

段玮, 胡娟, 赵宁坤, 等. 云南冰雹灾害气候特征及其变化[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 90-96. [DUAN Wei, HU Juan, ZHAO Ningkun, et al. Climatic Characteristics and Changes of Hail Disasters in Yunnan[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 90-96. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.02.016.]

云南冰雹灾害气候特征及其变化*

段 玮¹, 胡 娟², 赵宁坤², 尹丽云³, 刘春文³, 沈 鹰¹

(1. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034; 2. 云南省气象台, 云南 昆明 650034;
3. 云南省人工影响天气中心, 云南 昆明 650034)

摘 要: 利用云南省 1960-2015 年 125 个气象站冰雹日资料和 2005-2015 年全省 GDP、气象灾情数据, 结合多种统计方法对冰雹灾害气候特征及其变化开展了研究, 得到以下结论: 云南全境全年基本上均可出现冰雹事件, 但时空差异明显。滇东、滇南、滇西和滇西北是云南的多雹区。滇西北高海拔地区多雹时段为 4-10 月, 其他地区为春季 2-4 月多雹。云南冰雹事件存在明显的年际和年代际变化特征, 并有显著的减少趋势, 2001 年是变化的突变点。1960 年代和 1975 年至 20 世纪末存在显著的 2-4 年振荡周期。20 世纪后半期全省基本一致的冰雹事件总体偏多并且年际间宽幅振荡, 21 世纪后反之。伴随经济发展, 云南冰雹灾害损失逐年增加, 但灾损与全省 GDP 的比率逐年降低, 防雷效益明显可能是主要影响因素之一。

关键词: 云南; 冰雹; 灾害损失; 气候特征; 变化; 防雷效益

中图分类号: X43; P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)02-0090-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.02.016

云南是我国多雹灾省份之一, 冰雹灾害损失占云南气象灾害损失的 15%^[1], 仅次于干旱、洪涝灾害, 但与旱涝灾害不同的是云南冰雹灾害具有有雹皆可成灾的高成灾率, 因此冰雹成为云南最常见的气象灾害。另外, 由于冰雹灾害主要系雹体下落对植物、建筑物的机械损伤, 因此冰雹是影响云南省烤烟、蔬菜、花卉、水果等支柱产业、高产值农副业的第一大气象灾害。以 2015 年为例, 云南省冰雹灾害直接经济损失达 11.08 亿元。云南单次雹灾的损失也极为可观, 如 2005 年 4 月 23 日晚 8 时左右昭通冰雹灾害, 仅昭阳区就导致 306 038.9 hm² 优质苹果绝收, 昭阳区仅苹果产业一项的损失就超过 8 000 万元; 2009 年 7 月 24 日 20 时玉溪澄江县冰雹过程造成 66 306.5 hm² 农作物(其中烤烟 32 963.1 hm²、蔬菜 7 270.3 hm²、玉米 22 738.0 hm²、水稻 3 335 hm²) 遭受不同程度灾害, 直接经济损失达到 1.02 亿元。

因此, 云南冰雹及其防灾减灾研究历来受到重视, 1959 年云南大理州鹤庆县就成为国家防雷研究示范点^[2]。李英利用湿位涡分析云南冰雹, 并总结了湿位涡诊断量对冰雹预报的指示作用^[3]。张秀年分析了云南冰雹和暴雨的发生在大气背景、大气层结、大气不稳定性及云图特征上的

异同^[4]。张腾飞等^[5]、段鹤等^[6]、Xie 等^[7]、李湘等^[8]、周泓等^[9]分析了云南典型冰雹事件的雷达回波特征、闪电活动特征。陶云等^[10]、杨家康等^[11]分别在 2002 年和 2005 年从冰雹事件角度分析了时空分布特征。但就总体而言, 云南冰雹灾害研究多集中于典型雹灾个例研究、雹灾预报预警等方面, 气候时空特征分析较少且有待更新, 尤其是近 10 多年天气气候极端事件频发背景下的新变化、新特征有待补充。此外从灾害损失和防灾减灾效益角度的分析也尚待补充。因此, 本文以 1960-2015 年云南全省气象测站冰雹事件资料和 2005-2015 年全省 GDP、气象灾害灾情数据为基础, 结合多种统计分析方法对云南冰雹灾害的气候特征开展分析与讨论。

1 资料与研究方法

1.1 资料

研究所用资料为 1960-2015 年云南全省 125 个气象测站逐日冰雹事件观测资料、2005-2015 年气象灾害灾情系统中冰雹灾害灾情资料和国家

* 收稿日期: 2016-08-01 修回日期: 2016-09-13

基金项目: 云南省科技惠民计划(2014RA002); 中国气象局气象关键技术集成与应用面上项目(CMAGJ2015M56); 国家自然科学基金(41665004, 91537212, 41205067)

