

基于SEBAL模型和Landsat-8遥感数据的农田蒸散发估算

郭二旺¹, 郭乙霏², 张凌杰³, 闫超德³, 梁转信³

(1.焦作市水利勘测设计院, 河南 焦作 454150; 2.东北农业大学 水利与土木工程学院, 哈尔滨 150030; 3.郑州大学 水利与环境学院, 郑州 450001)

摘要:【目的】及时准确地获取农田蒸散发量,为科学管理农田灌溉、精准估算作物产量和预报土壤水分动态、合理开发水资源等提供有效依据。【方法】以广利灌区为研究对象,基于SEBAL模型利用Landsat-8数据对研究区域农田蒸散发进行估算,通过地表参数计算净辐射通量、土壤热通量和感热通量,利用余项法求得潜热通量及瞬时蒸散发。假定24 h内蒸散比不变,由瞬时蒸散发扩展到日蒸散发量,最终求得研究区的日平均蒸散发量,将模型计算结果与彭曼公式进行了对比,同时结合灌区提供数据对计算结果进行了验证。【结果】彭曼公式计算2014年5月6日和2015年9月14日蒸散量与实测结果相差分别为5.2%和9.4%,SEBAL模型估算得到2014年5月6日和2015年9月14日的日蒸散量与灌区提供日蒸散量相差4.5%、6.0%,且冬小麦及夏玉米蒸散发在空间上存在一定的差异性,主要集中在灌区中部区域及西南区域。【结论】SEBAL模型计算结果具有较高的精度,而且方法相对快捷高效。

关键词:Landset-8; 遥感; 蒸散发; SEBAL模型; 彭曼公式

中图分类号:S152.7

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0484

郭二旺,郭乙霏,张凌杰,等. 基于SEBAL模型和Landsat-8遥感数据的农田蒸散发估算[J]. 灌溉排水学报,2019,38(1):83-89.

0 引言

蒸散发的研究可以给水资源的合理利用和管理提供重要的标尺,同时也可积极带动农业生态环境的可持续发展。用遥感技术估算蒸散发时不受地域和时序限制^[1]。利用遥感数据资料,结合地面实际观测资料与气象数据建立基于陆地能量平衡(SEBAL)模型的蒸散发量遥感监测模型,并精确地估算该研究区的地表蒸散发量,深入了解广利灌区内水分和能量在空间上的分配情况,可以促进该研究区内有限水资源的合理利用,并为该区的相关研究提供基础资料。

目前,结合遥感技术估算蒸散发的方法主要有统计经验法、能量平衡余项法、数值模型法和全遥感信息法,发展比较成熟的是能量平衡余项法,国内外也运用能量平衡余项法建立了SEBAL、SEBS等估算蒸散发的模型^[2]。近年来,SEBAL模型发展迅速,该模型的优点在于能够充分应用遥感数据信息,模型从建立到现在,已经在美国、中国很多区域得到了试验和验证,国外的研究起步较早,在SEBAL模型方面,FEDDES等^[3]利用TM等卫星资料经分析研究得到了一些地表参数如地表反射率、NDVI及地表温度等,这些研究成果为他们后来的工作奠定了一定的基础。国内,张堂堂等^[4]使用微波遥感技术对甘肃省平凉市的土壤蒸散发进行研究,试验证明反演结果符合研究区实际情况。陈鹤等^[5]构建基于卫星遥感数据的蒸散发模型,模拟卫星过境瞬时的潜热通量,对瞬时潜热通量进行时间尺度扩展,计算日蒸发量并验证,表明遥感蒸散发模型能够准确获取地表蒸散发时空分布信息。武永利等^[6]利用风云气象卫星数据,结合自动站气象数据,基于改进的SEBS模型对山西省进行作物需水量研究,与实测数据对比验证,发现改进的SEBS模型结果精度较高。董国涛等^[7]利用遥感数据与传统蒸散发模型相结合的方法,对泾河流域2006年3—10月日实际蒸散量进行动

收稿日期:2017-11-24

基金项目:河南省基础与前言技术研究项目(152300410044);河南省高等学校重点科研项目(16A420005)

