

# 高原地表过程中冻融过程在东亚夏季风中的作用

尚大成<sup>1,2</sup>, 王澄海<sup>1</sup>

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;  
2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**用茶卡站冻结日数与季风指数的相关简单说明高原冻融过程与东亚夏季风之间存在联系。作为个例,对沱沱河区域1998,1999年从冬到夏过渡季节的冻融过程与感、潜热变化及东亚夏季风建立之间的关系进行了初步分析。结果表明:从冬到夏的过渡季节中,青藏高原的冻融过程与高原加热存在着联系,土壤季节性冻融使得高原地表向大气的感、潜热输送随季节发生变化,青藏高原的加热作用对东亚夏季风的爆发时间和强度有重要影响。因此,高原地表过程中土壤冻融过程在东亚夏季风的爆发过程中扮演着重要角色。

**关键词:**青藏高原;冻融过程;感热;潜热;夏季风

**中图分类号:**P425.6

**文献标识码:**A

## 引言

众多的研究表明,青藏高原对亚洲夏季风的爆发和异常有着重要影响,而夏季风的异常将影响中国大范围 and 长期的干旱、洪涝等天气气候的形成和演变,因此受到人们的广泛关注。国内外许多研究强调了高原加热对亚洲季风环流的重要贡献。Flohn<sup>[1]</sup>指出,高原表面抬升的季节性加热及其所导致的35°N以南的温度梯度及气压梯度的反转激发了亚洲季风的爆发。吴国雄等<sup>[2-3]</sup>的研究表明,亚洲环流季节变化和夏季风爆发在很大程度上依赖于高原加热场。

高原加热作用很大程度取决于高原复杂、特殊的地表过程,青藏高原通过地表的感热加热、潜热释放、辐射过程等非绝热加热过程与其上和周边的大气发生相互作用。在从冬到夏的过渡季节更重要的是考虑地表过程中的冻融过程。冻融过程实际是土壤水分发生相变的过程,土壤水分的相变改变地表的反照率、土壤的热容量和地表的蒸发状况,最终导致地表能量水分的再分配,影响大气与地层间的热交换。李述训等<sup>[4-5]</sup>认为,冻融作用使地气系统热交换加强,吸热和放热过程也发生了改变。最近的研究还表明冻融过程与气候变化关系密切。王澄海等<sup>[6-7]</sup>研究指出,青藏高原土壤的季节冻融过程对青藏高原上空

及东亚大气环流有显著影响,并与中国夏季降水之间有着较好的相关,而且土壤冻结状况的改变对大气环流的影响作用较积雪等因素也许更持久。

## 1 资料

利用茶卡站和那曲站的冻土资料与张庆云<sup>[8]</sup>等计算得到的季风指数做相关,简单说明高原冻融过程与东亚夏季风之间的关系。同时本文利用“青藏高原综合观测研究站定点监测研究资料”,对沱沱河观测站1998,1999年过渡季节冻融过程4 cm和20 cm深处的土壤温度和土壤含水量的特征进行分析,并与用NCEP再分析资料计算的沱沱河观测站区域(91.875°~93.75°E,33.328°~35.238°N)感、潜热的变化特征进行比较,再联系1998,1999年东亚夏季风的建立和强弱,进一步探讨高原冻融过程在东亚夏季风(南海季风)中的作用。

## 2 高原冻融过程与夏季风的可能联系

研究结果显示,高原冻融过程与东亚夏季风之间存在着联系。选用文献[6]提出的冻土深度年际变化最敏感的代表站之一茶卡站(36.8°N,99.08°E),给出该站冻结日数距平和南海季风指数<sup>[8]</sup>距平的年际变化曲线(图1)及它们之间的相关图(图2),两者的气候均值均为1979~1998年的平均值。

收稿日期:2006-03-10;改回日期:2006-05-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40575037,40575032)资助