第一作者简介: 段玮(1979-), 男, 云南昆明人, 硕士, 高级工程师, 主要从事青藏高原周边天气气候异常事件及其灾害研究。

E-mail: duanwain@hotmail.com

统计局分布的云南统计资料 (<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>)。

1.2 研究方法

研究所用方法有: 时空平均、系统聚类分析、趋势分析、Morlet 小波分析和 Mann - Kendall (M - K) 法等^[12]。聚类分析目的是将未知归类的研究对象分为相对同质的类(群组)。与分类不同之处在于, 分类是已知分类条件下将研究对象归入相应的类(群组)。对于聚类分析, 研究对象的分类数和判识特征都是未知的, 而分类分析对应条件是已知的。系统聚类需要人为参与先置聚类数目(即 K 值), 分析中 K 值取 1 ~ 10, $K=1$ 代表不分类。最佳聚类数 K 值的确定可采用 *Elbow* 法, 具体做法为计算不同 K 值下全局轮廓系数, 利用全局轮廓系数与 K 值变化关系拐点 (*Elbow*) 判识最佳聚类数。对于研究对象中, 某样本 X_i 的轮廓系数 S_i 为先计算样本凝聚度 A_i (簇内距离) 和分离度 B_i (与其他簇距离) 的差值 d_i , 然后用差值 d_i 与凝聚度 A_i 和分离度 B_i 最大值 \max_i 做比值得到。全局轮廓系数为所有样本轮廓系数的平均值。当不做分类(即分类数为 1)是全局轮廓系数为 1。计算方法详见文献^[13]。

2 结果与分析

2.1 云南冰雹事件的气候特征

利用 1960 - 2015 年共计 66 年云南全省 125 个

气象测站逐日资料, 统计了多年平均(66 年平均)的年、四季云南冰雹事件频数。

图 1 给出了云南省多年平均的冰雹事件年频数空间分布。由图 1 可见, 云南全境均可发生冰雹事件, 但具有空间分布不均的特点。滇东、滇南、滇西和滇西北是云南的多雹地区, 年频数可达 1.5 d/年以上。滇西多雹区中腾冲、龙陵、永德、西盟是云南省冰雹年频次超过 3 d/年的地区, 其中西盟最高为 3.47 d/年。滇东北、滇西是少雹地区, 年频数在 1 d/年以下, 部分地区甚至在 0.5 d/年以下。

图 2 为春(3 - 5 月)、夏(6 - 8 月)、秋(9 - 11 月)和冬(12 月 - 次年 2 月)四个季节的多年平均冰

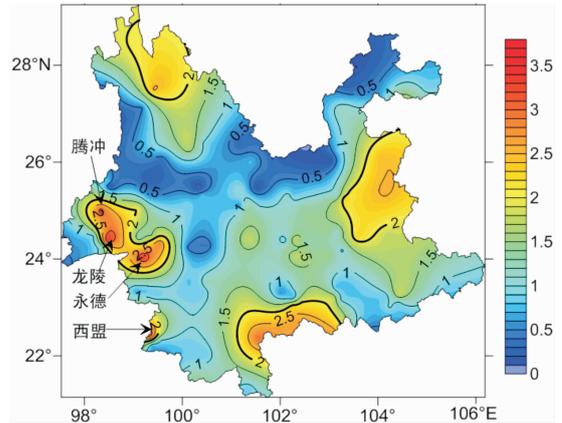


图 1 云南省多年平均(1960 - 2015)的冰雹事件年频数空间分布(单位: d/年)

