doi:10.11988/ckyyb.20160518 2017,34(8):6-10,17

昆明市水资源短缺空间格局综合分析

刘佳旭[1,2],李九一[1],李丽娟[1],王志勇[1,2],陈素景[1,2]
(1.中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室,北京 100101;
2.中国科学院大学 资源与环境学院,北京 100049)

摘 要:水资源短缺是影响昆明市区域经济高速、稳定发展的核心问题之一。依据2001—2012年《昆明市水资源公报》数据,采用基尼系数、人均水资源量、水资源开发利用率、水资源负载指数等方法分别对昆明市的水资源变化趋势、时空分布特征、匹配性、短缺格局进行分析。研究结果表明:昆明市人均水资源量不及云南省及全国平均水平,且内部差异明显,多年平均人均水资源量极值比高达10.78,最少的地区为主城四区(299 m^3/人);水资源量与GDP、人口匹配性较差,与耕地匹配性相对较好;昆明市水资源主要呈现出"南缺北丰"格局,且缺水地区数量不断增多,多数地区缺水等级逐渐加重。雨洪利用、多方面节水、跨区域调水、产业结构调整等是缓解昆明市水资源短缺的有效措施。

关键词:水资源匹配;水资源短缺;基尼系数;分布格局;昆明市
中图分类号:K903 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-5485(2017)08-0006-05

1 研究背景

水资源短缺问题已成为许多国家和地区发展的限制性因素[1-2]。中国的人均水资源量只占世界平均水平的1/4,在社会经济高速发展的背景下,我国水资源短缺与社会经济发展的矛盾已十分突出[3]。水土资源作为农业生产的核心要素,其在时空上的匹配程度对农业可持续发展至关重要[4-6]。目前,针对水资源短缺风险、水资源安全评价的研究较多,但是对水资源短缺格局识别的方法研究相对较少。

杨树滩等[7]利用模糊数学方法建立了一种水资源紧缺程度评价的指标体系。刘树芬等[8]通过人均供水量、人均水资源量、单位面积土地水资源量和万元GDP水资源量4个指标分别对我国、特别是云南省的水资源情况进行了地域性差异研究。李九一等[9]构建了水资源支撑指数(WSPI),探讨了我国210个水资源三级区以及省、县两级行政单元的水资源支撑能力空间格局。但是对于县、区一级别的较小尺度地区,尤其受到数据、地理条件、发展水平等方面的限制与差异,上述方法的应用尚具有一定的局限性。为对昆明市水资源丰缺程度进行判别,结合实际情况,本文从人均水资源量、开发率、负载指数3个方面进行综合分析,并从可持续发展的理念出发,探讨昆明市水资源与人口、耕地、经济发展水平的适宜性,以期为昆明市未来工农业发展、产业布局、规划提供有力支撑。

2 研究区概况

昆明市(经度为102°10′E— 103°40′E, 纬度为24°23′N —26°22′N)为云南省的政治、经济、文化、科技中心,是中国面向东盟的大都市。昆明地区属北亚热带-高原山地季风气候,由于受印度洋西南暖湿气流的影响,日照长、霜期短、年平均气温15 ℃,年均日照2 200 h左右,无霜期240 d以上。昆明市有11个县、市(区);其中经济发展核心地区主要有主城四区(简称四区)、安宁市、呈贡区,该3个地区人均GDP在昆明市排名前三,GDP之和占据昆明市总量的81.4%(2012年),人口占49.4%。经济核心区域水资源紧缺问题已经十分突出,识别其水资源的匹配特性、短缺格局具有重大的实际意义。

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

本研究所用的降水量、水资源量及水资源利用

收稿日期:2016-05-25;**修回日期**:2016-06-30
基金项目:国家科技重大专项项目(2013ZX07102-006-04)
作者简介:刘佳旭(1990-),男,辽宁铁岭人,博士研究生,研究方向为水文水资源,(电话)13269174320(电子信箱)liujx.12b@igsnrr.ac.cn。
通信作者:李丽娟(1961-),女,吉林吉林人,研究员,博士,主要从事水文与水资源研究,(电话)010-64889309(电子信箱)lilj@igsnrr.ac.cn。

数据摘录于 2001—2012 年《昆明市水资源公报》以及 2001—2012 年《云南省水资源公报》数据；土地、人口数据取自 2002—2013 年《昆明统计年鉴》。

