

西藏参考作物蒸发蒸腾量的时空变异规律

杨永红^{1,2}, 张展羽², 阮新建^{1,3}

(1. 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 2. 河海大学农业工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根据西藏高原区 38 个气象站点自建站到 2006 年的逐日气象观测资料, 利用 FAO-56 标准 Penman-Monteith 公式计算各站逐日参考作物蒸发蒸腾量 (ET_0)。重点分析了 7 个站点逐日、逐月 ET_0 年内变化规律, 采用 Mann-Kendall 法对其月际和年际 ET_0 进行趋势检验; 利用 Kriging 插值及 Surfer 8.0 空间分析功能, 得到西藏高原区年 ET_0 均值的等值线图, 分析了全区年 ET_0 均值的空间分布特征。结果表明: 昌都、林芝和那曲的逐日 ET_0 在年内变化曲线基本一致, 呈现单峰抛物线形状, 拉萨、泽当和日喀则的逐日 ET_0 年内变化趋势基本一致, 6~9 月变化曲线呈现较快的下降趋势, 狮泉河的 ET_0 呈现单独变化趋势; 所有站点的逐月 ET_0 年内变化规律与逐日 ET_0 相同, 最大值均出现在 6 月份, 最小值出现在 12 月份; 日喀则各月及干湿季 ET_0 的 Mann-Kendall 检验大多呈现显著的降低趋势, 其次是泽当, 呈现增加趋势较多的是林芝; 全系列年 ET_0 均值 Mann-Kendall 检验呈现降低趋势的站点偏多; 西藏高原区年 ET_0 均值具有东部和中南部高, 东北部和东南缘低的空间分布规律。

关键词: 参考作物蒸发蒸腾量; Penman-Monteith 公式; Mann-Kendall 方法; 时空变异; 西藏

中图分类号: S161.4; S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2009)06-0775-07

参考作物蒸发蒸腾量 (Reference Crop Evapotranspiration, 简称 ET_0) 是一种假想参照作物冠层的腾发速率, 非常类似于表面开阔、高度一致、生长旺盛、完全遮盖地面而不缺水的绿色草地的蒸发蒸腾量^[1], 是作物需水量研究的重要组成部分, 同时也是一个区域或地区进行水资源开发、利用与管理 and 农作物种植结构调整、区划与布局的重要依据。在一定的区域内气象站数量总是有限的, 如何将单站或者多站的 ET_0 计算成果在空间上拓展, 得到 ET_0 的区域时空分布规律, 既具有重要的理论价值, 又对区域生态环境建设、农业生产模式的调整等实际问题具有很大的指导作用。因此, ET_0 的时空变化规律研究逐渐引起了国内外学者的广泛关注。目前, 美国工程师协会——环境与水资源机构 (ASCE-EWRI) (2005) 推荐 ASCE-EWRI Penman-Monteith 方程为计算 ET_0 的最新方法^[2]。国内外许多学者在不同区域或地区利用该方法进行了大量的 ET_0 时空变化特征研究^[3-6], 然而, 在西藏高原地区有关 ET_0 的研究相对较少^[7-9], 而针对气候变化方面的研究则相对较多^[10-11]。

本文首先根据西藏高原区七地(市)的典型气象站点逐日气象观测资料, 利用 Mann-Kendall (简写 M-K) 趋势检验方法, 分析比较 7 个气象站点 ET_0 的逐日变化、月际变化和年际变化, 找出西藏高原区七地(市)典型站点之间 ET_0 的时间变化规律; 然后再以西藏高原区 38 个气象站点的年 ET_0 均值为变量, 利用 Kriging 插值方法获得其空间分布规律。该研究旨在找出西藏高原区 ET_0 的时空变异规律, 为其农牧业产业结构调整、灌溉农业发展模式、农作制度制定、生态环境建设的有效模式等科学和生产实际问题起指导作用, 更好地为西藏经济建设服务。

收稿日期: 2008-09-11

基金项目: 西藏自治区中青年自然科学基金资助项目 (10-4)