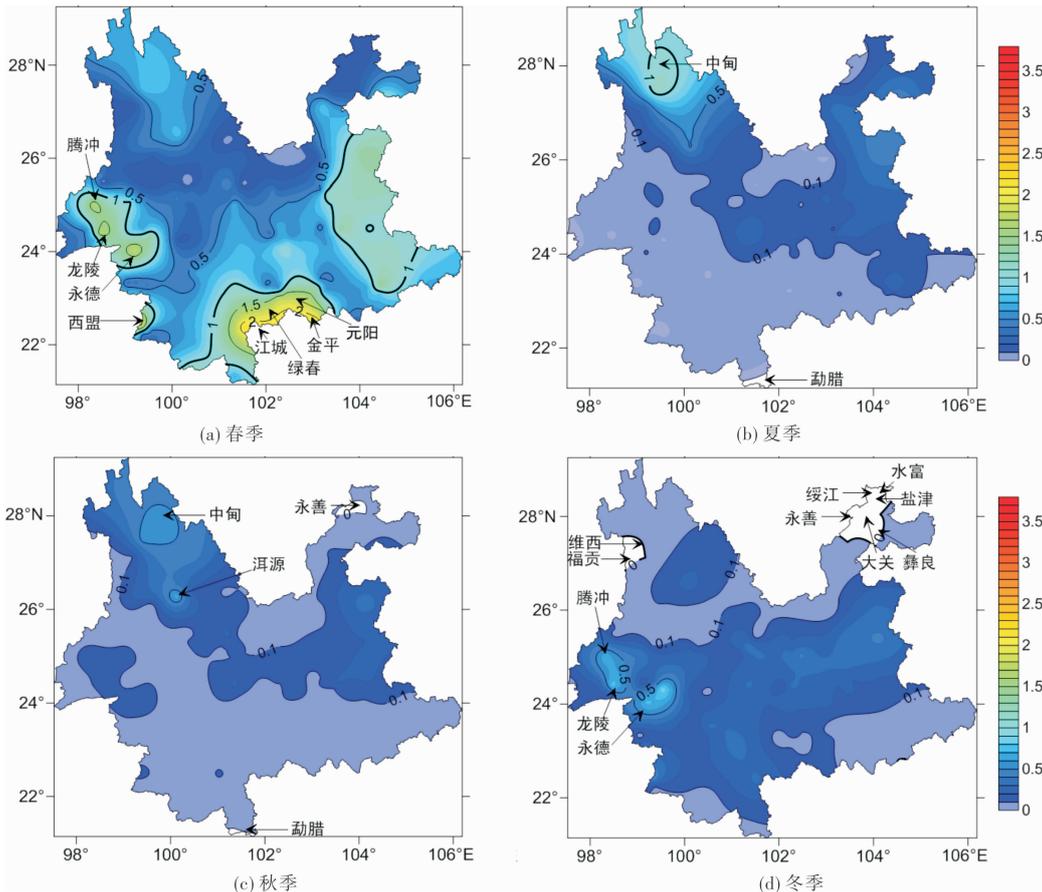


图 2 云南省多年平均(1960 - 2015)的冰雹事件季频数空间分布(单位: d/季)

雹事件季节频数空间分布。由图2可见,云南冰雹空间分布存在着明显的季节差异。云南省大部分地区冰雹事件集中发生在春季出现。夏季除滇西北冰雹事件比春季还频繁外,云南省其他地区冰雹事件明显比春季少。秋冬两季云南全省冰雹事件都相对较少。

从春季(图2a)空间分布可见,和年频次一样,春季的滇东、滇南、滇西和滇西北依然是春季的多雹区。多雹区中除滇西北季节频次在0.5 d/季以上外,其余三地都在1 d/季以上。滇西的腾冲、龙陵、永德、西盟依然是多雹中心,季节频次在1.5 d/季。春季滇南边缘是云南省冰雹事件最多的地区,江城、金平达到2 d/季以上,绿春、元阳也在1 d/季以上。春季滇东是云南省面积最大的多雹区,季节频次在1~1.5 d/季。

夏季(图2b)滇西北是本季的多雹区,季节频次在0.5 d/季以上,中甸为1.19 d/季。夏季除滇西北外,云南大部分地区冰雹频次均在0.5 d/季以下,滇中、滇东和滇西少量地区为0.1~0.5 d/季,滇西大部地区和滇西南为0.1 d/季以下。在夏季地处内陆热带地区的勐腊是季节无雹区。

大致而言,秋季冰雹事件空间分布特征(图2c)与夏季类似,只是频次略低。秋季多雹区——滇西北频次降至0.5~1.0 d/季。秋季冰雹事件的分布不同的体现在滇东北出现一个以永善为中心的季节无雹区。

冬季(图2d)的冰雹事件分布特征与春季、夏秋两季都有较大差异。一方面是以腾冲、龙陵和永德为中心的滇西一带成为冬季的多雹区,频次在0.5 d/季以上;一方面滇东的冰雹事件也呈现比秋季增加的特征。另一方面,春季、夏秋两季均为多雹区的滇西北地区在冬季成为少雹区。滇东北的永善、彝良和水富等地成为较大的季节无雹区。在滇西北的维西、福贡也成为季节无雹区。

综上所述,云南全境均可发生冰雹事件,但具有空间分布不均和季节性变化大的特点。滇东、滇南、滇西和滇西北是云南的多雹地区,并且多雹时段都有季节性。滇西北在春、夏、秋三季是多雹区;滇西在冬、春两季是多雹区;滇南边缘只在春季是多雹区;而滇东在四季都不是显著的多雹区,但全年累计来看却能成为云南省的多雹区。

2.2 云南冰雹事件的变化及周期

(1) 年变化

由季节分布可见,云南冰雹事件年内的季节变化存在着地区差异。显然按地区差异分类进行年变化特征分析更为合理。因此,先逐站统计云南省125站多年平均的1~12月冰雹月频数,然后进行系统聚类分析,按分类结果进行群站平均,以得到各类地区的云南冰雹事件年变化特征。

