

研究论文

南极菲尔德斯半岛地区与拉斯曼丘陵地区 湖泊水化学比较研究*

李植生 王骥 王洪铸 梁小民 冯伟松 雷志洪 陈旭东 梁彦龄

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 为了解南极淡水生态系统的水化学特征, 完成了拉斯曼丘陵地区 13 个湖泊和菲尔德斯半岛 10 个湖泊以及雪样的调查分析。西南极乔治王岛菲尔德斯半岛和东南极拉斯曼丘陵的气候条件不同, 前者属于极地海洋性气候、气温不很低、湿润、风小、夏季较长; 后者属于极地大陆性气候、气温低, 冬天严寒、干燥、风大, 夏季较短。因此, 两地区的湖泊地貌、成因、发育、水生生物种群结构以及水化学状态存在较明显的差异, 虽然水化学类型均比较单一, 但矿化度却相差甚大。本文还对两区饮水水源进行了评价。

关键词 菲尔德斯半岛 拉斯曼丘陵 湖泊水化学 饮水水源评价

菲尔德斯半岛 ($62^{\circ}08' \sim 62^{\circ}20' S, 58^{\circ}45' \sim 58^{\circ}58' W$) 面积约 40 km^2 , 三面临海, 北接乔治王岛冰盖, 是全新世出现的无冰丘陵区。年平均气温 $-2.4^{\circ} C$, 12~2 月的日平均气温为 $1 \sim 3.5^{\circ} C$; 极端最高和最低气温分别为 $13^{\circ} C$ 和 $-28.5^{\circ} C$; 夏季较长, 年冻融日数达 120 天以上。该区多雨雪, 年降水量多达 $400 \sim 600 \text{ mm}$ 。冬季积雪层超过 $2 \sim 3 \text{ m}$ 。这就为地表物质的冰缘作用提供了充足的水分条件。丘陵的阴坡和谷地, 雪斑甚多, 雪融作用活跃, 溪流发达, 大约有大小 50 多个湖泊分布于半岛上(朱诚等, 1991; 张青松, 1990)。

伊丽莎白公主地沿岸的拉斯曼丘陵 ($69^{\circ}12' \sim 69^{\circ}28' S, 76^{\circ} \sim 76^{\circ}36' E$), 位于普里兹湾的东岸, 东接索斯达尔冰川, 西连艾默里冰架, 也是全新世出现的无冰区。年平均气温 $-9.8^{\circ} C$; 12~2 月的日平均气温为 $0^{\circ} C$ 左右; 最热月和最冷月平均气温分别为 $1.1^{\circ} C$ 和 $-17.8^{\circ} C$; 夏季较短。该区降水一般以雪的形式出现, 年降水量不足 250 mm , 虽然降水量与干旱区相当, 但强烈的风又使蒸发量高出一般干旱区数倍, 从而造成异常干旱的气候, 其特征是寒冷、干燥、存在强劲的下降风(李栓科, 1993; Stüwe *et al.*, 1989)。随着冰碛的消失, 融雪径流的发展, 丘陵的低洼处形成约 150 多个大小不等的湖泊, 大多数在夏季两个月被溶化, 其他季节均为冰冻湖。由于下降风的作用, 海洋的浪花经常进入湖中, 对湖水的化学组分影响较大(Gillieson *et al.*, 1990)。

由于菲尔德斯半岛地区和拉斯曼丘陵地区的生态环境和气候条件差异较大, 可以推

* 中国科学院重大项目“南极重点地区淡水生态系统研究”和国家自然科学基金资助项目

断两地区湖泊水化学的差异,导致这种差异的主要环境因素在于:拉斯曼丘陵的年降水量约为菲尔德斯半岛的1/2,冬季积雪少,而且年冻融天数也相差较大,菲尔德斯半岛在120天以上,拉斯曼丘陵仅60天左右,反映了两地区湖水年补给水量存在较大差别,拉斯曼丘陵的年蒸发量远大于菲尔德斯半岛,在强烈的下降风作用下,拉斯曼丘陵地区部分湖泊受海洋影响较大,一些化学物质比菲尔德斯半岛湖泊更有利于在湖水中富集。因此,两个地区湖泊水化学状态的比较是极地淡水生态系统研究的一个环节。

为了解南极淡水生态系统的水化学特征,曾先后参加了中国第8、9、11次南极中山站与长城站(两次)科考工作,完成了拉斯曼丘陵地区13个湖泊和菲尔德斯半岛10个湖泊以及雪样的调查分析,本文即是两地区湖泊水化学比较的初步报告。

