

甘肃黄土高原区潜在蒸散量时空变化与成因研究

卓玛兰草, 刘普幸, 张亚宁, 王洪岩, 曹立国

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要:基于甘肃黄土高原区 12 个气象站点 1960—2008 年逐日气温、降水、风速、日照时数、太阳总辐射和相对湿度数据,应用 Penman—Monteith 模型和 Kriging 插值法,分析了其潜在蒸散量的时空变化及其影响因子。结果表明:近 49 a 来,陇中北部冷温带半干旱区和陇中南部冷温带半湿润区的潜在蒸散量均呈上升趋势。在四季中,潜在蒸散量的值夏季最大,春秋季节次之,冬季最小。潜在蒸散量空间差异显著,潜在蒸散量的值表现为自北向南递减,其中最大值在景泰为 1 105.82 mm,最小值在岷县为 772.31 mm。相关分析表明,研究区年均潜在蒸散量所受气候因子的影响不尽相同,其中,陇中北部冷温带半干旱区为太阳总辐射和日照时数,而陇中南部冷温带半湿润区为太阳总辐射和最高气温。辐射项主要受太阳总辐射和最高气温影响,动力项主要受风速影响,辐射项的值都远大于动力项。不同气候区辐射项均呈上升趋势,但动力项有所不同,在陇中北部冷温带半干旱区呈下降趋势,斜率为 -0.631 mm/a ,在陇中南部冷温带半湿润区呈上升趋势,斜率为 0.415 mm/a 。

关键词:气候变化; 潜在蒸散量; Penman—Monteith 模型; 影响因子; 黄土高原

中图分类号:S161.4;P426.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0070-06

Study on Temporal and Spatial Changes of the Potential Evapotranspiration and Its Impact Factors in Loess Plateau of Gansu Province

ZHUO Malancao, LIU Pu-xing, ZHANG Ya-ning, WANG Hong-yan, CAO Li-guo

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract:Based on the daily temperature, precipitation, wind speed, sunshine hours, total solar radiation and related humidity date of the 12 meteorological stations of Loess Plateau region in Gansu Province from 1960 to 2008, Potential Evapotranspiration (ET_0) were estimated by the methods of Penman—Monteith model in different climate regions and the temporal-spatial variations of ET_0 were analyzed by using Kriging interpolation. The results indicated that the trends of ET_0 in semi-arid region of the northern Longzhong and the semi-humid region of the southern Longzhong are increasing. In four seasons, summer ET_0 was maximum, autumn and spring ones were the second place, winter ET_0 was minimum. ET_0 had the characteristics of remarkable spatial variations, such as decreasing from north to south, the maximum of ET_0 was 1 105.82 mm in Jingtai, while the minimum of ET_0 was 772.31 mm in Minxian. Correlation analysis indicated that ET_0 was affected by diverse climatic factors in different climate regions of study area. The ET_0 of semi-arid region in the northern Longzhong was mainly affected by total solar radiation and sunshine hours, while the ET_0 of semi-humid region of the southern Longzhong was mainly controlled by total solar radiation and the highest temperature. E_{Trad} was mainly affected by total solar radiation and the highest temperature. The key factor for influencing the E_{Taero} was the wind speed of all, $E_{\text{Trad}} > E_{\text{Taero}}$. In different climatic regions, E_{Trad} change trends of ET_0 is increasing, but E_{Taero} are different. The change trends of ET_0 of semi-arid region in the northern Longzhong is -0.631 mm/a , it was 0.415 mm/a for the semi-humid region in the southern Longzhong.

Key words: climate change; potential evapotranspiration(ET_0); Penman—Monteith model; impact factor; the Loess Plateau

收稿日期:2011-05-29

修回日期:2011-07-18

资助项目:本文受国家自然科学基金项目(40961035);甘肃省科技计划基金项目(0803RJZA094);西北师范大学第三期科技创新工程项目

作者简介:卓玛兰草(1985—),女,甘肃省甘南州人,硕士研究生,研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail:zmlczmlc@163.com

通信作者:刘普幸(1964—),女,山西平遥人,教授,博士,主要研究干旱区域环境与绿洲建设、树轮水文学等研究。E-mail:fmlpx@nwnu.edu.cn

作为地表热量平衡和水平衡重要组成部分的蒸发,具有增加空气湿度,调节温度,进而影响生态环境和社会经济发展的作用。潜在蒸散是表征大气蒸发能力的一个量度,它标志大气中存在着一种控制充分湿润下垫面蒸发过程的能力,是评价气候干湿程度、水库设计、作物耗水和计算作物生产潜力的重要指标,也是制定作物灌溉制度和区域灌溉需水量计划的基本依据^[1-3]。一般随着气温升高,地表(包括植被)及水体的蒸发蒸散加强,但不同区域潜在蒸散量的变化不尽相同。近 50 a 来,北半球的蒸散量呈显著下降趋势^[4-6]。我国年潜在蒸散量整体呈减少趋势,变化率为 -1.3 mm/a ^[1,7],且我国北方及西北地区的潜在蒸散量 and 水面蒸发量都表现为显著下降趋势^[8-9],但东北地区、松嫩平原西部和黄河上游潜在蒸散量又呈微弱上升趋势^[10-12]。因此,探讨区域潜在蒸散量,提出应对气候变化的农业发展对策就显得尤为重要。目前甘肃省的相关研究主要侧重在祁连山及河西走廊和不同气候区典型站点潜在蒸散量的特征研究^[13-15],而甘肃黄土高原区下垫面属于黄土高原丘陵沟壑区,植被稀疏,水土流失严重,生态环境脆弱,是我国干旱气候区和湿润气候区的过渡带,也是气候变化的敏感地区,其潜在蒸散量的变化规律和影响因子究竟如何,在全球气候变化背景下的区域响应如何等都是值得关注的科学课题。通过分析甘肃黄土高原区不同气候区潜在蒸散量的时空特征及其机制,旨在为因地制宜合理调整农业结构,布局农业生产,防灾减灾,提高生产力,促进区域社会经济可持续发展提供科学决策依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

