

## 黄土高原半干旱区夏季晴天陆面特征 模拟与观测对比分析

柳媛普,张强,王胜

(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:**以甘肃定西为例,利用中尺度模式MM5模拟了黄土高原半干旱区夏季晴天的陆面特征,并与观测资料进行对比分析。结果表明,对气温、土壤热通量、辐射、感热通量的模拟结果与观测比较一致,而对比湿、地表温度、潜热通量的模拟结果与观测偏差稍大。夏季晴天,定西地区的地表温度日最高值出现时间较日最高气温出现时间早了3 h,但两者日最低值出现时间相同;10 cm深度处的土壤温度存在明显的日变化,而40、80 cm深度处无明显的日变化;空气湿度较低,夜晚比湿的变化与露水的凝结量变化时间一致;土壤热通量呈典型的单峰型日变化特征,日最大值出现在13:00,与太阳短波辐射与地表反射辐射日最大值出现的时间相同;在半干旱区感热通量明显大于潜热通量,热通量以感热通量为主;边界层高度最高可达到2 100 m左右,比干旱区敦煌的低1 000 m左右。

**关键词:**MM5;陆面特征;夏季晴天;黄土高原半干旱区

**文章编号:**1006-7639(2013)-03-0457-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0457

**中图分类号:**P437

**文献标识码:**A

### 引言

陆面过程反映了地球陆地表面动量、能量和物质交换与输送过程,是气候系统响应外部强迫和调整内部变化的重要纽带。无论是气候变化还是大气环流异常都与陆面过程密不可分,尤其是暴雨、沙尘暴和冰雹等突发性气象灾害和极端天气气候事件更是与陆面过程存在着诸多内在必然联系<sup>[1-2]</sup>。陆面水、热交换过程受局地环境(包括地形地势、地理位置及下垫面性质等因素)的影响<sup>[3-4]</sup>。干旱区陆面过程不仅与气候、生态、水资源密切相关,而且影响我国气候格局和东亚大气环流,是一个十分重要的研究领域<sup>[5-6]</sup>。开展不同地区的陆面过程特征研究将有助于理解不同下垫面的陆面过程差异的成因,有助于改善模式的参数化方案,也有助于认识不同气候的维持和地表状况变化对气候的影响。

黄土高原位于黄河中上游和海河上游地区,西连祁连山脉、东至太行山脉、南接秦岭、北达阴山山脉,面积为62.68万km<sup>2</sup>,幅员辽阔,为世界上最大

的黄土沉积区和中国第二大高原<sup>[7]</sup>。该区海拔1 000~1 500 m,由黄土塬、川、沟壑、山、梁、峁、坪等地貌组成,下垫面状况十分复杂。黄土高原地处东南季风影响区的边缘,是东南湿润季风气候向西北内陆干旱气候的过渡带,年降水量为164~800 mm,属于温和半湿润气候区向温和半干旱、干旱气候区的过渡带,是我国乃至世界上水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。该区域不仅对全球气候变化反应敏感<sup>[8]</sup>,尤其农业生态对区域气候变化的响应更为敏感<sup>[9-11]</sup>,而且气候的波动对区域能量和水分的交换起着重要作用<sup>[12-13]</sup>。作为生态环境的脆弱带,黄土高原陆面过程特征的细微变化往往会引起气候状态和生态环境系统的剧烈改变<sup>[14]</sup>。因此,开展黄土高原陆面过程特征研究就显得尤为重要。

国内已在黄土高原部分地区进行了陆气相互作用试验及相关研究<sup>[15-19]</sup>。张强等<sup>[20]</sup>对黄土高原半干旱区地表能量平衡问题提出了一些新认识。李宏宇<sup>[21]</sup>、孙昭萱<sup>[22]</sup>等研究了黄土高原榆中地区的陆

收稿日期:2012-06-18;改回日期:2013-05-15

基金项目:国家自然科学基金(40830957,41075009)、干旱气象科学研究基金(IAM201113)共同资助

作者简介:柳媛普(1981-),女,宁夏人,助理研究员,主要从事陆面过程数值模拟研究. E-mail:lyp@lzb.ac.cn

面特征。张杰等<sup>[23]</sup>利用遥感资料分析了黄土高原陆面能量通量特征。孙昭萱等<sup>[24]</sup>分析了黄土高原半干旱区陆面物理量的年变化和日变化特征及其影响机制。以上研究基本是基于观测资料所进行的分析研究,而结合数值模式模拟结果进行分析的研究相对较少。因此,本文以黄土高原中西部半干旱区定西为研究区域,首先对比分析数值模拟结果与观测结果,然后利用观测资料和数值模拟结果从 2 方面分析定西夏季晴天的陆面特征。