作者简介:郭二旺(1963-),男,河南焦作人。教授级高级工程师,主要从事水利水电工程勘测规划设计。E-mail: jzgew@sina.com

态模拟,并利用LAS站实测数据对模拟结果进行验证,并取得了较好的效果。王秋云等^[8]基于SEBAL模型利用Landsat-8和MODISL1B数据,反演得到了北京市延庆县蔡家河流域平原造林项目的蒸散发量,结果表明不同季节蒸散量差异较大。魏强等^[9]基于SEBAL模型和Landsat-8数据对山西省晋中市小麦蒸散发,利用水分生产率公式计算了研究区小麦生产率。王健美等^[10]根据NOAA及气象数据采用SEBS模型实现了辽宁西部地区河流域蒸散发的时空分布计算。张特等^[11]基于MOD16蒸散发数据对流域不同土地类型下实际蒸散发和潜在蒸散发进行了研究,根据精度检验发现MOD16数据精度总体上满足要求。从国内外研究内容来看,目前对大区域范围内进行蒸散发的计算结果精确度还有待提高,主要是模型部分参数大范围的获取较为困难,这一点同时也是大面积蒸散发研究的重点和难点。为此,采用被广泛使用的SEBAL模型估算广利灌区农作物蒸散发,该模型简化了部分模型参数,使反演过程更简便,对反演结果与联合国粮食及农业组织(简称FAO)推荐的唯一标准方法-彭曼公式进行结果验证^[12],并与实测数据相比较,同时对各土地利用/覆被类型的蒸散发进行统计分析,以期明确该区水循环过程提供一定科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

以焦作广利灌区为研究区域,灌区位于河南省焦作市西南部,北纬34°55′—35°11′,东经112°37′—113°13′,海拔120 m,属于亚热带季风气候,是集灌溉、补源等功能为一体的大型灌区,渠首位于济源市五龙口沁河出口山口,范围涉及济源、沁阳、温县、武陟4个市(县)24个乡镇(办事处)439个行政村,人口50余万人。规划面积34 000 hm²,其中灌溉面积20 667 hm²、补源面积13 333 hm²。灌区属温带大陆性季风气候,多年平均降水量为593.5 mm,多年平均气温14.5℃,多年平均蒸发量1 668 mm,无霜期219 d。灌区气候温和,土地肥沃,盛产小麦、玉米,兼种棉花和“四大怀药”等经济作物,系河南省粮食高产稳产区。

1.2 数据来源

1.2.1 Landsat-8数据

使用ENVI5.3对Landsat-8进行大气校正,在大气校正模块中新增了Landsat-8 OLI传感器。本研究采用了2014年5月Landsat-8影像,并采用阈值分割法对研究区域冬小麦空间分布信息进行提取。

1.2.2 研究区域DEM数据

从地理空间数据云网站下载包含本研究区域的DEM数据,空间分辨率为30 m,用灌区边界的矢量数据裁剪原始数据,研究区数字高程模型见图1。

1.2.3 气象数据

气象资料通过灌溉试验站内安装的Vantage Pro自动气象站自动测定,测定内容包括太阳辐射、气温、空气湿度、风速、日照时间、蒸发量、降雨量以及天气变化等。

此外,文中所使用的数据还包括研究区边界的矢量数据,主要作用为裁剪影像和DEM数据,并对计算结果进行统计分析。

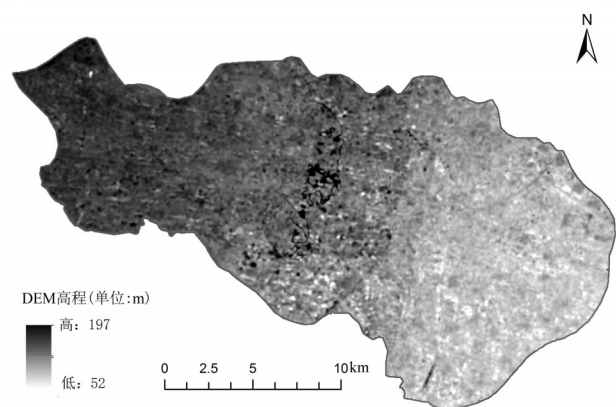


图1 研究区域数字高程模型

2 SEBAL模型原理

SEBAL模型是Bastiaanssen等^[13]提出的单层计算模型,是在遥感的基础上发展起来,利用陆面能量平衡算法(Surface Energy Balance Algorithm for Land)进行计算。SEBAL模型没有把土壤和植被分割开来,而是将它们整体进行估算,省略了内部的能量和水分交换的计算过程^[14-15]。得到蒸发面的能量平衡公式为:

$$\lambda ET = R_n - G - H, \quad (1)$$

式中: λET 为潜热通量; λ 为潜热蒸发系数,通常取 2.49×10^6 (W/(m²·mm)); ET 为蒸散发; R_n 为地面净辐射通量; G 为土壤热通量; H 为显热通量。

