

# 20世纪南极法尔兹半岛海豹数量变化及其影响因素

杨奇超, 孙立广\*, 孔德明, 黄涛, 王玉宏

① 中国科学技术大学极地环境研究室, 合肥 230026;

② National Institutes of Health, Maryland 20892, USA

\* 联系人, E-mail: [slg@ustc.edu.cn](mailto:slg@ustc.edu.cn)

2009-01-14 收稿, 2009-04-20 接受

国家自然科学基金(批准号: 40730107, 40676004)和科技部科技支撑计划(编号: 2006BAB18B07)资助项目

**摘要** 通过对采自南极乔治王岛法尔兹半岛地区的一根长为 35.5 cm 的海豹粪土沉积柱进行多方面的沉积学分析, 包括沉积物的岩性特征, 沉积物中 Cu, Se, Zn 等标型元素以及反映有机质含量的总有机碳(TOC)随深度的变化, 该沉积剖面自上而下可分为两个明显不同的沉积单元, 其中上部 25.5 cm 的沉积层明显受到海豹排泄物混入的影响, 底部 10 cm 主要为未受海豹活动影响的海相沉积。同时恢复了该地区 20 世纪以来海豹数量的变化过程, 该变化主要受控于人为因素的影响。在 20 世纪上半叶, 由于人类的大量捕杀, 该地区海豹数量持续低迷。20 世纪 60 年代以后由于南极地区捕杀海豹活动的禁止以及人类对南极生态系统的保护, 该地区海豹数量迅速恢复并在之后一直维持了较高的数量水平。该地区 20 世纪以来海豹数量的显著变化表明了人类活动对南极生态系统的强烈影响, 对认识人与自然的关系及生态系统的保护有深刻的意义, 同时也为进一步研究南极地区生态系统的演化历史提供了高精度的信息载体。

**关键词**

南极  
海豹  
数量变化  
人类活动  
生物标型元素

南极地区由于远离人类密集区和自身较弱的生物活动, 成为研究人类活动对全球变化影响的一个重要场所<sup>[1]</sup>, 已被一些国际全球变化研究计划确定为核心理研究区域之一(如 IGBP 和 WCRP 计划)。环南极无冰川覆盖区是随着气候转暖, 冰川后退而出现的, 尽管只占南极洲极少的面积, 但却是南极科学考察研究的重要组成部分。无冰区上保留有丰富的沉积地层, 特别是晚近时期的沉积记录可能完整地记录着全新世以来的生态、气候环境演变和人类活动的信息, 这些信息无疑可提供具有全球意义的自然环境变化模式<sup>[2]</sup>。本文的研究区域法尔兹半岛就是南极乔治王岛最大的无冰区。

为了研究历史时期气候和人类活动对南大洋生态系统的影响, 南极地区的海鸟数量已被用来作为

一种重要的生物指标。同时长期的观测数据也清楚地表明南极地区海鸟数量的变化直接或间接地受控于气候因素的影响<sup>[3~11]</sup>。

南极海豹作为南大洋生态系统的顶级捕食者对海洋环境和生态系统的变化是十分敏感的, 其种群数量可以作为南极海洋环境变化的良好指标<sup>[12~14]</sup>。Sun 等人<sup>[14]</sup>通过对采自南极的未经扰动的海豹粪土沉积柱中海豹毛和生物标型元素等多重指标的研究, 恢复了南极地区 1500 年来海豹数量的变化过程, 同时证明这种变化主要是受气候因素的影响。Hodgson 等人<sup>[13,15]</sup>通过沉积剖面中海豹毛数量随深度的变化恢复了距今 200 年来南极 Signy Island 地区海豹数量的变化过程, 并且把这种变化与捕鲸业和捕海豹业等人类活动联系起来。上述科学实践为本研究提供

**引用格式:** 杨奇超, 孙立广, 孔德明, 等. 20 世纪南极法尔兹半岛海豹数量变化及其影响因素. 科学通报, 2009, 54: 3546~3552

Yang Q C, Sun L G, Kong D M, et al. Variation of Antarctic seal population in response to human activities in 20th century. Chinese Sci Bull, doi: 10.1007/s11434-009-0581-9

了重要的科学依据,即可以把生源沉积物(如含有企鹅粪、海豹粪和海豹毛等生物遗迹的沉积物)应用到古生态学和全球变化的研究中。

本文在时间尺度上立足于人类活动对自然环境影响最为显著的 20 世纪,在空间范围内选取南极乔治王岛法尔兹半岛这一典型无冰区,通过对采自该地区的海豹粪土沉积柱的综合分析,高精度地恢复 20 世纪以来该地区海豹数量的变化过程,同时探讨引起这种变化的相关因素。