图3给出了Elbow法下全局轮廓系数与K值的变化关系。由图3可见,分类数小于4类时,全局轮廓系数随分类数增加快速下降,说明按照云南

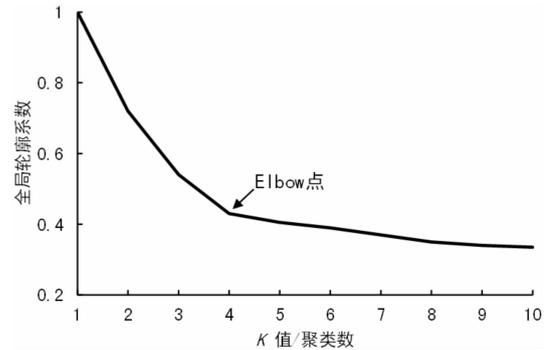


图3 Elbow法下全局轮廓系数与K值的变化关系

冰雹年变化特征还可以继续分类;分类数大于4类以后,全局轮廓系数变化趋于平缓,说明再继续分类,部分分类间其实差异不明显。分析可见,分为4类是最佳分类。

图4为云南冰雹分类分布及其年变化特征。由图4可见,第1类地区主要分布于滇西局部与滇南边缘地区,是云南省内冰雹高频地区,月频次在0.23 d/月(年频次2.80 d/年);也是典型的春雹多发区,4月冰雹频次可以高达0.875 d/月,2月和3月也达0.548 d/月和0.747 d/月,明显高于其他地区。第2类地区主要为滇东、滇中地区诸站以及少量的其他地区站点。第2类地区也是明显的春雹多发区,冰雹峰值月也出现在4月,为0.33 d/月。第3类地区为滇东北、滇东南和滇西北地区海拔较低地区,也是春雹区,但发生频次明显低于第1类和第2类地区。综合以上分析,第1、第2、第3类地区在年变化特征上具有春季多发,夏秋季基本是长期平稳少变的谷值期,冬季偶有发生的共同特征。

第4类地区为滇西北的高海拔地区,靠近青藏高原东南侧。这类地区冰雹频次的年变化特征明显不同去其他地区,第一是冰雹月频次峰值出现在5月,第二是峰值之后月频次缓慢逐渐下降,冬季是全年冰雹发生的谷值区。

综上所述,就年变化而言云南冰雹可以分为显著差异的4类地区。除滇西北地区外,云南大部地区冰雹事件主要集中在春季(2~4月,4月为峰值月)。滇西北地区除冬季外,其他季节冰雹事件均有,4~10月为多雹时段,且变化平稳。

(2) 年际、年代际变化

图5给出了1960~2015年云南全省125站冰雹事件逐年累计频次。就年际变化分析可见,1960~2015年云南省群站平均的冰雹事件频次为155.2站日/年,且多雹年与少雹年相间出现,变化范围在40~306站日间,存在着明显的年际振荡特征,冰雹事件最多年份为1978年,最少年份为2012年。冰雹最多年份的事件频次是最少年份的7倍以上。值得注意的是2010~2012连续3年均处于云南冰雹事件最低谷期,年频次仅为40站日、45站日和66站日。这一时期,恰值云南出现3年连旱。

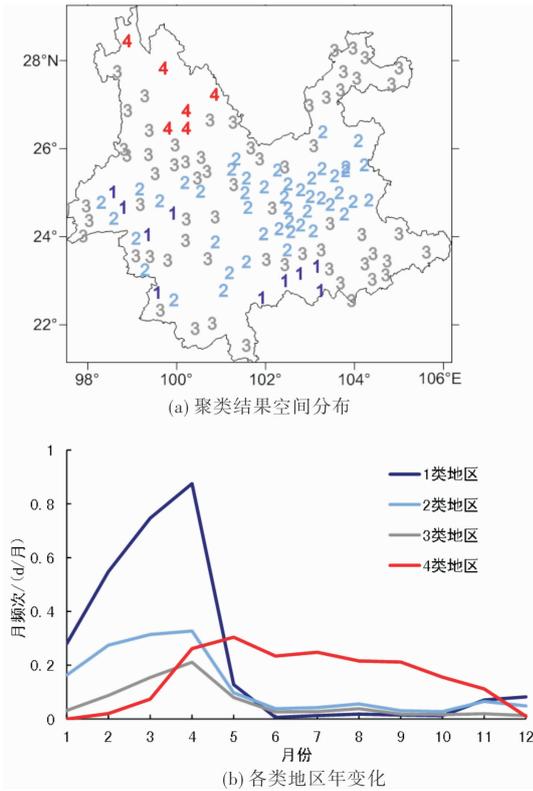


图4 云南省多年平均(1960-2015年)的冰雹事件频次年变化特征

就年代际而言, 变化特征依然明显。1960年代, 1970年代, 1980年代和1990年代的冰雹事件均值皆在全省多年平均值以上, 即均是多雹年代。21世纪后, 各年代冰雹事件均值皆在全省多年平均值以下, 即为少雹年代。1970年代是冰雹事件

最多的年代, 10年平均为200.1站日/年, 2010年代的6年期间是研究时段中冰雹事件最少的一段, 6年平均为70.7站日/年。年代际变化下, 最多与最少时段也存在着近3倍的差异。从图5中还可直观地发现, 20世纪年际间变化表现为宽幅振荡, 21世纪后变为窄幅振荡。

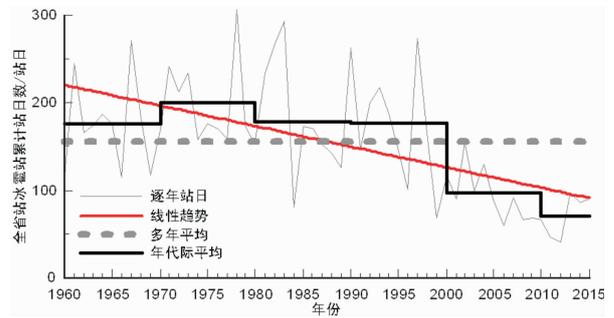


图5 云南省1960-2015年群站累计冰雹事件频次逐年变化(站日/年)

