

青海三江源同德地区 1961—2000 年 蒸发量变化特征及原因分析

赵恒和¹, 郭连云¹, 刘运华¹, 刘剑霞²

(1. 青海省海南州气象局, 青海 共和 813000; 2. 青海省同德县气象局, 青海 同德 813201)

摘要: 利用青海省同德县 1961—2000 年小型蒸发皿蒸发量资料, 采用气候倾向率和 Mann-Kendall 非参数趋势检验法分析了同德蒸发量的变化趋势及引起蒸发量变化的因子。结果表明: 同德 1961—2000 年 40 a 平均蒸发量呈显著增加趋势, 气候倾向率为 34.5 mm/10 a, 四季蒸发量均呈增加趋势, 但仅秋季蒸发量增加趋势显著。影响蒸发皿蒸发量的主要气候因子日照时数、平均气温呈现显著的上升趋势, 平均相对湿度、降水量表现为下降趋势, 平均风速变化微弱, 平均日最低气温的升温速率 (0.23 °C/10 a) 明显比平均日最高气温的升温速率 (0.14 °C/10 a) 大, 导致气温日较差减少 (-0.10 °C/10 a)。因此, 同德地区平均气温、日照时数的显著上升, 以及年平均相对湿度和降水量的明显下降, 可能是年蒸发量显著上升的主要原因。

关键词: 三江源地区; 蒸发量; 变化特征; 影响因子

中图分类号: P426.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0203-04

Analysis on Change Characteristic of Evaporation from Evaporating Dish and Its Affecting Factors in Tongde Area of Three Rivers Qinghai Province During 1961—2000

ZHAO Heng-he¹, GUO Lian-yun¹, LIU Yun-hua¹, LIU Jian-xia²

(1. Meteorological Bureau in Hainan State of Qinghai Province, Gonghe, Qinghai 813000, China;

2. Meteorological Bureau in Tongde County, Tongde, Qinghai 813201, China)

Abstract: Using data of small evaporating dish transpiration rate in Tongde County, Qinghai Province 1961—2000 year, the change tendency of transpiration rate and the driving factors on transpiration rate in Tongde were analyzed by the methods of the climate tendency rate and the Mann-Kendall non-parameter tendency inspection. The result indicated: the average transpiration rate in Tongde increased obviously over the past 40 years, the climate tendency rate is 34.5 mm/10 a. The transpiration rates in four seasons increased, but only the autumn transpiration rate increased remarkably. The factors of sunshine hours and the average temperature influencing evaporation rate are significant, the impacts of the average relative humidity, the precipitation on evaporation rate declined trends, the average wind velocity change is little. Mean diurnal lowest temperature heating rate (0.23 °C/10 a) is greater than mean diurnal temperature heating rate (0.14 °C/10 a), causing the temperature to reduces by -0.10 °C/10 a. Therefore, remarkable rise of average temperature, sunshine hours, as well as decrease of the annual mean relative humidity and the precipitation are responsible for increase of the annual transpiration rate.

Key words: Three river area; evaporation; change characteristic; influence factor

蒸发既是地表热量平衡的组成部分, 又是水量平衡的组成部分, 是水循环中最直接受土地利用和气候变化影响的一项。反过来, 蒸发又可增加空气湿度, 提高最低温度或降低最高温度, 起到调节作用^[1-2]。

许多研究表明, 近四五十年来我国许多地区的蒸发量存在着显著的下降趋势^[3-6]。近几十年来我国社会经济持续、快速发展, 耗水量急剧增加, 水资源供需矛盾日趋严峻, 尤其在中国北方, 水资源的短缺更是对工

农业生产,特别是对农牧业生产造成了巨大的影响^[7]。众所周知,一个地区或流域蒸发能力的大小直接影响到当地农作物需水量的多寡,对于重新核定更合理的灌溉定额和制定更科学的灌溉制度具有重要的参考价值^[4]。因此,进行蒸发量变化的研究,对深入了解气候变化规律及探讨气候变化的原因具有十分重要的意义。气候变化特别是气温和降水的变化对同德县生态环境、畜牧业、农业生产的影响已有了一些研究^[8-12],但缺乏对该地区蒸发量的研究报道,同德县地处黄河上游,是青海环湖牧区与青南高寒牧区的过渡地带,属于青海“三江源”自然保护区生态环境较脆弱的地区,具有典型的高原大陆性气候特征。本文运用气候倾向率、Mann-Kendall 非参数统计检验^[13]等方法,对同德地区 1961-2000 年蒸发皿蒸发量的变化趋势进行分析,并对造成蒸发量变化的气候因子进行讨论,以便更好地了解三江源同德地区对气候变化的响应。

