

半干旱地区草地与裸地水热通量的研究

王修信^{1,2,3,4}

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院 遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875;

2. 遥感科学国家重点实验室, 北京 100875; 3. 环境遥感与数字城市北京市

重点实验室, 北京 100875; 4. 广西师范大学 物理与电子工程学院, 广西 桂林 541004)

摘 要:沙尘暴的发生与土体缺乏草本、灌木有效保护和植被覆盖度低有关,定量地研究半干旱地区草地与裸地水热通量具有十分重要的意义。涡度相关技术是直接测定下垫面和大气之间水热通量的相对标准观测方法,利用其测量草地和裸地水热通量(潜热和显热通量),结果发现草地晴天白天的潜热明显大于显热,其最大值大约是显热的一倍;而裸地恰好相反,显热明显大于潜热,其最大值大约是潜热的一倍。草地阴天白天的潜热略大于显热;而裸地的显热仍明显大于潜热,其最大值大约是潜热的一倍以上;同时存在能量不闭合问题。草地发挥降温增湿等生态效应,对减少沙尘暴、维护生态平衡具有极其重要的作用。

关键词:草地;裸地;潜热通量;显热通量;定量研究

中图分类号:P343

文献标识码:A

文章编号:1001-6600(2006)02-0024-04

土壤-植物-大气系统是地球表层中能量循环和物质转化最强烈的活动层。太阳辐射是地表的能量源,其到达陆地表面后,部分用于植物光合作用,部分以显热和潜热的形式返回到大气中。地表水热通量不仅影响大气的稳定状态,而且还决定大气边界层和近地层的平均廓线形式,直接影响近地层大气和下垫面间的能量和水分交换,从而影响大气边界层结构和气候。沙尘暴的发生与土体缺乏灌木、草本有效保护和植被覆盖度低有关,是干旱、半干旱区的一种必然天气现象。北京地区地处半湿润地区向半干旱地区过渡带,属环境变化的灵敏地区之一,因此定量研究其草地与裸地水热通量,对进一步研究和认识气候变化具有十分重要的意义。

以前的研究大部分都是基于生物量法和非连续性观测,不可能克服扰动大气环境和尺度转换上的弊病,存在很大的局限性和不确定性。涡度相关技术以较坚实的物理理论为基础,直接测定下垫面和大气之间的水热通量,弥补了以上不足,是相对标准的观测方法。故利用该技术在晴天和阴天两种天气状况下,测量草地和裸地水热通量(潜热和显热通量),定量地研究草地与裸地的潜热和显热的数值与变化趋势,并分析能量闭合问题,定量地研究草地生态效应。

1 地表能量平衡方程和涡度相关法原理

根据能量守恒与转换定律,地表能量平衡方程为^[1]:

$$R_n = LE + H + G + \Delta S,$$

其中 R_n 为地表净辐射通量,指地表净得的短波与长波辐射之代数。通常当地面获得能量时, R_n 取正号,而当能量由地面放出时, R_n 取负号。 LE 为潜热通量,指下垫面与大气间水分的热交换,包括地面蒸发或植被蒸腾、蒸发的能量,也称为蒸散。 H 为显热通量,表征下垫面与大气间通过湍流形式的热交换。 G 为土壤热通量,指下垫面土壤内部的热交换。 ΔS 为下垫面热能储存,指大气层内植物或障碍物储存的热通量,这部分能量很小,也较难测量,常忽略不计。

涡度相关法是以Swinbank提出的相关理论为基础的实测方法。近地面气层处于大气边界层底层大约

收稿日期:2005-12-25

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目“973计划”资助项目(G20000779);国家自然科学基金资助项目(40271081);

北京市自然科学基金重点基金资助项目(4051003)

作者简介:王修信(1979—),男,广西桂林人,广西师范大学副教授,北京师范大学博士研究生。

10%的高度范围,在该气层内空气运动符合湍流交换规律,可以利用涡度相关法测定近地层大气中热量和水汽的垂直输送通量。当下垫面均匀一致时,在近地层内显热通量 H 、潜热通量 LE 和动量通量 τ 可表示为:

$$H = \rho C_p \overline{w'T'}, LE = L \overline{w'\rho v'}, \tau = \rho \overline{w'u'}$$