## 1 观测场地及资料介绍

本文所用观测资料为国家自然科学基金重点项目“黄土高原陆面过程试验研究(LOPEX)”(40830957)在定西陆面过程综合观测试验站的资料。定西试验站(35°33'22"N,104°35'37"E)位于定西市西郊农业科技园区内,距离市区边缘约 5 km,海拔 1 860 m,地处黄土高原抬高延伸区,是典型的多沟壑黄土高原地貌区,年平均降水量 386.0 mm 左右,蒸发量却高达 1 400 mm 以上,属于半干旱气

候区,受季风影响比较明显<sup>[24]</sup>。土地利用类型为雨养旱作农田,无高层建筑物和树木,观测试验场地周围比较平坦。

气温和空气湿度资料为梯度塔上 2 m 高处的观测数据;土壤温度为地下 0、10、40、80 cm 深资料;地表感热( $H$ )、潜热通量( $\lambda E$ )由涡旋相关法计算得到:

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (1)$$

$$\lambda E = \rho \lambda \overline{w'q'} \quad (2)$$

其中: $\rho$ 为空气密度; $C_p$ 为空气的定压比热; $w'$ 为垂直湍流速度脉动; $T'$ 为气温脉动; $\lambda$ 为水的汽化潜热; $q'$ 为比湿脉动。其中潜热通量经过了 WPL (Webb Pearman Leuning)修正。观测仪器性能见表 1。其中,观测仪器在观测前已进行了对比试验和校准,选用的观测时间段内(2009 年 7 月 1~5 日)仪器运行正常、稳定。观测时段均为晴天,观测区下垫面植被为马铃薯。

表 1 传感器型号及性能概况

Tab. 1 Specification and performance of the sensor

传感器	型号	精度	产地及厂家
空气温、湿度	HMP45D	温度: $\pm 0.2$ °C; 湿度: $\pm 2\%$	Vaisala, 芬兰
土壤温度	109-L 和 107-L	$\pm 0.2$ °C	Campbell Sci. Inc, 美国
短波辐射表	CM3	$\pm 1\% \cdot a^{-1}$	Kipp&Zonen, 荷兰
土壤热流板	HFP01 SC-L	3%	Campbell Sci. Inc, 美国

## 2 数值模式实验介绍

本研究采用了中尺度模式 MM5 (Mesoscale Model 5)模拟了黄土高原半干旱区陆面特征。模式采用 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)提供的全球 2' (约 4 km)分辨率的地形资料和 USGS (United States Geological Survey)陆面资料,大尺度资料是由 NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research)提供的 ds083.2 FNL (Final Operational Global Analysis)  $1^\circ \times 1^\circ$  的再分析资料(6 h 间隔)。地图投影采用 LAMBERT - CONFORMAL 投影。积分开始时间为 2009 年 7 月 1 日 08:00 (北京时),终止时间为 2009 年 7 月 6 日 08:00,共 5 d,积分步长为 30 s。模式中心位置 107.50°E, 36.60°N, 南北向格点数取 145,东西向格点数取 191,水平格距取 10 km。垂直方向不等分 23 层,模式大气层顶气压为 100 hPa。模式 1 h 输出一次结果。

模式参数化方案如下:(1)积云对流(ICUPA)参数化方案采用 Grell 参数化方案;(2)行星边界层物理过程( IBL TYP)采用 MRF PBL 边界层参数化方案;(3)云物理过程( IMPH YS)选用简单冰相过程;(4)大气辐射方案选择云辐射方案;(5)地面温度(ISOIL)模式方案采用 Noah 地表参数化方案。

MM5 模式中感热通量( $H$ )、潜热通量( $LE$ )、土壤热通量( $G$ )计算公式如下:

$$H = \rho C_p \frac{T_g - T}{r} \quad (3)$$

$$LE = \frac{\rho C_p}{\gamma} \frac{e_s h - e}{r + r_s} \quad (4)$$

$$G = \frac{2\lambda_{isno+1}}{\Delta z_{isno+1}} (T_g - T_{isno+1}) \quad (5)$$

其中,  $\rho$  为空气密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $C_p$  为空气比热容 ( $C_p = 1005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $T_g$ 、 $T$  分别为地表温度和空气温度,  $r$  为空气动力学阻抗 ( $r = 1/(C_H U)$ ),  $C_H$ 、 $U$  为曳力系数、风速,  $r_s$  为土壤表层阻抗,  $e_s$ 、 $e$  为饱和水气压和水汽压,  $h$  为空气相对湿度,  $\gamma$  为干湿表常数 ( $\gamma = \frac{C_p P}{0.622 L}$ ,  $P$  为地表气压,  $L$  为蒸发潜热),  $\lambda_{isno+1}$ 、 $\Delta z_{isno+1}$ 、 $T_{isno+1}$  为地表土壤导热系数、厚度和温度。

