

黄慧君,王永平,李庆红. 2013. 洱海流域近 50 年气候变化特征及其对洱海水资源的影响. 气象, 39(4): 436-442.

洱海流域近 50 年气候变化特征及其对 洱海水资源的影响^{* 1}

黄慧君 王永平 李庆红

云南省大理州气象局, 大理 671000

提 要: 利用 1961—2010 年洱海流域的气候和洱海水资源等资料, 统计分析洱海流域气候变化特征及不同气候类型对洱海水资源量的影响, 并建立了洱海水资源量与洱海流域降水量、气温的定量关系, 对洱海水资源量进行定量估计。结果表明: 近 50 年洱海流域气温呈波动上升趋势, 气候变暖明显; 21 世纪的第一个 10 年是洱海流域近 50 年来最暖的 10 年。年降水量总体上呈减少趋势。洱海水资源量与年降水量之间有显著的正相关关系, 而与气温呈明显的负相关关系。洱海流域气候类型在 20 世纪 60 和 70 年代以偏冷和偏湿为主, 进入 80 年代后开始出现暖年, 特别是 21 世纪的第一个 10 年, 气候以偏暖 and 偏干为主, 未出现过偏冷年。在偏干和偏暖的年份洱海水资源均为枯水年; 而偏湿和偏冷的年份洱海水资源多为丰水年; 气候正常的年份, 洱海水资源多为正常。可根据洱海流域未来气候趋势的预测结果, 分别通过气候类型及回归预测方程对洱海水资源的丰欠作定性的估计和定量的预测。

关键词: 洱海流域, 气候变化, 水资源

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.04.005

Climatic Characteristics over Erhai Lake Basin in the Late 50 Years and the Impact on Water Resources of Erhai Lake

HUANG Huijun WANG Yongping LI Qinghong

Meteorological Bureau of Dali Prefecture of Yunnan Province, Dali 671000

Abstract: On the basis of the climatic and water resource records in the recent 50 years (1961—2010) over the Erhai Lake Basin, the climatic characteristics and the impact on water resources by different climate types are analyzed, and the relationship between water resources and basin rainfall, temperature are addressed to quantitatively estimate the water resources of Erhai Lake. The results suggest that the temperature of the Erhai Lake Basin in the 50 years shows an increasing tendency with fluctuation and climate is warming obviously. The first decade of the 21st century is the warmest in the recent 50 years in the Erhai Lake Basin. The annual rainfall shows a tendency to decrease in general. The water resources of Erhai Lake have a remarkable positive correlation with the annual rainfall, but significantly negative with temperature. The climate was mainly cold and wet in the 1960s and 1970s in the Erhai Lake Basin, but getting warm after into 1980s and especially warm and dry in the first decade into the 21st century. The Erhai Lake water resources are in dry year when it is warm-dry year, but in humid year when cold-wet, and in normal year when the climate is normal. According to the prediction of future climate in Erhai Lake Basin and through the climatic type calculated by regression equation of climate forecast, the water resources can be estimated qualitatively and forecasted quantitatively whether it is dry year or humid year.

