

文章编号:1672-3031(2017)03-0234-07

云南高原湖泊洱海流域年降水量时空分布特征研究

李芸¹, 李宝芬², 张坤¹, 朱俊¹, 杨秋萍¹

(1. 云南省水文水资源局, 云南 昆明 650051; 2. 云南省水文水资源局 昆明分局, 云南 昆明 650051)

摘要: 为更好地保护洱海生态环境、高效利用水资源和实现湖泊资源的可持续利用提供技术支撑, 采用数理统计、趋势法和小波分析等方法, 对洱海流域年降水量的地区分布和时空变化, 以及年内、年际、多年变化趋势和丰枯变化情况进行分析。研究表明: 洱海流域年降水量由南向北、由西向东递减, 在流域西部和北部, 降水量受地形影响较为明显, 随高程升高而增大, 垂直变化较为显著; 全年降水量主要集中在5—10月, 占全年降水量的84.9%~93.2%, 说明该时段降水量较大幅度地决定了年降水量, 每年11月至次年4月降水量仅占全年降水量的6.8%~15.1%, 最大月降水量出现在7月或8月, 最小月降水量出现于12月; 洱海流域年降水量年际变化相对较稳定, 但呈逐年减少趋势; 并存在丰→枯→丰等多个循环交替。

关键词: 洱海; 流域; 年降水量; 特征

中图分类号: P333

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2017.03.012

洱海是中国的第七大淡水湖泊, 云南第二大高原淡水湖泊, 是大理人民赖以生存和发展的基础, 是我国城郊湖泊中得到较好保护的高原湖泊。洱海来水主要为降水和融雪, 通过地表径流、湖面降水及地下径流进入湖泊, 洱海流域降水量的时空分布影响着湖泊的水量及水质状况。分析洱海流域年降水量的时空变化特征, 可为高原湖泊资源的可持续利用和有效保护提供技术支持。

1 洱海流域概况

洱海流域地处云南境内的澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭地带, 属澜沧江-湄公河水系, 流域面积2 565 km², 地理坐标位于东经100°05'~100°17'、北纬25°36'~25°58'之间。洱海在云南省大理白族自治州境内, 当湖面高程为1 966 m时, 湖面面积251 km², 蓄水量达28.8亿 m³; 湖泊平均宽度为6.3 km, 南北长度为42.5 km; 洱海平均水深10.5 m, 最大水深为20.9 m。湖盆形态特征系数为0.10, 湖泊岸线发展系数为2.068, 湖泊补给系数为10.6, 湖岸线长127.85 km, 湖水停留时间2.75年^[1]。

流域内地形起伏, 海拔在1 743.2~4 056.9 m之间。不同区域坡度差异明显, 51%的流域面积坡度在13度以上, 坡度较缓的区域主要分布在海南、海西与海北的坝区, 海西苍山山脊、海北、海东与海南远山地形坡度较大。

洱海流域气候属低纬高原亚热带季风气候, 表现为气候温和、干湿分明和日照充足。每年的干季为11月至翌年4、5月, 雨季为5月下旬至10月。洱海湖面多年平均蒸发量为1 208.6 mm。年平均气温为15.1℃, 最高月平均气温为20.1℃, 最低月平均气温为8.8℃; 全年日照时数达到2 250~2 480 h, 日照百分率为52%~56%。湖区内常年主导风向为西南风, 年平均风速4.1 m/s, 最大风速达40 m/s。

1956—2013年, 洱海年平均净入湖水量为8.26亿 m³。可自20世纪50年代中期至今, 洱海净入湖水量逐渐下降趋势明显(见图1), 表明随着城市发展流域耗水量增加明显。图2是洱海流域水系图。

收稿日期: 2017-03-17

作者简介: 李芸(1967-), 女, 云南玉溪人, 高级工程师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: liyunm005@163.com

