

武汉大莲花湖异味化合物日变化及其相关因子分析

李林^{1,2} 万能^{1,2} 甘南琴¹ 宋立荣¹

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 大莲花湖位于武汉市汉阳区莲花湖公园内, 是以休闲娱乐为主的景观水体, 面积约为 64000m²。近年来, 该湖不断出现蓝藻水华, 每到夏季湖区臭不可闻, 损害了莲花湖旅游度假景区的景观生态价值和经济收入。本文对大莲花湖藻类及其异味化合物与环境因子的日变化进行了研究。结果表明, 夏季大莲花湖藻类以微囊藻占优势。据GGMS 鉴定, 该湖水中存在着 2-MIB、 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 等 3 种异味化合物。水中溶解性 2-MIB、 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 日最高浓度分别可达 69.1ng/L、32.6ng/L 和 453.9ng/L, 与各自的嗅觉异味阈值浓度比较可知, 2-MIB 和 β -Ionone 对该湖异味的类型和强度均有较大影响, 分别产生强烈土霉味和腐臭味, 而 β -Cyclocitral 对该湖异味的贡献则较小。水中日平均颗粒态的 2-MIB、 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 分别占各自总含量的 70.9%、74.4% 和 81.4%, 说明这 3 种异味化合物在水中均主要以颗粒态存在。这 3 种异味化合物的日变化与总藻、微囊藻、鱼腥藻及水面光强日变化相关性分析显示, 溶解性、颗粒态、总 β -Cyclocitral 均与总藻、微囊藻日变化显著相关, 颗粒态 β -Cyclocitral 和颗粒态 β -Ionone 与总藻及水面光强显著相关, 大莲花湖水中颗粒态 2-MIB 的浓度与鱼腥藻数量有显著相关性。

关键词: 蓝藻; 异味; 异味化合物; 日变化; 相关性

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2007)01-0112-07

在富营养化水体中, 一些易形成水华或形成优势种群的藻类能产生各种有异味的次生代谢产物分泌到水体中, 造成水和水产品的异味, 其中以具有土霉味的 2-甲基异茨醇(2-Methylisoborneol, 缩写为 2-MIB)、土腥素(Geosmin)最为常见, 水中 9—42ng/L 2-MIB、4—10ng/L Geosmin 就可使水体及水产品产生刺鼻难闻的异味^[1]。水体异味导致的后果主要为饮用水水质下降、渔产品质量下降、水处理耗费增大以及损害水体消遣与旅游美学价值等^[2]。我国在水体异味方面的相关研究工作较少。近年来, 我国一些湖泊调查^[3,4]表明, 滇池、太湖、巢湖、武汉东湖等富营养化湖泊中普遍存在着水体异味问题。

莲花湖地处武汉中轴线, 背靠龟山, 位于长江大桥汉阳桥头旁莲花湖公园内, 是以休闲娱乐为主的景观水体, 面积约为 85400m², 分大小二湖。大莲花湖面积约 64000m², 近年来, 湖区水体富营养化严重, 蓝藻水华年年发生, 每到夏季臭不可闻, 被当地居民戏称为“臭水湖”, 损害了莲花湖旅游度假景区

的景观生态价值和经济收入。为此, 本文研究了大莲花湖异味化合物的日变化, 对其可能的藻类来源及相关的环境因子进行了分析, 为通过调控藻类种群结构及相关因子控制水体异味污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂 HP6890 GG-5973MSD 气—质联用仪(美国惠普公司); 色谱柱为 HP-5MS, 5% 苯甲基聚硅氧烷弹性石英毛细管柱(30m × 0.25mm × ID 0.25 μ m film)。固相微萃取 SPME 装置、聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯涂层纤维(65 μ m PDMS/DVB)、125mL 和 25mL 带 PTFE 涂层硅橡胶垫的螺口玻璃瓶均为 Supelco 公司产品。

2-甲基异茨醇(100mg/L 2-Methylisoborneol 甲醇溶液)、土腥素(100mg/L geosmin 甲醇溶液)、 β -柠檬醛(β -Cyclocitral, 96%)、 β -紫罗兰酮(β -Ionone, 95%)均为 Sigma 公司试剂。去离子水取自 Milli-Q 超纯水发生器(Academic A10, USA)。

收稿日期: 2005-04-05; 修订日期: 2006-10-12

基金项目: 国家“十五”重大科技专项(2002AA601021); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB41230); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(ksx2-1-10)资助