作者简介:尚大成(1979-),男,山西平遥人,硕士,主要从事陆面过程与气候变化研究。

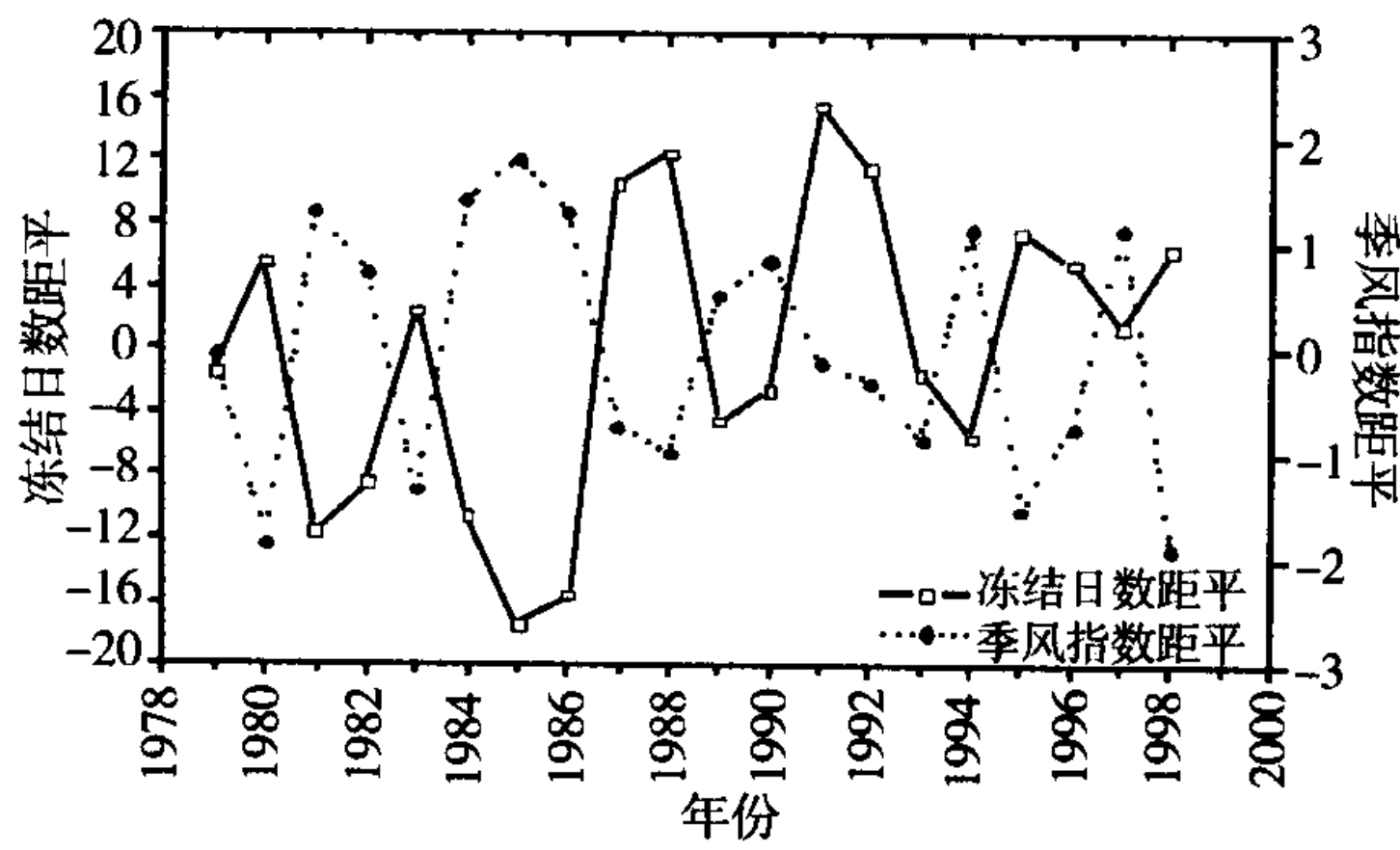


图1 土壤冻结日数距平和南海季风指数距平的变化曲线  
Fig. 1 The anomalies change of frozen days (soil) and South China Sea summer monsoon index