甘肃黄土高原区位于甘肃中部,介于 $34^{\circ}42' - 37^{\circ}42' \text{N}$, $102^{\circ}37' - 108^{\circ}46' \text{E}$,包括陇中北部冷温带半干旱区和陇中南部冷温带半湿润区。陇中北部冷温带半干旱区平均气温 $6 \sim 9^{\circ}\text{C}$,最热月 7 月份平均气温 $22 \sim 25^{\circ}\text{C}$,最冷的 1 月份平均气温 $-6 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 。年降水量 $200 \sim 500 \text{ mm}$,无霜期 $160 \sim 180 \text{ d}$,降水由南向北迅速减少。陇中南部冷温带半湿润区,地势大致由东、北、西三面向东南方向倾斜。本区年平均气温 $6 \sim 10^{\circ}\text{C}$,最热的 7 月份平均气温 $20 \sim 22^{\circ}\text{C}$,最冷的 1 月份平均气温 $-4 \sim -6^{\circ}\text{C}$ 。年降水量 $500 \sim 650 \text{ mm}$,无霜期 $180 \sim 220 \text{ d}$ ^[16]。

1.2 数据来源

选取甘肃黄土高原区 12 个气象站(附图 5)1960 年 1 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日的日平均气温、日最高和最低气温、日相对湿度、日平均风速和日照时数资料,资料来源于国家气象信息中心。

1.3 数据分析

应用 1998 年 FAO 推荐并修订的 P—M 模型计算参考作物蒸散量(也称潜在蒸散量) ET_0 ^[17-18]。

$$\text{ET}_0 = \text{ET}_{\text{rad}} + \text{ET}_{\text{aero}}$$

$$\text{ET}_{\text{rad}} = \frac{0.408\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

$$\text{ET}_{\text{aero}} = \frac{\gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

$$R_n = R_{\text{ns}} - R_{\text{nl}}$$

$$R_{\text{ns}} = (1 - a) \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right] R_a$$

$$R_{\text{nl}} = \sigma \left[\frac{T_{\text{max},k}^4 + T_{\text{min},k}^4}{2} \right] (c - d \sqrt{e_a}) (e \frac{R_s}{R_{\text{so}}} - f)$$

式中: ET_{rad} ——辐射项(mm/d); ET_{aero} ——空气动力学项(动力项)(mm/d); Δ ——水汽压对温度的斜率($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); G ——土壤热通量 $[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ (本文忽略不计); γ ——干湿球常数; U_2 ——2 m 高处风速(m/s); e_s ——饱和水汽压(kPa); e_a ——实际水汽压(kPa); σ ——Stefan—Boltzmann 常数 $[4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d})]$; R_a ——大气层外太阳辐射 $[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$; R_s ——太阳辐射 $[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$; R_{so} ——晴天辐射 $[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$; T ——绝对温标温度(K); R_n ——净辐射; R_{ns} ——净短波辐射; R_{nl} ——净长波辐射。净辐射是 P—M 模型计算的基础,其计算的关键是确定经验系数,建议采用 FAO 推荐的值,即 $c = 0.34$, $d = 0.14$, $e = 1.35$, $f = 0.35$ 和祝昌汉^[19]得出的西北区的 a , b 系数分别为 0.281 , 0.441 ,其余各项参数的计算均采用 FAO 推荐的标准。利用 SPSS 统计软件进行数据处理、统计分析和显著性检验,应用 ArcGIS 的 Kriging 插值法进行空间分析。

2 结果与分析

2.1 潜在蒸散量的年变化特征

本文参考已有研究划分气候区,将甘肃黄土高原划分为陇中北部冷温带半干旱区(A),包含华家岭、环县、景泰、靖远、兰州和榆中,陇中南部冷温带半湿润区(B),包括平凉、临洮、临夏、岷县、天水 and 西峰。根据 FAO 的 P—M 方法计算甘肃黄土高原区 12 个气象站 1960—2008 年的年均潜在蒸散量,结果表明,近 49 a 来,甘肃黄土高原区年潜在蒸散量总体在波动中呈上升趋势,但不同气候区年潜在蒸散量区域差异明显。其中,陇中南部冷温带半湿润区的潜在蒸散量与陇中北部冷温带半干旱区变化趋势存在差异,陇中南部冷温带半湿润区的斜率为 0.85 mm/a ($a = 0.05$),陇中北部冷温带半干旱区的斜率为 0.05 mm/a (图 1)。不同气候区的年均潜在蒸散量的变化阶段