1 资料与方法

1.1 资料来源

选取同德县气象站 1961-2000 年逐月的小型蒸发皿蒸发量、日照时数、平均风速、相对湿度、降水量、平均气温、平均最高气温、平均最低气温等气象资料,按 12 月至翌年 2 月为冬季,3-5 月为春季,6-8 月为夏季,9-11 月为秋季生成逐季气象要素序列。30 a 平均值按世界气象组织(WMO)规定为 1971-2000 年平均值。

1.2 分析方法

1.2.1 气候趋势变化分析使用线性气候倾向率方法

用 \hat{x}_i 表示样本量为 n 的某一变量,用 t_i 表示 \hat{x}_i 所对应的时间,建立 \hat{x}_i 与 t_i 之间的一元线性回归:

$$\hat{x}_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: a ——回归常数; b ——回归系数。回归系数 b 的符号表示变量 x 的趋势倾向。 $b > 0$ 说明随时间 t 增加, x 呈上升趋势;当 $b < 0$ 时,说明随时间 t 增加, x 呈下降趋势。 b 值则反映了上升或下降的速率,即表示上升或下降的倾向度。用线性相关系数判断变化趋势的程度是否显著,给定显著性水平 α ,若 $|r| > r_{\alpha}$,表明 x 随时间 t 的变化趋势是显著的,否则表明变化趋势是不显著的。

1.2.2 Mann-Kendall 非参数趋势检验法 对资料序列 $X_t = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,先确定所有对偶值($x_k, x_j, j > k$)中 x_k 和 x_j 的大小关系(设为 s)。

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases}$$

在随机状态下,假设:

$$E(s) = 0, \text{var}(s) = n(n-1)(2n+5)/18$$

$$\text{定义统计量 } z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s < 0 \end{cases}$$

若 $|z| \leq z_{\alpha/2}$,则认为时间序列没有显著的趋势;若 $|z| > z_{\alpha/2}$,则认为时间序列有显著的趋势存在; $z > z_{\alpha/2}$ 时表明时间序列有显著的上升趋势, $z < -z_{\alpha/2}$ 时表明序列有显著的下降趋势。置信度 $\alpha = 0.01$, $z_{\alpha/2} = 2.58$;置信度 $\alpha = 0.05$, $z_{\alpha/2} = 1.96$;置信度 $\alpha = 0.10$, $z_{\alpha/2} = 1.65$ 。

在 Mann-Kendall 统计检验中,还有一个非常重要的指标: Mann-Kendall 倾斜度,它是单调趋势的度量因子,表示为: $\beta = \text{Median}(\frac{x_i - x_j}{i - j}), \forall j \leq i, j < i$,当 $\beta > 0$ 时,表示趋势上升,即变量随时间增大,当 $\beta < 0$ 时,表示趋势下降,变量随时间下降。

2 结果与分析

2.1 年蒸发量的变化趋势

2.1.1 蒸发量的年际变化 对同德 1961-2000 年蒸发量资料进行一元线性回归分析,得到年蒸发量随时间变化的统计方程: $y = 3.4495x + 1414.4$, 式中: y ——年蒸发量; x ——时间序数, $x = 0, 1, \dots, 39$ 。

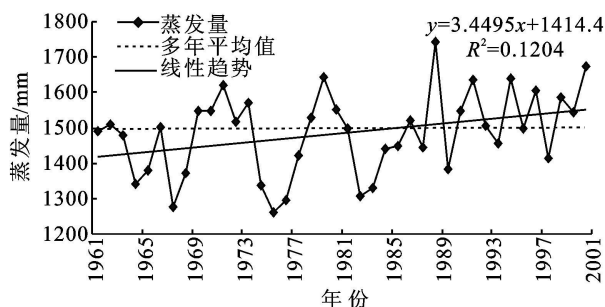


图 1 同德 1961-2000 年蒸发皿蒸发量变化曲线

从年蒸发量变化曲线(图 1)中可以看出,同德 1961-2000 年蒸发量呈波动式上升趋势,气候倾向率为 $34.5 \text{ mm}/10 \text{ a}$,相关系数 $r = 0.3464 > r_{0.05} = 0.3044$,说明年蒸发量上升趋势是显著的。1988 年为最高值(1742.0 mm),约超出平均值 16.2% 。1975 年达到最低值(1260.1 mm),约低出平均值 15.9% 。蒸发量的年际变化幅度较大,峰值点与谷点相差可达 481.9 mm 。 $Z = 2.06$,通过置信度 $\alpha = 0.05$

