

蒋晨韵,唐晓先,王 璨,等. 气象因子对巢湖水源地蓝藻水华暴发的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):281-286.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.062

# 气象因子对巢湖水源地蓝藻水华暴发的影响

蒋晨韵<sup>1</sup>,唐晓先<sup>2</sup>,王 璨<sup>1</sup>,袁 侃<sup>1</sup>,李小龙<sup>1</sup>,钱 新<sup>1</sup>

(1. 南京大学环境学院/污染控制与资源化研究国家重点实验室,江苏南京 210023; 2. 安徽省巢湖管理局,安徽合肥 238014)

**摘要:**近年来,巢湖蓝藻水华频频暴发,位于巢湖东部的水源地亦出现严重的蓝藻水华,影响渔业以及周边人们生活用水安全等。巢湖是典型的富营养化浅水湖泊,营养盐浓度水平适宜蓝藻生长繁殖。在当前水质条件下,研究气象因子及其变化对蓝藻水华生消和迁移的影响具有重要意义。以巢湖 2016 年 9 月的实测数据为基础,构建三维水动力-水质模型,设置不同的气温、辐射、风速、风向的组合情景,对蓝藻水华进行模拟,并重点关注巢湖水源地。结果显示,入秋后,巢湖气温仍有利于蓝藻的生长。这种温暖晴好天气下,如持续小风且风向不利(西南风),中部出现的蓝藻水华,能够在 3 d 左右到达巢湖水源地。因此,在营养盐充足且温度较为适宜的季节,风速和风向是巢湖蓝藻水华预警的重要因子。

**关键词:**巢湖;水质模型;蓝藻水华;气象因子;情景模拟;预测预警

**中图分类号:** X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)10-0281-05

20 世纪 70 年代以来,巢湖多次出现蓝藻水华,巢湖富营养化问题逐渐受到重视。近年来,有关巢湖蓝藻水华的研究不断深入,蓝藻控制有了更多的理论基础与实践经验<sup>[1-2]</sup>。尽管如此,巢湖蓝藻水华问题仍未得到改善。2007 年,巢湖经历了 2000 年以后较为严重的蓝藻水华<sup>[3]</sup>。2008 年以后富营养化仍维持较高水平。从 2000—2015 年卫星观测研究结果看<sup>[4-5]</sup>,巢湖蓝藻水华呈初次暴发时间提前、覆盖面积变大、暴发频率增加以及持续时间增长的趋势。蓝藻水华的暴发对水体中生物、水质造成不良影响,同时,危及巢湖水源地饮水安全和人体健康。

蓝藻水华的形成受到物理、化学、生物等因素影响<sup>[6]</sup>,一方面是内生性因素,包括藻类生长需要的营养物质、藻类自身的生理结构,另一方面是适合蓝藻增殖、形成水华的外生性环境条件<sup>[7-9]</sup>。在营养盐充足的情况下,环境因素对蓝藻水华的暴发和扩散起到重要作用。已有研究证实了气温、风、太阳辐射、降水等气象因子对巢湖蓝藻水华的暴发及面积具有重要影响<sup>[10-12]</sup>。从 2014—2016 年巢湖水质监测数据来看,巢湖全湖营养盐总氮(TN)、总磷(TP)浓度的最小值均大于美国环保局(USEPA)《湖泊与水库技术指导手册——营养盐标准》所述可能发生蓝藻水华的阈值(TP 浓度为 0.001 mg/L、TN 浓度为 0.150 mg/L)<sup>[13]</sup>,在蓝藻所需营养盐相对充足的前提下,气象因子很有可能成为影响巢湖蓝藻水华形成和分布的关键因素,对此进行针对性研究很有必要。已有研究主要通过监测数据进行分析得出结论<sup>[14]</sup>,本研究通过水动力-

水质模型具体分析巢湖蓝藻水华在时间空间上对气象因素的响应,为巢湖蓝藻水华的预测预警和控制提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据资料

模型计算所需的水质数据来源于巢湖管理局,包括每月 1 次的常规水质监测数据以及在蓝藻水华易暴发期每周 2 次的加密监测数据。

气象数据包括中国气象数据共享服务平台(<http://data.cma.cn/>)中国地面国际交换站气候资料日值数据集(V3.0)中合肥站点的气温、降水、风速、风向等日值数据,以及在巢湖忠庙处自建小型气象站采集的气温、降雨、风速、风向、辐射等间隔 15 min 的数据。

巢湖水华分布遥感监测图片来自于 MODIS 影像,2012—2016 年共有 292 份监测到有效藻华,各年中蓝藻水华最大面积分别达到 184.0、167.6、198.0、321.9、237.6 km<sup>2</sup>。

### 1.2 模型应用

本研究选用 ELCOM-CAEDYM(三维水动力-水质)耦合模型模拟气象因子对巢湖蓝藻水华的影响。通过将水动力模型 ELCOM 与水质模型 CAEDYM 耦合,模拟三维流场中光照、温度、溶解氧含量、碳氮磷循环等对藻类生长的影响,纳入蓝藻上浮与沉降等过程模拟,生成不同时点、网格、深度中各指标浓度,能够有效模拟气象因子在不同维度上对蓝藻水华规模、分布产生的影响。

