科学通报 2012 年 第 57 卷 第 6 期: 393 ~ 396
自然科学基金项目进展专栏 快 讯 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

沙漠化对青藏高原冻土地温影响的新发现及意义

谢胜波[①], 屈建军[①②③*], 俎瑞平[①], 张克存[①], 韩庆杰[①]

① 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000;
② 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所敦煌戈壁荒漠研究站, 敦煌 736200;
③ 甘肃省风沙灾害防治工程技术研究中心, 兰州 730000
* 联系人, E-mail: qujianj@lzb.ac.cn

2011-09-22 收稿, 2011-11-14 接受
国家自然科学基金重点项目(40930741)、国家自然科学基金(41071009)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-329)资助

摘要 青藏高原上发育着世界上独一无二的沙漠和冻土, 然而, 沙漠化对冻土地温产生的影响目前仍不清楚. 近年来, 随着青藏高原沙漠化的发展, 这个问题愈加令人担忧. 为此, 作者在青藏高原红梁河建立观测实验场, 利用热敏电阻地温探头, 通过野外同步对比观测方法, 于 2010 年 5 月~2011 年 4 月对不同厚度沙层下的冻土地温进行了 1 个完整年的观测研究. 发现沙层对下伏多年冻土有保护作用, 表现为厚沙层下地温在多年冻土上限附近以下深度全年均低于天然地表, 降温幅度大约稳定在 0.2℃, 夏半年 5~9 月最大处降温分别达 3.40, 3.72, 4.85, 3.16 和 1.88℃; 薄沙层下地温在上限附近全年都低于相应的天然地表, 最大处降温幅度全年平均达 0.71℃. 其初步结论不仅对探索青藏高原沙漠与冻土之间的关系具有科学意义, 而且为青藏高原工程建设地区的冻土保护提供了一种新思路.

关键词
沙漠化
青藏高原
冻土地温
新发现

青藏高原冻土地温除了受纬度和海拔影响外[1], 还受地质构造、地貌形态、沙漠化、含水量、岩性、植被、积雪、水体等局地因素的影响[2~4], 在特定条件下, 其影响甚至会超过区域大气候背景[5,6], 正是这些局地因素的存在才使得青藏高原工程建设地区的冻土保护成为了可能[7]. 沙漠化作为一种影响冻土地温的重要局地因素, 尽管在青藏高原多年冻土区(149×10^4 km^2)广泛发育着, 但是沙漠化对冻土地温影响的研究却相对薄弱, 至今尚无定论. 其中, 一些研究[8~10]认为在青藏高原多年冻土区风沙发育地段, 地温比无沙区高, 多年冻土可能加速退化; 另一些研究又认为沙层对地温的影响具有双重性[11~13], 表现为厚沙层覆盖区地温高于无沙区, 冻土会加速融化, 而薄沙层覆盖区地温低于无沙区, 冻土会得到保护. 由于受当时条件和技术的局限, 以上结论只是一些零星观测和简单推理, 缺乏长期观测和系统研究, 以至于得出的结论不尽相同, 甚至相互矛盾. 近年来, 伴随着青藏高原的气候变化[14~16], 沙漠化在发展[10], 沙漠化土地面积达 33.03×10^4 km^2[17,18], 其对冻土环境影响的研究亟待开展, 为此, 作者于 2010 年在青藏高原红梁河建立风沙、冻土地温以及气象观测实验场, 试图揭示沙漠化对青藏高原多年冻土地温的影响.

实验地点选择在青藏高原红梁河, 35°03′13″N, 93°01′07″E, 海拔 4658 m, 这里地处青藏高原腹地, 植被稀少, 风沙活动强烈, 地表发育有各种不同厚度的沙层, 地下发育着大片连续多年冻土, 场内地势平坦, 是研究青藏高原沙漠化与冻土关系的理想场所. 实验场内共设置了厚沙层、薄沙层、天然地表 3 个测温孔, 沙层系自然形成(形成于 2001~2006 年), 其厚度和面积分别为 1.20, 0.10, 0 m 和 20×15, 500×50, 0 m^2; 测温孔深度、直径分别统一为 20 和 0.12 m. 为确保地层、含水量、冻土发育条件等局地因素背景值的最大相似性, 测温孔之间的距离控制在 50 m, 为防止沙层被风吹蚀, 设立了阻、固沙措施, 以保证沙层厚度的稳定. 地温观测自沙层底部开始, 观测深度不包括沙层厚度, 考虑到钻孔时对冻土热平衡的破坏, 在打钻结束后 60 天开始观测地温, 以更好地使测温孔与周围冻土恢复热平衡, 达到稳定状态.

