

# 基于遥感方法的巢湖水华月平均强度评价方法研究

吴园玲<sup>1</sup>, 赵焕<sup>2\*</sup>, 贾兴<sup>2</sup>, 吴传庆<sup>2</sup>, 朱利<sup>2</sup>, 周亚明<sup>2</sup>, 孟斌<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100094)

**摘要:**以巢湖2009—2017年, 每年4—10月(共63个月)的地面和遥感监测结果的日平均值作为基础数据, 分别对地面和遥感监测指标求月平均值, 根据各指标间的相关性, 最终确定巢湖水华月平均强度评价的指标为藻密度、月累计水华面积、平均水华面积和大面积次数, 对这4个指标分别采用分级赋分的方法进行评分, 总评分等于4个指标评分之和, 依据总评分的结果, 将巢湖水华强度由弱至强分为5个等级。依据该评价方法, 巢湖水华强度从4月—9月, 基本由弱至强呈上升趋势, 中间偶有波动, 在9月前后达到峰值, 水华强度一般为较强至强。

**关键词:** 水华; 强度评价; 遥感; 巢湖

中图分类号: X87; TP79

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2019)06-0033-04

## Study on Evaluation Method for Monthly Average Intensity of Algal Blooms in Chaohu Lake Based on Remote Sensing

WU Yuan-ling<sup>1</sup>, ZHAO Huan<sup>2\*</sup>, JIA Xing<sup>2</sup>, WU Chuan-qing<sup>2</sup>, ZHU Li<sup>2</sup>, ZHOU Ya-ming<sup>2</sup>, MENG Bin<sup>2</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Environment Satellite Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Based on the daily average of ground and remote sensing monitoring results of Chaohu Lake from April to October (63 months in total) every year from 2009 to 2017, the monthly average of ground and remote sensing monitoring indicators were calculated respectively. According to the correlation between the indicators, the monthly average strength evaluation indexes of algal blooms in Chaohu Lake were finally determined to be algae density, monthly accumulated algal bloom area, average algal bloom area and number of large areas. These four indicators were scored respectively by grading and scoring method. The total score was the sum of the scores from the four indicators. According to the total score, the algal bloom intensity in Chaohu Lake was divided into five grades from weak to strong. By the evaluation method, the algal bloom intensity in Chaohu Lake increased from April to September, occasionally fluctuated, and peaked in September. The algal bloom intensity was sub-strong to strong.

**Key words:** Algal blooms; Intensity evaluation; Remote sensing; Chaohu Lake

水华强度的定量评价分级是评价湖库水华强度的重要依据, 目前还没有成熟的水华强度分级评价标准。湖库水华监测主要包括常规地面监测和遥感监测。地面监测方法包括现场人工观测方法<sup>[1-2]</sup>和水质自动站长期观测方法<sup>[3]</sup>等, 这些方法主要利用水质监测仪器现场测定水质参数, 随后实验室分析。地面监测结果较为准确, 不过通常会耗费大量人力物力, 工作效率较低, 无法实现大面积

收稿日期: 2018-09-26; 修订日期: 2019-10-02

基金项目: 国家重点研发计划“城乡生态环境综合检测空间信息服务及应用示范”(2017YFB0503900)子课题“城镇水体水质高分遥感与地面协同监测关键技术研究”基金资助项目(2017YFB0503902); 国家水体污染控制与治理科技重大专项基金资助项目(2017ZX07302-003)

作者简介: 吴园玲(1995—), 女, 江西南昌人, 硕士, 研究方向为“3S”技术集成与应用。

\* 通信作者: 赵焕 E-mail: zhaohuan900817@163.com

实时监测<sup>[4]</sup>。根据现场地面监测的结果进行水华强度评价,主要参考依据是藻类聚集程度(藻类密度的高低),参考因子较为单一。遥感监测手段具有快速大尺度动态监测<sup>[5]</sup>的优点,利用MODIS等数据源,根据蓝藻在不同波段的反射率的差异,采用归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)及差值植被指数(DVI)等方法<sup>[6]</sup>,结合目视解译,可以较好地在水华监测。由于地面实测和遥感监测水华的方法不同,评价方法也不同,导致水华强度分级没有统一标准,这为实际工作中的水华评价带来了许多困难。

