

上新世暖期近地表多年冻土范围变化特征

郭东林, 王会军, Romanovsky Vladimir 等

1. 背景

多年冻土约占北半球陆地面积的1/4, 其中储存着18300亿吨的土壤有机碳和30万立方千米的地下冰; 多年冻土对气候变化十分敏感, 它的消融导致地下冰融化和有机碳释放, 对陆地生态、地表水文和冻土工程等产生不可逆的影响。然而, 多年冻土消融影响的评估却相当困难。多年冻土的观测资料稀缺, 模式预估的多年冻土变化结果又具有相当的不确定性。一些过去地球暖期有代用资料, 可用于验证模式, 从而减少模拟不确定性, 因此是研究未来多年冻土变化及评估其预估不确定性的理想“实验室”。上新世暖期 (~3.264–3.025百万年前) 的海陆分布、地形和温室气体水平与现在接近, 其气候特征对未来气候变化提供了重要历史参照。本研究因此对上新世暖期近地表多年冻土状况进行了模拟。

2. 方法

- 上新世模式对比计划第二阶段气候模式模拟数据; 上新世气温代用资料; 当前的多年冻土范围观测资料等;
- 冻结指数模型; 基于土壤温度的多年冻土诊断方法; 代用资料约束方法等。

3. 结果

- 通过开展系列敏感性试验, 确定了最优的北半球多年冻土模拟方法 (图1);
- 揭示了上新世暖期近地表多年冻土面积比工业革命时期小93±3%, 其主要分布在东西伯利亚山地、加拿大北极群岛和格陵兰北端 (图2A);
- 上述模拟结果与现有上新世暖期多年冻土重建记录一致 (图2A), 并与SSP5-8.5情景下本世纪末的近地表多年冻土变化预估相似 (图2B)。

4. 意义

本研究为未来近地表多年冻土变化提供了地质历史的依据。揭示了在与未来变暖气候相似的上新世暖期, 近地表多年冻土范围高度受限。这对理解未来全球变暖条件下多年冻土的消融及其对全球碳循环, 人类基础设施以及地表水文过程的影响具有重要指示意义。

