

云南干旱的气候特征及变化趋势研究^{*}

彭贵芬¹, 刘 瑜², 张一平³

(1. 云南省气象台, 云南 昆明 650034; 2. 云南省气候中心, 云南 昆明 650034;
3. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

摘 要: 以 Thornthwaite 水分平衡干燥度指数为主和自定义的反映短期降水有效性和异常性特征的有效降水指数为辅构建单站干旱综合指数, 并定义了定量描述云南省受旱程度的干旱面积指数和干旱强度指数。采用变率和变差系数作为长期气候特征的定量指标, 用云南省 1959–2005 年的资料, 分 1–3 月、4–6 月上旬、6–8 月、9–10 月、11–12 月 5 个时段对云南省的干旱气候特征及变化趋势进行定量分析研究。结果表明: 云南 1–3 月干旱最严重, 平均每年有约 2/3 的土地受旱; 其次是 11–12 月, 有约 50% 的土地受旱; 再次是 4–6 月上旬, 有 22% 的土地受旱; 9–10 月干旱较轻, 有约 5% 的土地受旱; 6–8 月平均受旱面积不到 1%, 基本不受干旱的影响。云南 4–6 月上旬和 9–10 月这两个时段干旱有发展加重的气候变化趋势, 且 9–10 月加重的趋势更明显; 1–3 月干旱有减轻的趋势; 11–12 月和 6–8 月干旱变化趋势不明显。

关键词: 干旱; 气候特征; 变化; 综合指数; 云南

中图分类号: P468.0⁺24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–811X(2009)04–0040–05

伴随全球变化的日益加剧, 气候持续变暖, 各类极端天气事件频发, 天气气候异常变化对我国国民经济、人民生活、生活的影响日益增大, 造成的损失和影响不断加重。国、内外防灾减灾的重点已从直接救灾向灾害风险管理方向发展, 即通过实施有效的风险分析、评估和管理来降低灾害事件的风险。

干旱灾害的致灾因子是气象因子, 主要取决于一个地区的降水、气温、蒸发等。因此干旱致灾因子的风险分析主要通过对干旱气象因子分析来完成, 真实反映实际干旱情况的干旱气候风险分析, 是有效降低干旱灾害风险, 减少干旱灾害造成损失的关键。云南由于受西南季风控制, 加之地理位置和地形的作用, 大部分地区呈现四季不分明、干湿季明显的气候特征, 干旱造成的影响十分显著, 如 2005 年云南出现的有气象记录以来最为严重的春夏连旱^[1], 共造成农业经济损失 53 亿元、工业经济损失约 80 亿元, 因此亟待对于干旱气候特征进行分析。

在国内, 对于干旱的相关研究已有报道, 魏凤英^[2]利用月降水量与蒸发量之差的 Z 指数表征

干旱强度, 对西北地区的干旱气候变化进行了研究, 对陕西、甘肃、华北、江西、洞庭湖区、河南、华北等地区的干旱指数、气候特征、演变趋势已有深入的分析研究^[3–10], 彭贵芬等^[11]采用变率、变差系统等现代气候诊断方法对云南各量级雨日的气候特征及变化进行了研究, 陶云等^[12]分析了云南与初夏干旱相关的 4–5 月降水总量及平均气温的时空变化特征及其变化周期, 段旭等^[13]应用降水量资料, 研究了云南年、季旱涝时空变化特征, 但适用于低纬高原云南的综合干旱指数的建立及基于综合指数的干旱气候特征及变化的研究还未深入开展。

以 Thornthwaite 水分平衡干燥度指数为主和自定义的反映短期降水有效性特征和异常的有效降水指数为辅构建云南干旱综合指数, 采用变率和变差系数作为长期气候特征的定量指标, 对低纬高原云南干旱的气候特征进行分析研究, 以期得出量化的干旱气候特征和变化的结果, 为云南省的灾害防御规划制定、灾害监测、预警提供依据。

^{*} 收稿日期: 2009–06–08

基金项目: 中国气象局新技术推广应用项目(CMATG2005M39); 国家重点基础研究发展计划(国家 973 项目)(2003CB415101)