### 1 研究区域环境概况

法尔兹半岛位于南极乔治王岛西南部,南北长约 8 km,东西宽 2.5~4.5 km,半岛总面积约 38 km<sup>2</sup>,是该岛最大的无冰区。其地理位置坐标: 62°08'48" ~ 62°14'02"S, 58°40'59"~59°01'50"W(图 1)。半岛上有智利、俄罗斯等国的科学考察站及几处南极特别保护区(ASPAs)和南极科学兴趣点(ISSI),第 8 次南极条约协商会议确定法尔兹半岛为特别科学兴趣场所,因此本地区是进行南极环境与全球变化研究的理想场所<sup>[16]</sup>。

该半岛属于亚南极海洋性气候,极地气旋活动十分频繁,夏季每隔 3~4 d 即可发生一次。年降雨量约为 630 mm,季节分配均匀,以降雪为主。12 月中旬地表积雪开始融化,3 月下旬季节融深达极值。该区植被单调,群落结构简单。地表植物以隐花植物地衣、苔藓和藻类为主<sup>[2]</sup>。

分布在该区的大型哺乳动物共有 5 种鳍脚目动

物,即威德尔海豹(*Leptonychotes weddellii*),象海豹(*Mirounga leonine*),豹形海豹(*Hudrurga leptonyx*),食蟹海豹(*Lobodon carcinophagus*)和南极毛皮海狮(*Arctocephalus gazella*),年统计数量为 10772 头,其中象海豹为优势种,占 71.42%,南极毛皮海狮次之,占 14.78%。象海豹和南极毛皮海狮主要以夏季的换毛群占优势,多集中在西南海岸区以北海滩,在夏季换毛期间它们不喜欢下水<sup>[17,18]</sup>,因此遗留在海岸上的大量海豹毛和排泄物等经冰雪融水的冲刷迁移最终沉积在海岸的集水区内,为我们研究历史时期海豹种群数量的变化提供了重要的信息载体<sup>[14]</sup>。

### 2 材料和分析方法

本文所研究的沉积柱 HN1 于中国第 18 次南极科学考察期间(2001 年 11 月~2002 年 3 月)采自南极乔治王岛法尔兹半岛一级海岸阶地内的集水区(62°11'57"S, 59°58'48"W, 海拔 2 m)(具体位置见图 1)。采样时使用经过洁净处理的内径为 12 cm 的 PVC 管垂直钻到基底后取出,所得的沉积柱 HN1 全长 35.5 cm。样品取得后冷藏保存,带回实验室进行岩性鉴定,其沉积剖面如图 2 中左侧所示。根据剖面的理化性质,该沉积柱可分为上下两个沉积单元,上部 25.5 cm 含有丰富的海豹毛,为灰黑色富含有机质的粪土沉积;底部 10 cm 含有大量分选和磨圆较好的灰黑色玄武岩质细砂,未见海豹毛,应为未受海豹活动影响的海相沉积(详见结果与讨论部分),因此本文主要针对表层 25.5 cm 部分进行分析和研究。