不同,陇中北部冷温带半干旱区,20 世纪 60 年代至 90 年代初呈显著下降趋势,其中 1992 年潜在蒸散量出现明显的低值(835.55 mm)。1960—1992 年,下降斜率为 -2.54 mm/a ($\alpha=0.001$)。1992 年至今,呈明显上升趋势,斜率为 4.18 mm/a ($\alpha=0.001$)。陇中南部冷温带半湿润区的年均潜在蒸散量大致可以分为上升—下降—上升三个阶段,第一阶段为 1960—1972 年,呈上升趋势,斜率为 4.22 mm/a ($\alpha=0.01$)。第二阶段为 1972—1989 年,呈明显下降趋势,下降斜率为 -4.40 mm/a ($\alpha=0.01$)。1989 年至今,又呈上升趋势,斜率为 4.72 mm/a ($\alpha=0.001$)。总的来说两个气候区的 70,80 年代都是低值区,从 90 年代初潜在蒸散量迅速上升。

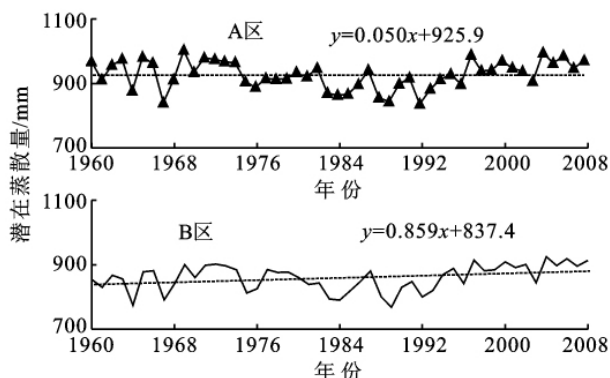
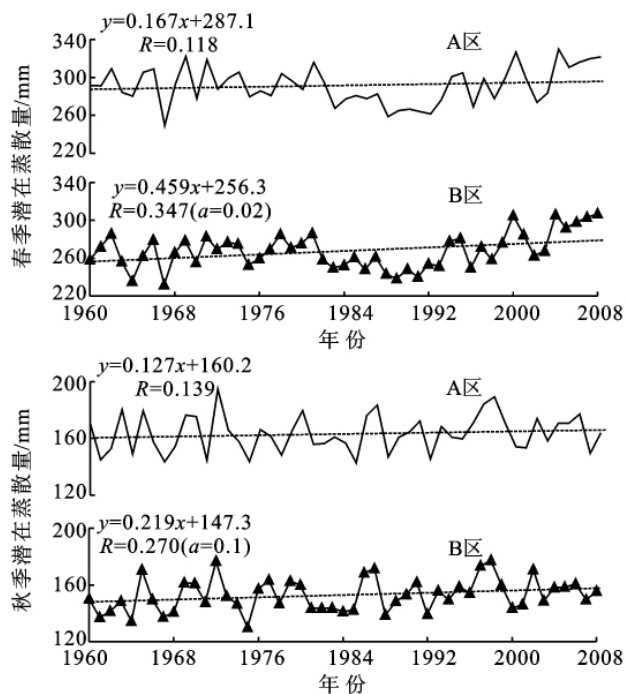


图 1 甘肃黄土高原不同气候区 1960—2008 年年均潜在蒸散量及变化趋势



2.2 潜在蒸散量的季节变化趋势分析

从季节看(图 2),甘肃黄土高原区潜在蒸散量的值夏季最大,春、秋季次之,冬季最小。在不同气候区的变化趋势各不相同。其中陇中北部冷温带半干旱区,四季变化不全一致,夏季和冬季呈降低趋势,分别为 -0.20 mm/a 和 -0.04 mm/a ,春、秋季呈微增加趋势,分别为 0.16 mm/a 和 0.12 mm/a 。春季 1960—1988 年呈下降趋势,1988 年至今呈上升趋势。夏季 1960—1992 年呈下降趋势,1992 年至今呈上升趋势。春季开始上升的时间比年均潜在蒸散量提前,夏季吻合。秋季持续上升,冬季小幅度持续下降。春、夏、秋和冬季的平均潜在蒸散量分别为 291.28,384.88,163.39,76.95 mm,分别占年均潜在蒸散量的 31.7%,41.9%,17.8%,8.3%。陇中南部冷温带半湿润区,四季都是呈上升趋势,斜率介于 $0.03 \sim 0.45 \text{ mm/a}$ 。春季、夏季的潜在蒸散量与年潜在蒸散量变化趋势基本一致,春季的极大值在 1981 年(285.94 mm),极小值在 1989 年(238.08 mm)。夏季的极大值在 1974 年(390.97 mm),极小值在 1989 年(314.89 mm)。春季和夏季开始下降的时间比年潜在蒸散量的时间推迟,开始上升的时间与年潜在蒸散的时间一致。秋季和冬季持续上升。春、夏、秋和冬季的平均潜在蒸散量分别为 267.78,357.42,152.79,80.30 mm,分别占年均潜在蒸散量的 31.1%,41.6%,17.8%,9.3%。

