

北极阿拉斯加巴罗地区 现代环境的地球化学特征研究*

杨惟理 张青松

侯书贵

(中国科学院 地理研究所 北京 100101) (中国科学院兰州冰川冻土所 兰州 730000)
(国家计划委员会)

摘 要 本文以北极阿拉斯加巴罗地区样品分析为依据,研究泻湖、淡水湖、河流、沼泽、土壤等的环境地球化学特征。结果表明,巴罗地区融冻物理风化作用强烈,化学风化和生物地球化学作用较弱,物质以机械搬运为主, H^+ 为地带性标型元素。地表水化学类型阴离子以 Cl^- 为主,阳离子以 K^+Na^+ 为主。现代沉积物、地表土壤、沼泽泥炭层有机质含量丰富,最高可达50.07%。大量元素 SiO_2 含量极高,稀有稀土元素、微量元素含量偏低,但Hg、Cd、Cr的含量相对较高。

关键词 北极 巴罗 环境地球化学

分 类 (中图法) P941.67 (科图法) 57.135982 941.62

现代环境的地球化学特征受地表风化、沉积两大表生作用所支配。表生风化作用的主要能源为太阳辐射,其强度受气温、降水、 O_2 和 CO_2 、酸碱度、有机质等要素的影响。巴罗(Barrow)地区位于北极阿拉斯加北部滨海平原最北端($71^{\circ}20'N$, $156^{\circ}40'W$) (图1),地形平坦,泻湖、热融湖泊和沼泽十分发育。气候寒冷,多年平均气温为 $-12.4^{\circ}C$,年平均降水量小于250mm。地下永久冻土层厚达300m,地表活动层厚度约0.4m。巴罗地区盛行东风和西风,年平均风速5.3m/s。阿拉斯加最北部近年来气候变暖明显,十九世纪中叶以来,冻原地表温度上升了 $2-4^{\circ}C$ ^[1],但在二十世纪70年代存在一个变冷阶段。阿拉斯加北坡苔原带已由大气 CO_2 的汇变为源^[2],气温和 CO_2 含量升高加大了地球化学风化作用强度。因此,研究现代环境化学元素的分布、集散规律,揭示其作用过程与现代气候之间的耦合关系,将为建立现代环境主要因子和气候定量模型奠定基础,为预测21世纪全球气候变化提供科学依据。

1 样品采样与分析方法

根据中国科学院与美国阿拉斯加北坡自治区(North Slope Borough, Alaska, U. S.)关于合作进行北极考察的协议,1994年8月16日—9月13日我们在阿拉斯加巴罗进行了为期四周的野外考察和采样。

