

山西三大盆地蒸散量的遥感研究

金晓媚¹, 唐 蕴²

1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083
2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044

[摘要] 表面能量平衡系统是应用卫星对地观测的可见光、近红外和热红外波段资料, 结合实测气象数据或大气模式输出数据, 根据表面能量平衡原理估算不同尺度的地表大气湍流通量, 从而估算地表相对蒸散的一种方法。在水文地质、NOAA 卫星及地面气象数据的基础上, 对大同、忻州和临汾 3 个盆地的区域蒸散进行了估算, 评价了区域蒸散的分布规律, 并对其影响因素进行了分析。

[关键词] 蒸散; 表面能量平衡系统; 植被指数

[中图分类号] Q343.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)04-0031-04

Research on Regional Evapotranspiration of Three Basins in Shanxi Based on Remote Sensing Method

JIN Xiaomei¹, TANG Yun²

1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China

Abstract: Using visible and infrared satellite remote sensing data, SEBS (Surface Energy Balance System) is based on land surface energy balance theory combined with the in-situ meteorological data or the product of atmospheric numerical model to estimate land surface turbulent flux and the relative evaporation at different scales. On the basis of hydro-geological data, NOAA satellite data and the meteorological data, SEBS was used in this paper for the estimation of actual evapotranspiration of three basins. The distribution of regional evapotranspiration was evaluated and the influence factors were also analyzed in this paper.

Key Words: three Basins; Evapotranspiration; SEBS

CLC Number: Q343.1

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)04-0031-04

蒸散(Evapotranspiration)既包括从地表和植物表面的水分蒸发, 也包括通过植物表面和植物体内的水分蒸腾, 是一个发生在相当复杂体系内的连续过程。降落到地球表面的降水有 70% 通过蒸发或蒸散作用回到大气中, 在干旱地区可高达 90%, 可见蒸散是陆面水分平衡的重要组成部分; 同时由于水分变成气体需要吸收热量, 因此蒸散也是地表能量平衡的组成部分^[1]。地面热量、水分收支情况很大程度上决定着大气、气候的变

化, 进而决定着地理环境的形成与演变。清楚地认识蒸散的过程和机理, 对了解大范围地表能量平衡和水分平衡具有重要意义, 可以使我们能够深入地认识陆面过程, 清楚地了解陆气相互作用机理, 正确地评估气候和人类活动对生态环境变化的影响。

地表与大气间的作用过程实质上是能量、动量和质量的相互交换过程, 在全球大气环流和气候变化中起着重要的作用, 同时也是各种尺度大气数值模式物理框架中极为关键的

过程。因此, 为了定量地描述地-气间能量、动量和质量的交换过程, 弄清它们的作用机理, 建立区域遥感蒸散模型具有十分重要的现实意义。

计算蒸散模型的发展经历了由简到繁、由经验性到机理性的过程。传统方法有鲍恩比能量平衡法(BREB法)、空气动力学方法、Penman Monteith 公式法、涡旋相关法、气候学计算 Penman 法等; 模拟方法有非同温模式、SIB 及同温模式 NP 等; 遥感模型主要有统计(经验)及半统计模

收稿日期: 2006-12-19

基金项目: 国土资源部地质调查项目(200310400009)

作者简介: 金晓媚, 女, 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 副教授, 主要从事生态水文学方面的研究;

E-mail: jinxm@cugb.edu.cn

型、物理模型和数值模型,其中具代表性的模型有一层热量平衡模型、两层热量平衡模型、简化的地表能量平衡指数(S-SEBI)模型、地表能量平衡系统(SEBS)模型、互补相关模型、表面更新(SR)模型等^[2]。可见,蒸散(发)模型研究历史长、模型方法成熟、种类繁多,但各模型条件不尽相同:有的过于简化,不符合现实情况;有的要求输入参数较多,过于复杂;有的精度不高,而缺乏研究意义,因而都无法大面积推广使用,已逐渐被淘汰。但新近发展起来的遥感模型以其独特的优点已成为陆面蒸散估算的首选方法。遥感技术较其他传统方法相比具有以下两个优点:①提供了外推站点测量或将经验公式应用到更大区域的方法,包括气象资料及其稀少的地区;②遥感资料可以用于计算能量和水分平衡中的变量,如温度等。因而遥感技术用于陆面蒸散研究已成为新的热点。

