

基于 NOAA/ AVHRR 数据估算 三江平原蒸散量研究初探

杜嘉^{1,2}, 张柏¹, 宋开山¹, 王宗明¹, 曾丽红^{1,2}, 金翠^{1,2}, 黄妮^{1,2}

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 蒸散量是水资源相互转化过程中非常重要但又难以定量确定的要素之一。SEBS (Surface Energy Balance System) 模型是通过遥感数据计算区域蒸散量的重要模型, 该模型可以在较少地面信息的情况下获得蒸散量的区域分布信息, 同时具有较高的精度。采用 SEBS 模型, 利用 NOAA/ AVHRR 数据对我国重要的商品粮基地三江平原区域蒸散量进行了研究, 并通过实测数据对估算结果进行了验证。结果表明: 从时间分布来看, 三江平原蒸散量总体上表现为从 4 月开始逐渐上升, 7 月达到最高值, 8 月后不断下降。在此基础上, 探讨了三江平原蒸散量时间分布的原因。同时, 结合研究区的土地利用类型, 对三江平原区域蒸散量空间分布进行了分析, 各种土地利用类型生长季平均蒸散量从大到小可以排列为: 林地 > 水域 > 湿地 > 水田 > 旱田 > 草地 > 居工地。

关键词: NOAA/ AVHRR 数据; 蒸散量; 三江平原; SEBS

中图分类号: P426.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0056-07

Estimated Evapotranspiration Based on NOAA/ AVHRR Data in the Sanjiang Plain

DU Jia^{1,2}, ZHANG Bai¹, SONG Kai-shan¹, WANG Zong-ming¹, ZENG Li-hong^{1,2}, JIN Cui^{1,2}, HUANG Ni^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Science, Changchun 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Evapotranspiration (ET) is one of the most significant component of the hydrologic cycle. Among the several ET estimation methods, the remote sensing method is regarded as the only technology that can efficiently and economically provide regional and global coverage of actual consumption. The SEBS (Surface Energy Balance System) has been designed to calculate the energy portioning at the regional scale with minimum ground data and has been verified at many places in the world including China. SEBS is a satellite image-processing model for computing ET maps for large areas. This paper used the SEBS method to estimate ET according to NOAA AVHRR data in the Sanjiang Plain in Heilongjiang province of China. The result was validated by observed data. Results showed that evapotranspiration increased in April, decreased in August and reached the peak in July. The reason of temporal distribution was also analyzed. Meanwhile the spatial distribution of ET was analyzed by the land-use pattern. The average ET of these land-use patterns during growing season were in the order of forest, waters, wetland, paddy, dry land, grassland, resident and industry land from big to small.

Key words: NOAA/ AVHRR data; evapotranspiration; Sanjiang Plain; SEBS

降雨或灌溉进入土壤中的水分, 一部分经植被的根、茎叶和土壤表面向大气层运移, 一部分向下运动, 以入渗的形式补给地下水, 组成了水文循环理论中的一个重要过程, 也是包气带水分运移及现代灌溉理论的重要基础。在这一水分循环系统中, 作物棵间表土蒸发和作物蒸腾过程, 是该系统定量分析

中最为关键的环节之一。时空尺度陆面蒸散量的精确评价不仅能为发展节水农业提供重要的理论依据, 而且对于区域水循环研究及流域尺度地下水资源补给的定量评价具有重要的现实意义^[1]。

随着遥感技术的发展, 多时相、高分辨率、多频谱及倾斜角度的卫星遥感资料能够较客观地反映出

* 收稿日期: 2008-10-07

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-356); 中国科学院“东北之春”人才培养计划

作者简介: 杜嘉 (1980-), 男, 吉林省通榆县人, 在读博士, 从事定量遥感和蒸散遥感估算研究。E-mail: horizon@126.com

通信作者: 张柏 (1962-), 男, 吉林省吉林市人, 研究员, 从事景观遥感研究。E-mail: zhangbai@neigae.ac.cn

下垫面的几何结构和湿热状况,特别是表面和下垫面的干湿差异(即土壤含水量的水平非均匀状况),陆面蒸发蒸腾的遥感反演已成为目前蒸发研究的新热点,至今已取得大量成果。其中,Su 提出的地表能量平衡系统(SEBS)考虑了热传导粗糙度模型及表面变量与不同尺度大气边界层之间的相似性理论,故在遥感蒸发计算方面有较高精度^[2]。