### 3 结果分析

以下一方面对模拟结果与观测结果进行对比分析,另一方面分析黄土高原半干旱区夏季晴天陆面特征。以下气温、比湿、地表温度、土壤温度、土壤热通量、辐射、边界层高度的分析都是选取 2009 年 7 月 2 日的结果进行分析。

#### 3.1 气温

选取梯度塔上 2 m 高度处气温的观测值与模拟值进行对比分析。从图 1 中看出,观测值与模拟值的日变化趋势基本一致,且日最高与最低气温出现的时间也相同,然而 10:00 之前,气温模拟值高于观测值,10:00 之后,模拟值略低于观测值。观测资料显示,定西日最高气温出现在 16:00,约为 24 °C,最低气温出现在 06:00,约为 9 °C,气温日较差约为 15 °C;而模式输出的最高气温约为 23 °C,最低气温约为 15 °C,气温日较差为 8 °C,远小于观测的日较差。另外,模拟值与观测值差距最大的时间为 06:00,两者相差 6 °C。

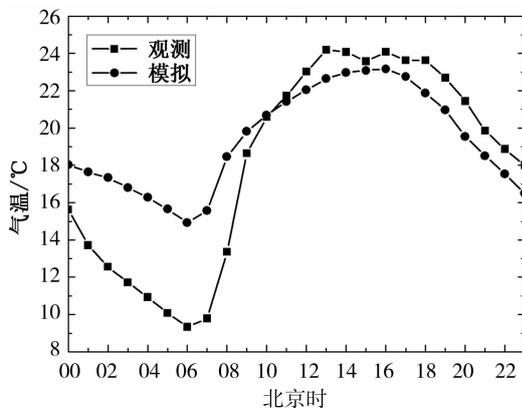


图 1 观测与模拟的气温日变化  
Fig. 1 Diurnal changes of observed and simulated air temperature

#### 3.2 比湿

计算比湿的公式:

$$q = 622 \times 6.11 \frac{U}{P} \times 10^{7.5 U / (237.3 + t)} \quad (6)$$

其中,  $q$  为比湿 ( $\text{g}/\text{kg}$ ),  $P$  为本地气压 ( $\text{hPa}$ ),  $U$  为相对湿度 (%),  $t$  为气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

由观测得到的气压、相对湿度、气温计算比湿,与模拟得到的比湿进行比较分析。由图 2 看出,比湿模拟值与观测值基本相差 1~2  $\text{g}/\text{kg}$ ,10:00 之前模拟值低于观测值,10:00 之后模拟值高于观测值。从观测结果与模拟结果均可以看出比湿在某一时刻突然增大,之后突然减小,从观测结果看这一现象发生在 08:00,而从模拟结果看这一现象发生在 07:00。王胜等<sup>[25]</sup>研究发现定西地区在 20:00 至次日 02:00 时段内露水凝结量较大,而且有增加趋势;02:00 后凝结量减小,露水凝结时间持续到 08:00。从图 2 中看出模拟到的比湿在 20:00 至 02:00 减小,而 02:00 之后增加,与露水的凝结量大小变化时间一致。说明夜晚随着露水凝结量的增加,空气湿度在减小。模拟与观测结果有较大的差异,接下来的工作中有待于进一步改进模式中的相关参数。

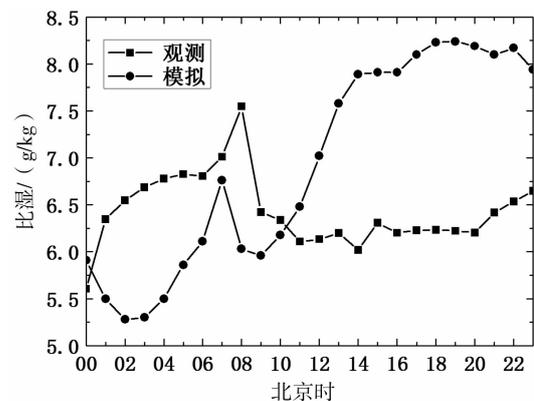


图 2 观测与模拟的比湿日变化  
Fig. 2 The diurnal changes of observed and simulated specific humidity