2.1 净辐射通量(R_n)

净辐射通量与地表温度、地表反照率有关,根据地表能量平衡方程,净辐射通量的计算式为:

$$R_n = QIN(1 - \alpha) + (SIN - S_{out}) - (1 - \varepsilon)SIN, \quad (2)$$

式中: R_n 为净辐射通量; α 为地表反照率; QIN 为太阳总辐射; SIN 为大气长波辐射; S_{out} 为地面长波辐射; ε 为地表比辐射率。 ε 为一个无量纲的量,在0~1之间。

$$\varepsilon = 1.009 + 0.047 \ln(NDVI), \quad (3)$$

$$Q_{in} = G_{sc} \times \cos \theta \times d_r \times t_{sw}, \quad (4)$$

$$t_{sw} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} h, \quad (5)$$

$$S_{in} = 1.08 \times (-\ln t_{sw})^{0.265} \times S \times T_a^4, \quad (6)$$

$$S_{out} = \varepsilon \times S \times T_0^4, \quad (7)$$

式中: G_{sc} 为太阳常数 $1367(\text{W/m}^2)$; θ 为太阳天顶角; d_r 为日地距离订正系数; t_{sw} 为大气直射透射率。 h 为海拔(m)。 S 为波尔兹曼常数,取 $5.67 \times 10^{-8}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4))$; T_a 为某一基准点的表面温度,通常取水体; T_0 为地表温度。

2.2 土壤热通量(G)

SEBAL 模型采用经验公式估算土壤热通量。对于植被覆盖、水体分别具有不同的公式^[16-17]:

植被覆盖计算式为:

$$G = 0.3 \times (1 - 0.98NDVI^4) R_n. \quad (8)$$

水体计算式为:

$$G = 0.2R_n, \quad (9)$$

式中: R_n 为净辐射通量(W/m^2); $NDVI$ 为归一化植被指数。由于研究区域基本属于农田区域,植被覆盖度较高,土壤热通量在能量平衡方程中占的比例很小,直接计算会很复杂^[18]。

2.3 感热通量(H)

感热通量的计算式为:

$$H = \frac{P_{air} \times C_{pair} \times \Delta T}{r_{ah}}, \quad (10)$$

式中: C_{pair} 为空气密度(kg/m^3); C_{pair} 为空气定压比热容(1004); ΔT 为温差($T_1 - T_2$); r_{ah} 为空气动力学阻抗^[16]。

热量传输的空气动力学阻抗 r_{ah} 的计算式为:

$$r_{ah} = \frac{1}{ku^*} \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right), \quad (11)$$

式中: k 为Karman 常数(0.41); u^* 为摩擦速度(m/s), h_1 、 h_2 分别为地面高度。

为了计算摩擦速度 u^* ,SEBAL 模型需要影像获取时的研究区某一观测高度(h_x)的风速,并将其转化为距地面 200 m 处风速,以作为整个影像的风速。其计算式为:

$$\frac{u_x}{u^*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{h_x}{h_{0m}}\right), \quad (12)$$

式中: u_x 为高度 h_x 处的风速(m); h_{0m} 为动量表面粗糙度(m)。

动量表面粗糙度 h_{0m} 可由ASCE(美国土木工程协会)程序^[19]计算得到,其计算式为:

$$h_{0m} = 0.123 h_{av}^{[20]}, \quad (13)$$

式中: h_{av} 为植被平均高度(m),若植被稀疏最好用 $0.2 h_{av}$,若无植被取值为 0.01 。

根据式(11)、式(12)计算求得摩擦速度 U^* 后通过SEBAL 模型通过引入一个假设来计算基于像元的 U^* ,假设在距地表约 200 m 高度处风速在整个图像上是均匀分布的。然后,将 $h_x=200 \text{ m}$ 和 U^* 代入式(12),可算出 200 m 处风速,并假设此风速可用于整景图像。最后,利用每个像元的 h_{0m} 值通过式(13)计算出基于像元的 U^* 值,且假设 U^* 值在地表和 200 m 之间为常数。SEBAL 模型中假设 ΔT 与地表温度 T_0 呈线性关系^[21-22],表达式为:

$$\Delta T = aT_0 + b, \quad (14)$$

式中: a 和 b 为校准系数,通过定义“冷像元”和“热像元”计算获得,分别为 0.15 和 -2.23 。进而求得基于像元的 ΔT ,最后求取基于像元的 H 值。