今拟将地面监测数据和遥感数据相结合,综合考虑多重因子,基于专家咨询法和分级赋分评价法构建巢湖水华月平均强度评价方法。专家咨询法是在筛选指标、建立指标体系和确定指标权重的过程中,及时征询相关专家意见,对指标进行修改和完善;分级赋分评价法是一种定性评价方法,对各指标进行等权处理<sup>[7]</sup>。将文中提出的水华月平均强度评价方法与正在审批的水华相关国家标准相结合,能够进一步弥补地面评价和遥感评价结果不一致的缺陷。

## 1 研究区概况

巢湖位于安徽省中部,长江流域下游南岸,是我国著名5大淡水湖之一。巢湖湖盆长61.7 km,宽12.47 km,水面769.55 km<sup>2</sup>,平均水位8.37 m,平均水深2.89 m<sup>[8-9]</sup>。由于巢湖是一个半封闭的湖泊,面积大、水浅、水流慢,水体稀释扩散自净能力差,在夏季和秋季,气温和日照条件逐渐适宜,藻类大量暴发<sup>[10]</sup>,尤其在西北部为水华高发区<sup>[11]</sup>。藻类水华会破坏水生生态系统、释放有毒物质等<sup>[12]</sup>,对水体和生态环境及健康将会产生严重危害<sup>[13]</sup>。

## 2 评价方法构建

### 2.1 建立评价指标集

首先采用专家咨询法初步建立一般性评价指标集合,然后通过相关性分析法<sup>[14-15]</sup>进一步筛选出指标,保证筛选出的指标既相互独立,又具有一定的内在联系<sup>[14]</sup>。

初步确定的指标将地面监测和遥感监测结果综合考虑用于评价水华强度,遥感监测结果分别为水华发生次数(一定时间段内监测到的水华发生

次数)、大面积水华发生次数(以下简称大面积次数,一定时间段内水华面积占水体总面积的比例>10%的水华发生次数)、累计水华面积(一定时间段内所有发生水华的分布面积之和)、平均水华面积(一定时间段内累计水华面积与水华发生次数的比值)。地面监测数据分别为总氮、总磷、水温、透明度、pH值、溶解氧、叶绿素a、藻密度等监测值。将2009—2017年,每年4—10月(共63个月)的日平均值作为基础数据,对上述指标求月平均值,根据求得的63个月均值对各指标进行线性回归。结果表明,藻密度、月累计水华面积、平均水华面积和大面积次数4个指标之间的相关性较高,其中藻密度与月累计水华面积、平均水华面积、大面积次数之间的相关性系数分别为0.797、0.730、0.682,月累计水华面积与平均水华面积、大面积次数的相关性系数分别为0.942、0.909,平均水华面积与大面积次数之间的相关性系数为0.841。利用SPSS 15.0检验这4项指标为显著相关<sup>[16]</sup>,故选用每月累计水华面积、平均水华面积、大面积次数、藻密度作为确定水华月平均强度的指标。

### 2.2 确定参数分位数分级和综合评价

通过分位数分级赋分的方法将每个参数的概率分布范围分为5个等分的数值点,巢湖每月水华具体评价方法如下。

(1) 结合上述求得的月均值,将4个参数按照分位数分级,结果见表1。由表1可知,月累计水华面积以10 km<sup>2</sup>、70 km<sup>2</sup>、200 km<sup>2</sup>、400 km<sup>2</sup>为分级数值点,将数据分为5段范围,依次赋分为1、2、3、4、5分;平均水华面积以6 km<sup>2</sup>、17 km<sup>2</sup>、27 km<sup>2</sup>、36 km<sup>2</sup>为分级数值点,大面积次数以1次、2次、4次、5次为分级数值点,藻密度依据国家环境监测总站《水华遥感与地面监测评价技术规范(试行)》中的规定,以 $2.0 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ 、 $1.0 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 、 $5.0 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 、 $1.0 \times 10^8 \text{ L}^{-1}$ 为分级数值点,分别将数据分为5段范围,从1~5依次赋分。

