

文章编号: 1674-5566(2011)02-0290-06

滴水湖湖水主要离子组成及时空变化特征

江敏^{1,2}, 邢斌¹, 卢柳¹, 李娟英¹, 苏翔驹¹, 杨之杰¹, 余根鼎¹

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306)

摘要: 2009年1月至12月每两周对滴水湖主要离子进行调查分析, 结果显示: 滴水湖湖水全年离子总量平均值为1.82 g/L, 属于微咸水, 主要阴阳离子分别为 Cl^- 与 Na^+ , 水质类型为 Cl^-_{III} 。2009年湖水年内离子总量逐渐降低, 离子组成亦发生了显著的变化, 其中 Cl^- 、 Mg^{2+} 的比例不断降低、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 的比例则逐渐升高。不同湖区离子总量存在显著差异, 水上运动俱乐部断面最高、南岛断面最低, 但各湖区之间离子组成则无显著差异。分析各采样点的离子总量与组成的相关性可知, 离子总量越高, Cl^- 所占比例越高, HCO_3^- 所占比例越少, 滴水湖的水质类型与长江下游其他湖泊及天然微咸水湖具有显著差异。试验获得了滴水湖离子的总量、组成及时空变化等重要基础数据, 为滴水湖今后的水化学与水生态研究奠定了良好的基础。

研究亮点: 是国内首次对滴水湖的主要离子组成及其年变化规律进行的调查研究, 为滴水湖后续的水质管理与修复提供了良好的基础理论指导。通过调查分析得出滴水湖为一特殊水质类型的湖泊, 同时结合滴水湖的特殊水质起源状况进行探讨, 丰富和发展了现有的湖泊理论。

关键词: 滴水湖; 主要离子; 水质类型; 时空变化特征

中图分类号: X 171.1

文献标识码: A

滴水湖位于东海之滨的上海市临港新城, 是中国目前最大的人工湖, 湖泊呈圆形, 总面积 5.56 km^2 , 平均水深3.7 m。滴水湖于2002年6月开挖, 2003年10月开始蓄水, 水源为大治河水, 由周边河网水系引水入湖。滴水湖是临港新城整体景观的重要部分, 也是港城水系的核心, 承担着防汛排涝、置换水体的功能, 自引水以来, 已有许多学者对其水质及浮游动植物进行了调查研究, 得出滴水湖水质一直处于IV、V类水之间, 并已步入富营养化状态^[1-2], 对盐度耐受性较强的小色金藻为湖中浮游植物群落的常年优势种^[3], 滴水湖为国内首次报道的以小色金藻为优势种的湖泊。滴水湖浮游动物以轮虫为主, 种类丰富程度不及其他长江下游湖泊。其优势种不仅与大多数湖泊、水库的优势种均有所不同, 而且与外源水系大治河也完全不同^[4]。

滴水湖在潮滩上开挖而成, 并从上游水系引

水入湖。主要离子一部分来源于盐碱化的潮滩底质, 另一部分来源于上游引水, 因此滴水湖中的离子组成可能与长江下游众多湖泊有着较大的区别。由于湖水主要离子含量及组成决定着湖泊的水质类型, 从而可能会影响水生生态系统的群落结构, 所以本文于2009年1月至2009年12月对滴水湖离子总量及组成和时空变化特征进行了深入调查, 以期对未来滴水湖的水质、水生态学研究以及该湖泊的环境管理与保护提供科学参考。

1 采样与分析方法

1.1 采样点的布设

调查自2009年1月至2009年12月, 每2周对滴水湖内5个断面(旅游项目二号基地、水上运动俱乐部、南岛、一号码头、北岛)距水面0.5 m处进行采样调查, 具体采样点见图1, 采样方法参

收稿日期: 2010-07-13

修回日期: 2010-12-15

基金项目: 上海市教委科研创新项目(10ZZ103); 上海市教委重点学科建设项目(J50701); 上海市科委项目(09DZ1200903)

