

# 沙坡头人工植被区和流动沙丘上 热量平衡观测研究<sup>1)</sup>

刘树华 辛国君

(北京大学地球物理系 100871)

陈荷生 刘元波 冯金朝 刘立超

(中国科学院兰州沙漠研究所 730000)

## 提 要

采用流动沙丘上人工植被和裸露流动沙丘下垫面近地层微气象实测资料,应用波文比法,计算了近地层感热和潜热通量<sup>2)</sup>,并与作者在防风林干旱裸田和湿润小麦植被农田的结果进行比较分析。结果表明:在雨季的沙坡头地区流动沙丘人工植被上净辐射通量较强,可达 $600\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上,而净辐射的70%左右的能量用于地表的蒸散,而感热散失和土壤贮存能量各占15%左右;裸露流动沙丘上由于地表反射率大而净辐射通量小于植被区,可达 $400\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,净辐射的60%左右的能量用于地表蒸发,感热散失量占15%左右,土壤热贮存占25%左右。在干旱防风林裸田中,净辐射的45%左右的能量作为感热而散失,蒸腾潜热只占35%左右,而土壤贮存的热量占20%左右。在湿润的小麦植被农田上,几乎净辐射的全部能量都用于潜热蒸散。特别在初夏的干燥天气及热平流较强时,潜热蒸散项甚至大于净辐射项,而感热几乎全天为负值,土壤热通量只占净辐射的5%左右。

关键词: 流动沙丘 人工植被 热量平衡

## 引 言

近地面层辐射平衡和热量平衡的分配结构表征了大气与地面之间的湍流交换强弱,是决定小气候形成的基本因素。它与地表植被状况和土壤物理特征及水分含量有关,只有搞清不同地表条件下近地面层辐射平衡和热量平衡的能量分配过程,找出控制小气候形成的主导因子,才能提出改善小气候的措施。因此,近年来国内外气象学家,生态学家和地理学家已在这方面做了大量的工作<sup>[1-9]</sup>。但他们的工作都是在草原、农田、森林及农田防护林网下垫面条件下进行的。目前还未曾见到在流动沙丘上人工植被和裸露

流动沙丘下垫面条件的研究工作。本文根据在我国腾格里沙漠东南缘沙坡头地区流动沙丘上的实测资料,利用波文比法分别计算了感热和潜热通量的日变化特征。并与作者在干旱防护林地区和湿润麦田上的计算结果进行了比较分析。目的在于揭示流动沙丘上人工植被和裸露流动沙丘下垫面近地面层热量平衡各项分配上的差异,了解沙漠人工植被的小气候效应,为沙漠治理改造提供理论依据。

1) 本文为中科院沙坡头沙漠研究开放站基金和北京大学预研基金资助。

2) 本文中的通量均指单位面积上的通量。

本工作是1992年8月在中国科学院沙坡头沙漠科学研究所油蒿和柠条混合人工植被区和流动沙丘区下垫面近地面层进行的。人工植被区植被高度1m左右,覆盖度30%,观测场开阔。流动沙丘微气象观测场离人工植被区边缘约600m,观测场设在具有100m较均匀的沙丘上,人工植被区观测站与流动沙丘观测站进行同步观测。观测项目有:温度、湿度和风速廓线、近地层风向、地温廓线、净辐射通量、土壤热通量、地表及植被温度、云量、天气现象等。

风速廓线测量是采用苏制小型风杯风速表,起动风速为0.6—0.8m·s<sup>-1</sup>,平均时间为20分钟。观测高度分别为:人工植被区0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m; 流沙区0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m。温度和湿度梯度测量是采用阿斯曼通风干湿表,观测高度为:植被区0.5m, 1.0m, 2.0m; 流沙区0.5m, 1.5m。

净辐射通量和土壤热通量分别采用澳大利亚产CN-1型和CN-3型净辐射表和土壤热通量板测量。净辐射通量的观测高度为1.5m,土壤热通量板埋深1cm。净辐射表为通风积分式,每15分钟打印一次积分值,24小时打印一次日累积值。

