文章编号:1006-7639(2010)-02-0148-04

张掖戈壁地区土壤热通量特征分析

王 胜,李耀辉,张 良,柳媛普,赵建华,岳 平,刘宏谊,李 刚

(中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020)

摘 要:土壤热通量在地表能量交换中扮演着重要角色,干旱半干旱区土壤热通量更加重要。利用张掖国家气候观象台的土壤热通量观测资料,分析了不同天气状况下戈壁土壤热通量的日变化特征及其与辐射通量的关系。结果表明:晴天大气向土壤传递热量,阴天和雨天土壤释放的热量大于获得的热量。另外还分析了土壤热通量季节和年变化特征。在秋冬季节,土壤热通量基本处于负值而春夏则刚好相反。

关键词:张掖;土壤热通量;戈壁;净辐射

中图分类号:S161.2^{+1} **文献标识码**:A

引 言

陆—气之间的能量交换对气候变化有重要的影响,目前被广泛关注的地表能量平衡问题一直是陆面过程研究中的一个热点问题。一般认为在湿润地区,潜热在地表能量中占有很大的比重,土壤热通量所占比重较小;在干旱半干旱地区,感热居主导地位,而土壤热通量在地表能量中扮演重要角色。在研究地表能量平衡问题的过程中,人们逐渐认识到土壤热通量的观测精度可能是引起地表能量不平衡问题的主要误差来源之一。土壤热量传输的观测和计算,不仅对生态系统物质和能量交换过程有重要影响,而且通过影响陆—气之间的热量从而影响气候变化。无论是大气科学工作者还是地理科学工作者在大量的研究中都需要准确的计算土壤中热量的传输[1]。另外,在用 Penman-Monteith 公式计算地表蒸发的过程中,也需要用到土壤热通量。因此作为表征地—气能量交换和主要物理参量的土壤热通量受到了极大的关注。

国内外对于土壤热通量已有大量的研究,Kustas 等[2]用一组由20个土壤热通量板和土壤温度传感器组来描述由于植被和微地形的影响而引起的土壤热通量的时空变化,他们发现在相似的覆盖物下土壤热通量的最大值可以达到300 W/m^2,这是一个相当大的值,和很多地区的感热相当,而最大土壤热通量与净辐射的比值也接近0.5,这也说明土壤热通量在地表能量中占有重要比重。姚济敏等[3]研究了青藏高原唐古拉山地区的土壤热通量情况,唐古拉地区的土壤热通量相当大,夏季可以达到200 W/m^2,仅比这一地区的感热通量略小一些。Heusinkveld 等[4]认为土壤热通量在地表能量平衡中占有重要地位。他们用独特的测量方法观测了以色列沙漠区域的土壤热通量,他们发现在土壤表层和深层的土壤热通量差别很大,他们利用表层的土壤热通量值使地表能量实现了很好的闭合。张强等[5]分析了西北极端干旱区敦煌土壤热通量的年变化。李明财等[6]研究了青藏高原林芝地区的土壤热通量变化情况。他们发现随着土壤深度的增加,土壤热通量日变化振幅减小,不同深度的土壤热通量存在明显的季节及年内逐日变化特征 ,但变化的幅度表层土壤明显高于深层。李超等[7]从地温满足的热传导方程出发,导出了计算土壤平均和瞬时热通量的计算方案。张立杰等[8]则利用陆渝蓉的土壤导温率方案结合李超等人的计算方案,计算了青藏铁路沿线的土壤热通量。梁俊宁等研究张掖市紫外辐射特征[9],张良等对张掖气候观象台常用气象资料进行了检验分析[10]。但专门对张掖戈壁

收稿日期:2009-12-09;**改回日期**:2010-04-13
基金项目:甘肃省气象局气象科学技术研究项目"张掖气候观象台资料分析检验"资助
作者简介:王胜,男,副研究员,主要从事陆面过程方面的研究. E-mail:totrump@126.com

