

四川地区参考作物蒸散量的变化特征及气候影响因素分析<sup>\*</sup>陈超<sup>1,2</sup>, 庞艳梅<sup>3</sup>, 潘学标<sup>2\*\*</sup>, 王春艳<sup>4</sup>(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610071; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;  
3. 北京市门头沟区气象局, 北京 102308; 4. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

**摘要:**参考作物蒸散量是估算作物需水量的关键因子,对指导农田灌溉具有重要的现实意义。本文利用 1961–2009 年四川地区 5 个盆地站点和 5 个高原站点的逐日气候资料,采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算参考作物蒸散量 ( $ET_0$ ),分析了当地  $ET_0$  的日值、月值、季值和年值的变化特征,并采用偏相关分析方法,对影响  $ET_0$  变化的主要气候因子进行了探讨。结果表明:(1)四川盆地与高原地区参考作物蒸散量的日均值、月均值呈单峰或双峰型曲线变化,有明显的季节特点,最小值出现在冬季,最大值出现在夏季。(2)盆地地区各站点的年  $ET_0$  呈波动递减趋势,且下降趋势通过了显著性检验;高原地区木里、松潘两站点的  $ET_0$  呈上升趋势,其他站点呈减少的趋势。(3)四川地区的年、季参考作物蒸散量与日照时数、风速、相对湿度、平均温度、最高温度、最低温度、气压等要素关系密切,但近 50a 来日照时数的显著下降是导致盆地地区参考作物蒸散量减少的主要原因,风速的变化是导致高原地区参考作物蒸散量变化的主要原因。

**关键词:**四川;参考作物蒸散量;气候影响因子

Analysis on Change of Reference Crop Evapotranspiration  
and Climatic Influence Factors in SichuanCHEN Chao<sup>1,2</sup>, PANG Yan-mei<sup>3</sup>, PAN Xue-biao<sup>2</sup>, WANG Chun-yan<sup>4</sup>

(1. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610071, China; 2. College of Resources and Environment, CAU, Beijing 100193; 3. Mentougou Meteorological Bureau, Beijing 102308; 4. Institute of Agricultural Resources and Agricultural Division, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081)

**Abstract:** Reference crop evapotranspiration ( $ET_0$ ) was a key factor to estimate crop water requirement and determine farming irrigation. The characteristics of  $ET_0$  and its major climate influence factors were analyzed respectively by using the Penman-Monteith equation and partial correlation analysis method, based on daily meteorological data from 5 basin stations and 5 plateau stations from 1961 to 2009 in Sichuan province. The results showed that both daily and monthly average  $ET_0$ , both in basin stations and plateau stations, changed in seasons. The highest point was in summer, and the lowest point was in winter. The annual average  $ET_0$  in basin stations decreased fluctuant, and the decline rate was significant. The annual average  $ET_0$  in plateau stations decreased slightly except for Muli and Songpan. The annual and seasonal average  $ET_0$  in Sichuan province had close relationship to sunshine duration, wind speed, relative humidity, average temperature, maximum and minimum temperature, and air pressure. Sunshine duration reduction in last 50 years resulted to average  $ET_0$  decreased in basin stations, and the wind speed variation resulted to average  $ET_0$  decreased in plateau stations.

**Key words:** Sichuan; Reference crop evapotranspiration; Climatic influence factors

<sup>\*</sup> 收稿日期:2010-05-31      <sup>\*\*</sup> 通讯作者。E-mail: panxb@cau.edu.cn

基金项目:教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(708013);国家科技支撑计划重大项目课题(2007BAC03A02);中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放实验室基金项目“气候变化对四川主要农作物生产的影响”

作者简介:陈超(1982–),湖南人,博士生,工程师,研究方向为气候资源与农业减灾、生物气候模型与信息系统。  
E-mail: chenchaol6306@sina.com