3.2　研究方法

3.2.1　基尼系数

基尼系数(Gini Coefficient)是由意大利经济学家 Gini[10]在美国经济统计学家 Lorenz[11]提出的洛伦茨曲线(Lorenz Curve)基础上，经进一步深入研究后，提出的用于量化收入分配平均程度的指标。近些年，该指标被引入到水资源领域[12-13]，主要用于研究水资源与土地、GDP、人口等的匹配程度，计算原理与过程详见文献[12-13]。

基尼系数 G 的范围为 0~1。当 $G=0$ 时，水资源分配绝对平均，各地区水资源量没有差异；当 $G=1$ 时，水资源分布绝对不平均，所有水资源被一个地区完全占有。具体分级标准参考前人研究成果[14](见表 1)。

表 1　基尼系数评价标准

Table 1　Evaluation criteria of Gini coefficient

G 的取值	具体分级	G 的取值	具体分级
<0.2	高度平均	(0.4,0.6]	差距较大
[0.2,0.3]	比较平均	>0.6	差距悬殊
(0.3,0.4]	相对合理		

3.2.2　人均水资源占有量

人均水资源占有量最早由瑞典水文学家 Falkenmark[15]提出并使用。水利部水资源司根据我国的具体情况，综合联合国组织和国内外专家的意见，确定了我国水资源短缺评价的标准。该指标非常简单，且代表性强，得到了广泛的应用。

3.2.3　水资源开发利用率

Alcamo 等[16]在 Raskin 等[17]的基础上，用年均水资源量代替水资源可利用量，采用水资源开发利用量占年均水资源量的比例，即水资源开发利用率指标，评价全球尺度的水资源短缺问题，即

$$K_{ai}=\frac{R_u+G_w}{W}\quad 。\qquad (1)$$

式中：K_{ai}为水资源开发利用率(%)；W 为多年平均水资源量(亿 m^3)；R_u 为地表水开采量；G_w 为地下水开采量。

这种方法数据容易获取，在国内外得到了广泛的应用[15]。该指标直观地反映了区域水资源条件与社会经济用水需求之间的矛盾，能够代表区域水资源短缺程度。

3.2.4　水资源负载指数

水资源负载指数是基于水资源承载力的概念，通过分析区域水资源数量与人口、经济规模之间的关系[18]，表征水资源的开发强度和承载状态，可以显著区分研究单元之间的水资源短缺差异[19]。计算公式为

$$Z=\frac{K\sqrt{PG_w}}{W}\quad 。\qquad (2)$$

式中：Z 为水资源负载指数；P 为人口(万人)；G_w 为 GDP (亿元)；K 为与降水有关的系数，取值为

$$K=\begin{cases}1.0, & R\leqslant 200;\\ 1.0-0.1\times\dfrac{R-200}{200}, & 200<R\leqslant 400;\\ 0.9-0.2\times\dfrac{R-400}{400}, & 400<R\leqslant 800;\\ 0.7-0.2\times\dfrac{R-800}{800}, & 800<R\leqslant 1\,600;\\ 0.5, & R>1\,600。\end{cases}\qquad (3)$$

式中 R 为多年平均降水量。根据水资源负载指数高低，可以将区域水资源开发利用潜力进行分级。针对昆明市特点，选取人均水资源占有量、水资源开发利用率、水资源负载指数 3 个指标，分别从丰富程度、开发潜力、承载状态 3 个角度评价各县、区水资源短缺状况，揭示昆明市水资源短缺格局，各指标项及打分标准如表 2 所示。

4　昆明市水资源综合评价

4.1　水资源空间分布特征

从多年平均降水量(1956—2000 年)来看，降水量最小的为安宁市(863 mm)，其次为呈贡区

表 2　昆明市评价指标体系和评分标准

Table 2　Assessment index system and scoring criteria of water resources in Kunming city