* 大理州科技项目资助

2012 年 3 月 12 日收稿; 2012 年 7 月 26 日收修定稿

第一作者: 黄慧君, 主要从事天气气候预报及研究. Email: hhj948@sohu.com

Key words: Erhai Lake Basin, climate variation, water resource

引言

随着全球气候变暖,气温升高,海平面上升,极端天气气候事件频繁发生,对水资源产生不可忽视的影响。经济社会的不断发展和人们对水需求量的不断增大,水资源的短缺已成为当今世界性的问题。因此,气候变化对水资源的影响及评估已成为政府部门和科学界普遍关心的热点问题(张建云等,2007;周玉国等,2010;谭方颖等,2010;李聪等,2012;李辑,2010;段长春等,2011;白莹莹等,2010)。近年来,许多研究者在气候变化对水资源的影响方面做过大量有意义的研究,如范广洲等(2001;2001)分析了华北地区水资源特征及其对气候变化的响应;丁相毅等(2002)分析了气候变化对海河流域水资源的影响及其对策;胡汝骥等(2010)分析了新疆水资源对气候变化的响应;马荣田等(2007)分析了晋中近49年气候变化特征对水资源的影响;唐丽莉等(2007)和王录仓等(2010)等分别分析了兰江流域、黑河流域近期气候变化及对水资源的影响;郝立生等(2009)分析了气候变化与海河流域地表水资源量的关系;陶辉等(2009)分析探讨了45年来塔里木河流域气候变化对径流量的影响;黄玉霞等(2008)分析了气候变化和人类活动对石羊河流域水资源影响;邓慧平等(2000a, 2000b)分析了气候变化对莱州湾水资源脆弱性的影响及气候波动对莱州湾水资源及极端旱涝事件的影响等,得出许多有益的成果。

洱海是云贵高原上的一颗明珠,是云南省第二大淡水湖泊,集工农业用水、水上航运、城市供水、发电、水产养殖、调节气候和风景旅游等多功能于一身,在大理州经济可持续发展战略中占有非常重要的地位。近年来,随着社会经济的快速发展,洱海的水资源短缺及环境保护等问题日趋突出。目前一些研究者在洱海水资源变化与预测方面做过有意义的研究,如王永平等(2006)对洱海入水量与降雨量关系进行了定性讨论,建立了用降雨量估计入水量的定量关系。王祖兴等(2005)对流域内降雨量和旱涝气候变化及其对洱海水资源的影响进行了分析研究。这些研究成果对认识洱海水资源及洱海流域降水量及其影响具有非常重要的作用。但这些研究主

要考虑了气候要素中降水对水资源量的影响,实际上水资源量的变化除了与降水量关系密切外,与气温的变化也很密切。气温升高,植物和土地蒸发加大,作物耗水增多,水资源必然发生变化(郝立生等,2010)。随着全球气候变暖,气温对水资源量的影响也在加大,而同时考虑降水和气温对洱海水资源影响的文章尚不多见。本文利用近50年洱海流域的气候和洱海水资源等资料,对气温、降水的变化特征以及由其引发的洱海水资源量的变化进行统计分析,并分析了洱海流域的不同气候类型对洱海水资源的影响;建立水资源量与洱海流域降水量、气温的定量关系,对洱海水资源量进行定量预测,为合理利用及保护洱海水资源提供科学依据,使有限的水资源发挥更大效益。

1 洱海湖泊概况及资料

洱海位于 $25^{\circ}35' \sim 25^{\circ}58' \text{N}$ 、 $100^{\circ}05' \sim 100^{\circ}17' \text{E}$,地处滇西澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭,属澜沧江水系。据最新洱海数字化水下地形测量,以最高法定水位海防高程1974.31 m(85高程1966.00 m)计,其湖面面积为 252.91 km^2 。洱海北起洱源县江尾乡,南止于大理市下关,南北湖长42 km,东西宽4~9 km;最大水深21.3 m,平均水深10.6 m,湖容量达27.94亿 m^3 ,主要水源来自大气降水形成的径流。随着气候变化、城镇化建设发展、人口的激增及洱海流域生态环境遭受破坏等因素的影响,洱海水资源逐渐减少,多数年份出现低水位运行,水量不足,水环境问题突出。

本文选用的资料:(1)根据洱海流域的范围,选择流域内大理和洱源气象站的气温和降水资料作气候变化分析。(2)洱海水资源量用洱海的净入水量,该资料来源于大理市洱海保护管理局水资源管理所。气候资料和水资源资料时间均从1961—2010年。季节划分是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。

2 洱海流域气候变化特征

气候变化中最主要的因素是气温和降水量的变化,对水资源影响最大的因素也是降水量的多少和

气温的高低。

2.1 气温变化特征

洱海流域历年平均气温为 14.6°C ，其中上游洱源为 14.2°C ，湖区大理为 14.9°C 。从图 1a 可以看出，近 50 年来洱海流域年平均气温呈逐渐变暖趋

