

基于荧光传感方法的藻类在线监测

殷高方¹, 张玉钧¹, 王志刚², 肖雪¹, 张恺¹, 段静波¹, 赵南京¹, 刘文清¹

1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所; 环境光学与技术重点实验室, 合肥 230031
2. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009

摘要 湖泊水库严重的水质富营养化导致水华大面积暴发, 已成为目前主要环境问题之一。实现水华暴发前后浮游藻类种群结构变化过程(主要包括浮游藻类种群组成、数量变化过程)的有效监测是分析水华发生的生态学机制、掌握水华的生消过程和实现水华预警的基础。本文基于藻类活体荧光光谱技术、嵌入式微控制技术和实时采集与处理技术, 研发出具有实时在线监测能力的藻类在线荧光仪, 可实现不同光谱组藻类(蓝藻、绿藻和褐藻)的分类测量。通过对比实验分析发现, 藻类在线荧光仪对蓝藻、绿藻和褐藻的分类测量误差均小于 17.88%。同时, 巢湖外场实验表明藻类在线荧光仪具有长期稳定的运行能力。具有以上指标的藻类在线荧光仪在水环境监测、水华监测预警和水质富营养化现状评估等领域具有广阔的应用前景。

关键词 藻; 荧光仪; 在线监测

中图分类号 TH744.1

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)23-0040-06

Online Monitoring Technology for Algae by Fluorescent Sensing Method

YIN Gaofang¹, ZHANG Yujun¹, WANG Zhigang², XIAO Xue¹, ZHANG Kai¹, DUAN Jingbo¹, ZHAO Nanjing¹, LIU Wenqing¹

1. Key Laboratory of Environmental Optics & Technology; Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China
2. School of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China

Abstract Water quality eutrophication and breakout of water bloom in lakes and reservoirs have already become a major environmental concern. To analyze the ecological mechanism of breakout of water bloom, to understand the generating and vanishing process of water bloom and to achieve an early warning of water bloom, the effective monitoring of the population structure of planktonic algae during breakout of water bloom is essential, which mainly includes species composition and quantitative variation of planktonic algae. Based on sensing method of fluorescence in vivo, embedded control technology and real-time data acquisition technology, this paper proposes a design of online fluorometer for algae. The fluorometer for algae can be used to measure the content of different spectral groups of algae (blue algae, green algae and brown algae) in vivo and in situ. The results of comparative experiments show that the measurement errors of blue algae, green algae and brown algae are less than 17.88%. Field experiments in Caohu show that fluorometer has a good stability. The fluorometer with a good performance would have further potential applications in environment monitoring, water bloom early-warning and evaluation of lake eutrophication.

Keywords alga; fluorometer; monitoring online

0 引言

藻类对生存环境条件要求不高, 自然存在于淡水湖泊、

水库和低流速河流中, 在营养充足, 温度、光照、风浪等有利于藻类滋生的水文气象等自然地理条件下, 藻类能快速生

收稿日期: 2010-08-08; 修回日期: 2010-11-17

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA061502); 安徽省科技计划项目(08010301107); 国家重大科技专项(2009ZX07527-005); 安徽省自然科学基金项目(090415215)

作者简介: 殷高方, 博士研究生, 研究方向为光电传感技术与应用、水环境荧光监测, 电子信箱: gfyin@aiofm.ac.cn; 张玉钧(通信作者), 研究员, 研究方向为光电技术与应用、光学信息处理、有害痕量气体光学与光谱学监测方法、新型环境监测技术, 电子信箱: yjzhang@aiofm.ac.cn

长,当达到一定生物量时,这些藻类在水体表层大量聚集,形成肉眼可见的藻类聚集体——水华。水华危害重大,但现阶段还缺少有效的治理手段,因此水华监测和预警成为预防水华灾害的主要途径^[1]。中国虽然已经在一些重点流域和敏感水域建立了水质在线监测网络和预警预报机制,但这些系统以常规水质监测为主,缺乏针对藻类水华的监测和预警^[2]。这主要是因为缺乏适合原位线监测的藻类传感技术。

