

祁栋林,肖宏斌,李晓东,等. 1964~2013年青海省不同生态功能区蒸发皿蒸发量的变化特征[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 234-242. [QI Donglin, XIAO Hongbin, LI Xiaodong, et al. Variation Characteristics of Pan Evaporation in Different Ecological Function Areas of Qinghai Province During 1964-2013[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(2): 234-242], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-02-0234

1964~2013年青海省不同生态功能区 蒸发皿蒸发量的变化特征

祁栋林^{1,2}, 肖宏斌^{1,2}, 李晓东^{1,2,3},
周万福^{1,2}, 苏文将^{1,2}, 胡爱军^{1,2}

(1. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省防灾减灾重点实验室,
青海 西宁 810001; 3. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610072)

摘要: 选用1964~2013年青海省43个气象站常规观测资料, 分析4个生态功能区蒸发皿蒸发量的时空变化特征, 并采用完全相关法进行蒸发皿蒸发量变化趋势的成因分析。结果表明: 近50 a来, 青海省4个生态功能区蒸发皿蒸发量的年和季节变化特征明显, 柴达木盆地和三江源区年蒸发量整体分别呈显著下降和上升趋势, 而环青海湖区和东部农业区变化趋势不明显; 4个生态功能区年蒸发量均呈先降后升的阶段性变化特征, 但转换时间不尽一致。青海省春、夏、秋季和年蒸发量均从西北向东南逐渐减小, 冬季从南向北逐渐减小。柴达木盆地和东部农业区年蒸发量突变时间分别是1998年和2002年; 环青海湖区和三江源区突变不明显。影响青海省4个不同生态功能区年蒸发量的主要气象因子不同: 柴达木盆地为风速、日照时数、平均气温和气温日较差, 环青海湖区为平均气温、风速和气温日较差, 东部农业区为风速和相对湿度, 平均气温、相对湿度和气温日较差是三江源区蒸发量上升的主要因素。

关键词: 蒸发皿蒸发量; 气候突变; 不同生态功能区; 青海省

文章编号: 1006-7639(2016)-02-0234-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-02-0234

中图分类号: P332

文献标识码: A

引言

20世纪是全球近千年来增暖幅度最显著的时期, IPCC第5次评估报告指出, 21世纪全球气候将继续变暖^[1]。随着全球气温升高, 水循环加快, 势必将改变全球水资源的时空分布, 进而影响生态环境和社会经济发展^[2]。从1950年代开始, 青藏高原冬季气温表现出逐步变暖趋势。相比全球和北半球平均气温变暖趋势, 青藏高原变暖趋势出现更早^[3]。蒸散(发)作为潜热通量是决定天气与气候的重要因子, 是水循环中最直接受土地利用和气候变化影响的一项, 全球性蒸散(发)对大气环流和降水均有重要影响^[4]。实际蒸散(发)的测定非常困难, 蒸发皿蒸发量虽不能直接代表水面蒸发, 但与水

面蒸发之间存在很好的相关关系, 是水文、气象台站常规观测项目之一, 具有观测资料累积序列长、可比性好等优势。研究认为^[5-13], 全球范围内云量或气溶胶增加所引起的辐射量下降以及气温日较差和风速的下降是蒸发皿蒸发量与潜在蒸发量下降的主要原因, 但不同地区表现有所差异。

青海省地处青藏高原东北部, 全省平均海拔在3 000 m以上, 境内地貌特征复杂多样, 各地气候条件和植被状况相差较大。根据地理位置和地貌特征将青海省划分为4个生态功能区^[14]。其中, 环青海湖区和三江源区为天然草场区, 主要分布着高寒草甸和草原草场, 牧草生长季为4~9月, 总体上三江源区的植被状况稍好于环青海湖区; 东部农业区主要以农作物为主, 作物生长季地面植物覆盖度较好,

收稿日期: 2015-05-26; 改回日期: 2015-08-01

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(41161009)、公益性行业(气象)专项(GYGH201306054、GYHY201506001)和中国气象局成都高原气象研究所基金项目(LPM2014004)共同资助

作者简介: 祁栋林(1967-), 男, 高级工程师, 主要从事气候变化和大气成分研究. E-mail: qidl007@163.com

冬季和春季多为裸地;柴达木盆地以荒漠区为主,气候干燥,年降水量较少,沙化严重,主要分布着一些灌木类植物。由于4个不同生态功能区地貌和气候特征差异,导致近年来各地气候变化趋势有所不同^[14-15]。刘蓓^[16]利用1961~2003年44个台站资料分析发现,青海省整体及其东北黄河流域区、柴达木盆地和南部高原区年蒸发量呈逐年下降趋势;申红艳等^[17]研究表明1961~2010年青海省整体及其西北部和东部农业区年蒸发量呈明显下降趋势,而地处高原南部的三江源区显示轻微增加趋势;李景鑫等^[18]研究指出,青海西宁市蒸发量的年际变化呈显著下降趋势。目前,针对青海省整体及其不同生态功能区的蒸发量变化特征以及影响因子的研究较少,且数据大多截止于2010年,时效性和综合性明显不足。本文针对1964~2013年青海省4个不同生态功能区蒸发皿蒸发量的气候变化特征和影响气象因子开展研究,找出其变化差异,以期为今后更好地认识不同生态功能区蒸发皿蒸发量变化特征提供基础。