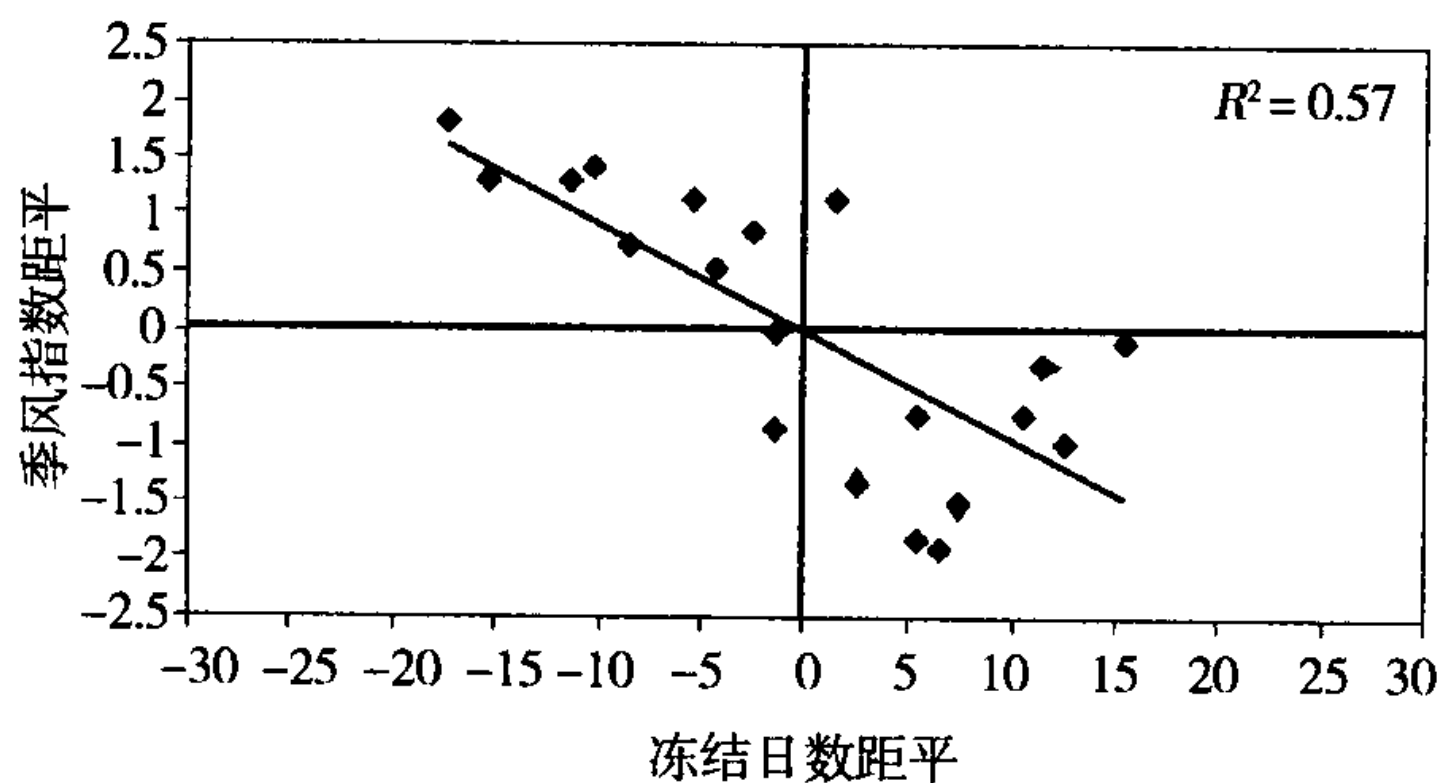


图2 土壤冻结日数距平和南海季风指数距平的相关图  
Fig. 2 The correlation between frozen days (soil) anomaly and South China Sea summer monsoon index anomaly

从图1看出,冻结日数和南海季风指数随年际变化都有较大波动。冻结日数20世纪80年代前在波动中下降,20世纪80年代中期后小幅度增加;南海季风指数与冻结日数相反,在80年代中期前呈上升趋势,80年代中期后为下降趋势,但幅度较小。图2显示,高原的冻结日数和南海季风指数之间有着较好的相关,且为负相关,即高原冻结日数多(少),南海季风强度弱(强),相关系数约为0.755,通过了99.9%的信度检验。当然,茶卡站不能代表高原整体,那曲站冻结日数在20世纪80年代中期前与南海季风指数成反相关,而在80年代中期后成正相关,也都通过了99%的信度检验(图略)。以上分析说明,青藏高原冻结日数的年际变化和南海夏季风的变化存在着联系。而高原冻结日数反映了高原冻融过程的强弱。因此,高原的冻融过程与东亚夏季风之间存在着联系,但在不同区域两者之间的关系不尽相同。

