

和田绿洲蒸发能力及影响因素分析*

黄领梅¹, 沈冰¹, 尹如洪^{1,2}

(1 西安理工大学水电学院, 陕西 西安 710048; 2 新疆和田地区世行项目办, 新疆 和田 638000)

[摘要] 利用相关分析和多元线性逐步回归分析方法, 研究和田绿洲蒸发能力及其影响因素发现, 和田绿洲蒸发的主要影响因素为平均气温和相对湿度, 并在此基础上建立了具有较高精度的回归模型, 用以模拟计算气候变化下的蒸发响应值。

[关键词] 新疆和田; 和田绿洲; 蒸发能力; 影响因素

[中图分类号] S152 7+3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387 (2002) 06-0181-05

由于温室效应引起全球气候变暖, 导致局部水循环加强而全球大循环削弱, 对灌溉农业的水分利用效率产生较大影响。原有灌溉定额和灌溉制度也随之发生变化, 不适应气候变化下的灌溉农业要求。农业灌溉变化将进一步影响绿洲内水资源的配置。而灌溉定额和灌溉制度的制订依赖于当地蒸发变化, 因而分析研究区域蒸发量随气候的变化, 对灌溉农业和水资源合理利用将具有重要的参考价值。

1 和田绿洲基本概况

和田绿洲位于新疆塔里木盆地南部边缘, 昆仑山冲积平原上, 和田河两条支流——喀拉喀什河与玉龙喀什河两岸, 该绿洲三面被塔克拉玛干沙漠包围。绿洲内气候温暖干燥, 光热资源丰富, 具有典型的大陆性沙漠气候特征, 是优质棉花和水果盛产地。绿洲多年平均气温为 12.2°C , 大于 10°C 的积温 4341.5°C 。太阳辐射约 $6000\text{MJ}/\text{m}^2$, 无霜期为 $210\sim 226\text{d}$, 年降水量为 $34\sim 109\text{mm}$, 年蒸发量却高达 $2219\sim 3137\text{mm}$ 。绿洲内降水多集中在 $5\sim 9$ 月份, 次降水量极小, 不足以形成径流。绿洲内的农业、生态、生活等用水主要来源于昆仑山和喀拉昆仑山北麓的和田河。和田河属高山降水和冰川融雪补给型河流, 水量集中在 $6\sim 9$ 月份, 占多年平均径流量的 60% 以上, 对和田绿洲灌区的春季灌溉和汛期防洪不利。

和田绿洲由于其特殊的地理位置和气候条件, 其水面蒸发量极高, 实测多年蒸发量平均值高达 2648mm , 是降水量的 $25\sim 842$ 倍。经 $1971\sim 1995$ 年水平衡分析^[1], 和田绿洲陆面蒸发和水面蒸发的基本情况见表1; 通过和田河、降水和地下水侧渗, 多年平均进入和田绿洲的总水量为 45.58万m^3 , 蒸散蒸发水量为 18.77万m^3 , 占进区总水量的 41.18% , 足以证明蒸发是和田绿洲的耗水大户。

除地理位置和水文气候条件是影响蒸发的主要因素外, 还因为绿洲内的蒸发水面面积大。和田河在进入绿洲平原后立即通过渠首被引入遍布灌区的各级渠道, 将输水河道人为拉长, 地表水在渠系网中流动, 扩大了水面面积, 加之强烈的光照, 水面蒸发损失严重; 其次是和田河在汛期时节要穿过约 300km 的沙漠河道输水到塔里木河, 该河道由于缺乏治理, 河道淤积, 洪水漫溢, 改道, 水流缓慢, 河宽约 $3\sim 4\text{km}$, 近 50% 水量因蒸发和渗漏损失在沙漠段^[2]; 绿洲内还有 12 座平原小水库, 10% 以上的蓄水因蒸发和渗漏等而损失。和田绿洲内灌溉方式原始, 农民节水意识较差, 种植技术落后, 使得大量灌溉水进入田间后即通过土壤蒸发损失而不能被

* [收稿日期] 2001-11-21
[基金项目] 新疆世界银行贷款项目 (JK001)
[作者简介] 黄领梅 (1972-), 女, 四川乐至人, 讲师, 在读博士, 主要从事旱区水文及水资源研究。

作物利用。由于渠系而存在的水面面积将会继续存在或增加;天然河道将会随着塔里木河流域治理和水资源统一规划而逐步好转,河道水面蒸发也会随之减小;另外,在和田河的支流——喀拉喀什河的出山口已修建乌鲁瓦提水库,将逐步取代绿洲内的