目前,藻类监测技术可以大致归纳为两类:利用光学显微镜直接观测浮游藻的形态及数量和运用化学分析技术获得藻类组成和色素浓度信息。以上方法需要专业人员完成,费时费力,无法满足现场快速监测的需要。近 10 年来,荧光技术在藻类监测方面取得很大发展。Lee 等^[3]根据蓝藻所具有的藻蛋白发出的特征荧光光谱,建立了现场活体监测蓝藻含量的荧光分析技术,在 0.01~10μg/mL 的范围内可准确测定海水样品中的蓝藻含量;Boddy 等^[4]使用流式细胞仪,基于浮游藻的荧光性质和散射光性质的差异,借助神经网络技术实现了对 72 种浮游藻的识别分析;Kolbowski 等^[5]通过初始荧光(F0)区分了 3 个主要的藻类种群;Beutler 等^[6]利用浮游藻活体叶绿素激发荧光光谱,将浮游藻分为四大类(绿藻,蓝藻,隐藻,混合藻(含甲藻和硅藻))识别测定,提出了基于叶绿素激发荧光光谱的藻类监测方法。

本文基于荧光传感技术、嵌入式微控制技术和实时数据采集与处理技术,研发出藻类在线荧光仪,该荧光仪能够实现水华的实时动态监测,为水华的监测提供了一种新途径。

1 藻类荧光传感技术

藻类光合作用色素的种类和含量决定了藻类活体荧光光谱的特征,不同的光合作用色素对激发光的响应不同,表现在 680nm 处的激发荧光光谱存在差异^[7],如图 1 所示。

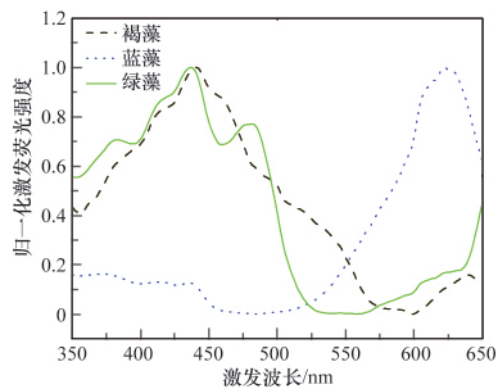


图 1 蓝藻、绿藻和褐藻 680nm 处归一化激发荧光光谱
Fig. 1 Normalized fluorescence excitation spectra of three species of algae at 680nm

根据多组分混合物荧光强度相加性原则,藻类混合样某一激发波长处的激发荧光强度为该激发波长处所有藻的激

发荧光强度之和^[3],即

$$M = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{s_{11}} & f_{s_{21}} & \cdots & f_{s_{m1}} \\ f_{s_{12}} & f_{s_{22}} & \cdots & f_{s_{m2}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{s_{1i}} & f_{s_{2i}} & \cdots & f_{s_{mi}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_k \end{bmatrix} + r \quad (1)$$

其中, M 为测得的混合藻各波长激发荧光强度,即激发荧光光谱; F_i 为激发波长 i 处的激发荧光强度; $f_{s_{ki}}$ 为单位叶绿素 a 浓度第 k 种纯种藻类激发波长 i 处的激发荧光强度; c_k 为第 k 种藻类浓度; r 为测量误差。若激发荧光光谱的激发波长数为 n ,混合样品中的藻类组分数为 m ,对于任何一个组分 k 单位叶绿素 a 浓度的标准激发荧光光谱已知,即已知 $k=1,2,\dots,m;i=1,2,\dots,n$,令 k 为未知数,则可得到由 n 个形如式(1)的方程等式组成的 m 元一次线性方程组。当 $n \geq m$ 时,可通过多元线性回归分析,求解线性方程组,求得混合样中各组分藻的浓度。

进一步研究表明,同类藻所含光合作用色素类似,根据常见淡水藻种在 680nm 处的激发荧光光谱特征,可将其分为蓝藻、绿藻和褐藻 3 类,如表 1 所示。

表 1 不同藻光合作用色素及其荧光光谱特征

Table 1 Photosynthetic pigments and fluorescence spectral characteristics of different species of algae