ELCOM-CAEDYM 模型在国内外都有应用。在国外,ELCOM-CAEDYM 被成功应用于澳大利亚西部天鹅河口<sup>[15]</sup>、Daechong 水库<sup>[16]</sup>、Urayama 水库<sup>[17]</sup>等,国内也有学者将其用于淀山湖<sup>[18]</sup>、太湖<sup>[19]</sup>、天目湖<sup>[20]</sup>水质模拟研究,成功模拟了降水、入湖河流、营养盐、水温等因素对蓝藻水华的影响,并能够很好地反映出蓝藻水华的时空分布。谢兴勇等成功将 ELCOM 运用于巢湖引江济巢调水的工作<sup>[21]</sup>,为 ELCOM-CAEDYM 模型在巢湖的运用打下了基础。

收稿日期:2017-12-25

基金项目:安徽巢湖流域水环境综合治理项目亚行贷款(编号:Loan2941-PRC);巢湖水源地水质与蓝藻水华预测预警研究项目(编号:CS-03-04)。

作者简介:蒋晨韵(1993—),女,江苏无锡人,硕士研究生,主要从事水环境过程模拟研究。E-mail:1628596427@qq.com。

通信作者:钱 新,博士,教授,博士生导师,主要从事环境系统模拟与评估、环境风险预警等研究。E-mail:xqian@nju.edu.cn。

通过选取典型的蓝藻水华事件,搜集同期数据构建模型,对模型进行率定与验证。结果表明,模型能够较好地反应蓝藻生消与分布情况。

1.3 情景设置

1.3.1 基本情景 选择 2016 年 9 月 18—30 日的蓝藻水华过程为基础,对全湖进行初始化。全湖初始水温在 25℃ 左右。总氮浓度范围在 0.77~2.91 mg/L,氨氮浓度在 0.08~2.39 mg/L,总磷浓度在 0.04~0.20 mg/L。整体上,营养盐浓度西部高,中部次之,东部低。初始时蓝藻水华集中出现在西湖区以及湖心处(以藻浓度 65 μg/L 作为藻华出现的临界值)。通过对比基本情景模拟的结果与相应的蓝藻卫片,进一步对模型进行验证。

1.3.2 气温情景 监测到有效蓝藻水华时,日均气温在 14.3~33.4℃ 之间,各年日均气温均值在 24.5~26.5℃ 之间,日最低气温均值在 20℃ 以上,日最高气温均值在 30℃ 左右。根据自动监测站的数据,设置不同的温度区间,分别为 a(22.6~29.4℃)、b(20.7~31.8℃)、c(17.2~18.3℃)、d(20.9~25.7℃)。通过气温情景模拟,分析不同温度范围(a、c、d)和波动幅度(a、b)对蓝藻水华的影响。

1.3.3 辐射情景 根据自建气象站采集的辐射数据,日最高太阳辐射值范围在 400~800 W/m<sup>2</sup>,根据实际数据设置 4 档不同的辐射值,日最高值分别为极低值(LL)144.4 W/m<sup>2</sup>、低值(L)388.1 W/m<sup>2</sup>、中值(M)578.1 W/m<sup>2</sup>和高值(H)815.6 W/m<sup>2</sup>。通过辐射情景模拟的结果分析太阳辐射(光照)对蓝藻水华的影响。

1.3.4 风向风速情景 从风向上看,蓝藻暴发的时段各种风向均出现过,其中以东风、东南风、东北风为主,西南风、南风、西风次之。为模拟不同风向对蓝藻水华迁移扩散的影响,在小风、高温、晴天情形下设置不同的风向,在模拟东风下蓝

藻的迁移扩散的基础上,重点关注主要不利风向(如西风、西南风)作用下,湖区西部、中部藻华可能对巢湖东部水源地巢湖船厂(图 1)造成的影响。

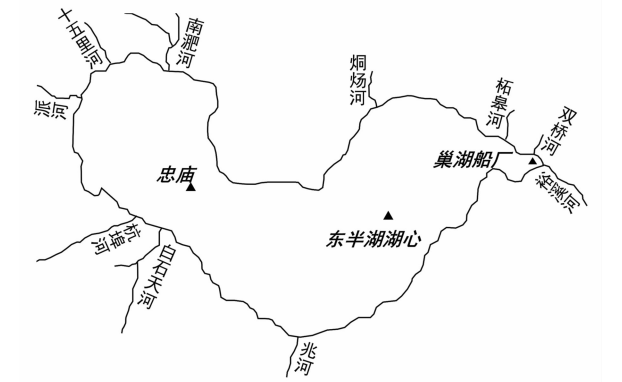


图1 巢湖船厂所在位置

从 2012—2016 年的蓝藻暴发时段的风速分析,日平均风速均值均小于 2 m/s,各年的均值在 1.62~1.94 m/s 之间。据此,设置 1、2、3 m/s 3 种情景,风速恒定。其他气象因子控制在适合蓝藻生长的范围内进行模拟,以考察风速对水华的影响。

