

从鄂霍次克海到北冰洋西部航道上的表层海水中 N_2O 分布规律



N_2O 是一种重要的温室气体，其温室效应约为 CO_2 的 300 倍（按分子计算）；此外， N_2O 是目前排放率最大的消耗臭氧层物质。海洋是大气中重要的 N_2O 来源，约占全球 N_2O 的 21%；自 Craig 和 Gordon (1963) 首次对海洋 N_2O 进行研究以来，这一课题得到了广泛的关注，今天带来的是中国国家北极研究考察队第七次北极科学考察中关于海洋 N_2O 的研究成果。

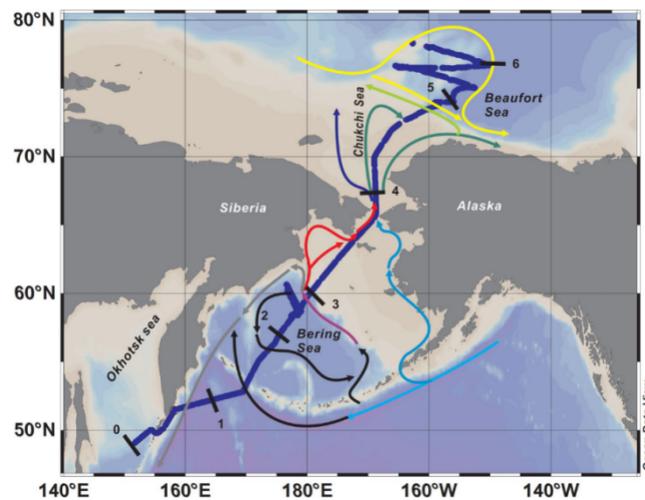


大洋 N_2O 研究的必要性：

大洋与陆地之间的 N_2O 生产率差异与地区存在不同的机制有关。在有氧露天海水中，硝化作用被认为是主要的 N_2O 产生机制。然而，在最近使用同位素技术研究的结果未能支持上面的观点。过去的研究表明，大陆架上的 N_2O 过饱和可能是由于硝化、反硝化或其耦合过程引起的，而海洋表层水中的 N_2O 过饱和可能是由冰融化引起的（Randall 等人，2012 年）。中国第七次北极科学考察期间，从白令海、楚科奇海到加拿大海盆，首次采用自动高分辨率 N_2O 观测系统测量了表层海水中的 N_2O ，并测量了表层水的 CO_2 分压、溶解氧、盐度、温度和海冰覆盖率等相关参数。

勘测行程与仪器使用：

在 2016 年 7 月上旬至 9 月下旬进行的第七次北极科学考察期间，测量了沿巡航路径在 $49^\circ N$ 至 $78^\circ N$ 之间的表层海水中 N_2O 浓度和 CO_2 浓度。研究区域如下图所示，巡航路线用蓝线标记。雪龙号于 7 月 16 日离开鄂霍次克海，经阿留申弧线进入白令海，并于 7 月 24 日经白令海峡离开白令海进入楚科奇海。在楚科奇高原进行台站采样后，这项工作中使用的数据收集工作于 8 月 2 日完成。



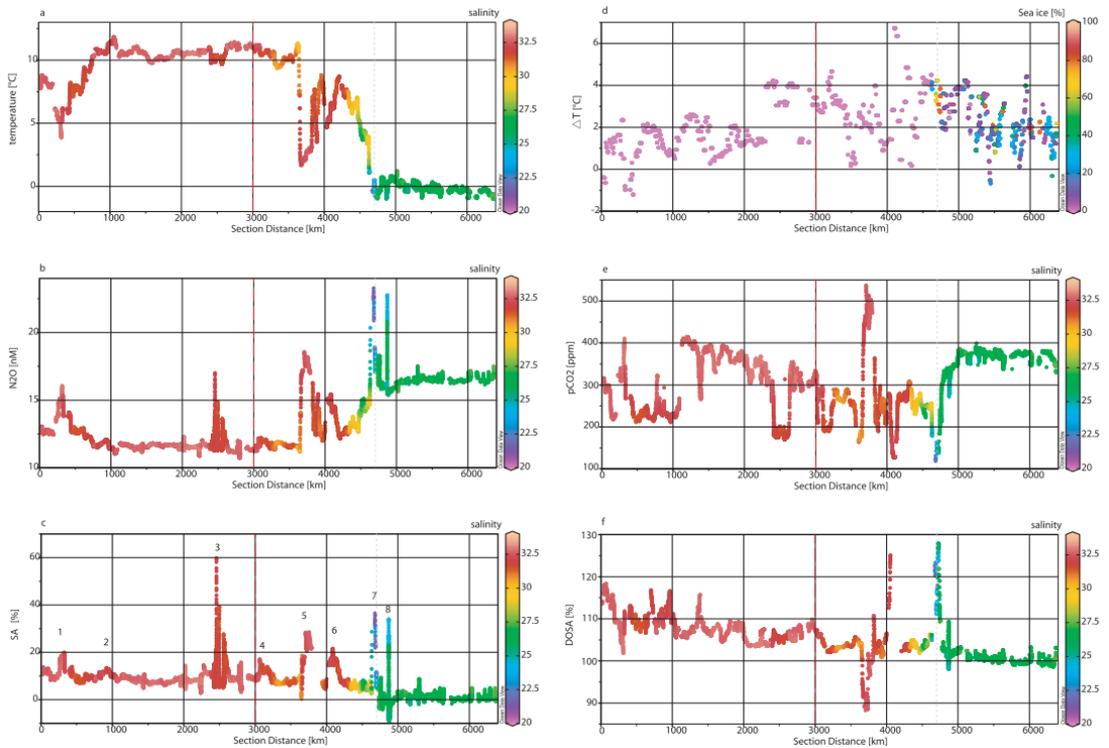
在仪器选择上采用的是美国 Picarro 公司 G5101-i N_2O 同位素分析仪和 G2131-i CO_2 同位素分析仪组成的自动进样系统连续测量空气和表层海水中的 N_2O 和 CO_2 数据。仪器的设置如 Zhan 等人所述（2018）。简而言之，对自动进样系统进行了编程，可以自动切换测量水汽平衡器的顶部空