分类	主导光合作用色素	敏感的荧光激发波长/nm	淡水常见藻种
蓝藻	叶绿素 a, 藻蓝蛋白	435, 610	铜绿微囊藻, 惠氏微囊藻, 绿色微囊藻, 聚球蓝藻属, 水华鱼腥藻, 水华束丝藻
绿藻	叶绿素 a, 叶绿素 b	435, 470	小球藻, 四尾栅藻, 斜生栅藻, 二形栅藻, 双对栅藻, 莱茵衣藻
褐藻	叶绿素 a, 叶绿素 c, 类胡萝卜素	435, 525	梅尼小环藻, 汉氏菱形藻, 脆杆藻属, 卵形隐藻

2 藻类在线荧光监测技术

2.1 光源离散化处理

基于激发荧光光谱的藻类分类测量需要在 350~650nm 整个光谱段激发光源,光源必须采用连续光谱光源和准连续的分光单元,基于这种激发光源的藻类荧光仪,体积和功耗决定了它只适用于实验室离线分析,不宜于在线监测,从而限制藻类荧光仪的应用范围。

利用离散化激发光源代替连续激发光源可大大简化激发光源结构,减小仪器的体积和功耗,实现仪器的小型化。如图 1 所示,通过对蓝藻、绿藻和褐藻的连续激发荧光光谱分析发现,3 种藻的激发荧光光谱差异主要表现在 4 个典型波长区域。4 个区域对应的中心波长分别在 470,525,570 和

610nm 左右,对应着由叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和藻蓝蛋白吸收产生的激发荧光峰^[8]。可以认为这 4 个激发荧光波段包含了 3 种光谱组藻类激发荧光光谱的绝大部分差异信息,是区分蓝藻、绿藻和褐藻最敏感激发波长。使用这些特征波段激发光源替代连续的激发光,根据相同理论方法,也能够实现蓝藻、绿藻和褐藻的分类测量。

藻类在线荧光仪便是基于上述思想设计,利用离散化的荧光光谱实现藻类在线分类监测。仪器光源采用中心波长为 380,470,525,570,590 和 610nm 的超高亮 LED 阵列。

2.2 激发荧光光谱的采集与处理

藻类在线荧光仪主要由激发荧光光谱采集、藻类叶绿素 a 浓度反演以及模块间通信 3 部分组成。根据在线监测对仪器实时性要求,荧光仪采用基于 ADuC841 单片机芯片和 S3C2440 嵌入式芯片的双核设计。ADuC841 是藻类激发荧光光谱采集单元控制核心,S3C2440 是反演藻类叶绿素 a 浓度单元的运算核心,采集单元与运算单元通过内部通信网络连接,荧光仪与上位机间通信使用外部通信网络,如图 2 所示。



图 2 藻类在线荧光仪功能框图

Fig. 2 Function diagram of online fluorometer for algae

2.2.1 激发荧光光谱采集

ADuC841 是 AD 公司推出的基于 8052 微处理器的工业级控制芯片,集成了常用的外围器件,包括精确、高速的 8 通道 12 位模数转换器(其转换速率最高可达每秒 420×10^3 个采样点),精密内部电压参考源、DMA 方式控制器、2 个 12 位的电压输出数模转换器和 2 个脉宽调制输出、时间间隔计数器和看门狗定时器^[9]。利用 ADuC841 以上外围器件,可以方便地实现藻类激发荧光光谱采集。采集电路主要包括:LED 激发光源控制电路、探测器驱动电路和荧光探测电路,如图 3 所示。ADuC841 片上还配有 UART、SPI 以及 I2C 通信接口,这些模块只需通过平转换电路,可以方便地实现与其他单片机或 PC 机通信。本文便是利用 ADuC841 的 UART 接口将采集到的激发荧光光谱发往运算核心 S3C2440。