2 结果与分析

2.1 基本情景模拟结果

基本情景下,蓝藻水华主要分布在西湖区和湖心区域靠北岸,逐渐向南扩散,在南岸形成藻华,面积在初始时略有增加,随后逐渐减小,与卫星图像监测到的蓝藻水华变化趋势基本一致(图 2)。

2.2 气温对蓝藻水华的影响

气温较低的 c 情景中,由于辐射较高,计算期间水温维持

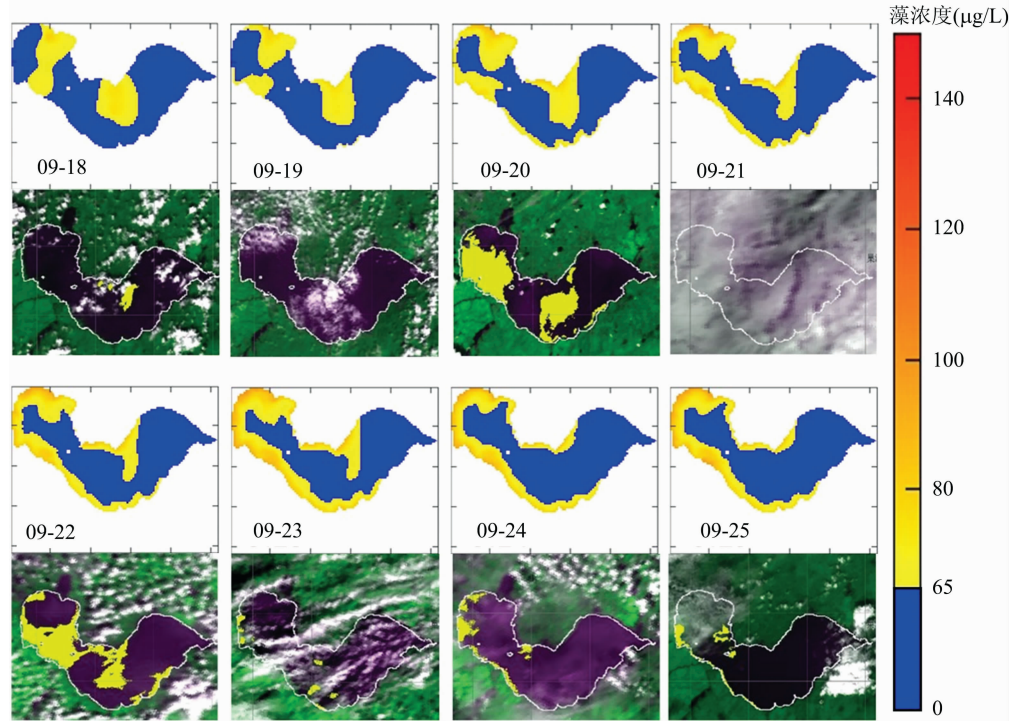


图2 基本情景模拟结果与卫片对比

在 25 ℃ 左右,藻浓度缓慢上升,在模拟后期保持在 50  $\mu\text{g/L}$  的水平。在巢湖地区夏季偶发的低气温条件下,即使营养盐较高、辐射较强,暴发水华的可能性也相对较小。

气温高于 20 ℃ 的情景(a、b、d)中,水温均呈缓慢上升的趋势,最高能够达到 33 ℃。在水温未超过 29 ℃ 时,随着水温的升高,巢湖船厂处表层藻浓度逐渐升高,从初始的 30  $\mu\text{g/L}$  上升到 80 ~ 90  $\mu\text{g/L}$ ,随后浓度开始缓慢下降,但始终高于 65  $\mu\text{g/L}$ 。在藻浓度下降阶段,水温多在 30 ℃ 左右,此时高温对蓝藻生长形成抑制,气温越高,水温越高,藻浓度下降的速度越快。情景 a 与 b 下,气温日均值相近,日气温波动幅度变大( $\pm 2$  ℃)对藻浓度水平没有明显影响。

藻浓度在不同温度区域变化趋势不同,源于蓝藻生长速率在不同温度下的变化。在达到 29 ℃ 之前,蓝藻生长速率随温度升高而升高,因此,气温高于 20 ℃ 的情景中初始藻浓度增长明显快于气温 20 ℃ 以下的情景。当水温高于 29 ℃ 时,气温越高,藻浓度下降越快,可能是由于温度超过了藻类生长的最适温度,藻类生长速率下降,而同时代谢死亡速率加快,使得藻浓度下降。另外,从已有观测值看,即使在入秋后的 9 月,气温日均值仍处于 20 ~ 30 ℃ 之间,极少情况会低于 20 ℃,因此该时段气温条件有利于蓝藻生长。