#### 3.3 土壤温度

图 3a 可见,定西地区地表温度具有明显的日变化,最高地表温度出现在 13:00,比日最高气温出现的时间早,这是由于太阳首先加热地表,再由地表加热近地层大气所致;对比地表温度模拟值与观测值发现,09:00 以前模拟值高于观测值,09:00 以后模拟值低于观测值,温度最高时刻两者相差最大,约 18 °C。鲍艳<sup>[26]</sup>利用 BATS (Biosphere Atmosphere Transfer Scheme)、LSM (Land Surface Model) 模式在敦煌的研究结果发现模拟值与观测值相差约 15 °C。由于模式更多的考虑了陆面状况,而模式中的这种

局地的陆面状况和实际的有一定的偏差(如模式中该地区植被为农作物,而实际观测场具体为马铃薯作物),致使两者相差过大。另外,地表温度模拟值与观测值的对比特征与气温的近似,只是变点提前了 1 h,但就模拟值与观测值最大差值而言,地表温度出现在日最高值时,而气温出现在日最低值时。

从图 3b 中看出,10 cm 深度处土壤温度模拟值与观测值均存在明显的日变化,呈单峰型特征。其中,观测到日最高温度出现在 19:00,而模拟值出现在 17:00,两者相差 4 h;10:00~19:00 时间段内模拟值高于观测值,其它时段模拟值低于观测值,模拟值与

观测值相差最大约 4 °C,出现在 07:00;与地表温度相比,10 cm 深度处的土壤温度无论是观测值还是模拟值最高值出现的时间都相对前者较晚,这符合土壤深层较表层加热滞后的特征。40、80 cm 土壤温度无明显日变化,特别是 80 cm 处的温度基本保持在一个稳定的数值,这说明太阳辐射对土壤的加热随着深度的增大而快速减弱;另外,两深度处土壤温度模拟值均低于观测值,40 cm 两者相差约 4 °C,而 80 cm 相差 6.5 °C 左右(图 3c、3d)。总之,土壤深度越深,土壤温度的日变化越不明显,且其越到深处模拟值与观测值随着深度的增加相差越大。