作者简介: 彭贵芬(1955–), 女, 云南昆明人, 高级工程师, 主要从事气象灾害研究. E-mail: gfpeng0725@163.com

1 综合干旱指数的构建

干旱是指因久晴无雨或少雨、土壤缺水、空气干燥而造成农作物枯死、人畜饮水不足等的灾害现象。为了进行干旱研究,首先需要定义一个定量反映干旱强度的指数。以降水与可能蒸散的对比关系作为水份平衡干燥度指数来进行干湿气候分析和气候变化的研究是国内外的发展趋势^[14], Thornthwaite 干燥度指数由于物理意义清楚、能用基本气象观测资料实时计算是近年来国内外干旱研究使用较多的一个指数。但针对云南的具体情况,仅用此指数研究干旱,对云南降水异常、短期有无干旱不敏感。因此本文以 Thornthwaite 水分平衡干燥度指数为主、自定义的反映短期降水有效性特征和异常的有效降水指数为辅构建云南干旱综合指数。这个指数计算出的结果既能进行地域间又能进行季节间比较,既能反映季节性干旱又能反映短期干旱,既能用于干旱气候分析又能用于实时干旱监测和评估。

1.1 Thornthwaite 干燥度指数

Thornthwaite 干燥度指数 dr_T 以最大蒸散量作为需水量,求降水量与需水量之差与需水量的比例来确定干旱程度,是一个基于水分平衡的干燥指数,在考虑降水量的同时,还考虑了气温。其计算式为:

$$dr_T = \frac{P - e}{e}, \tag{1}$$

式中: P 为月降水量; $e = 16 (10 t/I)^a$ 为标准月份 (30 d) 最大可能蒸散量 (t 为 30 d 均温; I 为温度指数,按 $I = \sum_{i=1}^{12} i = \sum_{i=1}^{12} (t_i/5)^{1.514}$ 计算, $a = 6.75 \times 10^{-7} \cdot P^3 - 7.71 \times 10^{-5} \cdot P^2 + 1.79 \times 10^{-2} \cdot I + 0.4924$)。

干旱等级 G_T 划分为轻旱、中旱、重旱、特旱 4 个等级。

1.2 有效降水指数

有效降水指数是我们提出用以描述降水对干旱缓和有效性的一个指数。由于 Thornthwaite 干旱指数是以一个时段的降水、气温为因子来计算的,云南干季降水量仅占全年降水量的 15% 左右,而雨季降水集中 (占全年总量的 85% 左右),此指数对云南干季降水特多、干旱较轻的情况和雨季降水特少、发生干旱的情况均无法反映。此外,如果一个时段内仅在某一天出现大暴雨,其它时段内均无降水,虽然降水量很大,但较短时内降水

会很快流走,土壤吸收后留存较差,对干旱的缓和效果不是很大,而其它较长时间段内无降水,还是会出现干旱现象,此指数对这种旱情也不能反映。因此定义了有效降水指数,用于描述这种干旱情形:

$$dr_p = \frac{EP_{days}}{\max(EP_{days}) - \min(EP_{days})}, \tag{2}$$

式中: dr_p 为有效降水指数, EP_{days} 为某时段内 ≥ 5 mm 以上的降水天数, $\max(EP_{days})$ 为同时段内数据系列的最大数, $\min(EP_{days})$ 为最小数。干旱等级 G_p 也划分为轻旱、中旱、重旱、特旱 4 个等级。

1.3 单点综合干旱指数

以 Thornthwaite 干旱指数为主和自定义的有效降水指数为辅的原则,构建了以下干旱综合评估指数,使之既能反应绝对干旱又能反映相对干旱。其计算公式如下:

$$M = \begin{cases} dr_T, & \text{当 } G_T = G_p; \\ dr_T + 0.125\Delta d, & \text{当 } G_T \neq G_p; \end{cases} \tag{3}$$

式中: M 为干旱综合评估指数; dr_T 为 Thornthwaite 干旱指数; $\Delta d = G_T - G_p$; G_T 为 Thornthwaite 干旱指数划分的干旱等级; G_p 为有效降水指数划分的干旱等级。其干旱等级划分标准见表 1。