1 研究区概况

山西省境内由东北至西南依次分布的盆地为大同盆地、忻州盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地及长治盆地。这些盆地总体呈舒缓的“S”形展布于省境中部,且具明显的不对称性。总体地势自东北向西南逐渐降低。各盆地周边以断裂为界,边部为不连续且不对称的黄土台地地貌。盆地边缘洪积物发育,主要为一些形态各异、规模不等的冲洪积扇和倾斜平原。盆地中部为河流堆积形成的洪积、冲积和湖积平原,地势较平坦。

近年来,随着人类活动的加剧,盆地区水资源供需矛盾日益突出。山西是一个矿业大省,对水资源、水环境破坏严重,六大盆地环境问题突出。因此,山西省开展了地下水资源及其环境问题调查评价工作。本研究的目的,是通过区域蒸散量的综合研究,为评价大同、忻州、临汾盆地浅层地下水资源分布及其生态功能提供依据,为相关政府部门统一管理、合理规划利用水资源提供依据。

3个盆地均属于新生代断陷盆地。大同盆地的地理坐标范围为:东经 $112^{\circ}15' \sim 114^{\circ}17'$,北纬 $39^{\circ}05' \sim 40^{\circ}33'$ 。盆地基底受桑干河断裂控制。盆地内主要河流为贯穿全区的桑干河,次之有御河、黄水河及南洋河。忻州盆地经、纬度范围为:东经 $112^{\circ} \sim 113^{\circ}32'$,北纬 $38^{\circ}10' \sim 39^{\circ}30'$ 。滹沱河贯穿整个盆地,尚有阳武河、云中河等在盆地内汇入滹沱河。盆地基底为起伏不平的块状陷落和隆起,基底埋深较浅。临汾盆地的地理范围为:东经 $110^{\circ}22' \sim 111^{\circ}47'$,北纬 $35^{\circ}20' \sim 36^{\circ}23'$ 。横亘中部东西向的塔儿山—九原山隆起,将整个盆地割裂成临汾小盆地和侯马小盆地,整个盆地的沉降中心位于侯马和河津之间。汾河下游流经整个盆地。

山西省地处中纬度地区,属大陆性季风气候,主要特点是:冬季寒冷干燥,时空温差悬殊,夏季降水集中,春秋较为短促,秋季温和晴朗。省内大部分地区年降水量介于400~650 mm之间,多年平均505 mm。在地理分布上表现为从东南向西北递减。山西省内水面蒸发量大致变化在900~1300 mm之间,空间上为西部大于东部。全省多年平均陆面蒸发量为451 mm,南部大于北部。

2 计算原理与方法

2.1 原理

表面能量平衡系统(Surface Energy Balance System, SEBS)是荷兰苏中波研究员等^[3-4]近期开发的应用卫星对地观测的可见光、近红外和热红外波段资料,结合实测气象数据或大气模式输出数据,根据表面能量平衡原理估算不同尺度的地表大气湍流通量,从而估算地表相对蒸散的方法。

表面能量平衡系统估算相对蒸散的理论主要包括4方面:①通过对遥感图像的处理获得一系列地表物理参数,如反照率、比辐射率、温度、植被覆盖度等;②建立热传导粗糙度模型;③利用总体相似理论

(Bulk Atmospheric Similarity, BAS)确定摩擦速度、显热通量和奥布霍夫稳定度;④利用地表能量平衡指数(Surface Energy Balance Index, S-SEBI)计算蒸发比^[5]。