地温观测使用白金热敏电阻地温探头(精确到 0.01℃), 每个测温孔 0~10 m 深度, 间距为 0.5 m, 10~20 m 深

英文版见: Xie S B, Qu J J, Zu R P, et al. New discoveries on the effects of desertification on the ground temperature of permafrost and its significance to the Qinghai-Tibet Plateau. Chin Sci Bull, 2012, 57: 838–842, doi: 10.1007/s11434-011-4901-5

度间距为 1 m, 将探头绑定连接在电缆上, 用 PVC 软管封闭电缆放入到密封的 32 mm 铝塑管中, 以防止渗水, 再将铝塑管垂直放入钻孔内, 铝塑管外壁与孔壁之间的环状空隙用干燥细沙回填, 电缆连接到数采仪上, 数采仪对热敏电阻测到的数据按每小时 1 次采集, 从 2010 年 5 月到 2011 年 4 月连续观测了 1 个完整年.

经过 1 周年的连续观测发现, 不同厚度积沙与无积沙天然地表下的多年冻土地温存在明显差异(图 1), 主要表现为: (ⅰ) 厚沙层下地温, 以多年冻土上限附近为界, 以下深度的多年冻土层, 不论季节, 厚沙层下地温全年均低于天然地表, 降温幅度大约稳定在 0.2℃. 而以上深度的活动层, 则随季节变化而不同, 夏半年(5~9 月)地表气温为正值且高于地温, 厚沙层下地温明显低于相应的天然地表, 而且越靠近地表, 差别越大, 最大值出现在近地表处, 5 个月降温幅度分别达 3.40, 3.72, 4.85, 3.16 和 1.88℃, 随着深度的增加, 降温幅度减小; 冬半年(11~3 月)地表气温为负值且远低于地温, 厚沙层下活动层地温在负值上高于天然地表, 但整个冻土层自地表以下仍处于冻结状态; 4 和 10 月既是地表气温日正负变化频繁[19]、也是冻土活动层融化和冻结相互转化的过渡时节, 4 月由冻结向融化状态转化时, 活动层地温厚沙层低于天然地表, 10 月由融化向冻结状态转化时, 活动层地温厚沙层高于天然地表. (ⅱ) 薄沙层下地温在冻土上限附近全年都明显低于相应的天然地表, 最大处降温幅度全年平均达 0.71℃, 而以上的近地表层和以下的多年冻土层差别不明显, 呈现出上限附近降温最明显, 向上和向下逐步减小的地温分布状况. (ⅲ) 在多年冻土上限附近, 薄沙层下地温降低的幅度甚至大于相应的厚沙层, 上限以下深度的多年冻土层, 厚沙层降温幅度大于薄沙层, 以上深度的活动层, 厚沙层下地温年较差小于相应的薄沙层和天然地表, 地温变化状况随季节而不同.

此外, 在观测时段内, 沙层下多年冻土上限上升. 天然地表测温孔冻土上限深度为 3.2 m, 厚沙层、薄沙层分别为 2.9 和 2.8 m, 二者较天然地表分别上升了 0.3 和 0.4 m.

当青藏高原沙漠化产生后, 地表被沙覆盖, 沙地对太阳辐射的反射率可达到 0.25~0.4, 而普通裸露地表的反射率只有 0.1~0.25. 由于沙地反射率明显高于裸露地表, 使得沙层覆盖的地表反射率增大, 地面净辐射减少, 通过地面长波辐射以及地气系统的湍流交换, 大部分热量又逸散到大气层中, 因此, 通过土壤热流传导到沙层底下冻土层的热量相对减少, 导致地表有沙层覆盖下的地温比天然地表下地温低, 多年冻土上限上升. 这一点可以从青藏高原的地表热量平衡中得到印证[20]. 特别是在高原的多年冻土区, 海拔高, 地表覆盖属于高寒荒漠草原, 植被稀少, 降水量少, 蒸发微弱, 通过水分潜热传输的热量小, 地气系统的热交换以感热传输为主[21], 也就是说水分在青藏高原多年冻土区地表与大气的热量交换中不起主要作用. 在一定的大气驱动条件下, 土壤的热流量受热惯量、热扩散系数以及含水量等因素的影响[22,23]. 较之天然土层, 沙层含水量低, 热惯量小, 土中热流量小, 地温变幅小[24], 是透气的不良导体, 热传导性能差[25]. 在厚沙层测温孔, 夏半年, 地表气温为正值且高于地温, 沙层阻挡着地表热量向地下传递, 因此, 厚沙层测温孔地温明显低于天然地表测温孔地温, 活动层降温最明显, 随着深度的增加, 由于有来自地下的热传递, 降温幅度减小; 冬半年, 地表气温为负值且远低于地温, 沙层同样也阻挡着地表冷源向下传递, 导致活动层地温在负值上高于天然地表, 出现年较差减小的热状况, 这与 Wang 等人[26]在青藏高原楚马尔河(1996~1997 年)的观测结果相似. 在薄沙层测温孔地表, 由于只覆盖了 0.1 m 的薄沙, 夏季热阻挡作用较小, 冬季冷阻挡作用也较小, 与厚沙层相比, 薄沙层表面夏季热量、冬季冷源传递到活动层都相对容易, 所以, 在活动层, 薄沙层测温孔地温与天然地表差别不明显, 在地下有来自地球内部的热量, 加之薄沙层的影响有限, 导致地温与天然地表测温孔几乎没有差别, 而在边界层受地表和地下的热影响都较小, 使薄沙层测温孔地温全年都出现上限附近降温明显, 而以上的活动层及以下的多年冻土层地温差别逐步缩小的热状况.

