

文章编号: 1672-3031(2006)03-0232-04

青铜峡灌区参考作物蒸发蒸腾量与气象因子的灰色关联度分析

孙静, 阮本清, 蒋任飞, 许凤冉

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044)

摘要: 在收集了青铜峡引黄灌区5个气象站最近5年气象资料的基础上, 应用1998年FAO修正彭曼-蒙特斯公式, 计算出各站逐年的参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 ; 在阐述灰关联分析理论与计算方法的基础上, 利用灰关联分析理论计算出各站各气象因子与 ET_0 的灰色关联度并进行排序。分析结果表明: 各气象因子对参考作物蒸发蒸腾量的影响都比较大, 尤其是日照时数、平均最高气温和年平均风速对各站的影响相对较大, 而最低气温、相对湿度和降雨对各站的参考作物蒸发蒸腾量的影响相对比较小。

关键词: 青铜峡引黄灌区; 参考作物蒸发蒸腾量; 气象因子; 灰色关联度

中图分类号: S161.4

文献标识码: A

1 研究背景

青铜峡灌区是宁夏引黄灌区的主要组成部分, 灌区以黄河青铜峡水利枢纽为始, 北至石嘴山, 东接鄂尔多斯台地, 西靠贺兰山, 属黄河冲积平原, 灌区总土地面积 $6\,239\text{km}^2$, 平均海拔高程 $1\,150\text{m}$ 左右, 气候干旱少雨, 蒸发强烈, 是典型的大陆性气候。青铜峡引黄灌区是宁夏回族自治区粮食主要生产基地和全国重要商品粮基地之一。由于当地地表水资源匮乏、气候干旱少雨等自然地理因素, 灌区只能依靠过境黄河水来维持当地国民经济的发展, 水资源问题一直是青铜峡灌区经济社会与生态环境的关键性制约因素, 长期以来, 该区域耗水规律及水平衡机制尽管有过大量的研究, 但仍有许多问题需要更深入的探讨, 尤其是作物耗水量的定量计算, 截至目前仍无成熟的方法。参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)是确定作物需水量的基本依据, 主要与气象和地理条件有关。因此, 研究各气象因子对该地区的参考作物蒸发蒸腾量的影响程度, 对探讨青铜峡灌区耗水机理具有重要理论和现实意义。

长期以来, 多见采用传统的统计学方法来定量研究参考作物蒸发蒸腾量与各气象因子之间的关系^[1~3], 本文尝试用灰色关联度分析理论来定量分析青铜峡灌区的各气象影响因子对 ET_0 的影响程度, 以期对青铜峡灌区水资源的评价和管理提供参考。

2 资料与方法

2.1 资料来源 由国家气象局提供的宁夏引黄灌区青铜峡灌区的5个气象站—青铜峡站、银川站、平罗站、石嘴山站和惠农站的1999~2003年的最近5年的逐月气象资料和各站的地理位置信息, 包括最高/最低气温、相对湿度、平均风速、日照时数、降雨量等。

2.2 各气象站的地理信息 青铜峡引黄灌区属于宁夏引黄灌区。选取青铜峡引黄灌区自南向北的青铜峡站、银川站、平罗站、石嘴山站和惠农站作为代表站。其地理位置如表1所示。

2.3 计算方法

2.3.1 参考作物蒸发蒸腾量的计算方法 本文采用1998年联合国粮农组织FAO提出修正彭曼-蒙特

收稿日期: 2005-11-04

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50239090)

作者简介: 孙静(1981-), 女, 山东潍坊人, 硕士生, 主要从事水资源经济研究。E-mail: sunj@iwhr.com

斯公式来计算 ET_0 , 公式形式如下:

表 1 青铜峡引黄灌区各站的地理位置

	中宁站	中卫站	青铜峡站	银川站	陶乐站	平罗站	石嘴山站	惠农站
经度 °	105.67	105.18	106.07	106.18	106.70	106.55	106.38	106.76
纬度 °	37.48	37.53	38.02	38.48	38.80	38.90	39.00	39.22
海拔/m	1184.9	1125.7	1126.7	1112.7	1102.9	1099.0	1103.8	1092.2
风速感应器离地面高度/m	10.5	10.6	13.5	12.5	10.5	11.2	13.9	10.5