热红外遥感为表面温度的函数,是对表面能量平衡状态的瞬时观测。表面能量平衡是由表面净辐射驱动的,白天主要是太阳短波辐射。在地表,净辐射在感热通量、潜热通量和地面热通量间平衡,任一时刻的地表能量平衡如下

$$R_n = G_0 + H + \lambda E \quad (1)$$

式中 R_n 为净辐射通量, G_0 为土壤热通量, H 为感热通量, λE 为湍流潜热通量(地表蒸发所用能量)。 λ 是水的汽化热,表示一定体积的水通过蒸发从液态变为气态所需的能量, E 为水蒸散通量。

根据能量平衡在最干和最湿两种极端状态下的感热通量特征,SEBS采用下式计算蒸发比 EF 。

$$EF = 1 - \frac{H - H_{wet}}{H_{dry} - H_{wet}} \quad (2)$$

式中 EF 是相对蒸发比,为实际蒸散量与最大蒸散量之比, H_{dry} 是干限状态下的感热通量, H_{wet} 是湿限状态下的感热通量。

日蒸散量

$$E_{daily} = 8.64 \times 10^7 \times \Lambda \times \frac{R_n - G_0}{\lambda \rho_w} \quad (3)$$

式中 Λ 为日蒸发比, ρ_w 为水的密度。

2.2 方法

本研究采用了研究区2003年全年中无云、清晰的NOAA数据/AVHRR资料,除1、2月份无有效数据外,其余月份均有有效数据。同时还选取了与卫星数据时间相对应的研究区共计18个气象站的气象数据,主要包括气象站高程、海平面气压、气温、风速、风向及相对湿度。

进行区域蒸散量的计算必须使用大量气象地面观测站的实际观测资料,并且要将点观测资料通过数据插值计算形成与卫星图像一致的气

象要素图像。本文采用了距离加权平均方法,根据卫星图像的经、纬度文件,将计算需要的各气象要素插值到卫星图像相应的每一个像素上。

3 结果及分析

3.1 3 个盆地月蒸散量变化特点

3.1.1 空间分布特点

从区域分布上,除山区外,大同盆地北部及中东部冲积平原的蒸散量相对较大,盆地中部蒸散量变化不一(见图 1)。忻州盆地,除去山区外,盆地北部及中南部冲积平原及冲积

倾斜平原的蒸散量相对较大,盆地东部及东南部蒸散量变化不一,其南部蒸散量较小。临汾盆地整体蒸散量相对较大。北部及东部边缘黄土台地、汾河两岸冲积平原地区的蒸散量大,盆地中部蒸散量略小。

3.1.2 时间分布特点

3 个盆地月蒸散量的计算结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,2003 年 3 个盆地的月蒸散量均值分布均呈单峰型,在 7、8 月份达到最大值,1、2、11、12 月份蒸散量较低,其余月

份蒸散量居中。究其原因,由于 1、2、11、12 月份研究区气温低,不利于陆面蒸发,故这几个月的蒸散量较低;7、8 月份气温达到最大值,植物的蒸腾作用较强,降雨量大,因此蒸散量也较大。

根据月蒸散量的计算值,得到 2003 年大同盆地的年蒸散量为 674.14 mm,忻州盆地的年蒸散量为 512.28 mm,临汾盆地的年蒸散量为 811.6 mm。

3.2 降雨量与蒸散量的关系

根据大同、原平(位于忻州盆地内)和临汾气象站资料,得到降雨量与月蒸散量的关系见图 3。从图中可以看出,降雨量与月蒸发量有很好的正相关关系。

3.3 蒸散量与植被指数的关系

植被指数是由观测的各种光谱反射率经线性和非线性组合构成的对植被有指示意义的参数,它能有效地从光谱反射辐射观测数据中提取植被信息,便于分析利用。

归一化差异植被指数 (NDVI) 是植物生长状态及植被空间分布密度的指示因子,对绿色植被表现敏感,它可以对农作物和半干旱地区降水量进行预测,该指数常被用来进行区域和全球的植被状态研究^[6]。

