

祁连山及河西走廊潜在蒸发量的时空变化

贾文雄^{1,2}, 何元庆¹, 王旭峰¹, 李宗省¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 利用 20 个气象站 1960 - 2006 年的逐日气象资料, 应用 FAO Penman-Monteith 模型, 分析了祁连山及河西走廊潜在蒸发量的变化趋势, 并在 ArcGIS 环境下通过 Spline 插值法分析了潜在蒸发量变化的空间分异, 此外运用多元回归分析法对影响潜在蒸发量变化的主导因素进行了探讨。结果表明: 祁连山及河西走廊的年潜在蒸发量在 20 世纪 80 年代之前偏高, 之后偏低, 在 1967 年之前呈减小趋势, 之后呈增加趋势, 1974 年之后再呈减小趋势, 1993 年之后再呈增加趋势; 年潜在蒸发量的年际变化率为 - 1.67 mm, 表明潜在蒸发量总体上呈减小趋势; 从季节来看, 秋季的潜在蒸发量呈增加趋势, 其它季节呈减小趋势, 其中春季的减小幅度最大; 风速是影响潜在蒸发量变化的主导因素, 影响秋季潜在蒸发量变化的主导因素是气温。

关键词: 潜在蒸发量; 时空变化; 祁连山; 河西走廊

中图分类号: P332.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2009)02-0159-09

祁连山区是内陆河流石羊河、黑河、疏勒河的发源地和径流形成区, 河西走廊是河西绿洲的主要分布区, 走廊绿洲赖以存在和发展的水资源主要来自山区的冰雪融水和大气降水。在全球变暖背景下, 中国近百年来气温上升 0.4 ~ 0.8 °C, 近 50 年来增温尤其明显, 而降水量近 50 年来呈减少趋势, 不过西部降水量增加趋势明显, 其中西北地区最明显^[1~5]。一般认为, 气温升高会引起地表和水体蒸发加强, 但对近几十年来蒸发皿蒸发的研究表明, 全球一些地方的蒸发皿蒸发量呈显著下降趋势^[6~9]。有关蒸发皿蒸发量减少的原因有不同观点, Peterson 等^[6]将其归因于云量减少, Brutsaert 等^[10]认为是地面蒸发增强的结果, Roderick 等^[11]、Cohen 等^[9]认为是太阳辐射减少造成的, 云量和气溶胶的增加是造成太阳辐射减少的原因。已有研究表明, 中国蒸发量整体上呈减小趋势^[12~16], 其中西北、青藏和西南地区减小趋势显著^[17~19], 而且蒸发量的减小与太阳辐射、相对湿度或风速有关^[14,17]。陈玉菲等人^[20]对黑河流域中游平原区的潜在蒸发量进行了研究, 结果表明近 35 年来潜在蒸发量总体呈减小趋势。祁连山及河西走廊东西跨越约 10 个经度, 东部受西南和东南夏季风的影响, 西部受西风环流的控制, 中部处于两种环流系统的交汇处, 再加上青藏高原季风的影响, 局地气候变化比较复杂。本文对该区潜在蒸发量进行研究, 旨在探讨气候变化背景下潜在蒸发量的时空变化特征, 以便为水资源的合理开发与利用提供科学依据和气候变化背景。

1 数据与方法

1.1 数据处理

利用祁连山区及河西走廊 20 个气象站(图 1), 1960 - 2006 年的日平均气温、日最高气温、日最低气温、日照时数、日平均相对湿度、日平均风速等气象观测资料, 分别计算出各气象站的日潜在蒸发量, 然后进行月、

收稿日期: 2008-04-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90511007; 90702001); 中国科学院创新群体项目 (CXTD-Z2005-2); 中国科学院重要方向性项目 (KZCXZ-YW-317); 西北师范大学自然地理学、青年教师基金资助项目 (NWNLU-LKQN-08-13)

作者简介: 贾文雄 (1974 -), 男, 甘肃渭源人, 讲师, 博士研究生, 主要从事冰川水文学及气候变化研究。

E-mail: wxjiaxy@163.com



图1 祁连山及河西走廊气象站点的分布

Fig.1 Distribution of meteorological stations in Qilian mountains and Hexi corridor

季、年潜在蒸发量的统计。季节的划分采用气象季节,即3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12~2月为冬季。肃北站(1962年6月~1972年12月)和临泽站(1962年5月~1966年12月)曾观测中断,为了充分利用有限的观测资料,本文运用线性回归法恢复了这两个站的部分数据。由于肃北站与敦煌站(1973年1月~2006年12月)、临泽站与高台站(1967年1月~2006年12月)的月潜在蒸发量相关性很好,相关系数分别为0.9740、0.9873,都通过0.01的置信度检验,所以本文利用敦煌站和高台站的月潜在蒸发量分别恢复了肃北站和临泽站所缺测月份的

