

地表反照率研究综述：变化特征、气候影响及管理策略

张小宁¹, 焦子锦^{1,2,*}, 瞿瑛³, 刘强¹, 张虎⁴

1 北京师范大学地理科学学部 遥感科学国家重点实验室, 北京 100875, 中国

2 北京师范大学地理科学学部 北京市陆表遥感工程技术研究中心, 北京 100875, 中国

3 东北师范大学地理科学学院 长白山地理过程与生态安全教育部重点实验室, 长春 130024, 中国

4 天津师范大学地理与环境科学学院, 天津 300387, 中国

Email: xnzhang@bnu.edu.cn; jiaozt@bnu.edu.cn



研究意义

地表反照率指地表反射能量占入射太阳总能量的比值, 是地表能量平衡 (公式1, α_{sw}) 和可持续发展目标 (SDG) 重要监测变量。在全球变暖的气候背景下, 加剧了冰雪融化-地表反照率降低-气候变暖的正反馈机制, 进一步影响地球能量平衡。2016年《巴黎协定》气候协议目标致力于21世纪末比工业化前 (1850-1900年) 全球平均增温控制在 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$, 最新的IPCC AR6指出在2019年已升温至 1.07°C , 亟需采取措施减缓气候变暖。因此, 估算地表反照率变化引起的 CO_2 等效辐射强迫 (公式2), 进而通过调控地表反照率的气候减缓方案受到广泛关注。

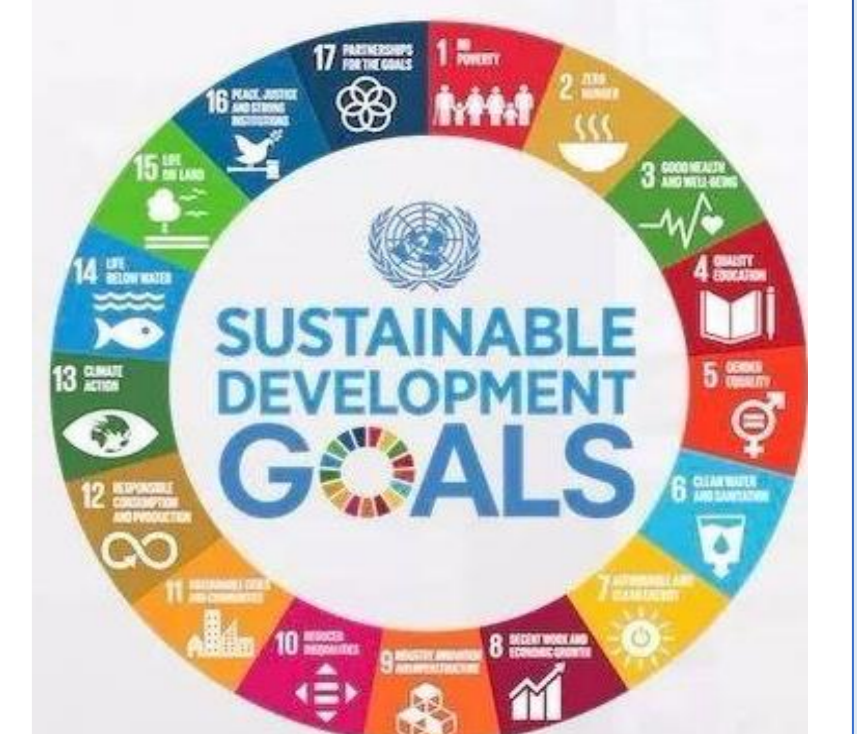
$$R_n = R_n^s + R_n^l = (1 - \alpha_{sw})F_d^s + F_d^l - F_u^l = (1 - \alpha_{sw})F_d^s + F_d^l - \sigma\epsilon T_s^4 \quad (1)$$

R_n : 地表全波净辐射, R_n^s : 地表短波净辐射, R_n^l : 地表长波净辐射, α_{sw} : 地表短波反照率, F_d^s : 地表下行短波辐射, F_d^l : 地表下行长波辐射, F_u^l : 地表上行长波辐射,