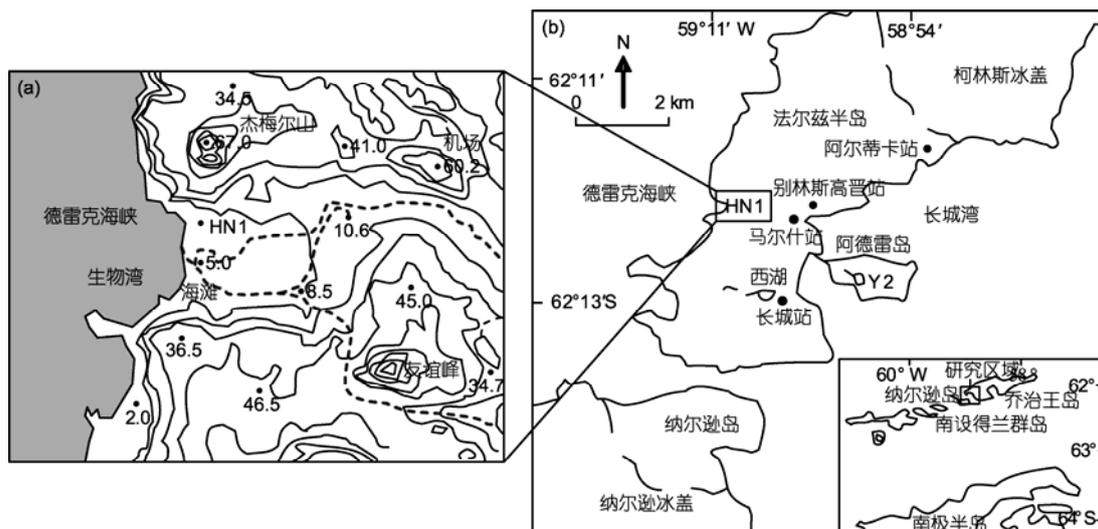


图 1 法尔兹半岛及采样地点地理位置图  
(a)中曲线代表等高线,数字为对应位置的海拔,单位:m

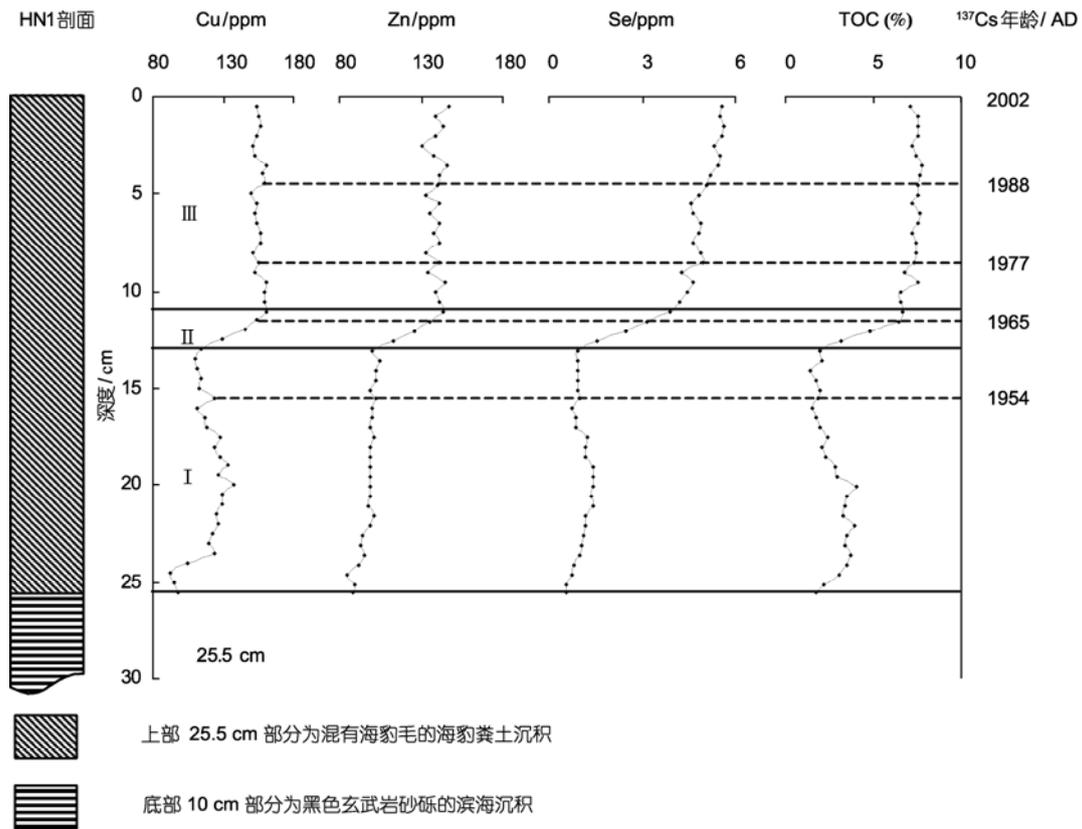


图2 HN1沉积柱中Cu, Zn, Se等元素浓度和TOC含量随深度的变化

I, II, III 分别代表了海豹数量变化的不同阶段。I, 20世纪初期至20世纪50年代末海豹数量持续低迷; II, 20世纪60年代海豹数量出现迅猛增加; III, 20世纪60年代以后海豹数量达到较高水平并相对稳定

对HN1沉积柱上部25.5 cm按0.5 cm间隔进行分样,得到HN1系列样品51个。将这些样品置于通风洁净的地方自然风干,然后在玛瑙研钵中松散开来并充分混合。之后采用四分法分取每个样品约15 g,在玛瑙研钵中研磨至120目以测定其中含有的14种主要和痕量化学元素以及总有机碳(TOC)的含量。在测定汞、砷、硒等元素含量时需先将样品在60℃下烘干24 h,测定其他元素含量时则先将样品于105℃下烘干24 h。本文所有测试过程均用标准样品进行质量监测。其中总有机碳(TOC)采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法, Hg, Se, As采用氢化物原子荧光光谱法(AFS), Cu, Zn, Ni, CaO, MgO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O采用原子吸收法(AAS), Sr采用等离子体发射光谱(ICP-AES)进行测定, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>采用紫外可见分光光度计(UVS)进行测定。

