

京津走廊麦田蒸散及其与地下水位变化关系研究*

舒云巧** 陈素英 雷玉平 郑力

(中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050021)

摘要 利用区域遥感模型 rGIS-ET 分析 1992 年 4 月至 2001 年 4 月京津走廊麦田蒸散及其与地下水位变化结果表明,同一县内麦田蒸散量空间变异明显,10 年来麦田耗水呈减少趋势,但由于补给滞缓性等原因地下水位持续下降。且地下水位的季节变化和冬小麦用水密切相关,蒸散量的空间变化可间接反映地下水位采水变化。遥感技术可能为较准确估算小单位地下水用水量提供依据。

关键词 遥感 蒸散 冬小麦 地下水

The relationship between evapotranspiration in wheat field and the groundwater level in Beijing-Tianjin Corridor. SHU Yun-Qiao, CHEN Su-Ying, LEI Yu-Ping, ZHENG Li (Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China), *CJEA*, 2006, 14(3): 71~74

Abstract By using the regional evapotranspiration (ET) model, rGIS-ET, the relationship between evapotranspiration in wheat field and the ground water level in Beijing-Tianjin Corridor in April from 1992 to 2001 was analyzed. The results show that the spacial variations of ET in a county are significant, the water consumption of wheat field trends to reduce in recent 10 years, but the groundwater level sustainably decreases because the supply is slowly. The seasonal change of groundwater level is closely related to the water used by winter wheat, the spacial change of ET may indirectly reflect the amount of groundwater.

Key words Remote sensing, Evapotranspiration, Winter wheat, Groundwater

(Received Mar. 5, 2005; revised April 14, 2005)

京津冀都市圈已进入经济快速增长时期,但日益严重的水资源短缺问题已成为社会和经济发展的主要制约因素。冬小麦是该区域播种面积最大的作物,单产也较高,但由于小麦生长季节内降水量较少,通常需额外灌水 200~300mm 才能保证较高产量,因此冬小麦耗水量的变化对区域水资源平衡存在很大影响,且由于灌溉水源主要来自地下水,耗水量的增减直接影响地下水升降。农田蒸散量(ET)是指从农田中输送到大气的水分总量,其值代表作物总耗水量。利用卫星遥感数据,通过蒸散模型可快速、大区域尺度、可视化、低成本地计算农田蒸散量^[1,4]。由荷兰研究人员开发的 SEBAL 模型(Surface Energy Balance Algorithm for Land)是近年来国际上应用较为成功的遥感蒸散模型,该模型可较准确计算瞬时农田蒸散量,且对地面参数要求较少^[5,6]。本研究运用以 SEBAL 模型原理为基础,在 GIS 平台上开发的区域蒸发 rGIS-ET 模型^[7],计算京津走廊 1992~2001 年间 5 个年份在 4 月的冬小麦日蒸散量,并与地下水位变化进行比较,为较准确估算小单位地下水用水量提供依据。

1 研究区域概况与数据来源

研究区域位于燕山山前平原地区,海拔高度 20~30m,包括夹在京津之间的廊坊市“北三县”中的三河市和大厂县(图 1)。该区域属典型温带大陆性气候,年均气温约 12℃,近 20 年年均降水量约 500mm,年际降水量变异较大,且 70% 左右的降水发生在 6~8 月份。用于估算农田蒸散量的遥感数据为 Landsat TM 和 ETM⁺ 图像(轨道号为 123/32),时间分别为 1992 年 4 月 16 日、1995 年 4 月 9 日、1999 年 4 月 4 日、2000 年 4 月 30 日、2001 年 4 月 17 日,地理校正数据为河北省 1:5 万数字地图,气象数据来源于廊坊市气象局,地下

* 国家高技术研究(863)发展计划项目(2002AA2Z423)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-428)与欧盟合作项目 SUSDEV-CHINA(ICA4-CT-2002-10004)资助

