

上海市淀山湖水质富营养化状况及常见水生生物体内微囊藻毒素水平

郁晞^{1,2}, 高红梅¹, 王霞², 黎桂福¹, 姚新民¹

摘要: [目的] 对上海市青浦区2013年淀湖水水质富营养化状况和微囊藻毒素(MC)污染进行评估。[方法] 于2013年3—9月间在环淀山湖周边依据地理位置和功能区分布特点设立5个水质监测点, 进行水质和生物采样检测, 每月监测1次, 涵盖丰水期、平水期和枯水期。依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中地表水Ⅲ类标准对结果进行评价。[结果] 质浊度监测均值为10.73 NTU。pH和化学耗氧量、氨氮的监测均值分别为8.38和4.98、0.82 mg/L, 达到标准; 总氮、总磷监测均值分别为2.98、0.17 mg/L, 超过标准限值; 各指标最大值均超过标准限值。不同月份间水质差异均有统计学意义。湖区水生生物体内MC-LR、MC-RR监测期均值为7.02、10.14 μg/kg; 3—7月以MC-RR为主, 8—9月以MC-LR为主; 河蚌和螺蛳检出频率较高, 鲢鱼和鲫鱼蓄积毒素浓度最高, 分别为25.1、21.4 μg/kg。[结论] 淀湖水水质为中度富营养化, 湖区生物体内有一定藻类毒素蓄积。

关键词: 环境监测; 富营养化; 藻毒素; 生物蓄积

Eutrophication of Lake Water and Microcystins in Common Aquatic Animals in Dianshan Lake, Shanghai YU Xi^{1,2}, GAO Hong-mei¹, WANG Xia², LI Gui-fu¹, YAO Xin-min¹ (1. Qingpu District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201799, China; 2. School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China). Address correspondence to GAO Hong-mei, E-mail: ghm-qp@126.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To evaluate the eutrophication status and microcystins (MCs) pollution in 2013 in the Dianshan Lake in Qingpu District of Shanghai. [Methods] From March to September of 2013, we set five monitoring sites around the Dianshan Lake based on its geographical and functional characteristics and collected water samples and aquatic animal samples once a month, covering wet, normal, and dry seasons. The samples were evaluated according to quality of surface water category Ⅲ stipulated by *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002). [Results] The average turbidity was 10.73 NTU. The average pH was 8.42, the average COD_{Mn} was 4.98 mg/L, and the average ammonia nitrogen was 0.82 mg/L, respectively, meeting the corresponding requirements of the national standard for surface water category Ⅲ. The total nitrogen and total phosphorus were 2.98 mg/L and 0.17 mg/L respectively, beyond the limits of category Ⅲ. No max values of the detected indicators exceeded the limits. The quality of water showed a distinct monthly variation. The average MC-LR and MC-RR during the monitoring periods were 7.02 μg/kg and 10.14 μg/kg respectively; MC-RR was dominant between March and July, and MC-LR was dominant between August and September. MCs were mostly detected in mussels and spiral shells, highest in *Hypophthalmichthys molitrix* (25.1 μg/kg) and *Carassius* (21.4 μg/kg). [Conclusion] The Dianshan Lake is mid-eutrophic. MCs are cumulated in the aquatic animals in the lake.

Key Words: environment monitoring; eutrophication; microcystins; bioaccumulation

水体富营养化是指由于大量的氮、磷、钾等元素排入到流速缓慢、更新周期长的地表水体, 使藻类等

水生生物大量生长繁殖, 使有机物产生的速度远远超过消耗速度, 水体中有机物积蓄, 破坏水生生态平衡的过程。淀山湖位于黄浦江上游, 是上海市最大的淡水湖泊和重要的水源保护区, 也是青浦区重要的淡水养殖基地。近年来监测结果显示, 全国70%的淡水湖泊存在富营养化, 时常出现蓝藻水华。淀山湖也存在一定程度的富营养化。微囊藻毒素(MC)是一种在富营养化的淡水水体中出现频率高, 产生量大, 且危害严重的蓝藻毒素。其可以通过饮水和食物链蓄积进入人体影响人体健康, 是一种强环境致癌剂^[1]。