1 资料与方法

1.1 资料

考虑到气象台站的搬迁,为确保记录的连续性、均一性和可靠性,在保证站点数及反映4个生态功能区差异的情况下,选取了青海省43个气象站1964~2013年逐月平均气温、气温日较差、日照时数、平均风速、平均相对湿度、降水量和20 cm蒸发皿蒸发量等观测资料。其中,1964~2003年、2004~2013年1~4月和10~12月为20 cm口径小型蒸发皿蒸发量,而2004~2013年5~9月为E601B型蒸发器蒸发量。根据4个不同生态功能区1998~1999年5~9月20 cm口径小型蒸发皿月蒸发量(Y)和E601B型蒸发器月蒸发量(x)对比观测资料,得到两者线性回归方程(表1),回归方程均通过 F 检验。

根据表1各生态功能区的线性回归方程,将2004~2013年5~9月E601B型蒸发器蒸发量换算成20 cm口径小型蒸发皿蒸发量(以下简称蒸发量),从而得到1964~2013年统一标准的蒸发量时间序列。青海省4个生态功能区:柴达木盆地(包括9个站)、环青海湖区(包括8个站)、东部农业区(包括12个站)和三江源区(包括14个站),站点分布见图1。季节划分:3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12月至次年2月为冬季。

1.2 方法

采用线性趋势法、Mann-Kendall检验法^[19]分别进行蒸发量时间序列的趋势及突变分析。

采用完全系数法^[10,20]分析蒸发量变化的主要气象影响因子。其计算公式:

$$|QC| = C_1 \times C_2 \tag{1}$$

其中, $|QC|$ 为完全相关系数, C_1 为气候要素与蒸发量的相关系数, C_2 为气候要素与时间的相关系数。只有当某气候要素与蒸发量相关性较强,且随时间发生显著变化时,它与蒸发量的完全相关系数才比较大,且 C_1 和 C_2 必须通过95%的信度检验。

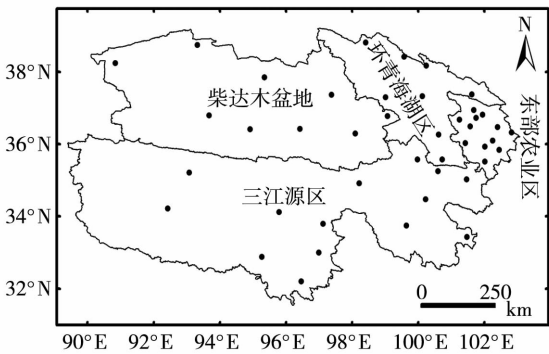


图1 青海省43个气象站分布及生态功能区划分
Fig. 1 Distribution of 43 meteorological stations and four ecological function regions in Qinghai Province

表1 青海省4个生态功能区20 cm口径小型蒸发皿和E601B型蒸发器蒸发量订正方程
Tab. 1 The revised equations between 20 cm pan evaporation and E601B evaporation in four ecological function areas in Qinghai Province

地区	线性方程	复相关系数(R^2)	样本数
柴达木盆地	$Y = 1.519x + 20.655$	0.9138	79
环青海湖区	$Y = 1.3306x + 42.938$	0.8256	59
东部农业区	$Y = 1.5623x + 24.047$	0.8827	51
三江源区	$Y = 1.4424x + 30.756$	0.857	125

2 结果分析

2.1 空间分布特征

图2给出1964~2013年青海省全年、冬季蒸发量和年蒸发量气候倾向率的空间分布。由图2a可看出,青海省年蒸发量呈现出从西北向东南逐渐减小的分布特征,最大值在柴达木盆地的冷湖站,达3 082.5 mm,最小值在环青海湖区的门源站,为1 143.3 mm,4个生态功能区的年蒸发量由高到低依次是柴达木盆地、东部农业区、环青海湖地区和三江源区。春、夏、秋季蒸发量的空间分布特征与年蒸发量相似(图略),而冬季蒸发量的空间分布特征明显不同,表现为由南向北逐渐减小的特征(图2b)。近50 a来,青海省各区域年蒸发量的变化趋势不同,气候倾向率大体自西北向东南逐渐增大,东南部表现为上升趋势,中部、西北部表现为下降趋势,其中玉树站上升趋势最大,为81.1 mm/10 a,其次是久治站,气候倾向率为71.2 mm/10 a,而茫崖站下降趋势最大,为-145.7 mm/10 a,中部一带有一下降大值中心(图2c),为诺木洪站,气候倾向率为-140.7 mm/10 a;四季蒸发量的气候倾向率分布特征与年蒸发量较相似(图略)。

各气象站与各自生态功能区域的气候倾向率并不完全一致。就各生态功能区内气象站点年蒸发量的变化趋势而言(表2),柴达木盆地9个代表站中有8个呈下降趋势,均通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,下降幅度最大的是茫崖站,气候倾向率为-145.7 mm/10 a;环青海湖区8个代表站中有3个呈下降趋势,其中2个台站通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,下降幅度最大的是野牛沟站,气候倾向率为-35.4 mm/10 a,而其余5个上升台站中有3个通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,增幅最大的是刚察站,气候倾向率为30.5 mm/10 a;东部农业区12个代表站中有5个为下降趋势,其中3个通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,下降幅度最大的是西宁站,气候倾向率为-95.8 mm/10 a,而上升的7个台站中仅有1个通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,增幅最大的是同仁站,气候倾向率为53.1 mm/10 a;三江源区14个代表站中有11个为上升趋势,其中8个通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,升幅最大的是玉树站,气候倾向率为81.1 mm/10 a,下降的3个台站中有2个通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,降幅最大的是五道梁,气候倾向率为-31.9 mm/10 a。

