

黄土高原水面蒸发量初步估算

贾莲莲, 王小江

(水利部黄河水利委员会 黄河上中游管理局, 西安 710021)

摘要:为了估算黄土高原的水面蒸发量,明确黄土高原干燥度指数的空间分异规律,收集了黄土高原及其周边地区共154站水面蒸发实测资料和216站降水资料,采用克里格插值法,对黄土高原的水面蒸发、干燥度指数进行了分析。结果显示:黄土高原多年平均水面蒸发量变化于1 107~3 308 mm,由东南至西北递增;遥感提取的黄土高原水体面积为1 326.48 km²,占黄土高原总面积的0.21%,黄土高原水体的年总蒸发量为26.28亿m³,占该区多年平均降水量的0.90%;黄土高原半湿润带、半干旱带以及干旱带所占面积比例分别为26.18%,53.73%和20.09%。研究结果对黄土高原水资源利用具有一定的参考价值。

关键词:水面蒸发;遥感;克里格插值;干燥度指数;黄土高原

中图分类号:P426.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0143-03

A Preliminary Estimation of Water Surface Evaporation in Loess Plateau

JIA Lian-lian, WANG Xiao-jiang

(Upper and Middle Yellow River Bureau, Yellow River Conservancy
Commission of the Ministry of Water Resources, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to estimate the water surface evaporation and the spatial variation of drought index on the Loess Plateau, the data of 154 evaporation stations and 216 precipitation stations were collected across the Loess Plateau and the adjacent areas. The surface evaporation, drought index of the Loess Plateau were analyzed by using the Kriging interpolation method. The result show that annual average surface evaporation ranges from 1 107 mm to 3 308 mm, increases from southeast to the northwest by turns; water body area is 1 326.48 km², accounting for 0.21% of total area, the total average annual water surface evaporation of water body was estimated to be 2.628×10^9 m³ in Loess Plateau combining the evaporation data, accounting for 0.90% of the total annual average rainfall; the percentages of subhumid zone, semi-arid zone and arid zone are 26.18%, 53.73% and 20.09%, respectively. The research result has an important reference for water resources utilization on the Loess Plateau.

Key words: water surface evaporation; remote sensing; Kriging interpolation; drought index; Loess Plateau

蒸发是自然界水文循环过程中的主导因素之一,是水量平衡要素的重要组成部分,水面蒸发是目前研究较为成熟的一种蒸发现象,水面蒸发的研究对于区域气候、旱涝变化趋势,水资源形成及变化规律,水资源评价等方面的研究有着重要意义^[1]。黄土高原由于气候干旱导致的植被覆盖度降低,是造成其水土流失的主要原因之一^[2]。对黄土高原降雨、径流、土壤水分、水资源利用等方面目前已有较多的研究报

道^[3-4],但作为水循环重要组成部分的蒸发环节,目前研究较少。因此,摸清黄土高原的水体分布规律及其蒸发情况,对于促进黄土高原综合治理和水资源合理利用都有积极的作用。本文首先收集黄土高原的降雨和水面蒸发数据,利用克里格插值法,获得黄土高原降水和蒸发的面数据,并计算黄土高原的干燥度指数,同时使用TM影像,提取黄土高原的水体分布情况,结合蒸发资料,估算整个黄土高原的水体蒸发量。

收稿日期:2012-08-13

修回日期:2012-12-01

资助项目:节水型社会建设及用水控制、评估(黄河流域重点支流用水情况调查和评估)

作者简介:贾莲莲(1983—),女,甘肃西峰人,硕士,助理工程师,主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail:jlh83@163.com

通信作者:王小江(1979—),男,陕西华阴人,助理工程师,主要研究方向为水土保持。E-mail:wxj2118129@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

20 世纪 80 年代的黄土高原地区综合考察,考虑行政区划的完整性,所界定的黄土高原的范围将包括相邻黄土覆盖的高地和黄土沉积的盆地和河谷阶地都划在一起称之为黄土高原地区,南以秦岭山脉为界,北以阴山山脉为界,东以太行山为界,西以贺兰山、日月山为界。地理坐标为东经 $100^{\circ}52'$ — $114^{\circ}33'$,北纬 $33^{\circ}41'$ — $41^{\circ}16'$,包含青、甘、宁、蒙、陕、晋、豫等七省(区),总面积 64.2 万 km^2 (约占国土面积的 6.5%)^[5]。黄土高原地区处于东南湿润季风气候区和西北内陆干旱气候区的过渡带,大部分地区降水量少,气候偏旱,属大陆性季风气候。植被以草原植被为主,主要的土壤类型为黄绵土。黄土高原一个显著的特征是水土流失严重,水土流失面积 45.4 万 km^2 (水蚀面积 33.7 万 km^2 、风蚀面积 11.7 万 km^2),占总面积的 71% ,多年平均输入黄河泥沙量达 16 亿 t,是我国乃至世界上水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区之一。

