

东太湖水体中臭味物质分布及网围养殖对其影响

展永兴, 吴心艺

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128)

摘要: 东太湖是太湖流域重要的水源地, 苏州市吴江区取水口位于其中, 水体中出现异臭味。为了解东太湖水体中臭味物质的空间分布及甄别网围养殖可能对其的影响, 在东太湖的不同区域设置监测点位, 利用 GC-MS 对水体中的臭味物质进行监测。结果表明: 1) 水体中臭味物质 2-甲基异莰醇 (MIB) 和土嗅素 (Geosmin) 的浓度分布具有显著的空间异质性, 其浓度随距养殖区域距离的增加而递减; 2) 水体中臭味物质 2-MIB 和 Geosmin 的浓度与温度显著正相关, 当温度为最高时, 其最大浓度分别达到 1121.99 ng/L 和 34.29 ng/L; 3) 水温和硝酸盐氮浓度对 2-MIB 浓度有极显著影响 ($P < 0.01$), 水温越高, 硝酸盐氮浓度越高, 2-MIB 浓度越高, 总磷浓度和硝酸盐氮浓度对土嗅素浓度有显著影响 ($P < 0.05$)。网围养殖可能是水体中臭味物质的一个重要来源, 在东太湖及其它水源地治理中应引起高度重视。

关键词: 东太湖; 围网养殖; 2-MIB; 臭味物质

中图分类号: X524

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 09-0001-05

Influence of the taste and odor substances distribution and enclosure culture in East Taihu Lake

ZHAN Yongxing, WU Xinyi

(Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd, Suzhou 215128, Jiangsu)

Abstract: East Taihu Lake is an important water source in Taihu Lake basin. The water intake of Wujiang District in Suzhou City is in East Taihu Lake, and there is a peculiar smell in the water body. In order to understand the spatial distribution of taste and odor substances in East Taihu Lake and identify the possible effects of enclosure culture, monitoring sites were set up in different areas, and GC-MS was used to monitor the taste and odor substances in the water. The results showed that: 1) the concentration distribution of 2-methylisocampitol (MIB) and Geosmin had significant spatial heterogeneity, and their concentrations decreased with the increase of the distance from the culture area; 2) the concentration of 2-MIB and Geosmin in the water was positively correlated with the temperature, and the concentration was the highest. The concentrations of 2-MIB and Geosmin would respectively reach 1121.99 ng/L and 34.29 ng/L when the temperature was the highest. 3) The water temperature and nitrate nitrogen concentration had significant effects on the concentration of 2-MIB ($P < 0.01$). The higher the water temperature was, the higher the concentration of nitrate nitrogen, and the higher the concentration of 2-MIB. The concentrations of total phosphorus and nitrate nitrogen had significant effects on the Geosmin concentration ($P < 0.05$). Enclosure culture might be an important source of taste and odor substances in water, and great attention should be paid to the treatment of East Taihu Lake and other water sources.

Key words: East Taihu Lake; enclosure culture; 2-MIB; taste and odor substances

收稿日期: 2018-07-16

作者简介: 展永兴 (1975—), 男, 高级工程师, 主要从事水利规划设计工作。

1 概况

饮用水源地的水环境质量及其安全保障是一个地区经济、社会稳定发展的重要依托。近年来,太湖水体富营养化日趋严峻,蓝藻水华频繁暴发,藻源次生代谢产物中对水环境影响最大的是蓝藻毒素和异味物质^[1],饮用水的臭味主要包括土霉味、青草味、鱼腥味等。国外关于臭味问题进行研究较早^[2-4],美国在1850年就发现了水体中存在异臭味问题,日本琵琶湖于1969年发生非常严重的饮用水异臭味事件,影响居民正常生活^[5]。我国对水体异臭味方面的研究起步较晚,近几年有不少关于水体臭味方面的报道^[6-7],我国的太湖、滇池、巢湖等淡水湖中存在比较严重的水体异味问题,其中水体产生“土霉味”的主要成分为2-甲基异茨醇(2-MIB)和土腥素(Geosmin),这2种物质气味阈值极低且很难氧化,在常规的水处理工艺中很难将其有效去除^[8]。黄显怀^[9]等分析发现巢湖水体中放线菌及藻类的大量生长和繁殖是引起该水体产生臭味的主要原因。饮用水中的异味严重影响了水体及水产品的使用价值、美学价值和经济价值^[10-12]。因此关于水体中臭味物质的研究对于进一步控制和缓解水环境的异味问题具有重要意义^[13-15]。