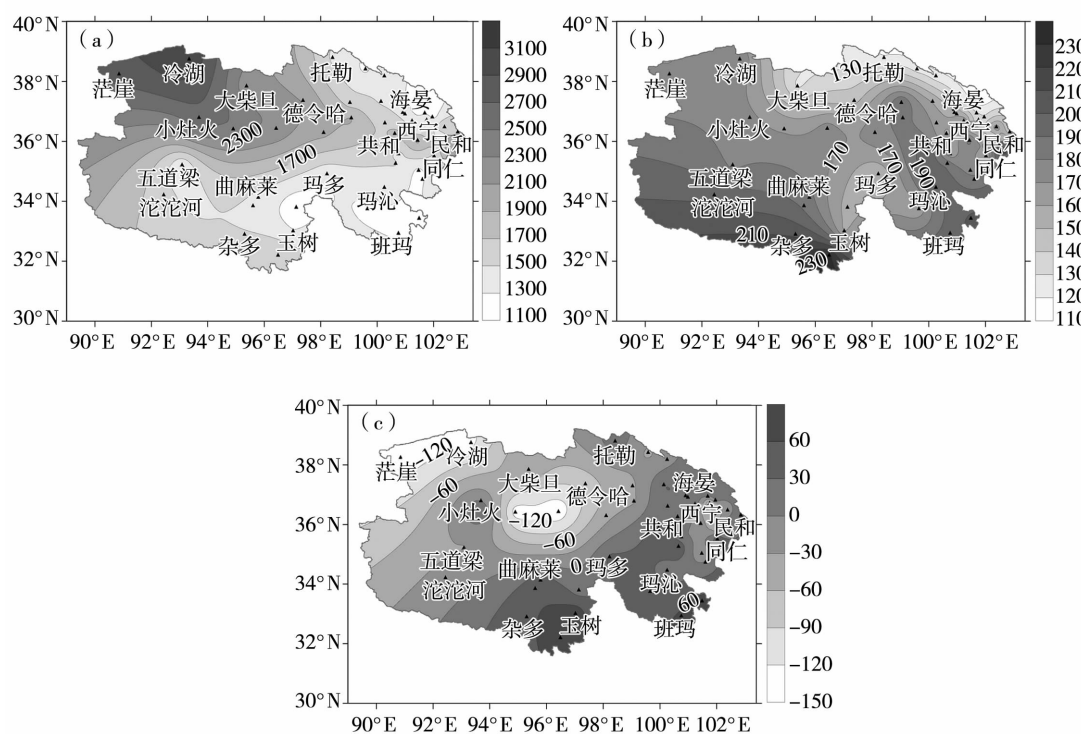


图2 1964~2013年青海省年(a)、冬季(b)平均蒸发量的空间分布(a,b,单位:mm)

和年蒸发量的变化趋势(c,单位:mm/10 a)

Fig.2 Spatial distributions of annual (a), winter (b) evaporations (a, b, Unit:mm) and climatic tendency rate of annual evaporation (c, Unit: mm/10 a) in Qinghai Province during 1964-2013

表2 1964~2013年青海省4个生态功能区年蒸发量变化趋势统计

Tab. 2 Statistics of change trend of annual evaporation in four ecological function areas in Qinghai Province during 1964–2013

地区	站点总数	下降站点			上升站点		
		数量	信度 0.05	信度 0.01	数量	信度 0.05	信度 0.01
柴达木盆地	9	8	3	5	1	0	0
环青海湖区	8	3	1	1	5	2	1
东部农业区	12	5	0	3	7	0	1
三江源区	14	3	1	1	11	0	8

2.2 时间变化特征

2.2.1 月和季节变化

青海省4个生态功能区平均蒸发量的逐月变化显示(图3a),柴达木盆地、环青海湖区和东部农业区平均蒸发量的月变化表现为单峰型分布,而三江源区表现为弱双峰型分布。1~5月蒸发量持续增加,8月后持续下降,5~8月是各生态功能区全年蒸发量中最大的4个月,其中,5~8月蒸发量占全年比例柴达木盆地最大(55.9%),三江源区最小(47.4%)。三江源区、环青海湖区和东部农业区月蒸发量最大值出现在5月,柴达木盆地出现在7月;柴达木盆地、环青海湖区和三江源区最小值出现在1月,东部农业区出现在12月;其中柴达木盆地月蒸发量最大值是最小值的7倍左右,其他3个生态功能区在3~5倍左右。4个生态功能区各气象站间蒸发量月变化规律略有不同,主要表现在最大值和最小值出现的月份不完全一致。

青海省4个生态功能区蒸发量存在明显的季节变化(图3b),夏季蒸发量最大,其次为春季和秋季,冬季蒸发量最小,可见春、夏季蒸发量对这4个生态功能区的水循环起重要作用。另外发现,除冬季外,其他季节柴达木盆地的蒸发量远大于其他3个功能