1.2 数据来源与处理

Landsat 水体数据来源于国际科学数据服务平台(<http://www1.csd.cn/>),由于黄土高原面积广大,影像成像时间分布在 6—9 月份之间。水体的亮度值在 TM 及 ETM⁺ 影像的 2,3 波段上,与滩涂、山体阴影有较大区别,而与居民地、水体、林地区别不明显;在 4,5 波段上,水体亮度值最小,与其它地物区别明显。利用这种反射特性,选择一定的波段组合,可以有效地将水体和其它地物区分开来^[6]。水体提取模型为:

$$(TM2+TM3)/(TM4+TM5) > k_1 \quad (1)$$

式中:TM2, TM3, TM4, TM5——TM 影像的第 2, 3, 4, 5 波段的亮度值; k_1 ——阈值范围,一般取: $1 \leq k_1 \leq 2$ 。

水面蒸发和降水数据来源于黄土高原生态环境数据库(<http://www.loess.csd.cn/>)和人地系统主题数据库(<http://www.data.ac.cn/>),其中共收集降水数据 216 站,蒸发数据 154 站,并根据任芝花等^[7]的研究成果,取年平均折算系数为 0.67,将小型蒸发皿数据统一换算为 E601 蒸发器数据,以供后续计算分析。

1.3 分析方法

采用普通克里格法(Ordinary Kriging)进行空间插值,利用点数据获得黄土高原面数据,克里格插值是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优化的一种方法,是地统计

学的主要内容之一^[8],在黄土高原降水变化特征方面已有较多应用^[9-10]。普通克里格方法的插值公式为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中: $Z(x_0)$ —— x_0 处的估计值; $Z(x_i)$ —— x_i 处的观测值; λ_i ——普通克里格权重系数; n ——观测点个数。式(2)中的权重系数由克里格方程确定:

$$\gamma\lambda = g \quad (3)$$

式中: γ ——所有观测点之间的半变异值;权重系数 $\lambda = \{\lambda_1 \lambda_1, \lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_1 \mu\}^T$; $g = \{\gamma_{10} \gamma_{20} \cdots \gamma_{n0}\}^T$,其中的元素 γ_{i0} 表示测站样本点 x_i 与插值点 x_0 之间的半变异值; μ 为拉格朗日乘子,由无偏估计的限制条件得出。

普通克里格模型是将观测点与预测点之间的空间相关关系包含在模型所表述的矩阵 γ 和向量 g 中,二者由半变异理论模型给出。克里格方法的核心就是确定半变异函数(Semi-variogram)。半变异函数描述了区域性变量随距离矢量的变化情况,其数学表达式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(z_i+h)]^2 \quad (4)$$

式中: $N(h)$ ——相距为 h 的数据对的个数。将 $\gamma(h)$ 与 h 点绘成图,就得到试验半变异函数图。利用数学方法拟合,就可以得到理想的半变异函数模型,用于定量揭示空间变异规律,并将其结果直接应用于最优空间插值,最常见的半变异函数模型为球面模型。

干燥度指数是反映气候干旱程度的指标,通常定义为年蒸发能力和年降水量的比值,即:

$$r = E_0 / P \quad (5)$$

式中: r ——干燥度指数; E_0 ——年蒸发能力,常以 E-601 水面蒸发量代替(mm); P ——年降水量(mm)。根据选用站 E-601 蒸发器多年平均年水面蒸发量和多年平均年降水量,可计算得到多年平均年干燥度指数。多年平均年干燥度指数 r 与气候分布密切相关,当 $r < 1.0$ 时,表示该区域蒸发能力小于降水量,该地区为湿润气候,当 $r > 1.0$ 时,即蒸发能力大于降水量,说明该地区偏干旱, r 越大,即蒸发能力超过降水量越多,干旱程度就越严重。

2 结果与分析

2.1 黄土高原水面蒸发空间分布特点

根据收集到的 154 站蒸发资料,采用克里格插值法,半方差模型为指数模型进行空间插值。半方差模型的块金值(Nugget)为 0.001 38,变程(Range)为 1 292 717.58,基台值(Partial sill)为 0.073 73,块金系数为 0.018 71。黄土高原多年平均水面蒸发量变化于 1 107~3 308 mm 之间,从东南至西北依次增加(图 1)。