### 3 沉积柱年代的确定

HN1沉积柱年代序列的确定采用<sup>210</sup>Pb-<sup>137</sup>Cs定

年法,所用仪器为美国ORTEC公司生产的高纯锗γ谱仪,测量结果如图3所示。该沉积柱中<sup>210</sup>Pbex(过剩<sup>210</sup>Pb)随深度的变化与通常的垂直分布图示具有很大差异,其变化过程可分为7个阶段:0~3.5, 3.5~5, 5~8.5, 8.5~10.5, 10.5~15.5, 15.5~19.5, 19.5~24.5 cm。其中0~3.5, 5~8.5, 10.5~15.5和19.5~24.5 cm阶段<sup>210</sup>Pbex与深度呈负相关,3.5~5, 8.5~10.5和15.5~19.5 cm阶段与深度呈正相关。HN1沉积柱中<sup>210</sup>Pbex随深度的剧烈变化与胥思勤等人<sup>[19]</sup>在云南省程海地区采得的沉积柱芯中<sup>210</sup>Pb的分布十分相似,究其原因可能是采样地区特殊的水动力条件使样品沉积速率发生改变引起的,其中<sup>210</sup>Pbex与深度呈负相关阶段对应了采样地区沉积速率相对稳定的时期,正相关阶段则可能是短期内沉积速率的急剧增大造成的。考虑到南极地区特殊的地理位置和气候变化,我们推测HN1采样地点的沉积过程主要受控于该地区冰雪沉降和消融过程的影响。南极大陆无冰区在一年中

大部分时间均处于冰封状态之下, 此时由于冰雪的隔离及地表径流的消失采样地区的沉积过程几乎完全停止; 夏季气温上升, 冰雪融化形成融雪径流, 汇聚于海岸的集水区内, 这是发生沉积作用的主要时期. 受气温和地表形态改变等自然因素的影响, 每年南极无冰区冰雪融化程度有所不同, 汇聚至集水区的地表径流也会发生相应变化, 采样地区在不同的季节和年份其沉积速率必然会有所差异, 这是造成该沉积柱中  $^{210}\text{Pb}$  波动剧烈以至无法用其定年的主要原因.

由于此处不能直接利用  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  进行沉积定年, 我们采用对比  $^{137}\text{Cs}$  峰值的方法来进行年代确定. 图 2 中 HN1 沉积柱的  $^{137}\text{Cs}$  垂直剖面存在 3 个峰值, 与历史时期的标准峰值进行对比同时考虑到  $^{137}\text{Cs}$  在大气中由北半球传输至南半球所需的时间, 我们可以确定 11.5 cm 深度的最高峰对应了 1965 年  $^{137}\text{Cs}$  在南半球沉降的最大值, 8.5 cm 的峰值对应了 1977 年<sup>[20]</sup>, 而 4.5 cm 的峰值则对应了 1988 年, 该峰由前苏联切尔诺贝利核泄漏形成. 最大峰为 1965 年峰值, 1977 年峰值次之, 1988 年峰值最小. 3 个峰值峰形完好, 说明该沉积柱的生物和机械扰动很小<sup>[21]</sup>. 而  $^{137}\text{Cs}$  剖面在 15.5 cm 深度的显著变化则对应了 1954 年  $^{137}\text{Cs}$  在全球沉降的开始. 通过  $^{137}\text{Cs}$  方法确定不同深度的峰值所对应的年代, 我们可以计算出该沉积剖面 15.5 cm 深度以上部分的平均沉积速率, 将此平均速率应用于整个剖面我们推测出 HN1 沉积柱 25.5 cm 深度对应的年代约为 20 世纪 20 年代(即 20 世纪初期).

#### 4 结果与讨论

HN1 沉积柱中 Cu, Zn, Se 等元素与总有机碳含量 (TOC) 随深度的变化绘于图 2. 根据 Sun 等人<sup>[7,8]</sup> 和刘晓东等人<sup>[22]</sup> 的研究, 粪土沉积层中总有机碳含量 (TOC) 是反映历史时期生物种群数量变化的良好指标, 其 TOC 主要来自在该地区活动的生物种群排泄物中的有机质部分, 因此沉积序列中 TOC 含量越高对应历史时期生物的排泄物越多, 也大体上反映了该时期这一地区的生物种群数量越多.