间、大气以及两瓶 N_2O 、 CO_2 混合工作标气罐中的气体样品。两瓶工作标气在实验室中利用 NOAA 标气进行标定。



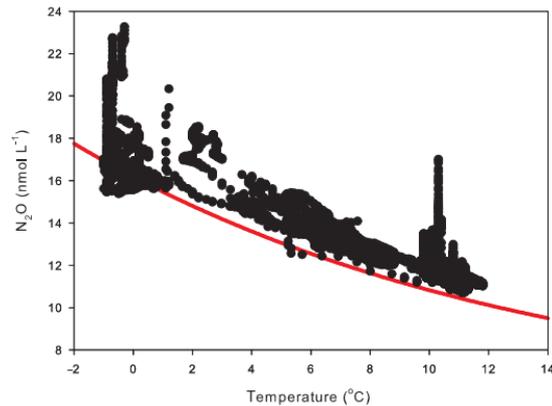
从海平面下 4.5 m 处的进水口抽出表层海水，流速约 500 ml/min，水汽平衡器中闭路气体管路中样品气流速同样是 500 ml/min。样品气以质量流量控制器控制的流速流经两个分析仪，以满足分析仪所需的流速，分析仪并联连接。将 N_2O 测量结果与在陆地实验室使用气相色谱仪 (GC) 获得的结果进行了比较，结果表明，进行中的系统数据与通过 GC 获得的数据相差不到 3%，表明这两种方法是一致的彼此。该方法的精密度优于 0.5%。

结果与讨论：



不同的参数随沿巡航距离绘制出的变化图：a.表层海水温度；b.表层海水 N_2O 浓度；c.饱和度异常（SA）沿航线有八个最大值；d.由 AVHRR 数据得到的 6 月与 7 月表层海水温度差异；e.表层海水 CO_2 分压；f.溶解氧饱和度。

除了在整个巡航航迹上有几个最大值外， N_2O 浓度呈现出从 11.0 到~ 16.5 nM 增加的趋势，



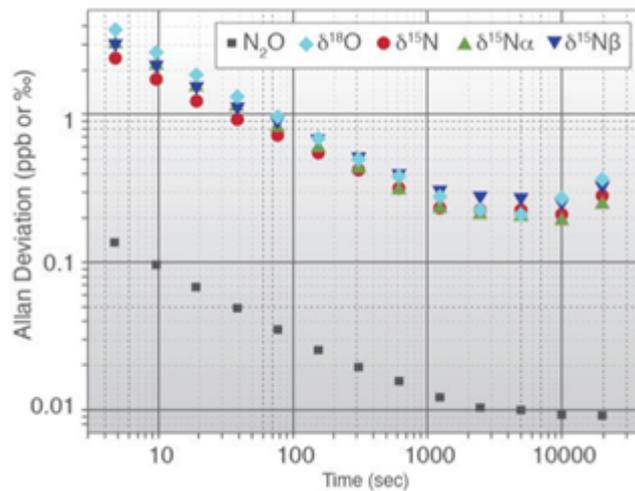
这是由于随着海温的降低，气体溶解度增加的结果。

上图表示的是表层海水中 N_2O 浓度与表层海水温度之间的关系，红线是沿着航迹的 N_2O 平衡浓度。巡航轨迹表现出 N_2O 来源的整体特征，巡航轨迹显示了整个 N_2O 源的特征，巡航轨迹中几乎所有的表层海水都表现出 N_2O 过饱和，特别是在高、低温端。在低温端可以观察到部分饱和度不足。

在这项研究中，整个航行过程中的表层海水总体上是 N_2O 主要来源，结果确定了 N_2O 饱和度异常（SA）最大值和仅一个明显的欠饱和区域（约 90% 的饱和度），这可能是由于融冰稀释造成的。导致这些 N_2O SA 最大值的几个过程或形成机制：（1）某些水文结构，例如会聚、发散或前沿，导致 N_2O SA 值升高；（2）大陆架上的对流，将富含 N_2O 的底层水带至表层，导致 N_2O SA 最大值， CO_2 浓度增加，DO（溶解氧）值降低；（3）可能近表层水产生的 N_2O 。第三种现象在融化的海冰地带中也可以观察到，但其机制有待进一步研究。海-气通量评估结果表明，大陆架呈现出沿巡航航线最高的海气 N_2O 通量，这可能与上升流和对流带来的富含 N_2O 深水有关。白令海和楚科奇海大陆架可能是大气中重要的 N_2O 来源，而北冰洋开阔海域由于海冰融化和随后的水层分层，在研究季节没有显示出源汇特征。

拓展知识：

美国 Picarro 公司最新型号 G5131-I N₂O 同位素和气体浓度分析仪使用中红外 (Mid-IR) 的光腔衰荡光谱 (CRDS) 技术, 通过基于时间测量的超高稳定性和超过 8 km 光程所提供的分辨率与精度, 实现无与伦比的性能。该仪器的高精度测量腔只需 48ml, 配备高精度温度与压力控制单元, 确保仪器即使在变化的环境条件下仍然保持极低的噪音和快速响应能力, 进而获得超高的精确度、



稳定性。

如对该文章或此类应用有兴趣, 欢迎联系我们：

chenxf@cen-sun.com

James@cen-sun.com

该文第一作者为詹力扬研究员。

论文链接：<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lno.11604>