作者简介: 李林(1974—), 男, 湖北武汉人, 博士研究生; 主要从事水体藻源异味研究

通讯作者: 宋立荣, E-mail: hsong@ihb.ac.cn

1.2 水样的采集与环境因子测定 分别于2004年9月9日8、10、12、14、16、18、22时至9月10日2、6时在大莲花湖的湖心采集表层水样,现场同时监测了气温、水温、pH、透明度、光强、溶解氧等环境因子变化,并进行了藻类的定性定量、叶绿素a、异味化合物、总氮、总磷等的分析。pH用Hanna HI98127 pH仪测定,DO用YSI55溶氧仪测定,水面光强用LI-COR LI-185B光照度仪于水面空气中现场测定。藻类的定性定量与叶绿素a测定方法参见文献[5]。总氮和总磷的分析方法分别见国标GB11893-89和GB11894-89。

1.3 水中溶解性和颗粒态异味化合物测定 异味化合物测定方法参见文献[6],稍加修改。水中异味化合物可分为溶解性和颗粒态化合物。取50mL水样,用Waterman GF/C膜过滤,以少量去离子水洗涤滤膜数次,合并滤液加水至70mL,置入125mL萃取瓶,加盐搅拌下,于60℃,顶空固相微萃取40min后,在气相色谱进样室内250℃热解吸,以GG-MS测定,计算得到水中溶解性异味化合物含量。将滤膜上残留物冷冻后,反复冻融使藻细胞破碎,研磨,加水至10mL,置入25mL萃取瓶,加盐搅拌下,于60℃顶空固相微萃取40min后热解吸,用GG-MS同法测定,即得水中颗粒态异味化合物的含量。

GG-MS分析条件为,载气为高纯He,恒压120kPa;进样口温度为250℃;无分流进样。程序升温为初温60℃,保持2min,以5℃/min的速度升至200℃,保持2min,再以20℃/min的速度升至250℃,保持2min;传输线温度为280℃;离子源温度为230℃;电子能量为70eV。鉴定水样中未知化合物采用质谱全扫描方式,质量范围为40—350amu。定量测定水样中痕量异味化合物时,采用质谱选择离子方式,特征离子m/z 95、112、137、177分别作为2-甲基异莰醇、土腥素、β-柠檬醛、β-紫罗兰酮的定量离子,同时检测特征离子m/z 135、125、152、192分别作为2-甲基异莰醇、土腥素、β-柠檬醛、β-紫罗兰酮的监控离子。

2 结果与分析

2.1 大莲花湖环境因子日变化

采样期间,莲花湖天气多云见晴,气温为20—29℃,采样点水深为1.44m,透明度为0.3m。表层水的水温、pH、水面日照强度、溶解氧、TN、TP等理化因子日变化情况见图1。由图1可知,水面日照强度变化很大,光强在0—750μE/s·m²变化;水温和pH变化较小,日平均值分别为25.4℃和8.4;TN和TP波动较小,TN/TP约为10:1。