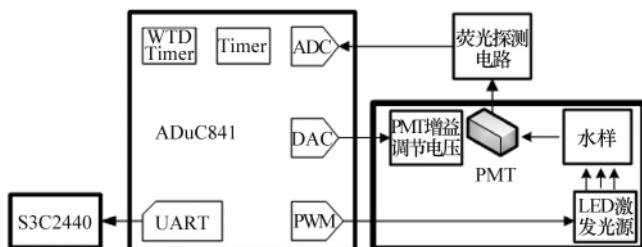


图 3 基于 ADuC841 的激发荧光光谱采集单元

Fig. 3 Acquisition unit for excitation fluorescence spectra by ADuC841

2.2.2 激发荧光光谱处理

S3C2440 是三星公司推出的基于 ARM920T 的嵌入式处理器,主频高达 400MHz,最高可达 533MHz,低功耗、高性能,片上集成指令和数据分开的 16KB Cache 和 SDRAM 控制器,具有出色的运算能力。利用 S3C2440 强大的运算能力,将接收的激发荧光光谱,结合存储器中的标准藻类激发荧光光谱数据库,通过多元线性回归算法,便可实时地反演出 3 种藻叶绿素 a 浓度。

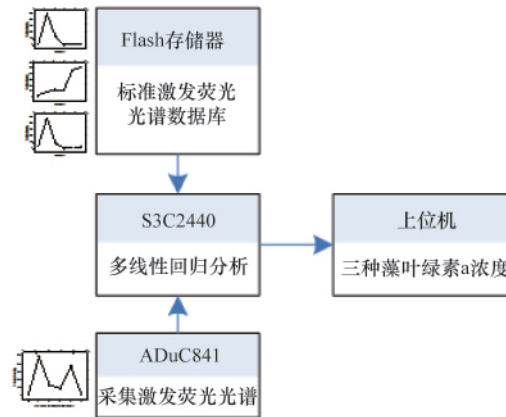


图 4 基于 S3C2440 的藻类叶绿素 a 浓度反演单元

Fig. 4 Calculation unit of chlorophyll-a concentration of algae by S3C2440

2.2.3 通信网络

藻类在线荧光仪通信由内部通信和外部通信两部分组成,通信网络均使用串行口接收中断通信方式以保证实时接收数据。

1) 内部通信是 ADuC841 与 S3C2440 间的通信,S3C2440 发送采集命令给 ADuC841,同时,接收 ADuC841 发送的激发荧光光谱。内部通信接口采用 S3C2440 的 UART 和 ADuC841 的 UART 通过电平转换电路完成,通信协议为自定义的内部通信协议。

2) 外部通信是指 S3C2440 与上位机间的通信。S3C2440 接收上位机命令帧和返回藻类浓度数据帧。藻类荧光仪作为传感器,必须能够与其他传感器组网通信,故外部通信接口采用 RS485 网络通信接口,通信协议采用工作标准化协议 Modbus RTU 协议。外部通信的中断处理流程如图 5 所示。

3 实验结果与讨论

3.1 对比分析实验结果

选择铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*)、四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda*)和脆杆藻 (*Fragilaria sp*)的纯种培养体,使用高效液相色谱法(HPLC)分别测得 3 种藻培养体相应的叶绿素 a 浓度。将 3 种藻类培养体以蒸馏水稀释一定比例后得到 3 种藻各浓度纯种培养体,通过不同比例混合得到

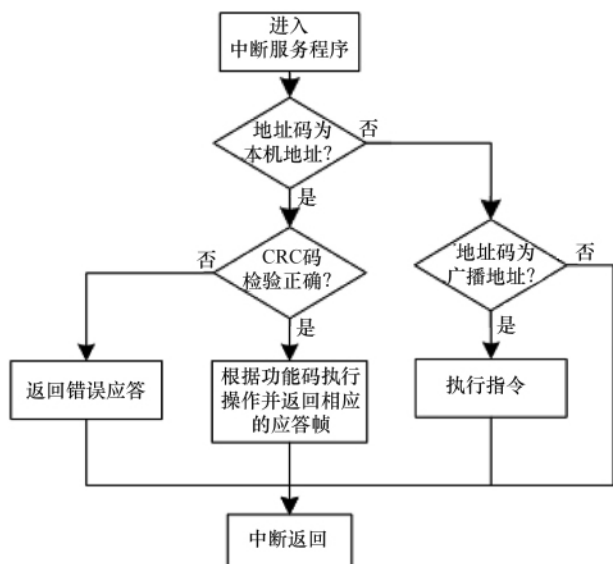


图 5 基于 Modbus 的外部通信中断处理流程
Fig. 5 Flowchart of interrupt handling routine of external communication by modbus protocol

