

模型运用于秦皇岛市第二产业需水预测过程中,选取与用水量相关性较好、又能衡量需水情况的因子:工业产值、工业规模以上产值、工业规模以下产值、火核电产值、工业水重复利用率、建筑业产值、水价,以 2000—2005 年调查数据为基础建立基于混合智能算法的支持向量机预测模型,预测 2006、2007 年秦皇岛市第二产业需水量。

利用模型针对上述学习样本进行秦皇岛市第二产业需水量预测。能否合理确定 LS-SVM 的惩罚系数(c)和核参数(σ)直接影响到模型的精度和推广能力,笔者通过混合智能算法优化 LS-SVM 参数

对(c, σ)。取群体规模为 60,最大进化次数为 200,粒子的向量维数为 2,PSO 加速常数 $c_1=c_2=1.5$,惯性权重(ω)由 0.9 线性变化到 0.4,选择概率(P_1)为 0.5,变异概率(P_0)为 0.1。模型计算参数结果,见表 1。

通过对参数的搜索,第 87 代出现了最佳适应值,其值为 MAPE=3.669 5。因此,把第 87 代的最佳个体作为最佳化参数值,此时的参数值分别为 $c=963, \sigma=0.274 1$,将此参数组合带入预测模型中,对秦皇岛市 2006—2007 年第二产业用水进行预测。

表 1 模型计算参数结果

b	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
0.562 25	-3.638 13	6.986 29	-6.862 29	5.285 46	-3.825 94	2.054 61

表 2 实际值与预测值对比

类别	年份	实际值	计算值	绝对误差	相对误差/%	最大绝对误差	平均相对误差/%
拟合	2000	91 904.89	91 910.25	5.36	0.005 84	24.64	0.009 00
	2001	92 659.85	92 664.37	4.52	0.004 88		
	2002	97 643.62	97 618.98	24.64	-0.025 23		
	2003	126 283.32	126 304.94	21.62	0.017 12		
	2004	119 685.11	119 684.01	1.10	-0.000 92		
	2005	121 916.47	121 916.49	0.02	0.000 01		
预测	2006	124 356.78	122 543.88	1 812.90	-1.457 82	1 812.90	1.373 68
	2007	125 572.62	127 191.94	1 619.32	1.289 54		

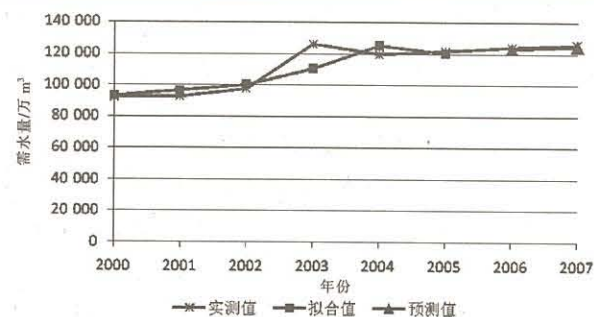


图 1 模型实际值、拟合值与预测值对比

由表 2 和图 1 可以看出,模型计算的拟合值和预测值与秦皇岛市的第二产业实际用水吻合较好。通过统计分析,2000—2005 年的拟合部分最大相对误差为 0.025 23%,平均相对误差为 0.009%;2006—2007 年的预测部分,最大相对误差为 1.457 82%,平均相对误差为 1.373 68%,均小于 5%。由此可见,利用该模型预测秦皇岛市第二产业需水发展的结果是令人满意的,具有较高预测精度。

3 结语

(1)基于混合智能算法优化 LS-SVM 的需水预测模型能够快速地对寻优,该方法较单一智能算法具有一定的优越性。

(2)研究实例表明,笔者建立的优化模型能够解

决复杂关系的多因素影响因子的需水预测问题,预测模型拟合精度较高,预测结果较合理。

(3)针对预测结果存在误差的问题,在今后的运用过程中需加大样本容量,以便提高预测的准确性。

参考文献:

- [1] 刘卫林. 几种需水量预测模型的比较研究 [J]. 人民长江, 2011, 42(13): 19-22.
- [2] 张伟, 吴丹, 李小奇, 等. 基于最小二乘支持向量机的大坝应力预测模型[J]. 水利与建筑工程学报, 2011(1): 26-29.
- [3] 熊伟丽, 徐保国. 基于 PSO 的 SVR 参数优化选择方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2006(9): 22-26.
- [4] 曹成涛, 徐建闽. 基于 PSO-SVM 的短期交通流预测方法 [J]. 计算机工程与应用, 2007(15): 15-18.
- [5] 梅松, 程伟平, 刘国华. 基于支持向量机的洪水预报模型初探[J]. 中国农村水利水电, 2005(3): 34-36.
- [6] Yu X Y, Liang S Y, Babovic V. EC-SVM approach for real-time hydrologic forecasting [J]. Journal of Hydroinformatics, 2004, 6(3): 209-223.
- [7] 陈磊, 张士乔. 基于最小二乘支持向量机的时用水量预测模型[J]. 哈尔滨工业大学学报(自然科学版), 2006, 38(9): 1528-1530.
- [8] 钟伟, 董增川, 李琪. 混合算法优化投影寻踪模型的需水预测研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(7): 31-33.

基于 ET 技术的水资源管理方法研究

——以山西省潞城市为例

毕小雪¹, 杨士斌¹, 王玉芳¹, 许新宜², 杨 薇²

(1. 海河水利委员会海河下游管理局, 天津 300061; 2. 北京师范大学, 北京 100875)

摘要: 为了提高区域水资源的综合利用水平, 介绍了一种基于 ET(Evapotranspiration)的水资源管理方法。根据山西省潞城市的实际情况, 分别从供耗平衡原理、SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模型、遥感 ET 3 个方面推算出潞城市基准年的综合 ET 值, 进而计算出规划年的目标 ET 值。利用潞城市 SWAT 模型应用工具, 模拟规划年在不同农业管理方式下的 ET, 从而确定削减 ET。结果表明, 规划年的目标 ET 与模拟 ET 之间不存在无效 ET。此项研究证明了 ET 技术的应用可提升地区水资源管理水平, 为地区制定合理的水资源规划提供有力的决策依据。

关键词: 水资源管理; ET; SWAT; 潞城市

中图分类号: TV213.4; TV214

文献标识码: B

文章编号: 1004-7328(2012)06-0051-03

1 引言

全球环境基金 (Global Environment Facility, 简称 GEF) 支持下的“海河流域水资源与水环境综合管理” (Integrated Water and Environment Management, IWEM) 项目 (以下简称 GEF 海河项目) 旨在海河流域范围内探讨水资源与水环境综合管理的协调机制和行动计划, 提高海河流域水资源与水环境的综合管理水平, 减轻流域水污染状况, 从而改善渤海的水环境质量。

按照项目总体设计要求, 漳卫南运河子流域是整个项目中以污染防治为重点的子流域级水资源和水环境综合管理项目, 其主要内容是编制水资源与水环境综合管理战略行动计划 (SAP), 潞城市作为该子流域上游一个重要的县级市开展水资源与水环境综合管理规划 (IWEMP) 的编制。

世界银行水资源专家提出, 在流域水量平衡关系中, 只有 ET 才是闭合区域内水资源的净消耗量, 即 ET 是一个区域的“真实”耗水量^[2]。只有控制区域的 ET 量, 才能从根源上控制水的损耗, 终止地下水的过度开采, 使全流域在可持续发展的同时, 逐渐达到一个较合理的用水平衡并恢复良好的生态环境^[3]。加强 ET 管理是促进水资源合理规划的有效手段^[4]。

因此, 结合海河流域水资源管理的需要和遥感技术的发展, GEF 海河项目提出了一种基于 ET 技术的水资源管理方法, 主要体现在遥感 ET 的应用、目标 ET 理论、SWAT 模型在 ET 模拟中的应用以及 ET 平衡分析。