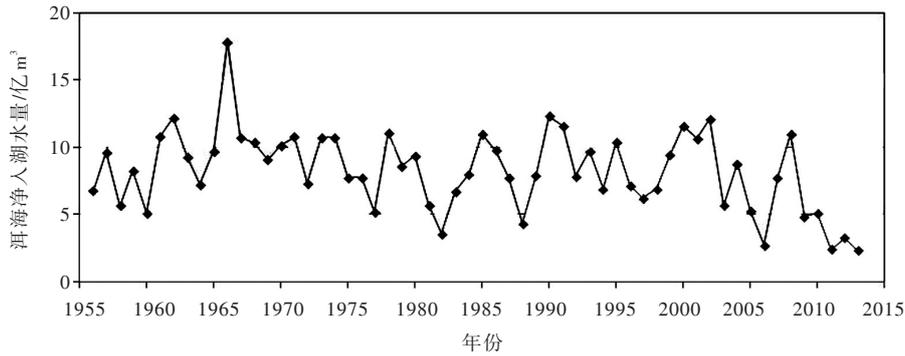


图1 洱海净入湖水量历史变化

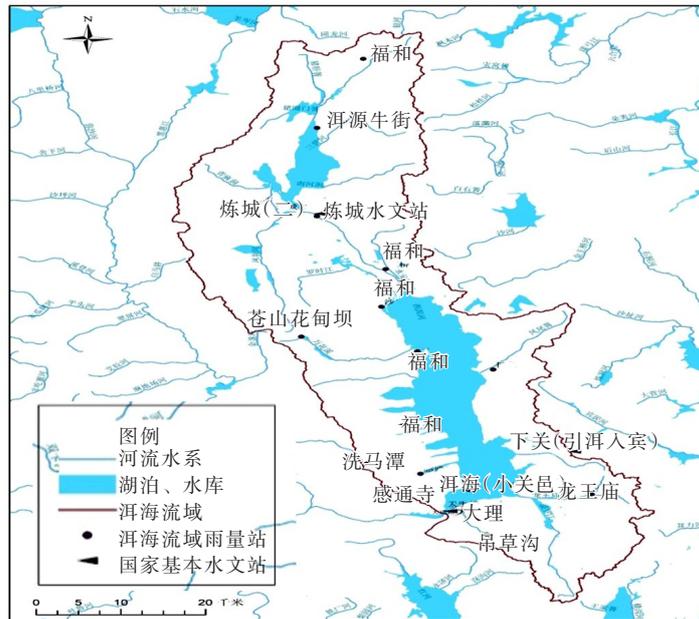


图2 洱海流域水系

2 数据资料与分析方法

2.1 数据资料 本文洱海流域降水量分析选用流域内面上分布均匀、站址稳定、资料连续性较好、并能反映地形变化的雨量站点的监测资料作为基础资料，通过分析，共选用13个雨量站1948—2015年合计493站年实测月降水量资料，所选雨量站点基础资料情况见表1。

表1 洱海流域降水量分析选用站点基本情况

站名	站别	设站年份	记录方式	测站现行高程/m	站名	站别	设站年份	记录方式	测站现行高程/m
炼城	水文站	1953	自记	2 060	沙坪	雨量站	1966	自记	1 978
福和	雨量站	1979	自记	2 558	喜洲	雨量站	1957	自记	1 960
洱源牛街	雨量站	1979	自记	2 115	下关	雨量站	1948	自记	1 980
银桥	雨量站	1979	自记	1 992	吊草沟	雨量站	1987	自记	2 155
龙王庙	雨量站	1980	自记	2 050	挖色	雨量站	1958	自记	1 982
洗马潭	雨量站	2003	自记	3 900	感通寺	雨量站	2000	自记	2 237
苍山花甸坝	雨量站	2003	自记	3 230					

分析过程中,因部分站点观测记录年份不尽相同,用下关站的资料系列对喜洲、吊草沟、龙王塘和挖色等站的资料进行插补和延长,相关系数在0.75~0.88之间,其余资料系列低于20年的站点资料采用长短系列均值法进行插补。