表 1 单站综合干旱指数等级划分标准

干旱等级说明	特旱	重旱	中旱	轻旱	无旱
指数/ M	< -0.75	$-0.75 \sim -0.50$	$-0.5 \sim -0.25$	$-0.25 \sim 0$	> 0
等级/ G	4	3	2	1	0

表 1 中的 G 是综合干旱等级,由 M 值确定。

1.4 云南全省综合干旱指数

为了定量描述云南全省干旱年际分布和变化特征,定义了两个干旱评估指数:干旱面积指数和干旱强度指数。以 G_{area} 代表全省土地面积, $dr_{si}(i)$ 代表第 i 个受旱站所在县 (区) 的土地面积,则全省干旱面积指数 DR_{ai} 按下式计算:

$$DR_{ai} = \frac{1}{G_{area}} \sum_{i=1}^m dr_{si}(i) \times 100\%, \tag{4}$$

式中: m 为受旱站数。即干旱面积指数为省内受旱面积占总土地面积的百分比。

全省干旱强度指数 DR_{ii} 按下式计算:

$$DR_{ii} = \left(\sum_{i=1}^m \frac{a_j dr_{si}(i)}{G_{area}} \right) \times 100\%, \tag{5}$$

式中: a_j 为强度系数, j 取值为 1、2、3、4,分别对应轻旱、中旱、重旱、特旱, a_j 取值分别为 0.5、1、1.25、1.5。

2 干旱的气候特征研究

2.1 气候特征的定量指标(变率和变差系数)

为了定量描述综合干旱指数与平均值的离散程度，又能在不同地区、要素之间进行比较，采用相对变率来研究各时段干旱的气候特征，其表达式为：

$$V_r = \frac{V_a}{\bar{x}} \times 100\%, \tag{6}$$

式中： \bar{x} 为平均值， $V_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$ 为绝对变率。

由于均方差的数量级与研究数列的平均量级有关，在比较不同时段综合指数离散程度的大小时，用均方差的绝对值来进行研究是不恰当的，故采用变差系数来消除变量本身量级的影响，变差系数 C_{vn} 的表达式为：

$$C_{vn} = \frac{s}{\bar{x}}, \tag{7}$$

式中： s 为均方差。

2.2 研究资料及方法

利用云南省 125 个站、47 年(1959 - 2005 年)的观测资料，将各站每年资料分为 5 个时段(1 - 3 月、4 - 6 月上旬、6 - 8 月、9 - 10 月、11 - 12 月)来计算综合干旱指数，其中 11 - 12 月、1 - 3 月两个时段为干季前期和后期，是云南省降水稀少时段；6 - 8 月为雨季，是云南降水充沛时段；4 - 6 月上旬是云南干季向雨季的转换时段；9 - 10 月是云南雨季向干季的转换时段；选择这几个时段进行云南干旱灾害气候特征分析，能与云南的工农业生产、人民群众的生活用水、护林防火等经济、社会活动紧密联系。

用(1) ~ (3)式计算出云南 1959 - 2005 年共 47 年各站、各时段的综合干旱指数，用(4) ~ (5)式计算出全省的干旱面积指数和干旱强度指数，再用(6) ~ (7)式计算全省 1 - 3 月、4 - 6 月上旬、6 - 8 月、9 - 10 月、11 - 12 月 5 个时段干旱面积指数的相对变率和变差系数，再加上常用的特征量：平均值、最大值(表 2、表 3)，然后对这些特征值进行分析。

表 2 云南干旱面积指数气候特征值统计表

统计量	1 - 3 月	4 - 6 月上旬	6 - 8 月	9 - 10 月	11 - 12 月
平均值/%	66.8	22.1	0.7	4.6	45.6
最大值/%	92.3	64.4	7.0	20.9	98.8
相对变率	26.0	69	116	90	53
均方差	23.9	18.8	1.3	5.4	29.2
变差系数	0.36	0.85	1.73	1.16	0.64