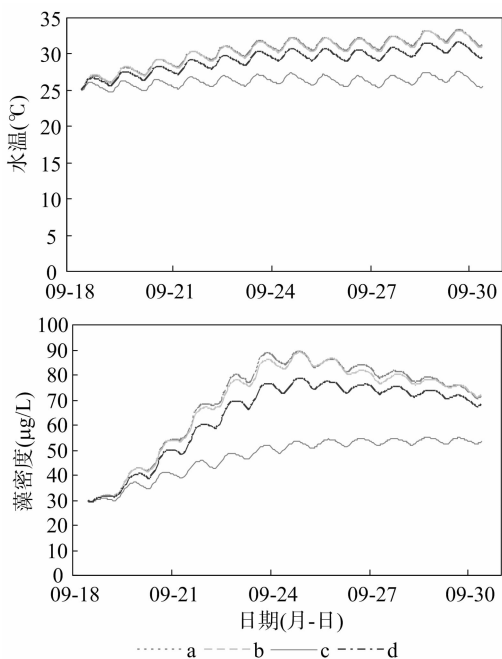


图3 不同气温情景下巢湖船厂水温和藻浓度的变化

### 2.3 辐射对蓝藻水华的影响

在辐射值较高的情景下,水温上升较快,仅在日最大辐射极低时,水温出现了下降。水源地巢湖船厂处,较高辐射值下,随水温上升,藻浓度呈先上升后下降的趋势,在低辐射情景下,藻浓度呈下降趋势(图4)。然而,在东半湖湖心藻浓度随时间始终呈下降趋势。总体上,辐射值越高,藻浓度越高。

不同辐射值代表了不同的光照度以及向水体传递的能量,影响藻类生长所能获取的光照以及水体表层温度的变化。水温适宜的情况下,光照不足(辐射值较低)会抑制蓝藻的生长,藻浓度呈下降趋势,但仍然维持在 25  $\mu\text{g/L}$  左右。东半湖湖心处,藻浓度始终呈下降趋势,可能是受其他因素影响,如

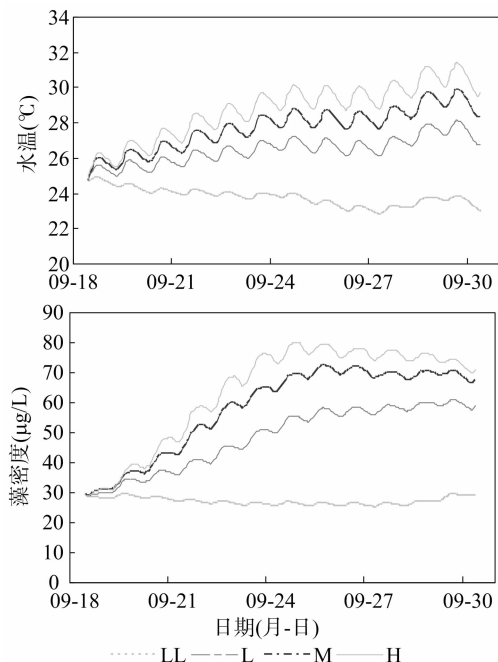


图4 不同辐射情景下巢湖船厂水温和藻浓度的变化

附近低浓度水的混合稀释。巢湖在 6—9 月,每日辐射最高值小于 200  $\text{W/m}^2$  的情况很少,基本能够满足蓝藻快速生长繁殖的条件。其他条件有利蓝藻增殖时,当辐射值达到 500  $\text{W/m}^2$  以上,水源地藻浓度快速上升并且能够稳定在 65  $\mu\text{g/L}$  以上,出现蓝藻水华。随着辐射值上升,藻浓度稳定时达到的值变高,但是增长率变小(图5)。有研究发现滇池藻浓度与辐射值存在负相关关系的情况<sup>[22]</sup>,这可能是由于滇池纬度低海拔高,辐射强度整体较高下的特有现象。巢湖处于亚热带,出现这种情况的概率不大。

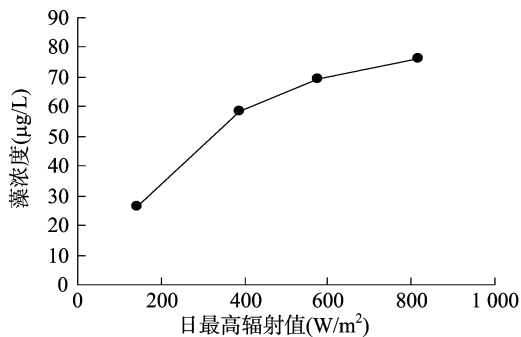
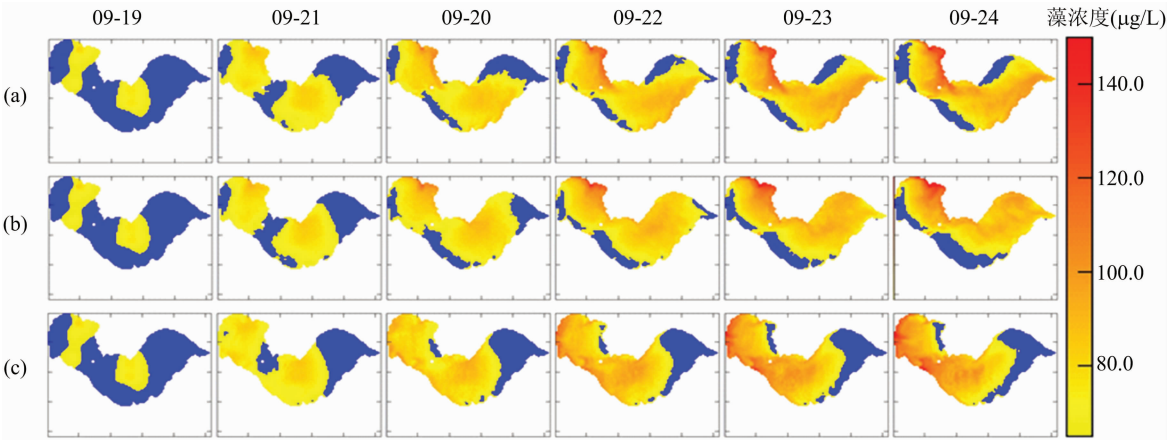