作物需水量是农田水分循环系统的重要部分,一般通过参考作物蒸散量乘以作物系数的方法可以得到,故参考作物蒸散量( $ET_0$ )不仅是影响作物需水量估算准确程度的最关键因素,也是指导合理灌溉的重要参数之一。目前计算参考作物蒸散量的方法众多,常用的方法可以分为 4 大类:水面蒸发法、温度法、辐射法和综合法<sup>[1]</sup>。本文选用了 Penman-Monteith 方法,此方法既考虑了空气动力学和辐射项的作用,又涉及作物的生理特征,弥补了 Penman 法忽略植被对水汽传输阻力作用的缺点,1998 年联合国粮农组织推荐将其作为计算参考作物蒸散量的唯一标准方法<sup>[2]</sup>,目前该法是世界上应用较普遍的公式之一<sup>[3-5]</sup>。

近几十年来,在参考作物蒸散量方面,国内外已有大量的研究<sup>[6-8]</sup>。一般认为全球变暖可能会使近地面层变干,则陆地上水体蒸发量应上升,而实际却恰恰相反。Peterson 等人研究表明,除个别地区外,北半球蒸发皿观测的蒸发量在过去几十年内呈减少趋势<sup>[9-12]</sup>。中国大部分地区的潜在蒸散量也呈减少趋势,而这些变化与温度、日照时数、风速及相对湿度等气候因子有密切的关系。顾世祥等<sup>[13]</sup>分析了西南纵向岭谷区年内和年际  $ET_0$  的变化趋势和特点,得出年内  $ET_0$  变化日最高温度是主导因素,年际变化主要受日照时数影响。佟玲等<sup>[14]</sup>分析了石羊河流域近 50a  $ET_0$  的时空变化,结果表明  $ET_0$  总体呈逐年下降的趋势,同时石羊河流域  $ET_0$  与平均相对湿度的相关性最好。陈沈斌等<sup>[15]</sup>利用 Penman-Monteith 公式分析了西藏地区作物潜在蒸散量,显示风速和相对湿度是影响  $ET_0$  的主要因素。不同区域的气候特点不同,对参考作物蒸散量的贡献率也略有不同。因此,综合分析不同地区的气候要素对参考蒸散的影响,是指导合理灌溉的重要前提。

四川省地跨青藏高原、横断山脉、云贵高原、秦巴山地、四川盆地几大地貌单元,地势西高东低,由西北向东南倾斜。当地季风气候明显,雨热同季;区域内差异显著,东部冬暖、春早、夏热、秋雨、多云雾、少日照、生长季长,西部则寒冷、冬长、基本无夏、日照充足、降水集中、干雨季分明,因此导致气象灾害种类多,发生频率高,范围大,干旱与洪涝灾害并存<sup>[16]</sup>,冬旱和春旱及冬春连旱频繁发生。本文拟利用四川省 1961—2009 年近 50a 来的日气象资料,分析四川地区  $ET_0$  的日、月、季和年变化趋势,并进一步对影响参考作物蒸散量变化的主要气候因子进行探讨。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

根据四川的地形特点选取盆地地区都江堰、叙永、南充、雅安、乐山 5 个站点和高原地区甘孜、马尔康、康定、木里、松潘 5 个站点作为研究对象,各站点的地理位置见图 1。气象资料的时间序列为 1961—2009 年。气象资料包括日平均温度、最高温度、最低温度、相对湿度、气压、日照时数和风速。

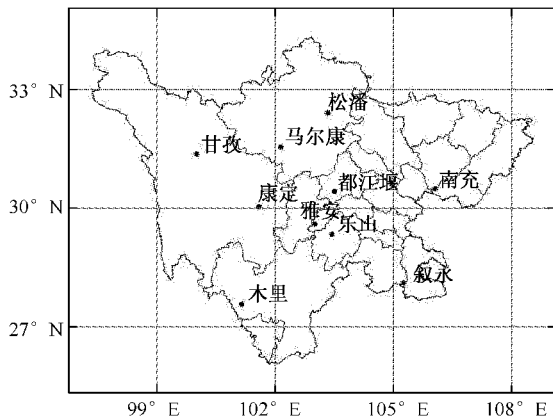


图 1 四川省 10 个代表气象站的相对位置

### 1.2 计算方法及数据来源

Penman-Monteith 公式为<sup>[17]</sup>

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

式中, $ET_0$ 为参考作物蒸散量,mm/d; $R_n$ 为作物表面净辐射量, $MJ/(m^2 \cdot d)$ ;  $G$ 为土壤热通量, $MJ/(m^2 \cdot d)$ ;  $\gamma$ 为湿度计常数, $kPa/^\circ C$ ;  $\Delta$ 为饱和水汽压与温度关系曲线的斜率, $kPa/^\circ C$ ;  $T$ 为空气平均温度, $^\circ C$ ;  $u_2$ 为地面以上 2m 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, $kPa$ 。