** 本文为作者在中国科学院研究生院学习期间完成

收稿日期:2005-03-05 改回日期:2005-04-14

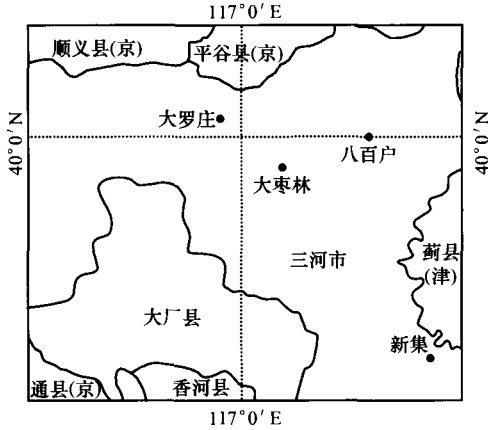


图 1 研究区地理位置及地下水位观测位置

Fig. 1 Map of study site and monitor wells sites of ground water level

感热通量用梯度表达式模拟:

$$H = \rho C_{pair} dT / r_{ah} \tag{3}$$

式中, ρ 为空气密度 (kg/m^3), C_{pair} 为空气定压比热 ($1004\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$), dT 为气温与地表温度差, r_{ah} 为空气动力学阻力 (m/s)。模型通过水分供应充足的“冷点”与干燥的蒸散量为零“热点”计算 dT 。 r_{ah} 为未知量且与感热通量 (H) 彼此相关, 模型引入 Monin-Obukhov 理论通过循环递归算法求解。通过能量平衡方程获得瞬间潜热通量 LE 与蒸发比 Λ :

$$\Lambda = LE / (R_n - G) \tag{4}$$

模型假设一天中蒸发比基本不变, 日蒸散量 ET_{24} 可根据 24h 的净辐射量 (R_{n24}) 和土壤热通量 (G_{24}) 来估算:

$$ET_{24} = \Lambda (R_{n24} - G_{24}) / \lambda \tag{5}$$

式中, λ 为汽化潜热 ($2.49 \times 10^6 \text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{mm}$)。

本研究利用的 rGIS-ET 模型是以 ArcObjects 为开发环境, Visual Basic 为开发语言, 编写生成可加入 ArcMap 工具栏中的模块。模型分为参数设置和模型运行两个模块。参数设置完后保存为文本文件, 再调入到模型运行进行计算, 运算结果以 grid 格式显示, 模型计算流程见图 2。SEBAL 模型在不同地表覆盖区进行检验结果表明, 该模型模拟精度较高^[5], 如美国爱达荷州水资源局和爱达荷大学分别在 Bear Rive 盆地 (2000 年) 和 Kimberly 地区 (2001 年) 对 SEBAL 模型进行地面验证, 发现农田蒸散量估算结果与蒸渗仪 (Lysimeter) 实测结果平均误差 $< 5\%$ ^[5]。由于 SEBAL 尚未在灌溉冬小麦农田进行验证, 本研究用 rGIS-ET 模型在太行山山前平原麦田进行模型验证, 结果表明模型计算冬小麦生长季节蒸散量较可靠, 与观测蒸散量相比相对误差 $< 10\%$ ^[7]。

3 研究区域多年日蒸散量分析

3.1 麦田 4 月份蒸散量

4 月份为冬小麦拔节期, 刘昌明等^[3]于 1996 年在太行山山前平原测得该月份冬小麦农田蒸散量平均值为 3.98mm。1992 年 4 月 16 日和 2001 年 4 月 17 日研究区农田蒸散量平均值分别为 3.78mm 和 4.15mm,

水位数据来自河北省水文局地下水位监测网络。

2 rGIS-ET 模型原理及计算流程

rGIS-ET 模型主要是应用遥感影像的可见光、近红外和热红外波段信息, 通过反演地表反射率 (α)、地表比辐射率、植被指数 (NDVI) 和地面温度 (T_s) 等陆面参数, 结合相关地面气象数据计算区域蒸散量^[2,4]。陆面能量平衡是计算区域蒸散的理论基础:

$$LE = R_n - G - H \tag{1}$$

式中, R_n 为净辐射通量 (W/m^2), G 为土壤热通量 (W/m^2), H 为感热通量 (W/m^2), LE 为潜热通量 (W/m^2)。模型通过辐射平衡以单个像元为计算单位逐个计算其卫星过境时的瞬间净辐射通量 R_n , 再利用 R_n 和 α 与 NDVI 的经验公式求得土壤热通量 G :

$$G = R_n T_s (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98\text{NDVI}^4) / \alpha \tag{2}$$