潜在蒸发量。

1.2 研究方法

潜在蒸发量是指在一定气象条件下水分供应不受限制时,下垫面可能达到的最大蒸发量^[14,20]。估算潜在蒸发量的模型有很多种,其中最常用的有Penman模型、Thornthwaite模型和Selianinov模型^[18]。本文采用世界粮农组织(FAO)1998年修正的Penman-Monteith模型,已有研究成果表明该模型的模拟效果是比较精确的^[21~23],其计算公式如下^[14,24]:

$$ET_0 = \frac{0.408 (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{1 + 0.34 U_2} \quad (1)$$

式中 ET_0 为潜在蒸发量, mm/d; R_n 为净辐射, MJ/(m²·d); G 为土壤热通量, MJ/(m²·d); γ 为干湿常数, kPa/°C; Δ 为饱和水汽压曲线斜率, kPa/°C; U_2 为2 m 高处的风速, m/s; e_s 为平均饱和水汽压, kPa; e_a 为实际水汽压, kPa; T 为平均气温, °C。

$$R_n = (1 - \alpha) \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a - \left(\frac{T_{\max, K}^4 + T_{\min, K}^4}{2} \right) [0.56 - 0.08 \sqrt{e_a}] \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

式中 R_a 为大气顶层的太阳辐射, MJ/(m²·d); N 为最大日照时数, h; n 为实际日照时数, h; α 为波尔兹曼常数 (4.903×10^{-9} MJ/(K⁴·m²·d)); $T_{\max, K}$ 为最高绝对气温, K; $T_{\min, K}$ 为最低绝对气温, K; a_s 为云全部遮盖下 ($n=0$) 大气外界辐射到达地面的分量; b_s 为晴天 ($n=N$) 大气外界辐射到达地面的分量; α 为地表反射度, 取值0.23。据侯光良等^[25]对中国多年实测辐射数据的经验回归系数, 研究区的 a_s 、 b_s 分别取值0.207、0.725。

为了检验计算公式在研究区的适用性, 本文利用小型蒸发皿实测的月蒸发量(1960年1月~2001年12月, 之后夏季改为蒸发池观测), 统计出蒸发皿的年蒸发量, 与推算的年潜在蒸发量进行相关分析。在20个气象站中, 有14个站的相关系数在0.44~0.79之间, 并通过了0.01的置信度检验, 有2个站的相关系数通过了0.05的置信度检验, 其余4个站没有通过置信度检验, 总体上潜在蒸发量与蒸发皿蒸发量表现出显著相关。研究区潜在蒸发量与蒸发皿蒸发量的相关系数达0.52, 也表现为显著相关。通过对20个气象站的潜在蒸发量与蒸发皿蒸发量的变化趋势对比, 结果18个气象站的变化趋势大体一致。从高山区、浅山区、走廊平原区的典型站门源、民乐、张掖及整个研究区来看(图2), 潜在蒸发量与蒸发皿蒸发量的变化趋势基本一致。由此可见, FAO Penman-Monteith模型在研究区有一定适用性, 推算的潜在蒸发量在一定程度上反映地表的实际蒸发量变化。

在数据处理之后, 利用一元回归分析法进行潜在蒸发量变化的趋势分析, 并且在ArcGIS环境下通过Spline插值法绘制出潜在蒸发量变化的空间分布图, 进行年代际和年际变化的空间差异分析, 然后运用多元回归分析法对影响潜在蒸发量变化的主导因素进行探讨。

