

宜良县区域干旱风险分析

刘正伟, 张丽花

(云南省水文水资源局昆明分局, 云南 昆明 650051)

摘要:降水量是区域干旱评价的决定性因素之一。采用宜良县区域内 10 个雨量站近 33 年的实测资料序列,通过区域干旱风险模型、干旱缺水量模型的建立,对宜良县区域干旱风险及其区域干旱缺水量进行了分析。结果表明,宜良县区域受旱面积为 57.49% 时风险性最大,区域年平均缺水量为 $39\ 179.76 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

关键词:干旱风险; 缺水量; 模型; 宜良县

中图分类号: S423

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2015)05-0073-05

1 引言

干旱是指由水分的收与支或供与求不平衡形成的水分短缺现象。它除了直接影响农业、工业、交通等行业造成直接损失外,还可能引起河水断流、水库枯竭、湿地干枯、植被退化。2009 年以来,宜良县遭遇连续 5 年干旱,造成水资源持续减少,库塘蓄水锐减,给人们的生活和生产带来了极大的困难,已威胁人们的生存环境,阻碍了社会的发展。为此,开展宜良县干旱现象的分析研究十分迫切、重要。

近几年来,国内外利用风险分析的方法对水资源系统进行了大量的研究,取得了令人瞩目的成绩,风险分析理论已被大量地应用于水资源系统分析,如降水据平百分率、降水标准化变量、降水温度均一化指标、Z 指数、时段强度法、水分平衡法、K 指标、S 值法、标准降水指数、植被条件指数、干旱监测产品(DM)、综合气象干旱指数等^[1-7]。将风险分析理论科学合理地应用于宜良县区域干旱的分析研究,为区域内抗旱防旱、兴建水利灌溉措施提供决策依据,对区域内水资源的可持续利用和地方经济的可持续发展,有着十分重要的意义。

2 宜良县概述

宜良县位于云南省中部、昆明市东南,地处东经 $102^{\circ}58'22'' \sim 103^{\circ}28'05''$ 、北纬 $24^{\circ}30'36'' \sim 25^{\circ}17'02''$ 之间,东邻陆良、石林县,南接弥勒、华宁县,西与澄江、呈贡县及官渡区毗邻,北与嵩明、马龙县相连,县境南北最大纵距 85.3km,东西最大横距 51.5km,总面积

1 872.9km²。其中耕地面积 468km²,属云南省粮食主产区,素有“滇中粮仓”之称。

县境内地势北高南低、中部平缓,山脉多为东北至西南走向,海拔在 1 270~2 730m,山地较多,占总面积的 88%,盆地、谷地面积约占 11%,湖泊面积占 1%,主要河流有南盘江及其支流麦田河、獐子坝河、贾龙河、摆夷河、巴江。

宜良县处北温亚热带,气候温和,夏无酷暑,冬无严寒,四季常青;全县多年平均水资源总量为 $26.9087 \times 10^8 \text{m}^3$ (含过境水量),已建蓄、引、提水工程 581 件,总供水量 $2.8173 \times 10^8 \text{m}^3$,水资源开发利用率为 10.5%,水资源开发利用程度相对较低。境内降雨量年际变化大,年内分配不均,形成冬春易旱的特点,基本上三年一大旱,小旱几乎年年有,严重影响了广大人民群众的生存环境、阻碍了地方经济的发展。明朝以来,记录大旱灾害 39 次,其中明朝 6 次,清朝 14 次,民国时期 6 次,新中国成立以后 13 次^[5]。为了缓解宜良县干旱灾害,加强对宜良县干旱现象的分析研究异常迫切。

3 宜良县干旱风险分析模型的建立

3.1 区域干旱风险模型建立

3.1.1 区域干旱示性随机变量

从实际出发,定义地区月降水量 $x_h(m, k)$ 为干旱判定因素 ($h=1, 2, \dots, H; m=1, 2, \dots, 12; k=1, 2, \dots, c$),其中, H 是该区域内互不相关的子区域的测点总数, m 是月序编号, c 是所采集月降水量资料的年份数。定义