(2) 根据分级赋分评价法,将4个指标赋予相同的权值,得到巢湖水华强度综合评价公式:总评分=累计水华面积评分+平均水华面积评分+大面积次数评分+藻密度评分。依据总评分的结果,将巢湖水华强度分为5个等级:总评分为[0,6),水华强度等级为弱;总评分为[6,8),等级为较弱;总评分为[8,11),等级为一般;总评分为[11,16),等级为较强;总评分为[16,20],等级为强。

表 1 各参数分位数分级的结果

Table 1 Quantile grading results for each parameter

评分	累计水华面积分级 $A/\text{km}^2$	平均水华面积分级 $A/\text{km}^2$	大面积次数分级 $n/\text{次}$	藻密度分级/ $L^{-1}$
1	[0,10)	[0,6)	[0,1)	$[0, 2.0 \times 10^6)$
2	[10,70)	[6,17)	[1,2)	$[2.0 \times 10^6, 1.0 \times 10^7)$
3	[70,200)	[17,27)	[2,4)	$[1.0 \times 10^7, 5.0 \times 10^7)$
4	[200,400)	[27,36)	[4,5)	$[5.0 \times 10^7, 1.0 \times 10^8)$
5	$[400, +\infty)$	$[36, +\infty)$	[5,31)	$[1.0 \times 10^8, +\infty)$

### 3 评价结果与验证

#### 3.1 评价结果

巢湖在所有月份都有不同程度的蓝藻水华覆盖,顾长梅等<sup>[17]</sup>利用 2000—2013 年,3—10 月的 MODIS 影像(共 1 237 景)分析了巢湖蓝藻水华暴发的时空分布特征,得出巢湖从 4 月份开始水华覆盖度明显增加;解华明等<sup>[18]</sup>利用 2009 年、2010 年共 23 期 HJ1A/1B - CCD 影像数据分析了巢湖蓝藻水华的时空分布,得出蓝藻水华主要发生在 5—11 月,集中暴发期一般从 5、6 月开始;范裕祥等<sup>[19]</sup>利用卫星遥感监测信息和气象资料,统计分析了 2009—2013 年巢湖蓝藻水华分布特征,得出巢湖蓝藻水华 5—11 月均有分布,9、10 月是其主要暴发期;唐晓先等<sup>[20]</sup>通过手机 2000—2015 年 2 478 景 MODIS 数据,利用浮游藻类指数,提取巢湖蓝藻水华时空分布数据,数据显示巢湖水华覆盖度在 9 月达到最高。运用上述评价方法,得出巢湖 2009—2017 年每年 4—10 月份水华强度分级情况,见图 1。由图 1 可见,巢湖水华强度从 4 月—9 月,基本由弱至强呈上升趋势,中间偶有波动,在 9 月前后达到峰值,水华强度一般为较强至强。因此,用文中提出的评价方法来评价巢湖水华强度所得出的结果与前人研究成果相符,说明该评价方法具有一定的可靠性。

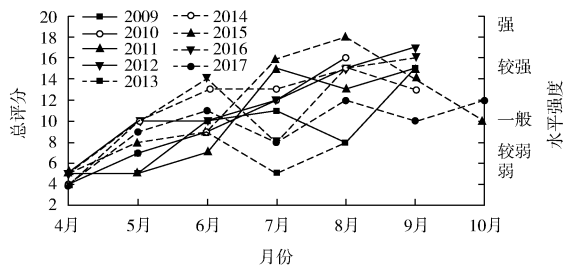


图 1 2009—2017 年巢湖 4—10 月份水华强度分级

Fig. 1 Classification of algal bloom intensity in Chaohu from April to October each year from 2009 to 2017