图5 不同辐射情景稳定藻浓度与日最高辐射的关系

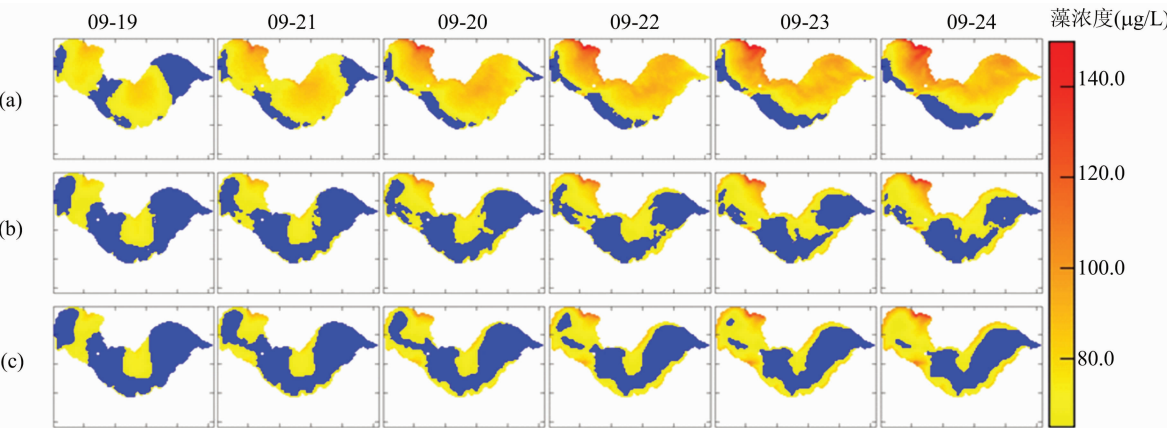
### 2.4 风对蓝藻水华的影响

风速 1 m/s 时,表层藻类快速繁殖,风向的影响更为明显。西风、西南风情景下,巢湖船厂水源地的藻浓度均快速上升。西风下,浓度上升最快,最高能够上升到 100  $\mu\text{g/L}$ 。东风能够阻碍蓝藻水华迁移到达东湖区取水口(船厂)处,使藻浓度维持在较低水平。不同风向下,忠庙、东半湖湖心藻浓度变化差别不大(图6)。

从不同风速情景下的藻浓度平面分布(图7)看,风速为 1 m/s 时,蓝藻水华连续、大面积出现,随时间不断向西南方向延伸,覆盖大部分湖区。风速 2、3 m/s 时,蓝藻水华未在全湖范围连成一片,且面积远小于风速为 1 m/s 时。



a—西风；b—西南风；c—东风  
图6 9月19—24日每日11时不同风向下藻华的平面分布



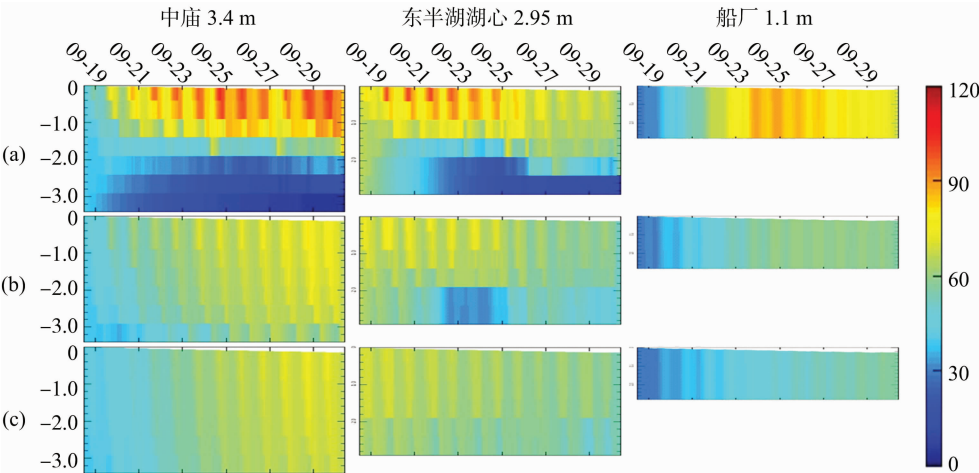
a—1 m/s；b—2 m/s；c—3 m/s，风向均为西南风  
图7 9月19—24日每日11时不同风速下藻华的平面分布