在青藏高原沙漠冻土区, 与天然地表相比, 厚沙层下冻土地温以上限附近为界, 以下的多年冻土层全年都降温, 其幅度约为 0.2℃, 以上的活动层则因季节而不同, 夏半年降温, 冬半年在负值上增温, 地温年较差缩小, 4 和 10 月为过渡. 薄沙层下冻土地温在上限附近全年都降温, 而以上的活动层和以下的多年冻土层地温差别逐步缩小. 总体上, 青藏高原沙漠化对冻土起保护作用.

青藏高原沙层下冻土地温改变的主要原因是沙层的反射率以及热传导性能与天然地表存在差异. 沙层反射率大, 热传导性能差, 所以, 沙层越厚, 对热传导的阻挡作用越强.

总之, 通过 2010~2011 年 1 整年的连续观测可以初步认为, 在青藏高原沙漠冻土区, 地表沙层对下伏多年冻土能起到保护作用. 尽管冬半年厚沙层测温孔活动层地温在负值上高于相应的天然地表, 但是冬半年自地表以下整个冻土层仍处于冻结状态, 不存在冻土融化问题, 并不影响其保护作用的实际效果. 青藏高原多年冻土季节融化迅速发展期发生在夏半年的 6 月上旬~9 月上旬[27], 而这一时期恰好是厚沙层对下伏多年冻土保护作用效果最佳的时期. 因此, 从总体上来看, 厚沙层对多年冻土的保护作用略优于薄沙层, 在动压力较小或者静压力情况下, 不会使地表建筑物或构建物的地基变形. 今后可以考虑把覆沙方法应用到前述动、静压力条件下多年冻土保护的实践中, 这为青藏高原多年冻土区工程建设的冻土保护提供了一种新思路.