2.2 分析方法 流域多年平均降雨量采用泰森多边形法进行计算,方法如下。

按地图上雨量站的位置连线,构成许多三角形(包括邻近区域的雨量站),形成三角网,然后对每个三角形各边作垂直平分线,再将这些垂直平分线构成以每个雨量站为核心的多边形,每个雨量站的控制面积即为此多边形面积(流域边界内),流域平均降水量按下式计算:

$$P = \frac{f_1 P_1 + f_2 P_2 + \dots + f_n P_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i P_i}{F} \quad (1)$$

式中: $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ 分别为区域内各雨量站控制面积; $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 分别为各雨量站年降雨量; F 为流域总面积。

年降水量时空分布研究,通过计算流域的年降水量极值比、干湿季降水量以及年降水量变差系数值,并绘制年降水量差积曲线进行研究。

降水量多年变化趋势分析采用趋势法^[2]对年降水量、干湿季降水量进行分析,具体公式为:

$$\Delta P_i = a + b n_i \quad (2)$$

式中: ΔP_i 为第 i 年的距平; n_i 为第 i 年的序号; a, b 为回归方程的截距和斜率。

流域降水量演变的周期性规律与变化趋势采用小波分析方法^[3-5]进行分析,其方法简述如下。

设函数 $\varphi(t) \in L^2(R)$, $L^2(R)$ 表示在实数域上平方可积,其傅利叶变换为 $\tilde{\varphi}(t)$ 。当 $\tilde{\varphi}(t)$ 满足允许条件,即:

$$C_\varphi = \int_R \frac{|\tilde{\varphi}(t)|^2}{|t|} dt < \infty \quad (3)$$

称 $\varphi(t)$ 基本小波。对连续情况,小波序列如下:

$$\varphi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R; a \neq 0 \quad (4)$$

式中: a, b 分别为尺度因子和时间因子。

对任意函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5)$$

其离散形式可表示如下:

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \Delta t \sum_{i=1}^N f(i\Delta t) \varphi\left(\frac{i\Delta t - b}{a}\right) \quad (6)$$

故小波方差定义:

$$\text{Var}(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (7)$$

选 Morlet 小波作为小波基函数。

3 分析结果

3.1 降水量空间分布 洱海流域多年平均降水量为 901.8 mm,折合降水总量 23.13 亿 m^3 。通过所选雨量站点实测资料计算分析,其结果为:洱海流域降水量由南向北、由西向东递减,总体特点是:南面高,北面低,西面降水比东面高,西面高山地带降水量最大;主要原因是洱海西面是苍山,海拔相对较高,而降水量相对较低的流域北部分布有数量较多、坡度较小的坝区。实测年降水量中,最大的是西南面的洗马潭站,2014年降水量达 2371.5 mm;实测年降水量最小的是位于中部的银桥

站，2003年降水量仅为370.5 mm。

流域降水量随高程变化情况：北部和西部的降水量受地形影响较为明显，降水量随高程升高而加大，垂直变化较为显著。北部海拔高程每增加100 m，年降水量递增35.2 mm，线性表达式为 $P=0.352H-23.314$ ， $r=0.98$ ；西部海拔高程每增加100 m，年降水量递增62.6 mm，线性表达式为 $P=0.6263H-291.87$ ， $r=0.92$ 。洱海流域北部和西部年降水量与高程关系见图3。