由 3 种藻组成混合样 15 例,各样品中 3 种藻叶绿素 a 浓度通过混合比例求得。将上述混合样品暗适应 30min,藻类在线荧光仪测量混合样品中各藻组分的叶绿素 a 浓度。

通过相关性分析表明,藻类在线荧光仪对 3 种藻类混合样品测量结果与 HPLC 给出的结果表现出良好的线性关系,对铜绿微囊藻、四尾栅藻和脆杆藻的线性相关系数分别达 0.99373,0.99297 和 0.98029,如图 6 所示。

为进一步检验藻类在线荧光仪的性能,逐个分析藻类在线荧光仪对 3 种藻类 10 次混合样的测量误差,结果如表 2 所示。

从表 2 给出的 HPLC 和藻类在线荧光仪测得的各混合样品 3 种藻组分的叶绿素 a 浓度和相应的误差中可以看出,由藻类在线荧光仪测得的铜绿微囊藻、四尾栅藻和脆杆藻叶绿素 a 浓度与 HPLC 的测量结果最大误差分别为 17.88%, 9.99%和 11.06%。激发荧光光谱离散化可能是误差主要来源,因为激发荧光光谱离散会导致 3 种藻类荧光光谱相互干扰加大。尽管如此,藻类在线荧光仪对 3 种藻类叶绿素 a 浓度的最大测量误差仅为 17.88%,作为在线监测仪器,该误差在可以接受的范围内。

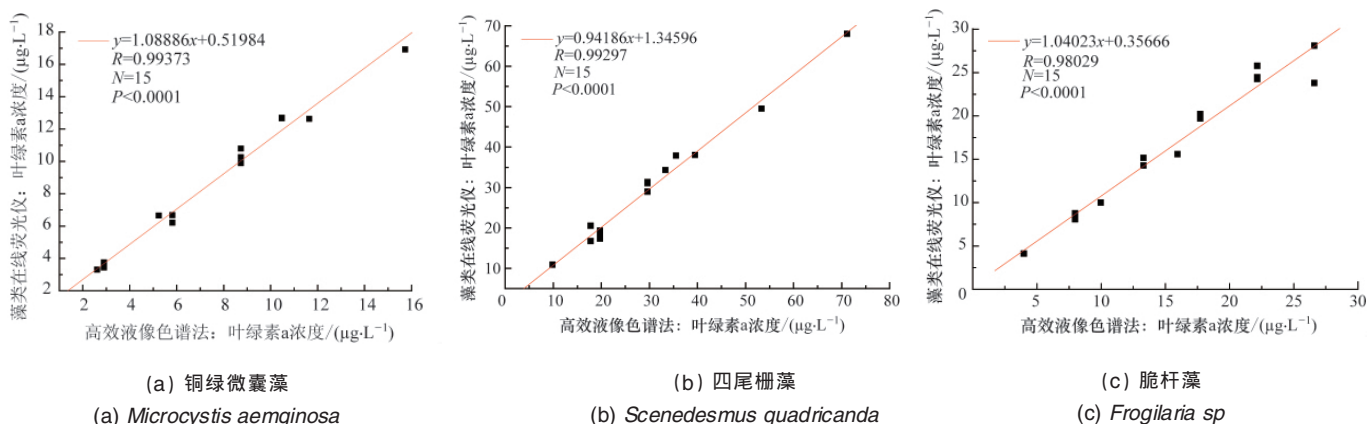


图 6 藻类在线荧光仪与 HPLC 对混合样品中 3 种藻类叶绿素 a 浓度测量结果的线性关系

Fig. 6 Linear relationship of measurement results between HPLC and online fluorometer for algae

表 2 藻类叶绿素 a 浓度测量的对比实验结果与误差分析

Table 2 Error analysis of measurement results of chlorophyll-a concentration of algae in comparative experiments