作者简介: 杨永红 (1965-), 男, 重庆铜梁人, 副教授, 博士, 主要从事农业水土及节水灌溉方面的研究和教学。

E-mail: yyhts - 386169880 @qq.com

1 研究方法和数据处理

1.1 研究方法

(1) ET_0 的计算方法 1998年,联合国粮农组织(FAO)提出:用FAO-56标准Penman-Monteith公式作为计算 ET_0 的唯一标准方法^[1];2005年,美国工程师协会——环境与水资源机构(ASCE-EWRI)又推荐出:当参考作物和计算尺度都不同时,采用ASCE-EWRI Penman-Monteith方程作为计算 ET_0 的最新方法。最新方法将两种参考作物——牧草(高度12 cm)和紫花苜蓿(高度50 cm)计算 ET_0 的公式合为一体,计算时段可以为月、旬、天、小时或更短时段,使该公式具有了更好的适应性,它被广泛应用于农业和水利等行业中^[2]。

(2) M-K趋势检验方法 是由世界气象组织(WMO)推荐并使用的方法,适用于气象、水文数据时间序列变化的趋势检验并且得到了广泛应用。该方法的统计值 Z_c 与连续的数据值变量(X_i, X_j)和数据时间序列长度(N)有关。如果 $-Z_{1-\alpha/2} < Z_c < Z_{1-\alpha/2}$ (α 为检验的显著水平),表示研究对象没有趋势;在M-K检验中,当表示单调变化范围的Kendall斜率 >0 时,研究对象反映上升或增加的趋势;当 <0 时,则反映下降或减少的趋势^[12-13]。

(3) Kriging插值方法 该方法是建立在地质统计学基础上的一种插值方法,是由南非地质学家Krige(1951年)首先提出并由法国地质学家Matheron(1962年)加以完善的一种线性、无偏内插估计量的最优方法,如今已广泛应用于地质学、土壤学、气象学、遥感及其它研究“时空变量”的领域中^[14]。

1.2 数据处理

根据西藏高原区38个气象站点自20世纪50年代建站到2006年的逐日气象观测资料(基本资料略),采用Microsoft Excel软件完成数据处理与计算,应用FAO-56标准Penman-Monteith公式计算得出各站的逐日 ET_0 均值;从西藏自治区38个气象站点中选取7个地(市)地区的气象站点为典型气象站点,借助软件SPSS15.0 for Windows进行七地(市)典型气象站点的相关分析,采用M-K趋势检验方法确定7个典型气象站点 ET_0 的月际变化和年际变化的时间变化规律;利用软件Golden Software Surfer 8的空间分析功能,以西藏高原区38个气象站点的年 ET_0 均值为变量进行Kriging插值,获得其空间分布规律。

2 结果分析

2.1 西藏高原区 ET_0 的逐日变化规律

(1) 逐日 ET_0 变化与影响因子相关分析 利用FAO-56标准Penman-Monteith公式计算西藏高原区七地(市)7个站点逐日 ET_0 均值,然后采用SPSS15.0软件计算逐日 ET_0 均值系列与年内多年的日最高气温、日最低气温、平均气温、日照时数、平均相对湿度、平均风速和平均气压等7个气象因子之间的相关系数,详见表1。

表1 西藏高原区七地(市)典型气象站点逐日 ET_0 均值与7个气象因子的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of average daily ET_0 and meteorological factors of the typical observation stations in 7 cities of Tibet

站点	平均气温	日最高气温	日最低气温	平均相对湿度	平均风速	日照时数	平均气压
狮泉河	0.967	0.963	0.964	0.452	0.471	0.804	0.387
日喀则	0.865	0.846	0.826	0.384	0.380	0.162	-0.022*
拉萨	0.890	0.872	0.859	0.524	0.329	-0.090*	0.026*
泽当	0.854	0.844	0.815	0.501	0.448	0.625	-0.012*
那曲	0.922	0.921	0.898	0.620	-0.016*	-0.023*	0.496
林芝	0.907	0.908	0.896	0.826	-0.403	-0.526	-0.299
昌都	0.935	0.917	0.922	0.664	0.668	0.059*	-0.002*

