

HUBEX 试验期间淮河流域陆面过程特征的初步分析*

林朝晖** 杨小松 郭裕福

中国科学院大气物理研究所 LASG, 北京 100029

摘要 通过分析淮河流域能量与水份循环试验(HUBEX)1998~1999年巡回通量观测资料,发现在半湿润季风气候区,对于地表能量平衡而言潜热和感热通量在大多情况下是同等重要的,对于旱地和水田潜热甚至更主要,这与干旱、半干旱地区感热占主导地位完全不同.在晴空条件下,各层土壤温度均表现出一定的日变化特征,且其变化幅度随深度递减,在60cm深处温度日变化已减弱到1℃以下.另外60cm深度也是土壤含水量变化的转折点,因此在该区域可近似把60cm深度作为临界层.同时该流域土壤含水量的垂直廓线随天气背景和土壤类型的不同而不同,且在蒋集站6月份明显存在最大土壤含水量层.

关键词 淮河流域 陆面过程 土壤含水量 感热与潜热通量

许多研究表明陆面过程在气候系统中是十分重要的,特别是在陆面过程作用异常显著的东亚季风区,气候模式中陆面过程的改进可以明显改善模式对东亚夏季风环流及其降水的模拟能力^[1-4].但是现阶段国际上的陆面过程模式仍存在诸多问题^[5],其中很重要的一个原因就是由于缺乏广泛的野外陆面观测资料,尤其在东亚季风区.有鉴于此,中日科学家合作在东亚副热带半湿润地区开展了“淮河流域能量与水分循环试验(HUBEX)”,以深入了解该地区的能量和水分循环以及陆面水文过程特征,从而为发展适用于亚洲季风区的更为完善的陆面过程模式打好基础,以期最终改善全球、区域气候模式的模拟及预测能力.本文利用HUBEX试验的观测数据,对淮河流域近地面层的能量平衡特征进行了分析,同时还对该流域土壤湿度、温度的分布及变化情况进行了初步分析.

1 资料

本文所用的通量和土壤温度资料是HUBEX试验期间利用日本京都大学通量观测系统(KU-AWS)在史灌河流域所观测得到的,包括不同季节(5月,8月)不同下垫面(森林,旱田和水田)的资料,其中感热和潜热是通过Bowen比方法得到的^[6],在这些地点1998年还有3层土壤

2000-09-08 收稿,2000-11-15 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号:49794030)及优秀国家重点实验室研究项目(批准号:40023001)联合资助

** E-mail: lzh@lasg.iap.ac.cn

温度的观测资料(15, 30 和 45 cm). 对于 1999 年五道国站除了上述 3 层以外, 又增加了 60 cm 层土壤温度的观测. 这些资料的观测时间间隔是 2 min 或 10 min, 在分析时将其平均成为 30 min 一次. 具体可参见表 1.

表 1 HUBEX 试验期间能量通量及土壤温度的观测地点和时段

观测项目	能量通量, 土壤温度			
	森林	水田	旱地	旱地
观测地点	汤泉池	鄢岗	双铺	五道国
经纬度	(31.7°N, 115.4°E)	(32.0°N, 115.3°E)	(31.9°N, 115.4°E)	(33.2°N, 117.0°E)
观测时段	1998-05-25 ~ 29 1998-08-22 ~ 27	1998-05-18 ~ 24 1998-08-08 ~ 15	1998-05-10 ~ 18 1998-08-17 ~ 21	1999-06-24 ~ 08-26

本文所用的土壤湿度资料是 1998 年 5 ~ 8 月利用 MP 土壤水分探测仪在史灌河流域的安徽梅山(31.4°N, 115.5°E)、河南鲇鱼山(31.4°N, 115.2°E)和蒋集站(32.2°N, 115.4°E)观测而得的日土壤含水量值, 其垂直观测层次为 6 层(分别为表层, 15, 30, 45, 60 和 90 cm), 且每个测站都有同步的日降水量观测, 具体可参见文献[7].