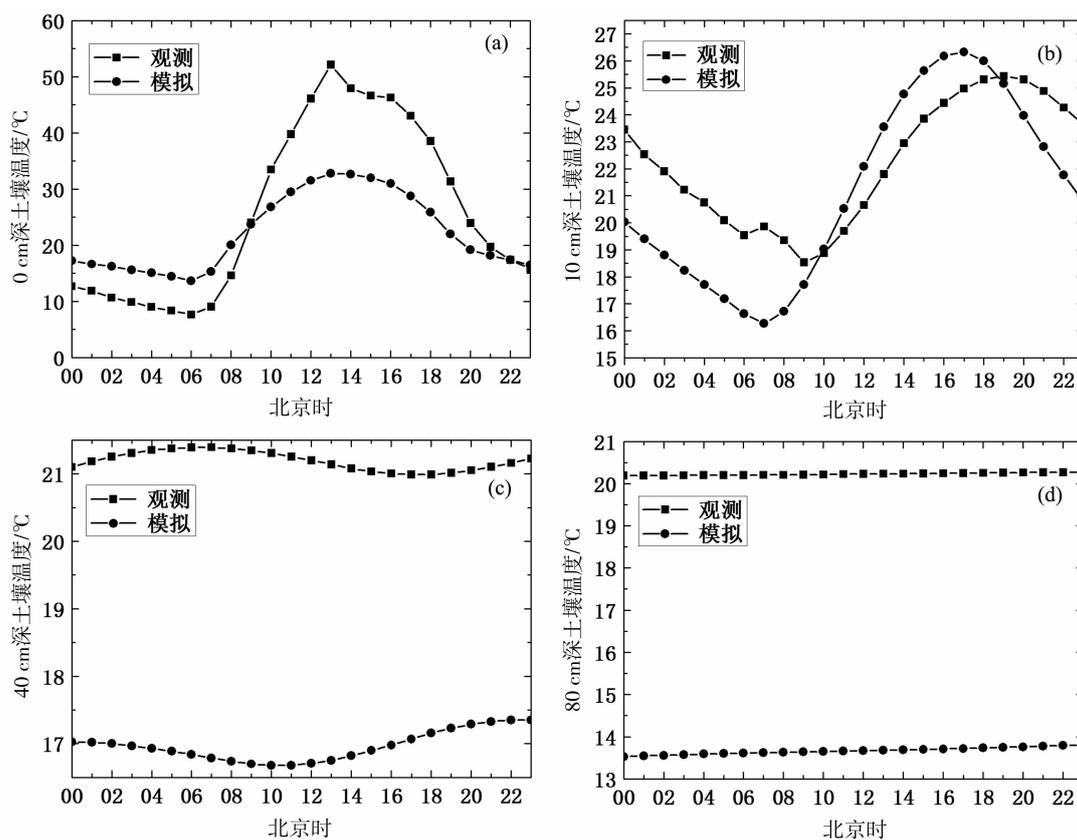


图 3 0(a)、10(b)、40(c)、80 cm(d) 深度处土壤温度观测与模拟值日变化

Fig. 3 Diurnal changes of observed and simulated soil temperature at the depth of 0(a), 10(b), 40(c) and 80(d) cm

### 3.4 短波辐射

图 4 为定西地区模拟与观测的太阳短波辐射日变化曲线。由图 4 看出,处于半干旱地区的定西晴天太阳短波辐射具有典型的单峰型日变化特征,无论是向下的还是向上的,短波辐射模拟值同观测值整体上非常接近。就向下的短波辐射而言(图 4a),全天模拟值略高于观测值,日最大值为 1 000 W/m<sup>2</sup> 左右,同时出现在 13:00,且模拟值偏离观测值最大

的时刻为 14:00,相差 300 W/m<sup>2</sup> 左右;而地表反射辐射,其日最大值为 230 W/m<sup>2</sup> 左右,观测值出现在 13:00,而模拟值出现在 14:00;后者较前者晚了 1 h;另外,模拟值与观测值日变化趋势基本一致,只是模拟值整体略高于观测值,且在 13:00~15:00 和 19:00~20:00 时段模拟值偏离观测值较大(图 4b)。图中太阳短波辐射观测结果 07:00 之前、20:00 之后为负值,是由于仪器漂移原因所致。

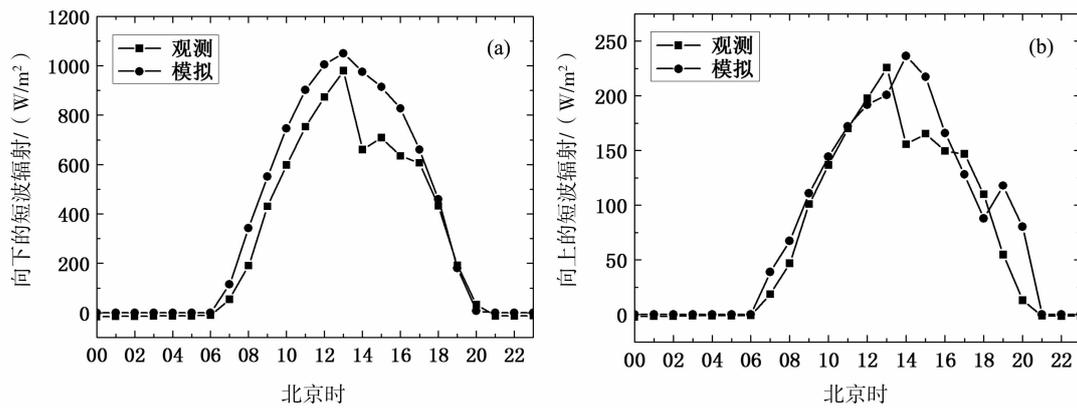


图4 模拟与观测的短波辐射日变化

Fig. 4 Diurnal changes of observed and simulated down (a) and up (b) shortwave radiation

### 3.5 土壤热通量

土壤热通量的观测仪器埋于地下 5 cm 深处。从图 5 中看出,不管是模拟结果还是观测结果,处于半干旱地区的定西土壤热通量均呈单峰型的日变化特征,11:00 之前模拟值略高于观测值,之后模拟值低于观测值,模拟结果与观测结果比较一致,只是观测到的日最大土壤热通量出现在 13:00,约为 120 W/m<sup>2</sup>,而模拟结果出现在 12:00,早于观测结果 1 h。对比辐射的日变化特征发现,土壤热通量的变化特征与辐射的很相似,说明土壤热通量的变化主要受辐射的影响所致。另外,模拟的土壤热通量日变化曲线较观测的光滑,说明观测仪器能够很灵敏的捕捉到土壤热通量的异常变化,而模式不具备这一特点,因此模式中的参数化方案尚需进一步改进。