近年来,东太湖水产养殖已对水质产生一定的影响,2012年夏季东太湖出现水质异味问题,威胁东太湖周围地区供水安全。这些异味物质及其它有毒有害物质,一旦扩散到饮用水源地,将可能引发饮用水危机。然而目前已证实的是富营养化、水体污染等环境问题是导致出现异味物质的重要原因,其本质是水体中藻类、微生物、厌氧环境等改变所产生的,水产养殖过程尤其是高密度的围网养殖会对水环境产生较大的影响,但是否会对水体中的异味物质产生影响尚不明确^[16-20]。为进一步研究东太湖的太湖蟹养殖是否对水体臭味的产生有影响,根据湖区流场对水源地、北部网围区域开展加密监测,并对监测结果进行深入分析,提出东太湖水体中异味物质的防控对策与措施,为饮用水安全和推广生态养殖提供科学依据。

2 材料与实验

2.1 试剂与仪器

2-甲基异茨醇(MIB)、土嗅素(GEO)的标准

品为Sigma公司试剂。每次使用时,用色谱级甲醇(Merck公司)配制成1 mg/L的溶液,配制标准曲线系列的溶液均从该溶液稀释得到,稀释所用的纯水为色谱级纯水(Milli-Q超纯水发生器)。用于分离溶解态和结合态异味物质的玻璃纤维素薄膜(Whatman GF/C, Brentford公司)。将分析纯级的氯化钠(Sinopharm公司)溶于色谱级纯水用于提取结合态异味化合物^[21]。用QP2010Plus气相色谱质谱联用仪(GC-MS)(日本岛津公司)对异味化合物进行定性和定量分析;色谱柱为HP-5MSUI石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),以氮气作为载气。Eclipse 4660吹扫捕集样品浓缩仪和4551A自动进样器(美国OI公司)用于异味物质的提取浓缩和样品导入,以氮气为吹扫气体^[22]。

2.2 样品采集与水环境指标测定

东太湖水深较浅,湖底高程为1.0~2.0 m,常水位下水深不足2.0 m,由于湖泊形态、水生植物茂盛、围网养蟹等因素影响,水流十分缓慢,围网养蟹已对的当地水厂水源地的水质产生一定的影响。根据对东太湖水源地取水口所在位置,结合地形、流场及周边区域的养殖特征,确定围网养殖区中心、第一水厂取水口和第二水厂取水口共3个监测点,各监测点位布设如图1,监测点位的水深在1.5 m左右。在养殖、不养殖等时段,分别采集水体样品,分析其中的异味物质的种类、浓度以及水温、总氮、总磷等浓度。监测时间为2013年4~12月,除7、8、9月水华发生期每天监测外,其它月每隔一星期左右监测一次。4~8月盛行东南风,月平均降雨量123.8 mm,夏季降雨量较往年偏少,夏季气温异常偏高,平均气温29.1℃,水温在8月达到最高。