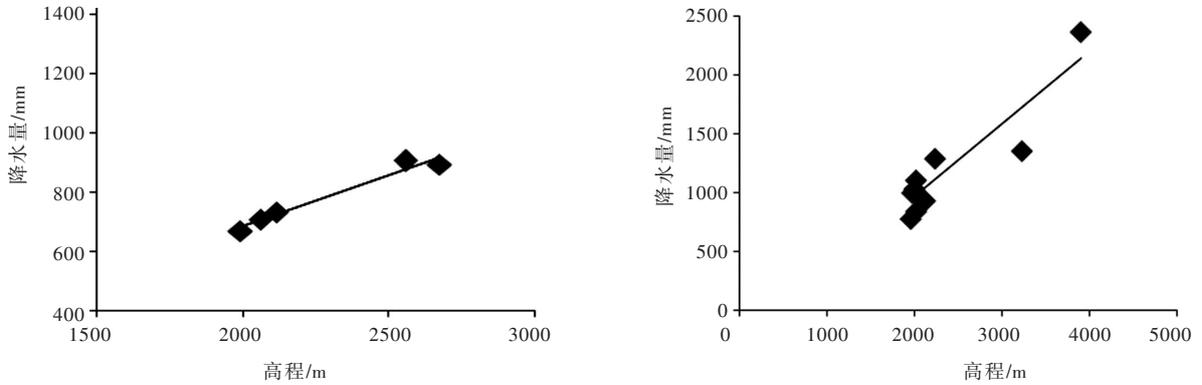


图3 洱海流域年降水量与高程的关系

3.2 降水量时间分布 (1)年降水量年内变化规律。选取6个代表站(炼城、吊草沟、沙坪、挖色、喜洲、下关)分析流域降水量的年内变化规律，代表站分别位于流域的东、西、南、北。从各代表雨量站点多年平均年内分配过程(见图4)来看，月分配类型为单峰型，汛期(5—10月)降水量较为集中，占全年降水量的84.9%~93.2%，其中主汛期(7—9月)降水量占全年降水量的52.5%~64.9%，最大月降水量出现在7月或8月，占全年降水量的18.2%~25.8%；枯期(每年11月至次年4月)降水量仅占全年降水量的6.8%~15.1%，最小月降水量出现于12月，仅占全年降水量的0.46%~1.38%，说明主汛期降水量较大程度地决定了年降水量。

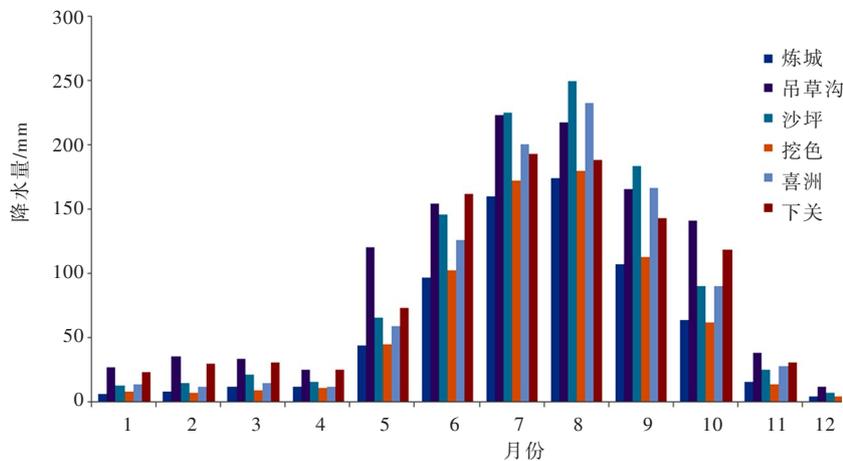


图4 洱海流域代表雨量站降水量月分配过程

(2)年降水量多年变化趋势。选取系列长度长，资料条件好的喜洲、炼城和下关3个代表站进行年降水量趋势分析，结果见图5。从图5可以看出，三站长系列年降水量均呈现逐年减少趋势，其减少趋势具有一定的显著性；而从炼城站汛期、非汛期降水量变化趋势分析看，见图6，汛期降水量其减少程度比非汛期降水量更为显著，表明引起降水量减少原因为汛期降水量减小造成。

(3)年降水量年际变化特征。各雨量站年降水量年际变化不大，最大年降水量与最小年降水量差值为522.2~999.5 mm，极值比为1.81~2.75，各站最大年降水量和多年平均降水量的比值在1.29~1.57之间，最小年降水量和多年平均降水量的比值在0.54~0.71之间。变差系数 C_v 值的大小表示年降水量的年际变化情况， C_v 值大则表示年际间的变化大， C_v 值小则表示年际间的变化小。经分析，洱海流域年降水量变差系数 C_v 值在0.16~0.23之间，和云南省年降水量变差系数(C_v 值0.10~0.25)相

