Day20       | Day26      | Day29      | Day32      | Day41      |
| 微囊藻 <i>Microcystis</i> | 99.83 | 99.60±0.42 | 88.76±5.43 | 44.62±13.89 | 6.22±0.95  | 6.79±3.05  | 2.91±0.26  | 2.00±1.38  |
| 鱼腥藻 <i>Anabaena</i>    | 0.17  | 0.11±0.03  |            |             |            |            |            |            |
| 席藻 <i>Phormidium</i>   |       |            | 1.77±1.57  | 13.97±2.81  | 5.32±2.08  | 8.07±5.72  |            | 2.33±1.58  |
| 菱形藻 <i>Nitzschia</i>   |       |            | 7.41±4.28  | 39.75±12.55 | 85.21±2.66 | 81.52±7.50 | 89.07±0.17 | 93.64±2.28 |
| 小环藻 <i>Cyclotella</i>  |       |            |            |             |            |            | 1.04±0.77  |            |
| 小球藻 <i>Chlorella</i>   |       |            | 1.92±1.22  | 1.67±2.36   | 2.20±2.40  | 2.70±0.96  | 6.67±1.21  | 1.32±0.84  |

表4 III组湿质量排名前4的优势属湿质量百分比

| 浮游植物                   | 第1天   | 第7天         | 第14天       | 第20天       | 第26天       | 第29天        | 第32天        | 第41天        |
|------------------------|-------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 浮游植物                   | Day1  | Day7        | Day14      | Day20      | Day26      | Day29       | Day32       | Day41       |
| 微囊藻 <i>Microcystis</i> | 99.87 | 98.64±0.006 | 94.68±2.46 | 69.69±2.73 | 35.00±2.04 | 41.72±10.74 | 47.52±16.44 | 30.17±13.52 |
| 鱼腥藻 <i>Anabaena</i>    | 0.13  | 0.36±0.06   | 0.43±0.17  | 0.25±0.09  | 0.18±0.04  | 0.24±0.02   | 0.23±0.09   | 0.22±0.03   |
| 席藻 <i>Phormidium</i>   |       |             | 0.68±0.40  | 2.91±2.25  | 8.57±6.32  | 9.70±4.67   | 50.57±11.50 |             |
| 菱形藻 <i>Nitzschia</i>   |       |             | 4.59±2.50  | 29.38±2.44 | 61.85±2.19 | 49.47±6.99  | 42.48±15.22 | 18.95±4.15  |
| 伞藻 <i>Acetabularia</i> |       |             | 0.30±0.42  |            |            |             |             |             |

表5 IV组湿质量排名前4的优势属湿质量百分比

| 浮游植物                   | 第1天   | 第7天        | 第14天       | 第20天        | 第26天        | 第29天        | 第32天       | 第41天       |
|------------------------|-------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 浮游植物                   | Day1  | Day7       | Day14      | Day20       | Day26       | Day29       | Day32      | Day41      |
| 微囊藻 <i>Microcystis</i> | 99.83 | 99.79±0.01 | 85.71±4.59 | 50.59±14.01 | 65.61±20.77 | 81.79±12.18 | 77.59±7.39 | 62.14±3.70 |
| 鱼腥藻 <i>Anabaena</i>    | 0.17  | 0.21±0.01  | 0.29±0.09  | 0.96±0.26   |             |             |            | 0.40±0.10  |
| 席藻 <i>Phormidium</i>   |       |            |            |             | 1.54±0.63   | 2.47±0.57   | 2.79±1.24  | 9.49±4.90  |
| 菱形藻 <i>Nitzschia</i>   |       |            | 13.73±4.76 | 46.41±13.72 | 29.99±20.10 | 14.86±11.29 | 18.70±7.88 | 27.78±8.17 |
| 小球藻 <i>Chlorella</i>   |       |            | 0.27±0.38  | 0.81±0.95   | 2.51±0.26   | 0.60±0.51   | 0.72±0.62  |            |

## 4. 结论

微囊藻水华在曝气扰动下的群落结构受到不同浓度和光照强度的影响: 在相同的浓度下, 遮光率为99.39%的处理在抑制微囊藻水华生长的同时, 促进了非蓝藻的生长且以硅藻门为最大优势。其中Chla浓度为736.21ug/L更不利于微囊藻的生长, 而Chla浓度为384.32ug/L时却更利于藻类丰富度的回升。这为微囊藻水华调控提供了新的方法: 在不添加营养盐条件下, 在使用曝气扰动对适宜浓度的微囊藻水华进行调控时可降低光照强度来促进非蓝藻类生长。