注: *表示相关系数未通过置信度 $\alpha=0.01$ 的显著性双尾检验。

分析表1中的数据,其结果有: 7个气象站点的逐日 ET_0 均值与各个影响因子的关联程度从高到低依次

为平均气温、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、平均风速、日照时数和平均气压;3个气温与逐日 ET_0 均值的相关系数最高,全部通过了置信度 $\alpha=0.01$ 的显著性双尾检验,达到了极显著正相关,相关系数分别在 $0.854 \sim 0.967$ 、 $0.844 \sim 0.963$ 、 $0.815 \sim 0.964$ 之间变化;平均相对湿度也全部通过了置信度 $\alpha=0.01$ 的显著性双尾检验,全部也为正相关,相关关系也较好;其它3个影响因子与逐日 ET_0 均值的相关系数依次减弱,有一半站点通过 $\alpha=0.01$ 置信水平的双尾检验,相关关系有正有负,相关关系最差的是平均气压。但是各站点也存在个别差异,比如狮泉河逐日 ET_0 均值与日照时数的相关关系达到了极显著水平,泽当也达到了较好相关关系,那曲平均气压影响在7个因子中排第一位,日照时数和平均风速影响反而很弱。林芝和狮泉河的逐日 ET_0 均值与7个影响因子的相关系数全部通过了置信度 $\alpha=0.01$ 的显著性双尾检验,说明这两个气象站点的逐日 ET_0 均值与7个因子影响都是显著的;狮泉河的逐日 ET_0 均值与7个影响因子的相关关系全部为正相关,而林芝的逐日 ET_0 均值与7个影响因子中的4个因子呈现正相关,与3个因子呈现负相关关系;说明7个影响因子在不同的站点显著影响也是不同的。

(2) 逐日 ET_0 的年内变化比较 西藏高原区七地(市)7个站点逐日 ET_0 均值变化曲线见图1。研究7个站点逐日 ET_0 均值的变化趋势和 ET_{0max} , 得出以下3条变化规律: 昌都、林芝和那曲3个站点的逐日 ET_0 变化曲线基本一致,呈现单峰抛物线形状,这与内地的逐日 ET_0 变化曲线完全类似。3个站点逐日 ET_0 均值的 ET_{0max} 都出现在6月上旬,昌都和那曲在同一天,日序数为156,而林芝的日序数在153。6~8月逐日 ET_0 均值始终保持在全年的90%以上,并呈现上下波动; 拉萨、泽当和日喀则3个站点的逐日 ET_0 变化趋势基本一致,3个站点的逐日 ET_0 均值的 ET_{0max} 都出现在6月上旬的同一天,日序数为155,在 ET_{0max} 出现之后的6~9月变化曲线呈现较快的下降趋势。这3个站点在雨季到来之后, ET_0 降低,可以减少作物灌溉需水量,多余水量可以考虑其它用途,但在5~6月期间一定要做好灌溉规划工作; 狮泉河的 ET_0 呈现单独变化趋势,其逐日 ET_0 均值的 ET_{0max} 为7个站点中最高值,出现在6月底~7月初之间。狮泉河站的 ET_{0max} 出现日序数为178,比其它6个站点 ET_{0max} 的出现推迟大约25 d。

2.2 西藏高原区 ET_0 的月际变化规律

(1) 逐月 ET_0 的年内变化比较 西藏高原区七地(市)7个站点逐月 ET_0 均值变化曲线见图2。逐月 ET_0 均值变化曲线由每年1月份开始,随着气温的升高、日照时数的延长、太阳辐射的增强, ET_0 呈现较快的上升趋势,在6月份达到最大值,之后由于降水和湿度加大的影响 ET_0 逐渐减小,到12月份达到了最低值,该变化曲线表明 ET_0 年内变化呈现出一定的季节性变化趋势。研究7个站点逐月 ET_0 均值的变化趋势,得出和逐日 ET_0 均值几乎相同的3条变化规律:

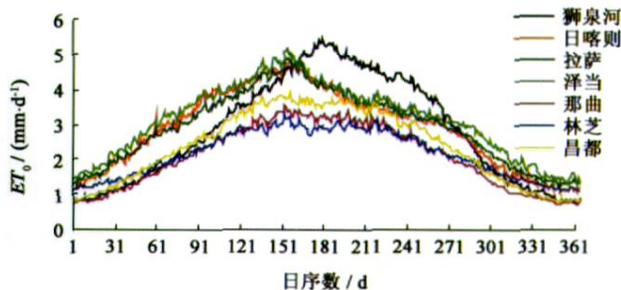


图2 逐月 ET_0 均值的变化对比

Fig. 2 Comparison of average monthly ET_0 changes

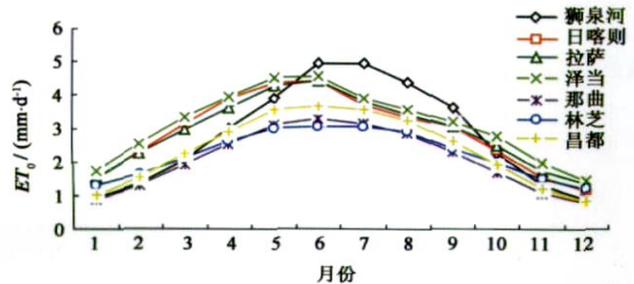


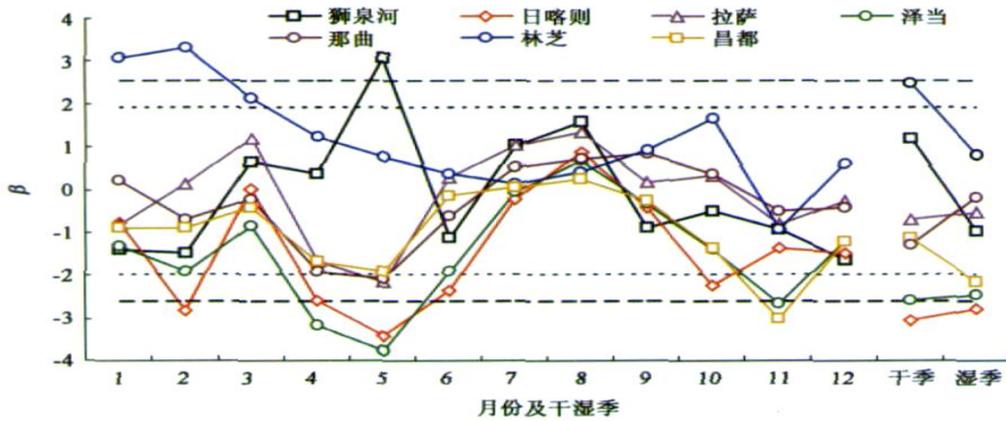
图1 逐日 ET_0 均值的变化对比

Fig. 1 Comparison of average daily ET_0 changes

昌都、林芝和那曲3个站点的逐月 ET_0 变化趋势基本一致,呈现单峰的抛物线形状; 拉萨、泽当和日喀则3个站点的逐月 ET_0 变化趋势基本一致,逐月 ET_0 最大值都出现在6月,6~9月变化曲线呈现较快的下降趋势; 狮泉河的逐月 ET_0 呈现单独变化趋势,逐月 ET_0 最大值也出在6月份,其值为 4.95 mm/d ,是7个站点中的最高值,5~8月的 ET_0 总和在全年中占的比例最大,约为54%。

(2) ET_0 月际及干湿季变化趋势比较 将西藏高

原区七地(市)典型气象站逐月 ET_0 均值系列按月、干季(10月~翌年3月)和湿季(4~9月)分别进行统计,采用M-K趋势检验方法进行趋势显著性检验,其结果详见图3。



注: (1) 在两条长虚线以外的点表示通过了置信度 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验; (2) 在两条短虚线以外的点表示通过了置信度 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验; (3) β 值为正表示该点呈现增加趋势、为负表示降低趋势。

图3 西藏高原区7个气象站点 ET_0 月际及干湿季变化M-K趋势检验

Fig.3 M-K tendency test of ET_0 changes in monthly and dry season and wet season of the typical observation stations in 7 cities of Tibet