笔者从基于 ET 技术的水资源管理方法出发, 首先分别从供耗平衡原理、SWAT 模型^[5-7]、遥感 ET 3 个方面计算出潞城市的基准年综合 ET, 进而推算出规划年的目标 ET。通过构建潞城市 SWAT 模型, 设置不同的农业管理方式, 得到不同情景下的模拟 ET, 并将其与相应的目标 ET 进行平衡分析。充分将 ET 技术应用到潞城市水资源管理中, 为调整潞城市水资源利用与分配方式、制定合理的 IWEMP 提供一定的决策依据。

2 研究区概况

潞城市域全境属海河流域漳卫南运河子流域, 地处山西省东南部, 西北与襄垣县以山为界, 东北与黎城县隔河相望, 东南与平顺县谷岭交错, 西南与长治市郊区垣川接壤。市境轮廓呈不规则四方形状, 面积为 614.94 km²。境内气候属中温带大陆性气候; 多年平均年气温为 9.2 ℃; 多年平均年降雨量为 501.6 mm; 多年平均年蒸发量为 1 559.3 mm。常流河有浊漳南源和浊漳干河, 其他均为季节性河流。潞城市辖 4 个镇 (店上镇、翟店镇、微子镇、辛安泉镇)、3 个乡镇 (史回乡、合室乡、黄牛蹄乡)、2 个办事处 (潞华办事

收稿日期: 2012-08-20

作者简介: 毕小雪 (1985-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事水资源管理工作。

处、成家川办事处),共 202 个行政村。

随着潞城市经济的发展,水资源问题日益严峻。地表水可利用率低,河流污染严重,导致地表水可供水量日趋衰减,水资源的供需矛盾日益突出。

3 潞城市目标 ET 的确定

3.1 基准年综合 ET 计算

根据文献[1],2004 年作为该项目基准年。笔者分别从供耗平衡原理、SWAT 模型和遥感 ET 3 个方面计算基准年的综合 ET 值。

3.1.1 基于供耗平衡原理的 ET 计算

供耗平衡原理是指在实际水资源消耗量和总的目标消耗量(或称之为水资源允许最大消耗量 ET)间的平衡。潞城市的最大可用 ET,是指当地所有可以用于蒸散发的水量,用本地降水量与其他可以蒸发的水量之和减去通过径流方式流出本地的水量。根据潞城市 2004 年基线调查报告可知,该地区虽有出入境河流,但多数为过境流量,2004 年尚未开始建立污水处理厂(2005 年兴建),且没有境外调水,因此以上部分不纳入计算。按照现状水权分配,潞城市可利用水资源量为 0.44 亿 m³;考虑到河道生态需水的因素,假定由于降水形成的自产径流量的 10%作为区域内河道的生态需水量,通过供耗平衡原理计算得到全市的最大可用 ET 为 510.70 mm。

3.1.2 基于 SWAT 模型的 ET 计算

利用北京师范大学水科学研究院开发的潞城市 SWAT 模型应用工具,建立潞城市 SWAT 模型,模拟基准年 ET 值^[8-10]。根据潞城市数字高程模型(DEM)和数字河网图,利用 ArcGIS9.2 版本的空间分析模块,将潞城市划分为 64 个子流域。输入土地利用图和土壤图,按照模型要求进行重分类并叠加,生成 413 个水文响应单元(HRU),构建 SWAT 模型参数库。将其与气象、降雨信息等输入到潞城市 SWAT 模型应用工具中,设置基准年的作物种植结构、灌溉制度和灌溉水源,最终得到模拟 ET 结果为 462.61 mm。

3.1.3 基于遥感技术的 ET 计算

中科院遥感所提供了基于 ETWatch 系统生产的 30m×30m 分辨率的 2003、2007、2008 年的山西省潞城市全市的遥感 ET,见表 1。

表 1 2003、2007、2008 年潞城市遥感 ET 数据			
年份	2003	2007	2008
遥感 ET 值/mm	505.90	368.30	470.70

由表 1 可知,潞城市高分辨率的遥感 ET 数据缺乏长时间序列,只有 2003、2007、2008 年 3 年的数据。考虑到缺少基准年 2004 年的遥感数据,且现有

3 年的数据差别较大,这里暂取其平均值,约为 448.3 mm。而综合 ET 为遥感 ET 与工业及生活耗水 ET 之和,根据基线调查结果,现状工业与生活耗水量约为 2 586 万 m³,折合 ET 值为 42.06 mm,因此由遥感数据得到的综合 ET 值为 490.36 mm。