的 Mann– Kendall 显著趋势检验, 倾斜度 $\beta = 34.42 \text{ mm}/10 \text{ a}$, 和线性倾向率变化基本一致。

2.1.2 蒸发量的年代际变化 对蒸发量的统计结果表明: 同德年代际之间的年蒸发量呈“少– 多– 少– 多”的变化, 但总的趋势是波动增加的。年蒸发量在 1960 年代最少, 为 1 444.5 mm, 1990 年代最多, 为 1 555.4 mm, 两者相差 110.9 mm。30 多年年平均蒸发量为 1 498.7 mm, 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代 3 个年代蒸发量均低于多年值, 到了 90 年代明显高于多年值, 差值达 56.7 mm。1990 年代年蒸发量增加的幅度最大(见图 2)。

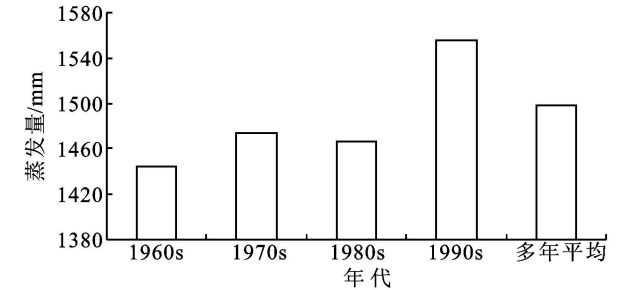


图 2 同德 1961– 2000 年蒸发皿年蒸发量年代际变化

2.2 蒸发量的各季节变化

2.2.1 变化趋势 同德 1961– 2000 年 40 a 年平均蒸发量为 1 485.2 mm。其中, 冬季为 180.3 mm, 约占全年的 12.1%; 秋季为 304.3 mm, 约占全年的 20.5%; 夏季为 496.2 mm, 约占全年的 33.4%; 春季为 504.3 mm, 约占全年的 34.0%。可以看出, 春季蒸发量最多, 夏季次之, 冬季最少。

从同德春、夏、秋、冬季各季蒸发量变化曲线图(图 3) 可以看出, 秋季蒸发量上升趋势最为明显, 气候倾向率为 21.4 mm/10 a, 相关系数为 0.469 0, 通过 $\alpha = 0.01$ 极显著水平检验。春、夏、冬季蒸发量均呈微弱增加趋势, 气候倾向率分别为 9.4 mm/10 a、1.7 mm/10 a、2.1 mm/10 a, 相关系数分别为 0.208, 0.036, 0.118, 均未通过置信度检验。春、夏、秋、冬四季季蒸发量的 z 值分别为 1.56, 0.525, 3.27, 1.12, 四季均呈上升趋势, 其中秋季 z 值通过置信度 0.01

的 Mann– Kendall 极显著趋势检验, 春季、夏季、冬季的 z 值均未通过 Mann– Kendall 趋势检验。春、夏、秋、冬季四季的倾斜度 β 值分别是 12.8, 4.9, 19.0, 2.9 mm/10 a, 和线性气候倾向率的变化也是基本一致的。由此可见, 年蒸发量的增加主要是由秋季和春季蒸发量的增加造成的。

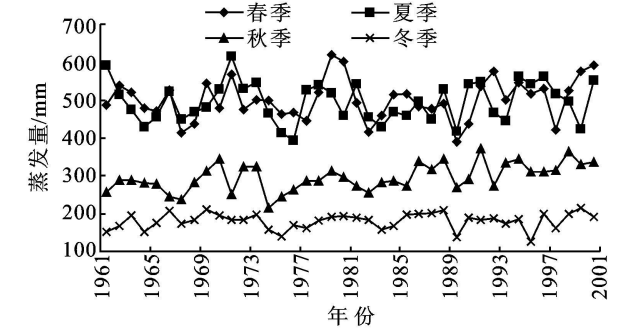


图 3 同德 1961– 2000 年春、夏、秋、冬季蒸发量变化

2.2.2 四季蒸发量的年代际变化 对蒸发量的统计结果(见表 1) 表明, 从 20 世纪 60– 90 年代的 40 a 中, 同德春季、夏季蒸发量与年蒸发量一样, 呈现出“少– 多– 少– 多”的变化趋势, 冬季蒸发量各年代之间变化幅度不大, 而秋季蒸发量却呈现出持续上升的趋势, 从 60 年代的 281.4 mm 增加到 90 年代的 328.9 mm, 增加 47.5 mm。其次是春季和夏季, 60 年代到 90 年代增加了 42.2 mm 和 20.1 mm, 冬季蒸发量从 60– 90 年代仅增加 1.1 mm, 变化幅度最小。