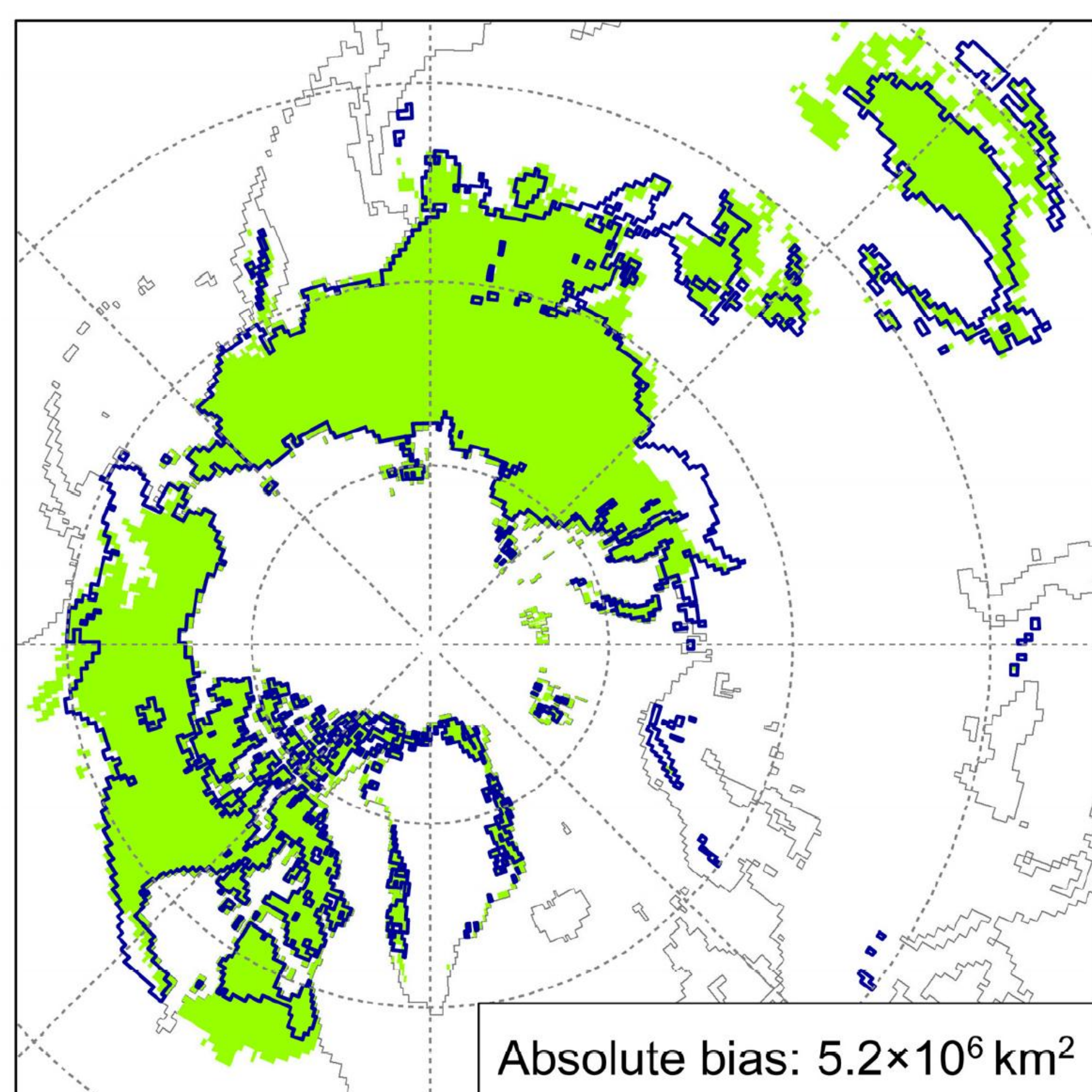


图 1. 基于最优方法模拟的近地表多年冻土范围的验证 (填色为模拟, 线范围为观测)。图中: Absolute bias表示模拟与观测之间的绝对偏差。

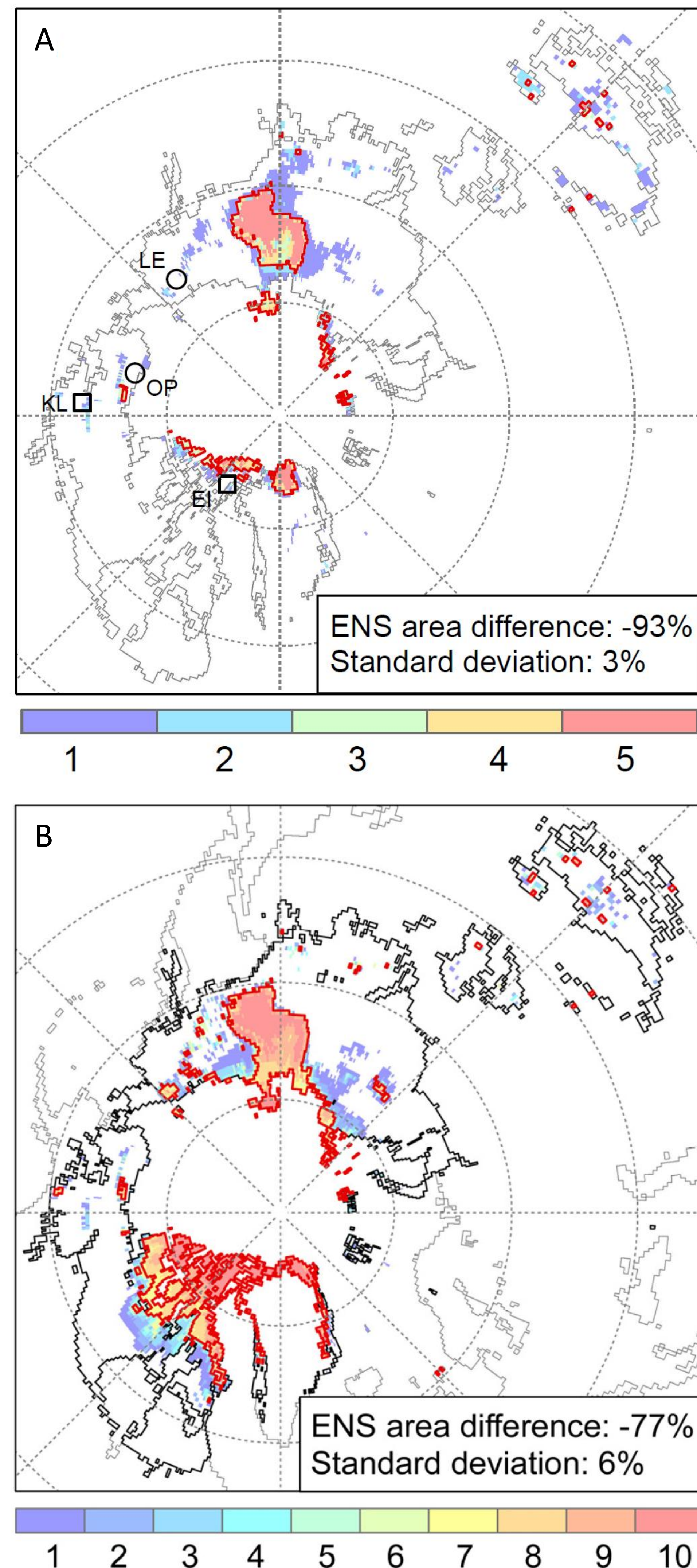


图 2. A: 重建约束所得上新世暖期近地表多年冻土范围 (红色线范围为集合平均, 填色为模式间一致性, 暖色表示一致性更高) 与工业革命时期范围 (灰色线范围) 的对比; 圆和矩形代表多年冻土重建记录, 圆表示无多年冻土, 矩形表示有多年冻土。B: 多个优选模式预估的SSP5-8.5情景下2080–2099年近地表多年冻土范围 (红色线范围为集合平均, 填色为模式间一致性) 与1995–2014年范围 (黑色线范围) 的对比。图中: ENS area difference为上新世暖期 (2080–2099年) 近地表多年冻土范围相对工业革命时期 (1995–2014年) 的百分比变化; Standard deviation为模式间标准差。

5. 参考文献

Guo Donglin, Wang Huijun, Romanovsky V. E. et al., 2023: Highly restricted near-surface permafrost extent during the mid-Pliocene warm period. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120, 36, e2301954120.