2 淮河流域近地面层能量平衡特征

图 1 给出 HUBEX 试验中 3 种下垫面(森林、水田和旱地)5 月份近地面层的能量平衡情况. 从图 1(a)中可以看到, 在晴空或少云的天气条件下, 旱地上白天的潜热要明显地大于感热通量, 午间最大差异可达 300 W/m^2 , 在观测期间其平均日 Bowen 比为 0.4; 水田下垫面(图 1(b))情况基本与旱地相似, 晴空或少云时平均日 Bowen 比是 0.26, 表明潜热通量要显著大于感热通量. 但对于森林下垫面潜热与感热通量大致相当(图 1(c)), 晴空或少云时平均日 Bowen 比为 0.95.

在夏季(8 月份)晴天或少云的天气中, 旱地上白天的潜热同样明显大于感热通量(图 2(a)), 其日平均 Bowen 比为 0.27, 比 5 月份明显减小, 这表明夏季(8 月份)的蒸腾作用比春季(5 月份)更强; 在水田下垫面其潜热通量也更大(图 2(b)), 平均日 Bowen 比为 0.13, 基本上接近于海洋的典型日 Bowen 比值(约为 0.1)^[8]; 对于森林下垫面而言, 潜热与感热通量大致相当(图 2(c)), 基本上与 5 月份相似, 其日平均 Bowen 比为 1.05.

以上结果表明, 淮河流域近地面层能量平衡中, 春季和夏季潜热通量和感热通量同等重要, 有时潜热通量的幅值甚至超过感热通量(如旱地和水田), 与干旱、半干旱地区能量平衡过程中感热通量占主导地位的情况完全不同^[9].

3 土壤温度变化特征

图 3 给出 1998 年 5 月份不同下垫面(森林、水田和旱地)、不同垂直层次(15, 30 和 45 cm 深)土壤温度的日变化情况. 可以看出在晴空条件下, 各层土壤温度均有明显的日变化, 幅度随深度递减, 土壤温度的垂直梯度在白天和夜间基本反向. 另外各层土壤温度日较差, 以森林下垫面为最大, 15 cm 处最大可达 10°C , 45 cm 深处仍然在 3°C 左右; 旱地下垫面土壤温度日较差次之; 而水田下垫面垂直各层土壤温度的日较差最小, 这主要是由于春季水田灌溉充足, 各层土壤基本处于饱和的缘故. 对于 3 种下垫面而言, 在晴空条件下 45 cm 深处土壤温度日较差