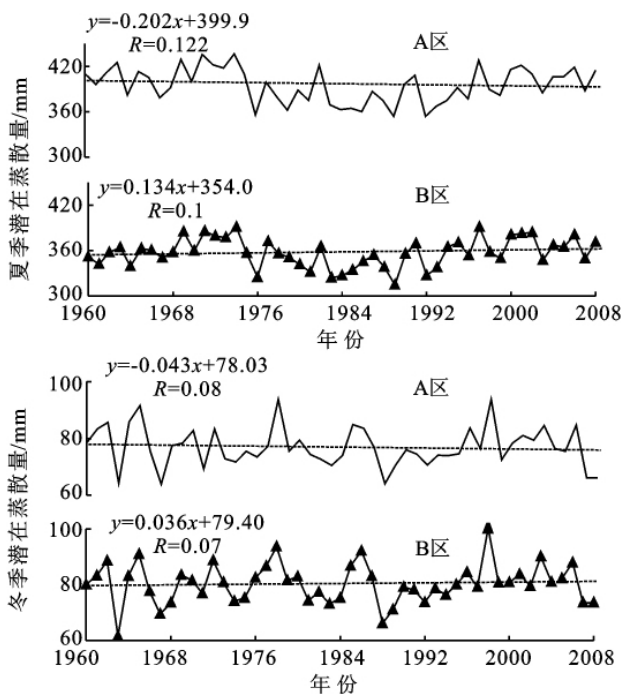


图 2 甘肃黄土高原不同气候区 1960—2008 年季节潜在蒸散量及变化趋势

2.3 潜在蒸散量的空间变化趋势分析

2.3.1 潜在蒸散量的年空间变化趋势分析 进一步以甘肃黄土高原区 12 个站点 49 a 的年均潜在蒸散量

为参数,利用 ArcGIS 中 Kriging 插值方法,得出甘肃黄土高原区年潜在蒸散量的空间分布特征(附图 6—7)。从整体看,近 49 a 来,甘肃黄土高原区潜在蒸散

量具有显著的空间差异,表现为北高南低,年均潜在蒸散量波动在 7 72.31~1 105.82 mm,其中最大值在景泰(37°11'N,海拔 1 630 m),最小值在岷县(34°26'N,海拔 2 315 m)。这是因为潜在蒸散量空间分布格局受气候、地形地貌、植被等多因素影响。景泰距离腾格里沙漠最近,纬度高,气候干燥,风速大,太阳总辐射大,日照充足,植被少,有利于蒸发,而环县纬度低,太阳总辐射小,植被覆盖度高,高寒阴湿,降水量多,不利于蒸发,从而具有明显的地区差异。潜在蒸散量的空间分布与太阳总辐射和日照时数基本一致,自北向南递减,而与相对湿度正好相反。

2.3.2 潜在蒸散量季节空间变化趋势分析 从季节潜在蒸散量的空间分布(附图 6—7)可以看出,近 49 a 来,甘肃黄土高原区春、夏和秋季的平均潜在蒸散量与年均潜在蒸散量的空间分布格局基本一致,潜在蒸散量在空间上存在明显差异,且自北向南递减,但极值所在的位置略有不同,冬季的空间分布比较复杂。春夏季平均潜在蒸散量分别为 237.55~346.06 mm 和 314.69~457.61 mm,最大值均在景泰,最小值都在岷县。秋季平均潜在蒸散量波动于 142.31~204.11 mm,最大值在景泰,最小值在华家岭。冬季则介于 61.58~96.84 mm,最大值仍在景泰,最小值在兰州。

春季太阳高度角逐渐增大,各地太阳总辐射和日照时数都迅速增大,地面迅速增温,所以较冬季,春季潜在蒸散量与年潜在蒸散量更符合。

夏季太阳高度角最大,日照时间最长,是全年太阳总辐射量最多的季节,所以夏季潜在蒸散量的值在四季最高。由于夏季潜在蒸散量对全年的贡献率最大。因此,夏季潜在蒸散量是四季中唯一与年均潜在蒸散量空间分布较吻合的季节。

秋季,日照时数缩短,各地太阳总辐射减少,仅占全年的 18%~22%^[16],且相对湿度为一年中最大,潜在蒸散量较春季和夏季总体较小。整个区域潜在蒸

散量与春夏季相比,低值区域有所扩大。

冬季,潜在蒸散量的最低值不在陇中南部冷温带半湿润区的岷县,而是位于冬季,静风频率高达 80%,逆温层较厚,辐射量较小,污染严重的兰州市。冬季潜在蒸散量高值出现仍在纬度最高的景泰。