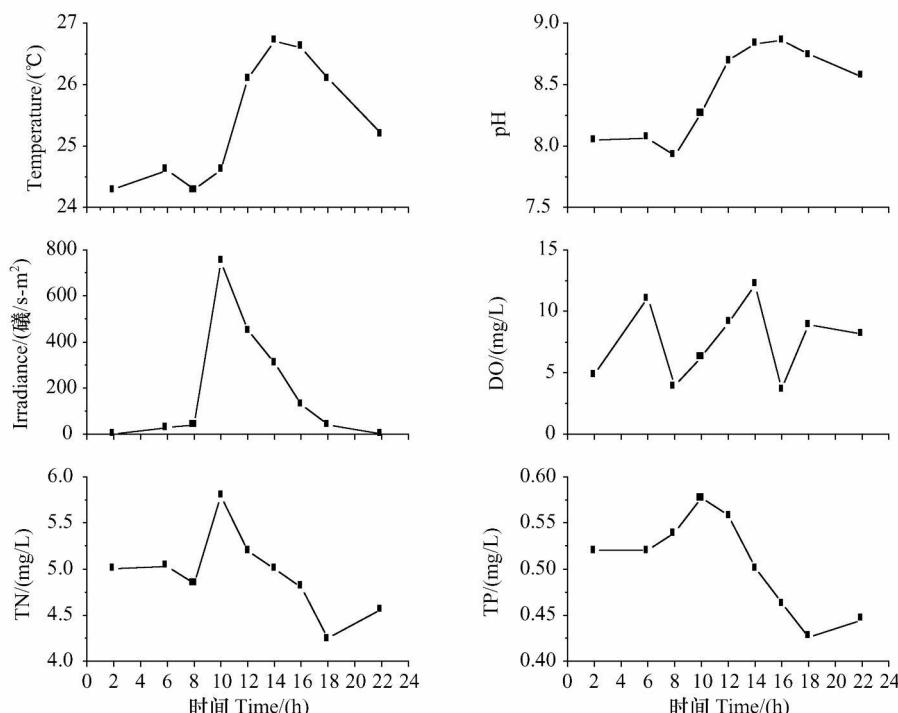


图1 大莲花湖环境因子的日变化

Fig. 1 Diurnal variation of the environmental parameters in Lake Dalianhua

2.2 大莲花湖水中藻类组成及其日变化

大莲花湖水柱中蓝藻水华严重, 日平均叶绿素a含量已超过 0.22mg/L。其藻类组成主要为蓝藻, 其次为硅藻, 再次为绿藻, 还有少量裸藻与隐藻。蓝藻中以微囊藻占绝对优势, 其次为螺旋藻, 再次为鱼腥藻和席藻, 还有少量颤藻与束丝藻。大莲花湖藻类总数与优势种群日变化见图2。其生物量变化有相似的趋势, 均在子夜 22 至 2 时最低, 上午逐渐上升, 达到最高后再逐渐回落, 下午变化较小, 日落后再次减少。其他蓝藻仅占蓝藻生物量的 5% 左右, 各属的日变化各有不同, 无明显规律。

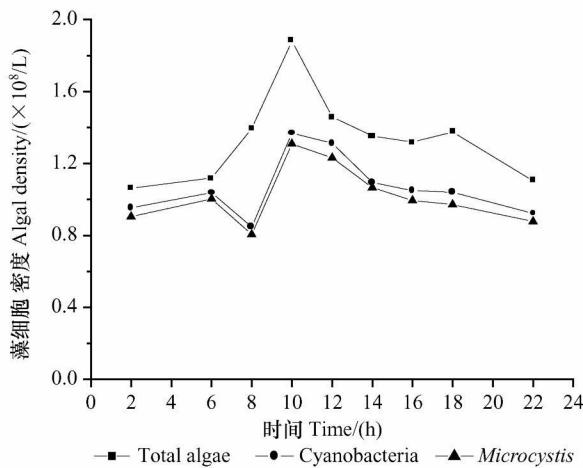


图2 大莲花湖藻类总数与优势种群的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of the total algae and dominant genus in Lake Dalianhua

2.3 莲花湖水中异味化合物的鉴定及其含量的日变化

水样和异味化合物标准经顶空固相微萃取后的总离子流色谱图比较见图3。通过与各异味化合物标准的色谱峰保留时间及标准质谱图(图4)对比, 确定了水中 2-MIB、 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 等三种异味化合物的存在, 未检出 Geosmin。其含量和日变化各有不同见图5。水中溶解性 2-MIB、 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 日最高浓度分别为 69.1ng/L、32.6 ng/L 和 453.9ng/L。日平均颗粒态的 2-MIB、 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 分别占各自总含量的 70.9%、74.4% 和 81.4%, 说明这三种异味化合物在水中均主要以颗粒态存在。由图5可知, 水中溶解性 β -Cyclocitral 与总 β -Cyclocitral 浓度的日变化均呈现相同的单峰型变化趋势, 即均在 10 时最高, 而在 22 时最低, 且水中溶解性 β -Cyclocitral 浓度的日变化与颗粒态 β -Cyclocitral、总 β -Cyclocitral 浓度的日变化均有显著相关

性, 相关系数分别为 0.896 和 0.935。而水中溶解性 2-MIB 和 β -Ionone 与各自总浓度的日变化趋势不一致, 如图5所示, 溶解性 2-MIB 浓度在 22 时最高, 而 2-MIB 总浓度在 10 时最高; 溶解性 β -Ionone 日变化呈双峰型, 而 β -Ionone 总浓度日变化有三个高峰。这与日变化中溶解性 2-MIB、 β -Ionone 占各自总浓度的比例波动较大, 分别在 15%—47% 和 8%—35% 之间变化有关。