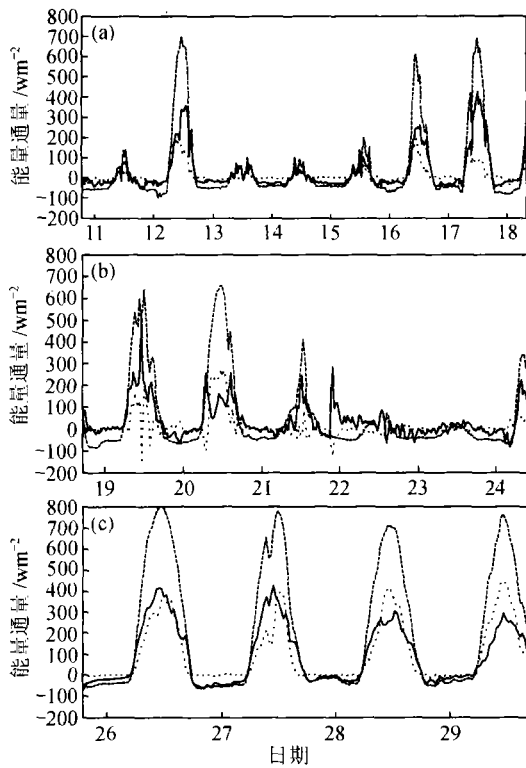


图 1 5 月份近地面层的能量通量分布
(a)旱地;(b)水田;(c)森林

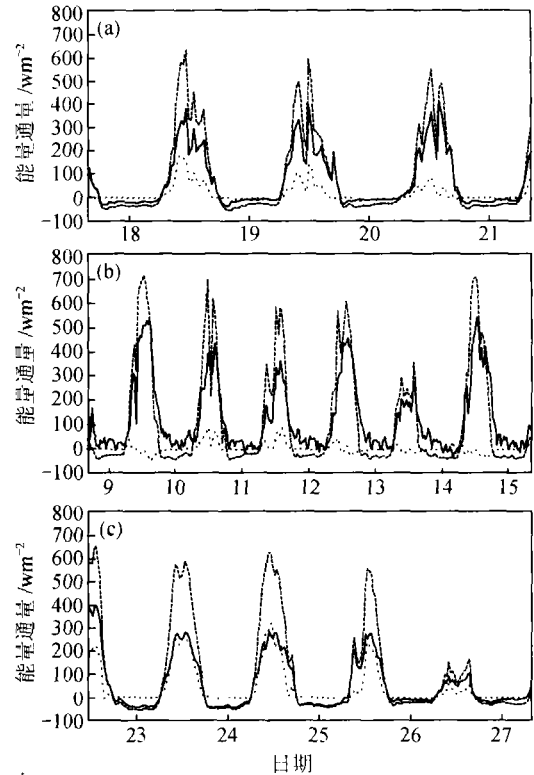


图 2 8 月份近地面层的能量通量分布
(a)旱地;(b)水田;(c)森林

平均大致在 2°C 左右。

1998 年 8 月份的情形(图略)基本上与 5 月份类似,也是以森林下垫面温度日较差最大,水田最小。但总的说来土壤温度日变化幅度比 5 月略有减弱,例如在 45 cm 处,森林下垫面温度日较差在 1.5°C 左右,而对于水田则要小于 1°C ,这主要是因为夏季(8 月份)森林已经比较茂密,而旱地和水田上的庄稼也充分成长的缘故。

图 4 则为 1999 年 6~8 月旱地上观测的近两个月 4 个层次($15, 30, 45$ 和 60 cm 深处)土壤温度的日变化情况。各层土壤温度的日较差同样随深度而减小,与图 3 的结论相一致,在 45 cm 层仍保持在 2°C 左右。但在 60 cm 深处温度日变化已显著减弱到 1°C 以下,表明在该区域 60 cm 深处土壤温度的日变化已不再显著,这个事实对陆面过程模式中土壤的垂直分层具有一定的指导意义。

从上述结果可知,淮河流域各层土壤以森林下垫面的土壤温度日变化最大,旱田次之,水田最小。在 45 cm 深处土壤温度的日变化最大仍可在 3°C 左右(5 月份森林下垫面),对于水田则相对较小;但在 60 cm 深处土壤温度的日变化已不再显著(小于 1°C),而主要表现为月或季节的变化。

4 土壤含水量变化特征

图 5(a)首先给出蒋集站各层土壤体积含水量(单位:%)的时间演变情况。由于各层土壤

含水量的变化基本上取决于蒸发和降水,降水过后从表层到 90 cm 深处各层土壤含水量基本上都增加,而晴天情况下的地表蒸发则使各层的土壤含水量减少,尤其是浅层土壤变化幅度更大.梅山站的情形与蒋集站十分类似(图 5(b)),垂直各层土壤含水量随时间的变化均比较一致,这主要是由于蒋集站和梅山站的土质均较为疏松,土壤的导水率大的缘故.图 5(c)给出鲇鱼山站土壤湿度随时间的演变,可以发现虽然该站浅表层土壤含水量基本上也是随降水及天气状况而变,其规律与蒋集站相类似,但对深层土壤而言(如 90 cm 处)其含水量随时间变化幅度相对较小,这可能是由于鲇鱼山站土质致密、孔隙度小,这样土壤的导水率小,那么在晴天浅层的土壤水分容易被蒸发,而深层的水分则难以蒸发;同时即使在雨天降水也不象蒋集站那样容易下渗.