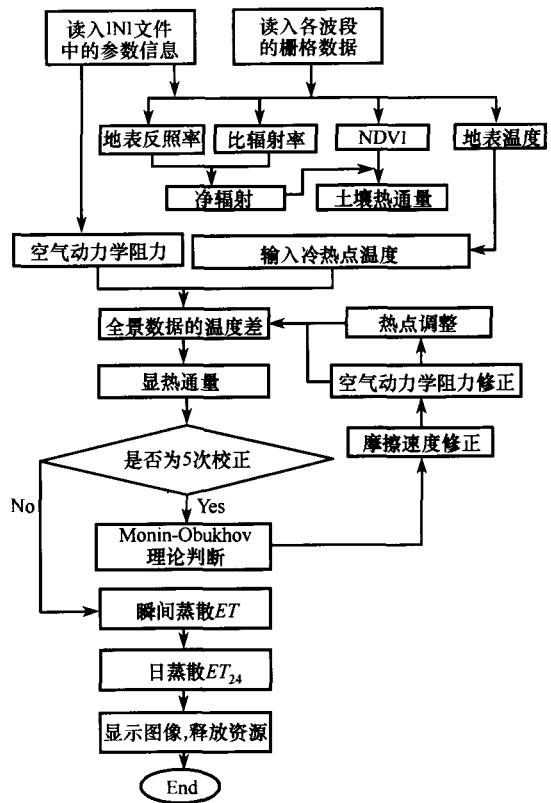


图 2 rGIS-ET 模型计算流程

Fig. 2 The calculating flow of rGIS-ET model

与刘昌明等所得 4 月份平均农田蒸散量值接近(图 3)^[3]。通过该区不同年份麦田日蒸散量分布可以看出(见表 1),拔节初期小麦蒸散量较小(1999 年 4 月 4 日),农田蒸散量主要集中于 1~3mm(占 69%),随拔节期向抽穗期过渡,冬小麦蒸散量逐渐增大,1995 年 4 月 9 日农田蒸散量出现 5mm 以上数值,到 4 月中下旬日蒸散量相对更大,日蒸散量 >5mm 的比例增加,且大部分集中在 2~4mm 之间(1992 年 4 月 16 日和 2001 年 4 月 17 日)。到 4 月底,日蒸散量基本集中在 4~7mm 之间(2000 年 4 月 30 日)。模型计算 4 月份不同期间冬小麦蒸散量符合冬小麦生长期耗水规律,表明模型计算的结果与实际较吻合。冬小麦蒸散包括裸间蒸发和作物蒸腾。4 月上中旬正处于冬小麦拔节阶段,叶面积指数开始增大,归一化植被指数(NDVI)也开始增加,作物蒸腾占整个蒸散的比重也会增加,相应地裸间蒸发将会减少。华北平原 4 月份冬小麦作物蒸腾与裸间蒸发之和比例可达 80%^[2]。该阶段归一化植被指数的高低可反映农田蒸散量的高低。

3.2 日蒸散量的时空变异

与广大华北平原类似,研究区内多数农户耕地面积均 < 0.3hm²,由于目前灌水和施肥还是以农户为单元,不同田块农作物长势及农田耗水量存在较大差异,模型计算结果表明各年份内农田蒸散量空间分布变异非常明显。如按

表 1 各年不同日蒸散水平所占面积比例

Tab.1 Daily ET variations in area proportion in different years

日蒸散量/mm Daily ET	面积比例/% Area proportion				
	1992-04-16	1995-04-09	1999-04-04	2000-04-30	2001-04-17
0-1	0	13	9	0	5
1-2	6	25	31	0	18
2-3	33	30	38	2	24
3-4	47	30	22	17	27
4-6	14	2	0	53	27
6-7	0	0	0	28	0