收稿日期: 2014-07-03

作者简介: 刘正伟(1977-),男,云南绥江人,高级工程师,从事水文水资源监测工作。E-mail: ynkmswjzlw@163.com

临界水准为 $f_h(m)$, 则

$$f_h(m) = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c x_h(m, k) \quad (1)$$

h 测点第 k 年第 m 月的点干旱示性变量为

$$\zeta_h(m, k) = \begin{cases} 1 & x_h(m, k) \leq f_h(m) \\ 0 & x_h(m, k) > f_h(m) \end{cases} \quad (2)$$

设 A 为区域总面积, a_h 为测点 h 所代表的有效面积, 则 H 个测点 t 时刻的加权平均示性变量为

$$\eta(t) = \sum_{h=1}^H \frac{a_h}{A} \zeta_h(t) \quad (3)$$

$\eta(t)$ 称为 t 时刻区域干旱示性变量。令

$$\eta = \sum_{t=t_0}^{t_e} \eta(t) = \sum_{i=1}^n \eta(i) \quad (4)$$

式中: t_0, t_e 分别为干旱的起讫时刻, 则称 $\frac{\eta}{n}$ 为区域干旱示性变量。

3.1.2 区域干旱示性随机变量分布

根据中心极限定理, 区域干旱示性变量满足复杂的林德贝格条件, 服从标准正态分布, 故区域干旱示性变量 $\eta_{\text{总}} = \frac{\eta}{n}$ 的分布为 $\eta_{\text{总}} \sim N\left(\frac{E\eta}{n}, \frac{V_{ar}\eta}{n}\right)$

其中, 数学期望为

$$E_{\eta} = \frac{1}{A} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^n a_h p_{ih} \quad (5)$$

方差为

$$V_{ar}\eta = \frac{1}{A^2} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^n a_h^2 p_{ih}(1-p_{ih}) \quad (6)$$

只有 12 个互不相同的估计值为

$$p_h(m) = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \zeta_h(m, i) \quad (7)$$

3.1.3 区域随机干旱率模拟

利用蒙特卡罗方法, 设 $c=10\ 000$, 生成 $[0, 1]$ 区间内 10 000 年的均匀分布随机数, 这些数据不是月降水量 $x_h(m, k)$, 而是月降水量对应的示性变量数据。以公式 (7) 中的 $p_h(m)$ 作为分点, 将 $[0, 1]$ 分成 $[0, p_h(m)]$ 和 $[p_h(m), 1]$ 两个区间。对于固定的 h, m , 总共生成 10 000 个随机数。让落在 $[0, p_h(m)]$ 区间中的随机数对应于 $\zeta_h(m, i)=1$, 让落在 $[p_h(m), 1]$ 区间中的随机数对应于 $\zeta_h(m, i)=0$, 这样就得到了示性变量 $\zeta_h(m, i)$ ($i=1, 2, \dots, 10\ 000$) 的模拟值。

由 $m=1, 2, \dots, 12$, 获得 $\zeta_h(m, i)$ 的 120 000 个模拟值。把示性变量 $\zeta_h(m, i)$ 改记为 $\zeta_h(j)$ ($j=1, 2, \dots,$

120 000), 再由 $h=1, 2, \dots, H$, 获得 $\zeta_h(j)$ 的 120 000 H 个模拟值。

由于 $\frac{\eta}{n}$ 是 $E\frac{\eta}{n}$ 的无偏估计, 在上述大量模拟数据的情况下, $\frac{\eta}{n}$ 也是 $E\frac{\eta}{n}$ 的足够精确的估计, 于是 $\frac{\eta}{n}$ 即为区域平均受旱风险

$$\begin{aligned} \eta_{\text{总}} &= \frac{\eta}{n} = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^n \frac{a_h}{A} \zeta_h(i) \\ &= \frac{1}{120000A} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^n a_h \zeta_h(i) \end{aligned} \quad (8)$$