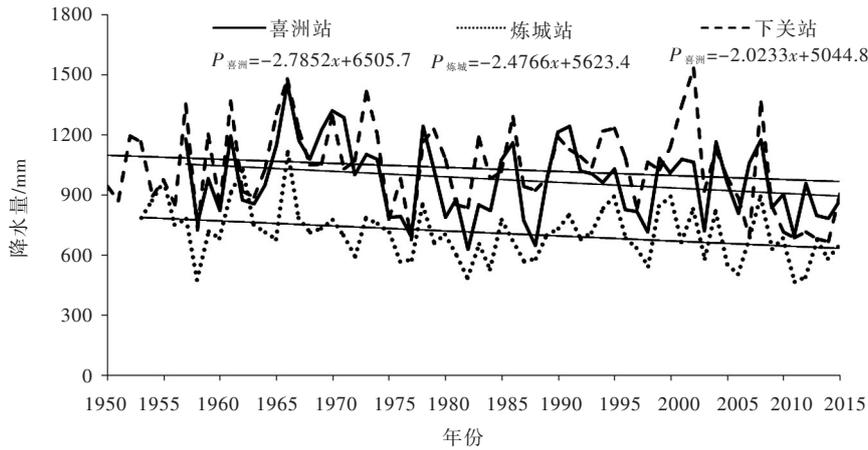


图5 洱海流域雨量站降水量多年变化趋势

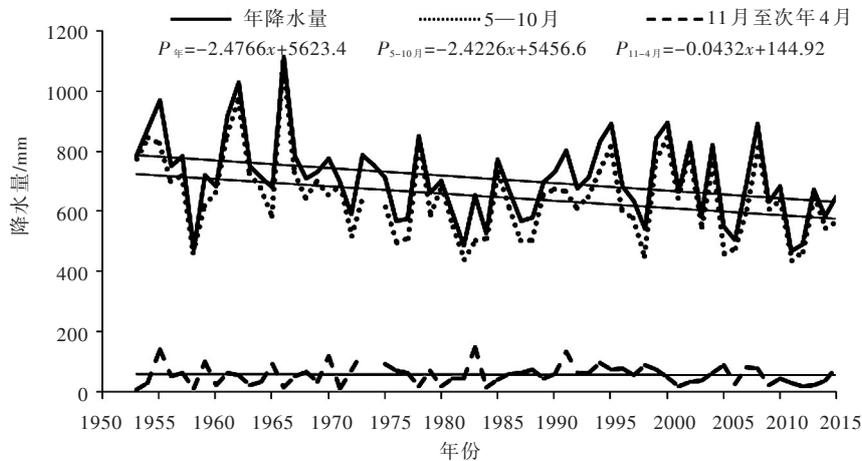


图6 炼城站降水量多年变化趋势

比，洱海流域年降水量年际变化相对较稳定。

选取沙坪、挖色、喜洲和炼城4个代表站分析洱海流域丰水年和枯水年情况，从代表站年降水量差积曲线计算成果看，洱海流域丰水年与枯水年交替出现，具有明显的周期性。各站降水量年际间的丰枯变化具有一定的周期，一般均有两个完整的周期，周期长度在16~30年之间，每一个周期均包括丰、平、枯3个时段，模比差积曲线见图7。以炼城站为例，59年年降水量观测系列中，1959—1966年为一个连续丰水年组，1967—1978年为一个连续平水年组，1979—1988年为一个连续枯水年组，形成第1个30年的丰平枯周期；1989—1995年为第2个连续丰水年组，1996—2008年为第2个连续平水年组，2009—2015年为第2个连续枯水年组，完成第2个丰平枯周期。

(4)年降水量周期变化规律。为判断洱海流域对年降水量序列起主要作用的周期，采用计算公式(小波方差，小波系数)进行小波方差检验。图8为洱海流域年降水量的小波方差图，可反映时间序列的主要周期，由图8可见，洱海流域年降水量在13a、37a和59a尺度上的震荡非常明显，存在13a、37a和59a的年周期尺度。第1峰值是37a，说明降水量10a左右的周期震荡最强，为第1主周期，第2和第3主周期依次为13a和59a。