ϵ : 地表长波发射率, σ : 斯蒂芬玻尔兹曼常数, T_s : 地表温度

$$RF_{\Delta\alpha}(t) = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} (-F_{d,m,t}^s \sqrt{T_{m,t}} \Delta\alpha_{m,t}) \quad (2)$$

$RF_{\Delta\alpha}(t)$: t 年地表反照率变化引起的辐射强迫, $F_{d,m,t}^s$: t 年 m 月的地表下行短波辐射, $T_{m,t}$: t 年 m 月的月均晴空指数, $\Delta\alpha_{m,t}$: t 年 m 月相比上个月的地表反照率变化



文献分析

基于Web of Science核心数据库, 筛选条件: 时间1900-01-01~2021-12-31, 标题: 包含"albedo", 文献类型: Article / Review

共有3287篇论文, 涉及多种"反照率"相关变量, 如地表反照率、行星反照率、云反照率、单次散射反照率等, 主要空间联系如图1。其中, 1714篇为地表反照率, 包含12篇综述论文 (定义、算法产品、地面验证、部分地表类型 (森林-城市-冰雪))。近年来, 论文发表和被引频次急剧增加 (图2)。

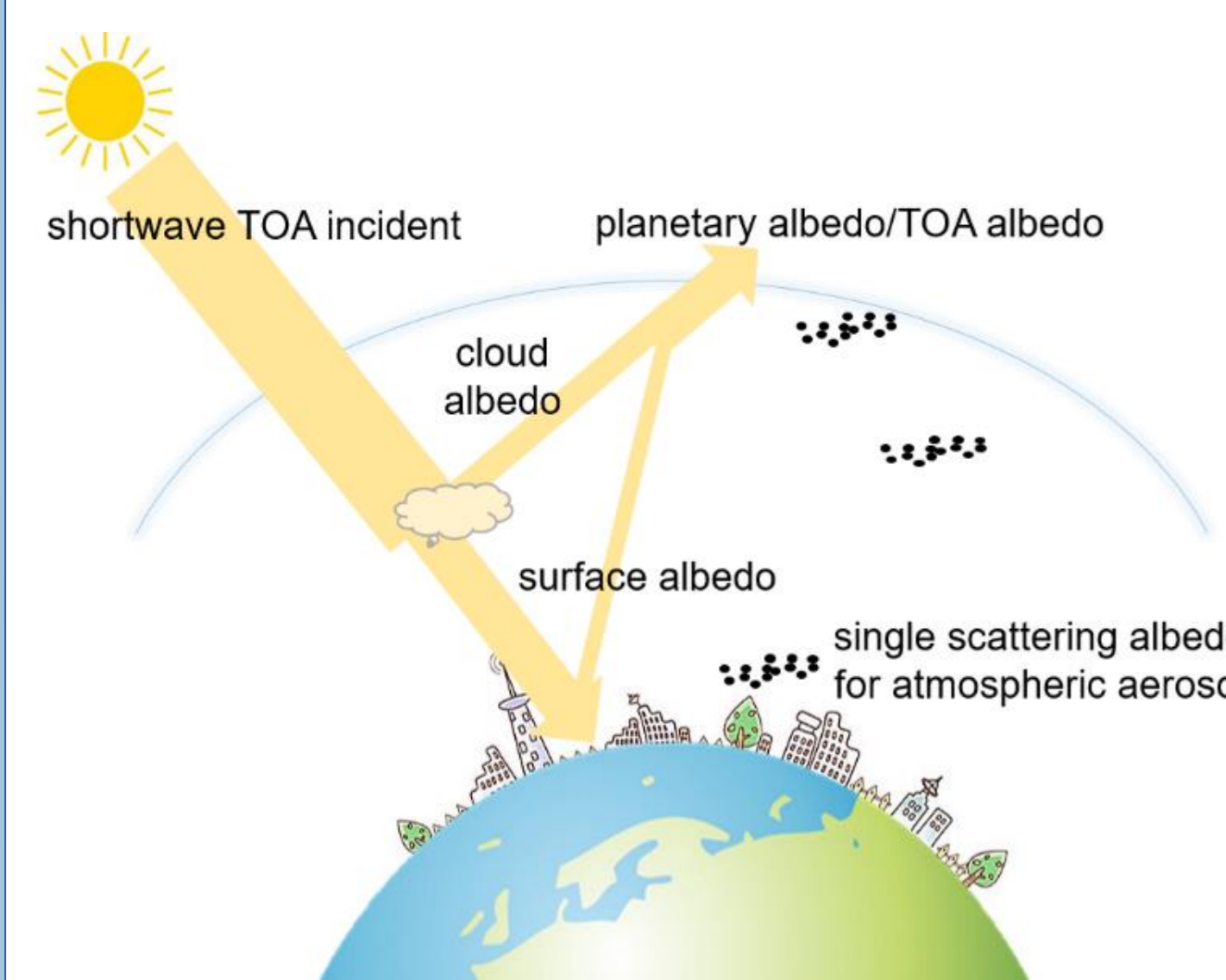


图1 几种常见反照率变量空间联系

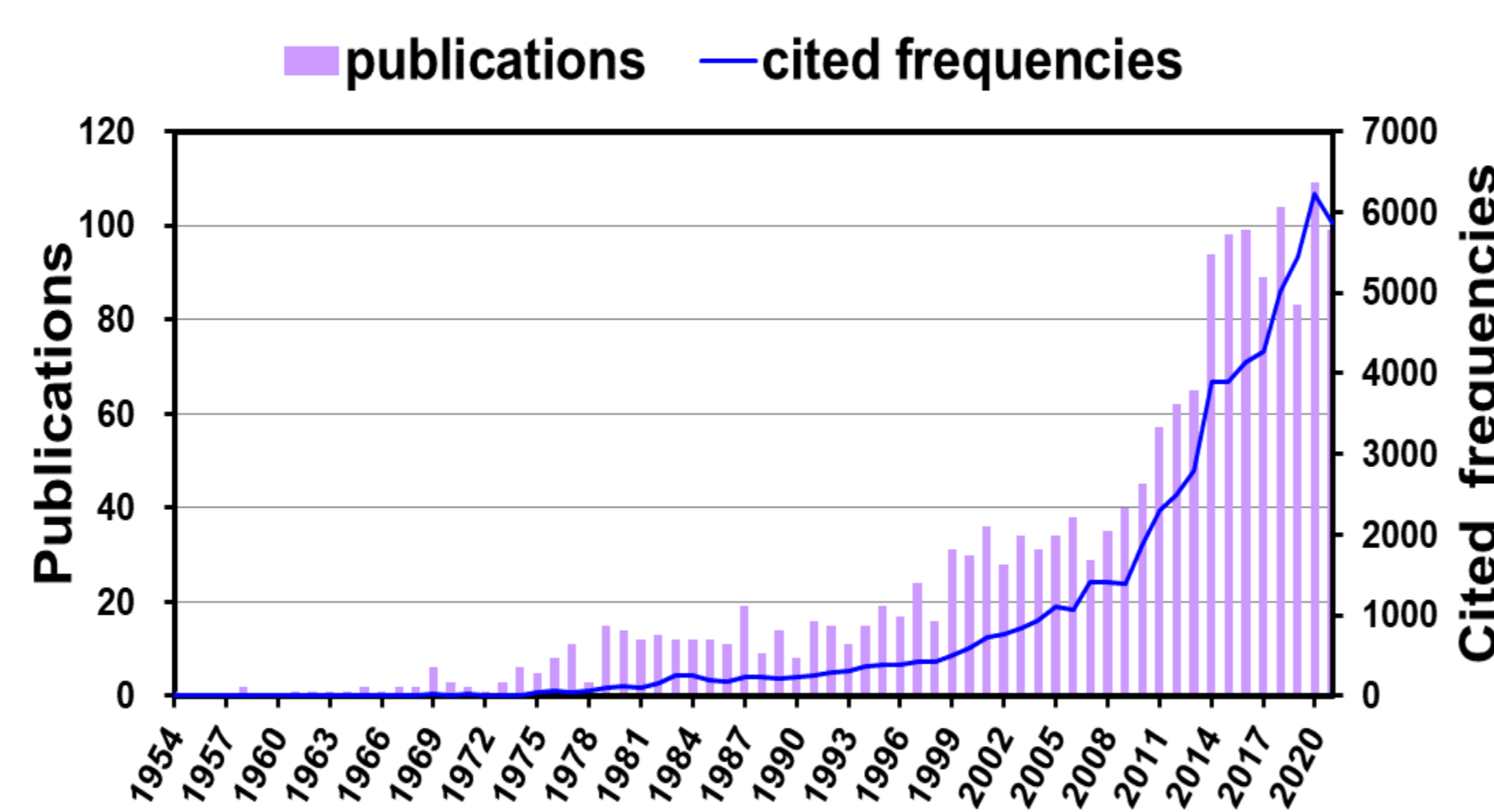


图2 地表反照率论文发表量和被引次数

地表反照率高被引论文 (被引次数 ≥ 30) 主要分为6大研究方向 (图3): 算法产品、定义及算法、气候应用、海表反照率、冰反照率、雪反照率。

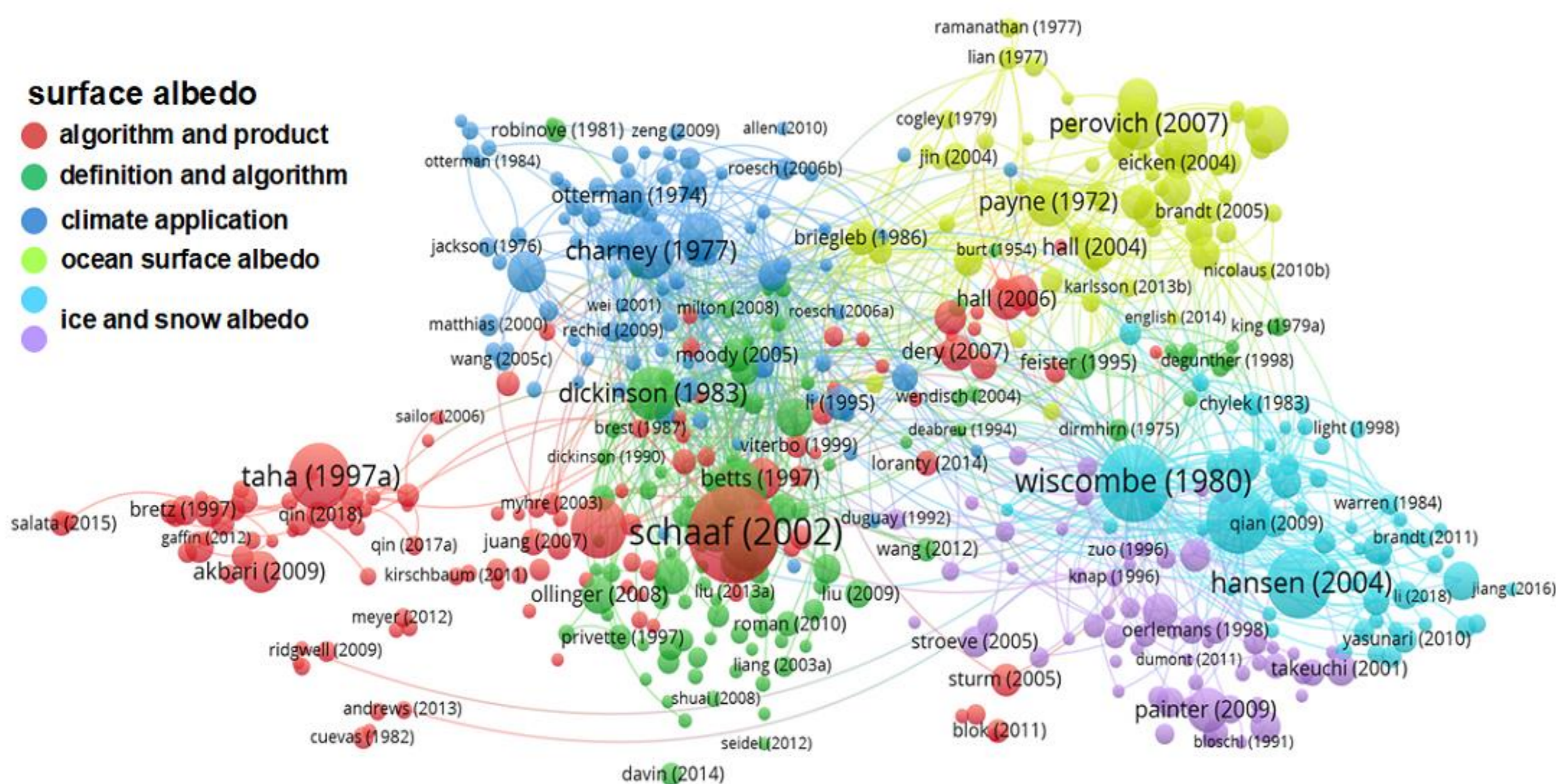


图3 高被引论文引用关系

结论与展望

- 题目或关键词应写明"地表反照率"以避免混淆;
- 地表反照率具有显著气候反馈, 急需生产高时空分辨率地表反照率数据集, 以支撑精细地球监测;