2.4 日蒸散发

由于卫星过境具有瞬时性,因此求得的各通量都是瞬时的。在SEBAL 模型中,假定 1 d 之内的蒸发比

EF 是相对稳定的,计算式为:

$$EF = \frac{\lambda ET}{R_n - G} = \frac{R_n - G - H}{R_n - G} \quad (15)$$

则24 h蒸散发 ET_{24} 计算式^[23-24]为:

$$ET_{24} = \frac{86400EF(R_{n24} - G_{24})}{\lambda} \quad (16)$$

式中: R_{n24} 和 G_{24} 分别为日平均净辐射通量和日平均土壤热通量。

3 结果与分析

3.1 净辐射通量(R_n)的计算

净辐射通量结果如图2所示。由图2可知,2014年5月6日灌区的净辐射通量范围为278.45~578.95 W/m²,净辐射通量较高区域主要集中在小麦种植区域,为420.07~578.95 W/m²,平均为525.25 W/m²,净辐射通量较低区域则集中在沁阳市区以及非农作物种植区域,为278.45~420.07 W/m²。2015年9月14日灌区的净辐射通量范围为202.31~619.75 W/m²,灌区玉米的净辐射通量范围为335.53~508.78 W/m²,净辐射通量较低和较高区域则集中在沁阳市区以及非农作物种植区域范围在202.31~335.53、508.78~619.73 W/m²之间。5月的温度相对较9月高,净辐射通量同时受地表温度的影响,故净辐射通量相对较低。

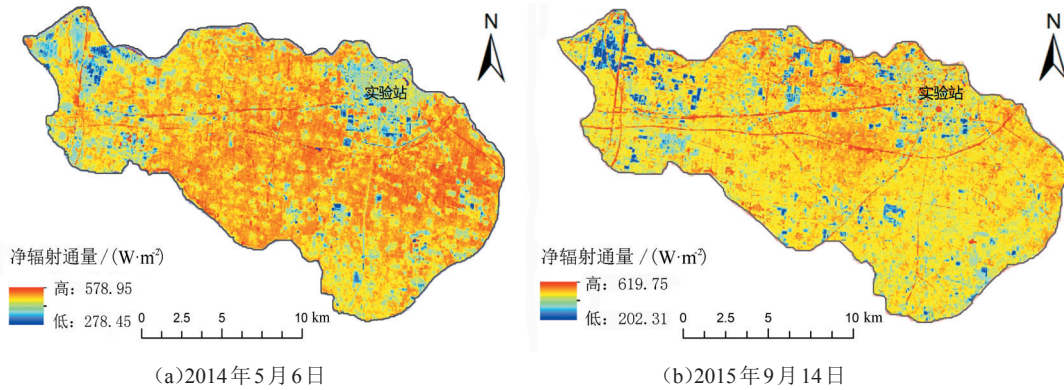


图2 净辐射通量反演图

3.2 土壤热通量的计算

灌区土壤热通量结果如图3所示。由图3可以看出,2014年5月6日灌区的土壤热通量介于56.25~85.29 W/m²之间,小麦区域的土壤热通量介于56.25~70.02 W/m²之间,平均值是66.72 W/m²,灌区土壤热通量较高部分集中于沁阳市区、渠首区域及非农作物覆盖区域,土壤热通量介于70.02~85.29 W/m²之间;2015年9月14日灌区的土壤热通量范围为36.39~69.33 W/m²,玉米区域的土壤热通量介于36.39~49.82 W/m²之间,灌区土壤热通量较高部分集中于沁阳市区以及非农作物覆盖区域,土壤热通量介于49.82~69.33 W/m²之间。分析其分布情况,当植被覆盖率高时土壤热通量占净辐射通量的比值很小,当植被覆盖率低时土壤热通量占净辐射通量的比值则较大,5月植被覆盖率相比9月植被覆盖率低。