平原水库,改善绿洲内的水循环。最主要的还在于要改变目前的种植方式,大量采用地膜或秸秆覆盖,减小不必要的棵间蒸发,提高土壤水分利用率以利于作物稳产和高产。

表 1 和田绿洲年平均蒸发的基本情况

Table 1 Annual average evaporation of the Hotan Oasis

项目 Item	蒸发量/亿m ³ Evaporation	占总蒸发百分数/% Rate of the total	占进区总量百分数/% Rate of the inflow total
水面蒸发 Evaporation	河道 River	3.02	6.63
	水库 Reservoir	0.19	0.42
	渠系 Canal	1.69	3.71
	田间 Field	0.50	1.10
	小计 Sub-total	5.4	11.85
陆面蒸发 Land evaporation	作物 Crop	4.89	10.73
	植被 Vegetable	2.68	5.88
	土壤 Soil	5.80	12.72
	小计 Sub-total	13.37	29.33
总计 Total	18.77	100	41.18

2.2 水面蒸发变化及其趋势

收集和田气象站 1954~1995 年共 42 年蒸发量及 1971~1995 年共 25 年月蒸发量实测数据,用来

分析水面蒸发系列的多年平均蒸发量及其变化趋势,结果见表 2。

表 2 和田绿洲的平均蒸发量

Table 2 A average evaporation of the Hotan Oasis

统计时段 Time duration	均值/mm Average value	变化百分数/% Variation rate	统计时段 Time duration	均值/mm Average value	变化百分数/% Variation rate
1954~1995	2.628	0.00	1980~1995	2.729	3.84
1960~1995	2.655	1.03	1990~1995	2.606	-0.84
1970~1995	2.707	3.00	1954~1990	2.634	0.23

从表 2 中可以看出,和田绿洲 1954~1990 年的年平均蒸发量比 1954~1995 年的偏大 0.23%,而 90 年代以前各统计时段均值又是随时间逐渐增加,即可知和田绿洲的水面蒸发量在 90 年代前具有逐

渐递增的趋势,且较明显。90 年代后略有下降。和田绿洲具有四季分明、春秋短而冬夏长的气候特点,因而需要分析不同季节蒸发量变化趋势,结果见表 3。

表 3 和田绿洲四季蒸发变化参数

Table 3 Variation parameters of the seasons of the Hotan Oasis

统计季节	统计时段 Time duration	均值/mm Average value	相关系数 Relative coefficient	回归检验 Regression verification	递增或递减 Increase or decrease
春季 (3 月) Spring (March)	1971~1995	195.4	0.017	拒绝 Rejection	递增 Progressive increase
	1971~1990	196.6	0.128	拒绝 Rejection	递增 Progressive increase
	1990~1995	191.8	0.231	拒绝 Rejection	递减 Progressive decrease
夏季 (4~9 月) Summer (April-September)	1971~1995	207.5	0.221	拒绝 Rejection	递减 Progressive decrease
	1971~1990	210.5	0.083	拒绝 Rejection	递增 Progressive increase
	1990~1995	197.2	0.169	拒绝 Rejection	递减 Progressive decrease
秋季 (10 月) Autumn (October)	1971~1995	178.2	0.095	拒绝 Rejection	递增 Progressive increase
	1971~1990	180.6	0.164	拒绝 Rejection	递增 Progressive increase
	1990~1995	171.8	0.449	接受 Acceptance	递减 Progressive decrease
冬季 (11~12 月) Winter (November-December)	1971~1995	258.3	0.420	接受 Acceptance	递增 Progressive increase
	1971~1990	255.3	0.484	接受 Acceptance	递增 Progressive increase
	1990~1995	271.7	0.277	拒绝 Rejection	递减 Progressive decrease

注:表中回归检验的显著水平 $\alpha=0.05$;递增或递减指蒸发系列的变化趋势。

Note: The significance level $\alpha=0.05$; progressive increase or decrease refers to the development trend of different evaporations

从表 3 可知,经回归检验,和田绿洲的春季、秋季蒸发量在 90 年代前均呈递增趋势,但不明显;冬

季蒸发量在 90 年代前呈显著的递增趋势;夏季蒸发量总体上存在不明显的递减趋势,同时在 1971~

1990 年存在不明显的递增趋势; 各季在 1990~ 1995 年均存在递减趋势, 其中秋季的变化显著, 是该时期内和田绿洲蒸发递减的主要原因。不管变化趋势显著与否, 春、秋和冬季的蒸发变化与年变化的趋势一致, 而夏季蒸发变化趋势与年变化有较大差别。冬季蒸发变化的递减或递增均较显著, 因而对和田绿洲蒸发变化趋势影响大。