3.1.4 潞城市基准年综合 ET 值的确定

由以上 3 种方法计算得到的综合 ET 值差别较大,其中的任何一个结果均不能完全代表基准年的实际综合 ET 值。因此,笔者综合考虑了以上 3 种方法的差异性及潞城市的产业结构和农业种植特点,结合 GEF 海河项目要求,对上述 3 个计算结果进行加权平均作为潞城市基准年的综合 ET 值,即为 487.9 mm。

3.2 规划年目标 ET 确定

目标 ET 理论是水资源管理研究的前沿,受到世行项目专家组的高度推崇,被确定为 GEF 海河项目的重要基础理论。目标 ET 是指在一个特定发展阶段的流域或区域内,以其水资源条件为基础,以生态环境良性循环为约束,满足经济持续向好发展与和谐社会建设要求的可消耗水量。

由前述研究结果可知,基准年综合 ET 为 487.9 mm。参考《海河流域节水和高效用水战略研究》的研究成果,潞城市 2020 年目标 ET 为 467.00 mm。依据文献[1],至 2010、2020 年分别完成削减 ET 量的 40 %与 100 %,从而得到 2010、2020 年的目标 ET 分别为 480、467 mm。

4 规划年模拟 ET 计算

依据文献[1],结合潞城市基准年水资源利用现状,对 2010 年平水年(P=50%)、2010 年枯水年(P=75%)、2020 年平水年(P=50%)、2020 年枯水年(P=75%)4 个情景进行设置,分别采用不同的作物种植结构、灌溉制度以及灌溉水源^[1],利用潞城市 SWAT 模型应用工具进行情景模拟,情景设置及模拟结果见表 2。

5 ET 平衡分析计算

ET 平衡分析计算,即为规划年的模拟 ET 与相应的目标 ET 间的平衡分析计算,所得到的差值即为削减 ET 值。不同情景下的潞城市 ET 平衡分析计算结果见表 3,如图 1 所示。

结果表明,在情景年 2010 年,不同水平年的模拟 ET 均低于目标 ET。这说明了调整作物种植结构,加大节水灌溉力度,可减少农业耗水量。而枯水年的模拟值大于平水年的模拟值,这是由于枯水年降雨较平水年减少,导致灌溉水量加大,从而使无效 ET

表 2 情景设置及模拟结果

情景设置	作物种植结构	灌溉制度	灌溉水源	模拟 ET/mm
2010 年(P=50%)	以种植玉米为主,小部分地区种植小麦等其他作物,中部山区有林地种植。	改进灌溉设备,加大节水灌溉面积。灌溉量 750 mm/hm ² ,分 2 次灌,每次灌 375 mm。	灌溉水源均来自于河道水,不开采地下水。	449
2010 年(P=75%)	与 2010 年平水年情况下的作物种植结构相同	灌溉量增加到 900 mm/hm ² ,分 2 次灌,每次灌 450 mm。	灌溉水源均来自于河道水,不开采地下水。	451
2020 年(P=50%)	在 2010 年作物种植结构基础上,加大林地的种植面积,减少耕地面积。将原有部分种植玉米的土地转变成种植林地。	在 2010 年的基础上,进一步改进灌溉设备,灌溉量为 450 mm/hm ² ,分 2 次灌,每次灌 225 mm。	灌溉水源均来自于河道水,不开采地下水。	452
2020 年(P=75%)	与 2020 年平水年情况下的作物种植结构相同	灌溉量为 600 mm/hm ² ,分 2 次灌,每次灌 300 mm。	灌溉水源均来自于河道水,不开采地下水。	456

表 3 不同情景下潞城市 ET 平衡分析计算结果

情景设置	目标 ET/mm	模拟 ET/mm	削减 ET/mm
2010 年(P=50%)	480	449	31
2010 年(P=75%)	480	451	29
2020 年(P=50%)	467	452	15
2020 年(P=75%)	467	456	11