表 3 云南干旱强度指数气候特征值统计表

统计量	1 - 3 月	4 - 6 月上旬	6 - 8 月	9 - 10 月	11 - 12 月
平均值	84.6	22.6	0.6	4.4	55.3
最大值	135.8	78.7	6.5	22.3	138.7
相对变率	0.33	0.74	1.16	0.93	0.57
均方差	35.4	21.0	1.1	5.29	39.1
变差系数	0.42	0.93	1.81	1.21	0.71

2.3 干旱气候特征分析

2.3.1 干旱面积指数分析

由表 2 的平均值和最大值来看，云南 1 - 3 月发生干旱的面积最大，每年有约 2/3 的土地受旱，旱情最重年有 92% 的土地受旱；其次是 11 - 12 月，每年有约 50% 的土地受旱，旱情最重年有 99% 的土地受旱；第三是 4 - 6 月上旬，每年有约 1/5 的土地受旱，旱情最重年有 2/3 的土地受旱；第四是 9 - 10 月，每年有约 5% 的土地受旱，旱情最重年有 21% 的土地受旱；而 6 - 8 月每年的平均受旱面积不到 1%，旱情最重年也只有 7% 的土地受旱，受旱面积最小。也就是说，云南 1 - 3 月干旱最严重，其次是 11 - 12 月，再次是 4 - 6 月上旬，9 - 10 月干旱较轻，6 - 8 月省内基本无旱。

由表 2 的相对变率来看，1 - 3 月的相对变率最小，其次是 11 - 12 月，再次是 4 - 6 月上旬；相对变率最大的是 6 - 8 月，次大是 9 - 10 月。1 - 3 月相对变率平均值最大、相对变率最小，代表 1 - 3 月具有年年稳定出现干旱的气候特征。11 - 12 月平均值次大，相对变率次小，代表的是 11 - 12 月也有稳定出现干旱的气候特征。6 - 8 月平均值很小，而相对变率最大，代表 6 - 8 月云南基本无干旱，但干旱还是偶有出现。9 - 10 月的平均值次小，相对变率次大，代表云南 9 - 10 月干旱较轻，但年际间变化很大。4 - 6 月上旬省内有干旱出现，而且年际间变化较大。

由于表 2 中的变差系数与相对变率的意义相同，而均方差值因为与面积指数的平均量级有关，用来代表干旱面积指数的年际变化效果没有相对变率和变差系数好。

2.3.2 干旱强度指数分析

由表 3 可见，云南干旱强度指数具有与面积指数相同的气候特征。干旱强度最大值是 1 - 3 月，次大值是 11 - 12 月；强度最小的是 6 - 8 月，次小的也是 9 - 10 月，4 - 6 月强度比 9 - 10 月大，而比 11 - 12 月小。干旱强度指数的相对变率和变差系数与干旱面积指数的特征也大致相同(详见表 2、表 3)，但 11 - 12 月强度指数的最大值比 1 - 3 月

的最大值大, 说明 11-12 月平均强度比 1-3 月轻, 但较易出现强度大的干旱。干旱强度指数与面积指数的年内变化趋势大致相同。

3 云南干旱的变化趋势

3.1 年代际变化

为了研究干旱的年代际演变情况, 对 5 个研究时段分别统计了 20 世纪 60、70、80、90 年代和 21 世纪的前 5 年的干旱面积和强度指数的平均值, 然后求各个平均值与面积和强度指数数列总平均值的距平值, 如果距平值为正值, 代表干旱偏重, 距平值为负值代表干旱偏轻。由于干旱面积指数与强度指数有基本一致的变化趋势, 我们仅对干旱强度指数(图 1)进行年代际分析。