样品	铜绿微囊藻			四尾栅藻			脆杆藻		
	叶绿素 a 浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)			叶绿素 a 浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)			叶绿素 a 浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		
	色谱法	荧光仪	误差/%	色谱法	荧光仪	误差/%	色谱法	荧光仪	误差/%
1	5.55	5.39	2.79	35.25	34.87	1.56	22.12	21.77	1.81
2	11.09	11.25	1.41	7.05	6.98	1.61	38.71	38.80	0.43
3	16.64	16.88	1.45	14.1	15.19	7.73	27.65	27.65	0.00
4	22.18	21.65	2.42	28.20	27.90	1.26	11.06	10.96	1.82
5	27.73	27.28	1.63	21.15	21.43	2.26	11.06	11.14	3.36
6	2.91	3.43	17.88	19.76	19.30	2.36	26.60	28.09	5.60
7	5.82	6.21	6.54	19.76	18.93	4.20	22.17	24.25	9.39
8	5.82	6.66	14.39	29.64	31.29	5.56	17.73	19.70	11.06
9	8.74	10.25	17.27	29.64	31.07	4.81	13.30	14.26	7.24
10	8.74	9.88	13.12	9.88	10.87	9.99	22.17	24.47	10.39

3.2 巢湖外场实验结果

考虑到野外环境远比实验室环境恶劣,对仪器各方面性能都具有更高的要求。为检验藻类在线荧光仪的在线运行能力,将荧光仪安装在巢湖某浮标监测站点(31°41'43"N,117°20'24"E)进行长达两个月连续在线试运行,期间工作正常,实验结果如图7所示。

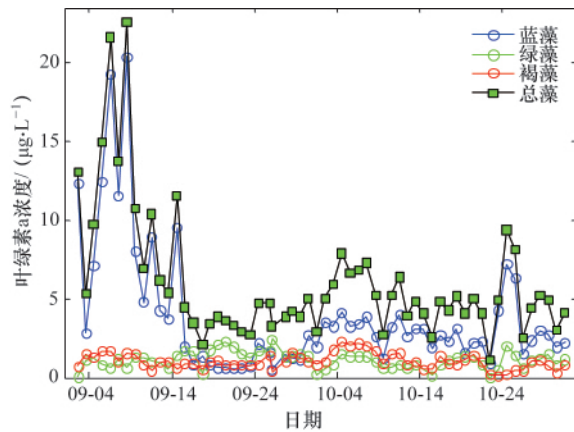
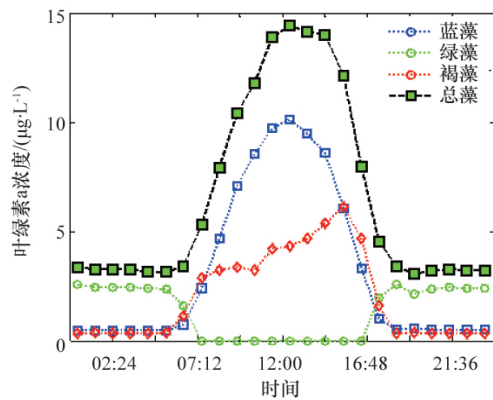


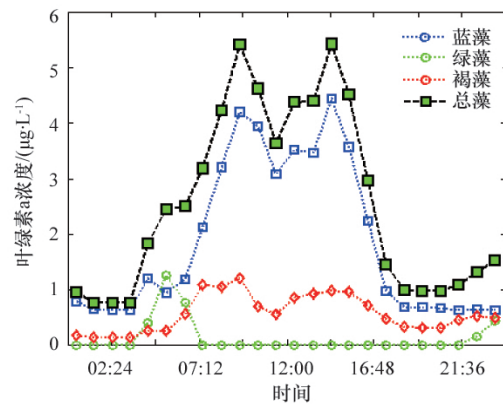
图7 2009年9—10月藻类在线荧光仪在巢湖浮标站点监测结果(日均值)

Fig. 7 Monitoring data obtained by online fluorometer for algae at buoy station in Caohu between Sept. and Oct., 2009