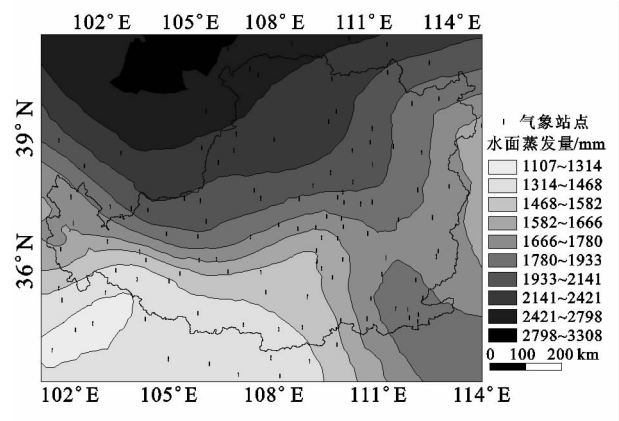


图1 黄土高原多年平均水面蒸发量的克里格插值

2.2 黄土高原水体蒸发量计算

黄土高原水体特征复杂,在规模、密度、分布特征上呈现出多样性,利用遥感数据感测范围大、信息量多、更新时间快的特点来进行水体信息提取,对水资源调查、湿地保护以及水资源宏观监测等具有重要的意义。目前的研究主要集中在两个方面:一是对河流、湖泊大尺度水体的提取;一是对局部地区,细小水体的提取。两类模型在水体信息的提取上,都存在一定的局限性,本研究使用的水体遥感结果经过多方调研,综合了各类模型的优点,实现了大范围下水体信息的精确提取(图2)。根据TM遥感影像的提取结果,黄土高原的水体总面积为1 326.48 km²。占黄土高原总面积的0.21%。根据水体的遥感提取结果和水面蒸发插值(图1),计算得出黄土高原多年平均水面蒸发量为26.28亿m³,占黄土高原地区多年平均径流量的3.70%,占黄土高原多年平均降水量的0.90%。

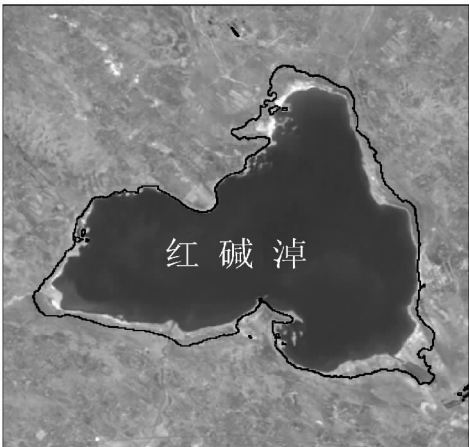


图2 红碱淖水体遥感提取结果(黑色边界)

2.3 干燥度指数

干燥度指数是表征一个地区干湿程度的指标,一般以某个地区水分收支与热量平衡的比值来表示,其倒数称为湿润指数。国内外学者提出了许多计算干燥度指数的方法^[11],但目前使用最广泛的为年蒸发能力和年降水量的比值。据此,干燥度的计算结果

(表1)表明,黄土高原南部处于半湿润带,面积为16.81万km²,占黄土高原总面积的26.18%,中间大部为半干旱带,面积为34.49万km²,占黄土高原总面积的53.73%,西北为干旱带,面积为12.90万km²,占黄土高原总面积的20.09%。各带之间分割线的西南—东北走向,反映了黄土高原典型的东南季风气候的特点。

表1 黄土高原干燥度计算结果

| 区域 | 干燥度 | 面积/万 km ² | 比例/% |
|------|-----|----------------------|-------|
| 半湿润带 | 1~3 | 16.81 | 26.18 |
| 半干旱带 | 3~7 | 34.49 | 53.73 |
| 干旱带 | >7 | 12.90 | 20.09 |

3 结论

黄土高原多年平均水面蒸发量值变化于1 107~3 308 mm,从东南至西北递增。据遥感影像的提取结果,黄土高原水体面积为1 326.48 km²,占黄土高原总面积的0.21%。黄土高原多年平均年总水面蒸发量为26.28亿m³,占黄土高原多年平均水资源量的3.70%,占多年平均降雨量的0.90%。干燥度计算结果显示,黄土高原南部处于半湿润带,中间大部为半干旱带,西北为干旱带,各带之间分割线的西南—东北走向,反映出黄土高原典型的东南季风气候的特点。

参考文献:

[1] 武金慧,李占斌. 水面蒸发研究进展与展望[J]. 水利与建筑工程学报,2007,5(3):46-50.

[2] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社,2004.

[3] 王晶,朱清科,刘中奇,等. 黄土丘陵区不同林地土壤水分动态变化[J]. 水土保持研究,2011,18(1):220-223.

[4] 马丽梅,王万忠,焦菊英,等. 黄河中游输沙与减沙的时空分异特征[J]. 水土保持研究,2010,17(4):67-77.

[5] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全(西北黄土高原区卷)[M]. 北京: 科学出版社,2010.

[6] 程磊,徐宗学,左德鹏. 基于 Landsat TM 数据的黄土高原区水体识别方法研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2010,46(3):424-430.

[7] 任芝花,黎明琴,张纬敏. 小型蒸发器对 E-601B 蒸发器的折算系数[J]. 应用气象学报,2002,13(4):508-512.

[8] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社,1999.

[9] 孟庆香,刘国彬,杨勤科. 基于 GIS 的黄土高原气象要素空间插值方法[J]. 水土保持研究,2010,17(1):10-14.

[10] 曹晓敏,刘志红,张晓萍. 黄土高原中游降雨量的空间插值方法研究[J]. 水土保持研究,2010,17(4):217-221.

[11] 孟猛,倪健,张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报,2004,28(6):853-861.