土壤热通量研究的很少。

张掖位于甘肃省河西走廊中部,南依祁连山,北傍龙首山,是典型干旱区。在这一地区开展陆面过程观测虽然较多,但是依然没有对张掖地区地表热通量年变化做过研究。本文利用张掖的土壤热通量的资料,分析其戈壁土壤热通量变化特征。

1　资料介绍

所用资料来自中国气象局张掖国家气候观象台(39°04′N,100°16′E),地表拔海高度为 1 461.53 m,地处张掖市甘州区和临泽县之间,距张掖市直线距离 18 km,距离黑河约 10 km。观测下垫面平坦,周围 1 000 m 以内无高层建筑,受人为活动影响较小。在观测场周围,下垫面主要以沙土为主的戈壁,有少量草和树。观测场总共占地 40 hm^2。

观测场有一个 100 m 高的铁塔,安装有 5 层温度和湿度传感器。高度分别为 2 m、4 m、10 m、20 m 和 30 m;在 2 m 高的支架上安装了总辐射、反射辐射、大气向下长波辐射和地表向上长波辐射表;地下 5 cm 深处安装了 3 个土壤热通量板;6 层土壤温度的深度分别是 5、10、15、20、40 cm,5 层土壤湿度观测分别在 10 cm、20 cm、60 cm、100 cm 和 180 cm,观测结果记录的是每 min 的数据。50,70,100 m 有机械风速和三维超声风速仪,主要仪器介绍见表 1。

表 1　张掖国家气候观象台主要仪器

Tab. 1　Specification of the sensors at Zhangye National Climatic Observatory

传感器	型号	厂家	精度
温、湿度	HMP45D	Vaisala,芬兰	温度:±0.2 ℃;湿度 ±2% RH
风速	WAA151	Vaisala,芬兰	起动风速 <0.5 m/s,o 精度:±0.5 m/s
土壤热流板	HFP01SC - L	Campbell Sci. Inc. 美国	3%
辐射表	CNR1	Kipp&Zonen	长波表灵敏度:5 ~ 18μv/Wm^{-2} 短波表灵敏度:10 ~ 35μv/Wm^{-2}
超声风速仪	USA - 1	METEK,美国	0.01 m/s
CO_2/H_2O 分析仪	Li7500	Licor, 美国	
土壤温度	QMT103	Vaisala,芬兰	0.08 ℃

所用资料时间段为 2007 年 9 月 1 日至 2008 年 7 月 31 日。资料时间间隔为 0.5 h。

2　结果分析

2.1　日变化特征

分别选取 2008 年 4 月 22 日、20 日、18 日代表晴天、雨天、阴天分析张掖地区土壤热通量日变化特征。

图 1 是张掖地区晴天、阴天、雨天的短波辐射和土壤热通量日变化特征。可以看出,晴天短波辐射和土壤热通量的变化都很规则。而阴天和雨天的变化较不规则。晴天,土壤热通量最大值出现在 13:30 左右,大约 150 Wm^{-2}左右。这个时间随着季节的变化可能会有所延迟或提前。而在夜晚土壤热通量的最大值约为 70 Wm^{-2}左右。说明白天和夜晚土壤热流的交换非常剧烈。晴天、阴天、雨天土壤热通量的日积分值分别为 0.04 $MJ/m^2 \cdot d$、-0 .02 $MJ/m^2 \cdot d$、-0.38 $MJ/m^2 \cdot d$。阴天和雨天土壤向大气释放热量,而晴天则是土壤从大气获得热量。

图 2 是晴天、阴天、雨天土壤热通量与净辐射的散点图。从图中可以看出,晴天土壤热通量与净辐射的相关性最好,相关系数 R_2 达到了 0.95,其拟合关系为:

$$R_n = 3.2586 \times G + 97.651 \qquad (1)$$

其中 R_n 为净辐射,G 为土壤热通量。

而阴天与雨天的土壤热通量与净辐射的相关系数较差,R^2 均不到 0.6。这是因为土壤热通量来自净辐射的分配,晴天土壤热通量和净辐射都是有规则的变化,因此二者的相关性最好。阴天和雨天的变化并不规则,所以导致相关性较差。