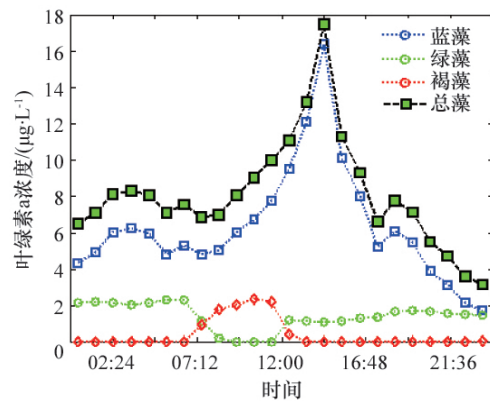
由图7可以看出,2009年9—10月期间蓝藻是巢湖优势藻种,将叶绿素a浓度 $10\mu\text{g/L}$ 作为水华发生标准^[10],则9—10月是巢湖蓝藻水华暴发的敏感时段,与文献报道巢湖历年监测结果吻合^[11]。另外,利用藻类在线荧光仪监测到的高频数据观察巢湖藻类的日变化,任选3天(10月5、15、25日)日监测数据进行研究,初步分析表明,巢湖藻类具有明显的昼夜效应,夜间藻类叶绿素a浓度较低且处于平稳期,上午06:00—12:00浓度呈上升趋势,下午14:00—18:00浓度逐渐减小至平稳期,浓度峰值通常出现在12:00—14:00之间;同时,还发现蓝藻昼夜变化幅度大,绿藻和褐藻的昼夜变化不明显(图8)。其原因可能是:在9—10月巢湖主要以铜绿微囊藻为主,微



(a) 2009-10-05



(b) 2009-10-15



(c) 2009-10-25

图8 藻类在线荧光仪在巢湖浮标站监测的藻类日变化

Fig. 8 Daily variation of algae obtained by online fluorometer for algae at buoy station in Caohu

囊藻具有一种调节细胞沉降的结构——伪空胞,在外界光照、温度昼夜变化明显时,微囊藻通过伪空胞在水柱中上下迁移,因而叶绿素a浓度呈现明显的昼夜变化现象。当然,这种解释有待进一步考证。

4 结论

采用藻类荧光传感方法,利用不同藻类激发荧光光谱的差异性,实现了藻类的分类测量。通过激发荧光的离散化处理,完成藻类在线监测荧光仪设计;通过与HPLC方法对比实验分析发现,基于荧光传感方法的藻类在线荧光仪对蓝藻、绿藻和褐藻的分类测量误差均小于17.88%,满足藻类的在线监测需求。巢湖外场实验证明,藻类在线荧光仪稳定性和可靠性良好。

随着浅水型湖泊的富营养化进程不断加快,蓝藻水华暴发也呈现逐年增加趋势,然而蓝藻水华暴发的机制目前在学术界尚未有统一的定论,蓝藻水华的研究也需要更进一步的深入。本文提出的藻类在线荧光监测技术,对藻类监测具有较强的实时性和连续性,藻类在线荧光仪的长期高频监测数据对研究水华的形成机制,特别是对短期水华的成因研究有

一定帮助,也是研究水华预警模型的建模基础。

参考文献 (References)

- [1] 王崇, 孔海南, 王欣泽, 等. 有害藻华预警预测技术研究进展 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2813-2819.
Wang Chong, Kong Hainan, Wang Xinze, et al. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2813-2819.
- [2] 李继影, 徐恒省, 翁建中, 等. 浅水型湖泊蓝藻水华预警监测工作的思考[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(4): 121-125.
Li Jiying, Xu Hengsheng, Weng Jianzhong, et al. Environmental Science and Management, 2009, 34(4): 121-125.
- [3] Lee T Y, Tsuzuki M, Takeuchi T, et al. Quantitative determination of cyanobacteria in mixed phytoplankton assemblages by all *in vivo* fluorimetric method[J]. *Analytical Chimica Acta*, 1995, 302(1): 81-87.
- [4] Boddy L, Wilkins M F, Morris C W, et al. Pattern recognition in flow cytometry[J]. *Cytometry*, 2001, 44(3): 195-209.
- [5] Kolbowski J, Schreiber U. Computer-controlled phytoplankton analyzer based on a 4-Wavelength PAM Chl fluorometer [C]/Mathis Ped. From Light to Biosphere. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995: 825-828.
- [6] Beufler M, Wiltshire K H, Meyer B, et al. A fluorometric method for the differentiation of algal populations *in vivo* and *in situ* [J]. *Photosynthesis*

Research, 2002, 72(1): 39-53.