## 1. 计算方法

计算近地面层感热和潜热通量输送的通用方法是波文比-能量平衡法。通常由下垫面能量平衡方程和感热、潜热通量垂直输送方程求得:

$$R_n = H + \lambda E + G \quad (1)$$

$$H = \rho c_p K_H (\partial T / \partial z) \quad (2)$$

$$\lambda E = \rho \lambda (\epsilon / P) K_w (\partial e / \partial z) \quad (3)$$

式中  $R_n$ ,  $G$ ,  $H$  和  $\lambda E$  分别为净辐射通量,土壤热通量,感热通量和潜热通量( $W \cdot m^{-2}$ );  $\rho$  为大气密度( $1.2897 - 0.0049T$ )( $kg \cdot m^{-3}$ );  $c_p$  为空气定压比热( $1004 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ );  $\lambda$  为水汽化潜热( $2.5 \times 10^6 J \cdot kg^{-1}$ );  $\epsilon$  为水汽分子与干空气分子的重量比(0.622);  $P$  为大气压

力(hPa);  $K_H$  和  $K_w$  分别为热量和水汽垂直输送交换系数( $m^2 \cdot s^{-1}$ );  $\partial T / \partial z$  和  $\partial e / \partial z$  分别为空气温度和水汽压的垂直梯度。

引入波文比定义,即感热通量和潜热通量之比,由式(2)、(3)得:

$$\beta = H / \lambda E = c_p (P / \epsilon \lambda) (\partial T / \partial e) \quad (4)$$

一般认为  $K_H = K_w$ , 由式(1)、(2)、(3)和(4)得:

$$H = (R_n - G) \cdot \beta / (1 + \beta) \quad (5)$$

$$\lambda E = (R_n - G) / (1 + \beta) \quad (6)$$

根据实测  $R_n$ ,  $G$  和  $\beta$ , 即可由式(5)和(6)计算出相应的  $H$  和  $\lambda E$  值。

## 2. 结果分析

图1、2分别为人工植被和裸露流动沙丘下垫面近地面层  $R_n$ ,  $G$  和  $H$ ,  $\lambda E$  的日变化。图中还标出了2m处的风速  $u$ , 相对湿度  $r$ , 波文比值  $\beta$  和总云量  $N$ , 以作为分析时天气条件的参考。在8月10—17日实验观测期间,有一次天气系统过境,8月11日18时,天气转阴,20时开始降雨,到12日06时,共降水14.6mm,8月12日18—21时又降水3.0mm,23时系统移出实验区,天气转晴。

由图1、2可见,由于地表植被和结皮使下垫面反射率下降,致使净辐射通量比裸露流沙下垫面大30%左右。另外,白天日出后,植被区地面迅速吸热增温,贴地层蒸散及热量垂直输送大于流沙区。而夜间植被区地面散热快,气温迅速下降,使近地层大气中的水汽及热量向贴地层输送大于流沙区。

从图1、2中还可看出,人工植被区净辐射通量较强,可达600W·m<sup>-2</sup>以上,而净辐射70%左右的热量用于地表蒸散,感热散失和土壤贮存热量各占15%左右。裸露流动沙丘上,由于地表反射率大而净辐射小于植被区30%左右,可达400W·m<sup>-2</sup>,大约净辐射的60%用于表面蒸发,感热散失量占15%左右,土壤贮存约占25%。