* 国家自然科学基金课题(49571072)资助和中国科学院特别资助项目
收稿日期:1995-10-14,收到修改稿日期:1996-03-25

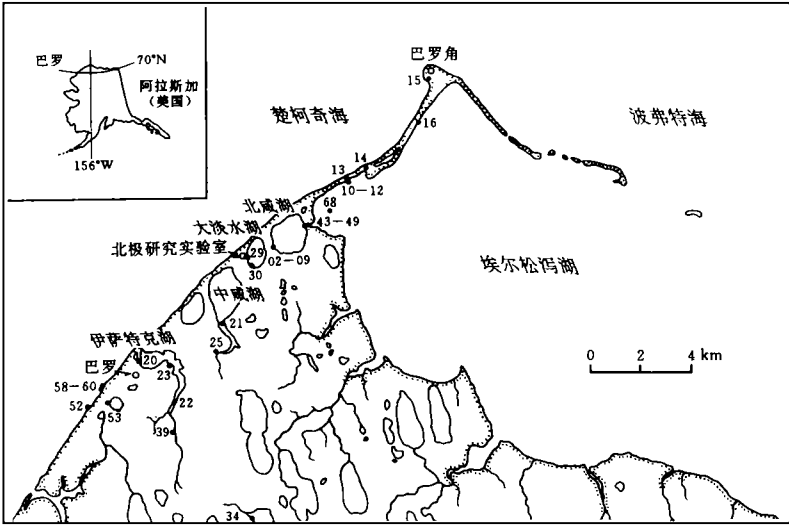


图 1 巴罗地区与采样点分布图

Fig. 1 Map of Barrow, Arctic Alaska showing sampling sites

野外采集的典型环境单元现代沉积物和土壤 13 个样品经风干、研磨、过 0.1mm 筛，以分析大量元素和微量元素含量。测定 Hg、Cd 样品使用玛瑙研钵磨碎过 100 目筛。分析大量元素和微量元素 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni 与稀有、稀土元素的样品采用偏硼酸锂 (LiBO₂) 熔融，用 ICAP-9000 型多道直读光谱仪测定^[3,4]。测 Hg 的样品用 HNO₃-H₂SO₄-V₂O₅ 硝化，然后用 CG-1 型测汞仪测定其含量，最低检出限为 0.1μg/L。Cd 则采用王水-HF-HClO₄ 硝化，用 AA-640 石墨炉原子吸收分光光度计测定其含量。最低检出限为 9×10⁻³ μg/L。采自海洋、泻湖、淡水湖、沼泽、河流的水样、雨水和降雪样品，用化学滴定法测定了可溶盐离子的浓度^[5]。

2 测定结果及研究

2.1 巴罗地区地表水化学特征

地表水化学组分来源于流域内岩石、土壤，经溶解、淋溶作用等进入水体。在北极夏季，可溶性元素 K、Ca、Mg 随雪冰融水进入河流、湖泊，水体中的可溶盐含量比冬季冻结期高 80—130%，较深冻土活动层淋溶出的离子浓度甚至增加 470%^[6]。这里分析的 20 个地表水样是 8—9 月分别采自海洋、泻湖、淡水湖、河流、沼泽、降雨和降雪，其化学组成及含量见表 1。

(1) 盐度、硬度、酸碱度

位于北极滨海平原的巴罗地区地表水的化学组成受海洋影响较大。含盐量的变化明显地反映出陆海水体的交换过程。从表 1 可以看出，楚柯奇海的平均盐度是 31.82g/L，与正常海水接近。泻湖水的平均盐度为 22.50g/L，但变化幅度很大，最高的可达 31.25g/L，最

小的仅 3.12g/L，两者相差 10 倍。淡水湖、河流和沼泽的含盐量变化于 0.7g/L 和 0.1g/L 之间，均为淡水。雨水和雪水的盐度更小，分别只有 0.08g/L 和 0.05g/L。巴罗地区地表水的盐度分布梯度为：

$$\text{雪水} < \text{雨水} < \text{沼泽水} < \text{河水} < \text{淡水湖水} < \text{泻湖水} < \text{海水}$$

表 1 阿拉斯加巴罗地区地表水化学组成 (mg/L)
Tab. 1 Chemical composition in the surfae water in Barrow, Alaska

采样号	样 品	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺	全盐	pH
AB09	北咸湖水	124.4	1943.30	714.0	273.0	894.0	10982.0	32418.0	
AB13	海 水	124.0	1861.60	654.0	301.5	853.4	10468.0	31017.0	
AB60	海 水	154.0	19073.0	2277.0	332.0	1140.0	10976.0	32017.0	
AB15	泻湖水	117.0	15024.0	1663.0	221.0	796.0	8820.0	26641.0	
AB16	埃尔松泻湖水	131.0	18779.5	693.0	261.3	966.2	10422.0	31253.0	
AB12	埃尔松泻湖水	124.4	18780.0	632.0	271.0	906.3	10391.0	31105.0	
AB04	北咸泻湖水	113.0	16494.0	1788.0	262.0	899.5	9588.0	29144.0	
AB05	北咸泻湖水	114.0	17316.0	736.0	245.0	863.0	9706.0	28980.0	
AB21	中咸泻湖水	143.0	1710.0	145.0	60.0	118.0	940.0	3115.0	7.14
AB22	伊萨特克泻湖水	45.0	114.0	58.0	8.0	7.0	86.0	317.0	7.09
AB30	大淡水湖水	18.7	34.0	82.0	8.0	19.6	22.2	184.6	6.17
AB29	淡水湖水	75.0	165.0	58.0	10.0	18.0	116.0	442.0	7.82
AB06	淡水湖水	159.9	448.7	29.0	26.0	39.0	260.9	964.0	
AB20	河 水	329.0	189.7	229.6	69.1	80.0	126.0	1025.0	8.46
AB25	河 水	52.0	113.0	58.0	10.0	18.0	74.0	325.0	7.12
AB39	伊萨特克泻湖水	99.6	68.0	53.0	14.0	8.9	74.0	317.9	7.02
AB23	沼泽水	187.0	194.0	43.0	40.0	27.0	120.0	625.0	7.62
AB35	沼泽水	56.0	20.4	106.0	8.0	19.6	39.0	249.1	6.64
AB14	雨 水	3.1	45.4			1.0	28.8	78.3	
AB43	雪 水	12.0	22.7				19.4	54.5	5.89