- [7] 王志刚. 水体浮游植物浓度原位分类测量方法与系统研制[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
Wang Zhigang. Study on the *in situ* classified determining methods for water phytoplankton concentration and design of a monitoring system[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2008.
- [8] 韩博平, 韩志国, 付翔. 藻类光合作用机理与模型[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
Han Boping, Han Zhiguo, Fu Xiang. Mechanism and model of algae photosynthesis[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [9] 司马伟昌, 张玉钧, 王志刚. 多波长 LED 阵列光源叶绿素荧光探测仪电路的单片机实现[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(10): 1820-1825.
Sima Weichang, Zhang Yujun, Wang Zhigang. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2007, 28(10): 1820-1825.
- [10] 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.
Kong Fanxiang, Gao Guang. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 589-595.
- [11] 刘贞秋, 蒙仁宪. 巢湖浮游蓝藻的初步研究 [J]. 海洋湖沼通报, 1989(2): 35-41.
Liu Zhenqiu, Meng Renxian. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1989(2): 35-41.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“2011 年国际电气电子工程师学会情报与安全信息学国际会议(ISI'11)”征文

由国际电气电子工程师学会智能交通系统委员会(IEEE ITSS)主办,中国科学院自动化研究所承办的“2011 年国际电气电子工程师学会情报与安全信息学国际会议(ISI'11)”将于 2011 年 7 月 10—12 日在北京召开。

会议旨在为情报与安全信息学领域的研究者提供该领域内原创科学的沟通机会,探讨情报与安全信息学的研究与应用。

征文范围: 1)信息共享和数据/文本挖掘(情报相关知识发现、计算机或网络犯罪调查和数字取证、罪犯调查的准则和计算机犯罪过程标准、罪犯数据挖掘和网络分析、犯罪预报及影响、罪犯/情报信息共享及可视化、犯罪模式识别及建模工具、基于网络的情报监控和分析、时空数据分析/犯罪分析和安全信息学中的 GIS、欺骗和意图检测、网络犯罪检测与分析、署名权分析与鉴定、数字图书馆技术在情报数据处理、保存、共享和分析中的应用、情报共享中的智能体和协同系统、情报与安全相关 HCI 及用户接口、信息共享政策与管治、隐私、安全与公民自由、情报-计算机化社区安全与监控系统); 2)基础设施防护和应急(网络-物理-社会系统安全和突发事件管理、网络基础设施设计和防护、入侵检测、生物-恐怖主义攻击、预警和分析、生物-恐怖主义信息基础设施、交通及通信基础设施防护、边境/交通安全、法律执行决策支持系统、应急与管理、灾难预防、检测及管理、搜救通信和决策支持、公民应对恐怖主义和灾难性事件辅助、计算机取证及罪犯发现、反欺诈信息技术); 3)反恐信息学(恐怖主义相关分析方法和软件工具、恐怖主义知识门户和数据库、恐怖事件年表数据库、恐怖主义产生根源分析、社会网络分析、可视化和仿真、恐怖活动预测、反恐、恐怖主义社会影响测量、反恐效果测量、犯罪情报及网络犯罪调查、移民及安全); 4)企业风险管理和信息系统安全(信息安全标准、信息系统安全政策、安全信息学中的行为问题、欺诈检测、网络犯罪及社会影响、公司运营关注及风险、会计和 IT 审计、公司治理和监管、董事会行动及影响、公司情感监控、市场影响分析及媒体情报、消费者生成媒体及社会媒体分析)。

征文截止时间: 2011 年 3 月 1 日。

会议网站: <http://www.ieeeves.org>。