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量 (mm/d); Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线的斜率 (kPa·°C⁻¹); T 为空气平均温度 (°C); R_n 为作物表面净辐射量 (MJ·m⁻²·d⁻¹); G 为土壤热通量 (MJ·m⁻¹·d⁻¹); γ 为温度表常数 (kPa·°C⁻¹); u_2 为 2 m 高处的风速 (m/s); e_s 为空气饱和水汽压 (kPa); e_a 为空气实际水汽压 (kPa)。

参数 R_n 、 G 、 γ 、 u_2 、 e_s 、 e_a 的计算需要标准的气象资料, 包括日照、气温、风速和湿度。为了确保计算的完整性, 气象资料应该是在完全遮蔽地面、水分充足生长旺盛的牧草表面以上 2 m 处测得的。本文收集到的资料是在 10 m 以上测得, 所以需要进行公式转换。具体的计算公式见文献[4, 5]。需要说明的是, 在实际计算中笔者收集到的是逐月的气象资料, 所以计算得到的是各气象站逐月的 ET_0 值。

2.3.2 灰关联分析理论和计算方法 灰色关联度分析是邓聚龙于 1982 年首次提出来的新理论和新方法^[6], 它的实质是根据各因素曲线之间发展态势的相似或相异程度, 来衡量因素之间的关联程度。由于灰关联分析是按发展趋势作研究, 因而对样本量的多少没有过分要求, 也不需要典型的分布规律。它的目的是寻求系统发展过程中哪些因素是主要影响因素, 其影响程度是多大。关联度大的表明该因素对主行为因子的影响较大, 而关联度小的说明主行为因子不受或少受该因素的影响。目前, 灰色关联度分析方法已在社会、经济、科技、农业、工业、生态等方面得到了广泛的应用。

灰色关联度的定义如下: 设系统主行为序列 $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$, 相关行为序列 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$, 则对于 $\varepsilon \in (0, 1)$

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \varepsilon \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \varepsilon \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (2)$$

$$\gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (3)$$

则 $\gamma(X_0, X_i)$ 称为 X_0 与 X_i 的灰色关联度, 其中 ε 称为分辨系数, 其作用在于提高灰色关联系数之间的差异显著性, $\varepsilon \in (0, 1)$, 经验值一般取 $\varepsilon = 0.5$ 。

3 青铜峡引黄灌区各气象影响因子与 ET_0 的灰色关联度分析

3.1 计算步骤 (1) 确定主行为因子与相关行为因子。选定参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 为主行为因子, 设定为 $X_0(t)$, 其中 t 为年限, $t = 1999, 2000, 2001, 2002, 2003$; 选择对 ET_0 影响较大的气象因子—最高气温、最低气温、相对湿度、平均风速、日照对数和降雨^① 作为相关行为因子, 设定为 $X_1(t)$ 、 $X_2(t)$ 、 $X_3(t)$ 、 $X_4(t)$ 、 $X_5(t)$ 、 $X_6(t)$, 其中 t 为年限, $t = 1999, 2000, 2001, 2002, 2003$ 。(2) 对原始数据做均值化处理。为了便于各指标间的比较, 需对系统的各因素序列进行适当处理。为此将各因素序列 $X_i (i = 0, 1, 2, \dots, 6)$ 通过均值化的作用, 使之化为数量级大体相近的无量纲数据, 以消除各指标量纲带来的影响。