从2.1节分析可见, 云南多数站点冰雹频数在1d/年以下, 说明绝大多数站点有些年份为全年观测均未出现冰雹日。对于这些某站是无法求取合理的线性趋势变化的, 因此也无法绘制全省冰雹事件线性趋势的空间分布。为反映冰雹事件频次变化的空间分布, 图6给出了各年代内平均年频次与多年平均年频次差值的空间分布。结合图5分析可见, 冰雹事件在20世纪的各个年代主要表现为云南大部地区偏多(正距平), 少数零星偏少(负距平)。偏多地区内有少量偏多中心。如西盟、德钦、马龙、石林等。与20世纪相反, 21世纪后各

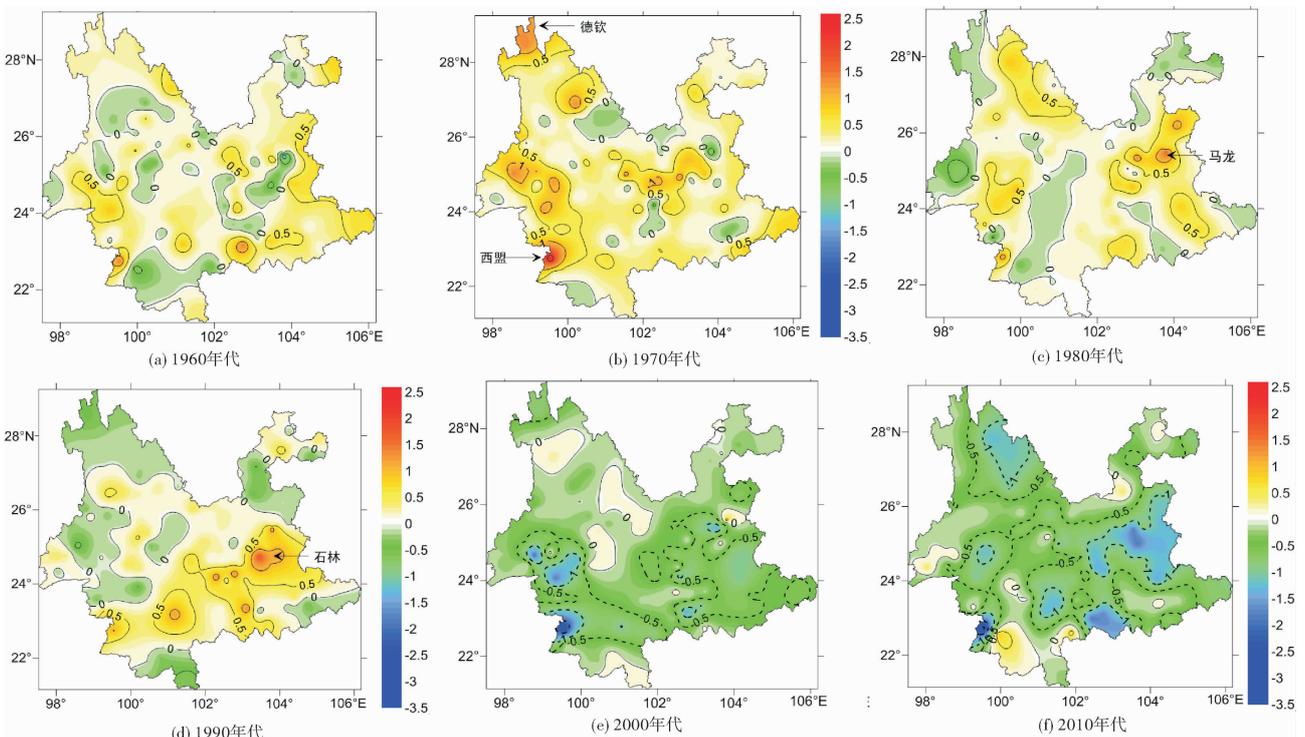


图6 云南冰雹事件各年代内平均年频次与多年平均年频次差值的空间分布(单位: d/年)

时段冰雹事件云南大部地区偏少,少数零星偏多。

综上所述,云南冰雹事件有着明显的年际变化和年代际变化特征。年际变化主要变现为年际间振荡,尤其是在20世纪中。年代际变化特征主要变现为20世纪以前各时段,全省基本为一致性偏多,21世纪后反之。

(3)趋势变化与周期变化

由年际、年代际变化分析可见,1960-2015年云南冰雹事件有着明显的减少趋势。线性趋势分析显示,1960-2015年间以-2.35站日/年的速度快速减少,减少趋势甚至通过了显著性水平0.001的显著性检验。