三江平原地处中温带北部,位于黑龙江省东北部,完达山以北广大平原区。地理位置介于北纬 46°31'28" - 48°27'56",东经 131°43'20" - 135°05'26"。位于中国东北角,西起小兴安岭东南端,东至乌苏里江,北自黑龙江畔,南抵兴凯湖,总面积 10.08 万 km²。是我国重要的商品粮生产基地之一,其自然资源丰富,地理位置优越,开发潜力巨大,但大规模的农田开发也引起一系列问题,如井灌水稻引起的地下水位持续下降严重地威胁着周边湿地的安全以及区域农业的可持续发展等。因此,三江平原水资源的合理开发利用是目前研究的热点,在水资源平衡各分量中,蒸散发量却最难以获得,因此,利用遥感技术研究三江平原蒸散发量,不仅具有一定的理论价值,而且对区域水资源的合理开发利用也有较大的实用价值。

在 SEBS 模型的基础上,以三江平原为例,采取 NOAA / AVHRR 数据,根据研究区下垫面的实际情况进行了参数估算,进行了区域实际蒸散发量计算及模型精确度评价。并在此基础上结合研究区的地面覆盖,对三江平原区域蒸散发分布进行了分析。

1 蒸散(发)遥感模型主要进展及地表能量平衡系统(SEBS)模型

1.1 蒸散(发)遥感模型主要进展

蒸散发是水资源相互转化的一个非常重要的过程,但区域蒸散发量的研究一直进展缓慢,到了 20 世纪后期,随着遥感和 GIS 技术的发展,区域蒸散发的研究才有了较大的发展,如 Brown 和 Rosenberg^[3]提出了作物阻抗-蒸散模型,为热红外遥感温度应用到蒸散模型提供了理论依据;Idso 等^[4]发展了用遥感估算潜在蒸散的经验模型;Jackson 等^[5]建立了每日一次的热红外冠层空气-温度差与日蒸散的统计模型;Suguin 等^[6]人研究了用卫星获得的中午地表温度估算每日蒸发;张仁华等^[7]提出了以微分热惯量为基础的地表蒸发全遥感信息模型;Roerink (1999)^[8]提出了地表能量平衡指数(S-SEBI)模型等。这些定量遥感模型为遥感在水资源中的利用奠定了较好的基础,但由于在反演地表特

征参数时一般需要非遥感信息,如风速等,因而限制了这些遥感模型的广泛应用。

1.2 基于能量平衡的 SEBS 方法原理

地表能量平衡系统(SEBS)模型是基于陆面能量平衡原理的,即地球表面所获得的净辐射能等于土壤热通量、感热通量和潜热通量之和,即

$$R_n = G_0 + H + E \tag{1}$$

式中: R_n ——净辐射通量; G_0 ——土壤热通量; H ——湍流显热通量; E ——湍流潜热通量(地表蒸发所用能量)。

净辐射通量 R_n 是地球表面所获得的各种辐射之和,由式(2)获得,即

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + R_L - R_L - (1 - \alpha) R_L \tag{2}$$

式中: α ——地面反射率; R_s ——下行的太阳短波辐射; R_L ——下行的长波辐射; R_L ——上行的长波辐射; α ——地面比辐射率。

土壤热通量 G_0 由式(3)计算,即

$$G_0 = R_n \cdot [f_c + (1 - f_c) \cdot (\alpha - \alpha_c)] \tag{3}$$

在地表全部被植被覆盖时,地面土壤热通量 G_0 与净辐射 R_n 的比值 $\alpha_c = 0.05$;地面为裸土时, $\alpha_c = 0.315$; f_c 为地表植被覆盖率,用来描述植被的不同覆盖程度,可由遥感影像获得。

显热通量的计算基于相似性理论,联立求解以下非线性方程组获得

$$\begin{aligned} u &= \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{h - d_0}{Z_{om}} \right) - \frac{m}{L} \left(\frac{h - d_0}{L} \right) + \frac{m}{L} \left(\frac{Z_{om}}{L} \right) \right] \\ 0 - h &= \frac{H}{k u_* C_p} \left[\ln \left(\frac{h - d_0}{Z_{om}} \right) - \frac{m}{L} \left(\frac{h - d_0}{L} \right) + \frac{m}{L} \left(\frac{Z_{om}}{L} \right) \right] \\ L &= - \frac{C_p u_*^3 \cdot v}{k g H} \end{aligned} \tag{4}$$

式中: h ——距地表的高度; ρ ——空气密度; C_p ——定压比热; $k = 0.4$,为 von Karman 常数; d_0 ——零平面位移高度; θ_0 ——地表位温; θ_h ——高度 h 处的位温; g ——重力加速度; v ——近地表虚位温; $u_* = (\theta_0 / \theta_h)^{1/2}$,为摩擦速度; L ——Obukhov 长度; Z_{om} ——动量传输粗糙度; Z_{oh} ——热传导相对粗糙度; m 和 h ——动量和显热传输稳定度订正函数。

考虑到地表能量平衡系统中的“干限”与“湿限”两个极端情况,相对蒸发量(Q)由式(5)确定,即

$$Q = \frac{E}{E_{wet}} = 1 - \frac{E_{wet} - E}{E_{wet}} = 1 - \frac{H - H_{wet}}{H_{dry} - H_{wet}} \tag{5}$$