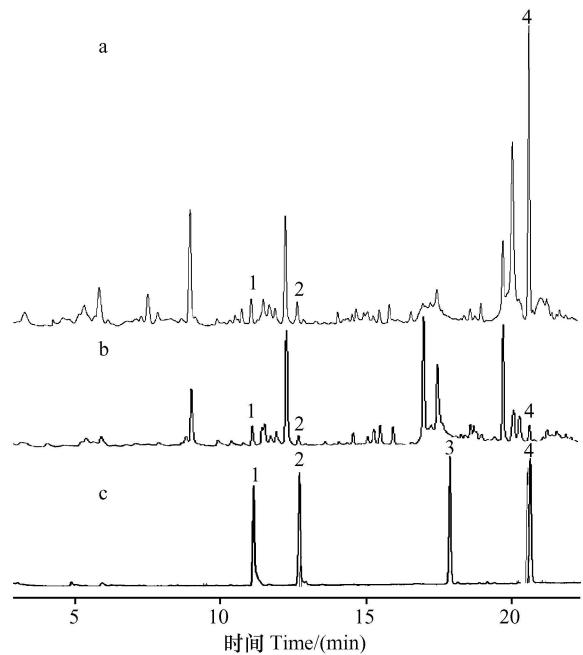


图3 水样中溶解性和颗粒态异味化合物与其标准样品的总离子流色谱图

Fig. 3 Total ion chromatogram (TIC) of soluble and particulate odorous compounds in water sample and the standard sample

a. 颗粒态异味化合物的总离子流色谱图(TIC of particulate odorous compounds); b. 溶解性异味化合物的总离子流色谱图(TIC of soluble odorous compounds); c. 异味化合物标准的总离子流色谱图(TIC of standard sample) 1. 2-MIB 2. β -Cyclocitral 3. Geosmin 4. β -Ionone

2.4 异味化合物与藻类及环境因子的相关性分析

将以上各异味化合物浓度日变化与莲花湖水中藻生物量及环境因子的日变化数据用统计软件(SPSS 11.0)进行相关性分析。结果显示, 各异味化合物的日变化与水温、pH、DO、TN、TP 等环境因子和螺旋藻、席藻、颤藻、束丝藻等的生物量无明显相关性; 而总藻、微囊藻、鱼腥藻和水面光强与异味化合物的日变化有相关性, 并与各异味化合物及其不同存在状态的相关程度有差别, 具有相关性的各因子相关系数见表1。由表1可知, 大莲花湖水中颗粒态 2-MIB 浓度与鱼腥藻生物量日变化呈显著相关见图6。