根据盐度、形成条件与海洋的隔离程度和演化过程^[7]，至少可把巴罗地区的泻湖分为四种类型：a. 开放型，以埃尔松泻湖为代表。泻湖与外海畅通，处于成湖的初始阶段。泻湖水的盐度为 31.18g/L，接近海水的盐度；b. 半封闭型，以北咸泻湖为代表。该泻湖与埃尔松泻湖之间以水道勾通，处于半封闭隔离状态。泻湖水体既受海潮的影响，又得到陆地河水的补给，湖水的含盐度降为 29.05g/L。c. 封闭型，以巴罗角未名泻湖为代表。该泻湖以沿岸砂砾堤与楚柯奇海分隔。湖水的主要补给是大气降水，但依然受风暴潮的影响，海水时有入侵。所以它的盐度为 26.64g/L。d. 淡化封闭泻湖型，以伊萨特克泻湖为代表。泻湖

虽然有水道与楚柯奇海相通, 风暴潮也影响泻湖尾部水体, 但上游含盐量低的河水(盐度为 0.3g/L)大量注入, 使该湖水体淡化, 泻湖中部的盐度已降至 3.11g/L , 成为微咸水泻湖。由此可见, 巴罗地区部分泻湖处于由咸水向淡水的变化过程, 最终会发育成淡水湖泊或池塘。

巴罗地区地表水硬度变化范围较大, 以德国度计, 从 0.4° 至 39° 。海水硬度较高, 最高值达 39° , 一般都超过 30° , 为硬水和很硬水^[8]。泻湖水平均硬度是 30° , 属硬水。淡水湖、沼泽水、河水的硬度低于 4° , 平均值分别是 1° 、 2° , 2° 为很软水。

pH 值是天然水最重要的地球化学条件指标之一, 它影响化学元素的浓度、分配及其赋存形态。该地区地表水基本上为中性, 酸碱度介于 $6.64\text{--}8.46$, 其中有的沼泽水受有机质分解的腐殖酸影响, pH 值略偏酸为 6.64 。雪水的 pH 值偏酸, 小于 6.0 。分析结果与 Kalff 1968 年测定巴罗地区的池塘平均 pH 值 ($\text{pH}=7.0$) 相一致^[9]。

(2) 离子组成特征

巴罗地区地表水化学组成的主要离子反映了区域气候和地貌特征。巴罗濒临海洋, 沿海地势低平, 受到海水侵入影响, 降水也主要来自海洋。因此, 地表水优势阴离子是氯离子, 各类型水体含量变化甚大, 介于 20.4 至 19073.0mg/L 之间, 中位值为 1710mg/L 。分布特征从陆地向海洋呈递增趋向:

淡水湖、河水、沼泽水 < 泻湖 < 海水

地表水的硫酸根 SO_4^{2-} 含量较高, 从 29mg/L 至 2277mg/L , 分布规律与氯离子相同, 从陆地向海洋递增。

碳酸氢根 HCO_3^{-} 的来源主要是大气中 C_2 、土壤中 CO_2 和碳酸盐岩类溶解。巴罗地区 HCO_3^{-} 的范围为 $18.7\text{--}187\text{mg/L}$ 。奇帕河(Chipp)的 HCO_3^{-} 含量高达 329mg/L , 超过了 Cl^{-} 和 SO_4^{2-} 含量, 构成陆地重碳酸盐弱矿化度软水。

(3) 阳离子组成

阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 极易淋溶和迁移, 海洋是它们的最后归宿。由于巴罗地区地处海滨, 许多湖泊与海洋相通, 受海洋影响很大, 所以 $\text{K}^{+}+\text{Na}^{+}$ 在阳离子中占绝对优势, 含量介于 $22.2\text{--}10982\text{mg/L}$, 中位值为 940mg/L 。 K^{+} 和 Na^{+} 的分布规律从陆地向海洋递增:

河水 < 沼泽水 < 淡水湖 < 泻湖 < 海水

钙离子的分布同样从陆地向海洋递增, 其含量变化: 陆地河水 31mg/L ; 沼泽水 24mg/L ; 淡水湖 18mg/L ; 泻湖 167mg/L ; 海水 302mg/L 。形成下列与 Na^{+} 和 K^{+} 不同的分布趋势:

淡水湖 < 沼泽水 < 河水 < 泻湖 < 海水

总之, 巴罗地区地表水的形成和影响因素不同, 水化学组成、含盐量和 pH 值、硬度变化较大。阴离子以 Cl^{-} 为主, 阳离子以 $\text{K}^{+}+\text{Na}^{+}$ 为主。根据地表水的地球化学组成和含量可划分为 5 种类型:

① Cl^{-} 氯化物钠组第三型, 咸水, 如楚柯奇海, 埃尔松泻湖, 北咸湖, 伊萨特克泻湖。

② Cl^{Na} 氯化物钠组第二型,淡水,如北小湖(North little lake)。

③ Cl^{Na} 氯化物钠组第一型,如伊萨特克泻湖上游河水,大淡水湖。

④ S^{Na} 硫酸盐钠组第二型,淡水,如伊柯劳维克湖(Ikroavik lake)。

⑤ C^{Na} 重碳酸盐钠组第一型,淡水,如巴罗镇小河(Barrow River),梅埃克河(Mayoeak River)。

由此可看出,高矿化度的海水和泻湖水属于氯化物钠组第三型水,因为它们完全受海洋控制。不同程度受到海洋影响的淡水湖泊,基本上是氯化物钠组,但分别属于第一型和第二型水,也就是低矿化度的淡水。完全受控于陆地的河水则为重碳酸盐或硫酸盐钠组一型或二型的低矿化度或中等矿化度淡水。

2.2 巴罗地区现代沉积地球化学特征

化学元素特别是微量元素的分布、迁移、集散规律是其自身化学性质和外界气候及生态环境条件共同作用的结果。因此,研究化学元素在地表沉积物、土壤和岩芯中的分布、分配、累积、分散程度,不仅能够探明元素来源,蚀源区风化程度与迁移过程,而且可以通过化学元素组合分布规律恢复古地理环境。

(1) 现代沉积和土壤的环境地球化学特征

现代沉积物及土壤采样的环境单元分别为沿海岸泻湖群、淡水湖泊,陆地河流与海滩等(图1)。

硼含量是区分海相和陆相沉积的重要标志^[10]。一般海相沉积物的硼含量大于50mg/kg,陆相沉积物的硼含量小于50mg/kg。本区海洋沉积及受海潮影响的陆地沉积硼含量均大于50mg/kg,如北咸湖表层沉积(AB02)高达81.38mg/kg,靠近泻湖的地表土壤(AB08, AB49)也有51.78mg/kg和58.86mg/kg。有趣的是,巴罗镇遗址距地表30cm的泥炭层(AB53),硼含量也超过50mg/kg。该层下面41cm深处(AB52)的硼含量为37.89mg/kg。巴罗地区淡水湖泊沉积和内陆河流沉积硼含量变化于7.48—21.48mg/kg的范围内。由此说明,在巴罗地区,硼含量仍然是区别海相和陆相的可靠标志。靠近海滨和泻湖的陆地沉积,由于受海潮的影响,硼含量明显偏高。

(2) 有机质和酸碱度

现代沉积物和土壤的有机质含量和pH值显示出强烈的生物影响。目前,巴罗地区夏季多年平均气温在2—3℃,植被覆盖相当好。泥炭层(AB10),泻湖表层(AB02),地表土壤(AB08),滨海泥炭层(AB52, AB53)的有机质含量高,其值分别为32.65%、16.92%、36.65%、50.07%和39.50%。北极地区气候寒冷,腐殖酸化产生的中间产物褐色富里酸^[11]使上述沉积物样品的pH值降低至4.37、4.88、5.82、4.80、5.40(表2),为酸性土。陆地河流(如Chipp River河漫滩)和淡水湖泊的有机质含量较低介于0.31%—10.17%之间,pH值是6.38—8.95,沉积物为中性或偏碱性。

(3) 元素地球化学特征

巴罗地区气温低,降水较少,岩石以物理风化作用(融冻作用,机械破碎)为主。现代地表沉积物和土壤中碎屑物质较多,大量元素^[12]Si、Fe、Al、Ca的含量高,SiO₂含量从79.06%—94.95%,平均为86.74%。Fe含量1.46%—3.11%,Al含量为3%—7.11%,Ca的含量为0.55%—1.28%(表2)。