式中: H_{wet} 与 H_{dry} ——“湿限”、“干限”2 种极端情况下的显热通量; E_{wet} ——“干限”极端情况下的湍流潜热通量。在干限状态下,没有蒸发发生,所有可获得的能量都被用来使大气升温。在湿限状态下,显热通量则最小。

最终,蒸发比可以表示为

$$Q = \frac{E}{R_n - G_0} = \frac{Q_{daily} \cdot E_{wet}}{R_n - G_0} \quad (6)$$

在求出蒸发比以后,日蒸发量可以由式(7)确定。

$$E_{daily} = 8.64 \times 10^7 \times \frac{Q_{daily} \cdot R_n}{w} \quad (7)$$

式中: E_{daily} ——实际日蒸发量,单位为 mm/d; Q_{daily} ——日蒸发比,在蒸发比已知的情况下可通过 SEBS 估算; R_n ——日净辐射通量; ——汽化潜热通量,单位为 J/kg; w ——水的密度,单位为 kg/m³。

1.3 地表特征参数的遥感反演

(1) 归一化植被指数 (NDVI)。NDVI 是表征区域植被覆盖的重要指标,根据遥感影像的近红外波段与红外波段的亮度值 $_{nir}$ 和 $_{red}$ 求得,即

$$NDVI = \frac{_{nir} - _{red}}{_{nir} + _{red}} \quad (8)$$

(2) 植被覆盖指数 (FVC)。植被覆盖指数 (FVC) 是陆表能量平衡系统中一个重要参数,可根据归一化植被指数 (NDVI) 求得^[9],即

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (9)$$

式中: $NDVI_{max}$ 及 $NDVI_{min}$ 分别代表地表全部被植被覆盖和为裸土时的归一化植被指数值。

(3) 叶面积指数 (LAI)。叶面积指数 (LAI) 是陆面过程中的一个十分重要的结构参数,是表征植被冠层结构最基本的参量之一。在干旱半干旱地区,地表植被覆盖相对较低时,叶面积指数可由式 (10) 确定^[10],即

$$LAI = (NDVI \cdot \frac{1 + NDVI}{1 - NDVI + NDVI})^{1/2} \quad (10)$$

式中: $_{NDVI}$ ——归一化植被指数的标准差。

(4) 比辐射率 (ϵ)。比辐射率占可根据 Van de Griend 等人的经验公式确定,即

$$\epsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(NDVI) \quad (11)$$

(5) 动量传输粗糙度 (Z_{om})。动量传输粗糙度 (Z_{om}) 可根据冠层湍流模型,利用近地表风速和植被参数 (株高和叶面积指数) 等信息进行估算^[11-12]; 当上述信息都无法获取或不方便使用时,可根据归一化植被指数估算^[10],即

$$Z_{om} = 0.005 + 0.5 \left(\frac{NDVI}{NDVI_{max}} \right)^{2.5} \quad (12)$$

2 遥感数据和其他数据的处理

2.1 NOAA / AVHRR 数据特点及其处理

NOAA / AVHRR 数据共有 5 个通道, Ch1、Ch2 为可见光和近红外通道, Ch3、Ch4、Ch5 为中红

外和远红外通道; 空间分辨率为 1.1 km, 部分地区为 4 km; 辐射分辨率较高, 温度分辨率达 1 °C; 资料时序较长, 自 1982 年以来的资料几乎都可以免费从 Internet 上获取; 重访周期为 1/2 天, 时间分辨率较高, 有利于长时间序列蒸散量的计算^[13]。所以, 本次主要采用 NOAA / AVHRR 数据研究三江平原区域蒸散量。但 NOAA / AVHRR 数据变形大, 几何畸变较严重, 因此要利用 AVHRR 1B 数据集中提供的定标系数、太阳高度角及卫星探测角等参数, 对 NOAA / AVHRR 数据分步进行辐射定标、几何纠正、裁减和图像配准等处理。

2.2 SRTM DEM 数据及其处理

SRTM 数据主要是由美国太空总署 (NASA) 和国防部国家测绘局 (NIMA) 联合测量的, SRTM 的全称是 Shuttle Radar Topography Mission, 即航天飞机雷达地形测绘使命, 2000 年 2 月 11 日上午 11 时 44 分, 美国“奋进”号航天飞机在佛罗里达州卡那维拉尔角的航天发射中心发射升空, “奋进”号上搭载的 SRTM 系统共计进行了 222 h 23 min 的数据采集工作, 获取北纬 60° - 56° 之间, 面积超过 1.19 亿 km² 的 9.8 万亿字节的雷达影像数据, 覆盖全球陆地表面的 80% 以上, 该计划共耗资 3.64 亿美元, 获取的雷达影像数据经过两年多的处理, 制成了数字地形高程模型, 该测量数据覆盖中国全境^[14]。