表 1 同德蒸发量各年代季节变化 mm

年代	春季	夏季	秋季	冬季
60	490.3	492.1	281.4	180.8
70	516.2	501.6	280.7	176.0
80	478.4	479.1	326.4	182.4
90	532.5	512.2	328.9	181.9

2.3 蒸发量的月变化

同德 1961– 2000 年蒸发量月平均蒸发量为 123.8 mm, 5 月最多, 为 1 936.0 mm, 约占全年的 13%; 4 月次之, 为 178.1 mm, 约占全年的 12%; 1 月最少, 为 52.3 mm, 约占全年的 4%; 从 1– 5 月逐渐增多, 从 5– 12 月逐渐减少。

表 2 同德县各月蒸发量线性趋势变化率和 Mann– Kendall 检验统计值 mm/10 a

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
倾向率	– 0.60	1.00	– 2.69	1.00	11.00	– 0.16	– 1.10	2.90	5.00	5.40	10.96	1.68
相关系数	0.064	0.097	0.166	0.045	0.367**	0.006	0.050	0.160	0.331**	0.375**	0.332**	0.197
z 值	– 0.128	0.63	– 0.99	0.31	1.95*	0.24	0.15	1.11	1.76*	2.41**	3.77***	0.86
β 倾斜度	– 0.24	1.08	– 3.0	0.98	10.56	1.17	0.71	3.64	5.28	5.24	6.83	1.08

注: *, **, *** 表示通过 0.10, 0.05, 0.01 显著水平检验。

同德各月蒸发量的气候倾向率和显著性检验情况见表 2。从表 2 中可以看出, 同德 5, 9, 10, 11 月各月蒸发量均呈显著上升趋势, Mann– Kendall 检验趋

势与线性倾向趋势基本一致。5 月蒸发量上升趋势最大, 11 月次之, 9 月最小。其他月份蒸发量的增减趋势均不明显。

2.4 影响蒸发量变化的原因分析

蒸发量是一个敏感性很强的气候要素,其蒸发过程受 3 方面的条件控制:一是蒸发的供水条件,主要由下垫面的性质决定;二是能量供给条件,主要源于太阳净辐射;三是水汽输送条件,取决于气温、湿度和风速的大小。

根据计算,同德 1961– 2000 年 40 a 年日照时数呈极显著的增加趋势,倾向率为 58.4 h/10 a,春、夏、秋、冬各季日照时数变化趋势呈增加趋势,但各季变化情况不尽相同,秋季和夏季增加强烈些,春季和冬季增加比较缓和些。春、夏、秋、冬各季日照时数的气候倾向率分别为 7.83, 17.64, 19.05, 13.88 h/10 a。春季日照时数的增加趋势不显著,冬季日照时数呈显著增加趋势,夏季和秋季日照时数以极显著的趋势增加。年平均风速的气候倾向率以每 10 年 0.03 m/s 的速度微弱增加,但未通过置信度检验。春季、夏季、秋季和冬季平均风速的变化速度分别为每 10 年 0.02, 0, 0.06, 0.01 m/s,也未通过置信度检验。

同德 1961– 2000 年年平均气温存在明显的上升趋势,增加速率为 0.23 ℃/10 a,通过了置信度为 0.01 的显著性检验。从季节来看,冬季和秋季的增温率最高,分别为 0.43 ℃/10 a 和 0.27 ℃/10 a,置信度均达 0.05;夏季和春季增温率较小,分别为 0.16 ℃/10 a 和 0.11 ℃/10 a,均未通过置信度检验。气温升高有助于蒸发增加,显然气温是蒸发量增加的主要因子。

表 3 同德蒸发皿蒸发量与各要素的相关系数

时间	日照时数	平均风速	相对湿度	平均气温	降水量	平均日较差
春季	0.516***	0.516***	- 0.784***	0.551***	- 0.485***	0.676***
夏季	0.533***	0.488***	- 0.823***	0.620***	- 0.380**	0.736***
秋季	0.164	0.288	- 0.389**	0.321**	- 0.432***	0.191
冬季	0.180	0.503***	- 0.770***	0.540***	- 0.549***	0.619***
年	0.439***	0.519***	- 0.691***	0.561***	- 0.687***	0.487***