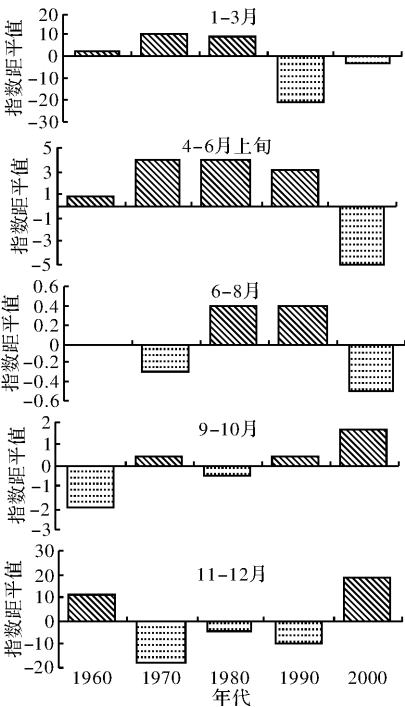


图 1 干旱强度指数的年代际演变图

从图 1 可见, 20 世纪 60-80 年代, 云南 1-3 月干旱均较重, 其中最重的是 70 年代, 最轻的是 90 年代, 2000 年以后, 干旱比前 10 年有发展加重的趋势。20 世纪 60-90 年代云南 4-6 月上旬的干旱都偏重, 特别是 70、80 和 90 年代都有较重的春夏连续干旱出现, 2000 年以后, 干旱有减轻的趋势, 除 2005 年出现特大干旱之外, 其它年份均无春夏连旱, 这种趋势还在维持着, 研究时段外的 2006、2007、2008 年雨季开始均偏早到特早, 无干旱发生。20 世纪 60、70 年代云南 6-8 月干旱(夏旱)偏轻, 80、90 年代夏旱偏重, 2000 年以后, 夏

旱有较明显的减轻趋势。20 世纪 60 年代云南 9-10 月的干旱较轻, 70、80 和 90 年代干旱强度变化不大, 2000 年以来干旱呈现增强的趋势。20 世纪 60 年代云南 11-12 月干旱较重, 70-90 年代干旱变轻, 2000 年以来干旱加重的趋势较明显。由于进入 21 世纪以来 9-12 月干旱有明显加重的趋势, 1-3 月维持在平均水平, 但与 20 世纪 90 年代相比也有加重的趋势, 因此进入 21 世纪, 云南冬春干旱加重发生的气候趋势较为明显, 是近年来冬春森林火灾多发的重要原因。4-6 月上旬干旱明显减轻的趋势对云南工农业生产较为有利, 但 2005 年却出现了有气象记录以来最重的春夏连续干旱, 说明干旱的年际变化振幅在加大, 应该引起注意。

3.2 长期变化趋势

图 2 显示了自 1959 年以来, 云南各个时段干旱面积指数的年际演变和变化趋势, 由图 2 可见, 云南 1-3 月的干旱指数呈现降低趋势, 说明 1-3 月干旱有减轻的趋势; 4-6 月上旬、9-10 月的干旱指数呈现增加趋势, 说明干旱有加重的趋势, 其中 9-10 月加重的趋势较为明显; 6-8 月、11-12 月的干旱指数变化趋势不明显, 说明这两个时段干旱强度变化不大。干旱强度指数也有与面积指数大致相同的年际演变和变化趋势。

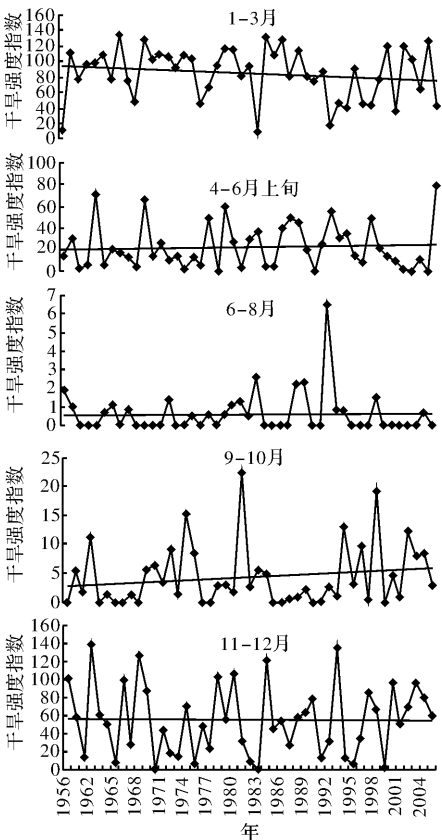


图 2 云南省干旱强度指数的演变和趋势图

4 结语

(1) 云南 1-3 月干旱最严重, 其次是 11-12 月, 再次是 4-6 月上旬, 9-10 月干旱较轻, 6-8 月省内基本无旱。

(2) 云南 1-3 月平均每年有约 2/3 的土地受旱, 11-12 月有约一半的土地受旱, 4-6 月上旬有 22% 的土地受旱, 9-10 月有约 5% 的土地受旱, 而 6-8 月平均受旱面积不到 1%, 受旱面积最小。