其中 ρ 为空气密度, C_p 为空气的定压比热, L 为水的汽化潜热, w' 为近地面大气湍流运动引起的垂直风速的脉动量, u' 为水平风速的脉动量, T' 为温度的脉动量, $\rho v'$ 为水汽密度的脉动量。上横线表示在一定时间间隔上的平均。

2 实验方法与仪器

试验地点位于北京市昌平区小汤山镇,草地和裸地构成大范围的均一下垫面,满足实验要求的盛行风向的风浪区长度。实验时间为5月份。

全自动涡度相关观测系统直接连续测量显热、潜热通量,架设高度为1.8 m,可代表(180×180) m²范围的通量。CSAT3 三维超声风速仪直接测定水平与垂直方向上风速和温度瞬时脉动量,LI-7500 快速响应红外CO₂/H₂O 分析仪直接测定湿度和CO₂的瞬时脉动量。数据采集器CR5000 自动、连续采集数据并存储在计算机中。采样频率为10 Hz,每10 min 输出1 组平均值。由垂直风速脉动量和相关变量脉动量的平均协方差计算显热和潜热瞬时通量值,记录10 min 潜热和显热平均值。潜热和显热均经过WPL 校正^[2]。

CNR-1 净辐射仪(荷兰 Kipp & Zonen)架设高度为1.5 m,测量并单独输出向上、向下短波辐射与向上、向下长波辐射。土壤热流板埋放在地下2~3 cm 处,测定土壤热通量。

3 实验结果与分析

3.1 潜热通量和显热通量

潜热白天为正值,地面蒸发或植被蒸腾、蒸发;晚上为负值,水汽凝结,主要是晚上地面或植被温度比空气温度低而造成的,晚上出现的正值表明夜间仍有蒸发。显热白天为正值,地面或植被通过湍流形式从大气获取热量;晚上为负值,地面或植被向大气放出热量。潜热和显热基本均为单峰型日分布,白天变化较快,晚上变化相对平缓,夜间最低值一般出现在午夜或凌晨。

在晴天,草地白天的潜热明显大于显热,潜热最大值大约是显热的1 倍;而裸地恰好相反,裸地的显热明显大于潜热,显热最大值大约是潜热的1 倍(图1)。下午草地的显热比裸地的显热早出现负值,草地显热在17:00 左右出现负值,而裸地显热在18:00 左右才出现负值。潜热和显热在0:00~6:00 处于较平稳的状态,然后随着日出开始显著上升,峰值出现在11:00~14:00,随后急剧下降,在18:30 日落后趋于平稳波动。

在阴天,草地白天的潜热略大于显热;而裸地的显热仍然明显大于潜热,显热最大值大约是潜热的1 倍以上(图2)。与晴天不同,下午显热草地和裸地几乎同时出现负值,大约在18:00 左右,然后趋于平稳波动。

3.2 净辐射

净辐射白天为正值,地表吸收辐射能量,变化比较快;晚上为负值,地表冷却放出辐射能量,变化相对

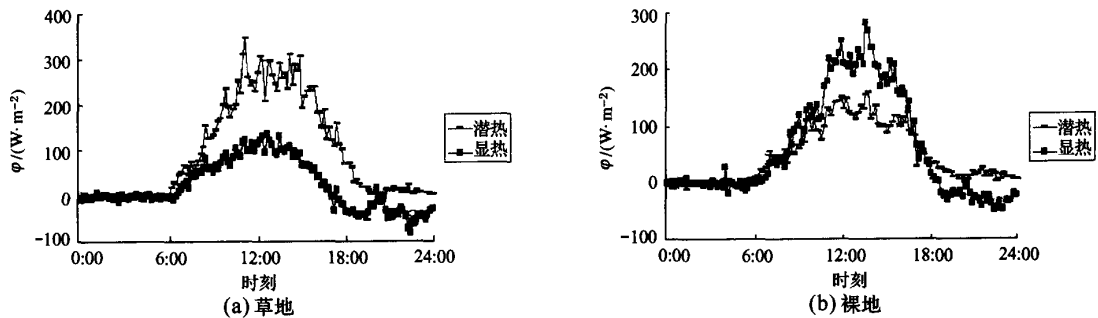


图1 晴天草地(左)和裸地(右)的潜热与显热通量

平缓。晴天均呈现为单峰型日变化,峰值一般出现在午后12:00~13:00(图3)。晚上一般日落一小时开始出现负净辐射,19:00~6:00左右为负净辐射。因周边环境影响,净辐射草地与裸地略有差别。净辐射晴天明显比阴天大,表明晴天地面获得的能量比阴天明显增加,为植被提供充足的能量来源。