区,这可能与柴达木盆地干旱气候有关。

2.2.2 年际变化

图4给出1964~2013年青海省4个生态功能区平均蒸发量的年变化趋势。整体上看出,近50 a青海省柴达木盆地和三江源区蒸发量变化趋势均显著(通过 $\alpha=0.001$ 的显著性检验),前者呈下降趋势,后者呈上升趋势,气候倾向率分别为 $-77.9\text{ mm}/10\text{ a}$ 和 $30.1\text{ mm}/10\text{ a}$,而环青海湖区和东部农业区蒸发量没有明显变化趋势,这与刘蓓^[16]和申红艳^[17]等的研究结果不一致。表明青海省平均蒸发量整体呈下降趋势,但局部区域与整体变化形式并不完全同步。

另外发现,4个生态功能区年蒸发量多项式拟合曲线均呈先降后升的特征,但转换时间不完全一致。其中,柴达木盆地在1990年代中期以前蒸发量呈明显下降趋势,以后进入缓慢波动状态(图4a);环青海湖区在1980年代末以前蒸发量波动下降,进入1990年代后转为上升趋势(图4b);东部农业区蒸发量在1990年代中期以前呈显著下降趋势,而后呈显著上升趋势(图4c);三江源区蒸发量在1990年代以前波动下降,以后至2000年代中期呈显著上升趋势,随后出现快速下降趋势(图4d)。

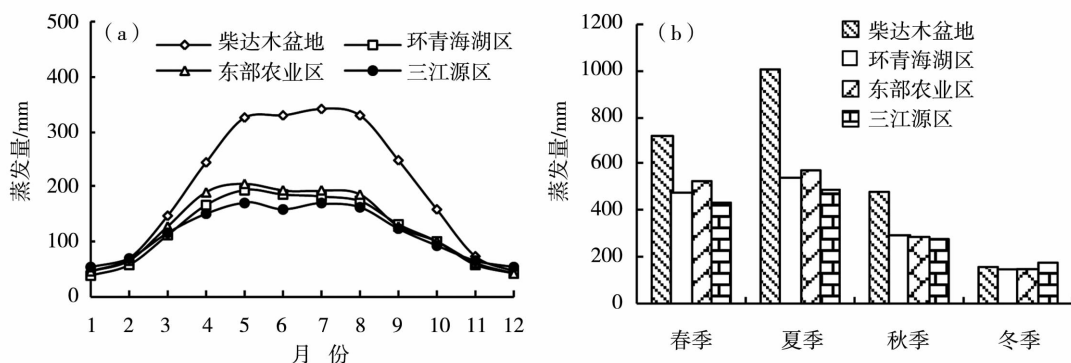


图3 1964~2013年青海省4个生态功能区平均蒸发量的月(a)和季节(b)变化

Fig. 3 The monthly (a) and seasonal (b) changes of evaporation in four ecological function areas in Qinghai Province during 1964–2013

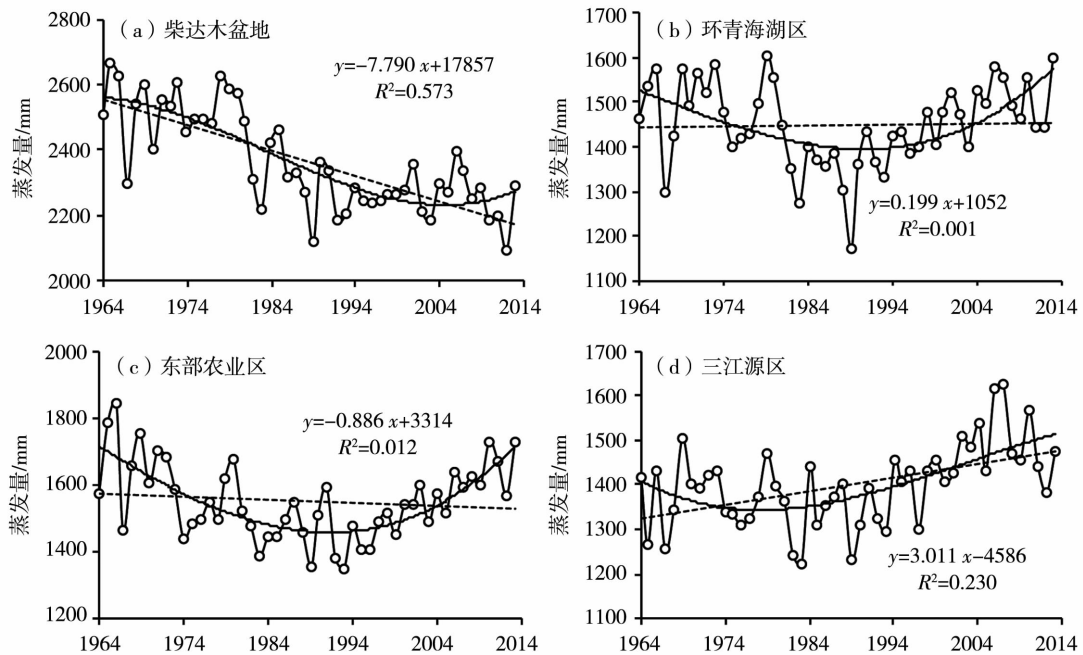


图4 1964~2013年青海省4个生态功能区蒸发量的年变化趋势

(虚直线为线性回归,曲线为3次多项式回归)