2.2　季节变化特征

分别选取 2007 年 9 月、2008 年 1 月、4 月、7 月代表秋季、冬季、春季、夏季来分析土壤热通量不同

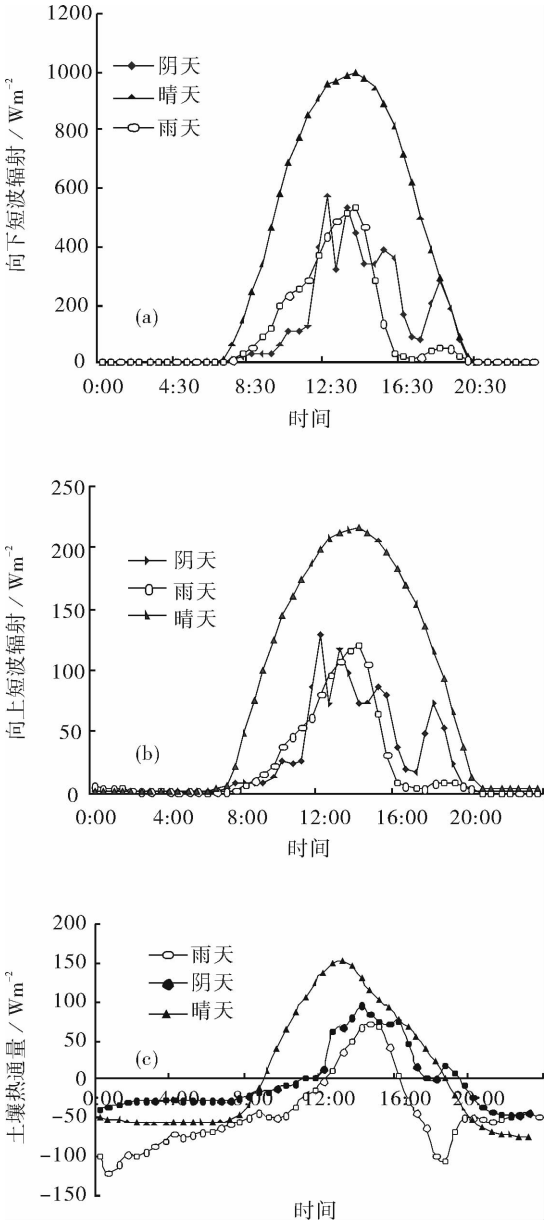

图 1 张掖晴天、阴天、雨天的短波辐射和土壤热通量日变化特征

Fig. 1 Diurnal variation of short - wave radiation and soil heat flux in Zhangye

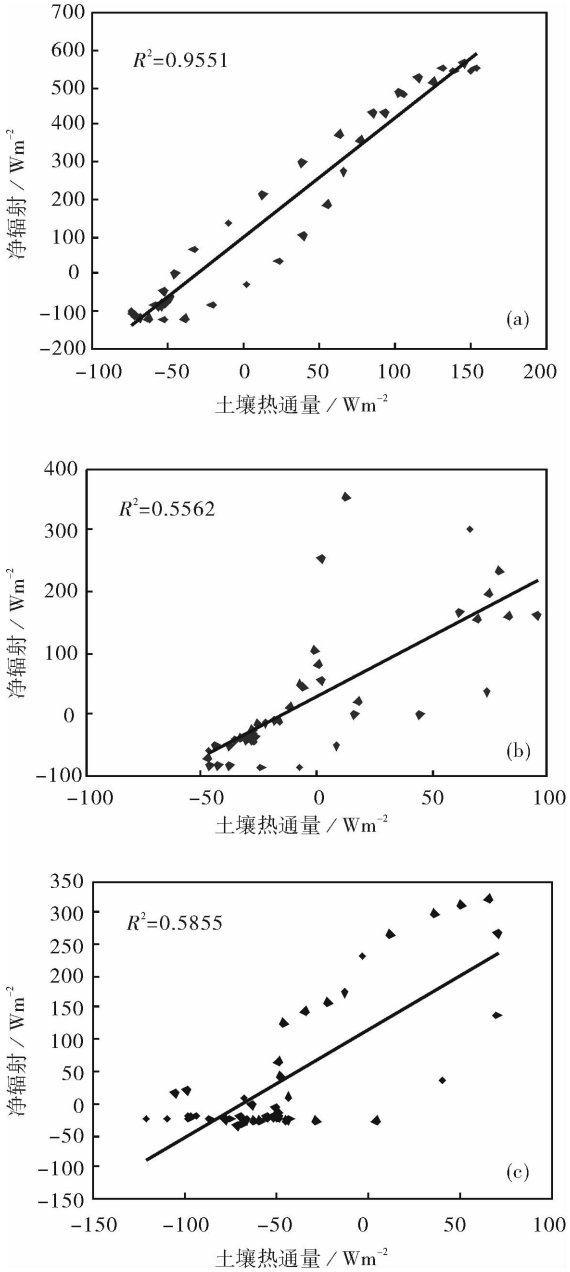

图 2 晴天(a)、阴天(b)、雨天(c)土壤热通量与净辐射的关系

Fig. 2 Relationship between soil heat flux and net radiation on clear day(a), cloudy day(b), rainy day(c)

季节变化情况(图 3)。由于太阳辐射的季节变化,土壤热通量春季和夏季明显高于秋季和冬季,土壤热通量为正值,说明在张掖地区,春季和夏季土热从大气吸收的热量高于土壤向大气释放的热量。而秋季开始,土壤热通量转为负值,在冬季全天热通量的平均值几乎都为负值。说明冬季土壤从大气获得的热量很少,基本上向大气释放热量。同时,冬季土壤热通量的波动远比其他 3 个季节小,这可能于冬季大气环流较为稳定有关。