为了确定变化的起始点和突变点,用M-K法对1960-2015年云南省群站平均的时间序列进行了检验。M-K法是一种非参数突变检验方法,最初由Mann发展用于检测序列的变化趋势,Kendall将其发展成检测气候突变的一种方法。因此,M-K法兼具趋势分析和突变分析功能,并且可以追踪变化发生的起始时间。图7给出了云南省1960-2015年冰雹事件频次的M-K检验结果。通过UF变化可知,云南冰雹事件减少最早可以追溯1987年,1987年之前主要表现为冰雹事件的振荡变化,1987年之后减少态势越来越快,直至2003年UF统计曲线超过0.05显著性水平检验线。此外,UF与UB序列相交于2001年,并位于临界线之间,说明冰雹事件在2001年前后出现了突变。

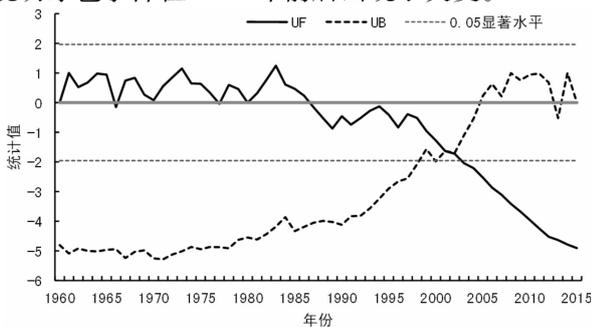


图7 云南省1960-2015年冰雹事件频次的M-K检验

图8给出了云南省冰雹事件频次的Wavelet小波功率谱分析(<http://paos.colorado.edu/research/wavelets>)。由图8可见,1960年代和1975年至20世纪末均存在显著的2~4年的振荡周期。21世纪以后,虽然也有2~4年周期的振荡信号,但未通过显著性水平0.05的显著性检验。另外,在11年左右周期也有一未通过显著性水平0.05的显著性检验的振荡信号。

综上所述,1960-2015年云南冰雹事件有着明显的减少趋势,减少趋势自1987年开始。在2001年前后云南冰雹事件变化出现了可以确认的突变。云南冰雹事件在1960年代和1975年—20世纪末存在显著的2~4年振荡周期,其他时段没有明显的振荡周期。

2.3 云南雹灾灾损与防灾减灾效益变化

全球变暖背景下气象灾害的因灾损失与日俱

增,其中冰雹灾害的防灾减灾形势日趋严峻。人工影响天气工作为防灾减灾的有力手段,是农业公共服务体系建设的重要内容和生态保护的有效途径。为反映云南冰雹灾害损失图9给出了2005-2015年云南省全省GDP、雹灾直接经济损失及其比值变化。

分析图9可见,云南全省GDP持续上升,由2005年的3462.73亿元上升至2015年的13717.38亿元。同期,雹灾直接经济损失也呈现同向上升。2005年雹灾直接经济损失6.53亿元,2015年为11.09亿元。雹灾损失虽然整体呈上升趋势,但明显的年际变化特征,如2006年,2009年和2012年是前后时段的雹灾损失较少的年份,这主要反映了自然灾害的年际变化对损失的影响。在2005-2015年间,冰雹事件并没有出现增加或减少变化特征。云南全省GDP与雹灾直接经济损失的相关系数达到0.89,通过显著性水平0.001的显著性检验,即同向高相关。雹灾直接经济损失的增加与经济发展下承灾体增加,承灾体价值也在上升有密切关系。值得注意的是:2005-2015年雹灾直接损失与GDP的比值在整体下降。2005年雹灾直接经济损失相当于全省GDP的1.89‰,而2015年已降至0.81‰。雹灾直接损失与GDP比值下降可能来自于人工防雹效益影响。

为分析防雹工作情况,图10给出了同期防雹规模变化(全省防雹作业的点次累计与防雹保护总面积)。分析可见,同期云南防雹保护面积明显增加,防雹点次明显减少。防雹面积由2005年0.52万km²上升为2015年的1.52万km²。防雹点次由2005年的10290点次下降至4597点次,防雹点次随不同雹灾的年景形势有着明显的变化。分析时段内,2014年作业点次最少,为3340点次。防雹面积的增加来自于人影设备增加和设施技术的改进。2005年云南全省人影高射炮329门,人影火箭715架。2015上升至人影高射炮474门,人影火箭920架。近年,新置火箭架均为车载移动式,原有火箭架也有相当部分升级改造为车载移动式,显著增加了保护面积。防雹点次的减少主要得益于冰雹研究、云南新一代多普勒雷达建设和人影装备进步,使得作业有效性和科技含量提升。多普勒天气雷达是以多普勒效应为基础,能够测定散射体(水汽)相对于雷达的速度,在一定条件下反演出大气风场、气流垂直速度的分布以及湍流情况等新一代雷达,对警戒预判冰雹、暴雨、飚线的强对流天气等具有重要意义。2005-2015年云南新一代多普勒天气雷达由3部增加为7部,雷达监测范围由覆盖滇中扩大至全省范围。

综上所述,伴随经济发展,云南冰雹灾害损失逐年增加。防雹效益影响下,灾损与全省GDP的比率逐年降低。受益于多普勒雷达建设和气象科技发展,人影防雹作业有效性和科技含量提升,