丰富程度		开发潜力		承载状态		综合评价	
人均水资源量/(m^3·人$^{-1}$)	评价结果	水资源开发利用率/%	评价结果	水资源负载指数	评价结果	等权重得分	评价结果
<500	缺乏	>70	极低	>20	超载	[0,1)	缺水
[500,1 000)	较缺乏	(40,70]	低	(10,20]	临界超载	[1,2)	偏缺水
[1 000,1 700)	中等	(20,40]	中等	(5,10]	适度承载	[2,3)	基本平衡
[1 700,3 000)	较丰富	(10,20]	较高	(2,5]	条件可载	[3,4)	偏丰富
≥3 000	丰富	(5,10]	高	≤2	可载	[4,5]	丰富

(881 mm),降水量超过 1 000 mm 的有寻甸县(1 110 mm)和东川区(1 018 mm),其余 7 个地区降水量处于 900~1 000 mm 之间(图 1)。

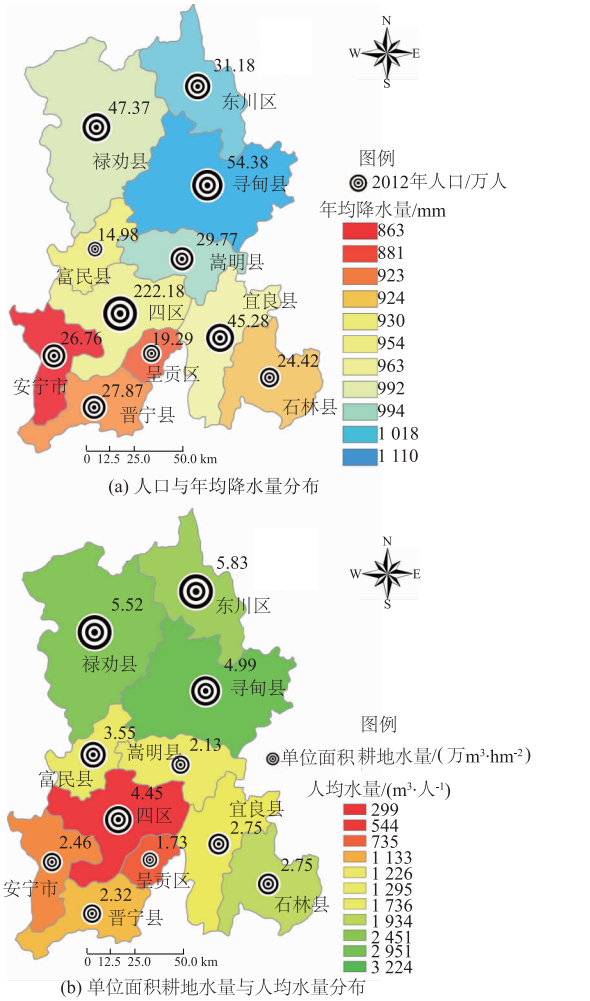


图 1 2012 年人口与年均降水量和单位面积耕地水量与人均水量分布

Fig.1 Spatial distributions of population in 2012 and average annual precipitation and water resources amount per unit area of cultivated land and water resources amount per capita

从人口分布看(图 1),2012 年人口最少的地区是富民县(14.98万人),其次为呈贡区(19.29万人),石林县、安宁市、晋宁县、嵩明县等 4 个地区人口处于 20 万~30 万人之间,东川区为31.18万人,宜良县、禄劝县、寻甸县人口处于 45 万~60 万人之间,人口最多的为四区(222.18万人);可见,年均降水量与人口分布匹配程度较差。用 2001—2012 年耕地面积和人口数量的平均值与多年平均水资源量(1956—2000 年)的关系来反映水资源与耕地、人口之间的关系。从单位面积耕地水量的角度来分析,最少的为呈贡区(1.73 万 m^3/hm^2),[2 万,4 万)m^3/hm^2的有 5 个地区,富民县为3.55万 m^3/hm^2,[4 万,5 万)m^3/hm^2的有2 个地区,超过 5 万 m^3/hm^2的有 2 个地区,其中东川区最大(5.83万 m^3/hm^2),年均单位耕地面积水资源量极值比为3.37,区域差异性较大。从多年平均人均水资源量角度来分析,四区最少(299 m^3/人),[500,1 000)m^3/人的有 2 个地区,[1 000,1 700)m^3/人的有 3 个地区,[1 700,3 000)m^3/人的有 4 个地区,高于 3 000 m^3/人的仅有寻甸县,人均水资源量极值比为10.78。可见,在昆明市范围内人均水资源量差异十分明显,人口相对集中,水资源分布无法与人口分布相匹配,导致局部地区人均水量甚少,可能会限制经济发展。