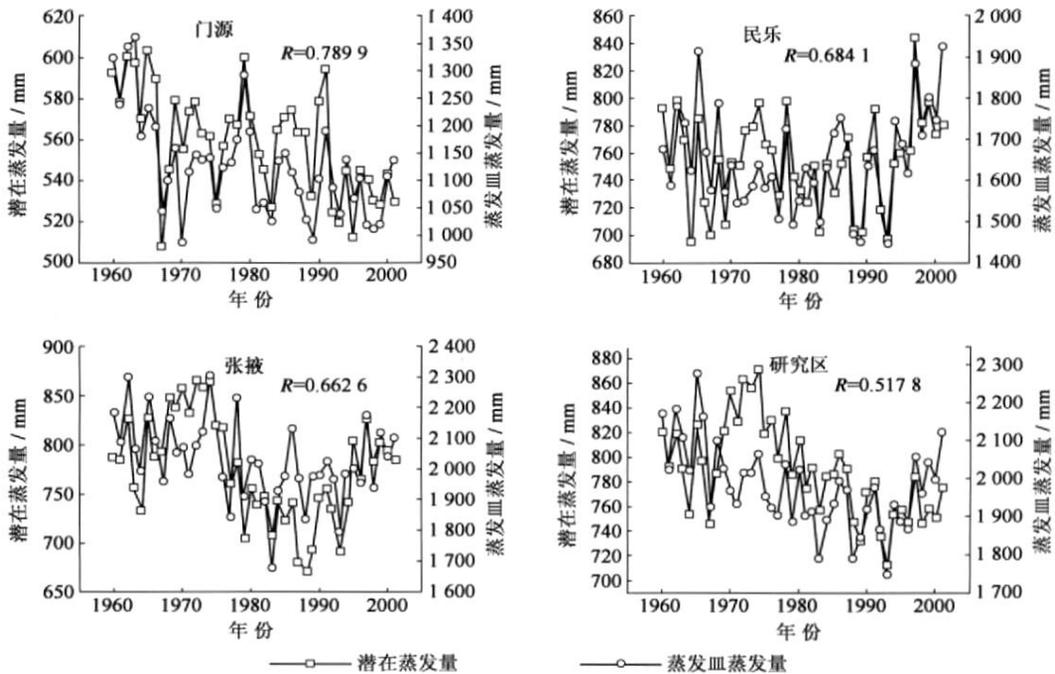


图 2 典型站及研究区潜在蒸发量与蒸发皿蒸发量的变化趋势对比

Fig.2 Comparison of variation trend between potential evaporation and pan evaporation of meteorological station

2 多年平均潜在蒸发量的空间分布

祁连山及河西走廊多年平均年潜在蒸发量在 500~1100 mm 之间(图 3),中、东部表现为南北差异,潜在蒸发量从南到北呈增大趋势,南部山区在 500~700 mm 之间,北部走廊平原在 700~900 mm 之间,乌鞘岭以北的腾格里沙漠在 900~1100 mm 之间,而西部表现为东西差异,潜在蒸发量从东到西呈增大趋势,蒸发量在 800~1100 mm 之间。总体上,山区的潜在蒸发量低于走廊平原区,整个区域从东到西潜在蒸发量呈增大趋势。季节的潜在蒸发量与年潜在蒸发量的空间分布基本一致(图略),春季在 150~300 mm 之间,夏季在 250~450 mm 之间,秋季在 130~250 mm 之间,冬季在 30~90 mm 之间,平均分别占年潜在蒸发量的 27%、43%、23%、6%,在一年中潜在蒸发量夏季>春季>秋季>冬季。山区春季、夏季、秋季、冬季的潜在蒸发量分别为 184、293、163、50 mm,走廊平原分别为 232、371、195、50 mm,春季、夏季、秋季的潜在蒸发量是山区低于走廊平原区,而冬季相差不大。

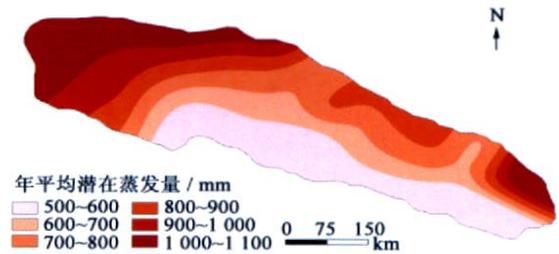


图 3 多年平均年潜在蒸发量空间分布(1960 - 2006 年)

Fig.3 Spatial distribution of the average potential evaporation from 1960 to 2006

3 潜在蒸发量的年代际变化

3.1 年代际变化

祁连山及河西走廊的年潜在蒸发量在各年代变化不同(表 1),20 世纪 60、70、80、90 年代及 2000 - 2006 年分别与多年平均年潜在蒸发量相差 9、48、-8、-32、-28 mm,表明在 80 年代之前潜在蒸发量偏高,之后偏低。年潜在蒸发量自 60 年代逐渐增加,70 年代达到最大,80 年代以后持续减小,2000 年以来减小幅度略有下降。季节的潜在蒸发量变化与年潜在蒸发量变化略有不同,春季、夏季、冬季的潜在蒸发量变化与年潜在蒸发

量变化基本一致, 不过春季、冬季的潜在蒸发量在 80 年代以后持续减小, 而秋季的潜在蒸发量自 60 年代以来一直持续增加, 且在 80 年代之前潜在蒸发量偏低, 之后偏高。

表 1 年及季节潜在蒸发量的年代际变化

Table 1 Interdecadal change of the annual and seasonal potential evaporation

季节	1960s	1970s	1980s	1990s	2000 - 2005	1960 - 2005
春季	245	246	209	181	169	213
夏季	347	354	334	328	337	340
秋季	151	177	186	200	208	183
冬季	52	58	49	46	44	50
全年	795	834	778	754	758	786