作者简介: 江敏(1972-), 女, 教授, 博士, 主要从事环境科学方面的研究。E-mail: mjjiang@shou.edu.cn

照湖泊和水库采样技术规范(GB/T 14581 - 94)^[5]。

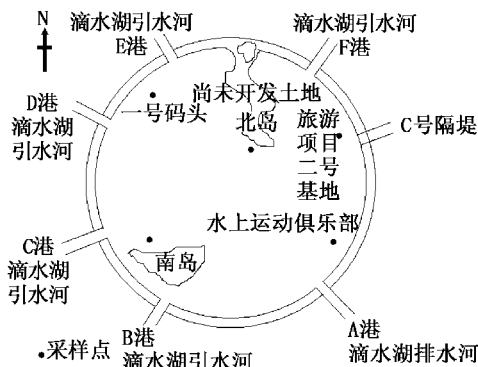


图1 滴水湖采样点分布图

Fig.1 Sample stations in Dishui Lake

1.2 监测指标与分析测定方法

根据中华人民共和国环境保护部的水环境监测方法标准及相关文献资料,选用盐酸滴定法^[6]、氯化钡 EDTA 滴定法、硝酸银滴定法(GB/T 11896 - 89)^[7]、钙离子 EDTA 滴定法(GB/T 7476 - 87)^[8]、总硬度 EDTA 滴定法(GB/T 7477 - 87)^[9]对每个采样点所得水样的总碱度、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、总硬度进行测定。

1.3 数据处理方法

离子总量是指天然水中各种离子的含量之和,由于含量微小的成分对离子总量的贡献通常可以忽略^[10],因此,计算离子总量时可以只考虑主要离子(HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+)。 Mg^{2+} 由总硬度减去 Ca^{2+} 浓度得出, $c_{\text{Na}^+} + c_{\text{K}^+}$ 运用正负电荷相等的原理由公式(1)计算而得, $\text{Na}^+(\text{K}^+)$ 的含量取 25 g/mol 的标准估算得出^[11]。

$$c_{\text{Na}^+} + c_{\text{K}^+} = c_{\text{HCO}_3^-} + c_{\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}} + c_{\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}} + c_{\text{Cl}^-} - c_{\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}} - c_{\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}} \quad (1)$$

本文中所涉及的线性回归、双因素方差分析及成对 t 检验均使用 Excel 2003 数据分析工具包进行处理。

2 结果与讨论

2.1 滴水湖的水质类型

表 1 列出了 2009 年滴水湖主要离子含量及组成的平均值。滴水湖离子总量较高,平均为 $1\,819.32 \pm 218.76$ mg/L,属于微咸水。滴水湖位

于东海之滨,且引水来自于长江下游水系,所以滴水湖的离子组成与东海以及处于长江下游的淀山湖、太湖关系密切。根据相关资料,东海海水盐度为 $30 \sim 35$ g/L^[12],淀山湖的矿化度为 129.30 mg/L,太湖为长江下游水系中最大的湖泊^[13],其矿化度为 138.97 mg/L^[14]。滴水湖的离子总量约为东海海水总离子浓度的 $1/20$,为长江中下游各湖泊的 $10 \sim 20$ 倍,介于长江中下游湖泊与海水之间,属于一种特殊水质类型的湖泊。

表 1 滴水湖主要离子组成及含量*

Tab.1 Composition and concentrations of major ions in Dishui Lake

离子种类	2009 年全湖平均值(mg/L)	离子组成(meq%)
HCO_3^-	252.89 ± 16.97	7.01 ± 0.93
SO_4^{2-}	66.54 ± 35.98	2.35 ± 1.98
Cl^-	852.77 ± 133.95	40.64 ± 7.36
Ca^{2+}	50.79 ± 8.95	4.30 ± 0.49
Mg^{2+}	72.96 ± 14.77	10.29 ± 0.81
$\text{Na}^+(\text{K}^+)$	523.36 ± 68.96	35.42 ± 3.79
离子总量	1819.32 ± 218.76	100.00 ± 12.02

注: * 数据表示方式为(平均值 ± 标准差)。

根据《中国湖泊环境》的报道^[14],太湖 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 浓度分别为 1.96、24.23、51.21、22.58、28.64、18.78 和 52.58 mg/L。滴水湖与太湖的 Ca^{2+} 浓度基本相似, Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 浓度则为太湖的 $3 \sim 5$ 倍, Cl^- 与 $\text{Na}^+(\text{K}^+)$ 浓度约为太湖的 $20 \sim 30$ 倍。滴水湖的主要离子为 Cl^- 与 $\text{Na}^+(\text{K}^+)$,阿列金分类法得其水质类型为 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$,与海水的水质类型相似。长江中下游湖泊多为 $\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 与 $\text{Cl}_{\text{I}}^{\text{Na}}$ 型水质^[14],滴水湖的 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 型水质在长江中下游湖泊中极为少见。 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 型水属于混合起源水,海水、受海水影响地区的天然水和许多具有高矿化度的地下水属此类型^[11]。滴水湖引水虽为淡水,但因其开挖于东海之滨的潮滩上,蓄水以来底质中的离子不断进入,从而使湖水呈现出了特殊的水质类型。