3 影响因素

3.1 气象要素变化及其趋势

除蒸发之外的气象要素资料有气温、相对湿度、

降水、风速、日照等, 分析这些因素的变化趋势, 结果见表 4。从表 4 统计结果可以看出, 和田绿洲年平均气温、年降水量以及年平均地面温度在研究期内呈现递增趋势, 而且离现在越近, 递增速度越快; 相对湿度在 90 年代前基本保持不变, 到 90 年代后稍有增加, 但不能证明其具有递增趋势; 日照时数在 90 年代以前逐渐递减, 90 年代后稍有回升; 和田绿洲的气候目前正朝着暖湿化方向发展。但结合前面的蒸发变化趋势, 还难以定量确定影响蒸发的主要因素和次要因素。

表 4 和田绿洲影响蒸发因素的变化参数

Table 4 Parameters of the effect factors of the Hotan Oasis evaporation

统计时段 Time duration	平均气温 Average temperature		降水量 Precipitation		风速 Wind velocity	
	均值/ Average value	变化率/% Variation rate	均值/mm Average value	变化率/% Variation rate	均值/(m · s ⁻¹) Average value	变化率/% Variation rate
	1954~ 1995	12.24	0.00	36.4	0.00	1.9
1960~ 1995	12.27	0.25	36.6	0.55	1.7	-10.53
1970~ 1995	12.38	1.14	36.9	1.37	1.8	-5.26
1980~ 1995	12.44	1.63	39.5	8.52	1.6	-15.79
1990~ 1995	12.47	1.88	42.6	17.03	1.4	-26.32
1954~ 1990	12.22	-0.16	35.1	-3.57	2.0	5.26

统计时段 Time duration	日照时数 Sunshine time		相对湿度 Relative humidity		地面温度 Ground temperature	
	均值/h Average value	变化率/% Variation rate	均值/% Average value	变化率/% Variation rate	均值/ Average value	变化率/% Variation rate
	1954~ 1995	2577.6	0.00	42	0.00	15.1
1960~ 1995	2559.8	-0.69	42	0.00	15.2	0.66
1970~ 1995	2513.3	-2.49	42	0.00	15.3	1.32
1980~ 1995	2502.8	-2.90	42	0.00	15.6	3.31
1990~ 1995	2581.5	0.15	44	4.54	15.6	3.31
1954~ 1990	2489.3	-3.42	42	0.00	15.1	0.00

3.2 相关分析

相关分析是用来分析两个或两个以上变量之间

的相关密切程度的, 分别分析和田绿洲的水面蒸发与其影响因素之间的相关关系, 结果见表 5。

表 5 和田绿洲蒸发与其影响因素之间的相关分析

Table 5 Relative analysis between the Hotan Oasis evaporation and the effect factors

统计时段 Time duration	影响因素 Effect factors											
	日照时数 Sunshine time		平均气温 Average temperature		地面温度 Ground temperature		降水 Precipitation		相对湿度 Relative humidity		风速 Wind velocity	
	相关系数 Relative level	检验结果 Test result	相关系数 Relative level	检验结果 Test result	相关系数 Relative level	检验结果 Test result	相关系数 Relative level	检验结果 Test result	相关系数 Relative level	检验结果 Test result	相关系数 Relative level	检验结果 Test result
年系列 Annual series	0.541	接受 Acceptance	0.573	接受 Acceptance	0.638	接受 Acceptance	0.119	拒绝 Rejection	0.336	拒绝 Rejection	0.039	拒绝 Rejection
月系列 Monthly series	0.470	接受 Acceptance	0.952	接受 Acceptance	0.961	接受 Acceptance	0.226	拒绝 Rejection	0.593	接受 Acceptance	0.530	接受 Acceptance
春季月系列 Spring series	0.606	接受 Acceptance	0.745	接受 Acceptance	0.733	接受 Acceptance	0.076	拒绝 Rejection	0.679	接受 Acceptance	0.207	拒绝 Rejection
夏季月系列 Summer series	0.082	拒绝 Rejection	0.609	接受 Acceptance	0.659	接受 Acceptance	0.020	拒绝 Rejection	0.330	拒绝 Rejection	0.269	拒绝 Rejection
秋季月系列 Autumn series	0.073	拒绝 Rejection	0.543	接受 Acceptance	0.414	拒绝 Rejection	0.549	接受 Acceptance	0.676	接受 Acceptance	0.117	拒绝 Rejection
冬季月系列 Winter series	0.493	接受 Acceptance	0.935	接受 Acceptance	0.926	接受 Acceptance	0.304	拒绝 Rejection	0.734	接受 Acceptance	0.340	拒绝 Rejection