3.2 年代际变化的空间分布

20 世纪 60 年代, 祁连山及河西走廊的年潜在蒸发量变化明显不同(图 4), 山区的潜在蒸发量低于多年平均, 其中疏勒南山、托来南山、乌鞘岭东部的减小幅度较大, 减幅在 50 ~ 150 mm 之间, 而走廊平原高于多年平均, 增加幅度在 10 ~ 100 mm 之间; 此外, 达坂山区的潜在蒸发量高于多年平均 10 ~ 50 mm。70 年代, 绝大部分地区的年潜在蒸发量高于多年平均, 山区的增加幅度在 0 ~ 30 mm 之间, 而走廊平原的增加幅度在 50 ~ 150 mm 之间, 增幅大于山区; 此外, 托勒南山和乌鞘岭东部的潜在蒸发量低于多年平均 0 ~ 50 mm。80 年代, 大部分地区的年潜在蒸发量低于多年平均, 其中黑河中游绿洲、武威绿洲的减小幅度在 10 ~ 50 mm 之间, 乌鞘岭以南地区的减小幅度更大, 减幅在 50 ~ 150 mm 之间, 而野马南山和托来南山以北、托来山以南、乌鞘岭以北的潜在蒸发量高于多年平均 30 ~ 150 mm。90 年代, 绝大部分地区的年潜在蒸发量低于多年平均, 其中走廊平原、大通山、达坂山的减小幅度在 30 ~ 150 mm 之间, 而党河南山、冷龙岭以北的潜在蒸发量高于多年平均 10 ~ 50 mm, 乌鞘岭东部的增加幅度更大, 增幅在 50 ~ 150 mm 之间。2000 - 2006 年, 大部分地区的年潜在蒸发量低于多年平均, 其中西部山区、走廊平原的西部、冷龙岭、大通山、达坂山的减小幅度在 50 ~ 150 mm 之间, 而敦煌以西、疏勒南山和托勒南山、乌鞘岭以南的增加幅度在 50 ~ 150 mm 之间, 此外, 武威绿洲和张掖绿洲的增加幅度在 10 ~ 50 mm 之间。

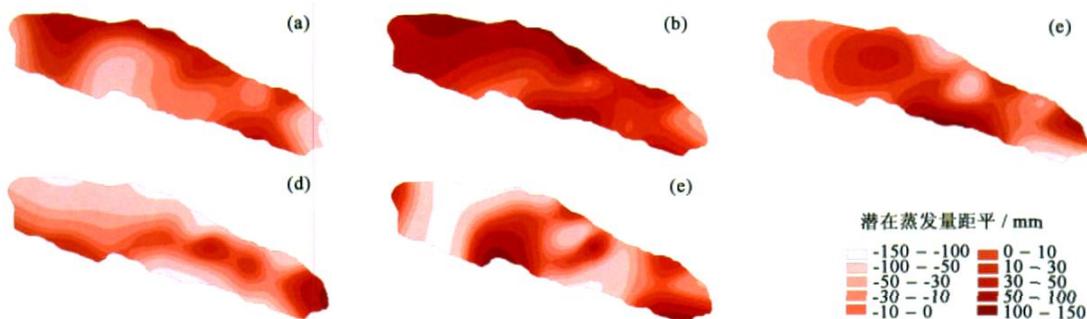


图 4 20 世纪 60 年代(a), 70 年代(b), 80 年代(c), 90 年代(d)年代及 2000 - 2006 年(e)的年潜在蒸发量距平空间分布

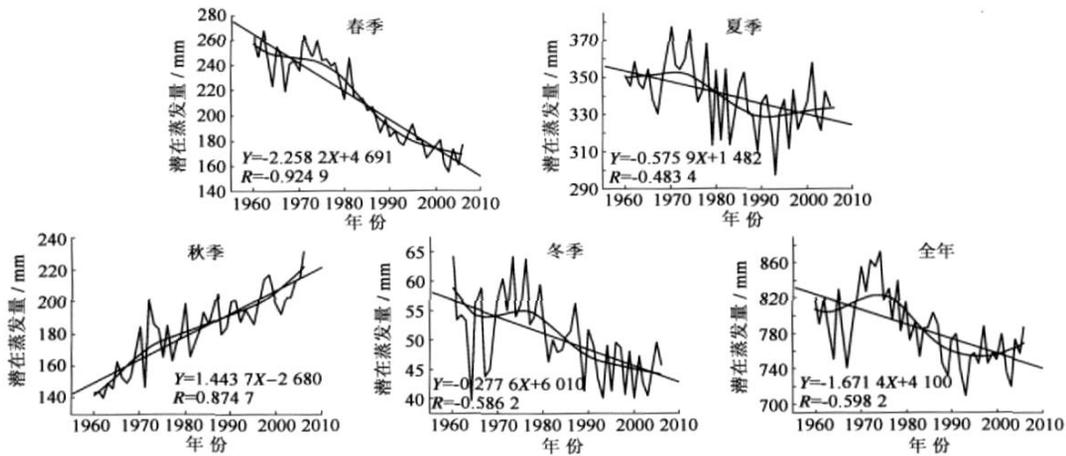
Fig. 4 Spatial distribution of the potential evaporation departure in 1960s(a), 1970s(b), 1980s(c), 1990s(d) and 2000 - 2006 (e)