2.2 滴水湖离子年内变化

运用双因素方差分析计算滴水湖离子总量及各组分含量随时间变化的差异性,结果见表 2。由表 2 可知,随着时间的延续,滴水湖的离子总量及各组分含量均发生了显著的变化。

表 2 滴水湖离子总量与各组分含量随时间变化方差分析结果*

Tab.2 ANOVA results of major ions composition and variation of Dishui Lake by time

指标	离子总量 (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (meq%)	SO ₄ ²⁻ (meq%)	Cl ⁻ (meq%)	Ca ²⁺ (meq%)	Mg ²⁺ (meq%)	Na ⁺ (K ⁺) (meq%)
P 值	1.67×10^{-39}	1.98×10^{-22}	5.08×10^{-14}	2.05×10^{-27}	5.36×10^{-4}	1.01×10^{-4}	7.6×10^{-14}

注: * $P < 0.05$ 说明指标随时间变化具有显著性差异。

图 2 反映了 2009 年滴水湖各采样点离子总量随时间的变化。滴水湖离子总量随时间的推移不断下降,离子总量从年初的 2038.73 ± 41.72 mg/L 降至年末的 1642.80 ± 174.82 mg/L。经调查,滴水湖 2009 年 2 月末至 3 月初开闸放水两周,其余时间滴水湖的供水均由雨水供给。本课题组 2010 年 1 月的研究发现,大治河离子总量为 1.11 g/L 左右; HUANG 等^[15] 的研究发现,上海地区雨水中阴离子主要为 SO₄²⁻、Cl⁻ 和 NO₃⁻,在阴离子中所占比例分别为 62.4%、18.2% 和 15.6%,浓度平均值分别为 9.58、2.07 和 3.09

mg/L,最大值分别为 39.97、17.35 和 14.67 mg/L; 阳离子主要为 Ca²⁺ 和 NH₄⁺,占阳离子总量的 53.8% 与 21.3%,浓度平均值分别为 4.87 和 2.45 mg/L,浓度最大值分别为 21.94 和 4.21 mg/L。大治河与雨水中的离子含量都低于滴水湖,无论是开闸放水还是雨水输入均使湖水得以稀释,导致了滴水湖离子总量的下降。图 3 为滴水湖各主要离子所占比例随时间的变化,其中 Cl⁻、Mg²⁺ 相对含量随时间延长而不断降低, HCO₃⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺ 则不断升高,Na⁺ (K⁺) 则基本不变。

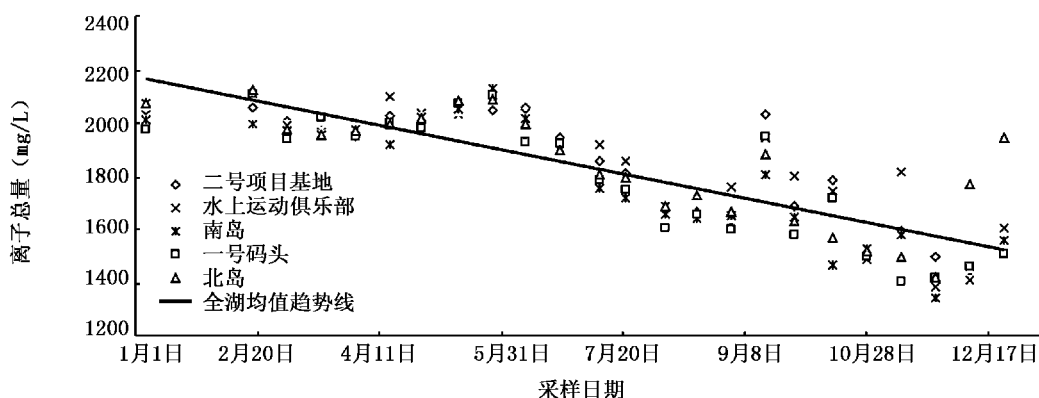


图 2 滴水湖离子总量随时间的变化(2009 年)

Fig.2 Concentration changes of total ions with time in Dishui Lake(in 2009)