利用日序列气象资料计算各站的逐日  $ET_0$  值,再按不同时段分别统计其  $ET_0$  月值、季值、年值。数据分析采用 Microsoft Excel 和 SPSS 统计软件中的线性回归分析、偏相关分析等方法,并进行了显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时间尺度 $ET_0$ 的变化特点

#### 2.1.1 日值

由图 2 可见,四川盆地和高原地区逐日  $ET_0$  年均值的变化趋势基本一致,但略有不同。盆地地区日参考作物蒸散量的分布呈单峰曲线,到第 210 天左右时达到峰值然后逐渐下降, $ET_0$  夏季日变化较大(图 2a);高原地区的日  $ET_0$  值到第 120 天左右达到峰值,从第 120—220 天变化较小,然后逐渐下降(图 2b),这可能是高原地区夏季气温和降水波动不大的缘故。

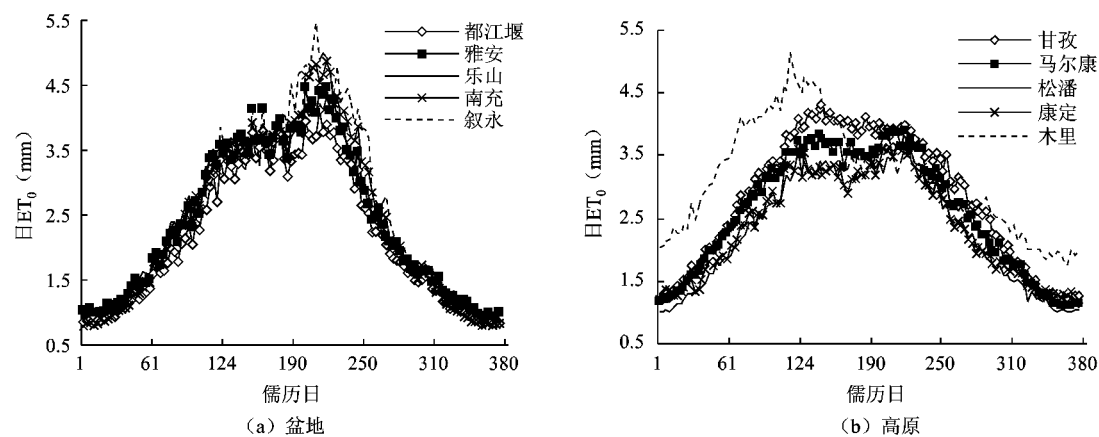


图 2 各站点  $ET_0$  的逐日变化

2.1.2 月值

四川地区各站点月  $ET_0$  多年均值的变化趋势基本一致,且存在明显的季节变化,分布见图 3。从图 3a 中可看出,盆地地区月参考作物蒸散量的分布呈单峰曲线,一般在 6-8 月达到峰值,且夏季的月参考蒸散量明显高于其他月份;高原地区的变化趋势呈双峰曲线(图 3b),峰值一般出现在 5 月和 7 月。就季

节而言,一般夏季达到全年的最高值,春、秋季次之,冬季最小,主要是由于春季以后,日照与太阳辐射角同时增大,参考作物蒸散量随之加快,但进入雨季后,相对湿度增加,减弱了参考作物蒸散量的增加速度,夏季日照时间长,对参考作物蒸散量影响也较大,到秋季后,日照和太阳辐射角减少,参考作物蒸散量减弱<sup>[18]</sup>。