4 潜在蒸发量的年际变化

4.1 年际变化

祁连山及河西走廊的年潜在蒸发量的年际变化率为 -1.67 mm/a (图 5), 相关系数为 -0.5982 , 且通过了 0.01 的置信度检验, 表明在全球变暖背景下, 该区的潜在蒸发量总体上呈明显减小趋势。年潜在蒸发量在 1967 年之前呈减小趋势, 之后至 1974 年呈增加趋势, 1974 年之后又呈减小趋势, 1993 年之后又呈增加趋势。从季节来看, 春季、夏季、秋季、冬季的潜在蒸发量的年际变化率分别为 -2.26 、 -0.58 、 1.44 、 -0.28

mm/a, 相关系数分别为 - 0.9249、- 0.4834、0.8747、- 0.5862, 都通过了 0.01 的置信度检验, 表明秋季的潜在蒸发量呈增加趋势, 其它季节呈减小趋势, 其中春季的减小幅度最大, 而且季节的潜在蒸发量变化趋势都明显, 其中春季减小的趋势和秋季增加的趋势显著。除夏季的潜在蒸发量与年潜在蒸发量的变化趋势一致外, 其它季节的变化趋势与年潜在蒸发量的变化趋势有所不同。春季的潜在蒸发量在 1974 年之后一直呈减小趋势, 在 2003 年之后略有增加趋势; 秋季自 1960 年以来一直呈增加趋势; 冬季在 1964 年之前呈减小趋势, 之后至 1973 年呈增加趋势, 1973 年之后又呈减小趋势, 1993 年之后变化平稳, 2003 年以后略呈增加趋势。



(折线:潜在蒸发量;曲线:10年滑动趋势;斜线:多年趋势)

(折线:潜在蒸发量;曲线:10年滑动趋势;斜线:多年趋势)

图 5 季节及年潜在蒸发量的年际变化趋势(1960 - 2006 年)

Fig. 5 Interannual change trend in the potential evaporation from 1960 to 2006

4.2 年际变化的空间分布

祁连山及河西走廊年潜在蒸发量的年际变化在绝大部分地区呈减小趋势(图 6), 其中张掖以西的走廊平原、大通山、达坂山的减小幅度较大, 减幅在 2~7 mm/a 之间, 其它地区的减小幅度在 0~2 mm/a 之间, 而疏勒南山、托来南山、托来山和走廊南山的西部、张掖绿洲、乌鞘岭的东部呈增加趋势, 增加幅度在 0~5 mm/a 之间。就季节而言, 春季潜在蒸发量的年际变化呈减小趋势, 其中走廊平原、野马山至党河南山的西部、达坂山以南的减小幅度较大, 减幅在 2~5 mm/a 之间, 其它地区的减小幅度在 0~2 mm/a 之间, 而疏勒南山以南、乌鞘岭以东呈增加趋势, 增加幅度在 0~1 mm/a 之间。夏季潜在蒸发量的年际变化在绝大部分地区呈减小趋势,

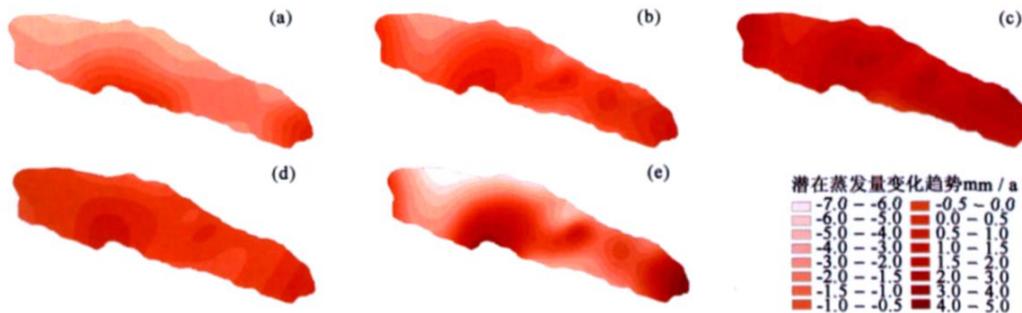


图 6 春季(a),夏季(b),秋季(c),冬季(d)及年(e)潜在蒸发量的空间分布(1960 - 2006 年)

Fig. 6 Spatial distribution of the change rates of potential evaporation from 1960 to 2006 in spring(a), summer(b), autumn(c), winter(d) and year(e)

减小幅度在 0~2 mm/a 之间, 安西地区的减小幅度更大, 减幅在 2~4 mm/a 之间, 而疏勒南山、托来南山、托来山和走廊南山的西部、张掖绿洲、冷龙岭的北坡、乌鞘岭的东部呈增加趋势, 增加幅度在 0~1.5 mm/a 之间。秋季潜在蒸发量的年际变化呈增加趋势, 增加幅度在 0~2 mm/a 之间, 敦煌以西、走廊南山的西部、张掖绿洲、武威绿洲的北部增加幅度较大, 增幅在 2~3 mm/a 之间, 仅大通山以南呈减小趋势, 减小幅度在 0~1 mm/a 之间。冬季潜在蒸发量的年际变化在绝大部分地区呈减小趋势, 但减小幅度不大, 减幅在 0~0.5 mm/a 之间, 而野马山至党河南山的东部、疏勒南山、托来南山、托来山和走廊南山的西部、张掖绿洲、乌鞘岭的中东部呈增加趋势, 增加幅度在 0~1.5 mm/a 之间。