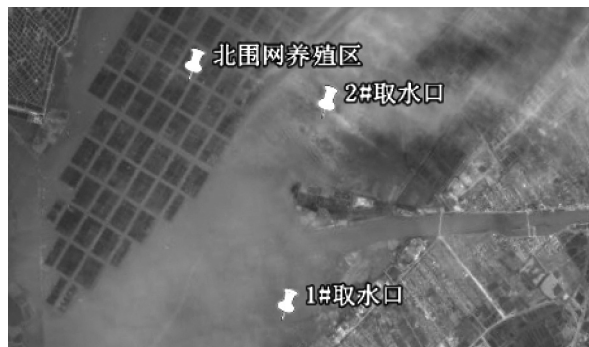


图1 东太湖采样点分布

因样品中各化合物浓度较低,必须使用适当

的富集方式富集各化合物浓度可采用吹扫捕集等方式提取溶解态异味物质, 用微波辅助等方式提取结合态异味物质。

2.3 数据的处理与分析

将各样点采集到的环境指标与异味化合物的空间分布数据用 EXCEL、SPSS13.0 软件进行统计分析。用典范对应分析 (Canonial Corresponding Analysis, CCA) 方法分析东太湖水体中臭味物质与环境因子之间的关联。采用 CANOCO4.53 软件中的 Forward 功能确定显著的环境因子, 对数据进行归一化处理, 构建环境因子矩阵, 进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 东太湖水体中臭味物质动态变化过程

3 个监测点位的总氮和总磷的浓度基本没有差异, 东太湖的总氮处于Ⅳ类水质标准, 7月和11月总氮浓度相对较高, 超过Ⅴ类水质标准, 最高为 3.91 mg/L。7月和11月总磷浓度相对较高, 但总体优于Ⅳ类水质标准, 最高为 0.116 mg/L, 见图 2。

2-MIB 的围网区, 第一、第二水厂取水口这 3 个点位浓度范围依次为 0 ~ 1121.99 ng/L、0 ~ 1121.99 ng/L、0 ~ 727.10 ng/L; 土嗅素的 3 个点位浓度范围依次为 0 ~ 34.29 ng/L、0 ~ 30.24ng/L、0 ~ 33.99 ng/L。其中 4、5 两个月的水质较好, 2-MIB 及土嗅素 2 个指标的浓度均未测出。2-MIB 指标的 3 个监测点浓度都是在 7、8 两个月的时候达到峰值, 围网区, 第一、第二取水口浓度峰值分别为 1121.99 ng/L, 727.10 ng/L, 762.36 ng/L。而土嗅素的在整个太湖蟹养殖期的浓度都不高, 2 个点位的浓度范围依次为 0 ~ 34.29 ng/L、0 ~ 30.24 ng/L、0 ~ 33.99 ng/L。3 个点位均在 8 月 13 日达到峰值。

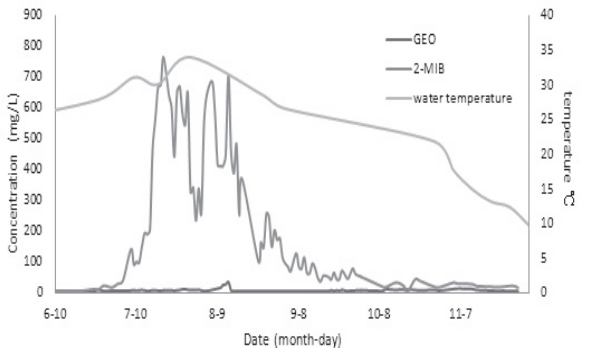
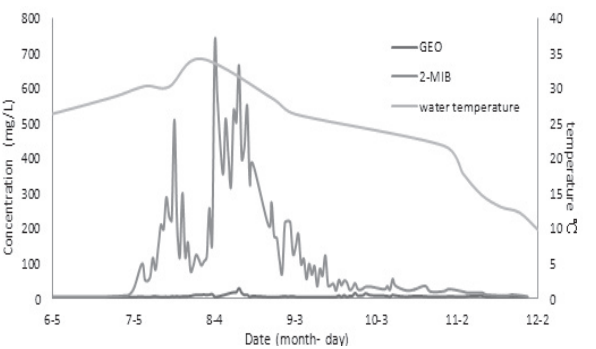
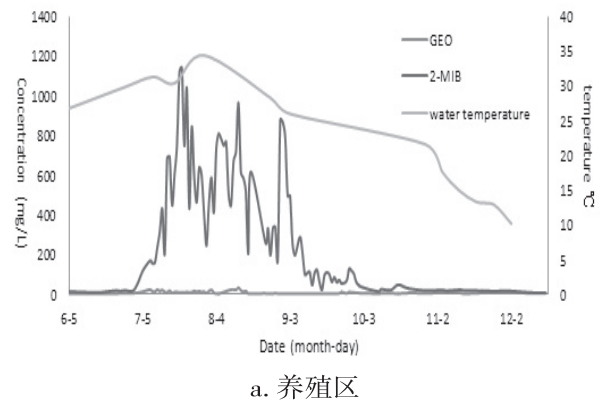