注:*, **, *** 表示通过 0.10, 0.05, 0.01 显著水平检验。

3 结论

(1)同德 1961– 2000 年 40 a 平均蒸发量呈显著增加趋势,气候倾向率为 34.5 mm/10 a,四季蒸发量均呈增加趋势,但仅秋季蒸发量上升趋势最为明显,气候倾向率为 21.4 mm/10 a,年蒸发量的增加主要是由秋季和春季蒸发量的增加造成的。

(2)同德 1961– 2000 年 40 a 年日照时数呈极显著的增加趋势,倾向率为 58.4 h/10 a,夏季和秋季增幅最突出,冬季次之。年和四季平均风速以微弱的速率增加。年均相对湿度呈显著的下降趋势,年降水量以

同德 1961– 2000 年平均相对湿度的变化速率为 - 1.0%/10 a,置信度达 0.10;四季中秋季相对湿度的变化速率为- 1.7%/10 a,置信度达 0.05;冬季、春季的变化速率为- 0.93%/10 a、- 0.34%/10 a,夏季的变化速率为 0.02%/10 a,但均未通过置信度检验。年降水量以- 17.6 mm/10 a 的速率减少;四季中秋季降水量减少明显,速率为- 6.6 mm/10 a,通过置信度0.10检验;春季、夏季的速率分别为- 7.6 mm/10 a 和- 3.8 mm/10 a,而冬季的速率为 0.86 mm/10 a,均未通过置信度检验。相对湿度和降水量的减少将使蒸发量增加。

经计算平均日最高气温的变化速率为 0.14℃/10 a,未通过置信度检验;但平均日最低气温的变化速率则为 0.23℃/10 a,置信度达 0.05。平均日较差以不显著的变化速率减小,为- 0.10℃/10 a。平均日较差的微弱减少对蒸发量的增加有利。

为了进一步说明环境因子和蒸发量的关系,对蒸发量与各气候因子进行了相关分析(表 3)。从表 3 可知,蒸发量与日照时数、平均风速、平均气温、平均日较差呈极显著的正相关,其中与平均气温的正相关最大,相关系数达 0.561;其次与平均风速的正相关较大,相关系数达 0.519;与日照时数和平均日较差的正相关也在 0.439 以上。说明平均气温的显著增加,最低气温的升高,太阳辐射的增加加大了蒸发量的增加趋势。蒸发量与相对湿度、降水量呈极显著的负相关,降水量、空气湿度的减少引起蒸发量的增大。

- 17.6 mm/10 a 的速率减少。年平均气温显著升高(0.23℃/10 a),平均日最低气温的升温速率(0.23℃/10 a)明显比平均日最高气温的升温速率(0.14℃/10 a)大,导致气温日较差减少(- 0.10℃/10 a)。

(3)蒸发量与日照时数、平均风速、平均气温、平均日较差呈极显著的正相关,说明它们是造成蒸发量增加的重要因子。蒸发量与相对湿度、降水量呈极显著的负相关,而降水量、空气湿度这两个因子都是减少的,说明这两个因子也是引起蒸发量的增大的原因。

(下转第 210 页)

毒与细胞膜作用,改变膜透性,使细胞内物质向外渗漏作用加强^[16],表明不同物种的细胞对铝胁迫的反应不同。

综上,多花黑麦草在一定程度上具有耐铝性,但随着铝浓度升高,铝毒害程度变大。因此,对于铝浓度较低的酸性土壤,可以考虑栽培黑麦草。但关于铝胁迫下,黑麦草生理特性的变化及其对铝的富集情况有待进一步研究,从而为黑麦草对金属铝污染的酸性土壤进行生态修复提供理论支撑。

参考文献:

[1] Larsen P B, Stenzler L M, Tai C Y, et al. Molecular and physiological analysis of Arabidopsis mutants exhibiting altered sensitivities to aluminum[J]. Plant Soil, 1997, 192(1): 3-7.

[2] 林咸永,王建林.植物对 Al 毒胁迫的适应机制[M]//张福锁.植物营养的生态生理学和遗传学.北京:中国科学技术出版社,1993:248-290.

[3] Taylor G J. Aluminum toxicity and tolerance in plants[J]. Biological and Ecological Effects, 1989, 107(2): 327-361.