表 2 北极巴罗地区地表沉积物、土壤中微量元素含量 (mg/kg)

Tab. 2 Trace chemical element concentration (ppm) of surface deposit and soil in barrow, Alaska													
采样号	样 品	Ni	Cu	Co	Cr	Mo	Zn	Pb	Hg	Cd	P	有机质	pH
AB02	北咸湖表层沉积	39.21	26.32	16.67	112.20	0.48	76.90	10.73	0.32		795.50	15.92	4.86
AB46	埃尔松泻湖滨沉积物	13.23	10.16	10.43	50.05	0.21	31.84	8.63	0.17	0.90	495.45	3.53	5.03
AB68	埃尔松泻湖表层沉积物	24.41	18.85	12.45	78.60	0.40	61.35	14.35	0.22	0.50	874.00	2.96	6.27
AB10	埃尔松泻湖海岸泥炭	36.00	21.54	13.95	171.80	0.38	55.00	18.94	0.24		713.00	32.65	4.87
AB08	North Bridge 土壤	28.55	29.70	11.72	72.75	0.54	82.55	16.53	0.32	0.90	950.00	36.65	5.82
AB49	Bridge 土壤	26.56	16.82	11.93	100.00	0.32	56.25	19.52	0.14	0.80	549.50	29.04	7.72
AB58	Broworvill 海滩泥砂	9.26	6.42	6.03	11.56	0.09	14.06	6.28	0.06	0.15	419.35	0.24	7.42
AB81a	Chipp 河漫滩沉积物	45.47	32.66	15.82	113.05	0.41	63.15	17.67	0.04	3.00	789.00	10.17	8.16
AB81b	Chipp 河漫滩沉积物	17.15	8.68	7.66	42.35	0.16	26.60	10.84	0.054	0.20	453.05	0.31	8.95
AB88	Chipp 左岸沙丘砂	20.29	10.05	9.26	41.93	0.22	29.07	14.09	0.12	0.25	544.50	3.48	7.65
AB89	Chipp 左岩沙丘砂	25.80	12.93	12.12	62.65	0.30	41.93	16.84	0.15	0.50	684.00	2.41	7.90
AB95	Chipp 右岸沙丘砂	20.85	10.53	9.60	49.42	0.22	36.94	16.23	0.13	0.40	551.00	0.39	8.54
AB34	Ikroavik 淡水湖表层沉积物	17.34	10.87	9.58	36.64	0.25	39.28	9.27	0.12	0.70	413.00	2.65	6.36
	现代边远区湖泊沉积	66.00	45.00	16.00	62.00		39.28	34.00	0.35	0.40			
	欧洲北美洲湖泊沉积	50.00	29.00	19.00	49.00		118.00	35.00	0.12	0.58			
	世界沉积物平均含量	21.50					111.00						
	美国江河背景值	23.00	6.40	69.00			88.00	25.00	0.033	0.26			
	美国湖库背景值	43.00		32.00			51.00	25.00	0.089	0.14			

微量元素 Zn、Pb 与现代边远地区、欧美、世界沉积物等背景值相比，含量偏低（表 3）。特别是 Chipp River 河漫滩和河岸，沉积物以细砂为主（AB81，88，89，95），Zn 含量分别为 63.15mg/kg，26.60mg/kg，29.07mg/kg，41.49mg/kg，36.94mg/kg；Pb 分别为 17.67mg/kg，10.84mg/kg，14.09mg/kg，16.84mg/kg，16.23mg/kg。尽管巴罗地区以物理风化作用为主，由于沉积物与土壤中的有机质高达 17—50%，使沉积物和土壤的 pH 值降低至 4.37—5.82。H⁺ 为标型元素。胶体迁移占有一定比例，如 MnO₂，与近代湖泊沉积物背景值^[13]相比，含量较低，有一定淋失，也使一些微量元素被吸附相伴迁移。因此，在泻湖表层，淡水湖表层，海滨泥炭层沉积和土壤表层，微量元素存在一定的累积。泻湖表层（AB02）的 Cu 含量为 26.32mg/kg；Ni 为 39.21mg/kg；Zn 为 76.90mg/kg。土壤表层的 Cu 含量为 29.70mg/kg；Ni 含量为 28.55mg/kg；Zn 为 82.55mg/kg，与世界一般河流沉积物和土壤的化学元素平均背景值相似^[13]。Cr、Hg、Cd 的含量较高，Cr 的平均浓度为 79.91mg/kg，高于世界边远地区 70 多个现代湖泊沉积物 Cr 的平均值 62mg/kg，也比欧洲、美洲湖泊沉积物背景 49mg/kg 高。特别是北咸湖表层（AB02）的 Cr 含量为 112.20mg/kg，