### 3 冻融过程与热力作用及夏季风关系的个例分析

土壤冻融过程与土壤温度和土壤水分的循环过程密切相关。杨梅学等<sup>[9-10]</sup>分析得出土壤温湿度对土壤冻融过程及其热量的时空分布有较大影响。

从土壤温度变化曲线(图3)看出,浅层土壤温度在过渡季节总体呈现增加趋势,且在4月中旬完成从负向正的转变,这为土壤消融提供了有利条件。土壤含水量的变化(图4)显示,浅层土壤含水量在4月前变化不大,过渡季节的4月出现明显的跃升。尽管含水量的变化受降雪的影响,但在4月该区降雪稀少,而且随着土壤温度的逐步回升,趋近并 $>0^{\circ}\text{C}$ ,土壤中处于冻结状态的水(即固态水)吸收热量并开始融化,致使土壤含水量迅速增加。也就是在该过渡季节,土壤含水量的变化主要是土壤消融的结果。1998年3月日均含水量为6.7%(4 cm),9.1%(20 cm),4月日均含水量为13.8%(4 cm),15.6%(20 cm),比3月增加了7.1%(4 cm),6.5%(20 cm);1999年3月日均含水量为8.6%(4 cm),11.9%(20 cm),4月日均含水量为16.3%(4 cm),22%(20 cm),比3月增加了7.7%(4 cm),10.1%(20 cm)。上述数据一定程度上反映出1999年过渡季节的冻融过程应该比1998年强。

分析感、潜热随时间的变化(图5)看出,1998年3月下旬感热有一次减小过程,潜热则较大增加;3月底至4月下旬,潜热通量大于感热通量。1999年与1998年相反,3月下旬感热有一次增加过程,潜热相对稳定;3月下旬到5月初,感热通量大于潜热通量。虽然1998,1999年过渡季节的感、潜热总体趋势是增加的,但1999年4月感、潜热通量的日均值分别为66.6,40.36  $\text{W}/\text{m}^2$ ,而1998年4月感、潜热通量的日均值分别为25,31.34  $\text{W}/\text{m}^2$ 。显然,1999年的感、潜热通量都要比1998年大,尤其是感热通量,几乎达到1998年的3倍。这说明该区1999年的热力作用明显强于1998年。

综合图3,图4和图5可以发现,在从冬到夏的过渡季节,随着太阳辐射的增强,土壤温度逐步回升,土壤开始消融,土壤水分增加,土壤水分的变化改变了土壤与大气间感、潜热的交换,在土壤消融的4月份,感、潜热的日均值明显比土壤处于冻结状态3月份的日均值大。同时可以看出,在过渡季节,1999年浅层土壤含水量比1998年多,这或许是导致1999年感、潜热比1998年大的原因之一。从这