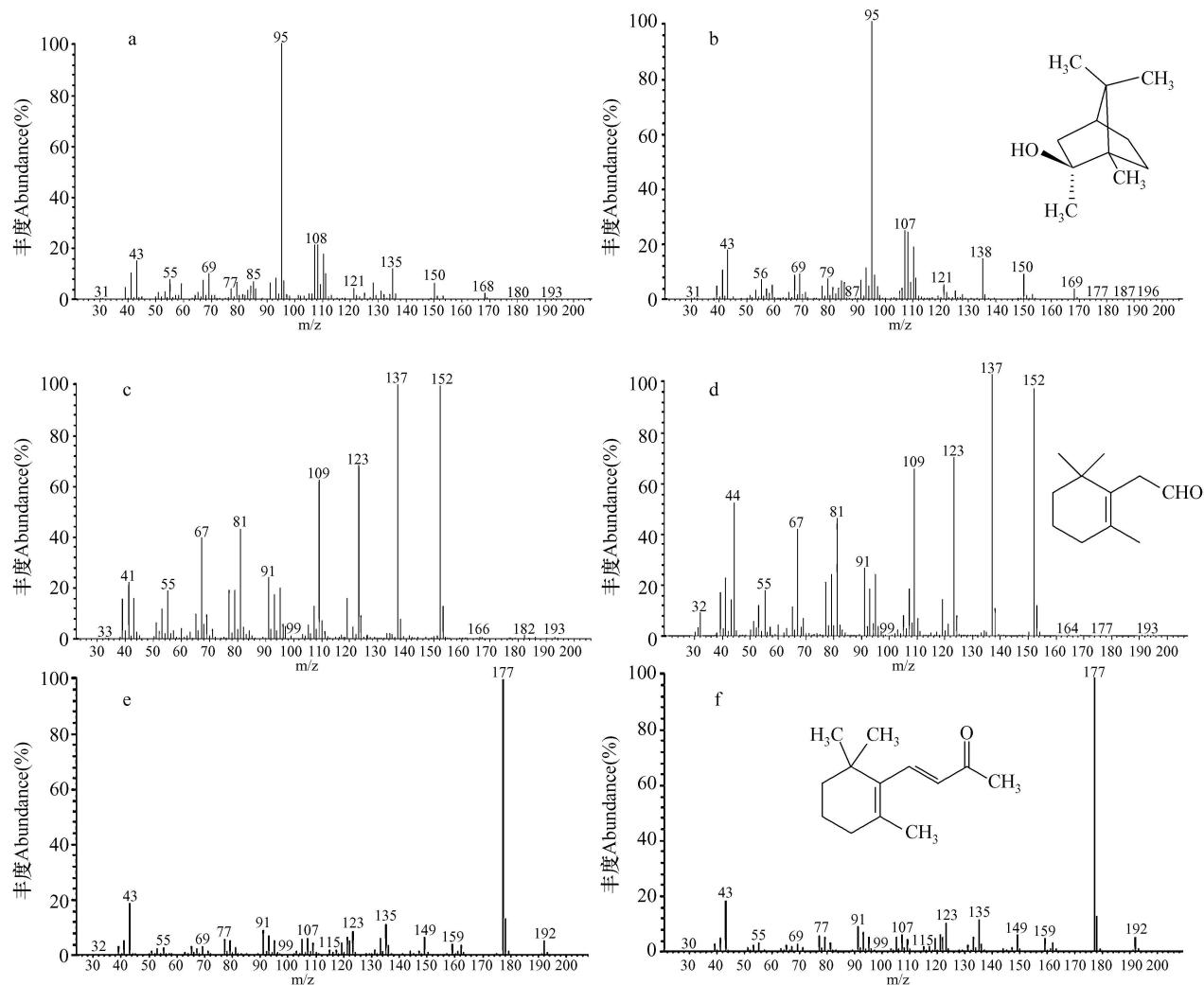


图4 水样中待测成分与其标准品质谱图

Fig. 4 Mass spectrogram (MS) of water sample and the standard samples

a. 水样中 2-甲基异茨醇的质谱图 (MS of 2-MIB in water sample); b. 2-甲基异茨醇标准的结构和质谱图 (MS and structure of 2-MIB); c. 水样中 β -柠檬醛的质谱图 (MS of β -Cyclocitral in water sample); d. β -柠檬醛标准的结构和质谱图 (MS and structure of β -Cyclocitral); e. 水样中 β -紫罗兰酮的质谱图 (MS of β -Ionone in water sample); f. β -紫罗兰酮的结构与质谱图 (MS and structure of β -Ionone)

表1 异味化合物与藻类及光强的相关性分析

Tab. 1 Analysis on correlation of odorous compounds with algae and irradiance

	总藻 Total algae	微囊藻 <i>Microcystis</i>	鱼腥藻 <i>Anabaena</i>	光强 Irradiance
溶解性 β -Cyclocitral	0.787*	0.712*	0.696*	0.618
Soluble β -Cyclocitral				
颗粒态 β -Cyclocitral	0.755*	0.762*	0.817**	0.654*
Particulate β -Cyclocitral				
总 β -Cyclocitral	0.776*	0.765*	0.736*	0.661*
Total β -Cyclocitral				
溶解性 β -Ionone	0.413	0.524	0.266	0.360
Soluble β -Ionone				
颗粒态 β -Ionone	0.727*	0.559	0.463	0.670*
Particulate β -Ionone				

续表

	总藻 Total algae	微囊藻 <i>Microcystis</i>	鱼腥藻 <i>Anabaena</i>	光强 Irradiance
总 β -Ionone		0.639	0.645	0.409
Total β -Ionone				0.342
溶解性 2-MIB				0.063
Soluble 2-MIB				
颗粒态 2-MIB				0.820 ^{**}
Particulate 2-MIB				
总 2-MIB				0.665
Total 2-MIB				