Fig. 4 The annual changes of evaporation in four ecological function areas of Qinghai Province during 1964 – 2013
(the dotted straight line for the linear regression, curve for the cubic polynomial regression)

表3是青海省4个生态功能区四季蒸发量的气候倾向率和相关系数。可以看出,近50 a来,柴达木盆地春、夏、秋季蒸发量均呈显著下降趋势,冬季呈显著上升趋势,其中春、夏季蒸发量的大幅下降造成其年蒸发量显著减小;三江源区四季蒸发量均呈上升趋势,其中夏、秋、冬季通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,夏、秋季蒸发量的上升造成该区年蒸发量的显著增大;环青海湖区夏、秋、冬季蒸发量均呈上升趋势,而春季表现为下降趋势,其中仅秋季通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验;东部农业区除夏季外,其他季节均表现为不显著下降趋势。

从青海省4个生态功能区各月蒸发量变化趋势来看(表4),近50 a来,柴达木盆地各月蒸发量均呈下降趋势,线性趋势率在 $-12.5 \sim -1.0$ mm/10 a之间,除2月外,其他月份均通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,减幅最大的是7月,最小的是2月;三江源区各月蒸发量均为上升趋势,仅7~9月和11月通过 $\alpha=0.05$ 及以上的显著性检验,9月增幅最大,为8.0 mm/10 a;环青海湖区春季到夏初为下降趋势,其他月份为上升趋势,仅9月通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验;东部农业区夏季到秋初为上升趋势,其他月份均呈下降趋势,且均未通过显著性检验。

表3 1964~2013年青海省4个生态功能区四季蒸发量的气候倾向率(单位:mm/10 a)和相关系数

Tab. 3 The climatic tendency rates (Unit:mm/10 a) and correlation coefficients of seasonal evaporation in four ecological function areas of Qinghai Province during 1964 – 2013

	柴达木盆地		环青海湖区		东部农业区		三江源区	
	气候倾向率	相关系数	气候倾向率	相关系数	气候倾向率	相关系数	气候倾向率	相关系数
春季	-23.6	0.62 ***	-4.3	0.16	-6.7	0.22	2.0	0.08
夏季	-35.1	0.68 ***	0.3	0.01	2.1	0.06	12.5	0.47 ***
秋季	-13.9	0.64 ***	5.5	0.29 *	-1.1	0.05	10.8	0.60 ***
冬季	5.3	0.50 **	0.5	0.04	-3.1	0.24	4.8	0.32 *

注: *、**和***分别表示通过 $\alpha=0.05$ 、0.01和0.001的显著性检验,下同

表4 1964~2013年青海省4个生态功能区逐月蒸发量的气候倾向率(单位:mm/10 a)和相关系数

Tab.4 The climatic tendency rates (Unit: mm/10 a) and correlation coefficients of monthly evaporation in four ecological function areas of Qinghai Province during 1964–2013

	柴达木盆地		环青海湖区		东部农业区		三江源区	
	气候倾向率	相关系数	气候倾向率	相关系数	气候倾向率	相关系数	气候倾向率	相关系数
1月	-2.1	0.40**	0.2	0.03	-1.4	0.25	1.6	0.24
2月	-1	0.19	0.2	0.04	-0.6	0.09	2	0.23
3月	-4.6	0.40**	-2.4	0.23	-3.2	0.23	0.2	0.01
4月	-6.9	0.43**	-1.1	0.08	-2.4	0.17	1.2	0.1
5月	-11	0.49***	-0.8	0.05	-1.1	0.07	0.6	0.05
6月	-12.2	0.51***	-0.6	0.04	1	0.06	2.7	0.24
7月	-12.5	0.54***	0.2	0.01	0.9	0.06	4.1	0.33*
8月	-11.2	0.57***	0.7	0.07	0.2	0.01	5.7	0.44**
9月	-4.3	0.31*	4.6	0.41**	1	0.08	8	0.65***
10月	-6.7	0.68***	0.3	0.04	-1.2	0.11	1.1	0.13
11月	-2.9	0.54***	0.6	0.13	-0.9	0.16	1.7	0.29*
12月	-2.3	0.60***	0.1	0.01	-1.1	0.23	1.1	0.2

2.2.3 年代际变化

从青海省4个生态功能区蒸发量的年代际距平变化(表5)来看,1970年代除三江源区外,其他3个功能区为正距平,其中柴达木盆地最大;1980~1990年代,4个功能区均为负距平;2000年代除柴达木盆地外,其他3个功能区为正距平,其中三江源区最大。可见,在全球变暖背景下,青海省不同生态功能区蒸发量的年代际变化特征差异较大。

表5 1964~2013年青海省4个生态功能区蒸发量的年代际距平变化(单位:mm)

Tab.5 The decadal anomaly of evaporation in four ecological function areas of Qinghai Province during 1964–2013 (Unit:mm)

	柴达木盆地	环青海湖区	东部农业区	三江源区
1970年代	175.9	54.1	22.3	-19.4
1980年代	-35.2	-107.9	-87.3	-75.3
1990年代	-110.8	-37.3	-90.1	-9.6
2000年代	-87.7	55.9	39.3	112.8