SRTM 数据每经纬度方格提供一个文件, 精度有 1 arc - second 和 3 arc - seconds 两种, 称作 SRTM1 和 SRTM3, 或者称作 30 m 和 90 m 数据, SRTM1 的文件里面包含 3601 × 3601 个采样点的高度数据, SRTM3 的文件里面包含 1201 × 1201 个采样点的高度数据。目前能够免费获取中国境内的 SRTM3 文件, 是 90 m 的数据, 每个 90 m 的数据点是由 9 个 30 m 的数据点算术平均得来的。本文采用的 DEM 数据就是这种 90 m 的数据, 由于 SRTM 数据本身也存在一定的误差, 所以根据研究区实际情况对数据进行一定的校正^[15-16]。

2.3 地面气象数据和验证数据及其处理

选取了与卫星数据时间相对应的研究区内及周边共计 11 个气象站的气象数据, 主要包括相对湿度、风速、大气温度、实际水汽压及每日日照时数等运行 SEBS 模型所需的气象数据。数据预处理主要包括数据的时间插值 (以获得卫星经过瞬间的气象数据) 以及作物蒸散量 (E_{T0}) 的计算等。

在蒸散发量计算过程中, 需要卫星过境时的瞬时气象资料, 主要根据当地气象站的资料经推算得到, 如瞬时温度, 假定一天中最高温度出现在 16:

00 ,最低温度是早上 4 :00 ,则

$$T(h) = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \times \sin\left[\frac{2\pi h}{24} - \frac{5\pi}{6}\right]$$

(13)

式中 : $T(h)$ —— 某一时刻 h 的瞬时温度 ; T_{\max} —— 日最高温度 ; T_{\min} —— 日最低温度^[13]。

2.4 土地利用/ 覆盖数据的获取

土地利用/ 覆盖数据获取流程如下 : 将 1 100 000 地形图扫描输入计算机 , 进行投影处理。以 1 100 000 地形图作为主控数据源 , 将 1995 年 Landsat TM(ETM) 数据与 1 100 000 地形图进行配准。在 GIS 环境下 , 根据不同土地覆盖类型的影像色调、纹理等特征 , 建立相应的遥感解译标志 , 进行人机交互式判读 , 进行查错修改和拼接 , 得到 1995 年土地利用/ 覆被数据。进行土地利用数据矢量化获取的提取方法参考了《东北地区土地利用/ 覆被时空特征分析》^[17]。数据处理平台为 ENVI 4.0、ArcView 3.2 和 ArcGIS 9.0。

根据研究区的特点和分析精度要求 , 参照《土地利用现状调查技术规程》^[18] 和《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》^[19] , 将研究区土地利用类型进行归并处理 , 共分为 7 种类型进行统计分析 , 这 7 种类型分别为水田、旱田、林地、草地、水域、城乡工矿用地 (文中简称为居工地) 和湿地。其中 , 湿地包括沼泽地和滩地等天然湿地 , 不包括人工湿地。遥

感影像提取土地利用信息的过程中 , 应用了各种来源的与土地利用相关的图件数据 (如不同时期的地形图、三江平原植被图、土地利用规划图、各县市的土地资源详查图、沼泽分布图、中低产田分布图等) 作为辅助参考数据 , 以提高解译精度。地形图上有些地类界不是很清晰 , 加之数据来源不同 , 因此数据精度与 TM 影像解译的空间数据会存在一定的不匹配现象 , 但这并不影响大区域的宏观趋势分析。

3 计算结果及其讨论

3.1 蒸散量计算结果的验证及其误差分析

通过遥感手段计算蒸散量在三江平原是第一次尝试 , 其计算结果是否反映实际情况 , 需要通过实践检验。位于三江平原上各类野外台站对蒸散发的实际观测值较少 , 因而不能做系统的比较 , 对 1995 年的整年图像来说 , 仅有一个站点的 7 d 共 7 个观测值可供比较^[20] , 该站点为东北农业大学在黑龙江省富锦市长安乡高家村设立的实验站点 , 表 1 所示为该站点 1995 年水稻生长季 (5 - 8 月) 蒸散量遥感估算值与观测值之间的比较 , 其中部分估算值与观测值相差较大 , 分析其原因为观测站位于水田中 , 其值周围植被条件较好 , 而分辨率为 1 km 的 AVHRR 像元点覆盖的范围较大 , 包括了周围植被覆盖条件较差的高家村以及日蒸散量较小的其他农作物 , 这是遥感估算值较低的主要原因。

表 1 蒸散量的估算值和观测值的比较

日 期	05-27	06-05	06-11	06-16	07-08	07-18	08-16
蒸散量估算值/ mm	2.10	5.65	6.32	6.21	6.82	7.65	6.63
蒸散量观测值/ mm	3.53	5.60	8.27	8.27	8.27	10.21	6.90
误差/ %	- 40.51	0.94	- 23.58	- 24.91	- 17.53	- 25.07	- 3.91