一、样品采集和处理方法

1. 样品采集

湖水样品直接用聚乙烯瓶采取,采样前先用所取湖水洗涤5次,而后取水10L。雪样用聚四氟乙烯刮板装入广口聚乙烯瓶或塑料袋中,自然融化后转入小口聚乙烯瓶中保存。所用聚乙烯容器、塑料袋和聚四氟乙烯刮板、刮刀及搅棒均事先做防污染和防吸附处理。同样0.45 μm 滤膜也事先进行酸处理。

2. 样品处理和分析

湖水理化指标、营养物质、碱度、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 均采用通用标准方法,分现场和在48h内完成分析测试。微量元素分析水样(湖水和雪样)采集后即时用 MOS HNO_3 调至 $\text{pH}1\sim 2(0.5\%)$ 保存备用。采用原子吸收火焰(AAS)和无火焰(AAN)以及ICP-AES法互相配合测定。元素Zn、Al、Fe用ICP和AAS法;Cu、Co、Cr、Pb、Mn、Cd、Ni、Se、As采用AAN法;K、Na、Ca、Mg、Mn用AAS法; SO_4^{2-} 和 Cl^- 用离子色谱(CIC)法; F^- 以离子选择电极法测定。每个元素由高、低两个标准定标。样品预处理均在超净室内进行。

二、结果与讨论

1. 湖水一般理化性状

湖水无色或浅兰色,清澈透明,水中悬浮物较少。菲尔德斯半岛和拉斯曼丘陵两地区湖泊相比,湖水溶解氧(DO)分别为11.36~13.5mg/L(水温2.0~7.0 $^{\circ}\text{C}$)和9.98~15.39mg/L(水温3.5~7.1 $^{\circ}\text{C}$);pH值分别为5.97~7.14和5.98~7.68,水中DO已处于饱和状态,两区湖泊均为弱酸~弱碱性的良好氧化水体。

菲尔德斯半岛湖泊的电导率介于38~139 $\mu\text{S}/\text{cm}$,大部分湖为45~93 $\mu\text{S}/\text{cm}$;而拉斯曼丘陵湖泊在93~2580 $\mu\text{S}/\text{cm}$,大部分为107~336 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。可见两地区湖水的电导率差异较大,大多数湖泊相差在3~4倍之间,说明两地区湖泊水的总离子含量相差较大。

2. 水化学状态

主要离子 菲尔德斯半岛地区湖泊水中离子总量相差不大,在37.98~58.94mg/L之间,高低值仅相差1.6倍。拉斯曼丘陵地区在不同的湖泊水中离子总量则相差甚远,在

71.89~1702mg/L 之间,高低值相差 23 倍以上,为菲尔德斯半岛湖泊水中离子总量的 1.9~29 倍。

菲尔德斯半岛湖泊和拉斯曼丘陵斯托尼斯半岛、米洛半岛湖泊水中主要离子的平均含量列于表 1。3 个半岛湖泊水中阴离子均以 Cl^- 为主,在阴离子毫克当量的百分组成中, Cl^- 分别占 66.54%、71.56%和 78.99%。阳离子以 Na^+ 占绝对优势,在其组成中 Na^+ 分别为 85.16%、85.54%和 88.39%,表明不论是 Cl^- ,还是 Na^+ ,在其毫克当量百分组成中均以米洛半岛湖泊水中所占比例最高。

若换算为假定盐类,3 个半岛湖水中均以 NaCl 占优势,菲尔德斯半岛、斯托尼斯半岛和米洛半岛分别为 67.04%、64.86%和 75.02%, $\text{MgSO}_4 + \text{CaSO}_4$ 次之,分别为 10.44%、11.48%和 6.72%(没有 CaSO_4)。由此可以看出,这 3 个半岛湖水的特征是水化学类型单一,均以 NaCl 或 Cl^- 与 Na^+ 占优势的水体。另一特点是 3 个半岛的湖泊水中均没有 CO_3^{2-} 离子的存在,而不同之处是米洛半岛湖水中 Mg^{2+} 当量均高于 Ca^{2+} (8 个湖),假定盐类中没有 CaSO_4 ,这是米洛半岛湖泊水体的一个特征。

表 1 湖泊水中离子浓度(mg/L)和百分组成

Table 1. Concentration(mg/L) and constitution(%) of ions in lake water of different area.