- 很多结论仍存在不一致, 需推广应用全生命周期分析法 (LCA) 保证结论的可靠性、一致性;
- 需加强多方协同政策制定, 拓展相关管理策略实施, 推动其纳入碳交易市场。

本研究引用格式:

Zhang, X. N., Jiao Z. T.*, Zhao C. S. et al. Review of land surface albedo: Variance characteristics, climate effect and management strategy. *Remote Sensing*. 2022, 14(6), 1382.

项目致谢:

国家自然科学基金重大基金, 陆表智慧化定量遥感的理论与方法研究, 42090013, 子课题负责人: 焦子锦
博士后科学基金面上项目, 静止卫星FY-4A二向反射 (BRDF) 信息量及地表反照率反演研究, 2021M690424, 负责人: 张小宁

变化特征

主要影响因子包括地表类型、地物精细结构、地表各向异性反射 (BRDF)、地表粗糙度、湿度、空间分辨率、杂质污染 (沙尘、黑炭) 等。冰雪地表反照率较高, 水体较低, 植被、城市区域随结构组成具有较大时空变异性。混合像元受到关注, 如降雪急剧增大地表反照率, 沙尘、燃烧物灰烬、苔藓、微生物深色沉积显著降低积雪、土壤、海冰等表面反照率。此外, 一些研究关注特殊材料, 如岩石、温室大棚薄膜、衣物等。著名景观和区域研究热点包括富含冰雪的冰冻圈 (南北极, 高海拔区域如青藏高原和阿尔卑斯山)、温带和北方森林、地中海农业区、沙漠、城市区域。

气候影响

地表反照率对气候变化高度相关。反照率随土壤干旱程度不断增大, 林火区域反照率显著降低。在气候正反馈影响下, 极地冰雪不断减少。高反照率的冰雪地表显著影响区域辐射强迫, 全球冰雪减少引起春季变暖, 北极海冰夏季融化、冰架断裂、海平面上升等现象。全球气候变暖加剧了林火、干旱、热浪等极端灾害的发生频率, 同时局地极端降雪等事件也可造成变冷效应。农耕和城市化两种主要人类活动人为改变了自然地表反照率的空间格局。