2.3 突变特征

从1964~2013年青海省4个生态功能区年蒸发量的Mann-Kendall检验(图5)可以看出:柴达木盆地年蒸发量1964年开始波动下降,1975年后有短期上升趋势,1980年代蒸发量开始持续下降,1990年代末下降趋势超过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平

临界线,表明蒸发量减小趋势明显(图5a)。根据UF和UB曲线的交点,确定突变开始时间是1998年。环青海湖区在2005年出现交点,但下降趋势没有超过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平临界线,表明下降不明显(图5b)。东部农业区自1964年以来一直处于波动下降趋势,2004年以后下降趋势明显,突变时间为2002年(图5c)。三江源区自1964年开始波动上升,1979年以后上升趋势较显著,1980年代后期开始转入下降趋势,在2005~2010年出现3个交点,但UF线未超过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平临界线,表明突变不明显(图5d)。

2.4 蒸发量与气象因子的关系

蒸发量作为大气蒸发潜力的一个重要指标,其影响因素众多,既有气象要素也有非气象要素。本文主要选取湿度(相对湿度、降水量和水汽压)、热力(空气温度、日照时数和气温日较差)和动力(风速)3类气象因子来分析对蒸发量的影响。

表6给出1964~2013年青海省4个生态功能区上述各气象因子的气候倾向率及其与时间、蒸发量的相关系数和完全相关系数。可知:近50 a来,柴达木盆地日照时数、风速和气温日较差有显著减小趋势,平均温度、水汽压和降水量为显著上升趋势,而相对湿度变化不明显,且除相对湿度外,其他气象因子与蒸发量的相关性较强,致使平均风速与蒸发量的完全相关系数最大,其次为日照时数、平均气温和气温日较差,水汽压和降水量的完全相关

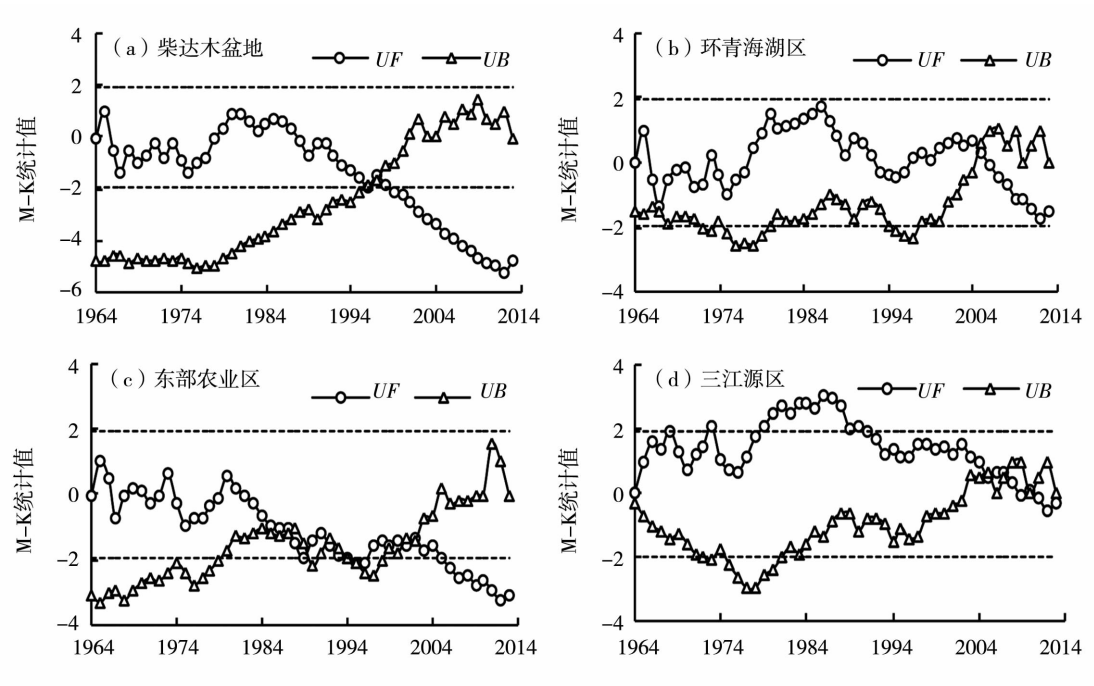


图5 1964~2013年青海省4个生态功能区年蒸发量M-K突变检验
Fig. 5 M-K mutation test of annual evaporation in four ecological function areas of Qinghai Province during 1964-2013

表6 1964~2013年青海省4个生态功能区各气象因子的气候变化倾向率及其与时间、蒸发量的相关系数和完全相关系数
Tab. 6 The climatic tendency rate of climate factors and their correlation and full correlation coefficients between the climate factors and evaporation, time in four ecological function areas of Qinghai Province during 1964-2013