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2015.14387

[基金项目] 青浦区科技发展基金项目(编号: 2011-30); 上海市卫生局科技发展基金项目(编号: 2012-376); 中美合作上海市疾病预防控制中心现场流行病学培训项目

[作者简介] 郁晞(1977—), 男, 硕士, 副主任医师; 研究方向: 环境与健康; E-mail: yuxi770225@126.com

[通信作者] 高红梅, E-mail: ghm-qp@126.com

[作者单位] 1. 青浦区疾病预防控制中心, 上海 201799; 2. 复旦大学公共卫生学院, 上海 200032

近年来,多家研究机构对上海市淀山湖区水域开展水质连续监测,以获得淀山湖富营养化和藻类毒素污染现况数据,并为开展淀山湖周边环境治理提供科学依据。本研究于2013年3—9月对该湖开展水质连续监测,掌握水体富营养化状况;同时监测湖区内不同水生生物体内藻类毒素蓄积情况,以了解人群暴露在相关水体或生物的健康风险。

1 材料与方法

1.1 采样点选择

依据文献报道,结合淀山湖地理环境和功能区分布特点,在青浦区内设置5个水质监测点,分别是淀峰、水上运动场、湖中心、急水港和大观园。其中水上运动场、大观园为旅游、观光水域,淀峰、急水港为作业、养殖水域。

1.2 采样时间和样品采集

采样时间为2013年3—9月,每月采集一次水样,每个监测点每次采集8瓶水样。4个近岸水域采样点距离岸边约50m,使用标准采水器采集湖水表层水样。采样时期涵盖淀山湖枯水期(3—4月)、平水期(5—6月)和丰水期(7—9月)。对不同检测项目水样添加不同保护剂,24h内送检。

同时采集淀山湖中的水生生物样品及时送检。监测生物对象为湖区内生长半年以上的水生生物,以摄食藻类和水草类的淡水鱼(鲫鱼、鲤鱼、鲢鱼)和底栖软体动物(河蚌、螺蛳)为主。每月采集:鲫鱼5条,每条0.25 kg以上;鲤鱼2条,每条0.5 kg以上;鲢鱼、青鱼或者草鱼1~2条,体重在2 kg以上;河蚌10个,单个体重在0.5 kg以上;淡水螺蛳2 kg。共采集33批次的各种生物样本。

1.3 检验及评价方法

由于淀山湖为生活生产水域,且周边有水厂使用湖水作为原水,故按照GB 3838—2002《地表水环境质量标准》^[2]的地表水Ⅲ类标准(下称标准)进行水质评价。检测项目为pH值、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮和浊度。水体中及生物体内藻类毒素按照世界卫生组织推荐的方法使用高效液相色谱—串联质谱进行检测^[3]。

1.4 质量控制

定期对采样和实验室检测结果进行质量控制:对实验室检测样品以均值做基准值,制作质量控制图,设置上下控制限,对高于或者低于均值2个标准差的

数值作为异常值,并及时复检;对部分接近临界值和明显超过正常范围的检测结果及时取样品复测,保证数据的可重复性;定期使用标准样品校验检验检测样品。

1.5 统计学分析

使用Excel 2010建立电子表格,录入数据后,对水质和生物监测结果进行统计描述,制作相应曲线图,使用SPSS 17.0统计软件进行统计描述,监测结果采用均数和标准差进行评估。对不同月份监测点数据采用单因素方差分析比较均值。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 不同监测点pH浓度变化情况

2013年3—9月份,淀山湖各监测点水质pH值范围为7.55~9.30,月份平均为8.38,达到标准;极高值出现在4月份,为9.30,超过标准限值;极低值出现在3月份,为7.55。各月间差异有统计学意义($F=22.59$, $P<0.01$)。见表1。