地区	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	F^-	矿化度 (离子总量)
菲尔德斯半岛	0.56	14.7	0.318	0.745	19.1	3.06	11.6	0.016	50.08
	3.08	85.16	2.34	8.81	66.54	4.76	25.41	0.13	
斯托尼斯半岛	1.15	37.92	2.88	1.48	40.8	9.79	15.3	0.012	113.4
	1.53	85.54	6.47	6.48	71.56	12.18	14.02	0.03	
米洛半岛	5.04	180.7	6.06	6.39	207.8	27.7	22.6	0.021	496.6
	1.64	88.39	3.42	6.43	78.99	8.80	12.54	0.02	

矿化度 由表 1 指示,3 个半岛湖水中以菲尔德斯半岛湖泊水中矿化度(离子总量表示)最低,平均为 50.08mg/L(37.98~58.94mg/L),其次是斯托尼斯半岛湖泊水中矿化度,平均为 113.4mg/L(74.88~197.8mg/L),而含量最高的是米洛半岛湖泊水中矿化度,平均为 469.6mg/L(7.89~1702mg/L)。它们的 $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ 当量比分别为 2.81、4.62、15.84;而 $\text{Na}^+ + \text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ 的当量比则分别为 26.81、11.66、26.45;米洛半岛 Big 湖的这两个当量比分别为 17.18 和 33.19。这就比较清楚地反映出:随着湖泊的咸化,湖水出现一个不断脱钙而富集钠钾、去碳酸盐而聚集氯化物的趋势。这种演化过程,拉斯曼丘陵湖泊比菲尔德斯半岛湖进行得较快,如 Big 湖已是半咸水湖就是一个例证。而且这与拉斯曼丘陵地区气候干旱、蒸发量大于降水量,以及下降风的作用使海洋环境的影响相对较大也是比较吻合的。

营养物质 由表 2 可以看出,不仅菲尔德斯半岛,而且斯托尼斯半岛和米洛半岛湖水中的营养物质普遍较低,其湖泊均为贫营养型水体。在湖水中的 T-P 含量在 3 个半岛湖泊均比较接近,在同一个数量级上,其含量分别为 0.028(0.005~0.095)mg/L、0.032(0.024~0.043)mg/L 和 0.048(0.025~0.091)mg/L;T-N 在湖水中的含量相差较大,米洛半岛和斯托尼斯半岛湖水 T-N 的浓度分别是菲尔德斯半岛湖水浓度的 2 倍和 10 倍以上,其浓度分别为 0.315(0.076~0.0564)mg/L、0.069(0.042~0.131)mg/L 和 0.031

(0.005~0.095)mg/L。由于上述水样是在水生生物繁茂的季节,即南极的夏天(1~2月)采集分析,在这一季度生物对氮、磷等营养元素利用强烈,这种较大的差异,正反映着两地区湖泊水生生物对水中营养元素利用和固定的程度不同,表明菲尔德斯半岛湖泊水生生物比拉斯曼丘陵湖泊茂盛发达是导致上述差异的主要原因。

表2 湖泊水中营养物质含量(mg/L,范围)

Table 2. Content of trophic substances in lake water of different area.

地区	菲尔德斯半岛	斯托尼斯半岛	米洛半岛
T-P	0.028 (0.005~0.095)	0.032 (0.024~0.043)	0.048 (0.025~0.091)
PO ₄ -P	<0.01	0.015 (0.01~0.025)	0.024 (0.012~0.061)
T-N	0.031 (0.005~0.095)	0.069 (0.042~0.131)	0.315 (0.076~0.564)
NH ₄ -N	0.022 (0.004~0.065)	0.019 (0.008~0.028)	0.084 (0.008~0.305)
NO ₃ -N	0.018 (0.012~0.025)	<0.01	<0.01
NO ₂ -N	<0.001	<0.001	<0.001
SiO ₂	1.52 (1.10~2.41)	0.96 (0.56~1.83)	2.23 (1.09~4.33)

湖水中可溶性磷酸盐在菲尔德斯半岛含量甚微,基本在方法检出限以下(0.01mg/L)。而斯托尼斯半岛和米洛半岛则均能检出,其含量分别为0.015(0.01~0.025)mg/L和0.024(0.012~0.061)mg/L。湖水中可溶性的无机氮的含量三个半岛均偏低,其中NO₂⁻在三个半岛湖水中的含量均在方法检出限(0.001mg/L)以下;NO₃⁻和NH₄⁺在菲尔德斯半岛湖水中大部分(70%)能检出,其浓度分别为0.018(0.012~0.025)mg/L和0.022(0.004~0.065)mg/L;斯托尼斯半岛和米洛半岛湖水中NO₃⁻均在检出限(0.01)以下,NH₄⁺含量分别为0.019(0.008~0.028)mg/L和0.084(0.008~0.305)mg/L。结果可见,菲尔德斯半岛湖中NO₃⁻和NH₄⁺氮比较接近,而拉斯曼丘陵两半岛湖水中无机氮的组成则以NH₄-N为主。