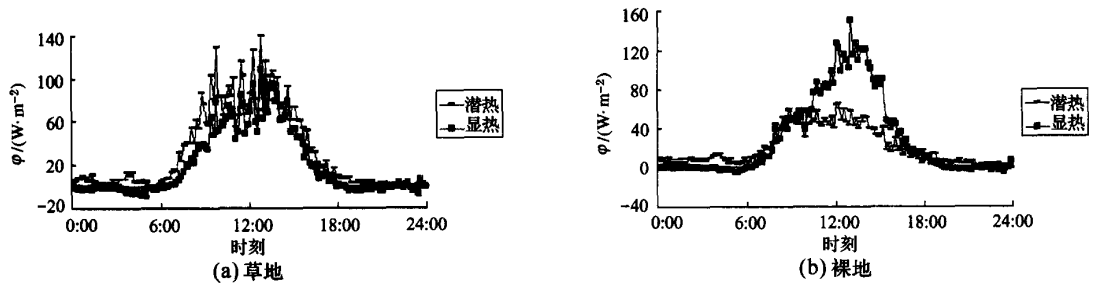


图2 阴天草地(左)和裸地(右)的潜热与显热通量

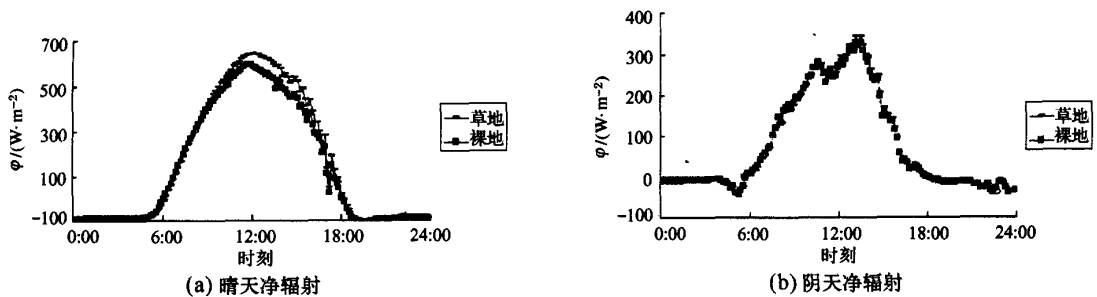


图3 晴天和阴天的净辐射

3.3 下垫面的能量平衡分析

$LE+H$ 小于 R_n-G ,表明涡度相关技术测定的潜热与显热通量之和小于可供能量,存在明显的能量不闭合问题(图4)。造成能量不闭合的原因有以下几点:土壤热流板被埋放在地下2~3 cm处,测量的是一定深度的土壤热通量,忽略了埋放深度以上的土壤热能储存。在能量平衡方程中还有下垫面热能储存 ΔS 项, ΔS 很小且较难测量,常忽略不计,即忽略了下垫面植被的热量变化和光合作用所消耗的能量。涡度相关技术测量草地和裸地水热通量,要获得可靠的测量数据,理论上要求下垫面均匀且地势平坦,以避免在水平和垂直方向上形成平流,然而在自然环境中这种理想状况几乎不存在,即忽略了平流的影响^[3]。