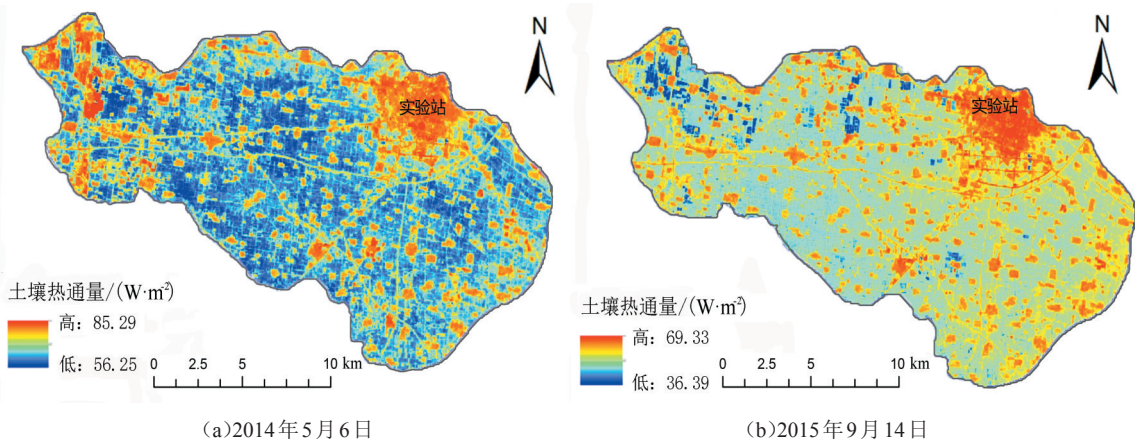


图3 土壤热通量反演图

3.3 感热通量的计算

感热通量结果如图4所示。由图4可以看出,2014年5月6日灌区的感通热量范围0~573.59 W/m²之间,小麦区域的感热通量为0~338.11 W/m²,平均值是61.62 W/m²,感通热量较高部分则集中在灌区的沁阳市区和位于灌区西部的渠首部分以及非农作物种植区域,为338.11~573.59 W/m²。2015年9月14日灌区的感热通量介于0~835 W/m²之间,玉米区域的感热通量为0~631.98 W/m²,平均值是138.91 W/m²,感通热量较高部分则集中在位于灌区中部的沁阳市区以及位于灌区东部的非农作物种植区域,为631.98~835 W/m²。从植被分布情况看玉米区域的 h_{av} 值高于小麦区域,从而玉米的感热通量平均值大于小麦的平均值。