3 潜在蒸散量成因分析

由于潜在蒸散量的变化主要受气温、风速、日照时数、相对湿度、饱和水汽压差和云量等诸多气象要素影响,不同因素之间也相互影响,所以潜在蒸散量的变化成因十分复杂^[20]。因此,本文选取平均气温、平均最高与最低气温、降水量、日照时数、太阳总辐射、平均风速和相对湿度 8 个气象要素对甘肃黄土高原区的两个气候区的年均潜在蒸散量进行相关分析,分别求出影响两个气候区潜在蒸散量最显著的两个气候因子(图 3)。结果表明,近 49 a 来,甘肃黄土高原区两个气候区年潜在蒸散量主要与太阳总辐射、最高气温、日照时数呈显著的正相关。其中,陇中北部冷温带半干旱区,潜在蒸散量的主控因子为太阳总辐射,其次为日照时数,相关系数分别为 0.779,0.744。陇中南部冷温带半湿润区,潜在蒸散量的主控因子为太阳总辐射,其次为最高气温,相关系数分别为 0.826,0.817。表明太阳总辐射是甘肃黄土高原区年均潜在蒸散量最重要的气候影响因子。各个季节的潜在蒸散量与气象因子的相关性不一致(表 1),在陇中北部冷温带半干旱区,春季和秋季的主控气候因子为太阳总辐射,而夏季和冬季的最主要气候因子为最高气温。在陇中南部冷温带半湿润区,春季的主控因子为日照时数,夏季和秋季的主控因子均为太阳总辐射,冬季的最主要气候因子为最高气温。通过以上分析得知,影响甘肃黄土高原不同气候区不同季节的气候主控因子略有不同,分别为太阳总辐射、最高气温和日照时数。

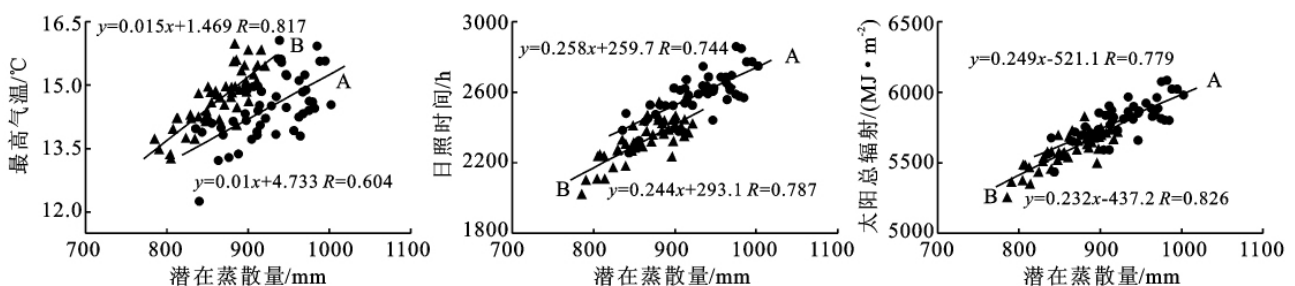


图 3 甘肃黄土高原不同气候区年均潜在蒸散量太阳总辐射、日照时数和最高气温的显著性相关分析

从两个气候区的辐射项和动力项变化趋势(图 4)可以看出,辐射项的值都远大于动力项,且辐射项均呈上升趋势,陇中北部冷温带半干旱区为 0.681

mm/a,相关系数 0.578($\alpha=0.001$),陇中南部冷温带半湿润区为 0.443 mm/a,相关系数 0.383($\alpha=0.01$),且陇中北部冷温带半干旱区辐射项占潜在蒸

散量67.27%，而陇中南部冷温带半湿润区辐射项占潜在蒸散量的74.45%，反映了辐射项对潜在蒸散量的影响更显著，并与年潜在蒸散量变化趋势相一致。但是动力项有所不同，在陇中北部冷温带半干旱区呈下降趋势，斜率为-0.631 mm/a，在陇中南部冷温带半湿润区呈上升趋势，为0.415 mm/a。陇中北部冷温带半干旱区的动力项呈微弱的下降趋势，是由于其与河西走廊接壤，河西地区由于狭管地形作用，又为寒潮的通道和风口，年平均风速都比较大，所以风速对陇中北部冷温带半干旱区动力项的影响较大，而风速基本都呈微弱的下降趋势，所以陇中北部冷温带半干旱区的动力项呈下降趋势。

表 1 甘肃黄土高原不同气候区季节潜在蒸散量与各气象要素的偏相关系数

项目	春季		夏季		秋季		冬季	
	A 区	B 区	A 区	B 区	A 区	B 区	A 区	B 区
平均气温	0.636**	0.733**	0.666**	0.681**	0.439**	0.388**	0.586**	0.587**
最高气温	0.758**	0.819**	0.769**	0.868**	0.724**	0.811**	0.896**	0.807**
最低气温	0.303*	0.326*	0.314*	0.188	-0.220	-0.283*	0.381**	0.281*
相对湿度	-0.597**	-0.655**	-0.697**	-0.667**	-0.657**	-0.691**	-0.608**	-0.642**
日照时数	0.866**	0.871**	0.755**	0.868**	0.858**	0.886**	0.594**	0.623**
风速	0.348*	0.482**	0.711**	0.677**	0.294	0.399**	0.381**	0.282*
太阳总辐射	0.882**	0.847**	0.759**	0.872**	0.872**	0.907**	0.504**	0.537**
降水量	-0.498**	-0.533**	-0.515**	-0.549**	-0.640**	-0.672**	-0.516**	-0.500**