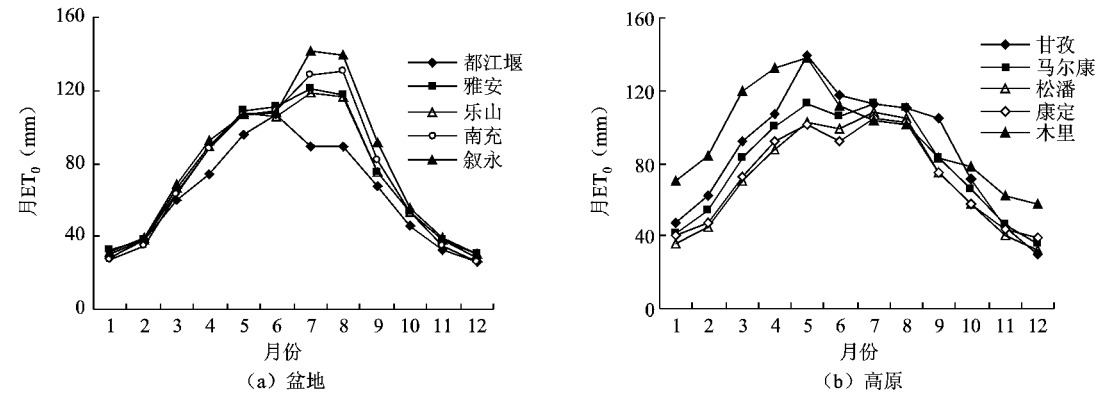


图 3 各站点月  $ET_0$  值的变化

2.1.3 年值和年代平均值

图 4 反映了四川盆地地区及高原地区参考作物蒸散量各年代和历年变化情况。由图 4a 和表 1 可知,近 50a 来,盆地地区各站的年  $ET_0$  总体呈波动递减趋势,都江堰、南充、雅安、叙永站点显著减少,乐山的变化趋势不显著。20 世纪 60 年代和 70 年代的年  $ET_0$  较常年偏多,80 年代开始减少,但到 21 世纪初期出现回升的趋势。高原地区的甘孜、马尔康、松潘 70 年代、80 年代与常年相比偏多,从 90 年代初期开始偏少,到 21 世纪出现回升的趋势;康定在 60 年代、70 年代与常年相比偏多,从 80 年代开始减小,到 21 世纪初高于常年;木里的变化与盆地地区的变化趋势相反,60-80 年代较常年偏少,从 90 年代开始偏多(图 4b)。

2.1.4 季值

依据气候特点,以 3-5 月为春季,6-8 月为夏季,9-11 月为秋季,12 月-翌年 2 月为冬季。四季参考作物蒸散量的变化特征见表 1。由表 1 可见,盆地地区年  $ET_0$  减少趋势主要是由夏季的明显减少造成的,夏季温度、太阳辐射和相对湿度等气象要素变化幅度相对较大,导致参考作物蒸散量的变化亦较为强烈<sup>[19]</sup>。而高原地区的变化趋势较为复杂,木里因季  $ET_0$  均呈现增加的趋势,导致年  $ET_0$  呈现增加的趋势(通过了 0.05 水平的显著性检验);松潘在春、夏季呈减少的趋势,秋、冬季呈增加的趋势,导致年  $ET_0$  呈增加的趋势,但变化不明显;其他站点均呈减少的趋势,马尔康的减小趋势显著。