Chipp River 河漫滩 (AB81-a) 为 113.05mg/kg, 是上述 Cr 背景值的 1—2 倍以上。Hg 的含量范围从 0.04mg/kg 至 0.32mg/kg, 平均值为 0.15mg/kg。高于欧洲、北美洲湖泊沉积物 Hg 的背景值, 但低于边远地区湖泊现代沉积物背景值 (表 3)。Cd 含量为 0.15mg/kg—3.1mg/kg, 平均值是 0.86mg/kg。尽管平均值高于世界和美国江河、湖库沉积物平均值却仍然在美国淡水水体沉积物的背景范围内 (0.2—12.1mg/kg)^[14]。微量元素 Cr、Hg、Cd 河流河漫滩、海滩砂沉积物中含量低, 在泻湖表层沉积物、泥炭、土壤表层中含量高, 表明其富集作用与有机质密切相关, 生物吸收作用往往使微量元素富集量上升几倍^[15]。北极地区气候寒冷, 生物降解不完全, 植物根系释放出的生物酸促进了北极地区的化学、生物地球化学风化作用, 并形成土壤粘粒与有机胶体, 在微量元素的迁移—富集与分布中起了决定性作用。这与 R. T. Prentki 关于巴罗地区冻原底沉积物研究结果相一致^[16]。Prentki 发现, 有些冻原湖泊、池塘表层沉积物的有机质含量高达 69—83.4%, 这种高含量有机质沉积层厚度达 18—30cm, Cu 含量高为 52mg/kg, Zn 含量高为 93mg/kg。

表 3 北极巴罗地区地表沉积物、土壤中大量元素含量 (%)

Tab. 3 Major element in percentage of surface deposit and soil in Barrow, Alaska

采样号	样 品	SiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂	Na ₂ O	MnO	TiO ₂
AB02	北咸湖表层沉积物	89.99	0.32	1.69	3.51	0.62	0.52	0.51	1.59	0.03	0.33
AB46	埃尔松泻湖湖滨沉积物	92.60	0.35	1.02	1.24	0.25	0.22	0.31	0.33	0.01	0.06
AB68	埃尔松表层沉积物	79.06	0.36	2.89	6.81	1.01	1.16	1.00	1.18	0.03	0.47
AB10	埃尔松泻湖海岸泥炭层	85.33	0.36	2.68	5.89	0.85	1.00	0.92	1.09	0.02	0.46
AB08	North Bridge 土壤	90.41	0.34	1.53	4.39	0.32	0.42	0.71	0.47	0.02	0.29
AB49	Bridge 土壤	73.87	0.37	3.52	6.70	0.50	1.30	0.89	0.72	0.07	0.51
AB58	Browerville 海滩砂	94.95	0.35	0.98	1.13	0.23	0.34	0.46	0.30	0.02	0.20
AB81a	Chipp 河漫滩沉积物	88.56	0.33	1.89	4.16	0.92	0.46	0.57	0.56	0.02	0.39
AB81b	Chipp 河漫滩沉积物	86.73	0.37	2.13	5.45	0.87	0.60	0.73	0.72	0.02	0.51
AB88	Chipp 河左岸沙丘砂	90.31	0.37	1.46	3.00	0.55	0.44	0.47	0.38	0.02	0.26
AB89	Chipp 河左岸沙丘砂	80.79	0.35	3.4	7.11	0.87	1.16	1.11	1.19	0.02	0.47
AB95	Chipp 河右岸沙丘砂	88.57	0.36	1.90	3.60	1.10	0.77	0.70	0.72	0.02	0.33
AB34	Ikroavik 淡水湖沉积物	89.23	0.34	1.48	4.23	0.35	0.46	0.65	0.73	0.01	0.22