		平均气温	气温日较差	水汽压	相对湿度	降水量	风速	日照时数
柴达木盆地	气候倾向率	0.5	-0.2	0.1	-0.3	6.0	-0.3	-41.4
	与时间相关系数	0.87***	0.64***	0.51***	0.27	0.36*	0.83***	0.64***
	与蒸发量相关系数	-0.47***	0.62***	-0.60***	-0.16	-0.56***	0.74***	0.68***
	完全相关系数	0.41	0.40	0.31	-	0.20	0.62	0.43
环青海湖区	气候倾向率	0.4	-0.1	0.0	-0.3	6.7	-0.1	-11.6
	与时间相关系数	0.80***	0.33*	0.16	0.21	0.21	0.69***	0.24
	与蒸发量相关系数	0.39**	0.52***	-0.03	-0.70***	-0.40**	0.38**	0.16
	完全相关系数	0.32	0.17	-	-	-	0.26	-
东部农业区	气候倾向率	0.4	0.0	0.0	-0.7	1.8	-0.1	-26.9
	与时间相关系数	0.82***	0.11	0.27	0.39**	0.04	0.73***	0.43**
	与蒸发量相关系数	0.25	0.46***	-0.67***	-0.75***	-0.38**	0.54***	0.39**
	完全相关系数	-	-	-	0.29	-	0.39	0.17
三江源区	气候倾向率	0.39	-0.13	0.05	-0.7	8.6	-0.11	-4.3
	与时间相关系数	0.76***	-0.35**	0.40**	-0.42**	0.26	-0.56***	-0.08
	与蒸发量相关系数	0.77***	-0.37**	0.04	-0.79***	0.17	0.13	0.09
	完全相关系数	0.59	0.13	-	0.33	-	-	-

注：-表示完全相关系数没有通过显著性检验

系数较小,由此可知,影响柴达木盆地蒸发量下降的主要因素是风速、日照时数、平均气温和气温日较差。环青海湖区平均气温显著上升,风速和气温日较差下降趋势明显,其他气象因子变化趋势不明显,且除水汽压、日照时数外,其他气象因子均与蒸发量显著相关,致使平均气温与蒸发量的完全相关系数最大,其次为平均风速,气温日较差的完全相关系数较小,可见平均气温、风速和气温日较差是环青海湖区蒸发量上升的主要因素。东部农业区除平均气温外,其他气象因子与蒸发量相关性显著,且风速、相对湿度和日照时数下降趋势明显,而平均气温上升趋势明显,致使平均风速与蒸发量的完全相关系数最大,其次为相对湿度,日照时数的完全相关系数较小,故风速和相对湿度是东部农业区蒸发量下降的主要因素。三江源区平均气温和水汽压上升趋势明显,相对湿度、风速和气温日较差下降趋势明显,但水汽压、风速、降水量和日照时数与蒸发量相关性不显著,致使平均气温与蒸发量的完全相关系数最大,其次为相对湿度,气温日较差的完全相关系数较小,因此,平均气温、相对湿度和气温日较差是三江源区蒸发量下降的主要因素。综上所述,青海省不同生态功能区影响蒸发量的主要因子不同,这与申红艳等^[17]的研究结论“近50 a来影响整体青海高原蒸发量的主要因子为平均气温和相对湿度”不一致,而与左洪超等^[7]的“中国66%站点蒸发量下降是由多环境因子共同作用,且不同地区有不同的表现”结果一致。

3 结 论

(1)青海省年蒸发量呈从西北向东南逐渐减小的空间分布特征,春、夏、秋季蒸发量的分布特征与年蒸发量相似,而冬季的分布特征为从南向北逐渐减小。

(2)近50 a来,年蒸发量的气候倾向率大体自西北向东南逐渐增加,东南部为蒸发量的上升区域,中部、西北部为下降区域;四季蒸发量的气候倾向率分布特征与年蒸发量相似。就不同生态功能区而言,柴达木盆地和三江源区年蒸发量整体分别呈显著下降和上升趋势,其气候倾向率分别为 $-77.9 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 和 $30.1 \text{ mm}/10 \text{ a}$,而环青海湖区和东部农业区的变化趋势不明显。4个功能区年蒸发量多项式拟合曲线均呈现先降后升的特征,但转换时间不完全一致。柴达木盆地春、夏、秋季蒸发量均呈显著下降趋势,冬季呈显著上升趋势;三江源区蒸发量除春季外均呈显著上升趋势;环青海湖区秋季蒸发量

呈显著上升趋势,其他季节变化趋势不明显;东部农业区四季蒸发量变化趋势均不明显。

(3)青海省4个生态功能区蒸发量的月和季节变化特征明显。月和四季蒸发量由大至小依次为柴达木盆地、东部农业区、环青海湖区和三江源区。柴达木盆地、环青海湖区和东部农业区蒸发量的月变化表现为单峰型分布,而三江源区表现为弱双峰型分布。夏季蒸发量最大,其次为春季和秋季,冬季蒸发量最少。

(4)柴达木盆地年蒸发量在1990年代末减小趋势明显,突变时间是1998年;东部农业区自1964年一直处于波动下降趋势,2004年以后下降趋势明显,突变时间为2002年;环青海湖区和三江源区突变不明显。

(5)影响青海省4个不同生态功能区蒸发量的主要因子不同:柴达木盆地为风速、日照时数、平均气温和气温日较差;环青海湖区为平均气温、风速和气温日较差;东部农业区为风速和相对湿度;平均气温、相对湿度和气温日较差是三江源区蒸发量上升的主要因素。