在本研究中, 考虑到 HN1 沉积柱的采样地点位于南极半岛夏季海豹主要栖息地的集水区, 每年都有大量的海豹来此地繁殖、脱毛和觅食, 同时 HN1 剖面上部 25.5 cm 有大量海豹毛和 TOC 检出, 因此本文认为 HN1 沉积序列上部 25.5 cm 为历史时期受海豹活动影响形成的粪土沉积层. 而剖面底部 10 cm 主要为不含海豹毛的灰黑色玄武岩质细砂沉积, 其 TOC 含量也明显低于上部 25.5 cm, 根据这一明显的沉积结构特征和  $^{210}\text{Pb}$ - $^{137}\text{Cs}$  年代分析, 我们认为在 20 世纪之前, 法尔兹半岛一级海岸阶地极有可能位于高潮海平面之下, 由于海水的冲刷作用, 对应时期的海豹毛和海豹排泄物不可能沉积下来, 故沉积柱底部 10 cm TOC 含量很低且未见海豹毛. 随后发生的地壳均衡作用导致现在的一级海岸阶地在 20 纪初期抬升露出高潮海平面, 海豹逐渐在抬升成陆的海岸阶地上栖息繁殖, 形成了 HN1 上部 25.5 cm 的沉积剖面.

因此 HN1 上部 25.5 cm 部分 TOC 含量随深度的变化可以用来指示 20 世纪南极法尔兹半岛地区海豹种群数量的变化过程. 由图 2 可知, TOC 含量随深度

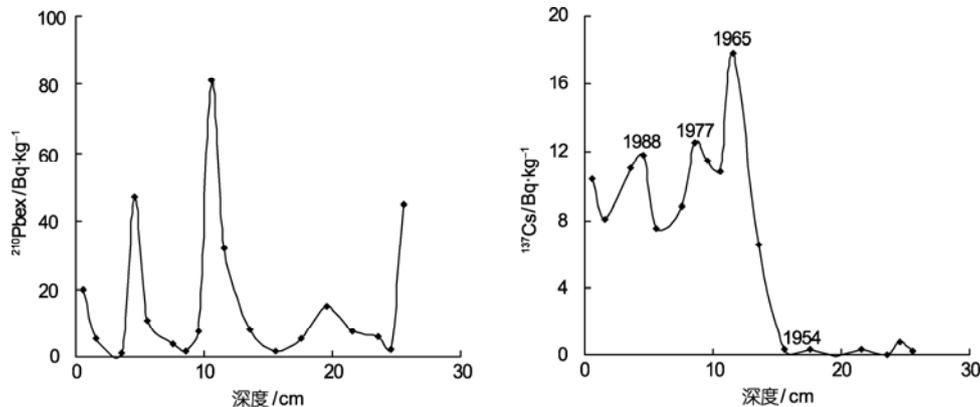


图 3 HN1 沉积柱的  $^{210}\text{Pb}$ - $^{137}\text{Cs}$  定年结果

可分为3个明显的变化阶段: 13~25.5 cm 阶段 TOC 含量较低, 11~13 cm 阶段含量迅速增加, 11 cm 深度以上含量较高且相对稳定。

由于特定沉积物中元素的分布并非杂乱无章的, 而是在各种地质因素和环境条件综合作用下形成特定的共生组合, 因此元素的共生组合也就成为指示沉积物特性的地球化学指标之一<sup>[23]</sup>。根据 Sun 等人<sup>[7,8]</sup>的研究, 粪土沉积层中的生物标型元素同样可以良好地反映历史时期生物种群数量的变化。对 HN1 沉积剖面中 14 种化学元素浓度、TOC 含量进行 R 聚类分析, 发现 Cu, Zn, Se 等元素与 TOC 聚为一类, Person 相关性分析进一步表明 Cu, Zn, Se 等元素与 TOC 的相关系数分别达到 0.960, 0.941 和 0.971( $P=0.01$ ), 表明该沉积层中这些元素的富集与有机质含量呈显著性相关。由于 HN1 剖面中有机质来源主要为历史时期的海豹排泄物, 因此 Cu, Zn, Se 等元素的富集也很可能与海豹排泄物有关。HN1 上部 25.5 cm 部分 Cu, Zn, Se 等元素的平均浓度( $n=51$ )分别为 136.0 ppm(91.7~161.0 ppm), 117.3 ppm(88.4~146.5 ppm)和 2.79 ppm(0.53~5.65 ppm)。底部 10 cm Cu, Zn, Se 等元素的平均浓度( $n=3$ )分别为 68.7 ppm(63.1~78.4 ppm), 84.9 ppm(81.0~87.4 ppm)和 0.28 ppm(0.19~0.34 ppm)。HN1 剖面海豹粪土沉积层的元素含量显著高于底部的海相沉积, 进一步表明上部 25.5 cm Cu, Zn, Se 等元素的富集同样受到历史时期海豹排泄物的影响。因此我们有理由把 Cu, Zn, Se 等元素作为南极法尔兹半岛地区海豹粪土沉积的生物标型元素, 它们在沉积剖面中的含量变化反映了该地区对应时期海豹数量的变化过程。HN1 沉积剖面标型元素的组成与 Sun 等人<sup>[14]</sup>对采自同一地区二级海岸阶地的 HF4 沉积剖面的研究结果具有良好的—致性。