3.2 区域干旱缺水模型建立

3.2.1 区域年缺水分布

定义临界水准 $f_h(m) = x_h(m) = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^c x_h(m, k)$ ($h=1, 2, \dots, H; m=1, 2, \dots, 12$)。由中心极限定理, 经分析, 区域年缺水 D 近似服从标准正态分布, 即

$$D \sim N\left(\sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^{12} a_h ED_h(m), \sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^{12} a_h^2 V_{ar} D_h(m)\right) \quad (9)$$

(a_h 为各子区域的面积值)

$$\text{其中 } ED_h(m) = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^c \zeta_h(m, k) [f_h(m) - x_h(m, k)] \quad (10)$$

$$V_{ar} D_h(m) = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^c \{\zeta_h(m, k) [f_h(m) - x_h(m, k)] - ED_h(m)\}^2 \quad (11)$$

3.2.2 区域年平均缺水随机模型

因实测资料年限较短, 近似量不好, 采用线性插值经验分布函数方法生成了 10 000 年的月降水量。

将实测值 $x_h(m, 1), x_h(m, 2), \dots, x_h(m, c)$, 按从小到大的顺序重排为 $x_h(m, (1)) \leq x_h(m, (2)) \leq \dots \leq x_h(m, (c))$ ($m=1, 2, \dots, 12; h=1, 2, \dots, H$), 可得经验分布函数, 在此基础上, 经分析, 采用相邻两点上方线性插值的方法, 构造出一个既满足已知实测数据, 又具有一一对应关系的分布函数如下:

$$F_c(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{1}{c} \frac{x}{x_h(m, (1))} & x \leq x_h(m, (1)) \\ \frac{k}{c} + \frac{1}{c} \frac{x - x_h(m, (k))}{x_h(m, (k+1)) - x_h(m, (k))} & x_h(m, (k)) < x \leq x_h(m, (k+1)) \\ 1 & x > x_h(m, (c)) \end{cases} \quad (12)$$

($k=1, 2, \dots, c-1$)

设 θ 服从 $[0, 1]$ 均匀分布。对分布函数 $F_c(x)$, 令

$$\zeta = F_c^{-1}(\theta) \quad (13)$$

$$P\{\zeta < x\} = P\{F_c^{-1}(\theta) < x\} = P\{\theta < F(x)\} = F(x) \quad (14)$$

因此 ζ 是服从分布函数 $F_c(x)$ 的随机变量。

故只需先生成 $[0, 1]$ 均匀分布随机数 $\theta_n (n=c+1, \dots, 10\ 000)$, 即可生成服从 $F_c(x)$ 的随机数 $x_h(m, n) (n=c+1, \dots, 10\ 000)$ 。与 θ 对应的随机数 $x_h(m, n)$ 由下式确定:

$$F_c(x_a) < \theta_n \leq F_c(x_b) \quad (15)$$

式中: $F_c(x)$ 为以上所构造函数对应的经验分布函数, 并且

$$x_a = x_h(m, (k)), x_b = x_h(m, (k+1)) \quad (16)$$

用以上方法可生成 10 000 年的月降水量, 则 10 000 年区域总缺水量为

$$D = \sum_{h=1}^H a_h \sum_{m=1}^{12} \sum_{k=1}^{10000} \zeta_h(m, k) [f_h(m, k) - x_h(m, k)] \quad (17)$$

则区域年均缺水量为 $D/10000$ 。

4 宜良县干旱风险和缺水分析应用

4.1 区域干旱风险计算分区

通过对宜良县各个地区的考察, 结合县境内现状雨量站点分布情况, 将宜良县划分为相对独立的 10 个

小区域, 即 $H=10$, 采用这 10 个区域内窑上、保功、月照、九乡、小兑冲、北羊街、白羊山、汤池、高古马、禄丰 10 个雨量站 1981~2013 年共 33 年 (即 $c=33$) 的月降水量资料序列为计算依据, 把整个宜良县看做一个总的区域, 分别进行计算。宜良县的总面积 $A=1\ 872.9\text{km}^2$, 10 个子区域的面积经量算结果见表 1。