风速小时,蓝藻浓度迅速上升并且上浮至表层,随风扩散迁移,形成大片水华。在巢湖,当风速维持在 1 m/s 左右时,会在 1 d 内迅速形成大面积藻华,在迅速增殖的同时向四周扩散。

不同点位上垂直方向的平均浓度变化也有所不同(图 8)。忠庙处,1 m/s 风速下垂直方向藻浓度平均值要小于 2、

3 m/s 时,差距最大时近 20  $\mu\text{g/L}$ 。东半湖湖心处,3 种风速下垂直方向平均浓度相差并不大(小于 10  $\mu\text{g/L}$ )。巢湖船厂处,垂直方向平均浓度与表层浓度一致,风速小时浓度高。

风速小时,藻类漂浮在表层,有适宜的温度和充足的光照,迅速繁殖、扩散迁移。因此,风速小时,表层浓度更大。风

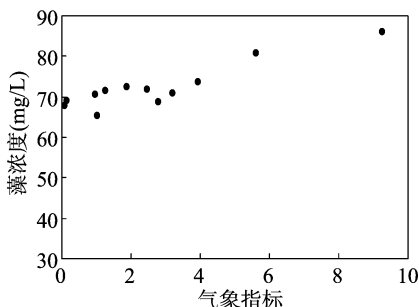


a—1 m/s 西南风；b—2 m/s 西南风；c—3 m/s 西南风  
图8 不同风速下垂直方向藻浓度变化

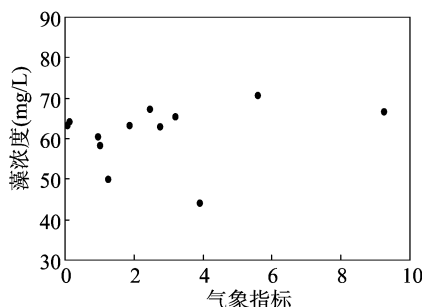
速较大时,对水体扰动增大,达到一定程度可能会破坏高温下的水体分层,使得营养盐、藻类在垂直方向上快速混合。在水深较小的巢湖船厂处,即使在风速 1 m/s 的情况也能充分混合。但在水深较大的忠庙处,1 m/s 的风速不足以破坏整个分层,藻类在表层迅速增殖积聚,消耗表层营养盐。一方面,由于分层未被打破,阻碍了底层营养盐向表层的迁移,表层未得到补给。另一方面,1 m/s 风速下,表层水温会更高,表层藻类代谢死亡速率也会增快。这可能共同导致了 1 m/s 时忠庙处垂直方向平均藻浓度低于 2 m/s 和 3 m/s 时。

## 2.5 藻浓度与蓝藻气象指标的关系

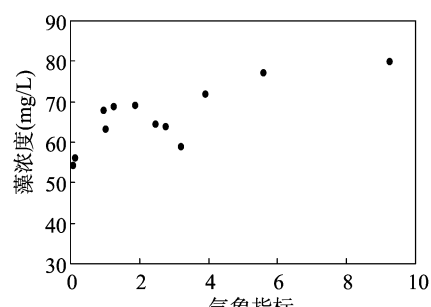
在营养盐充足的条件下,尝试分析藻浓度与气象因子之间的关系。将气温、辐射和风速进行归一化处理,计算气象指



a. 西半湖湖心



b. 忠庙



c. 东半湖湖心

图9 2016 年 9 月 18—30 日 15 点藻浓度与气象指标的关系

## 3 结论

在营养盐充足的春夏季节,气温、辐射、风等气象因素对藻浓度及蓝藻水华时空分布的影响可能更加明显。进入秋季后,巢湖气温日均值仍处于 20 ~ 30 ℃ 之间,有利于蓝藻的生长。同时,巢湖藻浓度会随着辐射值的增加而增加。当气象预报为晴天或者多云时,仍应加强监测。

气温适宜的晴好天气,风对蓝藻水华生消和分布产生的影响可能会更加明显。如果在此时巢湖中部湖区出现蓝藻水华,1 m/s 的西南风下,经过 3 d 左右,水华会迁移扩散到位于巢湖东部、裕溪河口上游的巢湖水源地。如在中部湖区观测到蓝藻水华,应密切结合未来风速风向的预报进行分析,如在未来几日气象预报中出现风速在 1 m/s 以下的情况,应对水源地的藻浓度进行跟踪加密监测,并制定相应的应急方案。

将气温、辐射和风速归一,计算蓝藻气象指标,对藻浓度与其关系进行了分析。总体上,在温度适宜(大多在 20 ~ 30 ℃)、天气晴好时,巢湖不同湖区的藻浓度均与蓝藻气象指标呈一定的正相关关系,但未考虑藻类的湖内迁移。在后续的研究中,应考虑迁移量的影响。

## 参考文献:

- [1] 陈云峰,殷福才,陆根法. 水华暴发的突变模型——以巢湖为例[J]. 生态学报,2006,26(3):878-883.
- [2] 贾晓会,施定基,史绵红,等. 巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”[J]. 生态学报,2011,31(11):2968-2977.
- [3] 张民,孔繁翔. 巢湖富营养化的历程、空间分布与治理策略(1984—2013 年)[J]. 湖泊科学,2015,27(5):791-798.
- [4] 唐晓先,沈明,段洪涛. 巢湖蓝藻水华时空分布(2000—2015

年)[J]. 湖泊科学,2017,29(2):276-284.