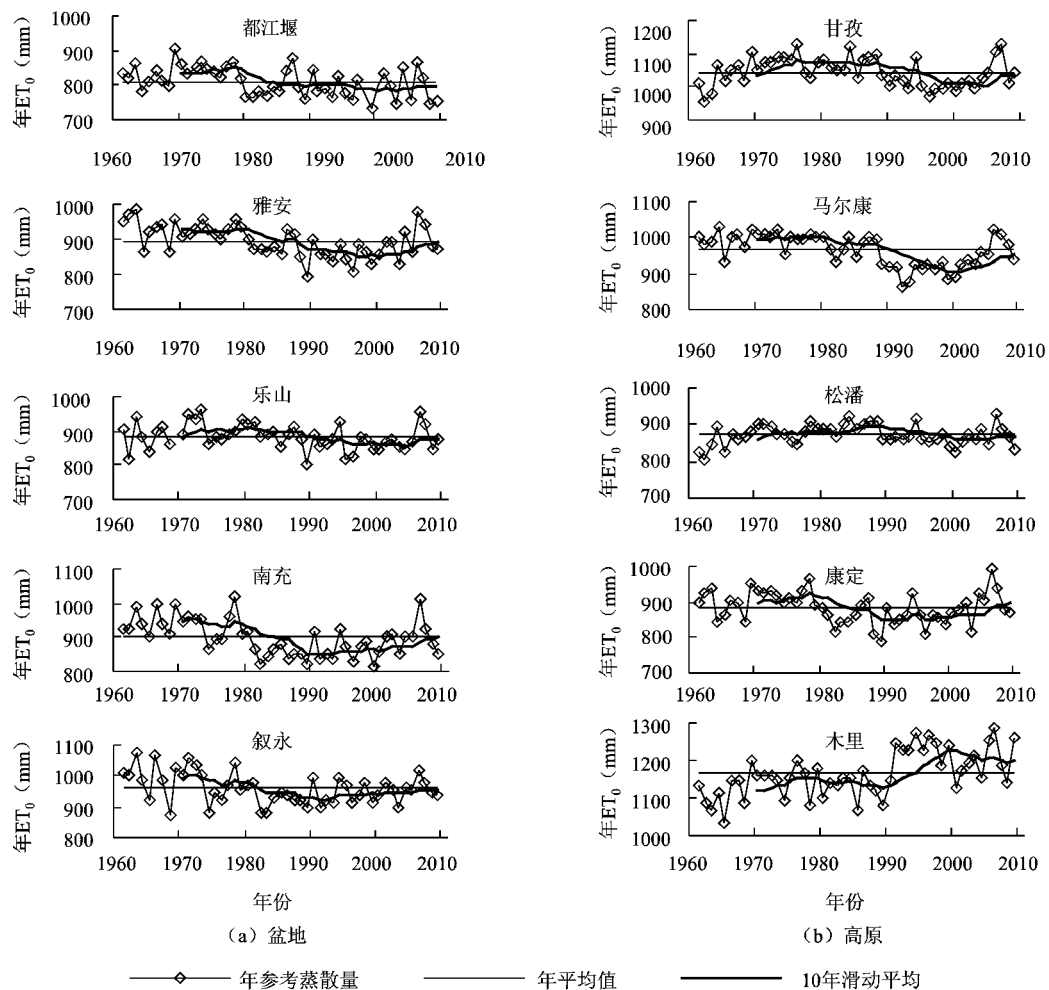


图 4 各站点年  $ET_0$  的变化过程

表 1 四川 10 个站点年和四季参考作物蒸散量的气候倾向率 (mm/10a)

	盆地地区					高原地区				
	都江堰	雅安	乐山	南充	叙永	甘孜	马尔康	松潘	康定	木里
春	-0.34	-1.20	0.94	-2.06	-1.54	-3.40	-5.72 **	-0.21	-3.26	8.87 **
夏	-8.79 **	-9.12 **	-6.66 *	-12.12 **	-10.34 **	-2.64	-7.25 **	-1.35	-2.57	4.17
秋	-1.80	-1.86	0.53	0.06	1.15	-0.21	-2.95 **	0.99	-1.29	4.84 **
冬	-2.19 *	-2.20 *	-1.02	-2.05 **	-1.81 *	3.06 *	-0.77	1.04	-1.06	6.64 **
年	-12.00 **	-14.45 **	-6.53	-16.44 **	-11.85 *	-4.42	-16.08 **	0.87	-5.99	25.21 **

注: \* 和 \*\* 分别表示通过了 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。

2.2  $ET_0$ 变化的原因分析

偏相关系数法可排除要素间的相互影响,选择与参考作物蒸散量变化关系最为密切的气候要素。表 2 为年参考作物蒸散量与各气象要素的偏相关系数。由表 2 可知,参考作物蒸散量同平均风速、日照时数、平均温度、平均最高温度、平均最低温度、气压呈显著正相关,与相对湿度呈负相关关系。盆地地区,除叙永外,影响年  $ET_0$  的主要气象因素是日照,分析期日照时数显著下降,导致参考作物蒸