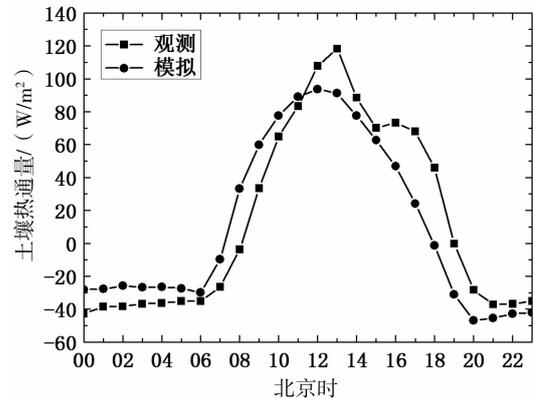


图5 土壤热通量观测与模拟值日变化

Fig. 5 Diurnal changes of observed and simulated soil heat flux

### 3.6 感热和潜热通量

选取 2009 年 7 月 2 ~ 5 日的感热、潜热通量的观测与模拟结果进行分析。从图 6a 可知,定西地区

感热通量日最大值为 300 W/m<sup>2</sup> 左右,模拟值与观测值日变化基本一致,但模拟值略高于观测值,可能是由于观测与模式中计算潜热通量所考虑的因素不

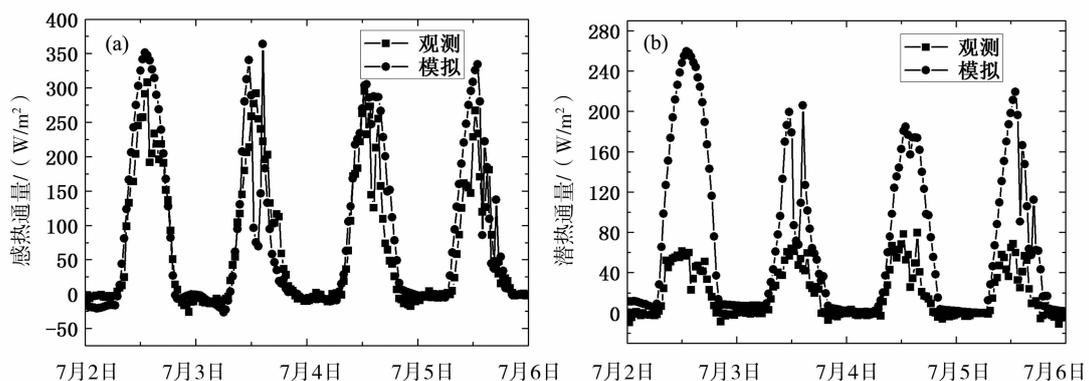


图6 模拟与观测的感热、潜热通量日变化

Fig. 6 Diurnal changes of observed and simulated sensible (a) and latent (b) heat flux

同所致。可见,该模式对于干旱区感热通量的模拟效果要好一些。图 6b 潜热通量图显示,白天模拟值与观测值相差较大,观测到的日最大值为  $70 \text{ W/m}^2$  左右,而模拟值为  $200 \text{ W/m}^2$  左右,两者相比白天模拟值与观测值相差较大,差  $120 \sim 200 \text{ W/m}^2$  左右。而晚上模拟值与观测值相差较小,模拟值略高于观测值。造成白天模拟与观测的潜热通量之间的差异比较大的原因,是:因为研究区域地形比较复杂,观测站点处于一个相对平坦的峡谷地带,而模式地形资料与真实地形之间有一定的差异,这就从而导致了模拟的风速与观测有差异较大;其次,地处半干旱区的定西,空气相对湿度很小,该模式对这种空气湿度小的地区潜热通量模拟效果不是很好,这两方面的原因导致对潜热通量的模拟较差。另外,在半干旱区模拟的感热通量明显大于潜热通量,最大相差  $100 \text{ W/m}^2$  左右,表明在半干旱区热通量以感热通量为主,这与观测结果相吻合。

### 3.7 边界层高度

大气中的能量传输与转换都发生在边界层内,边界层的高度直接影响到大气中能量的输送与转换。由于观测期内未进行边界层高度的观测,以下仅分析数值模拟的结果。从模拟结果看(图 7),在半干旱区的定西,早晨 07:00 以后边界层高度开始急剧增加,至 19:00 后急剧下降,即定西地区大气中的能量交换主要发生在 07:00 ~ 19:00 这一时段。其中白天边界层高度可达到  $2100 \text{ m}$  左右,出现在 16:00,晚上约为  $67 \text{ m}$ 。张强等<sup>[27]</sup>研究发现敦煌地区边界层高度白天可达  $3500 \text{ m}$  左右,即处于半干旱区的定西晴天边界层高度比处于干旱区的敦煌低  $1000 \text{ m}$  多。