NDVI 可直接通过遥感图像计算得到,为近红外波段与可见光波段数值之差和这两个波段数值之和之比,计算公式为

$$NDVI = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \quad (4)$$

植被指数在 0~1 之间变化,植被指数越大,说明植被的发育状况越好^[7]。

通过 2003 年 3 个盆地植被指数的计算结果可以看出,除山区外,植被指数基本与蒸散量区域分布规律一致。根据 3 个盆地植被指数月平均值及月蒸散量的月平均值,得到蒸散量与植被指数之间的关系(见图 4)。结果表明,蒸散量与植被指数呈正相关。植被指数大的地区,植被发育良好,植物的蒸腾作用较强,蒸散量较大。

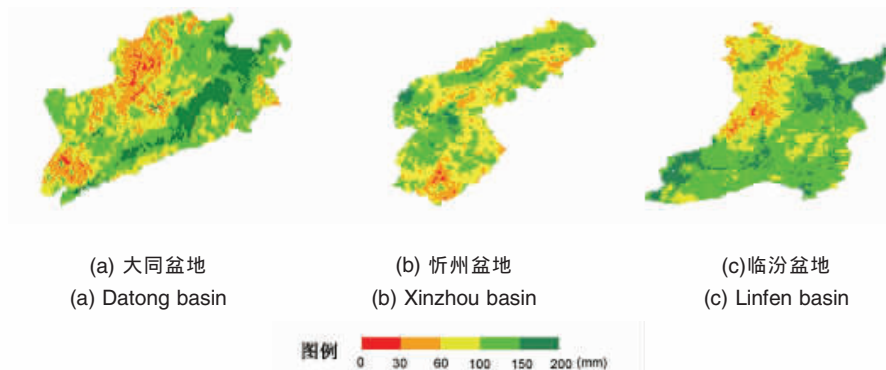
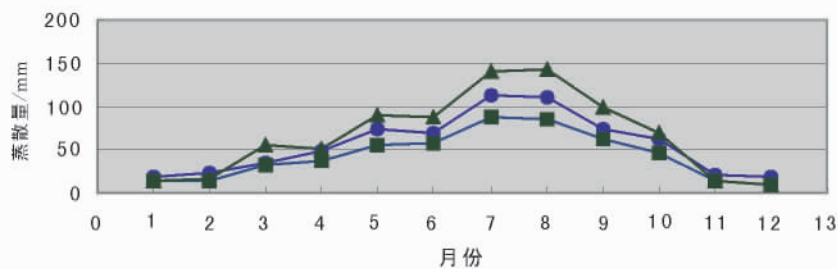


图 1 三大盆地 7 月份蒸散量区域分布图

Fig. 1 Distribution of evapotranspiration for three basins in July



▲-临汾盆地 ■-忻州盆地 ●-大同盆地

图 2 3 个盆地 2003 年月蒸散量平均值变化曲线

Fig. 2 Variation of month average evapotranspiration for three basins in 2003

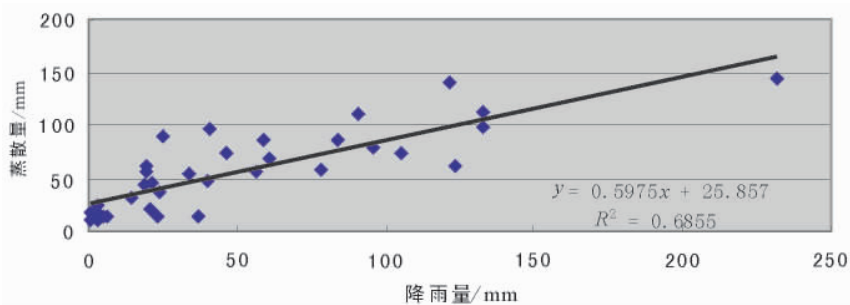


图 3 降雨量与月蒸散量平均值的关系

Fig. 3 Relationship between precipitation and month average evapotranspiration

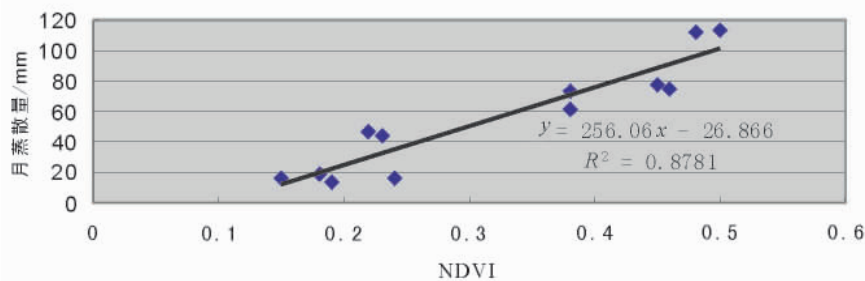


图4 3个盆地植被指数均值与月蒸散量均值的关系

Fig. 4 Relationship between NDVI and month average evapotranspiration for three basins