势。20 世纪 60—70 年代为偏冷时期，80 年代中期以后冷暖变幅增大，90 年代后期气温呈明显上升趋势。年平均最高气温为 15.5°C ，出现在 2005 年；最低为 13.9°C ，出现在 1992 年，年平均气温变幅为 2.6°C 。年内最热月 6 月，平均气温为 20.0°C ，最冷月 1 月为 7.8°C (图 1b)。

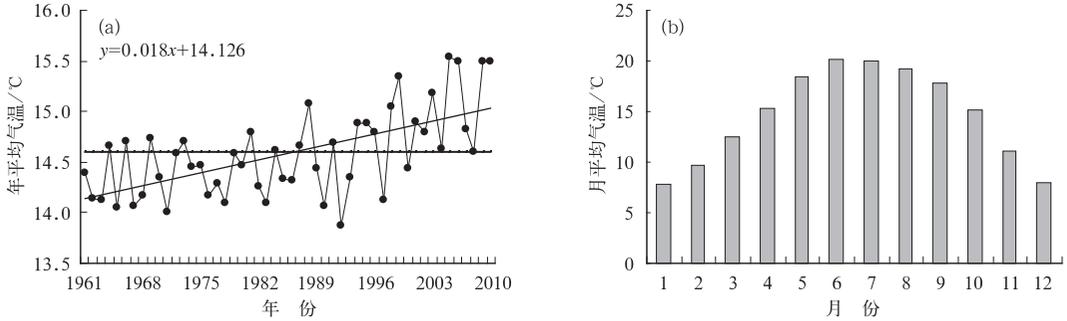


图 1 1961—2010 年洱海流域年平均气温变化曲线及线性趋势线(a)和月变化(b)

Fig. 1 (a) The change curve of annual mean temperature and its linear trend line in Erhai Lake Basin during 1961—2010, (b) the monthly average temperature from January to December

进一步分析洱海流域气温的季节变化特征(图 2)可知，春季平均气温 15.4°C ，夏季 19.8°C ，秋季 14.7°C 和冬季 8.5°C 。春、夏、秋和冬四季气温都

呈上升趋势，均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。其中春季的上升趋势最明显，其次是冬季，夏季最小。