管理策略

总体策略: \uparrow 地表反照率 \Rightarrow 抵消 CO_2 变暖效应

屋顶: 反光材料

林业: 植树造林, \uparrow 碳吸收

农业: 育种高反照率作物

工业: 高反射太阳能电池研发

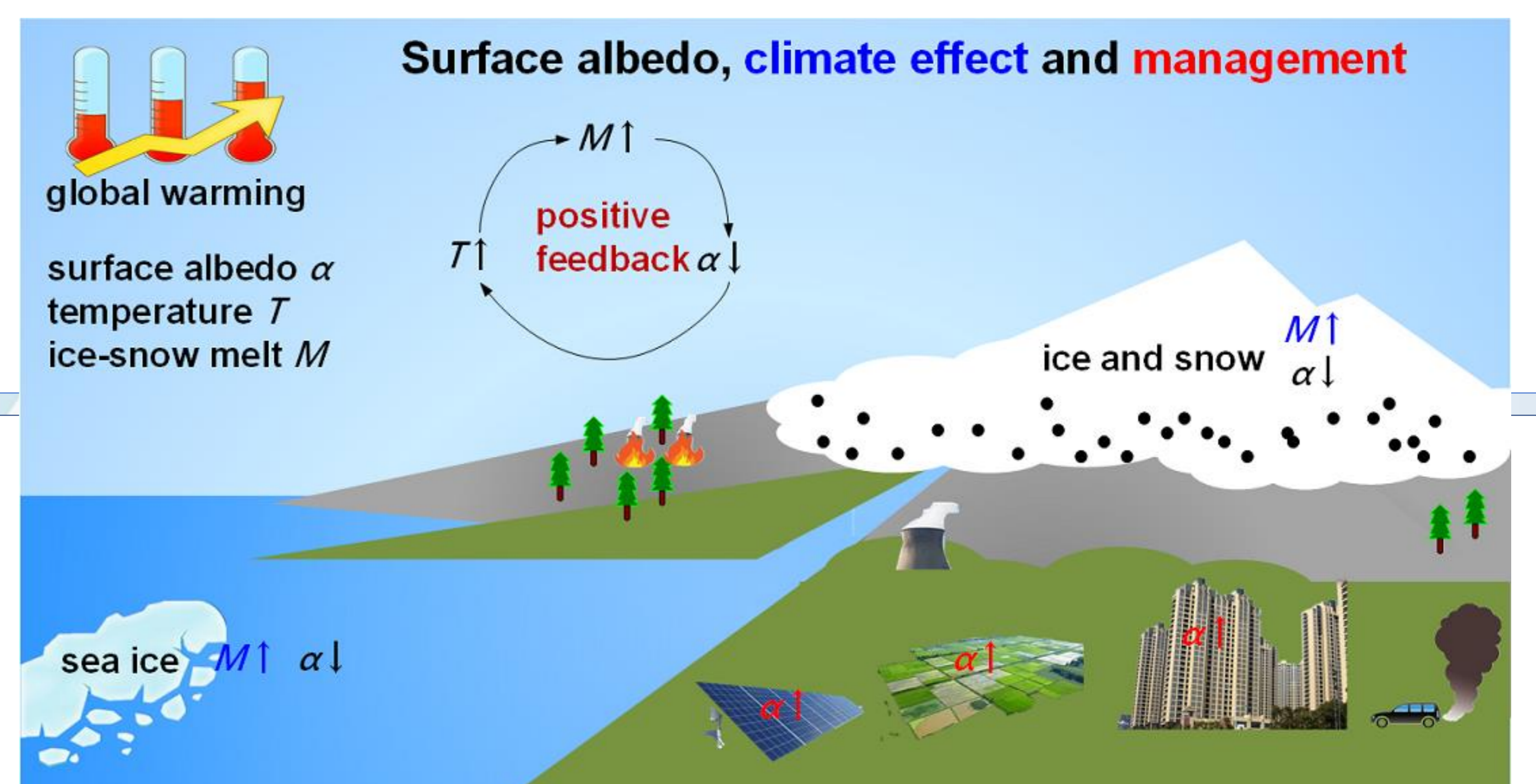


图4 地表反照率气候影响和管理策略