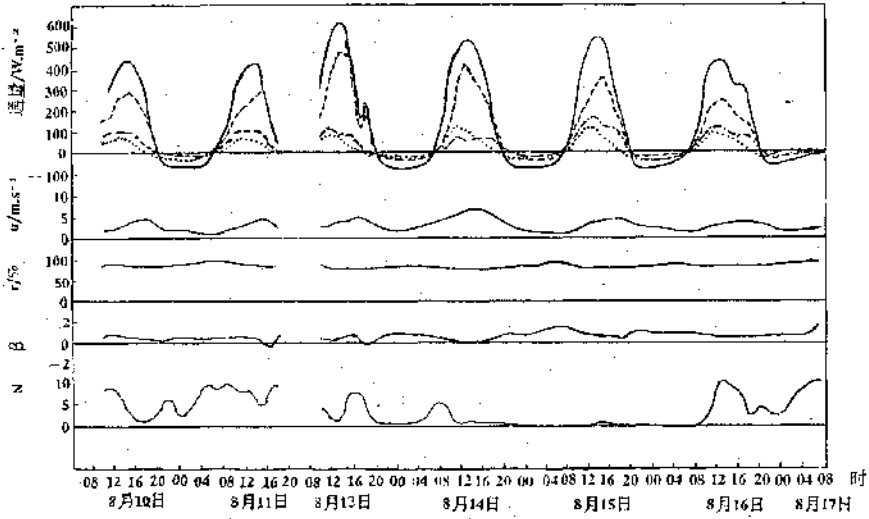


图1 沙漠人工植被近地层热量平衡及  $u$ 、 $r$ 、 $\beta$ 、 $N$  日变化  
 实线:  $R$ , 虚线:  $G$ , 断线:  $\lambda E$ , 点划线:  $H$

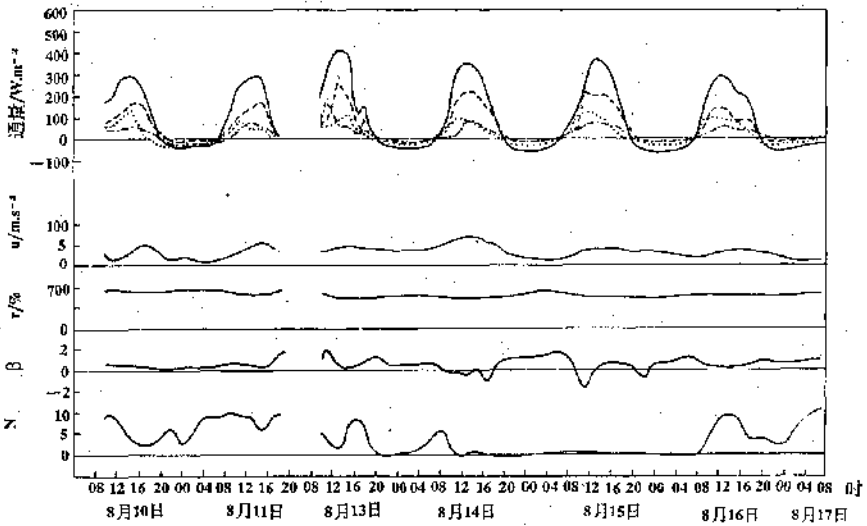


图2 裸露流动沙丘近地面层热量平衡及  $u$ 、 $r$ 、 $\beta$ 、 $N$  日变化  
 说明同图1

为了更清楚地了解沙坡头地区雨季植被区与裸露流动沙丘上热量平衡的日变化特征。图3给出了8月10—17日各分量平均日变化。由图3不但可看出与图1、2共同的热量平衡特征及各分量的分配结构。而且更清楚地看出, 植被区和流沙区净辐射通量的最大值

都出现在13时, 而潜热通量的最大值, 植被区出现在15时, 裸露流沙区则出现在11时。另外, 植被区从09时开始直到夜间, 感热通量大于土壤热通量, 而裸露流沙区从日出不久07时开始直到17时30分, 土壤热通量大于感热通量。这也正是半荒漠地带流动沙丘上人工

## 植被小气候的特点。

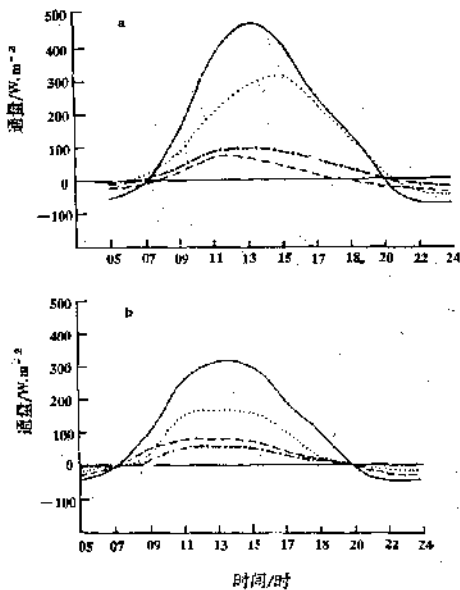


图3 沙漠人工植被(a)和裸露流动沙丘(b)近地层热量平衡各项平均日变化  
实线:  $R_n$ , 虚线:  $AE$ , 断线:  $G$ , 点划线:  $H$