图 6(a)给出蒋集站在不同月份和天气背景下土壤含水量随深度的变化情况,从中可以发现土壤含水量的垂直廓线在不同情况下并不都是一致的.在 6 月份连续晴天时浅层土壤含水量先是随深度的增加而增加,然后在 30~45 cm 深度间基本上保持不变,随后土壤湿度继续随深度增加

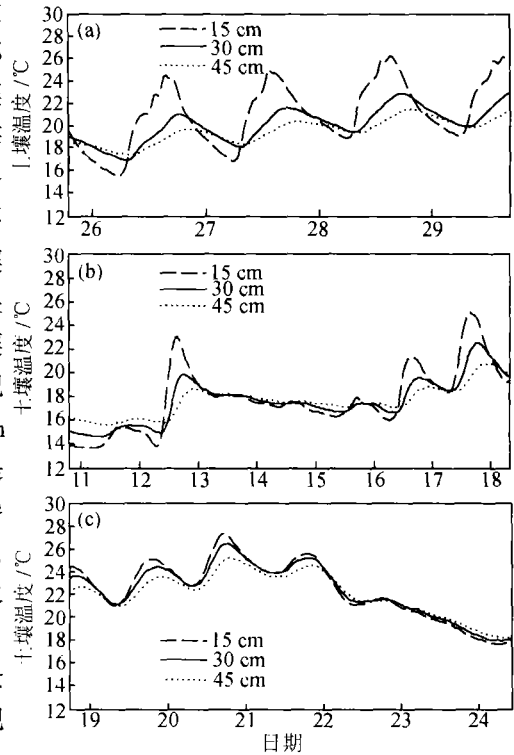


图 3 1998 年 5 月份不同下垫面各层土壤温度日变化