综合分析结果: 日喀则各月及干湿季 ET_0 呈现降低趋势的最多, 也极为显著, 即2月、4月、5月及干湿季均呈现极显著降低趋势, 6月、10月呈现显著降低趋势; 泽当各月及干湿季 ET_0 呈现降低趋势的也较多, 也较为显著, 即4月、5月、11月均呈现极显著降低趋势, 干湿季呈现显著降低趋势; 各月及干湿季 ET_0 呈现降低趋势比较少的是昌都, 即只有11月和湿季呈现极显著降低趋势; 各月及干湿季 ET_0 呈现增加趋势比较少的是狮泉河, 即只有5月呈现极显著增加趋势; 林芝与其它6站点的各月及干湿季 ET_0 变化趋势几乎完全相反, 除11月外全部都呈现增加趋势, 其中1月、2月呈现极显著增加趋势, 3月和干季呈现显著增加趋势; 拉萨和那曲的各月及干湿季 ET_0 变化趋势不太明显, 都只有5月呈现显著降低趋势。

2.3 西藏高原区 ET_0 的年际变化规律

为了比较 ET_0 年际变化趋势情况, 将西藏高原区七地(市)典型气象站逐日 ET_0 均值系列按10年为一个年代际进行统计, 采用M-K趋势检验方法进行趋势显著性检验, 然后和全系列的年 ET_0 均值进行综合分析。7

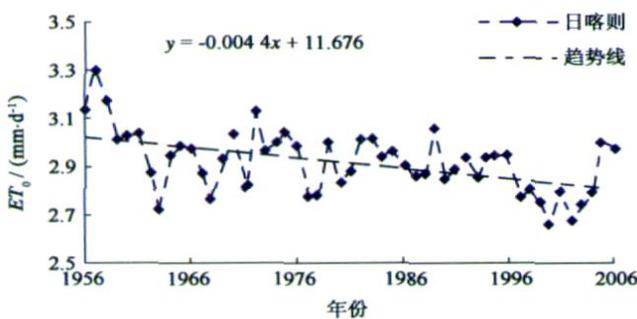


图4 日喀则年 ET_0 均值变化趋势

Fig.4 Average annual ET_0 changes in Rikaze

站点(为节省篇幅, 仅列出日喀则、泽当、昌都3个站点)全系列年 ET_0 均值变化趋势详见图4~图6。

西藏高原区7个气象站点 ET_0 年际变化M-K趋势检验结果见表2。综合分析结果为: 20世纪60、70和90年代年 ET_0 均值降低趋势的站点偏多, 年 ET_0 均值降低顺序从多到少为70年代 > 60年代 > 90年代, 80年代年 ET_0 均值增加趋势的站点偏多; 全系列年 ET_0 均值降低趋势的站点偏多。

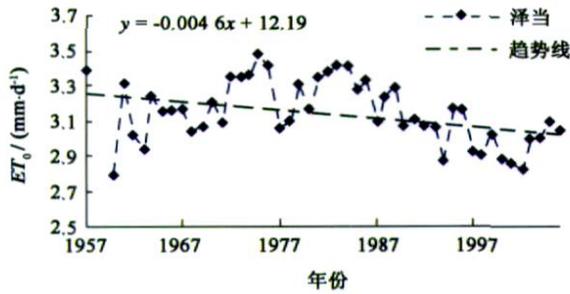


图 5 泽当年 ET_0 均值变化趋势

Fig. 5 Average annual ET_0 changes in Zedang

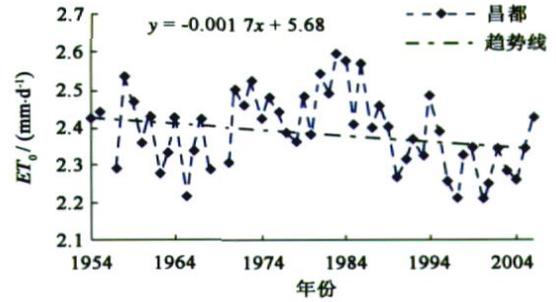


图 6 昌都年 ET_0 均值变化趋势

Fig. 6 Average annual ET_0 changes in Changdou

表 2 西藏高原区 7 个气象站点 ET_0 年际变化 M-K 趋势检验

Table 2 M-K tendency test on annual ET_0 changes of the typical observation stations in 7 cities of Tibet