(3) 1-3 月和 11-12 月干旱强度指数年际变化较小, 有年年稳定出现干旱的气候特征; 6-8 月干旱指数年际变化最大; 9-10 月和 4-6 月上旬干旱年际间变化较大。

(4) 云南 4-6 月上旬和 9-10 月这两个时段干旱有发展加重的气候变化趋势, 且 9-10 月发展的趋势更明显; 1-3 月干旱有较明显的减轻趋势; 11-12 月和 6-8 月变化趋势不明显。

参考文献:

[1] 刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 等. 2005 年初夏云南严重干旱的诊断

分析[J]. 热带气象学报, 2007, 23(1): 35-40.

- [2] 魏凤英. 华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 32-38.
- [3] 王燕, 王润元, 张凯, 等. 干旱气候灾害及甘肃省干旱气候灾害研究综述[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 119-123.
- [4] 景毅刚, 杜继稳, 张树誉. 陕西省干旱综合评价预警研究[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 48-51.
- [5] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34-38.
- [6] 黄国勤. 江西干旱灾害研究[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 66-71.
- [7] 赵化雄. 洞庭湖区旱涝特征浅析[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 89-93.
- [8] 朱业玉, 程炳岩, 王记芳. 河南旱涝灾害的演变特征分析[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 95-99.
- [9] 杨新, 李士高. 1995 年陕西特大干旱[J]. 灾害学, 1997, 12(1): 77-79.
- [10] 朱爱荣, 梁生俊, 黄祖英, 等. 陕西关中近 40 年春季旱涝分析[J]. 灾害学, 1996, 11(4): 74-78.
- [11] 彭贵芬, 刘瑜. 云南各量级雨日的气候特征及变化[J]. 高原气象, 2009, 28(1): 214-219.
- [12] 陶云, 郑建萌, 黄玮, 等. 云南春末夏初干旱的气候特征[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 124-132.
- [13] 段旭, 尤卫红, 郑建萌. 云南旱涝特征[J]. 高原气象, 2000, 19(1): 84-90.
- [14] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述. 植物生态学报[J]. 2004, 28(6): 853-861.

Research on Characteristics of Drought and Climatic Trend in Yunnan Province

Peng Guifeng¹, Liu Yu² and Zhang Yiping³

(1. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China; 2. Climate Center of Yunnan Province, Kunming 650034, China; 3. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: The drought composite index of single-station, which is based mainly on Thornthwaite water balance drought index, complemented by effective precipitation index (self-defined, reflecting the effectiveness of short-term rainfall and characteristics of abnormal precipitation) is established. Drought area index and intensity index for quantitative description of the drought situation in the whole province is defined. Using variability and variation coefficient as quantitative indicators of long-term climatic characteristics, drought characteristics and trends of Yunnan Province in Jan. - Mar., Apr. - first ten days of Jun., Jun. - Aug., Sep. - Oct. and Nov. - Dec. are analyzed quantitatively based on the data of 1959-2005 in Yunnan province. The results indicate that, in Yunnan, the most severe drought period is Jan. - Mar., about two-thirds of the land affected by drought annually. The second is Nov. - Dec., annually half of the land affected by drought. The third is Apr. - first ten days of Jun., annually 22% of the land affected by drought. In Yunnan, drought is light in Sep. - Oct., only 5% of the land affected. In Jun. - Aug., Yunnan is hardly affected by drought, less than 1% of the land affected. In Apr. - first ten days of Jun. and Sep. - Oct., drought in Yunnan is getting heavier, especially in Sep. - Oct., whereas, drought is decreasing in Jan. - Mar. The changes of drought trend in Jun. - Aug. and Nov. - Dec. are unobvious.

Key words: drought; climatic characteristics; climatic trend; composite index; Yunnan