5 潜在蒸发量变化的成因分析

蒸发量受各种因素综合影响, 主要有气温、风速、日照时数、相对湿度、饱和水汽压差、云量等气象要素。由于影响潜在蒸发量变化的因素众多, 不同因素之间也相互影响, 所以潜在蒸发量的变化成因十分复杂。为了探讨祁连山及河西走廊潜在蒸发量变化的成因, 选取 8 个气象因子(风速代表动力因子, 平均气温、日较差、日照时数代表热力因子, 相对湿度、水汽压、云量、降水代表湿度因子), 采用多元回归分析方法研究潜在蒸发量与影响因子之间的相关性, 以及影响其变化的主导因素。从潜在蒸发量与气候因子的偏相关系数(表 2)看, 风速、气温、日较差、日照时数与潜在蒸发量正相关, 这些气候因素的增加会导致潜在蒸发量增加, 反之减小, 而相对湿度、水汽压、云量、降水与潜在蒸发量负相关, 这些气候因素的增加会导致潜在蒸发量减小, 反之增加。不同气候因子对潜在蒸发量的影响程度不同, 对春季潜在蒸发量影响较大的因素是风速、日照时数和水汽压, 夏季是风速、日照时数、气温和相对湿度, 秋季是气温、水汽压和相对湿度, 冬季是风速、日较差和相对湿度, 全年是风速、气温、降水、日较差和云量。

表 2 年及季节潜在蒸发量与气候因子的多元回归系数

Table 2 Multivariate regression coefficients between climate factors and the potential evaporation of annual and season

季节	平均风速	平均气温	日较差	日照时数	相对湿度	水汽压	云量	降水	复相关系数
春季	0.57 ***	0.01	0.41	0.45 ***	-0.08	-0.32 **	-0.03	-0.13	0.87
夏季	0.73 ***	0.18 ***	0.18 *	0.23 ***	-0.20 **	0.004	-0.01	-0.10	0.98
秋季	0.001	0.42 ***	-0.17	0.38 *	-0.35 **	0.43 ***	-0.03	-0.17	0.83
冬季	0.68 ***	0.09	0.37 ***	-0.18 *	-0.35 ***	-0.02	0.03	-0.001	0.96
全年	0.84 ***	0.22 **	0.15 **	0.09 *	-0.09	-0.15	-0.13 **	-0.16 **	0.99

注: *, **, *** 分别表示通过 0.05、0.01、0.001 的置信度检验。

从气候因子的变化趋势(表 3)来看, 不同气候因子的变化趋势及其显著程度有所不同, 进而对潜在蒸发量变化的影响也不同。春季, 风速的减小趋势显著, 导致潜在蒸发量也减小, 而日照时数和水汽压的变化趋势没有通过显著性检验, 表明风速减小是造成春季潜在蒸发量减小的主要原因。夏季, 风速减小趋势显著, 气温增加趋势显著, 日照时数和相对湿度的变化趋势没有通过显著性检验, 风速减小 1 个单位, 潜在蒸发量减小 0.73 mm, 而气温升高 1 个单位, 潜在蒸发量增加 0.18 mm, 可见风速减小也是造成夏季潜在蒸发量减小的主要原因。秋季, 气温和水汽压增加趋势都显著, 相对湿度的减小趋势没有通过显著性检验, 气温升高导致潜在蒸发量增加, 水汽压增大不利于潜在蒸发量增加, 但气温的升高会导致饱和水汽压增大, 进而导致饱和水汽压差有可能增大, 从而造成潜在蒸发量增加, 所以气温升高是秋季潜在蒸发量增加的主要原因; 冬季, 风速和日较差减小趋势都显著, 而相对湿度的减小趋势没有通过显著性检验, 风速和日较差减小 1 个单位, 潜在蒸发量分别减小 0.68、0.37 mm, 所以风速仍是冬季潜在蒸发量减小的主要因素。全年, 风速和日较差减小趋势显著, 气温升高趋势显著, 云量和降水的变化趋势不显著, 风速和日较差减小 1 个单位, 潜在蒸发量分别减小 0.84、0.15 mm, 而气温升高 1 个单位, 潜在蒸发量增加 0.22 mm, 可见风速减小也是年潜在蒸发量减小的主要原因。总体来看, 风速是影响祁连山及河西走廊潜在蒸发量变化的主导因素, 其它因素对潜在蒸发量的变化起增强或减弱作用, 不过影响秋季潜在蒸发量变化的主导因素是气温。