由图 2 不难看出, HN1 上部 25.5 cm 部分 Cu, Zn, Se 等元素浓度与 TOC 含量随深度的变化十分一致, 表明历史时期法尔兹半岛的海豹数量也经历了类似的变化过程, 即时段 (20 世纪初期至 20 世纪 50 年代末)该地区海豹数量持续低迷; 时段 (20 世纪 60 年代)海豹数量迅猛增加; 时段 (20 世纪 60 年代以后)海豹数量达到较高水平并相对稳定。这种变化与 Hodgson 和 Johnston<sup>[15]</sup>所恢复的南极 Signy Island 地区 200 年来海豹数量的变化过程是非常一致的。为寻找法尔兹半岛 20 世纪海豹数量显著变

化的原因, 需要从自然因素和人为因素两个方面进行探讨。

自然因素方面, 通过对比南极南设得兰群岛(法尔兹半岛即位于该群岛)多个气象站的观测资料, 韩建康等人<sup>[24]</sup>恢复了该地区近百年来年均气温变化序列。通过这些气温资料可知, 除 20 世纪 20 年代至 40 年代气温略低外, 南设得兰群岛从 50 年代至 80 年代末平均气温呈波动型上升趋势, 增幅为 0.8 。气温的增加有可能加剧法尔兹半岛地区的冰雪融化, 引起融雪径流的增加使得更多的海豹排泄物被冲刷迁移至集水区沉积下来, 从而增大了采样地区沉积物中各类元素和有机质的含量。但该地区 20 世纪以来气温的平缓上升并不足以引起海豹数量在 60 年代短短十余年间的迅猛增长。另一方面, 由图 2 不难看出, 20 世纪 70 年代至今除 Se 元素浓度略有增加外(增幅小于 1 ppm), Zn 元素和 TOC 含量非常稳定, Cu 元素浓度甚至略有下降。标型元素和 TOC 含量并没有呈现随气温上升而不断增加的趋势。因此本文认为自然因素(如气温等)对 20 世纪法尔兹半岛海豹数量及元素和 TOC 沉积过程的影响是十分有限的, 其海豹数量的变化更有可能是人为因素作用的结果。这一结论与 Hodgson 和 Johnston<sup>[15]</sup>对南极 Signy Island 地区 200 年来海豹数量变化原因的研究是十分吻合的。

人为因素方面, 人类对于南大洋象海豹 (*Mirounga leonine*, 法尔兹半岛地区的主要海豹种群)的大规模捕杀始于 19 世纪, 直到 1910 年南乔治亚地区(South Georgia, 54°~55°S, 36°~38°W)捕杀海豹的活动才开始受到限制, 1964 年该地区捕杀海豹活动被彻底禁止<sup>[12]</sup>。鉴于南乔治亚地区和我们研究区域在地理位置上的接近, 我们有理由认为正是由于这种 19 世纪以来对南大洋海豹的长期捕杀, 使得南极法尔兹半岛地区的海豹濒于灭绝, 从而造成了 20 世纪上半叶(时段 )该地区海豹数量的持续低迷。20 世纪 60 年代(时段 )人类在该地区捕杀活动的禁止, 对该地区海豹数量的恢复起到直接显著的促进作用。另一方面, 20 世纪 20 年代以来捕鲸业的兴起造成了南大洋鲸类数量的持续减少, 减少了南极海豹的捕食竞争压力, 促进了南极地区海豹种群的大量增加<sup>[25~27]</sup>。因此鲸类数量的减少也为 20 世纪 60 年代法尔兹半岛地区海豹数量的迅猛反弹提供了可能。20