4.2 昆明市水资源匹配性分析

为更好地定量化研究昆明市水资源与 GDP、人口、耕地的匹配程度,本研究选择 Gini 系数法对其匹配性进行分析。从多年平均角度分析,GDP 的 Gini 系数为0.766,表明水资源与 GDP 匹配性属于差距悬殊等级;人口的 Gini 系数为0.452,表明水资源与人口的匹配性属于差距较大等级;耕地的 Gini 系数为0.205,属于比较平均等级。

在经济高速发展,人口迅速膨胀,耕地面积缓慢减少的背景下,由图 2 可以看出,GDP 的基尼系数最大(0.6~0.8),其次为人口(0.4~0.5),最小为耕地(0.2附近);GDP 指标在 2005 年发生跳跃上升后呈现较为平稳的下降趋势,主要原因是四区的 GDP 由 2004 年的199.16亿元增加为 2005 年的781.13亿元,增长率高达 292%,GDP 水平与增长率水平均远远高于其他地区,所以导致了 Gini 系数的跳跃现象;人口和耕地指标都比较平稳,变化不明显;人口的 Gini 系数趋势性不明显;耕地的 Gini 系数呈现缓慢下降趋势,从 2010 年开始低于0.2。在 2012 年,GDP 的 Gini 系数为 0.768,属于差距悬殊等级;人口的 Gini 系数为 0.460,属于差距较大等级;耕地的 Gini 系数为 0.194,属于高度平均等级;与多年平均情景下的各指标等级分布情况相似。

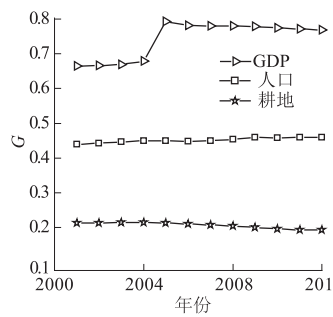


图 2 昆明市 GDP、人口、耕地的基尼系数随时间的变化曲线

Fig.2 Variations of Gini coefficients of GDP, population, and cultivated land with time in Kunming City

4.3 昆明市水资源短缺格局分析

4.3.1 单个指标评价

在 2012 年,从图 3(a)可以看出,水资源较丰富

水平仅有寻甸县,中等水平包括 3 个地区,较缺乏水平包括 4 个地区,缺乏水平包括 3 个地区(均为昆明市经济发展核心区);从水资源开发潜力(图 3(b))分析,开发潜力高的只有寻甸县,较高的有东川区和石林县,中等的有 4 个地区,较低的仅有宜良县,其余 3 个地区全部为开发潜力低;从水资源承载状态(图 3(c))分析,承载状态为可载的包括北部 3 个地区,适度承载包括中部和东南部 4 个地区,临界超载仅有晋宁县,超载包括南部 3 个地区。综合图 3 可知,四区、安宁市、呈贡区 3 个地区的各指标都处于最差等级,而寻甸县基本都处于较优等级,可以初步判定四区、安宁市、呈贡区水资源条件较差,短缺比较严重,而寻甸县水资源条件较优。