表1 2013年上海市淀山湖不同监测点pH值变化情况

采样点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
淀峰	7.64	9.12	7.67	8.06	8.65	8.45	8.25	8.26±0.53
水上运动场	7.92	9.23	7.71	8.93	9.07	8.45	8.36	8.52±0.58
湖中心	7.90	9.30	7.71	8.53	9.15	8.73	8.41	8.53±0.59
急水港	7.55	9.04	7.70	8.53	8.04	8.12	8.23	8.17±0.50
大观园	7.61	9.16	7.70	9.00	8.96	8.24	8.25	8.42±0.63
均值*	7.72	9.17	7.70	8.61	8.77	8.40	8.30	8.38±0.54

[注]依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》规定:地表水Ⅲ类标准pH范围为6~9。*: $F=22.59$, $P<0.01$ 。

2.2 不同监测点化学需氧量浓度变化情况

淀山湖平均化学需氧量浓度为4.98 mg/L,达到标准;6月份监测到最高浓度6.38 mg/L,超过标准限值;5月份监测到极低值,为4.03 mg/L;全年各监测点平均值以大观园最低,为4.64 mg/L。各月间差异有统计学意义($F=5.92$, $P<0.01$)。见表2。

表2 2013年上海市淀山湖不同监测点化学需氧量浓度变化情况 (mg/L)

采样点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
淀峰	5.28	4.69	4.03	5.94	4.77	4.86	6.02	5.08±0.71
水上运动场	5.04	5.70	4.43	5.62	4.90	4.87	4.70	5.04±0.47
湖中心	4.80	5.57	4.43	5.74	5.06	5.46	4.58	5.09±0.51
急水港	5.47	6.16	4.05	6.38	4.35	4.46	4.58	5.06±0.93
大观园	5.12	4.18	4.13	5.66	4.69	4.31	4.38	4.64±0.57
均值*	5.14	5.26	4.21	5.87	4.75	4.79	4.85	4.98±0.51

[注]依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》规定:地表水Ⅲ类标准化学需氧量限值为6 mg/L。*: $F=5.92$, $P<0.01$ 。

2.3 不同监测点氨氮浓度变化情况

淀山湖平均氨氮浓度达到0.82 mg/L, 达到标准; 最高值出现在3月份的急水港监测点, 达到2.12 mg/L, 超过标准限值; 各点监测值以湖中心浓度最低。月度监测结果以9月份浓度最高, 7月份浓度最低, 各月间差异有统计学意义($F=5.92$, $P<0.01$)。见表3。

表3 2013年上海市淀山湖不同监测点氨氮浓度变化情况(mg/L)

采样点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
淀峰	0.94	0.77	0.41	0.93	0.54	0.65	1.13	0.77±0.25
水上运动场	0.53	0.45	0.21	0.94	0.54	0.56	1.82	0.72±0.53
湖中心	0.62	0.53	0.21	1.06	0.32	0.41	1.57	0.67±0.48
急水港	2.12	0.67	0.49	0.84	0.67	0.75	1.57	1.02±0.60
大观园	1.83	0.83	0.48	0.76	0.32	0.33	1.98	0.93±0.69
均值*	1.21	0.65	0.36	0.91	0.48	0.54	1.61	0.82±0.45

[注]依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》规定: 地表水Ⅲ类标准氨氮浓度限值为1.0 mg/L。*: $F=5.92$, $P<0.01$ 。

2.4 不同监测点浊度变化情况分析

根据监测结果, 全年监测的浊度平均值为10.73 NTU, 最高值出现在9月份的淀峰点, 为26.10 NTU; 最低为3月份的水上运动场监测点, 为2.08 NTU; 各月间差异有统计学意义($F=3.04$, $P<0.05$)。见表4。

表4 2013年上海市淀山湖不同监测点浊度变化情况(NTU)

采样点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
淀峰	2.39	11.14	4.65	18.50	13.60	11.80	26.10	12.60±8.04
水上运动场	2.08	9.15	4.32	9.37	8.87	9.05	10.20	7.58±3.09
湖中心	5.48	13.50	4.32	19.20	8.84	9.14	13.00	10.50±5.15
急水港	11.30	11.80	9.71	18.60	10.30	11.20	13.00	12.27±2.98
大观园	6.80	6.64	19.50	10.30	9.45	9.78	12.60	10.72±4.38
均值*	5.61	10.45	8.50	15.19	10.21	10.19	14.98	10.73±3.41