#### 3.2 方法验证

目前尚未存在较成熟的巢湖水华月平均强度分级标准,现有的分级标准多为对蓝藻水华暴发的日强度进行评价,如李旭文<sup>[21]</sup>根据太湖蓝藻水华发生的面积,将太湖水华分为 4 级;刘聚涛等<sup>[22]</sup>结合蓝藻水华发生的面积和叶绿素 a 的浓度,提出由小型至特大蓝藻水华的五分法分级标准;徐昕<sup>[23]</sup>根据 PA 值由大到小将太湖蓝藻水华分为 5 级。上述方法评价指标单一,单纯考虑蓝藻水华发生面积占全湖总面积的百分比或者水华发生的面积,缺少对藻密度等地面监测数据指标的关注。文中提出的评价方法,结合了地面监测数据和遥感数据,并且是对巢湖水华月平均强度进行评价,可为后续巢湖水华的研究提供新的思路,也为太湖、滇池等经常暴发蓝藻水华的湖泊的蓝藻水华月平均强度评价提供借鉴。

### 4 结论

(1) 基于专家咨询法和相关性分析法,将地面监测数据和遥感监测数据相结合,提出了一种新的巢湖水华月平均强度分级评价方法。评价指标确定为藻密度、月累计水华面积、平均水华面积和大面积次数,再利用分级赋分评价的方法对各指标分别打分,总评分 = 累计水华面积评分 + 平均水华面积评分 + 大面积次数评分 + 藻密度评分,最后依据总评分的结果,将巢湖水华强度分为以下 5 个等级:总评分为  $[0, 6)$ , 水华强度等级为弱;总评分为  $[6, 8)$ , 等级为较弱;总评分为  $[8, 11)$ , 等级为一般;总评分为  $[11, 16)$ , 等级为较强;总评分为  $[16, 20]$ , 等级为强。

(2) 运用该评价方法对巢湖 2009—2017 年每年 4—10 月(共 63 个月)的水华强度进行评价,结果表明巢湖水华强度从 4 月—9 月,基本由弱至强呈上升趋势,中间偶有波动,在 9 月前后达到峰值,水华强度一般为较强至强。

#### [参考文献]

[1] 梁柱,徐恒省,王亚超. 湖泊蓝藻水华预警监测技术的应用研究[J]. 污染防治技术,2009,22(6):97-99.  
 [2] 顾苏莉,陈方,孙将陵. 太湖蓝藻监测及暴发情况分析[J]. 水资源保护,2011,27(3):28-32.  
 [3] 徐恒省,王亚超,孙艳,等. 湖泊蓝藻水华监测与评价探讨[J]. 环境监测管理与技术,2012,24(5):69-71.  
 [4] 殷守敬,吴传庆,王晨,等. 综合遥感与地面观测的巢湖水体

- 富营养化评价[J]. 中国环境监测, 2018, 34(1): 157-164.
- [5] 朱利, 王桥, 吴传庆, 等. 巢湖水华遥感监测与年度统计分析研究[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 162-166.
- [6] 李亚春, 谢小萍, 杭鑫, 等. 结合卫星遥感技术的太湖蓝藻水华形成风场特征[J]. 中国环境科学, 2016, 36(2): 525-533.
- [7] DUBUISSON-JOLLY M P, GUPTA A. Color and texture fusion: application to aerial image segmentation and GIS updating[J]. *Image and Vision Computing*, 2000, 18(10): 823-832.
- [8] 孙金彦, 王春林, 黄祚继, 等. MODIS 遥感影像在蓝藻水华灾害监测中的应用[J]. 安徽科技, 2015(12): 21-23.
- [9] 周先传, 徐升. 巢湖蓝藻水华遥感监测初探[J]. 中国环境监测, 2010, 26(3): 36-39.
- [10] 刘淑英, 牛志春, 徐升. 巢湖富营养化遥感监测[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(4): 55-57, 60.
- [11] 赵焕, 朱利, 吴传庆, 等. 基于天地协同的巢湖水华分布特征分析[J]. 中国环境科学, 2018, 38(6): 2297-2303.
- [12] 杨顶田, 潘德炉. 蓝藻的卫星遥感研究进展[J]. 国土资源遥感, 2006(4): 1-5.
- [13] 王金霞, 谷尤勇, 汪阳凯. 藻类水华的危害[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2013(35): 1-4.
- [14] KWITT R, MEERWALD-STADIER P, UHL A. Lightweight detection of additive watermarking in the DWT-domain[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(2): 474-484.
- [15] 赵藩. 主成分分析方法综述[J]. 软件工程, 2016, 19(6): 1-3.
- [16] 宋挺, 黄君, 严飞, 等. 无锡市 MODIS 气溶胶光学厚度与 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的相关性分析[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(1): 57-59.
- [17] 顾长梅, 张运, 钱贞兵, 等. 基于 MODIS 的 2000—2013 年巢湖蓝藻水华暴发时空分布特征[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(12): 75-78, 81.
- [18] 解华明, 潘法康, 舒莹, 等. 巢湖蓝藻水华时空分布特征遥感监测研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12825-12827, 12911.
- [19] 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, 43(4): 191-193, 198.
- [20] 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.
- [21] 李旭文. Landsat-7 SLC-OFF ETM 遥感数据下载及在太湖蓝藻水华监测中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 54-57.
- [22] 刘聚涛, 杨永生, 高俊峰, 等. 太湖蓝藻水华分级及其时空变化[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(2): 156-160.
- [23] 徐昕. 基于 MODIS 的富营养化湖泊蓝藻水华时空分布及气象影响分析[D]. 南京: 南京师范大学, 2012.