① 参考作物蒸发蒸腾量的计算与降雨量无关, 但是降雨量通过影响温度、蒸发、相对湿度等因素而间接影响了参考作物蒸发蒸腾量的值。

即: $X'_i = X_i / \bar{X}_i = (x'_i(1999), x'_i(2000), \dots, x'_i(2003))$, 其中 $\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k)$, $i = 0, 1, 2, \dots, 6$. (3) 求差序列和两极最大值与最小值。 $\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$, $\Delta_i = (\Delta_i(1999), \Delta_i(2000), \dots, \Delta_i(2003))$, $i = 1, 2, \dots, 6$; $M = \max_i \max_k \Delta_i(k)$, $m = \min_i \min_k \Delta_i(k)$. (4) 计算关联系数。 $\gamma_{0i}(k) = \frac{m + \epsilon M}{\Delta_i(k) + \epsilon M}$, $\epsilon \in (0, 1)$; $k = 1999, \dots, 2003$; $i = 1, 2, \dots, 6$, 一般 $\epsilon = 0.5$. (5) 计算关联度并进行排序。 $\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1999}^{2003} \gamma_{0i}(k)$, $i = 1, 2, \dots, 6$.

3.2 相关数据以及计算结果分析 根据国家气象局提供的青铜峡引灌区 5 个气象站 1999~ 2003 年的气象资料(由于气象资料是逐月的值,资料太多,本文不再列出),用 1998 年 FAO 最新修正的彭曼-蒙特斯公式,即公式(1),计算出各站逐月的参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 ,并进行年平均计算,最终结果见表 2.

表 2 青铜峡灌区各站的 ET_0 (mm/a)

年份	青铜峡站	银川站	平罗站	石嘴山站	惠农站
1999	1 219.30	1 073.40	1 058.40	1 119.80	1 286.90
2000	1 214.80	1 099.00	992.80	1 130.00	1 286.10
2001	1 207.90	1 117.10	1 010.80	1 111.60	1 242.40
2002	1 148.60	1 052.00	1 061.80	1 140.80	1 223.10
2003	1 085.00	1 042.90	1 054.80	1 042.50	1 203.80

由各气象站的气象资料和 ET_0 值,计算出的各气象因子与 ET_0 的灰色关联度,结果见图 1.