年代	狮泉河		日喀则		拉萨		泽当		那曲		林芝		昌都	
	趋势	值	趋势	值	趋势	值	趋势	值	趋势	值	趋势	值	趋势	值
1960s	- 1.485	降低	- 1.342	降低	- 0.209	降低	0.447	增加	- 0.089	降低	1.251	增加	- 0.626	降低
1970s	- 2.057	降低*	- 0.805	降低	- 1.163	降低	0.268	增加	- 0.447	降低	- 0.268	降低	- 0.447	降低
1980s	0.626	增加	0.089	增加	0.626	增加	- 0.805	降低	2.236	增加	- 1.521	降低	- 0.626	降低
1990s	- 0.984	降低	- 0.626	降低	- 0.268	降低	- 0.984	降低	0.447	增加	0.984	增加	0.268	增加
全系列	0.548	增加	- 3.566	降低	- 0.577	降低	- 2.613	降低	- 1.136	降低	1.275	增加	- 1.941	降低

注: 表示通过了置信度 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验; *表示通过了置信度 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

2.4 西藏高原区 ET_0 的空间变化规律

根据计算的数据, 绘制西藏高原区年 ET_0 均值等值线图(图 7), 然后对其空间分布规律进行分析。

从图 7 可以看出, 西藏高原区年 ET_0 均值等值线存在 3 个明显的高值中心和两个低值区域。西藏高原区年 ET_0 均值等值线在藏东片区以八宿和左贡为中心的怒江流域地区, 在藏南片区以泽当和乃东为中心的雅砻河谷地区, 以谢通门和拉孜为中心的雅鲁藏布江中游河谷存在 3 个常年高值区; 常年 ET_0 低值区在藏东南片区的东南缘即喜马拉雅山北侧的错那和帕里一带, 以及藏南片区的那曲、嘉黎、比如、丁青及类乌齐以北地区; 受藏东南局部地形及小气候的影响, 在藏东南片区的雅鲁藏布江下游大拐弯附近区域 ET_0 也形成了低值斑块区域, 在工布江达、米林和波密一带较为明显; 藏北片区的年 ET_0 均值等值线分布较疏, 等值线从东到西逐渐递增约与经纬线呈 45 夹角, 最后在藏南片区的阿里以北区域与纬度基本平行, 由于藏北片区气象站点较缺乏, 其蒸散计算有一定误差。

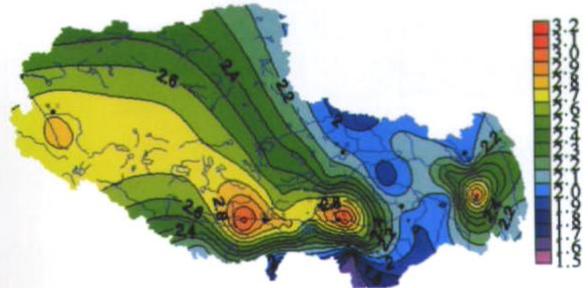


图 7 西藏高原区年 ET_0 均值等值线图

Fig. 7 Isoline map of average annual ET_0 in Tibet

西藏高原区年 ET_0 均值等值线总体分布呈现了东部和中南部高, 东北部和东南缘低的空间分布规律。此结论符合张方敏等研究中国参考作物蒸散的空间分布在西藏高原的局部特征^[4]。

3 结 论

(1) 西藏高原区 7 个典型站点的逐日 ET_0 均值对平均气温、日最高气温和日最低气温三个因子较为敏感, 其次是平均相对湿度, 都通过了置信度 $\alpha = 0.01$ 的显著性双尾检验; 林芝和狮泉河的逐日 ET_0 均值与 7 个影响因子的相关系数全部通过了置信度 $\alpha = 0.01$ 的显著性双尾检验。