本文对青海省4个生态功能区蒸发量变化特征及其影响气象因素做了初步分析,进一步的物理成因还需探讨。由于影响蒸发量变化的因素众多,既有气象要素也有非气象要素,物理机制复杂,它是多个环境因子共同非线性相互作用的结果,将蒸发量的变化归结为任何单一环境因子的变化所致都会产生较大的偏颇。

参考文献:

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2001, 881.
- [2] 江涛,陈永勤,陈俊合,等. 未来气候变化对我国水文水资源影响的研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, (增刊3): 151-157.
- [3] Liu X D, Chen B D. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20(14): 1729-1742.
- [4] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [5] Peterson T C, Golubev V S, Groisman P Y. Evaporation losing its strength[J]. Nature, 1995, 377: 687-688.
- [6] 申双和,盛琼. 45年来中国蒸发皿蒸发量的变化特征及其成因[J]. 气象学报, 2008, 66(3): 452-460.
- [7] 左洪超,李栋梁,胡隐樵,等. 近40 a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.
- [8] Liu X M, Zheng H X, Zhang M H, et al. Identification of dominant climate factor for pan evaporation trend in the Tibetan Plateau[J]. Journal of Geographical Sciences. 2011, 21(4):594 – 608.
- [9] Zhang Y Q, Liu C M, Tang Y H, et al. Trends in pan evaporation and reference and actual evapotranspiration across the Tibetan Plateau[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 112, D12110, doi:10.1029/2006.JD008161.
- [10] 刘波, 马柱国, 丁裕国, 等. 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 – 848.
- [11] 王艳君, 姜彤, 许崇育. 长江流域蒸发皿蒸发量及影响因素变化趋势[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6):864 – 870.
- [12] 张艳玲, 王海艳, 熊坤, 等. 商丘近 40 a 蒸发量变化特征及原因分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2):72 – 75.
- [13] 苗运玲, 卓世新, 杨艳玲, 等. 新疆哈密市近 50 a 蒸发量变化特征及影响因子[J]. 干旱气象, 2013, 31(1):95 – 106.
- [14] 李红梅, 李作伟, 王振宇, 等. 青藏高原不同生态功能区气候突变时间的比较分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6):1388 – 1393.
- [15] 李林, 朱西德, 周陆生, 等. 三江源地区气候变化及其对生态环境的影响[J]. 气象, 2004, 30(8):18 – 22.
- [16] 刘蓓. 43 年来青海省蒸发皿蒸发量变化及其影响因子[J]. 干旱区研究, 2010, 27(6):892 – 897.
- [17] 申红艳, 马明亮, 汪青春, 等. 1961 ~ 2010 年青海高原蒸发皿蒸发量变化及其对水资源的影响[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(6):87 – 94.
- [18] 李景鑫, 王式功, 李艳, 等. 西宁市蒸发量变化特征及影响因素[J]. 干旱气象, 2013, 31(3):497 – 503.
- [19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第 2 版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007. 36 – 69.
- [20] 韩军彩, 张秉祥, 高祺, 等. 石家庄市蒸发皿蒸发量的变化特征及其影响因子分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(4):340 – 345.

Variation Characteristics of Pan Evaporation in Different Ecological Function Areas of Qinghai Province During 1964 – 2013

QI Donglin^{1,2}, XIAO Hongbin^{1,2}, LI Xiaodong^{1,2,3},

ZHOU Wanfu^{1,2}, SU Wenjiang^{1,2}, HU Aijun^{1,2}

(1. Institute of Qinghai Meteorological Science Research, Xi'ning 810001, China;

2. Qinghai Key Laboratory of Disaster Preventing and Reducing, Xi'ning 810001, China;

3. Institute of Chendu Plateau Meteorology Science Research, CMA, Chengdu 610072, China)

Abstract: Based on the conventional meteorological data of 43 weather stations in different ecological function areas of Qinghai Province during 1964 – 2013, the temporal and spatial variation characteristics of pan evaporation were analyzed in the past 50 years, and their change causes of pan evaporation in four ecological function areas were analyzed by using the full correlation analysis. The results showed that the annual and seasonal changes of pan evaporation were significant in different ecological function areas of Qinghai Province. In the recent 50 years, the pan evaporation in Qaidam Basin and three river source area showed a significant decreasing and increasing trends, respectively, while that in Qinghai Lake area and eastern agriculture area hadn't obvious change trend. The annual evaporation in four ecological function areas decreased firstly and then increased during 1964 – 2013, but the change time was not completely consistent. The spatial distributions of annual pan evaporation decreased from northwest to southeast, and that in spring, summer, fall was similar to the annual, but that in winter decreased gradually from south to north. The annual pan evaporation mutated in 1998 in Qaidam Basin and in 2002 in eastern agriculture area, while that didn't mutate in three river source area and Qinghai Lake area during 1964 – 2013. The influences of climate factors on evaporation were different in four ecological function areas of Qinghai Province. The main climate factors affecting evaporation in Qaidam Basin were wind speed, sunshine hours, average temperature and daily range of temperature, those were average temperature, wind speed and daily range of temperature in Qinghai Lake area, and in eastern agriculture area those were wind speed and relative humidity. However, the effects of average temperature and relative humidity on the increasing of pan evaporation in three river source area were critical.

Key words: pan evaporation; climate mutation; different ecological function areas; Qinghai Province