注：* 代表通过 $\alpha=0.05$ ，** 代表代表通过 $\alpha=0.01$ 。下表同。

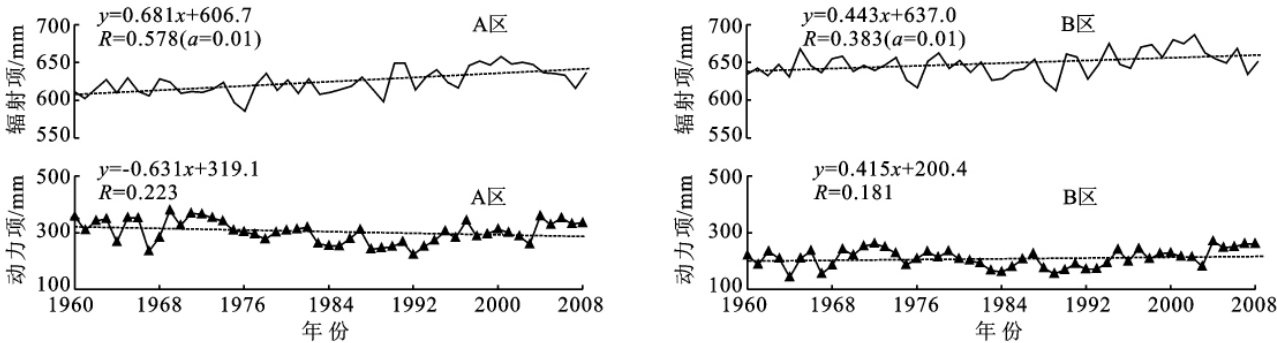


图 4 甘肃黄土高原不同气候区潜在蒸散量的动力项和辐射项及变化趋势

表 2 甘肃黄土高原不同气候区典型站点潜在蒸散量与各气象要素的偏相关系数

站点	平均气温	最高气温	最低气温	相对湿度	风速	日照时数	太阳总辐射	降水量
环县	0.654**	0.749**	0.351*	-0.467**	0.457**	0.752**	0.790**	-0.338*
靖远	0.695**	0.736**	0.479**	-0.443**	0.741**	0.788**	0.858**	-0.385**
天水	0.454**	0.621**	0.238	-0.605**	0.545**	0.783**	0.810**	-0.534**
临洮	0.644**	0.723**	0.331*	-0.441**	0.412**	0.758**	0.799**	-0.445**

继而将不同气候区典型站点的辐射项和动力项分别与 8 个气象要素进行偏相关分析结果表明，不同气候区年均辐射项主要与太阳总辐射和最高气温呈显著正相关(表 3)。其中，天水、临洮、靖远与太阳总辐射的相关性最高，相关系数分别高达 0.807，0.767，0.699($\alpha=0.001$)，而环县与最高气温呈显著正相关关系，相关系数为 0.789($\alpha=0.001$)，表明区域差异及其制约因子略有不同。

为了进一步讨论气象因子对潜在蒸散量的影响，在两个气候区各选取两个典型代表站点，即陇中北部冷温带半干旱区的环县和靖远，陇中南部冷温带半湿润区的天水和临洮，将其年均潜在蒸散量分别与 8 个气象要素进行偏相关分析。结果表明，近 49 a 来，甘肃黄土高原区两个气候区各典型站点的年潜在蒸散量主要与太阳总辐射、日照时数、最高气温呈显著的正相关关系(表 2)，且 4 个典型站点年均潜在蒸散量的主控气候因子都是太阳总辐射，其相关系数介于 0.79~0.858($\alpha=0.001$)。辐射项的能量主要来自太阳辐射，表现为 ET_0 ，尤其辐射项与日照时数呈正相关关系，即日照时数越高，辐射越大， ET_0 的辐射项越大^[21]。

对于动力项来说，4 个典型站点年均潜在蒸散量的动力项都与风速的相关性最显著，相关系数介于 0.750~0.963($\alpha=0.001$)，均超过了 99% 的置信度水平，且其中有 2 个站点的年均潜在蒸散量的动力项与风速的相关系数高达 0.889 以上，靖远相关系数最高为 0.963。因为风速大可以使蒸发面附近空气中的水汽传播散失加快，降低空气中的水汽压和相对湿度，从而有利于蒸发，所以风速对动力项的影响最大。

表 3 甘肃黄土高原不同气候区典型站点潜在蒸散量的辐射项和动力项与各气象要素的偏相关系数

项目	站点	平均气温	最高气温	最低气温	相对湿度	风速	日照时数	太阳总辐射	降水量
辐射项	环县	0.735**	0.789**	0.354**	−0.166	−0.732**	0.469**	0.488**	−0.203
	靖远	0.490**	0.434**	0.391**	−0.121	−0.150	0.674**	0.699**	−0.046
	天水	0.427**	0.518**	0.296*	−0.338*	−0.031	0.762**	0.807**	−0.399**
	临洮	0.715**	0.678**	0.621**	−0.302*	−0.505**	0.749**	0.767**	−0.291*
动力项	环县	−0.044	−0.050	−0.078	−0.720**	0.750**	0.426**	0.441**	−0.493**
	靖远	0.547**	0.612**	0.357**	−0.670**	0.963**	0.504**	0.516**	−0.393**
	天水	0.289*	0.447**	0.095	−0.568**	0.778**	0.478**	0.480**	−0.423*
	临洮	0.128	0.258	−0.121	−0.258	0.889**	0.205	0.232	−0.126