4 结论

通过对山西省3个盆地蒸散量的计算与分析,得到以下几点结论。

1) 3个盆地的月蒸散量平均值在10~143 mm之间变化,但从总体上看,临汾盆地的年蒸散量最大,忻州盆地的年蒸散量最小。

2) 根据研究区逐月的蒸散量计算结果,7,8月份蒸散量最大,1,2,11,12月份的蒸散量最小。

3) 根据月蒸散量的平均值,估算出2003年大同盆地的年蒸散量约为674.14 mm,忻州盆地的年蒸散量约为512.28 mm,临汾盆地的年蒸散量约为811.6 mm。

4) 蒸散量与降雨量、植被指数有明显的正相关关系,随着降雨量、植被指数的增大,蒸散量也增大。

参考文献(References)

- [1] CHEN J, JÖNSSON P, TAMURA M, *et al.* A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91: 332-344.
- [2] ROERINK G J, SU Z, MENENTI M. S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2000, 25: 147-157.
- [3] SU Z. The Surface Energy Balance

System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2002 (6): 85-89.

- [4] SU Z. Remote sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21: 213-233.
- [5] SU Z, PELGRUM H, MENENTI M. Aggregation effects of surface heterogeneity in land surface processes [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1999(3): 549-563.
- [6] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(4): 327-333. TIAN Qingjiu, MIN Xiangjun. Advances in study on vegetation indices [J]. *Advance in Earth Science*, 1998, 13(4): 327-333.
- [7] 沈志. NOAA/AVHRR数据在植被生态环境监测中的应用探讨[J]. *干旱环境监测*, 1997, 11(2): 98-103. SHEN Zhi. Application of weighted range interpolation to the date processing of atmospheric environment assessment [J]. *Arid Environmental Monitoring*, 1997, 11(2): 98-103.

(责任编辑 王士泉)

·科技智力游戏·

好玩的数学——抛币问题

取1枚均匀硬币连续抛掷多次,可能得到各种结果。如:正,反,正,反,反,正,反,正,正,……

考虑在这种抛掷中长度为2的组合,容易知道这样的组合共有4种:正,正;正,反;反,正;反,反。

我们的问题是:在这种连续抛掷中,平均每抛多少次硬币,将出现一次“正,正”的组合?

上期“合理分配赌金问题”答案

考虑剩下未赌的局数。容易明白,最多再赌3轮可以结束这场赌博。仅赢3局的赌徒乙需连赢3局才能取胜,每局输赢可能占半,赌3轮而连赢3局的可能性仅为1/8,在其他情况下已赢5局的赌徒都将获胜,其可能性为7/8。因此,已赢5局的赌徒甲与仅赢3局的赌

徒乙如果不中断赌博的话,其获胜的可能性为7:1,自然按这个比例分配赌注是合理的。

帕斯卡与费马的通信从7月持续到10月,两人共通了7封信,他们不仅解决了这类问题的一些特例,而且研究并解答了一般表述下的“合理分配赌注问题”:两个赌徒相约赌若干局,谁先赢s局就胜利,现在一人赢a(a<s)局,另一个赢b(b<s)局时,赌博因故中止,问赌金怎样分配才算合理?进而,两人讨论了参与者多于两人时的赌金分配问题,并取得一致的结果。

正是这些具有历史意义的通信,宣布了一个全新数学分支——概率论的诞生。而帕斯卡与费马也一同成为这门数学理论当之无愧的先驱。

(供稿 韩雪涛 责任编辑 黄永明)