散量显著下降;高原地区,主要影响因素是风速,而风速在不同站点变化趋势不同。另外,不同季节影响参考作物蒸散量的气象因素也不同,春季,无论是高原还是盆地地区,主要影响因素是风速和日照,而盆地地区也受相对湿度和平均最高温度的影响,高原地区受年平均温度和年平均最高温度的影响;夏季,四川地区主要受日照时数的影响;秋季,主要是受风速和日照的影响;到了冬季,主要是受风速的影响。

表 2  四川站点参考作物蒸散量与各气象要素偏相关系数显著的因子 ( $P < 0.05$ )

站点		春	夏	秋	冬	年
盆地	都江堰	$W^*, S, -H^*$	$S^*, W^*, -H^*$	$W^*, -H, S^*, Tg^*$	$W^*, S^*, -H, Tg$	$S^*, W^*, -H^*$
	雅安	$W^*, S, -H^*$	$S^*, W^*, -H^*$	$W^*, S, -H^*$	$W^*, -H, S^*, Tg$	$S^*, W^*, -H^*, Tg^*$
	乐山	$W^*, S, Tg$	$S^*, W^*, -H, Td, P$	$S, W^*, -H^*, Td^*$	$W, -H, S^*, Tg, Td^*$	$S^*, W^*$
	南充	$S^*, W^*$	$S^*, -H, W^*$	$-H, S, W^*$	$W^*, -H, S^*, Tg$	$S^*, W^*, -H$
	叙永	$S, W^*$	$S, W^*, -H$	$S^*, W^*, -H^*$	$W^*, S, -H, Tg$	$W^*, S$
高原	甘孜	$S^*, W$	$S^*, W, -H$	$W, S^*$	$W, S^*$	$W, S^*$
	马尔康	$W^*, S^*, T$	$S^*, W^*, -H$	$W^*, S^*, Tg$	$W^*, S^*, Tg^*, -H^*$	$W^*, S^*, Tg^*$
	松潘	$S, W, T^*$	$S^*, W$	$S, W$	$W, -H, Tg^*, S$	$W, S^*$
	康定	$W^*, S^*, Tg$	$S^*, Tg, T, Td^*$	$S^*, W^*, -H, Tg^*$	$W^*, Tg, -H^*, S,$	$S^*, W^*$
	木里	$W^*, S^*, Tg^*$	$S, W$	$W^*, S, -H^*$	$W, S^*$	$W^*, S^*, -H^*$

注:  $H$  为相对湿度;  $S$  为年日照时数;  $T$  为年平均温度;  $Tg$  为年平均最高气温;  $Td$  为年平均最低温度;  $P$  为气压;  $W$  为年平均风速。表中给出偏相关系数显著的因子(通过 0.05 水平的显著性检验), 并按照相关系数递减顺序排列; “-”代表因子与参考作物蒸散量的偏相关系数为负; 粗体符号表示分析期该因子呈减小的变化趋势, 否则为增加的趋势; \* 表示因子变化趋势通过 0.05 水平的显著性检验。