湖水中硅酸盐的平均含量是:斯托尼斯半岛较低,浓度为0.96(0.56~1.83)mg/L,次之是菲尔德斯半岛,含量为1.52(1.10~2.41)mg/L,含量比较高的米洛半岛浓度为2.23(1.09~4.33)mg/L。从湖水中可溶性的磷酸盐、无机氮、硅酸盐的差异来看,同样吻合了菲尔德斯半岛湖泊水生生物比拉斯曼丘陵湖泊茂盛的结论。

微量元素 将斯托尼斯半岛和米洛半岛实测湖水中12个元素的含量,和有关文献给出的菲尔德斯半岛湖水中元素的平均浓度(赵俊琳等,1989)一并列入表3。从表3可知,菲尔德斯半岛湖水中的元素含量除Zn外Fe、Al、Cu、Cr、Mn、Pb、Cd、Ni元素不仅比斯托尼斯半岛和米洛半岛湖水中的浓度高,而且除Zn和Ni外也比长白山天池水中这些元素的含量高(朱颜明等,1981)。而斯托尼斯半岛和米洛半岛湖泊水中元素的含量除Zn和Co外,这些元素再加上As、Se则远低于长白山天池水中的元素含量。这种差异可能与菲尔德斯半岛降水量大、地表径流相对发达、年冻融日长、融雪径流与裸露地面岩石的溶滤作用和迁移较强有关。

表3 湖泊水中微量元素平均浓度($\mu\text{g/L}$)
Table 3. Concentration of trace elements in lake water of different area.

地区	Zn	Fe	Al	Cu	Co	Cr	Mn	Pb	Cd	As	Se	Ni
菲尔德斯半岛	4.0	143	149	3.0	/	6.2	<5.0	38	<3.0	/	/	<5.0
斯托尼斯半岛	8.6	8.7	16.2	1.9	0.7	0.5	1.4	1.6	0.04	0.7	0.5	1.2
米洛半岛	6.4	25.8	37.7	1.5	0.6	1.2	1.8	1.3	0.01	1.4	0.7	1.2
长白山天池	11.5	38.2	/	4.3	0.237	0.912	4.5	13.8	0.01	0.65	0.11	5.37

三、饮用水源评价

饮用水源水质状况直接与科考队员的生活息息相关,同时也关系到科学考察的种种活动。西湖、基太克湖、格鲁波科湖分别为长城站(中国)、马尔什基地(智利)和别林斯高晋站(俄罗斯)、阿蒂卡站(乌拉圭)科考人员的饮用水源,莫愁湖和 Heart 湖分别为中山站地区中国和俄罗斯的饮用水源。根据 1992、1993、1995 年度科考所分析的湖水理化因子、营养物质、重金属、离子以及 LAS 等 20 多个项目数据资料,并结合我国“地面水环境质量标准,GB3838-83”和世界卫生组织、欧共体及美国所制定的“饮用水或自来水水质标准”(吉林省图书馆,1984)进行以上 5 个湖水质量评价。结果表明:

pH 值、水色、臭味、总硬度均符合“标准”要求;营养盐(NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、T-P、T-N)均低于“标准”最大允许含量;痕量元素 Se、As、Ca、Cr、Pb、Co、Zn 同样也在“标准”值要求以下; SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 F^- 在湖水中的含量长城站地区三个湖均达到“标准”的要求值,而中山站地区莫愁湖和 Heart 湖湖水中 Cl^- 和 Na^+ 分别超过“标准”值的 0.5 和 1.0 倍以上。湖水中 LAS 的存在与人为活动有关,但这 5 个湖水中的 LAS 浓度极低,在 0.006~0.013 mg/L 之间,低于“标准”值 15~33 倍以上。因此,这 5 个湖的水质均符合饮用水源标准(不包括卫生指标)。

四、结 论

西南极乔治王岛的菲尔德斯半岛和东南极拉斯曼丘陵分别处于极地海洋和大陆型冰缘环境。两地湖泊水化学差异在于:

1. 虽然这两个地区水化学类型均比较单一,属 Cl^- 和 Na^+ 占优势的水体。但湖水矿化度相差较大,斯托尼斯半岛和米洛半岛湖水矿化度分别为菲尔德斯半岛湖水矿化度的 2.3 和 9.4 倍,而且湖泊咸化的进程也比拉斯曼丘陵缓慢。