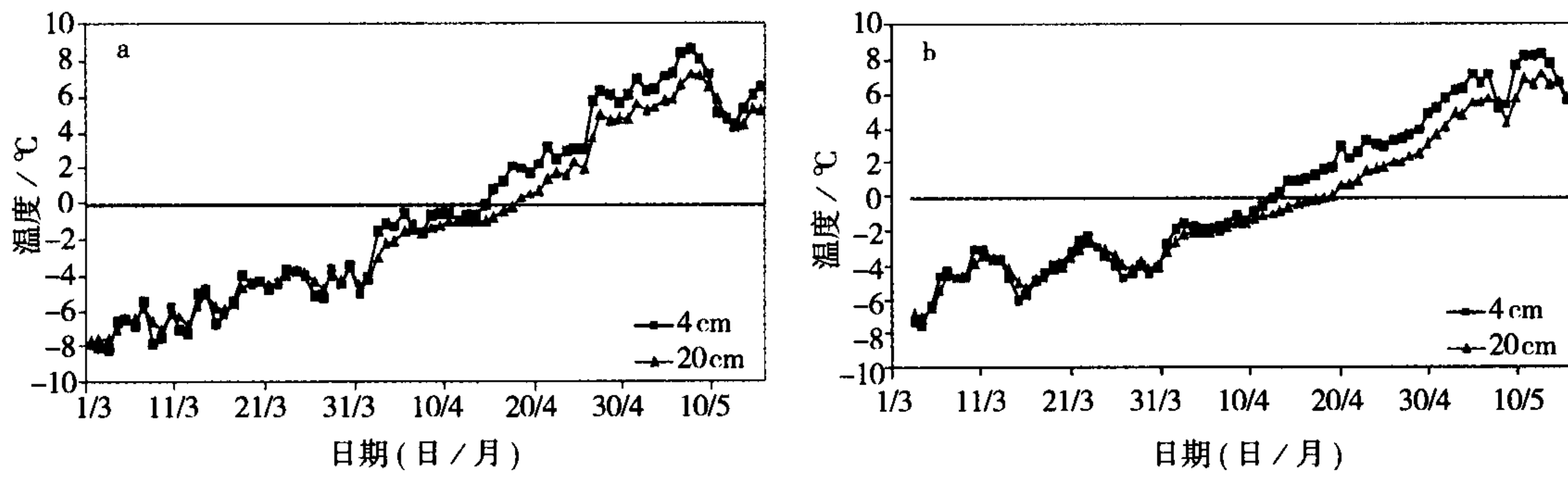


图3 土壤温度的变化曲线(a) 1998年,(b) 1999年  
 Fig.3 The variation of soil temperature  
 (a) for 1998 and (b) for 1999

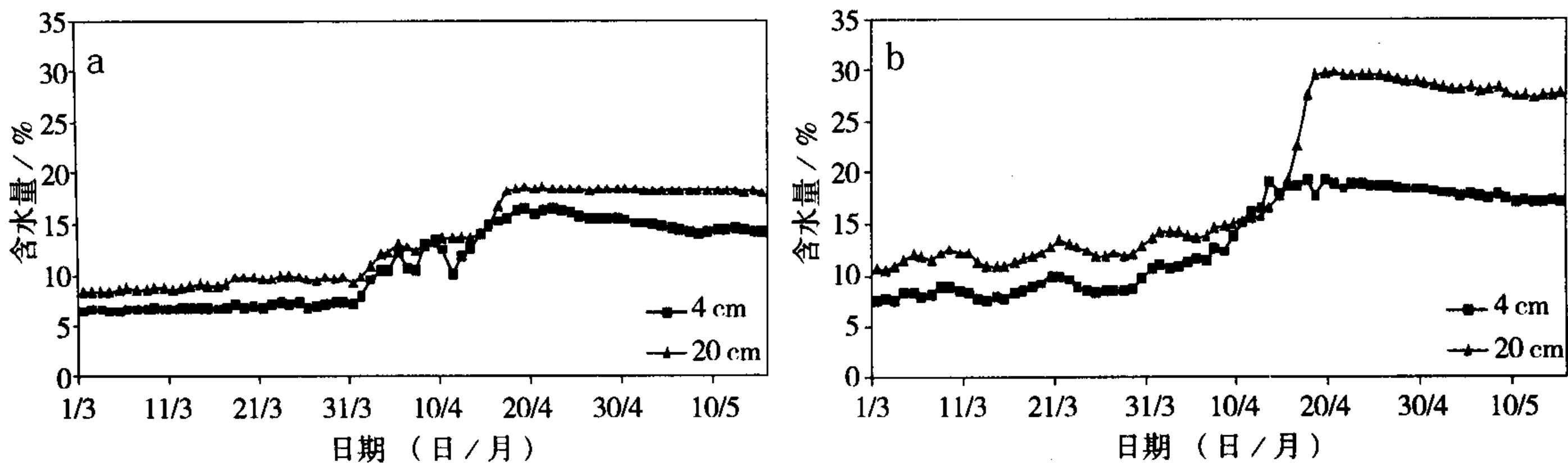


图4 土壤含水量的变化曲线(a) 1998年,(b) 1999年  
 Fig.4 Soil moisture content change, (a) for 1998 and (b) for 1999