标。选取每天正午过后 15:00 的数据,分析藻浓度与气象指标的关系。从西半湖湖心、忠庙、东半湖湖心 3 个点的结果看,藻浓度总体上与气象指标呈正相关关系。西半湖湖心处初始藻浓度高,趋势更为明显(图 9)。

忠庙处,有 2 个明显的低值,原因可能是这 2 点对应初始时段(09-18 和 09-19),初始浓度较低,尽管气象条件较为适宜,藻浓度仍然处于较低水平。另外,气象指标最大值点出现在 9 月 20 日,并未对应最高浓度,但仍然相对前 2 日大幅上升。其他点位浓度水平较高,可能是由于后续高浓度区的藻类迁移到了该处。在未来分析考虑藻浓度的变化时,除了原位生长的蓝藻外,还应纳入迁移量。

- [5] Zhang Y, Ma R, Zhang M, et al. Fourteen-year record (2000-2013) of the spatial and temporal dynamics of floating algae blooms in Lake Chaohu, observed from time series of MODIS images [J]. Remote Sensing, 2015, 7(8):10523-10542.
- [6] 孔繁翔,高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报,2005,25(3):589-595.
- [7] 吴珺,李浩,曹德菊,等. 巢湖东半湖蓝藻水华暴发时空动态及成因[J]. 农业环境科学学报,2013,32(10):2035-2041.
- [8] 于洋,彭福利,孙聪,等. 典型湖泊水华特征及相关影响因素分析[J]. 中国环境监测,2017,33(2):88-94.
- [9] 王雪蕾,王新新,朱利,等. 巢湖流域氮磷面源污染与水华空间分布遥感解析[J]. 中国环境科学,2015,35(5):1511-1519.
- [10] 张红,黄勇,李堃. 湖面亮温对巢湖水华影响的遥感监测分析[J]. 环境科学,2012,33(10):3323-3328.
- [11] 范裕祥,金社军,周培,等. 巢湖蓝藻水华分布特征和气象条件分析[J]. 安徽农业科学,2015(4):191-193.
- [12] 张红,黄勇,姚筠,等. 巢湖藻类遥感监测和气象因子分析[J]. 环境科学与技术,2009,32(1):118-121.
- [13] Gibson G, Carlson R, Simpson J, et al. Nutrient criteria technical guidance manual: lakes and reservoirs (EPA-822-B-00-001) [M]. Washington DC: U.S. Government Publishing Office, 2000.
- [14] 张红,黄勇. 基于 NOAA/AVHRR 卫星资料的巢湖水华规律分析[J]. 中国环境科学,2009,29(7):727-732.
- [15] Robson B J, Hamilton D P. Three-dimensional modelling of a *Microcystis* bloom event in the Swan River estuary, Western Australia [J]. Ecological Modelling, 2004, 174(1):203-222.
- [16] Chung S W, Imberger J, Hipsey M R, et al. The influence of physical and physiological processes on the spatial heterogeneity of a *Microcystis* bloom in a stratified reservoir [J]. Ecological modelling,



李少杰,王红梅,曹云娥. 蚯蚓粪对设施甜瓜土壤微生物特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):286-290.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.063

# 蚯蚓粪对设施甜瓜土壤微生物特性的影响

李少杰<sup>1</sup>, 王红梅<sup>2</sup>, 曹云娥<sup>3</sup>

(1. 宁夏银川市农业综合开发办公室, 宁夏银川 750004; 2. 宁夏银川市西夏区农牧水务局, 宁夏银川 750000;  
3. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

**摘要:**以甜瓜(*Cucumis melo*) No. 1 为试材, 采用单因素完全随机设计, 设计 30、60、90 t/hm<sup>2</sup> 等 3 个蚯蚓粪梯度, 探讨不同蚯蚓粪施入量对土壤酶活性、微生物量及碳源利用率的影响。结果表明, 与对照(CK)相比, 蚯蚓粪处理有机质含量增加 21.93% ~ 31.38%, 全氮含量提高 35.64% ~ 48.29%; 显著提高土壤蔗糖酶、磷酸酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性; 利于微生物繁殖, 增加土壤可培养细菌数量 118.24% ~ 274.53%, 可培养放线菌数量 44.29% ~ 115.89%, 显著提高土壤中生理菌群数量, 土壤氨化细菌数量增加 192.12% ~ 471.52%, 亚硝化细菌数量增加 34.91% ~ 90.95%, 反硝化细菌数量增加 33.33% ~ 332.81%; 显著提高土壤微生物量碳含量 7.64% ~ 44.45%, 微生物量氮含量 22.46% ~ 58.43%; 显著提高了土壤碳水化合物、多聚类、羧酸类、氨基酸类、胺类及酚类碳源的利用水平。处理间比较可见, 施用量越大, 效果越好, 90 t/hm<sup>2</sup> 处理效果最佳, 促进有机质增加, 提高土壤微生物生长、繁殖、酶活性, 微生物对碳源的利用效果最好。