2. 营养物质两地区湖泊普遍较低,属贫营养水体。T-P 在三个半岛湖水中的含量比较接近,而 T-N 却相差较大,米洛半岛和斯托尼斯半岛湖水中 T-N 含量分别是菲尔德斯半岛湖水含量的 2 和 10 倍以上。湖水磷酸盐在菲尔德斯半岛基本在检出限以下,而斯托尼斯半岛和米洛半岛湖水中则分别为 0.015 和 0.024mg/L; NO_3^- 和 NH_4^+ 在湖水中的含量前者相当,而后者在无机氮的组成中均以 NH_4^+ 为主。由于样品采集和分析在南极的夏天,即水生生物繁茂季节,这种营养物质的差异反映出菲尔德斯半岛湖泊水生生物比拉斯曼丘陵湖泊茂盛发达。

3. 湖水中微量元素含量除 Zn 外, Fe、Al、Cu、Cr、Mn、Pb、Cd、Ni 菲尔德斯半岛湖水中浓度均比斯托尼斯半岛和米洛半岛湖水中较高, 这种情况与前者降水量、年冻融日数多、径流与裸露地面岩石溶滤作用较强有关。

4. 长城站和中山站地区 5 个饮用水源(西湖、基太克湖、格鲁波科湖、莫愁湖、Heart 湖)水质除莫愁湖和 Heart 湖水中的 Cl^- 与 Na^+ 分别超过国内外“饮用水或自来水标准”0.5 和 1.0 倍(自然背景高)外, 其他均符合和低于“标准”值, 达到了饮用水源标准要求。

[本文于 1996 年 10 月收到]

参考文献

- 吉林省图书馆(1984), 国外环境标准选编, 中国标准出版社, 49~77.
 朱诚等(1991), 南极乔治王岛菲尔德斯半岛冰缘地貌过程分析, 南极研究(中文版), 3(3), 25~38.
 朱颜明等(1981), 长白山天池水化学, 地理科学, 1(1), 58~65.
 李栓科(1993), 东南极拉斯曼丘陵地区斯托尼斯半岛地貌特征初论, 南极研究(中文版), 5(1), 16~23.
 张青松(1990), 南极洲维斯特福德丘陵与菲尔德斯半岛冰缘地貌的比较研究, 南极研究(中文版), 1(2), 1~9.
 赵俊琳等(1989), 乔治王岛菲尔德斯半岛地区环境背景值初探, 南极研究(中文版), 1(4), 43~51.
 Gillieson, O. *et al.* (1990), An atlas of the lake of the Larsemann Hills Princess Elizabeth Land, Antarctica, ANARE Research, Australia Antarctic Division, Notes, 74, 173.
 Stüwe, K. *et al.* (1989), Geology and structure of the Larsemann Hills area, Prydz Bay, East Antarctica, *Australia J. Earth Sciences*, 36(2), 219~241.

A COMPARATIVE STUDY ON HYDROCHEMICAL PROPERTIES OF LAKES ON FILDEN PENINSULA, WEST ANTARCTICA AND ON LARSEMANN HILLS, EAST ANTARCTICA

Li Zhisheng, Wang Ji, Wang Hongzhu, Liang Xiaomin, Feng Weisong,
 Lei Zhihong, Chen Xudong and Liang Yanling
 (Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072, China)

Abstract

Comparison of lake water between regions on Fildes Peninsula and Larsemann Hills is reported. Results of this study indicate that the degree of mineralization and conductivity of water of Fildes Peninsula lakes are found to be 17—33 times and 3—4 times higher than that in Larsemann Hills lakes, respectively, but the hydrochemical types of lake-water in both region are relatively the same with Na^+ and Cl^- predominating. Nutrient contents in lakes of both districts are rather low, belonging to the oligotrophic type. T-P concentrations in lake-water of both regions are similar, but there is a marked difference in T-N concentrations and T-N of lake-water in Larsemann Hills region is 2—10 times higher than that in Fildes Peninsula region. The composition of inorganic nitrogen in lake water of all Larsemann Hills lakes is dominated by $\text{NH}_4\text{-N}$, whereas in Fildes Peninsula lakes the concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ are similar to those of $\text{NO}_3\text{-N}$. In Fildes Peninsula region, concentrations of all trace elements Cu, Cr, Mn, Pb, Cd, Ni, Fe and Al in water are higher than those in Larsemann Hills region, with the exception of Zn. The concentrations of those elements in lake-water of both regions approach to the values of these elements in the hydrosphere, reflecting the congruity between the chemical composition of lake-water and the state of natural background.

Key words Fildes Peninsula, Larsemann Hills, lake, hydrochemical properties

作者简介 李植生,男,1940年11月生。1964年毕业于兰州大学化学系有机化学专业。现为中国科学院水生生物研究所副研究员。主要从事化学生态、植物化学、环境化学的研究。