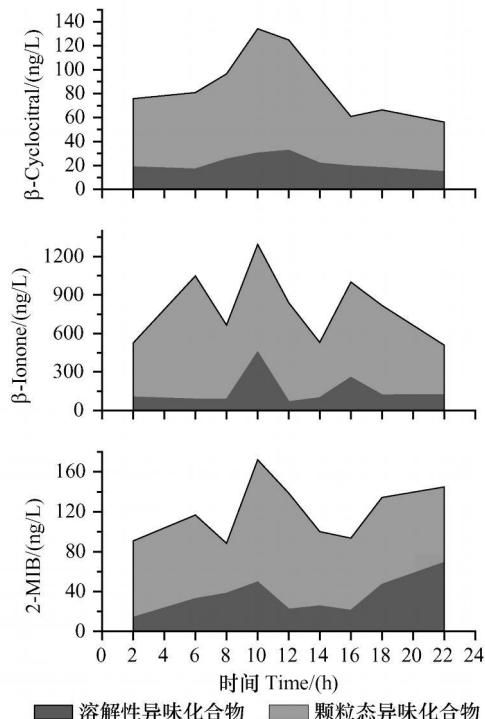
注: * 表示在 $p < 0.05$ 水平显著相关; ** 表示在 $p < 0.01$ 水平显著相关

图 5 大莲花湖水中异味化合物日变化

Fig 5 Diurnal variation of the odorous compounds in Lake Dalianhua

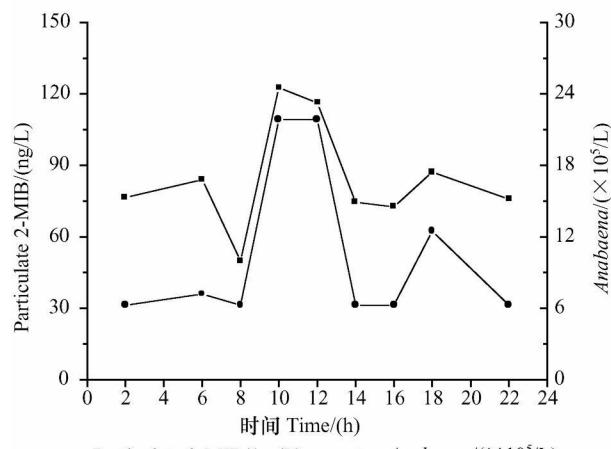


图 6 大莲花湖水中颗粒态 2-MIB 与鱼腥藻日变化相关性

Fig 6 Correlation of diurnal variation of particulate 2-MIB and *Anabaena* in Lake Dalianhua

3 讨 论

关于湖泊中异味物质与藻类及环境因子季节性变化的中长期研究报道很多, 而对其日变化的研究较少。本研究表明, 大莲花湖水中异味物质浓度、藻类生物量及多种环境因子日变化均有较大幅度的变动, 表现为昼夜差别大, 白天波动较大, 这可能是因为光强日变化影响藻类光合作用, 从而引起了藻类生物量和其异味代谢产物浓度的变化。以上结果提示, 在研究湖泊中藻类、异味物质及环境因子等的中长期变化过程中有必要考虑其日变化差异, 采样时间要尽量选在一天的相同时刻, 以减少日变化差异对其季节性变化结果的影响。本研究还表明, 大莲花湖水中主要存在着 3 种异味化合物, 即 β -Cyclotral、 β -Ionone 和 2-MIB, 但这 3 种异味化合物能引起人嗅觉感知的异味阈值浓度 (OTC, odor threshold concentration) 及使湖水产生异味的类型是不同的。Watson^[2] 综合比较了前人以嗅觉分析法、嗅觉气相色谱法 (Sensory GC) 和气质联用法 (GC-MS) 测定的 2-MIB 异味阈值浓度, 认为水中 9—42 ng/L 的 2-MIB 就可使人嗅到土霉味, 可见人对 2-MIB 产生的异味非常敏感, 大莲花湖散发的强烈土霉味确实是该湖中 2-MIB 产生。Young 等^[7] 研究发现湖水中不同浓度 β -Cyclotral 会产生不同气味, 浓度小于 1 μ g/L 时产生鲜草味 (Fresh grassy), 2—20 μ g/L 时散发干草木味 (Hay/woody), 大于 20 μ g/L 时则像烟草味 (Tobacco-like); 与之相比, 大莲花湖水中 β -Cyclotral 的浓度远小于 1 μ g/L, 可推断 β -Cyclotral 对该湖异味影响较小, 不是该湖水体异味的主要贡献者。 β -Ionone 产生的异味类型与异味阈值浓度尚未见文献报道, 作者以异味轮廓分析结合 GC-MS 测定, 发现水中 100 ng/L β -Ionone 可产生腐臭味, 故大莲花湖水中数百 ng/L 的 β -Ionone 足以散发较强腐臭味。因此, 可以认为上述 3 种异味化合物均是导致大莲花湖水散