(上接第6页)

### 5.3 细分产污环节, 层层深入归纳, 体现《规范》的行业特征

按照《纺织染整助剂名词术语》(GB/T 25799—2010), 规范生产工艺、原辅用料的名称表述。选择产量高、实际生产步骤多、污染物排放量大的生产工序作为重点调研对象, 根据调研结果, 细化生产环节, 按照生产工序—生产设备—监测点位—监测指标—监测频次的顺序, 层层深入, 细化分析, 最终确定验收监测内容, 体现纺织印染行业特征。

### 5.4 参考相关规范, 结合实地调研, 确保《规范》的实用性

在验收监测内容中明确特征监测指标的适用范围, 如六价铬和总铬监测适用于使用含铬染料及助剂进行染色、感光制网工艺印花的建设项目。为了保障《规范》的实用性和可操作性, 便于建设单位实施管理, 增加了质量保证与质量控制的内容。企业可根据自身工作需求, 设置或选择监测机构, 制定监测方案编制、样品采集、样品分析、监测结果报出、样品留存、记录保存等各个环节的工作流程及管理与监督措施, 建立监测质量体系。

## 6 结语

我国的纺织印染工业环境保护自主验收还处于起步阶段, 尚存在一些问题, 究其原因主要是缺乏相应的规范指导。因此, 在修订该行业环境保护验收技术规范时, 应在充分调研的基础上, 做好行业细分, 针对验收监测过程中的难点与重点问题, 提出切实可行的解决方案, 保证规范的适用性, 有效指导全国纺织印染工业环境保护验收工作的开展。

### [参考文献]

- [1] 陈荣圻. 新《环保法》与《纺织染整工业水污染排放标准》解读[J]. 纺织检测与标准, 2015(2): 23-28.
- [2] 环境保护部. HJ 709—2014 建设项目竣工环境保护验收技术规范 纺织染整[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [3] 鲁玉龙, 李刚. 纺织染整行业定型机废气污染治理与控制技术措施研究[J]. 环境工程, 2016(S1): 565-566.
- [4] 郭丽萍. 浅析环保“三同时”验收工作中存在的问题及对策[J]. 能源环境保护, 2012, 26(4): 61-64.
- [5] 吴慧娜. “三同时”制度在建设项目验收监测中的作用与问题探析[J]. 环境, 2011, 12(S2): 1-3.
- [6] 王之晖, 宋乾武, 冯昊, 等. 欧盟纺织行业 BAT 及其对我国染整行业污染防治启示[J]. 染整技术, 2013, 35(9): 27-29.
- [7] 魏玉香, 张迪生, 徐岚, 等. 工业类建设项目验收技术规范编制内容探讨[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 25(2): 7-9.
- [8] 成国兴, 吴旻妍, 吴福全. 建设项目竣工环境保护验收监测报告的审核[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 25(1): 1-5.

本栏目编辑 姚朝英