通过分析对三江平原蒸散发的遥感估算结果是比较好的 , 基本反映了三江平原蒸散发的特点 , 说明用本文所采用的方法估算蒸散量是可行的。

3.2 三江平原蒸散量估算结果时空特征分析

3.2.1 三江平原蒸散量估算结果时间特征分析

根据 NOAA / AVHRR 数据计算了 1995 年的蒸散量 , 从计算结果看 , 三江平原蒸散量日变化范围基本在 0 ~ 15 mm 之间 , 且不同月份 , 区域蒸散 (发) 量变化幅度不同 , 其中每年的 11 月至次年的 3 月是蒸散量较低时期 , 其主要原因是因为温度较低 , 均在 0 以下 , 并且大部分区域在积雪覆盖之下 , 区域变化幅度较小 , 这一点也可以通过 11 月至次年 3 月的参考作物蒸散量体现出来 , 而 4 - 10 月蒸散量相对较高 , 月蒸散量主要在 10 ~ 120 mm 之间变化。

图 1 - 7 所示为三江平原生长季各月蒸散量频率图 , 通过对图 1 - 7 的分析 , 三江平原蒸散量总体上都表现为 , 从生长季初开始逐渐上升 , 7 月达到最高值 , 8 月后不断下降。在研究区域内 , 蒸散量存在着区域差异性 , 且蒸散量频率分布也表现出一定的特征。如图 1 所示 , 为 1995 年 4 月蒸散量频率图 , 三江平原的温度已经升至 0 以上 , 植被已经开始生长 , 月蒸散量呈现出接近于正态分布特征 , 其频率存在明显的单峰在 20 mm 附近。图 2 所示为 1995 年 5 月蒸散量频率图 , 三江平原的温度进一步升高 , 植被继续生长 , 各种农作物开始种植或者已经生长 , 月蒸散量呈现出接近于偏态分布特征 , 其频率存在明显的单峰在 40 mm 附近。图 3 所示为 1995 年 6 月蒸散量频率图 , 进入 6 月以后 , 三江平原的温度进

一步升高,植被持续生长,各种农作物进入一个生长较旺盛的阶段,蒸发量增加迅速,月蒸散量呈现出接近于双峰型的分布特征,其频率存在明显的双峰在 75 mm 和 110 mm 附近出现峰值。图 4 所示为 1995 年 7 月蒸散量频率图,三江平原植被和作物已经进入一年中蒸散发最为旺盛的阶段,月蒸散量呈现出接近于正态分布特征,其频率存在明显的单峰在 120 mm 附近出现峰值。图 5 所示为 1995 年 8 月蒸散量频率图,这时三江平原的蒸散量已经开始降低,月蒸散量呈现出接近于偏态分布特征,其频率存在明显的单峰在 45 mm 附近出现峰值。图 6 所示为 1995 年 9 月蒸散量频率图,三江平原的蒸散量进一步降低,月蒸散量呈现出接近于三峰型分布特征,其频率存在明显的三峰分别在 20 mm、30 mm 和 40 mm 附近出现峰值。蒸散的这种分布特征主要与三江平原植物的生长季节有关。图 8 所示为

1995 年 4 - 10 月月均日蒸散量,其中 4 月份,蒸散量日平均蒸发量为 0.93 mm/d,7 月份月均日蒸发量达 4.13 mm/d,此后各月的水面蒸发量逐渐下降,9 月份的月均日蒸发量为 1.08 mm/d,而到了 10 月份月均日蒸散量仅约为 0.26,三江平原蒸散量只所以出现这样的时间特征主要是因为 由于其纬度较高,三江平原植被的生长季较短,大部分植物从 4 月份才开始生长,到了 10 月份以后因为温度的降低,大部分植物的代谢活动已经降低甚至停止,其腾发量也自然降低 经过 50 多年的开发,三江平原已经被开发为商品粮基地,其主要土地利用方式为农田,占三江平原面积的 45.4 % (1995 年),而其开始生长时间是在 4 月份,收割基本上是在 10 月份,收割后蒸散量只有土壤蒸发而导致日蒸散量降低至基本为 0。这种时间特征的出现也从另外一个角度上验证了本文的计算结果是符合真实情况的。