(a)森林;(b)旱地;(c)水田

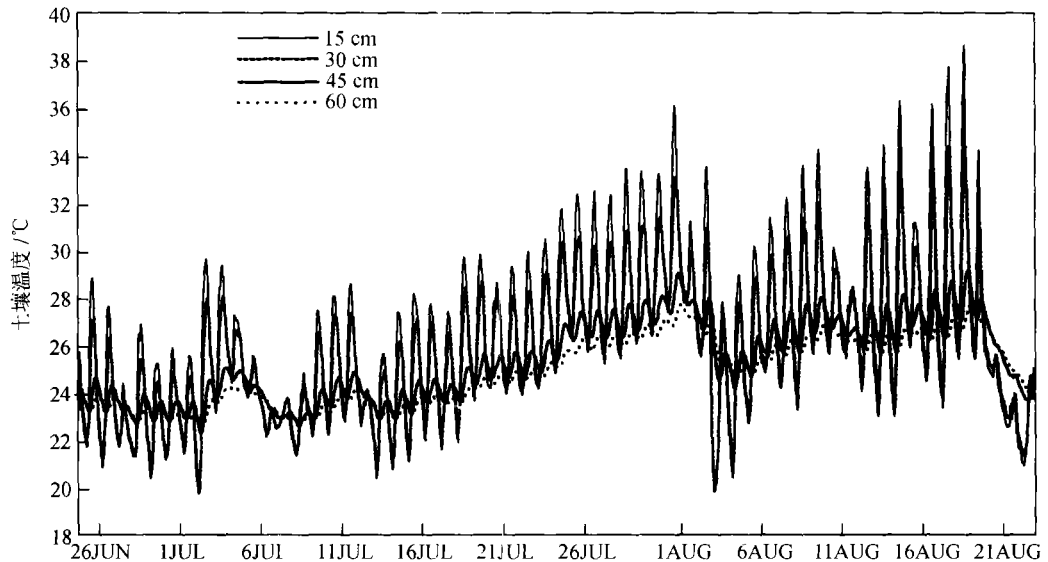


图 4 1999 年 6~8 月旱地下垫面各层土壤温度日变化

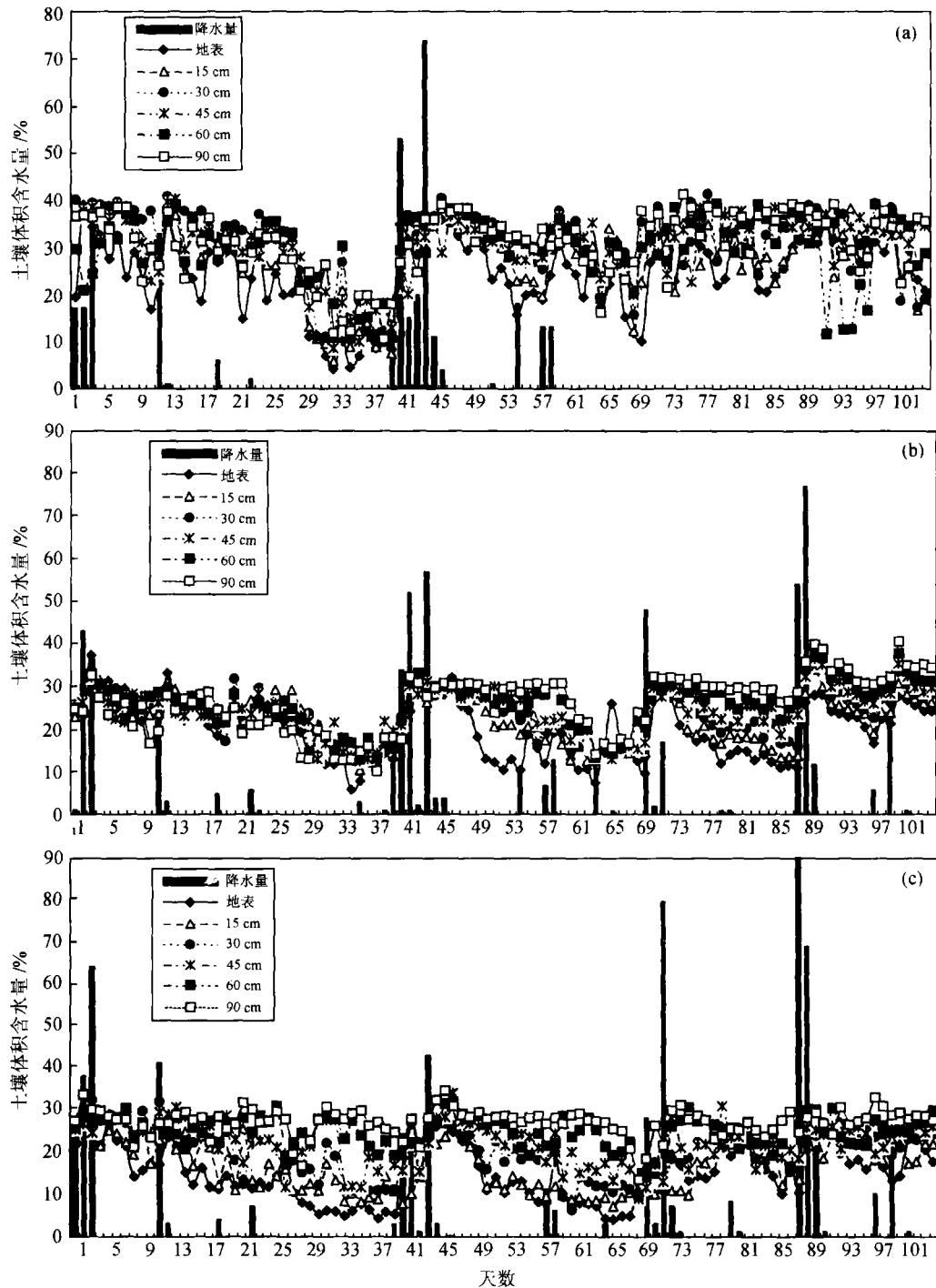


图 5 1998 年 5 月 21 日 ~ 8 月 31 日观测的各层日土壤体积含水量 (%) 和日降水量 (mm)
(a) 蒋集站; (b) 梅山站; (c) 鲇鱼山站