图 2 东太湖水体中 2-甲基异莰醇、土嗅素浓度与温度随时间的变化

以围网养殖区为中心, 3 个点位的 2-甲基异莰醇浓度随着与养殖区距离的增加而减少, 而 4 ~ 6 月, 2-甲基异莰醇浓度在阈值以下。

7 月围网养殖区的土嗅素浓度较高, 从 8 月开始, 3 个点位的土嗅素浓度基本相同。而 4 ~ 6 月, 土嗅素浓度在阈值以下。2 个致嗅物质的浓度分布如下图 3、图 4。

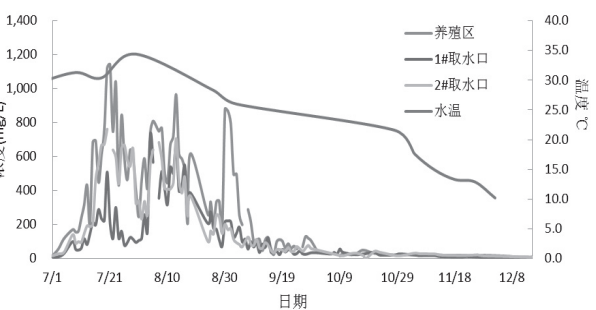


图 3 3 个监测点的 2-甲基异莰醇的浓度

从水化学指标的分布来看, 3 个监测点位的总氮和总磷的浓度基本没有差异, 而 2-MIB 和土嗅素的 2 个致嗅物质在不同点位的浓度差异较大, 且 7 月和 11 月的总氮和总磷的浓度相对其他月较高,

但是 2-MIB 和土嗅素的浓度只有在 7 月时很高, 而 11 月的浓度很低, 不能监测到。

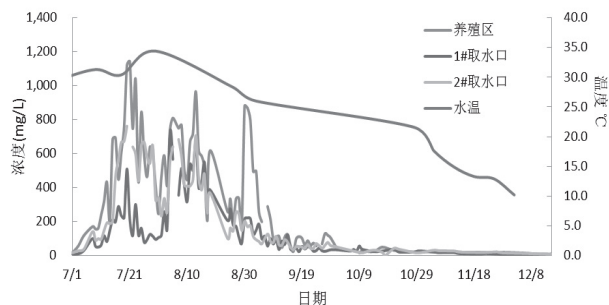


图 4 3 个监测点的土嗅素的浓度

3.2 环境因子对东太湖水体中嗅味物质变化的影响

为了揭示环境因子对东太湖水体中嗅味物质变化的影响, 对 2-MIB 和土嗅素浓度与环境因子进行相关性分析和 CCA 排序分析。相关性分析结果表明, 水温对 2-MIB 浓度有极显著影响 ($P < 0.01$), 水温越高, 2-MIB 浓度越高, 硝酸盐氮浓度对 2-MIB 浓度有极显著影响 ($P < 0.01$), 总磷浓度和硝酸盐氮浓度对土嗅素浓度有显著影响 ($P < 0.05$)。CCA 排序分析结果表明, 硝酸盐氮浓度对 2-MIB 浓度有极显著影响, 在 CCA 中, 第一和第二排序轴合并解释了 22% 的嗅味物质浓度变化。