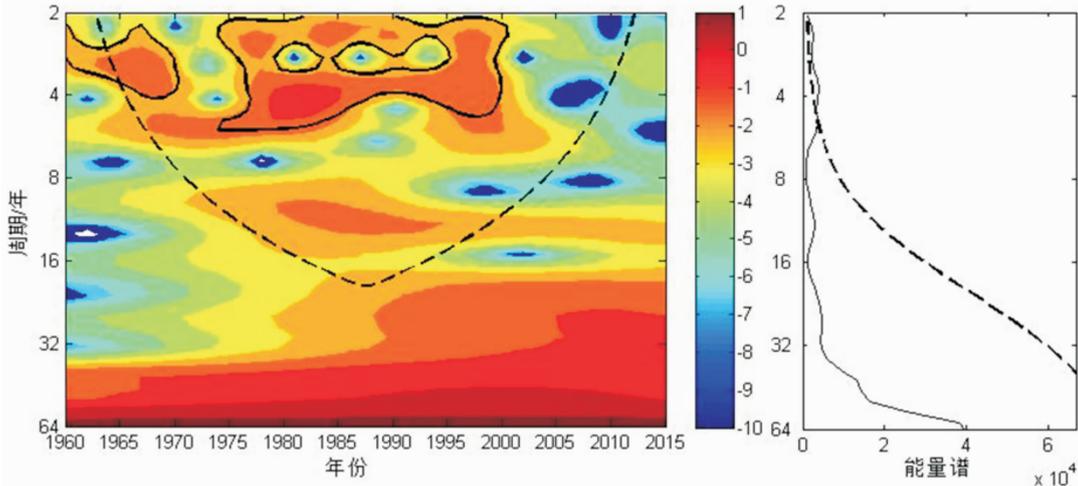


图8 云南省冰雹事件频次的 Wavelet 小波功率谱分析
(注: 虚线为头部影响临界线, 黑实线为显著性 0.05 检验标志线)

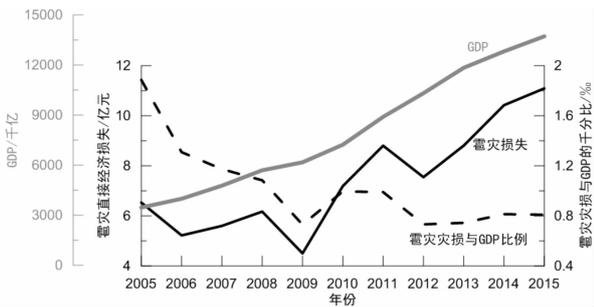


图9 云南省 2005 - 2015 年冰雹灾害直接经济损失与全省 GDP 及其比率

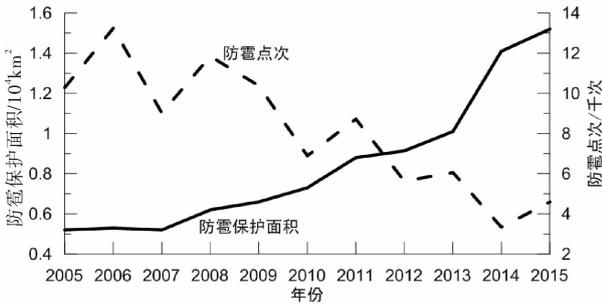


图10 云南省 2005 - 2015 年防雷规模变化

人影防雷保护面积在增加, 作业点次明显减少。

3 结论与讨论

以云南全省气象测站冰雹事件资料和 2005 - 2015 年全省 GDP、气象灾害灾情数据为基础, 通过对云南冰雹灾害的气候特征研究得到以下结论:

(1) 云南全境全年基本上均可出现冰雹事件, 但具有空间分布不均和季节性变化大的特点。滇东、滇南、滇西和滇西北均有云南的多雹区, 滇中、滇东北和滇西相对冰雹较少。除滇西北为 4 - 10 月多雹外, 云南其他地区均为 2 - 4 月春季多雹, 峰值在 4 月。

(2) 云南冰雹事件有着明显的年际变化和年代际变化特征。年际变化主要变现为年际间振荡。年代际变化特征主要变现为 20 世纪与 21 世纪全省基本一致的偏多和偏少。1960 - 2015 年云南冰雹事件存在显著的减少趋势, 2001 年前后云南冰雹事件变化的突变点。1960 年代和 1975 年 - 20 世纪末云南存在显著的 2 ~ 4 年振荡周期, 其他时段没有明显的振荡周期。