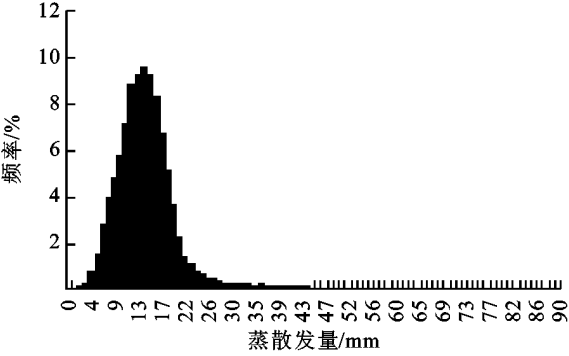


图 1 三江平原 1995 年 4 月蒸散量频率

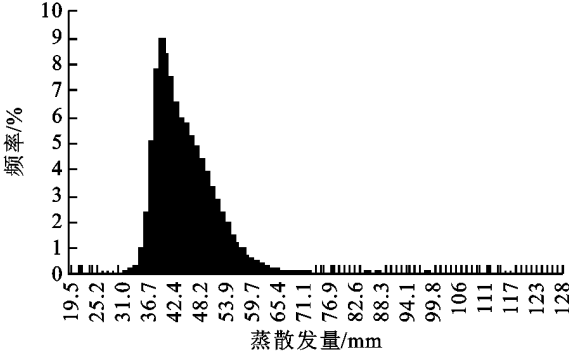


图 2 三江平原 1995 年 5 月蒸散量频率

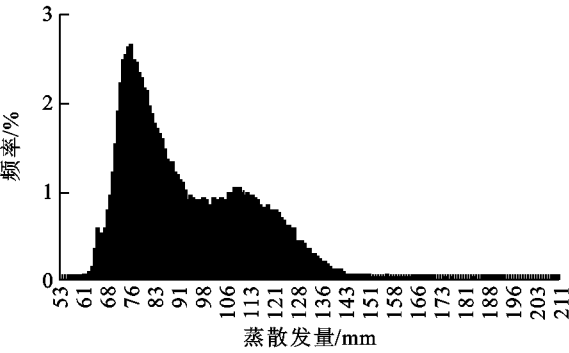


图 3 三江平原 1995 年 6 月蒸散量频率

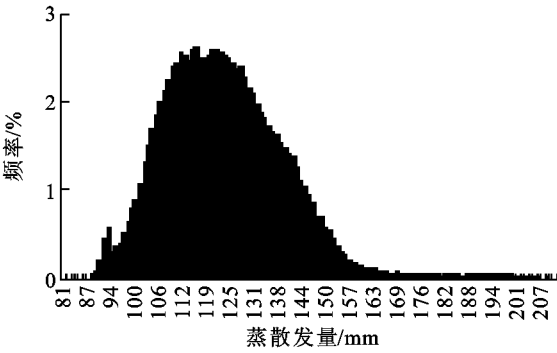


图 4 三江平原 1995 年 7 月蒸散量频率

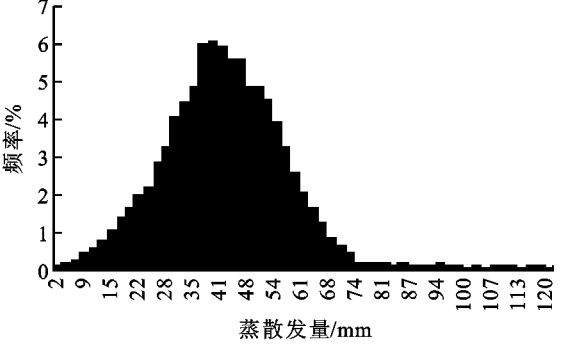


图 5 三江平原 1995 年 8 月蒸散量频率

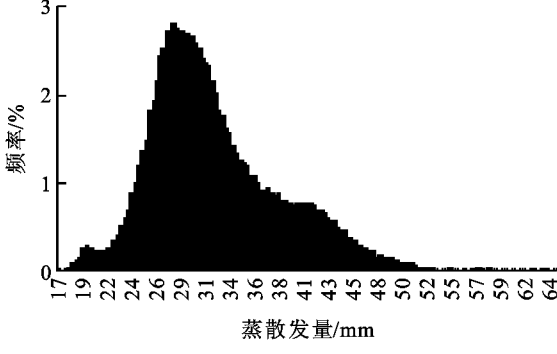


图 6 三江平原 1995 年 9 月蒸散量频率

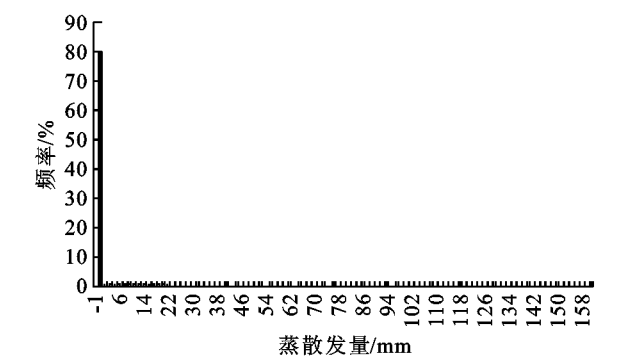


图 7 三江平原 1995 年 10 月蒸散量频率

3.2.2 三江平原蒸散量估算结果空间特征分析
从空间上看,1995 年生长季蒸散量最高位于三江平原上小兴安岭、完达山脉、张广才岭以及老爷岭的森林分布区,平均年蒸散量达到 400 mm 左右,这主要是因为大面积森林截流蒸发的作用,林地覆被区具有较高蒸发系数。其次为以兴凯湖和松花江、乌苏里江,黑龙江及其众多的支流为主的水域和主要位于三江平原东部的湿地,平均生长季蒸散量可达 360 mm 左右。位于三江平原中部的大面积的旱田和草地的平均生长季蒸散量为 330 mm 左右。