增多。因此,针对不同的作物类型,需要实施不同的灌溉方式,积极实行覆盖保墒措施,提高作物的水分利用效率,从而减少无效 ET 的产生。

在 2010 年基础上,2020 年将进一步调整作物种植结构,加大林地的种植面积,减少耕地面积,同时减少灌溉水量,但是模拟 ET 较 2010 年并没有减少。这是因为林地面积的增加使得植物蒸腾量增加,从而导致 ET 总量并未降低。在这样的情况下,应继续加强对该地区农业种植结构的调整,积极发展温室及其他高效农业。同时,计算结果表明,尽管 2020 年的模拟 ET 低于目标 ET,但是两者差距减小。因此,在进一步加大农业管理方式调整力度的基础上,要注重其他水源的开发与利用,加强水资源的合理配置,降低耗水量,以提高地区水资源综合利用水平。

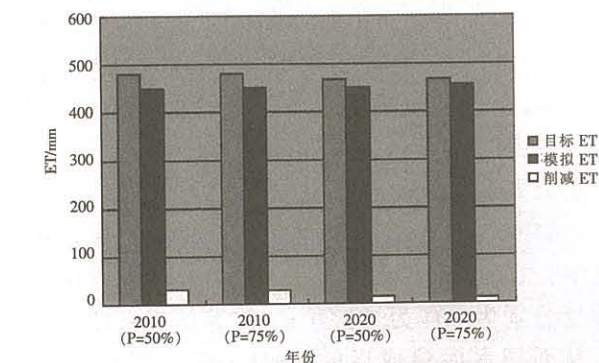


图 1 不同情景下潞城市 ET 平衡分析

6 结论

根据 GEF 海河项目要求,结合潞城市的实际情况,开展了基于 ET 技术的水资源管理方法研究。从供耗平衡原理、SWAT 模型和遥感 ET 3 个方面计算出基准年的综合 ET 值。结合目标 ET 理论,计算出规划年目标 ET。从调整作物种植结构、灌溉制度和灌溉

水源 3 个方面,设置不同的情景,利用潞城市 SWAT 模型应用工具模拟 ET 值,进行 ET 平衡分析计算,通过改善情景设置使模拟 ET 值达到水资源管理目标,从而为潞城市水资源管理提供科学的决策依据。

需要指出的是,目前可获得的遥感解译 ET 数据的精度还未达到较高的水平,因此在实际应用过程中需考虑其本身存在的误差。并且针对像海河流域这样高强度人类活动的地区,SWAT 模型在水库、灌溉、取用水模拟方面存在不足,今后需做进一步的改进。

参考文献:

- [1] 北京师范大学(BNU). GEF 项目报告:山西省潞城市水资源与水环境综合管理规划(IWEMP) [R]. 北京:北京师范大学,2011.
- [2] 王晶,袁刚,王金梁,等. ET 管理在节水措施中的应用[J]. 水科学与工程,2009(1):33-36.
- [3] 王介民,刘绍民,孙敏章,等. ET 的遥感监测与流域尺度水资源管理[J]. 干旱气象,2005,23(2):1-7.
- [4] 李永根. 加强 ET 管理,实现农业真实节水[J]. 河北水利,2007(2):26-28.
- [5] 丁晋利,郑粉莉. SWAT 模型及其应用[J]. 水土保持研究,2004,11(4):128-130.
- [6] Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R. & Williams, J. R. (2005) Soil and Water Assessment Tool User's Manual (Version 2005)[M]. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Temple, Texas, USA, 2005:1-520.
- [7] Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2001) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (Version 2000) [M]. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Temple, Texas, USA, 2005:1-483.
- [8] 王中根,朱新军,夏军,等. 海河流域分布式 SWAT 模型的构建[J]. 地理科学进展,2008,27(4):1-6.
- [9] 罗睿,徐宗学,程磊. SWAT 模型在三川河流域的应用[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(5):28-33.
- [10] 罗慈兰,叶水根,李黔湘. SWAT 模型在房山区 ET 的模拟研究[J]. 节水灌溉,2008(10):47-49.
- [11] 马济元. 农业节水灌溉新的理念与实践 [J]. 世界农业,2009(2):52-55.