[4] 廖敏,黄昌勇.黑麦草生长过程中有机酸对镉毒性的影响[J].应用生态学报,2002,13(1):109-112.

[5] 徐卫红,熊治庭,王宏信,等.锌胁迫对重金属富集植物黑麦草养分吸收和锌积累的影响[J].水土保持学报,2005,19(4):32-35.

[6] Jones D L, Prabowo A M, Kochian L V. Aluminum-organic acid interactions in acid soil[J]. Plant Soil, 1996,

182(2):229-237.

[7] Gunse B, Garzon T, Barcelo J. Study of Aluminum toxicity by means of vital staining profiles in four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. [J]. Plant Physiol, 2003, 160(12): 1447-1450.

[8] Flaten T P. Aluminum in tea concentrations, speciation and bioavailability[J]. Coord. Chem. Rev., 2002, 228(2): 385-395.

[9] Silva I R, Smyth T J. Differential aluminum tolerance in soybean: an evaluation of the role of organic acids[J]. Physiol. Plant, 2001, 112(2): 204-210.

[10] 魏林,梁志怀,曹福祥,等.哈茨木霉 T-216 代谢产物对花生种子活力和抗黄曲霉菌浸染能力的影响[J].中国油料作物学报,2009,31(3): 370-373.

[11] 孙冬花,田秋英,张文浩.铝对秋葵、小麦种子萌发和幼苗生长的影响[J].云南植物研究,2006,28(5): 523-528.

[12] 张芬琴,于爱兰.铝处理对苜蓿种子萌发及其幼苗生理生化特性的影响[J].草业学报,1999,8(3): 61-65.

[13] 刘鹏,徐根娣,姜雪梅,等.铝对大豆种子萌发的影响[J].种子,2003,22(1): 30-32.

[14] 刘强,龙婉婉,胡萃,等.铝胁迫对油菜种子萌发和幼苗生长的影响[J].种子,2009,28(7): 5-10.

[15] 王芳,刘鹏,徐根娣,等.铝对荞麦根系的影响[J].广西植物,2006,26(3): 321-324.

[16] Ishikawa S, Wagatsuma T, Ikarashi T. Comparative toxicity of Al^{3+} , Yb^{3+} , and La^{3+} to root-tip cells differing in tolerance to high Al^{3+} in terms of ionic potentials of dehydrated trivalent cations[J]. Soil Sci. Plant Nutr., 1996, 42(3): 613-625.

(上接第 206 页)

参考文献:

[1] 杜军,胡军,刘依兰,等.近 25 年雅鲁藏布江中游蒸发皿蒸发量及其影响因素的变化[J].自然资源学报,2008,23(1): 120-126.

[2] 王艳君,姜彤.长江流域 1961-2000 年蒸发量变化趋势研究[J].气候变化研究进展,2005,1(3): 99-105.

[3] 苏宏超,魏文寿,韩萍.新疆近 50 年来的气温和蒸发变化[J].冰川冻土,2003,25(2): 174-178.

[4] 谢新民,郭洪宇,尹明万,等.我国华北地区蒸发能力及其变化趋势分析[J].水利规划设计,2001(4): 24-33.

[5] 邱新法,刘昌明,曾燕.黄河流域近四十五年蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J].自然资源学报,2003,18(4): 437-442.

[6] 左洪超,李栋梁,胡隐樵,等.近四十年中国气候变化趋势及其同蒸发皿观测的蒸发量变化的关系[J].科学通报,2005,50(11): 1125-1130.

[7] 刘波,马柱国,丁裕国.中国北方近 45 年蒸发变化的特征及与环境的关系[J].高原气象,2006,25(5): 840-847.

[8] 郭连云.青海同德近 50 年气候与草地畜牧业生产的关系[J].草业科学,2008,25(1): 77-81.

[9] 张富翔,丁生祥,金元锋,等.同德县 45 年气温变化及其对油菜生产的影响[J].现代农业科技,2008(1): 100-103.

[10] 张富翔,丁生祥,金元锋,等.近 47 年同德地区气候突变特征分析[J].安徽农业科学,2008,36(20): 8719-8722.

[11] 丁生祥,郭连云,张富翔,等.同德县气候变化特征与草原生态环境效应[J].中国草食动物,2008,28(6): 43-46.

[12] 丁生祥,郭连云.同德县近 50 年气候变化特征及对农牧业生产的影响[J].贵州农业科学,2009,37(3): 175-177.

[13] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007: 37-59.