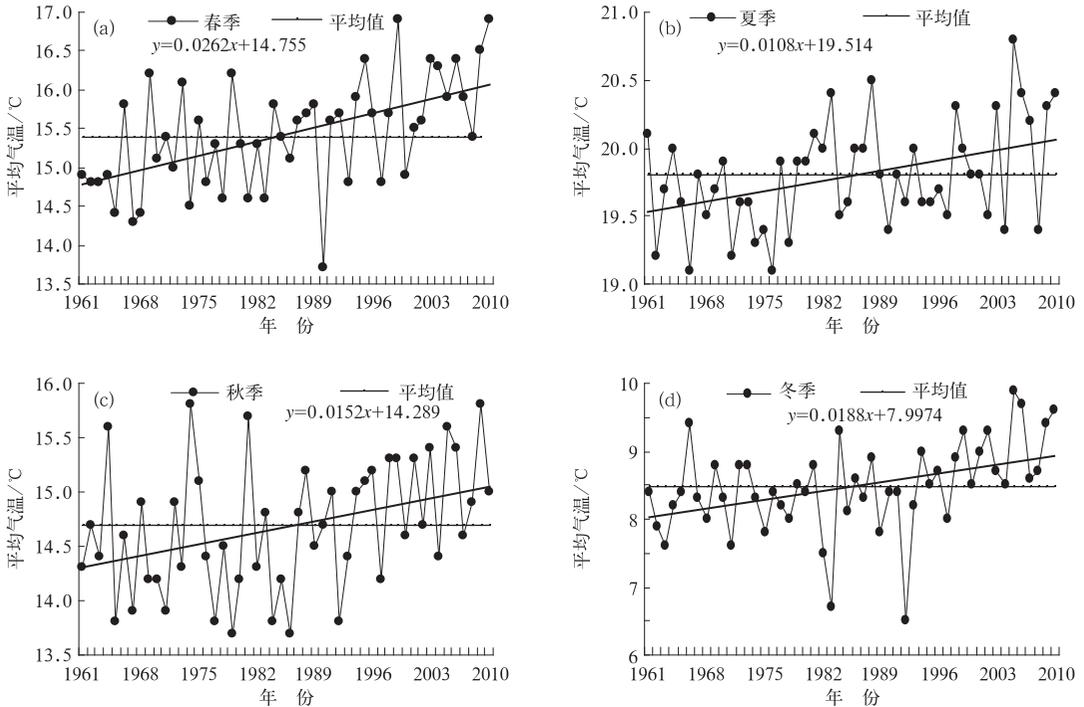


图 2 1961—2010 年洱海流域四季平均气温(折线)及线性趋势线(直线)

Fig. 2 The graph of the seasonal mean temperature [(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter] polyline and its linear trend (straight line) in Erhai Lake Basin during 1961—2010

2.2 降水变化特征

洱海流域年降水量的历年平均为 908.8 mm,其中上游洱源为 744.9 mm,湖区大理为 1072.5 mm。湖区降水量每年都比上游多。根据洱海流域年降水量年际变化及六阶主值函数趋势演变(图 3a),可将洱海流域年降水量的变化大致分为 4 个时段:第一时段(1961—1973 年)为偏多时段,该时段降水量平均为 974.6 mm,较历年平均值偏多 65.8 mm,13 年有 8 年在平均值以上。第二时段(1974—1994 年)为偏少时段,该时段平均为 865.1 mm,较历年平均

偏少 43.7 mm,21 年中有 12 年在平均值以下。第三时段(1995—2002 年)为略微偏多且变幅相对较小时段。第四时段(2003—2010 年)降水量平均为 776.0 mm,较历年平均值偏少 122.8 mm,为明显偏少时段,8 年中有 6 年在平均值以下。年降水量最多为 1239.8 mm,出现在 1966 年;最少只有 592.4 mm,出现在 1982 年,变幅达 647.4 mm。年内受季风气候影响,干湿季分明。降水量主要集中在 5—10 月(即汛期、湿季),汛期降水量占全年降水量的 88%,11—4 月为干季,降水量只占全年降水量的 12%。年内降水高峰月出现在 8 月(图 3b)。

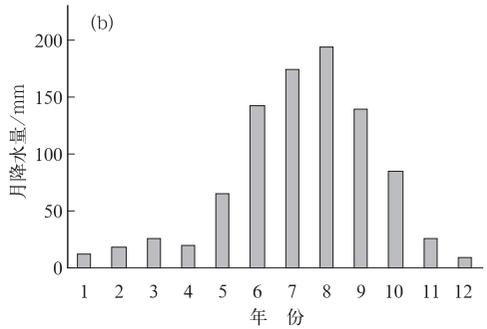
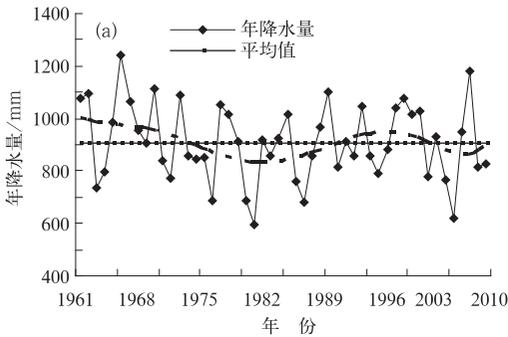


图 3 洱海流域年降水量年际变化(实线)及六阶主值函数趋势(虚线)(a)和月变化(b)
 Fig. 3 (a) The change of the annual average precipitation (solid line) and six step principal value function (dashed line) in Erhai Lake Basin;
 (b) the monthly average precipitation in Erhai Lake Basin