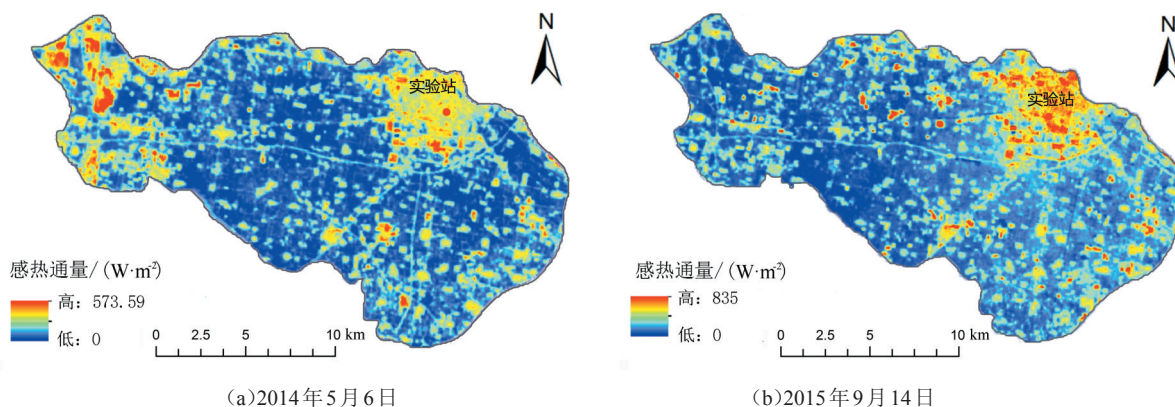


图4 感热通量反演图

3.4 日蒸散发

瞬时蒸散发的日蒸散发如图5所示。由图5可以看出,2014年5月6日小麦的蒸散发为0~6.57 mm/d,平均值是5.28 mm/d,利用彭曼公式计算单站点呈散发量为5.82 mm/d。2015年9月14日玉米的日蒸散发在0~5.00 mm/d,平均值是2.81 mm/d,彭曼公式计算结果为2.32 mm/d。2014年5月6日小麦的日蒸散发量大于2015年9月14日玉米的,日蒸散发区域主要集中在灌区的中部区域,中部区域种植农作物相对东、西部地区较多。小麦区域日蒸散发量普遍较高,大部分介于4.25~6.57 mm/d之间;对于玉米区域日蒸散发量分布则较为均匀,较高部分则集中在灌区中部,其值介于3~5 mm/d之间,日蒸散发量较低区域则集中在西部以及东部介于0~4 mm/d之间,东部的日蒸散发量为整个区域最低大部分介于2~3 mm/d之间,西部介于2~4 mm/d之间。在所计算得到的结果中,彭曼公式是基于单个站点的气象数据算出的平均日蒸散发,而遥感估算模型是基于研究区每个像元算得的平均值,考虑到地表物理结构的差异性,必然存在误差^[25-27]。

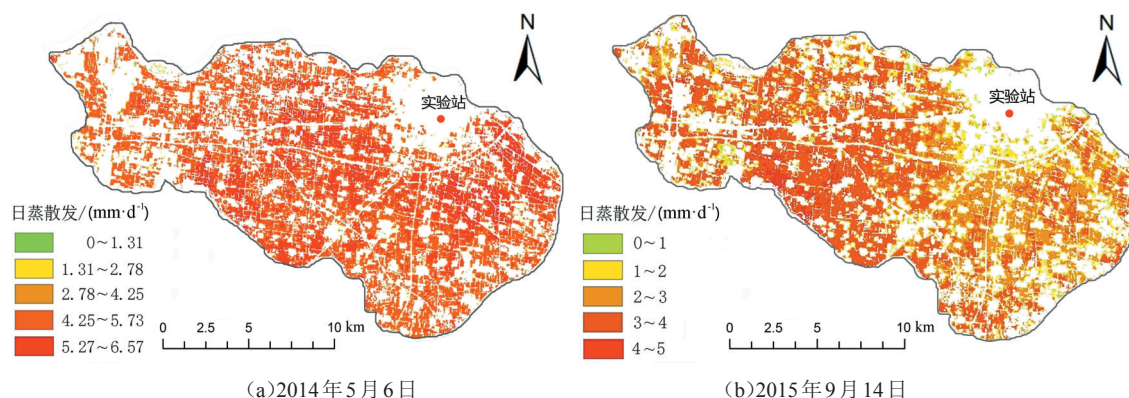


图5 日蒸散发反演图

4 讨论与结论

针对焦作市广利灌区利用SEBAL模型对灌区日蒸散量进行计算,并结合彭曼公式对结果进行对比分析,从而更直观地了解SEBAL模型的精度。SEBAL模型计算得到2014年5月6日的日蒸散量为5.28 mm/d,2015年9月14日的日蒸散发量为2.18 mm/d,彭曼公式计算2014年5月6日的日蒸散量为5.82 mm/d,2015年9月14日的日蒸散量2.54 mm/d,灌区提供2014年5月6日的日蒸散量数据为5.53 mm/d,2015年9月14日

的日蒸散量数据为2.32 mm/d。对比发现SEBAL模型与灌区提供数据相差分别为4.5%和6%,而彭曼公式与灌区提供数据相差5.2%和9.4%,表明SEBAL模型有更高的精确度。同时SEBAL模型与传统蒸散发的计算方法相比,具有空间尺度上的优越性。传统方法只考虑单个站点的气象条件,但由于大范围区域内地表物理结构的差异性,其结果不能很好地代表整个研究区域^[28],相反遥感反演模型的算法是基于研究区的每个像元,具有很好的代表性。采用Landsat-8高分辨率影像数据较以往较多采用MODIS数据相比,在提取玉米和小麦范围更加精确,从而提高精确度。SEBAL模型进行蒸散发量反演时所需要的参数(地表反照率、地表比辐射率、植被覆盖度等)是通过经验公式反演得到的,并未对反演得到的这些参数进行精度评价,这样会导致误差传递,使模型中各通量的反演误差增大,使得反演结果存在一定的误差,在以后的研究中要注重提高地表参数的反演精度,从而从源头上控制蒸散发反演的精度。