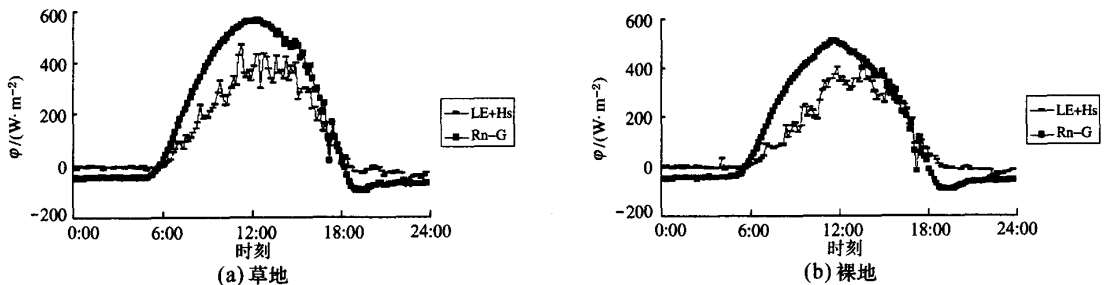


图4 晴天草地和裸地的能量闭合状况

4 结论

地表的潜热、显热、土壤热通量等能量分配与植被的覆盖度、植被的生长状况、土壤类型、土壤水份含量等下垫面特征密切相关。在晴天,草地白天的潜热明显大于显热,潜热最大值大约是显热的1倍;而裸地恰好相反,裸地的显热明显大于潜热,显热最大值大约是潜热的1倍。而在阴天,草地白天的潜热略大于显热;而裸地的显热仍明显大于潜热,显热最大值大约是潜热的1倍以上。测量数据与遥感图像结合具有广

泛应用前景^[4~6]。

普遍存在能量不闭合的问题,其主要原因在于忽略了埋放深度的土壤热能储存,忽略了下垫面植被的热量变化和光合作用所消耗的能量,忽略了平流的影响。要获取可靠的测量数据,观测的场地应地势平坦开阔,盛行风向无高大建筑和树木影响,构成大范围均一下垫面,满足观测要求盛行风向的风浪区长度。

草地所获得的净辐射大部分用于植被的蒸散作用,蒸散作用对生态环境发挥着降温增湿、降尘等生态效应,在减少沙尘暴、维护生态平衡等方面具有极其重要的作用。

参 考 文 献:

- [1] TWINEA T E, KUSTAS W P, NORMAN J M, et al. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 103: 279-300.
- [2] WEBB E K, PEARMAN G I, LEUNING R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer[J]. *Quart J Meteorol Soc*, 1980, 106: 85-106.
- [3] WILSON K, GOLDSTEIN A, FALGE E, et al. Energy balance closure at FLUXNET sites[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 113: 223-243.
- [4] 王修信, 张大力. 多模态医学图像的融合研究[J]. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 22(2): 10-13.
- [5] 梁冬冬, 王修信, 胡维平. 医学图像小波变换系数的统计分析[J]. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 22(1): 23-26.
- [6] 王修信, 梁冬冬, 胡维平, 等. 医学数字图像增强方法的研究[J]. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2002, 20(3): 23-26.

Moisture and Heat Fluxes over Grassland and Bare Soil in Semi-arid Area

WANG Xiu-xin^{1,2,3,4}

- (1. Research Center for Remote Sensing and GIS, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing 100875, China;
3. Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing 100875, China;
4. College of Physics and Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: Sandstorm has something with inadequate soil protection by the grasses, the shrubs, and low vegetation coverage. It's very important for us to study the moisture and heat fluxes quantitatively over the grassland and the bare soil in the semi-arid area. Eddy covariance technique is the relatively standard method, which is used to measure the moisture and heat fluxes between the different underlying surfaces and atmosphere. Therefore the two fluxes were measured over the grassland and the bare soil. The result indicated that in sunny daytime over the grassland, the latent heat flux was much greater than the sensible one. The maximum of the latent heat was twice as that of the sensible heat. On the contrary, the sensible heat was much greater than the latent heat over the bare soil. The maximum of the sensible heat was twice as that of the latent heat. However, the latent heat flux was a little greater than the sensible heat flux in cloudy daytime over the grassland. The sensible heat was still much greater than the latent heat over the bare soil. The maximum of the sensible heat was over twice as that of the latent heat. The energy imbalance existed. Grassland has the ecological effect in decreasing temperature and enhancing moisture. It will play important part in decreasing the sandstorm and maintaining ecological balance.

Key words: grassland; bare soil; latent heat flux; sensible heat flux; quantitatively study

(责任编辑 李小玲)