3 气候变化对洱海水资源的影响

3.1 气温、降水变化对水资源的影响

洱海水资源量 1961—2010 年平均为 7.874 亿 m^3 ,但年际变化大,最丰沛的是 1966 年达 18 亿 m^3 ,而最少是 1982 年仅有 1.72 亿 m^3 ,两者相差超过 10 倍。从 1961—2010 年洱海水资源量及六阶主值函数趋势图(图 4)上可以看出,洱海水资源量的变化和年降水量的变化趋势基本一致。可分为 4 个时段:1961—1973 年为水资源量偏多时段,1974—1994 年为偏少时段,1995—2002 年为变幅相对较小时段,2003—2010 年为明显偏少时段。

从洱海流域近 50 年年平均气温、年降水量及洱海水资源量年代际变化可以看出(表 1),洱海流域年平均气温的年代际变化呈上升趋势,20 世纪 60

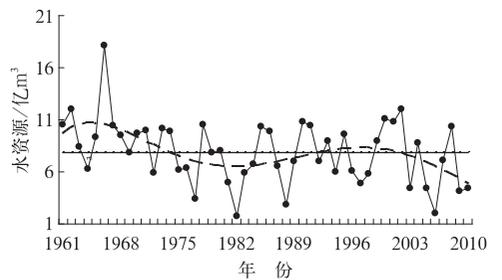


图 4 1961—2010 年洱海水资源量(点划线)及六阶主值函数趋势(虚线)

Fig. 4 The change of water resource amount in Erhai Lake (dotted line) and six step principal value function (dashed line) from 1960 to 2010

年代最低,21 世纪的第一个 10 年最高,1960—1990 年的 40 年增温率均为 $0.1^{\circ}C \cdot (10 a)^{-1}$,而 2001—2010 年增温率为 $0.5^{\circ}C \cdot (10 a)^{-1}$,是洱海流域近 50 年来最暖的 10 年。近 50 年洱海流域年降水量 20 世纪 60 年代最多,80 年代最少,60—80 年代是

表 1 洱海流域近 50 年年平均气温、年降水量及洱海水资源量年代际变化

Table 1 The changes of annual mean temperature, annual average precipitation and water resource amount over Erhai Lake Basin in the past 50 years

	20 世纪 60 年代	20 世纪 70 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代	2001—2010 年	多年平均值	21 世纪第一个 10 年 与多年平均差
年平均气温/℃	14.3	14.4	14.5	14.6	15.1	14.6	+0.5
年降水量/mm	997.3	892.1	826.3	937.2	890.6	908.7	-18.1
水资源量/亿 m ³	10.21	7.83	6.59	7.90	6.83	7.87	-1.04

逐年代减少,90 年代增多,21 世纪的第一个 10 年又呈减少趋势。水资源量的变化和降水量基本一致,20 世纪 60 年代最多,70 和 80 年代呈减少趋势,80 年代最少,90 年代有所增加,进入 21 世纪后明显减少,较历年平均值偏少 1.244 亿 m³。

从洱海水资源与洱海流域年降水量和年气温的对应变化图上可以看出(图略),降水偏多年水资源较多,降水偏少年水资源也偏少,两条曲线起伏变化非常一致,都在波动中呈减少趋势,水资源的减少趋势更明显。而气温变化趋势与水资源的变化相反,在波动中逐渐升高,一般气温偏高年水资源偏少,气温偏低年水资源偏多,洱海水资源随着气候变暖而减少。将洱海水资源量分别与年降水量和年平均气温进行相关分析,可得到与年降水量的相关系数为 0.860,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验,表明洱海水资源量的变化与年降水量有显著的正相关关系。与年平均气温的相关系数为 -0.385,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,表明水资源量变化与气温有较好的负相关性。