势。这种变化主要分布在公路、铁路以及城镇边缘,其中三河市冬小麦播种面积下降幅度大于大厂县。三河市邻近京津,农业产业结构正向城郊型农业调整,蔬菜种植面积不断增加,小麦种植面积呈减少趋势。

4 研究区域地下水位变化与作物耗水

过度开采地下水打破了含水层补给与开采的平衡,同时带来严重的环境问题,京津走廊已形成多处范围较大的常年性地下水位下降漏斗,为实现地下水资源的可持续利用,监测地下水位变化,准确计算区域内各用水单元开采量变得十分重要。由图 4 可知 1999 年前三河市大罗庄、大枣林、八百户、新集 4 点地下水位变化还处于平衡状态,三河市和大厂县靠近燕山,水文地质条件有利地下水补给,地下水储量较丰富,降水量在正常或较高年份,4 个观测点的地下水采补尚能维持平衡,但大枣林与八百户年内地下水位季节变化明

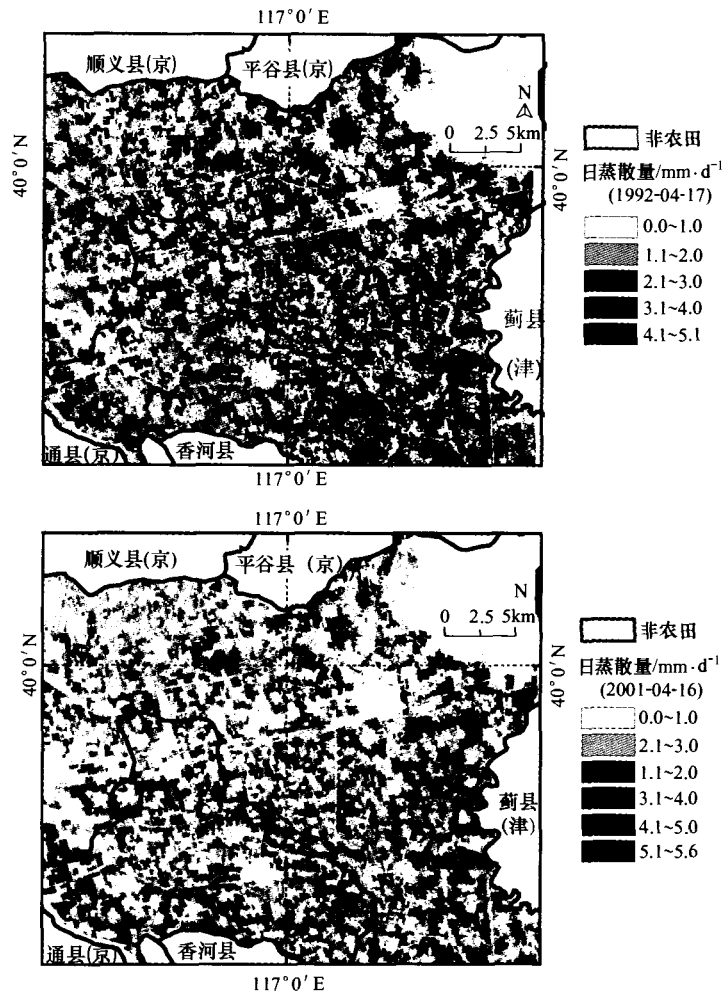


图 3 模型计算 1992 年 4 月 16 日与 2001 年 4 月 17 日日蒸散量

Fig.3 Calculated daily ET on April 16, 1992 and April 17, 2001

1mm 变化量来划分日蒸散量水平,研究区内 1992 年、1999 年和 2000 年日蒸发量主要分布在 3 个水平范围内,另外 2 年差异更大一些,蒸散量主要分布在 4 个水平(见表 1)。4 月份冬小麦田蒸散量较大,而其他作物(如棉花和蔬菜)刚刚开始播种或定植,农田蒸散量很小,因此模型所计算出有较高蒸散量的农田可近似认为麦田。图 3 中 2001 年有明显蒸发的面积比 1992 年缩小近 7%,可推测研究区内冬小麦播种面积呈下降趋