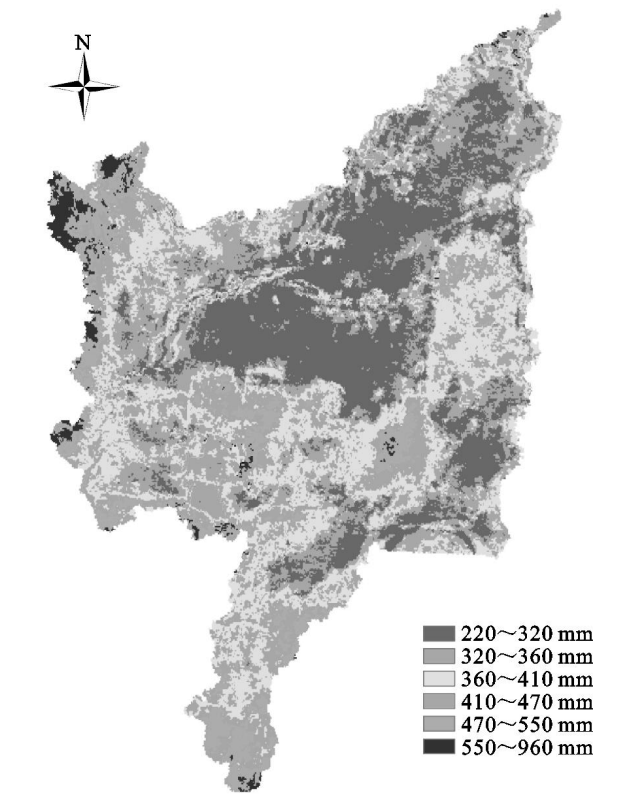


图 9 三江平原 1995 年蒸散量图

此外,从图中也可以看出,当地表覆盖为居民区时,也有一定的蒸散量存在,而一般认为,人类活动区为人类建筑,其蒸散量为 0。此矛盾可由基于影像单元的遥感计算技术来进行解释:遥感影像的计算以影像单元为基础,在一定分辨率情况下,每个影

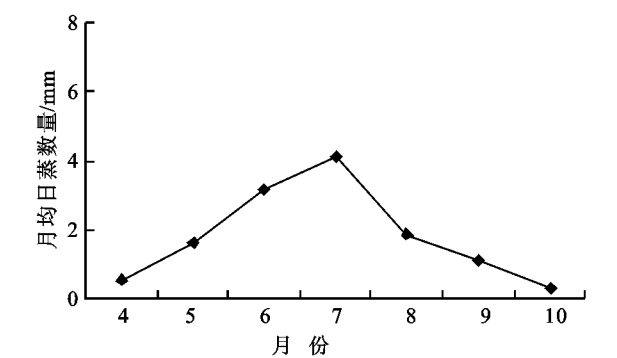


图 8 三江平原 1995 年月均日蒸散量

像单元都具有唯一给定的值。然而,本研究所采用的 NOAA / AVHRR 影像,空间分辨率低(1.1 km),故居民区的影像单元不仅只反映人类建筑,还有人类活动区内的用于绿化的树木、草坪以及娱乐用水体等,这些地表覆盖都能得到及时地灌溉,具有较高蒸发潜力。因此,居民区的影像单元是居民区内各类覆盖的综合反映,拥有一定的蒸散量。

表 1 1995 年三江平原不同土地利用类型的年平均蒸散量

土地利用类型	面积/ hm ²	面积所占 百分比/%	平均年 蒸散量/mm
水田	41714	3.83	345.30
旱田	452330	41.57	339.19
林地	3851080	35.39	410.51
草地	410799	3.77	333.49
水域	282445	2.60	367.17
居工地	222652	2.05	320.11
湿地	1173407	10.78	358.65

从不同的土地利用方式来看,不同土地利用方式的年蒸散量有着明显的差异,如表 1 所示,为 1995 年三江平原不同土地利用类型的生长季平均蒸散量,其中,生长季平均蒸散量从大到小可以排列为:林地>水域>湿地>水田>旱田>草地>居工地。这也体现了不同植被生长的所需水量的差异。而三江平原的蒸散发量的高低分布与植被有着密切的关系,以人类活动为主要驱动力的土地利用变化可以导致三江平原年蒸散量的改变从而进一步改变三江平原水循环。