春、夏、秋、冬 4 季的土壤热通量的平均日积分值分别为:8.3 MJ/m^2 · d、5.2 MJ/m^2 · d, -1.7 MJ/m^2 · d、-7. 9 MJ/m^2 · d。

2.3 年变化特征

图 4 是土壤热通量年变化。从图中可以看出,土壤热通量最小值出现在 12 月,最大值出现在 4 月。出现时间与敦煌戈壁研究结果[5]相一致。但是敦煌观测结果变化更加规则,这可能与 5 月后雨水较多有关。通过估算,全年土壤热通量的输入量

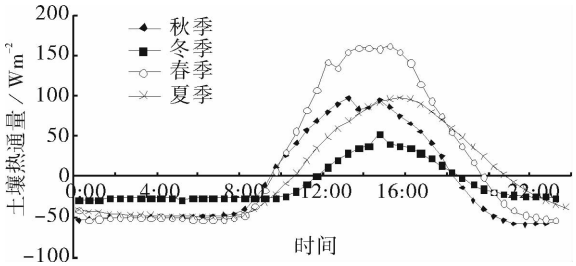

图 3　春、夏、秋、冬 4 季土壤热通量变化特征

Fig. 3　Change of soil heat flux in four seasons

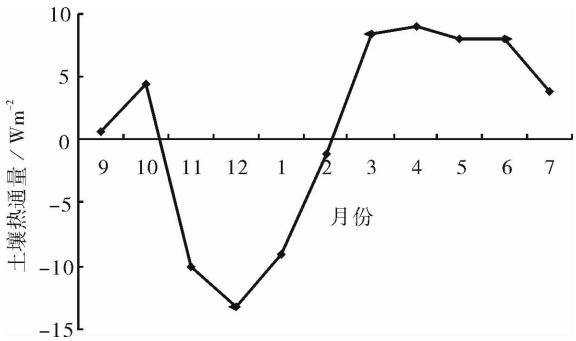

图 4　土壤热通量年变化

Fig. 4　Variation of soil heat flux in one year

大于输出量,这与敦煌 2.5 cm 的结果类似。土壤吸收太阳辐射导致土壤热通量增加,当净辐射为负时,土壤又会放出热量,这一过程在一段时期内应该是平衡的。但是目前从一年土壤热通量收支来看,这一过程并不平衡。这可能是全球变暖在这一地区的一个体现。