前人的研究已经证实湖泊中的嗅味物质与叶绿素 a 浓度具有较好的相关关系^[23], 同时水温和总磷为梅梁湾藻类总生物量的显著相关因子, 水温、硝态氮和总氮为微囊藻生物量的显著相关因子^[24], 本研究中虽然未监测藻类指标, 但 2-MIB 和土嗅素浓度与水温 and 营养盐浓度的相关性分析结果也表明, 硝酸盐氮等营养盐浓度升高, 水体富营养化, 水温高时大量藻类生长, 在其生长代谢过程中产生 2-MIB 和土嗅素等嗅味物质, 从而影响到取水口水质。由以上分析可见, 硝酸盐氮浓度是 2-MIB 浓度的关键影响因子, 总磷浓度和硝酸盐氮浓度是土嗅素浓度的关键影响因子, 因此, 控制水体中硝酸盐氮浓度、总磷浓度可以一定程度上控制水体中的 2-MIB 和土嗅素浓度。

3.3 围网养殖对东太湖水体中嗅味物质变化的影响

东太湖的水质与渔业养殖关系密切, 围网养殖发展迅速, 2 月中旬开始投放蟹苗, 3 月份开始投饲料, 5 ~ 8 月份是太湖蟹的生长中期, 加大动物性饲料投喂量, 但仍以植物性饲料为主, 到了

后期, 蟹需要大量的营养, 多投喂动物性饲料。过了中秋节 10 月中旬开始大量的捕捞太湖蟹^[25]。从空间分布来看, 2-MIB 和土嗅素的 3 个监测点位, 距离围网养殖区越近, 其浓度就越高, 峰值分别为 1121.99 ng/L、34.29 ng/L。网围养殖区距离第二水厂取水口和第一水厂取水口分别为 1.5 km、3.0 km, 网围养殖区二甲基异茨醇数据明显高于非养殖区、水源地取水口。东太湖区域水生植物茂盛, 受到地形、围网养蟹等因素影响, 水流十分缓慢, 由于该区域湖水滞留, 嗅味物质主要依靠自然扩散, 受距离影响明显, 且各点位的浓度具有传播性, 从养殖区传向远处, 表现为养殖区域的浓度最高, 第二水厂取水口次之, 第一水厂取水口最低。由此可见, 要保障饮用水安全, 取水口半径至少 3.0 km 的范围内不能设有围网养殖区。

4 结论

通过从时间分布、空间分布以及相关性分析 3 个角度分析结果得出: 水体中嗅味物质 2-MIB 和土嗅素的浓度分布具有显著的空间异质性, 其浓度随距养殖区域距离的增加而递减; 水温对 2-MIB 浓度有极显著影响, 营养盐浓度对嗅味物质也有一定的影响, 硝酸盐氮浓度对 2-MIB 浓度有显著影响, 总磷浓度和硝酸盐氮浓度对土嗅素浓度有显著影响。监测数据表明网围养殖是水体中嗅味物质的一个重要来源, 在东太湖及其他水源地治理中应引起高度重视。

参考文献:

- [1] DENG Xuwei, TAO Min, ZHANG Lu, et al. Relationships between odors and algae and water quality in Dongting Lake[J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26 (1):16-21.
- [2] Olsen B K, Chislock M F, Wilson A E. Eutrophication mediates a common off-flavor compound, 2-methylisobornol, in a drinking water reservoir[J]. Water Research, 2016 (92):228-234.
- [3] Watson S B. Ecotoxicity of Taste and Odor Compounds[M]. Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology. 2013:337-352.
- [4] Watson S.B., M.Charlton. Off-flavours in large Water Bodies:Physics Chemistry and Biology in Synchrony[J]. Water Science and Technology, 2007, 55 (5):1-8.