[注]*: $F=3.04$, $P<0.05$ 。

2.5 不同监测点总氮变化情况分析

监测结果显示, 淀山湖3—9月间总氮浓度为(2.98±0.88) mg/L; 最高值出现在3月淀峰监测点, 为6.00 mg/L; 最低监测值出现在5月份水上运动场, 为1.26 mg/L; 均超过标准限值。各月间监测数据有统计学差异($F=4.07$, $P<0.01$)。见表5。

2.6 不同监测点总磷变化情况分析

监测结果显示, 淀山湖3—9月间总磷浓度为(0.17±0.03) mg/L; 最高值为0.24 mg/L; 最低值为3月份湖中心, 为0.11 mg/L; 均超过标准限值。各月间监测数据有统计学差异($F=5.88$, $P<0.01$)。见表6。

表5 2013年上海市淀山湖不同监测点总氮变化情况(mg/L)

采样点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
淀峰	6.00	2.25	2.57	3.12	1.98	3.43	3.25	3.23±1.33
水上运动场	4.12	5.69	1.26	1.46	1.39	1.99	1.87	2.54±1.70
湖中心	3.33	2.19	1.99	3.00	1.64	2.81	2.54	2.50±0.60
急水港	5.85	3.39	4.27	3.15	2.33	3.43	3.84	3.75±1.10
大观园	4.32	2.74	3.89	2.58	1.78	2.58	2.15	2.86±0.92
均值*	4.73	3.25	2.80	2.66	1.83	2.85	2.73	2.98±0.88

[注]依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》规定: 地表水Ⅲ类标准总氮浓度限值为1.0 mg/L。*: $F=4.07$, $P<0.01$ 。

表6 2013年上海市淀山湖不同监测点总磷浓度变化情况(mg/L)

采样点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
淀峰	0.12	0.16	0.14	0.21	0.20	0.19	0.21	0.18±0.04
水上运动场	0.10	0.16	0.17	0.16	0.21	0.21	0.18	0.17±0.04
湖中心	0.11	0.19	0.12	0.21	0.20	0.16	0.17	0.17±0.04
急水港	0.13	0.16	0.13	0.21	0.24	0.13	0.17	0.17±0.04
大观园	0.14	0.12	0.18	0.17	0.16	0.15	0.16	0.15±0.02
均值*	0.12	0.16	0.15	0.19	0.20	0.17	0.18	0.17±0.03

[注]依据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》规定: 地表水Ⅲ类标准总磷浓度限值为0.05 mg/L。*: $F=5.88$, $P<0.01$ 。

2.7 不同时期生物体内藻类毒素蓄积情况

在所采集的淡水食草、食藻类鱼肉和河蚌、螺蛳体内, 均可检测到较高浓度的MC-LR和MC-RR; 其中以鲢鱼体内监测到的浓度最高, 可达到25.10 μg/kg; 鲫鱼体内也有较高浓度的藻类毒素, 最高浓度为21.40 μg/kg, 且主要为MC-RR。在河蚌和螺蛳中监测到藻类毒素的频率和浓度均较高。同时, 调查显示湖区藻类毒素3—7月以MC-RR为优势毒素, MC-LR有一定浓度, 其他几个亚型未能监测到。而8—9月则以MC-LR为优势毒素。见表7、表8。

表7 2013年上海市淀山湖不同生物藻类毒素蓄积情况(μg/kg)

物种	采样批次	MC-LR			MC-RR		
		阳性批次	范围	均值	阳性批次	范围	均值
鲤鱼	6	5	3.76~7.45	4.69	0	—	—
鲢鱼	6	4	3.74~25.10	5.04	2	8.56~9.08	8.82
鲫鱼	7	3	3.28~5.56	4.41	4	2.04~21.40	2.45
河蚌	7	7	3.52~14.57	8.12	3	2.87~4.67	3.52
螺蛳	7	6	4.62~12.57	7.65	4	3.19~5.97	4.15

表8 2013年上海市淀湖水生生物体内藻类毒素平均蓄积情况(μg/kg)