发异味的来源, 但各异味化合物对该湖产生的异味类型和强度不同, 2-MIB 和 β -Ionone 对该湖异味的类型和强度均有较大影响, 分别产生强烈土霉味和腐臭味, 而 β -Cyclocitral 对该湖异味影响则较小。

有报道^[8-10]认为, 一些蓝藻和放线菌能产生异味次生代谢产物 2-MIB 或 Geosmin, 在湖泊、池塘等淡水水体中由 2-MIB 引起的土霉味通常是蓝藻的一些属产生的, 如席藻、颤藻、鱼腥藻等。徐盈等^[3]对武汉东湖水体中土霉味化合物的周年监测发现, 产生“土霉味”的主要成分为 2-MIB, 且 2-MIB 浓度与席藻生物量显著相关。Yagi^[11]对日本 Biwa 湖研究发现, 该湖的席藻(*Phormidium tenue*)、颤藻(*Oscillatoriopsis tenuis*)和鱼腥藻(*Anabaena macrospora*)均可产生土霉味的 2-MIB。本研究发现, 大莲花湖水中颗粒态 2-MIB 的浓度与鱼腥藻的数量有显著相关性, 且我室分离得到的鱼腥藻培养物中也检出了 2-MIB, 故可以推测该湖中的鱼腥藻可能会代谢产生 2-MIB。颗粒态 β -Cyclocitral 的浓度与总藻、微囊藻和鱼腥藻有显著相关性, 颗粒态 β -Ionone 与总藻呈显著相关, 由此推测, 该湖中可能有多种藻类能产生 β -Cyclocitral 和 β -Ionone。此推测与一些文献的报道相一致, Sommerburg^[12]证实了 β -胡萝卜素(β -Carotene)氧化分解会产生 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 等裂解产物; Jittner^[13]发现, 微囊藻细胞内的 β -Carotene 氧化分解会产生异味代谢产物 β -Cyclocitral 和 β -Ionone, 据此可推测其他具有 β -Carotene 的藻类也极可能代谢产生 β -Cyclocitral 和 β -Ionone。而据文献^[14]报道, 除隐藻门的一些种类外, β -胡萝卜素广泛存在于不同藻类中, 这也可以解释颗粒态 β -Ionone、 β -Cyclocitral 与总藻的显著相关性。由于各种状态的 β -Cyclocitral 之间呈显著相关性, 故其溶解性、颗粒态、总 β -Cyclocitral 等均与总藻、微囊藻等显著相关。

本研究表明, 颗粒态 β -Cyclocitral 和颗粒态 β -Ionone 与水面光强显著相关, 这可能与 β -胡萝卜素作为光合作用的辅助色素, 参与光能传递和具有物质转化、抗光敏化等重要生理生态功能^[14]有关。在不同光强照射下, 藻细胞可能会调整 β -Carotene 代谢, 从而改变其分解产物 β -Cyclocitral 和 β -Ionone 产量。此结果提示光照强度是影响湖水中部分藻源异味的重要环境因子之一。

从异味化合物不同状态的浓度与其藻类来源及环境因子日变化相关性来看, 这 3 种异味化合物在湖水中均主要以颗粒态存在, 且颗粒态异味化合物

与其总量的日变化显著相关, 并与其来源藻类和光强等环境因子有显著相关性。

参考文献:

- [1] Watson S B, Brownlee B, Stachwill T, et al. Quantitative analysis of trace levels of geosmin and MIB in source and drinking water using headspace SPME [J]. *Wat. Res.*, 2000, **34**: 2818—2828
- [2] Song L R, Li L, Chen W, et al. Research progress on the off-flavours and secondary metabolites of algae in the aquatic environment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(4): 434—439 [宋立荣, 李林, 陈伟, 等. 水体异味及其藻源次生代谢产物研究进展. 水生生物学报. 2004, **28**(4): 434—439]
- [3] Xu Y, Li W, Wu W Z, et al. Study on aquatic off-flavors in eutrophic Donghu Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(2): 212—216 [徐盈, 黎雯, 吴文忠, 等. 东湖富营养水体中藻类异味性次生代谢产物的研究. 生态学报. 1999, **19**(2): 212—216]
- [4] Li L, Chen W, Song L R. Determination of earthy/musty odorous metabolites in lakes and ponds in China [A]. Abstracts of 5th Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology. 2003, 124
- [5] Zhang Z S, Huang X F. Research methods of freshwater plankton [C]. Beijing: Science Press. 1991, 345—348 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社. 1991, 345—348]
- [6] Li L, Song L R, Gan N Q, et al. Determination of odorous compounds in cater using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chinese J. Anal. Chem.*, 2005, **33**(8): 1058—1062 [李林, 宋立荣, 甘南琴, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱测定水中异味化合物. 分析化学, 2005, **33**(8): 1058—1062]
- [7] Young C C, Suffet I H, Crozes G, et al. Identification of a woody-hay odor-causing compound in a drinking water supply [J]. *Wat. Sci. Technol.*, 1999, **40**(6): 273—278
- [8] Slater G P, Blok V C. Volatile compounds of the cyanophyceae-a review [J]. *Wat. Sci. Technol.*, 1983, **15**(6/7): 181—190
- [9] Jittner F. Volatile excretion products of algae and their occurrence in the natural aquatic environment [J]. *Wat. Sci. Technol.*, 1983, **15**(6/7): 247—257
- [10] Presson P E. Odorous algal cultures in culture collections [J]. *Wat. Sci. Technol.*, 1988, **20**(8/9): 211—213
- [11] Yagi M. Musty odour problems in Lake Biwa 1982—1987 [J]. *Wat. Sci. Technol.*, 1988, **20**(8/9): 133—142
- [12] Sommerburg O, Langhans C D, Amholt J, et al. β -Carotene cleavage products after oxidation mediated by hypochlorous acid-a model for neutrophil-derived degradation [J]. *Free Radical Bio. Med.*, 2003, **35**(11): 1480—1490
- [13] Jittner F. Biochemistry of biogenic off-flavour compounds in surface waters [J]. *Wat. Sci. Technol.*, 1988, **20**(8/9): 107—116
- [14] Wang Y Q, Li Q S. Research progress, production and application of carotenoids [C]. Beijing: Chinese Medicine Science Press. 1997, 81—87 [王业勤, 李勤生. 天然类胡萝卜素——研究进展、生产、应用. 北京: 中国医药科技出版社. 1997, 81—87]

STUDIES ON THE DIURNAL VARIATION OF THE ODOROUS COMPOUNDS AND CORRELATED FACTORS IN LAKE DALIANHUA, WUHAN

LI Lin^{1,2}, WAN Neng^{1,2}, GAN Nan-Qin¹ and SONG Li Rong¹

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science, Wuhan 430072;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: Located in the Park Lianhuahu, Hanyang District, Wuhan, Lake Dalianhua mainly serves as a public recreation landscape and covers an area of about 64000m². In recent years, the great damage to the scenic value and economic revenue of Lianhuahu Park have been caused by the frequent outbreak of cyanobacterial bloom and thereby the diffusion of strong off flavour in the lake. In the paper, the diurnal variation of environmental parameters, algae and odorous compounds in Lake Dalianhua were investigated. The *Microcystis* was found to be a dominant genus in the lake. The trend of the diurnal variation of biomass of the total algae is the same as that of the dominant algae. Three odorous compounds 2-Methylisoborneol, β -Cyclocitral and β -Ionone in the lake were identified by using a GC-MS. The diurnal highest concentration of soluble 2-Methylisoborneol, β -Cyclocitral and β -Ionone reached 69.1ng/L, 32.6ng/L and 453.9ng/L, respectively. Compared the above concentrations with their odor threshold concentrations, it could be concluded that 2-Methylisoborneol and β -Ionone were mainly responsible for the strong off-flavours in the lake. Averagely, particulate 2-Methylisoborneol, β -Cyclocitral and β -Ionone accounted for 70.9%, 74.4% and 81.4% of its total content, respectively, showing that these particulate odorous compounds were the major components among the odorous components in the lake. All the soluble, particulate and total β -Cyclocitral correlated significantly with the biomass of total algae and *Microcystis*, particulate β -Cyclocitral and β -Ionone correlated significantly with the biomass of total algae and light intensity, and particulate 2-MIB had a significant correlation with the biomass of *Anabaena*.

Key words: Cyanobacteria; Off flavour; Odorous compound; Diurnal variation; Correlation