3　结　论

(1)晴天土壤热通量的白天最大值出现在中午 13:30 左右,最大值约为 150 Wm^{-2},而夜晚土壤热通量的值也可以达到 $-70Wm^{-2}$,同时维持时间较长,这说明在干旱区土壤热量昼夜交换很剧烈。晴天土壤热通量的日变化与净辐射有很好的相关性。

(2)季节尺度上,秋季和冬季土壤热通量的日平均值为负,冬季最大且整个冬季的土壤热通量平均值基本都为值;土壤向大气释放热量;而春季和夏季为正值,土壤从大气吸收热量。

(3)年变化尺度上,土壤热通量的最小值出现在 12 月,这与敦煌戈壁的观测值相符合。土壤热通量整个年变化规律基本与敦煌戈壁一致。

另外本文所用仅仅是一年的资料,土壤热通量在更长时间尺度上是不是保持平衡还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 张立杰,江灏,李磊. 土壤中热量传输计算的研究进展与展望[J]. 冰川冻土,2004, 26(5):569 - 575.

[2] Kustas W P, Prueger J H, Hatfield J L, etal. Variability in Soil Heat Flux from a Mesquite Dune Site[J]. Agric For Meteorol, 2000, 103:249 - 264.

[3] Jimin Yao, Lin Zhao, Yongjian Ding, etal. The surface energy budget and evapotranspiration in the Tanggula region on the Tibetan Plateau[J]. Cold Regions Science and Technology, 2008,52:326 - 340.

[4] Heusinkveld B G, Jacobs A F G, Holtslag A A M, et al. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux[J]. Agric For Meteorol, 2004, 122(1 - 2): 21 - 37.

[5] 张强,王胜. 干旱荒漠区土壤水热特征和地表辐射平衡年变化规律研究[J]. 自然科学进展,2007,17(2):211 - 216.

[6] 李明财,罗天祥,郭军,等. 藏东南高山林线冷杉原始林土壤热通量[J]. 山地学报, 2008,26(4):490 - 495.

[7] 李超,段廷扬,陈隆勋,等. 青藏高原土壤热交换的计算方案及初步分析[J]. 成都气象学院学报,1999,14(2),129 - 138.

[8] 张立杰,李磊,沈永平. 基于多时间尺度分析的青藏铁路沿线土壤热流研究[J]. 物理学报, 2005,54(4):1958 - 1964.

[9] 梁俊宁,丁荣,贾晓龙. 张掖市紫外辐射特征的初步分析[J]. 干旱气象,2008,26(4):44 - 47.

[10] 张良,李耀辉,王胜,等,张掖国家气候观象台常规气象资料检验分析[J]. 干旱气象,2010,28(1):49 - 53.

Variation of Soil Heat Flux in Gobi at Zhangye of Gansu Province

WANG Sheng, LI Yaohui, ZHANG Liang, LIU Yuanpu, ZHAO Jianhua, YUE Ping, LIU Hongyi, LI Gang

(*Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou* 730020, *China*)

Abstract: Soil heat flux plays an important role in energy flux exchange between land and atmosphere, especially in arid and semi - arid region. Based on soil heat flux at Zhangye National Climate Observatory, the diurnal variation of soil heat flux and the relationship between that and radiation flux are analyzed under different weather conditions for clear, cloudy and rainy day. The results show that the soil accepted heat from the air on clear day, on the contrary, the output heat of soil exceeded the input on cloudy and rainy day. In addition, most values of soil heat flux are negative in autumn and winter season, and positive in spring and summer.

Key words: Zhangye; soil heat flux; gobi; net radiation