3.2 洱海流域气候类型和水资源量的关系

用大理、洱源两站平均年气温距平和年降水量距平百分率作为划分洱海流域气候类型的指标,年气温距平低于或等于 -0.3°C 为偏冷年,高于或等于 $+0.3^{\circ}\text{C}$ 为偏暖年,距平在 ± 0.3 以内的属于正常年。50 年中有偏冷年 17 年占 34%;偏暖年 11 年占 22%,正常 22 年占 44%。年降水量距平百分率大于或等于 +10% 为偏湿年,而小于或等于 -10% 为偏干年,距平百分率在 $\pm 10\%$ 以内的属于正常年。50 年中有偏湿年 16 年占 32%;偏干年 14 年占 28%,正常 20 年占 40%。在偏干年中如果气温正常则该年为干年;如果气温偏暖或偏冷时,则该年为暖干或冷干年;而在偏湿年中,如果气温正常则该年为湿年,如偏暖或偏冷年时,则该年为暖湿或冷湿年。同样,在偏暖年中,如果降水量为正常,则该年

为暖年,如果降水量为偏湿或偏干,则该年为暖湿或暖干年;而在偏冷年中,如果降水量为正常,则该年为冷年;如果降水量为偏湿或偏干,则该年为冷湿或冷干年。当气温距平和降水量距平百分率都属正常时为正常年。照这个标准,可将洱海流域的气候类型划分为干(G)、湿(S)、冷(L)、暖(N)、暖湿(NS)、暖干(NG)、冷湿(LS)、冷干(LG)和正常(ZC)9 种类型。将逐年划分结果按年代列于表 2,从表 2 可以看出:20 世纪 60 和 70 年代气候以偏冷和偏湿为主,20 年中有 12 年为冷、湿和冷湿,4 年正常、2 年干和 2 年冷干,未出现过偏暖年。进入 80 年代后开始出现偏暖年,且随着年代的增加有增多趋势,80 年代出现 1 年暖干;90 年代出现 2 年暖年和 2 年暖湿年;21 世纪的第一个 10 年,气候以偏暖、偏干为主,10 年中有 5 年为暖或暖干,未出现过偏冷年。

将洱海水资源量的距平百分率在 $\pm 20\%$ 以内为正常年,小于或等于 -20% 为枯水年,大于或等于 $+20\%$ 为丰水年,则出现的概率分别为 28%、34% 和 38%。洱海流域历年气候类型及与水资源的对应列于表 3,由表 3 可以看出,丰水年在 20 世纪 60 年代出现最多,达 6 年,70 年代有 4 年,80 年代到 21 世纪的第一个 10 年每个年代丰水年分别都只出现 3 年。而枯水年随着年代的增加而增加,20 世纪 60 年代仅有 1 年,70 年代有 3 年,80 和 90 年代分别都有 4 年,21 世纪的第一个 10 年枯水年多达 5 年。从表 3 中还可以得到,在 14 个偏干年中有 12 年洱海水资源为枯水年,占 85.7%,2 年正常年,未出现丰水年;16 年偏湿年中有 14 年洱海水资源为丰水年,占 87.5%,2 年正常年,未出现枯水年;8 年偏冷年中有 4 年丰水年,占 50%,3 年为正常年,只有 1 年为枯水年;3 年暖年均为枯水年,占 100%;9 年正常年中有 6 年洱海水资源为正常年,占 67%。可见偏干和偏暖的年份洱海水资源均为枯水年,未出现丰水年;而偏湿和偏冷的年份洱海水资源多为丰水年,气候正常的年份,洱海水资源多为正常。

表 2 1961—2010 年洱海流域不同气候类型出现的年数

Table 2 The years of different climate types seen in Erhai Lake Basin during 1961—2010

	干	冷干	暖干	湿	冷湿	暖湿	冷	暖	正常
20 世纪 60 年代	1	1	0	3	2	0	2	0	1
20 世纪 70 年代	1	1	0	2	1	0	2	0	3
20 世纪 80 年代	2	1	1	0	1	0	3	0	2
20 世纪 90 年代	0	2	0	2	0	2	1	2	1
2001—2010 年	0	0	4	2	0	1	0	1	2
合计	4	5	5	9	4	3	8	3	9