表3 气候因子的年及季节变化率

Table 3 Annual and seasonal change rates of climate factors

季节	平均风速 / (m s ⁻¹)	平均气温 /	日较差 /	日照时数 /h	相对湿度 / %	水汽压 /hPa	云量 / %	降水 / mm
春季	- 0.16 **	0.22 *	- 0.18	2.35	- 0.43	0.07	- 0.01	1.13
夏季	- 0.15 **	0.26 **	- 0.15 *	- 12.35	0.09	0.03	- 0.09	3.85
秋季	- 0.14 **	0.37 **	0.02	1.56	- 0.21	0.21 **	- 0.03	- 0.14
冬季	- 0.14 **	0.56 **	- 0.24 **	- 9.29	- 0.09	0.08	- 0.09	0.40 *
全年	- 0.15 **	0.36 **	- 0.14 **	4.57	- 0.21	0.10 **	- 0.05 *	6.57 *

注: *、**分别表示通过 0.05、0.01 的置信度检验。表中数据以 10 年为时段。

6 结 论

(1) 多年平均的年潜在蒸发量在 500 ~ 1 100 mm 之间, 山区的潜在蒸发量低于走廊平原, 整个区域从东到西潜在蒸发量呈增大趋势。春季、夏季、秋季、冬季的潜在蒸发量分别占年潜在蒸发量的 27%、43%、23%、6%。

(2) 20 世纪 60、70、80、90 年代及 2000 - 2006 年的年潜在蒸发量与多年平均年潜在蒸发量相差 9、48、- 8、- 32、- 28 mm, 表明在 80 年代之前潜在蒸发量偏高, 之后偏低。在不同年代, 潜在蒸发量变化存在一定的空间分异。

(3) 年潜在蒸发量在 1967 年之前呈减小趋势, 之后呈增加趋势, 1974 年之后又呈减小趋势, 1993 年之后又呈增加趋势。年、春季、夏季、秋季、冬季的潜在蒸发量的年际变化率分别为 - 1.67、- 2.26、- 0.58、1.44、- 0.28 mm/a, 表明除秋季的潜在蒸发量呈增加趋势外, 其它季节及年的潜在蒸发量呈减小趋势, 其中春季的减小幅度最大。在不同的季节, 潜在蒸发量的年际变化在空间上存在区域差异。

(4) 影响潜在蒸发量的气候因素很多, 不同因素的变化趋势和变化幅度在不同时段和季节有所差异, 但主要影响因素对潜在蒸发量的变化起关键作用。风速是潜在蒸发量变化的主导因素, 其它因素对潜在蒸发量的变化起增强或减弱作用, 不过影响秋季潜在蒸发量变化的主导因素是气温。

参考文献:

- [1] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392 - 401. (WANG Shao-wu, YE Jin-lin, GONG Dao-yi, et al. Construction of mean annual temperature series for the last years one hundred in China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1998, 9(4): 392 - 401. (in Chinese))
- [2] 王遵娅, 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. (WANG Zun-ya, DING Yi-hui, HE Jin-hai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. Acta Meteorological Sinica, 2004, 62(2): 228 - 236. (in Chinese))
- [3] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717 - 727. (REN Guo-yu, XU Ming-zhi, CHU Zi-ying, et al. Changes of surface air temperature in China during 1951 - 2004[J]. Climatic and Environment Research, 2005, 10(4): 717 - 727. (in Chinese))
- [4] 叶柏生, 李翀, 杨大庆, 等. 我国过去 50a 来降水变化趋势及其对水资源的影响(I): 年系列[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 587 - 594. (YE Bai-sheng, LI Chong, YANG Da-qing, et al. Variation trend of precipitation and its impact on water resources in China during last 50 years(I): Annual Variation[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 587 - 594. (in Chinese))
- [5] 靳利亚, 符娇兰, 陈发虎. 近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567 - 572. (JIN Li-ya, FU Jiao-lan, CHEN Fa-hu. Spatial differences of precipitation over Northwest China during the last 44 years and its response to global warming[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(5): 567 - 572. (in Chinese))
- [6] PETERSON T C, GOLUBEV V S, GROISMAN P Y. Evaporation losing its strength[J]. Nature, 1995, 377: 687 - 688.