(2) 昌都、林芝和那曲 3 个站点的逐日 ET_0 在年内变化曲线基本一致, 呈现单峰抛物线形状; 拉萨、泽当和日喀则 3 个站点的逐日 ET_0 年内变化趋势基本一致, 6~9 月变化曲线呈较快的下降趋势; 狮泉河的 ET_0 呈现单独变化趋势。

(3) 和逐日 ET_0 均值变化规律几乎相同, 7 个典型站点的逐月 ET_0 最大值均出现在 6 月份, 最小值出现在 12 月份; 各月及干湿季 ET_0 Mann-Kendall 检验, 日喀则呈现降低趋势最多, 也极为显著, 其次是泽当, 较少的是昌都、狮泉河, 最少的是拉萨和那曲, 呈现增加趋势最多的是林芝。

(4) 西藏高原区 7 个典型站点 ET_0 Mann-Kendall 检验年际变化规律为: 20 世纪 60、70 和 90 年代年 ET_0 均值降低趋势的站点偏多, 80 年代年 ET_0 均值增加趋势的站点偏多; 全系列年 ET_0 均值降低趋势的站点偏多。

(5) 西藏高原区年 ET_0 均值具有东部和中南部高, 东北部和东南缘低的空间分布规律。

致谢: 本文所用气象资料均由国家气象局气候资料中心提供, 在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998: 15-86.
- [2] 苏春宏, 陈亚新, 徐冰. ET_0 计算公式的最新进展与普适性评估[J]. 水科学进展. 2008, 19(1): 129-136. (SU Chun-hong, CHEN Ya-xin, XU Bing. Recent development and universality evaluation of ET_0 calculation formulas[J]. Advances in Water Science. 2008, 19(1): 129-136. (in Chinese))
- [3] 倪广恒, 李新红, 丛振涛, 等. 中国参考作物腾发量时空变化特性分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 1-4. (NI Guang-heng, LI Xin-hong, CONG Zhen-tao, et al. Temporal and spatial characteristics of reference evapotranspiration in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2006, 22(5): 1-4. (in Chinese))
- [4] 张方敏, 申双和. 我国参考作物蒸散的空间分布和时间趋势[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 705-709. (ZHANG Fang-min, SHEN Shuang-he. Spatial distribution and temporal trend of reference crop evapotranspiration in China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology. 2007, 30(5): 705-709. (in Chinese))
- [5] 陈华, 陈炯宏, 郭生练, 等. 汉江流域参照作物腾发量时空变化趋势分析[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(2): 28-30. (CHEN Hua, CHEN Jiong-hong, GUO Sheng-lian, et al. Analysis on the temporal and spatial trends of the reference evapotranspiration in the Hanjiang River Basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology. 2008, 6(2): 28-30. (in Chinese))
- [6] 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 乌鲁木齐河流域参考作物蒸散量时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(1): 41-45. (PU Zong-chao, ZHANG Shan-qing, LI Jing-lin, et al. Change characteristics of reference crop evapotranspiration in Urumqi River Basin[J]. Desert and Oasis Meteorology. 2008, 2(1): 41-45. (in Chinese))
- [7] 付新峰, 杨胜天, 刘昌明. 雅鲁藏布江流域潜在蒸散量计算方法[J]. 水利水电技术, 2006, 37(8): 5-8. (FU Xin-feng, YANG Sheng-tian, LIU Chang-ming. Method for computation of potential evapotranspiration in Yarlung Tsangpo River Basin[J]. Water Resources and Hydropower Engineering. 2006, 37(8): 5-8. (in Chinese))
- [8] 毛飞, 卢志光, 张佳华, 等. 近 40 年那曲地区气候特征分析[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 708-715. (MAO Fei, LU Zhi-guang, ZHANG Jia-hua, et al. Analysis on climate characteristics in Naqu in recent 40 years[J]. Plateau Meteorology. 2007, 26(4): 708-715. (in Chinese))
- [9] 杨永红, 张展羽. 改进 Hargreaves 方法计算拉萨参考作物蒸发蒸腾量[J]. 水科学进展, 2009, 20(5): 614-618. (YANG Yong-hong, ZHANG Zhan-yu. Method for calculating Lhasa reference crop evapotranspiration by modifying Hargreaves[J]. Advances in Water Science. 2009, 20(5): 614-618. (in Chinese))
- [10] 徐宗学, 巩同梁, 赵芳芳. 近 40 年来西藏高原气候变化特征分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2006, 1(1): 24-32. (XU Zong-xue, GONG Tong-liang, ZHAO Fang-fang. Analysis of climate change in Tibetan Plateau over the past 40 years[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment. 2006, 1(1): 24-32. (in Chinese))
- [11] 杜军, 胡军, 周保琴, 等. 西藏一江两河流域作物气候生产力对气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 141-145. (DU Jun, HU Jun, ZHOU Bao-qin, et al. Responses of climate-productivity to climatic change in central Tibet from 1961 to 2005[J].