参考文献:

- [1] 蔡学良,崔远来.一种简化蒸散发遥感反演模型及其在灌区的应用[J].灌溉排水学报,2009,28(2):51-54.
- [2] 王霞.基于SEBAL模型的极端干旱气候区域蒸散发的遥感估算[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [3] FEDDES R A, MENENTI M, KABAT P, et al. Is large-scale inverse modelling of unsaturated flow with areal average evaporation and surface soil moisture as estimated from remote sensing feasible[J]. Journal of Hydrology, 1993, 143(1/2): 125-152.
- [4] 张堂堂,文军,ROGIER VAN DER VELDE,等.基于ENVISAT/ASAR资料的土壤湿度反演方法[J].高原气象,2008(2):279-285.
- [5] 陈鹤,杨大文,刘钰,等.基于遥感模型的华北平原农田区蒸散发量估算[J].灌溉排水学报,2014,33(4):21-25.
- [6] 武永利,田国珍,王云峰.基于改进的SEBS模型的作物需水量研究[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):113-118.
- [7] 董国涛,王鸣程,白娟,等.基于遥感的泾河流域日蒸散量估算[J].水土保持研究,2015,22(2):101-106.
- [8] 王秋云,胡海棠,吴良才,等.基于SEBAL模型的蔡家河流域平原造林区蒸散发量研究[J].福建林业科技,2016,43(4):21-26.
- [9] 魏强,张吴平,吴亚楠,等.基于SEBAL模型的小麦水分生产率研究[J].灌溉排水学报,2017,36(7):38-46.
- [10] 王健美,杨国范,周林滔.基于SEBS模型反演凌河流域尺度地表蒸散发量[J].灌溉排水学报,2016,35(2):95-99.
- [11] 张特,刘冀,董晓华,等.基于MOD16的渭河流域蒸散发时空分布特征[J].灌溉排水学报,2018,37(8):121-128.
- [12] 李宝富,陈亚宁,李卫红,等.基于遥感和SEBAL模型的塔里木河干流区蒸散发估算[J].地理学报,2011,66(9):1230-1238.
- [13] BASTIAANSEN W G M, MENENTI M, FEDDES R A, et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1 Formulation[J]. Journal of Hydrology, 1998, 212(98): 198-212.
- [14] 翟禄新,冯起,李艺,等.基于CRAE模型的西北地区实际蒸散发量计算[J].灌溉排水学报,2010,29(5):33-38.
- [15] 杨建莹.基于SEBAL模型和黄淮海冬小麦和夏玉米水分生产率研究[D].北京:中国农业科学院研究生院,2014.
- [16] 陈云浩,李晓兵,史培军.中国西北地区蒸发散量计算的遥感研究[J].地理学报,2001(3):261-268.
- [17] 武夏宁,王修贵,胡铁松,等.河套灌区蒸散发分析及耗水机制研究[J].灌溉排水学报,2006,25(3):1-4.
- [18] 刘志武,雷志栋,党安荣,等.遥感技术和SEBAL模型在干旱区蒸散发估算中的应用[J].清华大学学报(自然科学版),2004,44(3):421-424.
- [19] 曾丽红,宋开山,张柏,等.应用Landsat数据和SEBAL模型反演区域蒸散发及其参数估算[J].遥感技术与应用,2008,23(3):255-263.
- [20] 李根.基于SEBAL和SEBS模型的鹰潭小流域蒸散发估算研究[D].南京:南京信息工程大学,2014.
- [21] 王纯枝,宇振荣,毛留喜,等.基于能量平衡的华北平原农田蒸散量的估算[J].中国农业气象,2008,29(1):42-46.
- [22] 冯天梅.基于SEBAL模型的青海省东部农业区蒸散发量的遥感估算研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [23] 李红军,雷玉平,郑力,等. SEBAL模型及其在区域蒸散发研究中的应用[J].遥感技术与应用,2005,20(3):321-325.
- [24] CRAGO R D. Conservation and variability of the evaporative fraction during the daytime[J]. Journal of Hydrology, 1996, 180(1/4):173-194.
- [25] LI S B, ZHAO W Z. Satellite-based actual evapotranspiration estimation in the middle reach of the Heihe River Basin using the SEBAL method[J]. Hydrological Processes, 2010, 24(23): 3337-3344.
- [26] 李放,沈彦俊,张玉翠.基于STME模型和MODIS数据的漳滏平原实际蒸散量遥感估算[J].中国生态农业学报,2014,22(8):911-919.
- [27] 吴锦奎,丁永建,王根绪,等.干旱区制种玉米农田蒸散发研究[J].灌溉排水学报,2007,26(1):14-17.
- [28] 兰荣辉.基于RS的晋祠泉域地表蒸散发估算与区域水均衡分析[D].太原:太原理工大学,2015.