- [7] BURN D H, HESCH N M. Trends in evaporation for the Canadian Prairies[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 336: 61 - 73.
- [8] CHATTOPADHYAY N, HULME M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 87: 55 - 72.
- [9] COHEN S, IANETZ A, STANHILL G. Evaporative climate changes at Bet Dagan, Israel, 1964 - 1998[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 111: 83 - 91.
- [10] BRUTSAERT W, PARLANGE M B. Hydrological cycle explain the evaporation paradox[J]. *Nature*, 1998, 396: 30 - 31.
- [11] RODERICK M L, FARQUHAR G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years[J]. *Science*, 2002, 298: 1410 - 1411.
- [12] 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. (GAO Ge, CHEN De-liang, REN Guo-yu, et al. Trend of potential evapotranspiration over China during 1956 to 2000[J]. *Geographical Research*, 2006, 25(3): 378 - 387. (in Chinese))
- [13] 曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等. 1960 - 2000 年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. *水科学进展*, 2007, 18(3): 311 - 318. (ZENG Yan, QIU Xin-fa, LIU Chang-ming, et al. Changes of panevaporation in China in 1960 - 2000[J]. *Advances in Water Science*, 2007, 18(3): 311 - 318. (in Chinese))
- [14] 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. (YIN Yun-he, WU Shao-hong, ZHENG Du, et al. The regional differences of dry-wet change in China in recent 30 years[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(15): 1636 - 1642. (in Chinese))
- [15] 郭军, 任国玉. 黄淮海流域蒸发量的变化及其原因分析[J]. *水科学进展*, 2005, 16(5): 666 - 672. (GUO Jun, REN Guo-yu. Recent change of panevaporation and possible climate factors over the Huang Huai Hai watershed, China[J]. *Advances in Water Science*, 2005, 16(5): 666 - 672. (in Chinese))
- [16] 王艳君, 姜彤, 许崇育. 长江流域 20 cm 蒸发皿蒸发量的时空变化[J]. *水科学进展*, 2006, 17(6): 830 - 833. (WANG Yan-jun, JIANG Tong, XU Chong-yu. Spatial-temporal change of 20cm panevaporation over the Yangtze River basin[J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(6): 830 - 833. (in Chinese))
- [17] 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. (JIN Li-ya, LI Jing, WANG Xin, et al. The temporal and spatial distribution of surface dry-wet conditions over Northwestern in recent 50 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 847 - 854. (in Chinese))
- [18] 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. (WU Shao-hong, YIN Yun-he, ZHENG Du, et al. Climate changes in the Tibetan plateau during the three decades[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 3 - 11. (in Chinese))
- [19] THOMAS A. Seasonal and spatial variation of evapotranspiration in the mountains of Southwest China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(4): 385 - 393.
- [20] 程玉菲, 王根绪, 席海洋, 等. 近 35 年来黑河干流中游平原区陆面蒸散发的变化研究[J]. *冰川冻土*, 2007, 29(3): 406 - 412. (CHENG Yu-fei, WANG Gen-xu, XI Hai-yang, et al. Variations of land evapotranspiration in the plain of the middle reaches of Heihe River in the recent 35 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(3): 406 - 412. (in Chinese))
- [21] 毛飞, 张光智, 徐祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较[J]. *应用气象学报*, 2000, 11(增刊): 128 - 136. (MAO Fei, ZHANG Guang-zhi, XU Xiang-de. Several methods of calculating the reference evapotranspiration and comparison of their results [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2000, 11(suppl.): 128 - 136. (in Chinese))
- [22] 张东, 张万昌, 徐全芝. 汉江上游流域蒸散量计算方法的比较及改进[J]. *资源科学*, 2005, 27(1): 97 - 103. (ZHANG Dong, ZHANG Wan-chang, XU Quan-zhi. Comparison and modification of evapotranspiration estimation method in upper Hanjiang basin [J]. *Resource Science*, 2005, 27(1): 97 - 103. (in Chinese))
- [23] 刘绍民, 孙中平, 李小文, 等. 蒸散量测定与估算方法的对比研究[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 161 - 167. (LIU Shao-min, SUN Zhong-ping, LI Xiao-wen, et al. A comparative study on models for estimating evapotranspiration[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 161 - 167. (in Chinese))
- [24] 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. (WU Shao-hong, YIN Yun-he, ZHENG Du, et al. Study on dry-wet conditions of land surface in China in recent 30 years[J]. *Science in China (Series D)*, 2005, 35(3): 276 - 283. (in Chinese))

- [25] 候光良,李继由,张谊光. 中国农业气候资源[M]. 北京:中国人民大学出版社,1993:62-65. (HOU Guang-liang, LI Ji-you, ZHANG Yi-guang. Meteorological resources of Chinese agriculture[M]. Beijing: Chinese People University Press, 1993: 62 - 65. (in Chinese))

Temporal and spatial change of the potential evaporation over Qilian mountains and Hexi corridor from 1960 to 2006^{*}

JIA Wen-xiong^{1,2}, HE Yuan-qing¹, WANG Xurfeng¹, LI Zong-xing¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy Sciences,

Lanzhou 730000, China; 2. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract : Based on the daily data from 20 meteorological stations from 1960 to 2006 and the combination of the Penman-Monteith model, the change trend in potential evaporation (PE) over Qilian mountains and Hexi corridor is analyzed in this study. With the method of Spline under ArcGIS, the spatial distribution of PE is drawn in order to research the regional difference. And the multiple regression method is used to discuss the dominant factor affecting the PE. The results indicate that the annual PE is higher before 1980s than after, and experiences the process from the decrease before 1967 to the increase since then, and to decrease after 1974 to the increase after 1993. There is a decreasing trend in general because the change rate of the annual PE varies at - 1.67 mm. The potential evaporation increases in autumn, however, decreases in other seasons, especially in spring. The wind speed is a dominant factor influencing PE. When autumn comes, the temperature becomes the key factor influencing PE.

Key words : potential evaporation; temporal and spatial change; Qilian mountains; Hexi corridor

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 90511007 and No. 90702001).