表 3 1961—2010 年洱海流域逐年气候类型及其水资源概况

Table 3 The annual climate types and water resource situation in Erhai Lake Basin during 1961—2010

年份	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
类型	S	LS	LG	G	L	S	LS	L	ZC	S
水资源	丰水	丰水	正常	枯水	正常	丰水	丰水	丰水	正常	丰水
年份	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
类型	L	G	S	ZC	ZC	L	LG	LS	S	ZC
水资源	丰水	枯水	丰水	丰水	枯水	正常	枯水	丰水	正常	正常
年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
类型	G	LG	L	ZC	L	LS	G	NG	ZC	L
水资源	枯水	枯水	枯水	正常	丰水	丰水	正常	枯水	正常	丰水
年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
类型	S	LG	L	N	NS	ZC	LG	N	NS	S
水资源	丰水	正常	正常	枯水	丰水	枯水	枯水	枯水	正常	丰水
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
类型	NS	S	NG	ZC	NG	NG	ZC	S	NG	N
水资源	丰水	丰水	枯水	正常	枯水	枯水	正常	丰水	枯水	枯水

4 气温和降水量对洱海水资源量影响的预测

为了定量地估计降水量和年平均气温对洱海水资源量的影响,利用 1961—2007 年的资料,建立了洱海水资源量与洱海流域年降水量及年平均气温的二元回归预测方程(黄嘉佑,2000):

$$Y = 9.223 + 0.18057x_1 - 1.2102x_2$$

式中, Y 为洱海水资源量, x_1 为洱海流域年降水量, x_2 为年平均气温。复相关系数 R 为 0.893。对回归效果进行检验,按下式计算 F 值:

$$F = \frac{R^2/p}{(1-R^2)/(n-p-1)} = 86.25$$

查分子自由度 2,分母自由度 $47-2-1=44$ 的 F 检验表,当 $\alpha=0.01$ 时, $F_\alpha=5.1$, $F > F_\alpha$ 。因此,上述预报方程通过了 $\alpha=0.01$ 的回归显著性检验。

我们用 2008—2010 年的年降水量和年平均气温,通过该方程对 3 年的洱海水资源量进行了试报,将预报结果和实况列于表 4,从表 4 可以看出,2008 年为丰水年、2009 和 2010 年为枯水年的趋势预报

正确,只是 2008 年水资源量预报值比实况值偏多程度更大。

因此,可以根据洱海流域未来年降水量和年平均气温趋势的预测结果,分别利用气候类型及回归方程对洱海水资源量的丰欠作定性的估计和定量的预测,为洱海水资源的调度提供科学决策依据。

表 4 洱海流域 2008—2010 年水资源量
预报与实况表(单位:亿 m^3)

Table 4 The predicted water resource amount and the measured amount in Erhai Lake Basin during 2008—2010 (unit: $10^8 m^3$)

年份	预报	实况	误差
2008	12.873	10.323	2.550
2009	5.1481	4.1507	0.9973
2010	5.3731	4.3902	0.9829

5 结论与讨论

(1)近 50 年洱海流域气候在波动中趋于变暖。气温呈波动上升趋势,增温趋势平均为 $0.2^\circ C \cdot (10 a)^{-1}$,年气温和冬、春季气温增暖更明显。21 世纪第一个 10 年是洱海流域近 50 年来最暖的 10 年。

洱海流域年降水量总体上呈减少趋势,1961—1973年属偏多时段,1974—1994年为偏少时段,1995—2002年为略微偏多且变幅相对较小时段,2003—2010年为偏少明显时段,8年中只有2年在平均值以上。

(2)对应气候变化,近50年洱海水资源量在波动中呈减少趋势,20世纪60—70年代水资源量比较多,1981—1998年为偏少期,1999—2002年持续偏多4年后,又进入偏少时段。降水偏多年水资源较多,降水偏少年水资源也偏少;而气温偏低年水资源偏多,气温偏高年水资源偏少,洱海水资源随着气候变暖而减少。