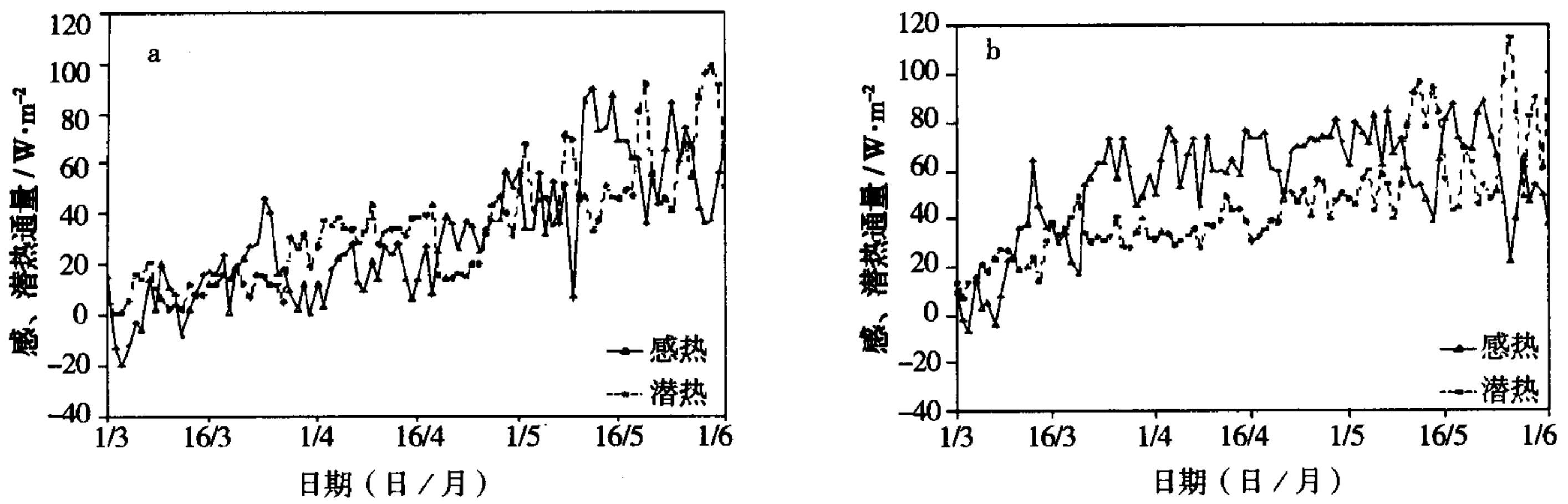


图5 感热(实线)、潜热(虚线)随时间的变化曲线(a) 1998年,(b) 1999年  
 Fig.5 The change of the sensible heat and latent heat in 1998 (a) and 1999 (b)

一点看,高原冻融过程中土壤水分在高原加热中也许有重要作用。

青藏高原加热作用与亚洲夏季风爆发有密切的关系<sup>[11]</sup>。已有的结果表明,1998年是我国南海季风建立晚,强度较弱的年份,1999年是南海季风建

立早,强度相对强的年份<sup>[12]</sup>。结合对沱沱河1998,1999年感、潜热的分析结果可以看出,高原加热强(弱),亚洲夏季风的建立早(晚),强度也强(弱),呈现出较好的正相关。这说明高原冻融过程与亚洲夏季风之间可能存在联系,而它们之间是通过高原

热力作用联系在一起。土壤消融过程中,土壤湿度的增加使得土壤吸收太阳短波辐射的能力加强,土壤温度升高较快,这有利于土壤水分的蒸发。土壤水分的蒸发增加了大气中的水汽含量,大气中水汽含量的增大,一方面可增加潜热的释放,另一方面水汽能强烈地吸收地表放出的长波辐射,从而使得夏季风爆发前近地层大气的温度较高。这从某种程度上说明夏季风爆发前地气系统间的水热交换在夏季风爆发过程中有重要的作用,而地气间的水热交换在过渡季节主要是伴随着高原土壤的冻融过程发生的。因此,高原冻融过程在一定程度上可以反映出东亚夏季风的爆发和强度。