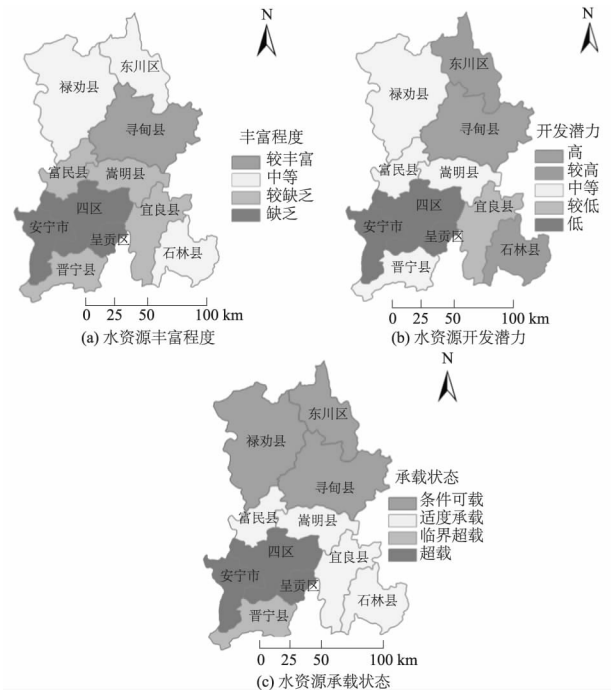


图 3　2012 年昆明市 3 个指标评价结果

Fig.3　Assessment results of 3 indexes in Kunming city in 2012

4.3.2　综合评价

通过综合考虑水资源丰富程度、开发潜力、承载状态 3 个指标,采用等权重法分析昆明市历年水资源格局变化情况,评判标准见表 2,现仅选择 2001 年、2007 年和 2012 年的情景来进行分析(图 4)。

在 2001 年,昆明市共有水资源丰富区 3 个,偏丰富区 5 个,基本平衡区 1 个,偏缺水区 2 个,尚无缺水区;在 2007 年,有丰富区 2 个,偏丰富区 4 个,基本平衡区 2 个,偏缺水区 1 个,缺水区 2 个;在 2012 年,有丰富区 1 个,偏丰富区 3 个,基本平衡区 4 个,缺水区 3 个;可见,在 2001—2012 年间,昆明市水资源短缺情况逐年严峻,缺水地区数量不断增

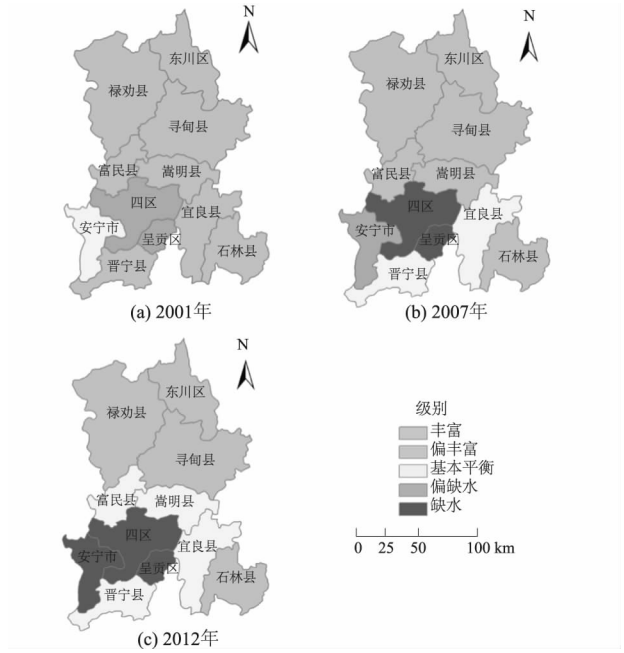


图 4　昆明市水资源短缺格局变化

Fig.4　Variations in spatial distributions of water resources shortage in Kunming city

多,缺水等级逐渐加重;各地区中,水资源短缺等级未发生变化的仅有石林县和寻甸县。从空间分布来看,历年缺水相对严重的地区主要分布在昆明市的南部,北部地区水资源相对丰富,东南部地区水资源条件相对稳定,变化不大。

5　结　论

(1) 从多年平均水平来看,昆明市核心发展区域(四区、呈贡区、安宁市)降水较少,人口集中,水资源较为匮乏,北部地区水资源相对丰富。多数地区降水量处于 900~1 000 mm 范围,2012 年,四区人口占据昆明市总人口的40.9%,多年平均人均水资源量仅为 299 m^3/人;昆明市总体水资源量不足,且内部差异明显,人均水资源量极值比高达10.78;多数地区人均水资源量低于云南省(3 627 m^3/人)及全国(2 100 m^3/人)平均水平,人口高度集中是局部地区水资源短缺的一个重要原因。

(2) 昆明市水资源与 GDP、人口匹配性较差,与耕地匹配性较好。从多年平均角度分析,水资源与 GDP 匹配性属于差距悬殊等级,与人口的匹配性属于差距较大等级,与耕地属于比较平均等级。水资源与 GDP 的 Gini 系数在 2005 年发生跳跃上升后呈现较为平稳的下降趋势,与人口和耕地的 Gini 系数都比较平稳,变化缓慢。