(3)洱海流域气候类型在20世纪60和70年代气候以偏冷和偏湿为主,20年中未出现暖年。进入80年代后开始出现暖年,特别是进入21世纪的第一个10年,气候以偏暖和偏干为主,未出现过偏冷年;在偏干和偏暖的年份洱海水资源均为枯水年;而在偏湿和偏冷的年份洱海水资源多为丰水年,未出现过枯水年;气候正常的年份,洱海水资源多为正常。可通过洱海流域气候类型对洱海水资源的丰欠作定性估计。

(4)洱海水资源量的变化与年降水量有显著的正相关,而与气温有明显的负相关,可利用回归预测方程对洱海水资源进行定量的预测。

(5)本文仅仅分析了洱海流域年降水量和年平均气温变化对洱海水资源量的影响,而没有对各季和各月的情况进行分析,这需要在今后做更为细致、深入的研究以及分析方法的进一步改进。

参考文献

白莹莹,高阳华,张焱,等.2010.气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响.气象,36(9):47-54.
 邓慧平,李爱贞,刘厚风,等.2000a.气候波动对莱州湾地区水资源及极端旱涝事件的影响.地理科学,20(1):56-60.
 邓慧平,刘厚风,李爱贞.2000b.气候变化对莱州湾地区水资源脆弱性的影响.土壤与环境,9(1):81-83.

丁相毅,贾仰文,王浩,等.2010.气候变化对海河流域水资源的影响及其对策.自然资源学报,25(4):604-613.
 段长春,段旭,段苏芬等.2011.近50年云南省降雪的气候变化特征.气象,37(5):599-606.
 范广洲,吕世化,程国栋.2001.华北地区夏季水资源特征分析及其对气候变化的响应(I)近40年华北地区夏季水资源特征分析.高原气象,20(4):421-428.
 范广洲,吕世化,程国栋.2002.华北地区夏季水资源特征分析及其对气候变化的响应(II)华北地区夏季水量丰、枯与气候变化的关系.高原气象,21(1):45-51.
 郝立生,闵锦忠,刘克岩.2010.气候变化对河北省水资源总量的影响.河北师范大学学报(自然科学版),34(4):491-496.
 郝立生,姚学祥,只德国.2009.气候变化与海河流域地表水资源量的关系.海河水利,(2):1-4.
 胡汝骥,马虹,樊自立,等.2002.新疆水资源对气候变化的响应.自然资源学报,17(1):22-27.
 黄嘉佑.2000.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,24-51.
 黄玉霞,王宝鉴,张强,等.2008.气候变化和人类活动对石羊河流域水资源影响评价.高原气象,27(4):866-872.
 康丽莉,顾俊强,樊高峰.2007.兰江流域近43年气候变化及对水资源的影响.气象,33(2):70-75.
 李聪,肖子牛,张晓玲.2012.近60年中国不同区域降水的气候变化特征.气象,38(4):419-424.
 李辑,严晓瑜,王颖.2010.辽宁省近50年霜的气候变化特征.气象,36(11):38-45.
 马荣田,周雅清,朱俊峰,等.2007.晋中近49年气候变化特征及对水资源的影响.气象,33(1):107-111.
 谭方颖,王建林,宋迎波.2010.华北平原近45年气候变化特征分析.气象,36(5):40-45.
 陶辉,毛伟峰,白云岗,等.2009.45年来塔里木河流域气候变化对径流量的影响研究.高原气象,28(4):854-860.
 王录仓,张晓玉.2010.黑河流域近期气候变化对水资源的影响分析.干旱区资源与环境,24(4):60-65.
 王永平,黄慧君,李庆红.2006.洱海净入水量与降雨量关系分析.大理科技,(1):34-38.
 王祖兴,黄慧君.2005.洱海流域降雨量及旱涝变化对洱海水资源的影响.大理科技,(2):34-39.
 张建云,王国庆.气候变化对水资源影响研究.北京:科学出版社,2007.
 周玉国,杨北桥,马文波.2010.宁夏气候变化与水资源的可持续利用.宁夏农林科技,(2):70-71.