**关键词:** 蚓粪; 微生物活性; 土壤酶; 生理菌群; 碳源的利用

**中图分类号:** S154.39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)10-0286-05

随着设施蔬菜生产的区域化、规模化、专业化的发展<sup>[1]</sup>, 蔬菜设施栽培成为现代农业优选项目。然而设施蔬菜栽培中为了追求高效益, 过量施用化肥和农药, 栽培品种单一且存在多年连作等现象, 直接导致土壤质量下降, 蔬菜品质、产量及抗性也随之下降, 严重威胁着生态环境及制约着设施蔬菜产业可持续发展。施肥是影响土壤质量演化及其可持续利用最为普遍的农业措施之一<sup>[2]</sup>。施肥能激活休眠细胞参与土壤物质循环<sup>[3]</sup>, 是改善土壤理化性质、提高作物产量、改善设施蔬菜品质的重要环节<sup>[4]</sup>。研究表明, 施用蚯蚓粪可增加有机碳源的多样性, 能显著提高土壤微生物生物量及土壤酶活性<sup>[5-6]</sup>, 促进土壤微生物多样性的恢复<sup>[7]</sup>, 有效抑制连作障碍的发生进程, 改善土壤微生态环境<sup>[1]</sup>。

土壤微生物量是指生活在土壤中的体积小于  $5 \times$

$10^3 \mu\text{m}^3$  的微生物活体的总量<sup>[8]</sup>, 细菌、真菌、放线菌为主要类群, 既是土壤有机质和养分分解、转化、释放及循环的动力, 又可作为土壤养分的储备库, 同时也是植物生长中有效养分的重要来源<sup>[2]</sup>, 并对土壤环境条件的改变尤为敏感。因此, 其对土壤肥力状况及作物养分供应起决定性作用。土壤微生物量碳、氮是土壤碳素、氮素分解、转化、循环的重要参与者, 能直观反映土壤微生物和土壤肥力状况<sup>[9]</sup>。土壤酶活性是土壤生物学活性的总体现, 作为衡量土壤质量变化的预警和敏感指标<sup>[10]</sup>, 表征了土壤的综合肥效及其养分分解、转化进程, 反映了土壤生化反应的方向与速度, 是衡量土壤肥力水平的重要指标。因此, 研究不同施用量蚯蚓粪改良设施土壤措施对微生物生物量的影响具有十分重要的意义。

前人研究主要集中在施用化肥或有机肥对土壤理化性质指标或者单一微生物学指标的影响, 而系统性研究蚯蚓粪的施用量及方法对土壤微生物生物量、土壤酶活性等多种土壤微生物学指标的影响的报道较少。本研究以宁夏银川市西夏区镇北堡镇多年连作的设施甜瓜为对象, 通过施用不同量蚯蚓粪改良土壤, 探讨蚯蚓粪对设施土壤酶活性、可培养微生物数量、微生物量碳氮及微生物碳源利用的影响, 旨在为寻求合理的土壤改良措施提供科学的理论依据和技术支撑。

收稿日期: 2017-12-14

基金项目: 宁夏农业综合开发科技推广项目(编号: NTKJ-YC-2016-4)。

作者简介: 李少杰(1984—), 男, 宁夏银川人, 工程师, 主要从事农业综合开发项目管理研究。E-mail: shaojiell@163.com。

通信作者: 曹云娥, 博士, 副教授, 主要从事作物生理与营养调控研究。E-mail: caohua3221@163.com。

2014, 289: 133-149.

[17] Yajima H, Choi J. Changes in phytoplankton biomass due to diversion of an inflow into the Urayama Reservoir[J]. Ecological engineering, 2013, 58: 180-191.

[18] 卢嘉, 陈小华, 李小平. 基于 ELCOM-CAEDYM 模型的淀山湖营养物投入响应关系的模拟[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 366-374.

[19] 王长友, 于洋, 孙运坤, 等. 基于 ELCOM-CAEDYM 模型的太

湖蓝藻水华早期预测探讨[J]. 中国环境科学, 2013, 33(3): 491-502.

[20] 成晓奕, 李慧赟, 戴淑君. 天目湖沙河水库溶解氧分层的季节变化及其对水环境影响的模拟[J]. 湖泊科学, 2013, 25(6): 818-826.

[21] 谢兴勇, 钱新, 钱瑜, 等. “引江济巢”工程中水动力及水质数值模拟[J]. 中国环境科学, 2009, 28(12): 1133-1137.

[22] 谢国清, 李蒙, 鲁伟坤, 等. 滇池蓝藻水华光谱特征、遥感识别及暴发气象条件[J]. 湖泊科学, 2010, 22(3): 327-336.