4.2 区域干旱风险计算

4.2.1 区域干旱示性随机变量分布

如前述, 宜良县区域中 $H=10, c=33$ 。根据前述建立的区域干旱风险模型式 (7), 按 10 个子区域的的计算结果如表 2 所示。

根据表 2 数据和前述区域干旱风险模型式 (5)、(6), 经计算, 得区域干旱示性变量 $\eta_{\text{总}}$ 的分布参数如下:

$$\frac{E_{\eta_{\text{总}}}}{n} = 0.5750; \frac{V_{\eta_{\text{总}}}}{n} = 0.0332$$

则

$$\eta_{\text{总}} \sim N(0.5750, 0.0332)$$

其分布可用图 1 表示 (令最大干旱风险值为 1)。

图 1 中, 横坐标表示区域受旱的面积大小占总面积的百分比, 例如 50 表示受旱面积占区域总面积的 50%; 纵坐标表示受旱的风险大小。

表1 各子区面积值 (km²)
Table 1 The sub-area values (km²)

1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区	8 区	9 区	10 区
150.87	117.75	68.47	93.51	130.58	352.14	108.06	180.77	448.18	222.57

表2 干旱风险参数
Table 2 The drought risk parameters

子区	a_h/A	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
1	0.08	0.60	0.65	0.70	0.55	0.55	0.50
2	0.06	0.60	0.65	0.60	0.65	0.55	0.50
3	0.04	0.55	0.75	0.65	0.60	0.50	0.50
4	0.05	0.65	0.70	0.60	0.55	0.50	0.55
5	0.07	0.60	0.65	0.70	0.65	0.45	0.60
6	0.19	0.65	0.55	0.65	0.60	0.50	0.55
7	0.06	0.70	0.60	0.65	0.65	0.55	0.55
8	0.10	0.70	0.60	0.65	0.70	0.55	0.55
9	0.24	0.55	0.55	0.60	0.65	0.60	0.60
10	0.12	0.60	0.55	0.60	0.60	0.45	0.55
子区	a_h/A	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1	0.08	0.65	0.55	0.50	0.55	0.65	0.60
2	0.06	0.50	0.50	0.50	0.55	0.55	0.65
3	0.04	0.55	0.55	0.60	0.50	0.60	0.65
4	0.05	0.60	0.50	0.60	0.45	0.55	0.55
5	0.07	0.65	0.55	0.50	0.45	0.55	0.60
6	0.19	0.65	0.65	0.50	0.50	0.55	0.60
7	0.06	0.60	0.55	0.45	0.50	0.55	0.65
8	0.10	0.50	0.50	0.50	0.45	0.55	0.65
9	0.24	0.50	0.60	0.40	0.60	0.55	0.70
10	0.12	0.50	0.60	0.45	0.50	0.60	0.70

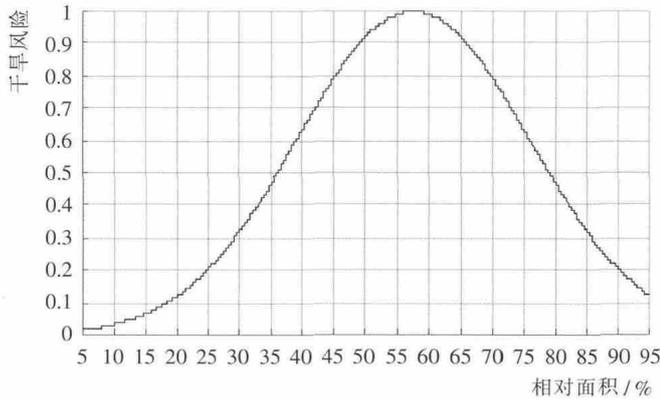


图1 宜良县受旱面积风险图

Fig. 1 The drought risk area in Yiliang county

从道理上来说,以上已经求出示性变量的分布,那么区域平均干旱率事实上是分布的理论数学期望。这一点从理论上来说是对的,但实际问题中会有差距。在对于固定的 m 中只用到了 c 个数据。众所周知,对于式(7)而言, c 越大(或者说 n 越大)估计精度就越高。随机模拟方法可以提供足够大的 c , 以保证得到足够精确的数学期望。下面采用生成系列数据的模拟方法,并用这些数据计算区域平均干旱风险,以提高区域干旱风险率的估算精度。