世纪 60 年代以后, 由于人类对南极地区生态系统的持续保护, 南极海豹生存环境和食物资源相对稳定, 其种群数量较多, 同时受制于该地区的环境承载能力, 海豹数量不可能无限制增加, 从而进入相对平衡的稳定时期, 对应了时段 的变化趋势。

## 5 结论

南极乔治王岛法尔兹半岛地区 20 世纪以来海豹数量的变化主要受控于人类活动, 而非自然因素的影响。人类活动对南极海豹的影响十分显著, 20 世纪上半叶人类的大肆捕杀曾经导致该地区的海豹种群濒于灭绝, 20 世纪 60 年代捕杀活动的禁止以及

人类对南极生态系统的保护使得该地区的海豹数量迅速增加, 其后受制于该地区的环境承载能力, 海豹数量进入了相对平衡的稳定时期。另一方面, 始于 20 世纪 20 年代的捕鲸业, 也可能对海豹种群的恢复及维持较高的数量水平起到促进作用。法尔兹半岛地区海豹数量的变化过程表明了近代以来人类活动对于南极生态系统的强烈影响, 人为因素已经取代自然因素成为影响 20 世纪南极生态环境和生物生存的主要因素。我们期待在以后的研究工作中能够在南极更大的区域内采集沉积样品, 以便能在更大的空间范围内探讨人类活动对南极生态系统的影响。

致谢 感谢科技部极地沉积库平台提供样品, 专题编号: 2005DKA21406-6.

## 参考文献

- 1 Yin X B, Liu X D, Sun L G, et al. A 1500-year record of lead, copper, arsenic, cadmium, zinc level in Antarctic seal hairs and sediments. *Sci Total Environ*, 2006, 371: 252—257[[doi](#)]
- 2 孙立广, 谢周清, 刘晓东, 等. 南极无冰区生态地质学. 北京: 科学出版社, 2006. 1—308
- 3 Barbraud C, Weimerskirch H. Effect of sea-ice extent on adult survival of an Antarctic top predator: The snow petrel *Pagodroma nivea*. *Oecologia*, 2000, 125: 483—488[[doi](#)]
- 4 Croxall J P, Trathan P N, Murphy E J. Environmental change and Antarctic seabird populations. *Science*, 2002, 279: 1510—1514[[doi](#)]
- 5 Fraser W R, Trivelpiece W Z, Ainley D G, et al. Increases in Antarctic penguin populations: Reduced competition with whales or a loss of sea ice due to environmental warming? *Polar Biol*, 1992, 11: 525—531
- 6 Kato A, Ropert-Coudert Y, Naito Y. Change in Adelie penguin breeding populations in Lutzow-Holm Bay, Antarctica, in relation to sea-ice conditions. *Polar Biol*, 2002, 25: 934—938
- 7 Sun L G, Xie Z Q. Relics: Penguin population Programs. *Sci Prog*, 2001, 84: 31—44[[doi](#)]
- 8 Sun L G, Xie Z Q, Zhao J L. A 3,000-year record of penguin populations. *Nature*, 2000, 407: 858[[doi](#)]
- 9 Trathan P N, Croxall J P, Murohy E J. Dynamics of Antarctic penguin populations in relation to inter-annual variability in sea ice distribution. *Polar Biol*, 1996, 16: 321—330[[doi](#)]
- 10 Huang T, Sun L G, Wang Y H, et al. Penguin population dynamics for the past 8500 years at Gardner Island, Vestfold Hills. *Antarct Sci*, [[doi](#)]
- 11 Zale R. Changes in size of the Hope Bay Adele Penguin rookery as inferred from lake Boeckella sediments. *Ecography*, 1994, 17: 297—304[[doi](#)]
- 12 Croxall J P. Southern ocean environmental changes: Effects on seabird, seal and whale populations. *Philos Trans R Soc Lond Ser B-Biol Sci*, 1992, 338: 319—328[[doi](#)]
- 13 Hodgson D A, Johnston N M, Caulkett A P, et al. Palaeolimnology of Antarctica fur seal *Arctocephalus gazelle* populations and implications for Antarctic management. *Biol Conserv*, 1998, 83: 145—154[[doi](#)]
- 14 Sun L G, Liu X D, Yin X B, et al. A 1500-year record of Antarctic seal populations in response to climate change. *Polar Biol*, 2004, 27: 495—501
- 15 Hodgson D A, Johnston N M. Inferring seal populations from lake sediments. *Nature*, 1997, 387: 30—31[[doi](#)]
- 16 赵焯. 全新世晚期南极乔治王岛菲尔德斯半岛的海平面变化. *地学前缘*, 2002, 9: 137—142
- 17 沈静, 徐汝梅, 周国法, 等. 南极菲尔德斯半岛陆地、淡水、潮间带、浅海各生态系统的结构及其相互关系的研究. *极地研究*, 1999, 11: 100—112
- 18 吴宝铃, 魏江春, 梁彦龄, 等. 南极菲尔德斯半岛及其附近地区生态系统的研究. 见: 国家海洋局极地考察办公室, 主编.