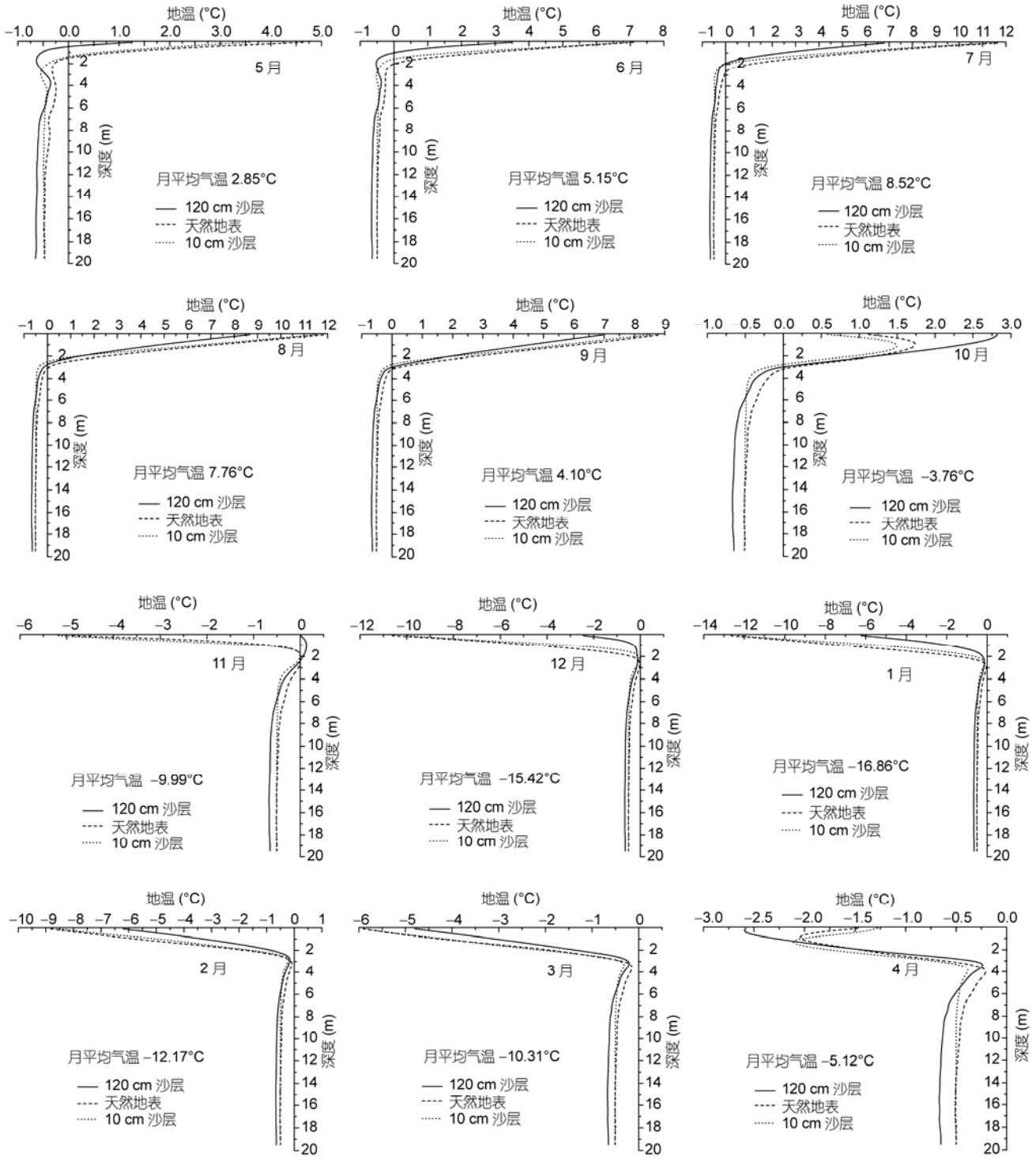

图 1　青藏高原红梁河月平均地温曲线及月平均气温(2010 年 5 月~2011 年 4 月)

致谢　中国科学院寒区旱区环境与工程研究所董光荣研究员在论文写作中给予指导以及刘永智研究员在试验过程中给予帮助, 在此深表谢意.

参考文献

1 李述训, 吴通华. 冰川冻土, 2005, 27: 627–632
2 王绍令, 丁永建, 赵林. 高原气象, 2002, 21: 85–89
3 庞强强, 赵林, 李述训. 冰川冻土, 2011, 33: 349–356
4 程国栋. 冰川冻土, 1979, 1: 39–43
5 Williams P J, Smith M W. The Frozen Earth—Fundamentals of Geocryology. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 59–82
6 Camill P, Clark G S. The American Naturalist, 1998, 151: 207–222
7 程国栋. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33: 602–607
8 黄以职, 郭东信, 赵秀锋. 冰川冻土, l993, 15: 52–57
9 邱国庆. 中国地理学会冰川冻土学会议论文选集. 北京: 科学出版社, 1982. 19–26
10 Yang M X, Wang S L, Yao T D, et al. Cold Reg Sci Technol, 2004, 39: 47–53
11 王绍令, 谢应钦. 中国沙漠, 1998, 18: 137–142
12 王绍令, 赵林, 李述训. 中国沙漠, 2002, 22: 33–39
13 吕兰芝, 金会军, 王绍令, 等. 冰川冻土, 2008, 30: 546–554
14 杨保, 唐领余, 李春海, 等. 科学通报, 2010, 55: 2139–2147
15 康世昌, 张拥军, 秦大河, 等. 科学通报, 2007, 52: 457–462
16 段安民, 吴国雄, 张琼, 等. 科学通报, 2006, 51: 989–992
17 董玉祥. 中国沙漠, 1999, 19: 251–255
18 张登山, 高尚玉. 中国沙漠, 2007, 27: 367–372
19 杨梅学, 姚檀栋, Hirose Nozomu, 等. 科学通报, 2006, 51: 1974–1976
20 谢应钦. 中国科学院青藏高原综合观测研究站观测年报. 兰州: 兰州大学出版社, 1995. 56–62
21 季劲钧, 黄玫. 地球科学进展, 2006, 21: 1268–1271
22 Bhumralkar C M. J Appl Meteorol, 1975, 14: 1246–1258
23 Yang K, Koike T. J Appl Meteorol, 2005, 44: 546–550
24 Zhang Q, Huang R H. J Appl Meteorol, 2004, 43: 1917–1928
25 Oke T R. Boundary Layer Climates. New York: Wiley and Sons, 1978. 43–49
26 Wang S L, Zhao X M. J Glaciol Geocryol, 1999, 21: 351–356
27 周幼吾, 邱国庆, 郭东信, 等. 中国冻土. 北京: 科学出版社, 2000. 65–73