4 结 论

(1)近 49 a 来,陇中地区两个气候区年均潜在蒸散量均呈上升趋势,陇中北部冷温带半干旱区,夏季和冬季呈下降趋势,春季和秋季呈上升趋势。陇中南部冷温带半湿润区,四季都呈上升趋势。陇中北部冷温带半干旱区的潜在蒸散量变化阶段为下降—上升,而陇中南部冷温带半湿润区的潜在蒸散量变化阶段为上升—下降—上升。

(2)ArcGIS 中 Kriging 插值分析表明,甘肃黄土高原区潜在蒸散量存在明显空间差异,潜在蒸散量的值表现为自北向南减少,即陇中北部冷温带半干旱区的年均潜在蒸散量比陇中南部冷温带半湿润区大。春、夏和秋季潜在蒸散量与年潜在蒸散量的空间分布基本一致,但极值区的范围在不同季节略有差异。

(3)潜在蒸散量与 8 个气象要素的相关分析表明,近 49 a 来,甘肃黄土高原不同气候区年均潜在蒸散量主要受太阳总辐射、日照时数和最高气温的影响。典型站点的潜在蒸散量与之相关性也基本一致,其中辐射项与太阳总辐射和最高气温相关性最高,动力项与平均风速的相关性最显著。

参考文献:

[1] 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):378-132.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Golubev V, Lawrimore J H, Groisman P Y, et al. Evaporation change over the contiguous United States and the former USSR: A reassessment[J]. Geophys. Res. Lett.,2001,28(13):2665-2668.

[5] Jun A, Hideyukin K, Lu M. Pan evaporation trends in Japan and its relevance to the variability of the hydrolog-

ical cycle[J]. Tenki,2004,51(9):667-678.

[6] Linacre E T. Evaporation trends[J]. Theoretical and Applied Climatology,2004,79:11-21.

[7] 尹云鹤,吴绍洪,郑度,等. 近 30 年我国干湿状况变化的区域差异[J]. 科学通报,2005,50(15):1636-1642.

[8] 王鹏祥,杨金虎,张强,等. 近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征[J]. 地球科学进展,2007,22(6):659-667.

[9] 靳立亚,李静,王新,等. 近 50 年来中国西北地区干湿状况时空分布[J]. 地理学报,2004,59(6):847-854.

[10] 曾丽红,宋开山,张柏,等. 近 60 年来东北地区参考作物蒸散量时空变化[J]. 水科学进展,2010,21(2):194-200.

[11] 李林,张国胜,汪青春,等. 黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究[J]. 地球科学进展,2000,15(3):256-259.

[12] 梁丽乔,闫敏华,邓伟,等. 松嫩平原西部参考作物蒸散量变化过程[J]. 地球科学进展,2006,25(3):22-31.

[13] 王亚敏,张勃,戴声佩,等. 河西地区 1960 年至 2008 年潜在蒸发量的时空变化分析[J]. 资源科学,2010,32(1):139-148.

[14] 贾文雄,何元庆,王旭峰,等. 祁连山及河西走廊潜在蒸发量的时空变化[J]. 水科学进展,2009,20(2):159-167.

[15] 王素萍,张存杰,韩永翔. 甘肃省不同气候区蒸发量变化特征及其影响因子研究[J]. 中国沙漠,2010,30(3):675-680.

[16] 李栋梁,刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京:气象出版社,2000.

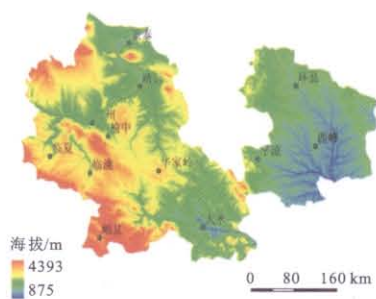
[17] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学:D 辑,2005,35(3):276-283.

[18] 何慧根,胡泽勇,荀学义,等. 藏北高原季节性冻土区潜在蒸散和干湿状况分析[J]. 高原气象,2010,29(1):10-16.

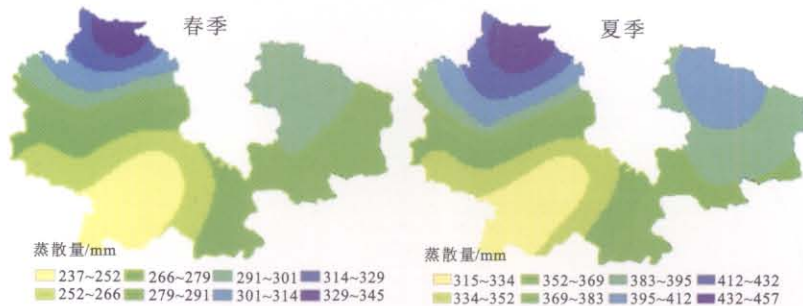
[19] 祝昌汉. 再论总辐射的气候学计算方法(二)[J]. 南京气象学院学报,1982(2):196-206.