巴罗地区 Sr、Sc、Zr、La、Ce、Li、Be 等稀有稀土元素含量不仅低于地壳克拉克值^[17], 而且远低于世界沉积物的平均含量 (表 4)。Li、Be、Sr、Nb 的含量一般与砂岩的含量相近^[17], 在泻湖表层、河漫滩、土壤中, 它们的含量高于砂岩。这些元素易与粘粒结合迁移, 并为有机质所富集。Li、Lb、Nb、Sr、Zr、Ca 与微量元素 Ni、Co、Cu、Zn、Cr 呈组合迁移, 具有类似的地球化学分散、累积规律。在化学风化作用中, Nb 的活动性较 Ta 大, 易于迁移, Nb/Ta 比值可以反映风化程度和迁移方向。现代土壤和近海岸环境受地球化学风化作用较大, 化学元素的迁移方向由陆地向海洋。

表 4 北极巴罗地区地表沉积物、土壤中稀有、稀土元素含量(mg/kg)
Tab. 4 Rare element and rare-earth element concentration of surface deposit and soil in Barrow, Alaska

样品号	采样点	Ba	Sr	V	Ga	Nb	Sc	Ta	Y	Pb	Yb	Be	Ce	Zr	La	Li	W	Rb
AB02	北咸湖表层沉积物	463.25	64.65	107.50	13.55	11.68	5.47	2.66	0.97	13.02	1.81	2.39	22.13	72.00	8.31	37.17	1.67	78.55
AB46	埃尔松泻湖湖淤沉积物	454.60	50.55	47.27	5.15	6.87	2.50	1.17	0.34	9.69	0.97	1.14	27.47	34.05	12.21	13.94	0.66	52.75
AB68	埃尔松表层沉积物	469.25	69.40	86.55	10.69	13.25	4.68	2.22	0.75	16.04	1.87	4.82	42.05	66.65	20.46	24.81	1.34	67.50
AB10	埃尔松泻湖海岸泥炭	636.50	49.53	83.55	10.78	14.36	4.37	1.90	0.70	14.59	1.69	2.12	49.52	46.81	15.53	18.19	1.41	73.65
AB08	North Bridge 土壤	520.00	57.10	65.95	12.92	7.63	6.25	2.82	0.90	20.32	1.99	2.20	41.39	65.25	22.32	26.20	1.55	58.90
AB49	Bridge 土壤	499.60	46.80	73.80	7.58	2.01	3.59	1.99	0.51	9.07	1.27	1.78	30.31	62.05	12.52	23.91	1.12	69.95
AB58	Browerville 海滩泥砂	832.50	50.85	30.83	4.26	4.16	1.87	0.66	0.28	9.17	0.85	1.04	30.88	18.44	11.92	7.61	0.42	35.59
AB81a	Chipp 河漫滩沉积物	479.95	79.35	84.65	12.05	16.27	5.93	2.36	0.86	12.50	2.18	2.13	53.35	72.00	23.73	23.63	1.42	76.10
AB81b	Chipp 河漫滩沉积物	423.90	36.21	38.05	5.18	9.28	2.65	1.02	0.35	11.15	1.21	1.14	41.48	26.95	13.58	11.68	0.66	53.90
AB88	Chipp 河左岸沙丘砂	338.40	41.17	46.70	6.39	11.59	2.97	1.33	0.42	11.67	1.27	1.25	48.60	39.72	16.49	13.54	0.84	66.25
AB89	Chipp 河左岸沙丘砂	336.75	49.66	57.35	7.75	15.59	3.75	1.72	0.55	14.59	1.63	1.64	53.13	55.30	20.44	16.71	1.07	89.60
AB95	Chipp 河右岸沙丘砂	366.00	44.89	43.73	6.08	13.88	3.12	1.33	0.41	11.62	1.21	1.59	53.35	32.63	17.52	12.75	0.89	87.15
AB84	Ikroavik 淡水湖沉积物	380.75	44.66	55.50	5.93	6.12	2.81	1.90	0.38	11.67	1.21	1.22	29.24	41.14	15.13	15.52	0.80	49.09
世界沉积物平均含量		460.00	320.00			10.00					3.60		83.00		47.00			135.00

3 主要结论

1. 北极阿拉斯加巴罗地区位于地势低平的滨海平原, 地表水受海洋影响较大。阳离子以 $K^+ + Na^+$ 为主, 阴离子以 Cl^- 为主。 Cl^- , $K^+ + Na^+$ 分布规律从陆地向海洋递增, 即:

河水 < 沼泽水 < 淡水湖 < 泻湖 < 海洋

2. 现代沉积物、土壤的有机质含量和酸碱度表明了北极高寒冻原带生物化学作用的影响。由于气候寒冷, 降水少, 冬季时间长, 有机质不易分解, 富集于地表层, 最高达 50.07%, pH 值降低至 4.37。 H^+ 成为北极地带性标型元素。