而增大,并在 60 cm 处达到最大(约为 25%),然后随深度的增加反而减小,这表明 6 月份蒋集站土壤在 60 cm 左右存在着—最大含水量层;7 月份连续晴天情况下土壤湿度的分布与 6 月份有些类似,在浅层土壤湿度也是随深度的增加而增加,只是此时最大含水量层位于 30 cm 深度,另外在 60 cm 以下各层土壤湿度基本上已保持不变. 在雨天,尽管在 30 cm 左右深处也存在最大含水量层,但总的说来整层土壤基本上保持相近的湿度(均在 35% 左右),这可能是由于蒋集站的土壤比较疏松,孔隙度大,雨水容易下渗的缘故,因此各层均处于相对饱和的状态.

梅山站的情形与蒋集站则不尽相同(图 6(b)),在 6 月份连续晴天的情况下,浅层土壤(0~15 cm)的体积含水量随深度的增加而增加,随后在 15~60 cm 间土壤含水量基本上保持不变,而在 60 cm 以下,土壤含水量反而随深度而减小了. 这主要是由于该站 6 月份及其前期降水量较少(图 5(b)),整层土壤均较干,即使有少量的降水,也未能渗入深层的缘故. 对于 8 月份连续晴天的情况,土壤含水量随深度的增加而一致增加. 这则是由于整个夏季梅山站的降水较多,而该站土壤较为疏松易于雨水下渗,从而整层土壤含水量相对较大. 那么在连续晴天的情形下,由于蒸发作用使得表层土壤含水量减少,而深层土壤的含水量仍保持在较湿的水平. 在连续雨天的情形下,垂直各层的土壤湿度基本上十分相近,这也是由于梅山站土壤孔隙度较大,雨水容易下渗的缘故.

对于鲇鱼山站(图 6(c))而言,在连续晴天的情况下,无论是 6 月份还是 7 月份土壤湿度均随深度加深而增加,同时并未出现最大土壤含水量层,只是在 60 cm 以下土壤湿度的垂直梯度有所减小;即使对于雨天而言,各层土壤含水量总的趋势还是随深度的加深而增加,只不过其垂直梯度相对晴天要小,另外在 60 cm 深处土壤湿度达到最大,随后随深度的增加反而减少.

上述分析表明:在 HUBEX 观测期间,由于频繁的降水及强烈的蒸发作用使得淮河流域的土壤含水量有较大的起伏,尤其是浅层土壤. 但深层土壤含水量的变化规律同时还取决于土壤质地,对于相对致密的土壤而言,浅层的土壤水容易被蒸发,深层的土壤水分难以蒸发(如鲇鱼山站);而对于相对疏松的土壤而言,在晴空条件下深层的土壤水可以通过向上输送而补充上层水分的蒸发,有降水时上层水分也可以快速渗透至下层,因此深层和浅层的土壤水基本保持相同的变化趋势(如蒋集站和梅山站). 这也正说明了气候模式中正确划分土壤类型的重要性,因为不同的土壤类型遵循着不同的变化规律.