[20] 张明军,李瑞雪,贾文雄,等. 中国天山山区潜在蒸发量的时空变化[J]. 地理学报,2009,64(7):798-806.

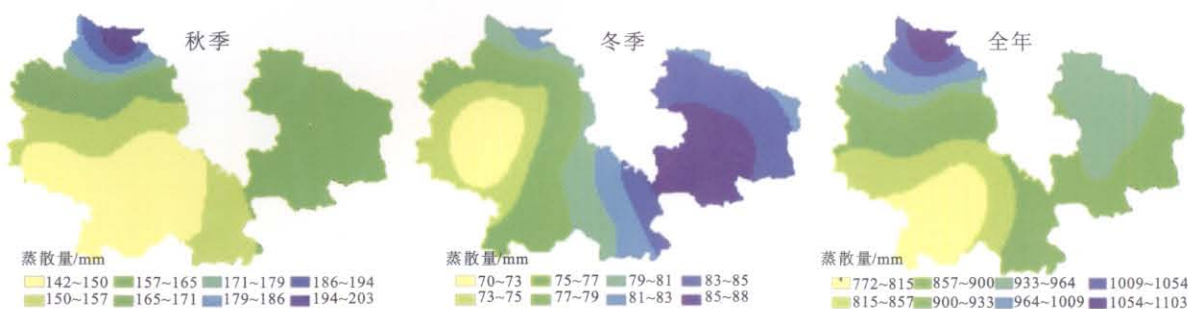
[21] 刘圆,王颖,杨晓光. 华北平原参考作物蒸散量变化特征及气候影响因素[J]. 生态学报,2010,30(4):923-932.



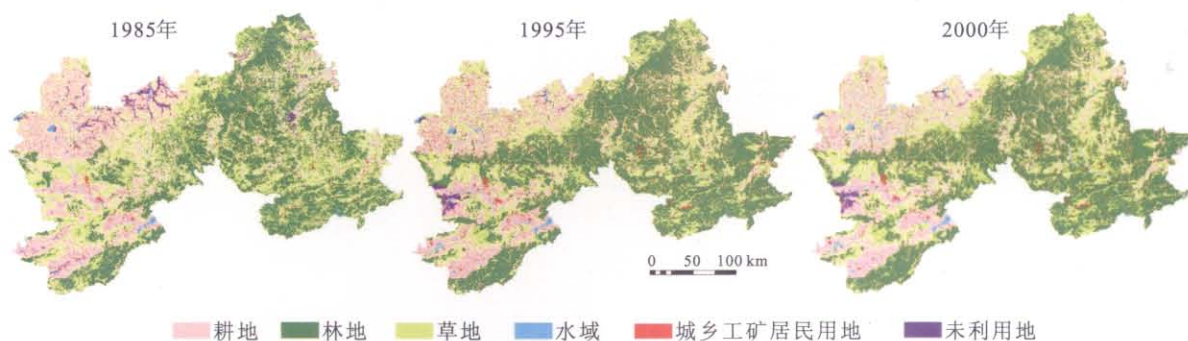
附图5 甘肃黄土高原区气象站点分布



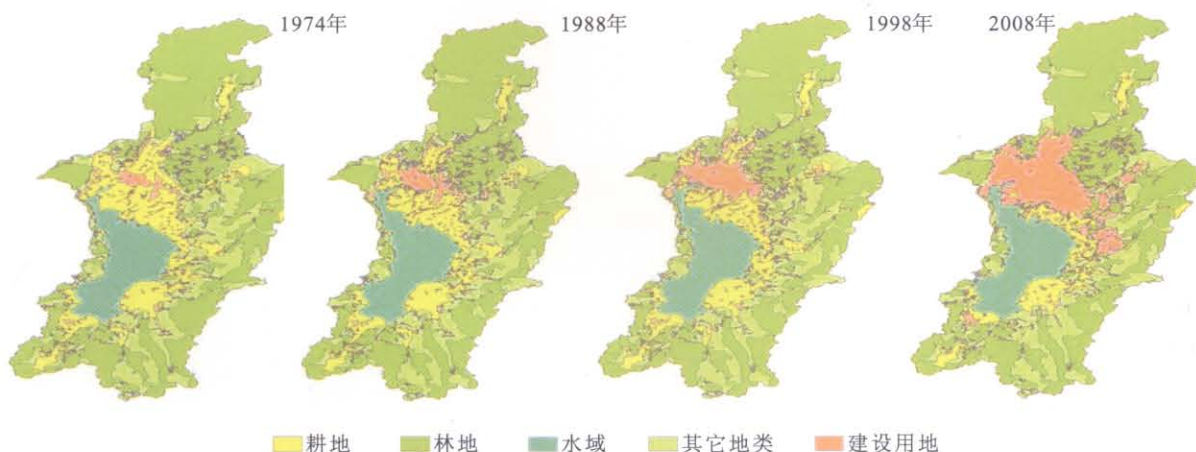
附图6 甘肃黄土高原春季和夏季平均潜在蒸散量的空间分布



附图7 甘肃黄土高原秋季、冬季以及全年平均潜在蒸散量的空间分布



附图8 不同年份冀北贫困带土地利用现状



附图9 1974—2008年滇池流域土地利用现状