图9为洱海流域降水量Morlet小波变换图，由图9可见，在13a和37a尺度上，年降水量存在丰→枯→丰等多个循环交替，在59a上存在一个枯→丰→枯交替。以37a周期为例，1948—1971、1994—2015年年降水量偏丰；1972—1993年降水量偏枯。以59a周期为例，1954—2007年降水量偏丰；1948—1953、2008—2015年降水量偏枯。由此可知在短时间尺度上，洱海流域2008—2015年降水量属于偏丰年份，但有下降趋势；在较长时间尺度上，洱海流域2008—2015年降水量属于偏枯年份。

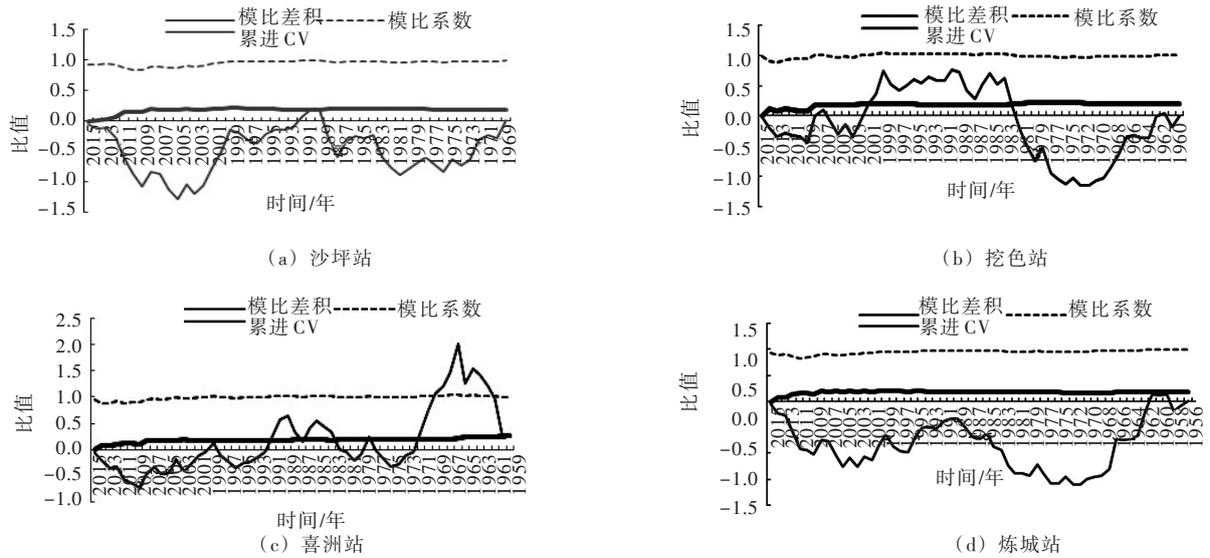


图7 洱海流域代表站模比差积曲线

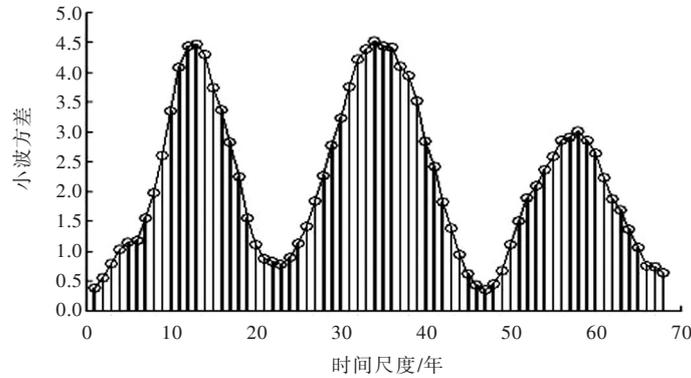


图8 洱海流域年降水量小波方差

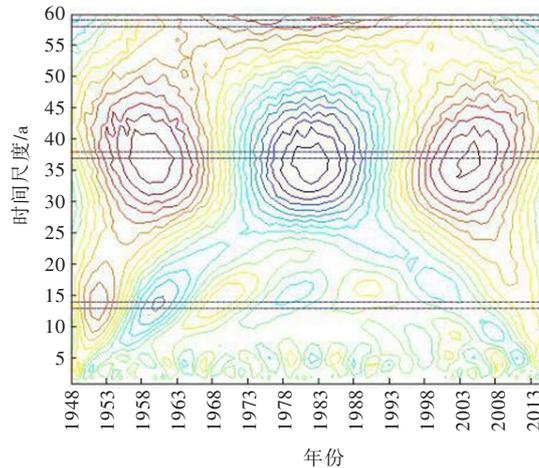


图9 洱海流域降水量Morlet小波变换

4 结语

(1)洱海流域年降水量由南向北、由西向东递减；南面高，北面低，西面降水比东面高，西面高山地带降水量最大；流域北部和西部降水量受地形影响较为显著，海拔高程每增加100m，降水量增幅可达30 mm以上。(2)1948—2015年，洱海流域年降水量呈逐年减少趋势，其减少趋势具有一定的

显著性,引起降水量减少原因主要是汛期降水量减小造成;降水季节性差异显著,主要集中在汛期(5—10月),占全年降水量的84.9%~93.2%,主汛期(7—9月)降水量占全年降水量的52.5%~64.9%;枯期(每年11月至次年4月)降水量仅占全年降水量的6.8%~15.1%。(3)流域内降水量年际变化不大,但丰水年与枯水年交替出现,具有明显的周期性。根据小波分析结果:在13a和37a尺度上,洱海流域年降水量存在丰→枯→丰等多个循环交替,在59a上存在一个枯→丰→枯交替。(4)洱海近年来入湖水量不断减少,严重影响湖泊生态健康,究其原因,年降水量逐年减少是重要因素之一,但影响入湖水量的因素除降水量外,随着城市发展在入湖河流苍山十八溪上无序取水也是致使流入洱海水量大幅减少的一个重要原因。对入湖水量呈减少趋势的成因以及对未来的影响待进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 张红叶,蔡庆华,唐涛,等.洱海流域湖泊生态系统健康综合评价[J].中国环境科学,2012,32(4):715-720.
- [2] 廖宇,倪长健.金沙江流域近47年降水特征分析[J].人民长江,2011,42(5):55-58.
- [3] 张洁祥,张雨凤,李琼芳,等.1971-2010年上海市降水量变化特征分析[J].水资源保护,2014,30(4):47-52.
- [4] 刘健,林琳,张学群,等.黄河三角洲地区降水时序变化特征研究[J].水资源保护,2012,28(1):22-28.
- [5] 李芸,李宝芬,罗丽艳.云南抚仙湖流域年降水量时空分布特征研究[J].人民长江,2016,47(21):48-51.

Study on spatiotemporal distribution characteristics of annual precipitation of Erhai Basin

LI Yun¹, LI Baofen², ZHANG Kun¹, LI Baofen², ZHU Jun¹, YANG Qiuping¹

(1. Hydrology & Water Resources Bureau of Yunnan, Kunming 650051, China;

2. Kunming Branch, Hydrology & Water Resources Bureau of Yunnan, Kunming 650051, China)

Abstract: In order to protect the ecological environment better, take advantage of water resources efficiently, and achieve sustainable use of lake resources of the Erhai Lake, we use the methods of mathematical statistics, trends and wavelet analysis to analyze area distribution, spatiotemporal change, change trend during the year and interannual change trend of the annual precipitation in the Erhai Lake basin. The results show that the annual precipitation in the Erhai Lake basin decreases from south to north, and from west to east. The precipitation is evidently affected by terrain and it increases with altitude in the north and west of the basin. The precipitation mainly concentrates in May to October, and it accounts for 84.9% ~ 93.2% of the annual precipitation. The precipitation in November to April in the following year accounts for only 6.8% ~ 15.1% of the annual precipitation. The maximum monthly precipitation occurs in July or August, and minimum monthly precipitation occurs in December. The interannual change of the annual precipitation in the Erhai Lake basin is relatively stable, but the trend decreases year by year. There are many cycles of the annual precipitation, such as abundance, drought, and abundance.

Keywords: Erhai Lake; basin; annual precipitation; characteristics

(责任编辑:王成丽)