要想了解究竟哪些气象因子的变化对近 50a 来四川地区参考作物蒸散量的变化趋势起决定性作用, 应从分析气象因子的变化趋势入手, 如表 2。分析显示, 四川地区日照时数呈显著减少的变化趋势, 这与李晓文等<sup>[20]</sup>的研究一致, 他们认为由于地面大气悬浮粒子浓度的增加造成 1961–1990 年四川地区总辐射和直接辐射均呈下降趋势, 并导致日照时数显著减少。风速变化较复杂, 盆地地区风速呈显著减小的变化趋势; 高原地区木里呈显著增加的变化趋势, 甘孜地区呈增加的趋势但不显著, 其它站点呈减小的趋势。根据王遵娅等<sup>[21]</sup>的研究, 四川地区风速变化的波动性较全国其它地区大, 风速的减小趋势较其它地区不明显, 而高原地区风速较盆地地区的变化趋势更不明显。因此认为, 日照时数的显著下降可能是影响盆地地区年参考作物蒸散量下降的主要原因, 而风速的变化可能是高原地区  $ET_0$  变化的主要原因。另外, 对于不同季节、不同站点, 相对湿度的变化并不一致, 因此认为它对参考作物蒸散量的影响是次要的。温度对参考作物蒸散量也有一定的影响, 主要是在盆地地区, 最高温度在冬天与参考作物蒸散量呈显著正相关, 但最高温度的增高趋势并不显著<sup>[22]</sup>, 因此可认为它对四川地区参考作物蒸散量的影响是次要的。总的来说, 参考作物蒸散量的变化是各气象因子综合作用的结果。在这些因子中, 主要影响因子的变化对参考作物蒸散量的变化起到了关键性的作用, 其他因子则因其与参考作物蒸散量关系的紧密程度和其本身变化趋势起到增加或消减趋势的作用<sup>[19]</sup>。

3  结论与讨论

(1) 盆地与高原地区参考作物蒸散量的日值、月值呈单峰或双峰曲线, 最小值出现在冬季, 最高值出

现在夏季(木里除外)。盆地与高原相比较, 夏季盆地地区  $ET_0$  值变化较大, 高原地区变化较平缓。

(2) 近 50a 来, 盆地地区各站的年  $ET_0$  呈波动递减的趋势, 且下降趋势通过显著性检验(乐山站点除外), 20 世纪 60 年代和 70 年代的年  $ET_0$  较常年偏多, 80 年代开始偏少, 21 世纪初出现回升的趋势。高原地区木里和松潘两个站点呈上升趋势, 其他站点均在 90 年代开始偏少, 到 21 世纪初出现回升的趋势。而 Thomas<sup>[23]</sup>利用月气象资料(1954–1993 年)研究了中国潜在蒸发的时空变化趋势, 发现东北与西南地区呈增加趋势, 这可能是由于站点较少, 难以全面反映全国各地蒸发变化的趋势, 同时与本文时间相差较长, 因此与本研究结果有所差异。

(3) 盆地地区的年、夏、冬季参考作物蒸散量呈显著减少的趋势, 春、秋变化不明显。高原地区木里站点年、春、秋、冬  $ET_0$  呈显著增加的趋势, 马尔康的年、春、夏、秋  $ET_0$  呈显著减少的趋势, 其它站点变化趋势不显著。

(4) 大量研究表明, 在最近 100a 中全球气温平均上升了  $0.74^{\circ}\text{C}$ <sup>[24]</sup>, 最近 50a 四川年平均温度升高了  $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ <sup>[22]</sup>。基于此, 由 Penman-Monteith 公式计算的参考作物蒸散量并没有按照气温增高、蒸散量也增大的规律变化, 表明气温变化可能不是影响参考作物蒸散量变化的主导因子, 谢贤群等<sup>[25]</sup>分析了中国北方近 50a 潜在蒸发的变化, 发现潜在蒸散和蒸发皿蒸发呈波动下降趋势, 日照百分率、风速下降和湿度增加影响了蒸发的变化。李春强等<sup>[26]</sup>研究了河北省年参考作物蒸散量的减少原因主要是风速下降和日照时数减少引起的, 而温度升高对参考作物蒸散变化的作用有限。本研究表明, 四川盆地地区影响年  $ET_0$  的

主要气象因素是日照,这与李春强等的研究结果相同;高原地区的主要影响因素是风速,Roderick 等<sup>[27]</sup>认为:风速变化对影响蒸发的空气动力学分量更为重要。因此,气温升高并非一定导致参考作物蒸散量增加,所以气温升高与参考作物蒸散量下降并不矛盾,因为一方面,在气温升高的同时,其它气象要素也在变化;另一方面,参考作物蒸散量变化与日照时数和风速的变化更为密切,而对温度变化不敏感<sup>[26]</sup>。