4 结论及建议

(1) 利用 SEBS 模型,结合研究区的有关气象数据,对三江平原的区域年蒸散量进行了估算,并用实际蒸散量的观测数据对 SEBS 模型计算所获得的结果进行了精度检验。模型检验结果表明,SEBS 模型计算结果与现场实测结果基本一致,模型具有较高的精度,能够用于大尺度蒸散量的估算。

(2) 分别对三江平原蒸散量的时间分布进行了分析,结果表明:三江平原蒸散量总体上表现为,从生长季初开始逐渐上升,7 月达到最高值,8 月份后不断下降。在此基础上,探讨了三江平原蒸散量时间分布的原因。同时,结合研究区的土地利用类型,对三江平原区域蒸散量空间分布进行了分析,结果表明,生长季平均蒸散量从大到小可以排列为:林地 > 水域 > 湿地 > 水田 > 旱田 > 草地 > 居工地。

(3) 蒸散发是区域水文循环理论中的一个重要过程,区域蒸散量的精确估算对于区域水资源的研究及水资源的合理配置等具有重要的意义。利用遥感技术估算区域蒸散量具有大范围同步测量、时效性、经济性以及数据的综合性和可比性的特点,具有广阔的应用前景。但是,由于遥感技术容易受到大气层天气状况的影响,许多问题尚需进一步研究。例如,能量平衡法反演蒸散发,原理比较简单,但其中一些参数的获取难度较大,不得不进行一些简化和近似的处理,这些处理难免会带来一些误差。另外,反演过程中存在的最大问题应该是地面站点的不足,无法达到结果检验的要求。这些方面都有待于进一步的研究解决。

参考文献:

- [1] 贾大林,孟兆江,王和洲. 农业高效用水及农艺节水技术[J]. 节水灌溉,1999,4:1041-1051.
- [2] Su Z. The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes [J]. Hydrol Earth Syst Sci,2002,6(1):85-99.
- [3] Brown K W, Rosenberg N J. A resistance model to predict evapotranspiration and its application to a sugar beet field [J]. Agronomy Journal,1973,65:199-209.
- [4] Idso S B, Jackson R D, Reginato R J. Estimating evaporation: a technique adaptable to remote sensing [J]. Science,1975,189:991-992.
- [5] Jackson R D, Reginato R J, Idso S B. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements [J]. Water Resources Research,1977,13:651-656.
- [6] Suguin B, Itier B. Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data [J]. International Journal of Remote Sensing,1983,4(2):371-383.
- [7] 张仁华,孙晓敏,朱治林,等. 以微分热惯量为基础的地表蒸发全遥感信息模型及在甘肃沙坡头地区的验证[J]. 中国科学(D 辑),2002,32(12):1041-1051.
- [8] 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 (B),2000,25(2):147-157.
- [9] Gutman G, Ignatov A. The Derivation of the Green Vegetation Fraction from NOAA/AVHRR Data for Use in Numerical Weather Prediction Models [J]. International Journal of Remote Sensing,1995,19(8):1533-1543.
- [10] Su Z, Jacobs C. ENVISAT: Actual Evaporation. BCRS Report 2001: USP - 2 Report 2001 01 - 02 [R]. Beleidscmissie Remote Sensing (BCRS),2003.
- [11] Raupach M R. Simplified Expressions for Vegetation Roughness Length and Zero-plane Displacement as Functions of Canopy Height and Area Index [J]. Boundary - Layer Meteorology,1994,71:211-216.
- [12] Verboef A, McNaughton K G, et al. A Parameterization of Momentum Roughness Length and Displacement Height for a Wide Range of Canopy Densities [J]. Hydrology and Earth System Sciences,1997,1(1):81-91.
- [13] 张长春,王晓燕,邵景力. 利用 NOAA 数据估算黄河三角洲区域蒸散量[J]. 资源科学,2005,27(1):86-91.
- [14] Farr T G, Kobrick M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. [J]. Am Geophys Union Eos81,2000:583-585.
- [15] Bernhard R, Michael E, Achim R. The Shuttle Radar Topography Mission - A new class of Digital Elevation Models acquired by spaceborne radar [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2003,57:241-262.
- [16] 汪凌. 美国航天飞机雷达地形测绘使命简介[J]. 测绘通报,2000(12):38-40.
- [17] 张树文,张养贞,李颖,等. 东北地区土地利用/覆被时空特征分析[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [18] 中华人民共和国国家标准 GB/T 7929 - 1995: 土地利用现状调查技术规程[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2003.
- [19] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- [20] 付强. 三江平原井灌水稻田间生产过程节水技术组装与综合优化研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2000.