- 中国南极考察科学研究成果与进展. 北京: 海洋出版社, 1998. 65—139
- 19 胥思勤, 万国江. 云南省程海现代沉积物中  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  的分布及计年研究. 地质地球化学, 2001, 29: 28—31
- 20 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 等. 红枫湖沉积物  $^{137}\text{Cs}$  垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪. 科学通报, 1990, 35: 1487—1490
- 21 Wan G J, Santschi P H, Sturm M, et al. Natural ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ) and fallout ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee. *Swit Chem Geol*, 1987, 63: 181—196[doi]
- 22 刘晓东. 中晚全新世南极无冰区沉积物的生态环境记录及比较. 博士学位论文. 合肥: 中国科学技术大学, 2003. 105—124
- 23 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学. 北京: 科学出版社, 1994. 130—150
- 24 韩建康, 金会军, 许晨海, 等. 南极南设得兰群岛近百年年平均气温变化趋势. 冰川冻土, 1995, 17: 268—273
- 25 Croxall J P, Prince P A. Antarctic seabird and seal monitoring studies. *Polar Rec*, 1979, 19: 573—595[doi]
- 26 Laws R M. The ecology of the Southern Ocean. *A m Sci*, 1985, 73: 26—40
- 27 Sladen W J L. The distribution of the Adelie and chinstrap penguins. In: Carrick R, Holdgate M W, Prevost J, eds. *Antarctic Biology*. Paris: Hermann, 1964. 359—365

· 动态 ·

## 二氧化碳排放不足以解释古新世-始新世之交的气温上升

古新世-始新世之交(距今 5500 万年)发生的气温升高事件为将来发生类似事件提供了参考, 并且可能为气候系统敏感性和反馈提出新的视点. 此次事件的一个重要特征是大量缺乏  $^{13}\text{C}$  同位素的碳释放到地表, 但其来源还不清楚. 当时, 地球温度在数千年时间内升高了 5~9 . 美国夏威夷大学 Richard E. Zeebe 等人利用已发表的关于深海碳酸盐溶解和稳定碳同位素组成的古记录, 得到初始碳脉冲在 3000 Pg 数量级甚至更小, 同位素组

成小于-50‰. 这些数据表明, 此次变暖事件大气中二氧化碳浓度与事件发生前水平相比增加不高于 70%, 这仅能使气温升高 1~3.5 . 由此, 研究人员认为, 除了二氧化碳的直接驱动外, 还存在一些未知的过程和/或反馈在古新世-始新世之交的变暖事件中发挥作用. 一旦这些因素被证实, 对未来气候变化需要进行重新评估. 相关研究论文发表在 2009 年 8 月 *Nature Geoscience*, 2(8): 576—580 上.

## 早于始祖鸟的带羽毛恐龙

因缺少侏罗纪时期的化石记录, 非鸟类兽脚亚目恐龙的早期进化还存在很多疑问. 这个问题给鸟类的兽脚类恐龙起源假说造成一个时间悖论, 即发现的带有羽毛的恐龙晚于始祖鸟. 沈阳师范大学胡东宇和徐星等人合作, 研究了一块来自中国辽宁西部晚侏罗纪早期髫髻山组地层中(约 1.6 亿年前, 早于始祖鸟)保存完好的小兽脚类恐龙化石. 这块化石可能属于

Troodontidae, 是兽脚类恐龙中最接近鸟类的一种. 新发现的化石在其近乎完整保存的骨架周围清晰地分布有羽毛印痕, 在前、后肢和尾部特别是跖骨位置均分布奇特的飞羽, 为羽毛早期进化提供了研究资料. 该发现如被确证, 将打破兽脚类恐龙起源假说的时间悖论. 相关研究论文发表在 2009 年 10 月 1 日 *Nature*, 461(7264): 640—643 上.

信息来源: 科技部基础司, 科技部基础研究管理中心