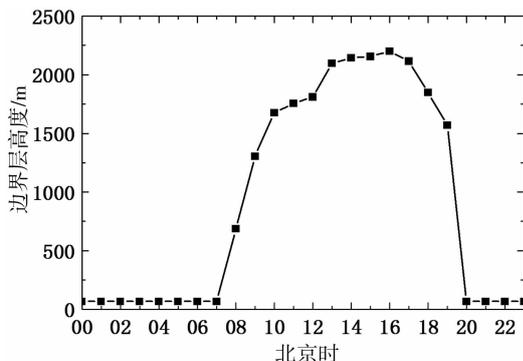


图 7 模拟的边界层高度日变化

Fig. 7 The diurnal change of simulated planet boundary layer height

## 4 结论

(1) 夏季,定西日最高气温出现在 16:00,最低气温出现在 06:00,气温日较差约为  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 夏季晴天,由于太阳首先加热地表,致使定西  $0 \text{ cm}$  处的地表温度日最高温度出现在 13:00,比日最高气温出现时间早,而地表温度日最低值出现时间与日最低气温出现时间相同。定西  $10 \text{ cm}$  深度处的土壤温度存在明显的日变化,而  $40$ 、 $80 \text{ cm}$  深度处的无明显的日变化。土壤热通量与太阳短波辐射的变化很相似,呈单峰型的日变化特征,日最大值出现在 13:00,与地表温度日最高值出现时间相同。

(3) 定西地区空气湿度较低,晴天比湿平均约为  $6.5 \text{ g/kg}$ 。夜晚比湿的变化与露水的凝结量变化时间一致,即随着露水的凝结,空气湿度在减小。

(4) 夏季晴天,定西太阳短波辐射日最大值为  $1000 \text{ W/m}^2$  左右,地表反射辐射日最大值为  $230 \text{ W/m}^2$  左右,两者均出现在 13:00;感热通量日最大值为  $300 \text{ W/m}^2$  左右,潜热通量日最大值为  $70 \text{ W/m}^2$  左右,其感热通量明显大于潜热通量,最大相差  $100 \text{ W/m}^2$  左右,即半干旱区热通量以感热通量为主。

(5) 定西夏季晴天边界层高度,早晨 07:00 以后开始急剧增加,19:00 后边界层高度急剧下降,其中边界层高度最高可达到  $2100 \text{ m}$  左右,比干旱区敦煌的低  $1000 \text{ m}$  左右。

模拟结果与观测结果对各要素日变化形势描述大体一致,尤其是气温、地表温度、土壤温度,短波辐射、感热通量的一致性最好,但数值上还存在一定的偏差,其中比湿、潜热通量偏差最大。模式对近地层气温、辐射、地表温度的模拟效果好于对土壤温度及热通量的模拟,说明地表陆面特征(例如植被覆盖度、植被类型、土壤性质等)对土壤中各要素特征的影响较大,下一步的工作是将依据观测结果修改模式中陆面特征参数,使其更接近实际情况,进而提高模式对土壤中各要素特征的模拟效果。

### 参考文献:

- [1] 张强,胡隐樵,曹晓彦,等. 关于我国西北干旱气候的若干问题[J]. 中国沙漠,2000,20(4):357-362.
- [2] 张强. 简评陆面过程及其模式[J]. 气象科学,1998,18(3):295-304.
- [3] Dickinson R E. Land processes in climate models[J]. Remote Sensing Environ, 1995,55(1):27-38.
- [4] 罗斯琼,吕世华,张宇,等. CoLM 模式对青藏高原中部 BJ 站陆面过程的数值模拟[J]. 高原气象,2008,27(2):259-262.
- [5] 张强,王胜,张杰,等. 干旱区陆面过程和大气边界层研究进展