(5)四川地区参考作物蒸散量与当地的气候变化存在密切相关性,同时四川地区复杂的地形对参考作物蒸散量也有影响,但本文仅从气候变化的角度对四川参考作物蒸散量变化特征进行研究,若将四川地形地貌与气象因子结合分析参考作物蒸散量的变化特征,可以更加准确地了解四川高原和盆地地区参考作物蒸散量的变化规律和特征。

#### 参考文献:

- [1] 彭世彰,徐俊增. 参考作物蒸发蒸腾量计算方法的应用比较[J]. 灌溉排水学报,2004,23(6):5-9.
- [2] FAO. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements[M]. Rome:FAO-Food and Agriculture Organization,1998.
- [3] 刘晓英,李玉中,王庆锁. 几种基于温度的参考作物蒸散量计算方法的评价[J]. 农业工程学报,2006,22(6):12-18.
- [4] 刘悦,夏伟,吴晓蔚,等. 几种参考作物蒸散量计算方法的比较[J]. 河北科技大学学报,2009,30(1):17-24.
- [5] 李春强,洪克勤,李保国. 河北省近 35 年(1965-1999 年)参考作物蒸散量的时空变化[J]. 中国农业气象,2008,29(4):414-419.
- [6] Gundekar H G, Khodke U M, Sarkar S, et al. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region[J]. Irrigation Science,2008,26(2):169-175.
- [7] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地理学报,2005,60(1):3-11.
- [8] 封志明,杨艳昭,丁晓强,等. 甘肃地区参考作物蒸散量时空变化研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):99-103.
- [9] Peterson T C, Golubev V S, Groisman P Y. Evaporation losing its strength[J]. Nature,1995,377:687.
- [10] Brutsaert W, Parlange M B. Hydrologic cycle explains the evaporation paradox[J]. Nature,1998,396:30.
- [11] Roderick M L, Farquhar G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years[J]. Science,2002,298(15):1410-1411.
- [12] Linaere E T. Evaporation trends[J]. Theoretical and Applied Climatology,2004,79:11-21.
- [13] 顾世祥,何大明,李远华,等. 纵向岭谷区参考作物腾发量变化的特点和趋势[J]. 农业工程学报,2007,23(3):24-29.
- [14] 佟玲,康绍忠,栗晓玲. 石羊河流域气候变化对参考作物蒸发蒸腾量影响的分析[J]. 农业工程学报,2004,20(2):15-18.
- [15] Chen S B, Liu Y F, Axel T. Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961-2000[J]. Climatic Change,2006,76:291-319.
- [16] 秦大河,丁一汇,王绍武,等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. 地球科学进展,2002,17(3):314-319.
- [17] 史晓楠,王全九,王新,等. 参考作物腾发量计算方法在新疆地区的适用性研究[J]. 农业工程学报,2006,22(6):19-23.
- [18] 孙小舟,封志明,杨艳昭. 西辽河流域 1952 年~2007 年参考作物蒸散量的变化趋势[J]. 资源科学,2009,31(3):479-484.
- [19] 高歌,陈德亮,任国玉,等. 1956-2000 年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. 地理研究,2006,25(3):378-387.
- [20] 李晓文,李维亮,周秀骥. 中国近 30 年太阳辐射状况研究[J]. 应用气象学报,1998,9(1):24-31.
- [21] 王遵亲,丁一汇,何金海,等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报,2004,62(2):228-236.
- [22] 陈超,庞艳梅,潘学标. 近半个世纪以来四川盆地气温和降水的变化特征[J]. 中国农业气象,2010,31(增1):27-31.
- [23] Thomas A. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China [J]. Int. J. Climatol, 2000,(20):381-296.
- [24] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007 [R]. Cambridge: Cambridge University Press,2007.
- [25] 谢贤群,王菱. 中国北方近 50 年潜在蒸发的变化[J]. 自然资源学报,2007,22(5):683-691.
- [26] 李春强,洪克勤,李保国. 河北省近 35 年(1965-1999 年)参考作物蒸散量的时空变化[J]. 中国农业气象,2008,29(4):414-419.
- [27] Roderick M L, Rotstayn L D, Farquhar G D, et al. On the attribution of changing pan evaporation[J]. Geophysical Research Letters,2007,34,L17403,doi:10.1029/2007GL031166.