注: 表中的年系列长度为 1954~ 1995 年; 月系列长度为 1971~ 1995 年; 表中数据是各系列的相关系数; 拒绝或接受指各系列相关分析的检验结果, 显著性水平为 $\alpha=0.05$, 拒绝为相关不显著, 而接受指相关显著。

Note: The duration of annual series is from 1954- 1995; that of monthly series is from 1971- 1995; The data are the relative coefficient of the series; Acceptance or rejection means the test result, the significance $\alpha=0.05$. Acceptance refers to relative insignificance, acceptance refers to relative significance.

由表 5 可以看出, 与年蒸发量相关性较好的因素为地面温度、平均气温和日照时数, 相关系数都大于 0.5, 反映了蒸发是受综合因素影响的; 而月系列的相关分析表明年蒸发量与地面温度、平均气温、相对湿度、风速以及日照时数关系密切, 显示了某月内某项气候因素对蒸发的影响程度, 或某项因素对蒸发起主要作用, 尤其是在各个季节里这种关系更明显; 其他各季节的月系列与蒸发相关性最好的是冬季的平均气温、地面温度和相对湿度。同时, 从表 5 中还可以得知, 和田绿洲的地面温度与平均气温对蒸发的影响基本一致, 主要原因在于二者都主要受太阳辐射影响, 只是观测介质不同。

根据普遍被采用的气候描述方法^[3,4], 选择平均气温作为代表来分析气温对蒸发的影响。经综合分析, 可以初步确定和田绿洲蒸发量的最主要影响因素是平均气温(或地面温度), 其次的影响因素与季节有关, 不同季节其主要因素不相同, 因而需要分季节考虑。在年系列中, 影响蒸发的主要因素还有日照时数; 在月系列里还有相对湿度、风速与日照时数; 春季蒸发还有相对湿度与日照时数; 秋季蒸发还有相对湿度与降水; 冬季蒸发还有相对湿度与日照时数; 而夏季蒸发只有气温是其主要的影响因素。

3.3 线性回归分析^[5]

用 1971~1995 年实测资料, 分别以年、月以及

各季系列的蒸发为因变量, 以相对湿度、气温、降水、风速和日照时数为自变量建立多元线性回归方程(1), 进行多元线性逐步分析, 并同时对各回归方程进行显著性检验。

$$ET = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5, \quad (1)$$

式中, ET 为时段蒸发量, x_i 分别表示相对湿度、气温、降水、风速和日照时数; β_i 为回归系数 ($i=0, 1, 2, 3, 4, 5$)。

经分析, 用月系列资料, 通过变量的选入与剔除建立的多元线性回归方程(2), 优于其他系列的回归方程, 其复相关系数 $R=0.984$, 接近于 1, 经 Fisher 法回归检验, 为显著相关。

$$ET = 164.651 - 1.783x_1 + 11.153x_2, R = 0.984 \quad (2)$$

式中, x_1 与 x_2 分别表示月平均相对湿度与月平均气温; ET 为月蒸发量。

用(2)模拟计算 1971~1995 年的蒸发值, 与实测值比较见图 1。由图 1 可知, 计算和实测的月蒸发系列拟和较好, 可以用来计算当地的月蒸发量。

同时, 利用未参加参数计算的 2000 年的月平均气温和月相对湿度资料, 检验回归方程的精度, 计算结果见图 2。从图 2 可知, 相对湿度和月平均气温是和田绿洲蒸发的主要影响因素, 其计算误差为 5.62%, 满足模拟计算精度要求。