2.3 滴水湖的空间分布

运用双因素方差分析计算滴水湖离子总量及各组分含量随空间变化的差异性,不同采样点的离子总量存在显著性差异,但离子组成却无显著性差异(表 3),这一现象与海水主要成分组成恒比关系原理十分相似,即海水中主要成分的含量比例几乎是恒定的,只是盐分含量总值不同^[11]。造成滴水湖出现这一现象的重要原因之一可能是由于风浪长期不断的作用,使滴水湖湖水主要成分混合较为均匀,且水体体积大,各种变化因素都很难明显改变各成分的比例关系,滴水湖局部的蒸发与外界降水的不均会使得不同区域的离子总量产生了差异;滴水湖在开闸放水

期间外界引水的注入也对滴水湖不同区域的离子产生影响,但由于外界河道中的离子总量显著低于滴水湖的离子总量,使得外界的引水只会对滴水湖各区域产生不同的稀释作用,而对各离子组成比例的影响尚未体现。

成对双样本 t 检验结果(表 4)显示:各采样点离子总量从高到低依次为水上俱乐部、北岛、二号项目基地、一号码头和南岛,即滴水湖东部离子总量较高,西部较低。水上运动俱乐部与一号码头、南岛采样点的离子总量有显著差异,这可能是由于滴水湖东部更靠近东海,底质更咸,使得滴水湖离子浓度体现出了东高西低的特点。此外滴水湖在开闸放水期间,外界河水是从 C 港

进入,从 A 港流出,使得滴水湖东部所混入的河水较多,由于河水离子总量显著低于湖水,导致

滴水湖离子呈现了东高西低。

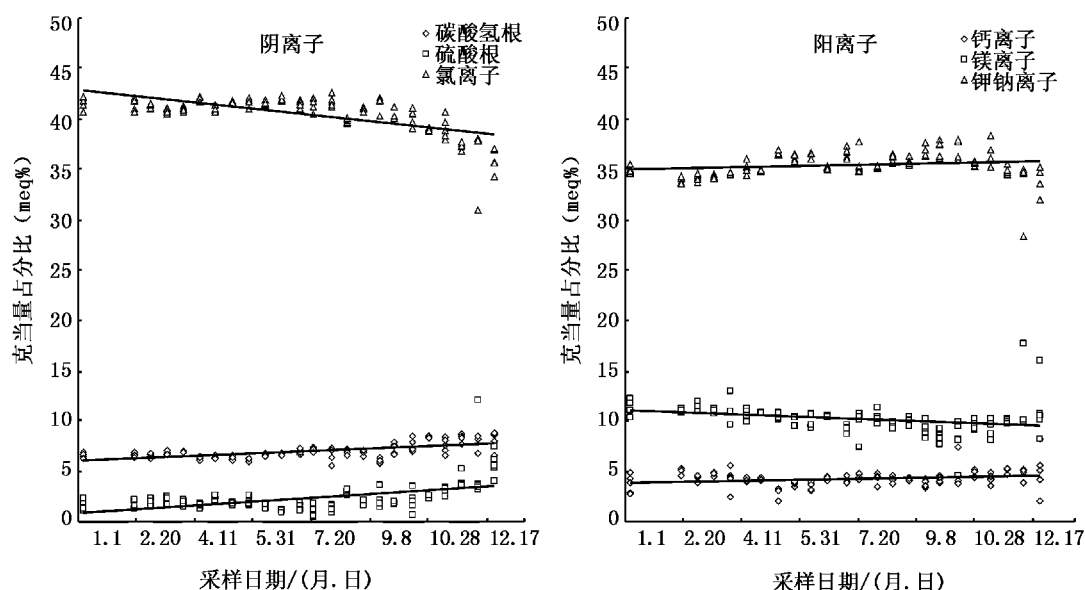


图 3 滴水湖各种离子相对含量随时间的变化(2009 年)

Fig. 3 Composition changes of different ions with time in Dishui Lake (in 2009)

表 3 滴水湖不同采样点离子总量与离子比例方差分析结果*

Tab. 3 ANOVA of major ions composition and variation of Dishui Lake by sites

指标	离子总量 (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (meq%)	SO ₄ ²⁻ (meq%)	Cl ⁻ (meq%)	Ca ²⁺ (meq%)	Mg ²⁺ (meq%)	Na ⁺ (K ⁺) (meq%)
P 值	0.003	0.125	0.218	0.714	0.612	0.775	0.864