- Agricultural Research in the Arid Areas. 2008, 26(1): 141-145. (in Chinese))
- [12] 徐宗学, 张玲, 阮本清. 北京地区降水量时空分布规律分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 186-192. (XU Zong-xue, ZHANG Ling, RUAN Ben-qing. Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing Region[J]. Arid Land Geography. 2006, 29(2): 186-192. (in Chinese))
- [13] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1041. (WANG Ying, CAO Ming-kui, TAO Bo, et al. The characteristics of spatio-temporal patterns in precipitation in China under the background of global climate change[J]. Geographical Research. 2006, 25(6): 1031-1041. (in Chinese))
- [14] 吴学文, 晏路明. 普通 Kriging 法的参数设置及变异函数模型选择方法[J]. 地球信息科学, 2007, 9(3): 104-107. (WU Xue-wen, YAN Lu-ming. Setting parameters and choosing optimum semivariogram models of ordinary Kriging interpolation[J]. Geo-information Science. 2007, 9(3): 104-107. (in Chinese))

Temporal and spatial variation law of reference crop evapotranspiration in Tibet*

YANG Yong-hong^{1,2}, ZHANG Zhan-yu¹, RUAN Xin-jian^{2,3}

(1. Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China;

2. College of Agricultural Engineering, Hohai university, Nanjing 210098, China;

3. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan university, Wuhan 430072, China)

Abstract : Based on the meteorological observation data collected by the 38 weather stations in Tibet for several decades before 2006, the daily values of the reference crop evapotranspiration (ET_0) are calculated by FAO-56 standard Penman-Monteith formula, and the daily and monthly change law of ET_0 over the seven stations is analyzed. The tendency test is conducted on the data of the monthly and annual ET_0 using the Mann-Kendall method. The contour maps of the average annual ET_0 in Tibet are obtained using the Golden Software Surfer 8.0. The spatial distribution of the average annual ET_0 in Tibet is analyzed with the function of spatial analysis. The results indicate that: the daily ET_0 curves of Changdou, Linzhi and Naqu are approximately the same, showing a single peak parabolic shape; and the daily ET_0 curves of Lhasa, Rikaze and Zedang are also approximately the same. The curves from June to September quickly take on the downward trend; ET_0 of the Shiquanhe presents individual change trend. As for all the observation sites, the maximum monthly ET_0 is found in June, and the minimum is in December. In Rikaze, ET_0 mainly shows the decreasing trend each month and in wet and dry seasons very significantly, followed by Zedang. While ET_0 mainly shows the increasing trend in Linzhi. The Mann-Kendall test also indicates that the decreasing in annual ET_0 appears to be the dominant trend in most stations of Tibet. The spatial distribution of average annual ET_0 reveals that the ET_0 values are higher in the eastern and central-southern regions than those in the west and north as well as in the south-eastern fringe in Tibet.

Key words : reference crop evapotranspiration; Penman-Monteith formula; Mann-Kendall method; temporal and spatial variability; Tibet

* The study is financially supported by the Natural Science Foundation for Youths of Tibet Autonomous Region of China (No. 10-4).