- [J]. 地球科学进展, 2009, 24(11): 1185 - 1194.
- [6] 张强, 黄荣辉, 王胜. 浅论西北干旱区陆面过程和大气边界层对区域天气气候的特殊作用[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 133 - 136.
- [7] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 4 - 10.
- [8] 张强, 胡向军, 王胜, 等. 黄土高原陆面过程试验研究(LOPEX)有关科学问题[J]. 地球科学进展, 2009, 29(4): 363 - 371.
- [9] 赵鸿, 肖国举, 王润元, 等. 气候变化对半干旱雨养农业区春小麦生长的影响[J]. 地球科学进展, 2007, 22(3): 93 - 98.
- [10] 王润元, 张强, 杨兴国, 等. 西北干旱区春小麦对变暖的响应[J]. 地球科学进展, 2005, 20(特刊): 197 - 201.
- [11] 王胜, 王毅荣. 甘肃春小麦产量时空分布及其气候响应[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 298 - 302.
- [12] Brutsaert W, Stricker H. An advection - aridly approach to estimate actual regional evapotranspiration[J]. Water Resource Research, 1979, 15: 443 - 450.
- [13] 王欣, 文军, 韦志刚, 等. 中国黄土高原塬区表层土壤水分盈亏状况的研究[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 461 - 465.
- [14] 张强, 黄荣辉, 王胜, 等. 西北干旱区陆-气相互作用试验(NWC - ALIEX)及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 427 - 441.
- [15] 韦志刚, 文军, 吕世华, 等. 黄土高原陆-气相互作用预试验及其地表能量平衡特征[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 494 - 497.
- [16] Wen J, Wei Z G, Lü S H, et al. The characteristics of land surface energy and water exchange over the loess plateau mesa in China[J]. Advances in Atmosphere Sciences, 2007, 24(2): 301 - 310.
- [17] 刘远永, 文军, 韦志刚, 等. 黄土高原塬区地表辐射和热量平衡观测与分析[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 928 - 937.
- [18] 王锡稳, 王毅荣, 张存杰. 黄土高原典型半干旱区水热变化及其土壤水分响应[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 123 - 129.
- [19] 张强, 王胜. 关于黄土高原陆面过程及其观测试验研究[J]. 地球科学进展, 2008, 23(2): 167 - 173.
- [20] 张强, 李宏宇. 黄土高原地表能量不闭合度与垂直感热平流的关系[J]. 物理学报, 2010, 59(8): 5888 - 5895.
- [21] 李宏宇, 张强, 王胜. 陇中黄土高原夏季陆面辐射和热量特征研究[J]. 地球科学进展, 2010, 25(10): 1070 - 1081.
- [22] 孙昭萱, 张强, 李宏宇. 黄土高原地区榆中陆面过程气候特征观测试验研究[A]. 第27届中国气象学会年会干旱半干旱地区相互作用分场论文集[C]; 2010.
- [23] 张杰, 张强, 黄建平. 2007年5~10月黄土高原陆面能量通量特征研究[J]. 高原气象, 2010, 29(4): 855 - 863.
- [24] 孙昭萱, 张强. 黄土高原半干旱区陆面温度和能量的气候特征分析[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1302 - 1308.
- [25] 王胜, 张强. 黄土高原半干旱区露水形成的大气物理特征研究[J]. 物理学报, 2011, 60(5): 840 - 847.
- [26] 鲍艳. 裸土下垫面陆面参数化方案改进及区域气候模拟研究[D]. 中国科学院寒区寒区环境与工程研究所博士论文, 2006.
- [27] 张强, 张杰, 乔娟, 等. 我国干旱区深厚大气边界层与陆面热力过程的关系研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 42(9): 1365 - 1374.

## Comparative Analysis of Land Surface Characters Between Observed and Simulated Results on Clear Days in Summer in Semi - arid Loess Plateau

LIU Yuanpu, ZHANG Qiang, WANG Sheng

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

**Abstract:** For finding out the interaction of land and atmosphere in semi - arid Loess Plateau, and taking the Dingxi of Gansu Province as an example, the land surface characters on clear days in summer was simulated by MM5 Model. The simulated results were compared with the observation data at the experimental station in Dingxi. Firstly, it was found out that the simulated temperature, soil heat flux, radiation and sensible heat flux were similar to the observations, while the simulated moisture, ground temperature and latent heat flux differed bigger from the observations. Secondly, the time of the highest value of ground temperature appearing in a day was 3 hours earlier than the daily maximum air temperature in summer fine day in Dingxi, while the lowest value appeared at the same time. The air moisture was lower, and the changes of specific humidity and dew condensing happened at the same time at night. The soil temperature displayed obvious daily variations at the depth of 10 cm, but not at 40 cm and 80 cm. The soil heat flux showed typical daily changes with single peak value at 13:00, and the maximum value of the solar shortwave radiation and the surface reflection radiation appeared at the same time. The sensible heat flux was significantly greater than the latent heat flux in semi - arid area, so the primary heat flux was mainly the sensible heat flux in semi - arid area. The highest value of the boundary layer height was up to about 2 100 m, which was 1 000 m lower than that of Dunhuang in arid area.

**Key words:** MM5 model; land surface characters; clear day in summer; loess plateau; semi - arid area