毒素	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	均值±标准差
MC-LR	3.37	3.14	3.94	2.76	3.01	10.65	9.48	7.02
MC-RR	7.85	9.75	10.27	16.32	16.8	3.02	4.28	10.14

3 讨论

近年来淀山湖水质呈现逐年渐趋好转的态势,表现为pH、化学需氧量有所下降,接近或者达到国家地表水Ⅲ类水质标准^[4-6],但是由于上游来水质量较差和功能区的生产用水污染,淀山湖湖区的氨氮、总氮、总磷浓度明显超标,劣于地表水Ⅲ类水质标准,属于中度富营养化。

4月份淀山湖各监测点水质pH较高,显著高于历史同期和其他各监测时期,经现场观察和走访相关居民,认为可能是由于湖区四周养殖网箱密度高,排放大量未经处理的养殖废水而导致水体pH值增高,4月份后水体pH接近正常范围。提示湖区的生产生活废水排放会对湖区水质产生影响,需加强废水的排放管理和无害化处理。

淀山湖水质浊度变化较大,受上游来水和水文期影响,3月份浊度最低,9月份浊度最高,浊度直接影响水体的透光度和温度,对藻类繁殖和死亡、藻类毒素的释放有较大的影响,3月份浊度最低,光照和水温适合藻类繁殖和生长,8—9月份水温偏高,浊度增高,导致光照和氧气缺乏,蓝藻类大量死亡,产毒藻死亡后藻体细胞破裂,释放毒素,故水体中可检测到较高浓度的藻毒素,而生物由于摄取了蓝藻细胞,因而8、9月份生物体内藻类毒素浓度也较高^[7-9]。淀山湖中心由于水体总量受网箱养殖的直接影响较小,水质较好,浊度较低,光照充足,适合藻类繁殖。

因藻毒素可经食物链进行蓄积^[10-12],淀湖区内主要的水生生物体内均有一定浓度的藻类毒素蓄积,以鲢鱼、青鱼、草鱼等食藻鱼类明显。同时,湖区藻类毒素3—7月份以MC-RR为优势毒素,而8—9月则以MC-LR为优势毒素。

本次研究主要为横断面研究,未能连续收集历年资料,对水质变化趋势缺少比较;同时,限于采样条件等影响,未能完成全年的连续监测,对枯水期的冬

季水质变化缺少第一手资料。由于本研究着重于氮、磷等营养物质对水体的影响,故在设计中缺少对水中溶解氧和叶绿素的深入分析和探讨。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] 许真. 环境致癌剂与p53基因突变[J]. 卫生研究, 2004, 33(2): 239-243.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5750—2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] 隋海霞, 徐海滨, 严卫星, 等. 淀山湖及鄱阳湖水体中微囊藻毒素的污染[J]. 环境与健康, 2007, 24(3): 136-138.
- [5] 阚灵佳, 万红友, 武燕杰. 太湖富营养化的外源污染及其控制对策[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(2): 136-139.
- [6] 康丽娟. 淀山湖富营养化控制叶绿素a基准研究初探[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 509-514.
- [7] 赵卫华, 刘云国, 卢承志. 龙湘水库富营养化评价和防治对策[J]. 人民长江, 2006, 37(4): 20-22.
- [8] 徐清, 杨天行, 刘晓端, 等. 密云水库的总磷的富营养化分析与预测[J]. 吉林大学学报, 2003, 33(3): 315-340.
- [9] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 21-26.
- [10] 张易祥, 韩志萍, 叶金云. 淡水产品中微囊藻毒素富集及其危害[J]. 中国公共卫生, 2011, 27(5): 547-549.
- [11] 贾军梅, 罗维, 吕永龙. 太湖鲫鱼和鲤鱼体内微囊藻毒素的累积及健康风险[J]. 环境化学, 2014, 33(2): 186-193.
- [12] 周伟杰, 刘萍, 李雪, 等. 太湖淡水螺体内微囊藻毒素污染动态研究[J]. 实用预防医学, 2012, 19(3): 349-351.

(收稿日期: 2014-06-03)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 丁瑾瑜)