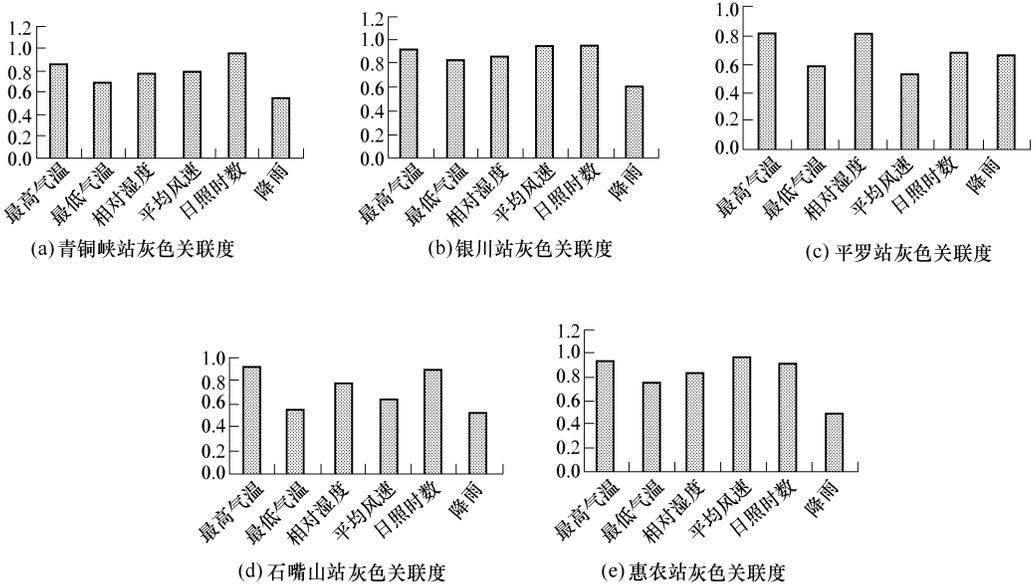


图 1 青铜峡引黄灌区各站各气象因子与 ET_0 灰色关联度

3.3 结果分析 从各站的灰色关联度的计算结果见图 1. 从图 1 可见: (1) 对青铜峡站而言,除降雨外,各气象因子对参考作物蒸发蒸腾量的影响均十分显著。其中日照时数对参考作物蒸发蒸腾量的影响尤为显著,灰色关联度高达 0.96;降雨量对参考作物蒸发蒸腾量的影响最小,灰色关联度只有 0.554; (2) 对于银川站而言,各气象因子对其参考作物蒸发蒸腾量的影响均比较大,尤其是日照时数和平均风速对 ET_0 的影响尤为显著,灰色关联度均高于 0.95;降雨量对 ET_0 的影响最小,只有 0.601; (3) 平罗站各气象因子对参考作物蒸发蒸腾量的影响较弱,其中相对湿度和最高气温的影响较大,灰色关联度分别为 0.811 和 0.802; (4) 石嘴山站的各气象因子对参考作物蒸发蒸腾量的影响程度不一,其中最高气温对 ET_0 的灰色关联度达到了 0.905,而最低气温和降雨对 ET_0 的灰色关联度只有 0.548 和 0.532; (5) 各气象因子对惠农站的影响较均匀,其中平均风速、最高气温和日照时数对 ET_0 的灰色关联度均高于 0.90,

平均风速尤为显著,高达 0.974;降雨量对 ET_0 的影响最小,只有 0.496。

综上所述,各站的 ET_0 受最高气温、日照时数和平均风速的影响较大。其中日照时数与青铜峡站、银川站、陶乐站、石嘴山站和惠农站 ET_0 的灰色关联度均在 0.9 以上。平均风速和最高气温的影响也较大,说明这 3 个因素是影响 ET_0 的主要因素。降雨量和最低气温对 ET_0 的影响较小,是次要因素。原因在于降雨量是通过影响气温、日照时数、相对湿度等因素间接影响 ET_0 的值,所以灰色关联度较小。

4 结论

本文尝试用灰色关联分析法对青铜峡灌区的气象因子与参考作物蒸发蒸腾量的影响程度进行了定量计算与分析。灰色关联度分析是一种比较客观的分析方法,具有计算方法简便,计算量小,结果全面、直观的优点,尤其适合解决多变量复杂系统的问题。分析结果表明,最高气温、日照时数和平均风速是影响 ET_0 的 3 个主要因素,这不仅为青铜峡灌区的耗水机理研究提供了一定的数据支撑,也可为该灌区水资源的综合管理提供参考,有利于该灌区水资源的可持续利用和发展。进一步的深入探讨和研究可望该法具有更广泛的应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 李林,张国胜,汪青春,时兴合.黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究[J].地球科学进展,2006,15(3):256-259.
- [2] 佟玲,康绍忠,粟晓玲.石羊河流域气候变化对参考作物蒸发蒸腾量的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):15-18.
- [3] 粟晓玲,曹红霞,康绍忠.关中地区灌溉农业发展对区域蒸发的影响研究.灌溉排水学报,2004,23(3):24-27.
- [4] 李远华.节水灌溉理论与技术[M].武汉:武汉水利电力出版社,1999.
- [5] 刘钰.气象数据缺测条件下参照腾发量的计算方法[J].水利学报,2001,(3):11-17.
- [6] 房德东,杨秀艳,吴皎.影响陕西农民人均收入的灰色关联度分析[J].陕西农业科学,2004,(4):65-66.

Analysis of grey relation degree of reference crops evapo-transpiration and meteorological variables in Qingtongxia Irrigation Area

SUN Jing, RUAN Ben-qing, JIANG Ren-fei, XU Feng-ran

(Department Water Resources, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract: Based on the meteorological data collected from five weather stations from 1999 to 2003 in the Qingtongxia Irrigation Area, the reference crop evapo-transpiration (ET_0) was calculated by applying the Penman-Monteith equation recommended by FAO in 1998. The grey relation degrees were analyzed by means of the Grey Theory. The analysis results reveal that the grey relation degrees of some meteorological factors (annual sunshine hours, average maximum temperature and average wind speed) with ET_0 are significant, while other factors (lowest temperature, relative humidity and annual rainfall) with ET_0 are small.

Key words: Qingtongxia Irrigation Area; reference crop evapo-transpiration; meteorological factors; grey relation degree

(责任编辑:吕斌秀)