#### 4 小结

亚洲夏季风的爆发与青藏高原的加热作用密切相关,高原地区热性质和热状况的季节变化非常明显,这种变化与高原的冻融过程相联系。高原的冻融过程改变了高原陆气间的水热交换,使得高原地表向大气感、潜热的输送发生变化,影响高原及其周围的大气环流形势,进而对东亚夏季风产生影响。与高原冻融过程相联系的土壤含水量在从冬到夏过渡季节的增加幅度大(小),地表向大气的感、潜热输送强(弱),南海夏季风的强度也强(弱)。

本文只用一个站点对高原冻融过程在东亚夏季风中所起作用的描述是初步的,具有一定的局限性,但和已有的研究成果是比较一致的。因此,和高原

加热相联系的高原地表过程中冻融过程与东亚夏季风的建立可能存在着关系,需要做进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] Flohn H. Large Scale Aspects of the "summer monsoon" in south and east Asia [J]. *J Meteor Soc Japan*, 1957, 35: 180 - 186.
- [2] 吴国雄,张永生. 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 I. 爆发地点[J]. *大气科学*, 1998, 22(6): 825 - 838.
- [3] 吴国雄,张永生. 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 II. 爆发时间[J]. *大气科学*, 1999, 23(1): 51 - 61.
- [4] 李述训,南卓铜,赵林. 冻融作用对系统与环境间能量交换的影响[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(2): 109 - 115.
- [5] 李述训,南卓铜,赵林. 冻融作用对地气系统能量交换的影响分析[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(5): 506 - 511.
- [6] 王澄海,董文杰,韦志刚. 青藏高原季节冻融过程与东亚大气环流关系的研究[J]. *地球物理学报*, 2003, 46(3): 309 - 316.
- [7] 王澄海,董文杰,韦志刚. 青藏高原季节性冻土年际变化的异常特征[J]. *地理学报*, 2001, 56(5): 523 - 531.
- [8] 张庆云,陶诗言,陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流[J]. *气象学报*, 2003, 61(4): 559 - 568.
- [9] 杨梅学,姚檀栋,勾晓华. 青藏公路沿线土壤的冻融过程及水热分布特征[J]. *自然科学进展*, 2000, 10(5): 443 - 450.
- [10] 杨梅学,姚檀栋,何元庆. 青藏高原土壤水热分布特征及冻融过程在季节转换中的作用[J]. *山地学报*, 2002, 20(5): 553 - 558.
- [11] 张艳,钱永甫. 青藏高原地面热源对亚洲夏季风爆发的热力影响[J]. *南京气象学院学报*, 2002, 25(3): 298 - 306.
- [12] 黄荣辉,顾雷,徐予红. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系[J]. *大气科学*, 2005, 29(1): 20 - 36.

## The Effect of the Frozen - Thaw Process in Tibetan Plateau on Summer Monsoon over Eastern Asia

SHANG Da - cheng<sup>1,2</sup>, WANG Cheng - hai<sup>1</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The relationship between the frozen - thaw process in the Tibetan Plateau and the summer monsoon over eastern Asia was investigated according to the correlation between the frozen days of soil and the summer monsoon index. As a case, the correlation between the seasonal frozen - thaw process and the change of sensible heat and latent heat in Tuotuohe region, and eastern Asia summer monsoon onset was analyzed primarily. The results show that there is certain correlation between the frozen - thaw process and heating effect over the Tibetan Plateau in transitional season from winter to summer; the seasonal frozen - thaw of soil results in the transportation of sensible heat and latent heat from surface to atmosphere change with seasons; and heating effect over the Tibetan Plateau has a great influence on the time and intensity of the summer monsoon onset in eastern Asia. Therefore, the frozen - thaw process of soil plays an important role in Asian summer monsoon onset.

**Key words:** the Tibetan Plateau; frozen - thaw process; sensible heat; latent heat; summer monsoon