注: * $P < 0.05$ 说明指标随时间变化具有显著性差异。

表 4 滴水湖不同采样点离子总量的比较

Tab. 4 Comparison of total ion concentrations of different sites in Dishui Lake

序号	采样点	离子总量(mg/L)
1	水上运动俱乐部	1852 ± 217 ^a
2	北岛	1839 ± 219 ^{ab}
3	二号项目基地	1831 ± 225 ^{ab}
4	一号码头	1791 ± 234 ^{bc}
5	南岛	1783 ± 207 ^c

注: 上标中字母相同表明数据间在 $\alpha = 0.05$ 水平下无显著差异, 字母不同表明差异显著。

2.4 滴水湖离子组成与离子总量的关系

范云琦的研究认为:天然微咸水湖介于淡水湖向咸水湖转化的前期,在此过程中阴阳离子变化既有咸水湖的特点,同时也具有淡水湖的某些特点; 阳离子 Na⁺ (K⁺) 随着矿化度的增长呈现

迅速上升的趋势, Ca²⁺ 随着矿化度的增高而下降,但变幅不大, Mg²⁺ 在微咸水湖中的变化没有规律,而 HCO₃⁻ 随着矿化度的升高,其含量急剧下降, SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 则随着矿化度的上升而呈直线上升的趋势^[14]。图 4 为调查期间滴水湖各采样点离子组成百分含量和离子总量的关系图,离子总量越大, Cl⁻ 与 Mg²⁺ 所占比例越高, HCO₃⁻、SO₄²⁻ 及 Ca²⁺ 所占比例则越低, 而 Na⁺ (K⁺) 含量基本不变,从各主要离子与离子总量的相关性上看, HCO₃⁻ 与 Cl⁻ 的规律与天然微咸水湖相同,而其他阴阳离子变化规律则与天然微咸水湖存在一定差异。可见,滴水湖作为一个在滩涂上开挖的人工微咸水湖,与自然形成的传统微咸水湖存在着显著的区别。

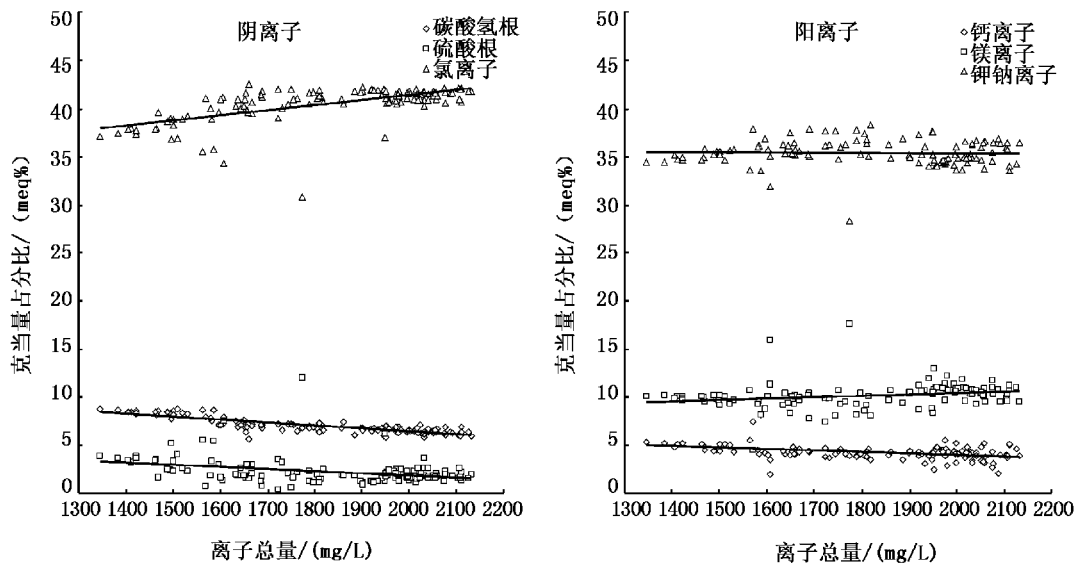


图4 滴水湖各种离子相对含量随离子总量变化图(2009年)

Fig.4 Composition changes of different ions with total ions in Dishui lake (in 2009)