- [5] 李勇, 张晓健, 陈超. 我国饮用水中嗅味问题及其研究进展[J]. 环境科学, 2009, 30(2):583-588.
- [6] Jiang Y, Cheng B, Liu M, et al. Spatial and Temporal Variations of Taste and Odor Compounds in Surface Water, Overlying Water and Sediment of the Western Lake Chaohu, China.[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2016, 96(2):1-6.
- [7] 邓绪伟, 陶敏, 张路等. 洞庭湖水体异味物质及其与藻类和水质的关系[J]. 环境科学研究, 2013, 26(1):16-21.
- [8] Watson SB. Cyanobacterial and eukaryotic algal odour compounds:signals or by-products[J]. A review of their biological activity. Phycologia, 2003(4):332-350.
- [9] 黄显怀. 巢湖水体异味产生的原因及其治理对策探讨[J]. 安徽建筑工业学院学报, 1994, 2(1):5-8.
- [10] Otten T G, Graham J L, Harris T D, et al. Elucidation of taste-and-odor producing bacteria and toxigenic cyanobacteria by shotgun metagenomics in a Midwestern drinking water supply reservoir.[J]. Applied & Environmental Microbiology, 2016(82).
- [11] Bang H, Slokar Y M, Ferrero G, et al. Removal of taste and odor causing compounds by UV/HO₂ treatment: effect of the organic and inorganic water matrix[J]. Desalination & Water Treatment, 2016:1-10.
- [12] Su M, Jia D, Yu J, et al. Reducing production of taste and odor by deep-living cyanobacteria in drinking water reservoirs by regulation of water level.[J]. Science of the Total Environment, 2016(574):1477-1483.
- [13] 马晓雁, 李军, 李青松, 等. 杭州市水源中藻类衍生嗅味污染及其释放特征[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(5):858-864.
- [14] Jian Lu, Paul S. Wills, P. Chris Wilson. Trace analysis of off-flavor/odor compounds in water using liquid-liquid microextraction coupled with gas chromatography-positive chemical ionization-tandem mass spectrometry[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2016, 10(3):477-481.
- [15] Zhang Y, Zhang N, Xu B, et al. Occurrence of earthy-musty taste and odors in the Taihu Lake, China:spatial and seasonal patterns[J]. Rsc Advances, 2016, 83(6):23-33.
- [16] Li L, Wan N, Gan N Q et al. Annual dynamics and origins of the odorous compounds in the pilot experimental area of Lake Dianchi, China[J]. Water Science and Technology, 2007, 55(5):43-50.
- [17] Chen J, Xie P, Ma Z M et al. A systematic study on spatial and seasonal patterns of eight taste and odor compounds with relation to various biotic and abiotic parameters in Gonghu Bay of Lake Taihu, China[J]. Science of the Total Environment, 2010, 409(2):314-325.
- [18] Watson SB, Ridal J. Periphyton: a primary source of widespread and severe taste and odour[J]. Water Science and Technology, 2002, 49(9):33-39.
- [19] Xu L P, Xiong B X, Pan Y et al. Relationship between concentrations of odorous compounds and biomass of phytoplankton and actinomycetes in fresh water ponds of Beijing, China[J]. Aquaculture International, 2010, 18(3):245-254.
- [20] Dzialowski AR, Smith VH, Huggins DG et al. Development of predictive models for geosmin-related taste and odor in Kansas, USA, drinking water reservoirs[J]. Water Research, 2009, 43(11):2829-2840.
- [21] Peter A, Kster O, Schildknecht A et al. Occurrence of dissolved and particle-bound taste and odor compounds in Swiss lake waters[J]. Water Research, 2009, 43(8):2191-2200.
- [22] Tung SC, Lin TF, Liu CL et al. The effect of oxidants on 2-MIB concentration with the presence of cyanobacteria[J]. Water Science and Technology, 2004, 49(9):281-288.
- [23] Davies JM, Roxborough M, Mazumder A. Origins and implications of drinking water odours in lakes and reservoirs of British Columbia, Canada. Water Research, 2004(38):1900-1910.
- [24] 陈宇炜, 秦伯强, 高锡云. 太湖梅梁湾藻类及相关环境因子逐步回归统计和蓝藻水华的初步预测[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1):63-71.
- [25] Yang M, Yu J W, Li Z L et al. Taihu Lake not to blame for Wuxi's woes[J]. Science, 2008, 319(5860):158.