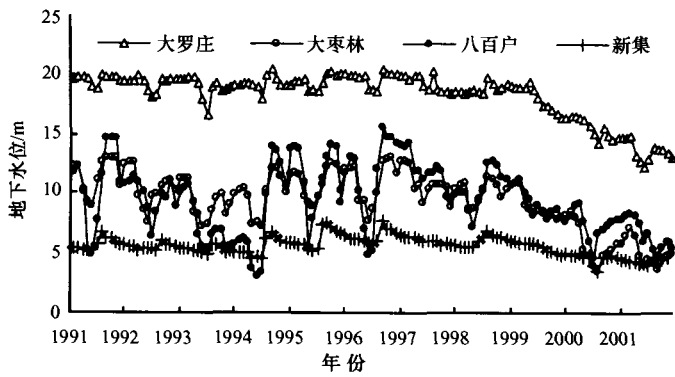


图4 1991~2001年三河市4口观测井地下水水位变化

Fig. 4 Fluctuation of groundwater levels at four monitor wells at Sanhe City from 1991 to 2001

显,特别是在3~5月的小麦用水高峰期,水位几近直线下降,地下水位明显反应了采补过程。1999年后除新集点外其他3点均呈明显下降趋势,其原因与降水量偏低有关。由图3可知1992年和2001年新集和八百户两点附近区域蒸散量均较大,导致两点地下水位变化趋势不同的原因不是地下水开采量的不同,而可能是补水的差异,新集附近洹河、鲍邱河和一些支流形成了一个小河网,对该区地下水补给有较强影响。4个水位监测点相距仅10~30km,但水位空间变异却远远大于农田蒸散的变化,因此仅用地下水位变化很难在小尺度上(如村为单位)估测各用户的开采量。随“水权”概念逐步引入我国水资源

管理实践中,估算与比较各农户的地下水开采量变得非常重要。Landsat卫星数据的分辨率可达30m,因此计算农田蒸散量的精度可达到 0.1hm^2 ,不仅可满足村庄这样小尺度的计算,甚至可精确到小组或农户水平。且目前使用遥感数据的成本在逐渐降低,遥感蒸散模型在地下水资源管理中将发挥更重要的作用。

5 小结

区域遥感模型rGIS-ET能正确反映4月份冬小麦农田蒸散规律,并较准确计算出日蒸散量。与1992年相比,研究区2001年作物面积减少,麦田日蒸散量明显降低,冬小麦耗水减少。在同一县内麦田日蒸散量空间变异非常明显,如以1mm来划分水平等级,则全区蒸散量分布在3~4个水平。十年来麦田耗水呈减少趋势,但由于其他原因地下水位仍呈持续下降趋势。地下水位动态可评估地下水水资源的变化,但结合遥感技术则能更准确地估算小面积农田对地下水的消耗量,为将来实施水权制度提供依据。

致谢 河北省水文局为本研究提供地下水位数据,廊坊市气象局为本研究提供气象数据,谨表谢意!

参 考 文 献

- 1 潘志强,刘高焕,周成虎.基于遥感的黄河三角洲农作物需水空间时空分析.水科学进展,2005,16(1):62~68
- 2 孙宏勇,刘昌明,张喜英等.华北平原冬小麦田间蒸散与棵间蒸发的变化规律研究.中国生态农业学报,2004,12(3):62~64
- 3 刘昌明,张喜英,由懋正.大型蒸渗仪与小型棵间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究.水利学报,1998,10(10):36~39
- 4 Bastiaanssen W. G. M., Molden D. J., Makin I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, 2000, 46: 137~155
- 5 Bastiaanssen W. G. M., Menenti M., Feddes R. A., et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1 Formulation. *Journal of Hydrology*, 1998a, 212~213: 198~212
- 6 Bastiaanssen W. G. M., Menenti M., Feddes R. A., et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2 Validation. *Journal of Hydrology*, 1998b, 212~213: 213~229
- 7 Yuping Lei, Yunqiao Shu, Li Zheng, et al. Estimating regional agricultural water use based on remote sensing data: a case study at Luancheng County of North China Plain. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability II*. Bellingham, WA: SPIE, 2005