3 结论

滴水湖开挖于东海之滨,自蓄水以来湖水离子组成受潮滩影响很大,具有海水特征,与其他长江下游湖泊显著不同。湖水离子总量较高,属于微咸水,主要阴阳离子分别为 Cl^- 与 Na^+ ,阿列金分类法得其水质类型结果为 Cl_3^{Na} 。滴水湖的特殊水化学特点使之有别于长江下游其它湖泊,并有别于天然的微咸水湖,将会对滴水湖中浮游生物种类与数量产生较大影响。滴水湖全年湖面风浪较大,使得湖水空间分布十分均匀,离子总量及组成随时间发生着显著的变化。滴水湖作为一个特殊起源及特殊水质类型的湖泊,在未来对其离子组成变化及浮游动植物的群落演替方面的研究是十分有必要的。由此我们可以得到一个特殊起源湖泊的水质及水生态演变方式,为湖泊科学的发展及滴水湖的水质研究与管理提供重要的科学参考。

参考文献:

- [1] 汪海英,周敏杰. 临港新城滴水湖富营养现状评价及调控对策[J]. 上海水务, 2006, 22(4): 24-28.
- [2] 刘水芹,田华,梁国康,等. 大型人工湖泊生态环境演变分析及对策探讨[J]. 上海水务, 2009, 25(3): 25-33.
- [3] 李晓波,许夏玲,陈德辉,等. 上海滴水湖小色金藻种群变化[J]. 上海师范大学学报:自然科学版, 2009, 38(2): 193

-196.

- [4] 王延洋,李晓波,吴波,等. 上海滴水湖浮游动物研究初报[J]. 上海师范大学学报:自然科学版, 2008, 37(2): 167-172.
- [5] 国家环境保护总局. GB/T 14581-93 水质,湖泊和水库采样技术规范[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1993.
- [6] 雷衍之. 养殖水环境化学实验[M]. 北京:中国农业出版社, 2006: 2-5.
- [7] 国家环境保护总局. GB/T 11896-89 水质,氯化物的测定 硝酸银滴定法[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1989.
- [8] 国家环境保护总局. GB/T 7476-87 水质,钙的测定 EDTA 滴定法[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1987.
- [9] 国家环境保护总局. GB/T 7477-87 水质,钙和镁总量的测定 EDTA 滴定法[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1987.
- [10] 余根鼎,江敏,李利,等. 模糊综合评价法在景观水体水质评价中的应用[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(6): 734-740.
- [11] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京:中国农业出版社, 2004: 16, 24, 59.
- [12] 胡以怀,纪娟. 海水盐差能发电技术的试验研究[J]. 能源工程, 2009, 29(5): 18-21.
- [13] 成芳,凌去非,徐海军,等. 太湖水质现状与主要污染物分析[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(1): 105-110.
- [14] 金相灿. 中国湖泊环境[M]. 北京:海洋出版社, 1995: 104, 156, 116, 120, 89.
- [15] HUANG K, ZHUANG G S, XU C. The chemistry of the severe acidic precipitation in Shanghai, China [J]. Atmospheric Research. 2008, 89: 149-160.

Major ions composition and spatiotemporal variation of water in Dishui Lake

JIANG Min^{1,2}, XING Bin¹, LU Liu¹, LI Juan-ying¹, SU Xiang-ju¹, YANG Zhi-jie¹, YU Gen-ding¹

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Research and Engineering Center on Aquatic Environment Ecosystem, Shanghai 201306, China)

Abstract: Through measuring major ions of Dishui Lake water every two weeks from January to December in 2009, we concluded that the average total ion content of the lake was 1.82 g/L and the water of Dishui Lake was brackish. The major anion and cation were Cl^- and Na^+ respectively. The water type was $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ according to Alekin classification. The total ion content decreased gradually in 2009, and the ion composition of the lake changed significantly with the proportions of Cl^- and Mg^{2+} decreasing and HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} increasing. Significant difference lay in the total ion contents among different sampling sites. The area around water sports club had the highest total ion contents while the lowest site was South Island district. As to the ion composition, no significant difference was observed among five sampling sites. Analyzing the relationship between the ion composition and total ion content in Dishui Lake, we concluded that the higher total ions concentration, the larger the proportion of Cl^- and the less the proportion of HCO_3^- . The water type of Dishui Lake was significantly different from other lakes in the lower reaches of the Yangtze River and common natural brackish lakes. The important information about total ions, ion composition and spatiotemporal variation of Dishui Lake were obtained which laid a good foundation for water chemistry and ecological research in the future.

Key words: Dishui Lake; major ions; water quality type; temporal and spatial distribution