(3) 昆明市经济核心区缺水问题严重,昆明市整

体呈现“南缺北丰”格局。综合分析水资源丰富程度、开发潜力、承载状态 3 个指标,发现昆明市核心发展区均出现缺水问题,并且在 2001—2012 年间,缺水地区数量不断增多,多数地区缺水等级逐渐加重。

(4) 为缓解南部经济发达地区水资源紧缺问题,有必要采取雨水收集、利用技术,同时也要注重提高水资源利用效率,促进节水灌溉,倡导节约用水、计划用水;尝试从北部水资源丰富地区(如寻甸县)进行跨区域调水;或者重新规划产业布局,适当将高耗水、高用水产业向北部地区进行迁移。以满足昆明市日益增长的人畜用水需求、维持经济稳定发展、保障粮食产量、确保生态环境健康等多重目标。

参考文献:

[1] 刘昌明, 陈志恺.中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M].北京:中国水利水电出版社, 2001:42-43.

[2] 王 浩,秦大庸,王建华,等. 区域缺水状态的识别及其多维调控[J]. 资源科学,2003,25(6):2-7.

[3] 夏 军, TANNER T,任国玉,等. 气候变化对中国水资源影响的适应性评估与管理框架[J]. 气候变化研究进展,2008,4(4):215-219.

[4] 刘昌明,孙 睿. 水循环的生态学方面:土壤-植被-大气系统水分能量平衡研究进展[J]. 水科学进展,1999,10(3):251-259.

[5] 罗其友,唐华俊,姜文来. 农业水土资源高效持续配置战略[J]. 资源科学,2001, 23(2):42-45,57.

[6] 张 晶,封志明,杨艳昭. 宁夏平原县域农业水土资源平衡研究[J]. 干旱区资源与环境,2007, 21(2):60-65.

[7] 杨树滩,夏自强. 模糊数学在水资源紧缺程度评价中的应用研究[J]. 长江科学院院报,2005,22(1):25-27,56.

[8] 刘树芬,童绍玉. 云南省楚雄市水资源承载力评价[J]. 云南师范大学学报(自然科学版),2012,32(2):68-73.

[9] 李九一,李丽娟. 中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力[J]. 地理学报,2012, 67(3):410-419.

[10] GINI C. Variabilità E Mutabilità[M]. Bologna: Tipografia di Paolo Cuppini, 1912:35-36.

[11] LORENZ M O. Methods of Measuring the Concentration of Wealth[J]. Publications of the American Statistical Association, 1905, 9(70): 209-219.

[12] 吴宇哲,鲍海君. 区域基尼系数及其在区域水土资源匹配分析中的应用[J]. 水土保持学报,2003,17(5):123-125.

[13] 贾海峰,王相文. 基于多因子基尼系数的湖库允许纳污负荷分配[J]. 清华大学学报(自然科学版),2013,53(9):1277-1282.

[14] 王志江,胡日东. 关于用拟合曲线法求基尼系数有关问题的探讨[J]. 统计与决策,2006,(12):139-140.

[15] FALKENMARK M, WIDSTRAND C. Population and Water Resources: A Delicate Balance[J]. Population Bulletin, 1992, 47(3): 1-36.

[16] ALCAMO J, DOLL P, HENRICHS T, *et al*. Development and Testing of the Watergap 2 Global Model of Water Use and Availability[J]. Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques, 2003, 48(3): 317-338.

[17] RASKIN P, GLEICK P, KIRSHEN P, *et al*. Water Futures: Assessment of Long-Range Patterns and Problems. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World[M]. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 1997.

[18] 张 丹,封志明,刘登伟. 基于负载指数的中国水资源三级流域分区开发潜力评价[J]. 资源科学,2008,30(10):1471-1477.

[19] 孟丽红,叶志平,袁素芬,等. 江西省 2007—2011 年水资源生态足迹和生态承载力动态特征[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1):256-261.

(编辑:占学军)

Comprehensive Analysis on Spatial Pattern of Water Resources Shortage in Kunming City

LIU Jia-xu[1,2], LI Jiu-yi[1], LI Li-juan[1], WANG Zhi-yong[1,2], CHEN Su-jing[1,2]

(1.Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research under Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2.College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Water resources shortage is one of the core problems affecting the rapid growth and stability of economy in Kunming city. According to statistical data from *Kunming Water Resource Bulletins* from 2001 to 2012, the variation

(下转第 17 页)