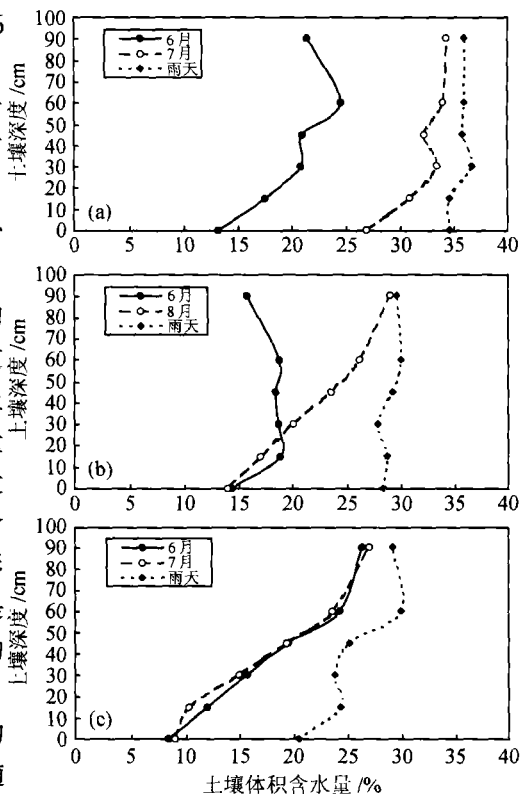


图 6 连续晴天和连续雨天情形下日平均土壤体积含水量(%)随深度变化

(a)蒋集站;(b)梅山站;(c)鲇鱼山站. 图注中雨天代表连续雨天的情形,其余则代表不同月份连续晴天的情形

另外土壤含水量的垂直廓线也是十分复杂的,即使同在史灌河流域也是随天气背景、月份以及土壤质地而变.但大致说来我们可把 60 cm 作为土壤含水量变化的转折点,在 60 cm 以上土壤水分受蒸发的影响比较显著;而 60 cm 以下的深层土壤水则基本上保持在较湿的状态,且深层各层土壤含水量相对较为接近.有人曾发现在中国东部和藏北高原冻土区存在着最大土壤含水量层¹⁾,^[10],通过分析 HUBEX 试验中土壤湿度的垂直分布,我们同样发现在蒋集站也存在明显的最大土壤含水量层.鉴于最大土壤含水量层的形成机制十分复杂的,本文中我们未予以分析,有待以后进一步研究.

参 考 文 献

- 1 Lin Z H, et al. Sensitivity of the IAP two-level AGCM to surface albedo variations. *Theoretical and Applied Climatology*, 1996, 55 (1—4): 157
- 2 Zeng Q C, et al. Simulation of the asian monsoon by IAP AGCM coupled with an advanced land surface model (IAP94). *Advances in Atmospheric Sciences*, 1998, 15(1): 1
- 3 Lin Z H, et al. Simulation of east Asian summer monsoon by using an improved AGCM. *Advance in Atmospheric Sciences*. 1997, 14 (4): 513
- 4 丁一汇,等. 一个改进的陆面过程模式及其模拟试验研究. 第二部分:陆面过程模式与区域气候模式的耦合模拟试验, *气象学报*,1998, 56(4): 385
- 5 Shao Y P, et al. Validation of soil moisture simulation in land surface parameterization schemes with HAPEX data. *Global and Planetary Change*, 1996, 13(1): 11
- 6 Tanaka K, et al. Analysis of energy/water flux data in HUBEX-IOP. In: *Proceedings of Workshop on Meso-scale Systems in Meiyu Front and Hydrological Cycle*, Xi' An, 1999: 94
- 7 彭顺风. 史灌河流域土壤含水量分析. 见:赵柏林,等主编. *淮河流域年能量与水分循环研究(一)*,北京:气象出版社, 1999,182
- 8 Stull R B, *An introduction to boundary layer meteorology*, Dordrecht: Kluwer Academic Pub, 1988, 666
- 9 佺 抗,等. 远离绿洲的沙漠近地面观测实验. *高原气象*,1990, 13(3): 282
- 10 杨梅学,等. 青藏公路沿线土壤的冻融过程及水热分布特征. *自然科学进展*,2000,10(5), 443

1) 马柱国. 中国东部土壤湿度和区域气候变化的关系及一个土壤湿度反演模式的建立. 中国科学院大气物理研究所博士论文,1999