3. 北极巴罗永久冻土区以物理风化作用(融冻、机械破碎)为主, 存在一定的化学风化和生物地球化学作用。 SiO_2 含量极高, 最高达 94.5%, 微量元素, 稀有稀土元素含量偏低, 但 Cr、Hg、Cd 含量相对较高。

致谢 1994 年 8 月 15 日—9 月 13 日在阿拉斯加巴罗考察期间, G. Ahmaogak 市长和 T. Albert 博士帮助安排野外工作, Charie Brower、Harry Brower 和 Steve Melean 协助考察和采样, 中国科学院地理所综合分析实验室承担了主要的分析、测试工作。在此一并表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 1 Brown J. Sellmann PV. Permafrost and coastal plain history of Arctic-Alaska. Britton ME. Alaskan Arctic Tundra. Arctic Institute of North America Technical Paper No. 25. p34. 1973.
- 2 Oechel W C. *et al.* Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. Nature. 1993. 361: 520—523.
- 3 陈超子. ICP 等离子光谱化学元素含量分析. 土壤通报. 1988. 19(12): 89.
- 4 田晓姹, 陈超子. 应用 ICP-AES 法同时测定土壤中 27 种元素和方法研究. 土壤通报. 1993. 24(4).
- 5 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 科学出版社. 1983.
- 6 Hobbie J E. Arctic limnology: a review. Britton ME. Alaskan Arctic Tundra. Arctic Institute of North Technical Paper No. 25. p127—168. 1973.
- 7 巴恩斯. R. S. K. 海岸泻湖. 庄振业等译. 海洋出版社. 1985.
- 8 陈静生. 环境地球化学. 海洋出版社. 1990.
- 9 Kalff J. Some physical and chemical characteristics of arctic fresh water in Alaska and northwestern Canada. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1968. 25. 2575—2587.
- 10 任明达, 王乃樑. 现代沉积环境概论. 科学出版社. 1981.
- 11 柯夫达 B A(苏). 土壤学原理. 陆宝树等译. 科学出版社. 1981.
- 12 左大康等编. 现代地理学辞典. 商务印书馆. 1990. 400.
- 13 Forstner U. Metal pollution in the aquatic environment. Springer. Berlin. 1981.
- 14 全国环境保护科技情报网. 环境科学情报. 中国环境科学出版社. 1983. (10): 1—10.
- 15 彼列尔曼 A E(苏). 后生地球化学. 龚子同等译. 科学出版社. 1975.
- 16 Printki R T. *et al.* Chemistry. Hobbie J E. Limnology of tundra ponds Barrow, Alaska. Marine Biological Laboratory Dowden Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg Pennsylvania. 1980.
- 17 南京大学地质系. 地球化学. 科学出版社. 1979.

ENVIRONMENT GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS IN BARROW, ALASKAN ARCTIC

Yang Weili Zhang Qingsong

(*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Hou Shugui

(*Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Lanzhou, 730000*)

Abstract

Barrow is located on the arctic coastal plain at the northeast Alaska ($71^{\circ}20'N$, $156^{\circ}40'W$), where permafrost is well developed with a mean annual temperature of $-12.6^{\circ}C$. Therefore, the modern environmental processes are dominated by physical weathering (freezing and thawing) and sedimentation which influence on the characteristic of present tundra environmental geochemistry.

Some 35 samples of water, soil and snow were collected from sea, lagoon, lake, stream and bog at Barrow in August-September, 1994. The preliminary results are as follows: (1) Chemical and bio-chemical processes also existed in such an extremely cold region, which may be caused by higher summer temperature. (2) H^+ is a typomorphic element appeared in the Arctic tundra environment. (3) The major positive and negative ions are $K^+ + Na^+$ and Cl^- in the aquatic environment, appearing in a distribution order of decreasing from ocean to land, that is:

stream water < bog water < fresh lake water < lagoon water < sea water.

(4) Organic materials in tundra soils and surface deposits in lagoon and lake are comparatively high in case up to 50.07% which may influence the transport and accumulation of chemical elements.

(5) The content of major element Si^{2+} is extremely high which ranges from 73.87% to 90.41%, and the contents of rare elements, rare-earth elements and trace elements are relatively low. However, the contents of Hg, Cd, Cr and comparatively high.

Key words Barrow, Alaskan Arctic, Modern environmental geochemistry