Estimating Evapotranspiration Using the SEBAL Model and Landset-8 RS Data

GUO Erwang¹, GUO Yifei², ZHANG Lingjie³, YAN Chaode³, LIANG Zhuanxin³

(1. Jiaozuo Water Resources Survey and Design Institute, Jiaozuo 454150, China;

2. School of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Haerbin 150030, China;

3. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: **【Objective】** Evapotranspiration (*ET*) is a main process in hydrological cycle and its accurate estimation in natural and managed ecosystems is critical to improving water management. The purpose of this paper is to present a new method to estimate *ET* by taking Guangli Irrigation District in Henan province as an example. **【Method】** The method was based on the SEBAL model and the Landsat-8 data; it estimated the net radiation flux, soil heat flux using the land-surface parameters first, and the instantaneous evapotranspiration was then calculated using the energy residual method and the latent heat flux. The SEBAL model assumed the evapotranspiration was constant within 24 hours, and the instantaneous evapotranspiration was thus equivalent to the daily evapotranspiration. **【Result】** Comparison with field measurements revealed that the errors of the Penman-Monteith formula in calculating the daily evapotranspiration on 6 May 2014 and 14 September 2015 was 5.2% and 9.4% respectively, while the associated errors of the proposed model was 4.5% and 6%. **【Conclusion】** The SEBAL model, coupled with the Landset-8 RS data, can offer an efficient and adequate alternative to estimate *ET* at catchment scale, and its accuracy is comparable with if not better than the Penman-Monteith formula.

Key words: Landset-8 data; surface temperature; evapotranspiration; SEBAL model; penman formula

责任编辑:白芳芳

(上接第82页)

Experimental Study on the Feasibility of Combined Drip Irrigation Pipes to Ameliorate Emitter Blocking

XU Luquan, LI Yuannong*, FANG Yunjie, YIN Minhua, HUANG Peng, WANG Kaiyu, FANG Heng

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas,

Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Emitter clogging by sediment is a common issue in drip irrigation and in this paper we studied the feasibility of using multiple drip irrigation pipes to resolve this problem by taking the $\Phi 16$ drip irrigation pipe as an example. **【Method】** The size of the sediment particles in irrigation water was smaller than 0.10 mm and the sediment concentration was 1.00, 1.25 and 1.50 g/L respectively. The working pressure was 0.025 MPa and 0.075 MPa respectively. We used periodic irrigation to control the change in flow rate from the emitter and the clogging of the emitter and the pipe was analyzed using the Christiansen coefficient uniformity. We then relayed the $\Phi 16$ pipe and replaced the pipe in the proximity (750 mm) of the clogged emitter by $\Phi 20$ pipe to make a combined drip irrigation pipe; its efficacy in alleviating clogging under the same flow rate, working pressure and sediment concentration was re-analyzed experimentally. **【Result】** Under pressure 0.025 MPa, the combined pipe arrangement made the blockage concentrate at some locations. When the sediment concentration was 1.25 g/L, the efficiency of the system in mitigating clogging was manifest. Under pressure 0.075 MPa, the efficiency of the system in alleviating clogging improved considerably as the sediment concentration increased. **【Conclusion】** The combined pipe arrangement was able to mitigate pipe clogging under certain conditions and it also changed the type of blockages.

Key words: drip irrigation pipe; clogging; pressure; sediment concentration; Christiansen coefficient uniformity; relative flow

责任编辑:赵宇龙