4.2.2 区域随机干旱率计算

利用蒙特卡罗法模拟的 10 000 年月降水量,其对应的示性变量数据是随机生成,所以用前述区域干旱风险模型式(8)进行了 10 次模拟,结果如表 3 所示。可以看出,结果已经相当稳定。

将各次所得结果进行平均得到区域平均受旱率为 0.5749,即 57.49%的面积受旱。可以看出,宜良县地区的受旱面积为 57.49%左右时风险性最大,所以抗旱防旱以此为标准风险性最小。

4.3 区域干旱缺水计算

4.3.1 区域年缺水分布

如前述,宜良县区域中 $H=10, c=33$ 。根据前述建立的区域干旱缺水模型式(10),对各区域各个月的计算结果如表 4 所示。

根据表 4 数据和前述区域干旱缺水模型式(9)、(11),计算得到

$$\sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^{12} a_h ED_h(m) = 39179.68 (10^4 m^3)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^{12} a_h^2 V_{ar} D_h(m) = 322505209.17 (10^4 m^3)$$

$$D \sim N(39179.68, 322505209.17)$$

表3 多次模拟值

Table 3 The simulation values

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
结果	0.5744	0.5757	0.5746	0.5747	0.5750	0.5759	0.5744	0.5750	0.5748	0.5746

表4 缺水参数(m³)

Table 4 The water shortage parameters(m³)

子区	a_h / km^2	1月	2月	3月	4月	5月	6月
1	150.87	5.82	4.89	7.38	7.10	22.96	39.72
2	117.75	7.13	6.80	9.92	8.49	27.62	33.60
3	68.47	6.18	8.76	10.35	9.94	25.26	31.25
4	93.51	7.50	6.90	8.90	9.93	24.84	29.22
5	130.58	7.63	8.47	10.26	9.89	23.99	33.25
6	352.14	7.43	7.47	9.09	9.01	23.33	33.08
7	108.06	8.35	6.74	8.12	6.93	22.56	41.71
8	180.77	7.21	6.87	9.32	8.79	21.70	33.75
9	448.18	6.78	6.69	8.73	8.71	23.60	30.11
10	222.57	5.63	6.82	9.14	6.87	21.75	23.13
子区	a_h / km^2	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	150.87	48.84	34.80	21.97	16.97	11.23	4.55
2	117.75	29.75	25.85	22.68	13.80	11.46	5.80
3	68.47	34.24	24.91	22.48	18.41	12.29	5.66
4	93.51	37.05	31.47	22.27	14.24	11.10	6.12
5	130.58	34.66	32.68	24.69	12.85	11.21	5.41
6	352.14	38.08	29.68	28.44	19.89	13.79	6.33
7	108.06	29.98	29.90	17.86	20.26	13.52	5.84
8	180.77	33.37	29.67	17.47	14.14	12.72	5.41
9	448.18	28.59	30.49	21.87	14.71	13.84	6.31
10	222.57	37.15	29.04	21.91	16.10	12.53	4.98