(3) 伴随经济发展, 云南冰雹灾害损失逐年增加。受益于多普勒雷达建设和气象科技发展, 在防雷效益影响下灾损与全省 GDP 的比率逐年降低, 防雷效益明显。

本次研究是基于长时间序列的台站观测资料开展的。需要注意的是: 冰雹事件是时空尺度均较小的强天气事件。不是所有的冰雹事件都发生在气象台站能够观测到的范围内, 应该说只有少量的冰雹事件发生在台站观测范围内。通常冰雹发生地是没有任何观测记录的。2015 年 CuricMladjen^[14] 和 2016 年 H J Punge^[15] 等世界主流冰雹气候学研究指出是台站的冰雹日观测资料是目前所能得到的反映冰雹事件变化的最佳资料, 它具有观测稳定、观测尺度统一和时间序列长等优点, 能够满足气候研究和大部分天气学研究的要求。本文研究的出发点也是基于同样的观点, 开展了相关的气候分析。目前, 国际上有人利用雷达资料、卫星资料反演资料来判识冰雹, 主要应用冰雹事件的短时预警中。有少量在气候研究上的尝试, 但是受限于资料时间序列短(通常不足 10 年)、观测标准不统一(主要是通过雷达与卫星资料反演冰雹的模型不统一), 观测不连续(如雨季与干季雷达工作模式不统一)等原因, 分析结论尚不为业内接受。但基于雷达、卫星遥感的冰雹研究是大的发展方向, 等资料序列长度、观测稳定性和连续性等得到解决, 应进一步开展以相关的资料为基

础的冰雹气候特征分析。另外,还应结合已有研究开展导致变化发生的气候成因分析。

参考文献:

- [1] 程建刚,晏红明,严华生,等. 云南重大气候灾害特征和成因分析 [M]. 北京:气象出版社,2009.
- [2] 鹤庆县人委会农水科. 云南省鹤庆县预测和消除冰雹的经验总结[J]. 气象学报,1959,17(1):1-4.
- [3] 李英,段旭. 湿位涡在云南冰雹天气分析中的应用[J]. 应用气象学报,2000,11(2):242-248.
- [4] 张秀年,曹杰,段旭. 低纬高原冰雹与暴雨对比分析[J]. 云南地理环境研究,2007,19(6):7-12.
- [5] 张腾飞,段旭,鲁亚斌,等. 云南一次强对流冰雹过程的环流及雷达回波特征分析[J]. 高原气象,2006,25(3):531-538.
- [6] 段鹤,夏文梅,苏晓力,等. 短时强降水特征统计及临近预警[J]. 气象,2014,40(10):1194-1206.
- [7] XIE Yiran, WU Jian, LIU Xuetao, et al. Characteristics of cloud-to-ground lightning activity in hailstorms over Yunnan province [J]. Journal of Atmospheric and Solar - Terrestrial Physics, 2015, 135(1): 2-7.
- [8] 李湘,张腾飞,胡娟,等. 云南冰雹灾害的多普勒雷达特征统计及预警指标[J]. 灾害学,2015,30(3):88-93.
- [9] 周泓,段玮,赵爽,等. 滇中地区冰雹的多普勒天气雷达及闪电活动特征分析[J]. 气象,2014,40(9):1132-1144.
- [10] 陶云,段旭,杨明珠. 云南冰雹的时空分布特征及其气候成因初探[J]. 南京气象学院学报,2002,25(6):837-842.
- [11] 杨家康,杞明辉. 云南省冰雹的时空分布特征[J]. 气象科技,2005,33(1):41-43.
- [12] 黄嘉佑,李庆祥. 气象数据统计分析方法 [M]. 北京:气象出版社,2015:7-26,34,54-82.
- [13] 武松,潘发明. SPSS 统计分析大全 [M]. 北京:清华大学出版社,2014.
- [14] MLADJEN Ćurić, DEJAN Janc. Hail climatology in Serbia [J]. International Journal of Climatology, 2015, 35(6): 795-804.
- [15] Punge H J, Kunz M. Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review [J]. Atmospheric Research, 2016, 176(1): 159-184.

Climatic Characteristics and Changes of Hail Disasters in Yunnan

DUAN Wei¹, HU Juan², ZHAO Ningkun², YIN Liyun³, LIU Chunwen³ and SHEN Ying¹

(1. Yunnan Institute of Meteorological Sciences, Kunming 650034, China; 2. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China; 3. Yunnan Weather Modification Center, Kunming 650034, China)

Abstract: Using hail observed daily data from 125 meteorological stations during 1960-2015, GDP and meteorological disaster data of Yunnan Province during 2005-2015, Climatic characteristics and changes of hail disasters in Yunnan are analyzed with various statistical methods. Results show that, hail events can be found in the whole year in the whole territory of Yunnan. There are obvious different spatial-temporal distributions for hail events in Yunnan. East, South, West and northwest of Yunnan have more hail events than others region. Main hail period of Northwest Yunnan, high altitude region, is in April-October. Main hail period of other areas is in the spring, February-April. Hail event of Yunnan has obvious interannual and interdecadal variations. And there is a significant reduction trend. 2001 is the mutation point of change. There is a significant 2-4 years oscillation period in 1960s and 1975-1999. In 20 Century, the change characteristics of hail events are positive anomaly and wide oscillation. In 21 Century, the characteristics is conversely. With the economic development, the loss of hail disaster in Yunnan has increased year by year. But the ratio of the disaster loss and GDP of Yunnan province has decreased year by year. Weather modification for hail is one of the main influencing factors.

Key words: Yunnan Province; hail; disaster loss; climatic characteristics; change; benefits of hail suppression