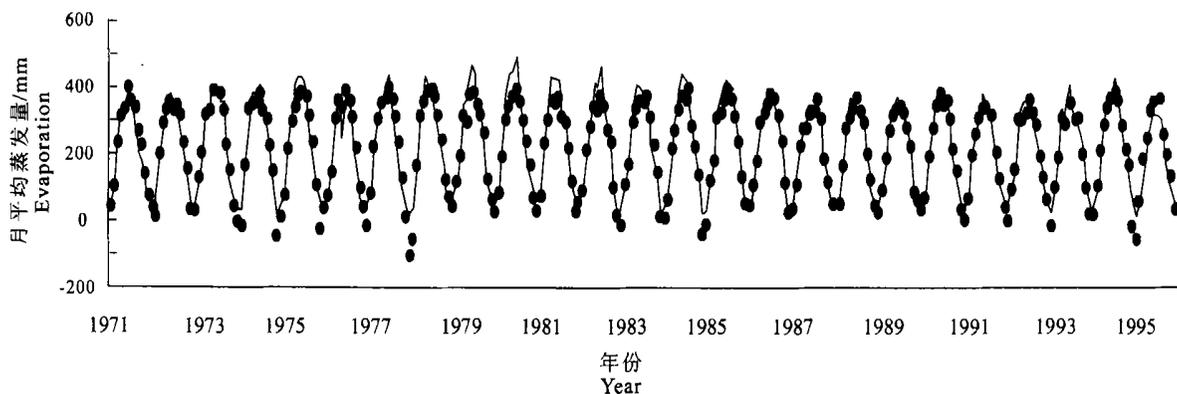


图 1 和田绿洲实测与模拟月平均蒸发量 (月系列)

— 实测; · 计算

Fig. 1 The evaporation values of the observation and simulation in the Hotan Oasis (monthly series)

— Observation; · Calculation

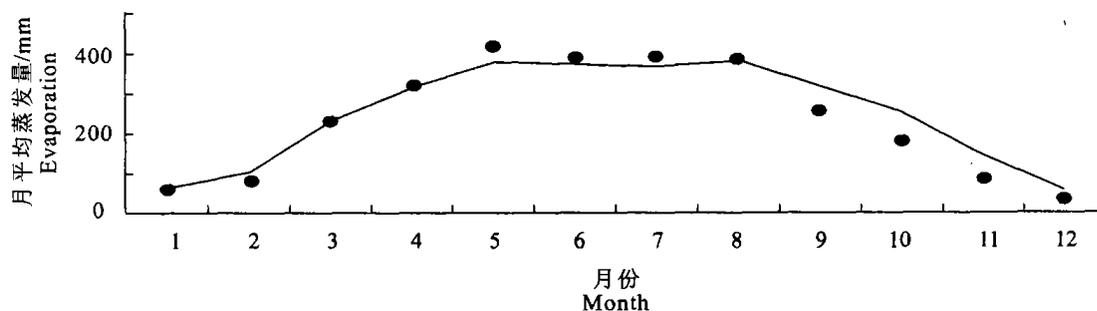


图2 和田绿洲2000年实测与模拟月平均蒸发量

· 实测; - 计算

Fig. 2 The values of the observation and simulation for the 2000 year in the Hotan Oasis

· Observation; - Calculation

通过多元线性逐步回归分析可以得知, 和田绿洲蒸发的主要影响因素是平均气温和相对湿度, 并可以建立月平均蒸发量与月平均气温、月相对湿度之间线性回归方程。

4 结 语

依赖和田河地表径流而生存与发展的和田绿洲, 由于特殊的地理位置, 曾经是丝绸之路上一颗

璀璨的明珠, 具有悠久的灌溉历史。和田绿洲蒸发是耗水大户, 约40%的进区水量由于蒸发而损失, 引起土壤积盐。利用多元线性逐步回归建立蒸发与其他气候要素之间的线性回归方程, 可以结合气候模型输出结果来模拟蒸发的变化趋势。在全球气候变暖的大环境下, 绿洲蒸发将会随之发生变化, 深入了解蒸发与其他气候要素之间的关系, 为绿洲灌溉和区域土壤水盐运动研究奠定基础。

[参考文献]

- [1] 黄领梅 和田子项目区水盐平衡研究 [D]. 西安: 西安理工大学水电学院, 2000
- [2] 黄领梅, 沈冰, 尹如洪 和田河地表径流动态变化趋势分析 [J]. 西北农业大学学报, 2000, 28 (6): 84- 87.
- [3] 王国庆, 王云璋, 尚长昆 气候变化对黄河水资源的影响 [J]. 人民黄河, 2000, 22 (9): 40- 41.
- [4] Dooge J C I Hydrologic models and climate change [J]. Geophys Res, 1992, 97 (D3): 2677- 2686
- [5] 周复泰, 黄运成 应用线性回归分析 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1987.

The evaporation capacity and effect factors for Hotan Oasis

HUANG L ing-mei¹, SHEN Bing¹, YIN Ru-hong^{1,2}

(1 The Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Hotan World Bank Project Implementation Office, Hotan, Xinjiang 638000, China)

Abstract: The evaporation is a big water consumption in the Hotan oasis. The results from the regression analysis and the multivariate linear stepwise regression analysis show that the main factors affecting the evaporation include the temperature and the relative humidity. A prediction model with the high accuracy is established to simulate the response values of the evaporation under the condition of the climate change.

Key words: Hotan in Xinjiang; Hotan Oasis; evaporation capacity; effect factor