其分布可用图 2 表示(令最大风险值为 1)。

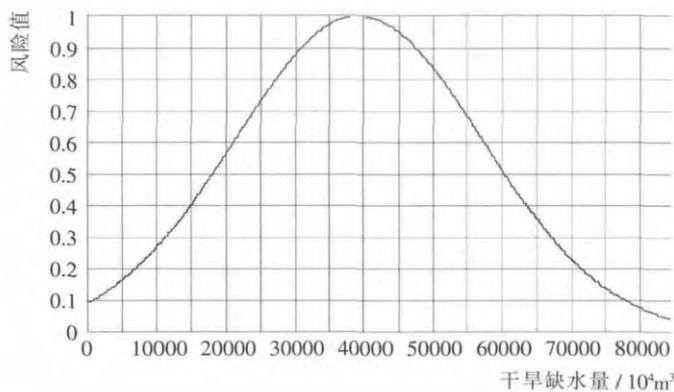


图 2 宜良县干旱缺水风险分析图

Fig. 2 Analysis of drought and water shortage risk in Yiliang county

4.3.2 区域年平均缺水量计算

本次采用的月降水量年数是 33 年,但近似量并不好,采用线性插值经验分布函数方法生成了 10 000 年的月降水量,再采用前述区域干旱缺水模型式(17)计算得到区域年平均缺水量为 $D=39\ 179.76 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

所以,修建水利灌溉措施,这是一个很重要的参考资料,有着很重要的参考价值。

5 结语

(1)将宜良县划分为 10 个区域,依据区域内雨量站点的实测资料,采用了示性随机变量的思想,经区域干旱风险模型、干旱缺水模型计算,分析得宜良县地区的受旱面积为 57.49%左右时风险性最大,即抗旱防旱以此标准风险性最小;并计算得宜良县区域年平均缺水量为 $39\ 179.76 \times 10^4 \text{m}^3$,可作为宜良县区域修建水利灌溉措施的重要参考依据。

(2)随着宜良县区域内新建雨量站点的增加,其干

旱风险和缺水量有待进一步研究。

(3)采用的区域干旱风险模型、干旱缺水模型的基础资料条件单一、简单,计算方便,对小区域干旱风险分析具有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] M.A.Santos. 区域干旱研究中的工程风险[M]. 北京:水利电力出版社, 1993. (M.A.Santos. Regional Drought Research in Engineering Risk [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1993. (in Chinese))
- [2] 张强. 三种干旱指标的比较和新指标的确定 [J]. 气象科技, 1998, (2):48-52. (ZHANG Qiang. Comparison of three kinds of drought indices and the identification of new targets[J]. Meteorological Science and Technology, 1998,(2):48-52. (in Chinese))
- [3] 曹之桦. 水文统计学[M]. 北京:水利电力出版社, 1991. (CAO Zhi-hua. Hydrological Statistics [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1991. (in Chinese))
- [4] 云南省水资源调查评价及保护规划项目办. 云南省水资源调查评价及保护规划阶段成果专辑[R]. 2003. (Office of Water Resources Investigation and Assessment and Conservation Planning Project of Yunnan Province. Investigation and assessment of water resources in Yunnan province and conservation planning phase results[R]. 2003. (in Chinese))
- [5] 宜良县水利局. 宜良县水利志[R]. 2000. (Water Resources Bureau of Yiliang County. Water conservancy records of Yiliang county[R]. 2000. (in Chinese))
- [6] Richard R, Heim Jr. 周跃武,冯健英译.美国 20 世纪干旱指数评述[J]. 干旱气象, 2006,24(1):79-89. (Richard R, Heim Jr. ZHOU Yuewu, FENG Jianying translation. United States review of 20th century drought indices[J]. Journal of Arid Meteorology, 2006,24(1): 79-89. (in Chinese))
- [7] 邹旭恺,任国玉,张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2010,15(4):371-378. (ZOU Xukai, REN Guoyu, ZHANG Qiang. Droughts variations in China based on a compound index of meteorological drought[J]. Climatic and Environmental Research, 2010,15(4):371-378. (in Chinese))

Analysis of Drought Risk in Yiliang County

LIU Zhengwei, ZHANG Lihua

(Kunming Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Kunming 650051, China)

Abstract: Precipitation is one of the decisive factors in regional drought evaluation. This paper adopted the observed data at the 10 stations in Yiliang County during recent to analyze drought risk and water shortage by using the local drought risk and water shortage model. The result shows that there is the maximum risk when the drought area reach 57.49% of the total area in Yiliang County, and local average annual water shortage is 391.7976 million m^3 .

Key words: drought risk; water shorage; model; Yiliang County;