本文结果与作者在地表含沙量较大的干旱防护林裸田中及湿润麦田中测量的热量平衡进行了比较。由于春末干旱防护林裸田极干燥,致使净辐射45%左右的热量作为感热而散失,蒸散潜热只占35%左右,而土壤热通量占20%。在湿润麦田植被上,几乎净辐射的全部热量都用于潜热蒸散,特别在夏初的干燥天气,热平流较强,气温比蒸发表面温度高,有感热传给蒸发表面,从而加大了蒸散量,致使潜热蒸散项甚至大于净辐射项,而感热全天几乎为负值,土壤热通量只占净辐射的5%左右。

## 3 结论

3.1 沙漠人工植被不仅增大了地表粗糙度,有效地减弱了贴地层的风速,起到了防风固沙的作用,还调节了热量平衡各项的重新分配,改善了局地小气候。

3.2 沙漠人工植被区净辐射的70%左右的能量供给表面蒸散,只有约30%的能量供给土壤增温和通过湍流输送给大气,而植物蒸

腾又将水汽输送给大气,这就使得人工植被区相对周围裸露流沙区成为一个湿源,可形成有利于植物生长的良性小气候环境,这对固沙造林改造沙漠具有重要意义。

3.3 沙坡头地区在8月中旬地表和大气中含水量较大,此时有利固沙植物的生长,也是播种的大好时机。

3.4 本文分析的资料虽然只有6天,但是还是较好地代表了沙漠人工植被区和裸露流沙区的热量平衡特征。因这方面的实测研究并不多见,所以我们认为这些结果对沙坡头地区固沙造林改善小气候环境具有一定参考价值。

## 参考文献

- 1 Dyer, A. J. The turbulent transport of heat and water vapor in an unstable atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1967, 93, 501—508.
- 2 Swinbank, W. C., and A. J. Dyer. A experimental study in micrometeorology. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1967, 93, 494—500.
- 3 Gadd, A. J., and J. F. Keers. Surface exchanges of sensible and latent heat in a 10-level model atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1970, 96, 297—308.
- 4 Blaine, L. B., and N. J. Rosenberg. Lysimetric calibration of the Bowen ratio-energy balance method for evapotranspiration estimation in the central great plains. *J. Appl. Meteor.*, 1974, 13, 227—236.
- 5 Oke, T. R. *Boundary layer climates*. Methuen and CO. Ltd, 1978.
- 6 Huband, N. D., and J. L. Montith. Radiation surface temperature and energy balance of wheat canopy. *B. L. Meteor.*, 1986, 36, 107—116.
- 7 刘树华, 农田水分蒸散计算方法的比较. *北京大学学报*, 1989, 25(5), 594—604.
- 8 刘树华等, 防护林地区近地面层湍流结构及通量特征研究. *气象学报*, 1992, 50(4), 429—441.
- 9 刘树华等, 干燥防护林田与湿润农田热量平衡观测研究, 防护林体系生态效益及边界层物理特征研究. 北京: 气象出版社, 1992: 217—223.

(下转第8页)

# Observation Research on Heat Balance of the Artificial Vegetation and Bare Sand Dunes in Shapotou Area

Liu Shuhua Xin Guojun

(Department of Geophysics, Peking University, 100871)

Chen Hesheng Liu Yuanbo Feng Jinzhao Liu Lichao

(Institute of Desert Research, Academia sinica 730000)

## Abstract

The heat balance character of artificial vegetation on sand dunes in Shapotou region were calculated and analysed. The results show that: (1) about 70 percent of net radiation is dispersing as latent flux, about 15 percent is dispersing as sensible heat flux, and about 15 percent is stored in the soil in the artificial vegetation region on sand dunes. (2) about 60 percent of net radiation is dispersing as latent heat flux, about 15 percent is dispersing as sensible heat flux, about 25 percent is stored in the soil in the bare sand dunes. (3) the water vapour content is higher than that of another dry area in Shapotou region.

**Key Words:** sand dunes artificial vegetation heat balance